

# Industrijas 4.0 izaicinājums

**Metālapstrādes nozares  
darbinieku sagatavošana darbam  
ar viedām tehnoloģijām**

UDK 621.7/.9

In236

### Grāmatas autori:

Asoc.profesors Dr. Saulius Baskutis, (1.1, 1.2, 1.4, 2.1, 2.2, 2.3, 2.4,3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 6.1, 7.1, 9.2, 9.3, 9.4, 9.5. nodaļa)

Dr. Edvinas Dubinskas (5.1, 6.2, 7.2, 9.3. nodaļa)

Dr Gintaras Rimša (1.3, 4.3, 6.3, 8. nodaļa)

Dr. Povilas Krasauskas (9.1, 9.2. nodaļas)

Dr. Hans- Joachim Pfeiffer (5.1, 5.2, 9.1. nodaļa)

Dr. Inga Skiedraite (3.7, 3.8, 4.1, 4.2.nodaļa)

Katja Buhs (9.2, 9.5. nodaļa)

Dr. Agne Kudarauskiene un Milda Ramanauskaite-Vilde (10.1, 10.2, 10.3, 10.4. nodaļa)

Ilustrācijas: Lina Povilaytute- Burokiene

Recenzents: Dr.sc.ing. Juris Krizbergs

Projekts "Izaicinājums nozarei: Metālapstrādes nozares darbinieku sagatavošana darbam ar viedām tehnoloģijām" (Nr.575813-EPP-1-2016-1-LT-EPPKA2-SSA) tiek finansēts ar Eiropas Komisijas atbalstu. Eiropas Komisijas atbalsts šīs publikācijas sagatavošanai nav uzskatāms par satura apstiprinājumu, kas atspoguļo tikai autoru viedokļus, un Komisija nevar būt atbildīga par tajā ietvertās informācijas jebkādu izmantošanu.

Izdevējs: Jelgavas pilsētas pašvaldības pieaugušo izglītības iestāde  
"Zemgales reģiona kompetenču attīstības centrs", Svētes iela 33, Jelgava, LV-3001,  
[www.zrkac.lv](http://www.zrkac.lv)

ISBN 978-9934-19-978-3



## IEVADS

Detaļu mehāniskā apstrāde arvien biežāk asociējas ar ražošanas automatizāciju un integrētu datorizēto ražošanu - apstrādes, montāžas un kvalitātes pārbaudes darbības veic ar datoru vadītas ierīces. Ar datora palīdzību tiek sagatavotas visas produkta ražošanas fāzes, vadītas iekārtas un veikti aprēķini. Integrētā datorizētā ražošana ietver plānošanu, projektēšanu, ražošanu un pārvaldību, izmantojot datorizētu projektēšanu (CAD), datorizētu ražošanu (CAM), datorizētu procesu plānošanu un citas sistēmas.

Viens no vissvarīgākajiem integrētās datorizētās ražošanas uzdevumiem ir detaļas ražošanas procesa izveide. Šāda ražošana ir iespējama tikai ar datorizētas ciparu vadības (CNC) iekārtām - programmvadības metālapstrādes darbgaldiem.

Apstrādes rūpniecība ir Eiropas ekonomikas pamats. Metālapstrādē un mašīnbūvē tiek nodarbināti aptuveni 12% strādājošo no kopējā apstrādes rūpniecībā strādājošo skaita Eiropas Savienībā. Sakarā ar ražošanas datorizāciju, darbinieku funkcijas un veikto darbu specifika ir radikāli mainījusies. Iekārtu darbības nodrošināšanai ir nepieciešami augsti kvalificēti darbinieki. Pētījumi atklāj, ka nozīmīgākais metālapstrādes un mašīnbūves nozares izaicinājums ir kvalificētu darbinieku piesaistīšana, kas ir būtisks nosacījums metālapstrādes un mašīnbūves nozares konkurētspējas attīstībai Eiropas Savienībā. Metālapstrādes un mašīnbūves darbinieki, kuri strādā ar CNC iekārtām, atspoguļo ražošanas augsto tehnoloģiju nākotni.

Pēdējos gados ievērojami palielinājies pieprasījums pēc kvalificētiem CNC iekārtu operatoriem - programmvadības metālapstrādes darbgaldu operatoriem un iestatītājiem. Mūsdienīgos uzņēmumos nepieciešami labi apmācīti tehnologi un iekārtu operatori, kam ir zināšanas par digitāliem programmēšanas rīkiem, un kuri spēj sagatavot iekārtu vadības programmas.

Šī grāmata ir projekta „**Metālapstrādes nozares darbinieku sagatavošana darbam ar viedām tehnoloģijām, atbilstoši Industrijas 4.0 vajadzībām**” (projekta numurs Nr. 575813-EPP-1-2016-1-LT-EPPKA2-SSA) rezultāts, ko īstenoja 12 projekta partneri no Lietuvas, Latvijas, Igaunijas un Vācijas. Latviju projektā pārstāv Jelgavas pilsētas pašvaldības pieaugušo izglītības iestāde “Zemgales Reģiona kompetenču attīstības centrs”, Valsts Izglītības satura centrs un Mašīnbūves un metālapstrādes rūpniecības asociācija. Projekta īstenošanai ir ievērojama pieredze profesionālās izglītības programmu izstrādē, īstenošanā un atbalsta sniegšanā profesionālās izglītības reformai. Projektu līdzfinansēja Eiropas Savienības programma „Erasmus+”.

Grāmata sastāv no desmit nodaļām. Grāmatas pirmajās nodaļās ir vispārīgas pamatzināšanas par Industriju 4.0, mehānisko apstrādi, darbgaldiem, detaļu iespīlēšanas ierīcēm, griezējinstrumentiem, prasībām detaļu rasējumiem. Piektā un sestā nodaļa ir veltīta CNC iekārtu programmēšanai. Šajās nodaļās aprakstīti G un M kodi, kas tiek izmantoti programmēšanā, iepazīšanās ar darbgaldu un sagatavju koordinātu sistēmām, programmu sagatavošanu, kā arī programmu piemēri. Nākamajās grāmatas sadaļās, sniegta informācija par programmvadības metālapstrādes darbgaldu operatoru darba vietas organizāciju, prasībām attiecībā uz darba drošību, ciparvadības darbgaldu tehnisko apkopi, robotu izmantošanu ražošanas procesos, papildinošo ražošanu, sniegti piemēri par pilnībā automatizētu ražošanu Industrijā 4.0, par inovāciju vadību un uzņēmējdarbības prasmju nozīmi mūsdienu ražošanā.

Grāmata būs noderīga metālapstrādes un mašīnbūves nozares darbiniekiem, CNC iekārtu operatoriem un iestatītājiem, inženieriem - tehnologiem, kuri izstrādā CNC iekārtu apstrādes programmas, inženierzinātņu jomas studentiem, kuri mācās visu veidu un līmeņu izglītības iestāžu studiju un mācību programmās, un visām personām, kas saistītas ar datorizētās ražošanas risinājumiem. Grāmatā iekļautas tēmas arī digitālo prasmju, zaļo prasmju, sociālās un uzņēmējdarbības kompetences attīstībai.

Mūsdienīgi uzņēmumi tiecas uz nepārtrauktu attīstību: jaunu tehnoloģiju izmantošanu un efektīvāku procesu radīšanu, inovācijām, kas nav iedomājama bez darbinieku pastāvīgas kvalifikācijas pilnveides. Šīs grāmatas autori ir centušies veidot grāmatas saturu saprotamu gan iesācējam, gan prasmīgam operatoram, kurš vēlas kļūt vēl labāks savā jomā, strādāt labāk un efektīvāk.

Projekta komanda novēl Jums sasniegt ievērojamus panākumus, kļūstot par izcilu metālapstrādes un mašīnbūves nozares speciālistu, pastāvīgi uzlabot savas prasmes un radīt pievienoto vērtību uzņēmumiem.





# PATEICĪBA

Latvijā, līdzīgi kā Eiropas Savienībā, galvenie izaicinājumi metālapstrādes un mašīnzinību nozares uzņēmumos Industrijas 4.0 ieviešanai ir darbinieku trūkums ar specifiskām zināšanām un pieredzi tehnoloģiju pielietošanā. Rūpnīcas, kur lielu daļu darba veic iekārtas un roboti, nav iedomājamas bez augsti kvalificētiem darbiniekiem, kuri vada sarežģītas datorizētas iekārtas un automatizētus ražošanas procesus.

Mašīnbūves un metālapstrādes rūpniecības asociācija uzskata, ka šī grāmata būs noderīgs palīgs gan jaunajiem nozares profesionāļiem, gan esošajiem speciālistiem, gan augstākās un profesionālās izglītības iestādēm, lai iegūtu zināšanas par programmvadības metālapstrādes darbgaldu programmēšanas principiem un veidiem, kā efektīvāk izmantot iekārtu tehnoloģiskās iespējas Industrijas 4.0 risinājumiem.

Tādēļ vēlos izteikt pateicību Eiropas Savienībai par doto iespēju, projekta „Metālapstrādes nozares darbinieku sagatavošana darbam ar viedām tehnoloģijām, atbilstoši Industrijas 4.0 vajadzībām” ietvaros, nodrošināt grāmatas tulkojumu un pielāgošanu vācu, angļu, lietuviešu, igauņu un latviešu valodās, ieviešot vienotus standartus šajās valstīs.

Īpaši vēlos pateikties: Jelgavas pilsētas pašvaldības pieaugušo izglītības iestādes "Zemgales reģiona kompetenču attīstības centrs" Metālapstrādes mācību parka vadītājam Mārim Ernstsonam, SIA "HPS" ražošanas vadītājam Andrim Dūmam, Rīgas Tehniskās universitātes profesoram Dr.sc.ing. Jurim Krizbergam par grāmatas tulkojuma korekcijām un terminoloģijas uzlabojumiem, veicot neatsveramu ieguldījumu nozares attīstībā!

Vilnis Rantiņš,

Mašīnbūves un metālapstrādes rūpniecības asociācijas padomes priekšsēdētājs,

2019. gada septembrī

**„Metālapstrādes nozares darbinieku sagatavošana darbam ar viedām tehnoloģijām, atbilstoši Industrijas 4.0 vajadzībām“ Erasmus+ programmas KA2:**

**„Sadarbība inovācijas veicināšanai un labas prakses apmaiņai - Nozaru prasmju apvienības” projekts Nr. 575813-EPP-1-2016-1-LT-EPPKA2-SSA**

# SATURS

|                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ievads .....                                                                                                    | 2  |
| PATEICĪBA .....                                                                                                 | 4  |
| 1. Ceturtā industriālā revolūcija (Industrija 4.0) .....                                                        | 9  |
| 1.1. Ceturtās Industriālās revolūcijas vēsture .....                                                            | 9  |
| 1.2. Ceturtās industriālās revolūcijas galvenie elementi .....                                                  | 11 |
| 1.3. Ceturtā industriālā revolūcija ražošanā .....                                                              | 13 |
| 1.4. Ceturtās industriālās revolūcijas riski un izaicinājumi .....                                              | 14 |
| 2. Apstrādes iekārtas .....                                                                                     | 15 |
| 2.1. Iekārtas virpošanai .....                                                                                  | 15 |
| 2.1.1 Virpas .....                                                                                              | 15 |
| 2.1.2 Virpoto sagatavju pozicionēšana un stiprināšana .....                                                     | 19 |
| 2.1.3 CNC virpu, sagataves un instrumentu izmēru koordinātu sistēmas .....                                      | 22 |
| 2.2. Frēzēšanas iekārtas .....                                                                                  | 29 |
| 2.2.1. Frēzēšanas darbgaldi un apstrādes centri .....                                                           | 29 |
| 2.2.2. Apstrādājamo detaļu izvietojums un stiprināšana frēzēšanas darbgaldos ..                                 | 35 |
| 2.2.3 CNC frēzēšanas mašīnas un detaļu koordinātu sistēmas .....                                                | 46 |
| 2.3. Datora ciparu vadības frēzes un virpas sastāvdaļas .....                                                   | 53 |
| 2.4. Instrumentu iespīlēšanas aprīkojums .....                                                                  | 70 |
| 2.4.1. Iespīlēšanas aprīkojums virpošanas instrumentiem .....                                                   | 71 |
| 2.4.2. Iespīlēšanas aprīkojums frēzēšanas instrumentiem .....                                                   | 72 |
| 2.4.3. Urbju, gredzenurbju, gremdurbju, nofāzēšanas un izrīvēšanas instrumentu<br>iespīlēšanas aprīkojums ..... | 74 |
| 2.4.4. Iespīlēšanas aprīkojums vītņu griešanas instrumentiem .....                                              | 75 |
| 3. Apstrādes procesi .....                                                                                      | 77 |

|                                                                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.1. Virpošana.....                                                                                           | 77  |
| 3.2. Frēzēšana .....                                                                                          | 80  |
| 3.3. Urbšana, gremdēšana, izrīvēšana, vītņošana .....                                                         | 84  |
| 3.4. Slīpēšana un citas virsmu apdares metodes.....                                                           | 92  |
| 3.5. Sagataves izvēle .....                                                                                   | 97  |
| 3.6. Instrumentu materiāli un instrumentu ģeometrija griešanas procesā .....                                  | 102 |
| 3.6.1 Instrumentu materiālu klasifikācija .....                                                               | 102 |
| 3.6.2. Griezējinstrumentu ģeometrija .....                                                                    | 115 |
| 3.7. Griešanas režīmi un apstrādes laiks.....                                                                 | 118 |
| 3.7.1. Griešanas režīmu aprēķini virpošanā.....                                                               | 120 |
| 3.7.2. Griešanas režīma aprēķināšana frēzēšanai.....                                                          | 122 |
| 3.7.3. Griešanas režīmu aprēķināšanas formulas urbšanai, gremdurbšanai,<br>izrīvēšanai un vītņgriešanai ..... | 123 |
| 3.8. Apstrādes programmas gudrajās ierīcēs .....                                                              | 124 |
| 4. Detaļu kvalitāte .....                                                                                     | 126 |
| 4.1. Detaļu virsmas kvalitātes novērtējums.....                                                               | 126 |
| 4.2. Detaļu elementu izmēri un novirzes .....                                                                 | 133 |
| 4.3. Mērīšanas līdzekļi.....                                                                                  | 144 |
| 5. CNC ierīču programmēšana.....                                                                              | 151 |
| 5.1. G un M kodi griešanas un frēzēšanas iekārtu programmēšanai .....                                         | 151 |
| 5.1.1. NC programmas struktūra un NC bloks .....                                                              | 152 |
| 5.1.2. G funkciju kodi .....                                                                                  | 154 |
| 5.1.3. M funkciju kodi .....                                                                                  | 182 |
| 5.1.4. G koda piemēri kontūras apstrādes programmām .....                                                     | 192 |
| 5.2. Programmas izstrādes pamatprincipi.....                                                                  | 194 |
| 5.2.1. MTS programmas virpošanas procesam.....                                                                | 196 |
| 5.2.2. MTS programmas frēzēšanas procesam .....                                                               | 210 |

|                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.3. Vadības programmas augšupielāde iekārtas vadības sistēmā ..... | 224 |
| 6. Praktiskais pielietojums .....                                   | 231 |
| 6.1. Detaļu apstrādes projektēšanas posmi .....                     | 231 |
| 6.2. Detaļu CNC programmu lietošana .....                           | 236 |
| 6.2.1. Virpošanas operācijas piemērs .....                          | 237 |
| 6.2.2 Frēzēšanas darbības piemērs.....                              | 247 |
| 6.3. Detaļu mērīšana.....                                           | 259 |
| 7. Darba drošība .....                                              | 264 |
| 7.1. CNC iekārtas darba drošība.....                                | 264 |
| 7.2. Operatora darba vietas organizācija .....                      | 271 |
| 8. Iekārtu apkope.....                                              | 273 |
| 9. Industrija 4.0 ieviešana .....                                   | 280 |
| 9.1. Robotu izmantošana ražošanas procesos.....                     | 281 |
| 9.1.1. Robotu klasifikācija.....                                    | 281 |
| 9.1.2. Rūpnieciskie roboti .....                                    | 285 |
| 9.1.3. Robotu sastāvdaļas.....                                      | 290 |
| 9.1.4. Robotu vadības sistēma .....                                 | 301 |
| 9.1.5. Robota programmēšana .....                                   | 304 |
| 9.1.6. Robotu apkope un pārbaude .....                              | 322 |
| 9.1.7. Robotu nākotne.....                                          | 325 |
| 9.2. Papildinošā ražošana .....                                     | 326 |
| 9.2.1. Ražošanas procesu pamata nosacījumi .....                    | 326 |
| 9.2.2. Veidošanas procesā lietojamie materiāli .....                | 328 |
| 9.2.3. Papildinošie procesi ražošanā .....                          | 329 |
| 9.3. Viedās ražošanas vadība.....                                   | 332 |
| 9.3.1. Ražošanas vadības organizācija un kontrole .....             | 332 |
| 9.3.2. Darba organizācijas īpatnības .....                          | 337 |

|                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------|-----|
| 9.3.3. CNC apstrādes sistēma viedam ražošanas procesam.....  | 338 |
| 9.4. Tiešā ciparu vadība (DNC).....                          | 347 |
| 9.4.1. DNC mērķi un priekšrocības .....                      | 347 |
| 9.4.2. CNC mašīnu tīklošana .....                            | 349 |
| 9.4.3. Bezvadu vietējie tīkli WLAN .....                     | 351 |
| 9.4.4. Priekšrocības WLAN izmantošanai CNC ražošanā .....    | 352 |
| 9.4.5. LAN – vietējie tīkli .....                            | 353 |
| 9.4.6. LAN tehniskās specifikācijas .....                    | 355 |
| 9.4.7. Kritēriji pareizā LAN izvēlei .....                   | 355 |
| 9.5. Pilnīgi automatizēta ražošana Industrijā 4.0.....       | 356 |
| 9.5.1. Viedokļi par Industrijas 4.0 ieviešanu ražošanā ..... | 356 |
| 9.5.2. Ķīna.....                                             | 358 |
| 9.5.3. Vācija.....                                           | 358 |
| 9.5.4. Šķēršļi un izaicinājumi .....                         | 360 |
| 9.5.5. Prognozes un padomi uzņēmumiem .....                  | 362 |
| 10. Vispārējās kompetences .....                             | 366 |
| 10.1. Pārmaiņu vadība .....                                  | 366 |
| 10.2. Inovāciju vadība .....                                 | 368 |
| 10.3. Uzņēmējdarbības prasmju attīstība .....                | 370 |
| 10.4. Koučings.....                                          | 380 |
| Izmantotā literatūra .....                                   | 392 |

# 1. CETURTĀ INDUSTRIĀLĀ REVOLŪCIJA (INDUSTRIJA 4.0)

Lielākā Ceturtās industriālās revolūcijas, jeb Industrijas 4.0, "revolucionāre" ir Vācija. Vācijas valdība ieviesa terminu „Industrija 4.0“ valsts Augsto tehnoloģiju stratēģijā, kas tika izstrādāta, lai nodrošinātu Vācijas rūpniecības konkurētspēju pasaules tirgū.

Industrija 4.0 ir radusies iepriekšējo trīs rūpniecības revolūciju rezultātā. Industrija 4.0 apzīmē nākotnes viedās rūpnieciskās tehnoloģijas. Industrijas 4.0 pamatā ir cilvēku, iekārtu un produktu sadarbība globālajā tīklā un autonoma, decentralizēta ražošanas vienību vadība un organizācija.

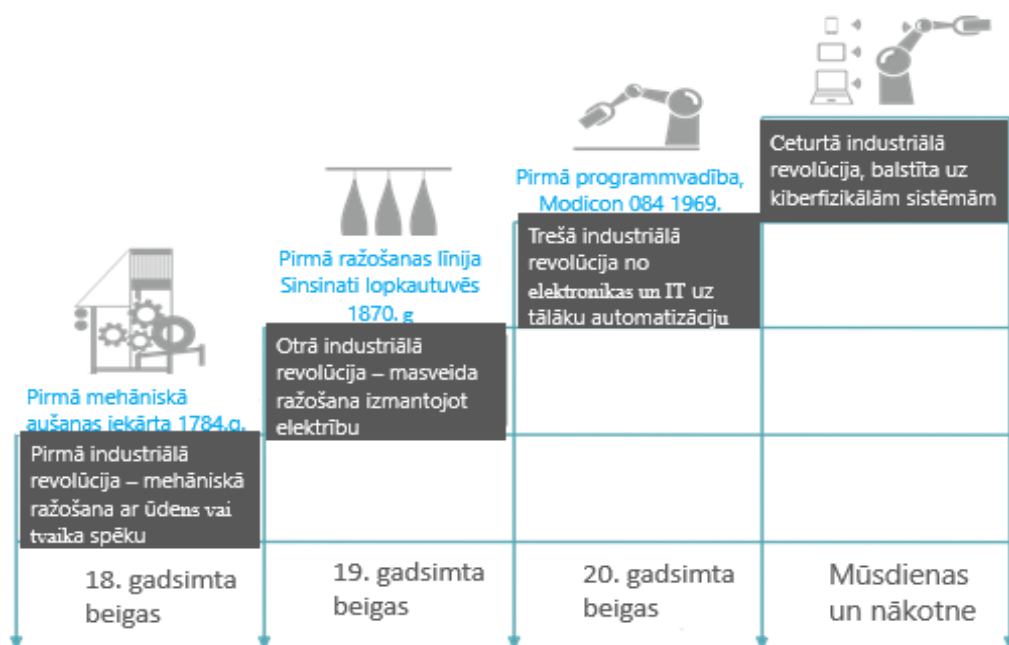
## 1.1. Ceturtās Industriālās revolūcijas vēsture

Industrijas 4.0 pievienotā vērtība ir ražošanas uzņēmumu, piegādātāju un potenciālo pircēju sadarbības tīkls, kas palīdz radīt maksimālu darba ražīgumu. Industrijas 4.0 revolūcija notiek jau vairāk nekā 10 gadus. Lai pilnībā izprastu Industriju 4.0, ir jāapskata atšķirības starp trijām vēsturiskajām industriālajām revolūcijām.

Pirmā industriālā revolūcija notika no 1760. līdz 1840. gadam, kad roku darbs tika aizvietots ar mehāniskām iekārtām, un ar ūdens un tvaika palīdzību tika mehanizēta ražošana. Galveno impulsu attīstībai deva tvaika dzinēja izgudrojums. Roku darbs tika aizstāts ar mehāniskām iekārtām, karītes – ar tvaika lokomotīvēm, buru kuģi – ar tvaikoņiem. Tas izraisīja milzīgu produktivitātes pieaugumu ne tikai rūpniecības sektorā (skatīt 1.1. attēlu).

19. gadsimta beigās līdz 20. gadsimta sākumam konveijeru un masveida ražošanas uzsākšana pieteica Otro industriālo revolūciju, un tās virzītājspēks bija elektrība, kas palīdzēja izveidot masu ražošanu.

20. gs. 70-tajos gados sākās Trešā industriālā revolūcija, ko dažkārt dēvē arī par digitālo revolūciju. Trešās revolūcijas epicentrā atradās elektronika un informācijas tehnoloģijas, kas automatizēja ražošanu. Šajā periodā rūpniecībā un citās ražošanas jomās tika ieviestas digitālās tehnoloģijas, centrālie un personālie datori. Ar roku darbināmās ierīces tika aizstātas ar ciparu vadāmām un programm vadības (CNC) ierīcēm.



1.1. attēls. Industriālās revolūcijas vēsture

Visas trīs industriālās revolūcijas ir radījušas radikālas ražošanas apstākļu izmaiņas, kas ietekmējušas visu sabiedrību.

Ceturtā industriālā revolūcija attīstās uz trešās digitālās revolūcijas pamata. Digitālizētus, robotizētus un automatizētus ražošanas procesus rūpnīcās lielākoties veic iekārtas un roboti, bet cilvēki tikai tos pārrauga – tā ir daudzu pasaules uzņēmumu realitāte. Industriju 4.0 raksturo tehnoloģiju saplūšana un robežu izzušana starp fizisko, digitālo un bioloģisko sfēru.

Ceturtā industriālā revolūcija, kas pazīstama arī kā Lietu internets, nozīmē nozares pilnīgu datorizāciju, kuras galvenais princips ir savienot mehānismus un to sistēmas, lai veidotos viedie tīkli kopējā ķēdē, kuri var organizēt, kontrolēt pašvadītus ražošanas procesus, apstrādāt liela apjoma informāciju, kas kopumā palīdz analizēt un optimizēt ražošanu.

Ceturtajai industriālajai revolūcijai ir milzīga ietekme uz sabiedrību, pasaulē notiekošajiem procesiem un to attīstību. Tās ietekme uz cilvēku dzīvi un valsts procesiem būs pat lielāka nekā pirmajai industriālajai revolūcijai. Tā ietekmēs izglītības un veselības aprūpes sistēmas darbu, komunikāciju, pašizpaušmi, informācijas saņemšanas paradumus, dzīvesveida paradumus un ceļošanas veidus. Ceturtā industriālā revolūcija ir ne tikai "gudrās rūpnīcas" un globālā digitalizācija, bet arī viedtālruni, nanotehnoloģijas, atjaunojamie enerģijas avoti, viedās pilsētas, roboti, pašgājēji automobiļi, 3D printeri.

## 1.2. Ceturtās industriālās revolūcijas galvenie elementi

Ceturtā industriālā revolūcija atšķiras no iepriekšējām revolūcijām vairākos svarīgos aspektos, un to var raksturot ar šādām galvenajām iezīmēm (skatīt 1.3. attēlu):

**Sociālie mediji.** Sociālie mediji no tradicionālajiem plašsaziņas līdzekļiem, piemēram, televīzijas vai radio, atšķiras savā komunikācijas stilā. Saziņa, izmantojot sociālos medijus, ir interaktīva un digitāla. Sociālo mediju piemēri ir Facebook, Xing vai WhatsApp, un to vislielākais ieguvums ir spēja viegli apmainīties ar informāciju starp lietotājiem un ierīcēm. Attīstīto valstu rūpniecībā šos medijus izmanto komunikācijai starp uzņēmumiem. Sociālie mediji veido uzņēmuma tēlu un nodrošina piekļuvi informācijai visā pasaulē.

**Starpdisciplināritāte.** Starpdisciplināritāte jāsaprot kā zinātnes disciplīnu, kas ir neatkarīgas viena no otras, kombinācija. Dažādas lēmumu pieņemšanas stratēģijas ir saistītas un tiek izmantotas, lai iegūtu vislabākos rezultātus. Ceturtā industriālā revolūcija balstās uz sinerģiju starp vairākām zinātnes disciplīnām, piemēram, mehatronika ir radusies, apvienojot mehāniku un elektroniku, papildinot tās ar zināšanām par vadību un informācijas tehnoloģijām.

**Virtualizācija.** Virtuālā vidē tās lietotāji var labāk pārvaldīt resursus bez reālām iekārtām un labāk izprast to darbību un pārvaldības principus. Šos principus var pārnest arī uz ražošanu. Programmavadiības vide, CNC iekārtu virtualizācija arvien vairāk tiek pielietota ražošanas procesos, lai simulētu to digitālo pārvaldību. Virtualizāciju var izmantot arī kā uzņēmuma tehnoloģisko procesu simulāciju.

**Mākoņtehnoloģijas ir interneta pakalpojumu apvienojums,** kas savieno informācijas resursus un programmatūru uz dažādiem serveriem, dodot iespēju lietotājiem piekļūt datiem no dažādām vietām. Mobilā skaitļošana kļūst arvien svarīgāks faktors datora, ieskaitot mobilo sakaru, aparatūras un programmatūras darba transportēšanā. Piekļuvei uzņēmuma datiem un lietojumprogrammām jebkurā situācijā jābūt pēc iespējas vienkāršākai. Tas nākotnē varētu kļūt par standartu visos uzņēmumos. Šobrīd šīs jomas attīstību kavē salīdzinoši zemais mobilā interneta ātrums, drošības standartu trūkums un pārāk zemais sīkierīču akumulatora darbības laiks.

**Viedie objekti.** Par viediem jeb gudriem objektiem var saukt, piemēram, materiālus, atsevišķas daļas, kuras aprīkotas ar digitālo atmiņu datu nesēju veidā. Tas ir nepieciešams, lai identificētu un aprakstītu šos objektus. Šim procesam, piemēram, tiek izmantoti svītru kodi vai radiofrekvenču identifikācijas mikroshēmas, kas ir ievietotas skeneros un datoros (1.2. attēls).



1.2. attēls. Radio frekvenču identifikācijas mikroshēma (RFID)



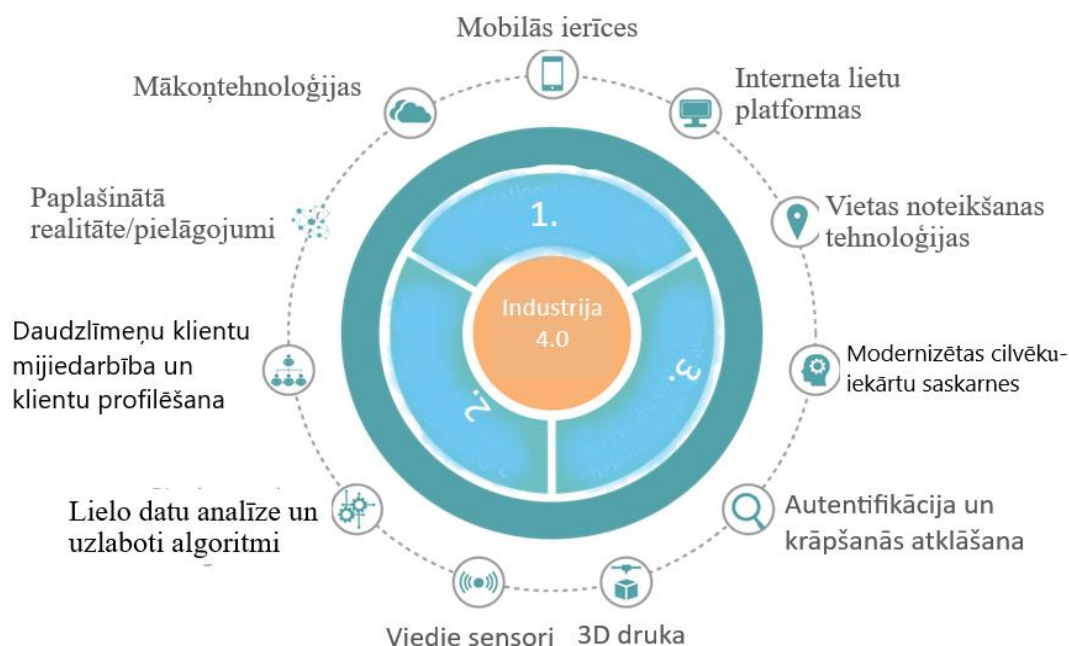
**Lietu internets.** Internets no plašsaziņas līdzekļa ir kļuvis par informācijas apmaiņas vietu, izmantojot interaktīvus savienojumus starp cilvēkiem un ierīcēm. Lietu internets ir piemērots risinājums jebkura veida objektu apvienošanai vienā digitālajā tīklā, ar kura palīdzību notiek vides un iekārtu komunikācija. Tādā veidā ierīces un detaļas reālā vidē tiek integrētas virtuālajā vidē. Līdz ar to resursi tiek izmantoti efektīvāk, un tiek panākta augstāka ražošanas efektivitāte un samazinātas pakalpojumu sniegšanas izmaksas. Lielākais izaicinājums lietu internetā ir vienvirziena komunikācijas standarta izveide starp sistēmām.

**Lielie dati.** Interneta tehnoloģiju turpmākajā attīstībā būtiska ir lielo datu apkopošana, uzglabāšana un analīze. Lielie dati raksturo globālo tendenci, kur strauji pieaug lielu datu apjomi. Lielo datu izmantošanas vērtība ražošanas procesā balstās uz to, ka šos datus var izmantot rūpniecisko procesu automatizācijā, vizualizācijā un analīzē.

**Analīze un optimizācija.** Tās mērķis ir iegūt lielāko vērtību no lieliem un sarežģītiem datiem. Tāpēc ražošanā datu kvantitatīvā apstrāde un analīze kļūst arvien svarīgāka. No lielā datu apjoma nepieciešamā informācija tiek iegūta, izmantojot statistikas metodes. Lielie dati ietver nestrukturētus datus, tādēļ to analīze var sniegt jaunas zināšanas, piemēram, procesu optimizāciju, izmantojot jaunas metodes, rīkus un atpazīšanas teorijas.

**Kiber-fiziskās sistēmas** ir sistēmas, kur dators sazinās ar fiziskām (reālām) ierīcēm un pārvalda tās. Viedais kontrolieris patstāvīgi pārvalda produkciju un kontrolē ražošanas procesus, piemēram, viedais kontainers ar videosensoru tehnoloģiju palīdzību uzrauga iekārtas uzpildes līmeni un organizē savlaicīgu atkritumu likvidēšanu. Pamatojoties uz datorprogrammas spēju mācīties un pieņemt lēmumus, tiek uzskatīts, ka ilgtermiņā nepastāvēs atšķirības starp mākslīgo un reālo intelektu.

**Gudrās jeb viedās rūpnīcas** atspoguļo jaunu izpratni par interneta izmantošanu ražošanā, kad cilvēki, iekārtas un to komponentes sazinās savā starpā, izmantojot internetu. Gudrā ražošana pozitīvi ietekmē vidi, samazina piesārņojumu, samazina piegādes izmaksas, ražo un izmanto enerģiju decentralizētā veidā, un palielina ražošanas produktivitāti.



1.3. attēls. Industrijas 4.0 pamattehnoloģijas

### 1.3. Ceturtā industriālā revolūcija ražošanā

Galvenā atšķirība starp ceturto industriālo revolūciju un datorizēto ražošanu ir akcents uz cilvēku. Ceturtā industriālā revolūcija cilvēku izvērza ražošanas centrā ar jaunām atbalsta sistēmām, kas palīdz organizēt un vadīt sarežģītus ražošanas procesus. Kaut arī ceturtais industriālās revolūcijas metodes tiek vizualizētas un analizētas automātiski, tomēr lēmumu pieņem cilvēks pats.

Ražošanas izpildes sistēma (Manufacturing Execution System, MES) ir viens no svarīgākajiem elementiem ceturtajā industriālajā revolūcijā. MES ir datoru programmatūras iekārtu sistēmas, kas veic virkni funkciju, kas saistītas ar ražošanas procesa vadību. MES savāktie dati ražošanas procesā ļauj novērtēt iekārtas, izejvielas, cilvēkus, izmaksas un veiktspēju. Šie dati tiek apstrādāti un iesniegti plānotajam kā informācija lēmumu pieņemšanai. MES sistēmas rada vertikālu un horizontālu ražošanas integrāciju, kas ir priekšnoteikums gudrai rūpnīcai.

Nākamais solis ceturtajā industriālajā revolūcijā apstrādes rūpniecībā ir sakaru un saskarņu standartu izveide. Informācijas apmaiņa starp cilvēkiem un ierīcēm joprojām tiek veikta, izmantojot patentētus datu formātus, kas neaizsargā pret datu nesēju pārtraukumiem un datu zudumiem. Šī problēma ir atrisināta, izmantojot MES sistēmu, kurā ir uzstādīts tīkla mezgls. Kā daudzvalodu tulkotājs viņš centralizēti regulē komunikāciju, automātiski veic datu apstrādi, apvieno komunikācijas un datu līnijas.



1.4.attēls. Industry 4.0 mērķi un uzdevumi

## 1.4. Ceturtās industriālās revolūcijas riski un izaicinājumi

Ceturtās industriālās revolūcijas galvenās problēmas ražošanā ir saistītas ar šādiem aspektiem:

**Standartizācija un programmatūras arhitektūra.** Ceturtā industriālā revolūcija nozīmē visa ražošanas procesa, no izejmateriālu līdz produktu izsekošanai, integrāciju tīklā. Šobrīd nav izstrādāta visaptveroša programmatūras arhitektūra, tādēļ programmatūras tiek izstrādātas individuāliem klientiem un ir samērā dārgas.

**Zināšanas par sarežģītām sistēmām.** Produkti un to ražošanas sistēmas kļūst arvien sarežģītākas. Pareizi plānošanas modeļi ir tas pamats, kas var palīdzēt apgūt pieaugošo sarežģītību. Bet šodien nav pietiekami daudz metožu un rīku šādu modeļu izveidei. Ir nepieciešams reorganizēt ekonomiskās, sociālās un politiskās sistēmas, jo tās vairs nav aktuālas un vēl mazāk atbilst nākotnes vajadzībām. Šobrīd mēs vairs neesam apmierināti ar nelielām izmaiņām vai nelielām reformām - mēs esam pievērsuši uzmanību galvenajām inovatīvajām izmaiņām.

**Viedā tīkla infrastruktūra rūpniecībai.** Būtiska prasība ceturtajai industriālajai revolūcijai ražošanā ir drošs, kvalitatīvs sakaru tīkls, kas tiek papildināts ar viedo interneta infrastruktūru. Dati tiek pārsūtīti tīklā, izmantojot kabeli vai bezvadu tīklu, tostarp 5G tehnoloģiju.

**Drošība.** Datu un iekārtu drošība un aizsardzība pret ļaunprātīgiem uzbrukumiem ir svarīgs faktors, lai panāktu gudro ražošanas sistēmu panākumus. Pirmkārt, iekārtas un produkcija nedrīkst apdraudēt cilvēkus un vidi, un, otrkārt, iekārtās glabātie dati un informācija ir jāaizsargā pret neatbilstošu izmantošanu un neatļautu piekļuvi. Šim nolūkam jāievieš integrētas uzglabāšanas struktūras un unikāli identifikācijas instrumenti.

**Izglītība un profesionālā attīstība.** Darbinieku uzdevumi un zināšanas ceturtajā industriālajā revolūcijā krasi mainīsies. Šobrīd ir pārāk maz apmācību par Industriju 4.0.

**Tiesību normas.** Ceturtās industriālās revolūcijas ražošanas procesiem un viedajiem tīkliem jāatbilst valstī spēkā esošajiem normatīvajiem aktiem. Problēmas ir ar uzņēmuma datu aizsardzības jautājumiem, atbildības deleģējumiem, tirdzniecības ierobežojumiem, jo īpaši saistībā ar ES personas datu aizsardzības direktīvas stāšanos spēkā. Trūkst ne tikai likumdevēja atbalsts, bet arī visu nozares dalībnieku iesaistīšanās: kopēju pārvaldības principu noteikšana, testēšanas līgumu apstiprināšana, pašregulācijas instrumentu, piemēram, revīzijas saskaņošana, kā arī daudzu citu piemērotu instrumentu.

**Resursu patēriņa efektivitāte.** Viens no faktoriem, kas ierobežo ceturto industriālo revolūciju ražošanā, ir augstais enerģijas patēriņš. Lai gan daudzi objekti ir savienoti ar sakaru tehnoloģiju, viņu darbs ir atkarīgs no tīklu energoapgādes. Līdz šim sensoru, rīku un sakaru protokolos nav pievērsta pienācīga uzmanība enerģijas taupīšanas aspektam.

## 2. APSTRĀDES IEKĀRTAS

### 2.1. Iekārtas virpošanai

#### 2.1.1 Virpas

Virpošanas grupas mašīnas plaši izmanto ražošanas uzņēmumi. Virpas bieži veido no 25 līdz 50 procentiem no kopējām pieejamajām darbmašīnām. Virpas tiek izmantotas, lai apstrādātu rotējošo ķermeņa formu detaļas. Tās var izmantot, lai apstrādātu ne tikai ārējo un iekšējo kontūru, bet arī detaļu priekšpusi un aizmugures, un gala virsmas. Šīs virsmas var būt dažādas formas: cilindriskas, konusveida, spirālveida.

Virpu tehnoloģiskās iespējas ir atkarīgas no to konstrukcijas, aprīkojuma, precizitātes klases, jaudas un ciparu vadības sistēmas. Mūsdienu mašīnām ir dažādas konstrukcijas, to vadotnes var būt slīpas vai vertikālas, tām var būt revolvergalvas vai nomaināmas instrumentu turētāju ligzdas, kas ļauj mainīt virpošanas instrumentus, pamatojoties uz programmu. Dažām CNC mašīnām ir papildu gareniskās frēzēšanas iekārtas. Tās izmanto, lai detaļas apstrādātu līdzīgi kā uz revolvervirpas.

Virpu grupa sastāv no šādiem galvenajiem mašīnu veidiem: vienkāršās virpas, universālās virpas, ciparu vadības virpas, revolvervirpas, daudzfunkcionālās, karuseļa, detaļu galu apstrādes, automātiskās un pusautomātiskās virpas, un dažādiem speciāliem uzdevumiem pielāgotas virpas. Virpās izmanto dažāda veida apvirpošanas un izvirpošanas instrumentus, rievu virpošanas instrumentus, urbjus, gredzenurbjus, rīvurbjus, vītņu griežņus, vītņurbjus, vītņu formēšanas un citus instrumentus. Katrs mašīnas veids atšķiras atkarībā no apstrādāto detaļu izmēriem un citiem parametriem, piemēram, vārpstu skaita.

**Vienkāršās virpas** ir universālas vienkāršota dizaina virpošanas mašīnas. Atšķirībā no citām iepriekš pieminētajām, tām nav piedziņas skrūves. Šīs mašīnas nevar izmantot, lai izveidotu vītņotas virsmas ar viena punkta vītņgriešanas instrumentiem.

**Universālās virpas** var izmantot, lai izpildītu visus iepriekš minētos virpošanas darbus, ieskaitot vītņu griešanu ar vītņgriešanas griezni. Tādēļ tās sauc arī par virpošanas - vītņgriešanas mašīnām (2.1 attēls).



2.1 attēls. Universālā virpa OPTItturn TU 2304  
(Optimum Maschinen Germany GmbH)



2.2 attēls. Ciparu vadības virpa OPTItturn  
L44 (Optimum Maschinen Germany GmbH)

**Mūsdienīgu ciparu vadības virpu** (2.2 attēls) dizains ir ļoti atšķirīgs. Mašīnas ir aprīkotas ar datorizētām ciparu vadības sistēmām ar lineāro un loka interpolāciju, vītņu

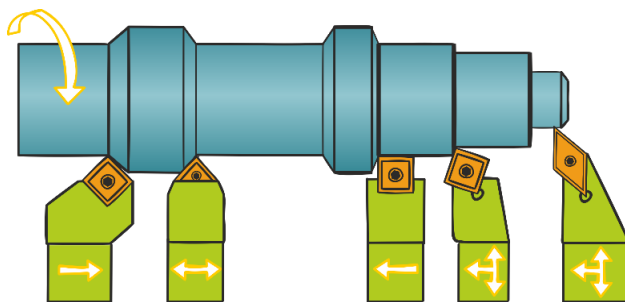
griešanas iekārtām, kas nodrošina mašīnām lielu tehnoloģisko potenciālu. Mašīnas var izmantot, lai apstrādātu sarežģīta profila paraugus, griezt vītņi ar vītņgriešanas griezni, kā arī, lai pielāgotu instrumenta griešanas malas stāvokli. Ja tiek izmantotas ciparu vadības virpas, tad var sasniegt 7. precizitātes kvalitāti (IT7) un virsmas raupjumu līdz  $Rz = 6...12 \mu m$ . Pēc sarežģītas virsmas apstrādes tiek panākts virsmas raupjums līdz  $Rz = 20 \mu m$ . Vītņes precizitātes pakāpe ir 4h...6g. Pamatojoties uz mašīnas potenciālu, dažos gadījumos var sasniegt vēl augstāku precizitāti.

**Revolvertvirpas** (2.3 attēls) tiek izmantotas īsu detaļu izgatavošanai, parasti izmantojot stieņa materiālu. Būtiska dizaina atšķirība no universālajām virpām ir tā, ka to aiz mugurējo atbalstu (pakaļējo balstu) aizstāj ar revolvertgalvu, kuras ligzdas izmanto, lai to pielāgotu virpošanas instrumentiem, urbjiem, gredzenurbjiem, vītņurbjiem u.c., pamatojoties uz detaļu apstrādes tehnisko kārtību.



2.3 attēls. Revolvertvirpa  
(PracticalMachinist.com)

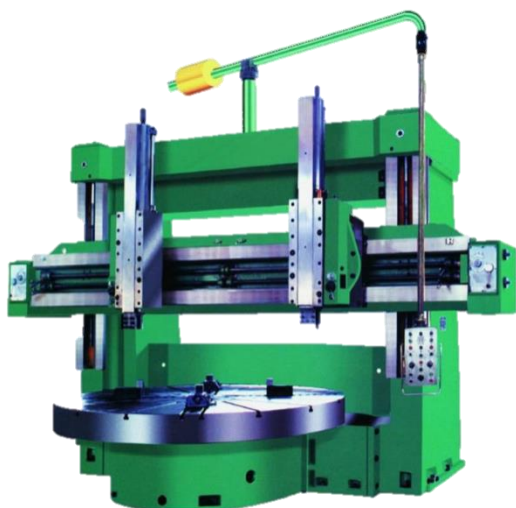
**Daudzfunkcionālās virpas** ar daudzfunkcionālu viena punkta instrumentu turētājiem ļauj apstrādāt detaļas vairākas virsmas vienā iestatījumā. Visu instrumentu kopējais griešanas dziļums parasti nedrīkst būt lielāks par 30-40 mm (2.4 attēls).



2.4. attēls. Detaļu apstrāde ar daudzfunkcionālo instrumentu virpu

**Vertikālās urbšanas un virpošanas mašīnas** (karuselvirpas) tiek izmantotas, lai apstrādātu smagus spararatus, skrituļus un citas līdzīgas detaļas (2.5 attēls). Viena no karuselvirpu iezīmēm ir tā, ka tās ir aprīkotas ar horizontālu rotējošo galdu. Šīs mašīnas ir vertikālas, un sagataves atrodas uz rotējoša galda, kas rotē ap vertikālo asi, un griezējinstrumenti atrodas uz vertikāliem un sānu balstiem.





2.5. attēls. CK5250 karuseļvirpa (Zhengzhou Wonlon Machinery)

**Priekšpusēs gala virsmas virpošanas** virpas tiek izmantotas, lai apstrādātu liela diametra detaļas (līdz 6000 mm), bet salīdzinoši īsā garumā, piemēram, spararatus, turbīnu diskus, atlokus un citas līdzīgas detaļas (2.6 attēls). Atšķirībā no universālajām virpām, šīs mašīnas ir aprīkotas ar īsu pamatni, bet parasti tām nav pakaļējā balsta. Pamatā tās izmanto priekšpusēs gala virsmu virpošanai (apdarei).



2.6. attēls. CK64160 priekšpusēs gala apstrādes virpa (KAIDA)

**Speciālas virpas** tiek izmantotas ļoti specializētiem darbiem: lai virpotu cauruļu galus, vagonu riteņpārus, kronšteinu diskus, garas sadales vārpstas, izciļņu un sloģošanas vārpstas u.c. (2.7 attēls). Šāda veida mašīnām ir dažādi izmēri, sākot no mazākajām, kas tiek izmantotas pulksteņu un ierīču rūpniecībā, līdz smagās rūpniecības mašīnām, ko var izmantot, lai apstrādātu detaļas, kuru izmērs ir 1600 mm diametrā un 16 000 mm garumā, vai dažreiz pat garākām detaļām.



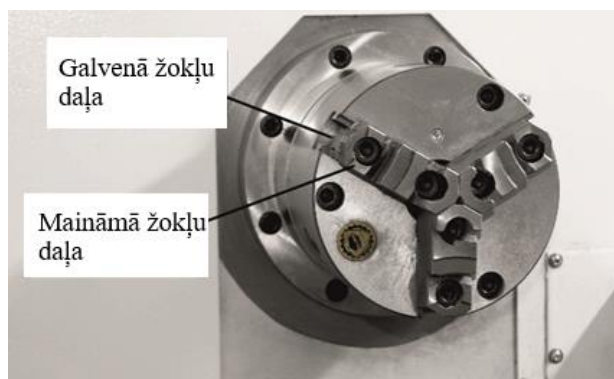
2.7 attēls. Pielāgota virpa ar četriem kustīgiem atbalstiem A-1600 4G (apstrādātās sagataves garums var būt līdz 15000 mm, diametrs - 1300 mm, masa - 15 t un spīļpatronas cauruma diametrs - 550 mm) (Gurutzpe)

Liela apjoma un masveida ražošanā tiek izmantotas dažādas automātiskās un pusautomātiskās virpas. Konstruktijas var būt atšķirīgas: vienas vārpstas un vairāku vārpstu automātiskās un pusautomātiskās virpas, revolvera tipa automātiskās skrūvju ražošanas, automātiskās kontūra apvirpošanas un griešanas mašīnas, automātiskās formas garenvirpošanas virpas utt.

### 2.1.2 Virpoto sagatavju pozicionēšana un stiprināšana

Virpošanas laikā sagataves var nostiprināt spīļpatronās, centros, virpošanas cangās un uz priekšējās atbalsta plāksnes. Lai nofiksētu sagataves virpās, visbiežāk tiek izmantotas pašcentrējošās trīšžokļu patronas (2.8 attēls).

Parasti trīšžokļu patronās tiek nofiksētas sagataves, kuru garuma un diametra attiecība ir  $l / d \leq 4$ . Ja tiek virpotas garākas sagataves, tās var atbalstīt ar aizmugurējā balsta rotējošo vai nerotējošo centra piespiedēju.



2.8. attēls. Trīšžokļu patrona

Četrus žokļu patronas izmanto, lai nostiprinātu regulāra šķērsriezuma sagataves ar četrām vai astoņām malām. Komplicētas formas sagataves dažreiz tiek nostiprinātas, izmantojot divu, sešu, astoņu žokļu patronas. Virpošanas žokļu saspiešanas spēks ir jāneregulē tā, lai apstrādājot sagataves, nebūtu deformācijas (piem., plānsienu izstrādājumu apstrādes laikā), bet pietiekami, lai pārvadītu griezes momentu, kas pārspēj griešanas spēka reakciju.



## PRAKTISKI PADOMI:

Lai apstrādātu augstas precizitātes detaļas, patronas žokļus pielāgo virpotās sagataves diametram.

CNC (ciparu vadības - saīsinājums no angļu valodas “computer numerical control”) virpās var izmantot hidrauliskās vai pneimatiskās spīļpatronas. Šīs spīļpatronas var vadīt gan ar programmas kodiem, gan ar pagriežamu slēdzi uz operatora vadības paneļa, kā arī ar pedāli, kas atrodas tieši pie darbgalda. Spīļpatronas vieglāk vadīt ar pedāli, ja operators manuāli maina vai apgriež sagataves.

Lielākajā daļā CNC virpu ekrānā parādās ziņojums par to, ka spīļpatrona ir aizvērta (Chuck closed – angl.), kas nozīmē, ka sagatave ir iespīlēta, un tiek parādīts ziņojums, ka spīļpatrona ir atvērta (Chuck opened – angl.) - sagatave atbrīvota. Šim nolūkam vadības panelim ir slēdzis, kurš jāpārslēdz vajadzīgajā pozīcijā atkarībā no tā, kura virsma - iekšēja vai ārējā, tiks iespīlēta.

Spīļpatronas vadība, izmantojot programmu kodus, ir ērta tajos gadījumos, kad mašīnas ir aprīkotas ar stieņa vai caurules padeves iekārtu. Šajā gadījumā darbgaldā apstrādātā sagatave tiek atdalīta ar nogriešanas instrumentu, bet nākamā apstrādājamā sagatave tālāk tiek apstrādāta pēc tam, kad padeves iekārta pabīda stieni noteiktā attālumā. Šeit vadības programmu kodi tiek izmantoti ne tikai, lai kontrolētu stieņa padevi, bet arī spīļpatronas iespīlēšanas un atvēršanas ierīci.

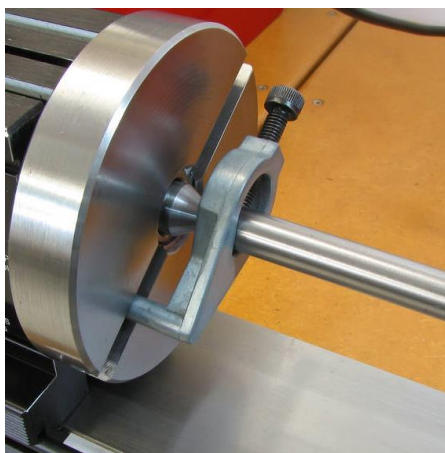
Vadības programmas tiek izmantotas, lai ērti vadītu CNC virpas ar papildus patronu. Šajā gadījumā operatoram ir nepieciešams tikai iestiprināt sagatavi galvenajā patronā un palaist programmu. Viņam nav nepieciešams apgriezt sagatavi manuāli. Mašīnas darbības cikls ir šāds: sagataves apstrāde galvenajā spīļpatronā – papildu patronas atvēršana – tuvināšana sagatavei – rotācijas sinhronizācija ar galveno patronu un aizvēršana – sagataves nogriešana – papildus patronas pārvietošana uz otru apstrādes zonu – sagataves apstrāde no otras puses – programmas beigas. Papildus patrona var veikt arī stieņu padeves iekārtas funkciju mašīnā. Šajā gadījumā mašīnas ir pilnībā automatizētas, un operatoram nav nepieciešams mainīt sagataves.

CNC mašīnās spīļpatronu spīļu iespīlēšanas spēks tiek pielāgots, mainot eļļas vai gaisa spiedienu, izmantojot īpašu regulatoru. Parasti iespīlēšanas spēks ir fiksēts un paliek nemainīgs visu apstrādes laiku. Tomēr reizēm, piemēram, apstrādājot plānsienas sagataves, ir jāmaina patronu spīļu iespīlēšanas spēks, lai novērstu sagataves deformāciju.

Tādā pašā veidā, kā universālām virpām, ciparu vadības darbgaldiem var būt arī aizmugurējais atbalsts, kas tiek izmantots, lai atbalstītu garas sagataves, tomēr, ne visos gadījumos. Papildu patrona arī darbojas kā aizmugurējais atbalsts.

Ja izstrādājuma garuma un diametra attiecība  $l/d = 4..10$ , parasti sagatave tiek nostiprināta starp centriem, un griezes moments tiek pārnests no vārpstas uz izstrādājumu, izmantojot kādu no palīgierīcēm - vadošo plāksni vai līdzņēmēju (2.9. attēls).

Šim nolūkam centrēšanas caurumi tiek urbti ar centrēšanas urbi, un sagatave tiek nofiksēta starp darbgalda centriem.



2.9. attēls. Vadītāja plāksne un līdzņēmējs

Virpojot plānsienu detaļas, kur  $l/d > 10..12$ , tiek izmantoti papildu sagataves atbalsti – linetes (steady rest – angl.) (2.10 attēls), lai samazinātu deformāciju, ko izraisa griešanas spēki. Tos arī izmanto, lai atbalstītu garo vārpstu galus sagataves apgriešanas laikā, urbšanas vai caurumu izvirpošanas apstrādes ciklos. Kustīgās (pārvietojamās) linetes atbalsts ir piestiprināts pie darbgalda garenvirziena kustīgā rāmja, bet nekustīgās linetes balsts – uz darbgalda pamatnes.



2.10. attēls. Linetes balsts

(PracticalMachinist.com)

Gredzenu ārējā diametra apstrādes, ieliktnu u.tml. detaļu ar aksiālo caurumu virpošanas laikā, tie var tikt fiksēti, izmantojot dažāda dizaina tapņus. Tapņi parasti ir izgatavoti nedaudz konusveida (koniskums  $K = 1/200-1/400$ ). Lai nostiprinātu sagatavi, tiek izmantotas tapņu pneimatiskās vadības iekārtas, kas atrodas netālu no mašīnām. Var izmantot arī atsperu tapņus ar elastīgiem elementiem (izspiežamos tapņus). Lielas neregulāras formas sagataves var nostiprināt uz priekšējām stiprināšanas plāksnēm (2.11 attēls). Priekšējā stiprināšanas plāksne ir nostiprināta spīļpatronā vai tieši uz darbvārpstas gala, un griežas kopā ar to. Detaļu pozicionēšanas precizitāte ir atkarīga no mērinstrumenta precizitātes. Parasti šo pozicionēšanu pielieto iekšējo sagatavju virsmu urbšanā. Priekšējās stiprināšanas plāksnes nevar izmantot lielā rotācijas ātrumā inerci spēku dēļ, kas rodas rotācijas laikā.



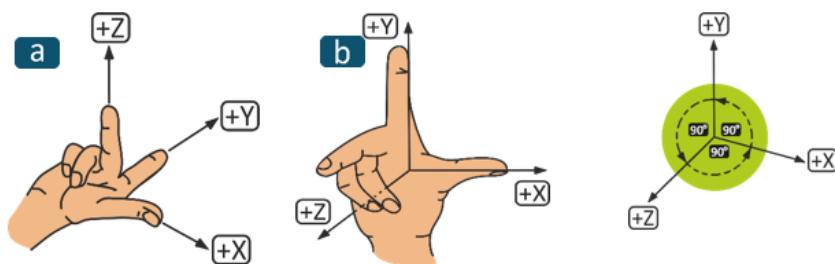
2.11. attēls. Priekšējā plāksne (Metalworkers Workshop)

### 2.1.3 CNC virpu, sagataves un instrumentu izmēru koordinātu sistēmas

#### Mašīnas koordinātu sistēma

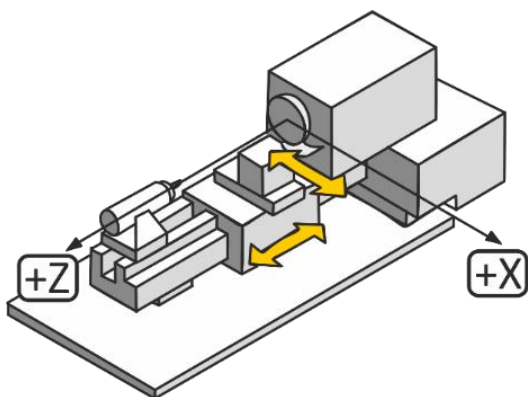
Lai noteiktu konkrētu punktu vietu mašīnas telpas darbības zonā, jāizvēlas koordinātu sistēma. Parasti tiek izmantota trīsdimensiju Dekarta koordinātu sistēma. Tā sastāv no trim savstarpēji perpendikulārām X, Y un Z asīm, kas krustojas vienā punktā. Pozitīvs koordinātu asu virziens ir noteikts, izmantojot tā saucamo labās rokas trīs pirkstu likumu. Pamatojoties uz šo noteikumu, labās rokas īkšķis norāda pozitīvu abscisa (X) ass virzienu, rādītājpirksts - pozitīvu ordināta (Y) ass virzienu un vidējais pirksts – aplikācijas (Z) ass virzienu (2.12. attēls). Koordinātu sistēmas orientācija ir individuāla un atkarīga no mašīnas veida, taču Z ass vienmēr sakrīt ar mašīnas darba vārpstas asi. Koordinātu sistēma var būt orientēta jebkurā virzienā (2.12. attēls).

Koordinātu sistēma attiecas uz sagatavi, un programmēšana nav atkarīga no instrumenta vai izstrādājuma kustības virziena. Programmējot vienmēr tiek pieņemts, ka instruments pārvietojas attiecībā pret sagataves koordinātu sistēmu. Tas arī nodrošina saskaņotu programmēšanu, kad detaļa pārvietojas instrumenta vietā.



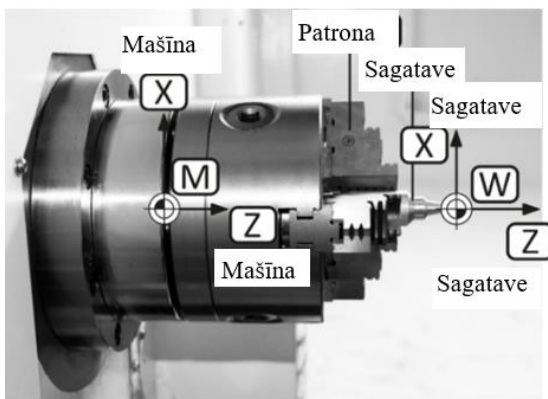
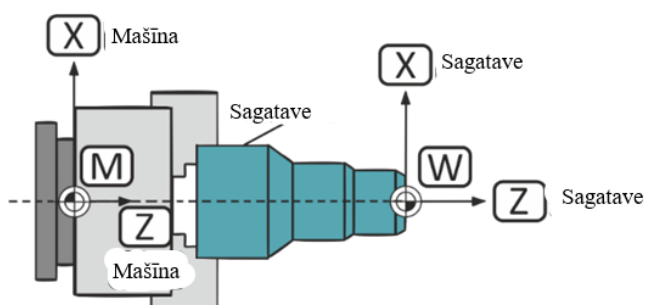
2.12. attēls. Asu virzienu noteikšana telpā: a- pamatojoties uz labās puses principu, lai noteiktu lineāro asu virzienu, b- pagrieztā koordinātu sistēma (pagriezienu gadījumā)

2.13. attēlā parādīts piemērs, kā noteikt koordinātu sistēmu virpām.



2.13. attēls. Koordinātu sistēmas noteikšana virpām

Virpas nulles punkts M ir kopējais virpas koordinātu nulles punkts (2.14.attēls).

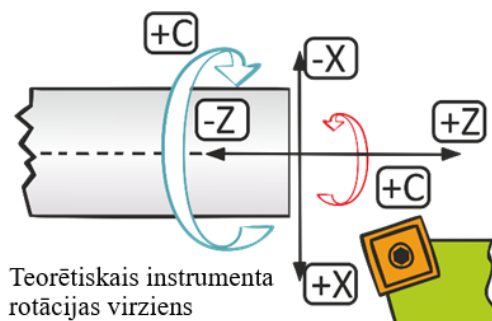


2.14 attēls. Virpas nulles punkts M un sagataves atskaites punkts W

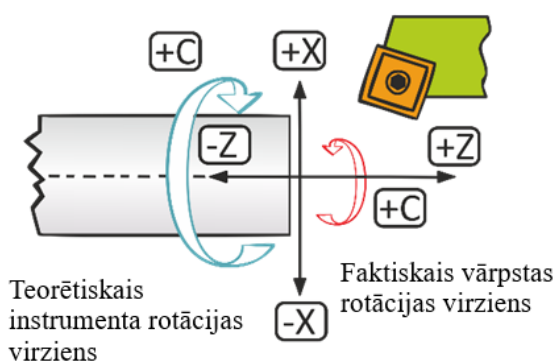
Virpas koordinātu nulles punktu M nosaka darbgalda izgatavotājs, un to nedrīkst mainīt. 2.14. attēlā burts W norāda sagataves nulles punktu. Tas attiecas uz rotējošo ķermeņu sagatavēm kā krustpunkts starp sagataves asi un priekšpuses gala virsmas plakni.

Asu marķējuma pozicionēšanai jābūt tādai, lai virpas instruments pārvietotos prom no apstrādātās sagataves, bīdot to pozitīvās ass virzienā. Tāpēc, pamatojoties uz virpas instrumenta pozīciju attiecībā pret sagatavi, koordinātu sistēmas ir mainīgas (2.15. attēls).

## INSTRUMENTS PRIEKŠĀ ROTĀCIJAS CENTRAM



## INSTRUMENTS AIZ ROTĀCIJAS CENTRA



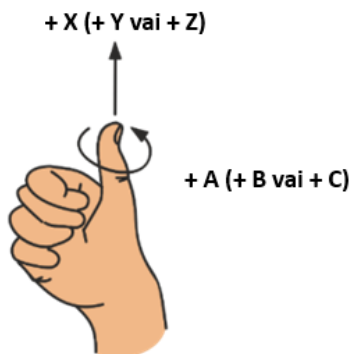
2.15. attēls. Virpas koordinātu asu marķējums un kustības virzienu marķējuma noteikšana

### Detaļu koordinātu sistēma

Lai noteiktu sagataves ģeometriju apstrādes programmā, tiek izmantots labās puses noteikums, lai noteiktu lineāro asu un rotācijas asu virzienus.

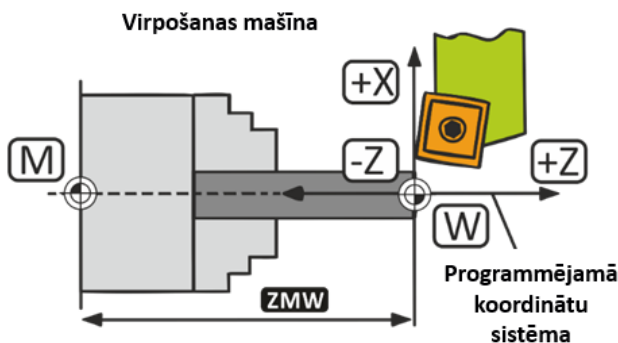
Pamatojoties uz šo noteikumu, ja labās rokas īkšķis ir novietots noteiktas ass virzienā, atlikušie četri savilkto pirksti parāda pozitīvas rotācijas virzienu (2.16. attēls.).

Programmētājs var viegli izvēlēties sagataves nulles punktu “W” uz Z-ass, jo apstrādes procesa ģeometrijas programmēšanas laikā ir neizdevīgi izmantot mašīnas nulles punktu (2.17. attēls). Sagataves X - ass nulles punkts atrodas apvirpojamā izstrādājuma centrā.



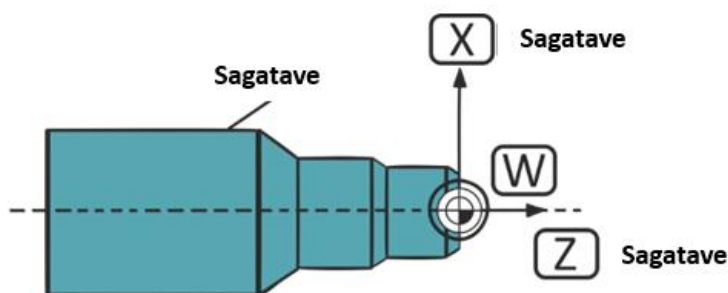
2.16. attēls. Labās rokas noteikums, lai noteiktu rotācijas asu virzienus

Virpojamā izstrādājuma diametrs jāievada programmās kā “X” koordināta. Pozitīvais X-ass virziens norāda instrumenta kustības virzienu. Asu marķējuma novietojums ir pieņemts tāds, ka tad, kad instruments pārvietojas prom no sagataves, tas pārvietojas pozitīvās ass virzienā.



2.17. attēls. Sagataves nulles punkts virpojot

2.18. attēlā parādīts piemērs, kā noteikt sagataves (detaļu) koordinātu sistēmu sagatavei.



2.18. attēls. Koordinātu sistēma un sagataves nulles punkta W pozicionēšana virpojot

### Relatīvā koordinātu sistēma

Papildus darbgalda un sagataves koordinātu sistēmām, vadības sistēmas ekrāns uzrāda arī relatīvo koordinātu sistēmu. Šī koordinātu sistēma tiek izmantota, lai noteiktu iespējamās kontrolpunktus, un neietekmē sagataves koordinātu sistēmas.

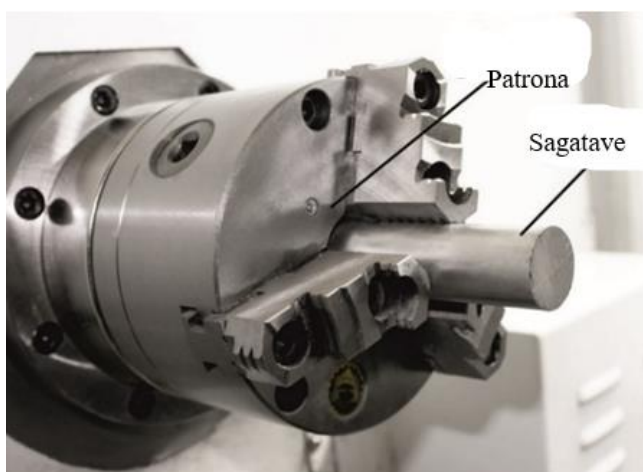
## Sagataves iespīlēšana

Iespīlējot sagatavi darbgaldā virpošanai, tās pozicionēšana ir jāveic tā, lai apstrādes koordinātu asu sistēma pēc iespējas atrastos paralēli mašīnas sistēmai (2.14. attēls), un nebūtiska nesakritība paliek tikai pirmapstrādes stāvoklī. Sagataves koordinātu sistēmas sākumu izvēlas mašīnas operators vai programmētājs. Attālumi starp mašīnas nulles punktu un sagataves (detaļas) nulles punktu tiek saukti par sagataves kompensācijām. Kompensācijas vērtības, kas noteiktas katrai koordinātu sistēmai uz katru asi, reģistrē ciparu vadības iekārtas kompensācijas reģistrs. Tās tiek izmantotas, ja konkrēta koordinātu sistēma tiek aktivizēta ar konkrētu kodu, piemēram, komandu G54.

### PRAKTISKI PADOMI:

Pirms sagataves nulles punkta noteikšanas jānovērtē sagataves uzlaides rupjapstrādei.

Piemērs 2.19. attēlā parāda, kā iespīlēt sagatavi mašīnā.



2.19. attēls. Apvirpojamās sagataves iespīlēšana virpas spīļpatronā.

## Virpošanas instrumenta izmēri

Virpās katra instrumenta griešanas punkts (augšējais) P ir jāsašķir ar detaļas (sagataves) nulles punktu W, t.i., griežņiem ir jābūt saskaņā ar sagataves nulles punktu, kas gandrīz vienmēr tiek izvēlēts sagataves priekšpusē virsmas un asu (vārpstas un sagataves) krustošanās punktā (W punktā). Instrumenta augšējās koordinātes vietā var kontrolēt tikai krustošanās punktu (punkts, kas saskaņojas ar punktu M) starp vārpstas (patronas) asi un priekšpusē virsmu (2.14. attēls).

Pirms apstrādes ir jāizmēra katrs instruments, kurš nepieciešams, jo dažādu instrumentu izvirzījumu garums atšķiras.

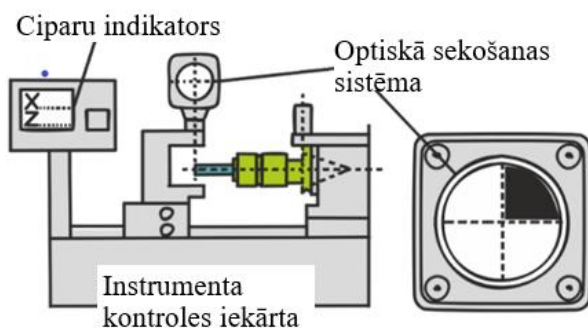
Darbgalda vadības iekārta apstrādes laikā (virpojot) izmanto instrumenta izmērus, lai izveidotu ieprogrammēto sagataves kontūru neatkarīgi no izmantotajiem instrumentiem.



## PRAKTISKI PADOMI:

Pirms instrumentu turētāja iestiprināšanas mērīšanas iekārtā ir jāpārbauda, vai atbalsta virsmas ir tīras un bez asumiem.

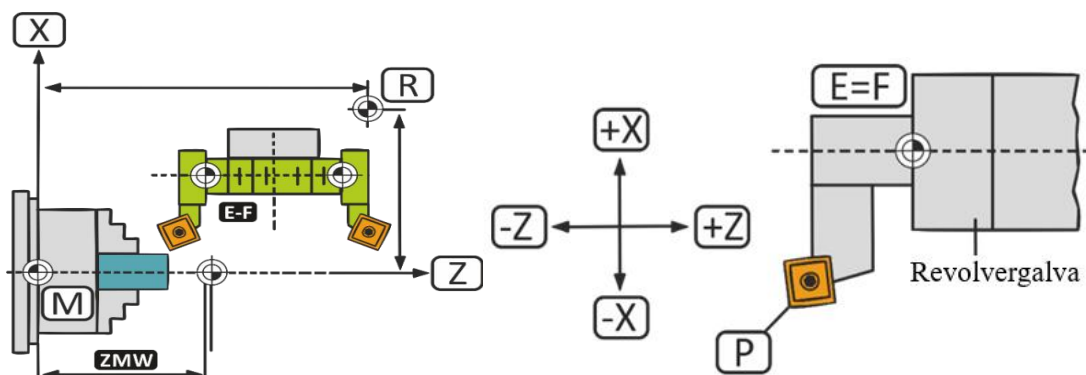
Ja mērījumu veic ārpus darbgalda, piemēram, izmantojot instrumenta iepriekšējās kontroles iekārtu, mērīšana tiek saukta par ārējo instrumenta mērīšanu (2.20. attēls). Instrumenta turētāju ar fiksētu instrumentu ievieto vadības iekārtas adapterī. Adapteris ļauj izmantot dažādus instrumentu veidus.



2.20. attēls. Ārējā instrumenta mērīšana

## Instrumenta turētāja atskaites punkts

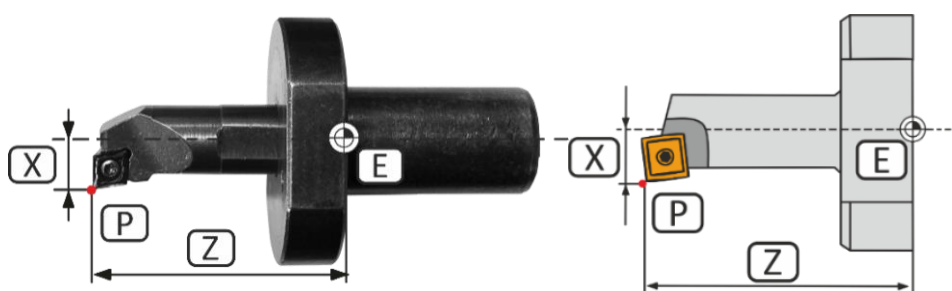
Instrumenta turētāja atskaites punkts F saskaņojas ar ieprogrammētajām koordinātu vērtībām, ja darbgalda vadības iekārtā ņem vērā aprēķinātās instrumentu vērtības korekcijas. Instrumenta turētāja atskaites punkts F (2.21. attēls) ir novietots uz piestiprinātā instrumenta atbalsta virsmas.



2.21. attēls. Instrumenta turētāja atskaites punkts

Attālumu starp griešanas punktu P un instrumenta atskaites punktu E (2.22. attēls) ir jāizmēra un jāievada CNC vadības instrumenta regulēšanas atmiņā, kā vērtības korekciju ar pareizu simbolu un piešķirtu konkrētajam instrumentam. To var veikt manuāli, izmantojot mašīnas vadības tastatūru, vai ievadīt tieši, izmantojot datu pārraides līniju. Ja instrumentu ievieto CNC mašīnā, instrumenta atskaites punkts E saskaņojas ar instrumenta turētāja atskaites punktu F (2.21. attēls).





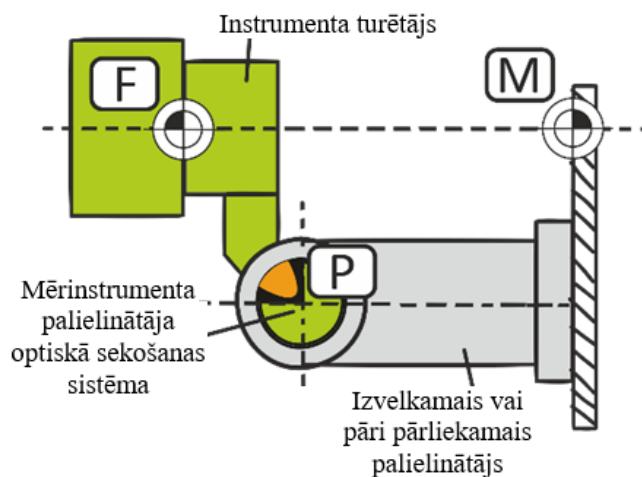
2.22. attēls. Instrumenta piesaistes dati: E – iekārtas atskaites punkts, P – griešanas punkts

Griežot sagatavi, instrumenta turētāja pozicionēšanai jābūt tādai, lai konkrēta instrumenta griešanas punkts P sasniegtu pozīciju, kas pārsniedz programmā norādīto sagataves koordinātu vērtību.

Instrumenta regulēšanas simbolu un regulēšanas izmērus izvēlās tā, lai griešanas punkts P aizņemtu instrumenta turētāja atskaites punktu F.

Dažas mūsdienu CNC virpas ir aprīkotas ar mērīšanas ierīci (piem., optisko sekošanas sistēmu), kas ļauj izmērīt instrumentu darbgaldā (iekšējais instrumentu mērījums) (2.23 attēls).

Katra atsevišķa instrumenta griešanas punkts P parādās zem mērinstrumenta palielinātāja optiskās sekošanas sistēmas. Faktiskais stāvoklis līdz iekārtas nulles punktam M, vai griešanas punkts P, tiek pārsūtīts uz regulēšanas atmiņu, un apstrādes laikā tiek pārrēķināts ar konkrētu instrumentu.



2.23. attēls. Iekšēja instrumenta mērīšana

## PRAKTISKI PADOMI:

Ja tiek mērīts instrumenta garums turētājā (darba punkta attālums no turētāja atskaites plaknes), ļoti svarīgi ir iegūto vērtību ievadīt mašīnas datu bāzē.

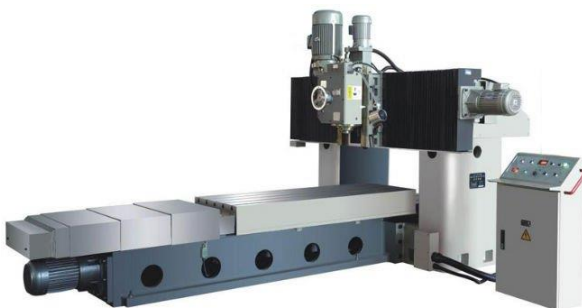
## 2.2. Frēzēšanas iekārtas

### 2.2.1. Frēzēšanas darbgaldi un apstrādes centri

Frēzēšanas darbgaldi tiek izmantoti, lai apstrādātu horizontālas, vertikālas, formas un slīpās virsmas, dažāda veida profilu ķīļus, gropes, izciļņus, spirālveida virsmas, zobratus. Metālapstrādes kompānijās frēzēšanas darbu apjoms ir liels, tāpēc tiek izmantoti dažādi frēzēšanas darbgaldi, kurus var iedalīt vairākos veidos.

Frēzēšana tiek veikta, izmantojot garenvirziena frēzēšanas, rotācijas frēzēšanas, konsolfrēzēšanas, pamatnes tipa, frēzēšanas-kopēšanas, rievu frēzēšanas, ciparu vadāmas un speciālas frēzēšanas mašīnas.

**Garenvirziena frēzēšanas mašīnu** izmanto, lai veidotu plakānu virsmu un sarežģītu profilu no liela apjoma izstrādājumiem, frēzējot plaknes ar cilindriskiem, diska tipa vai speciālas formas griežņiem (2.24. attēls). Atkarībā no vienlaicīgi apstrādāto virsmu skaita, gareniskās frēzēšanas mašīnas ir vienpusējas, divpusējas vai trīspusējas.



2.24. attēls. MG10 gareniskās frēzēšanas darbgalds (JOC)

**Rotācijas frēzēšanas darbgalds** tiek izmantots, lai efektīvi frēzētu plakānas virsmas, parasti ar plaknes frēzēšanas frēzēm produkcijas sēriju apstākļos (2.25. attēls). Šajā nolūkā sagataves tiek iespīlētas speciālās rotējošā galda ierīcēs un frēzētas secīgi, virzot sagataves gar vienu vai vairākiem griezējinstrumentiem.



2.25. attēls. RMW5H:1200 rotācijas frēzēšanas darbgalds (Sakurai)

**Konsolfrēzēšanas darbgaldi** tiek plaši izmantoti mehāniskajās darbnīcās, kā arī instrumentu ražošanas un remonta darbnīcās. Šos darbgaldus sauc par konsolfrēzēšanas, jo to galds ir piestiprināts vertikāli pārvietojamajai konsolei (2.26. attēls).



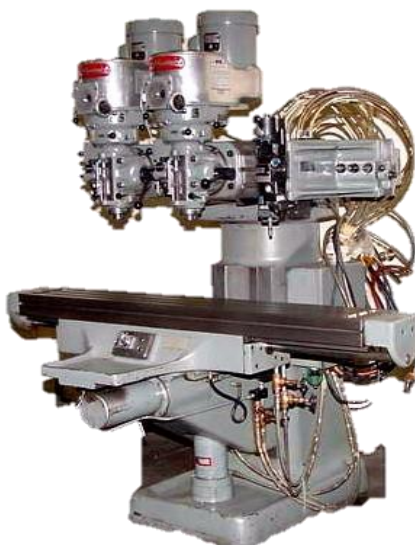
2.26.attēls. UHM30 konsolfrēzēšanas darbgalds (Fortune Pacific Machine Tool Limited)

**Pamatnes tipa frēzēšanas darbgaldos** detaļu apstrādes galds novietots uz stacionāras pamatnes, nevis konsoles, un to var pārvietot tikai garenvirzienā vai šķērsvirzienā (2.27. attēls). Frēzēšanas augstums tiek noteikts, pārvietojot vārpstas galvu pa vertikālajām vadotnēm. Šāda konstrukcija rada ļoti stingru sistēmu. Tādēļ pamatnes tipa frēzēšanas darbgaldi tiek izmantoti, lai apstrādātu lielas korpusa tipa detaļas, pielietojot augstu griešanas ātrumu, apstrādes dziļumu un darba padēvi.



2.27. attēls. OPTImill F150 frēzēšanas darbgalds

**Kopēšanas - frēzēšanas darbgaldi** tiek izmantoti, lai veidotu detaļu virsmu frēzējot, kad virsma tiek kopēta, pamatojoties uz konkrētas formas piemēru, kas pazīstams kā šablons (2.28. attēls).



2.28. attēls. Kopēšanas frēzēšanas iekārta (Bridgeport Machines Ltd)

**Rievu frēzēšanas darbgaldi** tiek izmantoti, lai frēzētu ķīļrievas vārpstās un dažādas rievas detaļās, izmantojot ķīļrievu frēzes un gala frēzes (2.29. attēls).

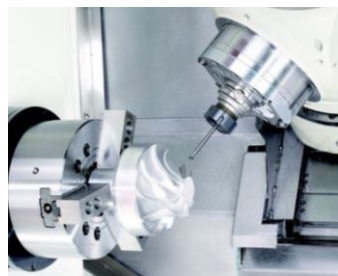


2.29. attēls. AJSL 200 rievu frēzēšanas darbgalds (Ajax Machine Tools).

**CNC frēzēšanas darbgalds** dizains ir būtiski izmainīts salīdzinājumā ar universālajiem darbgaldiem. Daudziem no tiem ir ievērojami stingrāka konstrukcija, tie aprīkoti ar augstas precizitātes gultņiem, un slīdes vadotņu vietā izmanto rites vadotnes. Šīs izmaiņas nodrošina ciparu vadības potenciāla labāku izmantošanu, tiek panākta lielāka apstrādes precizitāte un efektivitāte. CNC frēzēšanas darbgaldi ir aprīkoti ar ciparu vadības iekārtu, un var veikt apstrādi vienlaicīgi vismaz divu koordinātu asu virzienā.

CNC frēzēšanas darbgaldi un apstrādes centri spēj veikt ne tikai frēzēšanas procedūras, bet arī urbšanu, urbumu izvirpošanu, gredzenurbšanu, caurumu izrīvēšanu un vītņu griešanu, ārējo vītņu veidošanu un gravēšanu.

Ciparu vadības frēzēšanas darbgalds tehnoloģiskās iespējas parasti ir atkarīgas no kontrolēto koordinātu skaita. Daudzos darbgaldos tiek izmantotas tikai trīs koordinātas. Tehnoloģiskās darbgalda iespējas ievērojami palielinās, jo vārpstas apgriezieni un instrumenti tiek mainīti automātiski. Šim nolūkam mašīnas ir aprīkotas ar revolvertgalvām vai instrumentu magazīnu. Ja mašīnām ir rotējošais galds, tad pēc apstrādājamā priekšmeta iespīlēšanas var veikt daudz sarežģītākas apstrādes vienā iestatījumā. Tāpēc mūsdienīgu CNC darbgaldus bieži sauc par apstrādes centriem.



2.30. attēls. Piemēri caurumu urbšanai ar CNC frēzēšanas darbgaldiem (DMG MORI Company Ltd)

Kabatu un gropju frēzēšana ir pieejama arī dažādu detaļu formu aksiālajā virzienā. Kontūru, caurumu urbšanu un vītņu formu frēzēšanu var veikt jebkurā aksiālā un radiālā virzienā, kad instruments ir pagriezts izvēlētajā leņķī.

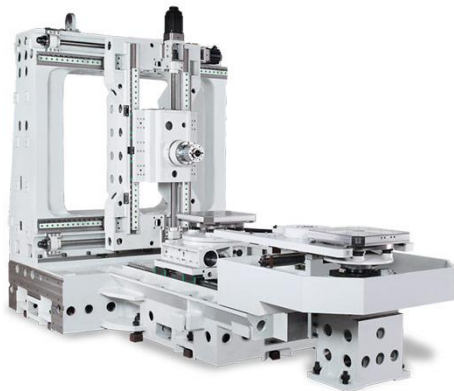
Urbšanu var veikt vertikāli, horizontāli vai citā noteiktā leņķī (2.30. attēls), kā arī iespējama dziļurbumu urbšana. Urbšanas laikā parasti tiek pielietota dzesēšanas šķidruma un smērvielas iekšējā padeve (caur instrumenta atverēm), un dziļurbumu urbšanā - īpaši intensīva dzesēšanas šķidruma padeve (līdz 400 l/min).



*2.31. attēls. OPTImill FU 5-600 HSC piecu asu vertikālais apstrādes centrs  
(Optimum Maschinen Germany)*

Modernus CNC frēzēšanas darbgaldus (apstrādes centrus) var klasificēt šādi:

- pamatojoties uz vienlaicīgi kontrolētu koordinātu asu skaitu - divu, trīs, četrus un piecu asu (2.31. attēls),
- pamatojoties uz vārpstas stāvokli - vertikāli un horizontāli (2.32. attēls).

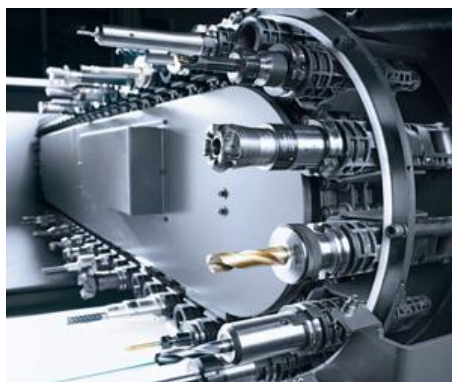


*2.32. attēls. HMX400 horizontālais apstrādes centrs (HURCO)*



CNC darbgaldus un apstrādes centrus var izmantot, lai apstrādātu 6.-7. precizitātes kvalitātes (IT6..7) urbumus un ārējās virsmas. Detaļas darbgaldos var izgatavot ar precizitāti  $\pm 0,0025$  mm, jo lineāro pārvietojumu kļūda ir  $\pm 0,001$  mm. Šos darbgaldus var izmantot, lai apstrādātu īpašas nozīmes detaļas, piemēram, liela mēroga, nesabalansētas ar papildu elementiem, ekscentriskas, plānsienas detaļas, kuras nevar rotēt vai pārvietoties lielā ātrumā, kā arī vienkāršotas formas detaļas, kurām tiek piemēroti maksimāli griešanas režīmi.

Standarta CNC darbgaldu modifikācijās instrumentu magazīnas satur 24, 40, 80 vai 120 instrumentus. Var būt mašīnas, kurām instrumentu magazīnā ir līdz 300 vai vairāk instrumentu (2.33. attēls). Ir lielas rūpnīcas, kur instrumenti tiek apmērīti un uzglabāti noliktavā, bet līdz darbgaldiem tiek piegādāti pa speciālu konveijeru.



2.33. attēls. Apstrādes centru instrumentu magazīnu piemēri. DMU 50 un DMU 70 frēzēšanas darbgaldi, firma DMG MORI

Instrumentu magazīnas novietojums darbgaldā ir atkarīgs no tā instrumentu daudzuma, ko tas satur. Mehāniskās apstrādes laikā mainās instrumenti, jo apstrādes centra dizains nodrošina instrumenta maiņu bez nevajadzīgas vibrācijas, kas varētu ietekmēt apstrādes precizitāti. Apstrādes centros nedrīkst izmantot liela diametra plaknes frēzes, jo tas var traucēt blakus esošām griezējinstrumentu ligzdām.

#### **PRAKTISKI PADOMI:**

Nedrīkst sajaukt instrumentu secību instrumentu magazīnā. Apstrādes laikā griezējinstrumenti, kas ievietoti instrumentu magazīnā, nedrīkst sabojāt izstrādājumu.

Automātisks un nepārtraukts CNC darbgaldu darbs tiek nodrošināts ar griezējinstrumenta resursu vadības funkciju, kas ļauj savlaicīgi nomainīt nolietoto griezējinstrumentu, negaidot, kamēr sāksies to paātrināts nodilums vai tas salūzīs.

Turklāt apstrādes centri var tikt aprīkoti ar vairākām papildu iekārtām, piemēram, izgatavoto detaļu konveijeriem, apstrādes skaidu konveijeriem, instrumentu kalibrēšanas iekārtām, aktīvās vadības iekārtām (detaļu mērīšanai apstrādes laikā), iekārtām, kas paredzētas sagatavju novietošanai apstrādes zonā un gatavo detaļu paņemšanai bez cilvēka līdzdalības, iekārtas automātiskai ugunsgrēka novēršanai

griešanas zonā utt.

Speciālais frēzēšanas darbgalds arī ir **metāla gravēšanas darbgalds** (2.34. attēls).



2.34. attēls. MT-M3636 metāla gravēšanas darbgalds (MORN)

### 2.2.2. Apstrādājamo detaļu izvietojs un stiprināšana frēzēšanas darbgaldos

Lai nodrošinātu apstrādājamās detaļas precizitātes un raupjuma prasības, sagatavei jāatrodas iespīlēšanas ierīcē stingrā un stabilā veidā (produkcijas sērijveida apstrādē tai jāatrodas arī precīzi tajā pašā vietā). Iespīlēšanas ierīce ir piestiprināta darbgalda apstrādes galdam. Iespīlēšanas ierīcei ir divi galvenie uzdevumi sagataves apstrādē:

- nodrošināt precīzu un nepārtrauktu bāzes virsmu, kur pirms apstrādes varētu novietot sagatavi;
- novērst to, ka sagatave, apstrādes laikā, var izkustēties iekārtas iekšienē, jo apstrādājot rodas griešanas spēki.

Abas šīs prasības ir svarīgas, lai nodrošinātu precizitāti un atkārtojamību. Ja apstrādes laikā sagatave novirzās vai kustas ierīces iekšienē, to nav iespējams precīzi apstrādāt, t.i., vienmēr iegūt to pašu izmēru. Turklāt, ja sagatave ir novietota neatbilstoši, tas var bojāt mašīnu un instrumentu, apstrādes virsmas raupjuma prasības netiks izpildītas, un apstrādājamā sagatave kustoties lielā ātrumā pēc izslīdēšanas var savainot operatoru. Ciparu vadības darbgaldu darba zona apstrādes laikā parasti ir slēgta, jo darbgaldu durvis ir savienotas ar automātisko bloķēšanas mehānismu, kas automātiski aizslēdz durvis, tādēļ traumas rodas ļoti reti. Sākotnēji sagatavei, ko ir paredzēts ievietot, ir jābūt atbilstoši novietotai ierīcē, un pēc tam to nostiprina. Iespīlēšanas spēku var pielietot, izmantojot mehānisko piedziņu (parasti skrūvspīles), hidraulisko vai pneimatisko cilindru. Šis spēks novērš sagataves pārvietošanos griešanas spēku dēļ, bet tas nedrīkst radīt pārāk lielu spiedienu uz sagatavi, kas ir īpaši būtiski plānsienu izstrādājumu apstrādei.

Tehnologs vai CNC darbgalda operators nosaka, kura iespīlēšanas ierīce ir jāizmanto, lai novietotu sagatavi konkrētas apstrādes operācijas laikā.



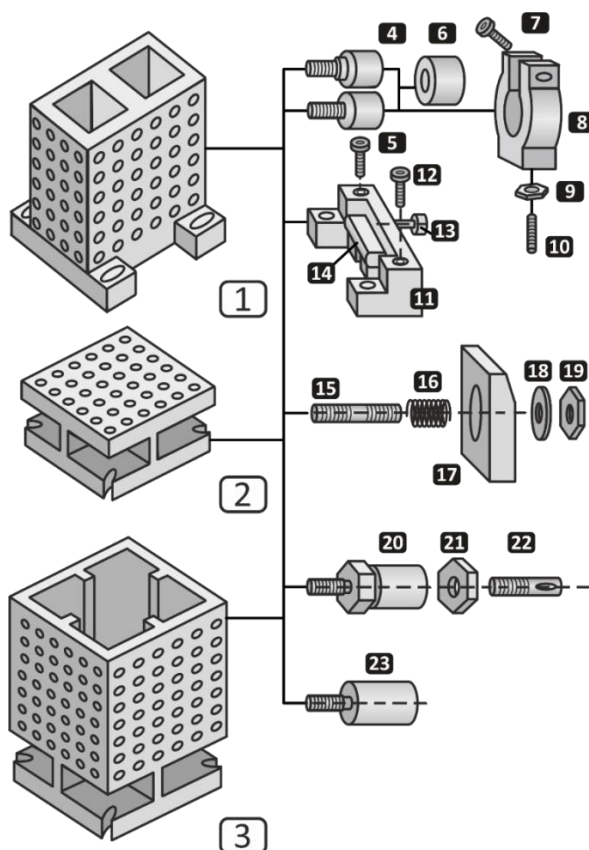
Ierīču izmantošanas priekšrocības:

- samazina detaļu apstrādes laiku;
- uzlabo atkārtotas darbības precizitāti;
- vairākas sagataves nevar apstrādāt bez palīgierīcēm;
- samazina mērīšanas izmaksas;
- samazina papildu laiku novietošanai un iespīlēšanai;
- papildu darbības (shēma un rasējums) vairs nav vajadzīgas;
- rentablāka ražošana (piemēram, izmantojot vairākpozīciju ierīci);
- paaugstināta darbgaldu tehnoloģiskā jauda (piemēram, izmantojot rotējošo galdu);
- lielāka drošība darbā.

Darbgaldā lietotajām stiprinājuma ierīcēm jāatbilst šādām prasībām:

- sagatavei ir jābūt stingri nofiksētai;
- veicot iespīlēšanu, sagatavi nedrīkst sagrozīt;
- augsta pozicionēšanas atkārtotības precizitāte;
- vienkārša, ātra un droša lietošana;
- iespīlēšanas un stiprinājuma elementi ir viegli maināmi;
- zemākā iespējamā ierīces cena.

Iespīlēšanai tiek izmantotas mehāniskās, magnētiskās, hidrauliskās, pneimatiskās un vakuuma stiprināšanas ierīces.



2.35. attēls. Korpusa sagatavju modulāras iespīlēšanas ierīce: 1, 2, 3 - korpusi; 4 - aizmugurējais balsts; 5- sānu atbalsts; 6 - gredzens; 7 - skrūve; 8 - skava; 9 - sprostuzgrieznis; 10, 15, 22 - tapskrūve; 11 - fiksācijas kronšteins; 12, 13 - skrūve; 14 - paliktis; 16 - atspere; 17 - piespiedējs; 18 - paplāksne; 19 - uzgrieznis; 20 - atbalsta papildu korpusi; 21 - sprostuzgrieznis; 23 - pagarinājums

### Iespīlēšanas iekārtas korpusu detaļām.

Īpašās iespīlēšanas iekārtas parasti tiek izmantotas, lai nostiprinātu korpusa tipa detaļas. Šīs iekārtas parasti sastāv no universāliem nomaināmiem elementiem. Tie ir pamatplāksnes, leņķa stieņi un pakāpienveida bloki (stiprinājuma elementi), pozicionēšanas un iespīlēšanas elementi. Tos var uzstādīt uz gatavām iekārtām, ko izmanto, lai piestiprinātu dažādu veidu sagataves (2.35. attēls). Stiprināšanas elementi var tikt izjaukti jebkurā laikā un izmantoti atkārtoti. Tie ir īpaši piemēroti vienas detaļas ražošanai, bieži mainot sagatavju izmērus vai ražošanas sākumā, kamēr speciālie stiprinājumi vēl nav gatavi lietošanai.

Sagatavju korpusa stiprinājumiem jābūt ātri un ērti pielāgojamiem dažādām sagatavēm. Tiem elastīgā veidā jāpielāgojas mazai un vidēja lieluma ražošanai ar CNC darbgaldiem un apstrādes centriem. Moduļu iespīlēšanas iekārtas tiek izmantotas horizontālajos un vertikālajos apstrādes centros, kur sagataves tiek iespīlētas ar uzgriežņiem, piespiedējiem uz iekārtas vertikālajām sienām, un visa sistēma ir piestiprināta pie

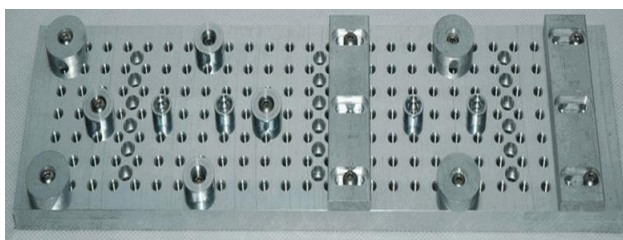
darbgalda rotējošā galda. Sekojoši iespīlētās sagataves tiek apstrādātas no visām iespējamām pusēm.



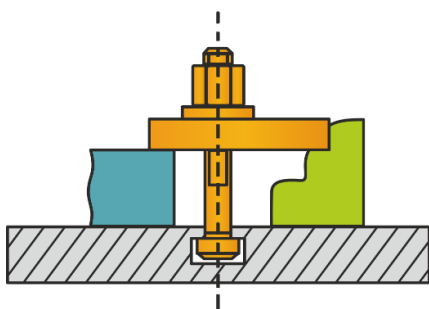
2.36. attēls. Gropju iespīlēšanas sistēma Steelex D3695 (Tools & More)

**Iespīlēšanas iekārtas citām detaļām.** Šīs iekārtas var izmantot sarežģītas formas iekārtai, ko nevar iespīlēt universālajā iekārtā (piem., skrūvspīlēs). Tās pamatojas uz fiksācijas elementu savstarpēju nomainīšanas iespēju un “iespīlēšanu pie plāksnes” metodes, tās iedala caurumu un gropju sistēmās (2.36 attēls).

Caurumu sistēmā, atsevišķi elementi ir savienoti ar modulāru plāksni, izmantojot tapas un skrūves (2.37. attēls).



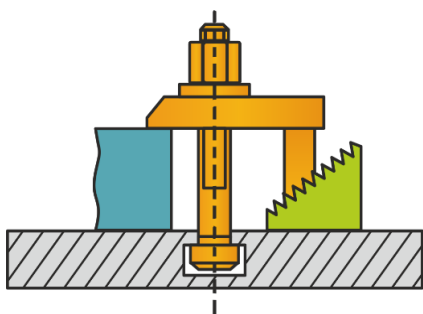
2.37. attēls. Moduļu sagataves turēšanas sistēmu plāksnes piemērs ar caurumu sistēmu MWHS01 (High Tech Systems LLC)



2.38. attēls. Iespīlēšanas svira ar pakāpienveida atbalstu

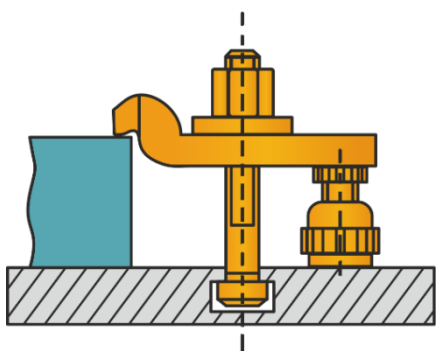
Mehāniski iespīlējot sagataves uz darbgalda apstrādes galda, tās tiek iespīlētas, izmantojot skrūves, kas ievietotas T-veida gropēs, piespiedžus un pakāpienveida atbalsta paliktņus. Var izmantot arī iespīlēšanas sviras ar pakāpieniem (2.38. attēls).

Iespīlēšanas svira ar maza soļa pakāpienveida atbalstu ir attēlota 2.39. attēlā.



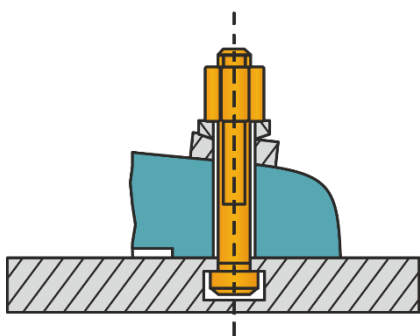
2.39. attēls. Iespīlēšanas svira ar maza soļa pakāpienveida atbalstu

Lai ērti pielāgotu sagataves lielumu un pareizi piestiprinātu, var izmantot skrūves tipa atbalstu. Pārejas korekciju var veikt, izmantojot nostiprināšanas sviru ar skrūvju stiprinājumu. Skrūves balsts ir regulējams, un to var noregulēt atbilstoši sagataves izmēram tā, lai stiprinājums stingri piespiestu apstrādājamo detaļu (2.40. attēls).



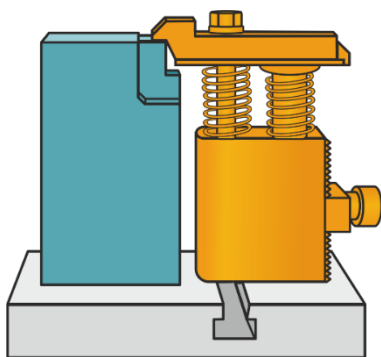
2.40. attēls. Iespīlēšanas svira ar skrūves tipa atbalstu

Detaļas piespiešana bez atbalsta plāksnes tiek veikta ar galdā vītņotu tapu, koniskām un sfēriskām paplāksnēm (2.41. attēls). Vītņoto tapu ievieto iepriekš sagatavotā sagataves caurumā. Koniskās un sfēriskās paplāksnes palīdz pielāgoties sagataves slīpumiem un citiem nelīdzenumiem.



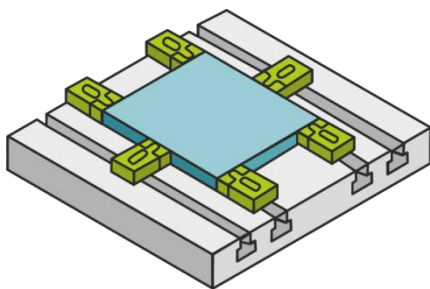
2.41. attēls. Vītņota tapa ar koniskām un sfēriskām paplāksnēm

Ātra iespīlēšana ir vajadzīga lielai daļai sagatavju. Šim nolūkam var izmantot ātrās iespīlēšanas sviru. Ātrās iespīlēšanas priekšrocība ir minimāla telpas nepieciešamība un ātra iespīlēšanas sviras regulēšana, ņemot vērā sagataves augstumu (2.42. attēls).



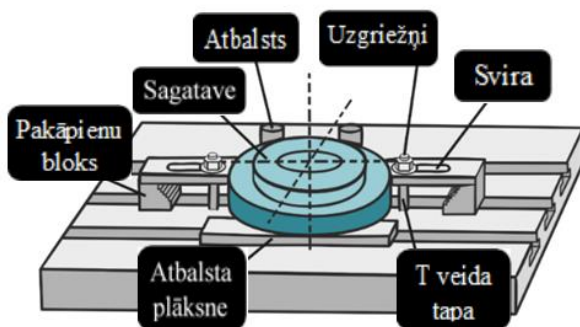
2.42. attēls. Ātrās iespīlēšanas svira

Zema augstuma sagataves var iespīlēt, izmantojot zema līmeņa iespīlēšanas spaiļu stiprinājuma elementus (2.43. attēls). Zema līmeņa iespīlēšanas spaiļu izmantošana atļauj pilnībā apstrādāt visu detaļas augšējo plakni.



2.43. attēls. Zema līmeņa iespīlēšanas spaiļes

Ja tiek izmantotas piespiešanas sviras, tad stiprināšanas skrūvēm jābūt pēc iespējas tuvāk apstrādājamajai sagatavei (2.44. attēls).



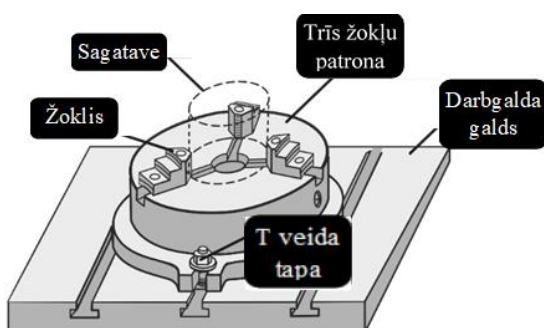
2.44. attēls. Sagataves iespīlēšana uz galda ar iespīlēšanas svirām

**Izmantojot iespīlēšanas kubu,** vienlaikus var iespīlēt četras sagataves. Iespīlēšanas kubs sastāv no pamatplāksnes un četru šķautņu kolonnas, pie kuras perpendikulāri atrodas četras vertikālas mašīnas skrūvspīles. Šis kubs ir piestiprināts pie darbgalda rotējošā galda. Pēc vienas vai divu sagatavju apstrādes, galds tiek pagriezts ar  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  vai  $270^\circ$  leņķi, un jaunās sagataves nonāk apstrādes zonā (2.45. attēls).



2.45. attēls. Iespīlēšanas kubs (MTD Ebusiness Ltd)

Cilindriskas formas sagatavju gala vai sānu virsmas tiek apstrādātas, izmantojot trīšžokļu vai cita tipa patronas, kas ir piestiprinātas pie darbgalda galda ar vītņotām tapām (2.46. attēls)



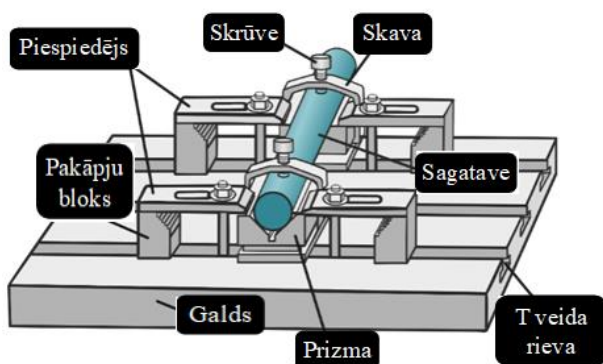
2.46 attēls Sagataves iespīlēšana uz mašīnas galda ar trīšžokļu patronu.

**Rotējošu galdu ar trīšžokļu patronu** izmanto, lai iespīlētu sagataves, kurām tiek apstrādātas gan gala, gan sānu virsmas, kas tiek leņķiski pozicionētas. Šī iekārta - rotējošais galds, kurš attēlots 2.47. attēlā, tiek rotēts ar programmas palīdzību, jo ir elektroniski savienots ar CNC darbgalda vadības sistēmu.



2.47. attēls. Rotējošais galds (Gehring Technologies GmbH)

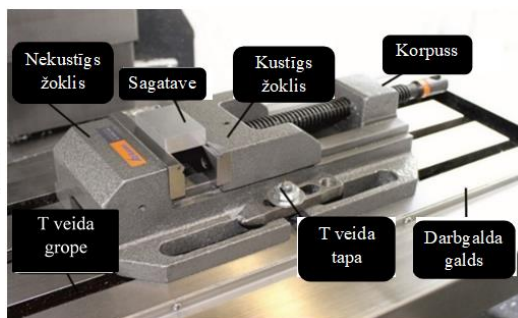
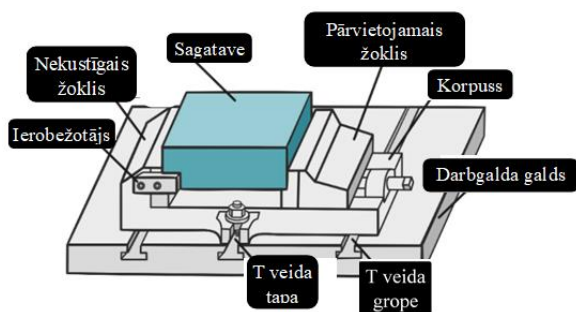
V veida bloki tiek izmantoti, lai iespīlētu vārpstas tipa sagataves, frēzējot ķīļrievas, urbnot caurumus u.c. Tāpat kā gadījumā, ja sagatave iespīlēta ar spīlēm (2.48. attēls), apstrādes rezultātā iegūto izmēru precizitāte ir cieši saistīta ar to, kā V bloka sānu virsma ir iestatīta paralēli darbgalda apstrādes asij.



2.48. attēls. Vārpstas iespīlēšana V-veida blokos (prizmās)

**Mašīnu skrūvspīles** ir visbiežāk lietotās iekārtas, kuras izmanto, lai iespīlētu sagataves žokļos ar plakanu virsmu vai prizmu gan frēzēšanas, gan urbšanas darbgaldos, gan apstrādes centros. Mašīnu skrūvspīles tiek izmantotas, lai iespīlētu mazas un vidējas sagataves viena gabala un maza apjoma ražošanā. Galvenā šo skrūvspīļu priekšrocība ir to daudzpusība. Sagatave tiek novietota, iespīlējot to ar skrūvspīļu žokļiem, no kuriem viens parasti ir kustīgs, bet otrs - stacionārs (nekustīgs) (2.49. attēls).

Ir skrūvspīles, kuru žokļos var iespīlēt 0 – 1200 mm platas sagataves. Iespīlēšanas spēku var papildus pastiprināt mehāniski vai hidrauliski. Iespīlēšanas spēks tiek mehāniski palielināts, izmantojot, piemēram, sviru sistēmu.



2.49. attēls. Sagatave iespīlēta skrūvspīlēs

Skrūvspīļu žokļi parasti ir nomaināmi. Tie var būt dažāda augstuma un dažādas formas, kas ir pielāgota iespīlējamajām sagatavēm. Ja plakanā tipa žokļi skrūvspīlēs tiek nomainīti ar citas formas žokļiem (piem., V–veida), tad ērti var iespīlēt cilindriskās formas detaļas. Izmantojot pakāpienveida žokļus, var apstrādāt dažāda augstuma detaļas, neizmantojot papildu atbalsta plāksnes. Jāpiebilst, ka bieži jābūt atstarpei starp sagataves apakšējām plaknēm un skrūvspīļu atbalsta virsmu, lai nesabojātu skrūvspīles ar urbja galu, vītņurbī un citiem instrumentiem, veidojot caurejošus urbumus. Lai saglabātu sagataves apakšējo bāzes virsmas daļu paralēli augšējai virsmai, kuru apstrādā, tiek izmantotas divas precīzas atbalsta plāksnes.



## PRAKTISKI PADOMI:

Pirms iespīlēt detaļu (sagatavi) skrūvspīlēs, to nepieciešams notīrīt no rūsas un pārliecināties, vai nav palikušas atskabargas pēc iepriekšējās apstrādes.

Plakanas formas detaļas var precīzi iespīlēt, izmantojot precīzijas mašīnu skrūvspīles. Skrūvspīļu sastāvdaļas ir nomaināmas un skrūvspīļu izkārtojumu var pielāgot, pamatojoties uz iespīlēšanas uzdevumu (2.50. attēls).



2.50. attēls. Precīzās mašīnu skrūvspīles (SIA Arc Euro Trade)

## PRAKTISKI PADOMI:

Pēc tam, kad detaļa (sagatave) ir iespīlēta, parasti to nepieciešams pieregulēt, izmantojot plastmasas (koka) starplikas un gumijas (plastmasas) āmuru. Tas nodrošina precīzu detaļas novietojumu un novērš detaļas virsmas bojājumus, ja tā netiek vairs apstrādāta.

**Magnētiskās iespīlēšanas plāksnes.** Lai novērstu plānu, izliektu vai nestingu sagatavju deformāciju, tiek piedāvāts izmantot magnētiskās iespīlēšanas plāksnes (2.51. attēls), kā alternatīvu hidrauliskām un mehāniskām iespīlēšanas iekārtām. Magnētiskā iespīlēšana var palīdzēt iespīlēt stingri, ātri un droši. Lai radītu iespīlēšanas spēku, pastāvīga magnēta serdenī tiek magnetizēti ar elektrisko spoļu magnētisko lauku. Apstrādes laikā sagatavi tur pastāvīgs magnēts. Sagatavi var apstrādāt piecās pusēs, nemainot iespīlējumus. Pēc apstrādes magnētiskās detaļas jāatmagnetizē.

Magnētiskās iespīlēšanas plāksnes var izmantot, lai iespīlētu tikai feromagnētiskas sagataves, kurām ir augsts dzelzs saturs un mazs sakausējuma elementu saturs. Magnētiskā sagataves iespīlēšana plaši tiek izmantota vienīgi slīpmašīnās. Frēzēšanas mašīnas reti tiek aprīkotas ar magnētiskām iespīlēšanas plāksnēm (parasti īpašam pasūtījumam).



2.51. attēls. Magnētiskā iespīlēšanas iekārta (plate) (SAV Workholding and Automation)

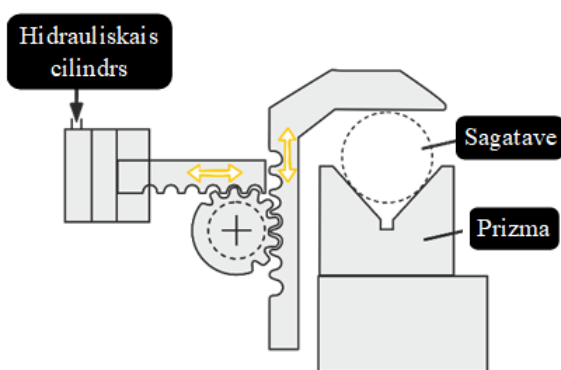


## PRAKTISKI PADOMI:

Ja tiek pielietota magnētiskā iespīlēšana, ieteicams uzstādīt papildu atbalstu, lai apstrādes laikā daļa no materiāla neizkustētos no darbgalda galda.

**Hidrauliskā iespīlēšanas sistēma.** Hidrauliskā iespīlēšana atvieglo vieglu un ātru sagatavju iespīlēšanu. Vienmērīgs iespīlēšanas spēks palielina apstrādes precizitāti. Hidrauliskā piedziņa rada  $800 \text{ N/cm}^2$  spiedienu un lielāku.

Hidrauliskās iespīlēšanas sistēmas ir aprīkotas ar spiediena iekārtām, regulatoriem un cilindru (2.52. attēls). Lai radītu spiedienu, izmanto ar rokām darbināmus sūkņus, pneimatiski-hidrauliskos multiplikatorus un elektrohidrauliskos sūkņus. Pneimatiski-hidrauliskie multiplikatori maina gaisa līnijas zemo spiedienu uz lielāku hidraulisko spiedienu, kas nepieciešams sagataves iespīlēšanai.

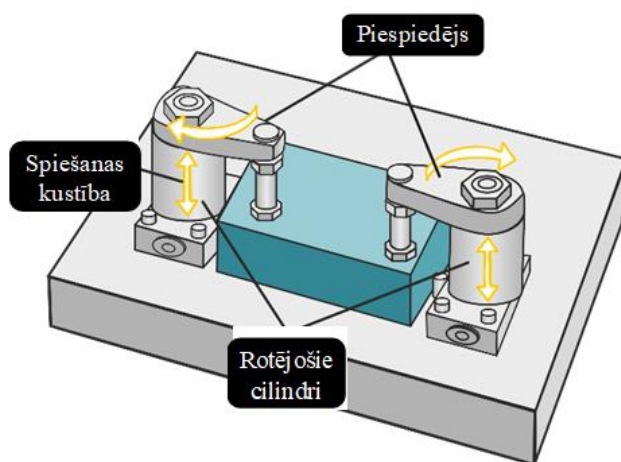


2.52. attēls. Hidrauliskā iespīlēšanas sistēma vārpstu iespīlēšanai V blokā

Hidrauliskās iespīlēšanas iekārtu priekšrocības:

- augsts iespīlēšanas spēks un mazs izmērs;
- daudzfunkcionāla lietošana;
- ātrs spiediena padeves savienojums;
- augsts iekārtas stingums;
- iespēja mehāniski darbināt iespīlēšanas procesu;
- katrā iespīlēšanas punktā tiek piemērots vienāds iespīlēšanas spēks.

Sagataves iekraušanas un izkraušanas laikā tiek izmantoti **šarnīra tipa rotējošie cilindri**, kad iespīlēšanas punktiem jābūt brīviem (2.53. attēls).



2.53. attēls. Šarnīra tipa rotējošie cilindri

Izmantojot hidrauliskās skrūvspīles, īsā laika posmā var piemērot augstus saspiešanas spēkus (2.54. attēls).

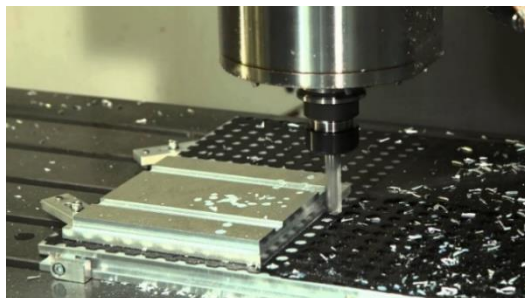


2.54. attēls. Hidrauliskās skrūvspīles (Römheld GmbH Friedrichshütte)

**Pneimatiskie iespīlēšanas elementi.** Pneimatiskie cilindri tiek izmantoti stiprinājumos, lai iegūtu iespīlēšanas un atbrīvošanas kustības ar komandu no CNC darbgalda vadības iekārtas. Pneimatiskās piedziņas darbojas, ja pneimatiskā cilindra darba kamerā ieplūdušais saspīests gaiss nospiež virzuli, un liek tam pārvietoties virzoties savstarpējā kustībā, kas ir nepieciešama, lai iespīlētu sagatavi. Pneimatiskie cilindri un pneimatiskās kameras var darboties kā pneimatiskās piedziņas. Ir vienpusdarbīgi un abpusdarbīgi pneimatiskie cilindri. Virzulis ar stieņa palīdzību kustina iespīlēšanas elementus. Iespīlēšanas spēki ir salīdzinoši zemi, jo darba spiediens ir zems. Ja pneimatiskie virzuļa cilindri un diafragmas kameras ir mazas, un sagataves jāiespīlē ar lielu spēku, pneimatiskajās ierīcēs tiek izmantoti pastiprinātāji, lai palielinātu iespīlēšanas spēku un mainītu tā virzienu. Pneimatiskās ierīces (bez papildus pastiprinātājiem) rada līdz  $170 \text{ N/cm}^2$  spiedienu.

**Ar vakuuma darbināmas iespīlēšanas iekārtas** (vakuuma plāksnes/galdi) (2.55. attēls) parasti tiek izmantotas, lai apstrādātu nemagnētiskos materiālus: plastmasu, stiklu, grafitu, cieto metālu, nerūsējošo tēraudu. Iespīlēšanas laikā, starp daļēju bāzes virsmas un vakuuma plāksni, izveidojas vakuums. Iespīlēšanas detaļu pamatvirsmām ir

jābūt gludām un līdzenām. Bāzes virsmas izmēri, forma un virsmas raupjums izraisa noteicošu ietekmi uz iespīlēšanas spēku. Maksimālais iespīlēšanas spiediens var sasniegt līdz  $10 \text{ N/cm}^2$ .



2.55. attēls. Vakuuma iespīlēšanas galds (Stritzelberger GmbH)

**Ar dalītājgalvu** sagatavi var pagriezt manuāli. Šī iekārta nodrošina ērtu kontūru frēzēšanu, jo sagatavi var viegli pagriezt vēlamajā leņķī (2.56. attēls).

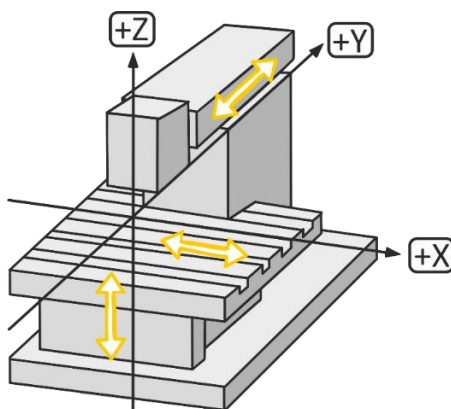


2.56. attēls. Dalītājgalva (Gehring Technologies GmbH)

## 2.2.3 CNC frēzēšanas mašīnas un detaļu koordinātu sistēmas

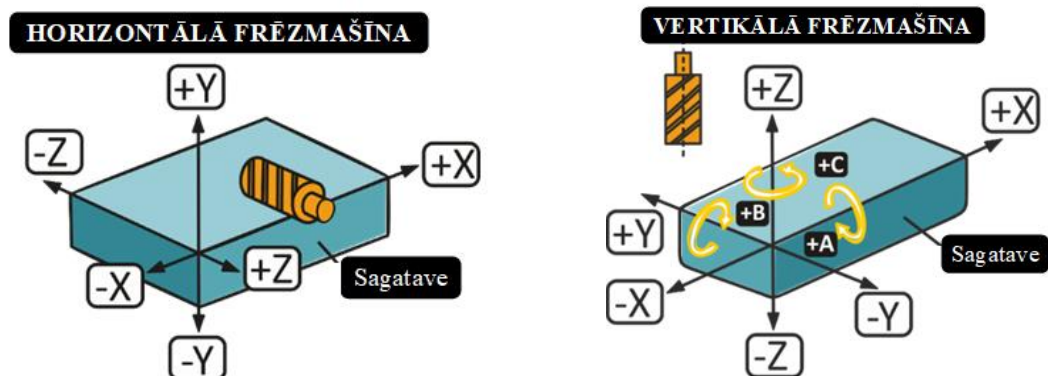
### Mašīnas koordinātu sistēma

Frēzēšanas mašīnas koordinātu sistēma jāveido tāpat kā CNC virpošanas mašīna, t.i., izmantojot "labās rokas trīs pirkstu likumu" (2.12. attēls). Trīsdimensiju Dekarta koordinātu sistēma ir saskaņota ar sagatavi, un asis ir marķētas ar X, Y un Z (2.57. attēls).



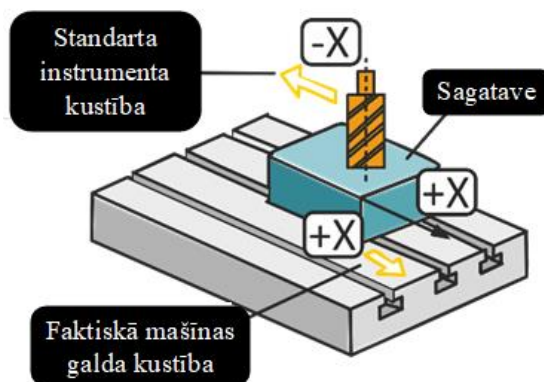
2.57. attēls. Vertikālās frēzēšanas mašīnas koordinātu sistēma

Frēzēšanas mašīnā Z ass ir galvenās vārpstas ass. Tādējādi vertikālās frēzēšanas mašīnas koordinātu sistēma jānosaka citādi nekā horizontālās frēzēšanas mašīnai (2.58. attēls).



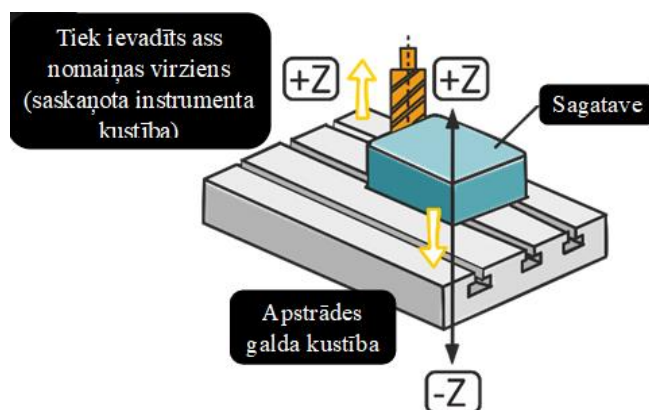
2.58. attēls. Horizontālās un vertikālās frēzēšanas mašīnas koordinātu sistēma

Pozitīvam aksiālajam pagriezienam ir jābūt pulksteņa rādītāja virzienā, un no nulles punkta – pozitīvās ass virzienā. CNC mašīnu koordinātu sistēma tiek noteikta ražošanas procesā, un to nedrīkst mainīt. Jāatzīmē, ka mašīna "uzvedas" tā, it kā instruments pārvietojas. Rakstot apstrādes programmu, vienmēr tiek pieņemts, ka instruments pārvietojas pat tad, ja galds ar sagatavi, kas ir iespīlēta tajā, kustās instrumenta vietā (2.59. attēls).



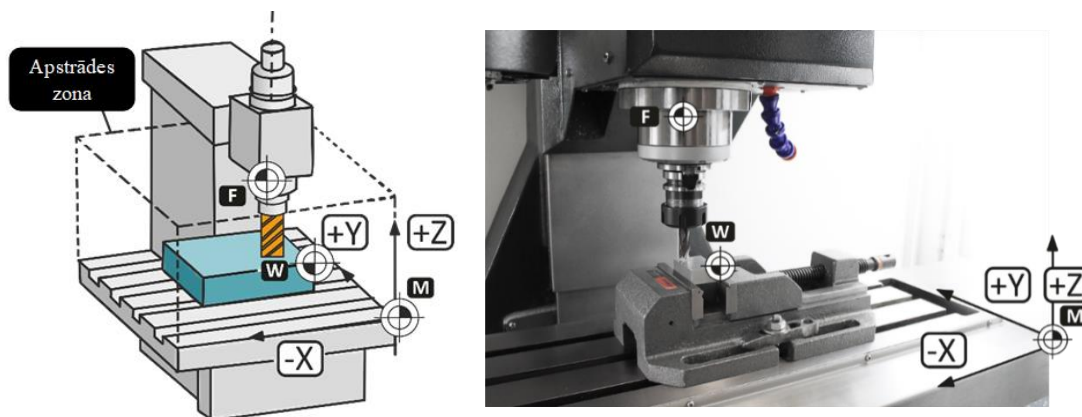
2.59. attēls. Instrumentu un detaļu kustība

Ja darbgalda apstrādes galdam jāpārvietojas pa labi X ass pozitīvajā virzienā, pirms kustības ir mīnus zīme. Vertikālajos frēzēšanas darbgaldos galds var pārvietoties arī Z ass virzienā (2.60. attēls). Šiem darbgaldiem apstrādes galda pārvietojums uz augšu nozīmē mīnus Z virzienu.



2.60. attēls. Mašīnas galda pārvietošana Z ass virzienā

Frēzēšanas darbgalda nulles punkts M ir kopējs nulles punkts mašīnu koordinātu sistēmā. Nulles punkts dažādos frēzēšanas darbgaldos var mainīties atkarībā no ražotāja, un to nedrīkst mainīt. Parasti tas atrodas apstrādes zonas malā (2.61. attēls). Dati par pārvietojuma mērīšanas sistēmu ir atkarīgi no mašīnas nulles punkta M.



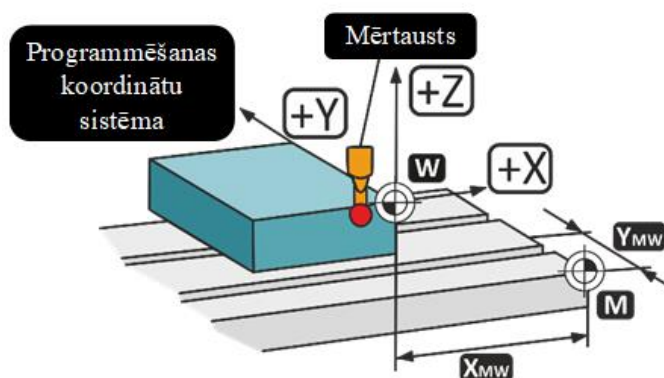
2.61. attēls. Mašīnas nulles punkts M un sagataves nulles punkts W un instrumenta atskaites punkts F

## PRAKTISKI PADOMI:

Ieteicams izvēlēties atskaites punktu, pamatojoties uz sastāvdaļu elementu tehniskajā zīmējumā norādīto izmēru ķēdi.

## Detaļu koordinātu sistēma

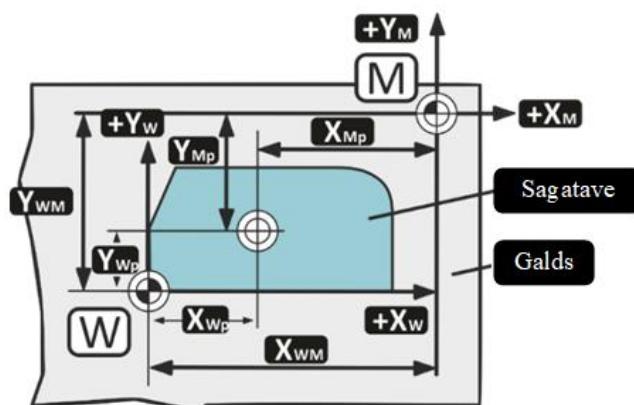
Detaļas (sagataves) vai programmēšanas koordinātu sistēma ir sistēma, kurā operators vai programmētājs programmē instrumentu pārvietojumus. Šīs sistēmas asis ir paralēlas ar mašīnu sistēmas koordinātu asīm, un atšķirība ir tikai sākuma pozīcijā. Šo punktu, ko sauc par sagataves nulles punktu W, izvēlas operators vai programmētājs. Tam jābūt tādā, lai apstrādes laukumā būtu viegli identificēt maksimālo iespējamo koordinātu vērtību summu, kas iegūta no sagataves vai sagataves tehniskā rasējuma (2.62. attēls).



2.62. attēls. Sagataves nulles punkta pozīcija, ko izvēlējies operators vai programmētājs

Koordinātu attālumus starp nulles punktu mašīnā un sagataves nulles punktu ( $X_{MW}$ ,  $Y_{MW}$ ) sauc par nulles punkta kustību, un tās tiek pārvietotas darbgalda vadības kontrollerī. Kontrolleris atceras un pārreķina šīs vērtības korekcijas. Tad operatoram vai programmētājam var būt visi izmēri saistībā ar sagataves nulles punktu.

2.63. attēls ilustrē to, ka detaļas (sagataves) koordinātu sistēma ir  $X_W$ – $Y_W$ , tās izcelsme, t.i., sagataves nulles punkts ir punktā W. Pieņemsim, ka detaļā ir jāizveido caurums. Lai to izdarītu, programmētājam programmā ir jānorāda cauruma centra koordinātas. Viņam ir daudz ērtāk sākt darbu no sagataves nulles punkta W, nevis no mašīnas nulles punkta M.



2.63. attēls. Detaļas novietojuma un izurbtā cauruma detaļas koordinātas

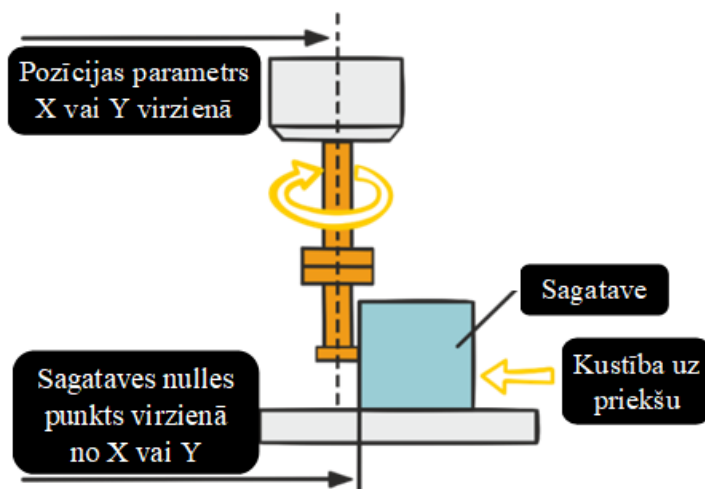
Ja detaļas tehniskais rasējums ir pieejams ar izmēriem, (mūsu gadījumā tas ir  $X_{Wp}$ ,  $Y_{Wp}$ ), tad operatoram vai programmētājam nav vajadzības noteikt attālumus  $X_{Mp}$  un  $Y_{Mp}$ , kas ir diezgan grūti, jo vispirms ir nepieciešams noteikt attālumus  $X_{WM}$  un  $Y_{WM}$ , un pēc tam attiecīgi izskaitļot attālumus  $X_{Wp}$  un  $Y_{Wp}$ .





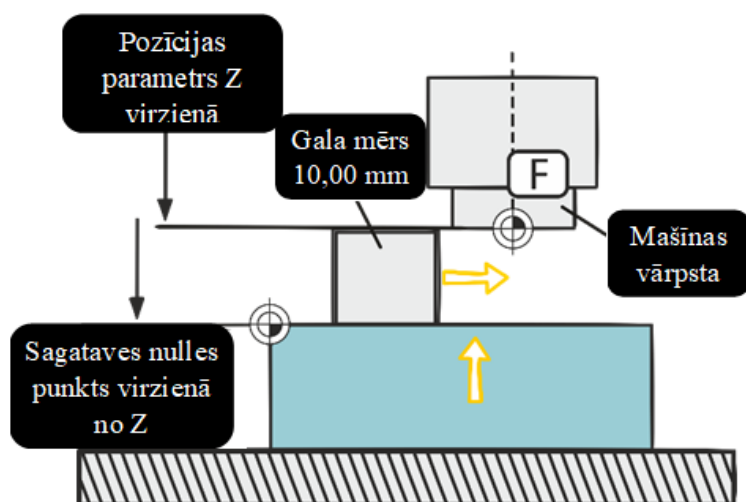
2.64. attēls. Atskaites plākšņu identifikācija ar 3D mēřtaustu

CNC darbgaldu vadības controllerim ir jābūt informētam par iespēlētās sagataves pozīciju attiecībā pret mašīnas nulles punktu. Atsauces virsmu mēřšanu var veikt, izmantojot 3D mēřtaustu (2.64. attēls) vai malu zondi. Atskaites virsmas X un Y virzienā tiek identificētas, izmantojot 3D mēřšanas galviņu (2.65. attēls).



2.65. attēls. Standarta virsmas saskare ar 3D mēřšanas galviņu

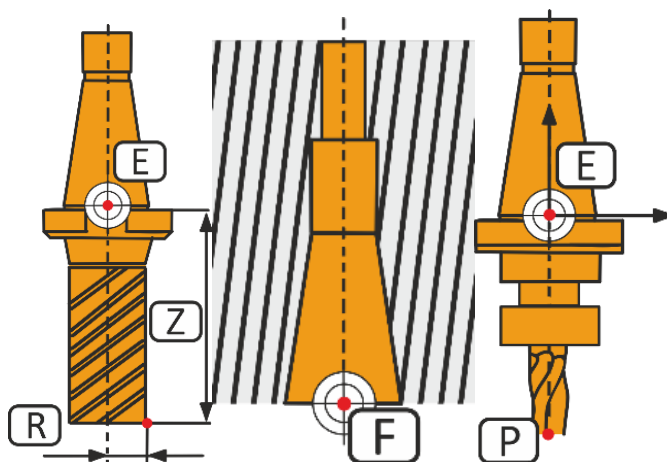
Galamēru plāksnes var izmantot, lai identificētu nulles punkta pozīciju Z virzienā (2.66 attēls). Mašīnas galds virzās uz augšu, līdz galamēru plāksne saskaras ar vārpstas priekšējo virsmu. Ņemot vērā galamēru plāksnes augstumu, identificēto pozīcijas parametru jāieraksta vadības iekārtas atmiņā.



2.66. attēls. Sagataves priekšmeta nulles punkts uz Z ass

### Instrumenta turētāja atskaites punkts

Instrumenta turētāja atskaites punkts F ir novietots instrumenta atbalsta pamatnes un turētāja ass krustpunktā, lai piestiprinātu instrumentu (2.67. attēls).



2.67. attēls. Instrumentu koordinātu sistēma

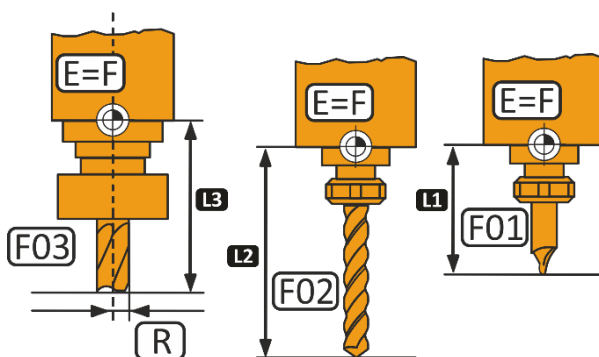
### Frēzēšanas instrumentu koordinātu sistēma

Instrumentu koordinātu sistēmu izmanto, lai aprakstītu instrumenta gala stāvokli (punkts P) attiecībā pret instrumenta turētāju (punkts F). Tas ir vajadzīgs, lai izmērītu instrumentu ārēji, nevis mašīnā. Lietojot CNC darbgaldū, ir ērtāk kontrolēt punkta P (2.67. attēls) instrumenta trajektoriju, nevis turētāja atskaites punkta F trajektoriju, kas sakrīt ar atsauces punkta E trajektoriju.

Šajā gadījumā nav nepieciešams mērīt instrumenta turētāja garumu tā projicēšanai programmā. Ja instruments tiek nofiksēts šādā veidā, tā augša skar kontaktu nulles



punktu ar sagataves asi Z. Tādējādi kontrollera vadības atmiņā tiek saglabāti attālumi, kas tiek identificēti starp darbgalda nulles koordināti un detaļas nulles punktu.



2.68. attēls. Instrumenta garuma un rādiusa  $R$  ( $F01 \dots$ ) regulēšana  $F03$  korekcijas parametri  $L1 \dots L3$ )

Ja izmaiņas instrumentu tabulā tiek veiktas manuāli, tad operatoram ir jāpieskaņo griezējinstrumenta garumu, lai sasniegtu ieprogrammēto galamērķa punktu Z virzienā (2.68. attēls). Šim nolūkam atsevišķa instrumenta izmēri tiek ievadīti kontrollera instrumenta pielāgošanas atmiņā. Lai pārvietotu griezēja centru instrumenta rādiusā, attiecībā pret kontūru, jāievada arī rādiuss  $R$ . Pēdējais ir arī nepieciešams, lai simulētu apstrādes programmas.

Automātiskajā ražošanā instrumenti tiek automātiski mainīti bez operatora iejaukšanās. Šajā gadījumā instrumenta garuma un rādiusa parametrus mēra, izmantojot īpašas mērīšanas iekārtas, un saņemtās vērtības jāievada darbgaldu parametru tabulā, atbilstoši instrumenta numuram mašīnas instrumentu tabulā. Ja tiek veikts instrumenta mērījums, saņemtie lielumi automātiski tiek ierakstīti instrumenta parametru logā.

#### PRAKTISKI PADOMI:

Ja viena un tā pati plakne tiek apstrādāta ar dažādiem instrumentiem, tad nākamā instrumenta garums ir jāpalielina par dažām milimetru simtdaļām, ņemot vērā apstrādes kļūdas.

### 2.3. Datora ciparu vadības frēzes un virpas sastāvdaļas

Tradicionālajiem universālajiem frēžēšanas darbgaldiem un ciparu skaitliskās vadības iekārtām ir daudz kopīgu īpašību, taču tām ir savas īpašās iezīmes.



2.69. attēls. CNC frēžēšanas darbgalda F150 (Optimum Maschinen Germany GmbH) galvenās sastāvdaļas: 1 – slēdzis, lai atbrīvotu un ievietotu instrumentu darba vārpstā, 2 – vārpsta, 3 – instrumentu mainītājs ar 16 vai 24 instrumentu magazīnu, 4 – instrumentu plaukts, 5 – skaidu konteiners, 6 – apstrādes galds, 7 – signāllampa, 8 – vadības panelis, 9 – avārijas apturēšanas spiedpoga, 10 – tālvadības pults, 11 – tīrīšanas pistole, 12 – skaidu konveijers, 13 – pamatne, 14 – vārpstas korpuss

CNC frēžēšanas darbgaldiem un apstrādes centriem ir tādas pašas sastāvdaļas, kā universālajiem frēžēšanas darbgaldiem. Galvenās sastāvdaļas ir pamatne, darbvārpsta, vadotnes, apstrādes galds, kur novietot sagatavi, pārnenumkārbā, elektroiekārtu skapis, motori, instrumentu magazīna (2.69. attēls).

Kā parastās virpas, tā arī CNC virpas ir aprīkotas ar pamatni, priekšējo balstu, pakalējo balstu, karieti, vadotnēm, darbvārpstu un citām sastāvdaļām (2.70. attēls).



2.70. attēls. CNC virpas L44 ( Optimum Maschinen Germany GmbH ) galvenās sastāvdaļas:  
 1 – spļpatrona, 2 – signāllampa; 3 – vadības panelis; 4 – avārijas apturēšanas poga; 5 –  
 rokas rats, manuālā pārvietošana pa Z asi, 6 – pedālis virpas spļpatronas  
 atlaišanai/iespīlēšanai, 7 – revolvergalva, 8 – aizmugures balsts, 9 – X un Z ass vadīšanas  
 svira, 10 – rokas rats, manuālā pārvietošana pa X asi, 11 – pamatne, 12 – kariete, 13 –  
 lineāras vadotnes, 14 – priekšējais balsts

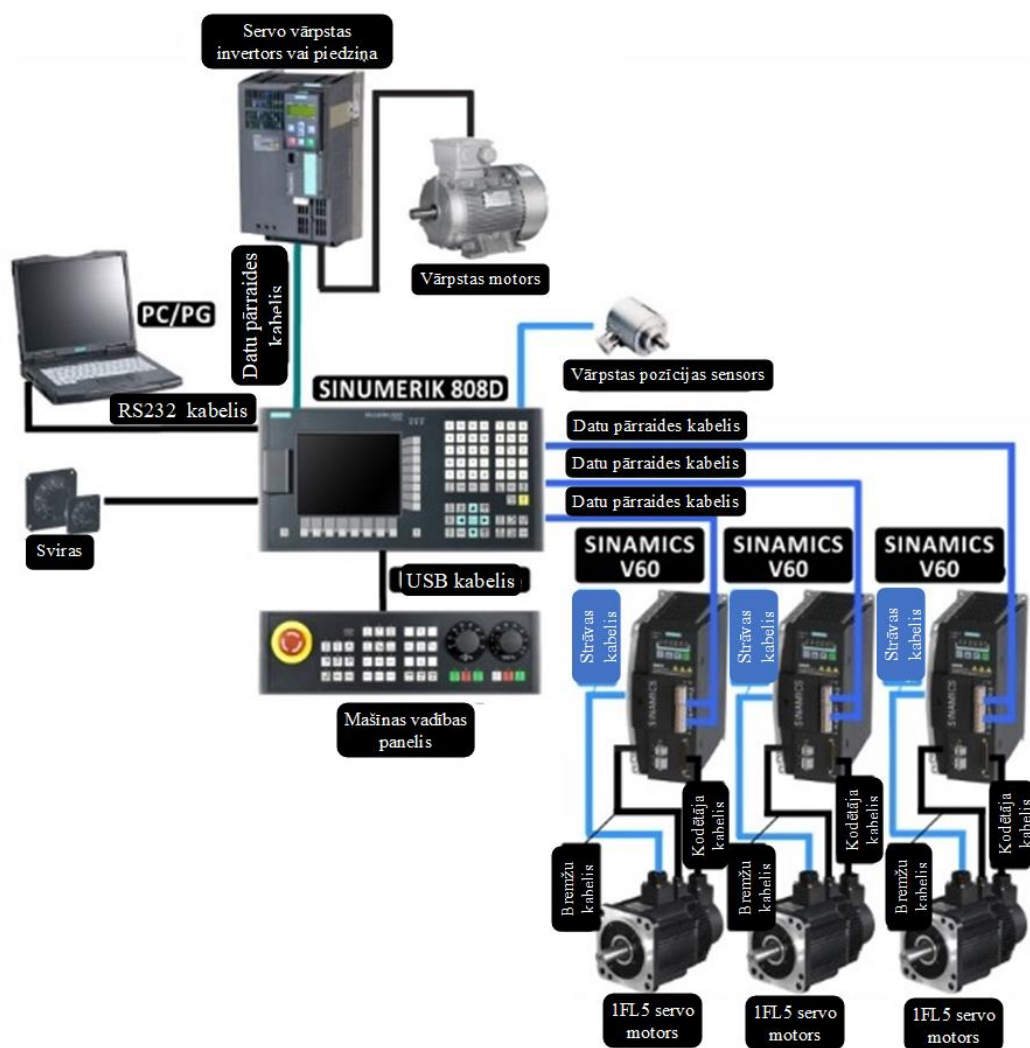
Mūsdienu CNC mašīnas un apstrādes centri ir aprīkoti ar virkni papildu rīkiem, kas raksturīgi tiem, kas uzskaitīti 2.2.1. sadaļā. Lai palielinātu apstrādes centru efektivitāti, instrumentu revolvergalvas tiek izmantotas vienam vai vairākiem apstrādes centriem. Revolvergalvās instrumenti tiek sakārtoti un iespīlēti iepriekš, pamatojoties uz paredzēto apstrādājamo detaļu nomenklatūru. Lielās, modernās rūpnīcās ir iespēja, ņemot vērā apstrādājamās detaļas tehnoloģiju, apstrādes centra vadības blokam dot komandu: automātiski paņemt papildus instrumentu no noliktavas, kas atrodas citā telpā, transportēt to uz darbgaldu un iespīlēt to virpas revolvergalvā.

Salīdzinot ar CNC frēzēšanas darbgaldiem, CNC virpas parasti ir aprīkotas ar vairākām izpildiekārtām. Lielākajai daļai no tām ir papildus spļpatronas, tādēļ ir iespējams

apstrādāt detaļu no abām pusēm. Detaļu uzķērājus izmanto detaļām, kas izgatavotas no stieņa. Virpas tiek parasti izmantotas stieņu apstrādei, un tās ir aprīkotas ar stieņu padeves iekārtām. Hidrauliskās un pneimatiskās patronas tiek vadītas ne tikai ar programmu, bet arī ar pedāli, kas atrodas turpat pie darbgalda. Mūsdienu CNC virpās tiek izmantoti ne tikai virpošanas, urbšanas vai citi griezējinstrumenti, bet arī gala frēzes, urbji, gredzenurbji, rīvurbji, vīturbji, kas var rotēt un tos var vadīt gan paralēli, gan perpendikulāri, kā arī nepieciešamā leņķī pret sagataves rotācijas asi.

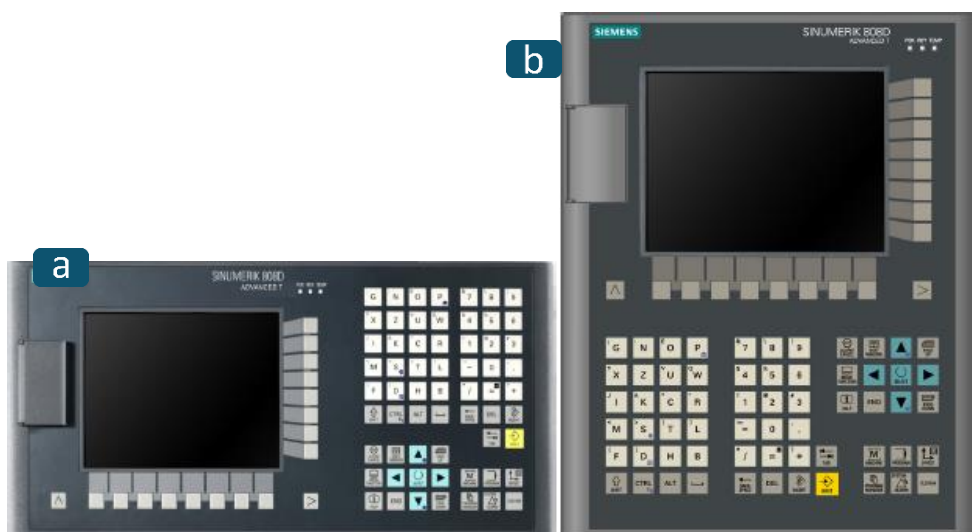
Galvenais elements, kas izceļ CNC darbgaldus no parastajiem universālajiem darbgaldiem, ir ciparu vadības iekārta, ko izmanto, lai kontrolētu darbgalda kustības asu servomotorus un citas mašīnas funkcijas. Servomotori, kas nodrošina vienmērīgu un nepārtrauktu kustību ar vienmērīgu ātrumu, parasti tiek izmantoti darbgalda kustīgo daļu un darbvārpstas darbināšanai. Ar to palīdzību mūsdienu CNC darbgaldos tiek kontrolēts arī griezes moments. Vēl viena svarīga iezīme, ar ko atšķiras CNC darbgalds no parastā darbgalda, ir tā, ka CNC darbgalda darba zona ir pilnībā aizsargāta no operatora!!!! Precīzāk – operators ir aizsargāts no iespējamajiem negadījumiem apstrādes laikā.

Standarta ciparu vadības sistēmas ļauj kontrolēt divas asis CNC virpās un trīs asis CNC frēzēšanas darbgaldos. Lielākā daļa ciparu vadības sistēmu ražotāju ļauj izvēlēties modernākas sistēmas: kontrolēt CNC virpas trīs asis, četras asis CNC frēzēšanas mašīnā (piem., SINUMERIK 828D, FANUC 30i, MAZATROL SMOOTH un citu ražotāju vadības sistēmas), 2.71. attēls parāda shematisko diagrammu vadības sistēmai SINUMERIK 808D.



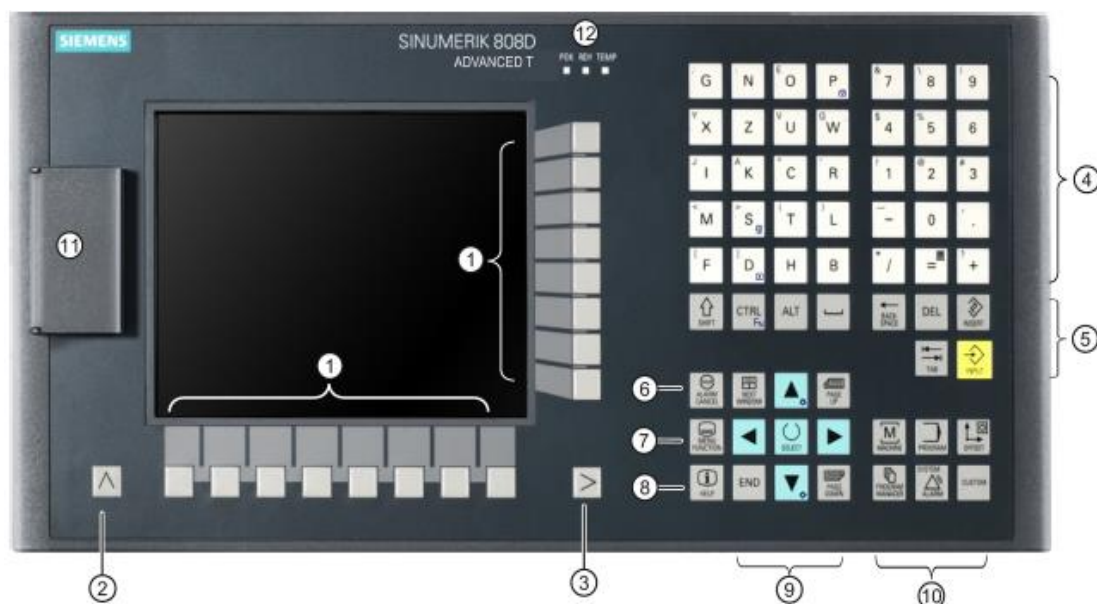
2.71. attēls. SINUMERIK 808D vadības sistēmas struktūra (CNC) (CNC frēzēšanas darbgaldam) Siemens AG)

CNC darbgaldu vadības bloks ir savienots ar operatora vadības paneli. Tam ir displejs un vertikāli, vai horizontāli izkārtoti taustiņi (2.72. attēls.).



2.72. attēls. Operatora vadības paneļa galvenais izkārtojums: a- horizontāli, b- vertikāli (Siemens AG)

Taustiņi tiek grupēti vadības panelī, pamatojoties uz veicamajām darbībām (2.73. attēls.). Starp viena un tā paša ražotāja izgatavotajiem CNC darbgaldu vadības paneļiem parasti atšķirība ir relatīvi neliela, tomēr tiem var būt īpaši taustiņi, kas raksturīgi konkrētām mašīnām.



2.73. attēls. CNC darbgalda operatora vadības panelis (Siemens AG)

Ja tiek izmantotas vadības sistēmas SINUMERIK 808D, SINUMERIK 808A ADVANCED un SINUMERIK 828D no ražotāja Siemens, tad taustiņi CNC darbgalda vadības panelī un to funkcijas ir parādītas 2.1. tabulā.

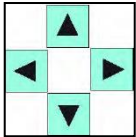
2.1. tabula. Taustiņu funkcijas uz CNC darbgaldu vadības paneļa

|           |                                                                                                                   |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1</b>  | Vertikālie un horizontālie izvēles taustiņi. Aktivizē noteiktas izvēlnes funkcijas                                |
| <b>2</b>  | Atgriešanas taustiņš. Atgriežas nākamajā augstākā līmeņa izvēlnē                                                  |
| <b>3</b>  | Izvēlnes paplašinājuma taustiņš. Atver nākamo apakšējā līmeņa izvēlni vai pārvietojas starp viena līmeņa izvēlnēm |
| <b>4</b>  | Alfabēta un ciparu taustiņi                                                                                       |
| <b>5</b>  | Vadības taustiņi                                                                                                  |
| <b>6</b>  | Signalizācijas atcelšanas taustiņš. Atceļ trauksmes signālus un ziņojumus, kas marķēti ar šo simbolu              |
| <b>7</b>  | Paneļa pārlūkošanas taustiņš. Soli pa solim sniedz norādes par sagatavošanas un ekspluatācijas procedūrām         |
| <b>8</b>  | Palīdzības taustiņš                                                                                               |
| <b>9</b>  | Kursora taustiņi                                                                                                  |
| <b>10</b> | Darbības zonas taustiņi                                                                                           |
| <b>11</b> | USB interfeiss                                                                                                    |
| <b>12</b> | Mašīnas stāvokļa indikatora spuldzes                                                                              |

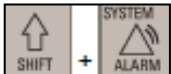
Papildu informācija par katra taustiņa un to kombinācijas lietošanu, ar CNC virpām, un frēzēšanas darbgaldiem no ražotāja Optimum ir sniegta 2.2. tabulā.



2.2. tabula. Komandas, kas tiek veiktas, izmantojot taustiņus operatora vadības panelī

| Galvenā funkcija            | Pogas attēls                                                                        | Apraksts                                                                                             |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                           | 2                                                                                   | 3                                                                                                    |
| Alfabēta un ciparu taustiņi |    | Alfabēta un ciparu taustiņi. Izmanto, lai ievadītu simbolus un CNC komandas.                         |
|                             |    | Lai ievadītu augšējo rakstzīmi uz alfabēta/ciparu taustiņa, turiet nospiestu šādu taustiņu           |
|                             |    | Kad <CTRL> tiek nospiests kopā ar šo pogu, tiek uzņemts ekrānā redzamais attēls                      |
|                             |    | Kad <CTRL> tiek nospiests kopā ar šo pogu, tiek ierakstīta izveidotā programma                       |
|                             |    | Kad <CTRL> tiek nospiests kopā ar šo taustiņu, ekrānā tiek parādīti iepriekš iestatītie slaidi       |
|                             |  | Nospiežot šo taustiņu, papildus tiek aktivizēta kalkulatora funkcija                                 |
|                             |  | Kursora taustiņi. Kursors uz augšu / uz leju / pa kreisi / pa labi                                   |
| Kursora taustiņi            |  | Pārslēdz ieraksta režīmus ievades laukā.<br>Atver dialoglodziņā "Iestatīšanas izvēlne", startējot NC |
|                             |  | Nākamā loga taustiņš. Šim taustiņam nav funkcijas. Rezervēts nākotnei                                |
|                             |  | Beigu taustiņš. Pārvieto kursoru uz rindas beigām                                                    |
|                             |  | Augšupšķiršanas taustiņš. Pārvieto kursoru izvēlnes logā                                             |

|                  |                                                                                     |                                                                                                                                                           |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                  |    | Lejupšķiršanas taustiņš. Pārvieto kursoru izvēlnes logā                                                                                                   |
|                  |    | Ekrāna spilgtumu var noregulēt, spiežot <CTRL> kopā ar vienu no šiem taustiņiem                                                                           |
|                  |    |                                                                                                                                                           |
| Vadības taustiņi |    | Vadības taustiņš. Šo taustiņu var izmantot kombinācijā ar citu taustiņu, kas tiek turēts kā taustiņu kombinācijas funkcija                                |
|                  |    | <SHIFT> taustiņš. To lieto, lai ievadītu lielo burtu vai simbolu, kas parādās šī taustiņa augšējā daļā, nospiežot <SHIFT> kopā ar izvēlēto taustiņu       |
|                  |    | Alternatīvās funkcijas taustiņš                                                                                                                           |
|                  |    | Atstarpes taustiņš                                                                                                                                        |
|                  |  | Atpakaļatkāpe. Izdzēš simbolu pa kreisi no kursora                                                                                                        |
|                  |  | Dzēšanas taustiņš. Izdzēš izvēlēto failu vai simbolu pa labi no kursora                                                                                   |
|                  |  | Iespraušanas taustiņš                                                                                                                                     |
|                  |  | Tabulēšanas (pārvietošanās) taustiņš. Pārvieto kursoru uz priekšu par dažiem simboliem. Pārvietojas starp ievadītās programmas ievades lauku un nosaukumu |
|                  |  | Ievades taustiņš. Apstiprina ievadīto vērtību. Atver katalogu vai programmu                                                                               |

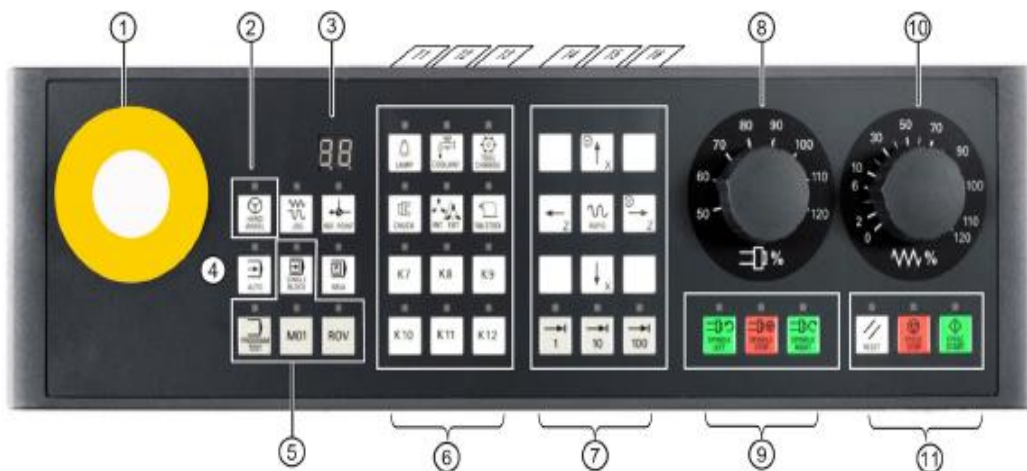
|                               |                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                          |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Darbības zonas taustiņi       |    | Šo taustiņu nospiež, lai atvērtu sistēmas datu pārvaldības darbības zonu "Signalizācija"                                                                                                                                                 |
|                               |    | Šo taustiņu kombinācija tiek nospiesta, lai atvērtu sistēmas datu pārvaldības darbības zonu                                                                                                                                              |
|                               |    | Atver "Mašīnas" darbības zonu                                                                                                                                                                                                            |
|                               |    | Atver programmu darbības zonu                                                                                                                                                                                                            |
|                               |    | Atver "Korekciju" darbības zonu                                                                                                                                                                                                          |
|                               |    | Atver "Programmas" darbības zonu                                                                                                                                                                                                         |
|                               |    | Iespējo palīgfunckijas, piemēram: ļauj izveidot lietotāja dialogu, izmantojot funkciju Easy X Language                                                                                                                                   |
| Darbgalda stāvokļa indikators |  | LED "POK"<br>Zaļa gaisma: ieslēgts CNC darbgalda barošanas avots                                                                                                                                                                         |
|                               |                                                                                     | LED "RDY"<br>Zaļa gaisma: CNC darbgalds gatavs darbam.<br>Oranža gaisma:<br>Ieslēgta: programmējamais loģiskais kontrolleis (PLC) atrodas STOP režīmā<br>Mirgo: PLC atrodas darba režīmā<br>Sarkana gaisma: CNC darbgalds ir STOP režīmā |
|                               |                                                                                     | LED "TEMP"<br>Izslēgts: CNC kontrolleis temperatūra atrodas paredzētajās robežās<br>Oranža gaisma: CNC kontrolleis temperatūra pārsniedz atļauto robežu                                                                                  |
| USB interfeiss                |                                                                                     | Savieno ar USB ierīci, piemēram:<br>Savieno ar ārējo USB atmiņas nesēju, lai pārsūtītu datus no USB atmiņas nesēja uz CNC<br>Var pieslēgt kā ārēju CNC tastatūru vai datora klaviatūru                                                   |

Lai nodrošinātu darba drošību, darbgaldu ražotāji izvairās no atšķirībām, organizējot taustiņus un slēdžus uz iekārtas vadības panela. Daudzi no tiem tiek izmantoti, lai veiktu līdzīgas darbības. Taustiņus un slēdžus var uzstādīt gan horizontāli, gan vertikāli darbgalda vadības panelī (2.74. attēls.).



2.74. attēls. Taustiņu un slēdžu izvietojums uz darbgalda vadības panela: a- horizontāli, b- vertikāli (Optimum Maschinen Germany GmbH)

2.75. attēls parāda CNC mašīnu vadības paneli no Optimum ar sagrupētiem vadības un iestatīšanas taustiņiem, un slēdžiem. Citu ražotāju CNC mašīnām var būt arī taustiņi un slēdži citiem mērķiem, bet daudzi no tiem tiek izmantoti līdzīgu darbību veikšanai.



2.75 attēls. CNC darbgalda vadības panelis (Optimum Maschinen Germany GmbH)

Ja tiek izmantotas vadības sistēmas SINUMERIK 808D, SINUMERIK 808A ADVANCED un SINUMERIK 828D no Siemens, taustiņi un slēdži CNC darbgaldu vadības panelī un to funkcijas ir parādītas 2.3. tabulā.

2.3. tabula. Pogu un slēdžu funkcijas CNC darbgaldu vadības panelī

|    |                                                                                                                                                                                     |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Vieta pogai apturēšanai ārkārtas gadījumos. Pogu apturēšanai ārkārtas gadījumos aktivizē tikai tad, kad:<br>Ir apdraudēta dzīvība;<br>Pastāv reāls drauds sabojāt mašīnu vai detaļu |
| 2  | Rokas rata taustiņš. Kontrolē darbgalda kustīgo asu pārvietojumu ar ārējās vadības rokas ratiem                                                                                     |
| 3  | Instrumenta numura rādīšana. Parāda pašreizējā darbvārpstā ievietotā instrumenta numuru                                                                                             |
| 4  | Darbības režīma taustiņi                                                                                                                                                            |
| 5  | Programmas vadības taustiņi                                                                                                                                                         |
| 6  | Lietotāja definētie taustiņi                                                                                                                                                        |
| 7  | Kustības asu pārslēgšanas taustiņi                                                                                                                                                  |
| 8  | Darbvārpstas rotācijas apgriezienu regulēšanas slēdzis                                                                                                                              |
| 9  | Darbvārpstas rotācijas ieslēgšanas/izslēgšanas pogas                                                                                                                                |
| 10 | Apstrādes kustības padeves ātruma slēdzis. Pārslēdz izvēlētās asis noteiktā padeves ātrumā                                                                                          |
| 11 | Programmas palaišanas, apturēšanas un atiestatīšanas taustiņi                                                                                                                       |

Papildu informācija par katru taustiņu un slēdžiem, un to kombināciju lietošanu ar CNC virpas un frēzēšanas darbgaldiem no Optimum, ir sniegta 2.4. tabulā.

2.4. tabula. Komandas, kas tiek veiktas, izmantojot taustiņus darbgalda vadības panelī

| Galvenā funkcija             | Pogas attēls                                                                        | Apraksts                                                                                                                                                                                                   |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                            | 2                                                                                   | 3                                                                                                                                                                                                          |
| Darba režīma taustiņi        |    | Darba režīms "JOG" (manuālais darbības režīms)                                                                                                                                                             |
|                              |    | Darbības režīms "ATSAUCES PUNKTS" (atskaites punkta pieeja)                                                                                                                                                |
|                              |    | Darba režīms "AUTO" (automātiskais režīms)                                                                                                                                                                 |
|                              |    | Darbības režīms "MDA" (īsas programmas aktivizēšana). Manuāla programmas ievadīšana, automātiska izpilde                                                                                                   |
| Programmas vadības taustiņi  |    | Programmas testa taustiņš. Atspējo iestatīto punktu izvadi uz asīm un vārpstu. Kontroles sistēma simulē tikai traversas kustības, lai pārbaudītu programmas pareizību                                      |
|                              |  | Programmas apturēšanas taustiņš ar nosacījumu. Apstādina programmu katrā blokā, kurā ir ieprogrammēta funkcija M01                                                                                         |
|                              |  | Ātrās padeves ātruma regulēšanas taustiņš                                                                                                                                                                  |
|                              |  | Viena kadra apstrādes taustiņš. Aktivizē kadra vienas izpildes režīmu                                                                                                                                      |
| Lietotāja definētie taustiņi |  | Nospiežot to jebkurā darba režīmā, lampiņa ieslēdzas / izslēdzas.<br>LED ieslēgts : lampiņa ir ieslēgta<br>LED izslēgts: lampiņa ir izslēgta                                                               |
|                              |  | Nospiežot šo taustiņu jebkurā darba režīmā, tiek ieslēgta / izslēgta dzesēšanas šķidruma padeve.<br>LED ieslēgts: ieslēgta dzesēšanas šķidruma padeve<br>LED izslēgts: izslēgta dzesēšanas šķidruma padeve |

Taustiņi operatora noteiktajām funkcijām

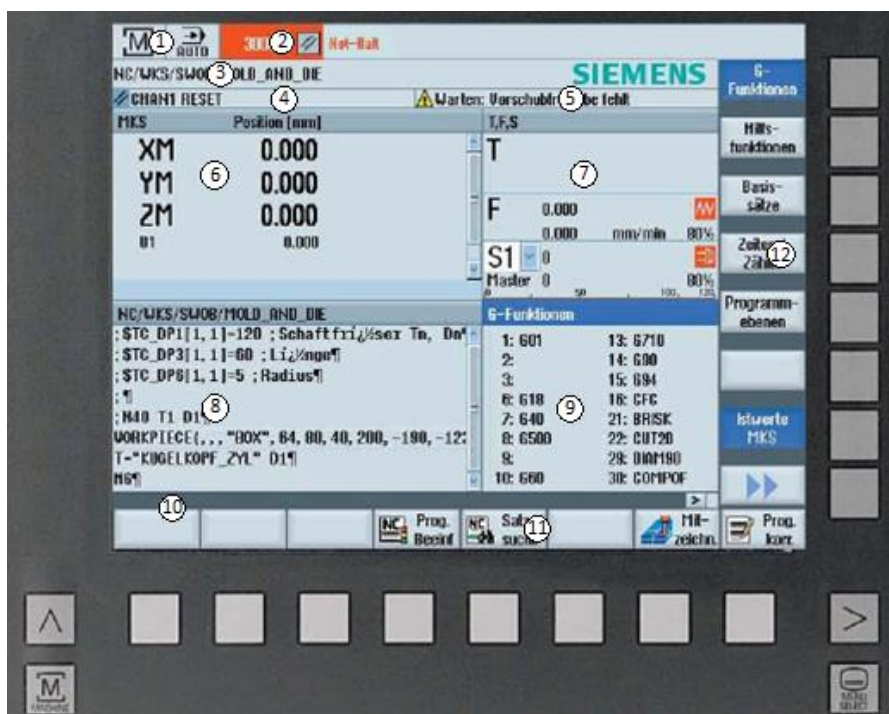
|                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | <p>Nospiežot šo taustiņu, tiek aktivizēta komanda, kas pastāvīgi maina instrumentus (ir aktivizēts tikai režīms "JOG")</p> <p>LED ieslēgts: Mašīna sāk mainīt instrumentus pēc kārtas</p> <p>LED izslēgts: Iekārta aptur instrumentu secīgu nomaiņu</p>                                                                          |
|    | <p>Nospiežot šo taustiņu jebkurā darba režīmā, tiek aktivizēta spīļpatrona, lai saspiestu/atbrīvotu sagatavi.</p> <p>LED ieslēgts: Aktivizē spīļpatronu, lai saspiestu sagatavi.</p> <p>LED izslēgts: Aktivizē spīļpatronu, lai atbrīvotu sagatavi</p>                                                                           |
|    | <p>Šo taustiņu var nospiegt tikai tad, kad darbvārpsta ir pilnībā apturēta.</p> <p>LED ieslēgts: Aktivizē spīļpatronas saspiešanas virzienu, lai nostiprinātu sagatavi uz iekšpusi.</p> <p>LED izslēgts: Aktivizē spīļpatronas saspiešanas virzienu, lai nostiprinātu sagatavi uz ārpusi</p>                                     |
|    | <p>Piespiežot šo taustiņu jebkurā darba režīmā piebīda/atvelk aizmugures balstu.</p> <p>Ieslēgts LED indikators: atspiež pakalējo balstu pret sagatavi, līdz tas cieši piespiežas sagataves galam ar ieprogrammēto spēku</p>                                                                                                     |
|  | <p>Nospiežot šo taustiņu, tiek aktivizēta vai deaktivizēta instrumenta manuāla nomaiņa.</p> <p>Instrumenta manuāla nomaiņa ir iespējama tikai tad, ja ir atvērtas iekārtas drošības bīdāmās durvis.</p>                                                                                                                          |
|  | <p>Drošības durvju vadības taustiņš. Kad visas kustīgās asis un vārpstas ir apstādinātas, nospiežot šo taustiņu, tiek atvērtas aizsargdurvis.</p> <p>LED ieslēgts : aizsargdurvis ir atbloķētas.</p> <p>LED izslēgts : aizsargdurvis ir bloķētas</p>                                                                             |
|  | <p>Instrumentu magazīnas rotācija pulksteņa rādītāja kustības virzienā (darbojas tikai "JOG" režīmā). Nospiežot šo taustiņu, pagriež magazīnu pulksteņrādītāja kustības virzienā (CNC frēzēšanas darbgaldā).</p> <p>LED ieslēgts: magazīna rotē pulksteņa rādītāja kustības virzienā.</p> <p>LED izslēgts: magazīna apstājas</p> |



|                                          |                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Taustiņi operatora noteiktajām funkcijām |    | Instrumentu magazīnas rotācija pretī pulksteņa rādītāja kustības virzienam (darbojas tikai "JOG" režīmā). Nospiežot šo taustiņu, pagriež magazīnu pretēji pulksteņa rādītāja kustības virzienam (CNC frēzēšanas darbgaldā).<br>LED ieslēgts : magazīna rotē pretī pulksteņa rādītāja kustības virzienam.<br>LED izslēgts: magazīna apstājas |
|                                          |    | Instrumentu magazīnas atskaites punkta iestatīšana (darbojas tikai "JOG" režīmā). Nospiežot šo taustiņu, magazīna pārvietojas līdz atskaites punktam. (CNC frēzēšanas darbgaldā).<br>LED ieslēgts: magazīna atrodas atskaites punktā<br>LED izslēgts: magazīnas atskaites punkts nav iestatīts                                              |
|                                          |    | X ass taustiņš. Kustība pozitīvajā X ass virzienā                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Taustiņi darbgalda asu pārvietošanai     |    | X ass taustiņš. Kustība negatīvajā X ass virzienā                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                                          |   | Z ass taustiņš. Kustība negatīvajā Z ass virzienā                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                                          |  | Z ass taustiņš. Kustība pozitīvajā Z ass virzienā                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                                          |  | Y ass taustiņš. (CNC frēzēšanas darbgaldos). Kustība pozitīvajā Y ass virzienā                                                                                                                                                                                                                                                              |
|                                          |  | Y ass taustiņš. (CNC frēzēšanas darbgaldos). Kustība negatīvajā Y ass virzienā                                                                                                                                                                                                                                                              |
|                                          |  | Ātras padeves taustiņš. Kustība pa izvēlēto asi ar ātro padevi, papildus nospiežot konkrētās ass taustiņu                                                                                                                                                                                                                                   |
|                                          |  | Neaktīvs taustiņš. Šim taustiņam nav piešķirta funkcija                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                                          |  | Taustiņi, lai palielinātu darba padeves vērtību (ar LED statusa indikatoriem). Iestata nepieciešamo palielinājumu izvēlētajai asi kustībai                                                                                                                                                                                                  |

|                                                                                 |                                                                                   |                                                                                                   |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vadības<br>Vārpstas<br>taustiņi                                                 |  | Ieslēdz darbvārpstas rotāciju pretēji pulksteņrādītāja kustības virzienam                         |
|                                                                                 |  | Pārtrauc darbvārpstas rotāciju                                                                    |
|                                                                                 |  | Ieslēdz darbvārpstas rotāciju pulksteņrādītāja virzienā                                           |
| Programmas<br>palaišanas,<br>izslēgšanas un atkārtotas<br>iestatīšanas taustiņi |  | Pārtrauc apstrādes programmu izpildi                                                              |
|                                                                                 |  | Tiek uzsākta apstrādes programmu izpilde                                                          |
|                                                                                 |  | Aptur jebkuru darbgalda pārvietojumu un darbvārpstas rotāciju. Atjauno vai atceļ visas programmas |

Operatora vadības paneļa ekrāns parāda detaļu apstrādes programmas, darbgalda asu stāvokli, instrumentu koordinātes, instrumentu trajektorijas un citu informāciju (2.76 attēls.). Turklāt tas ļauj rakstīt jaunas programmas, atjaunināt pieejamās programmas, izvēlēties valodu, parādīt diagnostikas sistēmas informāciju u.c.



2.76 attēls. CNC darbgalda vadības paneļa ekrāna attēls

CNC darbgalda vadības paneļa ekrānā redzamā standarta informācija ir parādīta 2.5 tabulā.

*2.5. tabula. Operatora vadības panelī redzamā informācija*

|           |                                                                                                                                 |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1</b>  | Aktīvā darbības zona un darba režīms                                                                                            |
| <b>2</b>  | Signalizācijas/ziņojumu rinda                                                                                                   |
| <b>3</b>  | Programmas nosaukums                                                                                                            |
| <b>4</b>  | Kanāla stāvoklis un programmas ietekme                                                                                          |
| <b>5</b>  | Kanāla operāciju ziņojumi                                                                                                       |
| <b>6</b>  | Asu izvietojuma norāde faktiskās vērtības logs                                                                                  |
| <b>7</b>  | Informācija par aktīvo instrumentu (T ), darba padevi (F ), apgriezietņu skaitu (S ), darbvārpstas izmantošanu procentos        |
| <b>8</b>  | Aktīvās apstrādes programmas logs                                                                                               |
| <b>9</b>  | Aktīvo kodu G (sagatavošanas komandu), visu kodu G, dažādu funkciju ievades logs (piemēram, izlaistie bloki, programmas vadība) |
| <b>10</b> | Dialoglodziņš, lai iegūtu papildu informāciju                                                                                   |
| <b>11</b> | Horizontālais izvēles taustiņš                                                                                                  |
| <b>12</b> | Vertikālais izvēles taustiņš                                                                                                    |

Citu ražotāju darbgaldiem var būt arī pogas un slēdži citiem mērķiem, bet daudzi no tiem tiek izmantoti, lai veiktu līdzīgas funkcijas.

Daudziem CNC darbgaldiem jābūt aprīkoti ar tālvadības pulti, ar kuru operators var veikt konkrētas mašīnas darbības, piemēram, lai piespiestu spiedpogu avārijas gadījumā un apturētu darbgaldus, atrodoties netālu prom no darbgalda vadības paneļa vai, lai iestatītu apstrādājamās detaļas atskaites punktus, atrodoties apstrādes zonā (iekšā darbgaldā) (2.6 tabula).

2.6 tabula. Operatora tālvadības pogu mērķis

|    | Poz. nr. | Mērķis                            | Apraksts                                                                                                                 |                                                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                     | 6        | Rotējošais slēdzis                | Izvēles slēdzis, kas kontrolē atsevišķas asis                                                                            |                                                                        |
|                                                                                     | 7        | Rotējošais slēdzis                | Padeves ātruma izvēles slēdzis                                                                                           |                                                                        |
|                                                                                     | 8        | Rokas rats                        | Rokas rats, lai pārvietotos pa atsevišķām asīm                                                                           |                                                                        |
|                                                                                     | 9        | Poga avārijas apstāšanās gadījumā | Spiedpoga avārijas apturēšanas gadījumā izslēdz CNC iekārtu                                                              |                                                                        |
|                                                                                     | 10       | Apstiprinājuma poga               | Iestatīšanas režīmā, ja bīdāmās durvis ir atvērtas, ir jāaktivizē apstiprinājuma poga, lai atļautu atsevišķu asu kustību |                                                                        |
|  | 1        | Servo piedziņa ir IESLĒGTA        | Ieslēdz servo motoru vadības ķēdi                                                                                        |                                                                        |
|                                                                                     | 11       | Atslēgas slēdzis                  | Drošības slēdzis, lai aktivizētu vai deaktivizētu instrumenta iestatīšanas darbību                                       |                                                                        |
|                                                                                     |          | Pārslēgt pozīciju                 | 0                                                                                                                        | Iestatīšanas režīms nav pieejams - CNC programmu apstrāde ir iespējota |
|                                                                                     |          |                                   | 1                                                                                                                        | Iestatīšanas režīms ir aktivizēts                                      |

## 2.4. Instrumentu iespīlēšanas aprīkojums

Griezējinstrumenta nostiprināšanas iekārta. Instrumentu turētājiem principā ir trīs uzdevumi. Tie ir: nofiksēt tos vietā, pārvadīt griešanas kustību un pielietot griešanas spēku.

Darbarīkus var nostiprināt mašīnās, izmantojot šādas metodes: nekustīgie savienojumi, berzes savienojumi (piespiešana ar spēku) un kombinētie savienojumi. Nekustīgie savienojumi tiek realizēti, izmantojot ķīļus, tapas un citus fiksējošos elementus. Uzliekamais instrumentus var nostiprināt ar ķīļi uz cilindriskā tapņa. Darbvārpstā iekšā ievietoti instrumenti tiek iespīlēti ar vītņgriešanas spīļžokļiem, konusveida kātiem un koniskiem ķīļiem, kā arī ar spīļpatronām, Morzes konusiem ar ievīlcējiem. Cilindriskās detaļas darbvārpstā ievietotajiem instrumentiem, kas iespīlētas ātrās maiņas patronās, tiek ražotas dažādu formu spīļu un ierīevju izskatā.

Zemāk 2.7. tabulā ir uzskaitīti instrumentu turētāji, kurus izmanto griezējinstrumentiem.

2.7. tabula. Instrumentu turētāji universālajās mašīnās

| Darbības nosaukums | Instrumentu turētāji                                                                                                                                               |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Urbšana            | Trīsžokļu urbpatrona<br>Ātrās fiksēšanas urbpatrona<br>Morzes konuss vai Morzes konuss kopā ar redukcijas buksi<br>Urbja patronas balsta stiprinājums              |
| Vītņgriešana       | Divu žokļu vītņgriešanas patronas<br>Vītņu griešanas ātras maiņas patrona sinhronizētajām darbvārpstām<br>Vītnes griešanas patrona<br>Vītņurbja iespīlēšanas canga |
| Frēzēšana          | Frēzēšanas griezējinstrumenta stiprinājums<br>Frēzēšanas patrona<br>Gala frēzes turētājs<br>Gliemeža veida frēze ar šķērsvirziena rievu                            |
| Slīpēšana          | Slīpēšanas abrazīvā diska montāža tieši uz slīpmašīnas vārpstas                                                                                                    |
| Virpošana          | Griežņu turētājs<br>Revolvergalvas stiprināšanas rieva                                                                                                             |

Maza diametra instrumentu (piemēram, urbju) cilindriskie kāti ir izgatavoti bez papildu elementiem, lai pārvadītu griezes momentu. Manuālie vītņurbji un rīvurbji ir izveidoti

ar kvadrātveida kāta galu. Konusveida instrumenta kāti tiek izmantoti, lai pārvadītu augstu griezes momentu. Instrumenta kakliņa kāta izmēri ir aprēķināti, lai mašīnas griezes momentu pārnestu uz instrumentu ar berzes palīdzību. Griezes momenta pārvadīšana, izmantojot instrumenta iedzītni, nav atļauta. Iedzītis ir nepieciešams, lai izgrūstu instrumentu no darbvārpstas cauruma.

Katrs mašīnas ražotājs parasti izmanto tādas pašas sistēmas turētājus visiem izgatavotajiem mašīnu modeļiem, bet turētāju lielums var atšķirties atkarībā no mašīnu izmēra un modeļa.

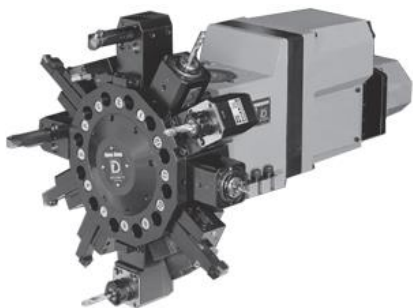
#### 2.4.1. Iespēlēšanas aprīkojums virpošanas instrumentiem

Parasti griezējinstrumenti virpošanas darbā ir vienas apstrādes veida instrumenti: ārējā virpošana, iekšējā izvirošana, urbšana utt. Universālajās virpās griezējinstrumenti tiek iestiprināti četru pozīciju instrumenta turētājā (2.77. attēls). Apstrādājot detaļu, šim turētājam var būt padeve gareniskajā, šķērsvirzienā vai pa diagonāli.



2.77. attēls. Četru pozīciju instrumentu turētājs virpošanas instrumentu ieslēšanai (PracticalMachinist.com)

Virpās ar revolvergalvu instrumentu turētāji ir nostiprināti revolvergalvas rievās. Griezējinstrumenti ir sakārtoti, pamatojoties uz apstrādes darbību secību. Vertikālās urbšanas un virpošanas gadījumā, griešanas instrumenti ir piestiprināti pie vertikālajiem vai sāniskajiem instrumentu turētājiem. CNC virpās instrumenti nav iespīlēti tieši, bet īpašos turētājos, kas ievietoti revolvergalvas rievās vai īpašās atverēs (2.78. attēls).



2.78. attēls. CNC virpas revolvergalva (Diplomatic Automation Srl)

Instrumenta turētāja forma ir atkarīga no instrumenta ģeometrijas un mērķa. Turētāja

tips un izmērs revolvergalvā ir atkarīgs no mašīnas konstrukcijas, jaudas un tehniskajām iespējām (aktīvie instrumenti, manuāla un automātiska iespīlēšana).

Griezējinstrumenti tiek ievietoti revolvergalvas atverēs tādā veidā, lai to numurs sakristu ar instrumenta adreses vērtībām, kas norādītas vadības programmā.

#### **PRAKTISKI PADOMI:**

Pirms novietot glabāšanā instrumentu turētājus, atlikušā emulsija ir jānožāvē.

#### **2.4.2. Iespīlēšanas aprīkojums frēzēšanas instrumentiem**

Atšķirībā no CNC virpām un tādiem apstrādes centriem, kur darbarīki tiek iespīlēti rotējošā revolvergalvā, CNC frēzēšanas darbgaldos un apstrādes centros instrumenti tiek novietoti instrumentu magazīnā. Izmantojot mainīšanas manipulatoru, no šīs magazīnas tiek paņemti nepieciešamie instrumenti un ievietoti darbvārpstā, kas tiek lietota visiem instrumentiem. Ja nav mainīšanas manipulatora, tad darbvārpsta instrumentu mainīšanas laikā savietojas ar instrumenta ligzdu. Tā kā visiem instrumentiem tiek izmantota viena darbvārpsta, instrumenta nostiprināšanai jābūt vienvēidīgai. To var panākt, izmantojot instrumentu turētājus, kas ir ar standartizētu to instrumenta turētāja daļu, kas tiek ievietota darbvārpstā, bet tā instrumentu turētāja daļa, kurā ievietots instruments, var būt ar atšķirīgu dizainu.

#### **PRAKTISKI PADOMI:**

Pirms instrumentu turētāja izmantošanas, jānovērtē tā stāvoklis. Instrumenta iespīlēšanas elementi un turētāja stiprinājuma konisko daļu vārpstā jātīra ar saspiestu gaisu.

CNC frēzēšanas mašīnās un apstrādes centros instrumenta turētāja kātu izmēri ir atkarīgi no mašīnas modeļa. SK, HSK, BT, CAT veidi (2.79. attēls) ir šodien visplašāk izmantotie instrumentu turētāji.



2.79. attēls. Instrumentu turētāju veidi: a- SK turētājs (Laip, SA), b- HSK turētājs ar ievietotu griezējinstrumentu (Seco instrumenti), c- BT 40 turētājs (Maritool), d- CAT 40 turētājs (Techniks, Inc)

Frēzēšanas instrumentu nostiprināšanas daļa jeb kāts ir paredzēta precīzai instrumenta nofiksēšanai darbvārpstā. Katra šāda instrumenta iespīlējošā daļa ir konusveida stienis,



kuru izmanto, lai iespīlētu instrumentu turētāju un pārvadītu griešanas spēkus. Savienojums ar konusveida kātu ir ļoti stabils. Šo instrumentu var ātri un viegli nomainīt gan manuāli, gan automātiski. Sakarā ar lielu kontakta virsmas laukumu, griezes momenta pārvešana uz instrumentu ir ļoti stabila.

Griezējinstrumenti parasti ir ievietoti turētājā ar urbumu, un iespīlēti ar tapu vai iespīlēšanas skrūvi.

Frēzēšanas instrumenti ar kātu tiek iespīlēti ar cilindrisku vai konusveida caurumu, vai arī izmantojot iespīlēšanas cagu (2.80. attēls un 2.81. attēls).



2.80. attēls. Griezēja koniskais stiprinājuma stienis(Gehring Technologies GmbH)



2.81. attēls. Iespīlēšanas caga un bloķējošais uzgrieznis (Techniks Industries)

Iespīlējot instrumentu cilindriskā vai koniskā caurumā, griezes moments tiek pārvadīts uz instrumentu ar paralēlu vai konusveida ierīvi, un tādēļ instrumenti tiek izgatavoti ar ķīļrievām.

Pirkstfrēzes, kuras izmanto virsmu frēzēšanai, var arī iespīlēt konusveida iespīlēšanas cangā, vai piestiprinot uz griežņa turētāja ar uzgriezni (2.82. attēls.).



2.82. attēls. Fiksēta griezēja turētājs ar bloķējošo uzgriezni (Gehring Technologies GmbH)

Weldon tipa instrumentu turētājus izmanto, lai iespīlētu griezējinstrumentus ar cilindrisku kātu. Tie ir izgatavoti ar iekšējās dzesēšanas kanāliem un ļoti augstu radiālo precizitāti (2.83. attēls). Turklāt, lai nostiprinātu un ierakstītu instrumentu parametrus

vadības sistēmā, tiek piedāvāta īpaša mikroshēmas atvēršanas iespēja.



2.83. attēls. Weldon tipa instrumentu turētājs ar HSK konusveida kātu (Hoffmann Group)

CNC frēzēšanas darbgaldos un apstrādes centros instrumenti tiek nomainīti, izmantojot dažādas metodes. Tos var nomainīt ar mainīšanas manipulatoru, vai arī darbvārpsta nolaižas uz instrumenta magazīnas ligzdas. Tad instrumenta turētāja konusveida kāts nonāk darbvārpstas koniskajā caurumā, un īpašs mehānisms darbvārpstas iekšpusē iespīlē instrumentu turētāju un nofiksē to. Tādējādi instruments ir ne tikai nostiprināts, bet arī centrēts. Ievietošanas kustības dziļumu ierobežo turētājā izveidotais atbalsts.

#### **PRAKTISKI PADOMI:**

Pirms iespīlēšanas cangu lietošanas vai uzglabāšanas tās rūpīgi jānotīra un jāpārbauda.

#### **2.4.3. Urbju, gredzenurbju, gremdurbju, nofāzēšanas un izrīvēšanas instrumentu iespīlēšanas aprīkojums**

Spirālurbjiem, kam diametrs ir mazāks par 10 mm, ir cilindrisks kāts. Iespīlējot šo urbi, jālieto trīsšokļu urbšanas patrona (2.84. attēls) vai iespīlēšanas canga. Instrumenta iespīlējumu veic urbjpgatronā, izmantojot noteikta tipa atslēgu, kas pagriež īpašu patronas uzgriezni. Zobrata tipa atslēga un iespīlēšanas uzgrieznis ar zobiem ir standartizēti. Atslēgu var izmantot jebkurai urbjpgatronai.



2.84. attēls. Trīsšokļu urbjpgatrona (Gehring Technologies GmbH)

Urbi arī var iespīlēt ātrās iespīlēšanas urbjpgatronā, manuāli pievelkot (2.85. attēls). Instrumenta iespīlēšanas spēks ir mazāks, bet instrumenta iespīlēšanai nepieciešams īsāks laiks.



2.85. attēls. Ātrās atbrīvošanas urbpatrona (Gehring Technologies GmbH)

Atšķirībā no universālajām iekārtām, CNC iekārtās parasti tiek izmantots konusveida kātu turētājs, lai iespīlētu instrumentu (2.86. attēls). Tas nodrošina, ka instruments ir pareizi nocentrēts.



2.86. attēls. Turētājs ar konusveida kātu (Gehring Technologies GmbH)

Ražošanas procesā bieži jāmaina gremdurbji un paplašinātājburi, tādēļ tie ātri jāiespīlē mašīnā, un precīzi jānocentrē vārpstā. Gremdurbji un paplašinātājburi, ar griezējplāksnītēm ar konusveida kātu, tiek iespīlēti vārpstas konusā. Maza diametra mašīnu rīvurbji tiek iespīlēti iespīlēšanas cangā vai cilindriskā turētājā, bet rīvurbji ar lielāku diametru – instrumentu turētājā ar konusveida caurumu. Rokas rīvurbju kāti ir kvadrātveida formas.

#### 2.4.4. Iespīlēšanas aprīkojums vītņu griešanas instrumentiem

Izmantojot divžokļu spīlpatronu, var precīzi kontrolēt vītnes instrumentu, kad tas iegriežas un izgriežas no urbuma (2.87 attēls). Pareizi izvēlēts vītnes un čaulas rotācijas ātrums novērš instrumenta salaušanu.



2.87. attēls. Divžokļu vītņurbju spīlpatrona (Gehring Technologies GmbH)

Attiecībā uz galda un stacionārām urbšanas mašīnām, kuras var darbināt ar manuālo padevi, ja mašīnas vārpstām nav atpakaļgaitas, var izmantot reversās kustības vītņurbju turētājus (2.88. attēls). Kāta konstrukcija ir aprīkota ar aizsargmehānismu, lai pasargātu vītņurbji no salaušanas.



2.88. attēls. Reversās kustības patrona (Hoffmann grupa)

Darbgaldos ar reverso darbvārpstas rotāciju var izmantot standarta (2.89. attēls), kā arī ātrās maiņas (2.90. attēls) vītņurbja patronas. Tie arī ir aprīkoti ar aizsargmehānismu, kas novērš vītņurbja salaušanu apstrādes procesā.



2.89. attēls. Divžokļu vītņurbja patrona (Gehring Technologies GmbH)

Vītņurbja patronā ir izveidota ieapaļa rieva, lai iespīlētu mašīnu vītņurbjus patronā. Rokas vītņurbji ir nostiprināti turētājā ar kvadrātveida kātu.



2.90. attēls. Ātrās maiņas patrona (Gehring Technologies GmbH)

Virpošanas darbagaldos vītņurbji parasti ir iespīlēti aktīvo instrumentu turētāju spīļčaulās.

#### **PRAKTISKI PADOMI:**

Precīzai apstrādei ieteicams izmantot hidrauliskos vai termiskos instrumentu turētājus.

Pirms ievietot instrumentu turētājā, jāizvērtē instrumenta un turētāja stāvoklis.

Pirms ievietot instrumentu skapī pēc darbības veikšanas, jānovērtē tā stāvoklis un piemērotība turpmākai izmantošanai.

## 3. APSTRĀDES PROCESI

### 3.1. Virpošana

Virpošana nozīmē materiālu griešanu ar noteiktas formas ģeometriskiem asmeņiem ar perifērisko griešanās kustību, t.i., rotējošu ķermeņu formēšanu veic uz virpām. Virpošana var tikt izmantota apstrādājamo materiālu ārējām, iekšējām un gala virsmām. Šī ir visbiežāk izmantotā rotēšanas apstrādes metode (3.1. attēls).



3.1. attēls. Virpošana

Parasti virpošanas laikā rotē sagatave, bet nofiksētais griešanas instruments pārvietojas apstrādes virsmas gareniskajā un šķērsvirzienā.

Virpošana tiek izmantota dažādu virsmu un formu apstrādei, piemēram, cilindrisku, konusveida un spirālveida virsmu apstrādei (3.2. attēls).



3.2. attēls. Virpošanas izstrādājumu piemēri

Pamatojoties uz virsmas apstrādes virpošanas metodēm, tās tiek sadalītas garenvirziena, sānu, gala virsmas, vītņu griešanā, rievās (3.3. attēls), konusa (3.3.f attēls) vai kontūra apvirpošanā.

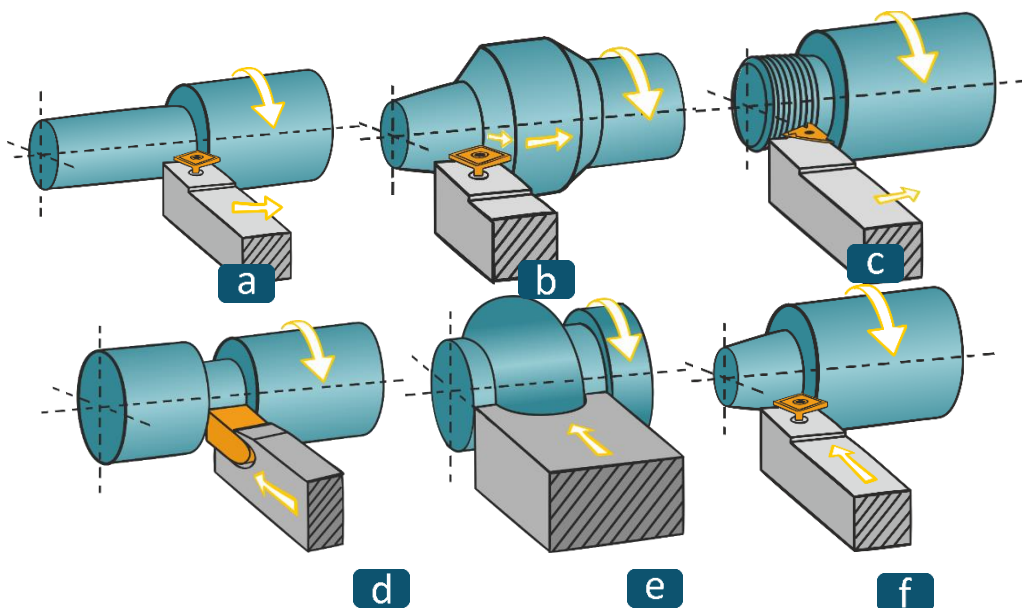
**Gareniskās virpošanas** gadījumā sagatave tiek apstrādāta ar griezējinstrumentu, kas pārvietojas gar rotējošo sagatavi (3.3.a. attēls).

**Gala virsmas apstrādes gadījumā** apstrāde notiek perpendikulāri rotācijas asij, un

veido plakanas virsmas. Griezējinstrumentu var atrasties gan šķērsvirzienā, gan gareniski (3.3.b. attēls). Gala virsmas virpošanu var tālāk sadalīt: gala virsmas virpošanā, detaļas nogriešanā un garenvirziena gala virsmas virpošanā.

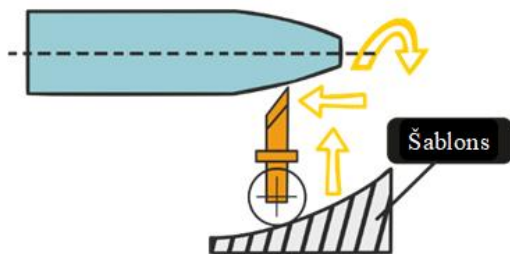
**Vītne griešana** nozīmē, ka vītņotā virsma tiek izgriezta ar nepieciešamā profila griezni, kur tā pārvietojums, viena sagataves apgrieziena laikā, ir vienāds ar vītne soli (3.3.c. attēls).

Izmantojot **kontūra virpošanu**, izveidotā griezņa forma tiek pārnesta uz apstrādājamo detaļu. Formējošie instrumenti parasti tiek izmantoti, lai apstrādātu īsu un precīzu kontūru formas sagataves (3.3.e. attēls).



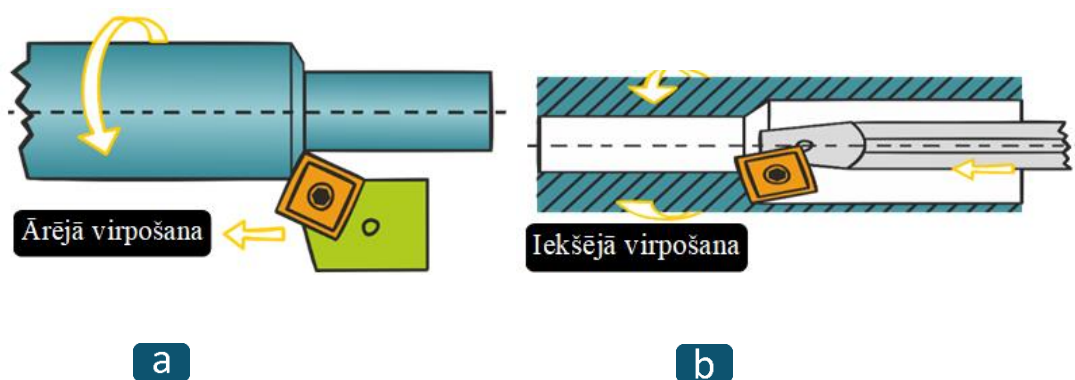
3.3. attēls. Virpošanas metodes: a- garenvirziena virpošana, b- garenvirziena- gala virsmas virpošana c- vītņu griešana, d- rievu virpošana, e- kontūra virpošana, f- konusa virpošana.

Vienkāršai sagatavju apstrādei ar kontūra veidojošo instrumentu izmanto universālo virpošanas-kopēšanas mašīnu. Tad lieto profilētu šablonu, kura kontūra atbilst apstrādātās virsmas kontūrām (3.4. attēls).



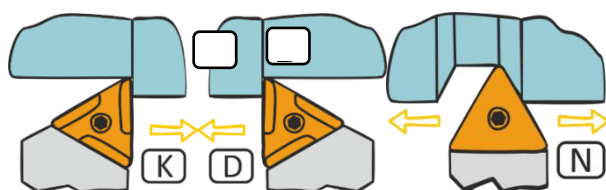
3.4. attēls. Kopēšana, izmantojot šablonu

Ņemot vērā instrumenta atrašanās pozīciju apstrādājamajā sagatavē, virpošanu sadala ārējā un iekšējā virpošanā (3.5. attēls).



3.5. attēls. Apstrādes pozīcija virpošanā: a- ārējā virpošana, b- iekšējā virpošana

Griezējinstrumenta galvenās griešanas malas novietojums, attiecībā pret instrumenta korpusu, nosaka griešanas virzienu. Griezējinstrumenta padeves virziena kontekstā virpošanas instrumenti tiek sadalīti labās rokas virziena (R), kreisās rokas virziena (L) un neitrālajā (N) (3.6. attēls).



3.6. attēls. Virpošanas instrumentu padeves virziens

Labās puses instruments ir tas, kurš virpošanas laikā pārvietojas no labās puses uz kreiso pusi, bet kreisās puses instruments - no kreisās uz labo pusi. Tos var viegli atšķirt, novietojot labās vai kreisās rokas plaukstu uz griezējinstrumenta. Labās puses griezējinstrumenta griešanas mala atrodas labās rokas īkšķa pusē, turpretim kreisās puses – kreisās rokas īkšķa pusē.

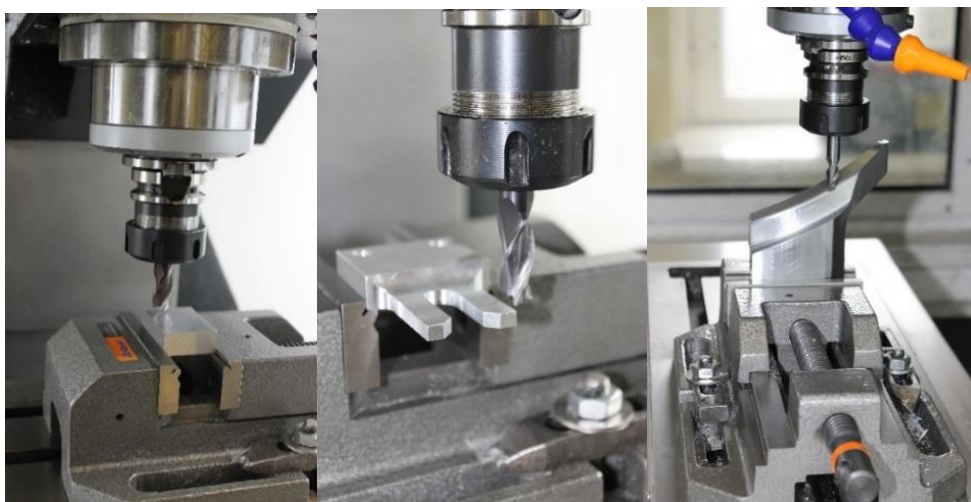
Virpošanas griezējinstrumenti tiek sadalīti apvirpošanas un izvirpošanas instrumentos. Virpošanas instrumenta veids, izmērs, pielāgojums un konstrukcija jāizvēlas, pamatojoties uz apstrādājamās sagataves materiālu un formu, darba padeves virzienu un skaidu formu. Sagatavē urbums tiek izvirpots ar viena asmeņa griezējinstrumentu, divpusējiem griezējinstrumentiem ar divām vai vairākām griešanas malām, vai izvirpojamo galvu. Izvirpošanas gadījumā rotē detaļa vai griezējinstrumenta, vai abi divi. Ar izvirpošanas instrumentiem ir iespējams izvirpot necaurejošus, caurejošus vai pakāpienveida caurumus, sākot ar 3 mm līdz pat 200 mm un vairāk.

Pamatojoties uz apstrādātā elementa precizitāti un virsmas kvalitāti, virpošanu var iedalīt: pirmapstrāde, rupjapstrāde, daļēji gluda apstrāde, gluda un precīza apstrāde. Tāpat arī izvirpošanā var būt gan rupjapstrāde, gan precīza apstrāde, ko daudzos gadījumos dēvē par dimanta izvirpošanu.



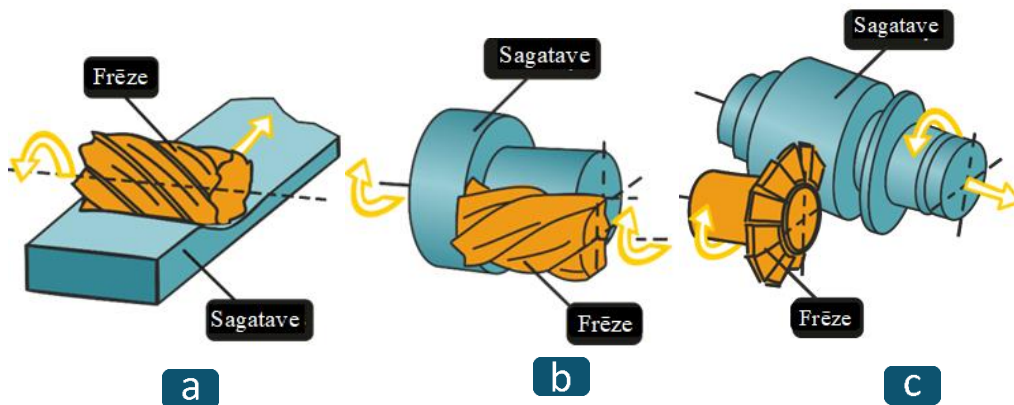
## 3.2. Frēzēšana

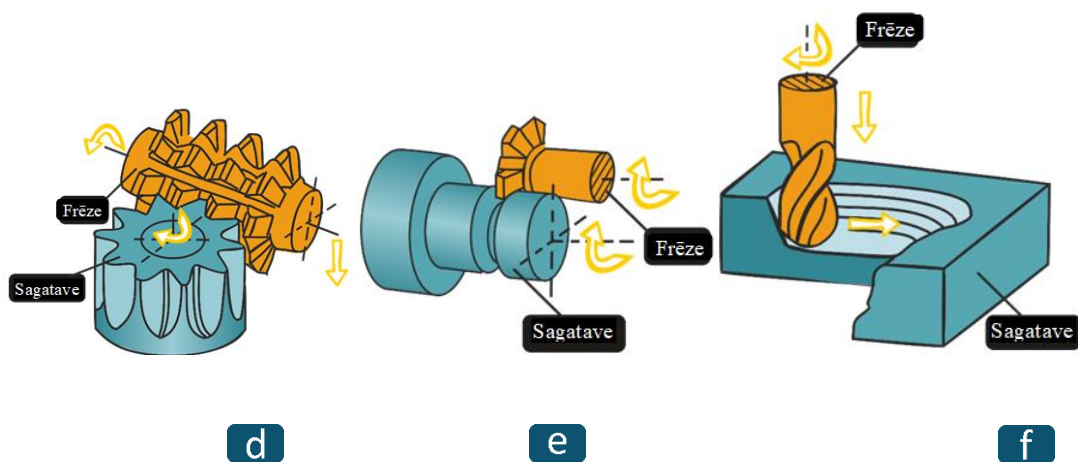
Par frēzēšanu uzskata materiālu mehānisku apstrādi, kad apstrādes rīks (griezējinstrumenti), rotējot un pārvietojoties pa apstrādājamās detaļas virsmu, noņem apstrādes skaidas ar noteiktu biezumu (3.7. attēls). Frēzēšana ietver vairāku zobu instrumentu, kas veic griešanu, izmantojot vairākus zobus vienlaicīgi. Tas ir visizplatītākais no efektīvajiem virsmas apstrādes veidiem.



3.7. attēls. Frēzēšanas process

Frēzēšanu var izmantot dažādu sagatavju virsmu apstrādei: plaknēm, kontūrām, spirālveida virsmām, zobratu zobiem, spraugām, rievām, štancēšanas kontūrām, griezējinstrumentu zobiem un citām. (3.8. attēls).





3.8. attēls. Frēzēšanas metodes: a- virsmas frēzēšana; b- cilindriskā frēzēšana; c- vītņu frēzēšana;

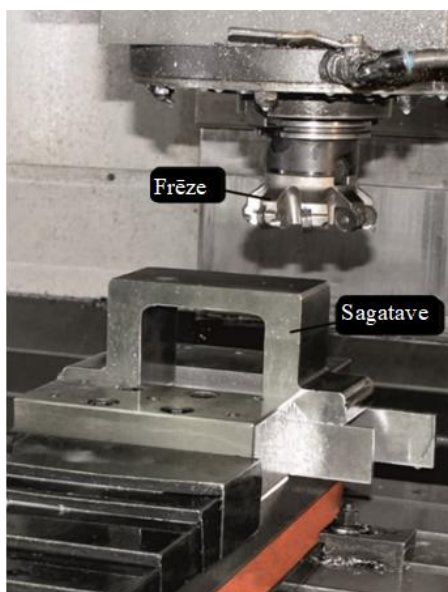
d- frēzēšana ar gliemežfrēzi; e- formas frēzēšana; f- kontūras frēzēšana.

Frēzēšanu var izmantot, lai sagatavei izveidotu gludu virsmu, lai izgrieztu dažādas formas un dziļuma rievas, fāzes, lai apstrādātu lineārus un izliektus kontūrus. Frēzēšanas laikā griezējinstrumenta griežas ap savu asi un pārvietojas pa apstrādājamās detaļas virsmu. Tas ir atkarīgs no frēzēšanas mašīnas konstrukcijas.

Frēzēšanas sagatave tiek ievietota nostiprināšanas palīgierīcē vai, izmantojot īpašu aprīkojumu, vienkārši piestiprināta darbgalda apstrādes galdam. Parasti taisnstūrveida sagataves tiek fiksētas skrūvspīlēs, bet cilindriskas sagataves ar prizmu. Atkarībā no darbgalda konstrukcijas, apstrādes laikā sagatave pārvietojas kopā ar galdu, bet darbvārpsta ir nekustīga. Citā gadījumā apstrādes galds ir nekustīgs, bet pārvietojas darbvārpsta ar instrumentu.

Atšķirībā no virpas, frēzēšanas griezējinstrumenta zoba griešanas malas nepārtraukti nesaskaras ar metāla virsmu, tādējādi mazinot sagataves uzsilšanu. Tas attiecīgi ļauj palielināt frēzēšanas ātrumu.

**Plaknes frēzēšana.** Plaknes virsmas parasti tiek apstrādātas, izmantojot cilindriskās gala frēzes vai kroņveida griezējinstrumentus (3.9. attēls).



3.9. attēls. Plakņu frēzēšana ar kroņveida griezējinstrumentu

### **Cilindriskā frēzēšana.**

Cilindriskās virsmas tiek apstrādātas ar darba padevi pa aploci: pastāv ārējā cilindriskā frēzēšana un iekšējā cilindriskā frēzēšana.

### **Vītņveida frēzēšana.**

Spirāles veida virsmas tiek frēzētas ar spirālveida darba padevi: lieto formējošos, vītņveida vai cilindriskās formas instrumentus, izmanto vītņu griezējplāksnes vai vītņu preses.

### **Frēzēšana ar novelšanās tipa zobfrēzmašīnu.**

Formējošais griezējinstrumentu izskatās kā gliemezis: lieto efektīvai zobratu frēzēšanai un vārpstu rievu frēzēšanai.

### **Kontūru frēzēšana.**

Jebkādas plakanas vai telpiskās virsmas tiek frēzētas ar kontrolētu darba padevi: kontūras frēzēšana, CNC kontūras frēzēšana, gravēšana (3.10. attēls).



3.10. attēls. Kontūru frēzēšana

### **Formas frēzēšana.**

Parasti griezējinstrumenta profils ir ar iepriekš sagatavotu formu: lieto garenvirziena frēzēšanu, cilindriskās formas frēzēšanu.

**Griezējinstrumenti tiek klasificēti**, pamatojoties uz:

- Montāžas metodi (rotora tipa griezējinstrumenti ar cilindrisku vai konusveida montāžas caurumu;
- Griezēja formu (cilindriskas, kroņveida, diska formas, leņķa (fāzes), pusapaļa profila forma, T veida u.c. griezējinstrumenti);
- Zobu formu un virzienu;
- Paredzēto pielietojumu (plaknes, kabatas, kontūras virsmas, šķēlumi, vītnes vai zobveida izgriezumi)

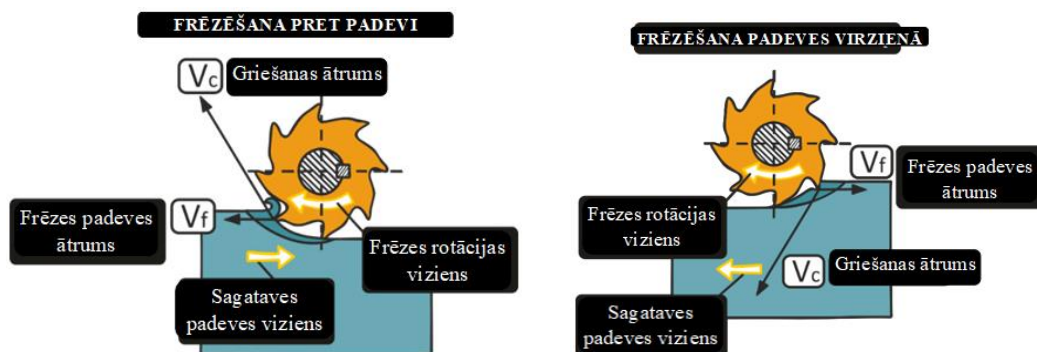
Griešanas rīku ražotāji piedāvā dažāda veida griezējinstrumentus detaļu apstrādei (3.11. attēls).



3.11. attēls. Griezējinstrumentu piemēri: a- disku frēze; b- kroņveida; c-cilindriskie griezējinstrumenti; d- gala frēze; e- T-veida frēze (Gehring Technologies GmbH)

### Pretfrēzēšana un padeves frēzēšana.

Frēzēšana ar cilindriskiem, kroņveida un diska griezējinstrumentiem, kuru pamatā ir padeve un griešanas kustība, apstrādes virzieni ir sadalīti frēzēšanā pret padevi un padeves virzienā.



3.12. attēls. Tradicionālā un kāpšanas frēzēšana

Pretpadeves frēzēšanā griezējinstrumenta perifēriskais ātruma virziens ir pretējs detaļas padeves virzienam (3.12. attēls). Pretpadeves frēzēšanā griešana sākas ar plāna slāņa noņemšanu un beidzas ar maksimālā lieluma slāņa noņemšanu.

Frēzēšanā padeves virzienā griezēja perifēriskais ātruma virziens ir tāds pats kā detaļas padeves virziens. Frēzēšanā padeves virzienā griešana sākas, noņemot maksimālo slāni un beidzas, noņemot minimālo slāni. Tādējādi frēzēšana padeves virzienā atstāj labāku virsmas kvalitāti, kā arī paildzina instrumenta darbības mūžu.

#### PRAKTISKAIS PADOMS:

Pretpadeves frēzēšanu ieteicams izmantot detaļām, kuras ir sagrieztas, izmantojot plazmas vai lāzera staru.

Frēzēšana tiek klasificēta sekojoši: rupjā, daļēji gludā, gludā un precīzā. Rupjā frēzēšana tiek pielietota, lai noņemtu lielu daudzumu (pārsniedz 3 mm) virsmas, parasti tās ir kalto virsmu un lējumu virsmu apstrādes. Precīzā frēzēšanā ieteicams izmantot kroņveida griezējinstrumentus. Precīzajā frēzēšanā griešanas dziļums ir:  $t = 0,05-0,1$  mm, taisnuma novirze vienā metrā nepārsniedz 0,04-0,02 mm.

### 3.3. Urbšana, gremdēšana, izrīvēšana, vītņošana

Virpošanas un frēzēšanas mehāniskie apstrādes centri piedāvā iespēju ne tikai virpot un frēzēt, bet arī urbt, gremdēt, izrīvēt un griezt vītņi.

Virpā sagatave rotē, bet instruments ir nekustīgs. Urbšana tiek veikta, kad urbis ir uzstādīts uz aizmugures balsta. Šajā darbīgaldā vītne var tikt izgatavota gan iekšējā, gan ārējā. Iekšējā vītņgriešana tiek veikta, izmantojot vītņurbī vai vītnes izvirkšanas instrumentu. Ārējā vītņgriešana tiek veikta ar vītņu ripām vai vītnes virpošanas instrumentu.

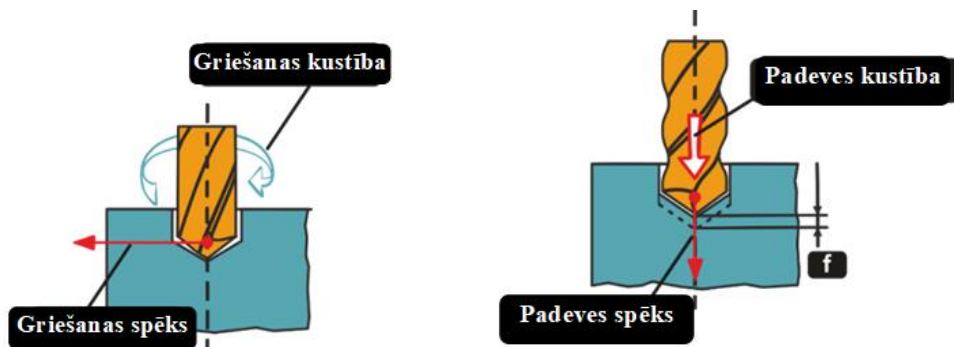
Frēzēšanas dabgaldos urbšana, vītņgriešana un izrīvēšana tiek veikta tādā pat veidā kā virpošanā, tikai frēzēšanas griezējinstrumentu tiek samainīts ar urbi, rīvurbi vai ko līdzīgu, kas rotē ap savu asi.

## Urbšana

Urbumi tiek apstrādāti, izmantojot dažādus griezējinstrumentus, ņemot vērā detaļas tipu, nepieciešamo precizitāti un virsmas raupjumu. Sagatavēs var būt caurumi, kas tiek izgatavoti, izmantojot liešanu, kalšanu vai štancēšanu, kā arī bez esošiem caurumiem. Visos gadījumos sagatavu apstrāde bez esošiem caurumiem sākas ar urbšanu.

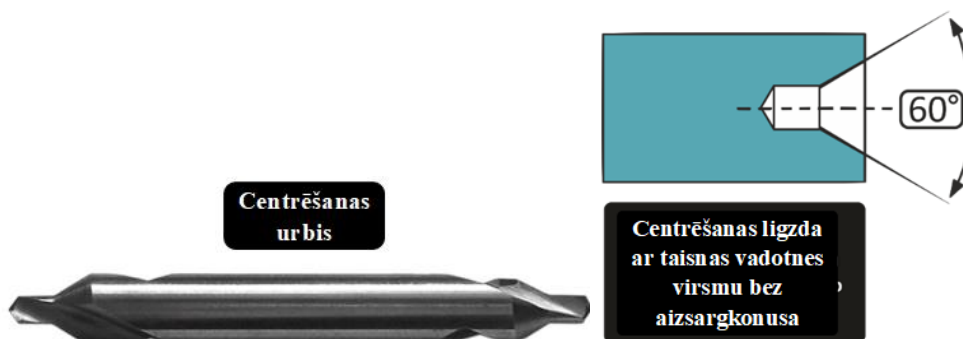
Urbšana ir viena no visbiežāk sastopamajām, visproduktīvākajām un vecākajām metāla, un citu materiālu apstrādes metodēm, ko izmanto, lai izveidotu urbumus. Pamatojoties uz to uzbūvi, urbjus tiek klasificēti šādi: centrurbis, spirālurbis, gremdurbis, rīvurbis, pakāpienveida urbis, kroņveida urbis, dziļurbšanas (lielgabala) urbis, speciālie urbjus.

Urbji veic griešanu ar apļveida griešanas kustību, un padeves virziens ir rotācijas ass virzienā. Izmantojot darba padeves spēku, griezošās šķautnes iegriežas materiālā. Cirkulārā griešanas kustība rada griešanas spēku (3.13. attēls).



3.13. attēls Griešanas spēks un kustība

**Izmantojot centrēšanas urbjus**, urbumi tiek izurbti vienā gājienā katram urbumam (3.14. attēls). Centra urbjus ir nepieciešami, lai novietotu sagatavi starp centriem virpošanas vai slīpēšanas procesā, kā arī precīzai turpmākās urbšanas pozicionēšanai. Sākotnējā centrēšana tiek plaši izmantota caurumu urbšanā ar automatizētiem darbgaldiem.



3.14. attēls Centrēšanas urbis (Gehring Technologies GmbH)



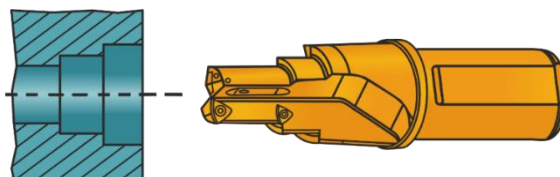
Precīzai un ātrai sākotnējai centrēšanai viengabala metālā tiek izmantots ciparu vadāmais darbgalds ar īpašu CNC centrēšanas urbi, kas izgatavots no augstvērtīga instrumentu tērauda vai cietmetāla (3.15. attēls). Centrēšanas urbjī tiek veidoti ar griešanas leņķi  $90^\circ$  vai  $120^\circ$ , un to spirālveida rievu leņķis ir mazāks nekā parasto urbju spirāļu leņķis.



3.15. attēls. CNC centrēšanas urbis (Gehring Technologies GmbH)

**Spirālurbji.** Tie tiek izgatavoti no augstvērtīga instrumentu tērauda vai cietmetāla. Sākotnēji ieteicams urbt caurumu ar diametru ne vairāk kā 30 mm. Pirms urbuma ar lielāku diametru, nepieciešams izurbt 10-15 mm dziļu sākuma urbumu. Urbumi ar diametru līdz 80 mm tiek urbti ar spirālurbjiem. Šie urbjī tiek izmantoti arī urbumu urbšanai, kuru garuma un diametra attiecība ir  $l/d \leq 5$ . Dziļākus urbumus ar šiem spirālurbjiem ir grūti (neekonomiski) urbt, griešanas rezultātā radušos skaidu aizvākšanas un sliktas dzesēšanas dēļ. Tāpat ir grūti izveidot urbuma asi perpendikulāri gala virsmai. Tādēļ dziļākiem caurumiem tiek izmantoti lielgabalu urbjī, vai dziļurbumu urbšanas uzgaļi. Pirms urbšanas, it īpaši attiecībā uz mazāku diametru caurumiem, ieteicams izmantot izklājuma sagatavošanas funkciju. Dažreiz, urbšanas precīzākai vadīšanai urbšanas laikā, tiek izmantotas vadīšanas čaulas jeb konduktori. Izmantojot spirālurbī, ir iespējams panākt 11. vai 12. urbumu precizitātes kvalitāti (IT11 vai IT12). Urbumi, kuru diametrs ir lielāks par 80 mm, tiek urbti ar paplašinātāurbjiem.

**Pakāpienveida urbjiem** ir dažādas pakāpes, lai vienlaicīgi urbtu vītņēm paredzētos caurumus ar koniskām vai cilindriskām pakāpēm (3.16. attēls). Īsās skaidriemas nodrošina augstu urbšanas stabilitāti pret vērpsanu, tādēļ tie ir īpaši piemēroti CNC darbgaldiem. Parasti tie ir ar caurplūdes dzesēšanu.



3.16. attēls. Pakāpienveida urbis ar maziem soļiem

**Dziļurbuma urbjī.** Dziļurbuma (ja  $l/d > 10$ ) urbjī var būt ar vienu malu un vairākām griezošām šķautnēm. Dziļurbuma urbjī var sasniegt 8. precizitātes kvalitāti un augstu virsmas kvalitāti. Apstrādājot detaļu, šie urbjī tiek centrēti ar vadītāja vadotnēm, kas atrodas uz vārpstas. Pēc tam urbis pats nocentrējas caurumā. Dzesēšanas smērviela cirkulē ar 1,2...1,6 MPa spiedienu caur caurumu, kas atrodas urbja galā, kas piegādā smērvielu urbšanas virsmai un aizskalo radušās skaidas caur speciāli izgatavotu skaidu kanālu.



## PRAKTISKI PADOMI:

Urbšanas laikā: pārbaudiet urbuma malu kvalitāti un nodrošiniet atbilstošu dzesēšanu darba zonā!

Urbšanas laikā regulāri pārbaudiet urbumu virsmas kvalitāti, lai savlaicīgi nomainītu vai uzasinātu urbi!

### Gremdēšana

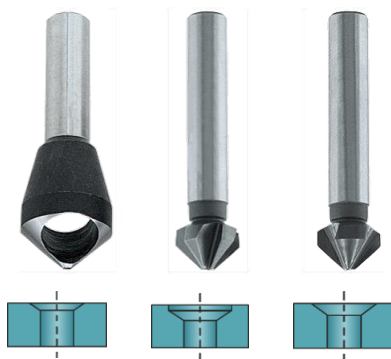
Gremdēšana attiecas uz cilindrisku vai konisku urbumu apstrādi lietās, kaltās, štancētās sagatavēs, vai uz sākumurbumu izveidošanu, lai palielinātu diametru, uzlabotu to virsmas kvalitāti, precizitāti (samazinātu koniskumu, ovālumu), lai izlīdzinātu izliektu urbuma asi. Veicot izurbtā urbuma gremdēšanu, tiek paaugstināta urbuma precizitāte par vienu precizitātes kvalitāti. Gremdēšanu var pielietot, kā urbumu apstrādes operāciju vai pagaidu operāciju, pirms caurumu izrīvēšanas.

Standarta gremdurbjiem ir vairākas griešanas šķautnes, un tās ir izturīgākās, kā spirālurbjiem. Urbumu izmērs var tikt palielināts līdz pat 120mm diametram. Ļoti bieži gremdēšana tiek veikta 2-3 soļos, lai izurbtu konkrētas formas caurumu (3.17. attēls).



3.17. attēls. Pakāpienveida gremdurbis (Coin Precision Tools Co, Ltd)

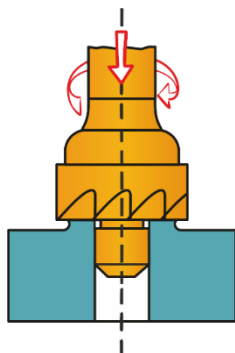
Gremdēšanu ir ērti izmantot cilindrisku vai konisku caurumu izveidošanai priekš iegremdēto skrūvju galviņām (3.18. attēls).



3.18. attēls. Koniskā gremdurbšana (Gehring Technologies GmbH)

Gremdēšana tiek izmantota arī urbumu gala virsmu apstrādes pabeigšanai un fāzēšanai. Tie ir arī pazīstami kā atskabargu nogriezēji, tiem ir pastāvīgs vai maināms

uzgalis (3.19. attēls).

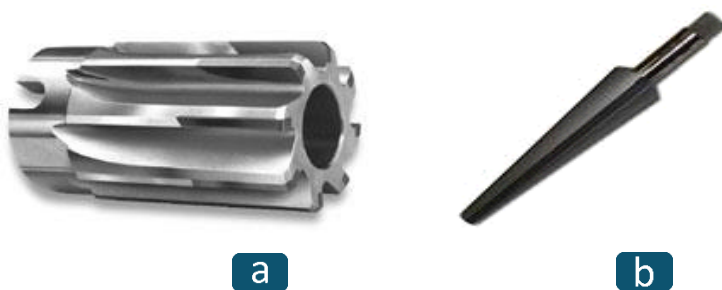


3.19. attēls. Norīvis (gala gremdurbis), kas tiek izmantots plakanām virsmām

### Izrīvēšana

Izrīvēšana tiek attiecināta uz urbumu apstrādi ar nelielām diametrālām izmaiņām, lai iegūtu ļoti precīzu un kvalitatīvu virsmu. Veicot izrīvēšanu, tiek samazināta novirze no cilindriskuma, taču caurumu ass perpendikulārā novirze pret aizmugures plakni nesamazinās.

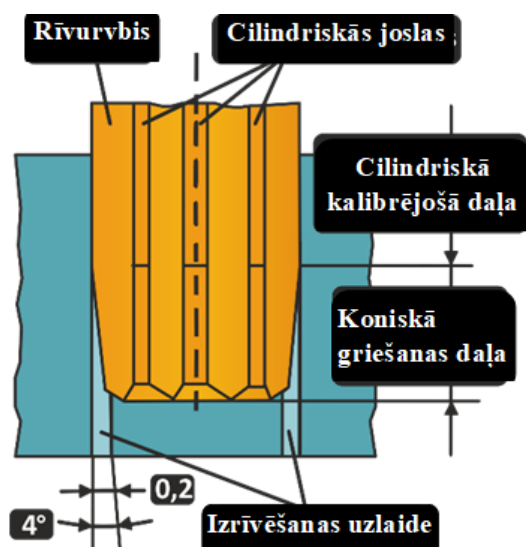
Izrīvēšana tiek sadalīta cilindriskajā caurumu izrīvēšanā, kas tiek piemērota, lai iegūtu precīzu caurumu diametru un formu (3.20a. attēls), kā arī formas urbumu izrīvēšanā, kas tiek piemērota, lai apstrādātu koniskas vai formējošās virsmas (3.20b. attēls).



3.20. attēls. Rīvurbji: a-cilindriskiem caurumiem; b- koniskiem caurumiem

(Gehring Technologies GmbH)

Atšķirībā no urbšanas un gremdēšanas, izrīvēšana var būt gan rupja, gan gluda, rīvurbji gan mehāniskie, gan manuālie. Parasti urbumus, kuru diametrs ir līdz 10 mm, izrīvē tūlīt pēc urbšanas, bet lielākus - pēc gremdēšanas vai izvirpošanas. Izmantojot modernus darbarīkus (maināmo griezējplāksnīšu urbjus), urbumus, kuri ir vairāk kā 10mm diametrā, var izrīvēt tūlīt pēc urbšanas, t.i. pēc urbuma izurbšanas 19.8 mm diametrā, var tikt veikta urbuma izrīvēšana 20mm diametrā.



3.21. attēls. Rīvurbja griešanas daļa

Izrīvēšana ir relatīvi dārgs process, tāpēc ka nolietotu rīvurbī nevar uzasināt. Rīvurbis var tikt uzasināts, tikai samazinot tā diametru.

Veicot izrīvēšanu, līdzīgi urbšanai un gremdēšanai, ar rīvurbja griešanas daļu tiek nogriezta materiāla daļa (3.21. attēls).

Kalibrēšanas daļā cilindriskās joslas ar 0,1 līdz 0,3 mm platumu padara urbumu virsmu gludāku un nosaka urbuma izmēru un formas precizitāti. Atkarībā no diametra un apstrādes veida, rīvurbji ir ar taisniem vai spirālveida zobiem platumā no 0,1 līdz 0,5 mm. Ja apstrādes laikā veidojas garas skaidas, tad spirālveida griezošo šķautņu izmērs var būt līdz 0,8 mm.

Lai panāktu lielāku precizitāti, izrīvēšanas ierīce jāuzstāda darbvārpstā, kas novietota pretī urbuma asij, lai novērstu mehānisko pārnese vibrāciju, tāpat jāīrkojas arī gadījumos, ja tiek izmantota manuālā izrīvēšana.

### Vītņgriešana

Lai savienotu detaļas, vai pārnestu kustību un slodzi, tiek izmantotas vītņotas virsmas. Vītņes tiek veidotas uz ārējām un iekšējām cilindriskām virsmām, retāk - uz koniskajām virsmām. Vītņu veidošanas metodes izvēle balstās uz vītņes tipu, paredzēto pielietojumu, apstrādāto materiālu, vītņes precizitātes prasībām, pieejamajiem instrumentiem un darbgaldiem. Visbiežākie vītņu veidošanas paņēmieni ir vītņgriešana ar virpošanas griežņiem, vītņu frēzēšana ar vītņu frēzēm, vītņgriešana ar vītņurbjiem, vai vītņu iekšvelmēm, vītņgriešana ar vītņu galviņām, vītņu slīpēšana, valcēšana.

Griežot vītņi ar darbgaldu, ir jābūt iespējai tā darbvārpstai griezties pretējā virzienā, lai izņemtu vītņurbī no vītņotā cauruma. Gadījumā, ja nav šīs pretējās rotācijas kustības, tad jāizmanto speciālais pašizkrītošais vītņurbja stiprinājuma veids. Taču šo nevar izmantot necaurejošo urbumu vītņošanā.

Veicot vītņošanu manuāli, ar rokas vītņurbī parasti ir jāveic divi vai trīs secīgi

vītņurbšanas gājieni, izmantojot vītņurbjus no komplekta, ņemot vērā to secību pēc numuriem (3.22. attēls).



3.22. attēls. Vītņurbju komplekti manuālajai vītņgriešanai: a-trīs vītņurbju komplekts trijiem griezieniem (Thürmer Tools); b-divu vītņurbju komplekts diviem griezieniem;

Vītnes izgatavošanas precizitāte ir atkarīga no vītņurbju precizitātes un veida (3.22. attēls). Ar slīpētiem vītņurbjiem var panākt precizitāti līdz 6. pielaišanas pakāpei, ar neslīpētiem līdz 8. Lai iegrieztu konisko vītņi ar vītņurbī, izurbtais urbums ir jāpaplašina ar konisko rīvurbī. Pirms vītņu veidošanas sākšanas ir ļoti svarīgi pārliecināties, lai rīvurbja ass ir perpendikulāra pamatplaknei. Tādējādi ir ieteicams izmantot galdnieka kvadrātu, lai noteiktu vītņurbja ass perpendikularitāti vītņu veidošanas sākumā. Lai nodrošinātu to, ka vītņurbis pareizi novietojas urbumā, ieteicams izveidot urbuma fāzi.

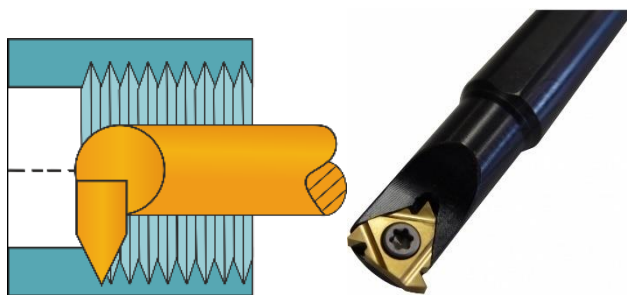
Necaurejošajiem urbumiem vajadzētu būt par 3-4 vītnes vijumiem garākiem (dziļākiem) kā vītnei, lai atstātu vietu skaidām vītņošanas procesā. Veicot vītņurbšanu metālos, notiek plastiskā deformēšanās, tādējādi iekšējās vītnes diametrs samazinās. Lai no tā izvairītos, jāveic lielāku vītnes urbumu izurbšana. Tas ir, lai iegrieztu M16 pamatvītņi tēraudā, ir jāizurbj 13.9mm (diametrā) liels urbums, bet čugunā – 13.7mm urbums.

Ārējā un iekšējā vītne var tikt frēzēta ar pirkstveida, diskveida, ķemmveida vai mucveida frēzēšanas instrumentiem ar monolītiem vai nomaināmiem frēzēšanas asmeņiem (3.23. attēls). Kad vītņgriešana tiek veikta ar diskveida griezējiem, instrumenta ass slīpuma leņķim pret sagataves asi nepieciešams būt vienādam ar vītnes vijuma leņķi. Īsās iekšējās un ārējās vītnes ar trīsstūrveida profilu var tikt frēzētas, izmantojot ķemmveida frēzēšanas griezējinstrumentus. Mucveida frēzēšanas griezējinstrumenti ir vairāku diskveida frēzēšanas griezējinstrumentu savienojumu kombinācija.



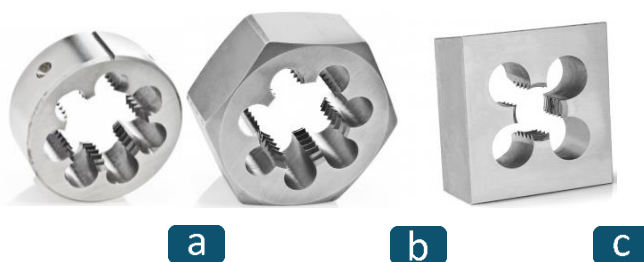
3.23. attēls. Frēzēšanas griezējinstrumenti: a- monolītais vītņurbis (OSG Corporation); b- mucveida (MSC Industrial Direct Co., Inc.); c -diskveida (Lalson Tools Corporation); d- Ķemmveida vītņgriezis ar nomaināmu griezējplāksnīti (W.W. Grainger, Inc.)

Vītņošana ar viena asmeņa vītņgriežņiem tiek uzskatīta par universālu un precīzu metodi. Ar vītņgriežņiem var izgriezt gan ārējās, gan iekšējās vītnes ar dažādu izmēru un profilu (3.24. attēls). Vītņgriežņi ir noteiktas izveidotas formas darbarīki, kuru griezējšķautnes profils un griezējplāksnītes gala noapaļojuma rādiusa profils sakrīt ar vītnes profilu. Ar vītņgriežņiem var veikt vītņgriešanu jebkura profila vītnei, ieskaitot trīsstūrveida (metriskā vai collīgo), taisnstūrveida vai trapecveida. Vītņgriežņi tiek izgatavoti un asināti tāpat kā visi virpošanas griezējinstrumenti. Vītņu griešana ar vītņgriežņiem tiek uzskatīta par neefektīvu darbību, jo ir nepieciešams veikt daudzus griezumus, lai izveidotu pilnu vītnes profilu.



3.24. attēls. Iekšējās vītnes griešana ar viena asmeņa vītņgriezi (Machineryhouse (NZ) Pty Ltd)

Izmantojot vītņu formējošās ripas (3.25. attēls), var viegli apstrādāt ārējās trīsstūrveida vītnes ar salīdzinoši zemu precizitāti, jo vītņu virsmu profils nav slīpēts. Vītņripas ar garāku šķērsriezumu sauc par cauruļveida vītņripām. Tās izmanto revolveru tipa darbgaldos, automātiskajās un pusautomātiskajās iekārtās. Vītņripu vājā puse - zema efektivitāte, jo vītņgriešanas ātrums ir salīdzinoši mazs, turklāt vītņripa ir jāatbrīvo no izgatavotās detaļas.



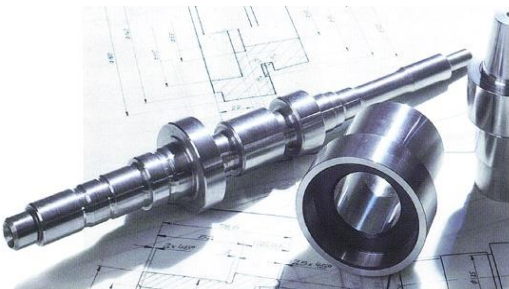
3.25. attēls. Vītņu ripas: a. apaļa; b. sešstūra; c. kvadrātveida (Thürmer Tools)

Visefektīvākā vītņu izgatavošanas metode ir valcēšana. Ārējās vai iekšējās vītnes tiek valcētas starp paralēlām prizmveida valcēšanas plāksnēm vai starp cilindriskiem, rotējošiem veltņiem, kas atrodas noteiktā attālumā viens no otra. Vītnes valcē, izmantojot plastiskās deformācijas principu. Metālu iepresē vītnes vijumā, un tas ieņem valcēšanas rullī izveidoto formu. Tādēļ vītnes tiek valcētas tikai plastiskos metālos. Vītne, kas iegūta valcējot, iegūst labākas mehāniskās īpašības, nekā ar vītņgriežiem. Vītnes virsma valcēšanas laikā kļūst cieta un metāla slāņi ir saspiesti, nevis sagriezti.

Rūdītas apstrādājamās detaļas gadījumā ar cietību vismaz 40 ... 42 HRC un vairāk, vītnes parasti tiek slīpētas, jo vītne ir salocījusies termiskās apstrādes procesā. Šim nolūkam tiek izmantoti abrazīvie diski. Izvēloties slīpēšanas disku (graudu izmērs un tā cietība), jāņem vērā slīpējamā vītne. Veicot pirmapstrādi, tiek izmantoti rupji un mīkstāki diski, taču veicot detaļu pēcapstrādi – mazāk raupji un cietāki diski. Parasti vītņu slīpēšanai tiek izmantotas daudzrindu slīpēšanas ripas, jo tās ir daudz efektīvākas nekā vienrindas ripas. Taču jāņem vērā, ka slīpēšana ar vairāku rindu slīpripu ir mazāk precīza.

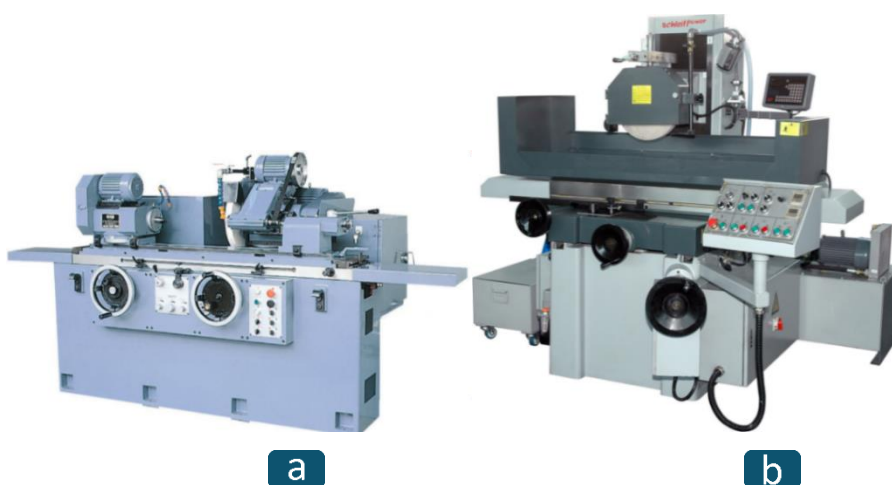
### 3.4. Slīpēšana un citas virsmu apdares metodes

**Slīpēšana** ir ļoti svarīga materiāla apstrādes metode, kas tiek veikta, lai iegūtu precīzu un gludu virsmu (3.26. attēls). Slīpēšana tiek sadalīta: pirmapstrādes (rupjā), gludā un precīzā. Precīzās slīpēšanas gadījumā var sasniegt 5. vai 6. precizitātes kvalitāti, un tiek sasniegts virsmas raupjums līdz pat  $Ra=0,1 \mu m$ .



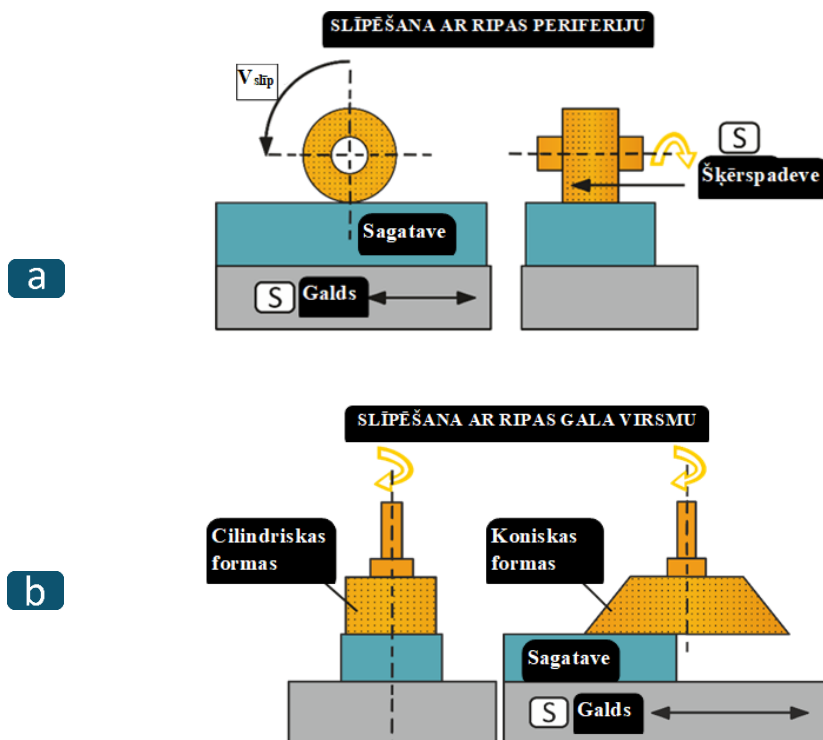
3.26. attēls. Slīpētu detaļu piemēri (Gehring Technologies GmbH)

Slīpēšana tiek veikta, izmantojot daudzfunkcionālas slīpmašīnas (3.27. attēls), kam ir kopīga iezīme – apstrādes darbarīks ir abrazīvs disks, kas izgatavots no abrazīviem graudiem, kurus savieno kopā ar saistvielu. Katrs abrazīvais grauds, pieskaroties apstrādājamajai virsmai, izgriež metāla daļiņu.



3.27. attēls. Slīpēšanas mašīnas: a- cilindriskā slīpēšanas mašīna AJG27 (Ajax Machine Tool Company, Ltd.); b-virsmu slīpēšanas mašīna SCHLEIFPOWER FSM 30100 AHD (HESSE+CO Maschinenfabrik GesmbH);

Slīpēšana tiek sadalīta cilindriskajā slīpēšanā (ārējā/iekšējā) un virsmu slīpēšanā. Virsmas tiek noslīpētas, izmantojot divas metodes: ar diska perifēro virsmu; ar koniskas, cilindriskas vai segmentālas slīpripas gala virsmu (3.28. attēls)).



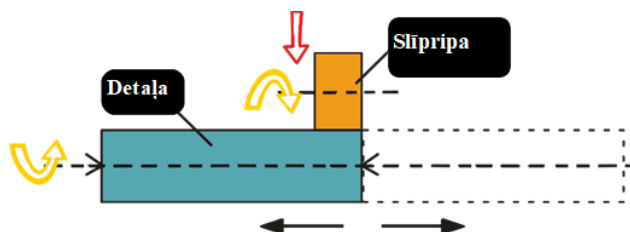
3.28. attēls. Plakanas virsmas slīpēšana: a- slīpēšana ar ripas perifērālo virsmu, b- slīpēšana ar koniskas vai cilindriskas ripas gala virsmu.  $V_{slip}$ – slīpēšanas riteņa rotācijas virziens,  $s$  – padeve



Slīpēšana ar slīpripas gala virsmu tiek uzskatīta par efektīvāku, jo vienā un tajā pašā laikā apstrādē piedalās liels skaits abrazīvo graudiņu.

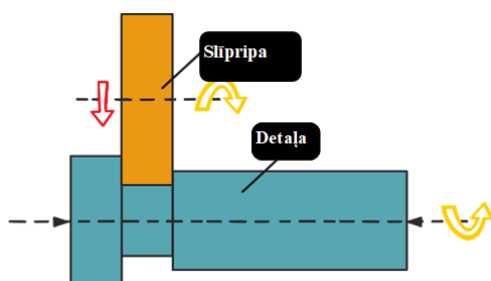
Cilindriskās virsmas tiek slīpētas, pielietojot garenisko padevi, šķērsvirziena padevi, vai bezcentra apaļslīpēšanas metodi.

Pielietojot garenisko apaļslīpēšanas metodi, griežas gan slīpēšanas ripa, gan detaļa, detaļa virzās pa garenisko asi ar darba padevi, un slīpēšanas ripa ar šķērspadeves palīdzību nodrošina vajadzīgo izmēru (3.29. attēls).



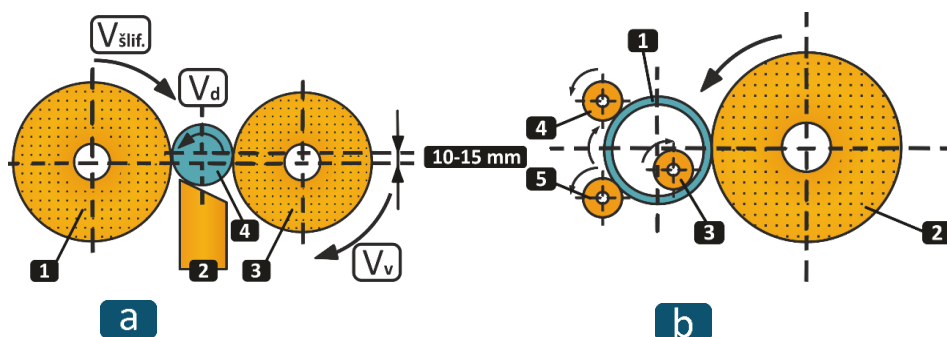
3.29. attēls. Slīpēšana ar garenpadevi

Nelielas cilindriskās virsmas var tikt slīpētas, izmantojot šķērsvirziena padeves metodi (3.30. attēls). Slīpripas platumam jābūt vienādam ar slīpēšanas virsmas garumu vai lielākam.



3.30. attēls. Slīpēšana, izmantojot šķērspadevi

Ja virsmas tiek slīpētas, izmantojot bezcentra metodi, tad detaļu novieto uz atbalsta starp divām rotējošām ripām (3.31.a. attēls). Viena ripa slīpē cilindrisko virsmu, bet otra - rotē detaļu. Detaļas rotācijas asij jābūt nedaudz virs abu ripu centrus savienajošās taisnes (parasti aptuveni 10..15 mm).



3.31.attēls. Bezcentra slīpēšana: a- ārējās cilindriskās virsmas: 1-slīpripas, 2-balsts, 3-piedziņas ripa, 4-sagatave; b- iekšējās cilindriskās virsmas: 1-sagatave, 2- piedziņas ripa, 3-slīpripas, 4-piespiedējrollis, 5-atbalsta rullītis. Všlif. - slīpēšanas ripas rotācijas virziens, Vd - sagataves rotācijas virziens, Vv - regulēšanas ripas griešanās virziens

Pielietojot iekšējo bezcentra slīpēšanas metodi, sagatave tiek rotēta ar apstrādātas ārējās virsmas (iepriekš rupji noslīpētas) palīdzību. Sagatave tiek turēta ar diviem atbalsta rullīšiem un regulējošo riteni, kas ne tikai rotē sagatavi, bet arī palēnina to, lai novērstu pārmērīgi lielu rotācijas ātrumu, ko rada slīpēšanas ripa (3.31.b. attēls).

Slīpripas apstrādes laikā parasti ātri nodilst un ir jāasina. To veic, apstrādājot slīpripas diametru ar kādu ļoti cietu instrumentu, parasti ar dimantasinātāju. Modernās CNC slīpmašīnās slīpripas uzasinās automātiski.

**Honēšana.** Apstrādes process, kurā slīpēšanas instruments rotē un pārvietojas gar tā asi, tiek definēts kā honēšana. Honēšanas mērķis nav nodrošināt precīzu urbuma izmēru, bet gan iegūt augstu urbuma virsmas kvalitāti/tīrību un cilindriskumu. Honēšana tiek veikta, izmantojot honēšanas darbgaldus (3.32. attēls).



3.32. attēls. Vertikālās honēšanas darbgalds HSV-250 (Creative Engineering)

Tos izmanto, lai apstrādātu urbumus ar ļoti augstām virsmas tīrības prasībām, piemēram, hidrocilindrus. Honēšanas instruments ir cilindrisks korpuss ar stieņveida slīpēšanas galodām ar ļoti smalku abrazīvo graudu. Tās sauc par honu (3.33. attēls).

Honi uzasinās paši, un tiem nav nepieciešama pārsināšana vai cita virsmas apstrāde.



3.33. attēls. Honēšanas galva, kas tiek izmantota caurumu honēšanai (GEHRING)

Šī apstrādes metode paredzēta īpaši vienmērīgai un gludai virsmai. Honēšanas stieņi

tiek atspiesti pret apstrādājamā urbuma sienām ar atsperēm, un to abrazīvie graudi veic apstrādi. Vienlaikus apstrādē piedalās liels skaits abrazīvu graudu, kas izraisa augstu efektivitāti, salīdzinoši zemu spiedienu, zemu temperatūru griešanas virsmai. Tādējādi apstrādājamās virsmas struktūra paliek nemainīga. Šādā veidā tiek honēti iekšdedzes dzinēji, kompresori, sūkņu cilindri. Pēc honēšanas var tikt sasniegta 5. precizitātes kvalitāte (IT5).

Lai samazinātu sagataves virsmas raupjumu, pēc slīpēšanas jāveic pulēšana. Parasti pulēšanu veic ar elastīgām abrazīvām ripām vai abrazīvām siksnām (lentām) (3.34. attēls). Ripas ir izgatavotas no ādas, filca, auduma vai polimēra. To virsma ir pārklāta ar abrazīvu, izmantojot līmi vai izmantojot abrazīvu pastu. Detaļas pulētā virsma kļūst kā spogulis.



3.34. attēls. Lentas tipa pulēšanas darbgalds Model-ZX-150-2 (Rohit Polishers)

**Lepēšana** (pierīvēšana) tiek veikta, lai pilnībā pabeigtu plakanu, kā arī cilindrisku, konisku, sfērisku iekšēju un ārēju detaļu virsmu apstrādi. Lepēšanas rezultātā tiek sasniegta vēl labāka virsmas kvalitāte un formas precizitāte, kāda var tikt sasniegta ar pulēšanas vai honēšanas palīdzību. Lepēšanas rezultātā tiek iegūta augstākās kvalitātes virsma, tiek samazināts nelīdzenumu augstums līdz  $Ra = 0,01 \mu m$ , tiek sasniegts to izmērs un forma ar kļūdu līdz  $0,3 \mu m$ . Lepēšanas instrumenti parasti ir izveidoti kā diski. Tie ir izgatavoti no materiāla, kas ir mīkstāks par apstrādājamo materiālu, t.i., čuguna, krāsainā metāla, plastmasas. Īpašā gludapstrāde arī ir viena no lepēšanas metodēm. Šī īpašā gludapstrāde netiek veikta, lai sasniegtu pareizo izmēru. Tiek noņemti tikai mikroskopiskie nelīdzenumi. Šo metodi izmanto, lai pabeigtu dažādu izmēru ārējās un iekšējās cilindriskās, koniskās ritošās virsmas. Pielietojot īpašo gludapstrādi, nelīdzenumu augstums tiek samazināts līdz  $Ra = 0,012 \mu m$  (3.35. attēls).



3.35. attēls. Īpašās gludapstrādes mašīna Supfina MultiFlex (Supfina Grieshaber GmbH & Co. KG)

### 3.5. Sagataves izvēle

Termins **“sagatave”** attiecas uz pusgataviem vai gataviem materiāliem, kurus apstrādā ar griešanu, lai iegūtu detaļu. Sagatave tiek izveidota, izmantojot sākotnējo sagatavi. Sākotnējā sagatave ir sagatave pirms pirmās tehnoloģiskās operācijas.

Izvēloties sagatavi, ir jāparedz, kā tā tiks apstrādāta, tās konfigurācija, tās izmēri un uzlaides turpmākajai apstrādei, kā arī sagatavju ražošanas apstākļi (produktu daudzums, atkārtojamība utt.). Sagataves var izvēlēties divos veidos. Ja sagatave ir sarežģīta, konstruktors izstrādā ražošanas metodi un sagatavo rasējumu, izveidojot arī sagatavi. Ja sagatave nav sarežģīta, konstruktors vajadzības gadījumā nosaka tikai detaļas materiālu, cietību un termisko apstrādi. Pēc tam tehnologs izvēlas ražošanas metodi un sagatavo inženiertehnisko rasējumu. Izvēloties konkrētu sagatavi, pamatojoties uz tās formu un izmēriem, vairāk darbu veic dizaina nodaļa. Izvēloties nepiemērotu sagatavi, t.i., ar lielu galveno izmēru starpību, mehāniskās apstrādes laikā lielākais darbs tiks veikts to apstrādājot.

#### PRAKTISKIE PADOMI:

Pirms uzsākt sagataves apstrādi, izpēti sagataves izmērus un materiālu.

Ražošanā tiek izmantotas dažāda veida sagataves, kuras tiek sadalītas sekojoši:

- sagataves, kuras iegūst, izmantojot dažādas liešanas metodes;
- kalibrēti profili: apaļie stieņi, sloksnes, lokšnes, stieples, caurules un no tiem izgrieztas sagataves;
- kaltas sagataves, kuras iegūst, formējot kalumus;
- štancētas sagataves, kuras izgatavotas no lokšņu vai stieņa materiāla;
- kombinēta tipa sagataves, piemēram, sākotnēji štancētas, vēlāk štancētā daļa

tiek metināta;

- metāla keramikas sagataves (pulvermetalurģija);
- sagataves, kas veidotas no plastmasas un tiek presētas.

### **Sagatavju iegūšanas metodes izvēle**

Izvēloties sagataves veidu, jāņem vērā:

- materiāla klase, kas norādīta sagataves inženiertehniskajā rasējumā. Dažreiz materiāls nosaka sagataves veidu (piemēram, ja materiāls ir čuguns vai tērauda lējums, sagatavi ražos, izmantojot liešanu);
- sagataves kopējie izmēri. Ja sagataves ir masīvas, un tās nevar štancēt, tad tās tiek iegūtas ar kalšanas metodi;
- pieejamās iekārtas rūpnīcā, t.i., reālās uzņēmuma iespējas;
- būtiskas investīcijas (ierīču cena) un sagatavošanās laiks (ierīču projektēšana, ražošana, izstrāde, iegāde, uzstādīšana u.c.);
- minimālās izstrādājuma izmaksas, t.i., lai aprēķinātu, kas ir lētāks: ieguldītais darbs sagataves sagatavošanā vai tās apstrāde ar griešanu.

Bieži vien vislabākā sagatavju ražošanas metode tiek atrasta, salīdzinot plānoto sagatavju izgatavošanas veidu rentabilitāti un sameklējot vislētāko.

### **Lējumi**

Sagatavju liešana tiek izmantota, ja citas ražošanas metodes nav iespējamas, vai nav ekonomiski izdevīgas. Daudzās iekārtās lējumi sastāda aptuveni 75% no kopējā produkta svara (korpusi, pamatnes, galdi, vadīklas, motoru korpusi, pārnese kārba utt.).

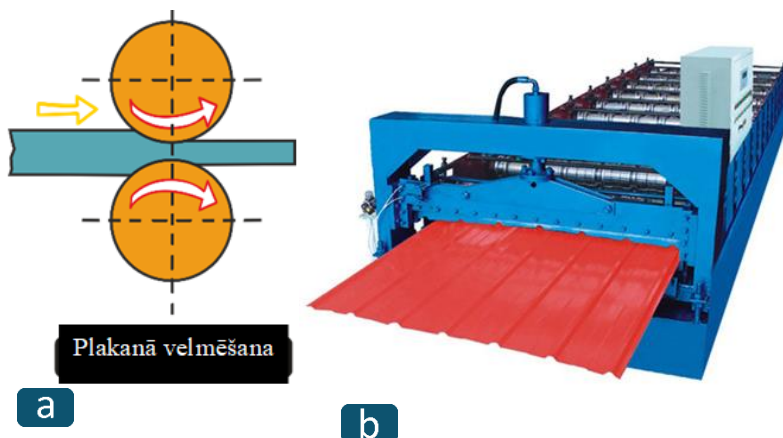
Parastās liešanas metodes ir šādas (uzskaitītas augošā precizitātes secībā):

- liešana manuāli smiltīs ar koka modeļiem;
- liešana automātiski smiltīs ar koka vai metāla modeļiem;
- liešana veidnēs ar dzesēšanu (metāla veidnēs);
- centrālās liešana;
- liešana čaumalas tipa veidnēs;
- nepārtrauktā liešana;
- spiedliešana.

Sagatavēm, kuras izgatavotas, izmantojot liešanas metodes, mehāniskās īpašības bieži vien ir sliktākas nekā sagatavēm, kuras tiek ražotas, izmantojot kaltus, štancētus vai auksti velmētos profilus.

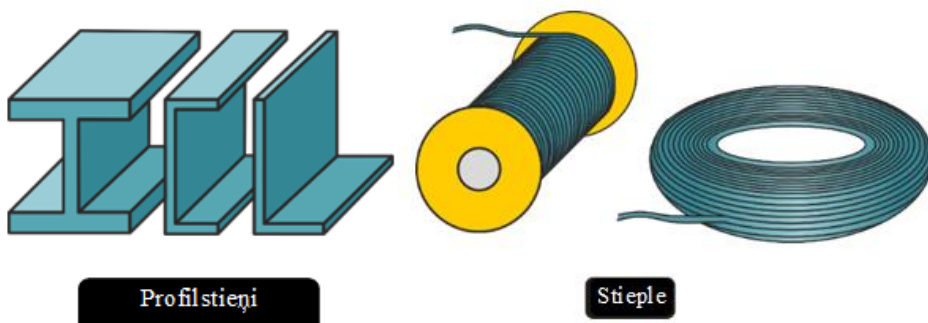
## Auksti velmētas sagataves

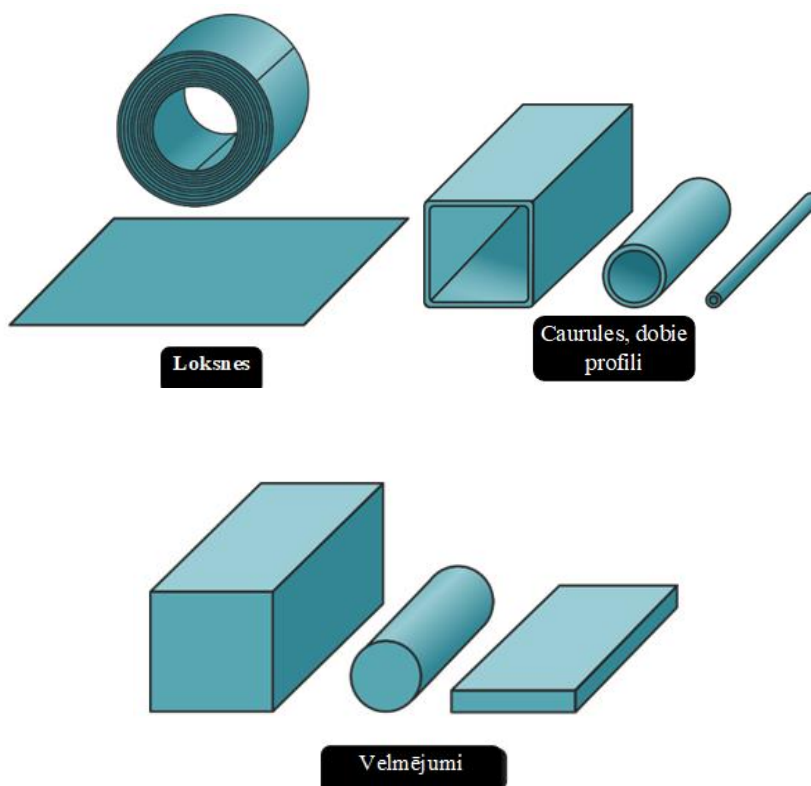
Apstrādes metode, kas tiek veikta, piemērojot spiedienu, un ir balstīta uz plastiskās deformācijas principu, kur sagataves forma mainās, pārvietojot to ruļļos vienu pret otru, bet neiznīcinot materiāla viendabīgumu. Šķērsgriezuma forma ir definēta kā profils. Auksti velmēti profili tiek ražoti metalurģijas rūpnīcās, izmantojot lieto metālu kausējumus, un atkārtoti iespiežot tos velmēšanas ruļļos (3.36. attēls). Pēc tam precīzi profili, šauras sloksnes un loksnes tiek auksti velmēti.



3.36. attēls. Velmēto sagatavju ražošana: a- sloksnes plakanā velmēšana, b- rullēšanas iekārta sagatavēm ar sarežģītu profilu TY 860 (Tianyu Machinery Manufacture Co., Ltd.)

Velmēšanu var izmantot gan tēraudam, gan krāsainajiem metāliem. Velmēti profili var būt ļoti dažādi: cilindriski, cauruļveida, kvadrātveida, sešstūra, kanāla, T-formas utt. (3.37. attēls).





3.37. attēls. Velmētu tērauda produktu paraugi

Karstās velmēšanas profiliem parasti precizitāte var būt 17. kvalitātē, bet, ja ir paaugstināta precizitāte, tad kvalitāte ir 15.-16. Precīzi stieņi, kas kalibrēti pēc velmēšanas, var sasniegt kvalitāti 9.-10. Metāla stieņi, kuri ir izgatavoti ar automātisko vai pusautomātisko velmēšanas iekārtu, sasniedz no 11. līdz 13. kvalitātei.

Ražojot cilindriskas formas izstrādājumus, ir lietderīgāk izmantot sagataves no cilindriski velmēta metāla, nevis kaltas, auksti velmētas sagataves, lai ietaupītu ražošanas izmaksas un samazinātu apstrādājamās detaļas izmaksas. Tomēr, ja velmētas sagataves masa pārsniedz štancēta izstrādājuma masu vairāk nekā par 15%, tad ir lietderīgāk izmantot štancētas sagataves.

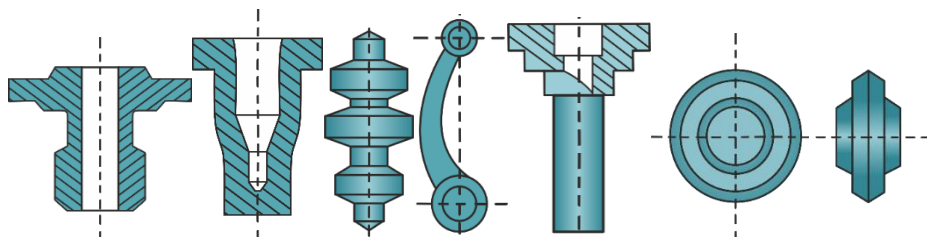
## Kalšana

Brīvā kaluma sagataves tiek ražotas viena gabala, mazu sēriju un vidēja izmēra sērijveida ražošanā. Kalšana tiek pielietota tēraudam, alumīnijam, plastiskajam varam, titāna un magnija sakausējumiem. Kalšana visbiežāk tiek izmantota smagajā mašīnbūvē, pakāpienveida vārpstu un kloķvārpstu sagatavēm, darbgaldu kolonnām un citām sagatavēm. Lai sasniegtu labu izmaksu efektivitāti, neliela daudzuma sagataves tiek saražotas, izmantojot atvērtās formas kalšanu. Kaltās sagataves nav īpaši precīzas un to forma bieži maz atgādina gatavo izstrādājumu, tāpēc to apstrāde ir dārgs process. Kalšanas darbgaldi ar CNC vadību kļūst aizvien populārāki kalšanas cehos. Tie tiek izmantoti, lai izveidotu precīzākas sagataves ar labas kvalitātes virsmu.



## Štancētas sagataves

Salīdzinājumā ar kalšanu, štancēšanai ir daudz priekšrocību. Štancētas sagataves precizitāte ir par 3-4 kvalitātēm augstāka par kalta sagatavi, tāpēc samazinās turpmākās apstrādes darba apjoms. Turklāt štancēšana ir ievērojami efektīvāka nekā kalšana. Štancēšana var tikt pielietota sarežģītām sagatavēm, lai samazinātu metāla atkritumu daudzumu. Tomēr štancēšanas instrumentu komplekts ir dārgs instruments, un to var izmantot tikai, lai izgatavotu vienu konkrētu sagatavi. Tādējādi štancēšana tiek uzskatīta par rentablu tikai tad, ja tiek izmantota pietiekami ilgstoša ražošanas programma. Var izmantot karsto un auksto štancēšanu. Karsto štancēšanu izmanto, lai ražotu nelielu sēriju sagataves un masveida ražošanā. Tās ir sagataves, kuras izmanto, lai ražotu detaļas automašīnām, traktoriem, lauksaimniecības mašīnām, dzelzceļa vagoniem, darbgaldiem (3.38. attēls).



3.38. attēls. Štancētas un kaltas sagataves

Balstoties uz štancēšanas veidu, tā tiek sadalīta štancēšanā ar atvērtu un aizvērtu presformu. Parasti štancēšana tiek veikta atklātās presformās, kur metāla pārpalikums var izplūst. Šajā gadījumā metāla zudums var sasniegt līdz 20%. Ja štance ir aizvērtā tipa, tad metāls nevar izplūst, tādēļ sākotnējām sagatavēm jābūt ļoti precīzām. Lai nodrošinātu maksimālu veiktspēju, tiek izmantotas vairāku pozīciju štances. Parasti sagataves, kuru masa ir 100 g - 100 kg tiek veidotas plaši izmantotajās horizontālās kalšanas mašīnās. Vienkāršas sagataves tiek štancētas presformās bez liešanas, taču sarežģītākas – ar nelielu liešanu.

Aukstā štancēšana tiek sadalīta gabalu kalšanā vai plākšņu formēšanā. Izmantojot atsevišķu gabalu sākotnējās sagataves tiek ražotas skrūves, kniedes, ruļļi, pirksti, vārstu atbalsti. Piemērojot to pašu metodi, sagataves vai detaļas iegūst no plākšņu materiāliem, kurus izmanto ierīču un elektrotehnikas nozarēs, kā arī citās nozarēs. Pārsegi, vairogi, vāciņi, atdures un dažādas citas plakanas sagataves. Aukstā štancēšana, izmantojot loksnes materiālu, tiek uzskatīta par ļoti efektīvu, viegli automatizējamu. Gabalu kalšanas procesā tiek izmantotas sloksnes, velmēti profili, kalumi un lējumi. Lokšņu štancēšanas procesā tiek izmantotas loksnes, plāksnes un citas plānas sākotnējās sagataves. Lokšņu štancēšanas process ietver arī salocīšanu, caurduršanu, izstiepšanu un izvalcēšanu. Mūsdienīgi štancēšanas darbgaldi, kuri aprīkoti ar CNC vadības sistēmām, spēj arī veikt vītņu iegriešanas operāciju, kā arī ieliktnu (piemēram skrūvju) nostiprināšanu loksnē.

Visas štancēšanas darbības var iedalīt divās grupās: atdalīšanas darbība, kad viena sagataves daļa tiek atdalīta no citas, un pārveidošanas operācijas, kad viena veida sagatave pārveidojas par citu sagatavi.

Atdalīšanas operācijas ietver izciršanu, sadalīšanu, perforēšanu, apgrīšanu. Pārveidošana sastāv no salocīšanas, pagarināšanas, saspiešanas, reljefa formēšanas.

Parasti sagatavju apstrāde, izmantojot auksto štancēšanu, nav nepieciešama, jo tām ir precīzi izmēri un tās ir gatavas montāžai.

## **PRAKTISKIE PADOMI:**

Pirms sagataves iespīlēšanas palīgierīcē, pārliecināties, ka tai nav nekādu atskabargu, skaidu, pielējumu, un noņemiet tos, ja nepieciešams.

### **Sagataves, kas iegūtas kombinētā procesā**

Dažkārt sarežģītas sagataves tiek sadalītas vienkāršākās sastāvdaļās, kuras ražo, izmantojot efektīvas un rentablas metodes, un pēc tam atsevišķās sastāvdaļas apvieno vienā sagatavē. Piemēram, sākotnēji atsevišķas sagataves daļas var tikt izštancētas un pēc tam sametinātas. Tas rada metāla ietaupījumus, vieglākas sagataves, lētāku apstrādi. Turklāt kombinētās metodes sagatavju ražošanā atvieglo dārga metāla ietaupījumu. Piemēram, virpas griežņu ražošanā griezošo daļu veido dārgāks instrumentu tērauds, bet kātu - lētāks strukturālais tērauds.

### **Metālkeramikas sagataves**

Sagataves īpašām detaļām ar īpašām īpašībām tiek ražotas, apvienojot metālus ar nemetāliskiem materiāliem. Lai iegūtu šīs kombinācijas, izmanto metālkeramikas metodi. Metālkeramikas sagataves tiek ražotas, saspiežot sasmalcinātu komponentu maisījumus ar augstu spiedienu (līdz 600 MPa), un pēc tam saķepinot tos temperatūrā, kurā saistviela kūst. Izmantojot šo metodi, paraugu virsmas raupjums un izmēru precizitāte ir tāda, ka tos nevajag turpmāk apstrādāt, un dažreiz tie var tikt nepārstrādāti. Šo metodi izmanto berzes disku, pastāvīgo magnētu, ierīču kontaktu elementu, gultņu uzdevām, griezējinstrumentu daļām utt.

## **3.6. Instrumentu materiāli un instrumentu ģeometrija griešanas procesā**

### **3.6.1 Instrumentu materiālu klasifikācija**

Metāla griešanas procesā ir jāpieliek noteikts spēks, lai atdalītu no sagataves vai detaļas materiāla daļu. Šie spēki ir atkarīgi no apstrādājamā materiāla stiprības, griezējinstrumenta asmens leņķiem, no griešanas procesā izveidotās skaidas šķērsriezuma.

Ja instruments pārvietojas pret sagatavi, tiek veikta apstrāde ar darba padevi. Frēzējot skaidas tiek nogrieztas katrā instrumenta apgrīzienā vai pa vienu garenisko kustību. Virpojot skaidas rodas katrā sagataves apgrīzienā, ja instrumenta griezējšķautne atrodas pie materiāla

Instrumenta asmeņa atbilstoša forma nodrošina optimālu griešanas spēku sadalījumu, radītā siltuma izvadīšanu un apstrādātās virsmas kvalitāti. Skaidas forma un tās aizvadīšanas virziens ir atkarīgs no instrumenta asmeņa ģeometrijas.

Materiāli, kurus izmanto, lai ražotu instrumentu griezošās daļas, ir pakļauti smagām

slodzēm, kuras rodas nepārtrauktu vai triecienu griešanas spēku dēļ, augstas temperatūras, temperatūras svārstību, berzes un nodiluma dēļ. Šīs slodzes var izturēt instrumentu materiāli ar atbilstošām īpašībām. Materiāliem ir jābūt cietiem, viegli uzasināmiem, izturīgiem pret augsto temperatūru un tās izmaiņām, izturīgiem pret nodilumu un lieci, kā arī pietiekami gludam. Daļa no šīm īpašībām attiecas uz parasto instrumentu tēraudu, kurš satur 0,8 līdz 1,5% oglekļa, un tiek izmantots galvenokārt manuālo griezējinstrumentu ražošanai. Pateicoties augstajai plastiskuma pakāpei un noturībai pret mainīgu slodzi, instrumentu tērauda sakausējums - ātrgriezēja tērauds (HSS) - tiek plaši izmantots. Šo materiālu, ražojot instrumentus, ir viegli apstrādāt. Tos izmanto īpašiem mērķiem, tāpat viegli izgatavot instrumentus, kuriem ir lieli griešanas leņķi un īpaša griešanas forma. Turklāt visi ātrgriezēja tēraudi satur 3,5 - 4,5% hroma. Lai palielinātu izturību pret nodilumu, ātrgriezēja tēraudu parasti pārklāj ar titāna nitrīdu 2-4 μm. Izmantojot šos pārklājumus var panākt augstāku griešanas ātrumu.

Lai samazinātu ražošanas laiku un palielinātu griešanas ātrumu, ir vajadzīgi materiāli, kas ir cietāki, vairāk plastiski un izturīgāki pret augstākām temperatūrām, piemēram, cietmetāli. Šie materiāli nepieciešami, lai apstrādātu īpaši cietos materiālus, piemēram, balto čugunu, tēraudu ar hroma un niķeļa piedevām, stiklu, granītu, porcelānu utt. Cietmetāli tiek sadalīti P, M un K grupās, pamatojoties uz apstrādājamo materiālu cietību, plastiskumu un to daudzumu (3.1. tabula).

3.1. tabula. Cietmetāla klasifikācija, pamatojoties uz apstrādājamo materiālu

| Mehāniskās īpašības                                                                                                            | Marka | Grupa                                   | Apstrādātais materiāls                                                                                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <div> <div>Pieaugoša izturība pret nodilumu</div> <div> <div></div> <div></div> </div> <div>Pieaugošs plastiskums</div> </div> | P01   | <b>P</b><br>Atšķirošā krāsa ir zila     | Materiāli, kuru griešana rada nepārtrauktas skaidas (tērauds un tā sakausējumi, kaļamais čuguns)                  |
|                                                                                                                                | P10   |                                         |                                                                                                                   |
|                                                                                                                                | P20   |                                         |                                                                                                                   |
|                                                                                                                                | P30   |                                         |                                                                                                                   |
|                                                                                                                                | P40   |                                         |                                                                                                                   |
|                                                                                                                                | P50   |                                         |                                                                                                                   |
|                                                                                                                                | M10   | <b>M</b><br>Atšķirošā krāsa ir dzeltena | Materiāli, kuru griešana rada nepārtrauktas vai garas skaidas (tērauds, rūdīts tērauds, čuguns, krāsainie metāli) |
|                                                                                                                                | M20   |                                         |                                                                                                                   |
|                                                                                                                                | M30   |                                         |                                                                                                                   |
|                                                                                                                                | M40   |                                         |                                                                                                                   |
|                                                                                                                                | K01   | <b>K</b><br>Atšķirošā krāsa ir sarkana  | Materiāli, kuru griešana rada brīvi plūstošas skaidas (baltais un kaļamais čuguns, plastmasa, stikls)             |
|                                                                                                                                | K10   |                                         |                                                                                                                   |
|                                                                                                                                | K20   |                                         |                                                                                                                   |
|                                                                                                                                | K30   |                                         |                                                                                                                   |
|                                                                                                                                | K40   |                                         |                                                                                                                   |

Lai nodrošinātu labu apstrādāto virsmu kvalitāti, apstrādājot īpaši trauslus materiālus, izmanto smalkgraudainos cietmetālus vai metālkeramiku (metāla keramikas sakausējumu ar titāna karbīdiem un/vai titāna nitrīdiem). Ar īpašu instrumentu pārklājumu var ievērojami palielināt cietmetālu nodiluma izturību. Šim nolūkam tiek izmantoti: alumīnija oksīds, titāna nitrīds, titāna karbīds, kā arī citi pārklājumi.

Apstrādājot īpašus materiālus, piemēram, trauslu čugunu, rūdītu vai cementētu tēraudu, var izmantot instrumentu materiālus ar minerālkeramikas pamatni. Divu galveno veidu minerālkeramika (alumīnija oksīds un silīcija nitrīds) ir daudz cietāka, kā cietmetāli. Krāsaino metālu, to sakausējumu, pelēkā čuguna, stiegrotas plastmasas, sapresētu cietmetālu, stikla un keramikas apstrādei izmanto mikrokristāliskos un polikristāliskos instrumentus, piemēram, dimantu un bora nitrīdu.

Ja strukturālās un tehnoloģiskās iespējas ļauj izmantot lielākus instrumentus, tad nepieciešamie instrumenti materiāla griešanai tiek veidoti kā noņemama/nomaināma vienība. Tas nodrošina rentablu griešanas elementa – noņemamas griezējplāksnes un instrumentu korpusa daudzkārtēju pielietošanu. Sistēmas simetriskā dizaina dēļ griezējplāksni ražo ar nelielām griešanas šķautnēm un papildu elementiem – skaidu drupināšanas rievām, kuras paredzētas, lai nodrošinātu labu skaidu aizvadīšanu. Pamatojoties uz apstrādājamo materiālu, tiek izvēlēts vispiemērotākais griezējplāksņu dizains (griezošās šķautnes garums - l), kurš nosaka darba padeves maksimālās robežas un griešanas dziļumu - t (3.2. tabula).

3.2. tabula. Griešanas režīmi dažādām griezējplāksnītēm.

| Griezējplāksnīte                                                                    |              | Griešanas dziļums<br>t, mm | Padeve s,<br>mm | Griešanas<br>spēks Fc, N |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------------------------|-----------------|--------------------------|
| Forma                                                                               | Izmērs l, mm |                            |                 |                          |
|  | 9            | 6                          | 0.4             | 5000                     |
|                                                                                     | 12           | 8                          | 0.6             | 10000                    |
|                                                                                     | 16           | 10                         | 0.8             | 16000                    |
|  | 9            | 7                          | 0.4             | 5000                     |
|                                                                                     | 12           | 9                          | 0.6             | 10000                    |
|                                                                                     | 15           | 12                         | 0.8             | 16500                    |
|                                                                                     | 19           | 14                         | 1.0             | 23000                    |
|  | 11           | 5                          | 0.4             | 4000                     |
|                                                                                     | 16           | 8                          | 0.6             | 9000                     |
|                                                                                     | 22           | 11                         | 0.8             | 15000                    |

Virpošanas laikā instrumentu asmeņi nodilst berzes, plaisāšanas un difūzijas dēļ, kas notiek augstā temperatūrā. Apstrādes mērķis ir uzlabot noturības periodu - instrumenta darba laiku līdz asināšanai vai nomainīšanai. Noturība ir ļoti atkarīga no griešanas ātruma  $v$ , kā arī no instrumenta materiāla, detaļas materiāla, griezuma platuma un dzesēšanas šķidruma.

## PRAKTISKIE PADOMI

Mainot griezējplāksnītes, skrūves ir jāasmērē ar īpašām, ražotāja ieteiktām smērvielām.

Veicot apstrādi ar griešanu, ir jānovērtē sagataves materiāla stiprība, plastiskums un cietība. Materiāla plastiskums un cietība ir galvenie apstrādi noteicošie faktori, tie ietekmē instrumenta nodilumu un izturību, skaidas veidu, griešanas spēku. Sagataves mehāniskās īpašības izmanto, lai noteiktu griešanas ātrumu, padevi, griešanas dziļumu, ģeometriju un instrumenta griešanas daļu. Turklāt, lai noteiktu apstrādes režīmus, tiek novērtēta izmantojamā darbgalda jauda. Sagataves optimāla apstrāde iespējama tikai tad, ja ir precīzi noteikti griešanas režīmi, materiāla veids un griešanas ceļa ģeometrija. Ja šo parametru novērtējums ir nepareizs, apstrādātās virsmas kvalitāte būs zema, apstrādātajam izstrādājumam būs nepareizi izmēri un instrumenti nodils pārāk ātri.

Instrumentu ražotāji, nosakot sagatavju apstrādes apstākļus un testa rezultātus, sniedz ieteiktās vērtības griešanas režīmiem, kas ir mērenas, un kuras var palielināt vai samazināt, pamatojoties uz esošajiem griešanas apstākļiem (3.3. tabula).

3.3. tabula. Ieteicamie koeficienti griešanas ātruma vērtībām

| Parametri, kas ietekmē griešanu     |           | Korekcijas koeficients |
|-------------------------------------|-----------|------------------------|
| Kalta, velmēta vai izlieta sagatave |           | 0.70 ... 0.80          |
| Griešana ar triecienu/pārtraukumu   |           | 0.80 ... 0.90          |
| Izvirpošana                         |           | 0.75 ... 0.85          |
| Slikti nostiprināta sagatave        |           | 0.80 ... 0.95          |
| Ļoti labi nostiprināta sagatave     |           | 1.05 ... 1.20          |
| Nodilis darbgalds                   |           | 0.80 ... 0.95          |
| Jauns darbgalds                     |           | 1.05 ... 1.20          |
| Griezējinstrumenta mūža ilgums      | T= 8 min  | 1.10 ... 1.30          |
|                                     | T= 30 min | 0.80 ... 0.90          |
|                                     | T= 60 min | 0.60 ... 0.80          |

Ieteicamās vērtības ir parādītas, pamatojoties uz darbgaldu jaudu, nostiprināšanas ierīci, instrumenta noturību, darbvārpstas rotācijas ātrumu.

Piemērota materiāla izvēle ir rentablas apstrādes nosacījums. Izvēloties instrumentu materiālus, jānovērtē apstrādājamais materiāls. Apstrādājamie materiāli tiek klasificēti grupās, izmantojot materiālu klasifikāciju (3.39. att.).



3.39. attēls. Apstrādājamo materiālu grupēšana, pamatojoties uz materiālu klasifikācijas kodiem

Vienlaicīgi griešanas instrumentu materiāli tiek grupēti pēc ķīmiskā sastāva (3.4. tabula).

3.4. tabula. Griezējmateriālu marķēšana

| Nosaukums                                                                                                  | Apzīmējums |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Karbīdi                                                                                                    |            |
| Nepārklāts, cementēts karbīds                                                                              | HW         |
| Pārklāts, cementēts karbīds                                                                                | HC         |
| Keramikas materiāli - metālkeramika                                                                        |            |
| Nepārklāta metālkeramika, kas sastāv no titāna karbīda TiC un titāna nitrīda TiN vai no abiem komponentiem | HT         |
| Metālkeramika ar pārklājumu                                                                                | HC         |
| Minerālkeramika                                                                                            |            |
| Oksīda minerālkeramika no tīra alumīnija oksīda $Al_2O_3$                                                  | CA         |
| Oksīda karbīda minerālkeramika no tīra alumīnija oksīda $Al_2O_3$ un metāla karbīda                        | CM         |
| Nitrīda keramika no silīcija nitrīda $Si_3N_4$                                                             | CN         |
| Pārklāta nitrīda keramika no silīcija nitrīda $Si_3N_4$                                                    | CC         |
| Kubiskais bora nitrīds                                                                                     | BN         |
| Polikristālisks dimants                                                                                    | DP         |
| Pārklāts polikristālisks dimants                                                                           | HC         |

Instrumenta materiāls arī var tikt izvēlēts, pamatojoties uz detalizētākām apstrādes īpašībām konkrētos apstākļos. Izvēloties vispiemērotāko materiālu, ir svarīgi pievērst uzmanību instrumenta griešanas šķautnes ģeometrijai, balstoties uz apstrādājamās sagataves īpašībām (rupja apstrāde - H, daļēji gluda - M, gluda - S un precīza - F). Pēc tam ir iespējams noteikt vispārējos griešanas režīmus, pamatojoties uz griešanas šķautnes izmēru un darbgalda jaudu.

Lai novērtētu griešanas apstākļu sarežģītību (labs, vidējs, sarežģīts), katrs instrumentu ražotājs apkopo iespējamo apstrādes metodi, pamatojoties uz tās specifiskajiem faktoriem (3.5. tabula).

Novērtējot mehāniskās apstrādes apstākļus, ir jānosaka instrumenta pretestība griešanas spēkiem, tāpat kā tā piemērotība apstrādei ar specifisku formas elementu. Šim nolūkam ražotāji nosaka vislabāko specifiskā instrumenta materiāla un griešanas elementu ģeometrijas atbilstību, ja šo atbilstību var atrast ražotāja griezējinstrumentu katalogos.

3.5. tabula. Mehāniskās apstrādes procesi

| Apstrādājamais materiāls | ○ Labs apstākļi                                 | ◐ Vidēji apstākļi             | ● Sarežģīti apstākļi                                                                           |
|--------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| P                        | Vienmērīga apstrāde. Virsma pēc pirmā griešanas | Vispārīgās tehniskās darbības | Nevienmērīga apstrāde<br>Zems griešanas ātrums<br>Lieli pielējumi pēc liešanas                 |
| M                        |                                                 |                               | Nevienmērīga apstrāde<br>Zems griešanas ātrums<br>Lieli pielējumi pēc liešanas vai štancēšanas |
| K                        |                                                 |                               | Nevienmērīga apstrāde<br>Zems griešanas ātrums<br>Liešanas laikā izveidojies perlīta slānis    |
| N                        |                                                 |                               | Nevienmērīga apstrāde                                                                          |
| S                        |                                                 |                               | Nevienmērīga apstrāde<br>Lieli pielējumi pēc liešanas                                          |
| H                        |                                                 |                               | Nevienmērīga apstrāde                                                                          |



Modernā ražošanā virpojot parasti tiek izmantoti virpošanas instrumenti ar vairāku šķautņu nomaināmiem griezējplāksnītēm. Kad griezējplāksnīte nodilst, to var vienkārši pagriezt uz citu pozīciju, un turpināt izmantot sagataves apstrādei. Instrumentu izgatavotāji piedāvā plašu nomaināmu griezējplāksnīšu klāstu. Tās ir viēpusējas, divpusējas, ar un bez nostiprināšanas caurumiem, ar vai bez skaidu laušanas rievām. Griezējplāksnītes tiek marķētas ar burtiem un cipariem, norādot tās formu, mugurleņķi  $\alpha$  (no  $0^\circ$  līdz  $30^\circ$ ), precizitāti, tipu, griešanas malu garumu, biezumu, šķautņu noapaļojuma rādiusu, griešanas šķautņu tipu, darba padeves virzienu. Daudzšķautņu nomaināmo griezējplāksnīšu klasifikācija ir parādīta 3.6. tabulā.

3.6. tabula. Daudzfunkcionālo nomaināmo cietmetāla plāksnīšu marķējuma veidi

| Nomaināmās<br>griezējplāksnītes forma<br> – rekomendēts<br> – alternatīva | Gareniskās<br>virpošanas<br> | Kontūru<br>virpošanas<br> | Gala virpošanas<br> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  C – rombiska 80o                                                                                                                                          |                              |                                                                                                            |                     |
|  D – rombiska 55o                                                                                                                                          |                              |                           |                     |
|  R – cilindriska                                                                                                                                         |                            |                                                                                                            |                   |
|  S – kvadrāta                                                                                                                                            |                            |                                                                                                            |                                                                                                        |
|  T – trīsstūra                                                                                                                                           |                            |                         |                   |
|  W – sešstūra                                                                                                                                            |                            |                                                                                                            |                   |
|  V – rombiska 35o                                                                                                                                        |                                                                                                               |                         |                                                                                                        |

Plāksnītes marķējuma piemērs ir dots 3.7. tabulā. Plāksnītes forma ir kodēta ar latīņu alfabēta burtiem. Mugurleņķa vērtības tiek marķētas ar burtu, kas balstās uz leņķa vērtību grādos: A –  $3^\circ$ , B –  $5^\circ$ , C –  $7^\circ$ , D –  $15^\circ$ , E –  $20^\circ$ , F –  $25^\circ$ , G –  $30^\circ$ , N –  $0^\circ$ , P –  $11^\circ$ , O – cits leņķis.

3.7. tabula. Plāksnīšu marķēšanas piemēri

|                |                               |                    |               |                           |                  |                                  |                                  |                  |                            |
|----------------|-------------------------------|--------------------|---------------|---------------------------|------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------|----------------------------|
| C              | A                             | K                  | G             | 16                        | 04               | 08                               | T                                | L                | TM                         |
| Plāksnes forma | Plāksnes mugurleņķis $\alpha$ | Precizitātes klase | Plāksnes tips | Griešanas šķautnes garums | Plāksnes biezums | Plāksnes gala apaļošanas rādiuss | Griešanas plāksnes šķautnes tips | Padeves virziens | Skaidu laušanas veida kods |

Griezējplāksnītes izmēru precīzumu nosaka to precizitātes klase. Griezējplāksnīšu precizitātes klases un to ģeometrisko izmēru pielāides pakāpe ir iekļauta instrumentu griezējplāksnīšu ražotāju izdotajos katalogos. Griezējplāksnītes tips definē tās struktūru (plāksnītes stiprināšanas metode, iespēja izmantot no vienas vai abām pusēm). Šie dati un atbilstošais alfabētiskais marķējums ir iekļauti arī ražotāju katalogos. Griezējplāksnītes griešanas šķautnes garumu nosaka milimetros, piemēram, “16” nozīmē, ka griešanas šķautnes garums ir 16 mm. Plāksnītes biezums ir norādīts, izmantojot divus ciparus. Indikators 04 nozīmē, ka biezums ir vienāds ar 4 mm. Plāksnītes šķautņu noapaļojuma rādiuss tiek atzīmēts ar diviem cipariem. Piemēram, indikācija 08 nozīmē, ka rādiuss ir vienāds ar 0,8 mm. Padeves virziens tiek kodēts ar burtiem: R – labās puses, L - kreisais, N - neitrāli. Pēdējā pozīcija ir skaidlauža kods, kas norāda uz skaidlauža ģeometriju. Šis marķējums ir norādīts arī ražotāja katalogos.

Noteiktiem mērķiem paredzētiem instrumentiem ir precīzi definēti darba apstākļi un mērķis (urbjmašīnām, gremdurbjiem, rīvurbjiem utt.). Tos izmanto, lai identificētu vispiemērotākos griešanas režīmus. Griešanas režīmi ir norādīti ražotāja katalogos.

Lai precīzāk novērtētu apstrādes materiālu, un izvēlētos apstrādes veidus, instrumentu ražotāji griezējmateriālus dala īpašās apakšgrupās, pamatojoties uz cietību vai elastību, un izmanto pārbaudītus un vispiemērotākos griešanas režīmus (3.8. un 3.9. tabula).

3.8. tabula. Ieteicamie tērauda apstrādes režīmi materiālam EN1.0037

| Instrumenta tips | Instrumenta materiāls | Instrumenta diametrs, mm | Griešana s ātrums v, m/min | Padeve s, mm/apgr. | Rotācijas ātrums n, apgr./min | Minūtes padeve sm, mm/min |
|------------------|-----------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------|-------------------------------|---------------------------|
| Centrurbis       | HSS*                  | 10                       | 127-174                    | 0.10-0.11          | 4045-5541                     | 404-610                   |
|                  | Cietmetāls            | 10                       | 357-401                    | 0.14               | 11369-12771                   | 1592-1788                 |
| Spirālurbis      | HSS                   | 10                       | 292-398                    | 0.22-0.25          | 9299-12675                    | 2046-3169                 |
|                  | Cietmetāls            | 10                       | 385-1100                   | 0.20-0.30          | 12261-35032                   | 2452-10510                |
| Plāksnīšu urbis  | Cietmetāls            | 10                       | 100-565                    | 0.17-0.20          | 3183-17985                    | 541-3597                  |
| Rīvurbis         | HSS                   | 10                       | 53-83                      | 0.15-0.23          | 1688-2643                     | 253-608                   |
|                  | Cietmetāls            | 10                       | 53-83                      | 0.20               | 2643                          | 529                       |
| Vītņurbis        | HSS                   | Vītnes izm.              | 9-45                       | —**                | 287-1433                      | —                         |
|                  | Cietmetāls            | Vītnes izm.              | 30-50                      | —                  | 955-1592                      | —                         |

\* HSS – ātrgriezēja tērauds

\*\* Vītņurbim darba padeves ierobežojumi ir atkarīgi no vītnes soļa.

3.9. tabula. Ieteicamie tērauda apstrādes režīmi materiālam EN1.4301

| Instrumenta tips | Instrumenta materiāls | Instrumenta diametrs, mm | Griešanas ātrums v, m/min | Padeve s, mm/apgr. | Rotācijas ātrums n, apgr./min | Padeve S <sub>m</sub> , mm/min |
|------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| Centrurbis       | HSS*                  | 10                       | 19-24                     | 0.04               | 605-764                       | 24-31                          |
|                  | Cietmetāls            | 10                       | 48-67                     | 0.06-0.07          | 1529-2134                     | 92-149                         |
| Spirāļurbis      | HSS                   | 10                       | 48-67                     | 0.10-0.11          | 1529-2134                     | 153-235                        |
|                  | Cietmetāls            | 10                       | 69-251                    | 0.11-0.15          | 2197-6083                     | 242-912                        |
| Plāksnīšu urbis  | Cietmetāls            | 10                       | 65-359                    | 0.11-0.20          | 2069-11427                    | 227-2285                       |
| Rīvurbis         | HSS                   | 10                       | 33-56                     | 0.15-0.26          | 1051-1783                     | 158-464                        |
|                  | Cietmetāls            | 10                       | 64-136                    | 0.20               | 2038-4331                     | 408-866                        |
| Vītņurbis        | HSS                   | M10                      | 4-18                      | —                  | 127-573                       | —                              |
|                  | Cietmetāls            | M10                      | 12-20                     | —                  | 381-637                       | —                              |

Virpošanas un gala frēzēšanas procesos parasti tiek lietotas maināmas griezējplāksnītes, tāpēc pēc precīzāka instrumenta materiāla noteikšanas, galvenie griešanas režīmi tiek izvēlēti, pamatojoties uz griezējplāksnītes ģeometriju un tipu (3.10. tabula).

3.10. tabula. Ieteicamās griešanas metodes virpošanā

| Instrumenta tips               | Instrumenta materiāls | Apstrādes diametrs, mm | Apstrādātais materiāls (atbilstoši ISO) | Griešanas ātrums v, m/min | Padeve s, mm/apgr. | Griešanas dziļums t, mm | Rotācijas ātrums n, apgr./min |
|--------------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------------------------|---------------------------|--------------------|-------------------------|-------------------------------|
| Ārējais virpošanas grieznis    | Cietmetāls            | 50                     | 1.0037                                  | 100-330                   | 0.1-0.15           | 0.3-0.5                 | 637-2102                      |
|                                | Cietmetāls            | 50                     | 1.4301                                  | 100-200                   | 0.4-0.5            | 2.0-4.0                 | 637-1274                      |
| Iekšējais izvirkšanas grieznis | Cietmetāls            | 50                     | 1.0037                                  | 90-330                    | 0.05-0.2           | 0.2-1.0                 | 573-2102                      |
|                                | Ciets metāls          | 50                     | 1.4301                                  | 80-210                    | 0.05-0.3           | 0.2-3.0                 | 453-1189                      |

|                            |              |    |        |         |           |   |          |
|----------------------------|--------------|----|--------|---------|-----------|---|----------|
| Vītnes virpošanas grieznis | Ciets metāls | 50 | 1.0037 | 150-160 | –         | – | 955-1019 |
|                            | Ciets metāls | 50 | 1.4301 | 90-120  | –         | – | 573-764  |
| Virpošanas nodurggrieznis  | Ciets metāls | 50 | 1.0037 | 120-250 | 0.05-0.3  | – | 764-1592 |
|                            | Ciets metāls | 50 | 1.4301 | 80-150  | 0.05-0.25 | – | 509-955  |

Mūsdienu CNC frēzmašīnās un apstrādes centros virsmu apstrādei izmanto tikai gala frēzes ar nomaināmām griezējplāksnītēm. Šīs griezējplāksnītes parasti tiek marķētas ar ISO sistēmu. Gala frēžu marķējums ir ļoti līdzīgs nomaināmo griezējplāksnīšu marķējumam. Attiecībā uz virpošanas instrumentu griezējplāksnītēm, pirmajā vietā ir norādīta plāksnes forma (3.11. tabula). Otrajā ir simboli, kas norāda plāksnes mugurleņķi, līdzīgi kā virpošanas instrumentu korpusiem. Precizitātes klases tiek identificētas ar trešo simbolu - līdzīgi kā virpošanas instrumentu korpusu klasēm. Ceturtais simbols norāda griezējplāksnīšu konstrukcijas tipu. Tālākie simboli norāda griešanas šķautnes aptuveno garumu un biezumu milimetros. Piemēram, simboli 02 norāda, ka plāksnītes biezums ir 2,38 mm, 03-3,97 mm, 04-4,76 mm, 05-5,56 mm, 06-6,5 mm, 07-7,94 mm, 09-9,52 mm. Nākamie simboli norāda plāksnītes griešanas leņķa ( $\phi$ ) vērtību plānā. Šim leņķim var būt šādas vērtības: A-45°, D-60°, E-75°, F-85°, P-90°, Z - citi leņķi. Sekojošais ir mugurleņķa lielums  $\alpha$ , kura vērtība ir vienāda ar virpošanas instrumenta turētāja apzīmējumu. Nākamais simbols norāda galveno griezējelementa formu: F - nav noapaļota (asa), E - noapaļota, T - ar leņķi, S - noapaļota un ar slīpni, K - ar dubultu slīpumu, P - noapaļota un ar dubultu slīpumu. Kas attiecas uz virpošanas griezējplāksnīti, nākamais simbols norāda padeves virzienu. Dažos gadījumos griezējplāksnīti var aprakstīt, sniedzot papildu ražotāja informāciju. Piemēram, 3.11. tabulā, AC nozīmē, ka plāksnīti izmanto rupjajai apstrādei ar skaidu laušanu.

3.11. tabula. Griezējplāksnīšu apzīmējumu piemēri

| S              | D                          | K                  | N             | 12                        | 02               | A                                | G                             | T                                | N                | AC                       |
|----------------|----------------------------|--------------------|---------------|---------------------------|------------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|------------------|--------------------------|
| Plāksnes forma | Plāksnes aizmugures leņķis | Precizitātes klase | Plāksnes tips | Griešanas šķautnes garums | Plāksnes biezums | Plāksnes griešanas leņķis $\phi$ | Plāksnes mugurleņķis $\alpha$ | Galvenās griešanas šķautnes tips | Padeves virziens | Īpašas plāksnes īpašības |

Apakšā esošās tabulas 3.12. un 3.13. sniedz informāciju par virpošanas režīmiem, ja tiek izmatotas griezējplāksnītes.

3.12.tabula. Ieteicamie tērauda apstrādes režīmi materiālam ENI.0037

| Instrumenta tips          | Instrumenta tips | Instrumenta diametrs; griešanas platums b un dziļums t, mm | Griešanas ātrums v, m/min | Padeve uz zobu mm/zobs | Rotācijas ātrums n, apgr./min | Padeve sm, mm/min |
|---------------------------|------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------|------------------------|-------------------------------|-------------------|
| Kroņveida gala frēze 90** | HSS*             | 80                                                         | 18-37                     | 0.11-0.12              | 72-147                        | 24-53             |
|                           | Cietmetāls       | 80                                                         | 250-240                   | 0.18-0.18              | 995                           | 537-816           |
| Kroņveida gala frēze HS   | Cietmetāls       | 80, b=80, t=2.5                                            | 230-260                   | 2.0-4.5                | 916-1035                      | 5494-13973        |
| Gala frēze rupjapstrādei  | HSS              | 10, b=10, t=5                                              | 75-95                     | 0.05-0.032             | 2389-3025                     | 358-290           |
|                           | HSS              | 10, b=15, t=1                                              | 75-95                     | 0.05-0.019             | 2389-3025                     | 358-172           |
| Gala frēze rupjapstrādei  | Cietmetāls       | 10, b=10, t=5                                              | 80-140                    | 0.06                   | 2548-4459                     | 459-803           |
|                           | Cietmetāls       | 10, b=10, t=10                                             | 60-120                    | 0.05-0.06              | 1911-3822                     | 287-688           |
| Gala frēze tīrapstrādei   | HSS              | 10, b=10, t=5                                              | 28-78                     | 0.027                  | 892-2484                      | 72-201            |
|                           | HSS              | 10, b=15, t=1                                              | 28-78                     | 0.016                  | 892-2484                      | 43-119            |
| Gala frēze tīrapstrādei   | Cietmetāls       | 10, b=10, t=5                                              | 80-140                    | 0.06                   | 2548-4459                     | 459-803           |
|                           | Cietmetāls       | 10, b=10, t=10                                             | 70-120                    | 0.05                   | 2229-3822                     | 334-573           |

\*HSS – grieznis, kas izgatavots no ātrgriezēja tērauda. Grieznim ir 3 griešanas malas.

\*\* griezējplāksnītes šķautnes leņķis.

3.13. tabula. Ieteicamie tērauda apstrādes režīmi materiālam EN1.4301

| Instrumenta tips          | Instrumenta materiāls | Instrumenta diametrs; griešanas platums b un dziļums t, mm | Griešanas ātrums v, m/min | Padeve uz zobu mm/z | Rotācijas ātrums n, apgr./min | Padeve s <sub>m</sub> , mm/min |
|---------------------------|-----------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| Kroņveida gala frēze 90** | HSS                   | 80                                                         | 10-12                     | 0.11-0.12           | 40-48                         | 13-17                          |
|                           | Cietmetāls            | 80                                                         | 140-270                   | 0.15-0.14           | 557-1075                      | 251-451                        |
| Kroņveida gala frēze HS   | Cietmetāls            | 80, b=80, t=2.5                                            | 160-200                   | 3.5-4.5             | 637-796                       | 6688-10748                     |
| Gala frēze rupjapstrādei  | HSS                   | 10, b=10, t=5                                              | 14-36                     | 0.024-0.032         | 446-1146                      | 32-110                         |
|                           | HSS                   | 10, b=10, t=10                                             | 14-36                     | 0.014-0.019         | 446-1146                      | 19-65                          |
| Gala frēze rupjapstrādei  | Cietmetāls            | 10, b=10, t=5                                              | 45-85                     | 0.04                | 1433-2707                     | 172-325                        |
|                           | Cietmetāls            | 10, b=10, t=10                                             | 40-80                     | 0.03                | 1274-2548                     | 115-229                        |
| Gala frēze tīrapstrādei   | HSS                   | 10, b=10, t=10                                             | 14-23                     | 0.024               | 446-732                       | 32-53                          |
|                           | HSS                   | 10, b=10, t=5                                              | 14-23                     | 0.014               | 446-732                       | 19-31                          |
| Gala frēze tīrapstrādei   | Cietmetāls            | 10, b=10, t=5                                              | 45-85                     | 0.04                | 1433-2707                     | 172-325                        |
|                           | Cietmetāls            | 10, b=10, t=10                                             | 40-80                     | 0.03                | 1274-2548                     | 115-229                        |

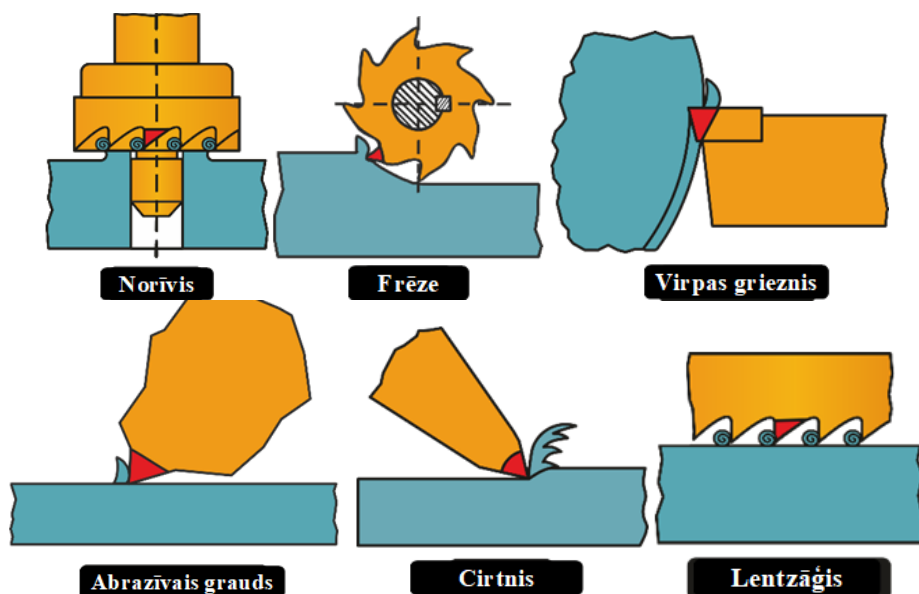
Piezīme. Instrumenta griešanas šķautņu skaits ir 3.

Praksē, balstoties uz reāliem darbgaļdiem un darba apstākļiem, ieprogrammētie režīmi var atšķirties no ieteicamajiem, taču ir jāizvēlas savietojamas vērtības gan instrumentam, gan apstrādājamajam materiālam, ņemot vērā tā īpašības.



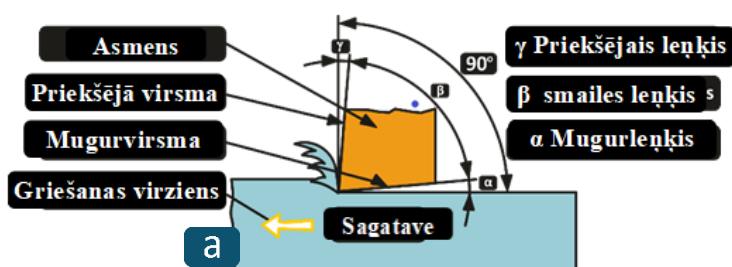
### 3.6.2. Griezējinstrumentu ģeometrija

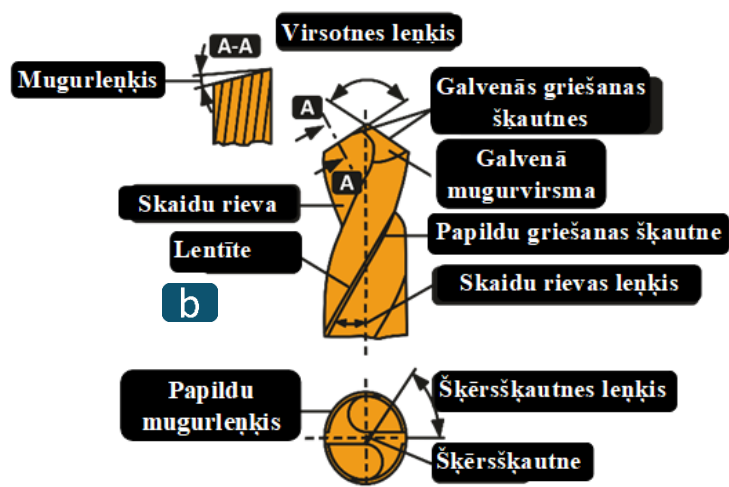
Lai veiktu griešanas darbību – noņemtu materiāla slāni un veidotu skaidas - griešanas šķautnēm jābūt ķīļa formai un asmenim ir jābūt izgatavotam no izturīga, nodilumnoturīga un pietiekami plastiska materiāla (3.40. attēls).



3.40. attēls. Griešanas instrumentu šķautņu forma

Griezējinstrumenta korpuss sastāv no priekšējām un aizmugurējām virsmām. Šīs virsmas ar apstrādāto virsmu veido leņķus, un šo leņķu lielums ietekmē griešanas iespējas un šī procesa īpašības (minimālā berze, maksimālā izturība un minimālie griešanas spēki). Katrai griešanas metodei nepieciešama griešanas virsma un griešanas leņķi ar noteiktu formu un izmēru (3.41. attēls), taču korpusam vienmēr ir jā saglabā tā izturība.

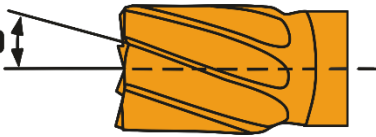


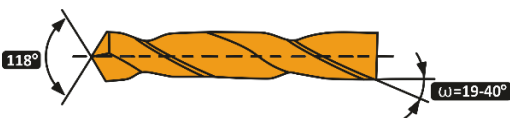
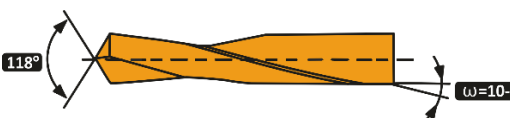
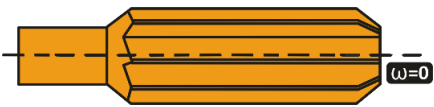


3.41. attēls. Galvenās griezējinstrumenta virsmas un lenķi: a- grieznis, b- urbis

Rotējošiem griezējinstrumentiem, kuri nonāk saskarē ar materiālu dažādās virsmās (piemēram, gala frēžēšanā, urbja mašīnās, rievās), ir svarīgi noteikt papildu griešanas šķautņu ģeometriju, kas ietekmē skaidu aizvadīšanu no darba zonas un spēka sadali, ja tiek apstrādāti materiāli ar dažādām īpašībām (3.14. tabula).

3.14. tabula. Griezējinstrumentu īpašības.

| Griezējinstrumenta |                                                                                                                                   | Instrumenta apzīmējums | Apstrādājamais materiāls                                        |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Gala frēze         | Diagonālie zobi<br>$\omega=25-40^\circ$        | N                      | Vidējas izturības un cietības materiāli                         |
|                    | Diagonālie zobi<br>$\omega=20-40^\circ$        | H                      | Cieti, rūdīti materiāli un materiāli ar brīvi birstošām skaidām |
|                    | Ar spirālveida zobiem<br>$\omega=35-45^\circ$  | W                      | Mīksti, plastiski materiāli ar garām skaidām                    |

|          |                                                                                                              |   |                                                                                                                                                 |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Urbis    |                             | N | Vidējas izturības un cietības materiāli                                                                                                         |
|          |                             | H | Cietie materiāli un materiāli ar brīvi birstošām skaidām                                                                                        |
|          |                             | W | Mīksti, plastiski materiāli ar garām skaidām                                                                                                    |
| Rīvurbis | Ar taisniem zobiem<br>      | H | Tērauds, kura izturības robeža pārsniedz 700 N/mm <sup>2</sup> , cieti un trausli materiāli (perforēti un necaurejoši urbumi).                  |
|          | Ar slīpiem zobiem<br>     | W | Tērauds, kura izturības robeža ir mazāka par 700 N/mm <sup>2</sup> , mīksti un plastiski materiāli ar garām skaidām (arī perforētiem caurumiem) |
|          | Ar spirālveida zobiem<br> |   |                                                                                                                                                 |

Griezējinstrumentiem, kuri pārvietoja ass virzienā, vajadzētu brīvi iegriezties materiālā. Šim nolūkam ir izveidota papildu griešanas šķautnes forma: skaidu rievu slīpuma leņķis  $\omega$ . Šis princips tiek piemērots, lai sadalītu urbjus N, H un W tipa urbjos, kam atšķiras skaidu rievu slīpuma un virsotnes leņķa vērtības. Rīvurbja zobi var būt taisni, veidoti no kreisās puses vai spirālveida zobi. Attiecībā uz pēdējo, skaidu rievu pārnēs skaidas pretpadeves virzienā, un rīvurbis var brīvi darboties. Tas ir svarīgi apstrādājot mīkstus materiālus, kuriem rodas garas skaidas. Tāpēc griezējinstrumenta veidu izvēlas, pamatojoties uz apstrādājamo materiālu. Turklāt, izvēloties vispiemērotāko instrumenta griešanas šķautņu geometriju, ir nepieciešams novērtēt arī citus faktorus: apstrādes veids, padeves virziens, instrumentu materiāls. Lai apkopotu

instrumenta griešanas šķautņu ģeometriju un to atkarību no apstrādātā materiāla, var apgalvot, ka:

- cietus un trauslus materiālus apstrādā, izmantojot spēcīgu instrumenta korpusu (liels smailes leņķis  $\beta$ ), mazs priekšējais leņķis  $\gamma$  (veidotā skaida ir trausla) un mugurleņķi  $\alpha$  (lai samazinātu berzi);
- apstrādājot materiālus ar vidēju cietību un lielāku izturību, nepieciešams palielināts smailes leņķis samazinātajam korpusam, priekšējam leņķim jābūt lielākam, lai uzlabotu skaidu veidošanos un to noņemšanu, attiecīgi mazāku mugurleņķi, lai saglabātu korpusa stiprību;

Ļoti mīksto materiālu griešanai tiek izmantots liels priekšējais griešanas leņķis, kas atvieglo skaidu veidošanos, liels mugurleņķis, kas samazina berzi līdz maksimālajam līmenim, un minimāls smailes leņķis.

### 3.7. Griešanas režīmi un apstrādes laiks

Viens no galvenajiem uzdevumiem apstrādes rūpniecības procesā ir griešanas režīmu izvēle vai aprēķināšana. Izvēloties griešanas režīmus, uzmanība jāpievērš apstrādājamās virsmas prasībām, jo īpaši tās raupjumam un tās izmēru precizitātei. Turklāt ir nepieciešams saprast, kāda ir izmantojamā apstrādes metode, t.i., vai tiek veikta virpošana (ārējā vai iekšējā), frēzēšana, urbšana utt., kāds griezējinstrumenta tiks izmantots, tā izmēri un griezošās daļas materiāls, kā arī apstrādātā izstrādājuma materiāls un stāvoklis.

Galvenie griešanas režīmi ir griešanas dziļums -  $t$ , darba padeve – $s$ ; griešanas ātrums -  $v$  un instrumenta rotācijas frekvence (apgriezieni skaits minūtē)  $n$ .

**Griešanas dziļums  $t$**  (mm) ir materiāla slānis, kas apstrādes laikā tiek noņemts ar vienu griezumu. To izvēlas, pamatojoties uz izmantoto apstrādes metodi. Ja tiek izmantota rupjapstrāde, dziļums  $t$  ir vislielākais un var būt vienāds ar apstrādājamo izmēru. Pielietojot tīrapstrādi, griešanas dziļumu izvēlas, pamatojoties uz apstrādājamās virsmas izmēru precizitāti un virsmas kvalitātes prasībām.

**Padeve  $s$**  (mm/apgriezieni) vai  $s_z$  (mm/zobs) (frēzējot) ir noteikta darba padeve, tas ir ātrums ar kuru griezējinstrumenta virzas pa apstrādājamo sagatavi. Padevi arī izvēlas, pamatojoties uz apstrādājamās virsmas izmēru precizitāti un nepieciešamo virsmas raupjumu. Ja tiek izmantota rupjapstrāde, padeve būs lielāka nekā tīrapstrādē. Turklāt, nosakot darbgalda darba padeves lielumu, jāņem vērā sekojoši apstākļi: sistēmas darbgalds - griezējinstrumenta – ierīce - sagatave (MDTW) stingums, instrumenta īpašības un tā nofiksēšana un citas ierobežojošas prasības.

**Griešanas ātrums  $v$  vai  $vc$**  (m/min) ir attālums, ko griezējinstrumenta šķautne veic rotējot vienas minūtes laikā. Ja tiek veikta rupjapstrāde, tad šis ātrums būs mazāks nekā tīrapstrādē.

**Rotācijas frekvence  $n$**  (apgr./min) ir detaļas (sagataves) vai griezējinstrumenta rotāciju skaits minūtē.

Parasti griešanas režīmi tiek izvēlēti no publikācijām, griezējinstrumentu ražotājiem vai darbgaldu ražotājiem.

Rūpniecības nozarē viens no galvenajiem efektivitātes rādītājiem ir apstrādes (ražošanas) laiks viena izstrādājuma izgatavošanai.

Laiks, lai izpildītu tehnoloģisko darbību, tiek uzskatīts par laiku, lai veiktu normēšanas vienības darbu vai likmi par laika vienību.

Vienības ražošanas laiks  $T_{vnt}$  (min) tiek aprēķināts sekojoši:

$$T_{vnt} = T_m + T_p + T_{dv} + T_a \quad (3.1)$$

kur  $T_m$  – pamatlaiks minūtēs;

$T_p$  – palīglaiks minūtēs;

$T_{dv}$  – darba vietas apkalpošanas laiks minūtēs;

$T_a$  – laiks personīgajai izmantošanai un atpūtai minūtēs.

Ja sagataves tiek gatavotas vairumā (sērijveida ražošana), vienības laika aprēķins tiek aprēķināts sekojoši:

$$T_{vnt-k} = T_m + T_p + T_{dv} + T_a + \frac{T_{pp}}{n_d} \quad (3.2)$$

kur  $T_{pp}$  – sākuma un beigu laiks, kas nepieciešams vienas sagataves sagatavošanai;

$n_d$  – sagatavju skaits sērijā.

Apstrādes laiku iegūst, summējot pamatlaiku ar palīglaiku. Pamatlaiks tiek izrēķināts, ņemot vērā griezējinstrumentu darba padeves ātrumu un veikto instrumenta ceļu. Tad jāsummē virpošanas, frēzēšanas, urbšanas, slīpēšanas u.c laiki. Palīglaiks ir vajadzīgs griezējinstrumenta ātrajai padevei, instrumentu maiņai, detaļas/sagataves nomainībai un aiztransportēšanai pie cita darbgalda. Tiešais apstrādes laiks var tikt aprēķināts sekojoši:

$$T_m = \frac{L \cdot i}{s_m} = \frac{L \cdot i}{n \cdot s} \quad (3.3)$$

Kur  $L$  – instrumenta ceļa garums mm;

$i$  – kustību (gājienu) skaits;

$s_m$  – padeve minūtē, mm/min;

$n$  – detaļas vai griezējinstrumenta apgriezienu skaits minūtē, rev/min;

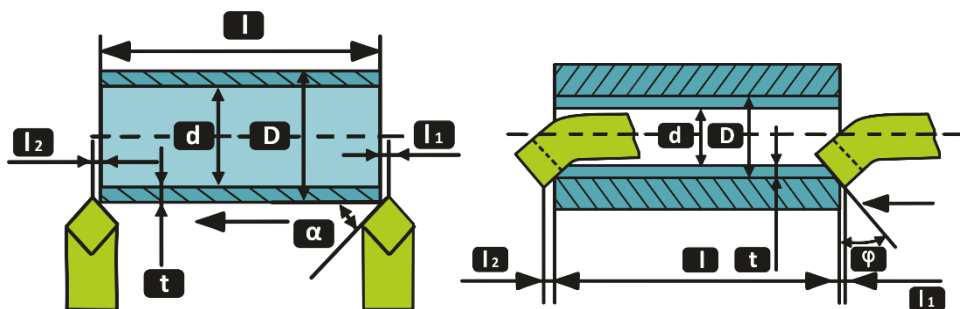
$s$  – padeve apgriezienā, mm/apgr.

Instrumenta ceļa garums tiek aprēķināts sekojoši:

$$L = l + l_1 + l_2 \quad (3.4)$$

kur  $l$  – apstrādājamās virsmas garums, mm;

$l_1$  un  $l_2$  – attālums instrumenta ievadīšanai materiālā vai sagatavē un tā izvadīšana (3.42. attēls).

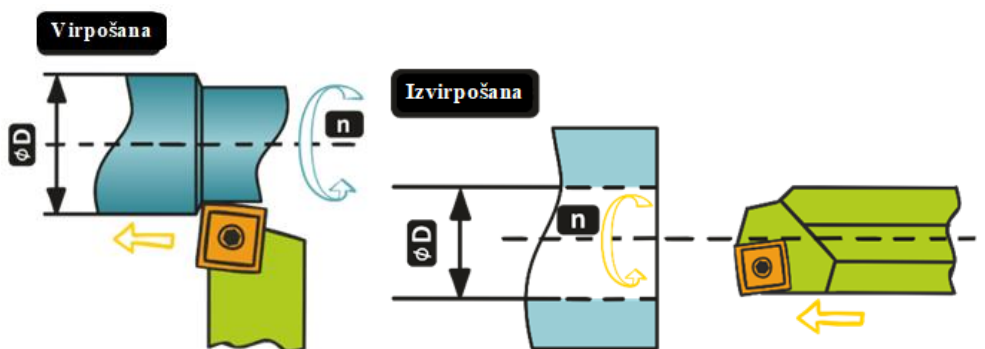


3.42. attēls. Virpošana un izvirpošana

### 3.7.1. Griešanas režīmu aprēķini virpošanā

Griešanas ātrums  $v_c$  var tikt aprēķināts izmantojot empīriskas formulas, kas noteiktas katrai apstrādes metodei, kuras vispārīgi var izteikt sekojoši:

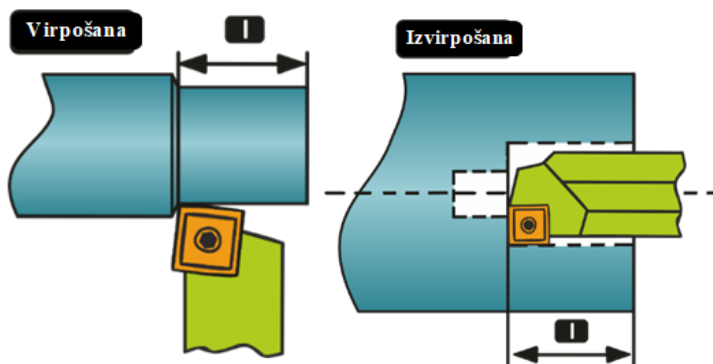
$$v_c = \frac{C_v}{T^{m_t} s_y} K_v \quad (3.5)$$



3.43. attēls. Virpošanas un izvirpošanas apstrādes shēmas

Faktoru  $C_v$ ,  $K_v$ , vērtības, pakāpju mainīgo  $m$ ,  $x$  un  $y$  vērtības, un griezējinstrumenta resurss  $T$  tiek noteikts atbilstošās rokasgrāmatās (atbilstoši apstrādes metodei);  $s$  – padeves apgriezību skaits/min;  $t$  – griešanas dziļums, mm.

Izmantojot ražotāju publikācijas, izvēloties apstrādes metodi un griešanas režīmus instrumentiem, griešanas ātrumu  $v_c$  var aprēķināt izmantojot vienkāršotu formulu:



3.44. attēls. Apstrādājamās virsmas garums virpošanā vai izvirpošanā

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}; \quad (3.6)$$

kur  $v_c$  – griešanas ātrums, m/min;

$n$  – apgriezību skaits minūtē, apgr/min;

$D$  – sagataves diametrs, mm (3.43. attēls).

Apgriezību skaits  $n$  var tikt izteikts arī sekojoši:

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} \quad (3.7)$$

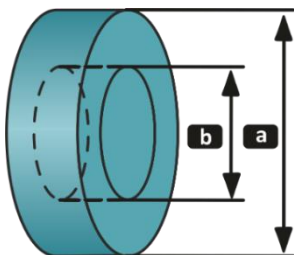
Tiešais apstrādes (griešanas) laiks, izmantojot virpošanu vai frēzēšanu, var tikt atrasts, izmantojot 3.3 formulu. Apstrādājamās virsmas garums var tikt paņemts no detaļas rasējuma (3.44. attēls).

Sagataves gala virsmas apstrādes (3.45. attēls) laiks tiek aprēķināts:

$$T_m = \frac{\pi \cdot (a^2 - b^2)}{4000 \cdot v_c \cdot s} \cdot i \quad (3.8)$$

$a$  – ārējais diametrs, mm;

$b$  – iekšējais diametrs, mm.



3.45. attēls. Ģeometriskie parametri, kas nepieciešami, lai aprēķinātu apstrādes laiku sagatavei

Jauda (kW), kas nepieciešama griešanas laikā tiks aprēķināts sekojoši:

$$N = \frac{P_z \cdot v_c}{1020 \cdot 60} \quad (3.9)$$

$P_z$  – tangenciālā spēka komponente griešanas spēkam, N.



### 3.7.2. Griešanas režīma aprēķināšana frēzēšanai

Frēzēšanā griešanas ātrums (3.46. attēls) tiek aprēķināts sekojoši:

$$v_c = \frac{\pi D_c \cdot n}{1000} \quad (3.10)$$

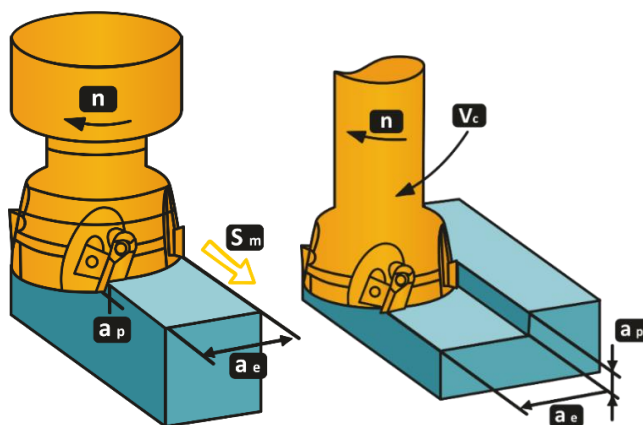
$v_c$  – griešanas ātrums, m/min;

$n$  – apgriezienu skaits minūtē, apgr/min;

$D_c$  – griezējinstrumenta diametrs, mm.

Izmantojot 3.10. formulu apgriezienu skaits  $n$  var tikt izteikts sekojoši:

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi D_c} \quad (3.11)$$



3.46. attēls. Frēzēšanas shēmas, kurās izmanto kroņveida griezējinstrumentus (frēzgalvas):  $a_p$  – griešanas dziļums,  $a_e$  – griešanas platums,  $n$  – griezējinstrumenta rotācijas virziens,  $s_m$  – darba padeve minūtē.

Veicot frēzēšanu, minūtes padeve (darba padeves ātrums) ir vienāda ar:

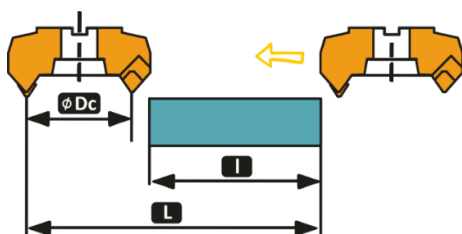
$$s_m = s_z \cdot z \cdot n \quad (3.12)$$

$s_m$  – padeve minūtē, mm/min;

$s_z$  – padeve uz zobu (griezējšķautne), mm/zobs;

$z$  – griezējinstrumenta zobu skaits;

$n$  – apgriezienu skaits minūtē, apgr./min.



3.47. attēls. Griezējinstrumenta ceļš, veicot frēzēšanu

Tiešais apstrādes laiks virsmu frēzēšanā var tikt aprēķināts sekojoši:

$$T_m = \frac{L}{s_m} \quad (3.13)$$

Kur  $L$  – griezējinstrumenta instrumenta ceļa garums (3.47. attēls), kurš tiek noteikts ar sekojošu formulu:

$$L = l + D_c \quad (3.14)$$

Veicot frēzēšanu, nepieciešamā griešanas jauda  $N$  (kW) tiek aprēķināta ar 3.9. formulu.

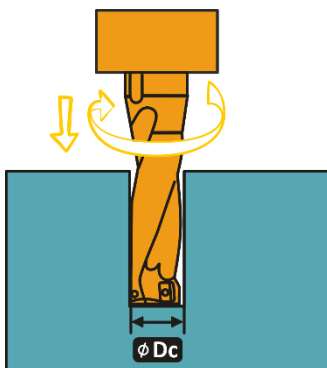
### 3.7.3. Griešanas režīmu aprēķināšanas formulas urbšanai, gremdurbšanai, izrīvēšanai un vītņgriešanai

Urbšanai griešanas dziļumu aprēķina, dalot urbja diametru  $D_c$  uz pusēm (3.48. attēls). Gremdurbšanai un izrīvēšanai griešanas dziļumu aprēķina šādi:

$$t = \frac{D-d}{2} \quad (3.15)$$

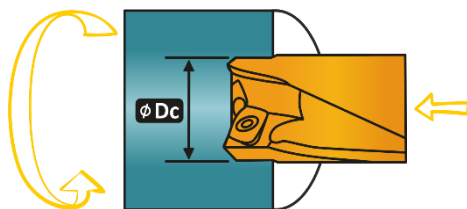
kur  $D$  – urbuma diametrs pēc apstrādes, mm;

$d$  – ubuma diametrs pirms apstrādes, mm.



3.48. attēls. Urbumu veidošana ar urbi

Urbšanas (arī gremdurbšanas un izrīvēšanas) apstrādes ātrumu  $v_c$  aprēķina, pamatojoties uz formulu 3.10., instrumenta apgriezību skaitu  $n$  pamatojoties uz formulu 3.11., un tiešo apstrādes laiku  $T_m$  - pamatojoties uz formulu 3.3. Tādas pašas formulas piemēro, aprēķinot griešanas dziļumu, griešanas ātrumu un apgriezību skaitu virpošanas darbgaldos, kur apstrādājamās detaļas/sagataves rotē (3.49. attēls).



3.49. attēls. Urbumu veidošana virpojot

Izņēmumi attiecas uz tiešajiem griešanas laika aprēķiniem, kad vītne tiek iegriezta urbumā ar vītņurbi. Šajā gadījumā galveno laiku aprēķina, izmantojot šādu formulu:

$$T_m = \left( \frac{L}{s \cdot n} + \frac{L}{s \cdot n_1} \right) \cdot i \quad (3.16)$$

kur  $n$  – iegriezto vijumu skaits,  $n_1$  – vijumu skaits, kad vītņurbis atvirzās no urbuma.

Griešanas procesā izmantoto jaudu  $N$  (kW) nosaka, pamatojoties uz šādu formulu:

$$N = \frac{M_s \cdot n}{9750} \quad (3.17)$$

kur  $M_s$  – griešanas spēka moments, Nm.

## PRAKTISKIE PADOMI:

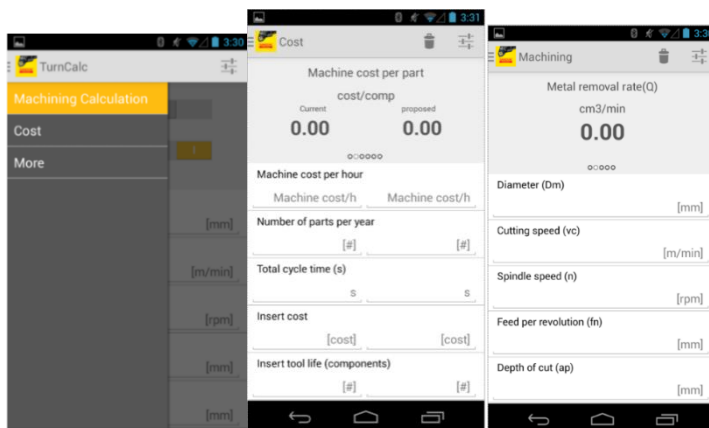
Izvēloties griešanas režīmus, nepieciešams pievērst uzmanību instrumenta ražotāja sniegtajām rekomendācijām.

### 3.8. Apstrādes programmas gudrajās ierīcēs

Daudzi instrumentu ražotāji izstrādā dažādas apstrādes un griešanas režīmu noteikšanas programmas, kas domātas darbam ar viedtālruniem un planšetēm. Tas padara griešanas režīma aprēķināšanu un instrumenta izvēles procesu daudz vieglāku un ātrāku. Lielākā daļa no šīm programmām var tikt lejupielādētas no  Google play un  iPhone mājas lapām un aplikācijām.

Piemēram, Zviedrijas uzņēmums Sandvik Coromant , kas ir izstrādājis dažādas programmas, kas paredzētas ražošanas ekonomiskās dzīvotspējas aprēķināšanai, instrumentu izturības identificēšanai, apstrādājot dažādus materiālus, virpošanas, frēzēšanas un citu mehāniskās apstrādes veidu darbību un daudz ko citu.

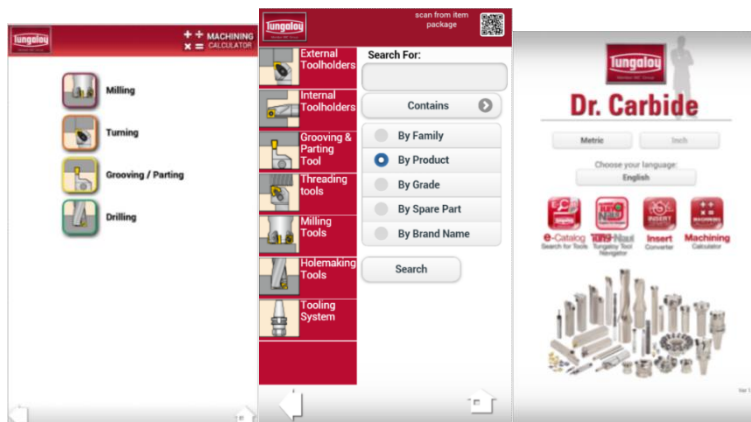
Virpošanas procesa kalkulators tiek izmantots ne tikai ražošanas procesa aprēķināšanai, bet arī apstrādes izmaksām (3.50. attēls).



3.50. attēls. Programmas logi virpošanas procesa kalkulatoram (Sandvik Coromant)

Japāņu kompānija Tungaloy Corporation  piedāvā Dr. Carbide programmu izmantot mobilajos tālruņos, un programmu Tungaloy Tool Navigator  (Tungaloy company tool navigator) darban virtuālajā vidē.

Tungaloy Dr. Carbide programma veicina rīku izvēles procesu un apstrādes metodes izvēles izvērtēšanu (3.51. attēls).



3.51. attēls. Dr. Carbide Tungaloy programma (Tungaloy Corporation)

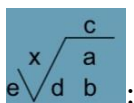
Romany's 'Tungaloy Corporation' navigators var tikt izmantoti, lai aprēķinātu griešanas režīmus, pamatojoties uz noteiktiem parametriem. Papildus programma piedāvā dažus piemērotus griezējinstrumentus izvēlētajam procesam (3.52. attēls).



3.52.attēls. Tungaloy tool navigator (Tungaloy Corporation)

Papildus iepriekšminētajiem ražotājiem ir iespējams izvēlēties citus instrumentu ražotājus, kas piedāvā līdzīgas programmas, kas paredzētas apstrādes veidu aprēķinam.

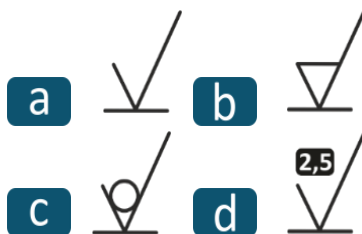




- a - Prasība vienas virsmas gala apstrādei;
- b - Papildu prasības attiecībā uz virsmu; nepieciešama materiāla noņemšana, veicot mehānisku apstrādi;
- c - Ražošanas process (piemēram, virpots, slīpēts, hromēts); materiāla noņemšana nav atļauta;
- d - Profila virziena simbols (virsmas apstrādes rievu forma un novietojums);
- e - Apstrādes pielaide (milimetros); identiska visu virsmu tekstūra;
- x - Burts vienkāršotai salīdzinošajai novērtēšanai, ja vieta ir ierobežota.

Raupjuma apzīmējuma piemērs ir sekojošā attēlā , kura atšifrējums ir sekojošs: materiāla noņemšana atļauta, noklusējuma filtrējums, R profils, novērtējuma garums ir 3 datu ņemšanas garumi, 16% noteikums, vidējais nelīdzenuma dziļums 4  $\mu\text{m}$  (augšējā robeža); koncentriskas rievas uz virsmas.

Raupjuma apzīmējumi shēmās parādīti 4.2. attēlā.

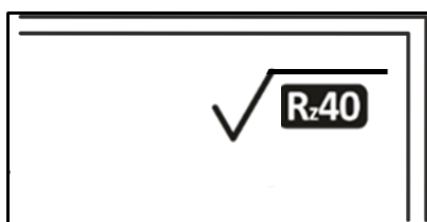


4.2. attēls. Raupjuma apzīmējumi shēmās: a) virsmas apstrādes metode nav norādīta; b) pēc materiāla slāņa noņemšanas; c) bez materiāla slāņa noņemšanas; d) nelīdzenuma marķējums ar  $R_a$  vērtību

Ja shēmā nav norādīta virsmas apstrādes metode, virsmas raupjumu ataino ar 4.2.a. attēlā norādīto zīmi. 4.2.b. attēlā norādītā zīme norāda virsmas raupjumu, kas radies pēc materiāla slāņa noņemšanas. 4.2.c. attēlā norādītā zīme norāda virsmas raupjumu, kas radies, nenoņemot materiāla slāni (lietas, velmētas virsmas). Šis apzīmējums norāda arī virsmas, kuras netiek apstrādātas saskaņā ar konkrēto shēmu.

Raupjuma rādītājs  $R_a$  var tikt norādīts bez tā simbola (4.2.d. attēls), bet  $R_z$  vērtība jānorāda ar tās simbolu (4.3. attēls). Raupjumu norādošā marķējuma maliņa vienmēr ir vērsta uz augšu.

Rasējumā var norādīt arī citus raupjuma rādītājus - ne tikai maksimālo, bet arī minimālo  $R_z$  vai  $R_a$  vērtību, S vērtību un citus.



4.3. attēls. Raupjuma vērtību apzīmējumu novietojums

Ja detaļā ir vairākas virsmas ar vienādu raupjumu, tās norāda shēmas augšējā labajā stūrī (4.3. attēls). Ja visas detaļas virsmas ir ar vienādu raupjumu, tās arī tiek norādītas shēmas labajā stūrī (4.3. attēls)

Standartā virsmas raupjums tiek norādīts ar šādām robežvērtībām:  $R_a = 100 \dots 0,008 \mu\text{m}$ ,  $R_z = 1600 \dots 0,025 \mu\text{m}$ .

Raupjuma parametru vērtības un mērīšanas garumi ir norādīti 4.1. tabulā. Ieteicamās virsmas raupjuma vērtības tabulā norādītas treknrakstā.

4.1. tabula. Raupjuma rādītāji  $R_a$  un  $R_z$ ,  $\mu\text{m}$  un mērīšanas garumi, mm

| $R_a$ , $\mu\text{m}$ |       |              |      | $R_z$ , $\mu\text{m}$ |      |             |            | Mērīšanas garums l, mm |
|-----------------------|-------|--------------|------|-----------------------|------|-------------|------------|------------------------|
| 1                     |       |              |      | 2                     |      |             |            | 3                      |
| 80                    | 63    | <b>50</b>    | 40   | 320                   | 250  | <b>200</b>  | 160        | 8                      |
| 40                    | 32    | <b>25</b>    | 20   | 160                   | 125  | <b>100</b>  | 80         |                        |
| 20                    | 16    | <b>12,5</b>  | 10   | 80                    | 63   | <b>50</b>   | 40         |                        |
| 10                    | 8     | <b>6,3</b>   | 5    | 40                    | 32   | <b>25</b>   | 20         | 2,5                    |
| 5                     | 4     | <b>3,2</b>   | 2,5  | 20                    | 16   | <b>12,5</b> | 10         |                        |
| 2,5                   | 2     | <b>1,6</b>   | 1,25 | 10                    | 8    | <b>6,3</b>  | -          | 0,8                    |
| 1,25                  | 1     | <b>0,8</b>   | 0,63 | 6,3                   | 5    | 4           | <b>3,2</b> |                        |
| 0,63                  | 0,5   | <b>0,4</b>   | 0,32 | 3,2                   | 2,5  | 2           | <b>1,6</b> |                        |
| 0,32                  | 0,25  | <b>0,2</b>   | 0,16 | 1,6                   | 1,25 | 1           | <b>0,8</b> | 0,25                   |
| 0,16                  | 0,125 | <b>0,1</b>   | 0,08 | 0,8                   | 0,63 | 0,5         | <b>0,4</b> |                        |
| 0,08                  | 0,063 | <b>0,05</b>  | 0,04 | 0,4                   | 0,32 | 0,25        | <b>0,2</b> |                        |
| 0,04                  | 0,032 | <b>0,025</b> | 0,02 | 0,2                   | 0,16 | 0,125       | <b>0,1</b> |                        |

|      |       |              |      |      |      |       |              |      |
|------|-------|--------------|------|------|------|-------|--------------|------|
| 0,02 | 0,016 | <b>0,012</b> | 0,01 | 0,1  | 0,08 | 0,063 | <b>0,05</b>  | 0,08 |
| 0,01 | 0,008 | -            | -    | 0,05 | 0,04 | 0,032 | <b>0,025</b> |      |

Standarti neregulē virsmas raupjuma izmēru atkarību no izmēru precizitātes un inženiertehnisko sēžu pielaides kvalitātes. Prasībām ir tikai ieteikuma raksturs. Tās ir norādītas 4.2. un 4.3. tabulā.

Papildus raupjumam un viļņainībai virsmai var būt arī skrāpējumi, ierobi un rievas. Liela izmēra virsmas izkropļojumiem nav nekāda sakara ar raupjumu un viļņainību. Šādi virsmas izkropļojumi tiek novērtēti atsevišķi.

Mērīšanas metodoloģijā ir daudzi virsmas mikroģeometrijas vērtēšanas līdzekļi, kuros izmanto bezkontakta, kontakta un subjektīvās novērtēšanas metodes.

4.2. tabula. Ieteicamais virsmas raupjuma parametrs  $R_z$  atkarībā no vārpstas izmēru precizitātes un inženiertehniskās sēžas pielaides kvalitātes

| Nomināla<br>is izmērs,<br>mm | Pielaides kvalitāte                              |     |                                          |         |     |     |                  |     |     |      |      |     |     |
|------------------------------|--------------------------------------------------|-----|------------------------------------------|---------|-----|-----|------------------|-----|-----|------|------|-----|-----|
|                              | IT5                                              | IT6 |                                          |         |     |     | IT7              | IT8 |     |      |      |     |     |
|                              | f7;<br>h6,<br>p6                                 | u8  | p7; s7;<br>n7; m7;<br>k7; js7;<br>h7; g7 | f8      | e8  | d8  | d8;<br>h8;<br>n8 | js8 | h8  | f8   | d8   |     |     |
|                              | Maksimālais virsmas raupjums R <sub>z</sub> , μm |     |                                          |         |     |     |                  |     |     |      |      |     |     |
| 1                            | 2                                                |     |                                          |         |     |     |                  |     |     |      |      |     |     |
| 1÷3                          | 0,4                                              | 1,6 | 0,8                                      | 1,<br>6 | 1,6 | 3,2 | 0,8              | -   | 3,2 | 3,2  | 3,2  |     |     |
| 3÷6                          | 0,8                                              |     |                                          |         | 3,2 |     | 1,6              | 3,2 |     |      | 3,2  | 6,3 |     |
| 6÷10                         |                                                  |     |                                          |         | 3,2 |     |                  |     |     |      |      |     | 6,3 |
| 10÷18                        |                                                  |     |                                          |         |     |     |                  |     |     |      |      |     |     |
| 18÷30                        | 1,6                                              | 3,2 | 1,6                                      | 3,<br>2 | 3,2 | 3,2 | 6,3              | 6,3 | 6,3 | 12,5 |      |     |     |
| 30÷50                        |                                                  |     |                                          |         | 6,3 |     |                  |     |     |      | 12,5 |     |     |
| 50÷80                        |                                                  |     |                                          |         |     |     |                  |     |     |      |      |     |     |



|                       |                                                  |      |           |      |      |         |      |      |      |    |
|-----------------------|--------------------------------------------------|------|-----------|------|------|---------|------|------|------|----|
| 80÷120                |                                                  |      | 3,2       |      | 6,3  | 6,3     | 6,3  | 12,5 | 12,5 | 25 |
| 120÷180               |                                                  |      |           |      |      |         |      |      |      |    |
| 180÷260               | 3,2                                              | 6,3  | 6,3       |      | 6,3  | 12,5    | 12,5 | 25   | 25   |    |
| 260÷360               |                                                  |      |           |      |      |         |      |      |      |    |
| 360÷500               |                                                  |      |           |      |      |         |      |      |      |    |
| Nominālais izmērs, mm | Pielaides kvalitāte                              |      |           |      |      |         |      |      |      |    |
|                       | IT10                                             | IT11 | IT12-IT13 | IT14 | IT15 | IT16-17 |      |      |      |    |
|                       | h10                                              | h11  | h13       | h14  | h15  | h16     |      |      |      |    |
|                       | Maksimālais virsmas raupjums R <sub>z</sub> , μm |      |           |      |      |         |      |      |      |    |
| 1÷3                   | 6,3                                              | 6,3  | 12,5      | 25   | 50   | 50      |      |      |      |    |
| 3÷6                   |                                                  |      |           |      |      |         |      |      |      |    |
| 6÷10                  |                                                  |      |           |      |      | 100     |      |      |      |    |
| 10÷18                 | 12,5                                             | 12,5 | 25        | 50   | 100  |         |      |      |      |    |
| 18÷30                 |                                                  |      |           |      |      |         |      |      |      |    |
| 30÷50                 |                                                  |      |           |      |      |         |      |      |      |    |
| 50÷80                 |                                                  |      |           |      |      |         |      |      |      |    |
| 80÷120                |                                                  |      |           |      |      | 200     |      |      |      |    |
| 120÷180               | 25                                               | 25   | 50        | 100  | 200  |         |      |      |      |    |
| 180÷260               |                                                  |      |           |      |      |         |      |      |      |    |
| 260÷360               |                                                  |      |           |      |      |         |      |      |      |    |
| 360÷500               |                                                  |      |           |      |      |         |      |      |      |    |

4.3. tabula. Ieteicamais virsmas raupjuma parametrs  $R_z$  atkarībā no izmēru precizitātes un inženiertehniskās sēžas pielaides kvalitātes caurumiem

| Nominālais izmērs, mm | Pielaides pakāpe                                 |     |                                             |      |      |           |                                 |      |      |      |
|-----------------------|--------------------------------------------------|-----|---------------------------------------------|------|------|-----------|---------------------------------|------|------|------|
|                       | IT6                                              | IT7 |                                             |      |      | IT8       |                                 | IT9  |      |      |
|                       | G5; H5;<br>K5; M5;<br>N5; P5;<br>R5; S5          | U7  | R6; P6;<br>N6;<br>M6; K6;<br>Js6; H6;<br>G6 | F7   | E8   | D8;<br>E8 | N7;<br>M7;<br>K7;<br>Js7;<br>H7 | H8   | F8   | D8   |
|                       | Maksimālais virsmas raupjums $R_z$ $\mu\text{m}$ |     |                                             |      |      |           |                                 |      |      |      |
| 1                     | 2                                                |     |                                             |      |      |           |                                 |      |      |      |
| No 1 līdz 3           |                                                  | 1,6 |                                             | 1,6  |      |           | 1,6                             |      |      | 3,2  |
| 3÷6                   | 0,8                                              |     | 1,6                                         |      |      | 3,2       |                                 |      | 3,2  |      |
| 6÷10                  |                                                  |     |                                             |      | 3,2  |           |                                 | 3,2  |      |      |
| 10÷18                 |                                                  | 3,2 |                                             | 3,2  |      |           | 3,2                             |      |      | 6,3  |
| 18÷30                 |                                                  |     |                                             |      |      |           |                                 |      | 6,3  |      |
| 30÷0                  | 1,6                                              |     | 3,2                                         |      |      | 6,3       |                                 | 6,3  |      |      |
| 50÷80                 |                                                  |     |                                             |      | 6,3  |           |                                 |      |      |      |
| 80÷20                 |                                                  |     |                                             |      |      |           | 6,3                             |      |      | 12,5 |
| 120÷180               |                                                  | 6,3 |                                             | 6,3  |      |           |                                 |      | 12,5 |      |
| 180÷260               |                                                  |     | 6,3                                         |      |      |           |                                 |      |      |      |
| 260÷360               | 3,2                                              |     |                                             |      | 12,5 | 12,5      |                                 | 12,5 |      | 25   |
| 360÷500               |                                                  |     |                                             | 12,5 |      |           | 12,5                            |      | 25   |      |

#### 4.3. tabulas turpinājums

| 1                     | 2                                              |               |          |      |      |          |
|-----------------------|------------------------------------------------|---------------|----------|------|------|----------|
| Nominālais izmērs, mm | Pielaides kvalitāte                            |               |          |      |      |          |
|                       | IT10                                           | IT11          | IT12-13  | IT14 | IT15 | IT16- 17 |
|                       | H9; H10                                        | H11; D11; B11 | H12; B12 | H14  | H15  | H16      |
|                       | Maksimālais virsmas raupjums R <sub>z</sub> μm |               |          |      |      |          |
| No 1 līdz 3           | 6,3                                            | 6,3           | 12,5     | 25   | 50   | 50       |
| 3÷6                   |                                                |               |          |      |      |          |
| 6÷10                  |                                                |               |          |      |      | 100      |
| 10÷18                 |                                                |               |          |      |      |          |
| 18÷30                 | 12,5                                           | 12,5          | 25       | 50   | 100  | 200      |
| 30÷0                  |                                                |               |          |      |      |          |
| 50÷80                 |                                                |               |          |      |      |          |
| 80÷20                 |                                                |               |          |      |      |          |
| 120÷180               | 25                                             | 25            | 50       | 100  | 200  |          |
| 180÷260               |                                                |               |          |      |      |          |
| 260÷360               |                                                |               |          |      |      |          |
| 360÷500               |                                                |               |          |      |      |          |

Ja mērīšanā tiek izmantota bezkontakta metode, ierīce nesaskaras ar novērtējamo virsmu, tādēļ tā virsmu nesabojā vai neizkropļo. Šai metodei nepieciešamas optiskās un interferences ierīces.

Mērīšanas ierīces, kuru darbības pamatā ir kontaktu metode, pieskaras virsmai ar mērīšanas galu (savienotāju vai adatu). Šī metode tiek izmantota profilometros.

Subjektīvās metodes analizē virsmas datus, kas iegūti vizuālā novērtēšanā un salīdzinot tos ar atskautes paraugiem.

## 4.2. Detaļu elementu izmēri un novirzes

Visiem detaļu elementiem ir izmērs, ģeometriskā forma, virsmas kvalitāte. Tādēļ ir jānosaka to pieļaujamās novirzes, un, ja tās pārsniedz robežas, detaļu darbība pasliktināsies. Produkta kvalitātes un apmaināmības nodrošināšanai izmērus, elementu ģeometrisku formu un virsmu kvalitāti regulē standarti.

Vispārējās pieļaujamās novirzes iedala četrās precizitātes grupās, kuras ir norādītas ar mazajiem burtiem: **f** - precīza, **m** - vidēja, **c** - neprecīza un **v** - ļoti neprecīza. Šādi relatīvi apzīmējumi vienkāršo shēmas.

Izvēloties vispārējo pieļaujamo noviržu grupu, tiek ņemta vērā izvēlētajā ražošanas precizitāte. Ja ir nepieciešama lielāka precizitāte nekā precizitātes grupām noteiktā (ar mazākām pieļaujamajām novirzēm), pieļaujamās novirzes tiek norādītas blakus attiecīgajiem nominālajiem izmēriem. Vispārējās pieļaujamās novirzes attiecas uz lineārajiem un leņķa izmēriem tikai tad, ja shēmas un tehniskās prasības atbilst LST EN 22768 standartam.

### Lineārie izmēri

Pielaižu un inženiertehnisko sēžu sistēma nosaka 19 precizitātes kvalitātes, kas apzīmētas ar sērijas numuriem, kuri palielinās pieaugot pielaidei: 01, 0, 1, 2, 3, 4, ... 15, 16, 17. Pielaižu pakāpe norāda pielaižu kopumu, kas atbilst vienai un tai pašai precizitātes kvalitātei attiecībā uz visiem nominālajiem izmēriem, kurus piemēro konkrētajam nominālo izmēru diapazonam. Nominālais izmērs ir detaļas galvenais (pamata) izmērs, un to izmanto kā atskaiti aprēķinot detaļas sīkas novirzes un minimālos izmērus (4.4. tabula).

4.4. tabula. Garuma izmēru vispārējās pieļaujamās novirzes

| Pieļaujamo noviržu grupa |                | Izmēru un pieļaujamo noviržu intervāli, mm |               |                |                  |                   |                    |                     |                     |
|--------------------------|----------------|--------------------------------------------|---------------|----------------|------------------|-------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| Marķējums                | Precizitāte    | No 0,5 līdz 3                              | Virs 3 līdz 6 | Virs 6 līdz 30 | Virs 30 līdz 120 | Virs 120 līdz 400 | Virs 400 līdz 1000 | Virs 1000 līdz 2000 | Virs 2000 līdz 4000 |
| f                        | precīzs        | ±0,05                                      | ±0,05         | ±0,1           | ±0,15            | ±0,2              | ±0,3               | ±0,5                | –                   |
| m                        | vidējs         | ±0,1                                       | ±0,1          | ±0,2           | ±0,3             | ±0,5              | ±0,8               | ±1,2                | ±2                  |
| c                        | neprecīzs      | ±0,2                                       | ±0,3          | ±0,5           | ±0,8             | ±1,2              | ±2                 | ±3                  | ±4                  |
| v                        | Ļoti neprecīzs | –                                          | ±0,5          | ±1             | ±1,5             | ±2,5              | ±4                 | ±6                  | ±8                  |

Piezīme. Nominālajiem izmēriem, kas ir mazāki par 0,5 mm, blakus attiecīgajam nominālajam izmēram jānorāda novirzes robežvērtības.

**Pielaide (T)** ir starpība starp maksimālo un minimālo robežvērtībām vai absolūtā kopējā algebriskā starpība starp lielāko un mazāko novirzi. No fizikālā viedokļa pielaide norāda faktisko izmēru iespējamās izkliedes kopu, t.i., norādīto ražošanas precizitāti. Pielaidei palielinoties produktu kvalitāte parasti samazinās, tajā pašā laikā samazinās ražošanas izmaksas.

Pielaides izmēriem no 1 līdz 1000 mm ir norādītas 4.5. tabulā.

Lineāro izmēru novirzes shēmās var būt norādītas trīs veidos: pielaides lauka skaitliskā apzīmējumā, piemēram,  $\varnothing 20+0,052$ ,  $\varnothing 60-0,074$ , pielaides lauka alfabētiskā apzīmējumā, piemēram,  $\varnothing 20H9$ ,  $\varnothing 60h9$  vai pielaides lauka alfabētiskā apzīmējumā, iekavās norādot izmēra novirzi skaitliskā veidā, piemēram,  $\varnothing 20H9 (+0,052)$ ,  $\varnothing 60h9 (-0,074)$ .

4.5.tabula. Pielaides izmēriem no 1 līdz 1000 mm, mikrometros

| Nominālais izmērs, mm | Kvalitāte |    |    |    |     |     |     |     |
|-----------------------|-----------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
|                       | 4         | 5  | 6  | 7  | 8   | 9   | 10  | 11  |
| Līdz 3                | 3         | 4  | 6  | 10 | 14  | 25  | 40  | 60  |
| $>3 \leq 6$           | 4         | 5  | 8  | 12 | 18  | 30  | 48  | 75  |
| $>6 \leq 10$          | 4         | 6  | 9  | 15 | 22  | 36  | 58  | 90  |
| $>10 \leq 18$         | 5         | 8  | 11 | 18 | 27  | 43  | 70  | 110 |
| $>18 \leq 30$         | 6         | 9  | 13 | 21 | 33  | 52  | 84  | 130 |
| $>30 \leq 50$         | 7         | 11 | 16 | 25 | 39  | 62  | 100 | 160 |
| $>50 \leq 80$         | 8         | 13 | 19 | 30 | 46  | 74  | 120 | 190 |
| $>80 \leq 120$        | 10        | 15 | 22 | 35 | 54  | 87  | 140 | 220 |
| $>120 \leq 180$       | 12        | 18 | 25 | 40 | 63  | 100 | 160 | 250 |
| $>180 \leq 250$       | 14        | 20 | 29 | 46 | 72  | 115 | 185 | 290 |
| $>250 \leq 315$       | 16        | 23 | 32 | 52 | 81  | 130 | 210 | 320 |
| $>315 \leq 400$       | 18        | 25 | 36 | 57 | 89  | 140 | 230 | 360 |
| $>400 \leq 500$       | 20        | 27 | 40 | 63 | 97  | 155 | 250 | 400 |
| $>500 \leq 630$       | 22        | 32 | 44 | 70 | 110 | 175 | 280 | 440 |

|                          |           |      |      |      |      |      |     |     |
|--------------------------|-----------|------|------|------|------|------|-----|-----|
| >630 ≤800                | 25        | 36   | 50   | 80   | 125  | 200  | 320 | 500 |
| > 800 ≤1000              | 28        | 40   | 56   | 90   | 140  | 230  | 360 | 560 |
| Nominālais<br>izmērs, mm | Kvalitāte |      |      |      |      |      |     |     |
|                          | 12        | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   |     |     |
| Līdz 3                   | 100       | 140  | 250  | 400  | 600  | 1000 |     |     |
| >3 ≤6                    | 120       | 180  | 300  | 480  | 750  | 1200 |     |     |
| >6 ≤10                   | 150       | 220  | 360  | 580  | 900  | 1500 |     |     |
| >10 ≤18                  | 180       | 270  | 430  | 700  | 1100 | 1800 |     |     |
| >18 ≤30                  | 210       | 330  | 520  | 840  | 1300 | 2100 |     |     |
| >30 ≤50                  | 250       | 390  | 620  | 1000 | 1600 | 2500 |     |     |
| >50 ≤80                  | 300       | 460  | 740  | 1200 | 1900 | 3000 |     |     |
| >80 ≤120                 | 350       | 540  | 870  | 1400 | 2200 | 3500 |     |     |
| >120 ≤180                | 400       | 630  | 1000 | 1600 | 2500 | 4000 |     |     |
| >180 ≤250                | 460       | 720  | 1150 | 1850 | 2900 | 4600 |     |     |
| >250 ≤315                | 520       | 810  | 1300 | 2100 | 3200 | 5200 |     |     |
| >315 ≤400                | 570       | 890  | 1400 | 2300 | 3600 | 5700 |     |     |
| >400 ≤500                | 630       | 970  | 1550 | 2500 | 4000 | 6300 |     |     |
| >500 ≤630                | 700       | 1100 | 1750 | 2800 | 4400 | 7000 |     |     |
| >630 ≤800                | 800       | 1250 | 2000 | 3200 | 5000 | 8000 |     |     |
| >800 ≤1000               | 900       | 1400 | 2300 | 3600 | 5600 | 9000 |     |     |

Metāla detaļu izmērus kustīgajos salāgojumos ieteicams pielietot precizitātes kvalitāti 14. Caurumu un vārpstu izmēru novirzes parasti grupē pēc iekļaušanās materiālā (pozitīvs +IT caurumiem un negatīvs -IT vārpstām) un simetrijas ( $\pm IT/2$ ).

### Leņķisko izmēru un formas novirzes

Vispārējās pieļaujamās novirzes leņķiskajiem izmēriem ietver tikai līniju un daļu kopējo virzienu, bet neietver to formas un novietojuma novirzes (4.6. tabula). Formas un novietojuma novirzes tiek norādītas blakus aprakstāmajai virsmai un norāda gan formas simbolu, gan novirzes lielumu (4.7. tabula).

Par virsmas formas novirzi tiek uzskatīta lielākā atšķirība starp elementa faktisko un

ideālo ģeometrisku formu. Virsmas formas novirze tiek standartizēta ar noteikto pielaidi.

Novietojuma novirze ir virsmas, ass vai simetrijas plaknes faktiskā novirze no nominālā stāvokļa. Novietojuma novirzes tiek standartizētas ar novietojuma pielaidēm.

4.6. tabula. *Leņķisko izmēru vispārējās pieļaujamās novirzes*

| Pieļaujamo noviržu grupa |                | Izmēru intervāli (izteikti kā īsākās malas nominālais garums) un pieļaujamās novirzes, mm |                   |                   |                   |                   |
|--------------------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Marķējums                | Precizitāte    | Līdz 10                                                                                   | Virs 10 līdz 50   | Virs 50 līdz 120  | Virs 120 līdz 400 | Virs 400          |
| f                        | precīzs        | $\pm 1^\circ$                                                                             | $\pm 0^\circ 30'$ | $\pm 0^\circ 20'$ | $\pm 0^\circ 10'$ | $\pm 0^\circ 5'$  |
| m                        | vidējs         | $\pm 1^\circ$                                                                             | $\pm 0^\circ 30'$ | $\pm 0^\circ 20'$ | $\pm 0^\circ 10'$ | $\pm 0^\circ 5'$  |
| c                        | neprecīzs      | $\pm 1^\circ 30'$                                                                         | $\pm 1^\circ$     | $\pm 0^\circ 30'$ | $\pm 0^\circ 15'$ | $\pm 0^\circ 10'$ |
| v                        | Ļoti neprecīzs | $\pm 3^\circ$                                                                             | $\pm 2^\circ$     | $\pm 1^\circ$     | $\pm 0^\circ 30'$ | $\pm 0^\circ 20'$ |

Formas un pozīcijas noviržu kopumu veido gan virsmas formas, gan novietojums novirzes izvēlētajā bāzē.

Formas un novietojuma novirzes rodas detaļu apstrādes procesā dēļ griezējinstrumenta nolietojšanās, elastīgo iekārtu deformācijas, iekārtu kustīgo daļu neprecīza novietojuma, neprecīzas detaļu montāžas, tehnoloģiskās sistēmas detaļu, darbarīku, ierīču vibrācijas, utt.

Virsmas formas un novietojuma novirzes, kā arī pielaides un to standarta marķējums ir doti 4.7. tabulā.

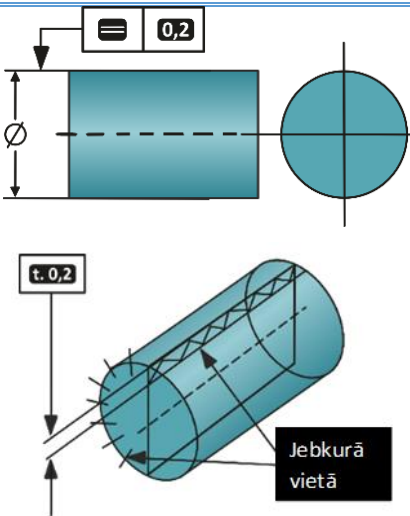
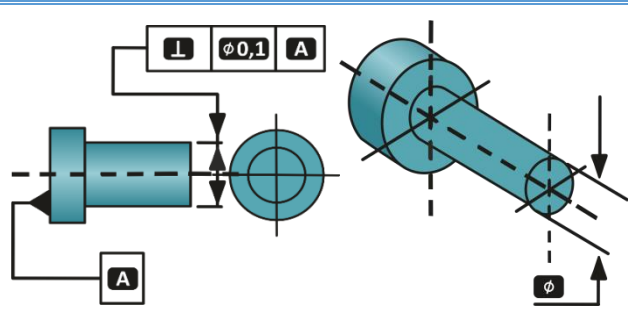
### **Inženiertehniskā sēža**

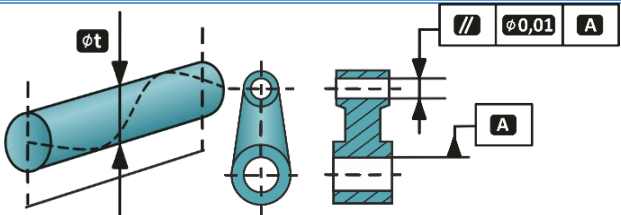
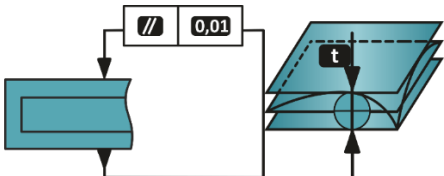
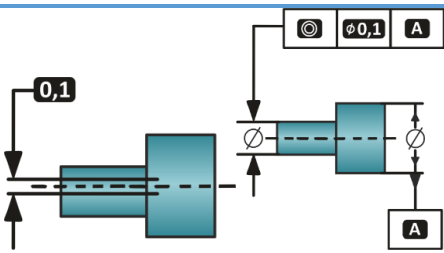
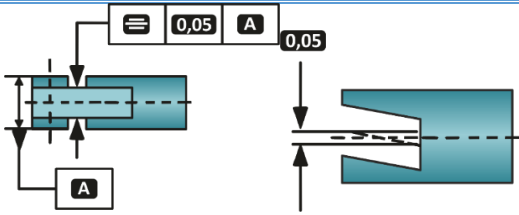
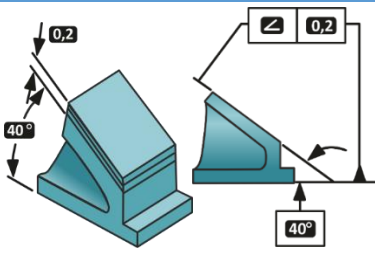
Inženiertehniskā sēža ir savienojuma veids cauruma un vārpstas savienošanai, kuru nosaka atlikušās atstarpes vai uzspīlējuma izmērs. Inženiertehniskās sēžas tiek iedalītas trīs grupās: ar spēli, t.i., kustīgas, ar pārejas, un nekustīgās savienojamās sēžas. Inženiertehniskajām pārejas sēžām parasti starp savienotajām detaļām ir atstarpe. Inženiertehniskās sēžas ar spēli ir savienojumi, kuros starp savienojuma detaļām ir garantēta atstarpe.

4.7. tabula. Virsmas formas un novietojuma marķējums, kā arī formas un novietojuma pielaižu apkopojums

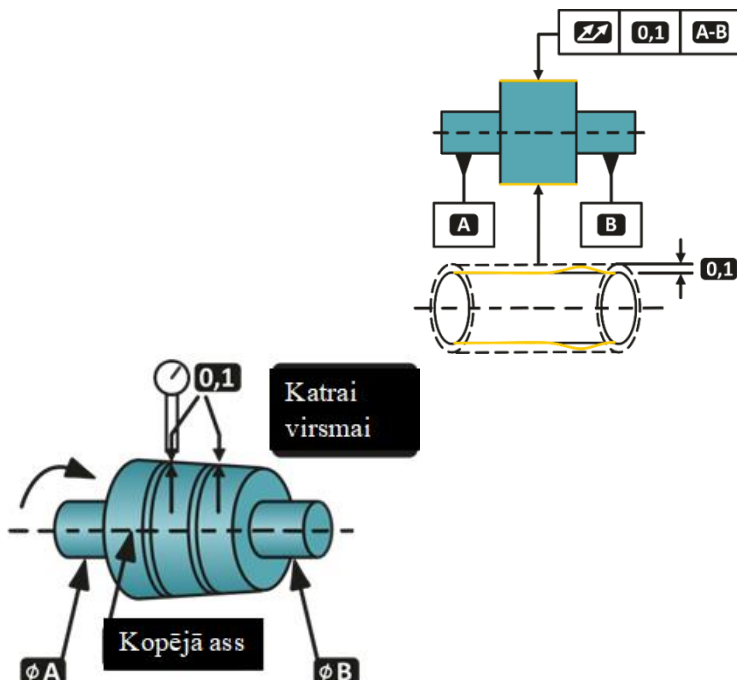
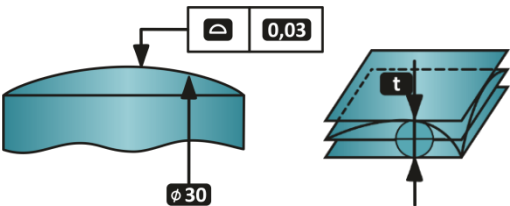
| Pielaižu grupa          | Pielaižu nosaukums     | Simbols | Marķējumi shēmās un pielaižu lielumi                                                     |
|-------------------------|------------------------|---------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Virsmas formas pielaižu | Plakanuma pielaižu     |         | <p>Attāluma pielaižu starp divām paralēlām plaknēm 0,05 mm</p>                           |
|                         | Apļuma pielaižu        |         | <p>Divu koncentrisku loku pielaižu 0,02 mm visā konusa garumā<br/>/ griezumā punktos</p> |
|                         | Cilindriskuma pielaižu |         | <p>Virsmas pielaižu starp diviem koaksiāliem cilindriem 0,05 mm</p>                      |
|                         | Taisnuma pielaižu      |         | <p>Cilindra ass taisnuma pielaižu 0,03 mm</p>                                            |



|                                     |                                                                                   |                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gareniska griezuma profila pielaide |  |                                                                                            |
| Perpendikularitātes pielaide        |  |  <p>0,1 mm pielaide diametra asij attiecībā pret tās perpendikularitāti pret virsmu A</p> |

|                             |                        |    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------------------------|------------------------|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Virsmas novietojuma pielāde | Paralelītātes pielāde  | // |  <p>Urbumam jābūt paralēlam A pamata asij. Paralelītātes pielāde starp urbumu un pamata asi ir 0,01 mm</p>  <p>Virsmām jābūt paralēlām ar pielādi 0,01 mm</p> |
|                             | Koaksialitātes pielāde | ◎  |  <p>0,1 mm koaksiālā pielāde starp diametra asi un pamatnes diametru A</p>                                                                                                                                                                      |
|                             | Simetriskuma pielāde   | ≡  |  <p>Simetriskuma pielāde 0,05 mm starp izgriezuma un diametra pamatnes asi A</p>                                                                                                                                                              |
|                             | Slīpuma pielāde        | ∠  |  <p>Pielāde 0,2 mm, ja virsmai ir slīpums pret pamatnes virsmu</p>                                                                                                                                                                            |

|                                               |                                                                                              |  |                                                                                                                                                         |
|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kopējā virsmas formas un novietojuma pielaipe | Novietojuma pielaipe                                                                         |  | <p>Urbuma asij jāatrodas cilindra robežās ar diametra pielaidi 0,05 mm. Cilindra ass līnijai jābūt vienādai ar urbuma ass līniju plaknēs A, B un C.</p> |
|                                               | Asu krustošanās pielaipe                                                                     |  | <p>0,01 mm pielaipe starp urbuma asi un pamatnes urbuma asi</p>                                                                                         |
|                                               | Radiālās un/vai aksiālās sišanas pielaipe. Sišanas pielaipe attiecībā pret noteikto virzienu |  | <p>0,1 mm pielaipe radiālajai sišanai virsmām A un B pret diametra asi</p> <p>Pielaipe 0,1 mm gala virsmai C pret cilindriskās virsmas A asi</p>        |
|                                               | Profila (lineārā) formas pielaipe                                                            |  | <p>Profilam jābūt starp divām robežlīnijām ar pielaidi 0,08 mm</p>                                                                                      |

|                                              |                                 |  |                                                                                                                                                          |
|----------------------------------------------|---------------------------------|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kopējā virsmas formas un novietojuma pielāde | Kopējā radiālās sišanas pielāde |  |  <p>0,1 mm radiālās sišanas pielāde virsmām pret A un B kopējo asi</p> |
| Virsmas formas pielāde                       | D                               |  |  <p>Virsmai jābūt starp divām robežvirsmām ar pielaidi 0,03 mm</p>    |

## PRAKTISKI PADOMI:

Gludās apstrādes laikā ieteicams pārbaudīt detaļas radiālo sišanu ar indikatoru.

Inženiertehnisko sēžu precizitāte svārstās no 5 līdz 12 pielādes kvalitātei. Vārpstām un urbumiem ir 28 galvenās novirzes, kuras tiek izmantotas inženiertehnisko sēžu izveidei ar izmēriem līdz 500 mm ar dažādām spēlēm un uzspīlējumu. Galvenā novirze ir novirze, kas norāda pielādes lauka novietojumu nulles līnijas izteiksmē (nulles līnija ir vienāda ar nominālo izmēru). Grafiskajās shēmās pozitīvās un negatīvās novirzes tiek norādītas attiecīgajos virzienos no izmēra. Galvenās novirzes urbumiem ir apzīmētas ar

lielajiem latīņu alfabēta burtiem, bet vārpstām - ar mazajiem burtiem.

Ieteicamie pielaišanas lauki urbumiem un vārpstām ir norādīti 4.8. un 4.9. tabulā.

Inženiertehnisko sēžu marķējums montāžas shēmās parāda nominālo montāžas izmēru un daļu, kurā veselais skaitlis skaitītājā norāda urbuma pielaišanas lauku vai ierobežojošās novirzes, un veselais skaitlis saucējā, kas nav nulle, norāda vārpstas pielaišanas lauku vai ierobežojošās novirzes, piemēram,  $\text{Ø}20\text{H}7/\text{h}6$ ,  $\text{Ø}20 \frac{(+0.021)}{(-0.013)}$  vai  $\text{Ø}20 \frac{\text{H}7 (+0.021)}{\text{h}6 (-0.013)}$ .

4.8.tabula. Ieteicamie pielaišanas lauki urbumiem diametrā 1-500 mm inženiertehniskajām sēžām

| Galvenās<br>novirzes<br>caurumiem | Kvalitātes |      |      |      |      |     |     |     |
|-----------------------------------|------------|------|------|------|------|-----|-----|-----|
|                                   | 5          | 6    | 7    | 8    | 9    | 10  | 11  | 12  |
| A                                 |            |      |      |      | (A9) |     | A11 |     |
| B                                 |            |      |      |      | (B9) |     | B11 | B12 |
| C                                 |            |      |      | (C8) | (C9) |     | C11 |     |
| D                                 |            | (D6) | (D7) | D8   | D9   | D10 | D11 |     |
| E                                 | (E5)       | (E6) | (E7) | E8   | E9   |     |     |     |
| F                                 | (F5)       | (F6) | F7   | F8   | F9   |     |     |     |
| G                                 | G5         | G6   | G7   |      |      |     |     |     |
| H                                 | H5         | H6   | H7   | H8   | H9   | H10 | H11 | H12 |
| Js                                | Js5        | Js6  | Js7  | Js8  |      |     |     |     |
| K                                 | K5         | K6   | K7   | K8   |      |     |     |     |
| M                                 | M5         | M6   | M7   | M8   |      |     |     |     |
| N                                 | N5         | N6   | N7   | N8   | N9   |     |     |     |
| P                                 | (P5)       | P6   | P7   | (P8) | (P9) |     |     |     |
| R                                 |            |      | R7   | (R8) |      |     |     |     |
| S                                 |            | (S6) | S7   |      |      |     |     |     |
| T                                 |            | (T6) | T7   |      |      |     |     |     |
| U                                 |            |      | (U7) | U8   |      |     |     |     |
| Z                                 |            |      |      | (Z8) |      |     |     |     |

4.9. tabula. Ieteicamie pielaižu lauki vārpstām ar 1-500 mm diametru inženiertehniskajām sēžām

| Galvenās<br>novirzes<br>caurumiem | Kvalitātes |      |      |      |      |      |     |     |     |
|-----------------------------------|------------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|
|                                   | 4          | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10  | 11  | 12  |
| 1                                 | 2          | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8   | 9   | 10  |
| a                                 |            |      |      |      |      | (a9) |     | a11 |     |
| b                                 |            |      |      |      |      | (b9) |     | b11 | b12 |
| c                                 |            |      |      |      | c8   | (c9) |     | c11 |     |
| d                                 |            |      | d6   | (d7) | d8   | d9   | d10 | d11 |     |
| e                                 |            | (e5) | (e6) | e7   | e8   | e9   |     |     |     |
| f                                 | (f4)       | (f5) | (f6) | F7   | F8   | F9   |     |     |     |
| g                                 | g4         | g5   | g6   |      |      |      |     |     |     |
| h                                 | h4         | h5   | h6   | h7   | h8   | h9   | h10 | h11 | h12 |
| js                                | js4        | js5  | js6  | js7  | js8  |      |     |     |     |
| k                                 | k4         | k5   | k6   | k7   |      |      |     |     |     |
| m                                 | m4         | m5   | m6   | m7   |      |      |     |     |     |
| n                                 | n4         | n5   | n6   | n7   |      |      |     |     |     |
| p                                 | (p4)       | p5   | p6   |      |      |      |     |     |     |
| r                                 |            | r5   | r6   |      |      |      |     |     |     |
| s                                 |            | s5   | s6   | s7   | (s8) |      |     |     |     |
| t                                 |            | t5   | t6   | (t7) |      |      |     |     |     |
| u                                 |            | (u5) | (u6) | u7   | u8   |      |     |     |     |
| v                                 |            |      | (v6) | (v7) |      |      |     |     |     |
| x                                 |            |      |      | (x7) | x8   |      |     |     |     |
| z                                 |            |      |      | (z7) | z8   |      |     |     |     |

Piezīme: iekavās norādīti pielaižu papildu lauki. Ieteicamās un preferenciālās pielaižu lauki ir norādīti bez iekavām. Ja vārpstas un urbuma pielaižu atšķiras, ieteicams, lai urbuma pielaižu būtu lielāka par vārpstas pielaižu ne vairāk kā par 2 kvalitātēm.

## PRAKTISKI PADOMI:

Pielaiides, inženiertehnisko sēžu un citu precizitātes parametru lielumus var arī aprēķināt, izmantojot viedo ierīču lietojumprogrammas.

### 4.3. Mērīšanas līdzekļi

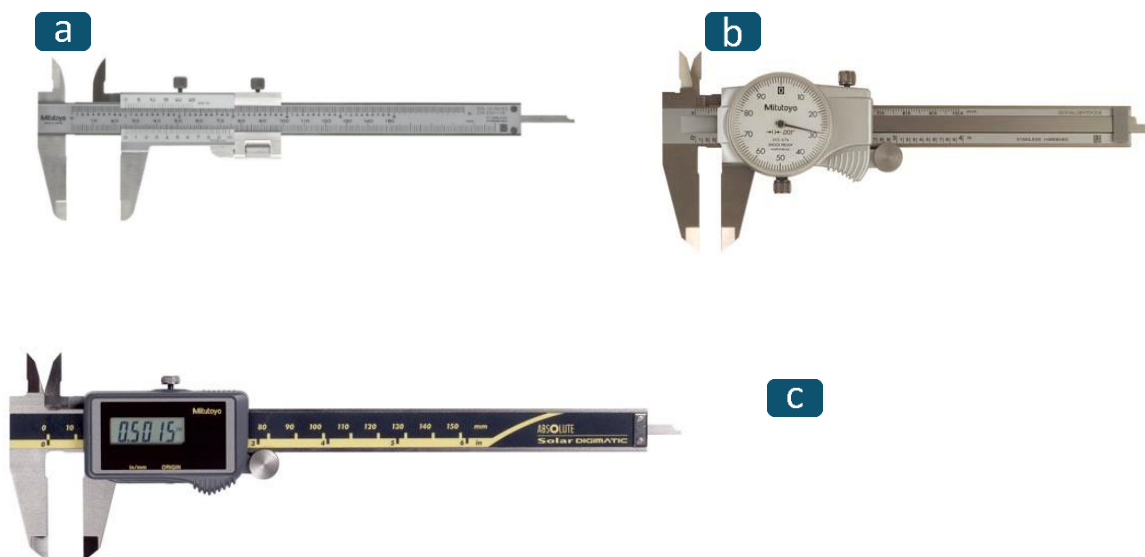
Šajā nodaļā tiek īsi apskatīti mērīšanas līdzekļi, kurus iekārtas operators izmanto savā darbavietā. Tiek lēsts, ka apmēram 90% no izmērītajiem mehāniski apstrādāto detaļu izmēriem ir garums vai garuma attiecības. Tās ietver diametru, rādiusu, garumu, platumu, biezumu, augstumu, dziļumu, leņķus, attālumus starp centriem, vītņēm, konusiem, zobratu izmērus, formas rādītājus, novietojuma precizitāti un virsmas kvalitāti.

Izgatavotajai detaļai jāatbilst tās darba rasējumā norādītajiem izmēriem, formai un virsmas izturībai. To var izmērīt, izmantojot absolūto vai salīdzinošo metodi. Izmantojot absolūto mērīšanas metodi, mērītās detaļas izmērs tiek iegūts uzreiz, piemēram, mērot ar bīdmēru. Salīdzinošā metode neuzrāda absolūto lielumu, bet gan novirzes no konkrētā lieluma, piemēram, mērot ar rādītāju/ indikatoru. Ražošanā parasti tiek izmantoti speciāli mērīšanas līdzekļi, un, lai izvairītos no mērīšanas kļūdām, to kļūdas nepārsniedz 1/10 no pielaiides izmēra. Iekārtu operatora izmantotās mērīšanas ierīces iedala divās grupās: universālie, kurus izmanto izmēru noteikšanai noteiktajās robežās, un specializētie, kurus izmanto, lai mērītu tikai vienu izmēru vai formu, piemēram, kalibri vai tapas.

Visvienkāršākais mērīšanas instruments ir stienis ar galveno mērīšanas skalu un papildus precīzu nonija skalu (nosaukta par godu Portugāles matemātiķim, astronomam un izgudrotājam Pedro Nunesam (Pedro Nunes)), kas sniedz precīzu galvenās skalas iedaļas mērījumu. Satopama arī Vernjē skala (nosaukta par godu franču matemātiķim Pierre Vernier), kura nodrošina precīzu mērījumu veikšanu esošajā mērogā.

Daži no visbiežāk izmantotajiem indikatīvajiem mērīšanas instrumentiem ir **bīdmēri** (4.4.a attēls).

Tie mēra detaļas garumu, biezumu, platumu, ārējo vai iekšējo diametru, cauruma platumu. Atkarībā no bīdmēra precizitātes grupas tā iedaļu vērtības ir 0,1, 0,05 vai 0,02 mm. Bīdmēri var būt dažādas konstrukcijas un ar dažādiem mērīšanas diapazoniem (0÷125, ..., 0÷3000 mm). Izmēru nolasa uz galvenās skalas veselos skaitļos milimetros līdz nonija skalas nulles atzīmei. Milimetra daļas tiek nolasītas uz nonija skalas pie atzīmes, kura visprecīzāk sakrīt ar atzīmi uz galvenās skalas. Arvien biežāk sastopami bīdmēri, kuru mērīšanas sistēma sastāv no zobstieņa un zobrata, kā arī tiek lietoti digitālie bīdmēri pārmaiņus ar Vernjē bīdmēriem.



4.4. attēls. Bīdmēri: a) ar Vernjē skalu, b) ar ciparnīcu un c) digitālais (Mitutoyo America Corporation)

Digitālie bīdmēri nodrošina ātrākus mērījumu rezultātus, palīdz izvairīties no kļūdām, ir savienojami ar datoriem un var pārsūtīt datus no attāluma.

**Dziļuma bīdmēri** tiek izmantoti dziļumu un līmeņu mērīšanai necaurejošiem urbumiem un rievām. (4.5.a attēls). Mērītā izmēra skaitliskā vērtība tiek nolasīta tādā pašā veidā, kā mērot ar vernjē bīdmēru.

Dziļuma bīdmēri ar ciparnīcu (4.5.b attēls) ir ērtāki lietošanai. Dažādu konstrukciju dziļuma bīdmēru mērījumu robežas ir no 0 līdz 800 mm.



4.5. attēls. Dziļuma bīdmērs: a) ar mērskalu (Europac Precision) un b) ar digitālo skalu (Mitutoyo America Corporation)

**Goniometrus** (4.6. attēls) izmanto ārējo un iekšējo virsmu leņķu mērīšanai, konusveida vārpstām un rumbām.





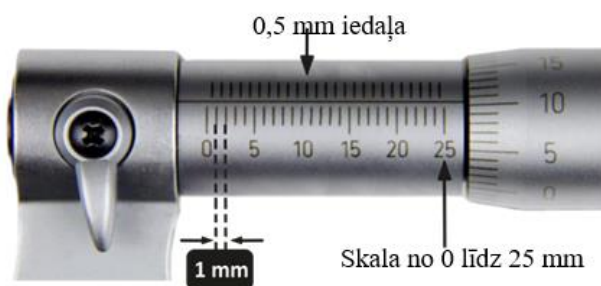
4.6. attēls. Goniometrs (HOLEX|Hoffmann Group)

Precīzāku rezultātu iegūšanai goniometriem ir nonija skalas un optiskās ierīces (4.7. attēls).



4.7. attēls. Goniometra nonija skala ar palielināmo lupu (Marui-Keiki Co., LTD.)

Galvenie ģeometriskajiem mērījumiem izmantotie mikrometriskie mērīšanas līdzekļi ir mikrometri ārējai mērīšanai, dziļuma un iekšpuses mērīšanas bīdmēri. Darbības pamatā ir fiksējama skrūve. Lineāro mērīšanu veic ar rotāciju, kas nosaka mērīšanas diapazonu, tādēļ mikrometri parasti tiek izmantoti izvēlētā izmēru diapazona mērīšanai (0-25 mm, 25-50 mm, 50-75 mm utt.). Mikrometriskajiem mērīšanas līdzekļiem ir divas skalas (4.8. attēls).



4.8. attēls. Mikrometra skalas

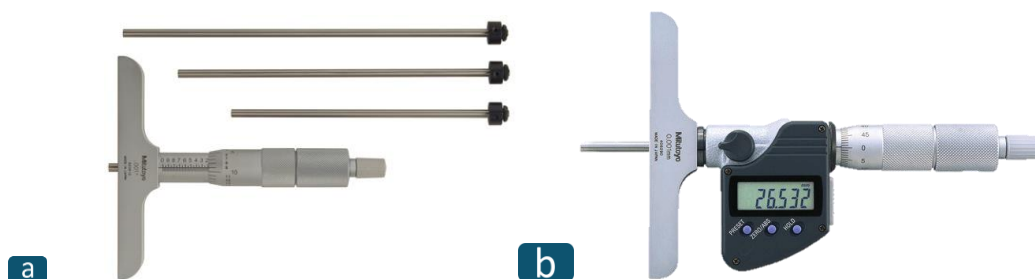
Ierīces garenvirziena skala tiek izmantota veselu skaitļu nolasīšanai milimetros un to daļās, savukārt milimetra simtdaļas nolas, saskaitot atzīmes uz konusa daļas. Viena iedaļa ir 0,01 mm, jo mucīņveida skalai parasti ir 50 iedaļas, un skrūve vienā apgriezienā pārvietojas par 0,5 mm. Dažiem mikrometriem ir skrūves, kas pārvietojas vienā apgriezienā par 1 mm, un mucīņveida skalai ir 100 iedaļas. Mikrometru korpusiem ārējai mērīšanai ir C forma, kuram viena puse ir nekustīga, un paraugs ir jānovieto pret to, bet otrajai daļai – kustīga iestrādāta cilindriskā izliece ar garenvirziena mērīšanas skalu (4.9. attēls.). Mikrometru mērīšanas diapazons var būt dažāds, jo tos var

paplašināt, mainot rāmjus un noņemamās vai regulējamās laktiņas. Izmantojamais skrūves garums parasti ir 25 mm, tādēļ mikrometriem, kuru maksimālais mērīšanas diapazons ir 55 mm un vairāk, ir garuma regulēšanas stieņi nulles iestatīšanai.



4.9. attēls. Mikrometrs ārējiem mērījumiem (Mitutoyo America Corporation)

**Dziļuma mikrometra** izmantošana ir analogiska dziļuma bīdmēram ar iepriekš aprakstīto skalū uz stieņa. Tā mērījumu diapazons, atšķirībā no ārējiem mērījumiem paredzēto mikrometru uzbūves, tiek regulēts, mainot mērīšanas stieņa garumu, bet ne korpusu (4.10. attēls).



4.10. attēls. Dziļuma mikrometrs ar noņemamiem mērīšanas stieņiem: a) ar skalū uz stieņa, b) ar digitālo indikatoru (Mitutoyo America Corporation)

**Iekšējie mikrometri** tiek izmantoti urbumu un rievu iekšējo izmēru mērīšanai (4.11. attēls).



4.11. attēls. Dziļuma mikrometrs: a) ar iedaļu skalū, b) ar digitālo indikatoru (Mitutoyo America Corporation)

**Indikatori** (noteicēji) tiek izmantoti parauga ģeometrisku formu un saskares virsmu stāvokļa noteikšanai, kā arī citu virsmu mērīšanai ar salīdzināšanas metodi (4.12.attēls). Atkarībā no mērāmā elementa formas indikatoru piestiprina pie korpusa vai īpaša turētāja.



4.12. attēls. Indikators: a) ar ciparnīcu, b) digitālais (Mitutoyo America) Corporation)

Indikatori mēra detaļas radiālo vai plaknes nelīdzenumu, cilindrisku virsmu apaļumu, konusu īpašības, plakņu taisnumu. Visbiežāk izmantotajiem indikatoriem viena skalas iedaļa ir 0,01 mm, un mērījumu diapazons ir vai nu 0-2 mm, vai 0-10 mm. Viens pilns bultas apgrieziens ir vienāds ar indikatora stienņa pārvietošanos par 1 mm.

Iekšējie indikatori vai digitālie iekšējie indikatori mēra parauga iekšējo elementu izmērus un ģeometriju (4.13. attēls).



4.13. attēls. Iekšējie mērītāji: a) ar ciparnīcu, b) digitālais (Kroeplin GmbH)

Detaļu testēšanai vai mērīšanas instrumentu kalibrēšanai tiek izmantoti mērītāji bez kustīgām daļām (der/neder mērītāji). Der/neder mērīšanas rīki mēra apstrādāto detaļu robežizmērus, t.i., izmēru pieļaujamo minimālo un maksimālo novirzi. Atkarībā no funkcijas var būt šādu veidu der/neder mērinstrumenti: izmēru mērierīces; mērierīces, kas pārbauda formas elementu atrašanās vietu; testēšanas mērierīces un ikdienas mērierīces. Der/neder tipa kalibrs sastāv no divām daļām (ievietojamā un neievietojamā), kas nosaka mērāmā izmēra diapazonu. Pārbaudot vārpstu, der kalibra izmērs atbilst maksimālajam izmēram savukārt pārbaudot urbumu - minimālajam. Neder kalibra izmēri atbilst vārpstas minimālajam izmēram un urbuma maksimālajam izmēram.

**Dziļuma indikatori vai digitālie dziļuma indikatori** mēra detaļu necarejošus caurumus, rievās un izgriezumus (4.14. attēls).



4.14. attēls. Dziļuma indikators (Mitutoyo America Corporation)

Detāļu ārējo diametru mērīšanai izmanto viensusējos vai divpusējos atstarpes mērītājus (4.15. Attēls)



4.15. attēls. Divpusējais atstarpes mērītājs (Hoffmann Group)

Iekšējo diametru pārbaudei tiek izmantoti viensusējie vai divpusējie spraudņa tipa kalibri (4.16. attēls).



4.16. attēls. Divpusējs spraudņa tipa mērītājs (kalibrs) (Hoffmann Group)

Garuma mērītāji tiek izmantoti garumu pārbaudei. Konusa formas urbumus, Morzes tipa konusus un metriskos konusus arī var pārbaudīt ar spraudņa vai stienņa tipa mērierīcēm (4.17. attēls).



4.17. attēls. Spraudņa tipa mērinstruments konusveida caurumu pārbaudei (Hoffmann Group)

Vītnes precizitāti pārbauda attiecībā uz ārējo un iekšējo diametru, vītnes profila leņķa un vītnes soļa precizitāti. Iekšējo un ārējo vītņu pārbaudei tiek izmantotas vītnes

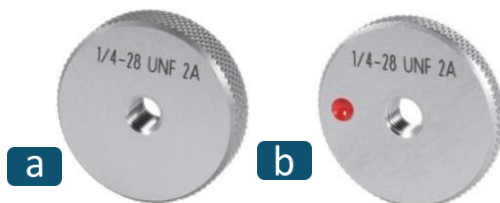
der/neder tipa kalibri ar ļoti precīzi izgatavotu vītņi.

Iekšējās vītņes tiek pārbaudītas ar vītņes der/neder mērīšanas kalibru (4.18. attēls).



4.18. attēls. Vītņes mērīšanas kalibrs (Hoffmann Group)

Ārējās vītņes tiek pārbaudītas ar vītņu der/neder mērīšanas gredzeniem (4.19. Attēls).



4.19. attēls. Vītņu go-no gredzeni: a) ievietojams, b) neievietojams (Hoffmann Group)

Vītņes soli var pārbaudīt ar soļa mērītāju. Visbiežāk tiek izmantoti soļa daudzfunkcionālie plāksņu mērītāji. Mērīšanai nepieciešams piespiest soļa mērītāja plāksni ar ierobiem pret vītņes profilu (4.20. attēls).



4.20. attēls. Soļa mērītājs ar plāksnēm: a) plāksņu komplekts (Mitutoyo America Corporation) un

b) vītņu soļa pārbaude ar plāksnes piespiešanu (WorldWideMetric, Inc.)

Ja vītņes un mērītāja soļi sakrīt, mērītāja plāksne precīzi atbilst izmērītās vītņes profilam. Ļoti precīzai vītņes soļa mērīšanai tiek izmantoti mikroskopi. Ārējās vītņes diametru var izmērīt ar vītņes mikrometru. Vītņes iekšējo diametru var izmērīt, izmantojot trīs punktu iekšējo mikrometru ar speciāliem uzgaļiem, kurus iespējams nomainīt.

Ir daudz līdzekļu detaļu virsmu mikroģeometrijas pārbaudei, kurās virsmu novērtēšanai izmanto kontakta, bezkontakta un subjektīvās metodes.

Darba vietās detaļas virsmas raupjumu bieži pārbauda bez instrumentiem, izmantojot subjektīvo metodi, t.i., salīdzinot ar virsmas paraugu - paraugu komplektu. Raupjuma paraugu komplekti ir izveidoti dažādu apstrādes metožu un materiālu salīdzināšanai (4.21. attēls). Komplekts novietots blakus pārbaudāmajai virsmai, un attiecīgās virsmas raupjums tiek noteikts vizuāli.



4.21. attēls. Paraugu komplekts (Hoffmann Group)

Raupjuma mērierīces ar kontakta metodi darbojas, pamatojoties uz pieskaršanos virsmai ar īpašu taustu, kas slīd pāri mēramajai virsmai. Tādā pašā veidā darbojas un tiek bieži pielietoti praksē raupjuma mērītāji, kas sniedz virsmas raupjuma kvantitatīvu raksturojumu  $R_a$  (4.22. attēls).

Šādas ierīces ar kontakta aprīkojumu, kuras izmanto virsmas raupjuma mērīšanai, ir kalibrētas attiecībā pret paraugu komplektu. Bezkontakta raupjuma mērītājus lieto tikai un vienīgi laboratorijās.



4.22. attēls. Raupjuma mērītājs (Mahr GmbH)

#### PRAKTISKI PADOMI:

Pirms detaļas mērīšanas ar bīdmēru vai citu mērierīci, ieteicams pārbaudīt, vai mērīšanas ierīce ir kalibrēta un pēc detaļas apstrādes nav palikuši skrāpējumi vai asas malas.

## 5. CNC IERĪČU PROGRAMMĒŠANA

### 5.1. G un M kodi griešanas un frēzēšanas iekārtu programmēšanai

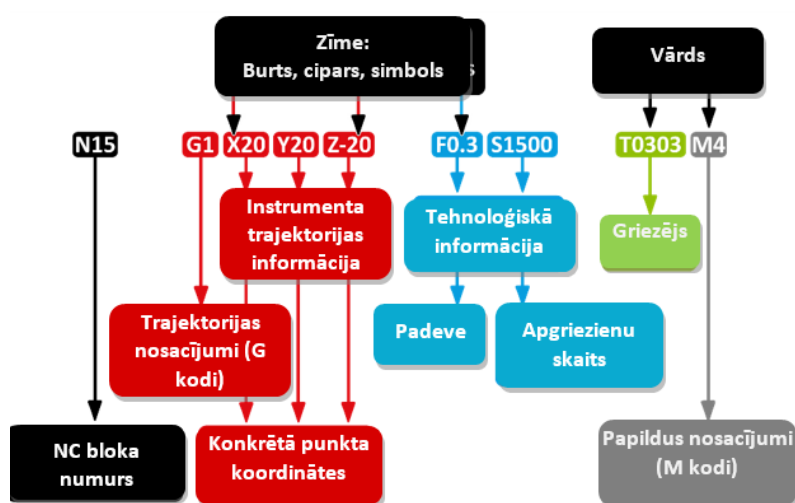
CNC iekārtām paredzētās vadības programmas ir iespējams rakstīt, izmantojot gan vadības paneļa tastatūru, gan darbarīku displeju uz pašas iekārtas, izmantojot vizuālo (vedņa tipa) redaktoru, gan arī apkopojot un ģenerējot programmu personālajā datorā tehnologa darba vietā. Jebkurā gadījumā programmētājam vai CNC iekārtu operatoram programma ir jāuzraksta valodā, kuru saprot iekārtas vadības sistēma. Pašlaik G un M

kodi ir visbiežāk izmantotā CNC iekārtu programmēšanas metode. Tehnologa darba vietā uzrakstītā programma tiek ievadīta iekārtas vadības panelī no datu nesēja, vai pa datu pārraides kabeli. Neatkarīgi no tā, kāda iekārta tiek lietota, programmētājam ir jāapraksta sagatave un pabeigtā detaļa. Pēc ģeometrisku parametru apraksta apstrādes procesa posmi tiek automātiski iegūti no izvēlnes. Ar automatizēto programmēšanas interfeisu ir iespējams noteikt un augšupielādēt programmā sagataves rasējumu ģeometriskās detaļas. Kad iekārta ir izvēlēta, tiek noteikti apstrādes procesi un griešanas režīmi. Katram apstrādes solim tiek nodrošināts atbilstošais instruments, un to iespējams apstiprināt vai mainīt. Turklāt gatavo programmu var palaist arī datorā simulācijas režīmā. Ražošanas programmēšanas sistēmā programmēšana notiek uz pašām iekārtām. Kvalificēts operators izstrādā detalizētu apstrādes programmu, izmantojot vizuālās programmēšanas funkciju. Izmantojot dialoga metodi un viegli saprotamus attēlus iekārtas displeja izvēlnē tiek atlasītas atbilstošās funkcijas. Pēc nepieciešamo datu ievadīšanas operators saņem G un M kodos rakstītu programmu, pašam nerakstot kodu ar tastatūru. Tomēr praktiski visi CNC iekārtu ražotāji atstāj iespēju rakstīt programmas G un M kodos, jo to izmantošana ļauj viegli pārslēgties no vienas iekārtas uz citu.

### 5.1.1. NC programmas struktūra un NC bloks

Vadības programma sastāv no secīgi sakārtotām iekārtas komandām, kuras CNC ciparu vadības ierīcei ir jāizpilda, lai apstrādātu sagatavi, un iegūst nepieciešamo informāciju par formu un izmēriem. Programmai jābūt rakstītai valodā, kuru saprot iekārtas vadības sistēma. Visbiežāk lietotā programmēšanas valoda programmu rakstīšanai ir G un M kodi.

NC (Numeric Control - Ciparu kontrole) programma sastāv no rindām, ko sauc par NC blokiem. NC bloki parasti ir numurēti, tie norāda vadības komandas un adreses (5.1 attēls).



5.1. attēls. NC bloka struktūra



Programmas īsākā vienība ir zīme. Zīmes var būt cipari, burti vai simboli. Cipari var būt veseli skaitļi, pozitīvi un negatīvi. Programmu rakstīšanai drīkst izmantot tikai lielos burtus. Simboli var būt iekavās (izliktās vai kvadrātveida), plus, mīnus, procentu apzīmējums, decimālzīme, semikols, vienlīdzības zīme utt. Zīmes veido programmas vārdus, kurus sauc par NC vārdiem. Lai atvieglotu programmas lasīšanu, vārdi tai tiek atdalīti ar atstarpēm. Vārds sākas ar lielo burtu, kuram seko skaitlis. NC bloks jeb līnija sastāv no viena vai vairākiem vārdiem.

Bloka numurs sastāv no burta N un numura, bet ciparu skaits vārdā var būt dažāds. Tāpat var atšķirties ciparu skaits pēc komata. Cipari, kas seko burtam, var nozīmēt skaitli vai skaitlisku vērtību. Piemēram, cipari aiz burtiem G un M norāda koda numurus, pēc burta T - instrumenta numuru; F - padeves mērvienība; S - apgriezienu skaits utt. (5.2. attēls).

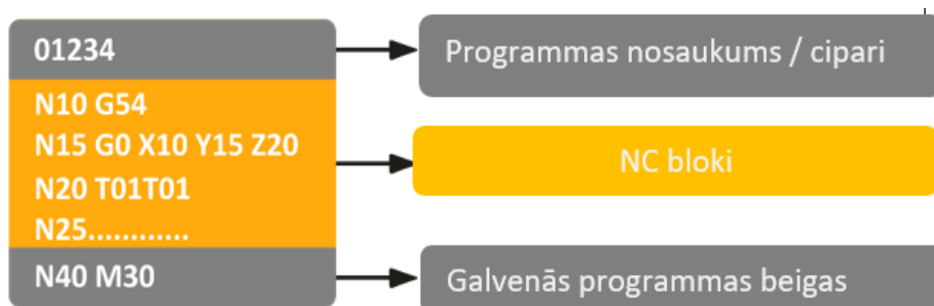
|          |                                                              |
|----------|--------------------------------------------------------------|
| <b>N</b> | Programmas bloka numurs                                      |
| <b>G</b> | G kods (sagatavošanas funkcija)                              |
| <b>X</b> | Ģeometriskais parametrs - instrumenta                        |
| <b>Y</b> | kustības koordinātas                                         |
| <b>Z</b> | (pagriežot izmanto X un Y koordinātas)                       |
| <b>F</b> | Padeve ((mm/apgr. vai mm/min) atkarībā no izvēlētajā režīma) |
| <b>S</b> | Darbvārpstas apgriezienu skaits                              |
| <b>T</b> | Instrumenta numurs / novietojums                             |
| <b>M</b> | M kods (palīgfunkcija)                                       |

#### *5.2. attēls. Vārdi NC blokā*

Detalizētāks CNC iekārtu NC bloku adrešu veikto funkciju paskaidrojums sniegts 5.1.2. un 5.1.3. nodaļās.

Rakstot programmu, katrs bloks tiek atdalīts no pārējiem. Programma sastāv no atsevišķiem blokiem (5.3.attēls).





5.3. attēls. CNC programmas struktūra

Iekārtas ciparu vadības sistēma atpazīst un nolasa programmu. Programma sākas ar nosaukumu un beidzas ar programmas beigu kodu. Programmas vienību bloki var ietvert izstrādātāja komentārus. Lai atvieglotu operatora darbu, pēc rīka maiņas komandas bieži tiek ievietoti komentāri. Tas ļauj operatoram saprast, kāds instruments būtu jāievieto instrumentu magazīnā.

#### PRAKTISKI PADOMI:

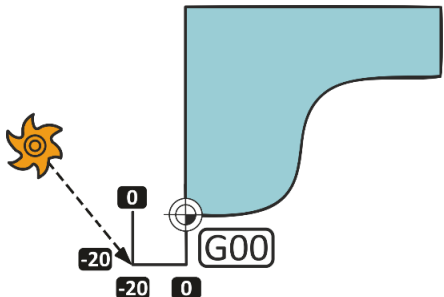
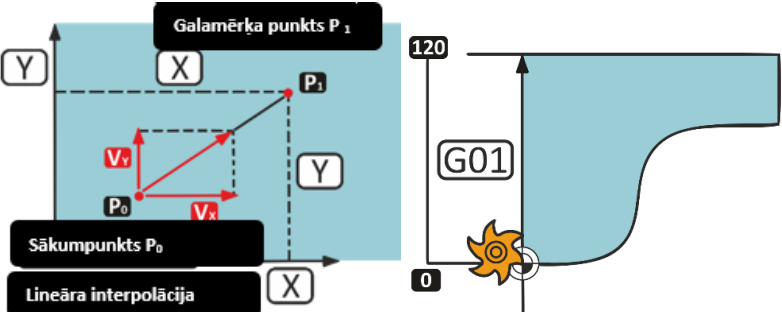
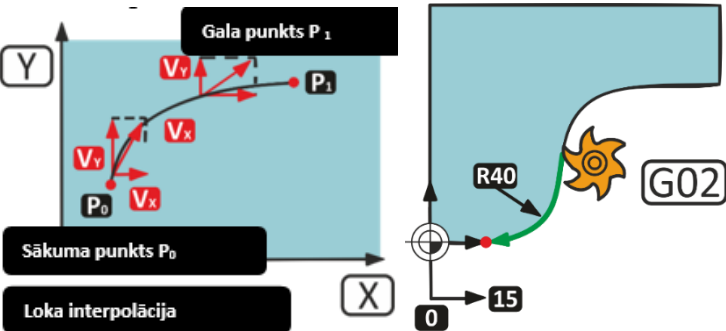
Programmas pirmās palaišanas laikā, atklūdošanas posmā ir ieteicams iestatīt ātruma kontroli ar 25% atzīmi un strādāt viena bloka režīmā.

#### 5.1.2. G funkciju kodi

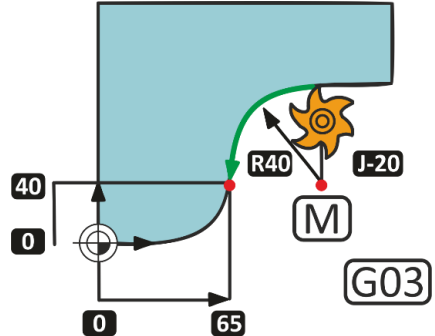
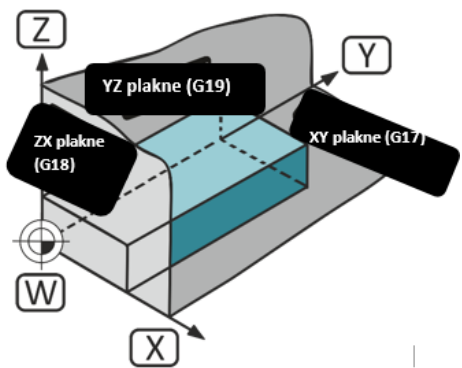
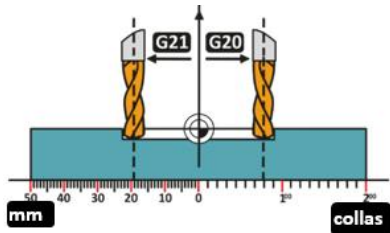
Vārdi, kas sākas ar adresi vai izsauc G burtu ciparu vadības ierīču programmās, tiek saukti par G kodiem. Burtam G seko attiecīgi divu vai trīs ciparu kombinācijas. Šādā veidā rakstītas ciparu kombinācijas tiek izmantotas iekārtu vadības sistēmas ģenerēto komandu izpildē (5.1. un 5.2. tabula). Iekārtas darba režīmi, kuriem piesaistīti vai kuri tiek mainīti ar G kodiem, parasti ir saistīti ar pārvietošanās nosacījumiem pa koordinātu asīm. Piemēram, kods G02 nosaka aplveida padevi pulksteņa rādītāja virzienā, bet G03 to nosaka pretēji pulksteņrādītāja virzienam. Tomēr ne visi G kodi ir tieši saistīti ar ass maiņu. Piemēram, kodi G20 un G21 uzdod programmas vadības sistēmai izmantot imperiālo (collu) vai metrisko mērīšanas sistēmu; un izsaka programmas koordinātas attiecīgi collās vai milimetros.

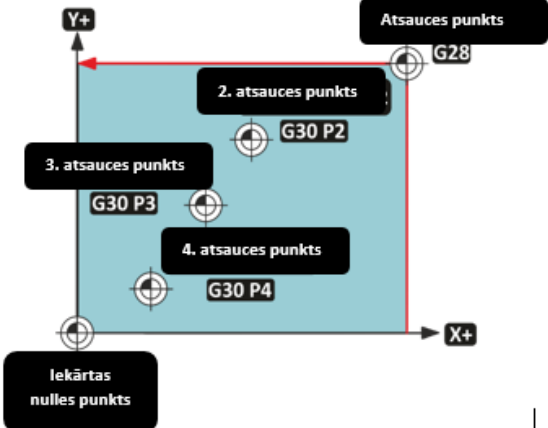
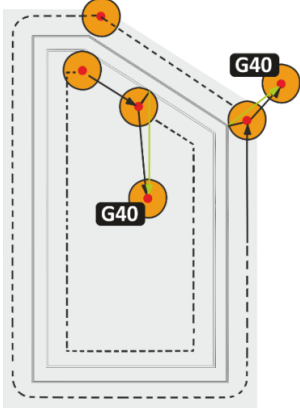
G kodi lielākoties ir saistīti ar vienu un to pašu komandu neatkarīgi no iekārtas ražotāja izmantotās vadības programmas. Tomēr daži kodi, atkarībā no iekārtas vai tās aprīkojuma, konkrētajā ierīcē var atšķirties vai vispār netikt izmantoti. Daži G kodi, kurus izmanto virpošanas un frēzēšanas iekārtu programmās, atšķiras, savukārt citi no tiem ir kopīgi abiem iekārtu veidiem.

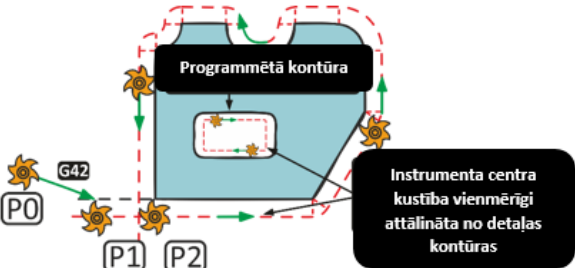
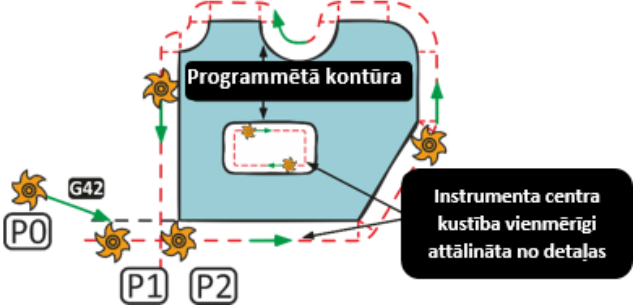
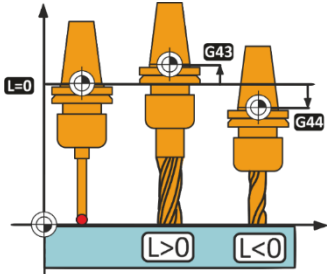
5.1. tabula. G kodi, kurus izmanto frēzmašīnu un apstrādes centru kontroles programmās

| G koda numurs | G koda apraksts / NC bloka (rindas) struktūra                                                                                                                                                                                          |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| G00           | <p>Ātrā pozicionēšanas kustība</p> <p><b>NC bloks:</b> G0 X-20 Y-20</p>                                                                              |
| G01           | <p>Lineāra interpolācijas kustība</p>  <p><b>NC bloks:</b> G1 X0 Z-Y120 F...</p> <p>F - padeve</p>                                                   |
| G02           | <p>Loka interpolācijas kustība pulksteņrādītāja virzienā</p>  <p><b>NC bloks:</b> G2 X15 Y0 R40 F...</p> <p>R - riņķa līnijas segmenta rādiuss</p> |

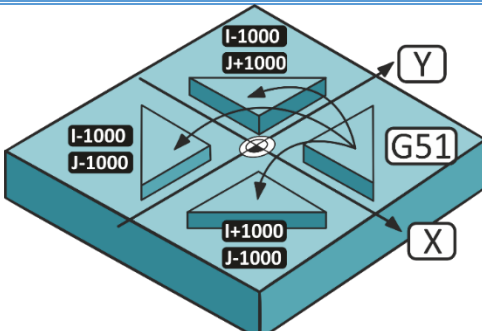
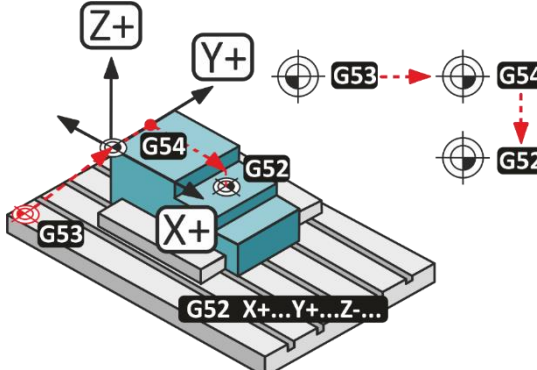
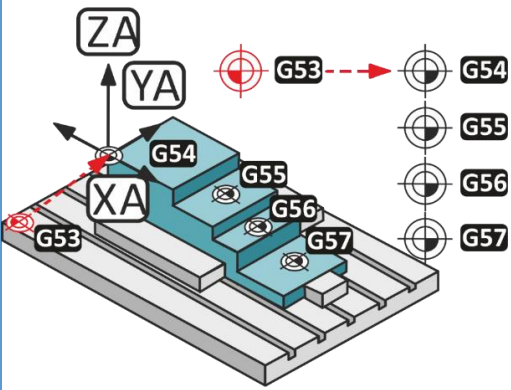
5.1. tabulas turpinājums

|       |                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                     |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| G03   | Apļveida interpolācijas kustība pretēji pulksteņrādītāja virzienā<br>NC bloks: G3 X65 Y40 R40 F...<br>R- riņķa līnijas segmenta rādiuss                                                                                                                |   |
| G04   | Pārtraukt padeves kustību uz noteiktu laiku (pauze)                                                                                                                                                                                                    |                                                                                     |
| G09   | Precīzas aksiālās apstādināšanas režīms (nemodulāra). Nemodulārie G kodi paliek aktīvi tikai tajās līnijās, kurās tie ir rakstīti. Modulārais kods programmā paliek aktīvs, kamēr tā darbība netiek atcelta ar citu kodu (pretēju vai atcelšanas kodu) |                                                                                     |
| G10   | Programmēšanas datu ievade (aktivizēšana)                                                                                                                                                                                                              |                                                                                     |
| G11   | Datu ievades atcelšana (deaktivizēšana)                                                                                                                                                                                                                |                                                                                     |
| G12.1 | Interpolācija - kustība polārajās koordinātēs (ieslēgšana)                                                                                                                                                                                             |                                                                                     |
| G13.1 | Interpolācija - kustība polārajās koordinātēs (izslēgšana)                                                                                                                                                                                             |                                                                                     |
| G17   | XY plaknes izvēle                                                                                                                                                                                                                                      |  |
| G18   | XZ plaknes izvēle                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                     |
| G19   | YZ plaknes izvēle                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                     |
| G20   | Imperiālā mērīšanas sistēma, programmēšana collās (raksta programmas sākumā)<br><br>NC bloks: G20                                                                   |                                                                                     |

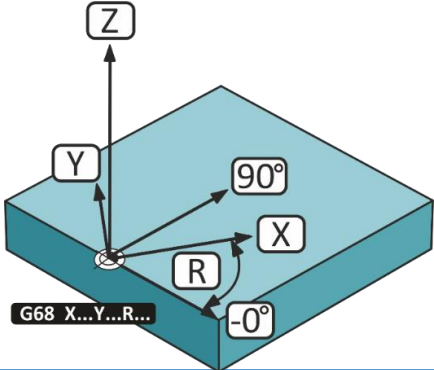
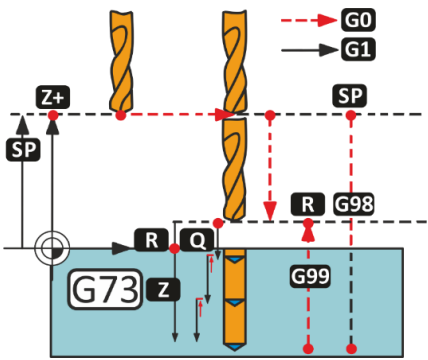
|     |                                                                                                                                                                                                |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| G21 | Metriskā mērīšanas sistēma, programmēšana milimetros (raksta programmas sākumā)<br><b>NC bloks:</b> G21                                                                                        |
| G27 | Pārbaudīt nulles (atsauces) punktu                                                                                                                                                             |
| G28 | <p>Pārvietot instrumentu uz iekārtas nulles (atsauces) punktu</p>  <p><b>NC bloks:</b> G28 X... Y... Z...</p> |
| G29 | Atgriezties no iekārtas nulles (atsauces) punkta                                                                                                                                               |
| G30 | Atgriezties 2., 3. un 4. atsauces punktos                                                                                                                                                      |
| G31 | Mērīšanas instrumenta vadības funkcija                                                                                                                                                         |
| G35 | Automātiska instrumenta diametra mērīšana                                                                                                                                                      |
| G36 | Sagataves koordinātu sistēmas automātiska iestatīšana                                                                                                                                          |
| G37 | Automātiska instrumenta garuma kompensācijas iestatīšana                                                                                                                                       |
| G39 | Lokveida interpolācija ar stūru nobīdi                                                                                                                                                         |
| G40 | <p>Instrumenta rādiusa (diametra) kompensācijas režīma atcelšana</p>                                       |

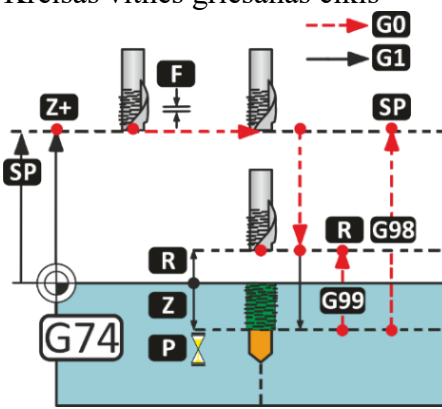
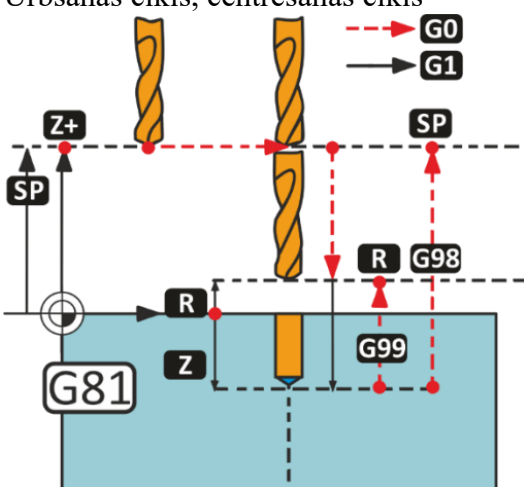
|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| G41 | <p>Ieslēgt instrumenta rādiusa (diametra) kompensāciju pa kreisi no ieprogrammētās trajektorijas</p> <p><b>NC bloks:</b> G41 G01 X... Y...</p>                                                                                                                                                                                            |
| G42 | <p>Ieslēgt instrumenta rādiusa (diametra) kompensāciju pa labi no programmētās trajektorijas</p>  <p><b>NC bloks:</b> G42 G01 X... Y...</p>                                                                                                                                                                                              |
| G43 | <p>Ieslēgt instrumenta garuma kompensāciju - pozitīvs mērījums (padeves kustības virzienā)</p> <p>NC bloki:</p> <p>N... T08 M06</p> <p>N... S... F... M...</p> <p>N... G43 G0 Z5 H08 (izsauc instrumenta garuma kompensāciju)</p> <p>N... G0 X... Y...</p> <p>N... G41 G1 X-10 Y-10 D08 (izsauc instrumenta rādiusa kompensāciju)</p>  |
| G44 | <p>Pielietot instrumenta garuma kompensāciju - negatīvs lielums (nenorādot padeves kustības virzienu)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| G45 | <p>Palielināt instrumentu korekciju</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

### 5.1. tabulas turpinājums

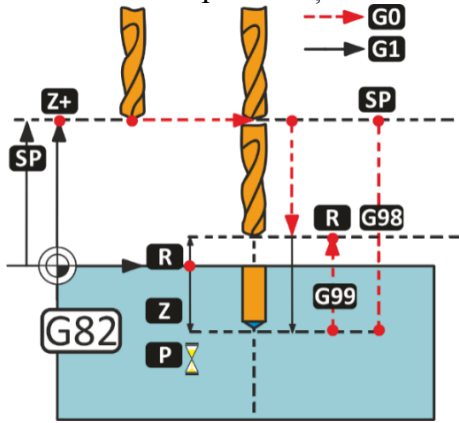
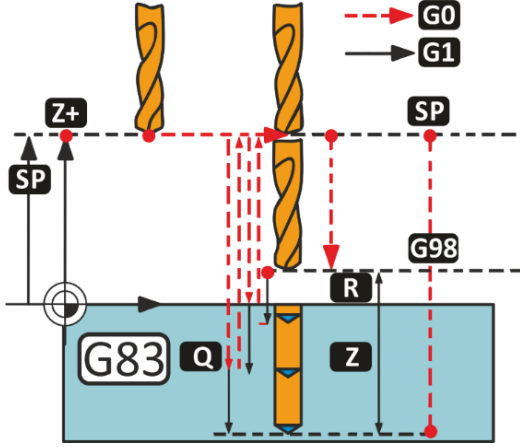
|     |                                                                                                                                                                                                                                    |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| G46 | Samazināt instrumenta korekciju                                                                                                                                                                                                    |
| G47 | Palielināt instrumenta korekciju divkārtīgi                                                                                                                                                                                        |
| G48 | Samazināt instrumenta korekciju divkārtīgi                                                                                                                                                                                         |
| G49 | Atcelt instrumenta garuma kompensāciju                                                                                                                                                                                             |
| G50 | Atcelt mērogošanas funkciju (palielināt / samazināt)<br><b>NC bloks:</b> G50                                                                                                                                                       |
| G51 | Aktivizēt mērogošanas funkciju (palielināt / samazināt);<br><b>NC bloks:</b> G51 I-1000 J-1000<br>I - attālums no atsauces punkta līdz loka centram X koordinātē<br>J - attālums no atsauces punkta līdz loka centram Y koordinātē |
|     |                                                                                                                                                  |
| G52 | Lokālās koordinātu sistēmas iestatīšana<br><b>NC bloks:</b> G52 X... Y... Z...                                                                                                                                                     |
|     |                                                                                                                                                 |
| G53 | Pāriet uz iekārtas koordinātu sistēmu                                                                                                                                                                                              |
| G54 | Sagataves koordinātu sistēmas Nr. 1 aktivizēšana                                                                                                                                                                                   |
| G55 | Sagataves koordinātu sistēmas Nr. 2 aktivizēšana                                                                                                                                                                                   |
| G56 | Sagataves koordinātu sistēmas Nr. 3 aktivizēšana                                                                                                                                                                                   |
| G57 | Sagataves koordinātu sistēmas Nr. 4 aktivizēšana                                                                                                                                                                                   |
|     |                                                                                                                                                |
| G58 | Sagataves koordinātu sistēmas Nr. 5 aktivizēšana                                                                                                                                                                                   |
| G59 | Sagataves koordinātu sistēmas Nr. 6 aktivizēšana                                                                                                                                                                                   |

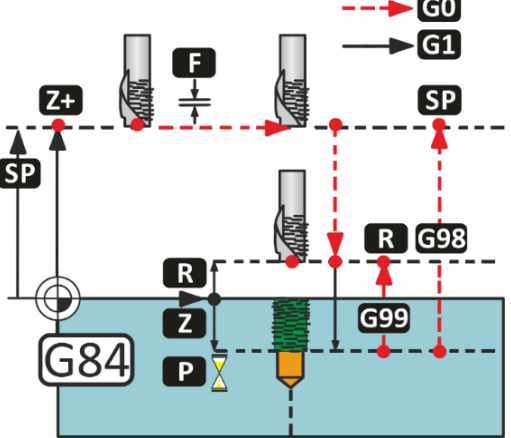
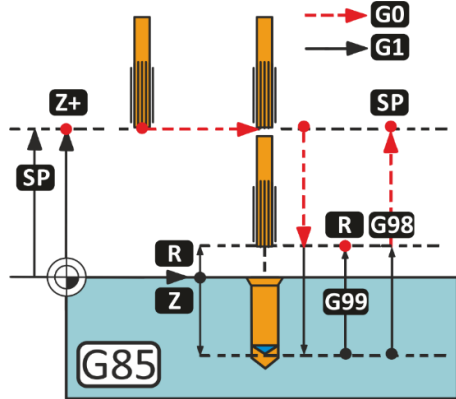
5.1. tabulas turpinājums

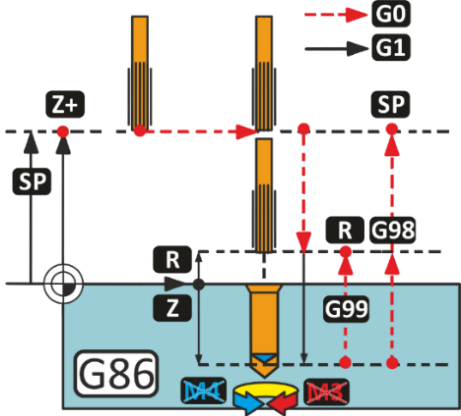
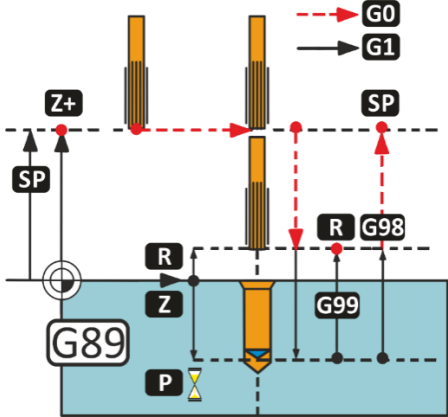
|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| G60 | Viena virziena pozicionēšanas kustība                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| G61 | Aksiālās apstādināšanas režīms (modāls)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| G64 | Atcelt asu apstādināšanas režīmu G61                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| G65 | Izsaukt makroprogrammu                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| G68 | <p>Koordinātu plaknes rotācijas režīms<br/> <b>NC bloks:</b>G68 X... Y... R...<br/> X/Y - rotācijas centra koordinātas<br/> R - pagrieziena leņķis</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| G69 | <p>Atcelt koordinātu plaknes rotācijas režīmu<br/> <b>NC bloks:</b>G69</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| G70 | Dati collās                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| G71 | Dati milimetros                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| G72 | Lineāra urbuma apstrādes režīms                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| G73 | <p>Augstas veiktspējas urbšanas iekšējais cikls</p>  <p><b>NC bloki:</b> N ... G98 (G99) G73 X... Y... Z... R... Q... F... K...</p> <p>X/Y - urbuma pozīcijas koordinātas, Z - absolūtais urbšanas dziļums (ar G91 pieaugumu)</p> <p>R - absolūtais atvilkšanas lielums (ar G91 pieaugumu); Q - griešanas dziļums katram urbja griezienam; F – padeve; K - gājienu skaits (izmanto tikai ar kodu G91)</p> <p>SP - apstrādes cikla sākumpunkts</p> |

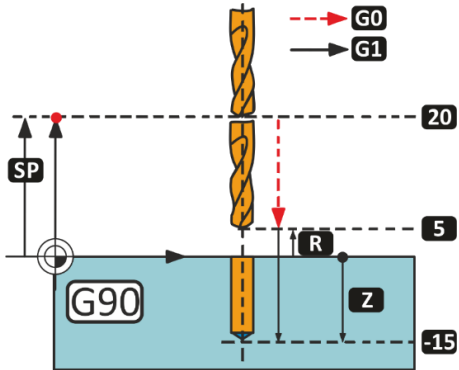
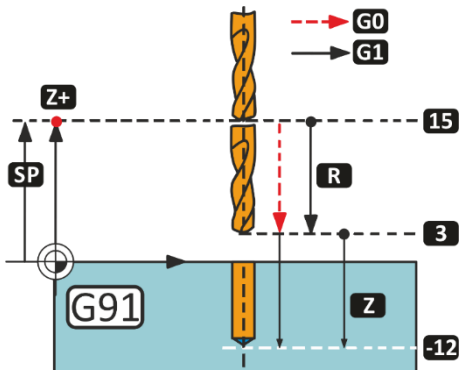
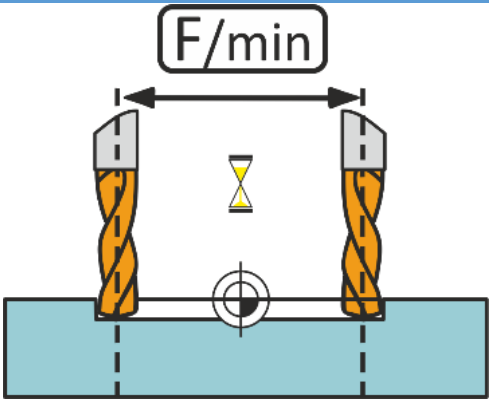
|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| G74 | <p>Kreisās vītnes griešanas cikls</p>  <p><b>NC bloks:</b> N... G98 (G99) G74 X... Y... Z... R... P... F... K...</p> <p>X/Y - urbuma pozīcijas koordinātas; Z - absolūtais vītnes griešanas dziļums (ar G91 pieaugumu); R - absolūtais atvilkšanas lielums (ar G91 pieaugumu) P - vītņgrieža gala dziļums pēc vītnes beigu punkta; F – padeve; K - gājienu skaits (izmanto tikai ar kodu G91)</p> |
| G76 | Atkārtots vītnes griešanas cikls                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| G77 | Reversais urbšanas cikls                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| G80 | Atcelt apstrādes ciklus <b>NC bloks:</b> G80                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| G81 | <p>Urbšanas cikls, centrēšanas cikls</p>  <p><b>NC bloks:</b> G98 (G99) G81 X... Y... Z ... R... F... K...</p> <p>X/Y - urbuma pozīcijas koordinātas; Z - absolūtais urbšanas dziļums (ar G91 pieaugumu); R - absolūtais atvilkšanas lielums (ar G91 pieaugumu); F - padeve K - gājienu skaits (izmanto tikai ar kodu G91)</p>                                                                   |

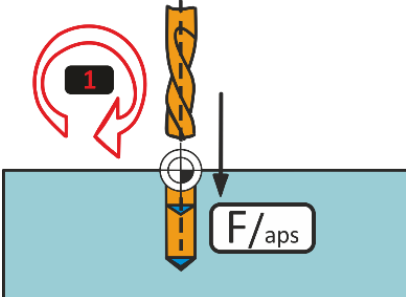
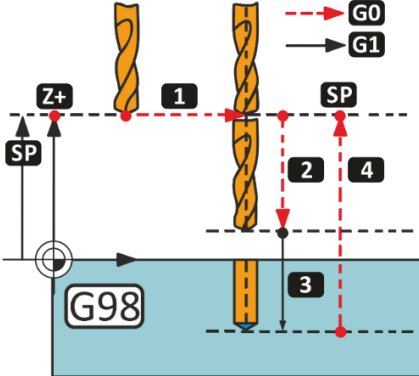
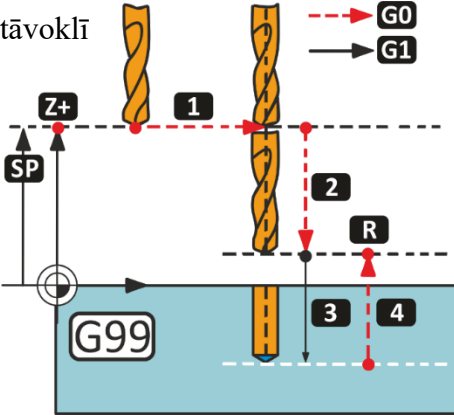


|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>G82</p> | <p>Urbšanas cikls pilnā dziļumā bez urbja izvilkšanas</p>  <p><b>NC bloks:</b>G98 (G99) G82 X... Y... Z ... R... P... F... K ...<br/> X/Y – urbuma pozīcijas koordinātas; Z - absolūtais urbšanas dziļums (ar G91 pieaugumu)<br/> R - absolūtais atvilšanas lielums (ar G91 pieaugumu); P - urbja gala dziļums zem vītnes beigu punkta; F – padeve; K - gājienu skaits (izmanto tikai ar kodu G91)</p> |
| <p>G83</p> | <p>Urbšanas cikls ar vairākkārtēju urbja izvilkšanu</p>  <p><b>NC bloks:</b>G98 (G99) G83 X... Y ... Z... R... Q... F ... K...</p> <p>X/Y - urbuma pozīcijas koordinātas; Z - absolūtais urbšanas dziļums (ar G91 pieaugumu)<br/> R - absolūtais atvilšanas lielums (ar G91 pieaugumu); Q - griešanas dziļums katram urbja gājienu; F – padeve; K - gājienu skaits (izmanto tikai ar kodu G91)</p>    |

|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>G84</p> |  <p>Labās puses vītne griešanas cikls<br/> <b>NC bloks:</b> G98 (G99) G84 X... Y ... Z... R... P... F ... K ...<br/> X/Y - urbuma pozīcijas koordinātas<br/> Z - absolūtais vītne griešanas dziļums (ar G91 pieaugumu)<br/> R - absolūtais instrumenta atvilkšanas lielums (ar G91 pieaugumu)<br/> P - vītngrieža gala garums zem vītne beigu punkta<br/> F - vītne solis<br/> K - griezienu skaits (izmanto tikai ar kodu G91)</p> |
| <p>G85</p> | <p>Paplašināšana, urbšanas cikls (ar reverso padevi)</p>  <p><b>NC bloks:</b> G98 (G99) G85 X... Y ... Z... R... F... K ...<br/> X/Y - urbuma pozīcijas koordinātas; Z - absolūtais apstrādes garums (ar G91 pieaugumu)<br/> R - absolūtais atvilkšanas lielums (ar G91 pieaugumu); F - padeve<br/> K - griezienu skaits (izmanto tikai ar kodu G91)</p>                                                                          |

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| G86 | <p>Pārurbšanas, urbšanas cikls ar vārpstas apstādināšanu (bez reversās padeves)</p>  <p><b>NC bloks:</b>G98 (G99) G86 X... Y ... Z... R... F... K ...<br/> X/Y - urbuma pozīcijas koordinātas; Z - absolūtais apstrādes garums (ar G91 pieaugumu)<br/> R - absolūtais atvilkšanas lielums (ar G91 pieaugumu); F - padeve<br/> K - griezienu skaits (izmanto tikai ar kodu G91)</p>                                   |
| G87 | Urbšanas un instrumenta manuālās izvilkšanas cikls                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| G88 | Urbšanas un instrumenta manuālās izvilkšanas cikls ar pauzi                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| G89 | <p>Pārurbšanas, urbšana ar reverso padeves ciklu ar pauzi</p>  <p><b>NC bloks:</b>G98 (G99) G89 X... Y... Z ... R... P... F... K ...<br/> X/Y - urbuma pozīcijas koordinātas; Z - absolūtais apstrādes garums (ar G91 pieaugumu)<br/> R - absolūtais atvilkšanas lielums (ar G91 pieaugumu); P - instrumenta atrašanās ilgums urbuma gala punktā; F – padeve; K - griezienu skaits (izmanto tikai ar kodu G91)</p> |

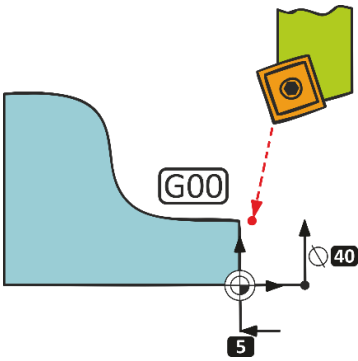
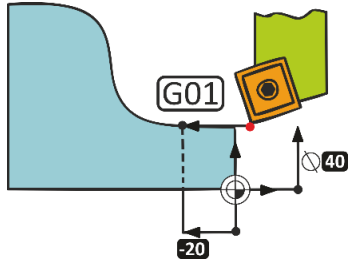
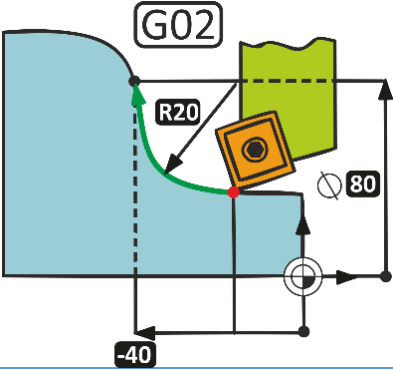
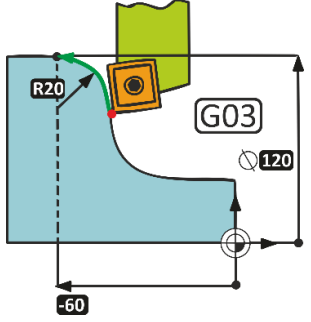
|     |                                                                                                                                                                                             |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| G90 | <p>Absolūtā pārvietoējuma režīms</p>  <p>NC bloks: G90 G81 X... .. Z-15 R + 5 F...</p>                     |
| G91 | <p>Pieauguma (inkrementālais) pārvietoējuma režīms</p>  <p>NC bloks: G91 G81 X... Y... Z-15 R-12 F...</p> |
| G92 | Darbvārpstas apgriezienu ierobežojums, apgriezieni / minūtē                                                                                                                                 |
| G93 | Padeve tiek programmēta atbilstoši instrumenta veiktajam gājienam / min                                                                                                                     |
| G94 | <p>Programmējama padeve minūtē F, mm/min (norādot padevi minūtē)</p> <p>NC bloks: G94 F...</p>          |

|     |                                                                                                                                                                                                           |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| G95 | <p>Programmējamā rotācijas padeve F, mm/apgr. (Norādot padevi uz apgriezieni)</p> <p><b>NC bloks:</b>G95 F...</p>       |
| G96 | <p>Pastāvīgs griešanas ātruma režīms, m/min</p>                                                                                                                                                           |
| G97 | <p>Vienmērīgs vārpstas griešanās ātruma režīms, apgriezieni minūtē</p> <p><b>NC bloks:</b>G97 S...</p>                                                                                                    |
| G98 | <p>Atgriezties sākotnējā Z pozīcijā</p> <p><b>NC bloks:</b>G98 G81 X... Y... Z-12 R + 3 F...</p>                       |
| G99 | <p>Pēc cikla atgriezties atpakaļ atvilkšanas stāvoklī R</p> <p><b>NC bloks:</b> G99 G81 X... Y... Z... R... F...</p>  |

5.1. tabulas turpinājums

|               |                                                                                             |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| G100          | Atcelt koordinātu spoguļattēla režīmu                                                       |
| G101          | Iespējot koordinātu spoguļattēla režīmu                                                     |
| G102          | Izvadīt instrumenta konkrētās koordinātes, izmantojot RS-232 vadības sistēmas datu pārraidi |
| G103          | Programmēt vadības programmas bloku (rindu) skaitu, kuras sistēmai jākontrolē uz priekšu    |
| G107          | Cilindrisko koordinātu režīms                                                               |
| G110-<br>G129 | Sagataves palīgkoordinātu sistēmas (Nr. 7-26) aktivizēšana                                  |
| G136          | Sagataves koordinātu sistēmas automātiska iestatīšana                                       |
| G141          | Instrumenta izmēru telpiskā kompensācija                                                    |
| G143          | Instrumenta garuma kompensācija piecu asu apstrādes centros                                 |
| G150          | Kabatas frēzēšanas cikls                                                                    |
| G153          | Piecu asu apstrāde - augstas veiktspējas urbšanas iekšējais cikls                           |
| G154          | Sagataves papildu koordinātu sistēmas izcelsme P1-P99                                       |
| G155          | Piecu asu apstrāde - kreisās puses vītnes griešanas iekšējais cikls                         |
| G161          | Piecu asu apstrāde - urbšanas iekšējais cikls                                               |
| G162          | Piecu asu apstrāde - urbšana ar pauzi, iekšējais cikls                                      |
| G163          | Piecu asu apstrāde - urbšanas iekšējais cikls                                               |
| G164          | Piecu asu apstrāde - labās puses vītnes griešanas iekšējais cikls                           |
| G165          | Piecu asu apstrāde - urbuma iekšējais izvirpošanas cikls                                    |
| G166          | Piecu asu apstrāde - urbuma iekšējais izvirpošanas cikls                                    |
| G169          | Piecu asu apstrāde - urbuma iekšējais izvirpošanas cikls ar pauzi                           |
| G174          | Piecu asu apstrāde - "fiksētais" kreisās puses vītnes griešanas iekšējais cikls             |
| G184          | Piecu asu apstrāde - "fiksētais" labās puses vītnes griešanas iekšējais cikls               |
| G187          | Iestata apstrādes precizitāti un leņķa noapaļošanas maksimālo rādus                         |
| G188          | Izsauc programmu no atbilstošās tabulas                                                     |

5.2. tabula. G kodi, kurus izmanto virpās un apstrādes centra vadības programmās

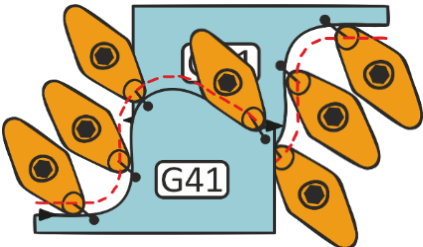
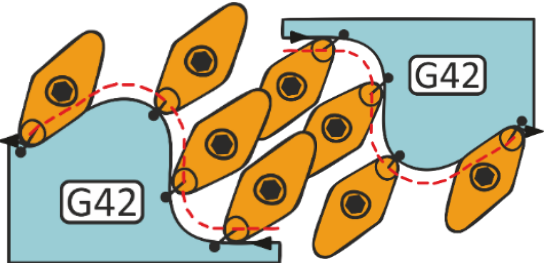
| G koda apzīmējums | G koda apraksts                                                                                                                                                                                                                                                |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| G00               | <p>Ātrā pozicionēšanas kustība</p> <p><b>NC bloks:</b>G0 X40 Z5</p>                                                                                                          |
| G01               | <p>Lineāra interpolācijas kustība</p> <p><b>NC bloks:</b>G1 X40 Z-20 F...</p>                                                                                                |
| G02               | <p>Lokveida interpolācijas kustība pulksteņrādītāja virzienā</p> <p><b>NC bloks:</b>G2 X80 Z-40 R20 F...</p> <p>R - riņķa līnijas segmenta rādiuss</p>                      |
| G03               | <p>Lokveida interpolācijas kustība pretēji pulksteņrādītāja kustības virzienam</p> <p><b>NC bloks:</b>G3 X120 Z-60 R20 F...</p> <p>R - riņķa līnijas segmenta rādiuss</p>  |
| G04               | <p>Aizture (pauze)</p>                                                                                                                                                                                                                                         |

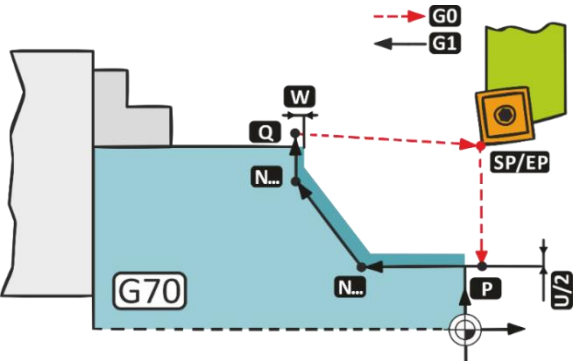
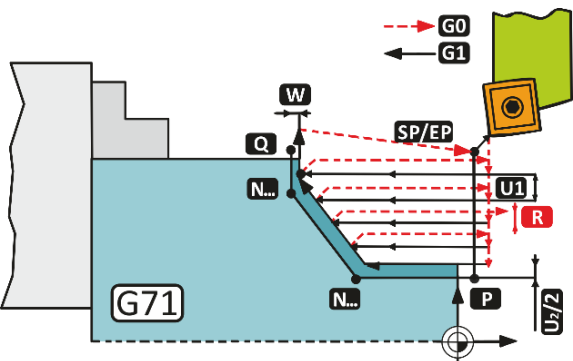
5.2. tabulas turpinājums

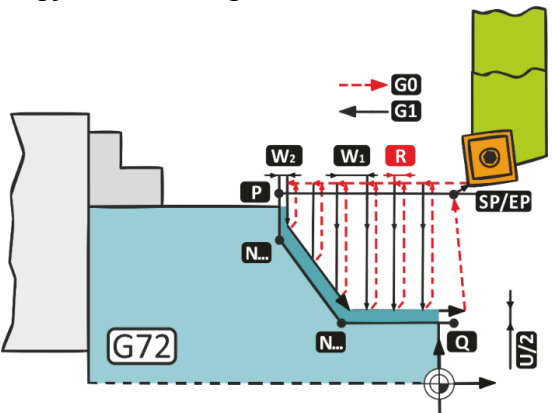
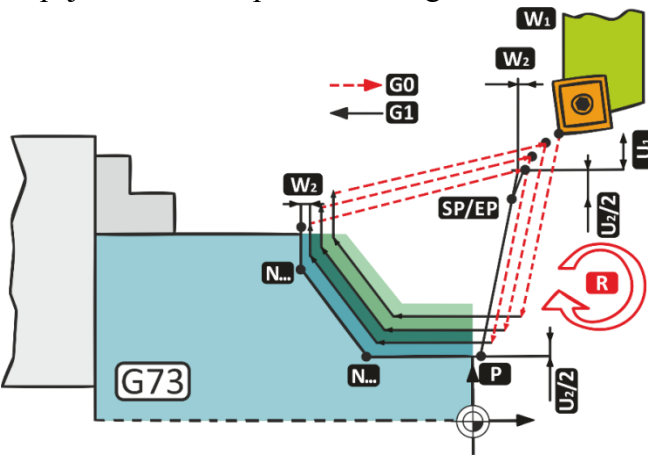
|       |                                                                                                 |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| G05   | Precīzas vārpstas apļveida padeves režīms iekārtām ar kontrolētu C asi                          |
| G09   | Precīzs aksiālas apstādināšanas režīms (nemodāls)                                               |
| G10   | Programmēšanas datu ievade (aktivizēšana)                                                       |
| G11   | Datu atcelšana (deaktivizēšana)                                                                 |
| G12.1 | Interpolācija - kustība polārajās koordinātēs (ieslēgšana)                                      |
| G13.1 | Interpolācija - kustība polārajās koordinātēs (izslēgšana)                                      |
| G14   | Papildus vārpstas režīms                                                                        |
| G15   | Atcelt papildus vārpstas režīmu                                                                 |
| G17   | XY plaknes izvēle                                                                               |
| G18   | ZX plaknes izvēle                                                                               |
| G19   | YZ plaknes izvēle                                                                               |
| G20   | Imperiālā mērīšanas sistēma, dati collās                                                        |
| G21   | Metriskā mērīšanas sistēma, dati milimetros                                                     |
| G27   | Pārbaudīt atsaucē punktu                                                                        |
| G28   | Atgriezt instrumenta turētāju ierīces nulles stāvoklī (atsaucē punktā)                          |
| G29   | Atgriezties no ierīces nulles (atsaucē) punkta                                                  |
| G30   | Atgriezties uz atsaucē punktiem 2, 3 un 4                                                       |
| G31   | Pārvietojuma apturēšanas funkcija                                                               |
| G32   | Vītne griešanas režīms                                                                          |
| G40   | Atslēgt instrumenta gala noapaļojuma kompensācijas režīmu<br><b>NC bloks:</b> G40 G01 X... Z... |



5.2. tabulas turpinājums

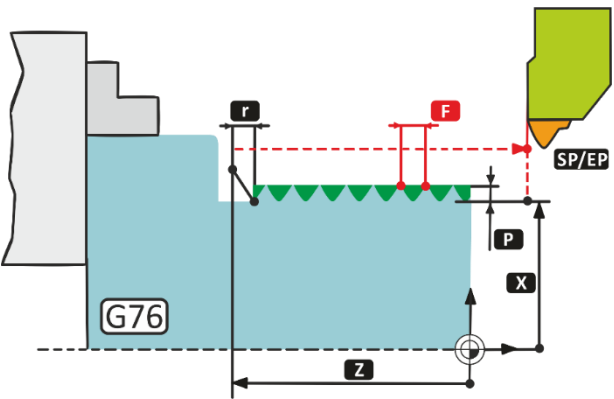
|     |                                                                                                                                                                                                                          |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| G41 | <p>Pielietot instrumenta gala kompensāciju pa kreisi no programmētās trajektorijas<br/> <b>NC bloks:</b> G41 G01 X... Z...</p>         |
| G42 | <p>Pielietot instrumenta gala maksimālo kompensāciju pa labi no programmētās trajektorijas<br/> <b>NC bloks:</b>G42 G01 X... Z...</p>  |
| G45 | Palielināt instrumenta korekciju                                                                                                                                                                                         |
| G46 | Samazināt instrumenta korekciju                                                                                                                                                                                          |
| G47 | Palielināt instrumenta korekciju divkārtīgi                                                                                                                                                                              |
| G48 | Samazināt instrumenta korekciju divkārtīgi                                                                                                                                                                               |
| G50 | <p>Instrumenta stāvokļa reģistrācija / vārpstas apgriezienu ierobežošanas režīms, apgr./min<br/> <b>NC bloks:</b> G50 S...</p>                                                                                           |
| G52 | Lokālo koordinātu sistēmas iestatīšana                                                                                                                                                                                   |
| G53 | Pāriet uz iekārtas koordinātu sistēmu                                                                                                                                                                                    |
| G54 | Sagataves koordinātu sistēmas Nr. 1 aktivizēšana                                                                                                                                                                         |
| G55 | Sagataves koordinātu sistēmas Nr. 2 aktivizēšana                                                                                                                                                                         |
| G56 | Sagataves koordinātu sistēmas Nr. 3 aktivizēšana                                                                                                                                                                         |
| G57 | Sagataves koordinātu sistēmas Nr. 4 aktivizēšana                                                                                                                                                                         |
| G58 | Sagataves koordinātu sistēmas Nr. 5 aktivizēšana                                                                                                                                                                         |

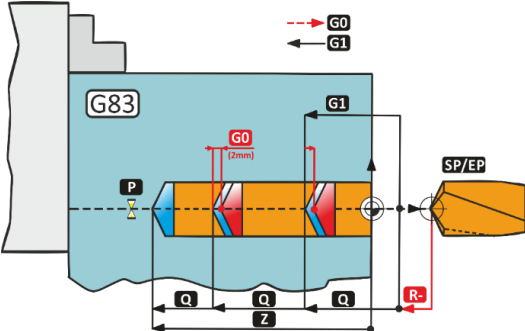
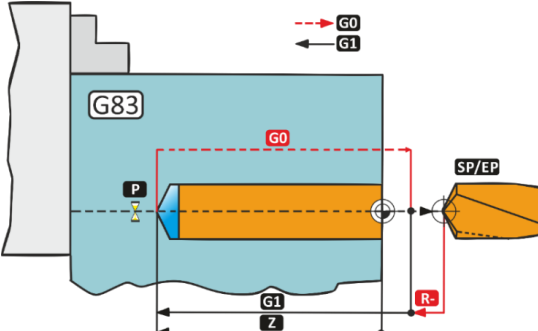
|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| G59 | Sagataves koordinātu sistēmas Nr. 6 aktivizēšana                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| G61 | Aksiālās kustības apstādināšanas režīms                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| G64 | Atcelt aksiālās kustības apstādināšanas režīmu G61                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| G65 | Izsaukt makroprogrammu                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| G70 | <p>Nobeiguma apstrādes cikls</p>  <p><b>NC bloks:</b> G70 P... Q...W...SP/EP<br/> P - nobeiguma apstrādes griezienu skaits pirmajā blokā<br/> Q - nobeiguma apstrādes griezienu skaits pēdējā blokā<br/> U - nobeiguma apstrādes pielāide X virzienā (norādīt diametru)<br/> W - nobeiguma apstrādes pielāide Z virzienā<br/> SP / EP - apstrādes cikla sākuma un beigu punkts</p>                                                                           |
| G71 | <p>Gareniskais rupjās virpošanas cikls</p>  <p><b>1. NC bloks:</b> G71 U1... R...<br/> U - griešanas dziļums (norādīt rādiusu),<br/> R - rezerves vērtība<br/> <b>2. NC bloks:</b>G71 P... Q... U2... W...<br/> P - nobeiguma apstrādes griezienu skaits pirmajā blokā<br/> Q - nobeiguma apstrādes griezienu skaits pēdējā blokā<br/> U - nobeiguma apstrādes pielāide X virzienā (norādīt diametru)<br/> W - nobeiguma apstrādes pielāide Z virzienā</p> |

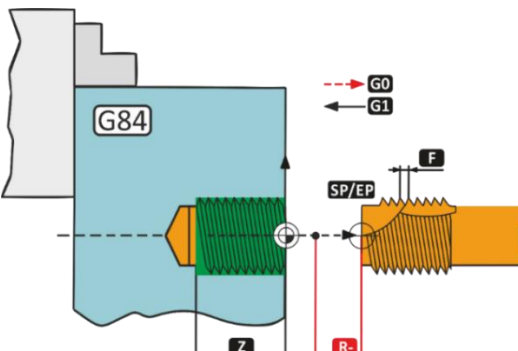
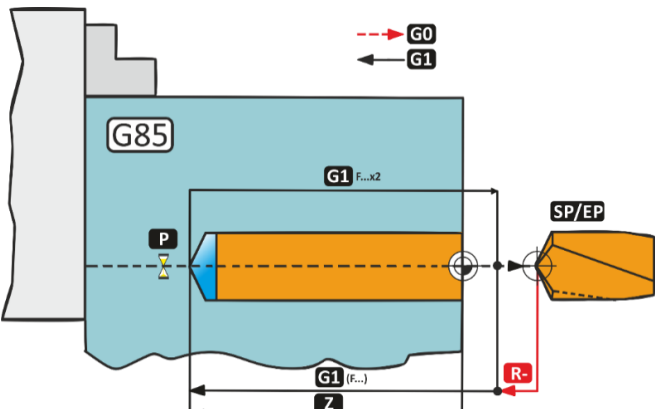
|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>G72</p> | <p>Rupjas formas virpošanas cikls</p>  <p>1. NC bloks: G72 W1... R...</p> <p>W - griešanas dziļums, R - rezerves vērtība</p> <p>2. NC bloks: G72 P... Q... U... W2...</p> <p>P - nobeiguma apstrādes griezienu skaits pirmajā blokā; Q - nobeiguma apstrādes griezienu skaits pēdējā blokā; U - nobeiguma apstrādes pielaipe X virzienā (norādīt diametru); W - nobeiguma apstrādes pielaipe Z virzienā</p>                                                                                                                          |
| <p>G73</p> | <p>Kopējošas formas apstrādes ieslēgšana - X un Z asu režīms</p>  <p>1. NC bloks: G73 U1... W1... R...</p> <p>U - X asu attāluma un virziena noteikšana (norādīt rādus); W - attālums un virziens Z asij; R - rupjās virpošanas griezumu skaits</p> <p>2. NC bloks: G73 P... Q... U2... W2...</p> <p>P - nobeiguma apstrādes griezienu skaits pirmajā blokā; Q - nobeiguma apstrādes griezienu skaits pēdējā blokā; U - nobeiguma apstrādes pielaipe X virzienā (norādīt diametru); W - nobeiguma apstrādes pielaipe Z virzienā</p> |

|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <div data-bbox="293 193 871 598"> </div> <div data-bbox="884 193 1259 618"> <p>Režīms urbšanai un gropes veidošanai gala virsmā . Šajā ciklā ir pieejamas trīs virsmas veidošanas iespējas</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. iespēja: Urbšana</li> <li>1. NC bloks: G74 R...</li> <li>R - urbja atvilkšanas metode</li> <li>2. NC bloks: G74 Z... Q...</li> <li>Z - urbuma dziļums</li> </ol> </div> <p>Q - urbšanas platums no Z ass virzienā (bez atzīmes, <math>\mu\text{m}</math>)</p> <p>2. iespēja: Garenvirziena virpošana, ieskaitot skaidas nolaušanu</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. NC bloks: G74 R 1 ...</li> <li>R - griežņa atvilkšanas izmērs</li> <li>2. NC bloks: G74 X... Z... P... Q... R2...</li> <li>X - beigu apstrādes virsmas diametrs</li> <li>Z - apstrādes garums</li> </ol> <div data-bbox="293 966 926 1304"> </div> <p>P - instrumenta nobīdes / novirzes mērījums X ass virzienā (bez atzīmes, <math>\mu\text{m}</math>)</p> <p>Q - griešanas dziļums Z ass virzienā (bez atzīmes, <math>\mu\text{m}</math>)</p> <p>R - attālums starp instrumentu un gala apstrādes virsmu</p> <p>3. iespēja: rievas virpošana ar atvilkšanu Z ass (sānu) virzienā, ieskaitot skaidas nolaušanu</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. NC bloks: G74 R1...; R - instrumenta atvilkšanas izmērs</li> <li>2. NC bloks: G74 X... Z... P... Q... R20</li> <li>X - beigu apstrādes virsmas diametrs; Z - apstrādes garums / dziļums</li> <li>P - instrumenta nobīdes / novirzes mērījums X ass virzienā (bez atzīmes, <math>\mu\text{m}</math>)</li> </ol> |
|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

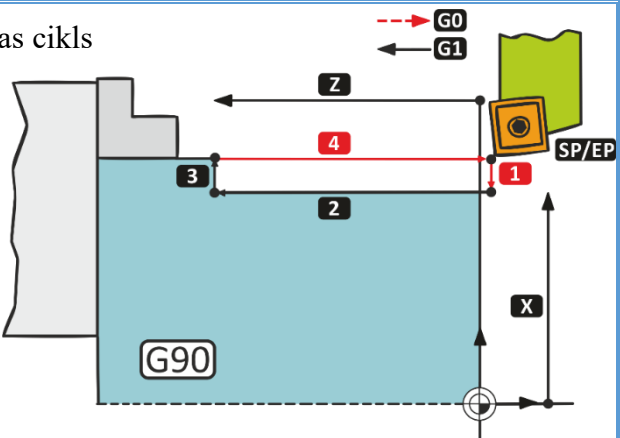
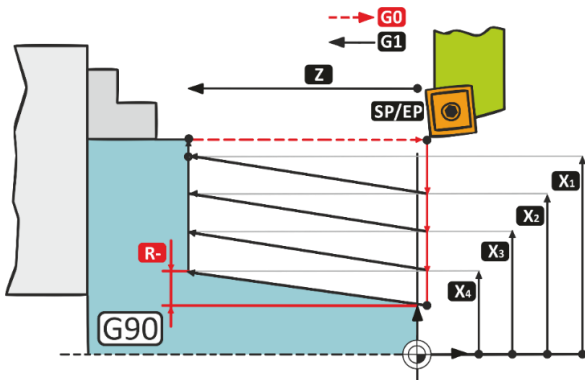
|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| G74 | <p>Q - griešanas dziļums Z ass virzienā (bez atzīmes, <math>\mu\text{m}</math>)</p> <p>R - attālums starp instrumentu un gala apstrādes virsmu (0 vai nav ieprogrammēts)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| G75 | <p>Gala virsmas gareniskās virpošanas cikls</p> <p>1. iespēja: gala virsmas rupja virpošana, ieskaitot skaidas nolaušanu</p> <p>1. NC bloks: G75 R1...</p> <p>R - instrumenta atvilkšanas izmērs</p> <p>2. NC bloks: G75 X... Z...</p> <p>P... Q... R2...</p> <p>X - beigu apstrādes virsmas diametrs</p> <p>Z - apstrādes garums / dziļums</p> <p>P - griešanas dziļums X ass virzienā (bez atzīmes, <math>\mu\text{m}</math>)</p> <p>Q - instrumenta nobīdes / novirzes mērījums Z ass virzienā (bez atzīmes, <math>\mu\text{m}</math>)</p> <p>R - attālums starp instrumentu un gala apstrādes virsmu</p> <p>2. iespēja: gropju virpošana ar atvilkšanu X asu virzienā (sānu), ieskaitot skaidas nolaušanu</p> <p>1. NC bloks: G75 R1...</p> <p>R - instrumenta atvilkšanas izmērs</p> |

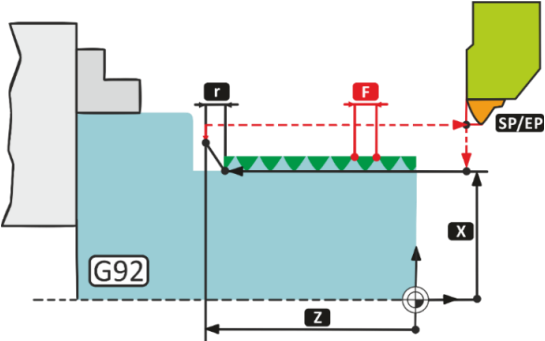
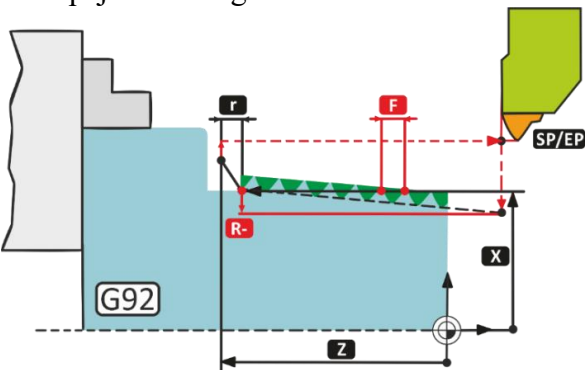
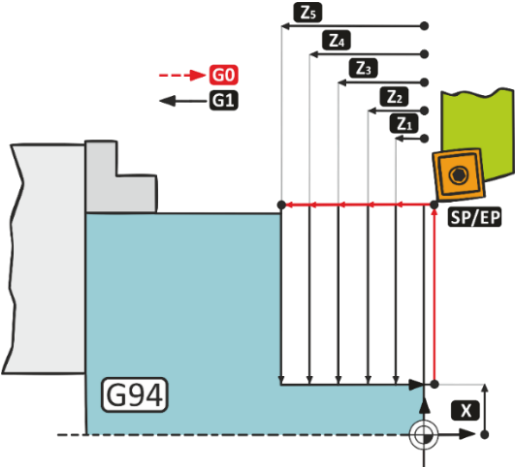
|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| G75 | <p><b>2. NC bloks:</b> G75 X... Z... P... Q... R20</p> <p>X - apstrādes diametrs</p> <p>Z - apstrādes garums / dziļums</p> <p>P - griešanas dziļums X ass virzienā (bez atzīmes, <math>\mu\text{m}</math>)</p> <p>Q - instrumenta nobīdes / novirzes mērījums Z ass virzienā (bez atzīmes, <math>\mu\text{m}</math>)</p> <p>R - attālums starp instrumentu un gala apstrādes virsmu (0, ja nav ieprogrammēts)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| G76 | <p>Atkārtota vītņu griešana ar griezni</p>  <p><b>1. NC bloks:</b> G76 Pxx xx xx Q1... R1...</p> <p>P - atkārtotu griezumu skaits, slīpuma leņķis, instrumenta gala leņķis</p> <p>Q - minimālais griešanas dziļums (norādīts kā rādiuss, <math>\mu\text{m}</math>)</p> <p>R - gala apstrādes pielāide (norādīta kā rādiuss, mm)</p> <p><b>2. NC bloks:</b> G76 X... Z... R2 0 P... Q2... F...</p> <p>X - diametrs virsmai, kurā tiek griezta vītne; Z - garums virsmai, kurā tiek griezta vītne</p> <p>R - vītnes gala noapaļošanas rādiusa starpība (ja R = 0, var tikt veidota taisna vītne)</p> <p>P - vītnes profila augstums (šī vērtība tiek norādīta kā rādiuss, <math>\mu\text{m}</math>)</p> <p>Q - griešanas dziļums pirmajā griezumā (rādiuss, <math>\mu\text{m}</math>); F - vītnes solis</p> |
| G77 | <p>Nogriešana ar aktīvo instrumentu</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

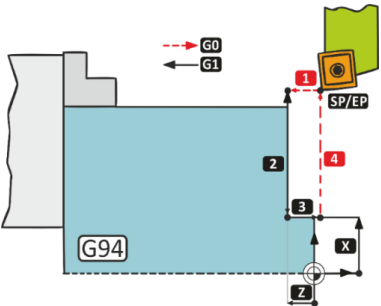
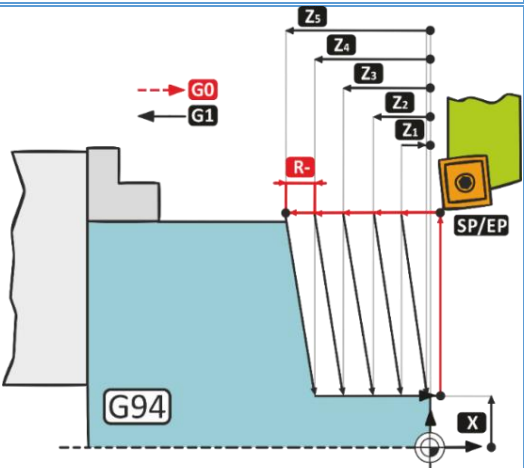
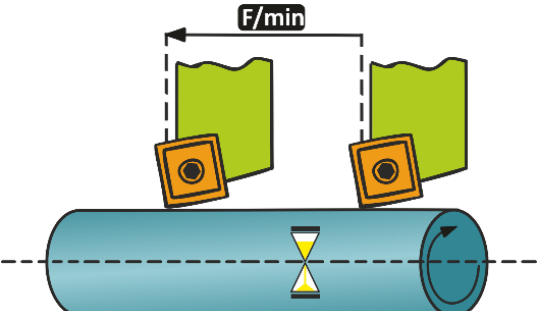
|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| G80 | Atcelt apstrādes ciklus                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| G81 | Aksiālas urbuma centrēšanas cikls                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| G82 | Aksiāla urbuma centrēšana, urbšanas cikls                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| G83 | <p>Urbšanas cikls</p> <p>1. iespēja: ātrs urbšanas cikls ar atkārtotu urbja izvilkšanu</p>  <p>NC bloks: G83 X... Z... R... Q... P... F...</p> <p>X - urbuma izmērs (diametrs); Z - urbuma dziļums; R - attālums starp sākumpunktu (koordināte Z ) un punktu R; Q - katra urbšanas gājiņa griešanas dziļums / garums (bez atzīmes, <math>\mu\text{m}</math>); F – padeve; P - instrumenta atrašanās ilgums izurbtā urbuma galā - pauze (bez atzīmes, ms)</p> <p>2. iespēja: urbšanas cikls bez atkārtotas urbja izvilkšanas</p>  <p>NC bloks: G83 X... Z... R... Q... P... F...</p> <p>X - urbuma novietojuma dati (diametrs); Z - urbuma dziļums; R - attālums starp sākumpunktu (koordināte Z ) un punktu R; Q - katra urbšanas gājiņa griešanas dziļums / garums (bez atzīmes, <math>\mu\text{m}</math>); P - instrumenta atrašanās ilgums izurbtā urbuma galā - pauze (bez atzīmes, ms); F – padeves ātrums</p> <p>3. iespēja: urbšanas cikls bez atkārtotas urbja izvilkšanas</p> <p>NC bloks: G83 X... Z... R... P... F...</p> |

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| G84 | <p>Vītnes griešanas cikls (aksiālie urbumi)</p>  <p><b>NC bloks:</b>G84 X... Z... R... P0... F...</p> <p>X - urbuma novietojuma dati (diametrs); Z - vītnes garums; R - attālums starp sākumpunktu (koordināte Z ) un punktu R; P - instrumenta atrašanās ilgums vītņotā urbuma galā - pauze (0, ja nav ieprogrammēts); F - vītnes solis</p>                                       |
| G85 | <p>Izrīvēšanas, izvirpošanas cikls (aksiālie urbumi) ar reverso padevi</p>  <p><b>NC bloks:</b>G85 X... Z... R... P... F...</p> <p>X - urbuma novietojuma dati (diametrs); Z - garums / dziļums urbumam, kurā iegriezta vītne; R - attālums starp sākumpunktu (koordināte Z ) un punktu R; P - instrumenta atrašanās ilgums urbuma galā - pauze (bez atzīmes, ms); F - padeve</p> |
| G86 | Izrīvēšanas / izvirpošanas cikls (aksiālie urbumi) bez reversās darba padeves                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| G87 | Urbšanas un manuālas instrumenta izvilkšanas cikls                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| G88 | Urbšanas un manuālas instrumenta izvilkšanas cikls ar pauzi                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| G89 | Urbšana ar reverso padeves ciklu ar pārtraukumu                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

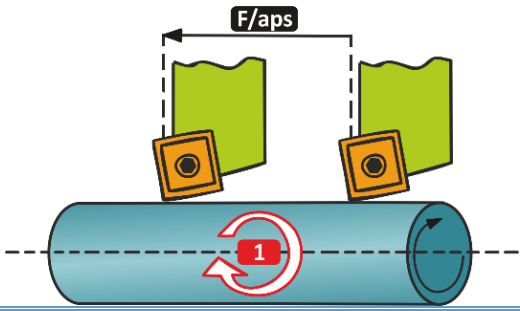


|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>Garenvirziena virpošanas cikls</p> <p>1. iespēja:<br/>Garenvirziena virpošanas cikls<br/>NC bloks: G90 X... Z... F...</p>  <p>Pieciem dažādiem diametriem:<br/>NC bloki:<br/>N... G90 X1... Z -... F0,25 cikls pie diametra <math>\varnothing X1</math><br/>N... X2 ... - cikls pie diametra <math>\varnothing X2</math><br/>N... X3 ... - cikls pie diametra <math>\varnothing X3</math><br/>N... X4 ... - cikls pie diametra <math>\varnothing X4</math><br/>N... X5 ... - cikls pie diametra <math>\varnothing X5</math></p> <p>2. iespēja: konusveida virsmas virpošanas cikls<br/>NC bloks: G90 X... Z... R... F...</p>  |
|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>G92</p> | <p>Vītne griešanas cikls</p>  <p>1. iespēja: Vītne griešanas cikls cilindriskā virsmā<br/> <b>NC bloks:</b>G92 X... Z ... F...</p> <p>2. iespēja: Vītne griešanas cikls uz konusveida virsmas</p>  <p><b>NC bloks:</b>G92 X... Z... R... F...</p> |
| <p>G94</p> | <p>Gala virsmas virpošanas cikls</p> <p>1. iespēja: plakana gala virsmas virpošanas cikls</p> <p><b>NC bloks:</b>G94 X... Z... F...</p>                                                                                                                                                                                           |

|     |                                                                                                                                                                                                             |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|     |                                                                                                                            |
| G94 | <p>2. iespēja: konusveida gala virsmas ar vītni virpošanas cikls<br/> <b>NC bloks:</b>G94 X... Z... R<br/> -... F...</p>  |
| G95 | Padeve tiek ieprogrammēta vienībās/apgriezību (norādot padevi uz katru apgriezību)                                                                                                                          |
| G96 | Pastāvīga griešanas ātruma režīms, m / min<br><b>NC bloks:</b> G96 S...                                                                                                                                     |
| G97 | Vienmērīgs vārpstas rotācijas ātruma režīms, apgriezieni minūtē<br><b>NC bloks:</b> G97 S...                                                                                                                |
| G98 |  <p>Padeve F tiek ieprogrammēta vienībās / min (padeve minūtē, mm / min)<br/> <b>NC bloks:</b> G98 F...</p>              |

5.2. tabulas turpinājums

|          |                                                                                                                               |                                                                                    |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| G99      | <p>Padeve F tiek ieprogrammēta vienībās / apgriezienu (padeve uz apgriezienu, mm / apgr.)</p> <p><b>NC bloks:</b>G99 F...</p> |  |
| G100     | Atcelt koordinātu spoguļattēla režīmu                                                                                         |                                                                                    |
| G101     | Iespējot koordinātu spoguļattēla režīmu                                                                                       |                                                                                    |
| G102     | Izvadīt instrumenta konkrētās koordinātes, izmantojot RS-232 vadības sistēmas datu pārraidi                                   |                                                                                    |
| G103     | Programmēt vadības programmu līniju skaitu, kas sistēmai jāpārbauda uz priekšu                                                |                                                                                    |
| G105     | Stieņa padeves režīms                                                                                                         |                                                                                    |
| G110     | Papildu sagataves koordinātu sistēmas Nr. 7 aktivizēšana                                                                      |                                                                                    |
| G111     | Papildu sagataves koordinātu sistēmas Nr. 8 aktivizēšana                                                                      |                                                                                    |
| G112     | Dekarta XY modeļa koordinātu pārveidošana polārajās XC koordinātās iekārtā ar aktīvo instrumentu un vadības asi C             |                                                                                    |
| G113     | Atcelt Dekarta XY koordinātu pārveidošanas režīmu polārajās XC koordinātēs                                                    |                                                                                    |
| G114-129 | Detaļas koordinātu papildus sistēmas (Nr. 9-24) aktivizēšana                                                                  |                                                                                    |
| G154     | Papildu sagataves koordinātu sistēmas P1-P99 aktivizēšana                                                                     |                                                                                    |
| G159-161 | Sagataves maiņas manipulatora vadības kodi                                                                                    |                                                                                    |
| G184     | Kreisās vītnes griešanas cikls ( aksiālie urbumi)                                                                             |                                                                                    |
| G186     | Kreisās puses vītnes virpošana Z ass virzienā, iekšējais cikls                                                                |                                                                                    |
| G187     | Iestata apstrādes precizitāti un leņķa virsotnes noapaļošanas maksimālo rādiusu                                               |                                                                                    |
| G195     | Labās puses vītnes griešana radiālā urbumā - iekšējais cikls iekārtām ar aktīvu instrumentu                                   |                                                                                    |
| G196     | Kreisās puses vītnes griešanas radiālā urbumā - iekšējais cikls iekārtām ar aktīvu instrumentu                                |                                                                                    |
| G200     | Ātrā instrumenta turētāja rotācijas pozicionēšana kustības režīmā                                                             |                                                                                    |

Tabulā ir norādīti galvenie G kodi, no kuriem lielākā daļa tiek izmantoti Fanuc, HAAS virpošanas un frēzēšanas darbapaldos un apstrādes centra vadības programmās, kā arī programmēšanas sistēmās MTS (Mathematisch Technische Software-entwicklung GmbH, Vācija), kas paredzētas CNC iekārtu vadībai, kā arī citās līdzīgās vadības sistēmās. Ietverti arī G kodi, kurus vairs nevar izmantot mūsdienu CNC sistēmās, bet kurus izmanto iekārtu ražotāji, lai nodrošinātu saderību starp vecākas un jaunās paaudzes programmēšanas sistēmām. Turklāt daži kodi darbojas tikai īpašos CNC iekārtu komplektos. Atsevišķos gadījumos iekārtu ražotājs var ieteikt pašu izstrādātus kodus to izgatavoto iekārtu vadības sistēmām.

### 5.1.3. M funkciju kodi

Mehāniskās apstrādes laikā nepietiek tikai ar norādītām instrumenta kustības koordinātēm. Ar iekārtu ir jāveic arī citas darbības. Tās ir saistītas ar atsevišķu iekārtu mezglu vai iekārtas tuvumā esoša papildu aprīkojuma vadību. M kodi aktivizē šīs dažādās iekārtu funkcijas to vadības programmās. Funkcijas iedala divās grupās: CNC iekārtu funkcijas un vadības programmas funkcijas. Mehāniskās apstrādes laikā šīs funkcijas ļauj iekārtai darboties automātiskajā režīmā.

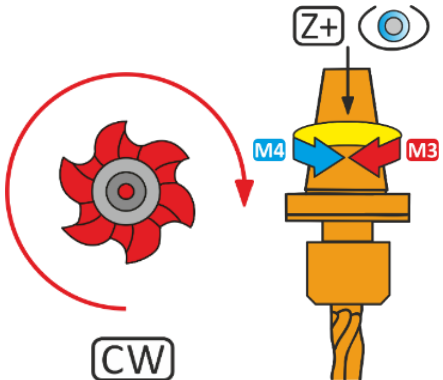
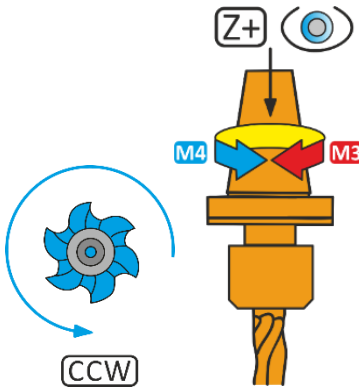
CNC iekārtu funkciju kodi tiek izmantoti, lai vadītu atsevišķu iekārtas mezglu kustības dažādos režīmos. Tie ieslēdz un izslēdz vārpstas rotāciju vēlamajā virzienā, palaiž vai aptur skaidu konveijeru, maina griezējinstrumentu, pievada griešanas vietai dzesēšanas šķidrumu, atver un aizver iekārtas drošības aizsargus, atgriež instrumenta turētāju sākotnējā pozīcijā, utt.

Otrās grupas funkcijas ir domātas iekārtas instrumentu vadībai. Tie ir M kodi, kas aptur galveno programmu un izsauc apakšprogrammas vai atgriežas galvenajā programmā, paziņo un atceļ brīdinājumu trauksmi utt.

Abas M kodu grupas ir sniegtas tālākajās 5.3. un 5.4. tabulās.

*5.3. tabula. M kodi, kurus izmanto programmējamo frēžu un apstrādes centru programmēšanai*

| M kods | Apraksts                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| M00    | <p>Obligāta programmas apstāšanās, neatgriežoties programmas sākumā</p> <p><b>NC bloks:M0</b></p> <p>Funkcija: Ja komanda M00 ir programmas blokā, programmas izpilde tiek apturēta pēc konkrētās darbības pabeigšanas blokā.</p> <p>Visas darbības, piemēram, vārpstas rotācija vai dzesēšanas šķidruma padeve tiek īslaicīgi pārtraukta.</p> <p>Nospiežot pogu NC-start, programmas darbība tiek turpināta.</p> <p>Šī funkcija ļauj iekārtas operatoram noņemt skaidas, manuāli nomainīt instrumentu vai apmērīt sagatavi.</p> |
| M01    | Programmas apturēšana ar apstiprinājumu                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|     | <p><b>NC bloks:M1</b></p> <p>Funkcija: Ja vadības panelī ir iespējota palīgprogrammas apturēšanas funkcija, programmas izpilde tiek pārtraukta tāpat, kā komandai M00.</p> <p>Ja komanda M01 ir programmas blokā, visu darbību, piemēram, vārpstas rotācija vai dzesēšanas šķidruma padeve, izpilde tiek uz laiku pārtraukta pēc konkrētās darbības pabeigšanas blokā.</p> <p>Programmu var turpināt, nospiežot pogu NC-start.</p> <p>Ja palīgprogrammas apturēšanas funkcija ir atspējota, komanda M01 tiek ignorēta. Operācija turpinās ar pāreju uz nākamo bloku.</p> |
| M02 | Pabeigt programmu, neatgriežoties tās sākumā                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| M03 |  <p>Ieslēgt darbvārpstas rotāciju pulksteņrādītāja virzienā</p> <p><b>NC bloks:M3</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| M04 |  <p>Ieslēgt darbvārpstas rotāciju pretēji pulksteņa rādītāja virzienam</p> <p><b>NC bloks: M4</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

### 5.3. tabulas turpinājums

|             |                                                                                                                                                                                                     |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| M05         |  <p>Apstādināt darbvārpstas rotāciju<br/><b>NC bloks:M5</b></p>                                                    |
| M06         | Mainīt instrumentu darbvārpstā                                                                                                                                                                      |
| M07         | Ieslēgt dzesēšanu (gaiss)                                                                                                                                                                           |
| M08         | <p>Dzesēšana ar šķidrumu ieslēgta.<br/><b>NC bloks:M8</b></p> <p>Komanda M08 aktivizē dzesēšanas sūkni.<br/>Piezīme. Iekārtās ar otru dzesēšanas sūkni dzesēšana tiek aktivizēta ar komandu M07</p> |
| M09         | <p>Dzesēšana izslēgta. M09 komanda deaktivizē dzesēšanas sūkni.<br/><b>NC bloks:M9</b></p>                                                                                                          |
| M10         | Bloķēt 4. vadāmo asi                                                                                                                                                                                |
| M11         | Atbrīvot 4. ass bremzi                                                                                                                                                                              |
| M12         | 5. vadāmās ass bloķēšana                                                                                                                                                                            |
| M13         | 5. ass bremzes atlaišana                                                                                                                                                                            |
| M16         | Mainīt instrumentu darbvārpstā (tāpat, kā M06)                                                                                                                                                      |
| M17/<br>M18 | Paletes maiņas komandas. Lieto tikai iekārtu apkopes laikā                                                                                                                                          |
| M19         | Darbvārpstas leņķiskā orientācija                                                                                                                                                                   |
| M21-28      | Kodi, kas aktivizē papildus funkcijas                                                                                                                                                               |

### 5.3. tabulas turpinājums

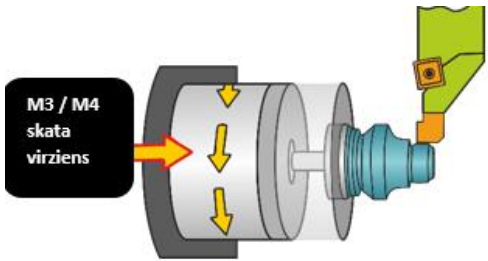
|        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| M30    | <p>Pabeigt programmu un atgriezties tās pirmajā rindā</p> <p><b>NC bloks:M30</b></p> <p>Funkcija: Šī komanda informē vadības sistēmu, ka izvēlēta programma ir pabeigta.</p> <p>Darbvārpsta un dzesēšanas sūknis tiek apturēti un tiek pārtraukts automātiskās darbības režīms.</p> <p>Komanda M30 atgriež programmu tās sākumā. Komandai M02 ir tāda pati funkcija, kā komandai M30</p> |
| M31    | Ieslēgt skaidu konveijeru                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| M33    | Apturēt skaidu konveijeru                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| M34    | Nolaist programmas vadīto dzesēšanas sprauslu par vienu pozīciju                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| M35    | Pacelt programmas vadīto dzesēšanas sprauslu par vienu pozīciju                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| M41    | Darbvārpstas pazeminātā pārnesuma ieslēgšana                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| M42    | Darbvārpstas normālā pārnesuma ieslēgšana                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| M50    | Palešu maiņa                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| M51-68 | Kodi, kas aktivizē papildus funkcijas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| M75    | Atsauces punkta noteikšana mērījumiem, izmantojot kodus G35 un G136                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| M76    | Informācija ekrānā nav atjaunināta                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| M77    | Atjaunināt ekrānā redzamo informāciju                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| M78    | Paziņojiet par apdraudējumu, ja kodu G31, G36 un G37 laikā tiek saņemts signāls no mērīšanas tausta                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| M79    | Paziņojiet par apdraudējumu, ja koda G31, G36 un G37 laikā netiek saņemts signāls no mērīšanas tausta                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| M80    | Iekārtas drošības aizsargu atvēršana                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| M81    | Iekārtas drošības aizsargu aizvēršana                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| M82    | Atbrīvot instrumentu darbvārpstā (izmanto tikai apkopei)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| M83    | Ieslēgt gaisa sprauslu                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| M84    | Izslēgt gaisa sprauslu                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| M86    | Atbrīvot instrumentu darbvārpstā (izmanto tikai apkopei)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |



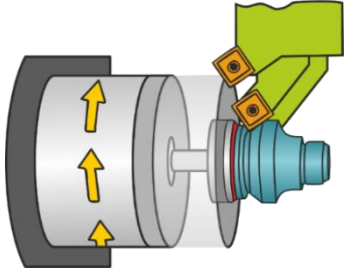
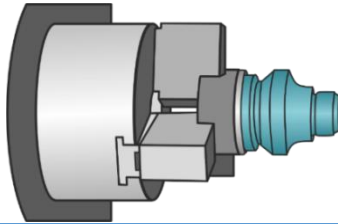
### 5.3. tabulas turpinājums

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |   |           |   |   |        |   |   |                |   |   |        |   |   |         |   |   |            |   |   |        |   |   |        |   |   |        |   |   |         |   |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|-----------|---|---|--------|---|---|----------------|---|---|--------|---|---|---------|---|---|------------|---|---|--------|---|---|--------|---|---|--------|---|---|---------|---|
| M88  | Ieslēgt dzesēšanas šķidruma padevi caur darbvārpstu                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |   |           |   |   |        |   |   |                |   |   |        |   |   |         |   |   |            |   |   |        |   |   |        |   |   |        |   |   |         |   |
| M89  | Izslēgt dzesēšanas šķidruma padevi caur darbvārpstu                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |   |           |   |   |        |   |   |                |   |   |        |   |   |         |   |   |            |   |   |        |   |   |        |   |   |        |   |   |         |   |
| M95  | Ilga pauze                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |   |           |   |   |        |   |   |                |   |   |        |   |   |         |   |   |            |   |   |        |   |   |        |   |   |        |   |   |         |   |
| M96  | Pārejiet uz norādītās programmas atrašanās vietu, ja nav signāla                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |   |           |   |   |        |   |   |                |   |   |        |   |   |         |   |   |            |   |   |        |   |   |        |   |   |        |   |   |         |   |
| M97  | Atsauces uz lokālo apakšprogrammu                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |   |           |   |   |        |   |   |                |   |   |        |   |   |         |   |   |            |   |   |        |   |   |        |   |   |        |   |   |         |   |
| M98  | <p>Apakšprogrammas izsaukšana</p> <p><b>NC bloks:</b>M98 P34321</p> <p>Pamata programma izsauc apakšprogrammu 04321, piemēram, lai aktivizētu kontūras līnijas.</p> <p>Funkcija: Apakšprogrammai var būt līdz pat 999 atkārtojumi.</p> <p>Apakšprogramma var izsaukt citu apakšprogrammu.</p> <p>Apakšprogrammās var tikt ietvertas viena otrā līdz četriem līmeņiem.</p> <div><div><p><b>Galvenā programma</b></p><table><tr><td>●</td><td>N20 00001</td><td>●</td></tr><tr><td>●</td><td>N25...</td><td>●</td></tr><tr><td>●</td><td>N30 M98 P34321</td><td>●</td></tr><tr><td>●</td><td>N35...</td><td>●</td></tr><tr><td>●</td><td>N40 M30</td><td>●</td></tr></table></div><div><p><b>Apakšprogramma</b></p><table><tr><td>●</td><td>N20 043211</td><td>●</td></tr><tr><td>●</td><td>N25...</td><td>●</td></tr><tr><td>●</td><td>N30...</td><td>●</td></tr><tr><td>●</td><td>N35...</td><td>●</td></tr><tr><td>●</td><td>N40 M99</td><td>●</td></tr></table></div></div> <p>Funkcija: ja vienu un to pašu virsmu apstrādā daudzas reizes vai arī atkārtojas vienas un tās pašas darbības pie vienas un tās pašas virsmas apstrādes, tiek rakstītas atsevišķas programmas, kuras sauc par apakšprogrammām.</p> <div><div><p><b>M98 P<del>xxx</del> 000</b></p><p>↓</p><p><b>Apakšprogrammas atkārtojumu skaits</b></p></div><div><p>↓</p><p><b>Apakšprogrammas numurs</b></p></div></div> <p>Pēc apakšprogrammas funkcijas izpildes iekārta atgriežas galvenajā programmā</p> | ● | N20 00001 | ● | ● | N25... | ● | ● | N30 M98 P34321 | ● | ● | N35... | ● | ● | N40 M30 | ● | ● | N20 043211 | ● | ● | N25... | ● | ● | N30... | ● | ● | N35... | ● | ● | N40 M99 | ● |
| ●    | N20 00001                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | ● |           |   |   |        |   |   |                |   |   |        |   |   |         |   |   |            |   |   |        |   |   |        |   |   |        |   |   |         |   |
| ●    | N25...                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | ● |           |   |   |        |   |   |                |   |   |        |   |   |         |   |   |            |   |   |        |   |   |        |   |   |        |   |   |         |   |
| ●    | N30 M98 P34321                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | ● |           |   |   |        |   |   |                |   |   |        |   |   |         |   |   |            |   |   |        |   |   |        |   |   |        |   |   |         |   |
| ●    | N35...                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | ● |           |   |   |        |   |   |                |   |   |        |   |   |         |   |   |            |   |   |        |   |   |        |   |   |        |   |   |         |   |
| ●    | N40 M30                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | ● |           |   |   |        |   |   |                |   |   |        |   |   |         |   |   |            |   |   |        |   |   |        |   |   |        |   |   |         |   |
| ●    | N20 043211                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | ● |           |   |   |        |   |   |                |   |   |        |   |   |         |   |   |            |   |   |        |   |   |        |   |   |        |   |   |         |   |
| ●    | N25...                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | ● |           |   |   |        |   |   |                |   |   |        |   |   |         |   |   |            |   |   |        |   |   |        |   |   |        |   |   |         |   |
| ●    | N30...                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | ● |           |   |   |        |   |   |                |   |   |        |   |   |         |   |   |            |   |   |        |   |   |        |   |   |        |   |   |         |   |
| ●    | N35...                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | ● |           |   |   |        |   |   |                |   |   |        |   |   |         |   |   |            |   |   |        |   |   |        |   |   |        |   |   |         |   |
| ●    | N40 M99                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | ● |           |   |   |        |   |   |                |   |   |        |   |   |         |   |   |            |   |   |        |   |   |        |   |   |        |   |   |         |   |
| M99  | <p>Beigt apakšprogrammu un atgriezties galvenajā programmā</p> <p><b>NC bloks:</b>M99</p> <p>Funkcija: Šī komanda informē vadības sistēmu, ka izraudzītā apakšprogramma ir pabeigta</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |   |           |   |   |        |   |   |                |   |   |        |   |   |         |   |   |            |   |   |        |   |   |        |   |   |        |   |   |         |   |
| M101 | Eļļošanas šķidruma taupīšanas režīms iekšējiem cikliem                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |   |           |   |   |        |   |   |                |   |   |        |   |   |         |   |   |            |   |   |        |   |   |        |   |   |        |   |   |         |   |
| M102 | Eļļošanas šķidruma taupīšanas režīms ir aktivizēts                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |   |           |   |   |        |   |   |                |   |   |        |   |   |         |   |   |            |   |   |        |   |   |        |   |   |        |   |   |         |   |
| M103 | Eļļošanas šķidruma taupīšanas režīms tiek atcelts                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |   |           |   |   |        |   |   |                |   |   |        |   |   |         |   |   |            |   |   |        |   |   |        |   |   |        |   |   |         |   |
| M109 | Ievade ar tastatūru                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |   |           |   |   |        |   |   |                |   |   |        |   |   |         |   |   |            |   |   |        |   |   |        |   |   |        |   |   |         |   |

5.4. tabula. M kodi, kurus izmanto virpu un apstrādes centru programmēšanai

| M kods | Apraksts                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| M00    | <p>Obligāta programmas apstāšanās, neatgriežoties programmas sākumā<br/> <b>NC bloks:M0</b></p> <p>Funkcija: Ja M00 komanda ir programmas blokā, programmas izpilde tiek pārtraukta pēc konkrētās darbības pabeigšanas blokā.</p> <p>Visas darbības, piemēram, darbvārpstas rotācija vai dzesēšanas šķidruma padeve, tiek īslaicīgi pārtrauktas.</p> <p>Nospiežot pogu NC-start tiek turpināta programma.</p> <p>Šī funkcija ļauj iekārtas operatoram noņemt skaidas, manuāli mainīt instrumentu vai apmērīt sagatavi</p>                                                                                                  |
| M01    | <p>Programmas apturēšana ar apstiprinājumu<br/> <b>NC bloks:M1</b></p> <p>Funkcija: Ja vadības panelī ir iespējota palīgprogrammas apturēšanas funkcija, programmas izpilde tiek pārtraukta tāpat, kā ar komandu M00.</p> <p>Ja komanda M01 ir programmas blokā, visu darbību, piemēram, darbvārpstas rotācija vai dzesēšanas šķidruma padeve, izpilde tiek uz laiku pārtraukta pēc konkrētās darbības pabeigšanas blokā.</p> <p>Programmu var turpināt, nospiežot pogu NC-start.</p> <p>Ja palīgprogrammas apturēšanas funkcija ir atspējota, komandu M01 tiek ignorēta. Operācija turpinās ar pāreju uz nākamo bloku</p> |
| M02    | Pabeigt programmu, neatgriežoties tās sākumā                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| M03    |  <p>Darbvārpstas rotācija virzienā uz priekšu<br/> Ieslēgt darbvārpstas rotāciju pulksteņrādītāja virzienā<br/> <b>NC bloks:M3</b></p> <p>Funkcija: Rotācijas virzienu nosaka, skatoties no attiecīgās iekārtas darbvārpstas puses, proti, pozitīvajā Z ass virzienā</p>                                                                                                                                                                                                                                                                |

5.4. tabulas turpinājums

|     |                                                                                                                                                                                                                    |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| M04 |  <p>Darbvārpstas rotācija atpakaļgaitā. Ieslēgt vārpstas rotāciju pretēji pulksteņa rādītāja virzienam<br/><b>NC bloks:M4</b></p> |
| M05 | <p>Darbvārpstas apstādināšana<br/><b>NC bloks:M5</b></p>                                                                         |
| M08 | <p>Dzesēšana ar šķidrumu ieslēgta. Komanda M08 aktivizē dzesēšanas sūkni.<br/><b>NC bloks:M8</b></p> <p>Piezīme. Iekārtās ar otru dzesēšanas sūkni dzesēšana tiek aktivizēta ar komandu M07</p>                    |
| M09 | <p>Dzesēšana izslēgta. M09 komanda deaktivizē dzesēšanas sūkni.<br/><b>NC bloks:M9</b></p>                                                                                                                         |
| M10 | Saspiest spīļpatronas spīles                                                                                                                                                                                       |
| M11 | Atlaist spīļpatronas spīles                                                                                                                                                                                        |
| M12 | Ieslēgt gaisa sprauslu                                                                                                                                                                                             |
| M13 | Izslēgt gaisa sprauslu                                                                                                                                                                                             |
| M14 | Ieslēgt galvenās darbvārpstas bremzi                                                                                                                                                                               |
| M15 | Atlaist galvenās darbvārpstas bremzi                                                                                                                                                                               |
| M17 | Instrumenta turētāja rotācija uz priekšu                                                                                                                                                                           |
| M18 | Instrumenta turētāja rotācija atpakaļ virzienā.                                                                                                                                                                    |

5.4. tabulas turpinājums

|             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| M19         | Darbvārpstas leņķiskā orientācija                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| M21         | Aizmugures balsta virzība uz priekšu                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| M22         | Aizmugures balsta kustība atpakaļ virzienā                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| M23         | Vītņu griešana                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| M24         | Atcelt vītnes griešanu                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| M21-<br>M28 | Kodi, kas aktivizē papildus funkcijas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| M30         | <p>Pabeigt programmu un atgriezties pirmajā rindā</p> <p><b>NC bloks:M30</b></p> <p>Funkcija: Šī komanda informē vadības sistēmu, ka izraudzītā programma ir pabeigta.</p> <p>Darbvārpsta un dzesēšanas sūknis tiek apturēts un tiek pārtraukts automātiskais darbības režīms.</p> <p>Komanda M30 atgriež programmas sākumā. Komandai M02 ir tāda pati funkcija, kā komandai M30</p> |
| M31         | Ieslēgt skaidu konveijeru                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| M33         | Apturēt skaidu konveijeru                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| M36         | Detaļu ķērājs pacelts                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| M37         | Detaļu ķērājs nolaists                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| M38         | Ierobežojums attiecībā uz darbvārpstas rotācijas izmaiņām                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| M39         | Atcelt darbvārpstas rotācijas izmaiņu ierobežojumus                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| M41         | Pazeminātā darbvārpstas pārnese ieslēgšana                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| M42         | Ieslēgt darbvārpstas galveno pārnese                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| M43         | Atlaist instrumenta turētāju                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

#### 5.4. tabulas turpinājums

|         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| M44     | Turētāja bloķēšana                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| M51-M68 | Kodi, kas aktivizē papildus funkcijas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| M76     | Informācija ekrānā nav atjaunināta                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| M77     | Atjaunināt ekrānā redzamo informāciju                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| M78     | Paziņojums par apdraudējumu, ja koda G31 laikā tiek saņemts signāls no mērīšanas tausta                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| M79     | Paziņojums par apdraudējumu, ja koda G31 laikā netiek saņemts signāls no mērīšanas tausta                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| M85     | Iekārtas drošības aizsarga atvēršana                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| M86     | Iekārtas drošības aizsarga aizvēršana                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| M88     | Ieslēgt augstspiediena dzesēšanas šķidruma padevi                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| M89     | Izslēgt augstspiediena dzesēšanas šķidruma padevi                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| M93/M94 | Kodus izmanto, lai strādātu ar HAAS stieņu padeves ierīci                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| M95     | Ilga pauze                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| M96     | Pāriet uz norādītās programmas atrašanās vietu, ja nav signāla                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| M97     | Atsauce uz lokālo apakšprogrammu                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| M98     | <p>Apakšprogrammas izsaukšana</p> <p><b>NC bloks:</b>M98 P1234</p> <p>Pamata programma izsauc apakšprogrammu O1234, piemēram, lai aktivizētu kontūras līnijas.</p> <p>Funkcija: ja vienu un to pašu virsmu apstrādā daudzas reizes vai arī atkārtojas vienas un tās pašas darbības pie vienas un tās pašas virsmas apstrādes, tiek rakstītas atsevišķas programmas, kuras sauc par apakšprogrammām.</p> <p>Pēc apakšprogrammas funkcijas izpildes iekārta atgriežas galvenajā programmā</p> |

#### 5.4. tabulas turpinājums

|               |                                                                                                                                                                                  |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| M99           | Beigt apakšprogrammu un atgriezties galvenajā programmā<br><b>NC bloks:</b> M99<br>Funkcija: Šī komanda informē vadības sistēmu, ka izsauktā apakšprogramma ir pilnībā izpildīta |
| M104          | Izbīda instrumenta mērīšanas taustu                                                                                                                                              |
| M105          | Ievelk instrumenta mērīšanas taustu                                                                                                                                              |
| M109          | Ievade ar tastatūru                                                                                                                                                              |
| M119          | Papildus darbvārpstas leņķiskā orientācija                                                                                                                                       |
| M121-<br>M128 | Kodi, kas aktivizē papildus funkcijas                                                                                                                                            |
| M133          | Izmanto darbam ar rotējošiem instrumentiem - ieslēgt instrumenta darbvārpstas rotāciju virzienā uz priekšu                                                                       |
| M134          | Izmanto darbam ar rotējošiem instrumentiem - ieslēgt instrumenta darbvārpstas rotāciju atpakaļ virzienā                                                                          |
| M135          | Izmanto darbam ar rotējošiem instrumentiem - apturēt instrumenta darbvārpstu                                                                                                     |
| M143          | Papildus darbvārpstas rotācija virzienā uz priekšu                                                                                                                               |
| M144          | Papildus darbvārpstas rotācija atpakaļ virzienā                                                                                                                                  |
| M145          | Apstādināt papildus darbvārpstu                                                                                                                                                  |
| M154          | Savienot darbvārpstu ar C vadāmās ass motoru                                                                                                                                     |
| M155          | Atvienot darbvārpstu no C vadāmās ass motora                                                                                                                                     |

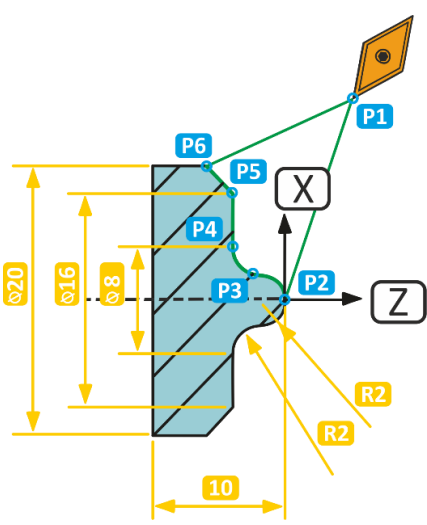
Tabulā ir ietverti galvenie M kodi, no kuriem lielākā daļa tiek izmantoti Fanuc, HAAS (ASV) virpošanas un frēzēšanas darbagaldos un apstrādes centra vadības programmās, kā arī programmēšanas sistēmās MTS (Mathematisch Technische Software-entwicklung GmbH, Vācija), kas paredzētas CNC iekārtu vadībai, kā arī citās līdzīgās vadības sistēmās. Ietverti arī kodi, kurus izmanto palīgierīcēm un CNC iekārtu ierīcēm (piemēram, stieņu padeve, sagataves turētājs, paliktņu mainītājs utt.). Ja CNC iekārta nav aprīkota ar šādām ierīcēm, atbilstošie kodi (ja tie ir ievadīti programmā) netiks

izpildīti.

#### 5.1.4. G koda piemēri kontūras apstrādes programmām

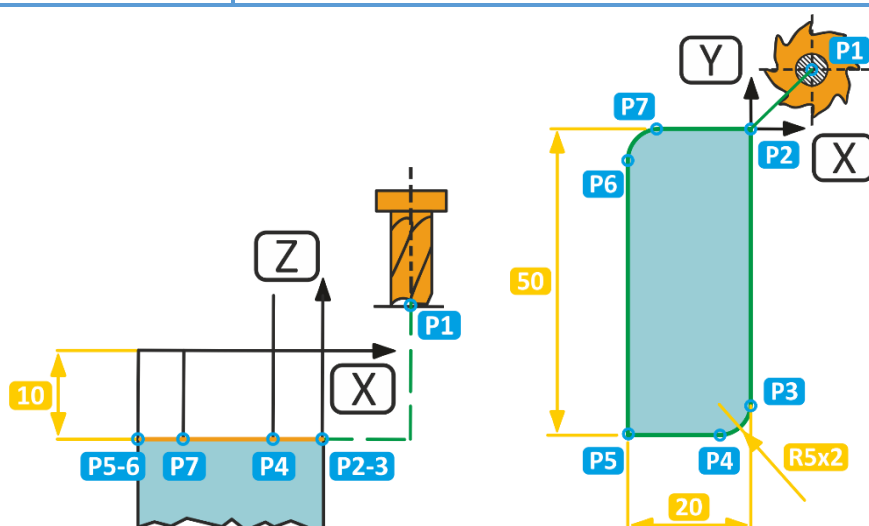
5.5. un 5.6. tabulās ir sniegti sagataves kontūru virpošanas un frēzēšanas piemēri, izmantojot G kodus.

5.5. tabula. Virpošanas piemērs

| Mehāniskās<br>elements                                                             | apstrādes | Apstrādājamās sagataves kontūras virpošana                   |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------------------------------------------|
|  |           |                                                              |
| Tehnoloģisko<br>secīgs apraksts G kodos                                            | darbību   | Tehnoloģisko darbību apraksta skaidrojums                    |
| G0 X15 Z15                                                                         |           | Instrumenta izejas punkts P1                                 |
| G1 X0 Z0                                                                           |           | Instrumentu tuvojas kontūras sākuma punktam P2               |
| G3 X2 Z-2 R2                                                                       |           | Kontūras ārējā rādiusa apstrāde līdz punktam P3              |
| G2 X4 Z-4 R2                                                                       |           | Iekšējā rādiusa apstrāde līdz punktam P4                     |
| G1 X8                                                                              |           | Gala virsmas apstrāde pa taisni līdz punktam P5              |
| G1 X10 Z-6                                                                         |           | Kontūras apstrāde pa taisni līdz punktam P6                  |
| G0 X15 Z15                                                                         |           | Instrumenta atvešana no kontūras atpakaļ uz izejas punktu P1 |

Piezīme: Kontūra ir aprakstīta bez vajadzīgās rādiusa kompensācijas.

5.6. tabula. Frēzēšanas piemērs

|                                                                                    |                                                                                                |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mehāniskās apstrādes elements                                                      | Frēzētas sagataves kontūra                                                                     |
|  |                                                                                                |
| Tehnoloģisko darbību secīgs apraksts G kodos                                       | Tehnoloģisko darbību apraksta skaidrojums                                                      |
| G0 X10 Y10 Z5                                                                      | Instrumenta izejas punkts P1                                                                   |
| G0 Z-10                                                                            | Instrumentu tuvojās kontūrai Z ass virzienā (vertikāli) – ātrā padeve                          |
| G1 X0 Y0                                                                           | Instrumentu tuvojās kontūrai X un Y asu virzienā (punkts P2) – darba padeve                    |
| G1 Y-45                                                                            | Kontūras labās puses apstrāde uz Y ass, līdz punktam P3                                        |
| G2 X-5 Y-50 R5                                                                     | Kontūras apakšējā labā rādiusa frēzēšana pulksteņa rādītāja kustības virzienā, līdz punktam P4 |
| G1 X-20                                                                            | Kontūras apakšējās daļas frēzēšana pa taisni uz X ass līdz punktam P5                          |
| G1 Y-5                                                                             | Kontūras kreisās puses frēzēšana līdz punktam P6                                               |
| G2 X-15 Y0 R5                                                                      | Kontūras augšējā kreisā rādiusa frēzēšana pulksteņrādītāja virzienā līdz punktam P7            |



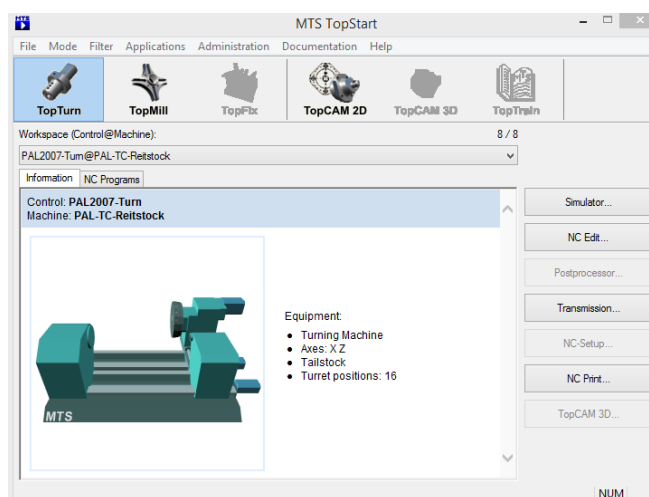
|            |                                                                          |
|------------|--------------------------------------------------------------------------|
| G1 X0      | Kontūras augšējās daļas frēzēšana uz X ass līdz punktam P2               |
| G0 X10 Y10 | Instrumenta atvešana no kontūras līdz instrumenta izejas punktam P1      |
| G0 Z5      | Instrumenta atvilkšana līdz sākuma punktam P1 Z ass virzienā (vertikāli) |

Piezīme: Kontūra ir aprakstīta bez vajadzīgās rādiusa kompensācijas.

## 5.2. Programmas izstrādes pamatprincipi

MTS (Mathematisch Technische Software - Entwicklung, GmbH, Vācija) programmēšanas komplekts ir paredzēts, lai projektētu griešanas vai frēzēšanas simulācijas programmas personālajā datorā un pēc tam to pārvietotu CNC iekārtās faktiskās ražošanas laikā.

MTS programma tiek palaista no MTS\MTS CNC sistēmas 7.5\ vides, izvēloties palaišanas failu MtsTopStart.exe vai noklikšķinot uz ikonas . Palaižot šo failu, tiek atvērts programmas logs, kas parādīts 5.4. attēlā.



5.4. attēls. MTS programmas sākuma logs

Augšējā izvēlnē šis sākuma logs parāda programmatūras pakotņu izvēli: TopTurn, TopMill, TopFix, TopCAM 2D, TopCAM 3D un TopTrain.

**TopTurn** ir programmatūras pakotne, kas izmanto PAL2009, UTC, Fanuc, Mazak, Siemens un citas ISO programmēšanas valodas, un ir paredzēta apstrādes programmēšanai ar CNC virpām, ar iespēju pārvietot sagataves uz citu vārpstu, aktīvo instrumentu izmantošanu gala apstrādei, cilindriskām un izliektām virsmām. Turklāt

pakotni var izmantot, lai rakstītu apstrādes programmas darba apstākļos, programmējot vairāku staciju turētājus dažādām CNC vadības ierīcēm, simulējot sagatavju apstrādi, attēlojot apstrādes un instrumentu kustības un pārvietošanos 3D telpā.

**TopMill** ir programmatūras pakotne, kas izmanto PAL2009, UTC, Fanuc, Heidenhain, Siemens un citas ISO programmēšanas valodas, un ir paredzēta, lai programmētu apstrādi CNC frēzēšanas iekārtās, izmantojot daudzfunkcionālu sagataves frēzēšanu. Turklāt pakotni var izmantot, lai rakstītu metālapstrādes vai kokapstrādes programmas CNC frēzēšanas iekārtām darba apstākļos, kā arī sagataves apstrādes simulāciju 3D telpā.

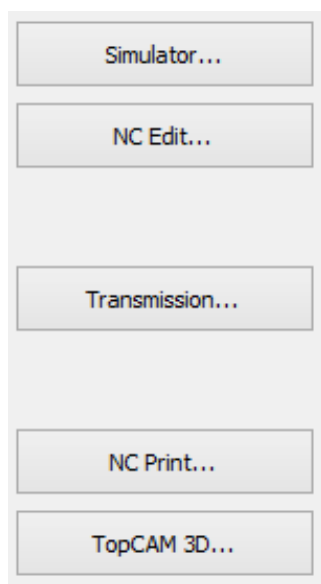
**TopTrain** satur pamatus darbam ar CNC iekārtām (vispārīga informācija par apstrādi, griešanas un frēzēšanas pamati).

**TopFix** satur darba parametrus, instrumentus, instrumentu izvēli, instrumentu korekcijas vērtības, sagataves iestiprināšanu un sagataves pozīcijas nulles punktu.

**TopCAM2D** ir programmatūras pakotne, kas paredzēta sagatavošanai - tehnisko rasējumu izgatavošana un izskaidrošana, CAM izmantošana simetrisku rotējošu ķermeņu apstrādei, izmantojot sagataves un aktīvos instrumentus, CAM 2½D izmantošana frēzēšanai.

**TopCAM 3D** ir 3D-CAM programmatūras pakotne daudzpusējai frēzēšanai ar atpazīšanas funkciju.

Nospiežot atbilstošo pogu MTS programmas loga labajā pusē (5.5. attēls), var izvēlēties šādas funkcijas:



*Simulator* - simulācija;

*NC Edit* - rediģēt datorprogrammu;

*Transmission* - pārsūtīšana, nosūtīšana;

*NC Print* - izdrukāt datora programmu

*NC-Setup* - datora iestatījumi;

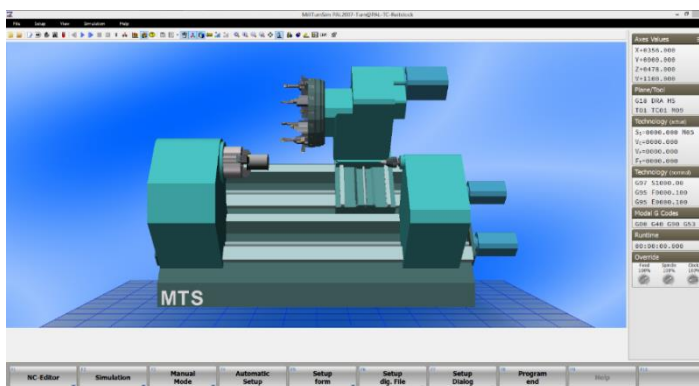
5.5. attēls. MTS programmas loga labā malā

### 5.2.1. MTS programmas virpošanas procesam

Lai sāktu strādāt virpošanas vidē, galvenajā programmas logā ar kreiso klikšķi uzklikšķiniet uz pogas TopTurn (virpošana), lai palaistu MTS programmu standarta Windows vidē (5.4. attēls).

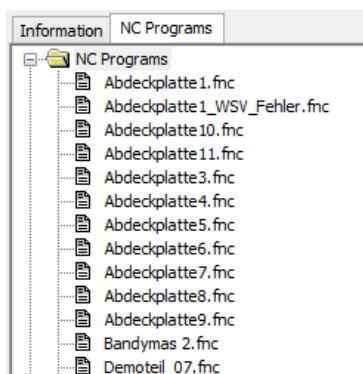
Pēc tam darbplūsmas (darba vides) funkcija ļauj izvēlēties vienu no darba vidēm, kurās izmanto PAL, FANUC vai SINUMERIC programmēšanas valodas.

Pēc darba vides izvēles apakšā tiek parādīts informācijas logs (Information) ar informāciju par izvēlēto darba vidi, t.i. iekārtu un aprīkojumu. Pēc tam, noklikšķinot uz Simulator (simulācijas) pogas, var sākt izstrādāt jaunu programmu, t.i. tiek atvērts 3D iekārtas simulatora logs (5.6. attēls).



5.6. attēls. 3D virpas simulācijas logs

Lai atvērtu vai rediģētu jau izveidotu programmu, nospiediet pogu **NC Programs** (**Ciparu vadības programmas**). Pēc tā nospiešanas tiek atvērts esošo programmu saraksts (5.7. attēls).



5.7. attēls. MTS programmu saraksts

**3D simulācijas loga** augšējā izvēlņu josla sastāv no (5.8. attēls):



5.8. attēls. Izvēlņu josla

 Atvērt esošu NC programmu,  izstrādāt jaunu NC programmu,  rīku komplekts.

 Palaist NC simulāciju, bloķēšanas režīmu vai atgriezties iepriekšējā blokā.

Citu pogu funkcijas ir izskaidrotas 5.7. tabulā un caur darbu secību.

Simulācijas laikā navigācijai (funkciju vadībai) tiek izmantota pele.

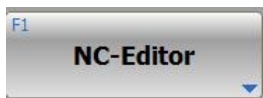
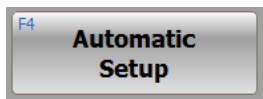
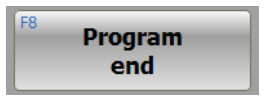
CNC funkciju pogas (5.9. attēls) ekrāna apakšējā daļā ļauj strādāt vairākos darba režīmos.



5.9. attēls. Funkcijas pogas ekrāna apakšējā daļā

5.7. tabulā ir norādīti pogu nosaukumi un simbolu nozīme gan apakšējā, gan augšējā ekrāna izvēlnēs.

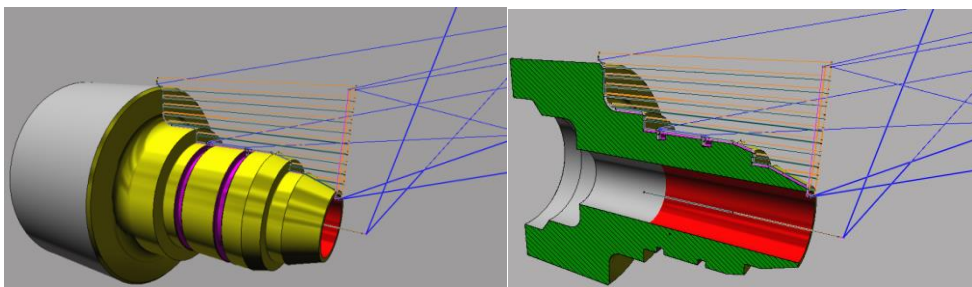
5.7. tabula. Pogu nosaukumu un simbolu nozīme augšējā un apakšējā izvēlnē

| Apakšējās izvēlnes pogas                                                            | Īss apraksts / zīmes vērtība | Augšējās izvēlnes pogas                                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                                                                   | 2                            | 3                                                                                    |
|   | NC redaktors                 |   |
|  | Simulācija                   |  |
|  | Manuālais režīms             |  |
|  | Automātiska iestatīšana      |                                                                                      |
|  | Iestatīšanas dialogs         |   |
|  | Beigt programmu              |                                                                                      |

Augšējās izvēlnes vizuālā režīma pogas ir:  2D attēls (iekārta + sagatave);  3D sagataves attēls;  3D skats (iekārta + sagatave);  sagataves daļa.

Programma var izmantot šādus simulācijas režīmus:

1. **Automātiskais režīms.** Veic apstrādes procesu nepārtraukti. Tiek simulēts faktiskais apstrādes ilgums.
2. **Interaktīvs režīms.** Var tikt izmantots, lai rakstītu, izstrādātu, rediģētu un palaistu NC programmu dialoga režīmā. Simulācijas laikā NC programma tiek konsekventi izpildīta, bloks pēc bloka. Programmu var pielāgot jebkurā laikā.
3. **Viena bloka režīms.** Funkcija <Single Block> tiek izmantota automātiskajā režīmā. Tai nepieciešams, lai lietotājs individuāli apstiprina, ka katrs **NC bloks** vai ieraksts tiek izpildīts.
4. **Instrumentu trajektorijas izsekošana.** Instrumentu kustība, kas aprakstīta atlasītajā vai jaunizstrādātajā NC programmā, var tikt parādīta, izmantojot funkciju <Tool Path> . Kad programma tiek palaista, instrumenta gala katra ieprogrammētā kustība tiek grafiski attēlota 3D vidē, un katrs rīks tiek attēlots savādākā krāsā (5.10. attēls).

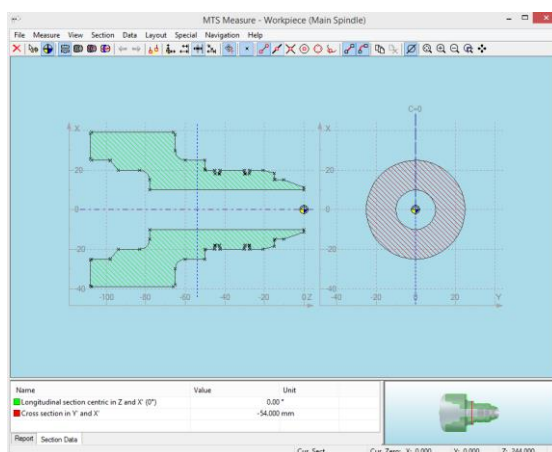


5.10. attēls. Instrumenta kustības grafiskais attēlojums

Precīzi izsekotā programmētā instrumenta kustības ceļa, instrumenta kustības un atbilstošās NC programmas kompensācijas izvērtējums ļauj ievērojami samazināt faktisko ražošanas laiku.

## 5. Mērīšana un testēšana.

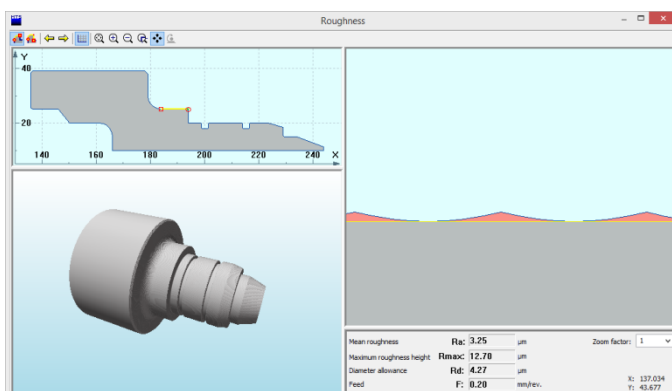
Neatkarīgi no izvēlētajā simulācijas režīma un izpildītā NC koda, funkcija <Measure/3D> (Mērīšana/3D) var tikt aktivizēta jebkurā brīdī ar pogas klikšķi  (augšējā izvēlnē), un var redzēt un pārbaudīt faktisko sagataves stāvokli. Poga  <Measurement/3D> dod piekļuvi simulācijas funkcijām, kas saistītas ar kvalitātes analīzi un darba pārbaudi (5.11. attēls).



5.11. attēls. Mērīšanas un testēšanas logs

## 6. Virsmas raupjums

Virsmas raupjuma analīze tiek veikta, nospiežot pogu  augšējā izvēlnē. Atveras raupjuma iestatīšanas logs (5.12. attēls).



5.12. attēls. Raupjuma iestatīšanas logs

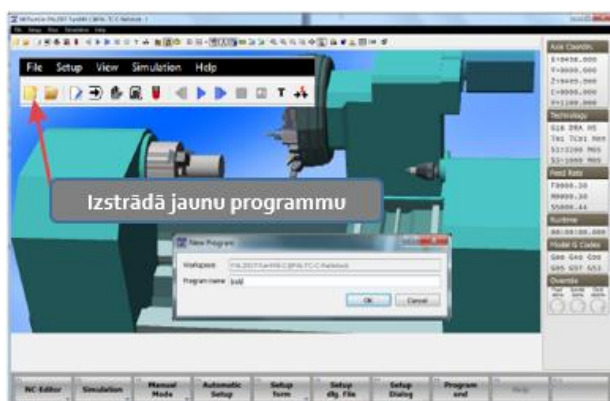
Raupjuma iestatīšanas logs dod iespēju izmērīt virsmas raupjumu atsevišķai sagataves daļai (5.12. attēls, augšā pa kreisi) vai visai sagataves virsmai.

Piezīme: mācību nolūkos vislabāk ir sākt darbu automātiskajā režīmā. Šis režīms dod iespēju iepazīties ar dažādām simulācijas metodēm.

**Programmas izstrāde** vai esošas programmas parametru rediģēšana notiek šādā secībā.

### I. Jaunas programmas izstrāde

Tiek izvēlēta izvēlnes poga , kas atrodas augšējā izvēlnē, kā parādīts 5.13. attēlā.

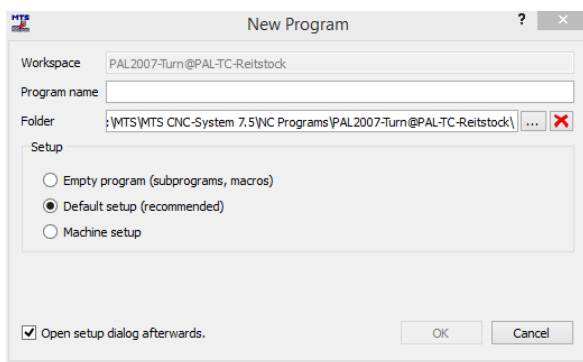


5.13. attēls. Jaunas programmas logs

Jaunās programmas nosaukums, piemēram, 1. tests, tiek ierakstīts rindā “Programmas nosaukums” un ieraksts tiek apstiprināts ar pogu OK.

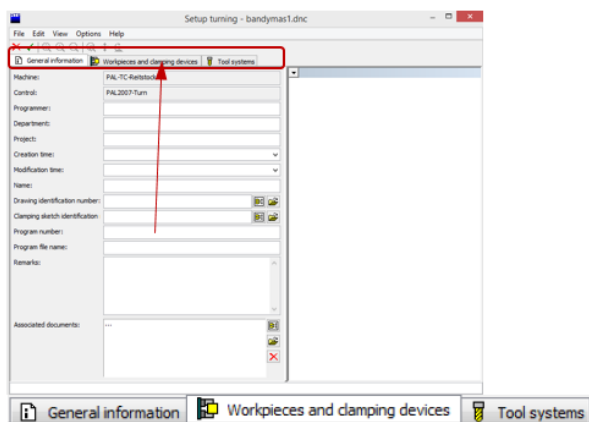
Piezīme: jauna NC programma var tikt izveidota tikai šajā dialoga lodziņā.

Noklikšķinot uz pogas jaunas programmas izveidei  tiek atvērts jauns dialoga logs (5.14. attēls).



5.14. attēls. Jaunas programmas logs

Noklikšķinot uz pogas OK, tiks atvērts dialoglodziņš ar griešanas iestatījumiem, tā augšējā izvēlnē būs pieejamas šādas iespējas: Vispārīga informācija, sagataves un stiprinājumi, un instrumentu sistēmas (5.15. attēls).

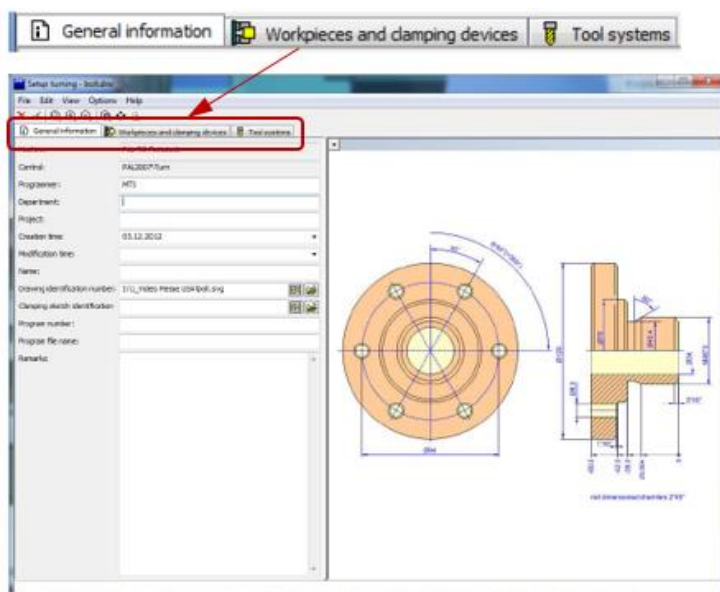


5.15. attēls. Iestatījumu loga augšējā

izvēlnē



Izvēloties funkciju  General information ar peli augšējā izvēlnē var ievadīt šādus datus (5.16. attēls):



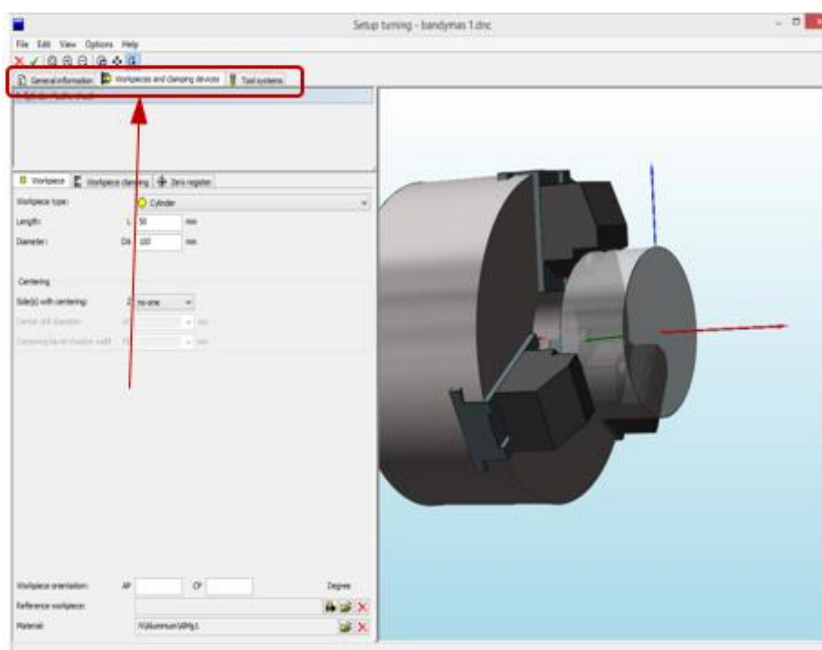
- programmētājs;
- nodaļa;
- projekts;
- sagataves rasējuma identifikācijas numurs;
- programmas numurs;
- programmas faila nosaukums utt.

Piezīme: izstrādājot vai rediģējot programmu, iepriekš minēto datu ievadišana nav obligāta.



### III. Sagataves un iespīlēšanas ierīces

#### Sagataves informācija



5.17. attēls. Sagataves informācijas logs

Izmantojot peles taustiņu, izvēlieties funkciju  **Workpieces and clamping devices** no izvēlnes ekrāna augšdaļā, lai ievadītu informāciju par sagatavi un iespīlēšanas ierīci (5.17. attēls).

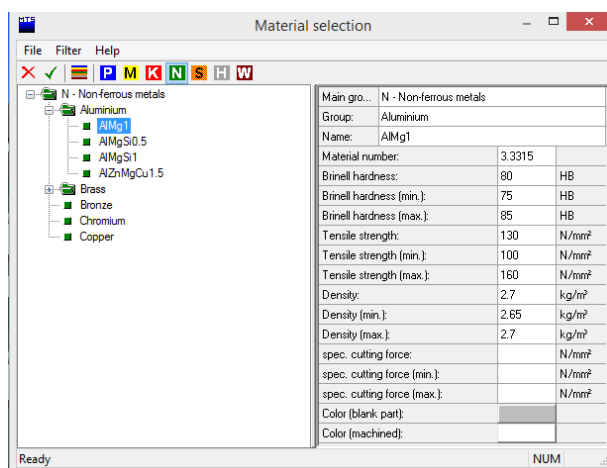
Nospiediet pogu  **Workpiece**, lai iestatītu sagataves izmērus - garumu un diametru.

|    |     |    |
|----|-----|----|
| L  | 51  | mm |
| DA | 120 | mm |

Piezīme: šie dati jāievada, lietojot standarta sagataves formas.

Sagataves informācijas logā redzamo citu parametru ievadīšana nav obligāta. Tie ir: atsauces (references) sagatave, materiāls, kura izvēle nosaka apstrādājamās detaļas attēla krāsu.

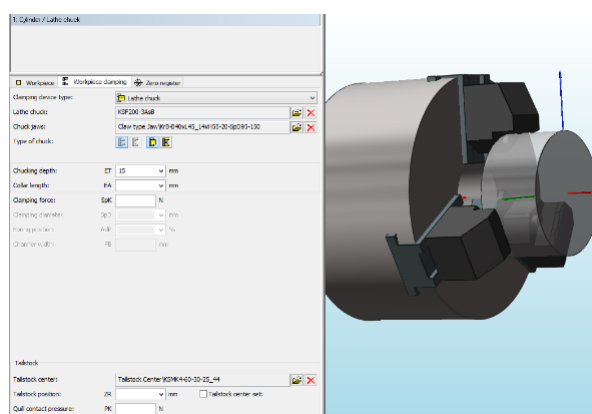
Lai izvēlētos materiālu, nospiediet pogu . Atveras sagataves materiāla izvēles ekrāns (5.18. attēls), kurā pie sagataves materiāla izvēles tiek parādīti sagataves parametri (cietība, blīvums, stiepes izturība, utt.). Ja sagataves materiāla īpašības netiek atlasītas, programmēšanas laikā tiek izmantots MTS programmas pēc noklusējuma izvēlētais materiāls.



5.18. attēls. Sagataves materiālu izvēles logs

### Iespīlēšanas ierīces (informācija par satvērējiem/turētājiem, patronām un sagatavi)

Funkcijas izvēle “Sagataves fiksēšana” un pogas nospiešana **Workpiece clamping** atver logu stiprināšanas parametru izvēlei (5.19. attēls). Šeit jūs varat izvēlēties iespīlēšanas ierīci: virpas patrona (piemēram, ar 2, 3 vai 4 žokļiem), spīļcangas stiprinājumu utt. Turklāt jūs varat izvēlēties stiprinājuma izmēru un veidu, kā arī formu.

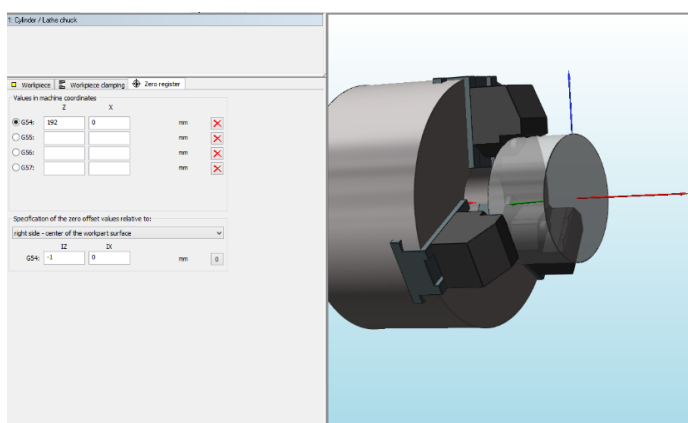


5.19. attēls. Sagataves stiprināšanas parametru logs

Piezīme: izvēloties stiprinājumu, obligāti jāievada parametrs, kas norāda apstrādājamās detaļas iestiprināšanas dziļumu: **Chucking depth:** ET 15 mm.

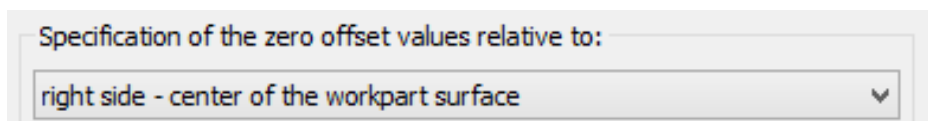
### Sagataves nulles punktu reģistrēšana

Nulles punktu reģistrācijas funkcijas izvēle ( **Zero register**) ļauj noteikt sagataves nulles punktu attiecībā pret iekārtas koordinātu sistēmu (5.20. attēls). Šim nolūkam parasti tiek izmantots G54 kods. Tāpat ir iespējams iestatīt 2., 3. un 4. sagataves koordinātu sistēmu sākumu, attiecīgi izmantojot G55, G56 un G57 kodus.



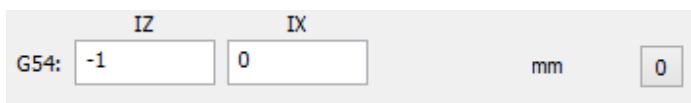
5.20. attēls. Nulles reģistrācijas iestatīšanas logs

Sagataves nulles punkta pozīcija tiek izvēlēta no nulles punkta kompensāciju specifikāciju saraksta, kas parādīts 5.21. attēlā. Pieejamās iespējas: iekārtas koordinātes; sagataves centrs; kreisajā pusē no sagataves virsmas centra; labajā pusē no sagataves virsmas centra.



5.21. attēls. Sagataves nulles pozīcija

Izvēloties no saraksta nulles punkta pozīciju uz sagataves, obligāti jāievada parametrs IZ, piemēram, IZ- 1 (5.22. attēls).



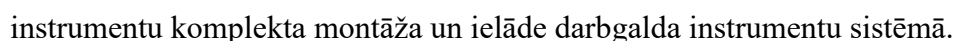
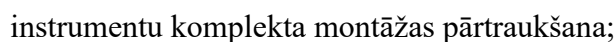
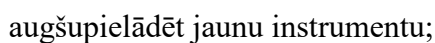
5.22. attēls. IZ parametru ievade

IZ -1 apzīmējums nozīmē, ka nulles punkts tiek pārvietots par 1 milimetru Z virzienā pret apstrādājamo detaļu (uz materiālu).

#### IV. Instrumenta izvēle (iestatījums pēc noklusējuma)

Izvēloties instrumentu sistēmas funkcijas  **Tool systems** augšējā ekrāna izvēlnē tiek atvērts logs ar automātiski piedāvātiem programmēšanas rīkiem (5.23. attēls).





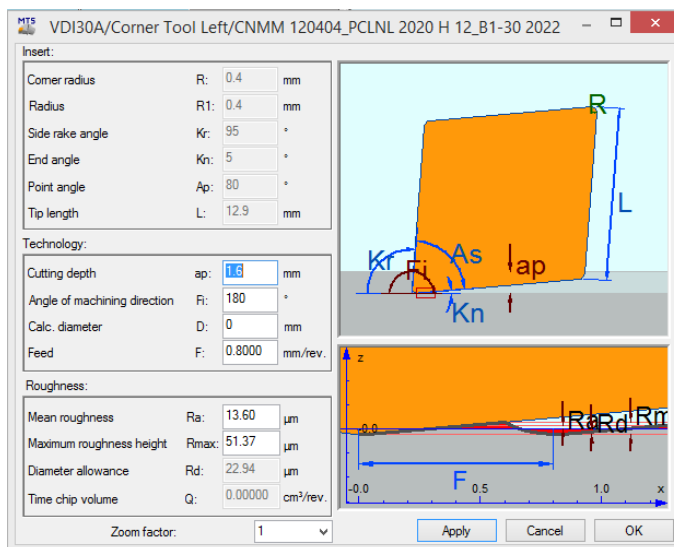
Lai pievienotu jaunu rīku, vispirms noņemiet esošo rīku, izmantojot pogu  . Jūs variet izvēlēties jaunu instrumentu grupu, noklikšķinot uz pogas  (iestatītā kategorija). Nospiežot to, tiek atvērta esošo instrumentu saraksts (5.26. attēls).



Noklikšķiniet uz vēlamās rīku grupas pogas , un atvērsies logs ar piedāvātā instrumenta tipu (5.27. attēls).



nospiežot  pogas augšējā izvēlnē. Šeit, saskaņā ar izvēlēto apstrādes dziļumu  $ap$  un padevi  $s$  (padeve programmā tiek atzīmēta ar burtu  $F$ ), ir iespējams aprēķināt sagaidāmo apstrādes raupjumu (5.29. attēls).



5.29. attēls. Apstrādātās virsmas raupjuma novērtējuma logs

## Aktīvā instrumentu komplekta izveide

Atjaunojot instrumenta pozīciju T1, vajadzības gadījumā var mainīt arī citu instrumentu pozīcijas analogā secībā.

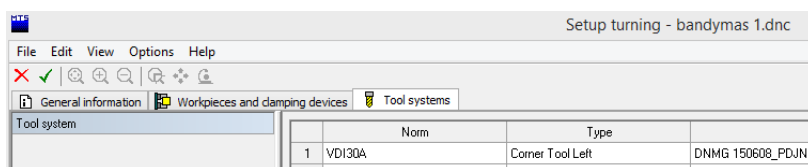
Lai pārbaudītu informāciju par instrumenta pozīciju magazīnā, nospiediet pogu .

Lai izmantotu jaunizveidotu instrumentu komplektu iekārtā, izvēle jāapstiprina ar pogu .

Piezīme: ir dažādas iespējas, kā iestatīt instrumentu komplektu. Izstrādājot jaunu programmu, visu instrumentu pozīcijas instrumentu komplektā tiek automātiski izdzēstas, bet ar  pogu sagatavotos instrumentu komplektus var saglabāt un atkārtoti atvērt, tad, kad ir izveidota jauna NC programma vai tiek rediģēta esošā.

## V. Iestatīšanas dialoga pabeigšana

Kad pamata iestatījumi ir pabeigti, obligāti saglabājiet tos un izejiet no iestatījumu loga, noklikšķinot uz  pogas (5.30.attēls).

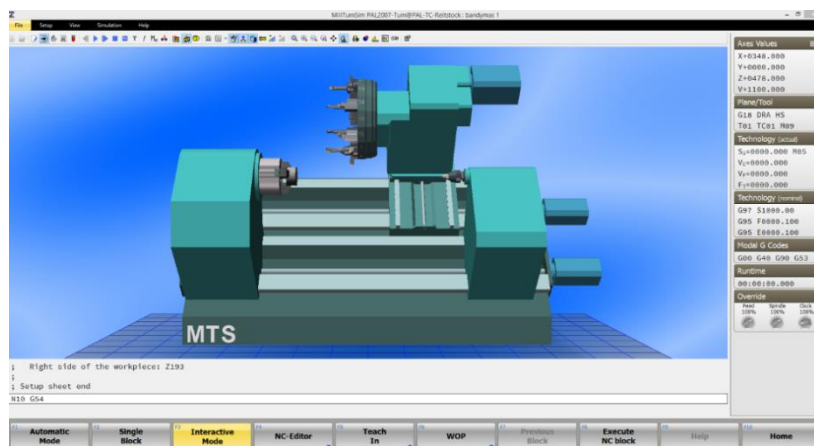


5.30. attēls. Iestatīšanas dialoga logs

Pretējā gadījumā, noklikšķinot uz pogas  instrumentu komplekta izmaiņas tiks ignorētas.

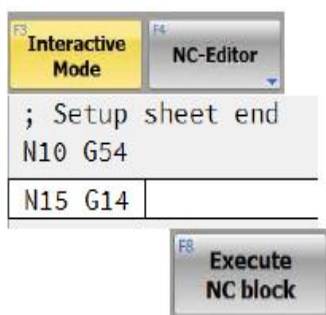
## VI. NC programmas izstrāde interaktīvās simulācijas režīmā

Iestatījumu izvēles apstiprināšanas režīms atver logu, kas parādīts 5.31. attēlā.

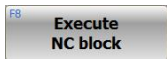


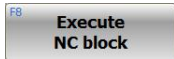
5.31. attēls. NC programmas izstrādes logs

Noklikšķinot uz pogas , vai funkcionālās poga F4 (NC-Editor) tiek uzsākta NC programmas izstrāde. NC programma tiek veidota, izmantojot G un M kodus (5.32. attēls).



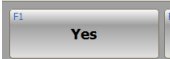
5.32. attēls. NC programmas izveide

Pēc NC bloka uzrakstīšanas tas tiek izpildīts, noklikšķinot uz pogas .

Kad NC programma ir pabeigta, to saglabā, nospiežot pogu  vai

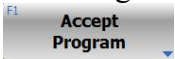


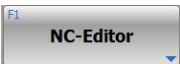
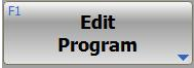
Lai pabeigtu NC programmas simulāciju, nospiediet  pogu, lai atgrieztos

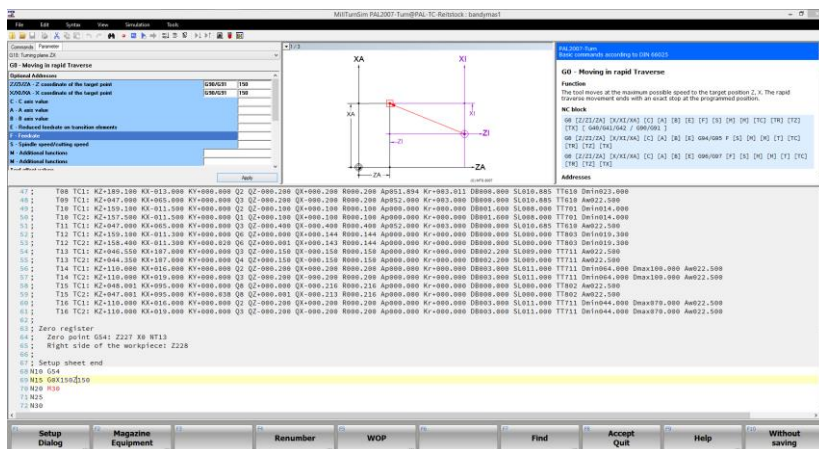
sākotnējā MTS programmas logā, nospiediet  pogu.



## VII. NC programmas rediģēšana

Lai rediģētu esošo NC programmu, nospiediet  pogu augšējā izvēlnē vai  apakšējā izvēlnē.

Izstrādājot NC programmu, pogas  nospiešana maina apakšējo izvēlni joslu, pēc tam, nospiežot pogu , tiek atvērts interaktīvās programmēšanas logs (5.33. attēls), kur katra bloka parametru detalizētu skaidrojumu var redzēt, nospiežot programmas bloku.



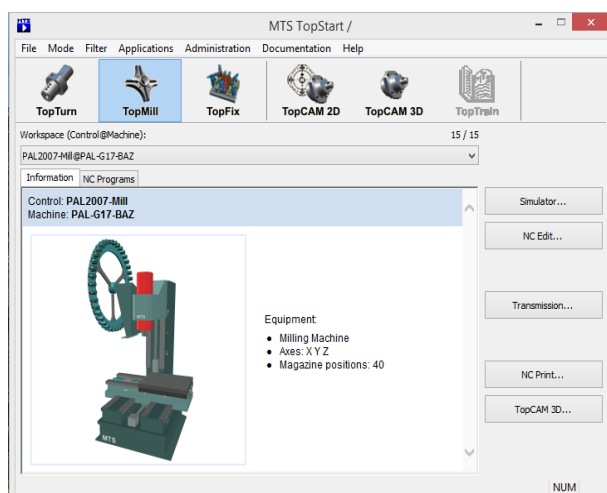
5.33. attēls. Programmas rediģēšanas logs

Ja NC programmā ir veiktas kādas izmaiņas, to saglabāšanai pie programmas rediģēšanas loga aizvēršanas, ir jāpiespiež pogas .

Ja NC programmā nav veiktas izmaiņas, noklikšķinot  pogu iziet no redaktora loga.

### 5.2.2. MTS programmas frēzēšanas procesam

Lai sāktu strādāt frēzēšanas vidē, galvenajā programmas logā ar kreiso klikšķi uzklikšķiniet uz pogas TopMill (frēzēšana), palaižot MTS programmu standarta Windows vidē (5.34. attēls).

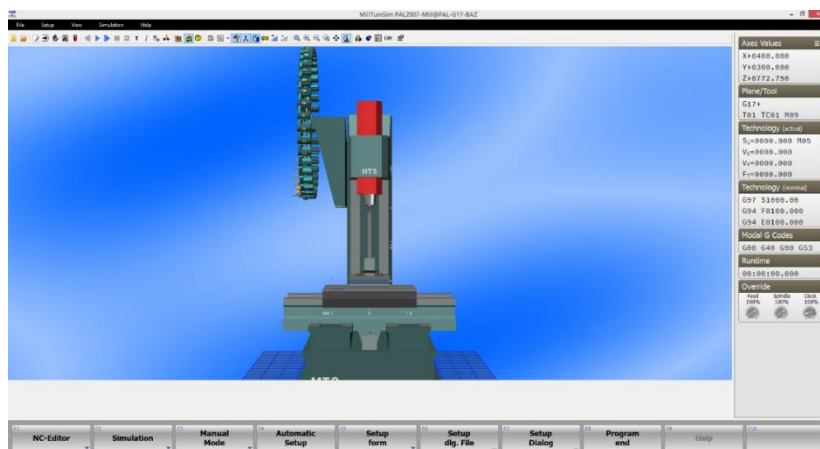


5.34. attēls. MTS frēzēšanas programmas sākuma logs

Pēc tam darbvieta (darba vide) ļauj izvēlēties vienu no darba vidēm, izmantojot PAL, FANUC vai SINUMERIC programmēšanas valodas.



Pēc darba vides izvēles apakšā ir redzams informācijas logs (Information) ar informāciju par izvēlēto darba vidi, t.i. iekārtu un aprīkojumu. Pēc tam, noklikšķinot uz Simulator (simulācijas) pogas, var sākt izstrādāt jaunu programmu, t.i., tiek atvērts 3D iekārtas simulācijas logs (5.35. attēls).



5.35. attēls. 3D frēzēšanas modelēšanas logs

### 3D frēzēšanas iekārtas simulācijas logs

3D simulācijas loga augšējā izvēlņu josla sastāv no:

 Atvērt esošo NC programmu,  izstrādāt jaunu NC programmu,  instrumentu komplekts.

 Uzsākt NC programmas simulāciju, bloku režīmu vai atgriezties iepriekšējā

blokā. Citu pogu funkcijas ir izskaidrotas 5.7. tabulā un darba plūsmā.

Simulācijas laikā navigācijai izmanto peli (kā paskaidrots sadaļā par griešanu).

CNC funkciju pogas ekrāna apakšdaļā ļauj strādāt vairākos darba režīmos (5.36. attēls).



5.36. attēls. Funkcionālās pogas

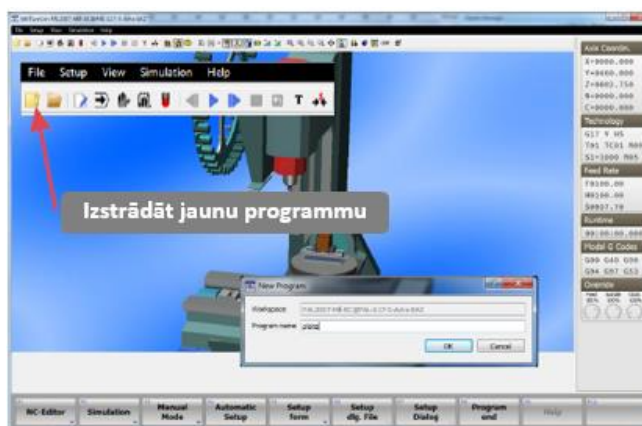
Apraksti un zīmju nozīme augšējās un apakšējās izvēlnes pogām ir norādītas 5.7. tabulā

## Programmas izstrāde

Jaunas NC programmas izstrāde vai esošās programmas parametru rediģēšana notiek tālāk norādītajā secībā.

### I. Jaunas programmas iesākšana

Augšējā ekrāna izvēlnē ir izvēlēta poga (attēls 5.37).

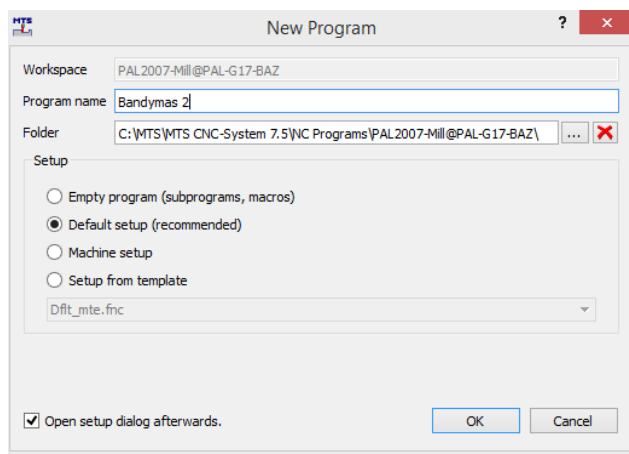


5.37. attēls. Logs jaunas NC programmas izveidei

Noklikšķinot uz pogas jaunas programmas izveidei  tiek atvērts jauns dialoga logs (5.38. attēls).

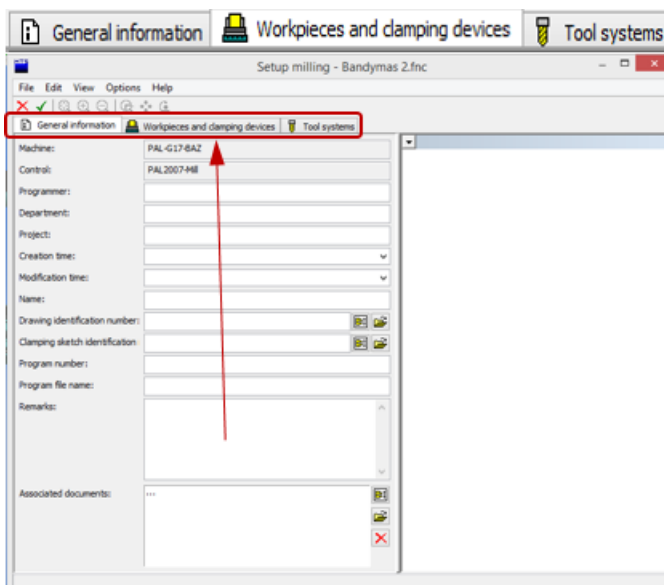
Jaunās programmas nosaukums, piemēram, Test 2, tiek ierakstīts rindā “Programmas nosaukums” un ieraksts tiek apstiprināts ar pogu OK.

Piezīme: jauna NC programma var tikt izveidota tikai šajā dialoga logā.



5.38. attēls. Jaunas programmas izveides logs

Noklikšķinot uz pogas OK, tiks atvērts dialoga logs ar frēzēšanas iestatījumiem, tā augšējā izvēlnē būs pieejamas šādas iespējas: Vispārīga informācija, sagataves un turētāji un instrumentu sistēmas (5.39. attēls).



5.39. attēls. Iestatījumu loga augšējā izvēlnē

Jau esošās NC programmas rediģēšanas laikā ar pogu var atvērt dialoglodziņu

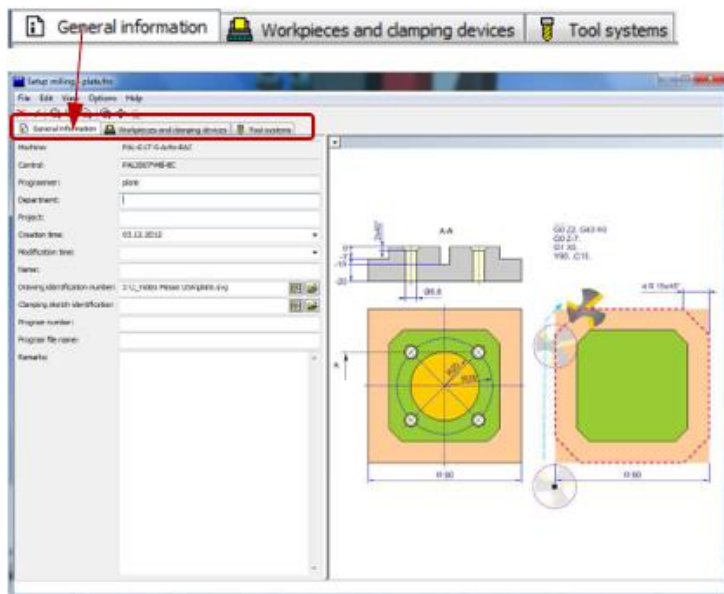


## II. Iestatījumu dialogs

Izvēloties ar peli funkciju  General information augšējā izvēlnē var ievadīt šādus datus (5.40.attēls):

- Programmētājs;
- Nodaļa;

- Projekts;
- Sagataves rasējuma identifikācijas numurs;
- Programmas numurs;
- Programmas faila nosaukums utt.



5.40. attēls. Vispārējās informācijas iestatījumu logs

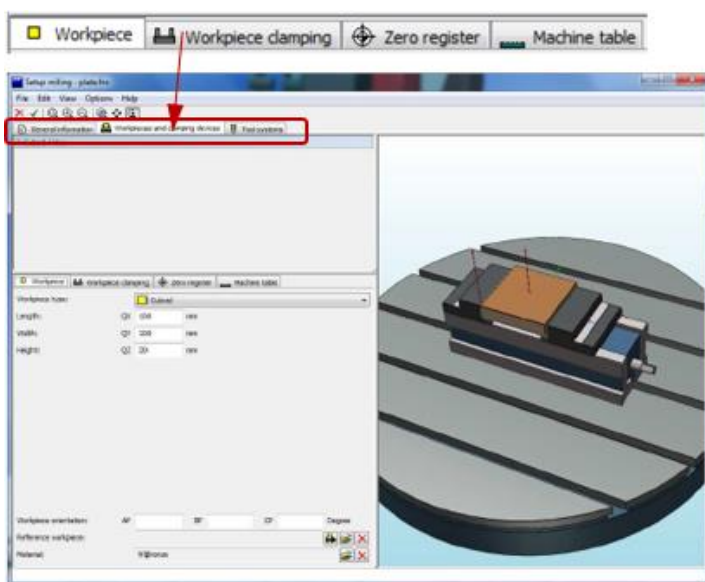
Sagataves un stiprinājuma ierīces rasējumus var izmantot SVG, BMP, JPG un PNG formātos. Katram rasējumam ir savs identifikācijas numurs. Ja šos rasējumus jau ir izstrādājis lietotājs, tos programmēšanas laikā var redzēt, nospiežot pogu .

Piezīme: izstrādājot vai rediģējot programmu, iepriekš minēto datu ievadīšana nav obligāta.

### III. Sagataves un stiprinājumi

#### Sagataves informācija

Izmantojot peles taustiņu izvēlieties funkciju  **Workpieces and clamping devices** no izvēlnes ekrāna augšdaļā, lai ievadītu informāciju par sagatavi un stiprinājumu (5.41. attēls).



5.41. attēls. Sagataves informācijas logs

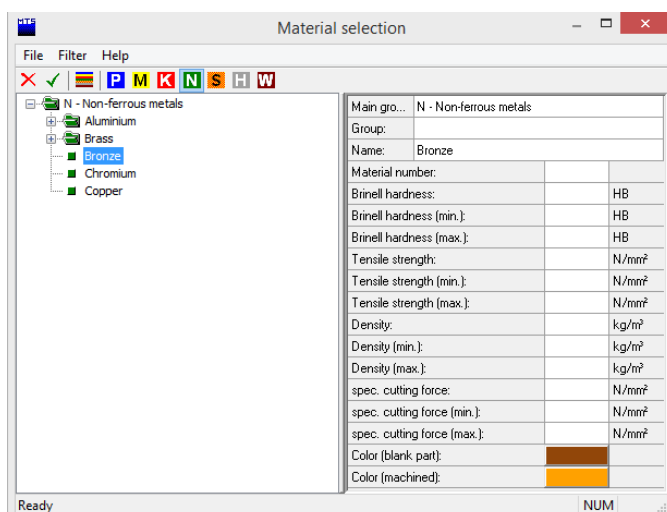
Nospiediet pogu,  lai iestatītu sagataves izmērus - garumu, diametru un augstumu.

|    |     |    |
|----|-----|----|
| QX | 100 | mm |
| QY | 100 | mm |
| QZ | 20  | mm |

Piezīme: šie dati jāievada, lietojot standarta sagataves formas.

Sagataves informācijas logā redzamo citu parametru ievadīšana nav obligāta. Tie ir: atsaucis (references) sagatave, materiāls, kura izvēle nosaka apstrādājamā materiāla krāsu attēlā.

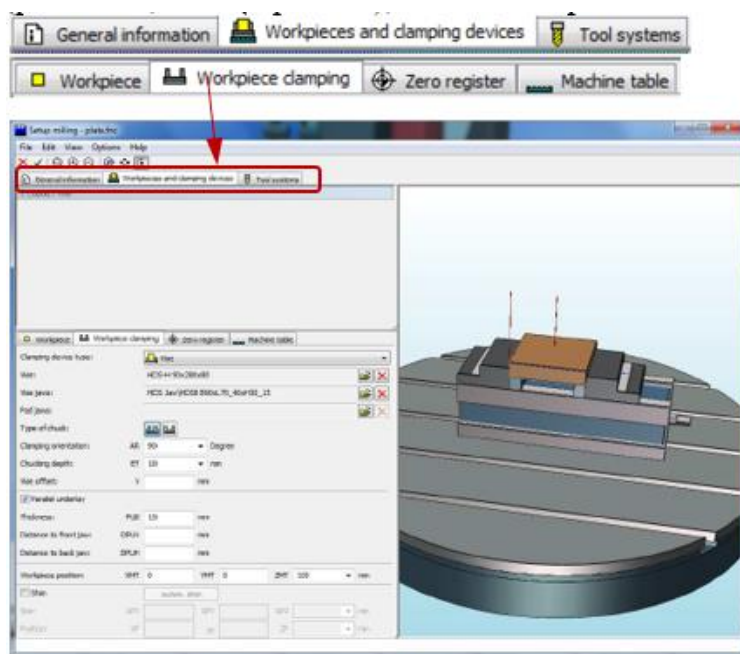
Lai izvēlētos materiālu, nospiediet pogu  . Atveras sagataves materiāla izvēles ekrāns (5.42. attēls), pēc sagataves materiāla izvēles tiek parādīti sagataves parametri (ciētība, blīvums, stiepes pretestība utt.). Ja sagataves materiāla īpašības netiek izvēlētas, programmēšanas laikā tiek izmantots MTS programmas izvēlētais materiāls.



5.42. attēls. Frēzēšanas sagataves materiāla izvēles logs

## Fiksācijas ierīces (informācija par skrūvspīlēm, spīļžokļiem un sagatavi)

Funkcijas izvēle “Sagataves fiksēšana” un pogas  **Workpiece clamping** nospiešana atver logu turētāja parametru izvēlei (5.43. attēls). Šeit var tikt izvēlēta stiprinājuma ierīce: skrūvspīles, spīļpatrona (piemēram, 3 žokļu patrona), modulāra stiprināšanas sistēma.



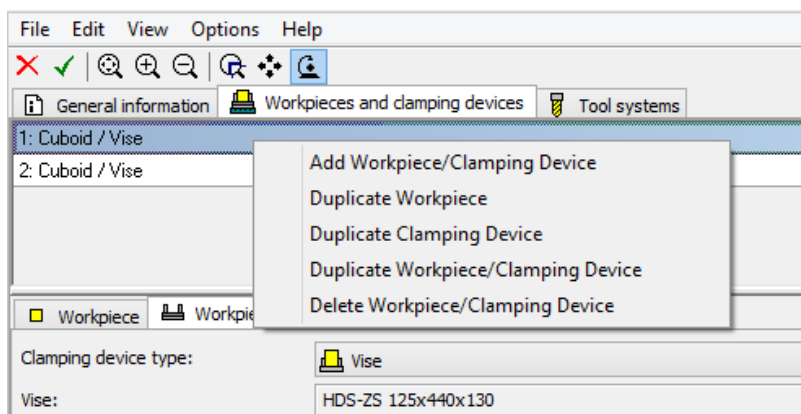
5.43. attēls. Skrūvspīļu iestatījumu logs

Piezīme: līdzīgi kā virpošanas gadījumā, izvēloties nostiprināšanas ierīci, lodziņā ir jāievada parametrs, kas norāda sagataves iestiprināšanas dziļumu ( ET )

Clamping depth: ET 8 mm

## Iestatījumi vairāku sagatavju stiprināšanai

MTS programma ļauj izvēlēties vairāku sagatavju stiprinājumu, peles labo pogu noklikšķinot **1: Cuboid / Vise** augšējā izvēlnē. To izdarot, tiek atvērts sagataves fiksācijas izvēles logs (5.44. attēls).

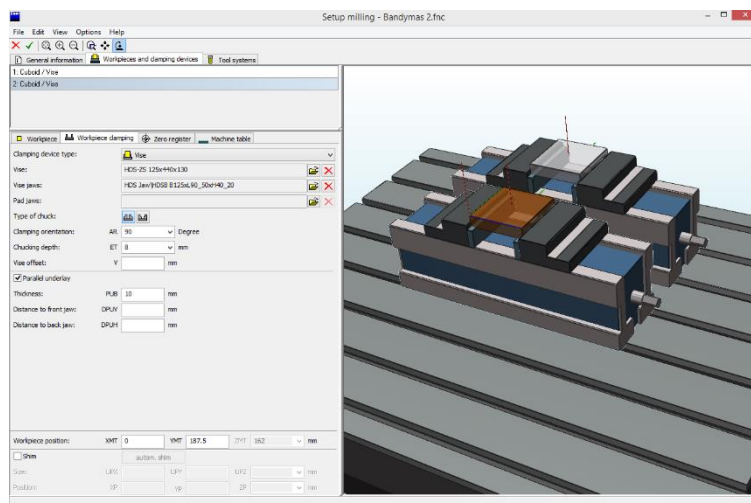


5.44. attēls. Sagataves stiprināšanas iespēju logs

Izmantojot funkciju **Duplicate Workpiece** izvēlas stiprinājumu vairākām sagatavēm.

## Divu skrūvspīļu izmantošana

Izvēlētajā funkcijā **Duplicate Clamping Device** MTS programmā vienlaicīgi tiek izmantotas divas skrūvspīles. Šajā gadījumā logā jāiestata otra skrūvspīļu parametri (5.45. attēls).



5.45. attēls. Parametru iestatīšana otrajām skrūvspīlēm

Pēc otro skrūvspīļu izvēles jāiestata sagataves parametri, pēc tam ir jāiestata sagataves stiprinājuma parametri.

Stiprināšanas ierīces un sagataves pozīcija tiek noteikta ar koordinātu sistēmas palīdzību (5.46. attēls). Ievadīt šos datus nav obligāti.



a) Workpiece position: XMT 0 YMT 0 ZMT 162 mm

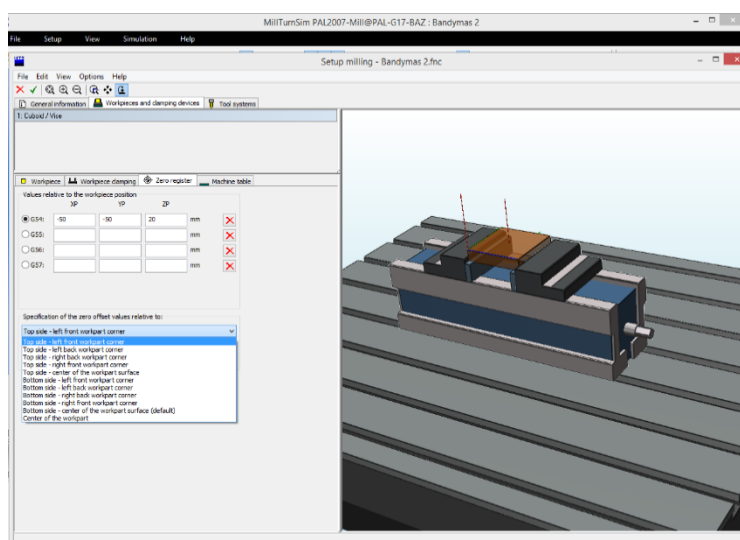
b) Workpiece position: XMT 0 YMT 200 ZMT 162 mm

5.46. attēls. Pirmo a) un otro b) skrūvspīļu novietojuma parametri

Atkarībā no izvēlētajām nostiprināšanas ierīcēm un iestiprināšanas dziļuma (ET), sagatave iekārtā tiks iestatīta noteiktā augstumā.

## Nulles punkta iestatījuma reģistrācija

Nulles punkta reģistrācijas funkcijas izvēle (Zero register) ļauj noteikt sagataves nulles punktu attiecībā pret iekārtas koordinātu sistēmu (5.47. attēls). Šim nolūkam tiek izmantots G54 kods. Tāpat ir iespējams iestatīt 2., 3. un 4. sagataves koordinātu sistēmu sākumu, attiecīgi izmantojot G55, G56 un G57 kodus.



5.47. attēls. Nulles punkta reģistrācijas iestatīšanas logs

Sagataves nulles pozīcija tiek izvēlēta no nulles punkta kompensācijas specifikāciju saraksta, kas parādīts 5.48. attēlā. Pieejamās iespējas: Sagataves augšējā vai apakšējā plaknē - visos četros stūros un augšējās vai apakšējās plaknes centrā un sagataves ģeometriskajā centrā.

Specification of the zero offset values relative to:

Top side - left front workpart corner

|      | IX | IY | IZ |    |
|------|----|----|----|----|
| G54: | 0  | 0  | 0  | mm |

0

5.48. attēls. Sagataves nulles pozīcija

Nulles punkta pozīciju sagatavē nosaka parametri IX, IY un IZ no ieteikto izvēlņu saraksta, un to labo, ievadot, piemēram, IZ -1. IZ- 1 ir obligāta ievade (5.49. attēls).



#### IV. Instrumenta iestatījumi (iestatījums pēc noklusējuma)

File Edit View Options Help

Setup milling - Bandymat 5.nc

General information Workpieces and clamping devices Tool systems

Tool system

|    | Item | Type                  | Name                                   | Overhang | Diameter |
|----|------|-----------------------|----------------------------------------|----------|----------|
| 1  | SK40 | Spinning Drill        | NC40-90 12x30310R_127-40 (EPO540)      |          |          |
| 2  | SK40 | Bore/Milling Cutter   | FF-90 12x2122R_127-40 (EPO540)         |          |          |
| 3  | SK40 | Slot End Mill         | WVF 20x40x2 R_40-40 (EPO578)           |          |          |
| 4  | SK40 | Slot End Mill         | WVF 20x40x2 R_40-40 (EPO578)           |          |          |
| 5  | SK40 | End Mill Rough HSS S  | SFP HSS A 20x40x21R_127-40 (EPO4070)   |          |          |
| 6  | SK40 | End Mill Finish HSS S | SFP HSS A 20x40x21R_127-40 (EPO4070)   |          |          |
| 7  | SK40 | End Mill Finish HSS S | SFP HSS A 20x40x21R_127-40 (EPO4070)   |          |          |
| 8  | SK40 | End Mill Finish HSS S | SFP HSS A 20x40x104R_127-40 (EPO320)   |          |          |
| 9  | SK40 | End Mill Finish HSS S | SFP HSS A 16x32x10R_127-40 (EPO540)    |          |          |
| 10 | SK40 | End Mill Finish HSS S | SFP HSS A 12x20x10R_127-40 (EPO540)    |          |          |
| 11 | SK40 | End Mill Finish HSS S | SFP HSS A 16x32x10R_127-40 (EPO540)    |          |          |
| 12 | SK40 | End Mill Finish HSS S | SFP HSS A 16x30x10R_127-40 (EPO540)    |          |          |
| 13 | SK40 | Twist Drill HSS S     | SFPRD HSS A 6x70x110R_SFP_40 (EPO1647) |          |          |
| 14 | SK40 | Tap                   | GE 10x40x100 L R_127-40 (EPO540)       |          |          |
| 15 | SK40 | Twist Drill HSS S     | SFPRD HSS A 6x60x100R_SFP_40 (EPO1747) |          |          |
| 16 | SK40 | Tap                   | GE 16x21x140 L 25 R_127-40 (EPO1640)   |          |          |
| 17 |      |                       |                                        |          |          |
| 18 |      |                       |                                        |          |          |
| 19 |      |                       |                                        |          |          |
| 20 |      |                       |                                        |          |          |
| 21 |      |                       |                                        |          |          |
| 22 |      |                       |                                        |          |          |
| 23 |      |                       |                                        |          |          |
| 24 |      |                       |                                        |          |          |
| 25 |      |                       |                                        |          |          |
| 26 |      |                       |                                        |          |          |
| 27 |      |                       |                                        |          |          |
| 28 |      |                       |                                        |          |          |
| 29 |      |                       |                                        |          |          |
| 30 |      |                       |                                        |          |          |
| 31 |      |                       |                                        |          |          |
| 32 |      |                       |                                        |          |          |
| 33 |      |                       |                                        |          |          |
| 34 |      |                       |                                        |          |          |

Tool set: ☒ empty

Active tool: T 1

Tool change point: 1

5.50. attēls. Instrumenta iestatījumu tabula

Edit

## Instrumenta turētāja izvēle jaunam instrumentam

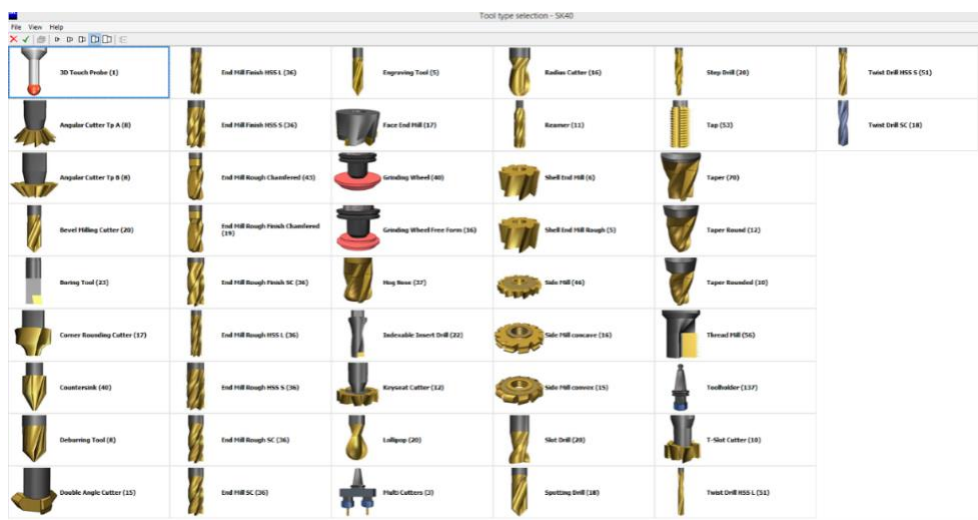
Edit





Lai pievienotu jaunu instrumentu, vispirms noņemiet esošo instrumentu, izmantojot pogu .

Jūs varat izvēlēties jaunu instrumentu grupu, noklikšķinot uz pogas  (iestatītas kategorijas). Nospiežot to, tiek atvērts esošo instrumentu saraksts (5.53. attēls).

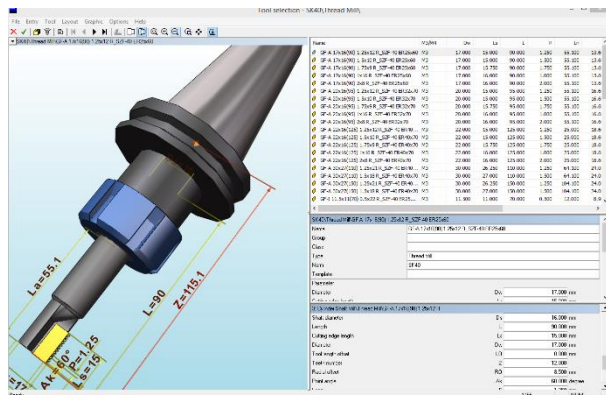


5.53. attēls. Instrumentu veidi

Noklikšķiniet uz vēlamās instrumentu grupas pogas , un atveriet logu ar piedāvāto instrumentu veidu.

## Pārskats par instrumentu veidiem

Izvēlies konkrētu instrumentu, piemēram, vītņgriezī (5.54. attēls).



5.54. attēls. Vītņgriežu izvēles logs

Šis MTS programmas logs parāda dažādus vītņgriežu veidus. Konkrēta vītņgrieža izvēle ir ļoti vienkārša, izmantojot peli izvēlieties vītņgriezi no esošās direktorijas, un nospiediet  pogu apstiprināšanai.

## Aktīvā instrumentu komplekta izveide

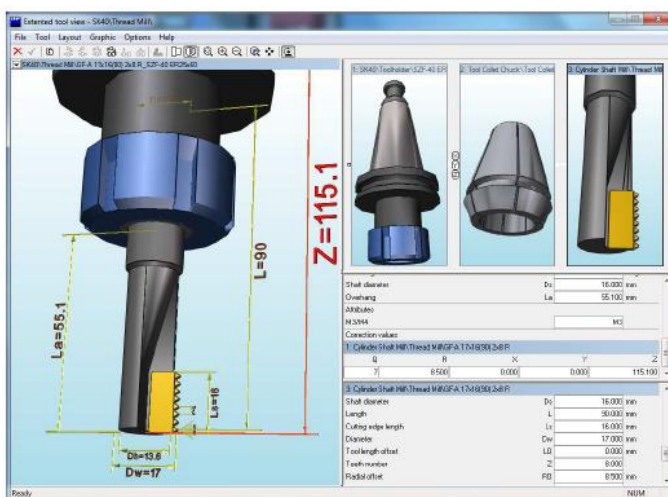
Pēc viena instrumenta pozīcijas atjaunošanas citus instrumentus var iestatīt vai mainīt tādā pašā secībā. Lai pārbaudītu informāciju par instrumenta pozīciju magazīnā, nospiediet pogu . Lai izmantotu jaunizveidotu instrumentu komplektu iekārtā, izvēle jāapstiprina ar pogu .

Piezīme: ir pieejamas dažādas instrumentu komplekta iestatīšanas iespējas. Ja vien nav saglabāts, izstrādājot jaunu programmu visu instrumentu pozīcijas instrumentu

komplektā tiek automātiski izdzēstas, ar  pogu Izstrādātos instrumentu komplektus var saglabāt un atkārtoti atvērt, kad tiek veidota jauna NC programma vai rediģēta esošā.

## Informācija par instrumentu komplektu

Noklikšķinot uz  pogas tiek sniegta informācija par instrumentu komplektā esošo instrumentu. Atveras 5.55. attēlā parādītais logs.

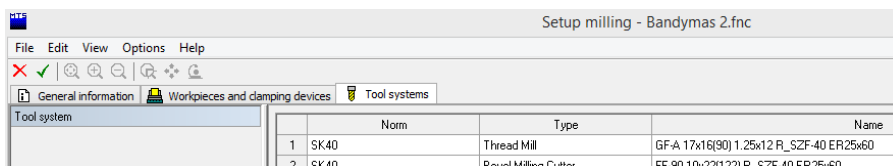


5.55. attēls. Informācija par instrumentu

Šajā logā ir redzams griezējinstrumenta diametrs, griezēja daļas garums, instrumenta izvirzījuma garums no instrumenta turētāja, attālums no instrumenta gala līdz instrumenta turētāja atskaites punktam utt. Šis logs tiek aizvērts, noklikšķinot uz  pogas.

## V. Iestatīšanas dialoga pabeigšana

Kad pamata iestatījumi ir pabeigti, obligāti saglabājiet tos un izejiet no iestatījumu loga, noklikšķinot uz  pogas (5.56. attēls).

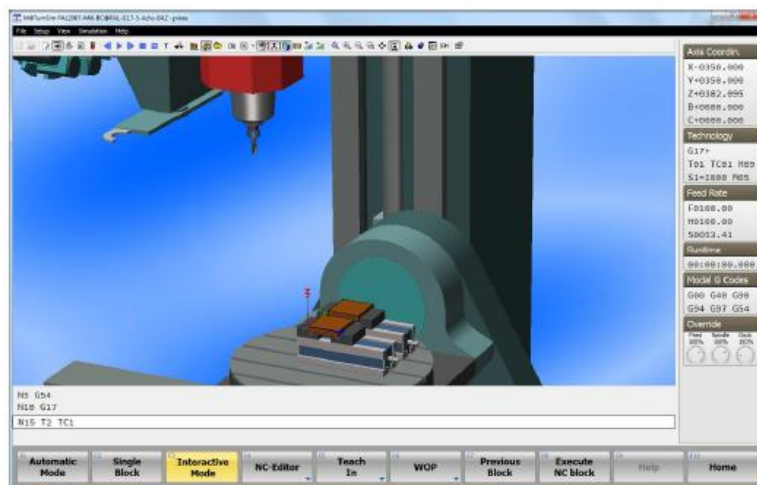


5.56. attēls. Pamata iestatījumi

Pretējā gadījumā, noklikšķinot uz pogas , izmaiņas instrumentu komplektā tiks ignorētas.

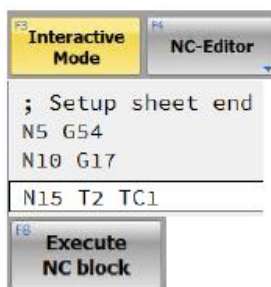
## VI. NC programmas izstrāde ar interaktīvo simulāciju

Apstiprinot iestatījumu izvēli, tiek atvērts 5.57. attēlā parādītais logs.

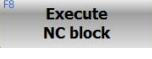
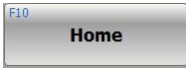


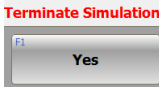
5.57. attēls. NC programmas izstrādes logs

Noklikšķinot uz pogas  vai funkcionālās pogas F4 kopā ar NC redaktoru tiek uzsākta NC programmas izstrāde. NC programma tiek veidota, izmantojot G un M kodus (5.58. attēls).



5.58. attēls. NC programmas izstrāde

Pēc NC bloka uzrakstīšanas tas tiek izpildīts, noklikšķinot uz pogas . Kad NC programma ir pabeigta, to saglabā, nospiežot pogu  vai .

Lai pabeigtu NC simulāciju, piespiediet  pogu, lai atgrieztos sākotnējā MTS programmas logā - nospiediet  pogu.

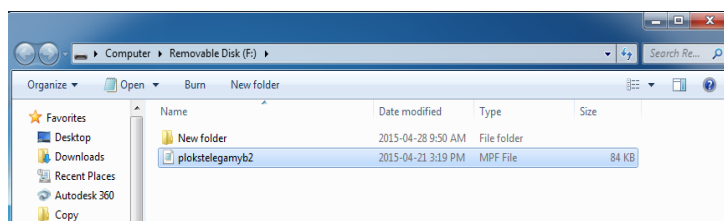
### 5.3. Vadības programmas augšupielāde iekārtas vadības sistēmā

Programmas, kuras paredzētas CNC iekārtām, ir gandrīz tikai un vienīgi ar G un M kodiem. G kodi kontrolē CNC iekārtu mezglu kustību, un M kodi kontrolē iekārtas dažādas funkcijas. Praksē tiek izmantotas vairākas vadības programmu veidošanas metodes. Šajā mācību grāmatā ir aplūkota pašlaik visefektīvākā programmēšanas metode - programmu izstrāde ar personālo datoru, izmantojot CAM (Computer Aided Manufacturing) interaktīvās sistēmas (MasterCam, EdgeCam, MTS TopMill, MTS TopTurn utt.). CAM sistēmu izmantošana palīdz ērti sagatavot vienkāršas un sarežģītas programmas CNC iekārtām ar trim vai vairākām asīm sarežģītas konfigurācijas detaļām.

Kad programma ir pabeigta ar iepriekšminētajām sistēmām, tā ir jāielādē īpašā CNC iekārtu vadībā. To dara, saglabājot programmas failu USB ierīcē, un pēc tam pārsūtot programmas datus no USB ierīces uz iekārtas programmas redaktoru. Papildus tam ieteicams aktivizēt lejupielādēto programmu simulācijas režīmā, piemēram, lai pārbaudītu programmas veiktspēju. Pēc šīm darbībām programma tiek aktivizēta faktiskajā darba režīmā, un tiek apstrādāta sagatave.

#### Programmas saglabāšana USB ierīcē

Sagatavotā programma tiek saglabāta tādā formātā, kas ļauj iekārtas redaktoram lasīt tās datus. Visbiežāk izmantotie saglabāšanas formāti ir šādi: NC, MPF, TXT .



5.59. attēls. Programmas augšupielāde uz USB ierīci

#### Datu pārsūtīšana uz programmu redaktoru

USB atmiņas ierīce tiek ievietota ierīces USB pieslēgvietā (5.60. attēls).



5.60. attēls. Datu pārsūtīšana uz iekārtas vadību  
(Optimum Maschinen Germany GmbH)

Kad iekārta ir nolasījusi datus no USB ierīces un iekārtas vadības panelī tiek nospiesta  poga, tiek atvērts NC logs (5.61. attēls).



5.61. attēls. Programmēšanas logs uz iekārtas vadības paneļa

Programmēšanas logā pieejamo pogu funkcijas ir norādītas tabulā 5.8.

5.8. tabula. Pogu funkciju apraksti

|   |                                                                                                        |    |                                                               |
|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|---------------------------------------------------------------|
| 1 | Saglabā NC programmas vēlākām darbībām                                                                 | 9  | Izpilda izvēlēto failu. Izpildes laikā rediģēšana nav atļauta |
| 2 | Pārvalda un pārvieto ražotāja ciklus                                                                   | 10 | Izveido jaunus failus vai mapes                               |
| 3 | Lasa uz / no faila izmantojot USB ierīci un palaiž programmu no ārējā diska                            | 11 | Failu meklēšana                                               |
| 4 | Lasa uz/no failu, izmantojot RS232 saskarni, un izpilda programmu no ārējās ierīces                    | 12 | Parāda visus failus vēlākām darbībām                          |
| 5 | Lasa uz / no faila, izmantojot Ethernet (datortīkla) saskarni, un izpilda programmu no ārējā datora/PG | 13 | Kopē atlasītos failus (-us) starpliktuvē                      |
| 6 | Originālais ražotāja fails (OEM)                                                                       | 14 | Ievieto izvēlēto failu (-us) no starpliktuves pašreizējā      |



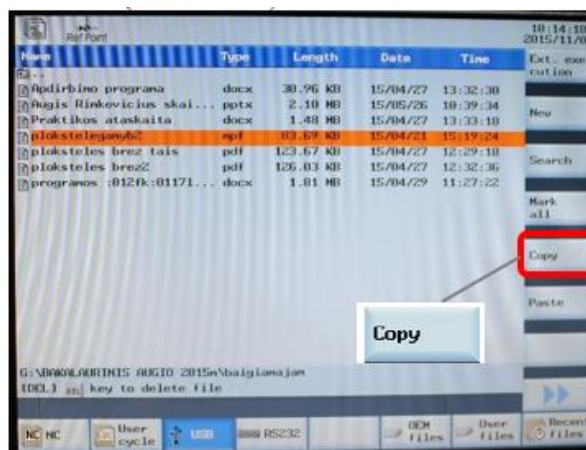
|   |                              |    |                                                                                                                                       |
|---|------------------------------|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                              |    | direktorijā                                                                                                                           |
| 7 | Lietotāja faili              | 15 | Atjauno izdzēsto(s) failu(s)                                                                                                          |
| 8 | Parāda nesen atvērtos failus | 16 | Atver otrā līmeņa programmēšanas pogas, piemēram:  |

Izvēloties pogu  (5.62. attēls), programmēšanas logā tiek atvērts datu logs.



5.62. attēls. USB ierīces atvēršana programmas redaktorā

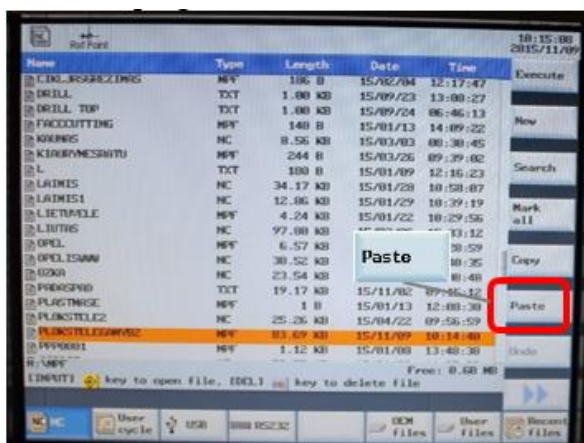
Atvērtajā informācijas logā atlasiet failus kopēšanai, izmantojot pogas  un  un nospiediet pogu  (5.63. attēls).



5.63. attēls. Programmas kopēšana iekārtas vadības atmiņā

Pēc faila kopēšanas, nospiediet NC pogu , lai atgrieztos NC logā. Nospiežot

pogu  izvēlētais programmas fails tiks ielādēts iekārtas vadības atmiņā (5.64. attēls).



5.64. attēls. Programmas saglabāšana iekārtas vadībā

## Programmas aktivizēšana simulācijas režīmā

Pirms sagataves automātiskas apstrādes ieteicams pabeigt izvēlētas programmas simulāciju. Darbību secība:



1. Izvēlieties vēlamu darba zonu.



2. Izvēlieties apstrādes programmu simulācijai.



3. Nospiediet šo pogu, lai atvērtu programmu.



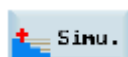
Nospiediet pogu , lai ieietu programmas rediģēšanas logā (5.65. attēls).



5.65. attēls. Programmas redaktora loga atvēršana



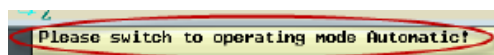
4. Pārslēgt uz AUTO režīmu.



5. Nospiediet šo programmēšanas pogu, lai atvērtu programmas simulācijas logu. Programmas vadības režīms tiks aktivizēts automātiski.

Ja vadības sistēma nav pareizā darba režīmā, ekrāna apakšdaļā parādās šāds ziņojums.

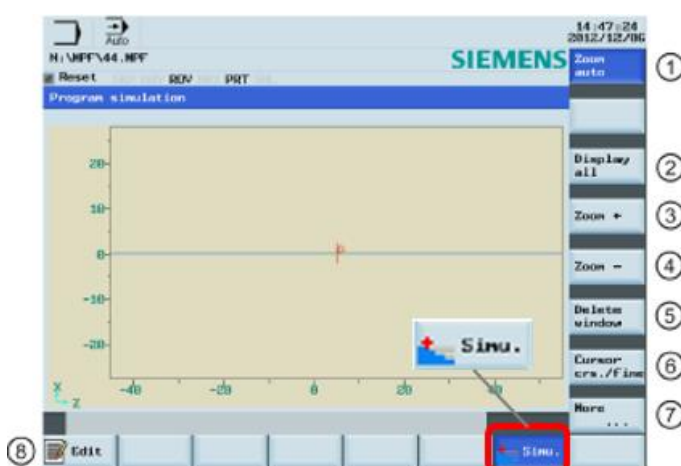
Ja šis paziņojums atkārtojiet 4. soli.



parādās,



6. Nospiediet šo pogu, lai sāktu izvēlētajās sagataves programmas standarta simulāciju. Simulācijas funkcija ir pieejama tikai tad, ja vadības sistēma atrodas AUTO režīmā.



5.66. attēls. Programmas simulācijas logs

Pēc šīm darbībām pārliecinieties, ka programma darbojas, un tā neuzrāda nekādas

klūdas (5.66. attēls).

Galvenajā simulācijas logā darbojas programmēšanas pogas, kas aprakstīta 5.9. tabulā.

5.9. tabula. Simulācijas loga pogu funkciju apraksti

|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |   |                                                                                                                                                                         |
|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Parāda automātisko simulācijas izsekošanu                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 5 | Dzēš pašreizējo simulācijas izsekošanu                                                                                                                                  |
| 2 | Ievada zemāka līmeņa izvēlni, lai parādītu bloku. Ir trīs iespējamās displeja iespējas:<br>   | 6 | Izveido krustveida kursora kustību ar lieliem vai maziem soļiem                                                                                                         |
| 3 | Samazina visu ekrānu                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 7 | Parāda vairāk iespēju:<br> Pieļauj izvēlētās sagataves materiāla noņemšanas simulāciju |
| 4 | Samazina visu ekrānu                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 7 | Parāda vairāk iespēju:<br> Atlasa, vai parādīt blokus vai ne                          |
|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 8 | Atgriežas programmas redaktora logā                                                                                                                                     |

### Programmas aktivizēšana faktiskajā darba režīmā

Pirms apstrādes programmas palaišanas pārliecinieties, vai vadības sistēma un iekārta ir sagatavotas darbam. Darbību secība:



1. Izvēlieties vēlamo darba zonu.



2. Pārejiet uz vajadzīgo direktoriju.

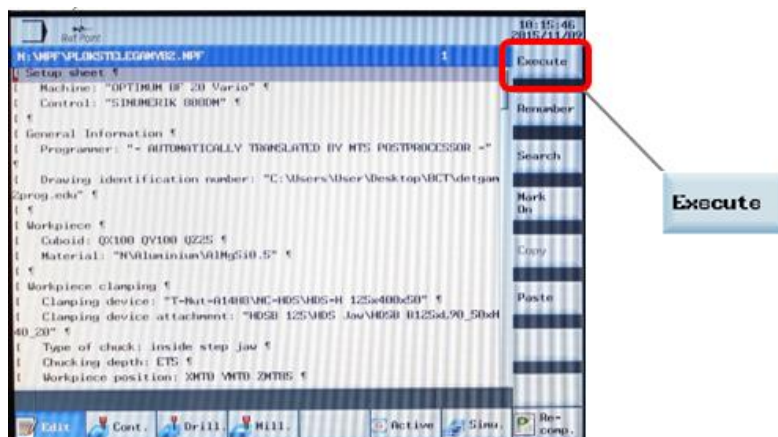


3. Izvēlieties programmu, kuru vēlaties sākt.





Lai aktivizētu programmu faktiskajā darba režīmā, nospiediet pogu (5.67. attēls).



5.67. attēls. Izvēlētā programma ir rakstīta G un M kodos

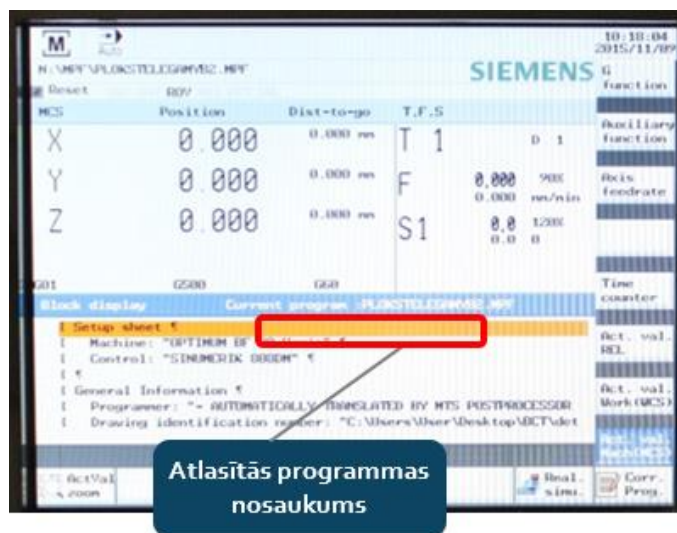
Execute

4. Atvērtajā redaktora logā noklikšķiniet uz šīs programmēšanas pogas (5.67. attēls). Dažām mapēm ir jānospiež šāda programmēšanas poga

Ext. execution

5. Pēc tam, kad tiek nospiesta minētā programmēšanas poga, sistēma automātiski pārslēdzas uz AUTO režīmu.

Noklikšķinot uz  pogas, tiek atvērta izvēlētā programma (5.68. attēls).



5.68. attēls. Izvēlētā programma faktiskajā darba režīmā



6. Noklikšķinot uz šīs pogas, varat startēt programmu automātiskajā režīmā (5.69. attēls).



5.69. attēls. Programmu aktivizēšana faktiskajā darba režīmā

CNC iekārta sāk apstrādāt sagataves atbilstoši izvēlētajai programmai.

## 6. PRAKTISKAIS PIELIETOJUMS

### 6.1. Detaļu apstrādes projektēšanas posmi

Jebkuru detaļu var izgatavot, izmantojot dažādas apstrādes metodes. Procesu inženiera uzdevums ir izvēlēties labāko variantu, kas atbilstu pasreizējiem nosacījumiem, ir lētāks un nodrošina visaugstāko produktivitāti un kvalitāti.

Pirmais solis pirms ražošanas tehnoloģiskā procesa būtu rūpīgi **analizēt tehniskās specifikācijas rasējumam un tehnoloģiskās prasības montāžai**, kas jāievēro ražotai detaļai. Ir nepieciešams analizēt funkcionālo mērķi, ņemt vērā to, kā tam jābūt izvietotam saliktā izstrādājumā, lai novērtētu detaļas gabarītu precizitāti, virsmas raupjumu, termisko apstrādi, materiālu, ko izmanto detaļas ražošanā.

Sagatavi izvēlas pēc darba rasējumu analīzes, novērtējot ražošanas programmu, ražošanas veidu un iekārtas, kas pieejamas izstrādājumu izgatavošanai. Sagataves izvēles principi ir apskatīti 3.5 sadaļā. Pieredze rāda, ka sagataves ražošanas izmaksas ir zemākas, kad sagatave pēc iespējas ātrāk sāk sasniegt ražošanas procesā izvirzītās prasības tehnoloģiskajā procesā.

**Detaļas apstrādes operāciju secības plānošana** – viens no vissvarīgākajiem posmiem, kas nosaka ražošanas izmaksas. Pirms darbības secības noteikšanas nosaka prasības attiecībā uz detaļas virsmas raupjumu, lineāro gabarītu precizitāti un leņķisko pozīciju, analizējot marķēšanas secību rasējumā, kurā noteikts apstrādāto virsmu relatīvais novietojums. Detaļu sagatavju virsmas un apstrādes procedūra tiek izvēlēta,



pamatojoties uz rasējumā norādīto gabarītu marķējumu.

Īsumā pārskatīsim ieteicamo (izvēles) metodiku detaļas apstrādes secības plānošanai. Ir lietderīgi apstrādājamās sagataves apstrādes procesu sadalīt rupjapstrādes (6.1 attēls) un tīrapstrādes darbos.



6.1. attēls. Neapstrādātas virsmas frēzēšana

Galvenā uzmanība jāpievērš tam, lai apstrādātu tās virsmas, kuras turpmākajās darbībās tiks izmantotas kā bāzes virsmas. Šos darbus veic pēc iespējas drīzāk, lai identificētu bojātās sagataves. Tas jo īpaši attiecas uz kalnu vai izlietu sagatavju apstrādes gadījumā.

Turpmākā **apstrādes darbību secība** būs apgriezti pretēja to precizitātei, t.i., jo precīzākas virsmas, jo vēlāk tās jāapstrādā. Ir vēlams apstrādāt vairāku virsmu daļas vienā iestatījumā, izmantojot vienu un to pašu apstrādes metodi.

Jāizvairās no rupjapstrādes un tīrapstrādes vienlaikus, ja vien netiek apstrādātas masīvas detaļas, kuru nofiksēšana un iestatīšana ir laikietilpīga. Pēc rupjapstrādes vēlams pirms tīrapstrādes procesa uzsākšanas ir ieteicams atbrīvot un pēc tam atkal no jauna nostiprināt apstrādājamo detaļu, jo mehānisko spriegumu izmaiņu rezultātā detaļa var deformēties.

Ja ir nepieciešama termiskā apstrāde, daļu no darbībām jāveic vispirms, bet otra daļa - pēc termiskās apstrādes. Lai uzlabotu apstrādes kvalitāti, sagatavi jānormalizē un jāatdzesē tikai pirms apstrādes, tad šīs termiskās apstrādes darbības nekādi neietekmē turpmāko apstrādes darbību secību.

Lai izvairītos no deformācijām vai samazinātu to ietekmi atlikušo mehānisko spriegumu dēļ, precīzas detaļas termiski jāapstrādā procesā starp rupjapstrādi un tīrapstrādi, bet dažreiz tieši pirms īpaši precīzās apstrādes.

**Rūdišana un cementēšana** ir jāveic starp detaļu apstrādes procesiem.

Fiksēšanas caurumus ir jāapstrādā ražošanas procesa beigās, izņemot gadījumus, kad tos izmanto, lai nofiksētu detaļu apstrādes laikā.

Vissvarīgākā un precīzākā detaļas virsma jāapstrādā pēc pēdējās apstrādātās virsmas. Viegli sabojājamas virsmas, piemēram, ārējās vītnes, arī jāapstrādā ražošanas procesa beigās.

**Kvalitātes pārbaudes darbības** jāparedz pēc sarežģītām operācijām, kurās tiek apstrādātas svarīgas virsmas, kā arī pēc operācijām, pēc kurām ir iespējams identificēt ļoti bieži sastopamos defektus.

Sērijveida un lielapjoma produkcijas ražošanā ieteicams **analītiski aprēķināt rupjapstrādes uzlaides**. Rupjapstrādes uzlaide ir materiāla slānis, kas nākamajā vai pēdējā apstrādē jānoņem, lai iegūtu nepieciešamās detaļas virsmas īpašības. Analītiskajā plānošanā vispirms tiek konstatēts pēdējās operācijas (ražošanas posma) apstrādes laiks un uzlaide, un pēc tam pretējā secībā tiek aprēķināta citu darbību (posmu) gabarīti un sākuma sagataves izmēri. Vienreizējā, mazas partijas un vidējas partijas produkcijas veidā pielieto statistikas metodi rupjapstrādes uzlaides noteikšanai, t.i., izvēlas rupjapstrādes uzlaides, izmantojot tabulas rokasgrāmatās. Aprēķinot savstarpējas iedarbības uzlaides, tiek noteikti arī savstarpēji gabarīti un to pielaides.

**Operācijas saturu** sagatavo, izstrādājot vispārēju tehnoloģisko procesu detaļu apstrādei. Operācijās jāietver visi ražošanas posmi. Tehnoloģisko darbību plānošanas rezultātā jānosaka ražošanas pakāpju darbības secība un standarta apstrādes laiks (par gabalu). Plūsmas ražošanā apstrādes ilgums ir vienāds ar ražošanas tempu. Ražošanas temps ir laika intervāls, kurā ražošanas līnijai jāatdod gala produkts.

Nākamais posms izvēlētā tehnoloģiskā procesa izstrādē **ir iekārtu un instrumentu izvēle**. Izvēlētajai apstrādes iekārtai jānodrošina virsmu prasību izpilde. Iekārtas izvēlētie galvenie rādītāji ir to darba platības gabarīti, virsmas forma, kas tiks apstrādāta ar darbgaldu, to jauda, kurai jāatbilst plānotajai ražošanas programmai, darbgaldu precizitāte.

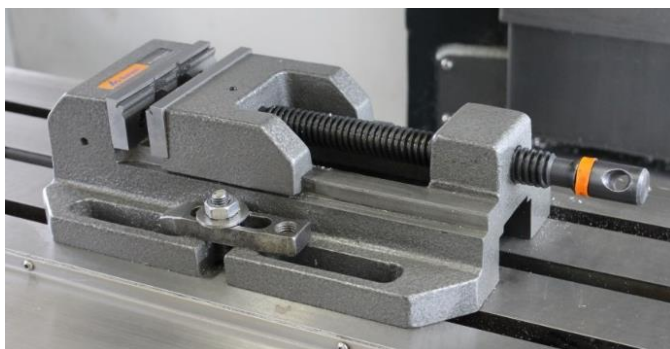
Ja apstrādi veic universālais darbgalds, tad to pašu darbgaldu nedrīkst izmantot rupjapstrādei un tīrapstrādei. Lietojot ciparu vadības mašīnas vai apstrādes centrus, nedrīkst atdalīt rupjapstrādi no tīrapstrādes. Izmantojot apstrādes centrus, bāzes virsmas parasti tiek apstrādātas ar parasto darbgaldu, bet pārējās virsmas – ar apstrādes centriem.

Vairumā gadījumu ražošanas procesam, kas tiek plānots ražošanai, kas jau darbojas, ir jāņem vērā pieejamās mašīnas. Izlemjot, vai iegādāties jaunu mašīnu, jāaprēķina atmaksāšanās periods, ražošanas izmaksas, kas radušās detaļu apstrādājot, un jāņem vērā mašīnu pirkšanas un ekspluatācijas izmaksas. Ja aprēķina rezultāts masveida ražošanā parāda, ka, lai veiktu operāciju, ir vajadzīgi trīs vai vairāki tāda paša veida darbgaldi, tad izvēlētie dabgaldi ir neefektīvi un jāizvēlas citi efektīvāki darbgaldi. Modernā ražošanas procesā tiek izmantoti ciparu vadības (CNC ) darbgaldi, kuru efektivitāte ir vairāk vai pat desmitkārt lielāka nekā universālajiem darbgaldiem. Ciparu vadības darbgaldus var izmantot gan vienreizējā, gan masveida ražošanā.

**Izvēloties ierīces, lai nostiprinātu detaļu**, jāņem vērā ražošanas tips, attiecīgās



apstrādājamās detaļas konstrukcija, atrašanās vieta, tehnoloģiskie un organizatoriskie ražošanas apstākļi. Vienreizējās un sīksērijas ražošanā tiek plaši izmantotas daudzfunkcionālās iekārtas - skrūvspīles (6.2 attēls), bet lielapjoma un masveida ražošanā – īpašas iekārtas, kas palīdz samazināt detaļas nofiksēšanas laiku, vienlaikus palielinot efektivitāti, apstrādes precizitāti.



6.2. attēls. Daudzfunkcionālo skrūvspīļu detaļas

Speciāli izgatavotās iespīlēšanas iekārtas, kas aprīkotas ar standarta elementiem, tiek izmantotas tik ilgi, cik tas ir nepieciešams. Vēlāk šīs iekārtas tiek izjauktas, un to montāžas elementi ir pielāgoti citu iekārtu montāžai un citu detaļu iespīlēšanai apstrādes laikā. Tās var būt vienas vai vairākas. Īpašas neizjaucamās iekārtas tiek izmantotas, lai veiktu konkrētas vienas detaļas apstrādi. Tās ir piemērotas ātras, automatizētas apstrādes veikšanai, bet tiek izmantotas tikai lielu partiju vai masveida ražošanā to augsto izmaksu dēļ. Saliekamās stiprināšanas iekārtas sastāv no divām daļām: pamatnes daļas, kas izgatavota no standarta savienojumiem un standartizētām detaļām, un savstarpēji nomaināma daļa, kas sastāv no oriģinālām sagatavēm. Tās ir ērtas, lai izmantotu apstrādei vidēja lieluma un liela apjoma produkcijai. Universālas nepārveidojamās stiprināšanas iekārtas parasti izvēlas mazu un vidēju partiju ražošanai. Sīkāka informācija par iespīlēšanas ierīču funkcijām atrodama 2.1.2 un 2.2.2 sadaļās.

**Izvēloties griezējinstrumentus,** jāņem vērā sagataves materiālu, izmēru, ražošanas veidu, izvēlēto darbgaldu (-us), precizitāti un virsmas raupjuma prasības. Ieteicams izmantot standarta frēzēšanas instrumentus (6.3. attēls) jebkuram ražošanas veidam, jo tie ir ievērojami lētāki nekā speciālie instrumenti.



6.3. attēls. Standarta frēzēšanas instrumenti

Maza mēroga ražošanā speciālos instrumentus izmanto tikai tad, ja nav iespējams izmantot standarta instrumentus, lai apstrādātu vajadzīgās detaļu virsmas. Masveida, liela apjoma un dažreiz arī vidēja apjoma ražošanā ir ērti lietojami pakāpienveida urbji (kāpņveida caurumiem), formveidojošie instrumenti, standarta frēzēšanas galviņu komplekti. Instrumenta materiālu izvēlas, pamatojoties uz apstrādājamo sagataves materiālu. Apstrādātas virsmas gabarītu precizitāte ietekmē instrumentu veida izvēli. Sīkāku informāciju skatiet 3.6 sadaļā.

**Izvēlētajos mērīšanas līdzekļos** ir jākoncentrējas uz instrumentiem, kas nodrošina precīzu mērīšanu, uzticamību un efektīvu mērīšanu. Ideālā gadījumā vajadzīgā detaļas precizitāte tiek sasniegta, pielietojot tehnoloģisko metodi bez pārbaudes. Modernajā ražošanā palielinās aktīvas mērīšanas līdzekļu izmantošana. Šie mērinstrumenti, kurus var izmantot, lai pārbaudītu detaļu elementu izmēru apstrādes laikā, ir uzstādīti mašīnā. Ja nav iespējas izmantot aktīvās mērīšanas līdzekļus, jāizvēlas standarta mērinstrumenti. Tie ir mikrometri, kalibri, bīdmēri, urbumu kalibri, goniometri, vītnes mērierīces, profila mērierīces, dziļuma mērierīces, indikatori utt. Masveida ražošanā parasti tiek izmantoti īpaši mērinstrumenti. Koordinātu mērīšanas iekārtās izmanto mērīšanas galviņas jeb mērtaustus (6.4 attēls). Mērīšanas mikroskopi tiek izmantoti precīzu, sarežģītu detaļu mērīšanai.



6.4. attēls. Koordinātu mērīšanas mašīnas mērīšanas galviņa

**Apstrādes režīmi tiek izvēlēti**, pamatojoties uz darbgalda tehnoloģiskajām iespējām, apstrādājamo materiālu, griezējinstrumenta materiālu. Apstrādes režīmi nosaka apstrādātās virsmas darba efektivitāti un kvalitāti. Plašāku informāciju par apstrādes režīmu izvēli vai aprēķināšanu skatiet 3.7 iedaļā.

Kad ir izvēlēti vai aprēķināti apstrādes režīmi, jānosaka **apstrādes standarta gaballaiks**. Standarta gaballaiks ir paredzēts ne tikai darba efektivitātes noteikšanai un atlīdzības par paveikto darbu noteikšanai, bet arī nepieciešamā darbgaldu skaita un to slodzes aprēķināšanai, kā arī, lai noteiktu ražošanas telpu lielumu. Iestatīšanas un apstrādes laikā tiek aprēķināts kopējais apstrādes laiks, kā arī tiek noteiktas citas skaitliskās standarta laika vērtības (par gabalu) (palīgdarbības laiks, mašīnas tehniskās

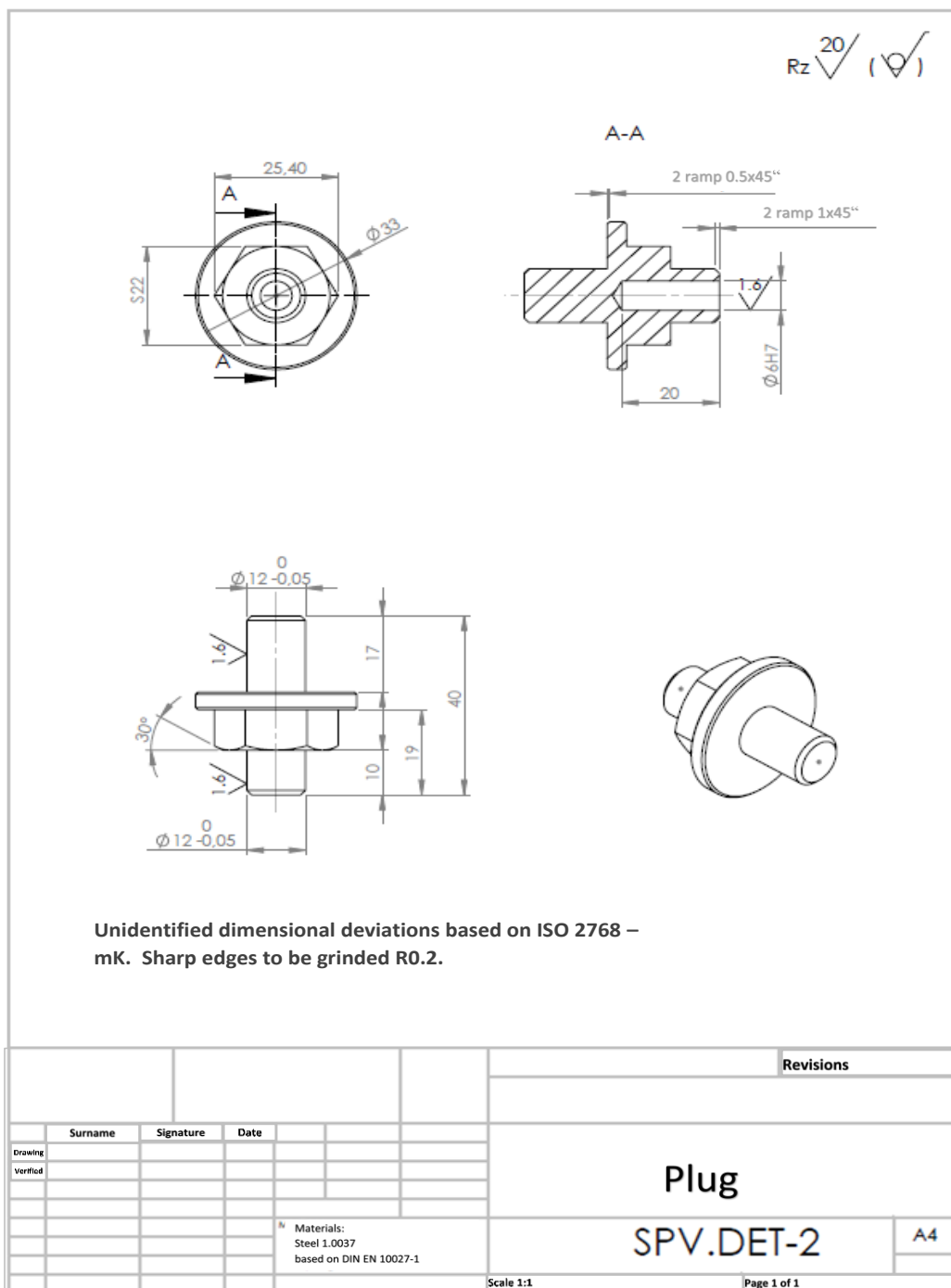
apkopes laiks, darbinieka atpūtas laiks un personīgo vajadzību laiks, uzstādīšanas laiks), izmantojot noteiktas rokasgrāmatas. Apstrādes laika aprēķina formulas ir minētas 3.7 nodaļā.

**Plānotā apstrādes darbību secība jāieraksta īpašās tehnoloģiskās tabulās.** Parasti uzņēmumi definē paši savas tabulas formas, tomēr dažādu uzņēmumu tabulām ir daudz kopīgu īpašību. Tehnoloģiskajās tabulās skaidri jānorāda, kādi darbi būtu jāpabeidz un nosacījumi šo darbu veikšanai. Maršruta lapās iekļauj konsekventu detaļu ražošanas tehnoloģisko darbību aprakstu, to posmus, konkrētus darbgaldus, griezējinstrumentus un mērīšanas līdzekļus, stiprinājumus, standarta gabala laiku un citu svarīgu informāciju. Maršruta lapas aizpilda jebkura veida ražošanā. Ražošanas diagrammās ir detalizēts darbības un posmu saturs, detaļas tehnoloģiskā skice ar virsmu norādēm, kuras tiek apstrādātas šīs darbības laikā, gabarītu lielumi, virsmas raupjums, stiprināšanas vietas un elementi. Tāpat jānorāda apstrādes režīmi, standarta gaballaika komponenti, instrumenti, dzesēšanas šķidrums utt. Ražošanas diagrammas parasti izsniedz vidēja lieluma, liela apjoma un masveida ražošanai.

## 6.2. Detaļu CNC programmu lietošana

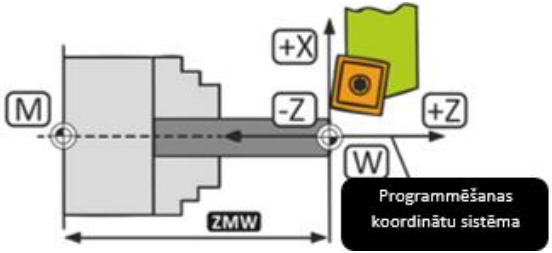
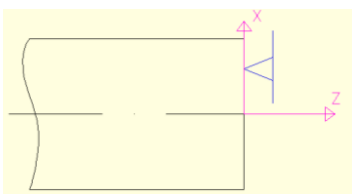
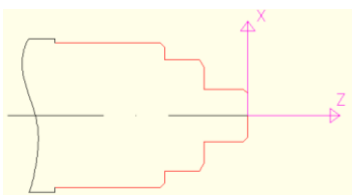
6.2.1 un 6.2.2 nodaļā ir sniegta informācija par CNC programmām (6.1. un 6.2. tabula) un detaļu rasējumiem (6.5. un 6.6. attēls), kuri paredzēti apstrādei virpošanas un frēzēšanas operācijās.

### 6.2.1. Virpošanas operācijas piemērs



6.5 attēls. Inženiertehniskais zīmējums spraudnim

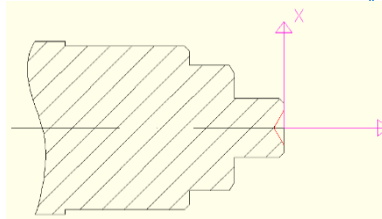
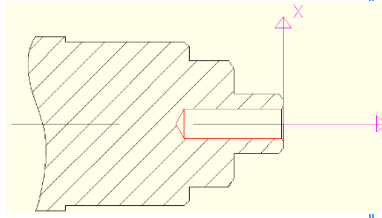
6.1. tabula. CNC programma spraudņa apstrādei

| Programmas apraksts                                                                                                                                 | Programmas skaidrojums                                                                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| %                                                                                                                                                   | Programmas sākums                                                                                                                                          |
| <p>O0001 (CNC.DET-2, 1 darbība)</p> <p>; W - sagataves nulles punkts</p> <p>; X - sagataves labais gals</p> <p>; Z – sagataves rotācijas centrs</p> | <p>Programmas numurs. Starp iekavām – detaļas nosaukums un piezīmes</p>  |
| (Sagataves atdure)                                                                                                                                  | Starp iekavām – piezīmes                                                                                                                                   |
|                                                                    |  <p>(Hoffmann grupa)</p>                                                  |
| T01                                                                                                                                                 | Atdures izsaukšana (nomaiņa), T01 – instrumenta numurs                                                                                                     |
| G0 Z100.                                                                                                                                            | Novirza atduri pa labi gar z asi, lai izņemtu sagatavi                                                                                                     |
| G28 U0.                                                                                                                                             | Novirza atduri uz augšu līdz instrumenta nomaiņas punktam                                                                                                  |
| Kontūra rupjapstrāde (atstājot tīrapstrādei)                                                                                                        | Veiktās darbības nosaukums                                                                                                                                 |
| (Virpošanas instruments rupjapstrādei)                                                                                                              | Apstrādē izmantotais instruments                                                                                                                           |
|                                                                  |  <p>(Walter AG)</p>                                                     |

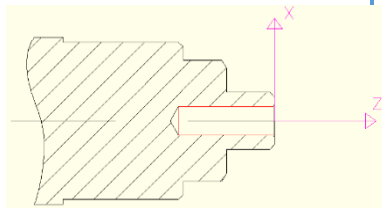
6.1 tabulas turpinājums

|                                                                                                                        |                                                                              |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| T02                                                                                                                    | T 02– instrumenta numurs, instrumenta maiņa                                  |
| G50 S2000                                                                                                              | Maksimālā rotācijas ātruma iestatīšana darbvārpstai                          |
| G96 S150 M04                                                                                                           | Vārpstas rotācijas ātruma un virziena iestatīšana, palaišana                 |
| M08                                                                                                                    | Dzesēšanas šķidruma padeves ieslēgšana                                       |
| G0 X37. Z0.2                                                                                                           | Instrumenta pārvietošana uz sagataves galu                                   |
| G1 X-1,65 F0,2                                                                                                         | Apstrāde ar darba padevi                                                     |
| G0 X35. Z2.                                                                                                            | Atkāpšanās no sagataves                                                      |
| G71 U2.5 R0.2<br>G71 P100 Q200 U0,3 W0,1<br>F0,3                                                                       | Parametru apraksts kontūras rupjapstrādes ciklam                             |
| G0 X11. Z0.<br>G1 X12. Z-0,5<br>Z-10.<br>X22.<br>X25,4 Z-10,98<br>Z-19.<br>X32.<br>X33,2 Z-19,6<br>Z-44.<br>X35. Z-46. | Instrumenta trajektorijas (kontūras elementu) apraksts kontūra rupjapstrādei |
| G0 Z100.                                                                                                               | Instrumenta atvirze                                                          |
| G28 U0. M05                                                                                                            | Vārpstas apstādināšana un instrumenta pārvietošana uz maiņas punktu          |
| M09                                                                                                                    | Dzesēšanas šķidruma padeves izslēgšana                                       |

6.1 tabulas turpinājums

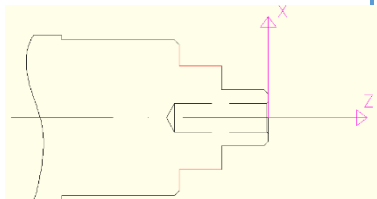
|                                                                                     |                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Centra urbums ar 6,5 mm diametru                                                    | Veiktās darbības nosaukums                                                                              |
| (Centrēšanas urbis ar 10 mm diametru)                                               | Darbībā izmantotais instruments                                                                         |
|    | <br>(Hoffmann grupa)   |
| T03                                                                                 | T03 – instrumenta numurs, instrumenta maiņa                                                             |
| G97 S1000 M03                                                                       | Vārpstas rotācijas ātruma un virziena iestatīšana, palaišana                                            |
| G0 X0. Z20. M08                                                                     | Instrumenta pievērššana pie sagataves. Dzesēšanas šķidruma padeves ieslēgšana                           |
| G98 G81 Z-1. R2. F0,1                                                               | Centrēšanas cikla parametru apraksts un izpilde                                                         |
| G00 Z100.                                                                           | Instrumenta atvirze no sagataves                                                                        |
| G28 U0. M05                                                                         | Vārpstas apstādināšana un instrumenta pārvietošana uz maiņas punktu                                     |
| M09                                                                                 | Dzesēšanas šķidruma padeves izslēgšana                                                                  |
| (Cauruma urbšana ar 6,5 mm diametru un precizitātes kvalitāti H7)                   | Veiktās darbības nosaukums                                                                              |
| (Urbis ar 6,3 mm diametru)                                                          | Darbībā izmantotais instruments                                                                         |
|  | <br>(Hoffmann grupa) |

6.1 tabulas turpinājums

|                                                                                     |                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| T04                                                                                 | T04 – instrumenta numurs, instrumenta maiņa                                                             |
| G97 S800 M03                                                                        | Vārpstas rotācijas ātruma un virziena iestatīšana, palaišana                                            |
| G0 X0. Z20. M08                                                                     | Dzesēšanas šķidruma padeves ieslēgšana                                                                  |
| G98 G83 Z-21,95 R2. Q3. F0,12                                                       | Dziļurbšanas cikla parametru uzstādīšana, apstrāde ar darba padevi                                      |
| G0 Z100.                                                                            | Instrumenta atvirze no sagataves                                                                        |
| G28 U0. M05                                                                         | Vārpstas apstādināšana un instrumenta pārvietošana uz maiņas punktu                                     |
| M09                                                                                 | Dzesēšanas šķidruma padeves izslēgšana                                                                  |
| (Cauruma izrīvēšana ar 6,5H7 mm diametru)                                           | Veiktās darbības nosaukums                                                                              |
| (Rīvurbis ar 6,5H7 mm diametru)                                                     | Darbībā izmantotais instruments                                                                         |
|  | <br>(Hoffmann grupa) |
| T05                                                                                 | T05 – instrumenta numurs                                                                                |
| G97 S600 M03                                                                        | Vārpstas rotācijas režīmu, ātruma un virziena iestatīšana, palaišana                                    |
| G0 X0. Z20. M08                                                                     | Dzesēšanas šķidruma padeves ieslēgšana                                                                  |
| G98 G85 Z-21,95 R2. Q3. F0,05                                                       | Izrīvēšanas cikla parametru apraksts. Apstrāde ar darba padevi                                          |
| G0 Z100.                                                                            | Instrumenta atvirze no sagataves                                                                        |



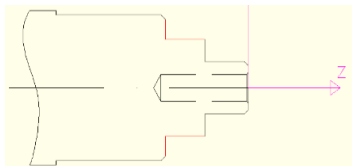
6.1 tabulas turpinājums

|                                 |                                                                                                                                                                                                                                    |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| G28 U0. M05                     | Vārpstas apstādināšana un instrumenta pārvietošana uz maiņas punktu                                                                                                                                                                |
| M09                             | Dzesēšanas šķidruma padeves izslēgšana                                                                                                                                                                                             |
| (Sešstūra frēzēšana 22 mm)      | Veiktās darbības nosaukums                                                                                                                                                                                                         |
| (Pirkstfrēze ar 10 mm diametru) | <p>Darbībā izmantotais instruments</p>   <p>(Hoffmann grupa)</p> |
| T06                             | T 06– instrumenta numurs, instrumenta maiņa                                                                                                                                                                                        |
| M69                             | Aktīvā instrumenta režīma aktivizēšana                                                                                                                                                                                             |
| S1350 M03                       | Vārpstas rotācijas ātruma un virziena iestatīšana, palaišana                                                                                                                                                                       |
| M08                             | Dzesēšanas šķidruma padeve                                                                                                                                                                                                         |
| G28 C0. G28 U0. G28 W0.         | Aktīvā instrumenta iekārtu atskaites pozīcijas iestatīšana                                                                                                                                                                         |
| G00 Z20.                        | Tuvošanās sagatavei ar aktīvo instrumentu                                                                                                                                                                                          |
| G0 X30. C17.                    | Aktīvā instrumenta kustība uz apstrādes sākuma punktu                                                                                                                                                                              |
| G0 Z-9.                         | Instrumenta pārvietošums pa Z-asi pa kreisi                                                                                                                                                                                        |
| G1 Z-14,5 F1000                 | Apstrādes dziļuma iestatīšana                                                                                                                                                                                                      |
| G12.1                           | Frēzēšanas cikla sākums                                                                                                                                                                                                            |

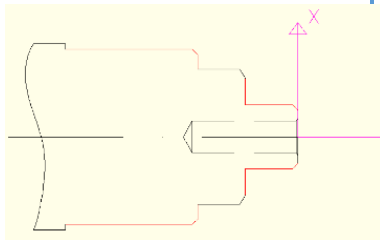
6.1 tabulas turpinājums

|                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| G1 G42 F0,2 X14. C11,2<br>X-12,94 F0,045<br>X-25,86 C0.<br>X-12,94 C-11,2<br>X12,94<br>X25,86 C0.<br>X11,9 C12,1<br>G40 F1,5 X30. C17. | Instrumenta trajektorijas apraksts ( sešstūra rupjapstrāde ar frēzēšanu), nosakot apstrādes parametrus 14,5 mm dziļumā, ņemot vērā instrumentu rādiusa kompensāciju |
| Z-19.                                                                                                                                  | Novirzīšana uz nākamo apstrādes dziļumu                                                                                                                             |
| G12,1                                                                                                                                  | Frēzēšanas cikla sākums                                                                                                                                             |
| G1 G42 F0,2 X14. C11,2<br>X-12,94 F0.045<br>X-25,86 C0.<br>X-12,94 C-11,2<br>X12,94<br>X25,86 C0.<br>X11,9 C12.1<br>G40 F1,5 X30. C17. | Instrumenta trajektorijas apraksts (sešstūra rupjapstrāde ar frēzēšanu), nosakot apstrādes parametrus 19 mm dziļumā, ņemot vērā instrumentu rādiusa kompensāciju    |
| G13.1                                                                                                                                  | Frēzēšanas cikla beigas                                                                                                                                             |
| G0 Z50. M05                                                                                                                            | Instrumenta atvirzīšana no sagataves, Darbvārpstas izslēgšana                                                                                                       |
| M68                                                                                                                                    | Aktīvā instrumenta režīma atcelšana                                                                                                                                 |
| G28 U0.<br>G28 W0.                                                                                                                     | Instrumenta atgriešanās sākuma punktā. Instrumentu maiņas punkts                                                                                                    |
| (22 mm sešstūra frēzēšana/tīrapstrāde)                                                                                                 | Veiktās darbības nosaukums                                                                                                                                          |

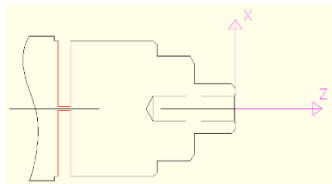
6.1 tabulas turpinājums

|                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>(Pirkstfrēze ar 10 mm diametru)</p>                           |  <p>Apstrādē izmantotais instruments (Hoffmann grupa)</p>                              |
| T07                                                                                                                                               | T 07– instrumenta numurs, instrumenta maiņa                                                                                                                             |
| M69                                                                                                                                               | Aktīvā instrumenta režīma aktivizēšana                                                                                                                                  |
| S1350 M03                                                                                                                                         | Vārpstas rotācijas ātruma un virziena iestatīšana, palaišana                                                                                                            |
| M08                                                                                                                                               | Dzesēšanas šķidruma padeves ieslēgšana                                                                                                                                  |
| G28 C0. G28 U0. G28 W0.                                                                                                                           | Aktīvā instrumenta iekārtas atskaites pozīcijas iestatīšana                                                                                                             |
| G00 Z20.                                                                                                                                          | Tuvošanās sagatavei                                                                                                                                                     |
| X30.C17.                                                                                                                                          | Aktīvā instrumenta kustība uz apstrādes sākuma punktu                                                                                                                   |
| Z-17.                                                                                                                                             | Tuvojas kontūrai gar Z asi līdz drošam attālumam                                                                                                                        |
| G1 Z-19.                                                                                                                                          | Apstrādes dziļums                                                                                                                                                       |
| G12,1                                                                                                                                             | Frēzēšanas cikla sākums                                                                                                                                                 |
| <p>G1 G42 F0.2 X14. X11.<br/> X-12,7 F0,045<br/> X-25,4 C0.<br/> X-12,7 C-11.<br/> X12<br/> X25,4 C0.<br/> X11 54 X12.<br/> G40 F1.5 X30. C17</p> | <p>Instrumenta trajektorijas apraksts ( sešstūra tīrapstrāde ar frēzēšanu), nosakot apstrādes parametrus 19 mm dziļumā, ņemot vērā instrumentu rādiusa kompensāciju</p> |

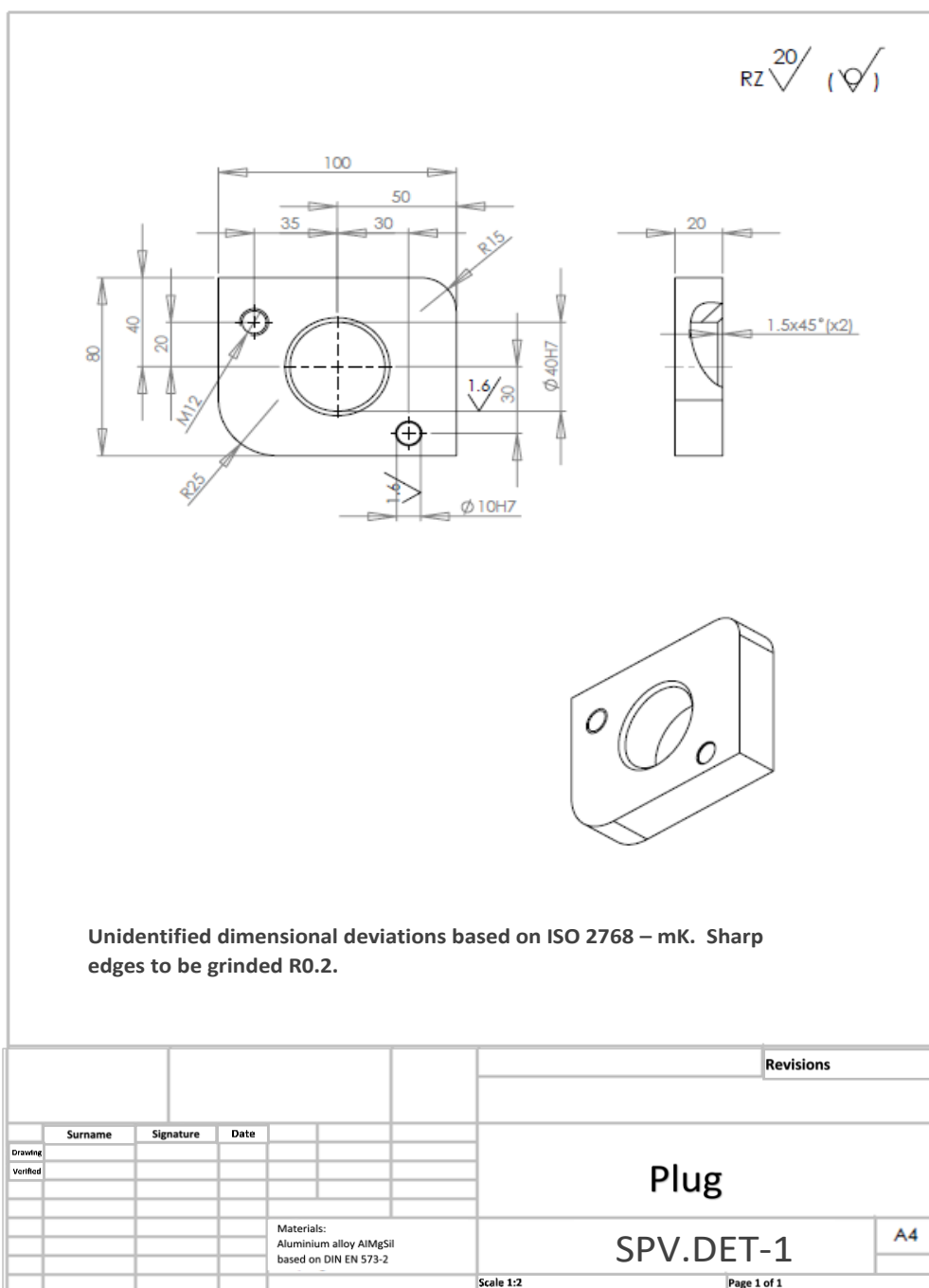
6.1 tabulas turpinājums

|                                                                                                                                                                                        |                                                                                                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| G13,1                                                                                                                                                                                  | Frēzēšanas cikla beigas                                                                           |
| G0 Z50. M05                                                                                                                                                                            | Instrumenta atvirzīšana no sagataves, Darbvārpstas izslēgšana                                     |
| M68                                                                                                                                                                                    | Aktīvā instrumenta režīma atcelšana                                                               |
| G28 U0.<br>G28 W0.                                                                                                                                                                     | Instrumenta atgriešanās sākuma punktā. Instrumentu maiņas punkts.                                 |
| (Kontūra tīrapstrāde)                                                                                                                                                                  | Veiktās darbības nosaukums                                                                        |
| (Virpošanas instruments tīrapstrādei)                                                                                                                                                  | Darbībā izmantotais instruments                                                                   |
|   <p>(Walter AG)</p> |                                                                                                   |
| T01                                                                                                                                                                                    | T01– instrumenta numurs, instrumenta maiņa                                                        |
| G50 S2000                                                                                                                                                                              | Maksimālā rotācijas ātruma iestatīšana darbvārpstai                                               |
| G96 S150 M04                                                                                                                                                                           | Vārpstas rotācijas ātruma un virziena iestatīšana, palaišana                                      |
| M08                                                                                                                                                                                    | Dzesēšanas šķidruma padeves ieslēgšana                                                            |
| G0 X14. Z0.                                                                                                                                                                            | Instrumenta novirzīšana uz sagataves galu                                                         |
| G1 X25,4 F0,2                                                                                                                                                                          | Apstrāde ar darba padevi                                                                          |
| G0 X11,Z2.                                                                                                                                                                             | Instrumenta atvirzīšana no sagataves                                                              |
| G1 Z0.<br>X12. Z-0,5<br>Z-10. X22.<br>X25.4 Z-10.98<br>Z-19. X32.<br>X33,2. Z-19,5<br>Z-27.                                                                                            | Instrumentu ceļa trajektoriju apraksts, pamatojoties uz detaļas kontūru, apstrāde ar darba padevi |
| G0 X35. Z-21.                                                                                                                                                                          | Instrumenta atvirzīšana drošā attālumā                                                            |

6.1 tabulas turpinājums

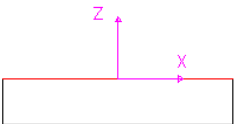
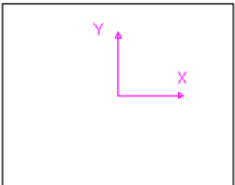
|                           |                                                                                                                                                     |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Z100. M05                 | Instrumenta atvirzīšana no sagataves, darbvārpstas izslēgšana                                                                                       |
| M09                       | Dzesēšanas šķidruma padeves izslēgšana                                                                                                              |
| G28U0.                    | Instrumenta atgriešanās sākuma punktā. Instrumentu maiņas punkts.                                                                                   |
| (Detaļas nogriešana)      | Veiktās darbības nosaukums                                                                                                                          |
| (Nogriešanas instruments) |  <p>Darbībā izmantotais instruments<br/>(Tungaloy Corporation)</p> |
| T10                       | T10 – instrumenta numurs                                                                                                                            |
| G50 S2000                 | Maksimālā rotācijas ātruma iestatīšana darbvārpstai                                                                                                 |
| G96 S150 M04              | Vārpstas rotācijas ātruma un virziena iestatīšana, palaišana                                                                                        |
| M08                       | Eļļas / dzesēšanas šķidruma padeve                                                                                                                  |
| G0 X37. Z-40,2            | Instrumenta kustība uz nogriešanas pozīciju                                                                                                         |
| G1 X0. F0.05              | Detaļas nogriešana virzienā gar X asi uz centru. Instrumenta darba padeves iestatīšana                                                              |
| G0 X40.                   | Instrumentu atvirzīšana no griešanas zonas                                                                                                          |
| Z100.                     | Instrumenta atvirzīšana no darba zonas                                                                                                              |
| G28 U0. M05               | Instrumenta atgriešanās sākuma punktā. Instrumentu maiņas punkts.                                                                                   |
| M09                       | Dzesēšanas šķidruma padeves izslēgšana                                                                                                              |
| M03 %                     | Programmas beigas un atgriešanās programmas sākumā                                                                                                  |

### 6.2.2 Frēzēšanas darbības piemērs

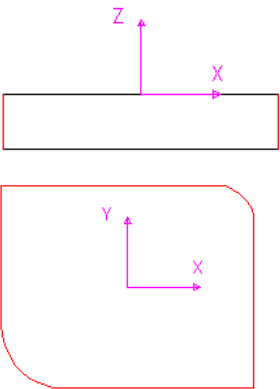


6.6. attēls. Inženiertehniskais zīmējums plāksnei

6.2. tabula CNC programma plāksnes apstrādei

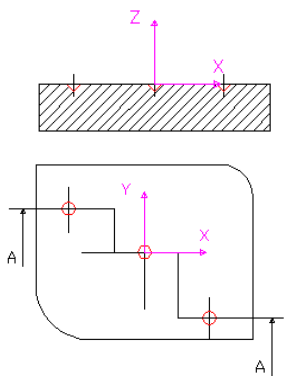
|                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Programmas apraksts                                                                                                                                                                                                                  | Programmas skaidrojums                                                                                                                             |
| %                                                                                                                                                                                                                                    | Programmas sākums                                                                                                                                  |
| O0001 (detaļa – plāksne)                                                                                                                                                                                                             | Programmas numurs. Detaļas nosaukums un piezīmes                                                                                                   |
| ( X centrs )<br>( Y centrs )<br>( Z augša )                                                                                                                                                                                          | Piezīmes par atsauci par nulles punktiem attiecībā uz daļu                                                                                         |
| (Augšējā virsmas frēzēšana)                                                                                                                                                                                                          | Veiktās darbības nosaukums                                                                                                                         |
| (Plaknes frēzēšana ar 40 mm diametra instrumentu)<br><br><br><br> | <p>Darbībā izmantotais instruments (Hoffmann grupa)</p>           |
| T01 ME                                                                                                                                                                                                                               | T01 – instrumenta numurs un instrumenta maiņas komanda                                                                                             |
| G0 G17 G54 G0 G96 X35. Y-20.                                                                                                                                                                                                         | Apstrādes plaknes, koordinātu atskaites punkta un absolūto koordinātu piešķiršana                                                                  |
| F1000 S150 M3                                                                                                                                                                                                                        | Griešanas apstākļu iestatīšana: padeves ātruma mm/minūtē piešķiršana, darbvārpstas rotācijas ātruma un virziena piešķiršana, rotācijas ieslēgšana. |
| G43 Z50.0 H1 M8                                                                                                                                                                                                                      | Instrumenta garuma parametru aktivizēšana.<br>Dzesēšanas šķidruma ieslēgšana                                                                       |

## 6.2 tabulas turpinājums

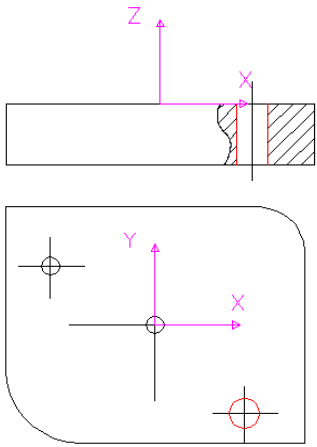
|                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>G0 Z2.<br/>G1 Z0.<br/>X-75.<br/>Y20.<br/>X75.<br/>G0 Z20.</p>                                                       | <p>Instrumenta pietuvināšana virsmai drošā attālumā<br/>Instrumenta pievirzīšana pie virsmas ar darba padevi<br/>Taisnvirziena kustība X ass virzienā<br/>Taisnvirziena kustība Y ass virzienā<br/>Taisnvirziena kustība X ass virzienā<br/>Instrumenta attālināšana no detaļas virsmas</p> |
| G80 M9                                                                                                                 | Dzesēšanas šķidruma padeves izslēgšana                                                                                                                                                                                                                                                      |
| G28 G91 Z0 M5                                                                                                          | Darbvārpstas rotācijas apturēšana un atgriešana darbgalda nulles punktā                                                                                                                                                                                                                     |
| (Kontūra frēzēšana)                                                                                                    | Veiktās darbības nosaukums.                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <p>(12 mm diametra pirkstfrēze)</p>  | <p>Operācijas veikšanai izmantotais instruments,</p>  <p>(Hoffmann grupa)</p>                                                                                                                             |
| T2 M6                                                                                                                  | T02 – instrumentu numurs un instrumenta maiņas komanda                                                                                                                                                                                                                                      |
| G0 G17 G54 G90 G94 G0 X55.<br>Y-52.                                                                                    | Apstrādes plaknes, koordinātu atskaites punkta un absolūto koordinātu piešķiršana                                                                                                                                                                                                           |
| S1500 F150 M3                                                                                                          | Griešanas apstākļu iestatīšana: padeves ātruma mm/minūtē piešķiršana, darbvārpstas rotācijas ātruma un virziena piešķiršana, rotācijas ieslēgšana.                                                                                                                                          |



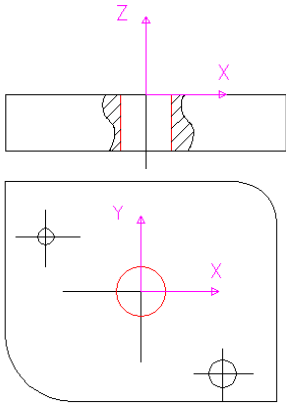
## 6.2 tabulas turpinājums

|                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| G43 Z50,0 H2 D2 M8                                                                                      | Instrumenta garuma un rādiusa parametru aktivizēšana.<br>Dzesēšanas šķidruma ieslēgšana.                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| G0 Z2.<br>G1 Z-10.<br>G41 Y-40.<br>X-25.<br>G2 X-50. Y-15. R25.<br>G1 Y40.<br>X35.<br>G2 X50. Y25. R15. | Instrumenta pietuvināšana virsmai drošā attālumā<br>Instrumenta pievirzīšana pie apstrādājamās virsmas ar darba padevi, instrumenta rādiusa korekcijas ieslēgšana<br>Taisnvirziena kustība X ass virzienā<br>Kustība pa loku pulksteņrādītāja virzienā<br>Taisnvirziena kustība Y ass virzienā<br>Taisnvirziena kustība X ass virzienā<br>Kustība pa loku pulksteņrādītāja virzienā |
| G1 Y-42.<br>G40 X62.                                                                                    | Taisnvirziena kustība Y ass virzienā<br>Instrumenta rādiusa korektora izslēgšana                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| G0 Z50.                                                                                                 | Instrumenta attālināšana no detaļas virsmas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| M9                                                                                                      | Dzesēšanas šķidruma padeves izslēgšana                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| G28 G91 Z0 M5                                                                                           | Darbvārpstas rotācijas apturēšana un atgriešana darbgalda nulles punktā                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| (Urbumu centrēšana)                                                                                     | Veiktās darbības nosaukums                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| (Centrurbis)<br>     | Instrumenti, ko izmanto operācijas veikšanai<br><br>(Hoffmann grupa)                                                                                                                                                                                                                            |

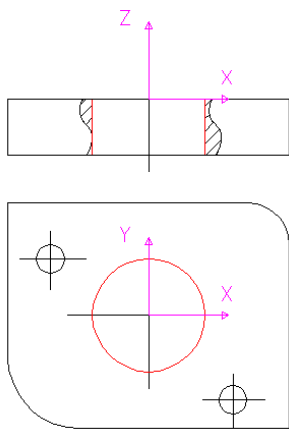
## 6.2 tabulas turpinājums

|                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| T03 M6                                                                                                                                       | T03 – instrumentu numurs un instrumenta maiņas komanda                                                                                                                                                                                                                          |
| G0 G17 G54 G90 G94 X30. Y-30.                                                                                                                | Apstrādes plaknes, koordinātu atskaites punkta un absolūto koordinātu piešķiršana                                                                                                                                                                                               |
| S1000 F100 M3                                                                                                                                | Griešanas apstākļu iestatīšana: padeves ātruma mm/minūtē piešķiršana, darbvārpstas rotācijas ātruma un virziena piešķiršana, rotācijas ieslēgšana.                                                                                                                              |
| G43 Z30.0 H3 M8                                                                                                                              | Instrumenta garuma un rādiusa parametru aktivizēšana.<br>Dzesēšanas šķidruma ieslēgšana.                                                                                                                                                                                        |
| (10H7 urbums)<br>G98 G81 X30. Y-30. Z-1. R2.<br>(40H7 urbums)<br>G98 G81 X0. Y0. Z-1. R2.<br>(M12 vītņurbums)<br>G98 G81 X-35. Y20. Z-1. R2. | Komentārs<br>G98 – komanda, lai instruments pēc cikla izpildes atgrieztos sākotnējā (Z30.) augstumā virs detaļas. Centrēšanas cikla parametru apraksts: urbumu koordinātes, centrēšanas dziļums, drošais attālums, kur atvirzīt instrumentu virs detaļas virsmas ar ātro padevi |
| G80 M9                                                                                                                                       | Urbšanas cikla atcelšana, dzesēšanas šķidruma padeves izslēgšana                                                                                                                                                                                                                |
| G28 G91 Z0 M5                                                                                                                                | Darbvārpstas rotācijas apturēšana un atgriešana darbgalda nulles punktā                                                                                                                                                                                                         |
| (Urbums 10mm ar precizitāti H7, otrā operācija)                                                                                              | Veiktās darbības nosaukums                                                                                                                                                                                                                                                      |
| (Urbis ar diametru 9,8 mm)<br>                            | Instrumenti, ko izmanto operācijas veikšanai<br><br>(Hoffmann grupa)                                                                                                                        |

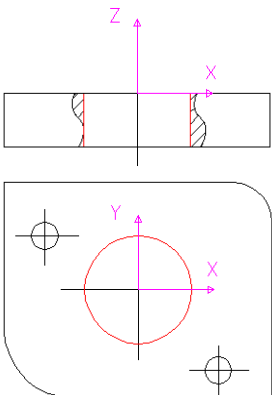
## 6.2 tabulas turpinājums

|                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| T4 M6                                                                               | T02 – instrumentu numurs un instrumenta maiņas komanda                                                                                                                                                                                                                                 |
| G0 G17 G54 G90 G94 X30. Y-30.                                                       | Apstrādes plaknes, koordinātu atskaites punkta un absolūto koordinātu piešķiršana                                                                                                                                                                                                      |
| S1000 F100 M3                                                                       | Griešanas apstākļu iestatīšana: padeves ātruma mm/minūtē piešķiršana, darbvārpstas rotācijas ātruma un virziena piešķiršana, rotācijas ieslēgšana.                                                                                                                                     |
| G43 Z30.0 H4 M8                                                                     | Instrumenta garuma un rādiusa parametru aktivizēšana.<br>Dzesēšanas šķidruma ieslēgšana.                                                                                                                                                                                               |
| G98 G83 Z-25. R2. Q5.                                                               | G98 – komanda, lai instruments pēc cikla izpildes atgrieztos sākotnējā (Z30.) augstumā virs detaļas. Urbšanas cikla parametru apraksts: urbumu koordinātes, urbšanas dziļums, drošais attālums, kur atvirzīt instrumentu virs detaļas virsmas ar ātro padevi, urbšanas gājiena dziļums |
| G80 M9                                                                              | Urbšanas cikla atcelšana, dzesēšanas šķidruma padeves izslēgšana                                                                                                                                                                                                                       |
| G28 G91 Z0 M5                                                                       | Darbvārpstas rotācijas apturēšana un atgriešana darbgalda nulles punktā                                                                                                                                                                                                                |
| (Urbums 40 mm ar precizitāti H7, otrā operācija)                                    | Veiktās darbības nosaukums                                                                                                                                                                                                                                                             |
| (Urbis ar diametru 17,5 mm)                                                         | <p>Instrumenti, ko izmanto operācijas veikšanai</p>  <p>(Hoffmann grupa)</p>                                                                                                                        |
|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| T5 M6                                                                               | T – instrumenta numurs un instrumenta maiņas komanda                                                                                                                                                                                                                                   |

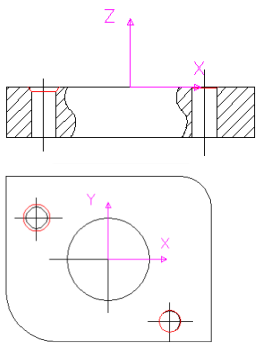
6.2 tabulas turpinājums

|                                                                                                                    |                                                                                                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| G0 G17 G54 G90 G94 X0. Y0.                                                                                         | Apstrādes plaknes, koordinātu atskaites punkta un absolūto koordinātu piešķiršana                                                                        |
| S1000 F100 M3                                                                                                      | Griešanas apstākļu iestatīšana: padeves ātruma mm/minūtē piešķiršana, darbvārpstas rotācijas ātruma un virziena piešķiršana, rotācijas ieslēgšana.       |
| G43 Z30.0 H5 M8                                                                                                    | Instrumenta garuma un rādiusa parametru aktivizēšana.<br>Dzesēšanas šķidruma ieslēgšana.                                                                 |
| G98 G83 Z-25. R2. Q3.                                                                                              | Urbšanas cikla parametru apraksts (skat. iepriekš).                                                                                                      |
| G80 M9                                                                                                             | Urbšanas cikla atcelšana, dzesēšanas šķidruma padeves izslēgšana                                                                                         |
| G28 G91 Z0 M5                                                                                                      | Darbvārpstas rotācijas apturēšana un atgriešana darbgalda nulles punktā                                                                                  |
| (Vītņurbšana M12, otrā operācija)                                                                                  | Veiktās darbības nosaukums                                                                                                                               |
| (Urbis ar diametru 10,2 mm)<br> | Instrumenti, ko izmanto operācijas veikšanai<br><br>(Hoffmann grupa) |
| T6 M6                                                                                                              | T – instrumenta numurs un instrumenta maiņas komanda                                                                                                     |
| G0 G17 G54 G90 G94 X-35. Y20.                                                                                      | Apstrādes plaknes, koordinātu atskaites punkta un absolūto koordinātu piešķiršana                                                                        |

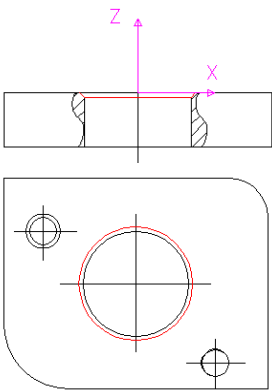
6.2 tabulas turpinājums

|                                                                                                                       |                                                                                                                                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| S1000 F100 M3                                                                                                         | Griešanas apstākļu iestatīšana: padeves ātruma mm/minūtē piešķiršana, darbvārpstas rotācijas ātruma un virziena piešķiršana, rotācijas ieslēgšana.      |
| G43 Z30.0 H6 M8                                                                                                       | Instrumenta garuma un rādiusa parametru aktivizēšana.<br>Dzesēšanas šķidruma ieslēgšana.                                                                |
| G98 G83 Z-25. R2. Q5.                                                                                                 | Urbšanas cikla parametru apraksts.                                                                                                                      |
| G80 M9                                                                                                                | Urbšanas cikla atcelšana, dzesēšanas šķidruma padeves izslēgšana                                                                                        |
| G28 G91 Z0 M5                                                                                                         | Darbvārpstas rotācijas apturēšana un atgriešana darbgalda nulles punktā                                                                                 |
| (Urbums 40 mm ar precizitāti H7, trešā operācija)                                                                     | Veiktās darbības nosaukums                                                                                                                              |
| (Pirkstfrēze ar diametru 16 mm)<br> | Instrumenti, ko izmanto operācijas veikšanai<br><br>(Hoffmann grupa) |
| T07 M6                                                                                                                | T – instrumenta numurs un instrumenta maiņas komanda                                                                                                    |
| G0 G17 G54 G90 G94 X0. Y0.                                                                                            | Apstrādes plaknes, koordinātu atskaites punkta un absolūto koordinātu piešķiršana                                                                       |
| S1000 F100 M3                                                                                                         | Griešanas apstākļu iestatīšana: padeves ātruma mm/minūtē piešķiršana, darbvārpstas rotācijas ātruma un virziena piešķiršana, rotācijas ieslēgšana.      |

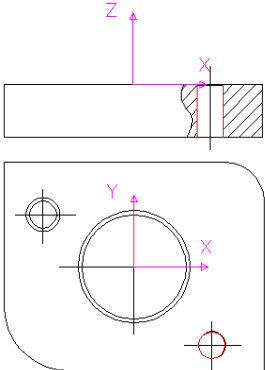
## 6.2 tabulas turpinājums

|                                                                                                                         |                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| G43 Z30.0 H7 D7 M8                                                                                                      | Instrumenta garuma un rādiusa parametru aktivizēšana.<br>Dzesēšanas šķidruma ieslēgšana.                                                              |
| G120 P22 X0. Y0. Z-20. R2. K10 D7. U40. W5. E200 Q0,2 F200                                                              | Apaļas kabatas frēzēšanas cikla parametru apraksts                                                                                                    |
| M9                                                                                                                      | Dzesēšanas šķidruma padeves izslēgšana                                                                                                                |
| G28 G91 Z0 M5                                                                                                           | Darbvārpstas rotācijas apturēšana un atgriešana darbgalda nulles punktā                                                                               |
| (Urbumu nofāzēšana)                                                                                                     | Veiktās darbības nosaukums                                                                                                                            |
| (Koniskais fāzēšanas urbis 90 gr)<br> | Instrumenti, ko izmanto operācijas veikšanai<br><br>(Hoffmann grupa) |
| T8 M6                                                                                                                   | T – instrumenta numurs un instrumenta maiņas komanda                                                                                                  |
| G0 G17 G54 G90 G94 X30. Y-30.                                                                                           | Apstrādes plaknes, koordinātu atskaites punkta un absolūto koordinātu piešķiršana                                                                     |
| S1000 F100 M3                                                                                                           | Griešanas apstākļu iestatīšana: padeves ātruma mm/minūtē piešķiršana, darbvārpstas rotācijas ātruma un virziena piešķiršana, rotācijas ieslēgšana.    |
| G43 Z30,0 H8 M8                                                                                                         | Instrumenta garuma un rādiusa parametru aktivizēšana.<br>Dzesēšanas šķidruma ieslēgšana.                                                              |
| (10h7 caurums)<br>G98 G81 X30. Y-30. Z-1. R2.<br>(M12 caurums)<br>G98 G81 X-35. Y20. Z-1. R2.                           | Komentārs<br>Centrēšanas cikla parametru apraksts, caurumu koordinātes                                                                                |

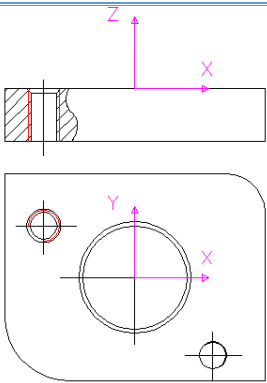
## 6.2 tabulas turpinājums

|                                                                                                         |                                                                                                                                                        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| G80 M9                                                                                                  | Urbšanas cikla atcelšana, dzesēšanas šķidruma padeves izslēgšana                                                                                       |
| G28 G91 Z0 M5                                                                                           | Darbvārpstas rotācijas apturēšana un atgriešana darbgalda nulles punktā                                                                                |
| (Kontūra fāzes frēzēšana 40 mm urbūmam )                                                                | Veiktās darbības nosaukums                                                                                                                             |
| (Fāzes frēze 90gr)<br> | Instruments, ko izmanto operācijas veikšanai<br><br>(Hoffmann grupa) |
| T9 M6                                                                                                   | T – instrumenta numurs un instrumenta maiņas komanda                                                                                                   |
| G0 G17 G54 G90 G94 X0. Y0.                                                                              | Apstrādes plaknes, koordinātu atskaites punkta un absolūto koordinātu piešķiršana                                                                      |
| 1000 F100 M3                                                                                            | Griešanas apstākļu iestatīšana: padeves ātruma mm/minūtē piešķiršana, darbvārpstas rotācijas ātruma un virziena piešķiršana, rotācijas ieslēgšana.     |
| G43 Z30,0 H9 D9 M8                                                                                      | Instrumenta garuma un rādiusa parametru aktivizēšana.<br>Dzesēšanas šķidruma ieslēgšana.                                                               |
| G0 Z2.<br>G1 Z-0,5<br>G1 G41 X-20. Y0.<br>G3 I20.<br>G1 G40 X0. Y0.<br>G0 Z20.                          | Instrumenta trajektorijas apraksts                                                                                                                     |
| G80 M9                                                                                                  | Dzesēšanas šķidruma padeves izslēgšana                                                                                                                 |

## 6.2 tabulas turpinājums

|                                                                                                                     |                                                                                                                                                                |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| G28 G91 Z0 M5                                                                                                       | Darbvārpstas rotācijas apturēšana un atgriešana darbgalda nulles punktā                                                                                        |
| (Urbums 10mm ar precizitāti H7, trešā operācija)                                                                    | Veiktās darbības nosaukums                                                                                                                                     |
| (Rīvurbis ar diametru 10H7 mm)<br> | <p>Instrumenti, ko izmanto operācijas veikšanai</p>  <p>(Hoffmann grupa)</p> |
| T10 M6                                                                                                              | T – instrumenta numurs un instrumenta maiņas komanda                                                                                                           |
| G0 G17 G54 G90 G94 X30. Y-30.                                                                                       | Apstrādes plaknes, koordinātu atskaites punkta un absolūto koordinātu piešķiršana                                                                              |
| S200 F100 M3                                                                                                        | Griešanas apstākļu iestatīšana: padeves ātruma mm/minūtē piešķiršana, darbvārpstas rotācijas ātruma un virziena piešķiršana, rotācijas ieslēgšana.             |
| G43 Z30,0 H10 M8                                                                                                    | <p>Instrumenta garuma un rādiusa parametru aktivizēšana.</p> <p>Dzesēšanas šķidruma ieslēgšana.</p>                                                            |
| G98 G85 Z-23. R2.                                                                                                   | Izrīvēšanas cikla parametru apraksts                                                                                                                           |
| G80 M9                                                                                                              | Urbšanas cikla atcelšana, dzesēšanas šķidruma padeves izslēgšana                                                                                               |
| G28 G91 Z0 M5                                                                                                       | Darbvārpstas rotācijas apturēšana un atgriešana darbgalda nulles punktā                                                                                        |
| (Vītņurbšana M12, trešā operācija)                                                                                  | Veiktās darbības nosaukums                                                                                                                                     |
| (Vītņurbis M12)                                                                                                     | Instrumenti, ko izmanto operācijas veikšanai                                                                                                                   |

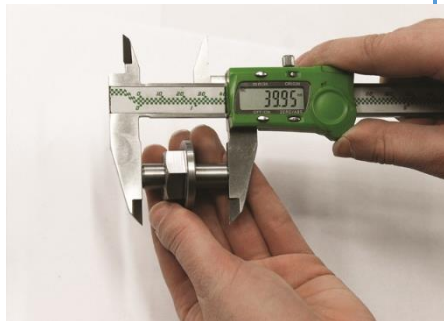
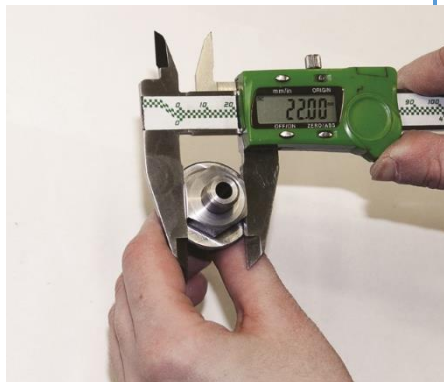
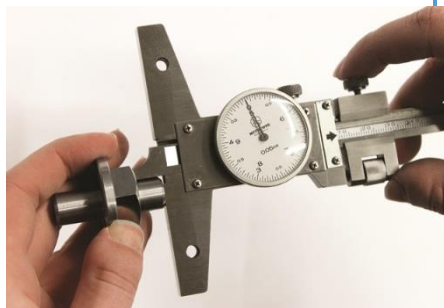


|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <br>(Hoffmann grupa)                                                                                                                                                         |
| T11 M6                                                                            | T – instrumenta numurs un instrumenta maiņas komanda                                                                                                                                                                                                           |
| G0 G17 G54 G90 G95 X-35. Y20.                                                     | Apstrādes plaknes, koordinātu atskaites punkta un absolūto koordinātu piešķiršana                                                                                                                                                                              |
| S100 F100 M3                                                                      | Griešanas apstākļu iestatīšana: padeves ātruma mm/minūtē piešķiršana, darbvārpstas rotācijas ātruma un virziena piešķiršana, rotācijas ieslēgšana.                                                                                                             |
| G43 Z30,0 H11 M8                                                                  | Instrumenta garuma un rādiusa parametru aktivizēšana.<br>Dzesēšanas šķidruma ieslēgšana.                                                                                                                                                                       |
| M0                                                                                | Pauze                                                                                                                                                                                                                                                          |
| M29 S100                                                                          | Darbvārpstas apgriezību un padeves precīzās salāgošanas komanda                                                                                                                                                                                                |
| G98 G84. Z-23. R2. F1,75                                                          | G98 – komanda, lai instruments pēc cikla izpildes atgrieztos sākotnējā (Z30.) augstumā virs detaļas. Vītņurbšanas cikla parametru apraksts: urbumu koordinātes, vītnes dziļums, drošais attālums, kur atvirzīt instrumentu virs detaļas virsmas ar ātro padevi |
| G80 M9                                                                            | Urbšanas cikla atcelšana, dzesēšanas šķidruma padeves izslēgšana                                                                                                                                                                                               |
| G28 G91 Z0 M5                                                                     | Darbvārpstas rotācijas apturēšana un atgriešana darbgalda nulles punktā                                                                                                                                                                                        |
| M30                                                                               | Programmas beigas un atgriešanās programmas sākumā                                                                                                                                                                                                             |
| %                                                                                 | Programmas beigas                                                                                                                                                                                                                                              |

### 6.3. Detaļu mērīšana

Detaļas un to sastāvdaļu mērījumus veic pēc katras apstrādes darbības un visu darbību beigās. Mērīšanas laikā elementu formu, gabarītus un virsmas kvalitāti novērtē saskaņā ar tehniskajām prasībām, kas norādītas uz rasējuma. Vispiemērotāko mērinstrumentu izvēlas katram detaļas elementam, pamatojoties uz izmēru apjomu un gabarītu precizitāti (6.3 un 6.4 tabula).

6.3 tabula. Rotācijas detaļas mērīšana

| Vispārējais priekšstats par mērījumu                                                | Paskaidrojumi                                                                                                                                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | Ārējo (vispārējo) gabarītu (garums, rādiuss utt.) mērīšana jāveic, izmantojot lineāro gabarītu izmēru standartizētus mērīšanas līdzekļus.                                  |
|   | Vienu standartizētu mērinstrumentu parasti var izmantot, lai izmērītu vairākus elementus ar dažādām formām (piemēram, iekšējos elementus – kakliņus, pakāpienus, kabatas). |
|  | Ir lietderīgi izmērīt elementu relatīvās koordinātes, izmantojot īpašus mērīšanas līdzekļus (dziļuma mērierīces, indikatorus utt.).                                        |



Lielākajai daļai daudzfunkcionālo mērīšanas līdzekļu ir daudzas dažādas mērīšanas šķautnes, kas ļauj izmērīt ārējos, iekšējos gabarītus un relatīvo virsmu stāvokli.



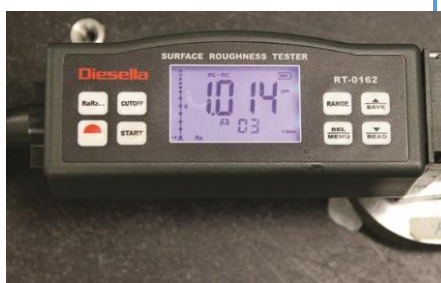
Lai izmērītu precīzākus izmērus, jāizmanto instrumentus ar īpaši augstu precizitāti. Mikrometrus izmanto, lai izmērītu ārējos diametrus. Mērot vārpstas diametru, dažreiz ārtāusts arī var nodrošināt vajadzīgo mērījuma precizitāti, tomēr instrumenta mērīšanas šķautņu formas dēļ saskares laukums mērīšanas laikā ir mazāks nekā tas, kā mērot ar mikrometru. Tāpēc diametra mērījuma rezultāta novirze var būt lielāka, ja tiek izmantots nevis ārtāusts, bet gan mikrometrs.



Elementu iekšējos izmērus mēra, izmantojot īpašus mērīšanas līdzekļus. Tiem jāgarantē lielāka mērīšanas zona un jāatbilst izmērītā elementa ģeometrijai. Standartizētas pielaišanas lauka iekšējo cilindru elementu izmērus mēra, izmantojot kalibra tipa mērierīces.

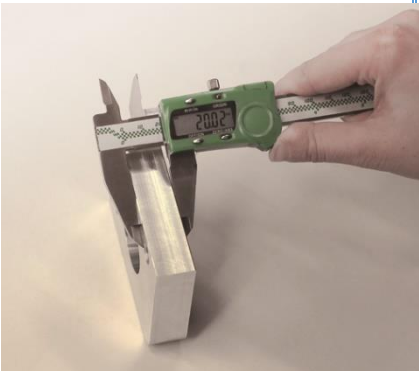


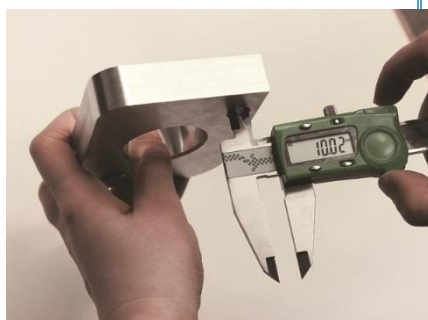
Kalibra tipa mērierīces konstrukcijā parasti ir divas mērīšanas daļas (derīgs/nederīgs), kuras atbilst izmērītā elementa gabarīta robežlielumiem. Ir nepieciešams pārbaudīt/izmērīt mērāmo elementu, izmantojot abas mērinstrumenta daļas, lai novērtētu, vai izmērs atbilst pieļaujamajam pielaišanas laukam.



Papildus lineārajiem gabarītiem un to novirzēm konkrētu elementu virsmas kvalitāti vērtē saskaņā ar rasējuma prasībām, piemēram, virsmas raupjumu, ko var izmērīt, izmantojot virsmas raupjuma testerus un raupjuma salīdzinājuma paraugus.

6.4 tabula Frēzētas detaļas mērīšana

| Vispārējais priekšstats par mērījumu                                                | Paskaidrojumi                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | <p>Ārējos (kopējos) gabarīta mērījumus veic, izmantojot standarta mērīšanas līdzekļus.</p>                                                                                                                                                                                                                                  |
|    | <p>Ir nepieciešams izmērīt visus gabarītus un novērtēt ne tikai izmēru lielumus, bet arī noteikt ģeometriskās novirzes, uz kurām var attiecināt papildu prasības.</p>                                                                                                                                                       |
|   | <p>Katra izmēra novirzes jānovērtē, jo pielaides atšķiras atkarībā no izmēra lieluma.</p>                                                                                                                                                                                                                                   |
|  | <p>Ražošanas laikā vītnes kvalitāte tiek noteikta, izmantojot vītnes kalibra mērinstrumentus. Vītņu kalbru mērierīces var būt pēc principa - derīgs/nederīgs. Derīgā kalibra tipa mērierīce ir viegli savienojama ar kvalitatīvu vītņi, bet nederīga vītne – ir savienojama tikai daļēji, ne vairāk kā divi apgriezieni</p> |



Lai pārbaudītu izmērīto elementu relatīvos izmērus, vispirms ir jānosaka faktiskie elementa izmēri.



Mērot caurumu relatīvo pozīciju, ir nepieciešams noteikt attālumu starp caurumu virsmu un citiem elementiem. Turklāt ir nepieciešams izmērīt faktiskos cauruma gabarītus. Pēc šo mērījumu pabeigšanas, novērtējot faktiskos cauruma izmērus, jāaprēķina cauruma ģeometriskā centra atrašanās vieta.



Standarta izmēra kalibra tipa mērierīces vai fiksējošās mērierīces ne vienmēr ir pietiekami precīzas, lai izmērītu gabarītu novirzes no rasējumā uzdotajām. Šādos gadījumos var izmantot standartizētu indikatora tipa mērinstrumentu, kurš jāpielāgo izmērāmajam izmēram.

Tā kā izmanto salīdzinošo mērīšanas metodi, mērīšanas indikators ir jākalibrē ar konkrētu padeves mērīšanas kalibru vai mērierīci.



Lai nodrošinātu precīzu urbumu diametru mērīšanu, gabarītu izmēru mērījumus veic vairākās vietās, lai novērtētu, vai izmērs atbilst robežlielumiem dažādos urbuma šķērsgriezumos.



Pārbaudot apstrādājamās virsmas raupjumu, mērījumi jāveic vairākās virsmas zonās, lai novērtētu iespējamo nevienmērību un bojājumus.

### **PRAKTISKI PADOMI:**

Pirms mērīšanas pārbaudiet nulles punkta iestatījumus mērīšanas instrumentā.

## 7. DARBA DROŠĪBA

### 7.1. CNC iekārtas darba drošība

Darba apstākļiem ir jānodrošina katra darbinieka veselība un drošība. Darbinieku veselību un drošību reglamentē darba likums, tiesību akti par darbinieku veselību un drošību, valdības lēmumi un likumi. Darba devējam ir jāfinansē tehniskie, sanitārie un higiēnas aizsardzības pasākumi, kas vajadzīgi, lai nodrošinātu drošus un veselīgus darba apstākļus.

Tehniskās apkopes uzņēmuma tehniskajam personālam vai ražotāja pārstāvjiem ir jāapmāca personāls, kas ir pilnvarots ekspluatēt un apkalpot iekārtas. Darba devējam ir jāapmāca darbinieki, kuri strādās ar iekārtu, regulāri (vismaz reizi gadā) jāinformē viņus par visiem drošības standartiem, kas attiecas uz CNC iekārtu, iespējamām ārkārtas situācijām, jāpārbauda darbinieku zināšanas, jādokumentē mācības/apmācības iekārtas ekspluatācijā, pieprasot, lai darbinieks apliecinātu klātbūtni mācībās/apmācībā ar savu parakstu, pārbaudīt, vai darbinieki strādā droši, cenšas izvairīties no briesmām un seko lietotāja rokasgrāmatai.

7.1. tabula. Simbolu (ikonu) un brīdinājumu definīcijas

| Ikona                                                                               | Brīdinājums  | Definīcija/sekas                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | BĪSTAMI!     | Darbiniekam ir letāla apdraudējuma risks                                                                                                 |
|                                                                                     | BRĪDINĀJUMS! | Darbiniekam ir nopietnu traumu vai pat nāves risks                                                                                       |
|                                                                                     | UZMANĪBU!    | Nedrošas procedūras risks, kas var radīt darbiniekiem savainojumus vai sabojāt iekārtu                                                   |
|  | UZMANĪBU!    | Situācija, kas var izraisīt CNC iekārtas un citas iekārtas bojājumus.<br>Nav apdraudējuma darbinieku veselībai vai nav ievainojuma risks |
|  | INFORMĀCIJA  | Padomi un cita svarīga un noderīga informācija, piezīmes.<br>Darbinieki vai priekšmeti nav briesmās vai pakļauti kaitīgām sekām          |

Iekārtas operatoram ir jāzina un stingri jāievēro darba drošības prasības, kas noteiktas darba drošības noteikumos, lai novērstu ar darbu saistītas traumas. Operatoram jābūt apmācītam apkalpot un programmēt CNC iekārtu, zināt un izprast programmas secību un tās ietekmi uz mehāniski apstrādātā izstrādājuma parametriem, un aizpildīt operatora

žurnālu. Pirms darbināt iekārtu, izlasiet un izprotiet lietošanas pamācību, iepazīstieties ar visām drošības ierīcēm un indikācijām. Operatoram ir jāzina simbolu (ikonu) un citu brīdinājuma zīmju nozīme uz iekārtas vai citām darba vietas vietām un jāievēro tie. Drošības instrukcijas ir sadalītas dažādos līmeņos. Simbolu (ikonu) un brīdinājumu, un iespējamo seku pārskats sniegts 7.1. tabulā.

Darba drošību nodrošina brīdinājuma, aizlieguma, indikācijas un avārijas zīmes. Visām brīdinājuma un obligātajām zīmēm jābūt skaidri salasāmām.

Brīdinājuma zīmes - dzeltenais trijstūris ar melnu norādi (7.1. attēls). Tās norāda uz vidi un brīdina par iespējamām briesmām.



7.1. attēls. Brīdinājuma zīmes

Aizlieguma zīmes ir apaļas ar sarkanu kontūru un sarkanu diagonālu svītru virs balta fona. Tās parāda aizliegtas darbības (7.2. attēls).



7.2.attēls. Aizlieguma zīmes

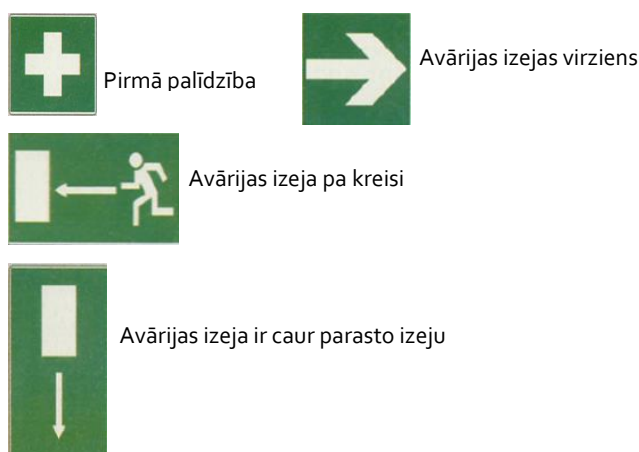
Indikācijas zīmes ir apaļas, zilas un baltas; tās norāda uz specifisku darbību (7.3. attēls.).





7.3.attēls. Indikācijas zīmes

Avārijas zīmes ir zaļas un baltas, taisnstūra vai kvadrāta. Tās var norādīt informāciju par īsāko evakuācijas ceļu, pirmās medicīniskās palīdzības komplekta atrašanās vietu utt. (7.4 attēls)



7.4. attēls. Avārijas zīmes

CNC iekārta ir konstruēta un izgatavota no metāla un citiem viegli uzliesmojošiem materiāliem un materiāliem, kas nerada draudus veselībai. Jebkurš cits iekārtas izmantošanas veids ir vispirms jāapstiprina ražotājam. Iekārta ir jāuzstāda un jāizmanto tikai neeksplozīvā, sausā un labi vēdinātā vidē. CNC iekārta var tikt izmantota tikai kopā ar aktīvām drošības ierīcēm. Ja drošības ierīces nav uzstādītas vai tās ir bojātas, nekavējoties jāpārtrauc CNC iekārtas darbība. Jebkādam papildu iekārtas daļām, kas uzstādītas klienta pieprasījumu dēļ, jābūt ar izstrādātām drošības ierīcēm. CNC iekārtas lietošanas laikā nav atļauts veikt jebkādas tās izmaiņas. Tas var radīt risku darbinieku drošībai un sabojāt iekārtu. Visus uzdevumus, kas tiek veikti CNC iekārtas darbības laikā, drīkst veikt tikai operators vai cita pilnvarota persona. Uzņēmumam ir skaidri un

precīzi jānosaka atbildība par dažādām operācijām ar CNC iekārtām (darbs, montāža, apkope, remonts). Operatora žurnālā jāieraksta atbildīgās personas vārds un uzvārds.

Pirms CNC iekārtu darba uzsākšanas operatoram jānodrošina, lai viņa drēbes nebūtu vaļīgas un nekarātos, pārbaudīt, vai iekārta, ierīces, griezējinstrumenti, aizsargierīces un zemējuma līdzekļi ir kārtībā. Iekārtas dīkstāves stāvoklis, vadības mehānismi, eļļošanas un dzesēšanas sistēmas uzpildes līmenis ir jāpārbauda, kā arī elektroniskās ierīces. Jebkādi defekti vai neprecizitātes ir jāziņo atbildīgajai personai.

Aizliegts vadīt iekārtu ar cimdium, vai strādāt ar apsaitētiem pirkstiem bez individuālu pirkstu cimdium. Smagās sagataves (smagākas par 20 kg) jāuzmontē un jānoņem no iekārtas, izmantojot pacelšanas iekārtas. Izņēmuma gadījumos smagas sagataves var uzstādīt tikai ar palīgu palīdzību. Lai izvairītos no bīstamas izkustēšanās un nenovestu pie operatora vai apkārtējo personu traumas, tās ir cieši un droši jāpiestiprina iekārtā vai uz iekārtas galda. Nepareizi nostiprinātas sagataves var aizlidot ar lielu ātrumu un caursist iekārtas drošības durvis. Ar apstrādātajām detaļām jārikojas uzmanīgi, jo šķembas un skaidas var savainot rokas. Skaidas jānoņem, izmantojot īpašus instrumentus; roku izmantošana vai tādu instrumentu lietošana, kas nav paredzēta šim nolūkam, ir aizliegta. Ja virpošanas laikā tiek iegūtas nepārtrauktas skaidas, tās jālikvidē ar skaidu smalcinātājiem. Lietojot CNC virpu, virpošanas spīļpatronas žokļu ārējais diametrs pēc sagataves piestiprināšanas nedrīkst pārsniegt spīļpatronas diametru. Nav atļauts iestiprināt sagataves, kuras ir lielākas par virpas spīļpatronu. Apstrādājot garu stieni, gals, kurš izvirzīts no vārpstas, ir jāievieto speciālā aizsargcaurulē. Instrumenta vai detaļas griešanās laikā nav atļauts veikt mērījumus. Mērīšana ir pieļaujama tikai tad, kad vārpsta ir apstājusies. Pirms tīrīšanas un apkopes darbu veikšanas vienmēr izslēdziet CNC iekārtu un atvienojiet barošanas avotu. Neapstādiniet vārpstu vai tās detaļas, izmantojot rokas. Ejot prom no iekārtas, vai neliela pārtraukuma laikā apturiet iekārtu un izslēdziet elektromotoru. Apstrādei izmantojiet tikai piemērotus griešanas rīkus. Ir aizliegts pārsniegt apstrādes programmā norādītos griešanās kustības ātrumus, un griešanas dziļumu. Vibrāciju (kratīšanās) gadījumā nekavējoties apstādiniet iekārtu. Virpojot nepārsniedziet atļauto spīļpatronas rotācijas ātrumu, jo augstāks griešanās ātrums samazina patronas satveršanas spēku.

Operatora stāvoklis darbības laikā atrodas aizsargstikla priekšā vai pie iekārtas vadības paneļa (7.5. attēls).



7.5. attēls. Operatora pozīcija, darbojoties ar CNC iekārtu

Pēc darbības pabeigšanas operatoram ir jāizslēdz iekārta un elektromotors, jānotīra darba vieta un jānodod iekārta nākamās maiņas operatoram vai meistaram, viņi jāinformē par jebkādiem trūkumiem un veiktajiem koriģējošajiem pasākumiem. Izmantojot saspieztu gaisu, netīriet skaidas un citus grūžus, jo tas var sabojāt CNC iekārtu. Pēc CNC iekārtas apturēšanas vienmēr izslēdziet galveno slēdzi (7.6. attēls). Tas nodrošinās to, ka nepilnvarots personāls neizmanto iekārtu.



7.6. attēls. CNC iekārtas galvenais slēdzis

Ņemiet vērā, ka vietas, kas atzīmētas ar ikonu  var būt zem sprieguma pat tad, kad galvenais slēdzis ir izslēgts.

Lietojot CNC iekārtu, operatoram ir jāievēro uzņēmuma vispārējie noteikumi, kas prasa uzturēt kārtību un tīrību darba vietā. Neaizbloķējiet iekārtas ejas un atstarpes starp iekārtām ar detaļām, sagatavēm un darbarīkiem; nodrošiniet savlaicīgu skaidu, brāķa detaļu vai sagatavju aizvākšanu; neļaujiet eļļām, smērvielām vai emulsijai nokļūt uz grīdas; novērsiet grīdas plaisāšanu, lūšanu; nodrošiniet pietiekamu darba vietas apgaismojumu.

CNC iekārtai ir šādas drošības iekārtas:

- slēdzams galvenais slēdzis,
- divas avārijas apturēšanas pogas iekārtas vadības panelī,
- aizslēdzamas drošības durvis ar aizsargstiklu, kas izgatavots no triecienizturīga materiāla,
- papildu drošības ierīces (atkarībā no CNC iekārtas konfigurācijas).

Avārijas apturēšanas poga ir spilgti sarkana (7.7. attēls). Iekārta apstājas uzreiz, kad tiek

nospiesta šī poga. Avārijas poga jānospiež tikai nenovēršamu briesmu gadījumā.



7.7. attēls. Avārijas apturēšanas pogas

Iekārtas apturēšana ar šo pogu normālās CNC iekārtas darbības laikā var sabojāt apstrādājamo sagatavi vai instrumentu. Lai pēc avārijas pogas nospiešanas atsāktu iekārtas darbību, pagrieziet pogu pa labi, vai pavelciet uz sevi.

Aizsargstikls izgatavots no īpaša triecienizturīga materiāla (polikarbonāta vai triplex tipa bruņustikla). Tas aizsargā operatoru un personālu no dzesēšanas šķidruma šļakatām, lidojošām skaidām vai citām atlūzām kļūdainas apstrādes gadījumā. Stikls ir regulāri jāpārbauda, lai nodrošinātu CNC iekārtas drošu darbību. Ilgstoša dzesēšanas šķidruma, tīrīšanas līdzekļu, smērvielu un eļļu, ko izmanto vai rada procesa laikā, ietekme rada polikarbonāta stikla nodilumu un maina tā mehāniskās īpašības. Tas rada vājāku triecienizturību. Tādēļ drošības polikarbonāta stikls ir jānomaina ik pēc 60 mēnešiem (vai agrāk, ja nepieciešams).

#### **Ieteicams pārbaudīt CNC iekārtas drošības ierīces šādos gadījumos:**

- ieslēdzot galvenos slēdzus,
- katras maiņas sākumā (kad iekārta darbojas bez apstāšanās),
- reizi dienā (vienā maiņā),
- reizi nedēļā (ja iekārta tiek darbināta ar pārtraukumiem),
- pēc katras apkopes vai remonta.

Ja operators atklāj defektu, par to nekavējoties jāinformē atbildīgā persona. Pārliecinieties, vai CNC iekārtas aizlieguma, brīdinājuma, informācijas zīmes un norādes ir salasāmas un detalizētas. Ja nepieciešams, nofīriet vai nomainiet tās.

CNC iekārtas lietošanas laikā ieteicams, ka operators nepamet darba vietu, līdz programma ir pabeigta un iekārta apstājas. Aktīvo programmu norāda ar signāla lampu (7.8. attēls).



7.8. attēls. Signāllampas

Ja signāllampa ir ieslēgta, programma ir aktīva. Mirgojoša vai sarkana signāllampa norāda uz problēmu.

## **Individuālie aizsardzības līdzekļi**

Individuālie aizsardzības līdzekļi ir obligāti, lai veiktu noteiktus darbus vai strādājot ar konkrētiem materiāliem. Strādājot ar detaļām vai asiem instrumentiem, mainot vai papildinot iekārtas eļļošanas un dzesēšanas sistēmas ar eļļu, ziedēm, smērvielām un dzesēšanas līdzekļiem, ieteicams izmantot aizsargecimdus. Smago detaļu montāžas, demontāžas vai transportēšanas laikā izmantojiet aizsargapavus. Izmantojiet dzirdes aizsardzību, ja trokšņa līmenis darba vietā pārsniedz 80 dB. Lietojiet aizsargbrilles vai aizsargķiveri ar sejas aizsargu, ja pastāv sejas un acu traumu risks. Pirms darba sākšanas pārlicinieties, vai darba vietā ir viegli pieejami individuālās aizsardzības līdzekļi. Individuālajam aizsardzības aprīkojumam jābūt tīram. Ieteicams to notīrīt pēc katras lietošanas reizes un papildus reizi nedēļā.

Ja tiek apstrādāti materiāli, kas satur magniju, ir jāveic papildu piesardzības pasākumi, ņemot vērā ugunsgrēka vai sprādziena risku, ko izraisa spontāni uzliesmojošas vai sprādzienbīstamas daļiņas, kas veidojas apstrādes procesa laikā. Magnija ugunsgrēka gadījumā lietojiet piemērotus ugunsdzēsšanas līdzekļus. Metāla daļiņu ugunsgrēku dzēšanai izmanto D klases ugunsdrošības līdzekli, sausos sāļus, smiltis un čuguna skaidas, argona vai slāpekļa maisījumu. Nekad neizmantojiet ūdeni, lai nodzēstu magnija ugunsgrēks, jo tas izraisa sprādzienbīstamu gāzu veidošanos.

Ja darba laikā telpā uzkrājas dūmi vai viegla migla, lai novērstu uzliesmojošu maisījumu uzkrāšanos, ir jāizmanto piemērota nosūkšanas ventilācija.

Nekavējoties informējiet vadību par visiem ārkārtas gadījumiem un situācijām, kas izraisījušas nelaimes gadījumus.

## **Drošība iekārtas uzturēšanas vai remonta laikā**

Pirms jebkādas iekārtas apkopes vai remonta sākšanas apturiet iekārtu, izslēdzot galveno slēdzi. Lai novērstu neatļautu iekārtas aktivizēšanu apkopes vai remonta laikā, ieteicams aizslēgt pogu ar atslēgu un turēt atslēgu drošā vietā.

Pēc mehāniskās apkopes vai remonta veikšanas noņemtās drošības ierīces (drošības vāciņi, zemējuma savienojumi, brīdinājuma zīmes utt.) ir jānovieto to sākotnējās atrašanās vietās.

Pirms darba uzsākšanas pie elektriskās sistēmas un elektriskajām ierīcēm visi elektriskie savienojumi ir jāatvieno no barošanas avota un jāpārbauda spriegums. Pārlicinieties, ka nejauša iekārtas un barošanas avota savienošana nav iespējama.

Pirms uzsākt hidrauliskās sistēmas apkopi vai remontu, pārlicinieties, ka hidrauliskā sistēma nav zem spiediena. Hidrauliskajai sistēmai var palikt spiediens pat pēc tam, kad iekārta ir atvienota no barošanas avota. Strādājot ar hidraulisko sistēmu, izmantojiet aizsargapgērbus un aizsargbrilles, jo hidrauliskās sistēmas hidrauliskais spiediens CNC iekārtā var sasniegt 4000 kPa.

Izmantojot pareizas savākšanas metodes, nekavējoties savāciet izlijušo šķidrumu vai eļļu, notīriet darba vietu atbilstoši vides aizsardzības prasībām. Atkārtoti neizmantojiet šķidrumus, kas tika izvadīti no sistēmas apkopes vai remonta laikā, vai izlija no

uzglabāšanas tvertnes. Izvairieties no tiešas saskares ar smērvielām, eļļu, emulsijām vai daļām, kas ir pārklātas ar šiem materiāliem.

## 7.2. Operatora darba vietas organizācija

Ražošanas telpai, iekārtai, darbarīkiem un ierīcēm jāatbilst standartu, tiesību aktu un ražotāja dokumentācijas prasībām. Tiek uzskatīts, ka darba vieta ir pareizi aprīkota, ja visas ierīces un darba aprīkojums ir ērti pieejams operatoram, minimizējot darba laikā nepieciešamos soļus un kustības, un ar piemērotiem apstākļiem normālam, tīram, organizētam un drošam darbam. Operatora darba vietas laukums ir atkarīgs no izmantotās iekārtas. To nosaka salīdzinošās normas attiecībā uz vienu iekārtu. Platība mazai iekārtai ir 10-12 m<sup>2</sup>, vidējai iekārtai - 15-25 m<sup>2</sup>, lielai iekārtai - 30-45 m<sup>2</sup>. Iekārta un citas ierīces ir novietotas tā, lai nodrošinātu pietiekami daudz vietas, kur tās darbināt un apkalpot, un lai citu iekārtu darbība netiktu traucēta. Ja vienam operatoram ir jāizmanto vairākas iekārtas, tās jānovieto, nodrošinot ērtu piekļuvi vadības iekārtai. Attālums no sienām un kolonnām ir atkarīgs no iekārtu izmēriem. Attālumam jāatbilst prasībām, kas noteiktas tiesību aktos un standartos. Plānojot ražošanas iekārtu izkārtojumu, apsveriet transporta piekļuves ceļus, lai uz darba vietu nogādātu mežglus, detaļas un materiālus. Piekļuves ceļa platumu nosaka transporta līdzekļu un pašas iekārtas izmēri. Piekļuves ceļā nedrīkst uzglabāt smagas iekārtas, kastes ar sagatavēm un iepakojumus ar ražošanas atkritumiem (7.9. attēls). Bīstamām vietām jābūt norobežotām.



7.9. attēls Iekārtas ekspluatācijas zona

Instrumenti, kurus operators visbiežāk izmanto, ir viņam vistuvāk un otrādi. Instrumenti ir jānovieto ērtā veidā: kreisās rokas instrumenti ir jānovieto kreisajā pusē, labās rokas instrumenti - pa labi. Pamatojoties uz šo principu, tiek noteikts papildus aprīkojuma stāvoklis (instrumentu skapju, plauktu utt.) (7.10. attēls).





7.10. attēls Operatora darba vieta

Instrumenti un aprīkojums, kas tiek izmantoti biežāk, tiek turēti augšējos plauktos un otrādi. Ieteicams vienmēr ievietot bieži izmantotos darbarīkus vienā vietā, tādējādi ietaupot laiku tos meklējot. Detaļu rasējumi un tehnoloģiskās kartes ir piestiprinātas vai novietotas skaidri redzamā vietā, lai operators tos varētu viegli nolasīt.

Uz iekārtas nedrīkst novietot smērvielas, darbarīkus, sagataves un citus priekšmetus. Skapī esošie instrumenti ir kārtīgi sakārtoti, mazākie ir ievietoti to ligzdās. Precīzās mērīšanas vai kalibrēšanas instrumentus nedrīkst turēt kopā ar griezējinstrumentiem. Tiem jābūt atsevišķai glabāšanas vietai. Darbgalda augstumam jābūt pielāgojamam operatora augstumam, pievienojot īpašus paliktņus zem darbgalda kājām vai operatora pēdām. Darbgalda platumam jābūt vismaz 750 mm, augstumam jābūt vismaz 800-1000 mm. Darbvietas grīdai jābūt līdzenai un stingrai. Grīdas virsmai jābūt viegli tīrāmai un neslīdošai. Telpām ar aukstām grīdām jābūt papildus koka režģiem.

Operatora darba vietai jābūt tīrai un kārtīgai, pareizi izgaismotai, brīvai no detaļām un sagatavēm. Skaidas uz iekārtas un starp darba vietām katru dienu jānoslauka. Skaidu uzkrāšanās nav atļauta. Skaidas jāsavāc īpašā konteinerā. Tiklīdz šis konteiners ir pilns, tas jāizved ārā no darba zonas.

Lai nodrošinātu apstrādes darbavietas pareizu apgaismojumu, jābūt uzstādītiem vietējiem gaismekļiem ar necaurspīdīgiem reflektoriem netālu no ražošanas iekārtām,

ievērojot higiēnas standartu prasības. Vietējā apgaismojuma trūkums universālajām ražošanas iekārtām ir atļauts tikai tad, ja tas ir tehniski pamatots lēmums. Gaismekļus jāuzstāda tā, lai gaismas avots neapžilbinātu iekārtu operatorus un citu personālu.

## 8. IEKĀRTU APKOPE

Visu metāla griešanas iekārtu kvalitātes rādītāji, jo īpaši precizitātes un uzticamības, tiek nodrošināti tikai tad, ja iekārtas ir pareizi izmantotas. Pareiza iekārtas izmantošana un savlaicīga apkope ļauj izvairīties no kļūmēm. Tādēļ uzņēmuma ražošanas personāls uzņemas lielāko daļu atbildības par savlaicīgu apkopi un pareizu izmantošanu.

Pareiza apkope ir priekšnosacījums, kas jāizpilda, lai nodrošinātu iekārtas darbību bez traucējumiem un drošu tās darbību, ilgu ekspluatācijas periodu un iekārtas daļu kvalitāti. Iekārtas apkope un remonts jāveic tikai kvalificētam un pilnvarotam personālam. Apkope ietver gan profilaktisko, gan koriģējošo apkopi. Profilaktiskā apkope ietver iekārtas tīrīšanu, ārējo pārbaudi, ieeļļošanu, defektu identifikāciju un reģistrēšanu. Koriģējošā apkope ir nelielu defektu novēršana. Īpaša uzmanība jāpievērš vadības, drošības un eļļošanas iekārtām, savlaicīgai nelielu defektu novēršanai un atsevišķu mehānismu pielāgošanai.

Tehniskās apkopes un organizēšanas sistēma ietver to apkopi un plānoto remontu, piemēram, profilaktisko vai korektīvo apkopi, profilaktisko remontu un kapitālo remontu.

Profilaktiska apkope tiek veikta pēc iekārtas dokumentācijā noteiktajiem intervāliem un prasībām. Šāda apkope ļauj noteikt galveno daļu nodilumu un veikt regulārus apkopes darbus. Profilaktiskais remonts ļauj novērst iekārtas kļūmes un defektus. Profilaktiskā remonta laikā iekārtas mezglu darbību atjauno, nomainot nolietojamās daļas ar ierobežotu kalpošanas laiku (piemēram, blīves). Šī remonta laikā tiek veikti arī plānotie profilaktiskās apkopes darbi. Profilaktiskās apkopes un profilaktiskā remonta intervāli ir norādīti grafikā, ko nosaka iekārtas ražotājs. Šie darbi jāveic neatkarīgi no iekārtas stāvokļa. Veicot profilaktisko apkopi un remontu, ir jāreģistrē defektu saraksts (reģistrācijas grāmata).

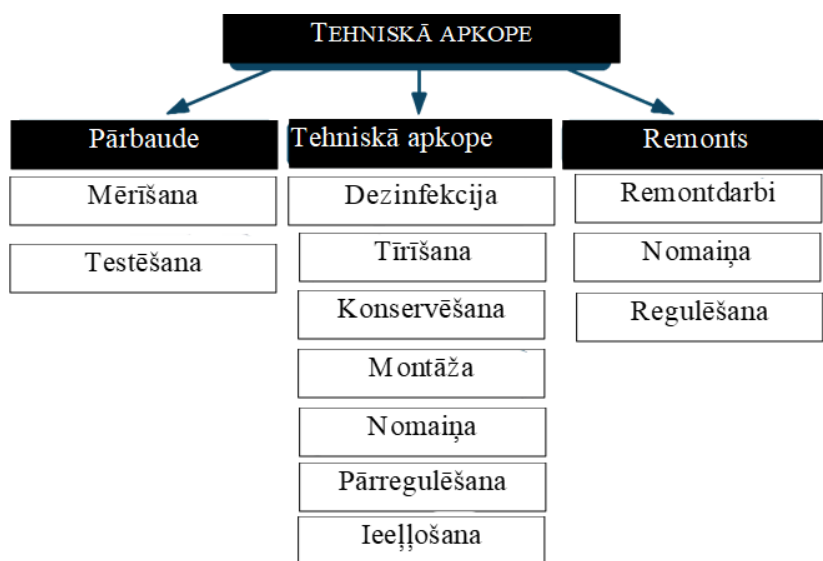
Kapitālā remonta laikā tiek veikti visi darbi, kas saistīti ar sākotnējās iekārtas darbības īpašību atjaunošanu. Šī remonta laikā iekārta tiek pilnīgi vai daļēji demontēta un tiek veikta defektu atrašana. Pēc tam seko pamata detaļu (piem., vadotņu) remonts, nolietoto detaļu vai montāžas vienību nomaiņa, pēc kuras iekārta tiek no jauna samontēta, noregulēta un pārbaudīta. Kapitālais remonts var ilgt vairāk nekā vienu mēnesi. Ilgums ir atkarīgs no darba apjoma. Iekārtas kvalitātei pēc kapitālremonta ir jābūt vienādaī vai ļoti tuvu jaunas iekārtas darbībai.

CNC iekārtu apkope tiek veikta saskaņā ar zemāk uzskaitītajiem standartiem:



|                                 |                                                                                                           |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| EN ISO 12100:2010               | Iekārtu drošība - Vispārējie dizaina principi - Riska novērtēšana un riska samazināšana                   |
| DIN EN ISO 12100-1:2003/A1:2009 | Iekārtu drošība. Pamata jēdzieni, vispārējie dizaina principi. 1. daļa:<br>Pamata terminoloģija, metodika |
| DIN EN ISO 12100-1:2003/A1:2009 | Iekārtu drošība - Pamata jēdzieni, vispārējie dizaina principi - 2. daļa: Tehniskie principi              |
| DIN EN 60204-1                  | Iekārtu drošība - Iekārtu elektriskais aprīkojums. 1.daļa:<br>Vispārīgās prasības                         |
| EN 12415                        | Darbgaldu drošība — Nelielas ciparvadāmas virpas un virpošanas centri.                                    |
| EN 12417                        | Darbagaldi - Drošība - Mehāniskās apstrādes centri                                                        |
| EN 12840                        | Darbgaldu drošība - Manuāli vadītas griešanas iekārtas ar vai bez automātiskās vadības                    |
| DIN 66025-1, izdevums: 1983-01  | Iekārtu ciparu vadība, formāts. Vispārīgās prasības                                                       |
| DIN 66025-2, izdevums:1988-09   | Rūpnieciskā automatizācija; iekārtu ciparu vadība. Formāts, Sagatavošanas un citas funkcijas              |
| EN ISO 13849-1:2008             | Ar drošumu saistītās vadības sistēmu daļas. - 1.daļa:<br>Vispārīgie dizaina principi                      |

Darbi, kas tiek veikti CNC iekārtas uzturēšanas laikā, ir uzskaitīti 8.1. attēlā.



8.1. attēls. *Apkope (saskaņā ar EN 13306 (DIN 31051))*

Metāla apstrādes iekārta jāizmanto tā, kā paredzēts, tai jābūt labā tehniskā stāvoklī, tīrai, rūpīgi un savlaicīgi ieeļļotai. Griešanas instrumenti, stiprināšanas iekārtas un mērīšanas instrumenti ir jāizmanto tā, kā paredzēts tehnoloģiskajā procesā. Darbinot iekārtu, ir aizliegts pārsniegt pieļaujamos griešanas režīmus. Pēc maiņas beigām iekārtu jānotīra un jāpārbauda, un tad jānodod nākamajai maiņai.

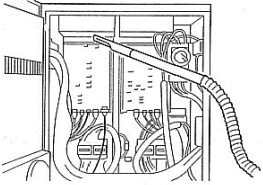
Tabulā 8.1. uzskaitīti CNC metāla griešanas iekārtas tehniskās apkopes intervāli un obligātie darbi.

8.1. tabula. *Obligātie darbi CNC iekārtas darbībai*

| Intervāls                                     | Ierīce                                | Veiktie darbi                                                                                                                                                               |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Darba sākumā, pēc katras apkopes vai remonta. | CNC virpa/frēzmašīna                  | Pārbaudiet iekārtas drošību saskaņā ar ražotāja drošības prasībām                                                                                                           |
|                                               | Aizsargstikls                         | Tīriet polikarbonāta aizsargstiklus, izmantojot piemērotus tīrīšanas līdzekļus, piemēram, Hanherol, Sidolin Streak Free vai Neumann GmbH uzņēmuma ražotos stikla tīrītājus. |
| Darba sākumā, katru dienu                     | Skaidu paliktnis un frēzmašīnas galds | Tīriet virpas / frēzēšanas mašīnas iekšpusi, darbagaldu, skaidu paplātes un skaidu atvilktnes.                                                                              |
|                                               | Aizsargstikls                         | Tīriet polikarbonāta aizsargstiklus, izmantojot piemērotus tīrīšanas līdzekļus.                                                                                             |

|                                                                                   |                             |                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Katru nedēļu                                                                      | Virpas spīlpatrona          | Tīriet un ieeļļojiet virpas spīlpatronu (izmantojiet eļļu, kas ir izturīga pret dzesēšanas šķidrumu).<br><br>Piezīme: nelietojiet saspiestu gaisu putekļu vai skaidu tīrīšanai no virpas spīlpatronas |
| Darba sākumā, katru dienu, pēc katras apkopes vai remonta.                        | Eļļas tvertne               | Ja nepieciešams, pārbaudiet eļļas līmeni un papildiniet centrālās eļļošanas sistēmas tvertni                                                                                                          |
|                                                                                   | Eļļas savākšanas tvertne    | Pārbaudiet eļļas līmeni eļļas savākšanas tvertnē                                                                                                                                                      |
| Katru mēnesi                                                                      | Instrumentu mainītājs       | Eļļas līmenis jāpārbauda, izmantojot kontroles logu. Eļļas līmenim kontroles logā jābūt vidū vai atzīmētajā līmenī                                                                                    |
| 240 darba stundas pēc lietošanas sākuma, pēc tam ik pēc katrām 2400 darba stundām |                             | Mainiet eļļu iekārtas eļļošanas sistēmā                                                                                                                                                               |
| Katru nedēļu                                                                      | CNC virpa/frēzmašīna        | Ieeļļojiet visas ārējās tērauda virsmas. Izmantojiet eļļu bez skābes, piemēram, motoreļļu                                                                                                             |
|                                                                                   | Dzesēšanas šķidruma tvertne | Pārbaudiet šķidruma līmeni, koncentrāciju, pH vērtību, baktēriju un sēnīšu daudzumu                                                                                                                   |
|                                                                                   | Dzesēšanas šķidrums         | Pārbaudiet pH vērtību. Ja nepieciešams, nomainiet dzesēšanas šķidrumu                                                                                                                                 |
|                                                                                   | Hidrauliskā sistēma         | Pārbaudiet hidrauliskās eļļas līmeni, vajadzības gadījumā papildiniet to                                                                                                                              |
| Katru mēnesi                                                                      | Piedziņas siksna            | Pārbaudiet piedziņas siksna nodilumu un spriegojumu.                                                                                                                                                  |
|                                                                                   | Piedziņas X/Y/Z - ass       | Ja nepieciešams, nomainiet piedziņas siksnu.                                                                                                                                                          |
|                                                                                   | Vārpstas galva              | Ja nepieciešams, noregulējiet piedziņas siksnu un/vai nomainiet to                                                                                                                                    |

|                         |                                          |                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                         | Gaisa filtrs                             | Pārbaudiet gaisa filtra darbību.<br>Ja nepieciešams, iestatiet gaisa piegādes daudzumu                                                                                                                                                                   |
|                         | Centrālā eļļošanas sistēma               | Notīriet filtru                                                                                                                                                                                                                                          |
| Ik pēc 50 darba stundām | Vadības skapis                           | Iztīriet vai nomainiet gaisa filtru vadības skapī                                                                                                                                                                                                        |
| Ik pēc 6 mēnešiem       | Urbšanas un frēzēšanas galviņas piedziņa | Ieļļot.<br>Pagrieziet urbšanas -frēzēšanas galviņu 90 ° pa labi.<br>Pārbaudiet, vai stiprinājuma skrūves ir pievilktas un urbšanas un frēzēšanas galviņa nevar pagriezties pati par sevi.<br>Noņemiet aizmugures pārsega plāksni.<br>Ieļļojiet zobratus. |
|                         | Vadošās skrūves X/Y/Z - ass              | Pārbaudiet centralizētās eļļošanas sistēmas darbību<br>Ieļļojiet asu vadības skrūves, ja tām nav pievienota centralizētā eļļošanas sistēma                                                                                                               |
|                         | Instrumentu maiņas iekārta               | Pārbaudiet instrumentu maiņas iekārtas darbību                                                                                                                                                                                                           |
| Vienreiz gadā           | V veida siksna Vārpstas piedziņa         | Pārbaudiet un, ja nepieciešams, pievelciet V veida siksnu                                                                                                                                                                                                |
|                         | V veida siksna X ass                     |                                                                                                                                                                                                                                                          |
|                         | Sajūgs Z, Y, X ass zobsajūgs             | Pārbaudiet savienojuma nodilumu un pareizu darbību<br>Ja nepieciešams, nomainiet sajūgu                                                                                                                                                                  |

|                           |                                   |                                                                                                                                                                                                         |
|---------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                           | Centrālā eļļošanas sistēma        | Iztukšojiet, notīriet un, ja nepieciešams, iztīriet eļļošanas un dzesēšanas eļļas tvertnes.<br><br>Mainiet filtru: vienu reizi gadā vai katru reizi, kad maina eļļošanas un dzesēšanas šķidrumu         |
| Ik pēc 500 darba stundām  | Dzesēšanas šķidruma tvertne       | Iztīriet dzesēšanas sistēmas tvertni un dzesēšanas šķidruma filtru                                                                                                                                      |
|                           | Centrālā eļļošanas sistēma        | Iztīriet centrālās eļļošanas sistēmas tvertni un eļļas filtru                                                                                                                                           |
| Ik pēc 1000 darba stundām | Tīrītāji uz bīdāmām aizsargdurvīm | Pārbaudiet un, ja nepieciešams, nomainiet tīrītājus                                                                                                                                                     |
|                           | Elektriskais skapis               | Notīriet elektrisko skapi.<br><br>Piezīme. Netīriet elektriskā skapja iekšpusi, izmantojot saspiestu gaisu!!!<br><br> |
|                           | Hidrauliskā ierīce                | Mainiet hidraulisko eļļu                                                                                                                                                                                |
|                           | Servomotors                       | Pārbaudiet servomotora savienojumus                                                                                                                                                                     |
| Ja nepieciešams           | Skaidu savākšanas kaste           | Iztīriet skaidu savākšanas kasti                                                                                                                                                                        |
|                           | Skaidu konveijers                 | Pārbaudiet un regulējiet skaidu konveijera ķēdi                                                                                                                                                         |
|                           | Aizsargdurvis, aizsargstikls      | Ir stingri ieteicams nomainīt aizsargdurvis kopā ar aizsargstiklu šādos gadījumos:                                                                                                                      |

|                                                              |                                |                                                                                                                                                                                                                                                    |
|--------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ja nepieciešams                                              | Aizsargdurvis, aizsargstikls   | plastmasas deformācijas gadījumā, kas rodas no spriegojuma,<br>stikla plīsumu gadījumā<br>bojātas blīvējuma lentes gadījumā<br>bojāta vai salauzta stikla (aizsargvāka) gadījumā darba zonā vai darba vietā                                        |
| Ik pēc 6 mēnešiem vai ievērojot iekārtas ražotāja ieteikumus | V formas asu vadotnes          | Pieregulējiet V formas asu vadotņu plāksnes                                                                                                                                                                                                        |
|                                                              | Vadošās skrūves                | Pārbaudiet vadošās lodīšu skrūves darbību un nodilumu. Ja nepieciešams, nomainiet vārpstu<br><br>(Anaheim Automation, Inc.)                                       |
| Ik pēc 60 mēnešiem                                           | Aizsargdurvis, aizsargstikls   | Nomainiet ar jaunām durvīm, kurām ir polikarbonāta aizsargstikls                                                                                                                                                                                   |
|                                                              | Hidrauliskās sistēmas šļūtenes | Pārbaudiet hidrauliskās sistēmas šļūtenes un tās vajadzības gadījumā nomainiet                                                                                                                                                                     |
| Katru mēnesi vai ievērojot iekārtas ražotāja ieteikumus      | Virpas spīlpatrona             | Vizuālā pārbaude.<br>Pārbaudiet spīlpatronu un patronas spīles. Pārbaudiet, vai nav bojājumu, plaisu.<br>Ja rodas šaubas par plaisām, pārbaudiet virpas spīlpatronu, izmantojot iespējamās metodes. Defektu gadījumā nomainiet virpas spīlpatronu. |

Pieaugot dažādu iekārtas mezglu rotācijas ātrumam, palielinās arī eļļošanas un eļļas kvalitātes prasības. Galvenais eļļošanas mērķis ir samazināt saskares virsmu nodilumu un enerģijas zudumus berzes dēļ, kā arī novērst iekārtas daļu temperatūras robežu pārsniegšanu. Ar pareizu eļļu un eļļošanu iekārta saglabās tehnoloģisko precizitāti ilgāku laiku. Eļļošanai jāizmanto tikai tādi materiāli, kas labi turas starp virsmām.

Galvenokārt tiek lietotas minerālas un sintētiskās eļļas, un smērvielas. Lielākam kontaktvirsmu rotācijas ātrumam eļļošanai ir nepieciešama mazāk viskoza eļļa. Jo lielāka darba temperatūra, jo ir jāizmanto viskozāka eļļa.

Viens no svarīgākajiem faktoriem, kas palielina griezējinstrumentu noturību, uzlabo apstrādes apstākļus un apstrādātās virsmas raupjumu, ir pienācīgi izvēlētas smērvielas un dzesēšanas šķidrumi, un to pareiza pielietošana griešanas zonā. Bieži vien dzesēšanas šķidruma smērviela palīdz noņemt skaidas no griešanas zonas.

Lai izvairītos no pārtraukumiem iekārtas darbības laikā, ūdens bāzes dzesēšanas šķidrumiem un kustīgo daļu smērvielām vai eļļai jābūt saderīgām.

Iekārtas operators vai tehniskās apkopes uzņēmums ir atbildīgs par eļļošanas un dzesēšanas vielu un eļļas norādījumiem, smēreļļu vai smērvielu izvēli, un to apkopi.

Ieeļļošanas dzesēšanas vielas nedrīkst bojāt nevienu no iekārtas elementiem (metāliem, plastmasām). Saskaņā ar DIN 51360-2 standarta prasībām tie nedrīkst izraisīt koroziju, saskaņā ar VDI 3035 prasībām, tie nedrīkst sabojāt iekārtas daļas, kas pārklātas ar laku. Izmantotajām eļļošanas un dzesēšanas vielām ir tendence veidot emulsiju, t.i., izkliedēties un atdalīties, tādēļ darbības laikā ir neliela iespēja, ka radīsies putas. Svarīgākie smērvielas un dzesēšanas parametri ir ilgmūžība, ilglaicīga īpašību stabilitāte un izturība pret baktērijām.

Lai droši darbinātu CNC iekārtu, eļļošanas-dzesēšanas līdzeklis jāmaina vismaz reizi nedēļā, arī laikā, kad notiek dīkstāves, ņemot vērā to koncentrāciju, pH vērtību, baktēriju un sēnīšu daudzumu.

## 9. INDUSTRIJA 4.0 IEVIEŠANA

### Modernās ražošanas attīstība

Ražošanas nozares šodienas galvenais mērķis ir palielināt ražošanas efektivitāti. Šo mērķi var sasniegt, palielinot produktivitāti un ražošanas intensitāti. Ceturtā industriālā revolūcija "Rūpniecība 4.0" sniedz nozarei jaunus mērķus, kas ir cieši saistīti ar ražošanas procesu digitalizāciju, automatizēto līniju un industriālo robotu ieviešanu. Turklāt robotu un robotu sistēmu pielietošanai mūsdienu ražošanā ir nozīmīga loma, tā palīdz atbrīvot cilvēkus no smagiem un monotoniem roku darbiem, kas bieži ir bīstami un kaitīgi veselībai.

Ražošanas procesu datorizācija, sadarbojošies roboti, mākslīgais intelekts ir pamats nākotnes ražošanā, turpretim cilvēku loma šajā ražošanas ķēdē joprojām ir nozīmīga.

Jaunās paaudzes roboti kļūs drošāki un spēs sadarboties ar cilvēkiem. Šī iekārtu mijiedarbība radīs jaunas prasības CNC operatoram. Līdz ar to CNC operatoram ir ne tikai jāspēj ieprogrammēt datora ciparu vadības mašīnu, bet arī saprast robota lietojumprogrammu, zināt rūpniecisko robotu īpašības, kā arī jāspēj to programmēt.

Šajā metodiskajā materiālā sniegtā informācija paredzēta 3. un 4. Eiropas kvalifikācijas ietvarstruktūras līmeņa CNC operatoriem, lai iegūtu robotu vadības prasmes.

## 9.1. Robotu izmantošana ražošanas procesos

### 9.1.1. Robotu klasifikācija

Robotus var iedalīt vairākās kategorijās atkarībā no to kustībām, brīvības pakāpju skaita, rotācijas asīm un funkcijām.

Japāņu industriālo robotu asociācija robotus iedala 6 klasēs:

- 1. klase:** manuālas apstrādes ierīce - ierīce ar vairākām brīvības pakāpēm, ko aktivizē operators.
- 2. klase:** fiksētas secības robots - ierīce, kas veic secīgus uzdevuma posmus saskaņā ar iepriekš noteiktu, nemainīgu metodi, kura ir grūti modificējama.
- 3. klase:** mainīgas secības robots - ierīce, kas veic tādus pašus uzdevumus kā 2. klasei, bet to ir viegli modificēt.
- 4. klase:** atskaņošanas robots – cilvēks - operators veic uzdevumu manuāli, vadot robotu, kas ieraksta kustību vēlākai atskaņošanai. Robots atkārtο to pašu kustību atbilstoši ierakstītajai informācijai.
- 5. klase:** ciparu vadības robots - operators nodrošina robotu ar kustības programmu, nevis iestata uzdevumu manuāli.
- 6. klase:** inteligēntais robots – robots, kurš saprot vidi un spēj sekmīgi izpildīt uzdevumu, neskatoties uz apkārtējo apstākļu izmaiņām, kādos tas jāveic.

Amerikas robotikas institūts robotus klasificē:

**Rūpnieciskie roboti.** Rūpnieciskie roboti ir roku formas ierīces, kas paredzētas, lai veiktu vispārējus uzdevumus, izmantojot piemērotu gala izpildītāju, kas ir mehānisks instruments, piemēram, satvērējs, aerosols, metināšanas iekārta un cita tehnoloģiskā iekārta.

**Izglītības roboti.** Tie ir programmējami mobilie roboti, kas paredzēti, lai pārvietotos neatkarīgi un izvairītos no šķēršļiem. Viņu uzdevums ir parādīt pamatjēdzienu mācīšanu un pievērst uzmanību nākamajiem inženieriem šajā jomā.

**Lauksaimniecības roboti.** Tie ir specializēti mehānismi, kas paredzēti komerciālo lauksaimniecības procesu vajadzībām.

**Roboti kosmosā.** Tos sauc par tālvadības transportlīdzekļiem (*Remotely Operated Vehicle*). Tie var papildināt bezpilota kosmosa kuģi lidojumā, vai nodrošināt izkraušanu ārpus telpām, vai roboti, kuri var pārvietoties pa reljefu pēc izkraušanas.

**Mobilie roboti (transportēšana).** Automātiskas iekārtas, kas spēj pārvietoties vidē un nav piestiprinātas vienai fiziskai atrašanās vietai; spēj pārvietoties jebkurā noteiktā vidē



vai var pārvietoties un izvēlēties virzienu pašas.

**Veselības aprūpes roboti.** Viņi spēj veikt vienkāršu uzdevumu un uzlabot kādu medicīnas protokolu un procedūras.

### **Izmantotie termini robotu definīcijās**

**Pārprogrammējams:** izveidots tā, lai ieprogrammētās kustības vai palīgfunkcijas varētu mainīt bez fiziskām izmaiņām;

**Daudzfunkcionāls:** var tikt pielāgots citam lietojumam, mainot to fiziski;

**Fiziskās izmaiņas:** mehāniska sistēmas veidošana;

**Asis:** virziens, ko izmanto, lai noteiktu robota kustību lineārā vai rotācijas režīmā.

### **Pamata terminoloģija**

Tehniskie termini:

- izpildmehānisms;
- šarnīru konfigurācija;
- Dekarta;
- slēgtā cikla sistēma;
- kontrolieris;
- cilindriskā konfigurācija;
- brīvības pakāpes;
- piedziņa;
- gala izpildītājs;
- paliktnis;
- hidrauliskā piedziņa;
- lineārā piedziņa;
- manipulators;
- atvērta cikla sistēma;
- pneimatiskā piedziņa;
- polārā konfigurācija;
- programma;
- radiālais šķērsojums;
- rotācijas piedziņa;
- rotācijas kustība;
- SCARA;

- sfēriska konfigurācija;
- trajektorija.

### **Robota pielietošana**

Pieņemot lēmumu par to, vai ir iespējams izmantot robotu konkrētajā operācijā, ir jāņem vērā septiņi faktori:

1. Operācijas sarežģītība;
2. Traucējumu pakāpe;
3. Ražošanas ātrums;
4. Ražošanas apjoms;
5. Pamatojums;
6. Ilgtermiņa potenciāls;
7. Pieņemšana.

### **Robotu iezīmes**

Robots automātiski veic sarežģītus un atkārtotus uzdevumus, un to nodrošina automātiskā vadība. Roboti tiek izmantoti noteiktām darba funkcijām, jo, atšķirībā no cilvēkiem, viņi:

- nekad nenogurst;
- var izturēt neērtus vai pat bīstamus fiziskos apstākļus;
- var darboties bezgaisa apstākļos;
- neapnīk atkārtotas darbības;
- to uzmanība nevar tikt atrauta no attiecīgā uzdevuma;
- var strādāt autonomi vai sadarbībā ar citu tehnoloģisko aprīkojumu vai cilvēku.

### **Robotu īpašības**

Galvenās robota īpašības ir:

- lietderīgā slodze;
- sasniegšanas distance;
- universālums;
- pozicionēšanas precizitāte;
- ātrums;
- izšķirtspēja;
- mobilitāte;

- elastīgums;
- stabilitāte.

**Lietderīgā slodze (celtspēja)** ir nozīmīgs faktors. Slodzes apmēru nosaka satvērējs, ko izmanto, lai uztvertu objektus. Smags satvērējs papildus objektu masai palielina robota manipulatora slodzi. Komerciālie roboti var pārvietot līdz pat 900 kg slodzes, savukārt vidējie industriālie roboti - līdz 45 kg. Robotu lietderīgā slodze salīdzinājumā ar savu svaru parasti ir ļoti maza.

**Sasniegšanas distance** ir maksimālais attālums, ko robots var sasniegt. Punktus, kuri ir tuvu robota sasniedzamības robežai, sauc par nevēlamiem punktiem. Sasniegšanas distance ir robota locekļa garuma un konfigurācijas funkcija, un to var aprēķināt, izmantojot manipulatora izkārtojumu.

**Universālums.** Robota universālumu raksturo manipulatora brīvības pakāpju (BP) skaits. Brīvības pakāpe ir termins, kas definēts kā virziens, kādā robots pārvietojas. Ir trīs asis X, Y un Z, lai pārvietotu robota locekļus telpā, un vēl trīs rotācijas kustības A, B un C, kas atbilst locekļu rotācijai ap tām. Brīvības pakāpju skaits ir atkarīgs no robota lietojuma, piemēram, “paņem un noliec” lietojumprogrammā ir vajadzīgas tikai trīs asis, kamēr metināšanas robots prasa piecas vai sešas brīvības pakāpes. Asu skaits parasti ir tāds pats kā robota brīvības pakāpju skaits. Atkarībā no robota ģeometrijas, var būt nepieciešama vienas vai vairāku asu kustība, lai robots pārvietotos uz jaunu vietu telpā.

**Pozicionēšanas precizitāte.** Noteiktie parametri, kas saistīti ar robota pozicionēšanu, ir šādi:

- precizitāte;
- atkārtotamība;
- izšķirtspēja.

Katrs no tiem ir atkarīgs no dažādiem komponentiem, ko izmanto robota konstruēšanā: konstruēšanas procedūra, saites, motori, kodētāji, braukšanas piedziņa un kontroliera iespējas.

Lielāko ietekmi uz robota precizitāti nosaka robotu šarnīri. Šo šarnīru apstrādes precizitāte ir saistīta ar definētajām apstrādes pielaidēm. Atšķirībai starp robota kontroliera uzdoto fizisko gala izpildītāja nulles pozīciju un faktisko fizisko gala izpildītāja nulles pozīciju parasti ir otrā lielākā ietekme uz robota precizitāti.

**Precizitāte** (derīgums, vai pozicionēšanas precizitāte) ir definēta kā tas, cik precīzi robots var sasniegt norādīto punktu. Tā ir izpildmehānismu izšķirtspējas, kā arī atgriezeniskās saites ierīces funkcija. Saskaņā ar pozicionēšanas precizitāti robotus var klasificēt:

- Zema precizitāte  $\pm 1$  mm;
- Vidēja precizitāte  $\pm 0,1 \dots \pm 1$  mm;

- Augsta precizitāte  $\leq \pm 0,1$  mm

Katra robota BP ir apgādāta ar autonomu izpildmehānismu, kas nodrošina nepieciešamo pozicionēšanas precizitāti.

**Absolūtā precizitāte un atkārtojamība** raksturo robota spēju pāriet uz vēlamu vietu bez jebkādas novirzes.

**Dinamiskā precizitāte un atkārtojamība** raksturo robota spēju sekot vēlamajai trajektorijai ar nelielām vai bez izmaiņām. Ideālā gadījumā gan absolūtā, gan dinamiskā precizitāte un atkārtojamība var tikt samazināta līdz sasniedzamajai izšķirtspējai.

**Atkārtojamība** ir daudz svarīgāka par precizitāti. Ja robots nav precīzs, tas uzrādīs konsekvētu kļūdu, kuru var prognozēt, un tādējādi korigēt ar programmēšanas palīdzību.

**Izšķirtspēju** nosaka vadības sistēma, kuru izmanto, lai darbinātu manipulatoru, un to ietekmē arī šādi iemesli:

- būvēšanas procedūra;
- manipulatora stingums (strukturālā elastība);
- locītavu stingums;
- kodētāji.

## Mobilitāte

- **Fiksētie roboti.** Fiksētie roboti var darboties tikai ierobežotā telpā vai apgabalā. Vēl nesen visi rūpnieciskie roboti tika piestiprināti pie pamatnes, kas bija pieskrūvēta pie grīdas, bet tagad daži fiksēti roboti ir uzstādīti, lai nodrošinātu ierobežotu mobilitāti.
- **Mobilie roboti.** Mobilie roboti var strādāt dažādās vietās. Tiek izmantoti trīs galvenie kustības veidi pa zemi: - riteņi, kāpurķēžu un kājām.

**Elastīgumu** var definēt kā spēju mainīties vai reaģēt ar nelielām izmaksām laikā, ieguldījumā. Lai palielinātu orientācijas elastību, var izmantot vienu, divas vai trīs rotējošās plaukstas asis, atkarībā no lietojumprogrammas vajadzībām.

**Stabilitāte** attiecas uz novietojuma pārsnieguma un svārstību apjomu robota kustībā pie rokas gala, kad tas mēģina pāriet uz nākamo ieprogrammēto vietu. Vairāk svārstību robotu kustībā nozīmē mazāku robota manipulatora stabilitāti. Lielāka stabilitāte var radīt lēnāku robotu sistēmas reakcijas laiku.

### 9.1.2. Rūpnieciskie roboti

Rūpnieciskais robots, definēts ISO 8373: 2012, ir automātiski kontrolēts, pārprogrammējams, daudzfunkcionāls manipulators, kas programmējams trīs vai vairākās asīs, un ko var piestiprināt vai nu konkrētā vietā, vai izmantot mobili. Tas sastāv no elektroniskām, elektriskām un mehāniskām vienībām.

Rūpnieciskie roboti pēc mehāniskās struktūras tiek iedalīti:

- lineārie roboti (ieskaitot Dekarta un portāla robotus);

- šarnīru roboti;
- cilindriskie roboti;
- SCARA roboti;
- sfēriskie (polārie) roboti.

Darbvietas darba telpa apraksta, kā robotu ierobežo tā mehānisko sistēmu konfigurācija. Katram robota savienojumam ir ierobežots kustības diapazons. Robota darbvietas darba telpu definē kā visus punktus apkārtējā telpā, ko var sasniegt ar robota roku.

**Dekarta robots:** robots, kura rokai ir divi vai trīs lineāri savienojumi, un kuru asis sakrīt ar Dekarta koordinātu sistēmu. Trīs krustojošas perpendikulāri taisnas līnijas pa X, Y un Z-asīm raksturo robota kustību. Dekarta konfigurācijas darba darba telpa ir taisnstūra.

Šie roboti parasti tiek izmantoti darbam ar pacēlāju, CNC darbgaldu instrumentu iekraušanai un darbināšanai, montāžas darbiem, apstrādes darbiem, līmēšanā, lāzeru strūkļas apstrādē, ūdens strūkļas griešanā, loka metināšanai, materiālu vai darbgaldu apstrādei.

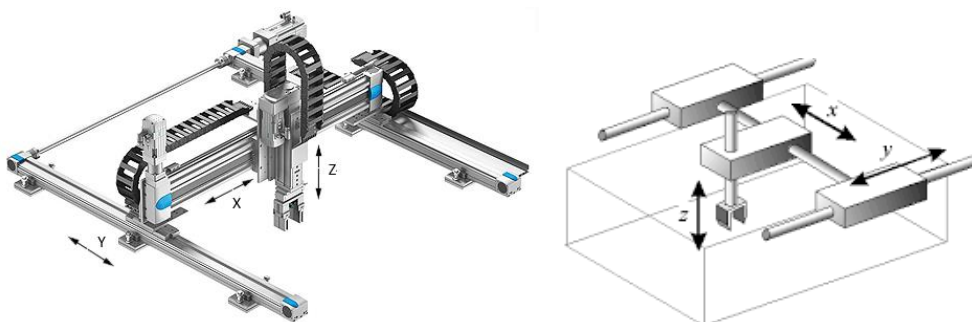
Robotu ar Dekarta konfigurāciju priekšrocības:

- lineāra kustība trīs dimensijās;
- vienkāršs kinemātiskais modelis;
- viegli vizualizējams;
- stingra struktūra;
- var izmantot nedārgas pneimatiskās piedziņas, lai izvēlētos un veiktu darbību.

Robotu ar Dekarta konfigurāciju trūkumi:

- nespēj sasniegt vietas zem objektiem;
- lineāro savienojumu vadošās virsmas ir jāpārklāj, lai novērstu putekļu iekļūšanu.

Šādu robotu konfigurācija parādīta 2.1. attēlā.

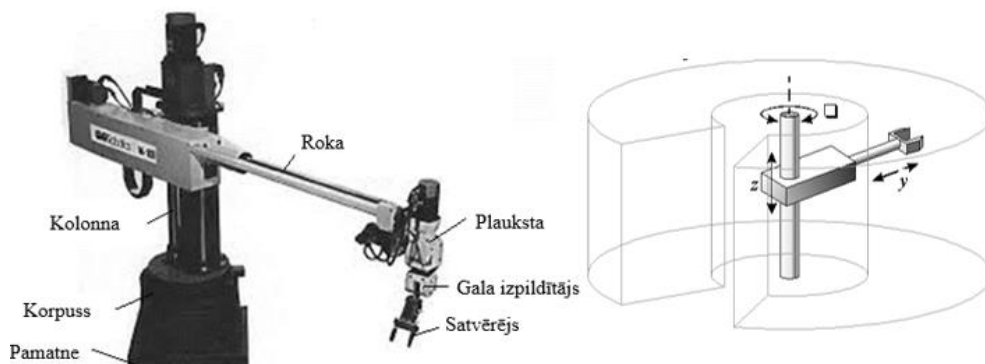




9.1. attēls. Dekarta robotu konfigurācija un darba telpa

**Cilindriskais robots** ir robots, kura asis veido cilindrisku koordinātu sistēmu.

Cilindriskajam robotam ir vismaz viens rotējošais savienojums pie pamatnes un vismaz viens lineārs savienojums. Gar kopīgo asi rotācijas savienojums izmanto rotācijas kustību; gar lineāro savienojumu tas kustās lineāri. To kustības notiek cilindriskas formas darba telpā. Šo robotu konfigurācija un darba telpa parādīta 9.2.attēlā.



9.2. attēls. Cilindrisko robotu konfigurācija un darba telpa

Cilindriskie roboti tiek izmantoti montāžas darbiem, darbgaldu un liešanas mašīnu instrumentu apstrādei, konkrētu vietu metināšanai.

Robotu ar cilindrisku konfigurāciju priekšrocības:

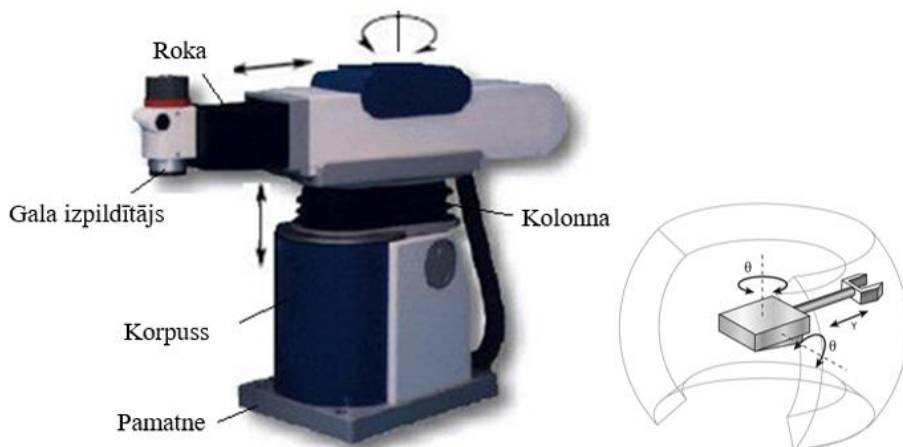
- vienkāršs kinemātiskais modelis;
- viegli vizualizējams;
- laba piekļuve dobumiem un mašīnu atverēm;
- ļoti spēcīgs, ja tiek izmantotas hidrauliskās piedziņas.

Robotu ar cilindrisku konfigurāciju trūkumi:

- ierobežota darba telpa;
- lineāri savienojumi, kas ir grūti noslēdzami no putekļiem un šķidrumiem.

## Sfērisks (polārais) robots

Darba telpai ir sarežģīta karkasa forma, un tā ir atkarīga no konstrukcijas individuālā uzdevuma veikšanai. Sfēriskie roboti ir arī pazīstami kā polārie roboti. Roka ir savienota ar pamatni ar šarnīra savienojumu, un tā sastāv no diviem rotējošiem savienojumiem un viena lineāra savienojuma. Kombinēto savienojumu asis veido polāro koordinātu sistēmu un darbojas sfēriskas formas darba aploksnē. Sfērisko robotu konfigurācija un darba telpa parādīta 9.3. attēlā.



9.3. attēls. Sfērisku robotu konfigurācija un darba telpa

Šie roboti tiek izmantoti konkrētas vietas metināšanai, liešanai, iesmidzināšanai, termiskai apstrādei, stikla apstrādei, detaļu iekraušanai urbšanas darbgaldā, griešanas mašīnām, gāzes un loka metināšanai, kraušanai un izkraušanai.

Robotu ar polāro konfigurāciju priekšrocības ir:

- aptver lielu apjomu no centrālā atbalsta;
- var noliekt, lai izvēlētos objektus no grīdas.

Robotu ar polāro konfigurāciju trūkumi ir:

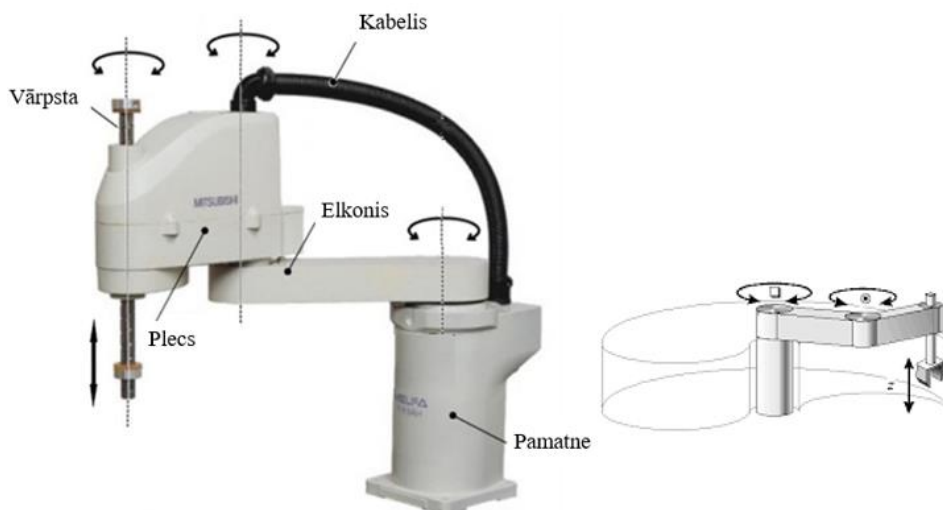
- komplekss kinemātiskais modelis;
- grūti vizualizēt.

**SCARA robots:** robots, kuram ir divi paralēli rotējoši savienojumi un viena lineāra kustība, lai nodrošinātu novietojumu plaknē. SCARA robots ir paredzēts lietošanai tīrā telpā, kas var ietekmēt precizitāti, slodzes nestspēju, dinamiku un robota spēju precīzi atkārtot kustību. Šī konfigurācija kļūst mazāk stabila, kad roka sasniedz maksimālo sasniedzamību.

SCARA robotu tipiski pielieto automātiskā montāžā, detaļu un materiālu apstrādē, daudzpunktu gaismas apstrādē, procesa pārbaudē, palešu iestrādāšanā, iekārtu

iekraušanā un izkraušanā, materiālu griešanā un noņemšanā, termisko pārklājumu uzklāšanā, līmēšanā, metināšanā un liešanā.

SCARA robotu konfigurācija un darba telpa parādīta 9.4.attēlā.

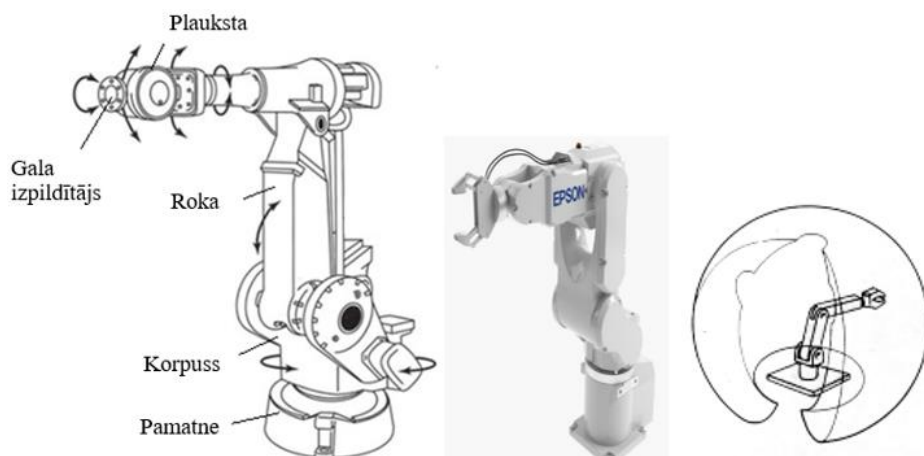


9.4. attēls. SCARA robotu konfigurācija un darba telpa

**Artikulētais robots** ir robots, kura rokai ir vismaz trīs rotācijas savienojumi, divi no tiem ir paralēli un trešais ir perpendikulārs citiem. Artikulētie roboti ir plaši izmantoti ražošanas līnijās, pateicoties to elastībai un spējai pārvietoties dažādos virzienos.

Robotu savienojumus var ieprogrammēt tā, lai tie varētu savstarpēji mijiedarboties. Daudzi nākamās paaudzes roboti ir savienoti pa posmiem, jo tas nodrošina augstu funkcionalitātes līmeni. Šie roboti tiek izmantoti arī mācību vajadzībām.

SCARA robotu konfigurācija un darba telpa ir redzama 9.5. attēlā.



9.5. attēls. SCARA robotu konfigurācija un darba telpa



Robotu ar cilindrisku konfigurāciju priekšrocības:

- maksimāla elastība;
- aptver lielu darba telpu attiecībā pret robotu;
- aploces šuves ir viegli noslēdzamas;
- piemērots elektromotoriem;
- var sasniegt virs un zem objektiem.

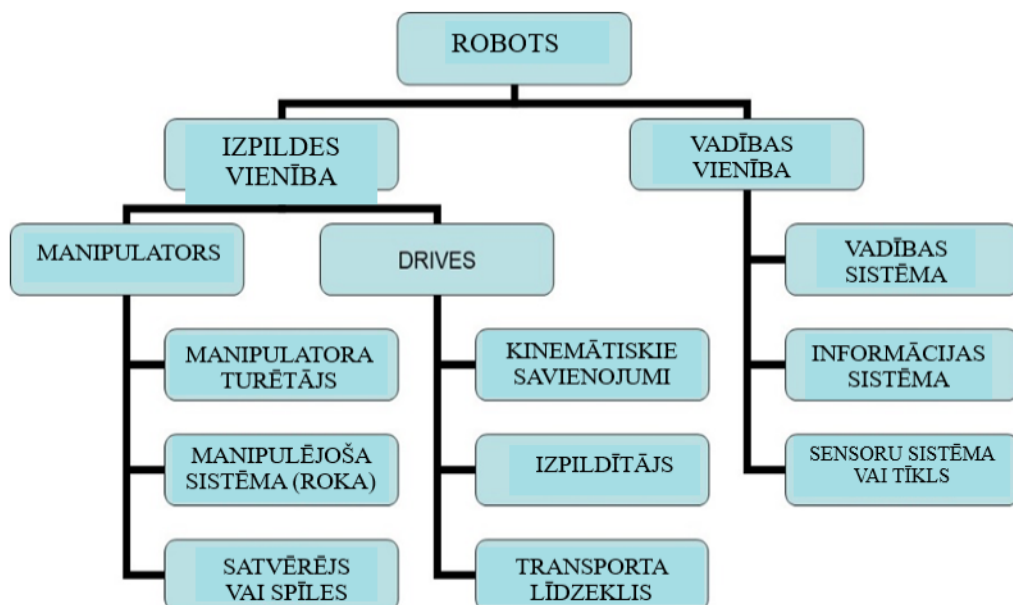
Robotu ar cilindrisku konfigurāciju trūkumi:

- kompleksa kinemātika;
- grūti iztēloties;
- ir grūti kontrolēt lineāro kustību.

### 9.1.3. Robotu sastāvdaļas

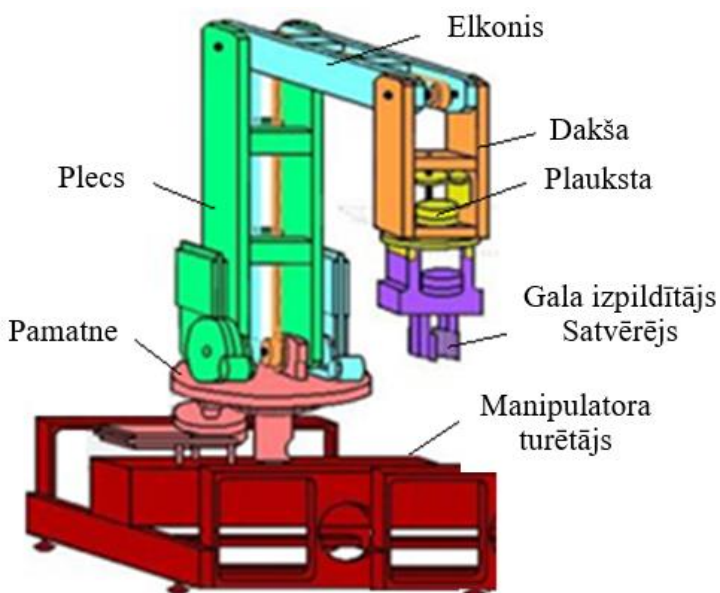
Rūpnieciskais robots sastāv no manipulatora, kas pārvietojas un veic uzdevumus, kontroliera, kas iedarbina un kontrolē manipulatoru, programmēšanas piekare, kas māca manipulatora kustību.

Robota sastāvdaļu arhitektūra, kas parādīta 9.6.attēlā.

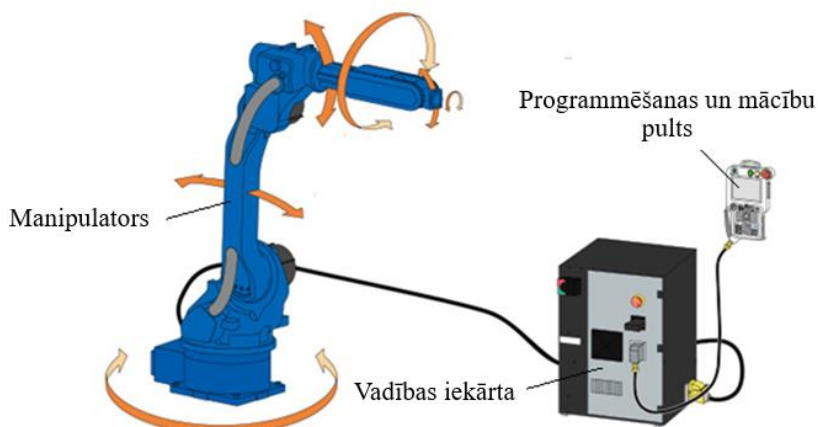


9.6. attēls. Robota sastāvdaļu arhitektūra

Robotu manipulatoru sastāvdaļas parādītas 9.7. - 9.8. attēlā.



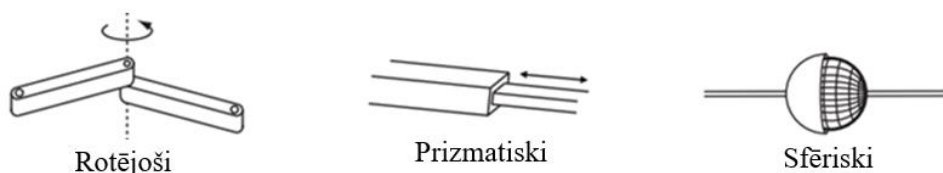
9.7. attēls. Manipulatora sastāvdaļas



9.8. attēls. Robota sastāvdaļas

Lielākajai daļai robotu ir vai nu lineāri, vai rotējoši savienojumi (9.9. attēls). Savienojumi var būt darbināmi, vai var būt pasīvi. Prizmatiskās locītavas ir lineāras; nav rotācijas. Tie ir skrūvju, pārnese, zobratu mehānismi, hidrauliskie vai pneimatiskie cilindri, vai arī tie ir lineāri elektriskie pievadi. Šie savienojumi tiek izmantoti portāla, cilindrisku vai līdzīgu savienojumu konfigurācijās (SCARA un PUMA robotos).

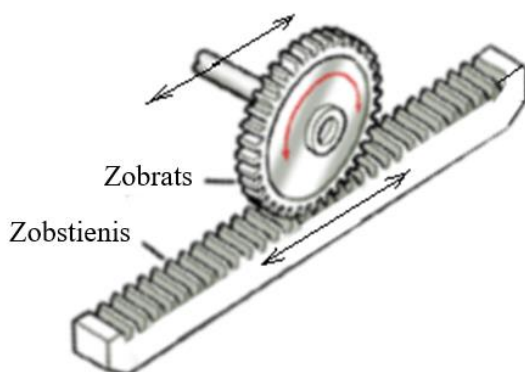
Hidrauliskie un pneimatiskie rotācijas savienojumi ir bieži sastopami, lielāko daļu rotējošo savienojumu virza servomotori. Sfēriskie savienojumi ir izplatīti daudzās sistēmās, jo tām ir vairākas brīvības pakāpes, bet tie ir grūti kontrolējami, tādēļ sfēriskas locītavas robotikā nav izplatītas, izņemot pētījumos.



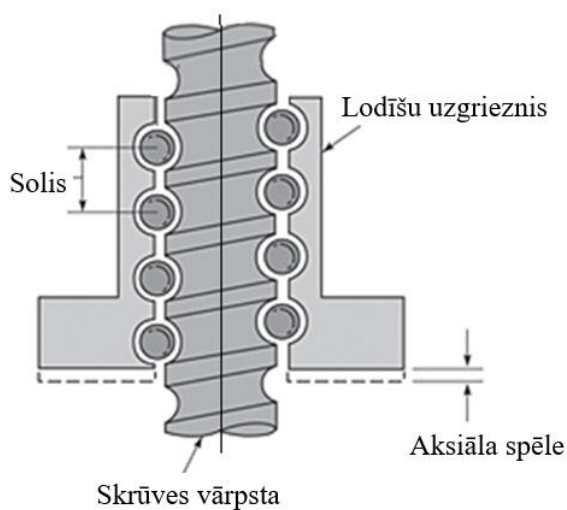
9.9. attēls. Manipulatora savienojumi

### 9.1.3.1 Transmisijas elementi

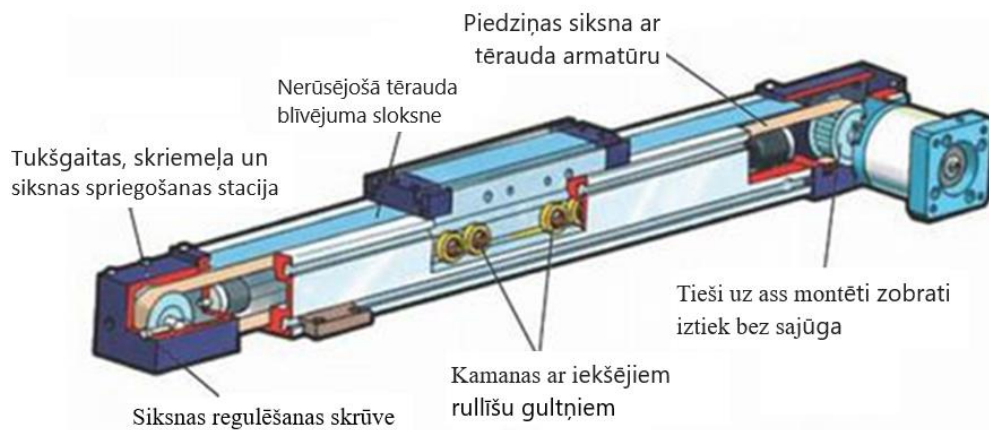
Galvenie transmisijas elementi, kas izmantoti robotikā, parādīti no 9.10 līdz 9.16. attēlam.



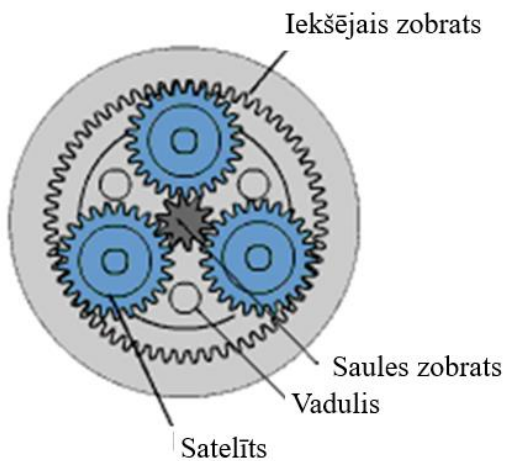
9.10. attēls. Zobstieņa un zobratu mehānisms



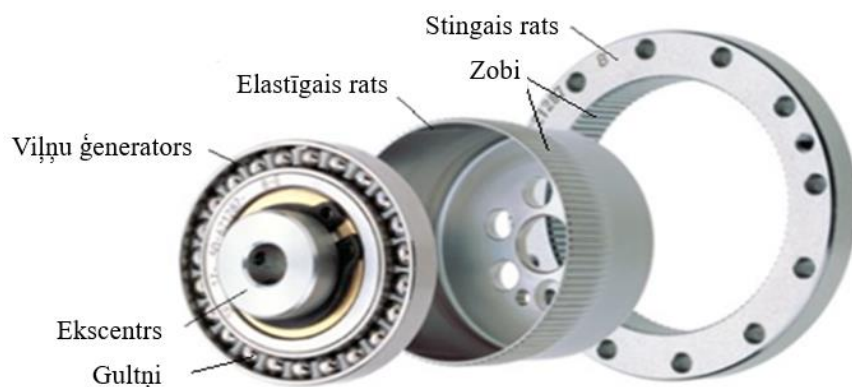
9.11. attēls. Skrūves-uzgriežņa mehānisms



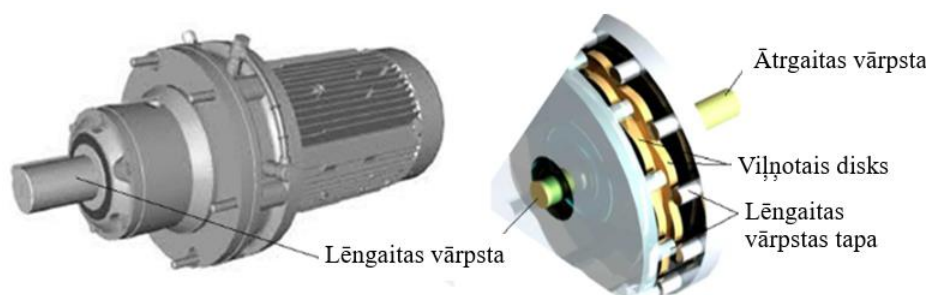
9.12. attēls. Siksna-skriemeļa lineārā piedziņa



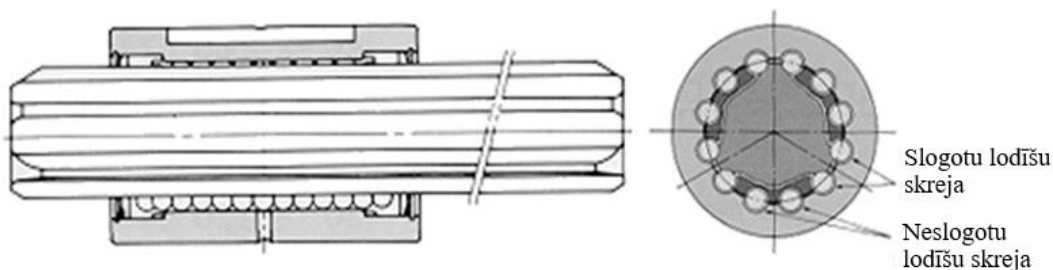
9.13. attēls. Planetārā pārrēsumkārbā



9.14. attēls. Viļņpārvada piedziņas sastāvs



9.15. attēls. Cikl-piedziņas sastāvs



9.16. attēls. Elastīgie vārpstas savienojumi

### 9.1.3.2. Aktuatori

Aktuatori tiek izmantoti manipulatora savienojumu vadīšanai. Tie parasti ir lieli un smagi, tādēļ bieži vien nav lietderīgi tos pielietot aktuatora savienojumam. Lieliem aktuatoriem ir lielas inerces, un tiem ir grūtāk pārvietoties telpā nekā mehāniskajiem

savienojumiem. Tātad, tos ir vēlams novietot pie fiksētas bāzes, vai izmantot garas vārpstas, lai savienotu izpildmehānisma izejas vārpstu ar savienojuma ieeju.

Aktuatori parasti ir lineāri vai rotējoši. Tie var būt arī elektriski, pneimatiski vai hidrauliski. Raksturīgi, ka elektriskie pievadi vai motori ir labāk piemēroti ātrgaitas, zemas slodzes lietojumiem, bet hidrauliskie aktuatori labāk darbojas zemu ātrumu un lielas slodzes lietojumos.

Robotikā izmantotie aktuatori:

- Līdzstrāvas servomotori (DC servo motors);
- Elektriskās lineārās piedziņas;
- Soļu dzinēji;
- Kollmorgen servo disku motori;
- Pneimatiskie pievadi;
- Hidrauliskās piedziņas;
- Mega griezes momenta tiešās piedziņas motor

### **Līdzstrāvas servomotori**



9.17.attēls. Līdzstrāvas servomotors

### **Soļu dzinēji**



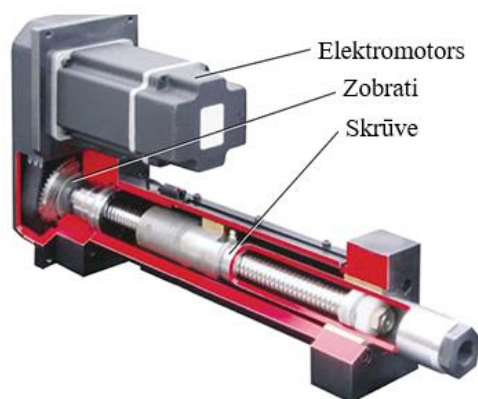
9.18.attēls. Soļu dzinēji

## Kollmorgen servo disku motori



9.19. attēls. Kollmorgen servo disku motori

## Elektriskās lineārās piedziņas aktuatori



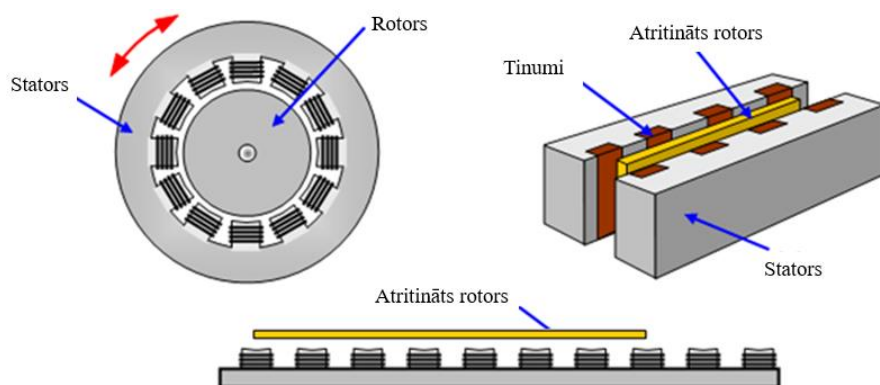
9.20. attēls. Elektriskās lineārās piedziņas aktuatori



## Lineāri indukcijas motori



9.21. attēls. Robota lineāra kustība, izmantojot lineāro indukcijas motoru



9.22. attēls. Lineārā dzinēja salīdzinājums ar rotora dzinēju

## Pneimatiskās lineārās piedziņas



9.23. attēls. Pneimatiskās lineārās piedziņas



## Hidrauliskās lineārās piedziņas



9.24. attēls. Hidrauliskās lineārās piedziņas

## Mega griezes momenta tiešās piedziņas motori



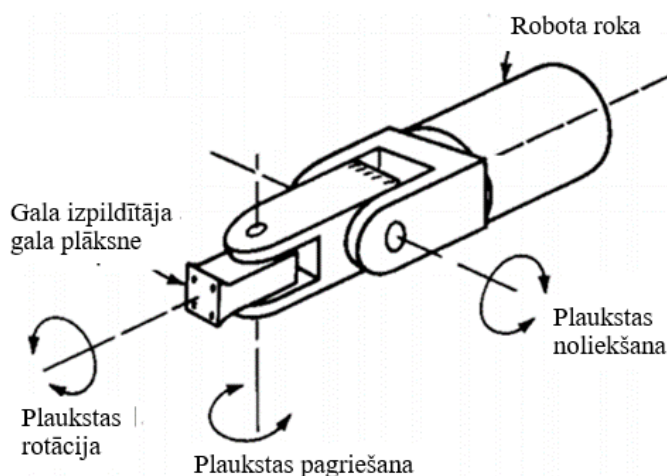
9.25. attēls. Mega griezes momenta tiešās piedziņas moto

### 9.1.3.3. Gala izpildītājs

Pēdējais manipulatora savienojums tiek saukts par gala izpildītāju. Tas ir instruments, kas piestiprināts pie robota plaukstas locītavas. Dažādi instrumenti tiek piestiprināti robota rokai vai plaukstai, un tos var manuāli vai automātiski mainīt. Šī funkcija ir galvenais faktors, kas nosaka robota elastību.

Rokas gala izpildītājs ir piestiprināts pie robota rokas gala, izmantojot instrumentu montāžas plāksni vai atloku savienojumu. Rokas funkcija ir orientēt gala izpildītāju telpā. Atkarībā no tehnoloģiskās darbības sarežģītības robota plaukstas locītavā ir viena, divas vai trīs brīvības pakāpes, kuras sauc par rotāciju, noliekšanu un pagriešanu (*roll, pitch and yaw*).

Katrai rokas kustībai ir atsevišķa elektriskā piedziņa, un to var pagriezt soli pa solim vai visu vienlaicīgi.



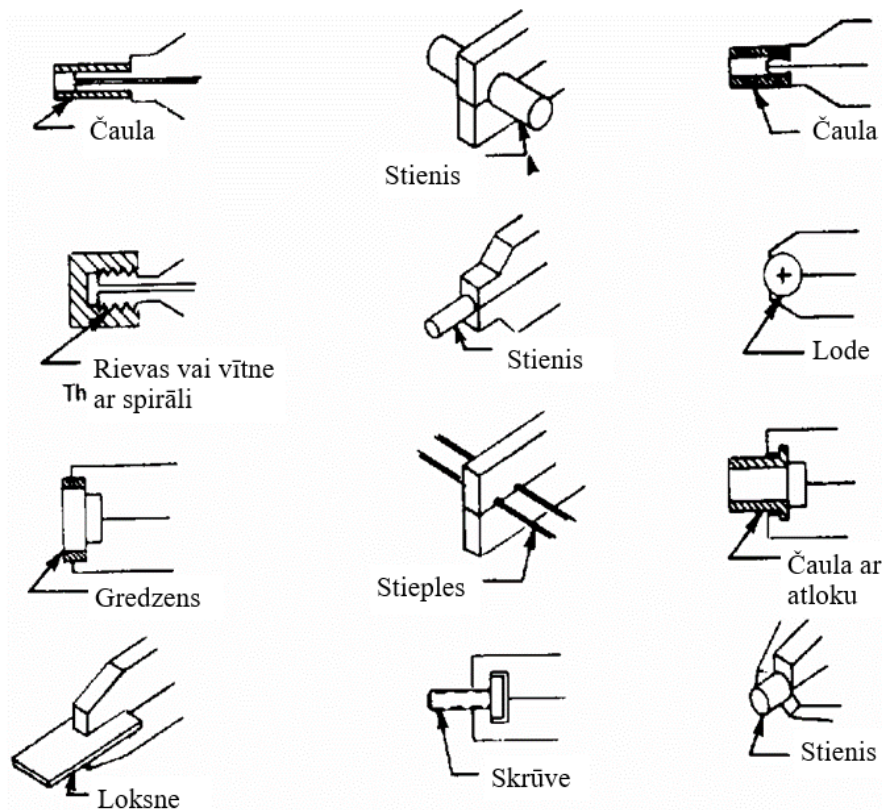
9.26. attēls. Robota plaukstas sastāvs un kustības

Piestiprinātie instrumenti var būt metināšanas vai krāsošanas pistoles, griezēji, urbji, deformatori, skrūvgrieži, uzgriežņu atslēgas, pulvera vai izkausēta metāla padeves.

Atkarībā no satveršanas veida ir četras robotu satveršanas kategorijas:

1. Impaktīvā - žokļi vai nagi, kas fiziski uztver, tieši ietekmējot objektu.
2. Ingressīvā - tapas, adatas, kas fiziski iekļūst objekta virsmā (izmanto tekstila, oglekļa un stikla šķiedras apstrādei).
3. Astriktīvā - vai nu ar vakuumu, magnētisko vai elektrisko saķeri, kuru pielieto objektu virsmām.
4. Kontrastējošā - nepieciešama tieša saķere, piemēram, līmi, virsmas spraigumu vai sasalšanu.

Vispopulārākās mehāniskās satveres pirkstu formas ir attēlotas 9.27. attēlā, sērijveida satveres pirkstu formas - 9.28. attēlā.



9.27.attēls. Mehāniskās pirkstu satveres formas



9.28.attēls. Sērijveida mehāniskās pirkstu satveres formas

#### 9.1.4. Robotu vadības sistēma

Vadības sistēma veic skaitļošanas funkcijas, un veido saskarni ar vadības sensoriem, skavām, instrumentiem un ar citām perifērijas iekārtām. Vadības sistēma sastāv no vadības bloka, vadības paneļa un personālā datora, lai veiktu tiešsaistes robotu simulāciju un animāciju.

Ir pieejami trīs robotu vadības līmeņi:

- I līmenis. Aktuatora vadība. Elementārākais līmenis, kurā tiek kontrolētas atsevišķas robota kustības pa dažādām plaknēm, piemēram, X, Y un Z asīm.
- II līmenis. Ceļa vadība. Ceļa vadības (starpposma) līmenis koordinē atsevišķas kustības pa I līmeņa noteiktajām plaknēm vēlāmajā trajektorijā vai ceļā.
- III līmenis. Galvenā vadība. Šī augstākā vadības līmeņa galvenā funkcija ir interpretēt cilvēka programmētāja rakstiskos norādījumus par nepieciešamajiem uzdevumiem.

Programmēšanu var veikt tiešsaistē ar robota kontrolieri vai no beztiešsaistes vadības punktiem. Programmas var pārsūtīt no atmiņas kartēm, diskiet, iekšējiem diskiet vai telefona modēmiem.

Kontrolieris nodrošina nepieciešamo inteliģenci, lai vadītu manipulatoru / mobilo robotu. Tam var būt pašdiagnostikas iespējas, kas var samazināt robotu sistēmu dīkstāves. Dažiem robotu kontrolieriem ir pietiekama skaitļošanas spēja, atmiņas ietilpība un ieejas / izejas spēja apkalpot citas iekārtas un procesus.

Pozīcijas veikspēja ir viens no svarīgākajiem parametriem attiecībā uz rūpniecisko robotu un CNC darbgaldiem. Piedziņas sistēmas, sensoru un atgriezeniskās saites kombinācija vadības sistēmā nosaka manipulatora dinamiskās reakcijas īpašības. Iekārtas veikspēju nosaka:

- Ātrums. Robotikā tas attiecas uz manipulatora absolūto ātrumu tā galā. To var ieprogrammēt darba ciklā tā, lai dažādas cikla daļas tiktu veiktas dažādos ātrumos.
- Svarīgi faktori ir arī paātrinājuma un palēninājuma vadība, īpaši pārvietošanās beigās. Robota spēja kontrolēt ātrumu pārslēgšanos, ir manipulatora spēju noteicošais faktors.
- Cikla laiks: “periods, kas nepieciešams, lai pabeigtu vienu darbības ciklu; vai, lai pabeigtu funkciju, darbu vai uzdevumu no sākuma līdz beigām. Cikla laiku izmanto, lai diferencētu procesa kopējo ilgumu no tā izpildes laika” (Businessdictionary.com, 2010).
- Cikla laiks apstrādes rūpniecībā ir vissvarīgākais faktors, kas ietekmē ražošanas apjomu. Visiem sistēmas konstrukcijas parametriem galu galā jābūt saistītiem ar šo parametru.
- Vadīšanas laiks: Minūšu, stundu vai dienu skaits, kuras laikā tiek veikta konkrētā operācija vai process.

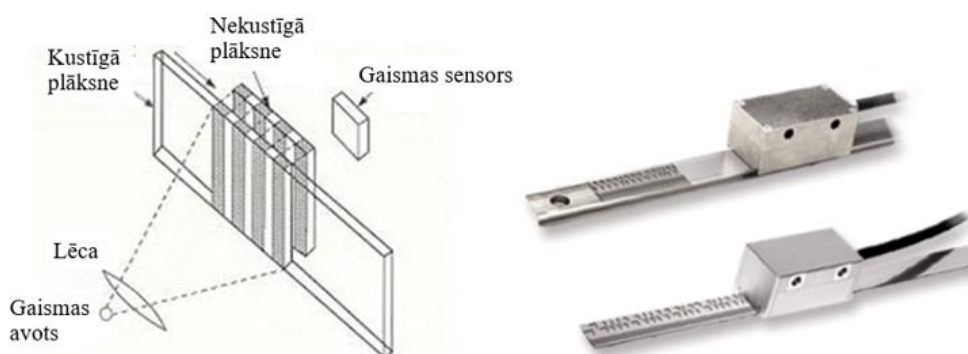
#### 9.1.4.1. Kodētāji

Kodētāji ir ierīces, kuru galvenais mērķis ir pārveidot datus no viena formāta uz citu. Kustības vadības sistēmās kodētāji nodrošina būtisku atgriezenisko saiti par kustību, kam ir būtiska nozīme pareizi funkcionējošas sistēmas uzraudzībā un uzturēšanā.

Robotikas kodētāju tipi:

- Lineāri kodētāji;
- Rotācijas kodētāji;
- Pozīcijas kodētāji;
- Optiskie kodētāji.

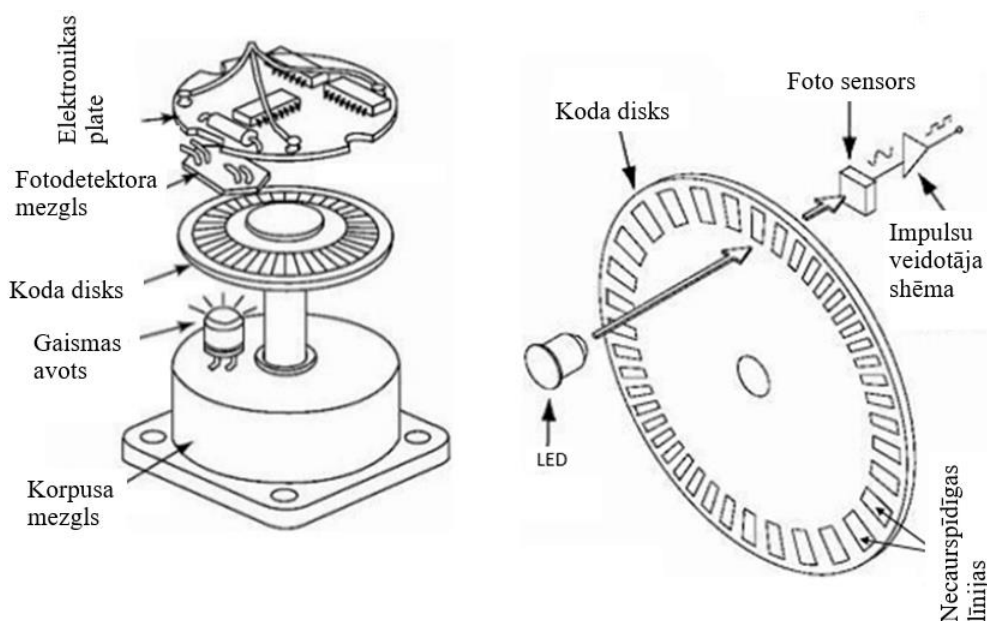
Lineārie kodētāji mēra attālumu starp diviem punktiem (9.29. attēls).



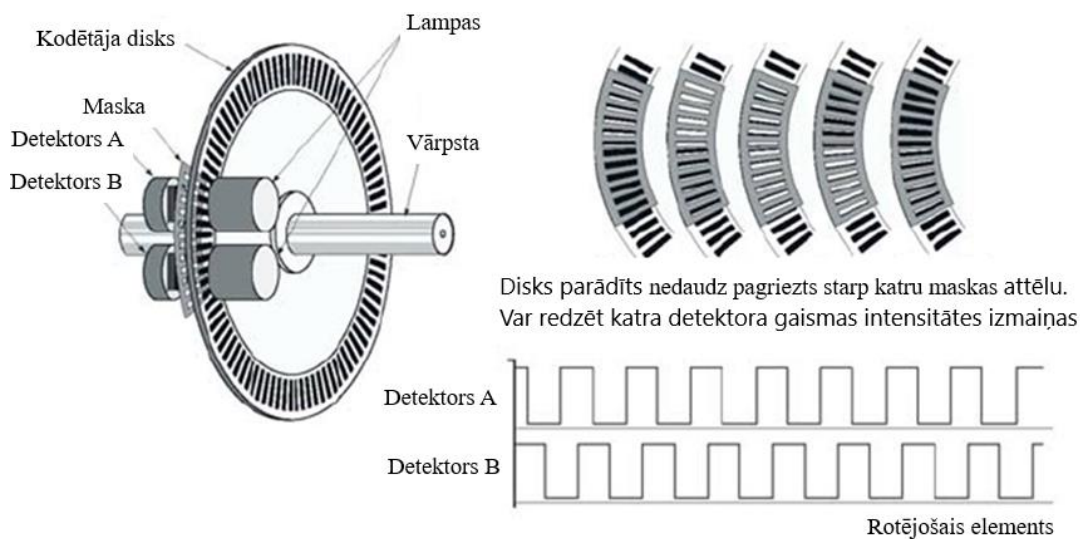
9.29. attēls. Lineārā kodētāja konstrukcija

Rotējošie kodētāji nodrošina atgriezenisko saiti par rotējošas ierīces kustību, parasti tās leņķisko stāvokli. Tie var būt absolūti vai inkrementāli. Absolūtais kodētājs (9.33. attēls) mēra rotējošās vārpstas leņķa absolūto stāvokli, un rada vai nu digitālo, vai analogo signālu.

Inkrementālais kodētājs (9.32.attēls) rada inkrementālus digitālos signālus, kas sniedz datus par objekta esošo stāvokli attiecībā pret iepriekšējo. Kodētāji parasti tiek baroti ar vienkāršu līdzstrāvas spriegumu.



9.30. attēls. Inkrementālā kodētāja konstrukcija



9.31. attēls. Absolūta rotācijas kodētāja konstrukcija

Pozīcijas kodētāji ražo elektroniskos signālus, lai norādītu uz objekta absolūtu mehānisko stāvokli, vai arī palielinātu izmaiņas starp kodētāju un objektu.

Optiskie kodētāji izmanto gaismas impulsus, lai attēlotu datus. Šie gaismas viļņi tiek analizēti, lai atklātu tādus mainīgos lielumus kā pozīciju, virzienu vai ātrumu.

### 9.1.5. Robota programmēšana

Robota rokas un robota kontroliera programmas var izveidot, modelēt un ģenerēt bezsaistē. Lai izveidotu robotu programmas, nepieciešams izvēlēties robotu, ielādēt robota rīkus un izmantot mācību programmatūru vai CAD / CAM, lai izveidotu programmas, pievienojot mērķus vai izmantojot īpašus rīkus, lai pārveidotu CNC programmas uz robotu programmu.

Bezsaistes programmēšana nozīmē programmēt robotus ārpus ražošanas vides, kas ļauj novērst ražošanas pārtraukumus. Modelēšana un programmēšana bezsaistē ļauj izpētīt vairākus darba scenārijus, pirms tiek izveidotas ražošanas darba uzdevumu programmas, novēršot programmēšanas kļūdas.

Simulāciju var pabeigt, pievienojot programmā norādījumu kopu. Katra instrukcija atspoguļo īpašu kodu konkrētam kontrolierim, lai izveidotu robotu programmu bez nepieciešamības rakstīt programmēšanas kodu. Robota kontrolierim raksturīgais kods tiek ģenerēts automātiski, kad tiek ģenerēta programma.

Robota programmēšanas galvenais mērķis ir panākt, lai robots saprastu tā darba ciklu. Programma māca robotu par:

1. ceļu, kas tam būtu jāveic;
2. punktiem, kuriem tas būtu jāsasniedz precīzi;
3. kā interpretēt sensoru datus;
4. kā un kad iedarbināt gala izpildītāju;
5. kā pārvietot detaļas no vienas vietas uz otru utt.

Šim nolūkam vispiemērotākā ir datorizēta programma, kas ir lietotājam draudzīga.

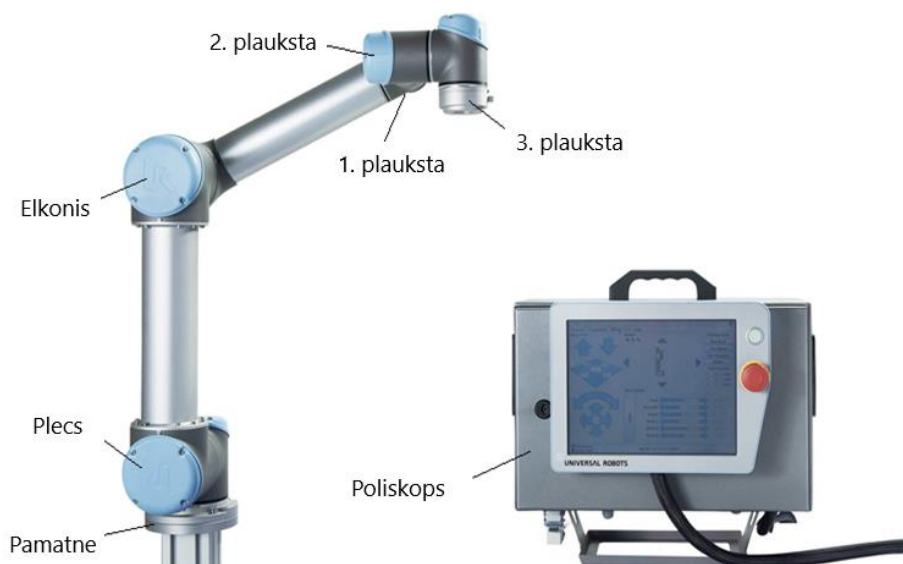
#### 9.1.5.1. Universālā robota UR5 vadība

Universālais robots UR5 (9.32. attēls.) ir ļoti elastīgs 6-ass daudzfunkcionāls robots, kas var darboties kā “kobots” (sadarbības robots), un droši un atkārtoti veikt bīstamus automatizētus uzdevumus. Tas var izturēt līdz 5 kg lielu kravas slodzi, tā darba telpas rādiuss ir 850 mm, un to izmanto mazapjoma sadarbības procesos, piemēram, nolasīšanā, novietošanā un testēšanā.

UR5 programmēšana ir ļoti intuitīva ar 3D vizualizāciju; operators vienkārši pārvieto robotu uz vēlamajiem punktiem, un pēc tam izmanto viegli lietojamo skārienekrāna planšeti, lai iestatītu šo punktu.

Lietotāju programmas var veidot tieši no “Polyscope GUI” (grafiskās lietotāja saskarnes), kas ļauj ērti un elastīgi iestatīt robotu jauniem uzdevumiem.

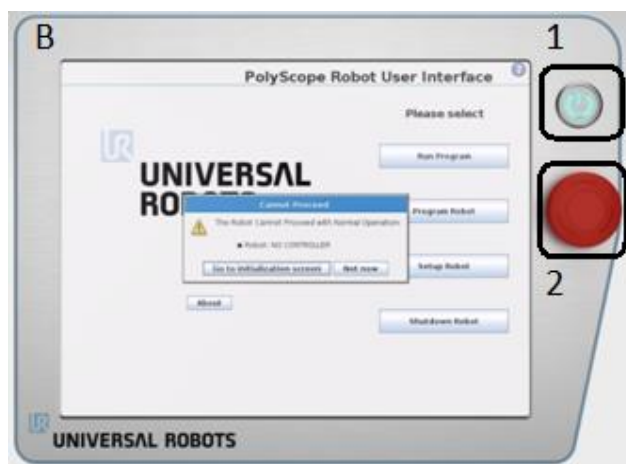




9.32. attēls. Universāls robots UR5

Robotu UR5 vadības soļi:

1. Pievienojiet robotu vadības blokam;
2. Pievienojiet vadības paneli vadības vienībai;
3. Pievienojiet strāvas vadu elektroenerģijas padevei;
4. Nospiediet vadības paneļa barošanas (power) pogu (1), sistēma sāk uzlādi un parādās šāds attēls (9.33. attēls).



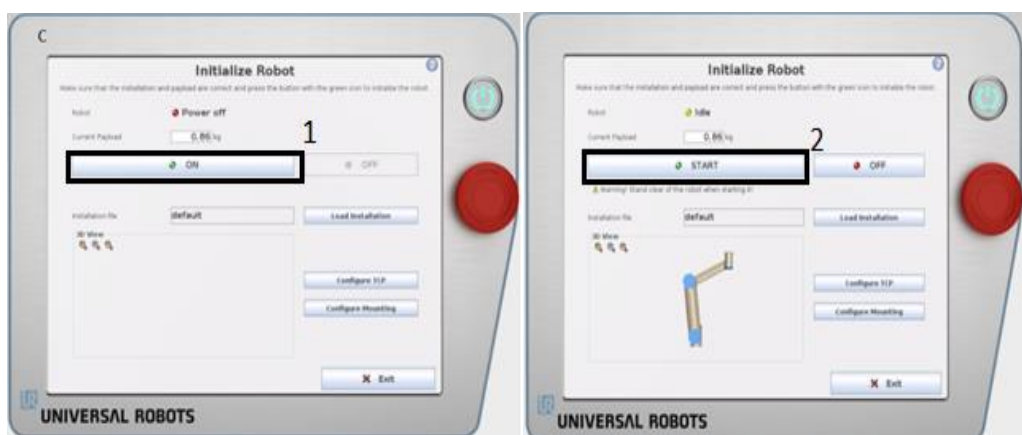
9.33. attēls. Sākotnējais robota savienojums

5. Nospiediet <Go to initialization screen> pogu, lai parādītu attēlu, kā parādīts 9.34.



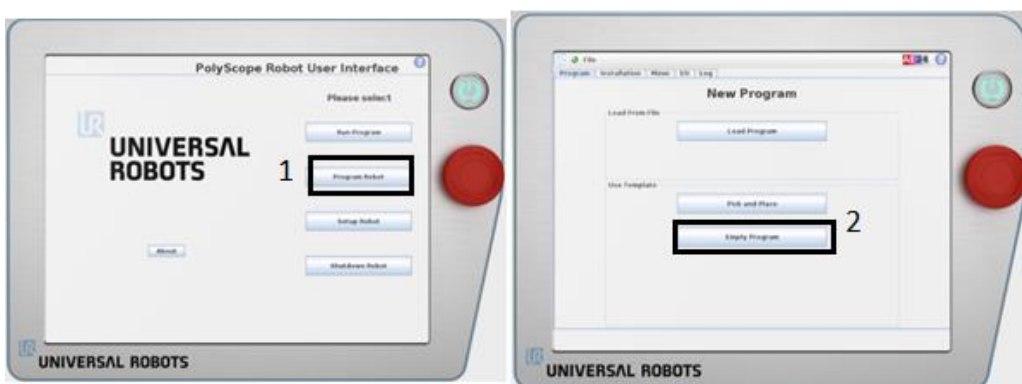
attēlā. Nospiediet pogu (1), pēc tam nospiediet <Start> (2). Robots tagad ir gatavs lietošanai.

6. Nospiediet <OK> pogu, lai atvērtu galveno programmas logu.



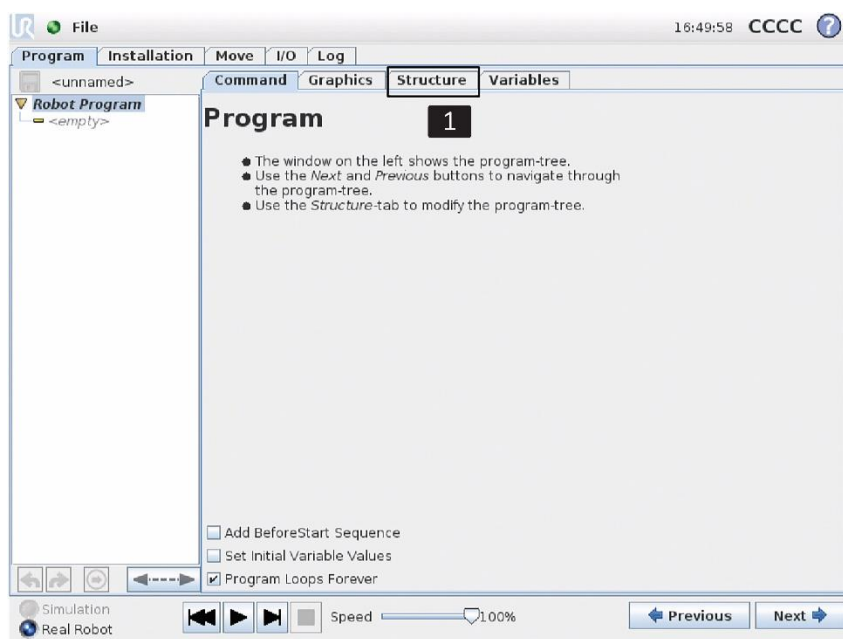
9.34. attēls. Robota sagatavošana darbam

7. Lai izveidotu jaunu programmu, nospiediet pogu <Program Robot> (1) (9.35. attēls). Logā, kurš atvērsies, izvēlieties <Empty Program> (Tukša programma) (2).



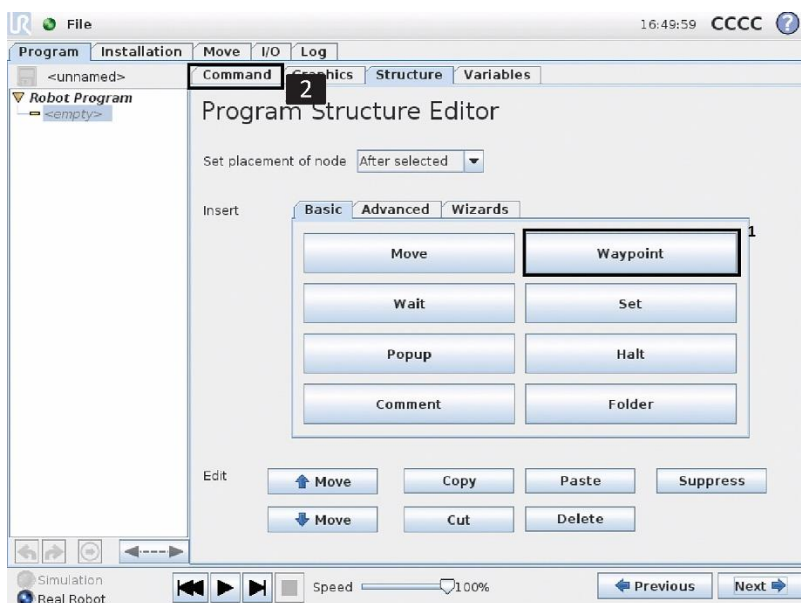
9.35. attēls. Programmatūras galvenais logs

8. Displejā redzams programmas koks (9.36. attēls). Šeit tiek iestatīta programma, ātrums tiek noregulēts un tiek iestatīta izpildes secība. Lai izveidotu jaunu programmu, nospiediet pogu < Structure > (1).



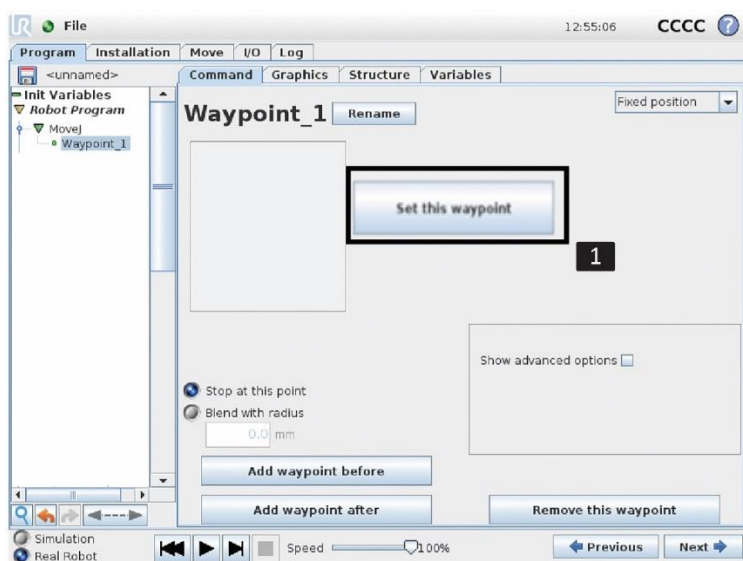
9.36. attēls. Programmu iesniegšanas koks

9. Šajā logā ir visas komandas, kas nepieciešamas, lai veiktu specifiskas robota funkcijas. Galvenās iezīmes ir sadaļā “Basic”. Parasti programma <Move> tiek izvēlēta, lai izveidotu programmu. Tagad ir jāiestata objekta vieta telpā. Noklikšķiniet uz <Waypoint> un pēc tam <Command> (9.37. attēls).



9.37. attēls. Galvenās robotu komandas

10. Lai iestatītu punktu ekrānā, izvēlieties <Set this waypoint> komandu “(1)” (9.38. attēls).

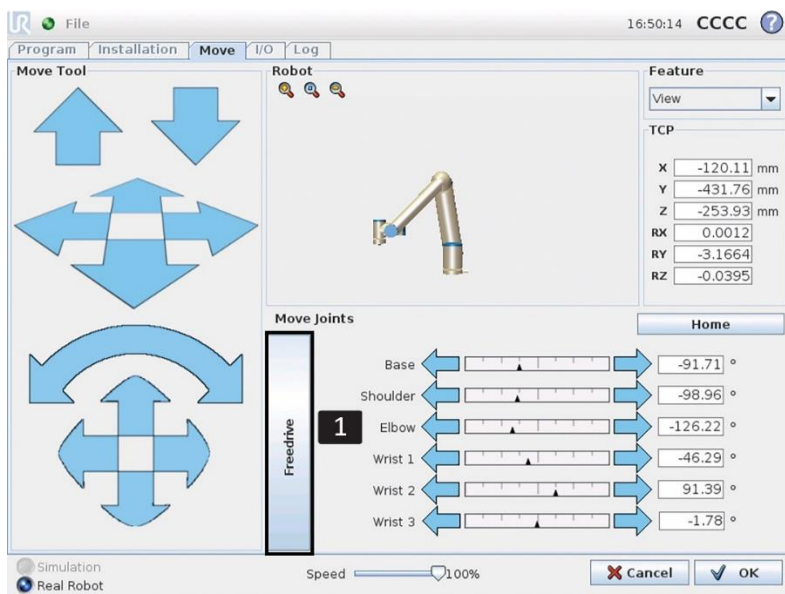


9.38. attēls. <Iestatiet šo ceļa punktu> komandas (1) izvēli

11. Tagad logā redzams punktu iestatīšanas skats. Punktu var iestatīt trīs veidos:

- 1) kontrolēt punkta koordinātas, pārvietojot / pagriežot punktu uz jebkuras ass;
- 2) Iestatiet punkta pozīciju ar roku, izmantojot komandu Freedrive. Varat arī izmantot taustiņu aiz vadības paneļa;
- 3) kontrolēt atsevišķu daļu (plecu, pamatni, plaukstu utt.).

12. Nospiediet pogu <Freedrive> un atlasiet galvenā punkta pozīciju (9.39. attēls).

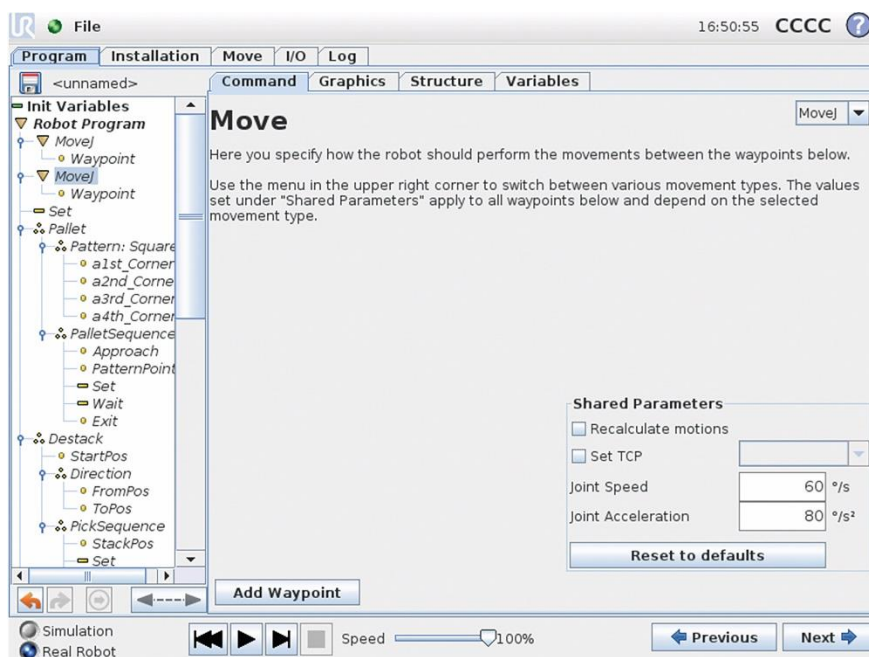


9.39. attēls. Bāzes punkta izvēle

13. Programmas kokā atlasiet sadaļu <MoveJ> un noklikšķiniet uz <Structure>. Pēc tam – uz komandas <Move>. Koks rāda jaunu saiti kokā. Noklikšķiniet uz <Command> un izvērsiet komandu <MoveJ>. Šajā slejā atlasiet kustības trajektoriju:

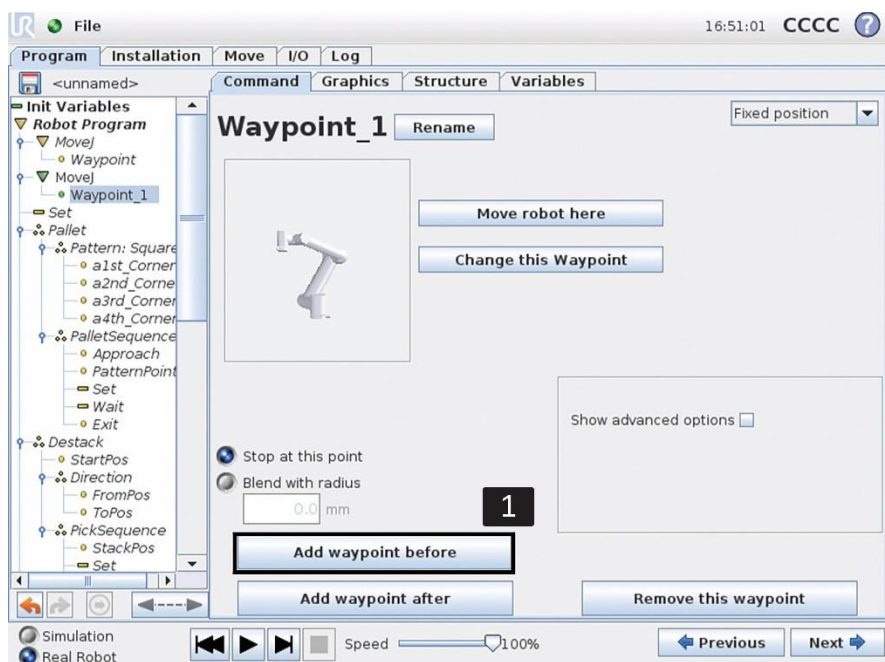
- <MoveJ> - nepārtraukta kustība;
- <MoveL> - taisna kustība;
- <MoveP> - pozicionēšanas kustība.

14. Atlasiet komandu <MoveL>, tad nospiediet <Add Waypoint> un iestatiet punktu, kur robots pārvietosies paredzētā taisnā kustībā 9.40. attēls).



9.40. attēls <MoveL> un <Add Waypoint> logs

15. Lai turpinātu robota kustības trajektoriju, iestatiet nākamo punktu, vienkārši ievietojot punktu ar <Add waypoint after> komandu (1) (9.41. attēls).



9.41. attēls. Trajektorijas punkta ievietošanas komanda <Add Waypoint after> (1)

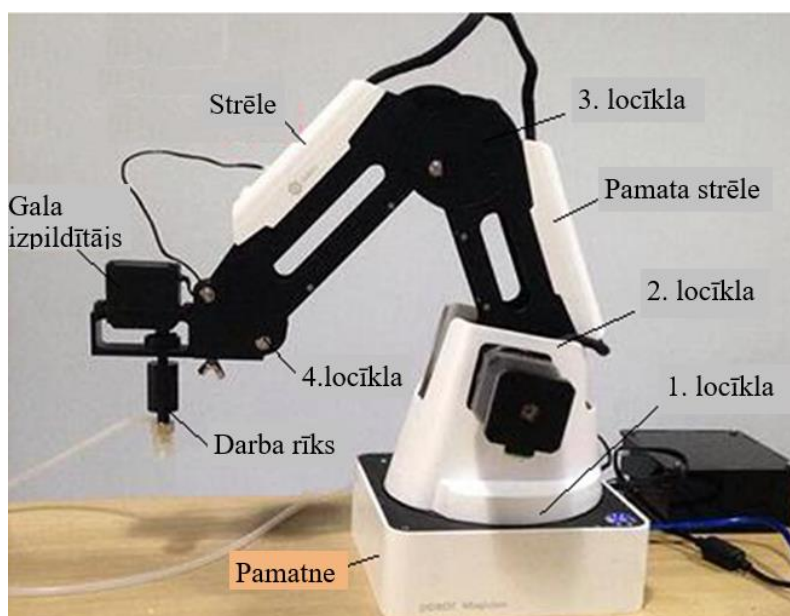
16. Lai palaistu izveidoto programmu, nepieciešams nospiegt  pogu.

Jāuzsver, ka robots vienmēr sāk programmu no sākuma punkta. Tas nozīmē, ka sistēma, startējot programmu, pieprasīs, lai robots būtu sākotnējā stāvoklī. To var izdarīt, nospiežot starta pogu un izvēloties automātisko atgriešanos sākuma punktā vai manuālajā iestatīšanas ātrumā logā.

#### 9.1.5.2. “Dobota” manipulatora vadība

Dobots ir daudzfunkcionāla darbvirsmas (desktop) robota roka, kas paredzēta praktiskai izglītībai. Dobots var realizēt daudzas funkcijas, piemēram, 3D drukāšanu, lāzergravēšanu, rakstīšanu un zīmēšanu. Tas atbalsta sekundāro attīstību, izmantojot 13 paplašinātās saskarnes un vairāk nekā 20 programmēšanas valodas, kas padara radošumu un iztēli bez imitācijas.

Manipulatora galvenā konstrukcija sastāv no pamatnes, stieņa un strēles un galvas piedziņas. Pamatni, strēles un gala izpildītāju ar darba instrumentu savieno attiecīgi četri savienojumi (1.savienojums (Joint1), 2.savienojums (Joint 2), 3.savienojums (Joint 3), 4.savienojums (Joint 4)) (9.42. attēls).

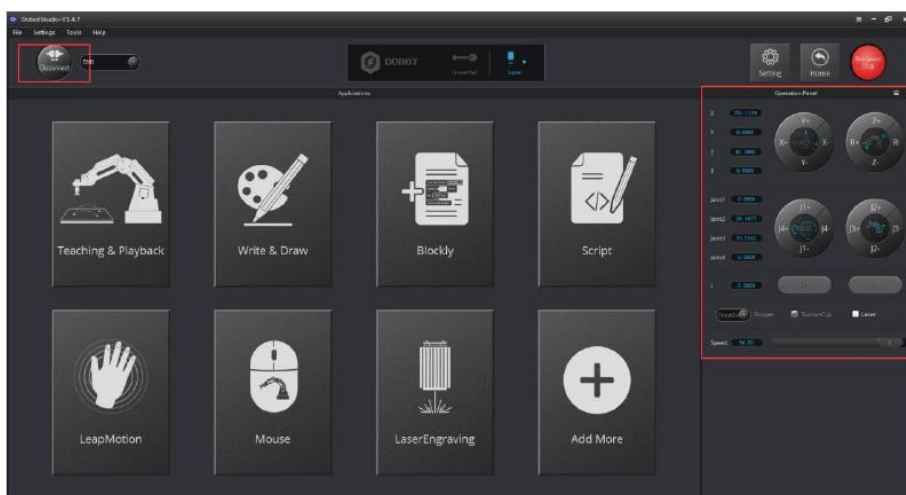


9.42. attēls. Manipulatora galvenā struktūra

Lai saprastu robota darbību, manipulators ir jāpievieno datoram un jāpalaiž īpaša “DobotStudio” programmatūra.

Ir daudz veidu, kā vadīt manipulatoru. To var izdarīt, izmantojot peli, rokturi, mobilo tālruni vai žestu. Ja kontrole ar peles vai tastatūras palīdzību, nepievienojoties datoram, netiek pieņemta, manipulatora vadību var veikt tieši ar tālvadības pult.

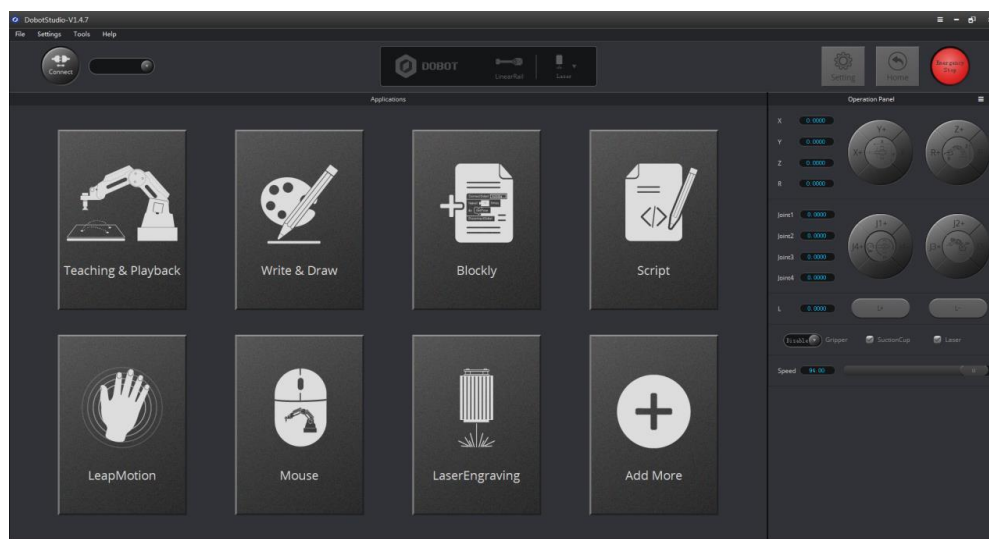
Noklikšķiniet uz labās puses ikonas “DobotStudio” un izvēlieties “run the software as administrator” (palaist programmatūru kā administratoram). Atlasiet atbilstošo Dobota seriālo portu “DobotStudio” kreisajā stūrī un noklikšķiniet uz pogas <Connect>. Pēc veiksmīga savienojuma parādās <Disconnect>. Kad Dobot ir pievienots, koordinātu parametri tiks atjaunināti saskarnes labajā pusē, kā parādīts 9.43. attēlā.



9.43. attēls. Dobota savienojums



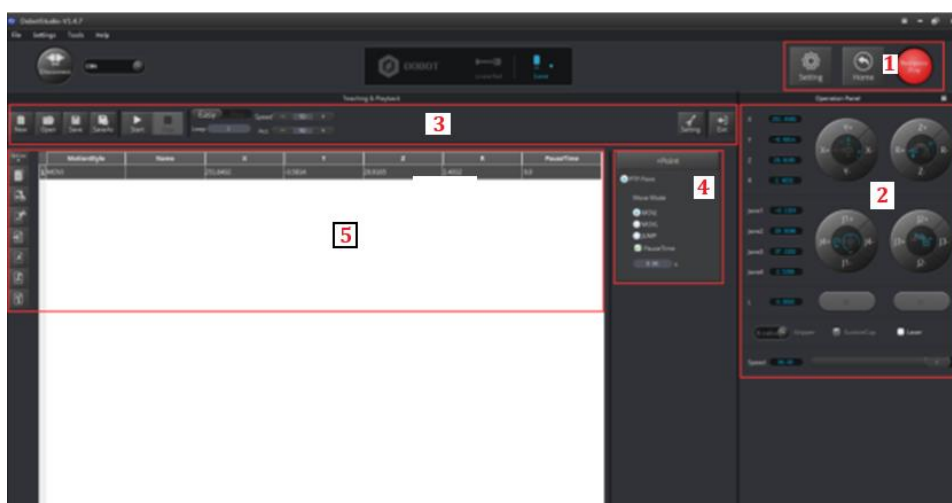
Galvenajā programmatūras saskarnē (interfeisā) ir astoņi moduļi (9.44. attēls):



9.44. attēls. Dobota galvenais interfeiss

- **Teaching & Playback (Mācīšana un atskaņošana).** Sistēma, kas māca Dobotu kā pārvietoties. Tas ļauj Dobotam veikt ierakstītas kustības, izmantojot manuālo vadību.
- **Write & Draw (Rakstīt un zīmēt).** Regulē Dobotu rakstīšanu, zīmēšanu vai lāzera gravēšanu.
- **DobotBlockly.** Māca pamata programmēšanu, izmantojot puzzle saskarni. Intuitīvs un viegli saprotams.
- **Script.** Skriptu valodas rediģēšana, lai kontrolētu Dobotu.
- **LeapMotion.** Dobota kontrolēšana ar žestiem.
- **Mouse (Pele).** Dobota kontrolēšana ar peli.
- **LaserEngraving (Lāzera gravēšana):** iegravē attēlus, formas un vārdus, izmantojot bitmap ar Dobota palīdzību.
- **Add More (pievieno vairāk).** Pievienot vēl: pievieno vēl vairāk funkciju Dobotam.

Noklikšķi uz **Teaching & Playback** galvenās saskarnes ar astoņiem funkcionālajiem moduļiem, kas parādīti 9.45. attēlā.

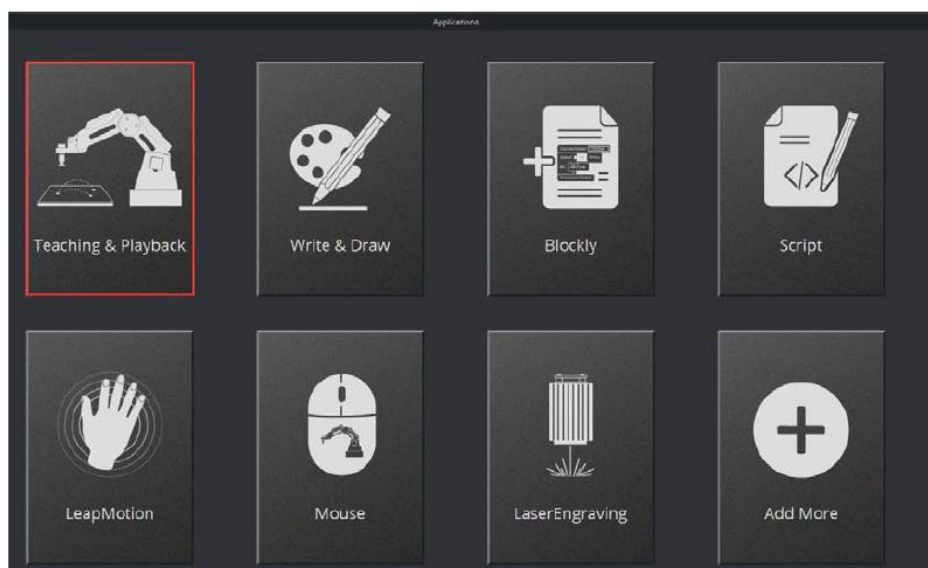


9.45. Dobota galvenie interfeisa funkcionālie moduļi

**1. joma:** programmatūras savienojums.

Programmas labajā augšējā stūrī ir trīs pogas (9.45. attēls). Manipulators nekavējoties aptur visas darbības, nospiežot pogu <Emergency stop> (Avārijas apturēšana), un manipulators automātiski pagriezīsies pa kreisi līdz galam un pēc <Zero> pogas nospiešanas atgriezīsies iestatītajā sākuma punktā. Mājas punktus var pielāgot, un <Settings> (iestatījumi) izvēlnē var iestatīt katras funkcijas atbilstošos parametrus, kas vēlāk aptver attiecīgo funkciju ieviešanu.

Noklikšķiniet uz “Teaching & Playback” (9.46. attēls) un parādīsies manipulatora vadības interfeiss.



9.46. attēls. Aktivizācijas logs “Teaching&Playback”



## 2. joma: Manipulatora vadības režīmi.

### “Lineārs režīms”

< Linear mode> (9.47. attēls.) ir viena no manipulatora vadības formām 2. jomā, kurā attēlota koordinātu X, Y, Z, R vadība, savienojumu vadība, lineārā vadība, satveršanas / iesūkšanas / lāzera aktivizēšana un ātruma kontroles taustiņi.

Katras ass kustību kontrolē ar atsevišķiem taustiņiem ar laukumiem  $\pm X$ ,  $\pm Y$ ,  $\pm Z$ ,  $\pm R$ . Savienojumi tiek regulēti tādā pašā veidā, izmantojot taustiņus  $\pm j1$ ,  $\pm j2$ ,  $\pm j3$ ,  $\pm j4$ . (9.47. attēls).



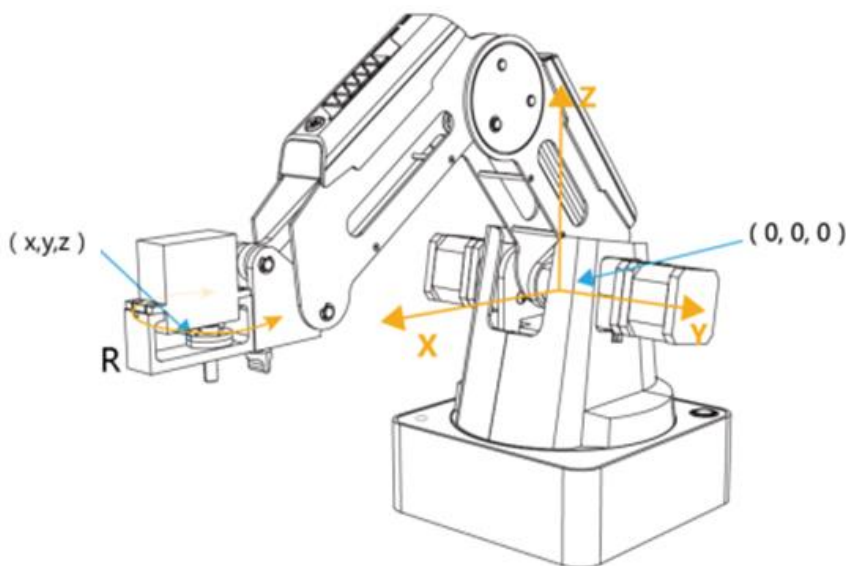
9.47. attēls. < Linear mode > apgabals

Manipulatora kustība tiek kontrolēta šādi:

1. Noklikšķiniet uz <X +>, <X-> robota roka virzīsies pa X asi;
2. Noklikšķiniet uz <Y +>, <Y-> robota roka virzīsies pa Y asi;
3. Noklikšķiniet uz <Z +>, <Z-> robota roka virzīsies pa Z asi;
4. Noklikšķiniet uz <R +>, <R-> robota roku griežas pulksteņrādītāja virzienā vai pretēji pulksteņrādītāja virzienam. Griešanās leņķis R varētu būt  $\pm 150^\circ$ .

Kustība R aktivizējas kopā ar kustību Y, tāpēc pirms pārslēgšanas nepieciešams nodrošināt, ka manipulators attiecībā pret koordinātu sistēmas nulles punktu ir stabils.

Manipulatora ass pēc noklusējuma ir vertikāla, tas nozīmē, ka pulksteņrādītāja kustības virziens ir pozitīvs, tāpēc, nospiežot <J1 +>, robota roka rotēs pa kreisi; nospiežot <J1 -> robota roka rotēs pa labi (9.48. attēls).

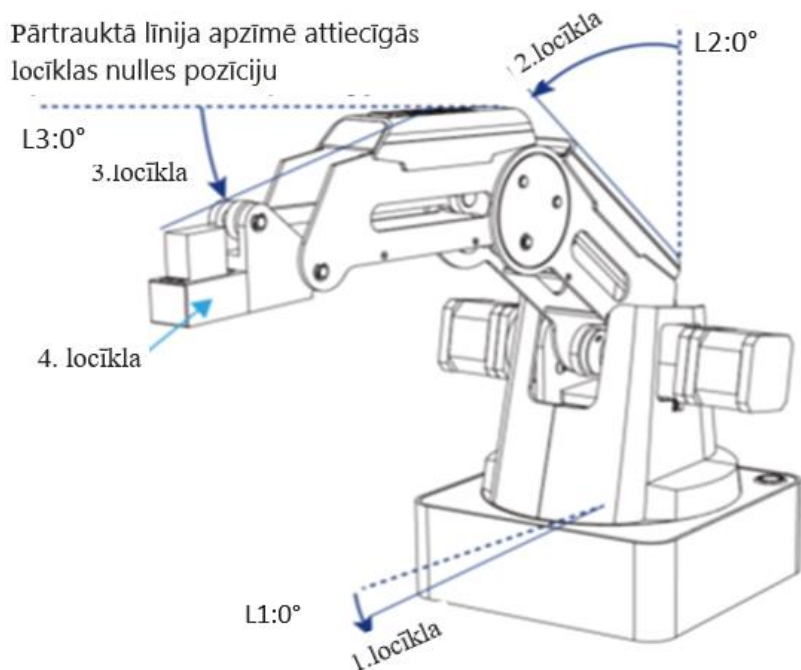


9.48. attēls. Manipulatora asis un koordinātas

### **„Jog režīms” (vienas ass vadības režīms)**

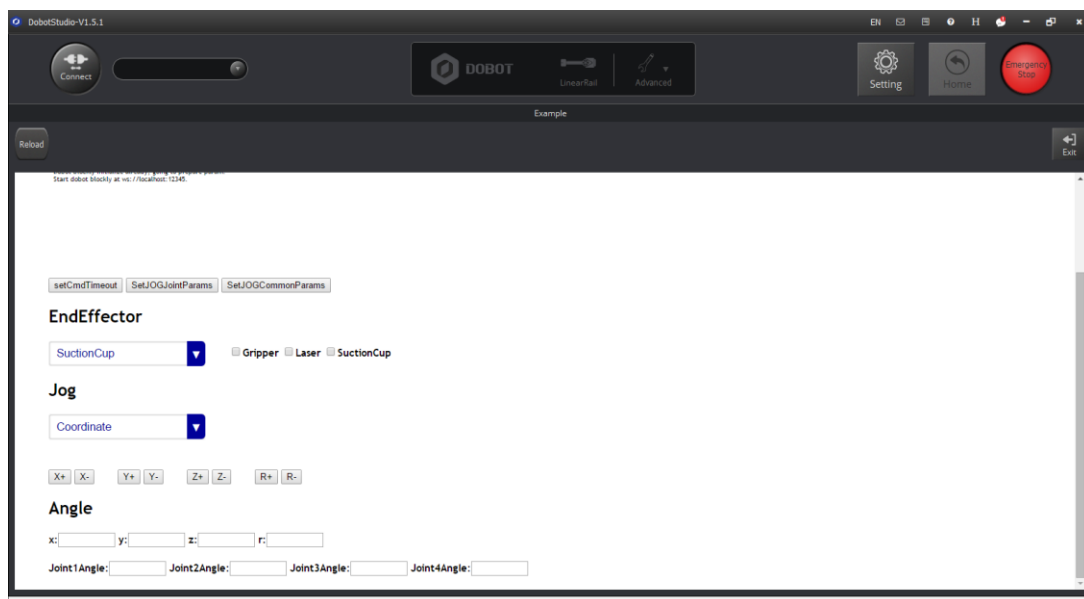
Manipulatora tiešākā vadības metode ir darbināt katru savienojumu tieši ar vienas ass vadības režīmu, un savienojumi 1, 2, 3 un 4 atbilst attiecīgi pamatnes, stieņa, strēles un galvas aktuatora vadībai (9.49.attēls).

Nospiežot un turot atbilstošo pogu, atbilstošais manipulatora aktuators vienmēr griežas un apstājas pēc pogas atbrīvošanas. Ass noklusē, ka pulksteņa guda virziens ir pozitīvs virziens, tāpēc manipulatora aktuators virzīsies pa kreisi, noklikšķinot uz pogas "J1 +", un manipulators virzīsies uz priekšu, noklikšķinot uz pogas "J2 +", un otrādi.

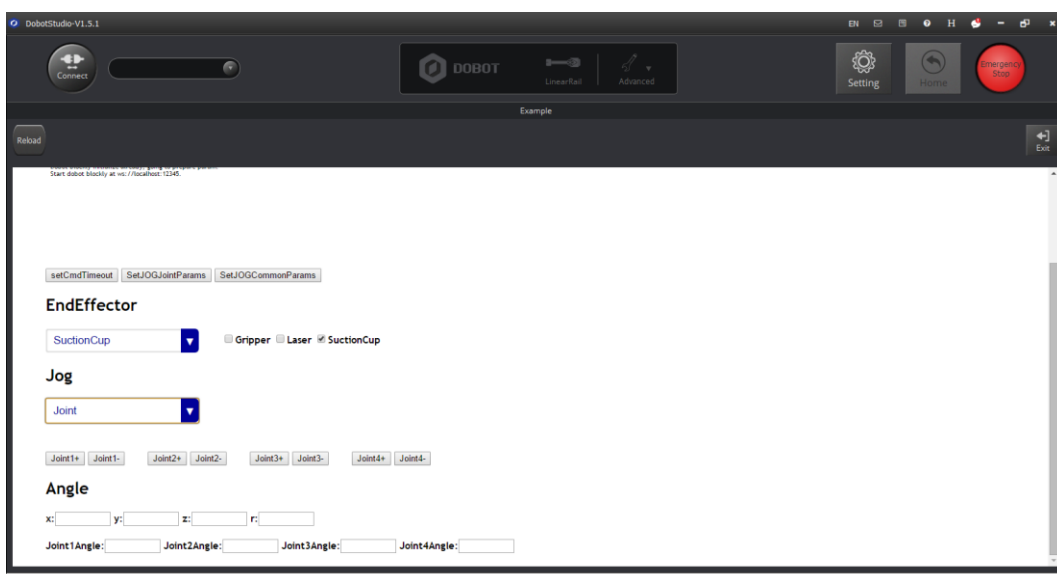


9.49. attēls. Vienas ass kustības vadība

Manipulatoru ir iespējams programmēt manuāli. Šī iemesla dēļ nepieciešams aktivizēt satvērēja atslēgu un iestatīt instrumenta X, Y un Z koordinātas (9.50. attēls), vai savienojumu rotācijas leņķa vērtības (9.51. attēls).



9.50.attēls. Koordinātu programmēšanas logs



9.51. attēls. Leņķa programmēšanas logs

**3. joma:** rīku joslu izvēlne.

**New/Open/Save:** Create/Open/Save (Jauns / Atvērt / Saglabāt: Izveidot / atvērt / saglabāt) punktu saraksts.

**Start / Stop** (Sākt / Pārtraukt) atskaņošanas kustības.

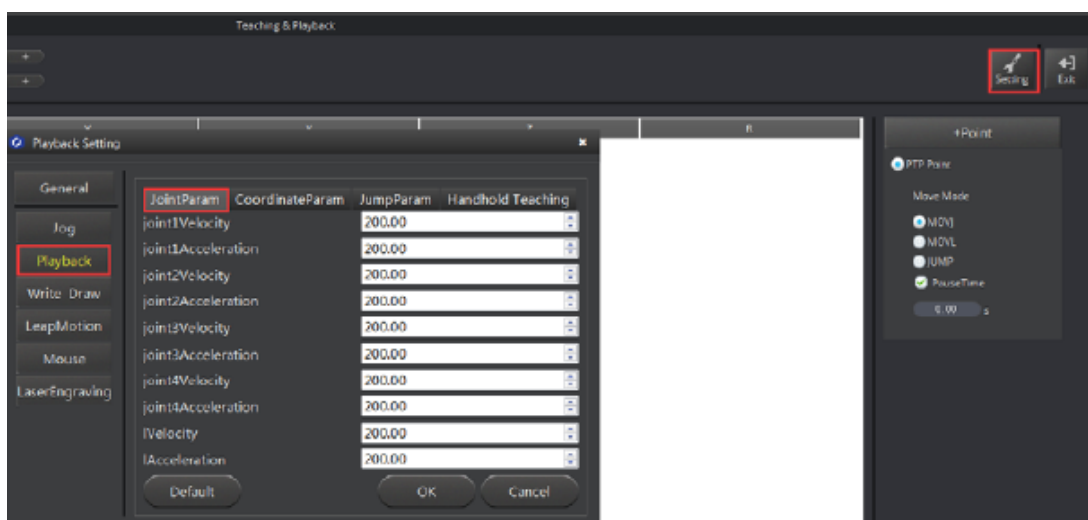
Noklikšķiniet uz **Start** (Sākt), lai sāktu no sākuma (poga tagad mainīsies uz **Pause**). Noklikšķiniet uz **Pause**, kad dobots pārvietojas, un poga mainīsies uz **Resume**. Noklikšķiniet uz **Resume**, un tas turpinās pārvietoties.

**Loop:** iestatiet, cik reizes nepieciešamas atskaņošanas kustības.

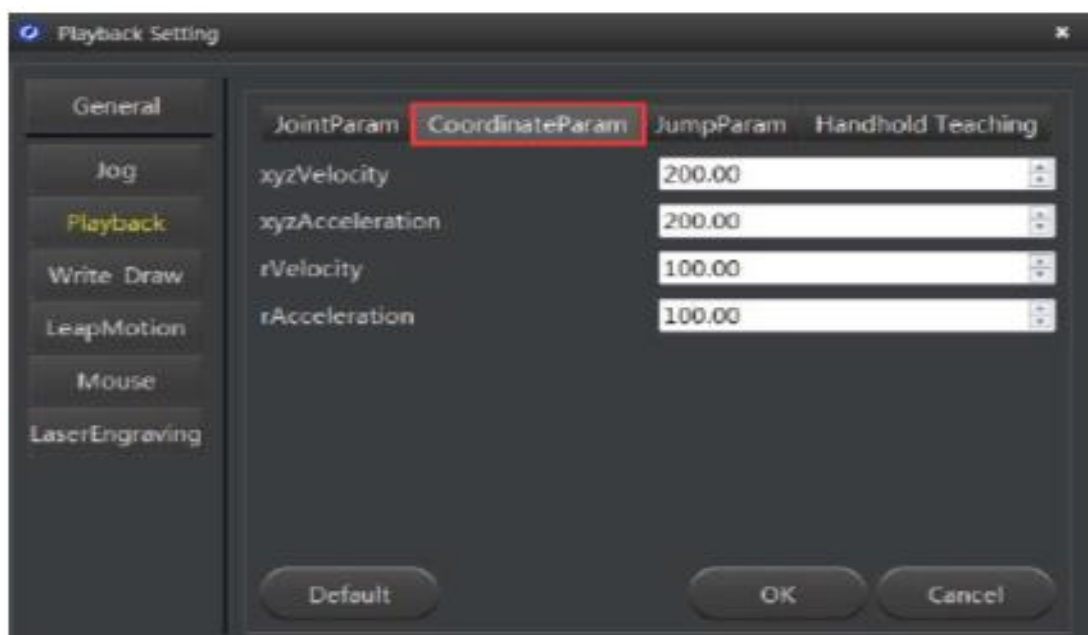
**Easy / Pro:** Režīmu pārslēgs, ieskaitot bezsaistes režīmu un I / O iestatījumus.

**Speed/Acc:** detalizēti atskaņošanas ātruma un paātrinājuma parametri.

**Settings** (Iestatījumi): iestatiet kustības parametrus (9.52. attēls), ieskaitot ātrumu un paātrinājumu katram savienojumam (9.53. attēls).

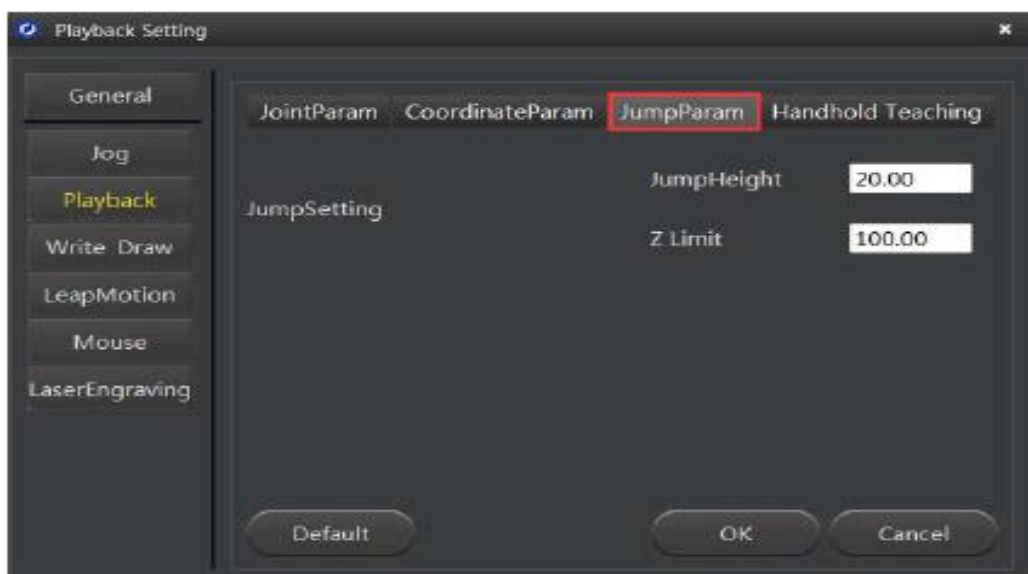


9.52. attēls. Vienas kustības loga parametri



9.53. attēls. Koordinātu iestatīšanas logs

Jump mode (pārlēkšanas režīma) augstums un Z limits ir redzams 9.54. attēlā.



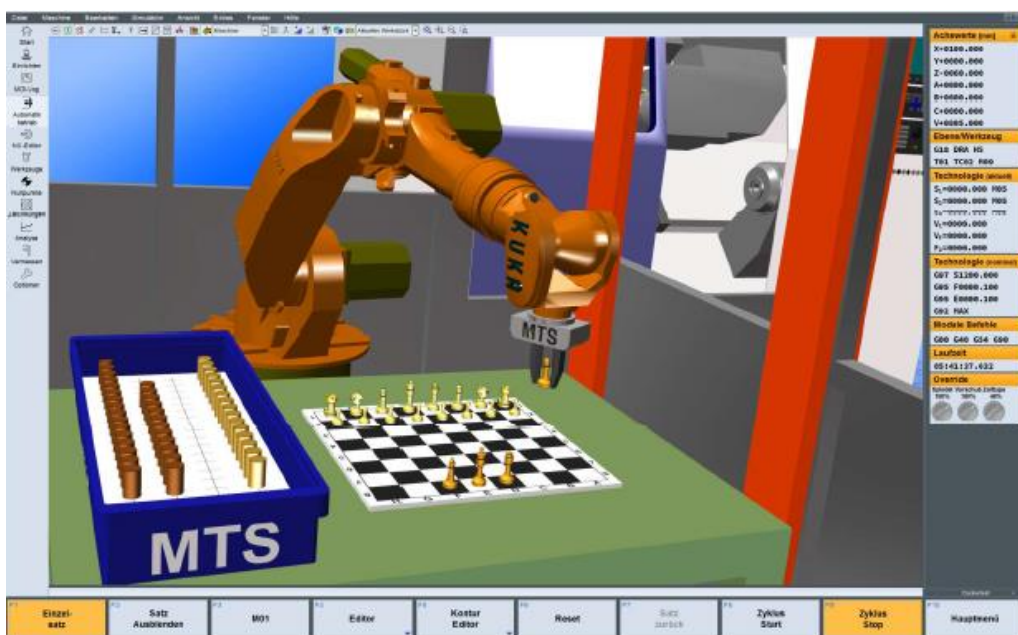
9.54. attēls. Pārlēkšanas režīma iestatījumu logs

#### 9.1.5.3 “Robots - CNC mašīna” integrēta vadība

Industrijas 4.0 ieviešana prasa zināšanas robota programmēšanas jomā, lai automatizētu apstrādājamo detaļu apstrādi ražošanā - ar CNC iekārtām un sagatavēm. Atšķirības starp robotu programmēšanas valodām ir daudz lielākas, nekā starp ISO programmām, tāpēc robotu programmēšanas valodas noteikšana CNC apmācībai ir vēl grūtāka nekā ar NC programmēšanu.

Ņemot vērā šīs problēmas, CNC vadības ražotāji ir integrējuši robotu kinemātikas NC programmēšanu savās CNC vadības ierīcēs. Izmantojot MTS 8.0 programmatūru (9.55. attēls.), apstrādes robotu var programmēt kā CNC mašīnas CNC vadības kanālu DIN / ISO komandu kodējumā.

Šī pieeja tiek izmantota augstas precizitātes robotu, kuri apstrādā sagatavi, programmēšanā, jo tas galvenokārt ir atkarīgs no precīzas pozicionēšanas un sagataves pozicionēšanas fiksācijas ierīcē.



9.55. attēls. Robota vadība, izmantojot MTS programmatūru

Lai iesaistītu robotu ražošanā, izmantojot MTS programmatūru, ir iespējams pārslēgties no standarta Dekarta programmēšanas uz visu rotējošo asu tiešo programmēšanu.

Liels skaits M komandu papildinātas atbilstoši drošības noteikumiem:

- Robota rokas Nr.1 aizvēršana un atvēršana;
- Robota rokas Nr.2 aizvēršana un atvēršana (dubultā satvērēja gadījumā);
- Iekārtas durvis atvērtas / aizvērtas utt.

Lai izstrādātu robotu - CNC mašīnu, vadība tiek integrēta standarta procedūrā, robots un mašīna ir jāinstalē vienā (konkrētā) programmēšanas valodā, kurā visas nepieciešamās vadības komandas realizētu viens kontrolieris ar iepriekš plānotu sinhronizāciju.

Lai to paveiktu, jāveic šādi uzdevumi:

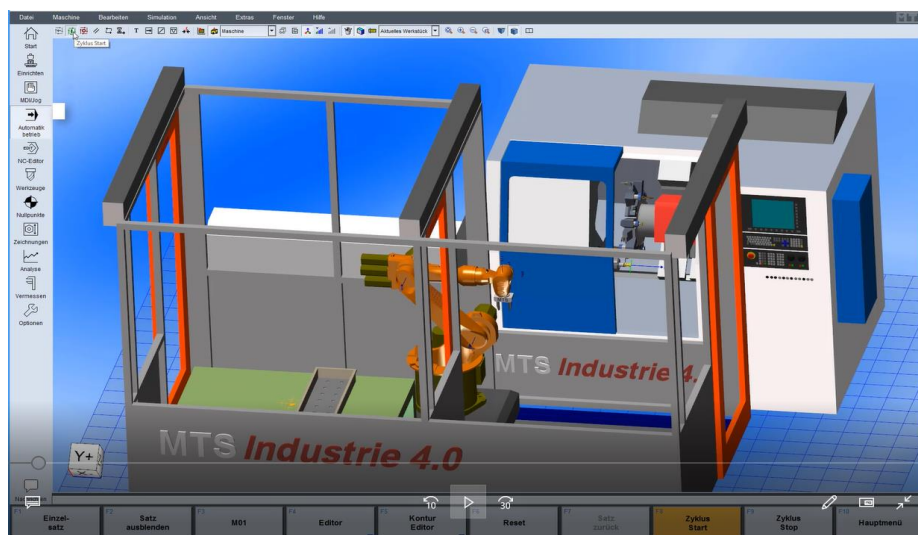
1. Ģeometriski orientētas sagataves ir jāizņem no sagataves ligzdas robota koordinātu sistēmā.
2. Lai izvēlētos un paņemtu sagatavi no sagataves ligzdas un ievietotu mašīnas vārpstā, ir jāizmanto dubultā robota roka;
3. Robota roka ir jāatgriež sākuma stāvoklī.
4. "Robotam - CNC mašīnai", kas lieto kompleksu programmēšanas programmatūru, ir jābūt simulācijas funkcijai.

Lai veiktu šos uzdevumus, tika izstrādāta jauna integrēta un universāla CNC-CAM programmatūra MTS-8.0 apmācības un ražošanas vajadzībām.

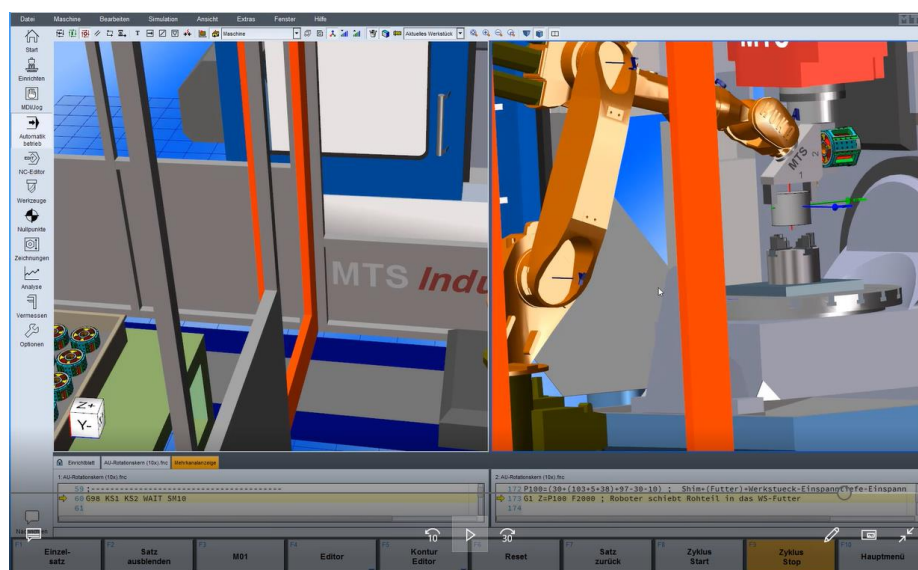


Šīs programmatūras priekšrocība ir tā, ka robotu un CNC mašīnu vada viens „Sinumerik” kontrolieris, robotu un CNC mašīnu programma tiek izveidota PAL sistēmā.

MTS-CNC robotizētā darbstacija ir parādīta 9.56. un 9.57. attēlā.



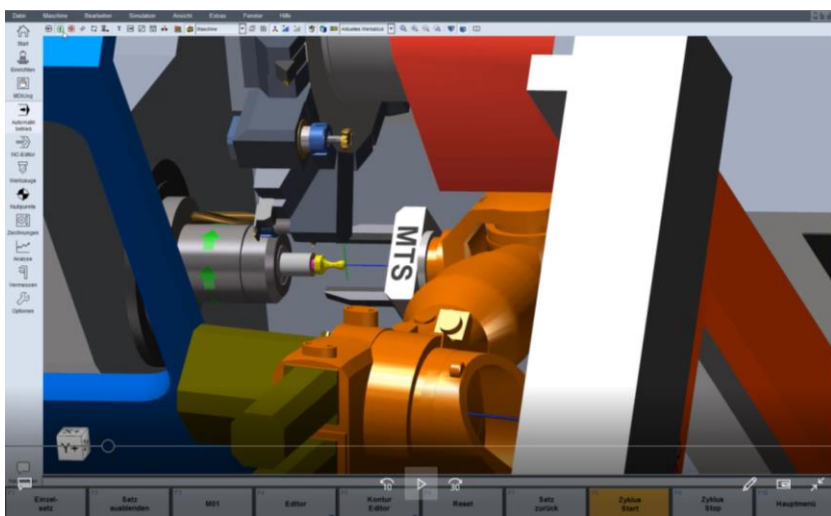
9.56. attēls. Integrēta sistēma „Robots - CNC mašīna”



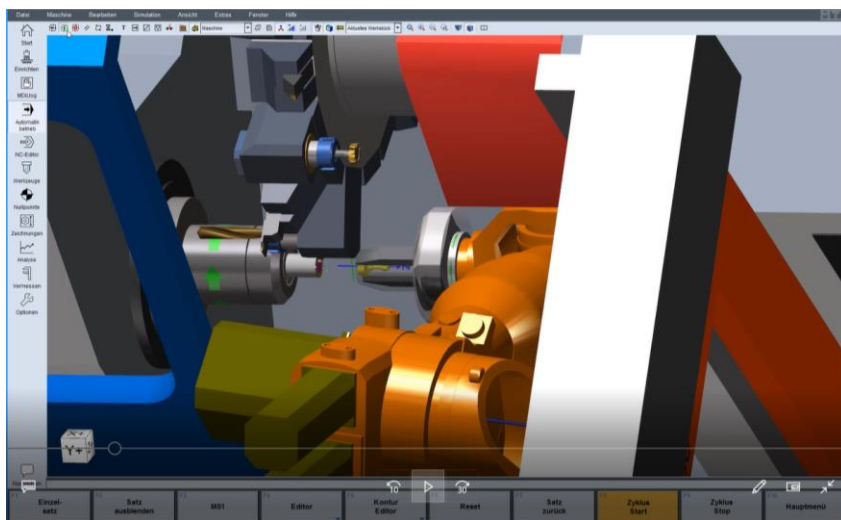
9.57. attēls. Integrēta sistēma „Robots - CNC mašīna”

Mašīnu un robotu darbības veic koordinēts robots kopā ar apstrādes programmu (9.58. un 9.59. attēls). Robots veic sagataves iekraušanas un izkraušanas funkcijas, robota vadības un komponentu apstrādes procesa maketi un vadības programmas tiek parādītas vienlaicīgi kontroliera displejā.





9.58. attēls. Robota –CNC mašīnas darbības simulācija, izmantojot MTS programmatūru



9.59. attēls. Robota –CNC mašīnas darbības simulācija, izmantojot MTS programmatūru

Robotu programmu ir iespējams pārsūtīt no datora tieši uz robotu. Šī opcija parasti nosūta programmu uz robotu, izmantojot FTP protokolu (*File Transfer Protocol*) vai citus īpašus protokolus.

### 9.1.6. Robotu apkope un pārbaude

Lai novērstu neparedzētas problēmas, ilgstoši uzturētu produktu un nodrošinātu drošību, robotiem ir jāveic tehniskās apkopes un pārbaudes, atbilstoši instrukcijām.

Uzturēšana un pārbaude tiek sadalīta divās daļās - ikdienas veicamās pārbaudes un

periodiskās pārbaudes.

**Drošības rokasgrāmata.** Izskaidro kopējos piesardzības un drošības pasākumus, kas jāveic robota apstrādei, sistēmas projektēšanai un ražošanai, lai nodrošinātu ar robotu saistīto operatoru drošību.

**Standarta specifikācijas.** Izskaidro produkta standarta specifikācijas, rūpnīcā noteiktās īpašās specifikācijas, opciju konfigurācijas un tehniskās apkopes detaļas utt. Tiek paskaidroti arī piesardzības pasākumi attiecībā uz drošību un tehnoloģiju, iestrādājot robotu darbavietā.

**Robota rokas iestatīšana un apkope.** Izskaidro procedūras, kas nepieciešamas, lai darbotos ar robotu (izkraušana, transportēšana, uzstādīšana, ekspluatācijas apstiprināšana) un apkopes un pārbaudes procedūras.

**Kontroliera iestatīšana, pamata darbības un apkope.** Izskaidro procedūras, kas nepieciešamas, lai pārvaldītu vadības ierīci (izsaiņošana, transportēšana, uzstādīšana, darbības apstiprināšana), pamata darbības no programmas izveides līdz automātiskai darbībai, kā arī tehniskās apkopes un pārbaudes procedūras.

**Detalizēts funkciju un darbību skaidrojums.** Izskaidro sīkāku informāciju par funkcijām un darbībām, piemēram, katru funkciju un darbību, komandām, kas izmantotas programmā, savienojumu ar ārējo ievades / izvades ierīci un parametriem utt.

**Problēmu novēršana.** Izskaidro cēloņus un aizsardzības pasākumus, kas jāveic, kad rodas kļūda. Paskaidrojumi sniegti par katru kļūdu.

**Papildu ass funkcija.** Izskaidro papildu ass vadības specifikācijas, funkcijas un darbības.

**Izsekošanas funkcijas rokasgrāmata** izskaidro konveijera sekošanas vadības funkciju un specifikācijas.

**Paplašinātās funkcijas instrukciju rokasgrāmata** izskaidro detalizētu koplietošanas atmiņas konfigurācijas aprakstu, uzraudzību un darbības procedūras. Robota manipulatora pārbaude iedalās ikdienas un periodiskajā pārbaudē. Grafiks ir šāds:

- ikdienas pārbaude;
- periodiska pārbaude:
- katru mēnesi;
- ik pēc 3 mēnešiem;
- ik pēc 6 mēnešiem;
- ikgadējā pārbaude (2000 h.);
- ik pēc 3 gadiem.

## **Ikdienas pārbaude**

Pirms ieslēgšanas:

1. Pārbaudiet, vai neviena no robota uzstādīšanas skrūvēm nav vaļīga. (Vizuāli).
2. Pārbaudiet, vai neviena no vāka nostiprināšanas skrūvēm nav vaļīga. (Vizuāli).
3. Pārbaudiet, vai neviena no roku uzstādīšanas skrūvēm nav vaļīga. (Vizuāli).
4. Pārbaudiet, vai strāvas padeves kabelis ir droši pievienots. (Vizuāli).
5. Pārbaudiet, vai mašīnas kabelis starp robotu un kontrolieri ir droši pievienots. (Vizuāli).
6. Pārbaudiet, vai robotam un regulatora pārsegam nav plaisu, svešu piesārņojumu vai šķēršļu. Ja nepieciešams, nomainiet to ar jaunu daļu vai veiciet korektīvus pasākumus.
7. Pārbaudiet, vai pneimatiskajā sistēmā ir kādas novirzes, vai ir kādas gaisa noplūdes, noplūdes aizsērējums vai šļūtenes bojājumi.
8. Pārbaudiet, vai gaisa padeve ir normāla. (Vizuāli). Ja nepieciešams, noteciniet drenāžu un izlabojiet gaisa noplūdes (nomainiet detaļu).
9. Pārbaudiet, vai uz plēves nav plaisu, svešu piesārņojumu vai šķēršļu. (Vizuāli).

Pēc strāvas ieslēgšanas:

Pārbaudiet, vai strāvas padeve ir ieslēgta, pastāv neparasta kustība vai neparasts troksnis. Izpildiet traucējummeklēšanas norādījumus.

Darbības laikā:

1. Pārbaudiet, vai kustības punkti nav novirzīti. Ja ir kāda novirze, pārbaudiet šādus punktus:
  - 1.1. Pārbaudiet uzstādīšanas skrūves un to vaļīgumu.
  - 1.2. Pārbaudiet roku uzstādīšanas sadaļas, vai nav vaļīgas skrūves.
  - 1.3. Pārbaudiet platformu novirzi.
  - 1.4. Ja pozicionēšanas novirzi nevar novērst, skatiet "Traucējummeklēšana", pārbaudiet un novērsiet. Izpildiet problēmu novēršanas sadaļu.
2. Pārbaudiet, vai ir kādas neparasats kustības vai neparasts troksnis? (Vizuāli). Izpildiet problēmu novēršanas sadaļu.

## **Periodiskā pārbaude**

Ikmēneša pārbaudes vienības:

1. Pārbaudiet robota roku, vai skrūves nav vaļīgas.

2. Pārbaudiet vai savienotāju stiprinājuma skrūves vai termināļu bloka skrūves nav vaļīgas.

3 mēnešu pārbaudes vienības:

Pārbaudiet, vai vārpstas sekcijā nav smērviena. Ja nepieciešams, noslaukiet veco smērvielu un piegādājiet jauno smērvielu.

6 mēnešu pārbaudes vienības:

Pārbaudiet putekļus, kas uzkrājušies silfonos. Ja tas ir nepieciešams, noņemiet silfonus un notīriet iekšpusi.

Gada pārbaudes vienības:

1. Nomainiet rezerves akumulatoru robota rokā.
2. Pārbaudiet siksnas zobu nodilumu. Ja trūkst zobu vai tiek konstatēts liels nodilums, nomainiet zobsiksnu.
3. Pārbaudiet siksnas spriegojumu. Ja siksnas spriegojums ir neparasts vai brīvs, to var noregulēt.

3 gadu pārbaudes vienības:

Aizstājiet savienojumu detaļas atbilstoši specifikācijas norādījumiem.

### **9.1.7. Robotu nākotne**

Inovatīvie risinājumi ietver:

- palielinātu elastību;
- sadarbošos un inteligēnto robotu pielietošanu;
- robotizētu autonomo sistēmu ieviešanu;
- robotu un cilvēku mijiedarbību;
- digitalizāciju un IT.

Tā kā robotu tehnoloģijas kļūst gudrākas, ātrākas un lētākas, tās varētu darīt vairāk. Apkalpojot tradicionālus, atkārtotus vai pat bīstamus uzdevumus, piemēram, metināšanu un materiālu apstrādi, roboti uzņemsies vairāk cilvēku darbu. Informācijas un komunikācijas tehnoloģiju (IKT) attīstība, piemēram, mākslīgais intelekts, mašīnmācība, tehniskā redze un optiskā uztvere, palielina robotu īpašības, dod iespēju savstarpēji mijiedarboties, manipulēt, apmācīt un atpazīt objektus. Labākie

automatizācijas risinājumi ir gudri, vienkārši, novatoriski un pilnībā izmantojami, lai radītu ievērojamu uzņēmējdarbības efektivitāti un sniegtu vairāk ieguvumus darbiniekiem un klientiem.

Sadarbojošies roboti - koboti ir viegli un kompakti, padarot kobotu izvietošana un pārvietošana procesu uz citiem uzdevumiem ļoti ērtu. Bieži vien nav nepieciešams papildus drošības aprīkojums (pakļauts riska novērtējumam), un apvienojumā ar intuitīvu programmēšanas saskarni vienkāršs uzdevums var tikt izveidots un īstenots īsā laikā.

Robotiskajām autonomajām sistēmām (RAS) ir liela nozīme dažādās saimnieciskās darbības jomās, sākot no automobiļu, kosmosa un elektronikas nozares, līdz pārtikas, pārstrādes, loģistikas un biotehnoloģijas nozarēm. Ar interaktīvām tehnoloģijām, piemēram, mākslīgo inteliģenci, lieliem datiem, iegultām sistēmām un cilvēka un iekārtu mijiedarbību, RAS ļaus izstrādāt jaunus uzņēmējdarbības modeļus jaunos veidos:

- būt produktīvākiem, resursu ziņā efektīvākiem un atsaucīgākiem klientiem;
- atbalstīt masveida pielāgošanu produktiem, kas vērsti uz augstas vērtības ražošanu;
- viegli piekļūt robotikas tehnoloģijām ar pieaugošu autonomijas līmeni;
- izmantot digitālās sistēmas, lai nodrošinātu ciešākas attiecības starp ražotājiem, produktiem, vērtību ķēdēm, uzņēmējdarbības modeļiem un patērētājiem;
- piekļūt vietējam un augsti kvalificētam daudznazaru darbaspēkam;
- atbalstīt elastīgas un stabilas tiesību sistēmas, lai tirdzniecībā un intelektuālā īpašuma jomā aizsargātos pret citām ekonomikām un konkurentiem;
- izmantot jaunas RAS drošības un drošības sistēmas jauniem integrētiem darba veidiem.

## 9.2. Papildinošā ražošana

Papildinošā ražošana ir pamats automatizētai sagataves apstrādei vai jebkurai 3D detaļai, kas veidota CAD. To sauc arī par ātrās prototipēšanas (*Rapid Prototyping*), ātro tehnoloģiju (*Rapid-Technologies*) un ģeneratīvo ražošanu.

Galvenā papildinošās ražošanas iezīme ir dažādu šķiedru apvienošana. Izmantotie materiāli ir dažādi, ir polimērs, metāli, keramika, papīrs un pat bioloģiski dzīvas šūnas. Izstrādāto produkciju izmantošanas jomas ir dažādas, kā piemēram, kosmosa nozarē, muzeju reprodukciju izgatavošanā, skulptūrās, tekstilizstrādājumos u.tml.

### 9.2.1. Ražošanas procesu pamata nosacījumi

Ražošanas procesu var iedalīt trīs kategorijās: atņemošs (subtraktīvs), veidojošs,

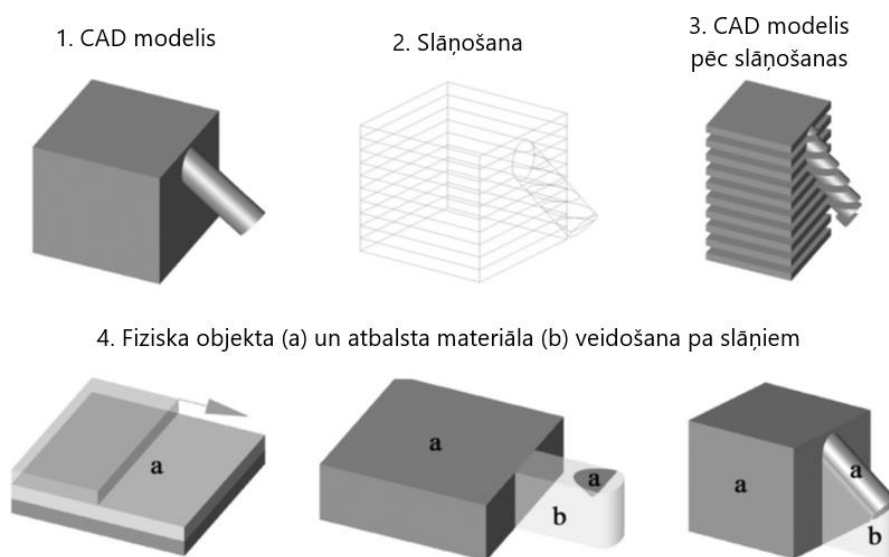
papildinošs. Lietojot atņemošo (subtraktīvo) metodi, objektus ražo, atdalot materiāla slāni to griežot. Lietojot liešanu, ražošanas process ir veidojošs. Ar papildinošo ražošanas procesu tiek veidota ģeometriskā forma, izmantojot kārtu veidošanas pieeju.

Bieži vien terminoloģija tiek lietota, aprakstot procesa mērķi, piemēram, prototipu izgatavošana tiek saukta par „ātro prototipēšanu”. Galaproduktu ražošanai ir izveidoti dažādi atšķirīgi termini, piemēram, „papildinošā ražošana”, „ātrā ražošana”, „digitālā ražošana”, „e-ražošana” vai „tiešā ražošana”.

#### Papildinošās ražošanas elementi

- Individuālu kārtu veidošana tiek balstīta uz CAD modeli
- Samazinās instrumentu izmantošana
- Mehāniski-tehniskās īpašības tiek radītas ražošanas procesā
- Datu kopas var veidot visos iespējamajos virzienos
- Virsmas teselācijas (veidošana no maziem elementiem) valoda (turpmāk – STL) visām iekārtām ir standarta

9.60. attēlā ir parādīti visi ražošanas posmi no CAD modeļa līdz fiziskam objektam.



9.60. attēls. Fiziskā objekta kārtu veidošana un nepieciešamais atbalsta / stiprinājuma materiāls.

Vispirms sagataves tiek izstrādātas CAD programmatūrā (piemēram, AutoCAD vai Blender) un saglabātas STL formātā.

1. Tad virtuālais modelis tiek sadalīts kārtās, izmantojot citu programmatūru

(piemēram, Slic3r vai Repsnapper).

2. Rezultāts ir CAD modelis, kas ir sagriezts kārtās drukāšanai.
3. Kārtas var būt dažāda vai vienāda biezuma. Tagad sākas faktiskais veidošanas process, objekta fiziskā ražošana. Kārtas tiek veidotas vienas pēc otras.
4. Šī procesa laikā atbalsta materiāls tiek veidots vienlaicīgi, lai saturētu materiālus, kas izstiepjas vai izlīst. Pēc veidošanas procesa fiziskais modelis ir identisks virtuālajam modelim un atbalsta materiālu var noņemt.

### **9.2.2. Veidošanas procesā lietojamie materiāli**

Pamata izejviela: stieple (plastmasa, ēdamie materiāli, metāls, ..)

Pārveidošanas veids: kausēšana un iestatīšana

Ražošanas veids: ekstrūzijas process (FDM, apšuvums)

Pamata izejviela: pulveris (plastmasa, metāls, keramika, ..)

Pārveidošanas veids: kausēšana un iestatīšana

Ražošanas veids: Saķepināšana, kausēšana (SLS, SLM, EBM, apšuvums)

Pamata izejviela: pulveris (plastmasa, metāls, keramika, ..)

Pārveidošanas veids: salipšana kopā ar saistvielu

Ražošanas veids: salipšana kopā ar saistvielu (piemēram, 3D druka)

Pamata izejviela: folija (plastmasa, metāls, keramika, ..)

Pārveidošanas veids: griežot un pievienojot

Ražošanas veids: lamināta slāņu (kārtu) process (LOM, FTI)

Pamata izejviela: pasta (polimēru betons, fotopolimērs)

Pārveidošanas veids: Lietošana un iestatīšana (galu galā polimerizējas)

Ražošanas veids: ekstrūzijas process (kontūras apstrāde)

Pamata izejviela: šķidrums (fotopolimērs)

Pārveidošanas veids: Polimērs

Ražošanas veids: polimerizācija, stereolitogrāfija (SL, MJM, PolyJet)

Izmantotie materiāli tiek klasificēti: stieples, pulveris, folija, pastas un šķidrums.

- Ja primārā izejviela ir stieple, materiālu izvēli ierobežo tikai temperatūra. Jāpievērš uzmanība tam, vai sprausla izkausē un veido materiālus. Kausēšana ir piemērota plastmasai, metālam vai ēdamproduktiem, piemēram, šokolādei. Metode ir vienkārša, izkūsis materiāls tiek spiests caur sprauslu un veidots.
- Visplašākais materiālu klāsts tiek veidots uz pulvera pamata. Vienīgais ierobežojums saķepināšanai un kausēšanai, jāievēro nosacījums, ka materiāliem ir jābūt

termoplastiskiem. Veidošanai ar pulvera pielipšanu materiālam ar saistvielu, kas tiek izmantota ar 3D drukāšanu, ir piemēroti vairāki pulvera saistvielu maisījumi. Abiem procesu veidiem var izmantot dažādus materiālus, piemēram, plastmasu, metālu, kā arī keramiku un daudzas citas izejvielas.

- Ja galvenā izejviela ir folija, izmantojamo materiālu izvēle ir gandrīz bez ierobežojumiem, jo pamatā visus materiālus var transportēt un griezt ar lāzeri uz folijas. Plastmasa, metāls un keramika ir daži no materiāliem, kurus var izmantot šajā procesā. Lamināta slāņu (kārtu) procesā atsevišķas folijas tiek novietas viena uz otras, un tiek sagrieztas ar lāzei pēc kontūras.
- Arī neapstrādāti materiāli, piemēram, putu vai pastu veidā, var tikt apstrādāti papildinošā ražošanā. Putas vai pastas tiek uzklātas un izžāvētas, piem. pārtikas rūpniecībā uz kūkām vai ēkām būvniecībā.
- Ar polimerizāciju fotorezultīvas pastas un šķidrumus vai izmantot ražošanā. Šī metode attiecas tikai uz plastmasu, kas satur fotopolimēru.

### 9.2.3. Papildinošie procesi ražošanā

#### 9.2.3.1. 3D-printēšana ar pulveri

Šķidrās saistvielas ievadīšana, izmantojot pulvera-saistvielas metodi, izmanto modeļa atsevišķu kārtu veidošanā. Ražošanas ierīcēm ir vairākas drukas galviņas, kas piesaista saistvielu mazās porcijās, līdzīgi kā tas darbojas ar tintes printeri. Šajā procesā pulvera granulas kristalizējas un kārtas salīp kopā. Lai ražotu krāsainus 3D modeļus, saistvielu var krāsot. Pēc mašīnas modeļa izņemšanas to var attīrīt ar epoksīda sveķiem. Pārējo neizlietoto pulveri var ievietot atpakaļ kārtīdžā un izmantot citiem izdrukas veidiem. Plastmasas vietā var izmantot citus pulverveida materiālus, piemēram, metālu vai keramiku. Salīdzinot ar citām tehnoloģijām, 3D drukāšana ļauj saprātīgi ražot daudzkrāsainus modeļus ar labu izmēru stabilitāti. Tā kā procesam nav nepieciešams siltums, enerģijas izmaksas paliek zemas un samazinās traumu risks.

#### 9.2.3.2. Selektīvā lāzeru saķepināšana (SLS)

Materiālu daļiņu saplūšana uz virsmas tiek saukta par saķepināšanu. Pēc selektīvās sinterēšanas atsevišķie struktūras slāņi ir saķepināti. Tāpēc tiek izmantoti dažādi pulveri, piemēram, termoplasts, metāls, keramika vai smiltis. Šī procesa laikā ar lāzera palīdzību pulvera elementi tiek tuvināti to kušanas temperatūrai. Šajā procesā nav nepieciešams izmantot citus materiālus, jo sagataves tiek ražotas pulvera gultnē.

Lai kompensētu materiāla saraušanos atdzesēšanas procesā, izmaiņas materiālā ir jāaprēķina iepriekš. Atkarībā no pulvera daļiņu izmēriem, sagatavei var būt raupja vai mazāk raupja virsma.

#### 9.2.3.3. Selektīvā lāzerkausēšana (SLM)

Veidojamais materials, izmantojot selektīvo lāzerkausēšanu (SLM), ir pilnībā izkausēts un uzklāts. Pēc materiāla atdzesēšanas, tas sacietē.



Izmantojot SLM, ir iespēja sasniegt materiāla struktūru bez plaisām un porām jeb 100% apstrādājamā materiāla blīvumu. Tāpat kā ar SLS metodi, materials saraujas atdzesējot, kas ir jākompensē, iepriekš aprēķinot. Izejvielām var izmantot nerūsējošo tēraudu, alumīniju, titānu, plastmasu vai keramiku.

#### 9.2.3.4. Elektronu staru kūļa kausēšana (EBM)

Elektronu staru kūļa iedarbībā metāla pulveris tiek saķepināts kārtās vakuumā, lai izveidotu sagatavi.

Šī metode tika komercializēta 2001. gadā kā alternatīvs process SLS. EBM lāzera vietā izmanto elektronu staru kūli. Tas nodrošina augstu elastību un precīzu šķērsgriezuma temperatūras kontroli. Sakarā ar 1000 ° C temperatūru kausēšanas ātrums ir augstāks kā ar lāzeriem.

#### 9.2.3.5. Termoplastikāta auklas kausēšana (FDM)

FDM 1980.tajos gados ieviesa kompānija Stratasys. Objekti, kas izveidoti ar FDM printeri, sākas kā datorizēti dizaina (CAD) faili. Pirms objekta drukāšanas tās CAD fails ir jāpārvērš formātā, ko 3D printeris var saprast - parasti STL formātā.

FDM printeri izmanto divu veidu materiālus - modelēšanas materiālu, kas veido gatavu objektu, un atbalsta materiālu, kas darbojas kā sastatnes, lai atbalstītu objektu tā drukāšanas laikā.

Drukāšanas laikā šie materiāli ir plastmasas pavedienu formā, kas tiek noņemti no spoles un padoti caur ekstrūzijas sprauslu. Sprausla kausē šķiedras un izspiež tās uz pamatnes, ko dažreiz sauc par būvniecības platformu vai galdū. Gan sprauslu, gan pamatni kontrolē dators, kas pārvērš objekta izmērus atbilstoši sprauslas un pamatnes X, Y un Z koordinātām, kas jāievēro drukāšanas laikā. FDM printeri izmanto termoplastisku pavedienu, kas tiek uzsildīts līdz tā kušanas punktam, un pēc tam slāņa ekstrudēšanu, lai izveidotu trīsdimensiju objektu.

Kad objekts iznāk no FDM printera, tā palīgmateriāli tiek noņemti, mērcējot objektu ūdenī un mazgāšanas šķīdumā, vai termoplastisku balstu gadījumā, noņemot atbalsta materiālu ar rokām. Objekti var tikt slīpēti, slīpēti, krāsoti vai pārklāti, lai uzlabotu to funkciju un izskatu.

#### 9.2.3.6. Multi-Jet Modelēšana (MJM)

Izmantojot MJM, gaismjutīga izejviela tiek uzklāta šķidrā veidā no rezervuāra un tiek apstrādāta ar ultravioleto gaismu.

Šis process tiek izmantots zobārstniecībā. Materiāls tiek ievietots caur drukas galviņu uz veidošanas platformas, un pēc tam faktiskais slānis ir saplacināts ar rullīti, pielietojot ultravioletās gaismas staru. Tad procedūra tiek atkārtota.

Būvmateriāliem izmanto akrila fotopolimēru.

#### 9.2.3.7. Stereolitogrāfija (SL)

Stereolitogrāfija pieder pie vecākajām ātrās prototipēšanas metodēm. Šīs metodes

pamatprincips ir šķidrās izejvielas sacietēšana polimerizācijas ceļā. Uzņēmumi izmanto dažādas polimerizācijas metodes.

SL materiāli tiek iegremdēti šķidrā būvmateriāla vannā. Šķidrās materiāls no vannas tiek izkliedēts uz piesātināta slāņa. Lāzers ir vērsts uz apgriežamajām detaļām ar kustīgiem spoguļiem. Ar fiksējošo kontraktūru palīdzību apstrādājamā detaļa tiek aizturēta no peldēšanas polimēra vannā. Kad sagataves izgatavošana ir pabeigta, ir jānoņem stiprinājumi.

Šī metode ļauj radīt ļoti gludas un precīzas virsmas. Bet ražošanas intensitāte ir zemāka nekā citās metodēs, un materiālu izmaksas ir augstas.

#### 9.2.3.8. Plastikāta masas klāšana (PolyJet)

Polyjet metode ir līdzīga vairāku strūklu modelēšanai. Arī materiāls, kas tiek uzklāts caur drukas galviņu, tiek uzsildīts ar ultravioleto gaismu. Atšķirība no vairāku strūklu modelēšanas ir tā, ka pie polietilēna metodes gaisma iet kopā ar drukas galviņu, un būvmateriāls tiek polimerizēts tieši uzklāšanas laikā. Ierīcēs ir divas vai vairākas drukas galviņas. Viena tiek izmantota atbalsta materiālam, bet citas - dažādiem materiāliem. Polyjet metode dod iespēju ražot sagataves ar dažādām krāsām.

#### 9.2.3.9. Laminēto objektu Modelēšana (LOM)

Laminēto objektu modelēšanas metode izmanto folijas, kas tiek vītas uz ruļļiem. Folijas ir pārklātas ar adhēzijas materiālu, un tās tiek laminētas kārtās uz sagataves. Pēc tam konkrētās kārtas tiek sagrieztas vēlāmajās kontūrās. Atkarībā no ražotāja, griešanai tiek izmantots nazis, karstā stieple vai lāzeris. Būvniecībai tiek izmantoti vairāki materiāli, kurus var ražot folijas veidā.

#### 9.2.3.10. Apstrāde (CC)

CC izgudroja Dienvidkalifornijas Universitātē Losandželosā. Ar CC ir iespējams veidot un drukāt visu ēku. Ēka ir projektēta ar datoru un pēc tam robots izveido kārtas. Tāpat kā visās citās līdz šim aprakstītajās metodēs, CC izmanto arī materiāla rezervuāru, no kura materiāls tiek uzklāts ar sprauslu un izplatīts uz sagataves. Kārtas ir tikai 5-10 mm biezas, tāpēc tās izžūst nekavējoties pēc uzklāšanas.

Būvmateriāliem tiek izmantots betons vai smilšmāls. Būvmateriāls ir arī šķidrā veidā, lai nodrošinātu materiāla plūšanu.

Tā kā šī metode ļauj būvēt veselās ēkas 24 stundu laikā, šī metode tiek izmantota galvenokārt avārijas patversmju celtniecībai pēc katastrofām.

CC veikto ēku būvniecību nevar salīdzināt ar tradicionālā veidā būvētajām ēkām. Taču CC ir metode, kuras laikā ir mazāk trokšņu un nav būvgružu.

#### 9.2.3.11. Filmu attēlu pārveidošana (FTI)

FTI metode saspiež veidojamo materiālu, izmantojot attēla projekcijas sistēmu. Materiāls tiek sagatavots uz pamatnes. Materiāla pārklājuma sacietēšana notiek, pakļaujot to gaismai, kas ir vērsta tikai uz sagataves kārtu.

Neekspozētais materiāls, kas atrodas ārpus būvējamā objekta, un pārējā folija tiks izņemta pēc ražošanas procesa beigām. Materiāliem tiek izmantoti fotopolimēri, kas reaģē uz gaismu kā stereolitogrāfijā.

#### 9.2.3.12. Digitālā gaismas apstrāde (DLP)

DLP darbojas līdzīgi FTI, tikai priekšmeti tiek veidoti šķidrā materiālu vannā, nevis izmantojot foliju.

Kārtas iegremdē digitālais gaismas procesors (DLP), kas projicē atsevišķas kārtas platformā bitkartes veidā. Platforma atrodas virs sagataves un pārvietojas uz augšu. Instrumentu un materiāla īpašības ir gandrīz identiskas.

### **Secinājumi**

Materiālā tika sniegts īss papildinošās ražošanas metožu apraksts. Paredzams, ka šīs metodes tiks tālāk attīstītas. Pašlaik notiek nozīmīgi notikumi un progress, piemēram, beidzas patenti, lai pārvarētu dažas juridiskas problēmas vai izstrādātu jaunus rūpniecības standartus. Daudzi jauni uzņēmumi ienāk tirgū un izstrādā lietojumprogrammas vai metodes. Turklāt pirmo reizi gala patērētājiem tiek piedāvātas iekārtas hobijiem zemo cenu segmentā (aptuveni 800 ASV dolāru), un tādējādi veidojas jauns noieta un piedāvājuma tirgus.

Šobrīd ir grūti pateikt, kādā virzienā šīs tehnoloģijas attīstīsies, un kādā mērā šis biznesa sektors augs nākotnē.

Papildinošās ražošanas panākumu pamatā ir materiāla izvēle. Pirms dažiem gadiem sākumā bija metāla apstrāde. Mūsdienās var izgatavot alumīnija, titāna, dārgmetāla un tērauda sagataves.

Ar matemātikas palīdzību tiek optimizētas detaļu telpiskās struktūras. Līdztekus ar piedevu ražošanu būvniecības detaļu svars ir samazināts par 80%, kas atkal nodrošina lielus izmaksu ietaupījumus.

Pateicoties ātrai un veiksmīgai papildinošās ražošanas attīstībai, to arvien vairāk uztver kā “reālu” ražošanas metodi, nevis tikai prototipu vai funkcionālo modeļu veidošanu. Pašlaik papildinošās ražošanas metodi izmanto, piemēram, gaisa kuģu ražotāji vai zobārstniecības laboratorijas zobu kroņu ražošanai u.tml.

Sakarā ar uzņēmumu pieaugošo interesi ieviest papildinošo ražošanu uzņēmumos, nākotnē tiks izstrādāti uzlaboti materiāli un ražošanas procesi. To apliecina investīcijas dažādu nozaru uzņēmumu attīstībā un pētniecībā (Wohlers Associates, 2012, S. 250-255).

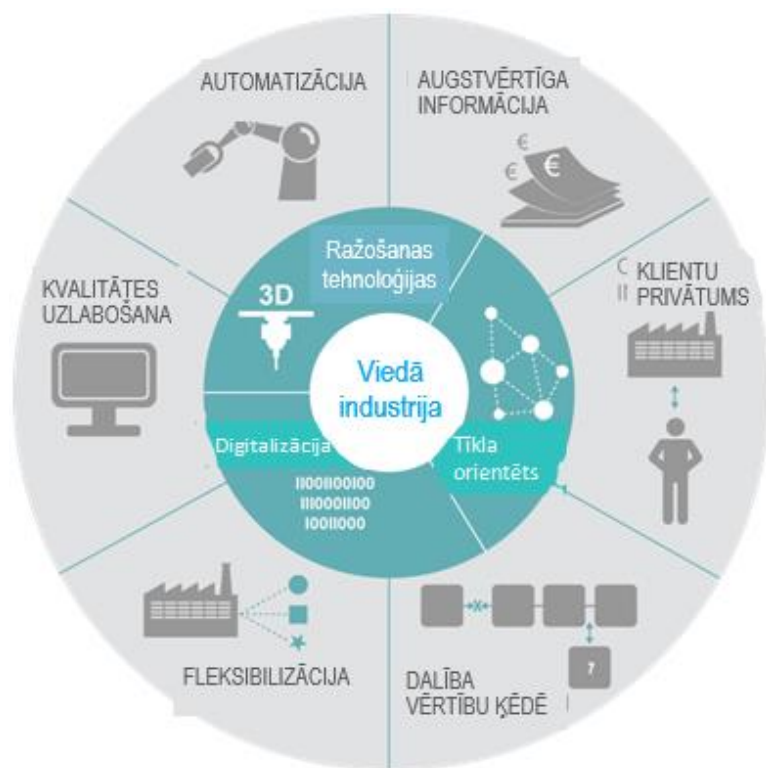
## **9.3. Viedās ražošanas vadība**

### **9.3.1. Ražošanas vadības organizācija un kontrole**

Uzņēmuma ražošanas procesu optimizācija ir viens no galvenajiem līdzekļiem, lai nodrošinātu uzņēmuma darbības efektivitāti, spēju strādāt efektīvāk un sasniegt

vēlamos rezultātus ar zemākām izmaksām. Ražošanas uzņēmumu panākumus nosaka atbilstoši saražoti produkti, nepieciešamajā daudzumā un īstajā laikā. Ražošanas procesa optimizācija nozīmē ražošanas apjoma palielināšanu, izmaksu samazināšanu un uzņēmuma darbības efektivitāti. Ražošanas process sastāv no šādiem komponentiem: ražošanas process, ražošanas iekārtas un aprīkojums, ražošanas produkcija jeb produkti. Uzņēmumiem jābūt pietiekamam darbaspēkam (speciālistiem, darbiniekiem utt.), telpām, nepieciešamajām tehnoloģiskajām iekārtām, izejmateriāliem, pamatmateriāliem utt. Šo komponentu racionāla un ekonomiska izvēle ietekmē ražošanas organizāciju un uzņēmuma darbības rādītājus. Tādējādi uzdevums ir uzlabot ražošanas vadību un organizāciju, izvēlēties jaunākās metodes. Ražošanas procesi būtu jāorganizē atbilstoši šādiem principiem: proporcionālitate, nepārtrauktība, elastīgums, plūsma, tostarp, mehanizācija un automatizācija.

Viedā ražošana ir pasākumu sistēma, kas racionalizē ražošanas procesus, izmantojot darba instrumentus un objektus. Tā aptver visus uzņēmuma darbības posmus un jomas (9.61. attēls).



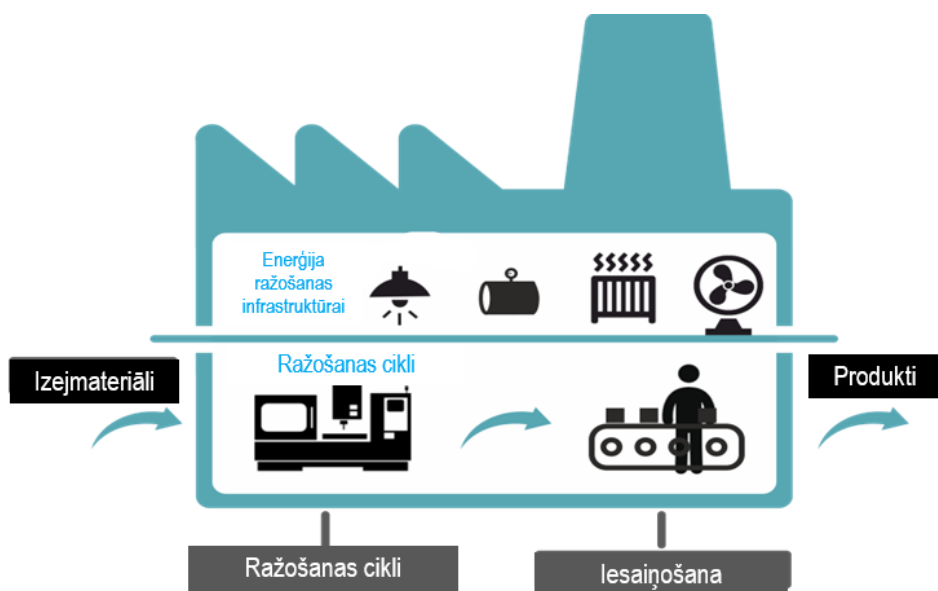
9.61. attēls. Viedā ražošana.

Katrā uzņēmumā, organizējot pamata, palīgdarbību un pakalpojumu procesus, ir jāņem vērā tā ražošanas īpatnības.

Galvenie ražošanas procesi sastāv no trim posmiem: sagatavošana, apstrāde un montāža. Sagatavošanas posmā no materiāliem izgatavo sagataves. Apstrādes posmā detaļas tiek ražotas. Montāžas posmā gatavās detaļas montē, testē, apstrādā utt. Posmu tehnoloģiskie procesi ir atkarīgi no ražošanas veida un pakalpojuma veida. Mazajiem

un vidējiem uzņēmumiem var nebūt visu šo posmu. Tas ir atkarīgs no uzņēmuma specializācijas līmeņa.

Ražošanas procesā notiek sadarbība starp uzņēmumiem, kas samazina ražošanas izmaksas, palielina darba ražīgumu. Uzkrātā pieredze un zinātniskās teorijas prasa, lai ražošanas procesi tiktu organizēti atbilstoši iepriekš minētajiem principiem: proporcionalitāte, nepārtrauktība, plūsma, elastība, mehanizācija, automatizācija un koncentrēšanās uz ražošanas procesa ķēdi (9.62. attēls).



9.62. attēls. Vērtību ķēdes ražošanas process.

Darbavieta ir viens no ražošanas procesa posmiem. Lai plānotu darbinieka darbavietu racionāli, ir jāņem vērā darba metožu racionalizācijas principi, piemēram, rīki un darba objekti, kas tiek paņemti viens pēc otra, jānovieto blakus. Tas var samazināt darbinieka kustību skaitu. Visi darbavietas priekšmeti jānovieto katrā no norādītajām vietām. Darba rīki jāglabā noteiktā kārtībā. Ja darbarīki nav parocīgi sakārtoti, darbs būs sarežģīts, darba laiks tiks izmantots neefektīvi utt. Skapjos visi priekšmeti jāievieto konkrētā ligzdā speciālajās vietās. Šajā gadījumā darbinieks darba kustības var veikt automātiski. Tas samazina fizisko slodzi un nogurumu. Bieži izmantojamie priekšmeti tiek novietoti tuvāk darbiniekam, retāk izmantojamie - tiek novietoti zemāk vai tālāk. Lai racionalizētu darbinieka izpildījumu, ir nepieciešams nodrošināt ērtu darba stāvokli. Plānojot darbavietu, darbinieka poza ir pakļauta šādām prasībām: ērts ķermeņa, galvas, roku un kāju stāvoklis, manipulācijas brīvība, taisna poza, optimāla darba zonas redzamība.

**Ražošanas efektivitāte ir atkarīga no ražošanas organizēšanas principiem: proporcionalitātes, nepārtrauktības un ritma, specializācijas, racionalizācijas, automatizācijas un mehanizācijas, elastības, integrācijas utt.**

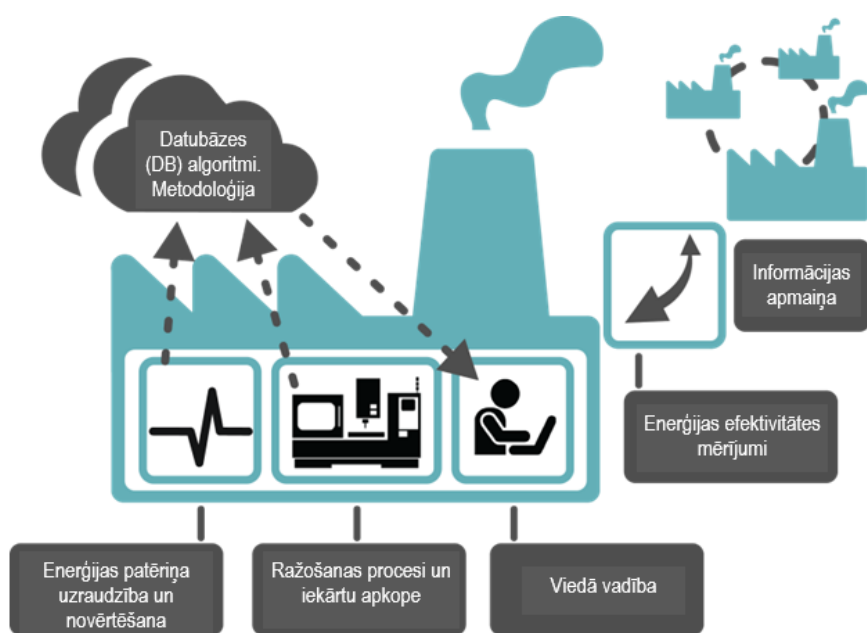
**Proporcionalitātes princips un nepārtrauktība** nodrošina visu struktūrvienību

nepārtrauktu darbu. Lai panāktu pilnīgu ražošanas nepārtrauktību, jācenšas samazināt ražošanas procesa nepilnības. Tas ir atkarīgs ne tikai no iekšējiem, bet arī no ārējiem faktoriem, izstrādājumu nomenklatūras, ražošanas mehanizācijas, darba organizācijas līmeņa utt. Proporcionalitātes un nepārtrauktības princips nosaka ražošanas ritmu.

**Ražošanas ritms** ir vienota vai arvien pieaugoša produkcijas izlaide jebkurā darbavietā, vienībā un uzņēmumā. Tas ir svarīgs princips ražošanas organizēšanā, jo tas ir atkarīgs no iekārtu izmantošanas efektivitātes, darba un produktu kvalitātes, zaudējumiem utt.

**Ražošanas specializācija** uzņēmumā ir ļoti atkarīga no uzņēmuma struktūrvienībām un darba vietām, kurās izmanto dažādas iekārtas un dažādus tehnoloģiskos procesus. Ražošanas specializācijai ir daudzas priekšrocības: tā ievērojami vienkāršo operatīvo vadību un palielina atsevišķu struktūrvienību vadītāju atbildību par ražošanas programmu izpildi. Daudzu uzņēmumu pieredze rāda, ka specializācija ļauj palielināt darba ražīgumu un samazināt ražošanas izmaksas, īpaši masveida jeb liela apjoma ražošanā. Mūsdienās, plaši izmantojot datorus, vissvarīgākā kļūst tehnoloģiskā specializācijas forma. Ražošanas specializācijas līmeni var izteikt dažādos rādītājos: ražošanas plūsma, ražošanas mehanizācija un automatizācija, ražošanas elastība, ražošanas integrācija. Ražošanas plūsmas princips prasa, lai visi ražošanas procesā esošie objekti pārvietotos vienotā, īsākā ceļā, vienā virzienā. Ir vēlams, lai darba objektu maršruti jebkurā ražošanas procesa posmā neatgrieztos, neveidotu "cilpas" jeb atkārtotas darbības. Ražošanas jauda tiek panākta, pienācīgi plānojot ražošanas posmus un darbavietas. Galvenie ražošanas posmi tiek plānoti šādā secībā: materiālu noliktava - sagatavošanas posms – apstrādes posms - montāžas posms - gatavās produkcijas noliktava.

**Automatizācija.** Rūpniecībā ir automatizēti galvenie ražošanas procesi, savukārt palīgprocesī (transports, uzglabāšana, kvalitātes kontrole u.c.), kā arī ražošanas kontrole un ražošanas vadības procesi joprojām nav automatizēti pilnībā. Rūpnīcās, kur procesi ir mehanizēti un automatizēti, automātiskās iekārtu sistēmas, izmantojot izejvielas un materiālus, produkciju veido bez darbinieka tiešas līdzdalības. Darbiniekam ir tikai iekārtu kontroles funkcijas. Fiziskais un garīgais darbs saplūst, un fiziskā darba daļa samazinās. Visaptveroša automatizācija nodrošina ievērojamu darba ražīguma pieaugumu, izmaksu samazināšanu un produktu kvalitātes uzlabošanu. Ražošanas procesu automatizēšana ietver arī ražošanas vadības automatizāciju, elastīgu, automatizētu, integrētu plānošanu, grāmatvedību, energoresursu uzraudzību un uzskaiti, viedās kontroles un citas kontroles sistēmas (9.63. attēls).

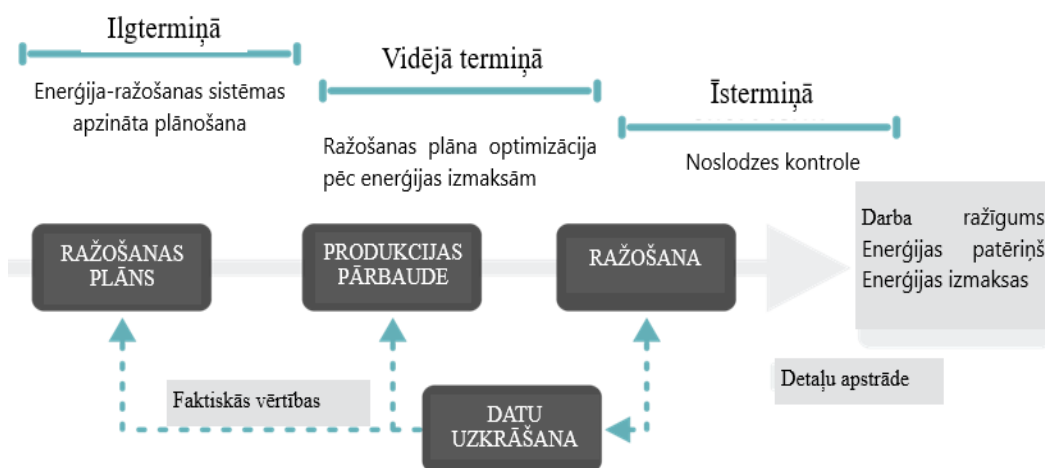


9.63. attēls. Visaptverošas ražošanas kontroles sistēmas, tostarp tīmekļa risinājumi.

**Ražošanas elastība.** Pagājušā gadsimta pirmajā pusē viens un tas pats produkts tika ražots ilgstoši: gadiem ilgi un dažreiz gadu desmitus. Mūsdienās ar piesātinātiem tirgiem un pieaugošo konkurenci, zinātnes un tehnikas attīstību, ir pieprasījums pēc arvien jauniem produktiem. Tādējādi, uz ražošanas procesu attiecas papildu prasības: tehniskajai bāzei būtu jābūt tādai, lai ražošanas procesu varētu ātri un bez lielām izmaksām pārvērst jaunu produktu ražošanā.

**Ražošanas integrācija.** Literatūrā par ražošanas metodēm un organizācijas jautājumiem ir atrodami jēdzieni "ražošanas integrācija", "integrēta ražošana", "elastīga integrēta ražošana" utt. Sarežģītos, automatizētos uzņēmumos, automatizētie procesi ir atsevišķi, piemēram, pamata un palīgtehnoloģiju, grāmatvedības un vadības operācijas. Datorizācijas dēļ individuālie uzdevumi tiek automatizēti. Taču šī automatizācija nav vienota sistēma. Ražošanas integrācija ir nākotnes jautājums. *Integrētā ražošanā* visas uzņēmuma ražošanas aktivitātes un funkcionālās apakšsistēmas apvieno vienu CNC kompleksu saskaņotā sistēmā, kas ietver un pārvalda visus informācijas un materiālos procesus uzņēmumā, tostarp ne tikai pamata un palīgdarbību, bet arī automatizētu pētniecisko un eksperimentālo darbu, automatizētu izstrādājumu izgatavošanu, ražošanas tehnoloģisko sagatavošanu, enerģijas izmaksu un ražošanas plānošanu, ražošanas kontroli, grāmatvedību un citas funkcijas (9.64. attēls). Šāda pilnīga ražošanas integrācija joprojām ir ļoti reti sastopama un pakāpeniski tiek ieviesta, piemēram, atsevišķos posmos tiek automatizēti individuālie ražošanas un funkcionālie procesi, integrējot tos vienā sistēmā. Tā ir daļēji integrētā ražošana.





9.64. attēls. Ražošanas plānošanas paradigma.

Zinātnes un tehnoloģiskā attīstība, ražošanas procesu integrācija ir ļāvušas izveidot jaunu ražošanas procesa organizācijas veidu - *elastīgas ražošanas sistēmas*.

Integrācijas princips izceļ „*pilnīgas kvalitātes pārvaldības*” konceptu, kas nosaka, ka globālā kvalitāte tiek sasniegta tikai, uzlabojot visu ražošanas procesa elementu izmantošanu. Katram uzņēmumam jābūt izstrādātām un ieviestām savām kvalitātes kontroles sistēmām, kas ir pieņemamas uzņēmuma darbiniekiem. Pārmērīga kontrole var morāli ietekmēt darbiniekus, paaugstināt viņu bažas, novest vadītājus izmisumā utt. Tādēļ, ir svarīgi noteikt galvenās darbības jomas, identificēt kritiskos sistēmas punktus, kuri ir jāpārtrauc un par kuriem ir jāvāc informācija. Īpaša uzmanība jāpievērš finanšu pārskata analīzei un kontrolei. Pamatā ir uzņēmuma bilance, peļņas vai zaudējumu aprēķins. Revīziju var piemērot finanšu pārbaudēm un vadītāju lēmumiem. Kontrole ir atslēga, lai nodrošinātu labu pārvaldību, labu ražošanas un saimnieciskās darbības organizēšanu, un tā ir nepieciešama visos vadības posmos.

### 9.3.2. Darba organizācijas īpatnības

Lai palielinātu ražošanas procesa produktivitāti, ir jāuzlabo visu elementu sadarbības spēja, t.i., pastāvīgi uzlabojot darba organizāciju. Darba organizācija ir darba procesa vadība - cilvēku mijiedarbības un cilvēku mijiedarbības process ar iekārtām. Ar optimālu darba organizāciju uzņēmumā ir jārisina šādi galvenie uzdevumi:

- radīt optimālus darba procesus uzņēmumā;
- organizēt optimālu darbinieku mijiedarbību ar ražošanas un darba procesiem;
- organizēt optimālu cilvēku mijiedarbību ar darba instrumentiem un objektiem.

Darba apstākļu optimizācija ir saistīta arī ar darba aizsardzības jomu. Darba aizsardzības uzdevums ir aizsargāt personu no kaitīgiem darba apstākļiem, lai darbinieka psiholoģiskās un fizioloģiskās funkcijas uzlabojas, un veselība saglabājas. Galvenais pamats optimālai darba procesa struktūras veidošanai ir darba dalīšana,



profesionālā orientācija un profesionālā apmācība. Cilvēku mijiedarbība ar darba instrumentiem un objektiem tiek optimizēta, izmantojot atbilstošas darba metodes un darba vietu organizēšanu, ņemot vērā katras personas vajadzības.

Darba organizācija sastāv no darba vietu sadalījuma, darba metodēm, darba pakalpojumu sistēmas, profesionālās orientācijas sistēmas, kvalifikācijas iegūšanas, kā arī paaugstināšanas, darba un atpūtas režīmiem, darba apstākļiem.

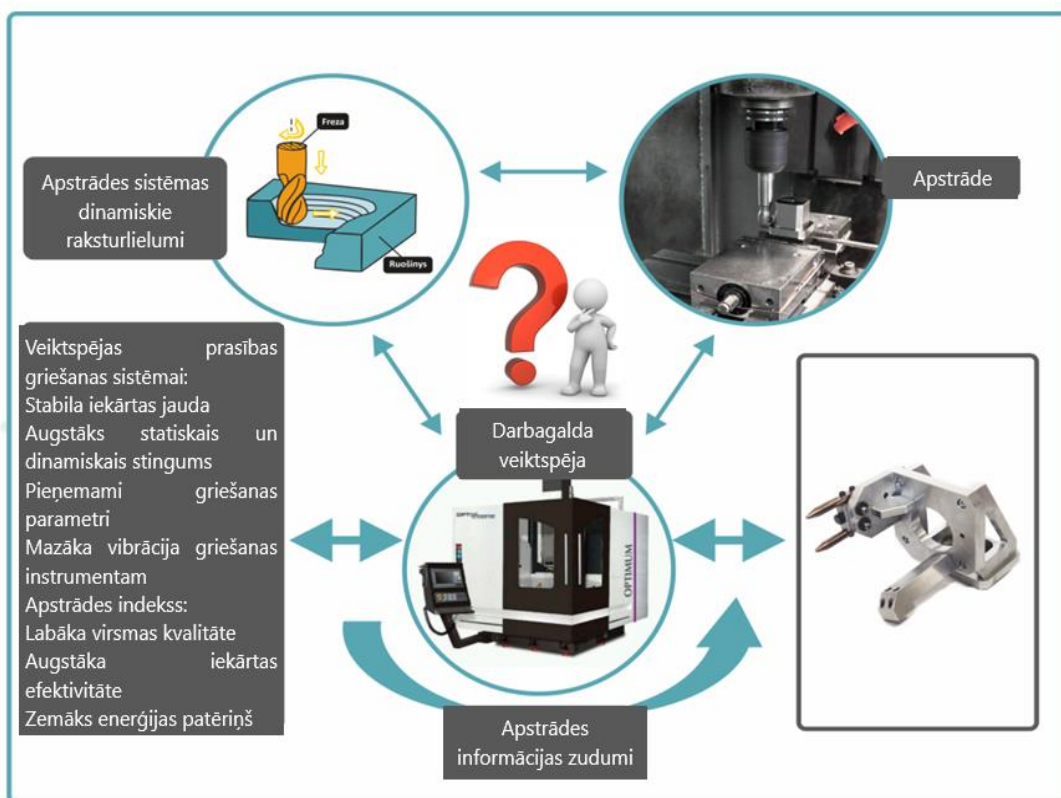
### 9.3.3. CNC apstrādes sistēma viedam ražošanas procesam

1952. gadā tika izveidota pirmā CNC metālapstrādes iekārta. Kopš tā laika mehāniskās apstrādes tehnoloģija, kuru izmanto CNC iekārtas, tiek pastāvīgi modernizēta, atbilstoši mūsdienu zinātniskiem un tehniskiem sasniegumiem.

CNC Viedās produkcijas tehnoloģija (*Smart Production Technology*) ir efektīvs veids, kā uzlabot produktivitāti, samazināt izmaksas un nodrošināt produktu kvalitāti, lai panāktu elastīgu produktu, nodrošinātu augstu ražošanas efektivitāti un "zaļās" ražošanas prasības. Apstrādātas informācijas izmantošana ražošanas procesā, un produktīvo resursu apvienošana datortīklos nodrošina augstas pievienotās vērtības produktu radīšanu par zemākām izmaksām.

Lai ieviestu viedo ražošanu, daudzi zinātnieki strādā, lai izstrādātu tādas ražošanas sistēmas, kā mobilās ražošanas sistēmas, daļēji integrētas ražošanas sistēmas, integrētas ražošanas sistēmas utt. Šīs ražošanas sistēmas pilnībā izmanto datoru sistēmas, lai palielinātu ražošanas iespējas. Jēdzienu "uz produktu orientēta ražošana" pamazām aizstāj "uz pakalpojumu orientēta ražošana" jēdziens. Tomēr jaunas ražošanas sistēmas ieviešana saskaras ar virkni tehnisku šķēršļu. Galvenie šķēršļi ir: nav kopējas datu bāzes, nav optimālā resursu un pakalpojumu sadales sistēma. Tikmēr datorizētā informācijas tehnoloģija un internets krasi ietekmē ražošanas procesus. Ražošana ir balstīta uz zināšanām, un jaunākajai informācijai ir liela nozīme ražošanas attīstībā. Viedā ražošana ir efektīvs veids, kā pārveidot ražošanas sistēmu no enerģijas patēriņa sistēmas uz informācijas sistēmu. Viedā ražošana uzlabo ražošanas procesus un kvalitātes vadību.

CNC apstrāde ir sarežģīts process, kas saistīts ar spēka un kustības izmantošanu. Tādējādi ir vairāki faktori, kas ietekmē darba virsmas kvalitāti, piemēram, griezējinstrumentu stāvoklis, procesa dinamika, griešanas parametri. Tā kā nav datu platformas, kas nodrošinātu informāciju, datu apstrādes ķēde tiek sadalīta atsevišķos tradicionālos apstrādes procesos, un lielākā daļa informācijas par apstrādes procesiem tiek zaudēta. Tradicionālā mehāniskā apstrāde ar CNC mašīnām ir parādīta 9.65. attēlā. Lai pareizi plānotu mehānisko apstrādi ar CNC iekārtām, modernā ražošanas sistēma ietver ražošanas rīkus, kas nodrošina tiešsaistes informāciju par to stāvokli. Šim nolūkam svarīgākie tehnoloģiskie līdzekļi ir informācija, kas nodrošina CNC iekārtu datu bāzi, tiešu uzraudzību, apstrādes parametru optimizāciju utt.

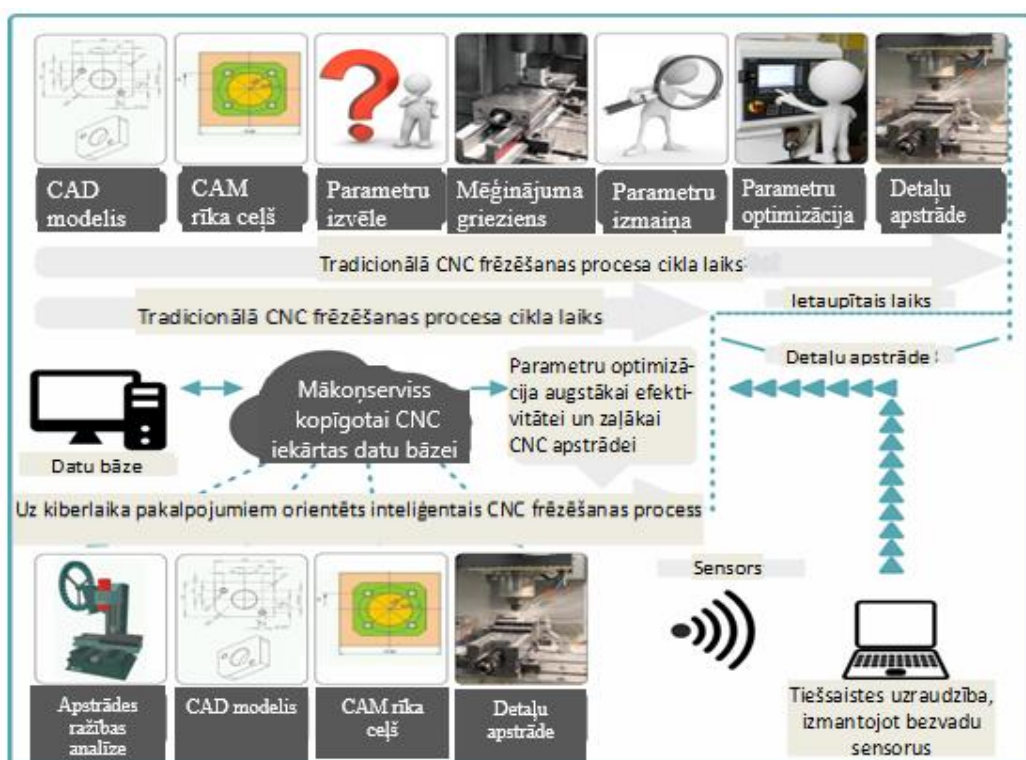


9.65. attēls. Tradicionālā procesa kontrole CNC ražošanā.

Pašlaik, pateicoties visaptverošu CNC datu bāžu trūkuma dēļ, uzņēmumi lieto dažādus apstrādes parametrus, kas izvēlēti, pamatojoties uz pieredzi. Pēc tam atlasītie parametri tiek koriģēti izmēģinājuma laikā, kas nozīmē gan laika izšķiešanu, gan resursu izšķiešanu.

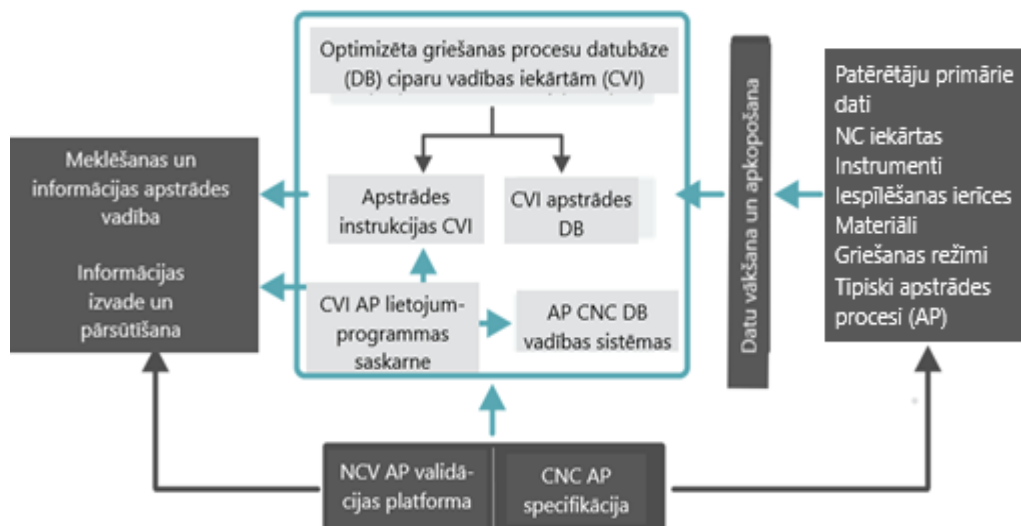
Uz pakalpojumiem orientēta CNC ražošanas sistēma, kas balstīta uz viedajām un datortīklu tehnoloģijām, var atrisināt daudzas problēmas, piemēram, garu mehānisko ciklu, neatbilstošu apstrādes parametru izvēli, nepietiekamu krājumu daudzumu, griešanas pieprasījumus utt. Šādā veidā uz pakalpojumiem orientēta CNC ražošanas sistēma var uztvert un novērtēt informāciju par apstrādes procesiem.

CNC mehāniskās apstrādes sistēma nodrošina, ka informācija netiks zaudēta no izstrādājuma dizaina līdz ražošanai. Simulācijas sistēma un multisensora sensors var pārveidot mehāniskās apstrādes fizisko modeli digitālā informācijā. 9.66. attēlā redzamas atšķirības starp tradicionālajām un uz pakalpojumiem orientētām CNC apstrādes sistēmām.



9.66. attēls. Tradicionālās un uz pakalpojumiem orientētās CNC apstrādes sistēmas.

CNC mehāniskās apstrādes datu bāze ir galvenā datu platforma viedās CNC ražošanas ieviešanai. Sistēma nodrošina ērtu datu savākšanu un drošu uzglabāšanu CNC mehānisko apstrādes parametru noteikšanai. Apstrādes parametri uz pakalpojumiem orientētā CNC datubāzē aptver visus iespējamās CNC apstrādes aspektus. Tās struktūra ir parādīta 9.67. attēlā.

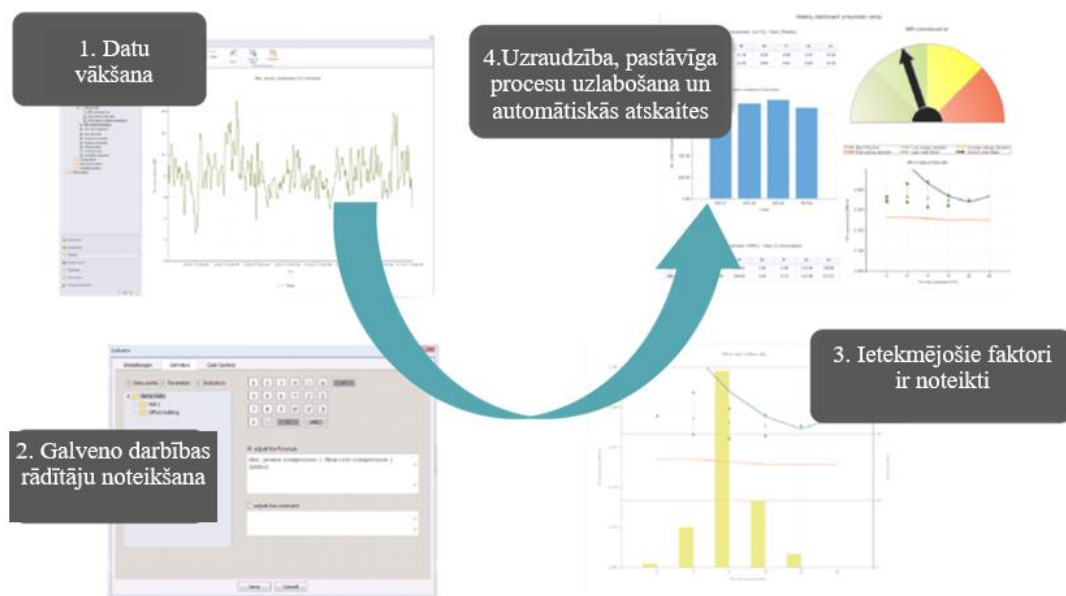


9.67. attēls. Ražošanas datu bāze CNC apstrādē.

CNC mehāniskās apstrādes datu bāzes sistēma sastāv no pašas datu bāzes, lietojumprogrammas, datu bāzes pārvaldības sistēmas, administrēšanas sistēmas un datorsistēmas. Datoru datubāzē tiek saglabāti griešanas procesu parametri. Lai pilnīgāk aprakstītu CNC mehāniskās apstrādes nianšes, datu bāzes sistēmu var iedalīt apstrādes iekārtu datu bāzē, griezējinstrumentu datubāzē, dzesēšanas šķidruma datubāzē, griešanas procesa parametru datu bāzē un tipisko detaļu apstrādes datu bāzē.

Kopējā datu bāzes modelī katra atsevišķa datu bāze savstarpējās attiecībās sastāv no fiziskiem datu modeļiem. CNC mehāniskās apstrādes parametru datu bāzes saskarne ir balstīta uz datu pārraides modeli. Tā kā datu bāzē iegūtie dati par griešanas parametriem ir no dažādiem avotiem, ir nepieciešams tos identificēt, ņemot vērā atbilstību, uzticamību un autentiskumu. Verificētie dati tiek glabāti datubāzē, pamatojoties uz hierarhiju.

Saskaņā ar datu avotiem, veikspējas rādītājiem, lietotāju prasībām, tiek piešķirti 5 griešanas parametru līmeņi, ņemot vērā subjektīvos un objektīvos aspektus. Veiktspējas rādītājus raksturo pieci vērtēšanas kritēriji, t. i., mehānismu stabilitāte, virsmas raupjums, darbmūža ilgums, materiālu noņemšanas ātrums un enerģijas patēriņš. Labākais griešanas parametriem ir piektais līmenis, un sliktākais ir pirmais līmenis.



9.68. attēls. Ražošanas efektivitātes novērtēšana

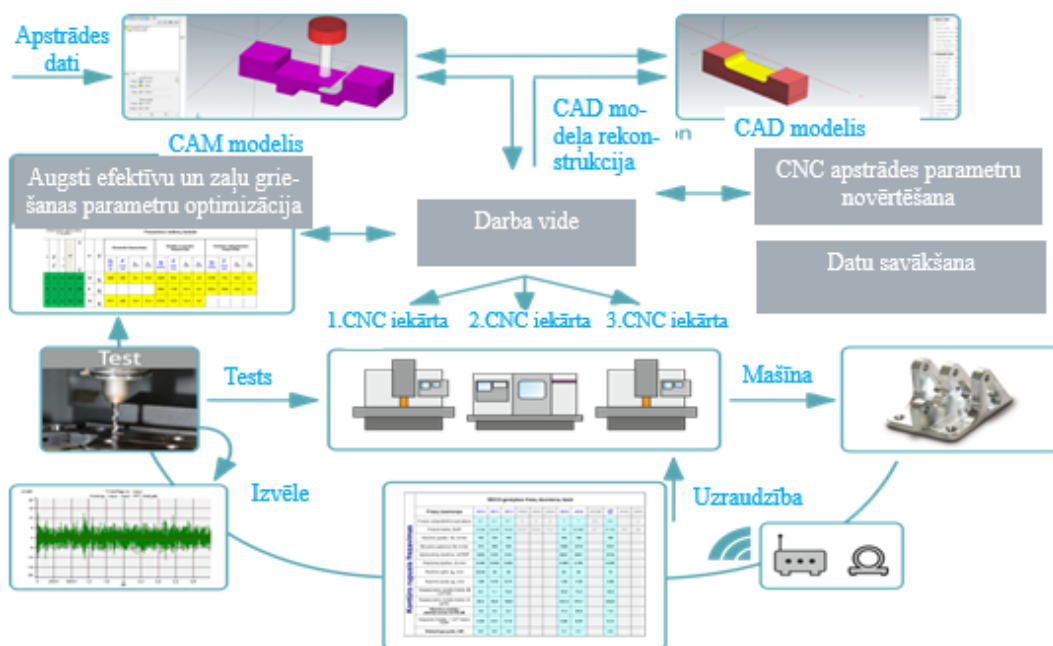
CNC mehāniskās apstrādes stabilitātes novērtēšana ir efektīvs faktors apstrādes kvalitātes nodrošināšanā, uzlabojot griešanas procesu un pagarinot mašīnas kalpošanas laiku. Griešanas laikā radītās vibrācijas ir tuvas, bet nav identiskas mašīnas brīvajai vibrācijai. Tādēļ vibrācijas var efektīvi analizēt, izmantojot sensorus un datoru tehnoloģijas. Informācija, kas iegūta, apstrādājot vibrāciju, nodrošina apstrādes parametru optimizāciju un ietekmē apstrādes procesu, izmantojot atgriezenisko saiti un izmantojot datortīklus.

Pielietojot pareizu sistēmas fizisko struktūru, tika izveidota CNC mehāniskās apstrādes

parametru datu bāzes sistēma ar lietotājam draudzīgu saskarni. Lai sniegtu lietotājiem sīkāku informāciju par griešanas parametriem, sistēma sastāv no trīs līmeņu parametru iestatīšanas apakšsistēmām. Datu bāzes struktūra sastāv no pirmās paaudzes hierarhijas datu bāzes moduļa, kas saistīts ar otrās paaudzes datu bāzes moduli, kam seko objektu orientēts datu bāzes modulis. Mūsdienu datu bāzes struktūra ir apvienota ar saprātīgu pārvaldību.

No otras puses, dati tiek pārveidoti starp dažādām platformām tajā pašā tīkla vidē. Lai pareizi izpildītu CNC mehānisko apstrādi, ar Active MQ tehnoloģiju ir jābūt pieejamiem griešanas parametru datiem. Pateicoties šai tehnoloģijai, ir izstrādāta uz servisu orientēta CNC mehāniskās apstrādes datu bāzes sistēma, izmantojot trīs datu apstrādes sistēmas. Tie ietver tiešās uzraudzības sistēmu, mašīnu dinamiskās identifikācijas un imitācijas sistēmu, apstrādes parametrus un optimizācijas sistēmas.

Ietverot ražošanas rīkus, kas nodrošina tiešsaistes informāciju par jaunākajiem sasniegumiem, datoriem, informācijas apmaiņu un uz pakalpojumiem orientētām CNC apstrādes sistēmām viedai ražošanai, vispārējās sistēmas struktūra ir parādīta 9.69. attēlā, ietverot CNC mehāniskās apstrādes tiešās uzraudzības sistēmu. CNC mehāniskās apstrādes stabilitāte ir efektīvs faktors apstrādes kvalitātes nodrošināšanā, uzlabojot griešanas procesu un pagarinot mašīnas kalpošanas laiku.



9.69. attēls. Viedās ražošanas vadības posmi CNC apstrādē.

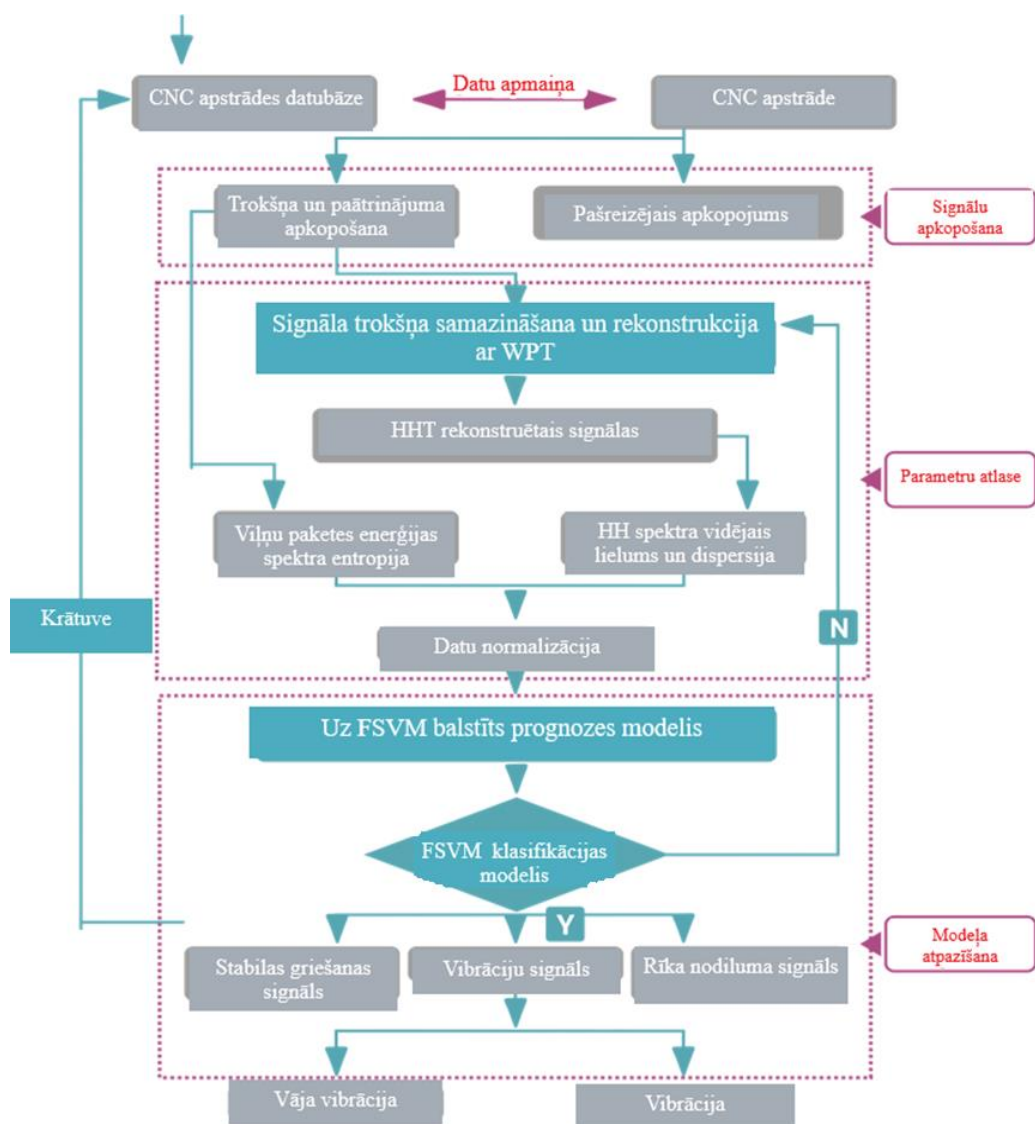
CNC mehāniskās apstrādes uzraudzības sistēma izmanto daudzfunkciju sensorus, kas nosaka trokšņa, paātrinājuma un strāvas patēriņa signālus.

Sistēma saskaras ar dažiem trūkumiem, jo atsevišķi signāli nevar sniegt pilnīgu informāciju par CNC mehāniskajiem apstrādes parametriem. Pirmkārt, trokšņa un



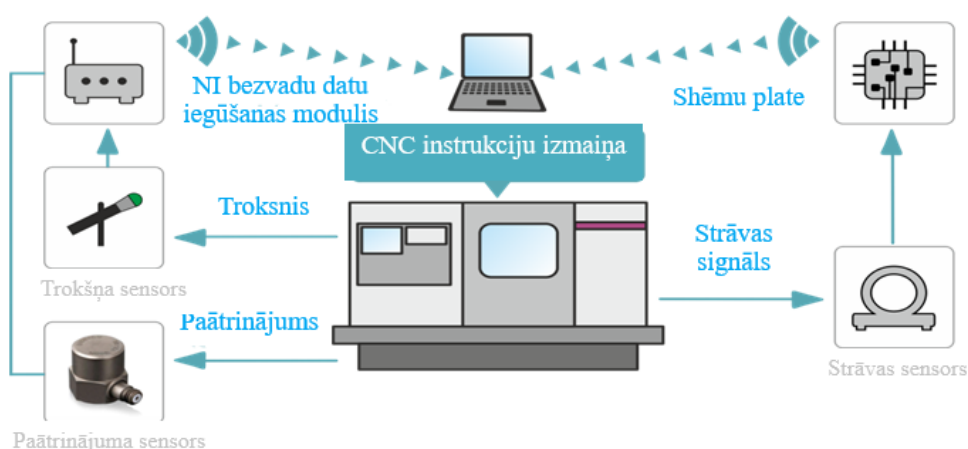
paātrinājuma signālus apstrādā, filtrējot. Pēc tam, izmantojot *Wavelet Packet Transform* (WPT) un Hilberta -Hunga transformācijas (HHT) signālu apstrādes metodi, tiek iegūti divi parametri, kas raksturo enerģijas spektru: enerģijas frekvenču sadalījums un varbūtību sadalījums.

Visbeidzot, Vibrācijas diagnostikas modelis tiek izveidots, izmantojot *Fuzzy Support Vector Machine* metodi (FSVM), kā parādīts 9.70. attēlā.



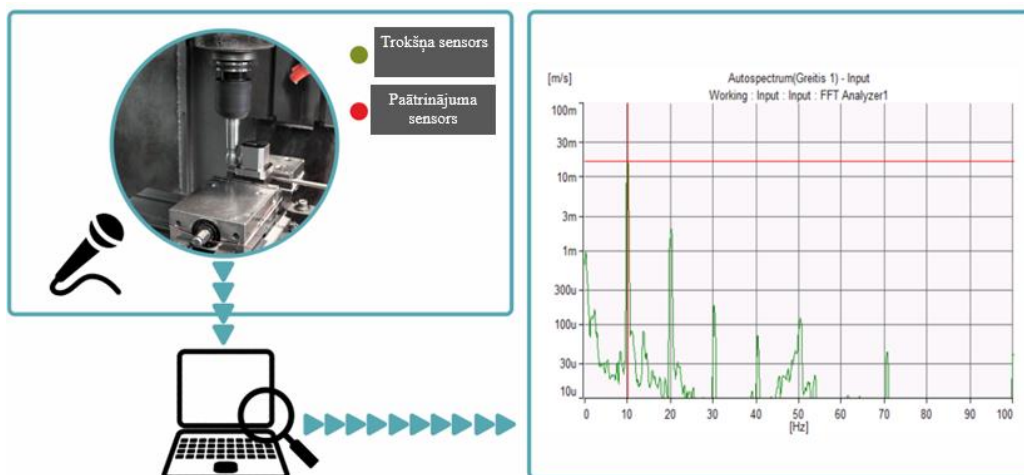
9.70. attēls. Tiešās uzraudzības algoritms CNC ražošanā.

Mehāniskās apstrādes tālvadības sistēmas struktūra ir parādīta 9.71. attēlā. Lai sazinātos ar datora aparāturu, un samazinātu ietekmi uz datu savienojumu un nodrošinātu CNC iekārtu drošību, tiek izmantota bezvadu sakaru tehnoloģija.



9.71. attēls. Aparatūras konfigurācija viedā ražošanā.

Trokšņa un paātrinājuma signālu pārraides un analīzes sistēma CNC mehāniskai apstrādei ir parādīta 9.72. attēlā. Viens kanāls ir trokšņa signālam un trīs ir X / Y / Z kanālu paātrinājumiem. Signāli tiek uztverti un analizēti, lai pārraudzītu svārstības, kas rodas CNC apstrādes laikā. Lai izvairītos no mehāniskās apstrādes precizitātes samazināšanās un novērstu darbgaldu un griešanas instrumentu bojājumus, mehāniskie parametri ir jāmaina automātiski. Raksturīgie parametri tiek iegūti, izmantojot *Waveform Packet Decomposition* (WPD) un HHT signāla apstrādes algoritmu.



9.72. attēls. Trokšņa un vibrācijas parametru atpazīšana viedā CNC ražošanā.

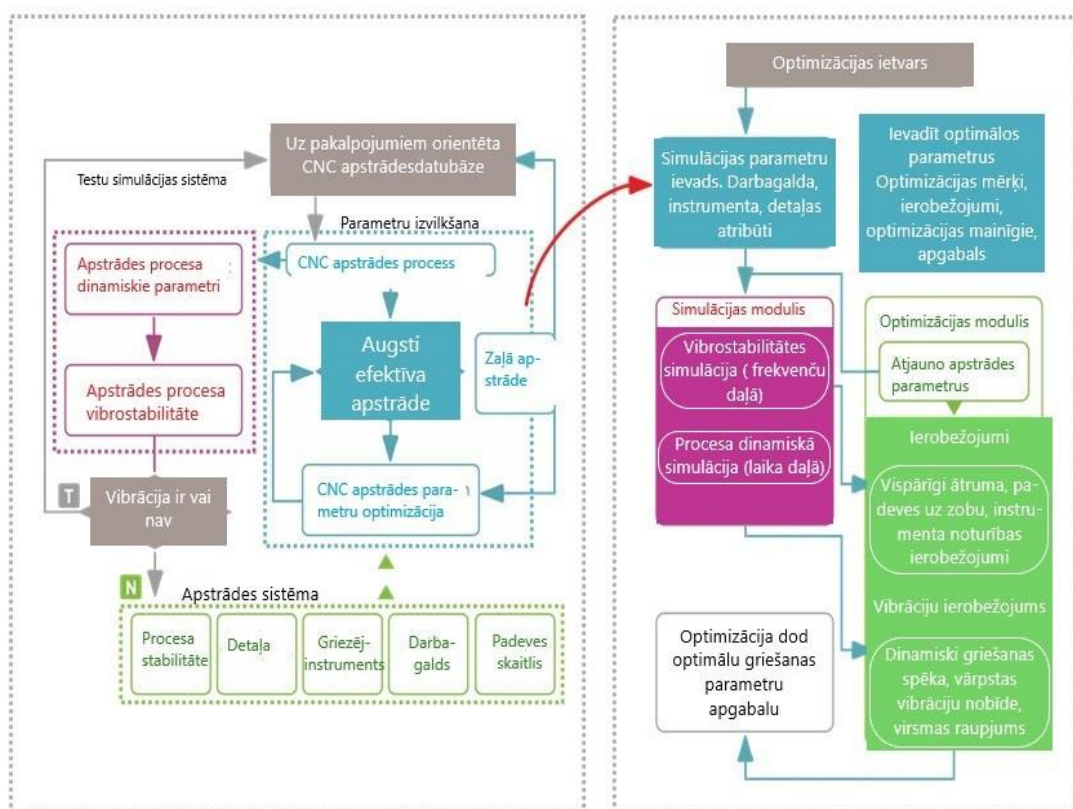
Šādā veidā ir iespējams efektīvi identificēt dažādas vibrācijas modifikācijas, no kurām var iegūt informāciju par griešanas stabilitāti, vājiem un lielākiem vibrācijas avotiem un instrumentu izkliedi. Hilbert-Huang transformācija ir sadalīta divos posmos, t.i., empīriskā modeļa sadalīšanās un Hilbert transformācijās.

Augstas veiktspējas un zaļās CNC ražošanas parametru optimizācija uz pakalpojumiem orientētā ražošanā ir efektīvs veids, kā atrisināt pretrunas starp "draudzīgu" vidi un

augstu kvalitāti.

Kā minēts iepriekš, apstrādes parametru optimizācijas sistēma apvieno griešanas spēka simulāciju, vibrācijas stabilitātes prognozēšanu un griešanas parametru optimizāciju. CNC mehāniskās apstrādes datu bāzē esošos apstrādes datus, izmantojot datortīklus, var izplatīt, izmantojot tiešās uzraudzības sistēmu starp iekārtām.

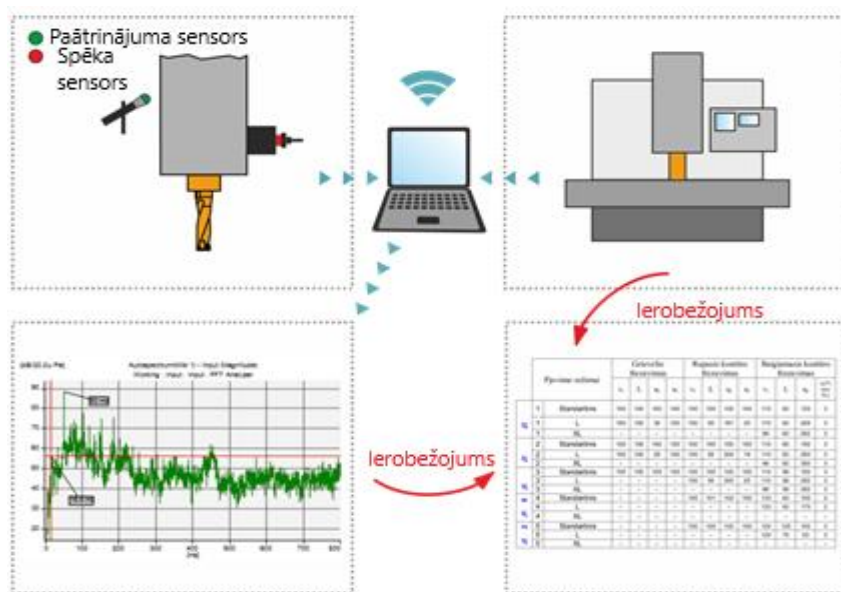
Optimizācija uzlabo apstrādes efektivitāti un samazina oglekļa monoksīda izdalīšanos vidē. Oglekļa monoksīda emisiju optimizācija ir koncentrēta elektroenerģijas patēriņā un griešanas instrumentu izmantošanā. Atkarībā no optimizācijas mērķa un apstākļiem, ieskaitot iekārtu darbības parametrus, sagatavi, griezējinstrumentus, procesa stabilitāti, tiek veikta griešanas parametru optimizācija. Optimizācijas process ir parādīts 9.73. attēlā.



9.73. attēls. Viedā ražošana, tai skaitā, efektivitātes un zaļās ražošanas prasības

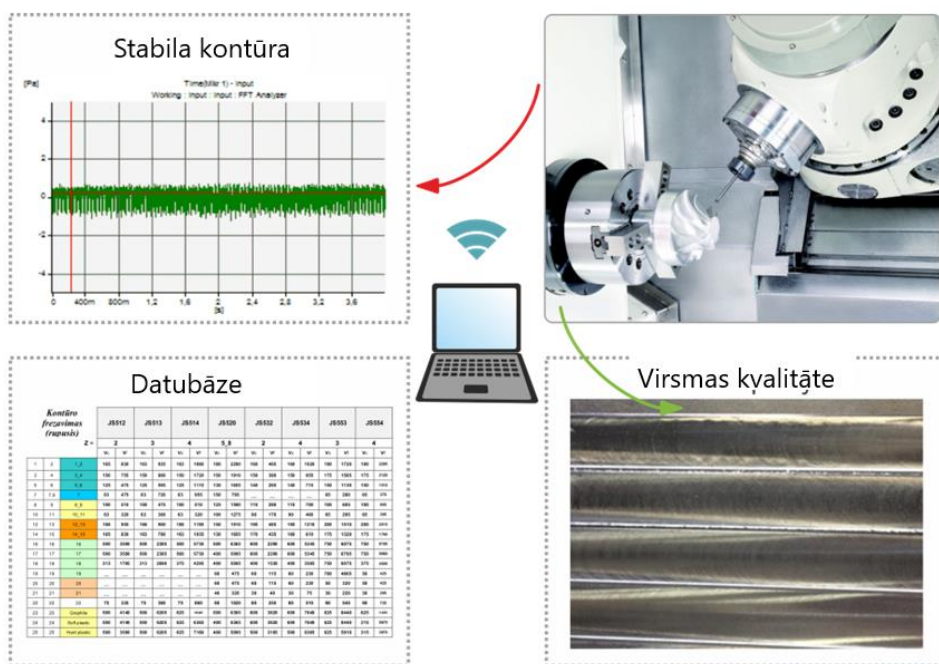
Procesa simulācija un optimizācija apvieno trīs moduļus: griešanas spēka simulāciju, vibrācijas stabilizēšanas modelēšanu un apstrādes parametru optimizāciju. Griešanas spēka un vibrācijas stabilizēšanas modelēšanu nevar veikt atsevišķi vai neatkarīgi vienu no otra. Turklāt šie moduļi ir cieši saistīti ar apstrādes parametru optimizācijas moduli. Procesa parametru optimizācijas process ir parādīts 9.74. attēlā.





9.74. attēls. Paraugs ražošanas vadības uzlabošanai.

Pamatojoties uz informācijas apmaiņu un uz pakalpojumiem orientētu CNC apstrādes sistēmu, ir izstrādāta CNC apstrādes pakalpojumu platforma. Tas ietver CNC mehāniskās apstrādes datu bāzi, dinamisko mērījumu apakšsistēmu, CNC mehāniskās apstrādes parametru optimizācijas apakšsistēmu, vibrācijas stabilizēšanas modelēšanas apakšsistēmu un tiešās uzraudzības apakšsistēmu (9.75. attēls).



9.75. attēls. Viedās ražošanas piemērs CNC apstrādei.

Salīdzinot ar apstrādi, kura tiek balstīta uz pieredzi, apstrādes un optimizācijas parametru izmantošana var ievērojami samazināt apstrādes procesu enerģijas patēriņu. Informācijas apmaiņa un uz pakalpojumu orientēta CNC mehāniskā apstrādes datu bāze viedai ražošanai var uzlabot ražošanas efektivitāti, nodrošināt ražošanas kvalitāti un samazināt enerģijas patēriņu. Izmantojot datortīkla tehnoloģijas, mehāniskās apstrādes parametrus var izplatīt un izmantot dažādās sistēmās. Izstrādātā sistēma ir atvērta citiem optimizācijas un modelēšanas moduļiem. Tas ir instruments viedai ražošanai un tālākai attīstībai uzņēmumu ražošanas optimizācijai.

## 9.4. Tiešā ciparu vadība (DNC)

Datoru tīkls, kura tiešais mērķis ir datu pārraide, jau ir kļuvis par mūsdienu pasaules standartu. Datoru tīkla tehnoloģijas piedāvā daudzas priekšrocības, piemēram, kopīgu resursu izmantošanu, piekļuvi attālai informācijai, sociālo komunikāciju, tālmācību, ekspertu palīdzību. Rūpniecības uzņēmumos datortīkli integrē kopējā sistēmā visas digitālās vadības ierīces, tostarp mašīnas. Tiešā ciparu vadība (DNC) bija galvenais faktors, kas noteica datoru sistēmu izstrādi un attīstību. Augstais DNC progress tika sasniegts 1950. gados, kad patērētāji un izstrādātāji uzzināja DNC prasības.

Pašlaik ražošanā šī koncepcija ir saistīta galvenokārt ar digitālajām vadības ierīcēm (mašīnām, robotiem, mērīšanas mašīnām, instrumentu regulatoriem u.c.), kas savienotas ar datoriem. DNC aizvietoja iepriekš izmantoto datu glabāšanu: disketes ar lasīšanas un rakstīšanas ierīcēm. Tiešās datu pārraides priekšrocība ir zemākas izmaksas, un jaunu tehnoloģiju izmantošana. Nozīmīga DNC iezīme bija vadības informācijas kontrole un savlaicīga izplatīšana lielam skaitam ciparu vadības ierīču, kas datorā izmantoja digitālās vadības funkcijas. Pēdējās šīs funkcijas vēl nav iekļautas mūsdienīgās DNC sistēmās: darbgaldu vadības funkcijas ir uzstādītas uz vienām un tām pašām ciparu vadības sistēmām. Sakarā ar datu tīklu rašanos un jaudīgu TSV programmatūru, ierīces var savstarpēji mijiedarboties uzņēmumā lokālā tīkla (LAN) vidē, izmantojot tikai vienu no to izveidotajām sakaru cilpu sistēmām.

### 9.4.1. DNC mērķi un priekšrocības

Lai gan tehnoloģija pēdējos gados ir būtiski mainījusies, DNC sistēmas pamatfunkcijas ir palikušas nemainīgas. Var izšķirt divus galvenos DNC sistēmu uzdevumus:

- nodrošina drošu, savlaicīgu datu pārsūtīšanu uz un no digitālā programmatūras kontroliera;
- pārvalda tūkstošiem digitālo pārvaldības programmu.

Pirmā uzdevuma laikā, droša datu pārsūtīšana, uzņēmumi ir aizsargāti pret iespējamu kaitējumu savām ierīcēm vai produktiem. Digitālo programmu pārvaldība uztur kārtību un drošību lielās datu bāzēs, kurās tiek glabāta svarīga informācija. Abi mūsdienu sistēmu uzdevumi ir vērtīgs ieguldījums produktivitātes un kvalitātes nodrošināšanas palielināšanā. Papildus galvenajiem DNC uzdevumiem ir papildus sistēmas funkcijas, piemēram, rīku vai komponentu vadība automatizētās ražošanas sistēmās.

DNC sistēmu priekšrocības ir redzamas šādos faktoros:

**Daudzas jaunas programmas.** Ja darba laikā tiek regulāri izmantotas jaunas programmas, tad programma ir jāpārsūta tieši no CAD / CAM sistēmām CNC kontrollerim. Tas jo īpaši svarīgi uz ražošanu orientētā programmēšanā, t.i., ja iekārtas ir ieprogrammējuši CNC mašīnu operatori, un lietojumprogrammu drošība kļūst par galveno faktoru.

**Augsts datu pārraides ātrums.** Tas ir saistīts ar lieliem apstrādes centru vai lāzera iekārtu griešanas ātrumiem, kam nepieciešama ļoti ātra datu pārsūtīšana. Tāpēc viena no DNC prasībām ir digitālo vadības programmu datu pārsūtīšana uz CNC ierīci ar lielu ātrumu, lai datu trūkums netraucētu apstrādes procesu. Šo prasību var izpildīt tikai, izmantojot DNC sistēmu.

**Instrumentu administrēšana ar datorprogrammām.** Pastāvīga griešana un datu ieguve var samazināt izmaksas. Instrumenta dīkstāves laika samazināšana ļauj ietaupīt laiku, izvairoties no nevajadzīga darba, noņemot un ievietojot rīku tā statusa pārbaudei. Instrumenta identifikācijas numura pārsūtīšana uz citiem instrumenta datiem CNC ierīcē samazina dīkstāves laiku un paaugstina drošību.

**Elastīgas ražošanas sistēmas.** Elastīgas ražošanas sistēmas veido atsevišķu kategoriju, kas atšķiras ar to, ka DNC pamatfunkcijas, palešu iegūšanas, uzglabāšanas un pārvaldības dati, korekcijas vērtības, mērījumi un citi dati tiek pārņemti no viena saimnieka. Visbiežāk vadības sistēmu pārdevējs DNC sistēmas instalē pielāgotā un paplašinātā programmatūrā. DNC datorprogrammatūrā tiek izmantotas ne tikai skaitliskās vadības programmas, apakšprogrammas un cikli, bet arī nepieciešamie griezējinstrumentu dati, sagataves pārvietošanas vai komponenta nulles punkts, korekcijas vērtības. Elastīgajām ražošanas sistēmām, kurās ir uzstādītas apstrādes funkcijas, katrai sastāvdaļai ir jānodrošina dažādas ierīces ar nepieciešamajām programmas daļām. Izmantojot atbilstošo programmatūras papildinājumu, elastīgās ražošanas sistēmas / DNC dators pārņem katras ierīces pašreizējo stāvokli, piemēram, griezējinstrumenta atrašanās vietu skapī, dīkstāvē, korekcijas vērtības vai citus datus. Tas viss ievērojami samazina datu zuduma iespējamību CNC ierīces atmiņā, kad ierīce ir ieslēgta.

Izmantojot DNC sistēmu ražošanā, ir redzamas šādas priekšrocības:

- augstāka ražīguma produktivitāte salīdzinoši īsā pārejas periodā;
- pilnīga datu pārraides drošība lielos attālumos;
- ātra programmu skenēšana;
- vienkāršota datu glabāšana;
- samazina programmatūru atbildību par ikdienas darbu;
- izsekojamība, ieviešot kvalitātes vadības sistēmu ISO 9001, DIN EN ISO 13485: 2003;
- pilnīga aizsardzība pret ārējo datu nesēju kļūmēm;

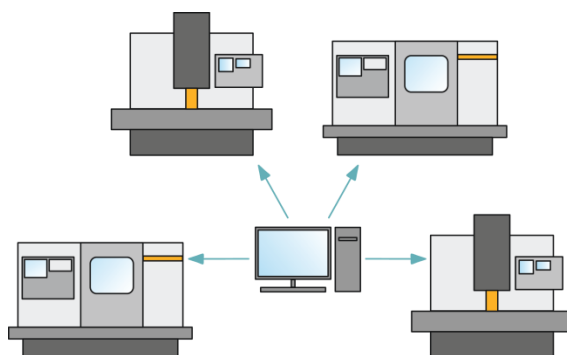
- augstas kvalitātes nekļūdīgu datu pārraide pat ar augstiem datu pārraides ātrumiem;
- attiecīgo programmu izmantošanas nodrošināšana;
- vienkārša, automātiska un skaidra programmu pārvaldība;
- ātrāka piekļuve programmām un to labošana;
- izvairīšanās no ierīces dīkstāves trūkstošu lietojumu dēļ;
- augstas kvalitātes instrumentu sagatavošana un korektūra;
- efektīvāka rīku izmantošana, darbojoties slēgtā datu pārraides ātrumā;
- mazas izmaiņas rīkos, mainot programmas;
- skaidrāka informācijas apmaiņa, jo īpaši ar saistītām ražošanas sistēmām;
- ierīču ilgāks kalpošanas laiks.

#### 9.4.2. CNC mašīnu tīklošana

Pēdējos gados arvien vairāk CNC iekārtu un aprīkojuma ir integrēti datoru tīklā, un tiek pārvaldīti ar iekštīklu, izmantojot plašu operētājsistēmu un pārraides protokolu klāstu, vadību, kas balstīta uz Unix vai Linux operētājsistēmām, kā arī DOS vai Windows operētājsistēmām. Japāņu programmatūras kontrolieri bieži izmanto standarta failu pārsūtīšanas protokolu (FTP), bet Eiropas ražotāji izmanto dažādus datu pārsūtīšanas protokolus: Netbios, NetBeans, NFS u.c. Šī daudzveidība ir piemērota DNC sistēmām. Visas modernās DNC sistēmas apvieno CNC iekārtas ar datoru, izmantojot standarta tīkla un datu sakaru līdzekļus - sērijas kabeļus.

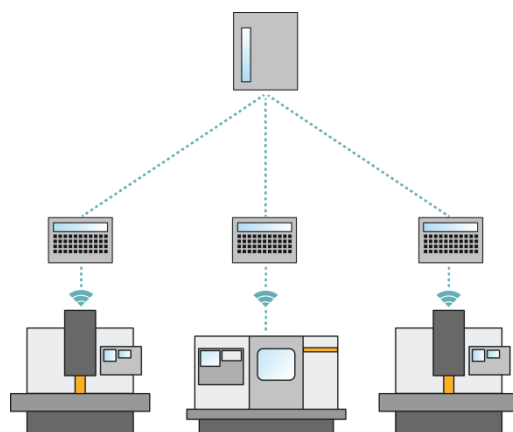
Šo ierīču savienošanai tiek izmantotas trīs dažādas stratēģijas:

**DNC sistēmas, kas savienotas ar seriālo savienojumu.** Šajās sistēmās, kas atrodamas mazākās iekārtās ar mazākām instalācijām, dators tiek izmantots kā uztvērējs programmas saglabāšanai, gan kā komunikācijas ierīce (9.76. attēls). Datu pārraidei, izmantojot vara kabeļus, pārsūtīšanas ātrums parasti palēninās, novērojama ārējo avotu radītā trokšņa ietekme uz saņemto signālu, bet tiek nodrošināta lielāka pārraides uzticamība. Lai novērstu traucējumus, vara kabeļu vietā ir ieviestas optiskās šķiedras. Viens no fiksētā kabeļa trūkumiem ir nepieciešamība atkārtoti instalēt kabeļu komplektu, lai DNC datoru pārvietotu uz citu vietu. Šis tips ir piemērots maziem uzņēmumiem ar salīdzinoši mazām ierīcēm, un dators atrodas līdz 15 m attālumā no DNC ierīcēm.



9.76. attēls. CNC savienojums DNC sistēmā

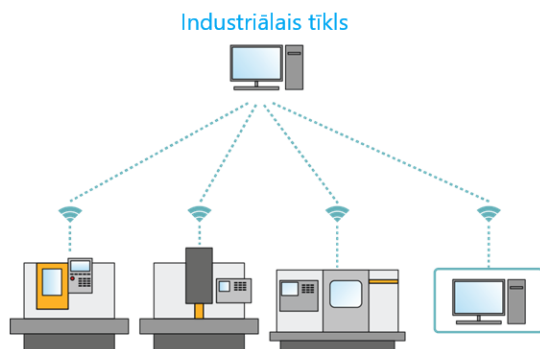
**Termināla DNC sistēmas.** Šīs DNC sistēmas bija īpaši izplatītas 1980. gados. Termināli (rūpnieciskie datori) tika izmantoti kā rīks datu pārraidei starp serveriem un CNC ierīcēm (9.77. attēls). Ražošanas datorizācijas dēļ ražotāji piegādā CNC aprīkojumu un rūpnieciskos datorus ar visu ražošanas informāciju. Operatoram tika dota iespēja pārraudzīt visus ar ražošanu saistītos datus un dokumentus, kā arī izmantot termināli digitālo vadības programmu nosūtīšanai. Bieži vien šīs sistēmas papildināja dati par CNC iekārtām un informāciju par uzņēmumu. Izmantojot šo DNC sistēmu, atbildīgās personas saņem informāciju par iekārtas dīkstāvi un tās cēloņiem. Šis DNC sistēmas veids ir bijis vienīgais veids, kā ilgstoši spēt izvairīties no CNC seriālo iekārtu savstarpējas savienošanas tīkla tehnoloģiju lietošanas. Termināla DNC sistēmas ir lietotājam draudzīgas, taču tām ir nepieciešama laba personāla apmācība, un salīdzinoši dārgs pirkums.



9.77. attēls. CNC termināla vadība

**DNC tīkla sistēmas.** Šajās sistēmās datu pārraidei tiek izmantoti tīkla adapteri (9.78. attēls). Šādā sistēmā iekštelpu korporatīvajā iekštīklā ir integrēta ierīce ar seriālo interfeisu, izmantojot tīkla adapteri (Device Server, Com-Server vai Terminal Server).

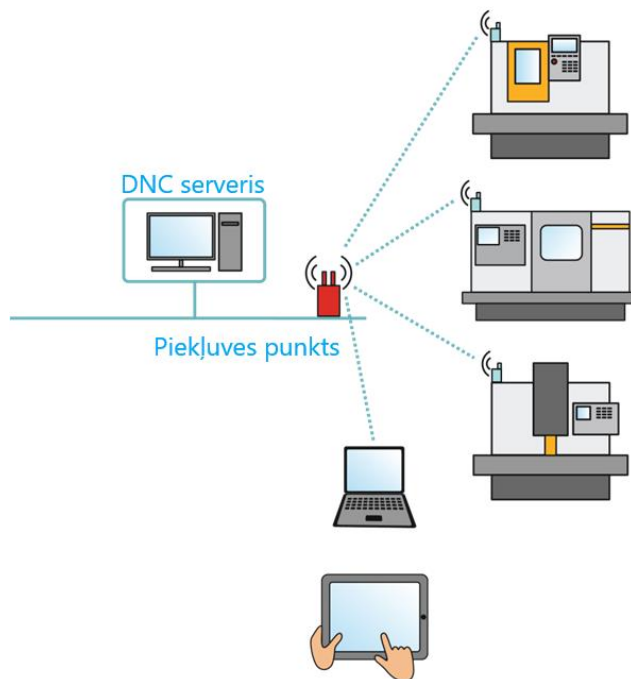
Tāpēc papildus vadības termināļiem, ir iespējams tieši no vadības ierīces izsaukt digitālās vadības programmas. Šīs sistēmas pārvar lielās datu pārraides problēmas, jo pareizu datu pārraidi nodrošina tīkla tehnoloģijas. Tie ir salīdzinoši lēti, piemēroti gan maziem, gan lieliem uzņēmumiem. Klasiskā datora tīkla kabeļa vietā šodien to bieži izmanto kā bezvadu lokālo tīklu (WLAN) vai lokālo tīklu (LAN). LAN izmanto tikai vienu no tiem, lai izveidotu sakaru sistēmu. Mūsdienu datoru operētājsistēmas (parasti Windows, retāk Linux vai Unix) vienlaikus ļauj datus pārraidīt uz vairākām ierīcēm un saņemt no tām datus.



9.78. attēls. DNC tīkla sistēma

### 9.4.3. Bezvadu vietējie tīkli WLAN

Bezvadu LAN un WLAN tīkli šodien ietilpst standarta tīklos (9.79. attēls).



9.79. attēls Bezvadu LAN (WLAN)

WLAN tīklu vēsture aizsākās 1971. gadā, kad Havaju Universitātes profesors Normans Abramsons izveidoja pirmo bezvadu datu tīklu ALOHnet, kurā bija 7 datori 4 dažādās salās un sazinājās ar centrālo datoru Oahu, neizmantojot telefonu tīklu.

Bezvadu tīkli ietver datu tīklus, kas datu pārraidei izmanto elektromagnētiskos viļņus, tāpēc dažreiz to sauc par radio LAN tīkliem. Bezvadu tīkli pieder interneta tīkliem, kas kontrolē datu plūsmu kopā ar TCP / IP interneta protokolu kopām. WLAN tīkli parasti izmanto nelicencētu 2,4 GHz frekvenču joslu, kas var sasniegt datu pārraides ātrumu līdz 11 Mb / s bez kabeļiem. Bezvadu tīkla ierīces ietver Hub, Bridge, Switch, Reuter, Modem, Access Point, Hub. Koncentrators savieno vairākus mezglus ar vienu tīklu, tilts sadala tīklus segmentos, pārraidot datus no viena segmenta uz citu, ja nepieciešams, pārlēdzējs nosūta saņemto datu paketi tieši uztvērējam; maršrutētājs nolasa pakešu saņēmēja IP adresi un izvēlas piemērotu maršrutu, lai pārsūtītu datus uz attiecīgo apakštīklu; piekļuves punkts, kas savienots ar centrmezglu, slēdzi vai maršrutētāju, sūta signālus no bezvadu tīkla. Šādā veidā datorus un CNC ierīces var savienot ar vadu tīklu bezvadu režīmā. Piekļuves punktam ir raidītāja un uztvērēja funkcijas, un to var izmantot arī bezvadu tīkla ierīču savienošanai ar tīklu. Uztvērēja funkcija ir savienota ar CNC mašīnu ar tīkla adapteri ar iebūvētu antenu vai parasto tīmekļa adapteri. WLAN izmantošana, citiem vārdiem sakot, bezvadu tīkls, pirmkārt, nodrošina ekonomiskās priekšrocības. Vidēji parastie interneta kabeļi un to uzstādīšana un citas iekārtas maksā divreiz vairāk nekā WLAN sistēma. Tā kā ikviens var izveidot savienojumu ar bezvadu mediju vidi, ir nepieciešams arī riska novērtējums. Publicējot dažādus kodēšanas paņēmienus datoru žurnāliem, praktiski nevienš kods nebija pilnīgi drošs. Citiem vārdiem sakot, durvis tika atvērtas rūpnieciskai spiegošanai. Turklāt dažādi WLAN tīkli var traucēt viens otram blīvi apdzīvotās vietās. Tādēļ visbiežāk nosūtītie dati WLAN tīklā ir šifrēti.

#### **9.4.4. Priekšrocības WLAN izmantošanai CNC ražošanā**

Standarta tīklu (iekštīklu) izmantošanai ir vairākas neapstrīdamas priekšrocības:

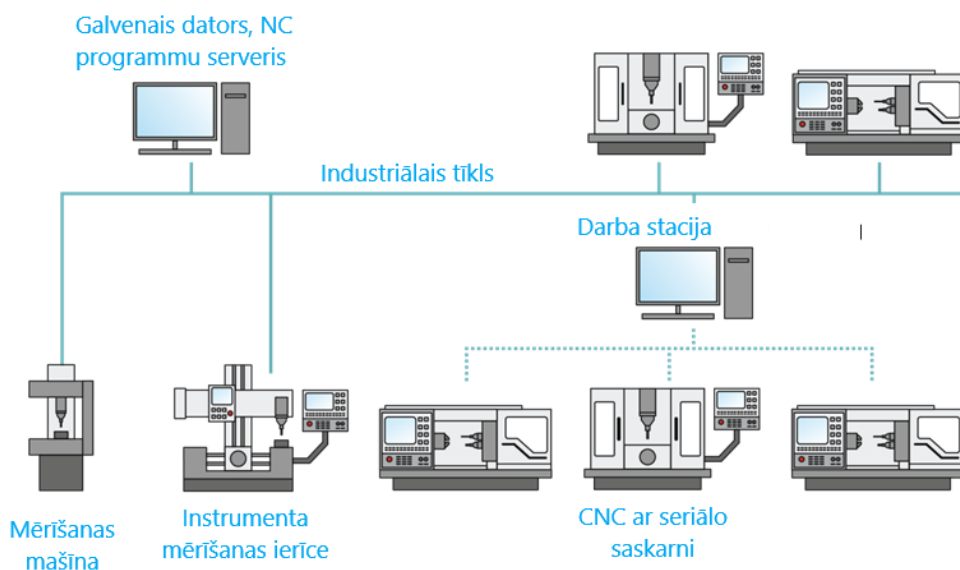
- nevainojama datu pārsūtīšana, pateicoties automātiskai kļūdu atklāšanai un izšķiršanai;
- visu digitālo pārvaldības programmu un ražošanas datu centralizēta pārvaldība;
- neierobežots pieslēgto lietotāju skaits;
- iekārtu un lietotāju savienošana lielos attālumos;
- maksimāls pārraides ātrums, izmantojot seriālo interfeisu;
- uzņēmuma vajadzībām atbilstošas sistēmas vienmērīga paplašināšana;
- tiešs savienojums starp daudziem datoriem, CAD / CAM sistēmām, digitālās pārvaldības lietojumprogrammām, ražošanas plānošanas sistēmu, datoriem un CNC iekārtām;



- vienkāršota un centralizēta visu uzņēmuma datu un tīkla lietotāju pārvaldība (datori, CNC ierīces uc).

#### 9.4.5. LAN – vietējie tīkli

Informācijas tīkla izveide ir nenovēršams process rūpnīcās un jebkurā citā uzņēmējdarbībā. Automatizējot un robotizējot ražošanu, uzņēmuma informācija kļūst arvien svarīgāka, tajā ir dažādi svarīgi dati un rezultāti, un tādēļ datu tīkliem jābūt uzticamiem, ātriem, elastīgiem un labi aizsargātiem. Informācijas izplatīšana starp departamentiem uzņēmumā kļūst arvien svarīgāka, un šodien tā ir viens no būtiskākajiem efektīvas ražošanas faktoriem. Mērķis ir sniegt visu nepieciešamo informāciju īstajā laikā visiem lietotājiem, kas ir pieslēgti tīklam. Dažādu uzdevumu (CAD, CAM, CAQ, CAR, CAI, CAE) izpildē datori un CNC ierīces ir datu ģenerēšanas un apstrādes sistēmas sastāvdaļas. Jo vairāk šādu ierīču ir uzstādīts uzņēmumā, jo svarīgāk tas ir, ja tās var savstarpēji mijiedarboties. Šo uzdevumu veic iekšējais uzņēmuma datu pārraides datortīkls (LAN) (9.80.attēls).



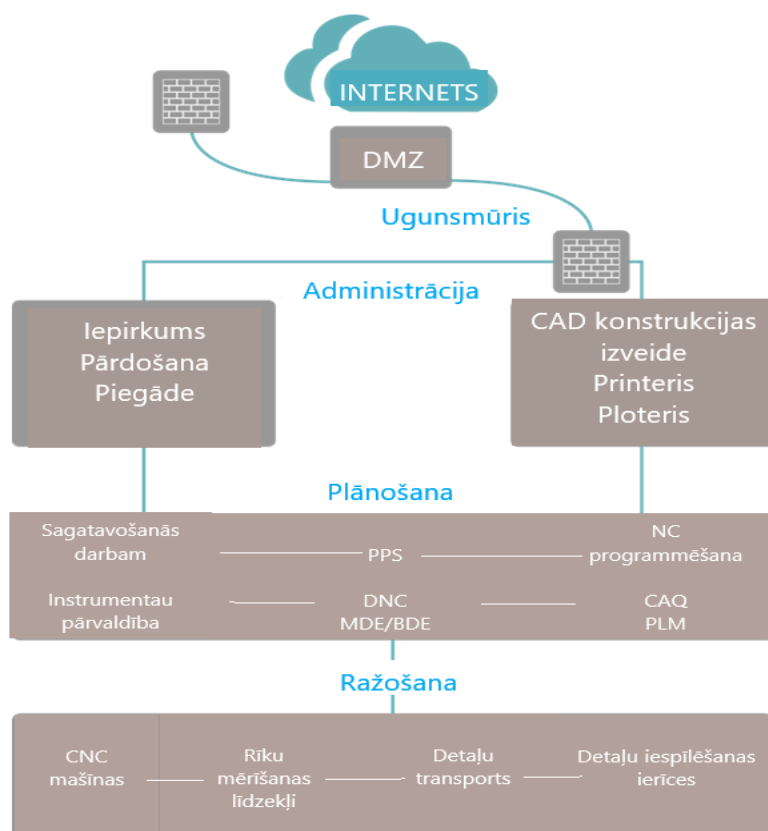
9.80. attēls CNC iekārtu paralēlais savienojums ar LAN

Koaksiālie kabeļi un tīkli vienlaikus nosūta informāciju no dažādiem "sūtītājiem" dažādiem "saņēmējiem". Šādi koaksiālie kabeļu tīkli ir līdzīgi kabeļtelevīzijas tīkliem. Šie kabeļi pārnēs vienlaicīgi TV, radio programmas un video tekstus. Katrs lietotājs saņem nepieciešamo informāciju no šīs datu daudzveidības. Tam nepieciešams kabeļa uztvērējs, kas pārvērš informāciju, kas pārraida pa kabeļi, uz frekvenci, kas paredzēta uztverošajai ierīcei. Lai gan informācijas pārsūtīšana parasti ir vienvirziena komunikācija, t.i., tikai vienā virzienā - no sūtītāja līdz saņēmējam, bet tehniski ir iespējams pārsūtīt datus divos virzienos. Šādu nodošanu sauc par divvirzienu saziņu. Visplašāk izplatīts piemērs pilnīgi divvirzienu sakaru tīklam ir telefonu sistēma. Abas



puses var runāt vienlaicīgi un vienlaicīgi dzirdēt viens otru. Būtībā pilnīgi divvirzienu sakaru tīkli divkāršo esošā tīkla joslas platumu. Ir arī trešā iespēja - daļēji bināra komunikācija, kur tikai lietotājs var nosūtīt informāciju. Daļēji divvirzienu sakaru sistēmas piemērs ir divvirzienu radio, kurā tikai viens sarunu partneris var vienlaicīgi pārsūtīt informāciju, un ikvienam ir jāsaka "beidzu", un jāpārslēdzas no sūtīšanas uz uztveršanas režīmu. Televīzijas kabeļu tīkli, salīdzinot ar LAN, atklāj ļoti būtisku atšķirību - kabeļtelevīzijas tīkla lietotāji nevar savstarpēji sazināties.

LAN ir datoru grupa, kas ir sakārtoti salīdzinoši nelielā platībā un savienoti ar medijiem. LAN attiecas tikai uz uzņēmuma teritoriju, un to neregulē valsts iestādes. Lai paplašinātu tīklu, pārsniedzot šos ierobežojumus, varat savienot vairākus LAN ar otru, izmantojot ierīces, ko sauc par rūteriem. Tādā veidā tiek izveidots starpsavienotājs, kas būtībā ir tīklu tīkls. Komunikācijas iespējas ir parādītas 9.81. attēlā. Tālsatiksmes datortīklus sauc par Wide Area Networks (WAN). Globālie tīkli ietver dažādas pilsētas vai valstis. To darbībai ir nepieciešamas publiskas iekārtas un kopīgas sakaru līnijas, piemēram, telefona līnijas, ISDN (ciparu integrēto pakalpojumu digitālais tīkls), DATEX-P vai DSL (digitālā abonenta līnija). Projektējot globālos tīklus, tiek apvienotas vairākas īpašas tīkla ierīces.



9.81. attēls. Komunikācijas iespējas digitālajā CNC rūpnīcā (LAN)

#### 9.4.6. LAN tehniskās specifikācijas

Šodien nozarē ir dažādas LAN sistēmas. Lai gan to galvenie uzdevumi ir vienādi, tiem ir tehniskas atšķirības, kas ietver šādas īpašības:

- signālu pārraides tehnoloģijas (metodes);
- pārraides vide / plašsaziņas līdzekļi/ instrumenti;
- tīkla topoloģija;
- piekļuves metode;
- protokols;
- pārraides ātrums;
- maksimālais lietotāju skaits.

#### 9.4.7. Kritēriji pareizā LAN izvēlei

Tīkla saskarnes struktūra ir diezgan sarežģīta, jo tā veic daudzus papildu uzdevumus, protokola konversijas, formatēšanas un pielāgošanas funkcijas.

Izvēloties LAN, ieteicams analizēt šādus galvenos LAN kritērijus:

- maksimālais datu pārraides ātrums Bit / s;
- maksimālais pārraidāmo datu apjoms;
- maksimālais pieslēgto lietotāju skaits, kas var piekļūt tīklam bez pārtraukumiem;
- datu pārraides un pārvietošanās jautājumi, izmantojot vienvirziena, daļēji divvirzienu un divvirzienu sakaru sistēmas;
- datu pārraides drošība;
- maksimālais pieļaujamais kabeļa (līnijas) garums bez atkārtotāja;
- kabeļu un kabeļu tipu skaits (ekranēti, vītā pāra, koaksiālie vai optiskās šķiedras / optiskie kabeļi);
- kabeļa zemākais lieces rādiuss, ņemot vērā sakaru līniju uzstādīšanu kabeļtelevīzijas kanālos;
- sakaru ierīkošanas nosacījumi, piemēram, līnijas ieklāšana kopā ar elektriskajiem kabeļiem, elektromagnētisko vai augstsprieguma tīkla traucējumu iespējamība;
- cena (kopējās izmaksas uz LAN un cena par abonentu / lietotāju).

LAN ir standartizēts lokalizēts datu pārraides tīkls, kas ļauj uzņēmumam sazināties ar dažādām datu saņemšanas apstrādes ierīcēm. Tīklā ir pieejamas daudzas LAN īpašas datu pārraides un lietošanas ierīces. Ierīču izvēle ir patērētāja kompetencē. Lai gan LAN uzdevumi un funkcijas praktiski vienmēr ir vienādas, tās ir atkarīgas no daudziem faktoriem un ir sadalītas pēc:

- pārraides tehnoloģija;
- pārraides vide;
- tīkla topoloģija;
- piekļuves metodes;
- protokoli;
- maksimālais pārraides ātrums;
- maksimālais lietotāju skaits.

Tie paši LAN ir savienoti ar tīkla tiltiem, un dažādi tīkli ir tīklā. Ir arī vērts atzīmēt, ka lietotāju skaits, kas pieslēdzas LAN, ir ierobežots. Dažādu līmeņu lietotājiem ieteicams izvēlēties vispiemērotākos LAN un savienot tos, ja nepieciešams. Šodien visplašāk izmantotais LAN tīkls ir iekštīkls. Pirms tam, kad uzņēmums izvēlas konkrētu LAN tīklu, ir jāapsver jautājumi par iespējamo saskarņu izmantošanu ierīcēs. Vēl viens uzņēmuma ceļš uz datorizētu ražošanu neizslēdz izolētus, dažādus LAN tīklus uzņēmumā. Atsevišķi LAN, kas pārraida informāciju pa vienu kanālu, tiešiem, nemodulētiem signāliem un tīkliem, kas izmanto plašu joslu informācijas pārsūtīšanai. Modulētie dati tiek pārraidīti pa daudziem kanāliem. LAN piekļuves kontrole parasti tiek nodrošināta, izmantojot CSMA / GD vai Token-Passing metodes.

## 9.5. Pilnīgi automatizēta ražošana Industrijā 4.0

Pēdējos gados ir vērojama pozitīva tendence intereses pieaugumam par Industriju 4.0. No vienas puses, tiek ziņots par būtisku progresu Industrijas 4.0 ieviešanā, bet no otras puses, vēl ir pietiekami daudz neskaidru jautājumu par to, ko īsti nozīmē Industrijas 4.0 ieviešana ražošanā.

### 9.5.1. Viedokļi par Industrijas 4.0 ieviešanu ražošanā

Neskatoties uz to, ka kopumā uzņēmējdarbības vidē valda optimisms par Industrijas 4.0 ieviešanu ražošanā, uzņēmumi īsteno atšķirīgas pieejas un uzrāda atšķirīgu progresu Industrijas 4.0 ieviešanā uzņēmumos. McKinsey Consulting 2016. un 2017. gadā veica aptauju<sup>1</sup>, aptaujājot 300 dažādu nozaru ekspertus Amerikas Savienotajās valstīs, Vācijā un Japānā, kas pārstāvēja dažāda lieluma uzņēmumus (bet ne mazāk kā ar 50 nodarbinātajiem). Aptaujas dalībniekiem bija jānovērtē trīs rādītāji:

- Uzņēmumu gatavību Industrijai 4.0;

---

<sup>1</sup> McKinsey Digital: Industry 4.0 after the initial hype. Where manufacturers are finding value and how they can best capture it, in:

[https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business%20functions/mckinsey%20digital/our%20insights/getting%20the%20most%20out%20of%20industry%204%200/mckinsey\\_industry\\_40\\_2016.ashx](https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business%20functions/mckinsey%20digital/our%20insights/getting%20the%20most%20out%20of%20industry%204%200/mckinsey_industry_40_2016.ashx) (Skatīts 03.03.2019).

- Progress - cik lielā mērā uzņēmumi ir ieviesuši Industriju 4.0;
- Galvenie šķēršļi, kas kavējuši uzņēmumus ieviest Industriju 4.0.

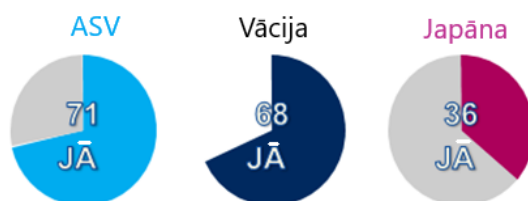
Aptaujas rezultāti par uzņēmumu gatavību Industrijai 4.0 liecina, ka :

Lielākā daļa Vācijas respondentu (67 %) un Japānas respondentu (74%) ir tikpat optimistiski par Industrijas 4.0 potenciālu kā pirms gada, savukārt 44 % ASV pārstāvošie respondenti apgalvo, ka tie ir kļuvuši vēl optimistiskāki;

90 % aptaujāto apgalvo, ka ieviešot Industriju 4.0 uzņēmumā, tā konkurētspēja palielināsies vai paliks tāda pati. Lai gan 89 % paredz, ka Industrijai 4.0 būs ietekme uz darbības efektivitāti, tikai 80 % redz Industrijas 4.0 ietekmi uz sava biznesa modeli;

Vidēji 70 % aptaujāto ekspertu sagaida, ka darba tirgū ar Industrijas 4.0 attīstību, palielināsies konkurējošo uzņēmumu skaits nozarēs. Šī cerība ir daudz izteiktāka ASV un Japānā 81% un 75 % nekā Vācijā 55 %. Lielākoties šāda pārliecība pastāv tehnoloģiju nodrošinātāju vidū 80 %) nekā ražotāju vidū 65 %;

Seši no desmit respondentiem uzskata, ka viņu uzņēmums ir labi sagatavots Industrijas 4.0 ieviešanai. Dati atšķiras atkarībā no reģiona. Vācu un amerikāņu uzņēmumi (68 un 71%) jūtas gatavāki nekā Japānas uzņēmumi (36 %) (9.82. attēls).



9.82. attēls. McKinsey aptauja par uzņēmumu gatavību Industrijai 4.0

Aptaujas rezultāti par Industrijas 4.0 ieviešanu uzņēmumos:

30 % no preču piegādātājiem un 16 % ražotāju apgalvo, ka uzņēmumos ir izstrādāta visaptveroša Industrijas 4.0 stratēģija, un 27 % preču piegādātāju un 21 % uzņēmumu pārstāvju apgalvo, ka ir noteikta atbildība par Industriju 4.0 ieviešanu;

Aptuveni puse no ASV un Vācijas uzņēmumiem (attiecīgi 50% un 56%) ziņo, ka pēdējo gadu laikā ir guvuši labus panākumus Industrijas 4.0 īstenošanā. No tiem 47% tehnoloģiju nodrošinātāji apgalvo, ka ir guvuši lielāku vai ievērojamu progresu, kamēr tikai 37% ražotāju ziņo par labu vai būtisku progresu;

Uzņēmumi saglabā konservatīvu attieksmi un ieguldījumus ar rūpniecību saistītā pētniecībā un attīstībā - vidēji tikai 14 % no sava budžeta ieguldot pētniecībā un attīstībā.

Uzņēmumi vislielāko progresu pagājušajā gadā ir sasnieguši inteligentās enerģijas patēriņā, reālā laika piegādes ķēdes optimizācijā, attālinātā uzraudzībā un kontrolē, digitālajā kvalitātes vadībā un digitālajā izpildes pārvaldībā.

Kā galvenos identificētos šķēršļus uzņēmumi min: grūtības koordinēt rīcību starp dažādām organizatoriskām vienībām, bažas par kiberdrošību, datu īpašumtiesībām

darbā ar trešajām personām, drosmes trūkumu par radikālām pārmaiņām un kvalificētu speciālistu trūkumu.

Deviņi no desmit uzņēmumiem sagaida, ka viņu uzņēmumu konkurētspēja Industrijas 4.0 ietekmē palielināsies vai paliks nemainīga. Tikai viens no desmit uzņēmumiem izteicis bažas par sava uzņēmuma konkurētspējas samazināšanos Industrijas 4.0 ietekmē.

McKinsey ir izstrādājis "kompasu", kas koncentrējas uz astoņām galvenajām vērtībām: kvalitāte, orientēšanās uz piedāvājumu un pieprasījumu, laiks līdz tirgum, darbības, resursi, procesi, aktīvu izmantošana, inventāra un servisa pēc pārdošanas.

### 9.5.2. Ķīna

Pateicoties lielajām valsts subsīdijām, Ķīnas biznesa pasaule jau ilgstoši ir orientēta uz Industrijas 4.0 ieviešanu. Kā vēl viens Ķīnas ražošanas uzņēmumu novatoriskās pozīcijas iemesls ir uzņēmumu iekšējā orientācija uz Industriju 4.0. Nesenais McKinsey pētījums parādīja, ka 90% Ķīnas uzņēmumu valdes locekļu uzskata digitalizāciju par svarīgāko jautājumu ražošanā. Vācijā šādu viedokli izsaka aptuveni divas trešdaļas uzņēmumu vadītāju. Ķīnā katrā trešajā uzņēmumā izmanto mākslīgo intelektu, kamēr Vācijā - tikai katrā piektajā. Ķīnas kompāniju, piemēram, Huawei un Lenovo, straujā virzība notiek pateicoties ražošanas procesu digitalizācijai.

Spiediens uz uzņēmumiem piedalīties šajā sacensībā rodas gan no konkurences valsts iekšienē, gan no starptautiskās konkurences. Tajā pašā laikā Industrijas 4.0 īstenošana sniedz uzņēmumiem jaunus izaicinājumus, piemēram, līdzīgi kā Eiropā ir jāpieņem darbā kvalificēti darbinieki un jāpalielina viņu algu līmenis. Arvien pieaugošais robotu īpatsvars ražošanā samazina cilvēkresursu piesaisti. Fakts, ka mazinās cilvēkfaktora nozīme pilnībā automatizētā ražošanā, sniedz Ķīnai salīdzinošo priekšrocību.

Vācija ieņem trešo vietu pašreizējā Pasaules Robotikas ziņojumā, bet robotu izmantošana Ķīnā pieaug daudz ātrāk. Šo attīstību galvenokārt veicina valdības iniciatīvas "Made in China 2025" un "Internet plus". Stratēģija Made in China 2025 un Industrija 4.0 bieži tiek izmantoti kā sinonīmi.

### 9.5.3. Vācija

Aptuveni 15 miljoni darbavietu Vācijā pieder apstrādes rūpniecībai, tādēļ pilnībā automatizētu procesu īstenošana Industrijas 4.0 ietvaros paver plašas iespējas: nozares digitalizācija ne tikai mainīs pievienotās vērtības procesus, bet arī radīs jaunus biznesa modeļus un jaunas perspektīvas strādājošajiem, kas sniegs maziem un vidējiem uzņēmumiem lielas iespējas digitālo un viedo ražošanas procesu jomā. Šobrīd Vācijā simtiem lietotāju ražošanā izmanto Industrijas 4.0 iespējas un parāda, kā digitālie

risinājumi var radīt pievienoto vērtību.<sup>2</sup>

Ekonomikas un enerģētikas federālās ministrijas publicētā interaktīvā Industrijas 4.0 karte sniedz visaptverošu ieskatu Vācijas korporatīvajā ainā un pašreizējā situācijā attiecībā uz Industrijas 4.0 procesu piemērošanu. Karti var izmantot pēc pielietotās programmas, produkta, attīstības posma, reģiona, uzņēmuma lieluma u.tml. Daži piemēri ir uzskaitīti 9.1. tabulā.

9.1. tabula. Vācijas uzņēmumi ar pilnībā automatizētiem ražošanas procesiem.

| Uzņēmums                  | Sektors                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Pilnībā automatizēts ražošanas piemērs                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| BEUMER Group GmbH & Co.KG | BEUMER Group piegādā integrētas iepakšanas un loģistikas sistēmas no viena avota, lai nodrošinātu nepārtrauktu materiālu un datu izsekošanu un visu attiecīgo galveno rādītāju uzraudzību;<br><br>Inovāciju nodaļa ir nodibinājusi jaunus uzņēmumus, lai turpinātu optimizēt Industrijas 4.0 principus uzņēmumā. | Lai nodrošinātu nepārtrauktu materiālu un datu izsekošanu, uzpildes, palešu padošanas, iepakšanas un citas sistēmas sastāvdaļas, procesi tiek optimāli koordinēti augstāka līmeņa datorsistēmā;<br><br>Lietotāja interfeisu var pieslēgt caur tīklu klienta datu pārvaldībai;<br><br>Notiek pastāvīga informācijas apmaiņa starp atsevišķām iepakojuma līnijas sistēmām un augstāka līmeņa kontroles sistēmu;<br><br>Ir izstrādāta BEUMER vispārējās darbības uzraudzības programma (Overall Operation Monitoring App). |
| KNOLL Maschinenbau GmbH   | Kopš 2005. gada uzņēmums ir nepārtraukti attīstījies un kļuvis par veiksmīgu uzņēmuma piemēru saistībā ar Industriju 4.0;<br><br>Produktivitāte ir palielinājusies par 20-25 procentiem, uzņēmums                                                                                                                | Uzņēmumā notiek modernizētās rūpnīcas plānošana;<br><br>Uzņēmumā ir pilnībā automatizēta noliktava ar 1200 uzglabāšanas vietām un 13 iekraušanas un izkraušanas stacijām;<br><br>Uzglabāšanas sistēma ātri pārvieto uzglabāšanas vietas vertikāli un horizontāli, izņem izejvielas un                                                                                                                                                                                                                                   |

<sup>2</sup> Bundesministerium für Wirtschaft und Energie <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/industrie-40.html> (Zugriff: 15.01.2019).

|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                  | strādā kā gudrā rūpnīca (Smart Factory).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <p>nogādā tās konkrētā laikā pārstrādes uzņēmumam;</p> <p>Pēc apstrādes nogādā gatavās detaļas vai iekārtas tālākai apstrādei;</p> <p>Notiek ātrās nomaiņas staciju izveide ar automatizētu ražošanas kontroli;</p> <p>Nakts maiņas, nedēļas nogales ir bezpilota.</p>                                                                                                                                                                           |
| Bosch Rexroth AG | <p>Bosch Rexroth AG darbojas ražošanas nozarē un ražo mehatroniskās sistēmas un automatizācijas komponentus ražošanai, piegādes ķēdēm un loģistikai.</p> <p>Nepārtraukts horizontālais un vertikālais tīkls ļauj ražot elektriskās piedziņas un vadības ierīces ļoti plašā diapazonā.</p> <p>Aparatūras, programmatūras un, dažos gadījumos, klientu izvēlētu specifisku komponentu kombinācija pašlaik rada vairāk nekā 200 000 aktīvo produktu.</p> | <p>Izmantojot MES, no SAP ražošanas datiem tiek ģenerēts produkta virtuālais attēls (projekts);</p> <p>Reālais produkts tiek attēlots, pamatojoties uz virtuālo attēlu.</p> <p>Procesa parametri un pārbaudes programmas tiek automātiski ielādētas.</p> <p>Ieguvumi: augsta procesu pārredzamība, bez-papīra ražošana, nulles iestatīšanas laiks, sērijas numuri, darbinieku atbalsts, krājumu samazināšana un paaugstināta produktivitāte.</p> |

Galvenie secinājumi: Kopējais korporatīvais noskaņojums attiecībā uz Industrijai 4.0 atbilstošu procesu īstenošanu ir pozitīvs. Tomēr, joprojām pastāv arī drosmes un vēlmes trūkums uzņemties risku un ieguldīt līdzekļus Industrijas 4.0 ieviešanā, kas ilgtermiņā varētu mazināt konkurētspēju starptautiskā vidē.

#### 9.5.4. Šķēršļi un izaicinājumi

Seši no desmit uzņēmumiem ir saskārušies ar šķēršļiem Industrijas 4.0 ieviešanā. Pieci svarīgākie

šķēršļi Industrijas 4.0 īstenošanā (9.83. attēls):

Top 5 šķēršļi, ko konstatējuši uzņēmumi, kuriem ir ierobežots progress Industrijā 4.0



**Grūtības koordinēt rīcību starp dažādiem departamentiem**



**Drosmes trūkums radikālu pārmaiņu īstenošanai**



**Kvalificētu darbinieku trūkums, niem. datu speciālisti**



**Bažas par kibernetisko drošību, strādājot ar trešo pusi**



**Nav skaidra biznesa pierādījuma, kas attaisnotu ieguldījumus esošajā IT arhitektūrā**

Papildus šķēršļi, ko minējuši vairāk attīstīti uzņēmumi



**Bažas par datu īpašumtiesībām, strādājot ar trešām personām**



**Neskaidrība par ārpakalpojumiem un zināšanu trūkums par pakalpojumu sniedzējiem**



**Izaicinājumi datu integrēšanā no dažādiem avotiem Industrijas 4.0 lietojumprogrammās**

### 9.83. attēls. McKinsey Industrijas 4.0 aptauja

Grūtības koordinēt vienotas darbības dažādās organizatoriskajās vienībās. Daudzi uzņēmumi mēģina uzlabot sadarbību starp pētniecību un ražošanu, pārdošanu, IT un finansēm. Daudzveidīgās funkcijas un departamenti apgrūtina Industrijas 4.0 stratēģijas un projektu koordinēšanu visā uzņēmumā;

Drosmes trūkums, lai īstenotu radikālas pārmaiņas. Daudzi ražotāji apgalvo, ka viņiem nav drosmes veikt tehniskās un organizatoriskās izmaiņas Industrijas 4.0 ieviešanai;

Nepieciešamo talantu trūkums, piemēram, datu zinātnieki. Daudzi ražotāji uzskata, ka viņiem trūkst vajadzīgo prasmju un zināšanu, lai izmantotu Industrijas 4.0 lietojumprogrammas.

Bažas par kibernetisko drošību, strādājot ar trešajām personām. Industrijas 4.0 lietojumprogrammu ieviešanai bieži ir nepieciešama sadarbība ar trešo pušu tehnoloģiju /programmatūras piegādātājiem, tādēļ daudzi uzņēmumi joprojām nevēlas dalīties ar saviem datiem, jo viņi ir norūpējušies par IT drošību;

Nav skaidru pierādījumu, kas attaisnotu investīcijas datu un sistēmu arhitektūrā, kas nepieciešamas, lai pilnībā izmantotu Industrijas 4.0 pielietojumu uzņēmumā;

Starp uzņēmumiem, kuri vairāk izmanto Industriju 4.0 ražošanas procesos, pastāv trīs papildu šķēršļi:

Bažas par datu īpašumtiesībām, strādājot ar trešajām personām. Papildus kibernetiskās drošības problēmām ražotāji uztraucas, ka viņi var zaudēt kontroli pār saviem datiem, strādājot ar trešo pušu tehnoloģijām un programmatūras piegādātājiem Industrijas 4.0 lietojumprogrammās;

Nenoteiktība par to, kādas Industrijas 4.0 lietojumprogrammas jāiegūst no trešajām



personām un zināšanu trūkums par piemērotākajiem piegādātājiem. Turklāt daudzi ražotāji apgalvo, ka viņiem trūkst izpratnes par potenciālo pārdevēju ekosistēmu, lai sadarbotos Industrijas 4.0 lietojumprogrammās;

Izaicinājumi integrējot datus no vairākiem avotiem, lai nodrošinātu Industrijas 4.0 lietojumprogrammas. Lielākā daļa Industrijas 4.0 lietojumprogrammu ietver datus no vairākiem avotiem. Šo datu apvienošana ir būtiska, lai Industrija 4.0 darbotos, bet datu integrācija var būt sarežģīta.

### 9.5.5. Prognozes un padomi uzņēmumiem

Jāatzīst, ka ar Industriju 4.0 saistās lielas cerības, bet tās visas vēl līdz galam nav apzinātas. Industrijas 4.0 ieviešana ir ilgstošs process, un, attīstoties tehnoloģijām, attīstīsies vēl citi lietojumi. Ir svarīgi, lai ražotāji visās valstīs sāktu ar vairākiem konkrētiem lietojumiem. Tas radīs organizatoriskus un tehniskus nosacījumus, lai nākotnē varētu risināt sarežģītākus projektus, piemēram, pilnīgu datu integrāciju visā produkta dzīves ciklā.

Speciālistu padomi par Industrijas 4.0 attīstību ir šādi (9.2. tabula):

9.2. tabula. Pieci padomi uzņēmumiem, lai gūtu maksimālu labumu no Industrijas 4.0

| Padoms                                                 | Nosacījums                                                                                                                                                                            | Apraksts                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fokusējiet savu darbību uz ierobežotu programmu skaitu | <p>(1) Digitālās veikspējas pārvaldība</p> <p>(2) Enerģijas, produkcijas un apgrozījuma optimizācija</p> <p>(3) Nākamā posma automatizācija</p> <p>(4) Digitālā kvalitātes vadība</p> | <p>Digitālās veikspējas pārvaldība var kalpot kā vārti uz digitālo ražošanu, ņemot vērā minimālās resursu prasības un vienkāršus, ātri izvietojamus risinājumus. Lietojumprogrammas paātrina esošos pārvaldības procesus un palīdz veidot digitālās spējas un uz datiem balstītu domāšanu, radot pamatu vēl progresīvākām digitālajām tehnoloģijām. Digitālās platformas, kas atbalsta veikspējas dialogus, trīs mēnešos var sasniegt 20-50 % OEE uzlabojumu, palielinot operatora iesaistīšanos un datu pārvaldību. Turklāt digitalizētie veikspējas dati tiek saglabāti un atbalsta normētus aprēķinus un ziņojumus.</p> <p>Ievērojami uzlabojumi datu pieejamībā, mašīnmācībās un mākoņtehnoloģijās rada pilnīgi jaunu pieeju: jaunu prognozēs balstītu tehniskās apkopes plānošanu. Tam seko mašīnas pieejamības pieaugums un uzturēšanas izmaksu samazinājums, pamatojoties uz jaunu prognozēšanas un tehniskās apkopes algoritma ieviešanu;</p> |

|                                                                                                            |                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                            |                                                                                                                                                                     | <p>Datu integrēšana no procesu vadības sistēmām ar citiem datiem, piemēram, izmaksu datiem, var palīdzēt uzņēmumiem optimizēt procesus, kas saistīti ar enerģiju, produkciju un apgrozījumu;</p> <p>Sensoru tehnoloģijas un mākslīgā intelekta uzlabojumi, kas ļauj potenciāli izmantot robotus sarežģītākās sistēmās un situācijās, veicina automatizācijas pieejamības un potenciālās vērtības pieaugumu. Zināšanu automatizācija darbojas tādās funkcijās kā pieprasījuma plānošana, piemēram, nākotnes analītika, pasūtījumu pārvaldība, piemēram, bezkontakta pasūtījumu pārvaldība piegādes ķēdes procesā, nodrošina lielu optimizācijas potenciālu. Paredzams, ka turpmāko piecu līdz desmit gadu laikā robotika ievērojami palielināsies.</p> <p>Ražotāji var realizēt ievērojamus ieguvumus (piemēram, paaugstināta efektivitāte, uzlabota kļūdu izsekojamība un atsauksana izmaksu samazināšanai), ieviešot digitālās dokumentācijas sistēmas, kas palīdz uztvert un uzlabot kvalitāti, attiecīgo ražošanas un pakalpojumu informāciju. Uzlabotas kvalitātes kontrole, izmantojot jaunas sensoru tehnoloģijas (piem., Computer Vision), paver papildu iespējas. Uzņēmumi, kuri vēlas pastiprināt savu digitālo kvalitātes pārvaldību, izmanto uzlabotus algoritmus un lielu datu apjomu, lai veiktu kvalitātes analīzi.</p> |
| <p>Nebaidieties no "risinājumiem", bet rītdienu sāciet, izveidojot IT pamatus stabilākiem risinājumiem</p> | <p>(1) Veselīga pragmatisma trūkums</p> <p>(2) Speciālistu un IT sistēmu trūkums</p> <p>(3) Risinājumi</p> <p>(4) Kapitāla izdevumi</p> <p>(5) Skaidra uzņēmuma</p> | <p>Bieži vien veselīga pragmatisma trūkuma dēļ klienti nevar sākt īstenot Industrijas 4.0 lietojumprogrammas. Gandrīz visos gadījumos prioritāro Industrijas 4.0 lietojumprogrammu vērtības noteikšana ietvers sev ievērojamus darbības šķēršļus, kas ražotājiem jāpārvar.</p> <p>Fakts ir arī tas, ka ļoti veiksmīgi klienti var veiksmīgi pabeigt projektus pat sarežģītos apstākļos.</p> <p>Izmantojot tādus risinājumus kā ārpakalpojumi, uzņēmumi var ātri uzsākt jaunu lietošanas gadījumu ieviešanu un sniegt pierādījumu par turpmāko lietojumprogrammu ieviešanas</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

|  |                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>pārvaldība</p> <p>(6) Datu arhitektūra</p> <p>(7) Datu integrācija visā produkta dzīves ciklā</p> | <p>efektivitāti. Mākoņu tehnoloģiju risinājumi lietojami, lai starplaikā nodrošinātu bezrisku risinājumus. Uzņēmumi var izmantot mākonī, lai eksperimentētu ar jauniem lietošanas gadījumiem, neietekmējot esošās IT infrastruktūras un arhitektūras darbību.</p> <p>Neskatoties uz pirmo izmēģinājuma projektu panākumiem, liela mēroga Industrijas 4.0 ieviešanai ir nepieciešami lieli ieguldījumi visā tehnoloģiju komplektā. Izveidot biznesu, kas apstiprina datu ieguldījumus, var būt grūti, jo Industrijas 4.0 tehnoloģijas ir salīdzinoši jaunas un ar šīm tehnoloģijām saistītie panākumi joprojām ir ierobežoti. Tomēr šie ieguldījumi ir būtisks pamats veiksmīgam Industrijas 4.0 izmēģinājuma projektam.</p> <p>Papildus tehnoloģiskajiem ieguldījumiem, uzņēmumiem ir arī jārada skaidra uzņēmumu pārvaldība, lai pareizi pārvaldītu ar ierīcēm vai klientiem saistītos datus. Centrālais datu pārvaldības birojs kopā ar jēgpilnu datu domēnu struktūru varētu būt risinājums, lai noteiktu vispārējo datu stratēģiju un nodrošinātu uzņēmuma datu standartizāciju. Tas ietver pāreju uz profesionālu datu operāciju modeli, kur ir pieejami augstas kvalitātes dati un datu plūsmas tiek aktīvi pārvaldītas un nav bloķētas privātajās datu krātuvēs.</p> <p>Visbeidzot, datu pārvaldības birojam būtu jāveicina diskusija par optimālu datu arhitektūru. Viens no lielākajiem izaicinājumiem ir esošo galveno datu integrēšana ar sensoru un ierīču darījuma datiem, lai varētu veikt uzlabotu analīzi un reaģēt uz sarežģītiem notikumiem. Lielas datu tehnoloģijas, piemēram, datu ezeri, kas var arī apstrādāt nestrukturētus datus (piemēram, pamatojoties uz Hadoop) un ziņojumu apstrādes tehnoloģijas (piemēram, ZeroMQ vai Apache Kafka), varētu būt efektīvi risinājumi, lai pārvarētu esošos ierobežojumus, paātrinātu datu pieejamību un ierosinātu paradigmas maiņu tehnoloģijās.</p> <p>Uzņēmumi gadiem ilgi cenšas izvietot</p> |
|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                                                         |                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                         |                                                                                                                 | visaptverošas produktu dzīves cikla pārvaldības sistēmas.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Izveidojiet trešās puses tehnoloģiju pārdevēju portfeli | <p>(1) Stratēģiskie kontroles punkti</p> <p>(2) Piegādātāja portfelis</p> <p>(3) Datu pārvaldības struktūra</p> | <p>Īstenojot Industrijas 4.0 lietojumprogrammas, uzņēmumiem jāapsver, kuras procesa vērtību ķēdes daļas ir stratēģiskie "kontroles punkti", kur dati būtu jāveido un jāuztur iekšēji, lai nodrošinātu svarīgas konkurences priekšrocības. Uzņēmumiem ir pieejami arvien vairāk Industrijas 4.0 risinājumi. Pamatojoties uz esošajiem risinājumiem, uzņēmumi var iegūt īpašas kompetences un nodrošināt ātrāku risinājumu īstenošanu.</p> <p>Industrija 4.0 pāries no viena piegādātāja modeļa uz vairākiem integrētiem tehnoloģiju piegādātājiem. Lai veiksmīgi darbotos šajā jomā, pārdevējiem ir nepieciešams labi attīstīts potenciālo pārdevēju portfelis un spēcīga partneru vadības sistēma. Tas jāsāk ar izpratni par pareizo partneru atlasīšanu, tirgus veidošanu, prasmju veidošanu un zināšanām par pasaules līmeņa piegādātāju struktūru darbību.</p> <p>Vēl viens svarīgs elements ir pareizu datu pārvaldības struktūru nodrošināšana, strādājot ar oriģinālo iekārtu ražotājiem un programmatūras piegādātājiem. Pirms līguma parakstīšanas ražotājiem ir rūpīgi jāapsver, kādi dati viņiem ir nepieciešami un kādi tiks uzglabāti vai nodoti citiem.</p> |
| Veidot spēcīgu uzņēmuma komandu ar elastīgu domāšanu    | <p>(1) Vairojiet darbinieku spējas</p> <p>(2) Talantu veicināšana</p> <p>(3) Sadarbības saderība</p>            | <p>Lai patiesi izmantotu Industrijas 4.0 vērtību, uzņēmumiem ir jāpilnveido darbinieku spējas un jāveido īpaša savstarpēji funkcionējoša komanda, kas virza inovācijas, balstoties uz pārmaiņām un eksperimentiem atvērtu kultūru.</p> <p>Attiecībā uz tām procesa ķēdes daļām, kuras uzņēmums uzskata par pietiekami kritiskām, lai tās segtu iekšēji, ir jāizveido nepieciešamie talanti. Tas jo īpaši attiecas uz IT talantiem - no datu zinātniekiem, kas palīdz izstrādāt sarežģītus algoritmus, lai veiktu elastīgus programmatūras izstrādātājus, kuri iekšēji var veidot kritiskus jaunus lietojumus.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

|                                            |                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                            |                                                               | <p>Tajā pašā laikā nodaļās, kurās ir daudz IT talantu, ir jāsadarbojas ar citām – pārdošanas nodaļām. Industrija 4.0 prasa sadarbību starp operatīvajiem ekspertiem, IT ekspertiem un biznesa ekspertiem. Piemēram, viens uzņēmums ir izveidojis darba grupu, kurā ir pārstāvji no katras funkcionālās jomas (nodaļas) un regulāri tiekas, lai apspriestu jaunus un esošus Industrijas 4.0 projektus un resursus, kas nepieciešami to atbalstam. Darba grupai (piedaloties C-Suite) ir tiesības izmantot jebkuru procesu plūsmu, sistēmu un datu bāzi.</p>                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <p>Izmēģiniet mūsdienu biznesa modeļus</p> | <p>(1) Reāllaika dati</p> <p>(2) Biznesa modeļa inovācija</p> | <p>Ražotājiem arvien vairāk vajadzētu piekļūt reāllaika datiem no savas esošās bāzes, lai saviem klientiem piedāvātu jaunus pievienotās vērtības pakalpojumus. Jaunas sensoru un sakaru tehnoloģijas dod iespēju ražotājiem iegūt reālā laika datus no iekārtām to darbības laikā. Tas paver jaunas iespējas ražotājiem gan uzlabot esošos pēcpārdošanas pakalpojumus, gan pievienot jaunus pievienotās vērtības pakalpojumus, pamatojoties uz datiem no instalētās bāzes.</p> <p>Lai veiksmīgi pozicionētu sevi jaunajā, konkurētspējīgajā Industrijas 4.0 dinamikā, ražotājiem ir jāstiprina spēja ieviest jauninājumus/inovācijas biznesa modeļos. Neskatoties uz to, ka šis jautājums attiecas uz stratēģijas departamentu, eksperimentēšanas process ar jaunajiem biznesa modeļiem ir jāvada vadītājam.</p> |

## 10. VISPĀRĒJĀS KOMPETENCES

### 10.1. Pārmaiņu vadība

Arvien jaudīgāku tehnoloģiju pieejamība darbavietās rada priekšnosacījumus darbam tīklos, piemēram, datus var sūtīt jebkurā laikā no jebkuras vietas pasaulē. Tiek radīti jauni digitāli produkti, piemēram, 3D printeri, darba procesus kontrolē un uzrauga IT sistēmas. Digitalizācija rada jaunas komunikācijas formas, izmaiņas patērētāju uzvedībā un arī jaunu darba kultūru.

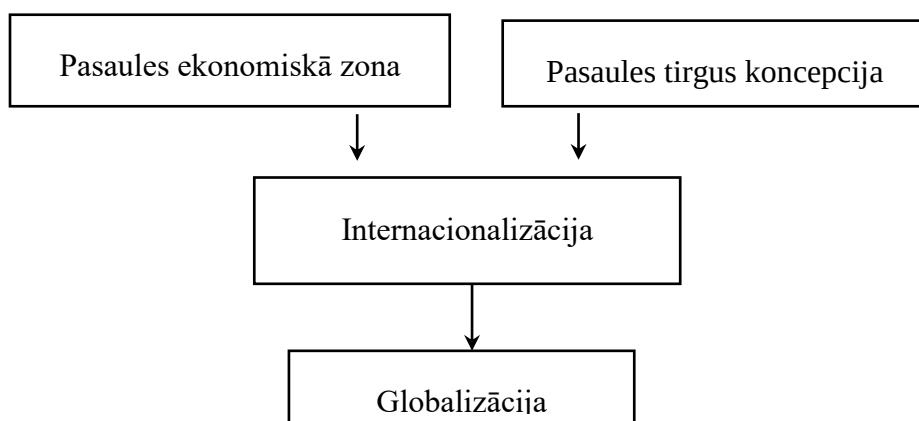
Saziņas formas, izmantojot tīklus, nodrošina ātru informācijas apmaiņu neierobežotās vietās, sniedzot iespēju vienlaikus sazināties ar daudziem cilvēkiem. Tas pats attiecas uz iekārtām uzņēmumos, tāpēc arvien vairāk ir nepieciešamas tehniskās pamatzināšanas IT jomā.

CNC speciālista zināšanām, prasmēm un kompetencēm ir jāatbilst globālajām, sociālajām un tehniskajām prasībām.

### Internacionalizācija

Internacionalizācija nozīmē:

- Uzņēmējdarbības aktivitāšu palielināšanās globālā līmenī;
- Atbildības jomu paplašināšanās, citās valstīs veicot uzņēmējdarbību;
- Programmatūras izstrāde un pielāgošana citām valodām un kultūrām.



CNC speciālistam uzņēmumu paplašināšanās globālā arēnā dos iespēju attīstīt starptautiskās prasmes, turpinot tālākizglītību dažādos veidos. Tāpēc svešvalodu apguve un starptautisko lēmumu pieņemšana ir mācību neatņemama sastāvdaļa. Papildus tehniskajai apmācībai ļoti svarīga ir svešvalodu apmācība un vispārējā izglītība. Tas speciālistam darba vidē dod iespēju veiksmīgi reaģēt uz starptautiskām tendencēm, kā arī veicina konkurētspēju nākotnē.

Globalizācija un tīklu veidošanās nozīmē, ka CNC speciālistam ir jāpārvar ne tikai valodas barjeras, bet arī kultūras atšķirības.

### Sociālās izmaiņas

Sociālās izmaiņas darbavietās nozīmē:

- Izmaiņas darba pasaulē;
- Darbs ar dažādu valstu un kultūru darbiniekiem.

Digitalizācijas rezultātā CNC speciālista atbildības jomas kļūst arvien sarežģītākas. Viņam ir jāspēj novērtēt savu darbību spējas un sekas. Pieaug spiediens uz atbildību. Realitāte saplūst ar virtuālo pasauli, jo tiešā saziņa notiek ar mašīnu vai mašīnu parku.

Papildus, globālās tirdzniecības ietekmē, CNC speciālistam ir jāsaskaras ar dažādām kultūrām un reliģijām.

Darba laiks un darba formas kļūst elastīgākas, kas nozīmē nepieciešamību plānot darba laiku un privātās dzīves laiku. Tehnoloģiju attīstības rezultātā fiziskā aktivitāte samazinās, tāpēc jāplāno arī fiziskās formas saglabāšanas aktivitātes.

### **Tehnoloģiskais progress**

Sakarā ar straujo tehnisko progresu ir CNC speciālistiem ir nepieciešamas uzņēmuma pamata procesu zināšanas. Mobilo ierīču un tehnoloģiju izmantošana darbā kļūst par normu. Samazināsies vienkāršie darbi, uzdevumi kļūs sarežģītāki.

CNC speciālistiem ir jābūt pamatzināšanām par programmatūru un kontroles procesiem. Datu drošība būs viens no nākotnes jautājumiem un tam ir jābūt iekļautam mācību saturā.

CNC speciālistam katru dienu ir jāiegūst jaunas zināšanas visās iesniegtajās formās, nepārtraukta mācīšanās ir absolūti nepieciešama.

Inovācijas darba vietā var uzlabot darba dzīvi, radot uzņēmumos ieteikumu nodošanas/veidošanas praksi.

## **10.2. Inovāciju vadība**

Jēdziens “inovāciju vadība” apraksta procesu optimizāciju, kas ir ārkārtīgi svarīga visām nozarēm „Industrijas 4.0” ieviešanā. Jo īpaši tādās ražošanas jomās kā CNC, inovāciju vadība ir uz nākotni orientēta vispārējo procesu vadība, kuru virza tehnoloģiskā attīstība.

Daudzi procesu vadības modeļi ir piejami, kurus var izmantot kā vadlīnijas, lai plānotu un īstenotu projektus vai procesus efektīvi, funkcionāli un mērķtiecīgi, novērtējot inovāciju pakāpi. Uz rezultātiem orientētais skatījums inovācijas vērtē no ekonomiskās ietekmes viedokļa.

Īpašs izaicinājums ir CNC ražošanā ieviest inovāciju vadību jeb Industriju 4.0. Tāpēc jāatbild uz šādu jautājumu: Kā ar inovatīviem procesiem CNC speciālista profesijā var īstenot Industriju 4.0? Faktori, kas uzskatāmi par inovāciju vadību, ietver:

Jaunās tehnoloģijas, piemēram, papildinošā ražošana, kas pazīstama arī kā 3D druka, 3D vizualizācija ražošanas procesos vai viedā automatizācija (programmēšana).

Simulāciju izmantošana, lai atklātu kļūdas ražošanas procesos to attīstības sākumposmā un nekavējoties tās novērstu.

Jaunu risinājumu izstrāde loģistikas procesiem, efektīvāk īstenojot procesus no idejas līdz pilnīgai izstrādei, tai skaitā, sagatavošana (zāle, materiāli, instrumenti), ražošana un izplatīšanas procesi.

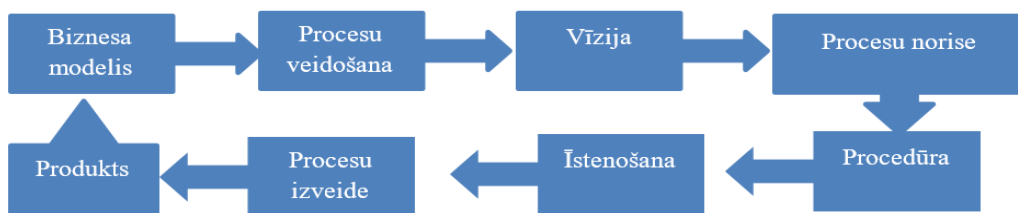
Pastāvīgi pieaugošā konkurences globalizācija pēdējās desmitgadēs ir pakāpeniski aizstāta ar inovāciju globalizāciju. Sakarā ar transformācijas procesiem uzņēmumos kā

digitalizācija, nozares konverģence un lielie dati, uzņēmumos mainās arī panākumu spēles noteikumi. Lai saglabātu ekonomisko izaugsmi, uzņēmumos tiek stimulētas inovācijas. Piemēram, īsāki produktu dzīves cikli nodrošina konkurences priekšrocības u.tml.

### Inovāciju procesu attīstība

Veiksmīgu inovāciju procesu attīstību nosaka vairāki faktori. Inovācijas stratēģija ir izšķiroša uzņēmuma turpmākajai dzīvotspējai un satur tādus būtiskus elementus kā mērķi, aktivitātes konkurences vidē. Nākotnē CNC speciālisti var sagaidīt, ka spēs sniegt būtisku ieguldījumu inovācijas procesu attīstībā.

Piemērs vizualizētam inovāciju ciklam:



10.1. attēls. Inovāciju vadība

Pastāv vairāki modeļi inovācijas stratēģijas izveidei. Neskatoties uz to, inovāciju stratēģijai ir jābalstās uz šādām jomām:

#### 1. Biznesa modeļa analīze

Šis pirmais solis ļauj izprast esošo uzņēmējdarbības modeli. Veiksmes faktori un pārvaldības analīze kalpo par pamatu nākamajiem soļiem. Šis jautājums, galvenokārt, ir uzņēmuma vadības atbildība.

#### 2. Procesu veidošana

Pamatojoties uz uzņēmējdarbības modeļa un esošo klientu profilu analīzi, var veidot jeb konstruēt rezultātu, atbalstu un vadības procesus. Mērķi ir: tirgus segmentu veidošana, klientu izpratne, orientēšanās uz pakalpojumu procesiem. Mērķis ir radīt visu procesu arhitektūru. Šajā otrajā posmā CNC speciālists var sniegt lielu atbalstu sadarbībā ar vadību, pateicoties viņa pieredzei apstrādes procesu jomā.

#### 3. Vīzija

Procesu vīzija tiek veidota, balstoties uz uzņēmuma vajadzībām. Šajā posmā tiek veidots nākotnes stratēģijas pamats. Galvenie mērķi ir: neizmantoto potenciālu attīstība, potenciālo partneru integrācija, uzņēmējdarbības virziena noteikšana.

#### 4. Procesu izpilde

Procesu pakalpojumu attīstība ietver gan klientu procesu salīdzināšanu, gan ar atbalsta, vadības un partneru procesu salīdzināšanu. Ar konteksta diagrammu un statistikas palīdzību tiek sniegta detalizēta līdz šim veikto pakalpojumu apraksts, ar mērķi noteikt procesu pilnveides iespējas.



## Procedūra

Procesu pakalpojumu attīstība ietver gan klientu procesu salīdzināšanu, gan ar atbalsta, vadības un partneru procesu salīdzināšanu. Ar konteksta diagrammu un statistikas palīdzību tiek sniegts detalizēts līdz šim veikto pakalpojumu apraksts, ar mērķi izveidot procesu pilnveides iespējas.

## Īstenošana

Kritiskie panākumu faktori ir iegūti visu iepriekšējo posmu rezultātā. Mērķis ir saskaņot procesu vadību ar uzņēmējdarbības modeli, ņemot vērā klientu prasības.

## Procesu izveide

Visi iepriekšējie rezultāti ir apkopoti vienkopos, sniedzot visaptverošu pārskatu par pienākumiem, grafiku un termiņiem. Procesa plāns, kas izstrādāts ar CNC speciālista palīdzību, tiks integrēts uzņēmuma procesos.

Šādu inovācijas procesu īstenošana, protams, ir laikietilpīga un dārga. Tomēr šie jauninājumi ir nepieciešami uzņēmējdarbības pastāvēšanai nākotnē.

## 10.3. Uzņēmējdarbības prasmju attīstība

Nozīmīgākās uzņēmējdarbības kompetences ir:

- **zināšanas** (biznesa ētikas izpratne, ražošana, vadība, mārketingi);
- **prasmes** (pašiniciatīva, darbs komandā, riska novērtēšana, pārrunas un reprezentācija.);
- **personiskās spējas** (iniciatīva, aktivitāte, neatkarība, izturība, radošums, inovācija, motivācija).

### Ko nozīmē uzņēmējdarbība?

Pieaug izpratne, ka var apgūt uzņēmējdarbības prasmes, zināšanas un attieksmi, kas savukārt var izraisīt uzņēmējdarbības prātu un kultūras plašu attīstību, dodot labumu indivīdiem un sabiedrībai kopumā. Uzņēmējdarbība kā kompetence attiecas uz visām dzīves jomām. Tas ļauj indivīdiem uzlabot viņu personīgo attīstību, aktīvi veicināt sociālo attīstību, iekļūt darba tirgū kā darbiniekam vai pašnodarbinātai personai, kā arī uzsākt vai paplašināt uzņēmumus, kuriem var būt kultūras, sociālais vai komerciālais motīvs.

Eiropas Parlamenta un Padomes 2006. gada 18. decembra Ieteikums par pamatprasmēm mūžizglītībā identificēja iniciatīvu un uzņēmējdarbības spēju kā vienu no 8 pamatprasmēm, kas vajadzīgas zināšanās-balstītai sabiedrībai. Šeit kompetence definēta kā zināšanu, prasmju un attieksmju kombinācija, kas atbilst kontekstam. Pamatprasmes ir tās, kuras visiem indivīdiem ir nepieciešamas personīgai izaugsmei un attīstībai, aktīvai pilsoniskai līdzdalībai, sociālai iekļaušanai un nodarbinātībai.

Uzņēmējiem ir galvenā loma Eiropas ekonomikas konkurētspējā. Saskaņā ar Eiropas Komisijas datiem, vairāk nekā 99 procenti no visiem Eiropas uzņēmumiem ir mazie un

vidējie uzņēmumi. Tie nodrošina divas trešdaļas darbavietas privātā sektorā un galvenokārt ir atbildīgi par ekonomikas izaugsmi Eiropā.

Uzņēmējdarbības prasme ir prasme, kuru var iemācīties. Uzņēmējdarbības izglītība sagatavo cilvēkus par atbildīgiem un uzņēmīgiem cilvēkiem. Tas palīdz cilvēkiem attīstīt prasmes, zināšanas un attieksmes, kas ir nepieciešamas, lai sasniegtu pašu izvirzītos mērķus. Pētījumi apliecina, ka cilvēki ar uzņēmējdarbības izglītību ir vairāk nodarbināti.

Uzņēmējdarbība kā kompetence ir definēta kā spēja darboties atbilstoši iespējām un idejām, lai radītu vērtību citiem. Radītā vērtība var būt sociāla, kultūras vai finansiāla. Uzņēmējdarbības kompetence nozīmē iniciatīvu un uzņēmējdarbību. Kompetences ir definētas kā apvienotas un integrētas zināšanu, prasmju un attieksmju sastāvdaļas. Tā kā šīs kompetences ir mainīgas, mācāmas un sasniedzamas, izmantojot pieredzi, mācības vai koučingu.

Uzņēmējdarbības kompetence arvien vairāk tiek atzīta par dzīves kompetenci, kas ir saistīta ar personīgo attīstību un piepildījumu, kā arī darbavietas atrašanu un attīstību tajā, kā arī jaunu uzņēmumu uzsākšanu, sākot no kopienas kampaņām, sociālajiem uzņēmumiem un jauniem uzņēmumiem.

Izglītojamiem ir jāpiemīt tādām uzņēmējdarbības kompetencēm kā:

- problēmu risināšana,
- komandu veidošana,
- spēja identificēt iespējas,
- iniciatīva,
- pašmotivācija;
- komunikācija;
- pielāgošanās spēja;
- mācīšanās spējas utt.

### **Uzņēmējdarbības izglītība**

Vai par uzņēmējiem piedzimst, vai par tādiem var kļūt?

Uz šo jautājumu nav viennozīmīgi pareizas atbildes. Nenoliedzami, iedzimtam talantam ir liela nozīme. Pēc zinātnieku veiktajiem pētījumiem, tikai 10% cilvēku jau piedzimst ar uzņēmēja talantu. Vai ir iespējams iemācīties visas uzņēmējam nepieciešamās zināšanas?

Protams, mūsu intelektam un zināšanu līmenim ir ļoti liela nozīme, tomēr dzīve reizēm pierāda pretējo – par veiksmīgu uzņēmēju kļūst bijušais nerātnais klasesbiedrs, kuram neveicās mācībās, bet talantīgajam teicamniekam karjera apstājas pie nelielas nodaļas vadītāja mazpazīstamā uzņēmumā. Lai kļūtu par veiksmīgu uzņēmēju, reizēm pietiek ar entuziasmu uzsākt ko jaunu un gatavību nedaudz riskēt. Pieredze un zināšanas rodas pēc tam. Vislabāk jebkuru lietu ikviens iemācās, to darot.

Uzņēmējdarbības izglītība aptver visas izglītības aktivitātes, kuru „mērķis ir sagatavot cilvēkus būt atbildīgiem, būt uzņēmīgiem, kuriem ir nepieciešamās prasmes, zināšanas un attieksmes, lai sagatavotu viņus mērķiem, ko viņi izvirzījuši, lai dzīvotu pilnvērtīgu dzīvi.”

Uzņēmējdarbības izglītību nedrīkst sajaukt ar vispārējiem uzņēmējdarbības vai ekonomikas studijām, jo tās mērķis ir veicināt radošumu, inovāciju un pašnodarbinātību. Uzņēmējdarbības izglītība var būt īpaši efektīva profesionālajā izglītībā, jo izglītojamie ir tuvu darba dzīves uzsākšanai, un pašnodarbinātība viņiem var būt vērtīga iespēja. Tomēr uzņēmējdarbības izglītības priekšrocības neaprobežojas tikai ar jaunu uzņēmumu dibināšanu, inovatīvām darbībām un jaunām darbavietām. Uzņēmējdarbība ir kompetence priekš ikviena, palīdzot jauniešiem būt radošākiem un pašpārliecinātākiem par to, ko viņi apņemas.

Uzņēmējkompetence ir cilvēka personisko dotību un īpašību kopums, zināšanas un prasmes, iespējas, potences, gatavība darbībai.

Uzņēmīgums ir viena no būtiskākajām cilvēka īpašībām, kas nepieciešama jebkurā dzīves situācijā, it īpaši uzņēmējdarbībā.

Uzņēmējprasmes ir cilvēka prasmes veikt uzņēmējdarbību –uzņēmējkompetences sastāvdaļa.

Uzņēmējdarbības izglītība ir uzņēmējkompetences attīstības process.

Uzņēmējdarbība ir cilvēka spēju izmantošana darbībā<sup>3</sup>.

Jāņem vērā, ka zināšanas un prasmes uzņēmējdarbības jomā ir nepieciešamas ikvienam jauniešim, ne tikai tiem, kuri vēlas uzsākt uzņēmējdarbību, jo tās var palīdzēt ikvienam jauniešim būt radošākam, apņēmīgākam, mērķtiecīgākam un iegūt augstāku pašapziņu.

Jau 2011. gadā, kad tika veikts pētījums, Leonardo da Vinči projekta UNIKOM ietvaros, tika noteiktas kompetences, kas jāattīsta esošajiem un topošajiem uzņēmējiem, lai tie būtu starptautiski veiksmīgi. Pētījums sastāvēja no diviem līmeņiem – aptauja un intervijas bija galvenās datu ieguves metodes. Ar aptaujas palīdzību tika apkopoti 149 uzņēmēju viedokļi, un 5 starptautiski veiksmīgi uzņēmēji sniedza intervijas, kuru rezultātā tika izveidots Latvijai tipiskais kompetenču modelis, kurā atspoguļotas kompetences, kuras nepieciešams attīstīt. Šīs kompetences ir:

- Analītiskās spējas
- Deleģēšana
- Spēja pieņemt lēmumu
- Vēlme eksperimentēt
- Vispusīgas zināšanas
- Uzticamība
- Spēja iedvesmot
- Saskarsmes spējas
- Sadarbības spējas
- Tirgus pārzināšana
- Atvērtība izmaiņām
- Optimisms
- Plānošanas spējas
- Mērķorientēta vadība

Pieaugot jauniešu bezdarbam, ir būtiski jauniešos attīstīt tās prasmes, kompetences un zināšanas, kas nepieciešamas uzņēmējdarbības uzsākšanai un tās veiksmīgai attīstīšanai. Veicinot pašnodarbinātību jauniešu vidū, var ievērojami samazināt viņu bezdarba līmeni.

Lai arī profesionālo studiju programmu īpatsvars Latvijā arvien pieaug un to sastāvā kā obligāta komponente ir prakse, taču tās kvalitāti un nozīmi tālākas uzņēmējdarbības uzsākšanai ir grūti novērtēt. Tiek saņemti signāli no uzņēmējiem, ka pastāv plaisa starp universitātē iegūtajām zināšanām un zināšanām, ko pieprasa darba tirgus. Pieredze liecina, ka pat studējošie, kuri absolvējuši uzņēmējdarbības vadības vai tam pielīdzināmas studiju programmas, nav gatavi uzsākt uzņēmējdarbību. Tādēļ, lai studējošajiem attīstītu uzņēmējdarbības kompetences, ir jāpielieto netradicionālas pieejas, studiju metodes, kas rada piemērotu vidi uzņēmējdarbības attīstīšanai studentiem. Latvijā šī joma vēl ir maz attīstīta. Pēdējo gadu laikā vairākās augstskolās ir nodibināti studentu biznesa inkubatori, bet to kopskaits ir neliels un tiem netiek piešķirts finansējums no valsts un nereti arī no universitātēm. Pārsvārā tie darbojas uz aktīvu cilvēku pašiniciatīvu.

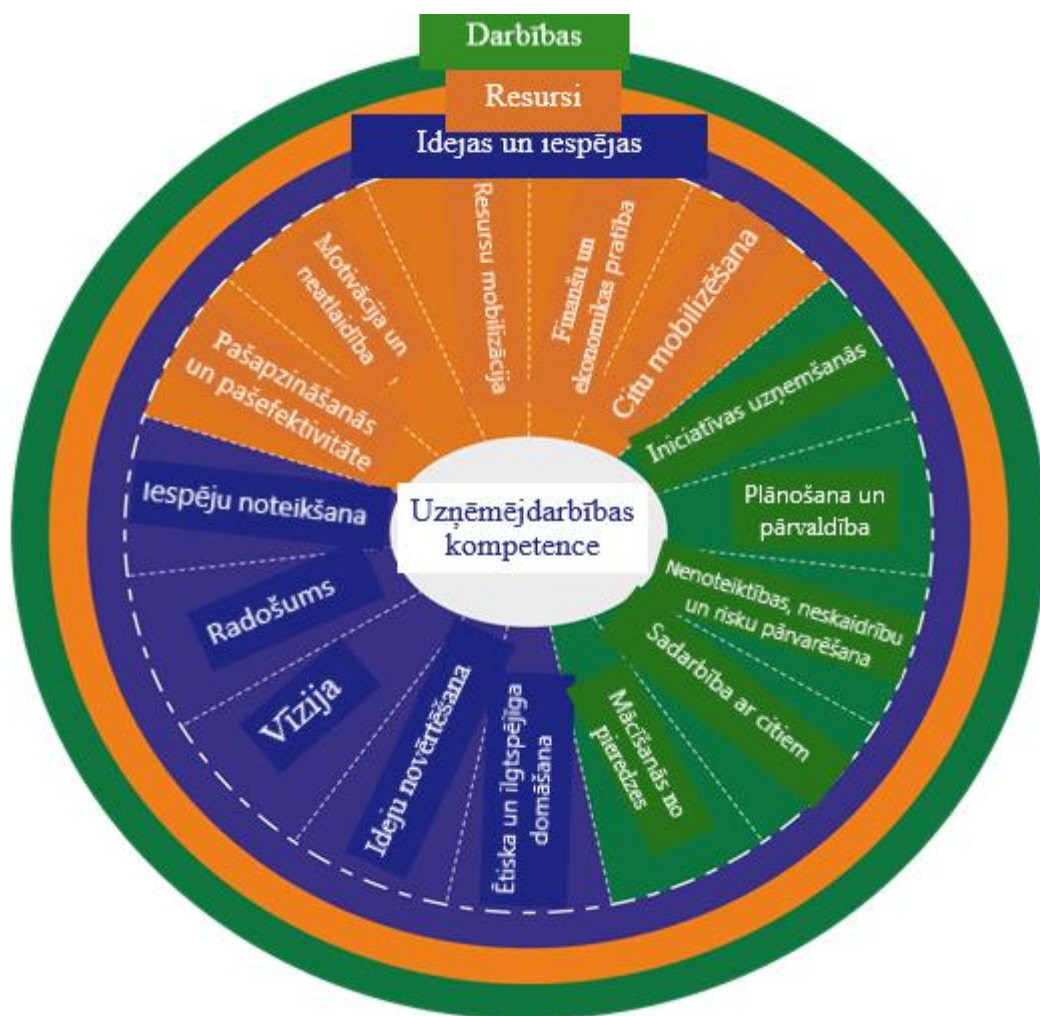
**Galvenās zināšanas un prasmes, kuras jāattīsta jauniešos ir:**

| Zināšanas                | Prasmes                | Attieksmes          |
|--------------------------|------------------------|---------------------|
| orientēšanās likumdošanā | darbs grupās           | biznesa ētika       |
| darba spēka vadība/      | analītiskās spriešanas | godīga tirdzniecība |

|                                           |                                                |                                               |
|-------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| motivēšana                                | spējas                                         |                                               |
| starpdisciplināras zināšanas              | kreatīvā, radošā domāšana                      | proaktivitāte                                 |
| stratēģiskā ilgtermiņa plānošana          | efektīvas komunikēšanas, sarunu vešanas spējas | autonoms darbs un uz sadarbību vērsta darbība |
| jaunu produktu attīstība                  | riska uzņemšanās/ nebaidīšanās no riska        | pašvirzība                                    |
| jaunu tehnoloģiju radīšana, pielietošana; | līderība                                       | elastīgums                                    |
| tirgu izpēte, apguve                      | prezentēšanas prasmes                          | kultūru atšķirību respektēšana;               |
| svešvalodas                               | spēja reaģēt dažādās situācijās                | nopietns darbs                                |

Studentiem jādod iespēja studiju laikā izmēģināt veidot savus spēkus uzņēmējdarbībā, veidot daudzpusīgas komandas, lai liekot kopā zināšanas un prasmes, radītu pamatu veiksmīgai uzņēmējdarbībai. Lai to sekmīgi īstenotu, ir nepieciešama attieksmes maiņa no akadēmiskā personāla puses, jābūt arī profesionāliem uzņēmējiem apmācītāju vidū. Aicinot veiksmīgu uzņēmējus uz vieslekcijām, var iedvesmot studentus uzsākt savu uzņēmējdarbību. Augstskolām jāpiesaista mentori, kuri konsultētu studentus. Kā vienkāršākus, bet ne mazāk efektīvus paņēmienus var minēt – ekskursijas uz uzņēmumiem, intervijas ar uzņēmējiem, prakses uzņēmumos.

Kopīgā pētniecības centra ziņojumā "EntreComp: The Entrepreneurship Competence Framework" (Bacigalupo, M., Kamyliis, P., Punie, Y., Van den Brande, G. (2016). Luxembourg: Publication Office of the European Union) tiek definētas trīs uzņēmējdarbības kompetences jomas un 15 kompetences. EntreComp ritenis, kā parādīts attēlā, sniedz pārskatu par dažādām, tomēr savstarpēji saistītām kompetencēm.



10.2. att. Uzņēmējkompetences

EntreComp ritenis sastāv no 3 kompetences jomām: Idejām un iespējām, Resursiem un Darbības. Šīs trīs kompetences jomas tieši atspoguļo uzņēmējdarbības definīciju kā spēju pārvērst idejas darbībā, kas rada vērtību kādam citam, nevis sev.

"Idejas un iespējas", "Resursi" un "Darbības" ir 3 jomas, kuras uzsver uzņēmējdarbības kompetenci kā spēju pārveidot idejas un iespējas darbībā, mobilizējot resursus. Šie resursi var būt personīgi (proti, pašapzināšanās un pašefektivitāte, motivācija un neatlaidība), materiāli (piemēram, ražošanas līdzekļi un finanšu resursi) vai nemateriāli (piemēram, specifiskas zināšanas, prasmes un attieksmes).

## IDEJAS UN IESPĒJAS

| Kompetence                     | Norādījumi                                                                       | Apraksts                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Iespēju noteikšana             | Izmantojiet savu iztēli un spējas, lai identificētu iespējas, vērtības radīšanai | Identificēt un izmantot iespējas, lai radītu vērtības, apzinoties sociālo, kultūras un ekonomikas vidi<br><br>Identificēt vajadzības un izaicinājumus<br><br>Veidot jaunus veidojumus un apvienot izklaidētos vides elementus, lai radītu iespējas radīt vērtības               |
| Radošums                       | Izstrādājiēt radošas un noderīgas idejas                                         | Izstrādāt vairākas idejas un iespējas, lai radītu vērtības, ieskaitot labākus risinājumus esošajiem un jaunajiem izaicinājumiem<br><br>Izpētīt un izmēģināt inovatīvas pieejas<br><br>Kombinējot zināšanas un resursus, lai iegūtu vērtīgu efektu                               |
| Vīzija                         | Strādājiēt uz jūsu nākotnes vīziju                                               | Iztēloties nākotni<br><br>Izstrādāt vīziju kā idejas pārvērst rīcībā<br><br>Vizualizēt nākotnes scenārijus, lai palīdzētu vadīt rīcību                                                                                                                                          |
| Ideju novērtēšana              | Īstenojiēt vairākumu ideju un iespēju                                            | Izlemiet, kāda vērtība ir sociālajā, kultūras un ekonomiskajā izteiksmē<br><br>Apzinieties idejas potenciālu, lai radītu vērtību un identificētu piemērotus veidus, kā to vislabāk izmantot                                                                                     |
| Ētiska un ilgtspējīga domāšana | Novērtējiēt sekas un ideju ietekmi, iespējas un darbības                         | Novērtējiēt ideju sekas, kas veicina uzņēmējdarbības vērtību un ietekmi uz mērķa sabiedrību, tirgu, sabiedrību un vidi<br><br>Izvērtējiēt, cik ir ilgtspējīgi un ilgtermiņa sociālie, kultūras un ekonomikas mērķi un izvēlieties rīcības virzienu<br><br>Rīkojieties atbildīgi |

## RESURSI

| Kompetence                        | Norādījumi                                      | Apraksts                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Pašapzināšanās un pašefektivitāte | Ticēt sev un turpiniet attīstīties              | <p>Pārdomājiet savas vajadzības un vēlmes īsā, vidējā un ilgā termiņā</p> <p>Nosakiet un novērtējiet savas kā indivīda un grupas stiprās un vājās puses</p> <p>Ticiet savai spējai ietekmēt notikumu gaitu, neskatoties uz nenoteiktību vai neveiksmēm</p>                                                             |
| Motivācija un neatlaidība         | Paliec fokusēts un nepadodies                   | <p>Esiet gatavs pārvērst idejas darbībā un sasniegt rezultātus</p> <p>Esi gatavs būt pacietīgs un turpināt mēģināt sasniegt savus ilgtermiņa individuālos vai grupas mērķus</p> <p>Esiet elastīgi krīzes situācijās, neveiksmēs un pagaidu neizdošanās</p>                                                             |
| Resursu mobilizācija              | Apkopojiet un pārvaldiet nepieciešamos resursus | <p>Gūstiet un pārvaldiet materiālos, nemateriālos un digitālos resursus, kas vajadzīgi, lai idejas pārvērstu darbībā</p> <p>Maksimāli izmantojiet ierobežotos resursus</p> <p>Iegūstiet un pārvaldiet prasmes, kas nepieciešamas uzņēmējdarbībā, ieskaitot tehniskās, juridiskās, nodokļu un digitālās kompetences</p> |
| Finanšu ekonomiskā pratība        | Attīstiet finanšu un ekonomisko kompetenci      | <p>Novērtējiet izmaksas idejas pārvēršanai vērtību radošā darbībā</p> <p>Plānojiet, ieviesiet un novērtējiet finanšu lēmumus laika gaitā</p> <p>Pārvaldiet finansējumu, lai pārliecinātos, ka jūsu vērtību radošā darbība var ilgt ilgstošu laiku</p>                                                                  |
| Citu mobilizēšana                 | Iedvesmojiet, aiciniet citus pievienoties       | <p>Iedvesmojiet un ieinteresējiet attiecīgās iesaistītās puses</p> <p>Iegūstiet atbalstu, lai sasniegtu vērtīgus rezultātus</p> <p>Demonstrējiet efektīvu saziņu, pārliecināšanu, pārrunu prasmi un līderību</p>                                                                                                       |



## DARBĪBAS

| Kompetence                                      | Norādījumi                                                             | Apraksts                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Iniciatīvas uzņemšanās                          | Virzīties uz to                                                        | <p>Uzsāciet procesus, kas rada vērtību</p> <p>Uzveiciet izaicinājumus</p> <p>Rīkojaties un strādājiet patstāvīgi, lai sasniegtu mērķus un veiktu plānotos uzdevumus</p>                                                                                                                                                                                                    |
| Plānošana un pārvaldība                         | Nosakiet, prioritātes, organizējiet un izvērtējiet                     | <p>Nosakiet ilgtermiņa, vidējā termiņa un īstermiņa mērķus</p> <p>Definējiet prioritātes un rīcības plānu</p> <p>Pielāgojaties neparedzētām izmaiņām</p>                                                                                                                                                                                                                   |
| Nenoteiktības, neskaidrību un risku pārvarēšana | Pieņemiet lēmumus, kuri saistīti ar nenoteiktību, neskaidrību un risku | <p>Pieņemiet lēmumus, ja šā lēmuma rezultāts nav skaidrs, ja pieejamā informācija ir daļēja vai neskaidra vai ja rodas neparedzētu rezultātu risks</p> <p>Vērtību radīšanas procesā iekļaujiet strukturētus pieejas ideju un prototipu testēšanai agrīnā stadijā, lai samazinātu risku, ka tie neizdodas</p> <p>Ātri un elastīgi reaģējiet strauji mainīgās situācijās</p> |
| Sadarbība ar citiem                             | Sadarbojieties komandā, tīklojiet                                      | <p>Strādājiet kopā un sadarboties ar citiem, lai izstrādātu idejas un pārvērstu tos darbībā</p> <p>Tīklojiet</p> <p>Atrisīniet konfliktus un, ja nepieciešams, pozitīvi uztverat konkurenci</p>                                                                                                                                                                            |
| Mācīšanās no pieredzes                          | Mācieties darot                                                        | <p>Izmantojiet jebkuru iniciatīvu kā mācību iespēju vērtības radīšanai</p> <p>Mācieties kopā ar citiem, tostarp vienaudžiem un mentoriem</p> <p>Novērtējiet un mācieties gan no panākumiem, gan no neveiksmēm (savām un citu cilvēku)</p>                                                                                                                                  |

Kāpēc izglītojamiem ir jāapgūst uzņēmējdarbības prasmes?

Cilvēkiem ir vajadzīgas domāšana, prasmes un zināšanas, lai radītu radošas idejas, un uzņēmējdarbības iniciatīva, lai šīs idejas darbotos. Turklāt darba devēji meklē absolventus un darbiniekus, kuriem ir piemīt problēmu risināšana, elastīgums un pielāgošanās spējas, iniciatīva, pašapziņa un elastīguma prasmes. Ja jaunieši vēlas būt veiksmīgi globālā darba tirgū, lielāka uzmanība jāpievērš uzņēmējdarbības izglītībai. Uzņēmējdarbības izglītība ne tikai ļauj jauniešiem uzsākt veiksmīgu uzņēmējdarbību, bet arī kļūst par vērtīgu Eiropas ekonomikas dalībnieku.

Izglītojamie, kuri apgūst uzņēmējdarbības izglītību, visticamāk sāks savu uzņēmējdarbību, un viņu uzņēmumi būs inovatīvi un veiksmīgāki nekā tie, kurus vada cilvēki, kuriem nav uzņēmējdarbības izglītības. Uzņēmējdarbības izglītības absolventiem ir zemāks risks, ka viņi būs bezdarbnieki, un tie biežāk strādā pastāvīgi. Salīdzinot ar viņu vienaudžiem, viņiem ir labākas darbavietas un vairāk naudas.

Uzņēmējdarbības izglītības ietekme uz izglītojamiem:

- Palīdz sasniegt karjeras mērķus;
- Palielina nodarbinātības iespējas;
- Veicina uzņēmējdarbības prasmju un attieksmju uzlabošanu;
- Noved pie uzvedības izmaiņām, kas vērstas uz lielākiem uzņēmējdarbības nodomiem;
- Uzlabo nodomus uzsākt uzņēmējdarbību.

Uzņēmējdarbības izglītībai ir jāizmanto aktīvās mācību metodes, kas novirza izglītojamo izglītības procesa centrā un ļauj viņiem uzņemties atbildību par savu mācīšanos, eksperimentēt un izzināt sevi. Ir pierādīts, ka šādas metodes bagātina mācību pieredzi un sniedz izglītojamiem pozitīvus ieguvumus, uzlabojot viņu motivāciju un pozitīvi ietekmējot viņu iesaistīšanos mācīšanās un ilgtermiņa sasniegumos. Tādējādi skolotāji vadīs skolēnus mācību procesā, nevis, kā tradicionālās metodes, sniedz zināšanas.

**Uzņēmējdarbības mācību metodes** ietver:

- formālās lekcijas;
- vieslektoros;
- gadījuma izpēti;
- uzņēmējdarbības plānu izveidi;
- uzņēmējdarbības simulāciju;
- lomu spēles;
- grupu diskusijas un grupu projektus;
- individuālas prezentācijas un individuālus rakstveida ziņojumus;
- prakses;
- individuālu un grupu koučingu.

Daudzveidīgi resursi jāizmanto, lai veidotu aktivitātes, kas paredzētas izglītojamiem, kas ir tikpat patiesi dzīvi, cik vien iespējams, iekļaujot ārējo pasauli skolā. Tas ietver, piemēram, izveidot un pārvaldīt uzņēmējdarbībai līdzīgu projektu, organizēt mācību braucienus uz uzņēmumiem un labdarības organizācijām, vai uzņēmēji apmeklē skolas.

### Sadarbības mācīšanās

Piecas galvenās sadarbības mācīšanās sastāvdaļas ir tieši saistītas ar starppersonu kompetenču attīstību, tās tiek uzskatītas par vispārējām kompetencēm kursu programmās. Piecas sastāvdaļas ir šādas:

**1. Sadarbība.** Izglītojamie ir saistīti viens ar otru, lai veiktu uzdevumu. Ja katrs no viņiem sasniedz individuālos mērķus, tiek sasniegts uzdevuma galīgais mērķis. Izglītojamie ir savstarpēji atkarīgi. Tādējādi viena izglītojamā panākumi ir atkarīgi no visas komandas panākumiem. Rezultātā izglītojamie savstarpēji atbalsta viens otru un dala mērķus, resursus un sasniegumus.

**2. Individuālā atbildība.** Izglītojamie ir individuāli atbildīgi par viņiem uzticētā uzdevuma daļu. Tajā pašā laikā viņi tomēr ir atbildīgi par grupas gala rezultātiem, kas papildina sadarbības jēdzienu.

**3. Komunikācija.** Komandas locekļiem ir jāstrādā kopā un jāmacās no klasesbiedriem, ja viņi vēlas sasniegt no viņiem gaidītos mērķus. Tas prasa informācijas un materiālu apmaiņu, palīdzot viens otram, apspriest dažādus viedokļus, paskaidrot piešķirto uzdevumu citiem, sniegt atsauksmes un visu, kas saistīts ar saziņu, lai sasniegtu vislabākās kvalitātes rezultātus.

**4. Komandas darbs.** Izglītojamie mācās kopīgi risināt problēmas, attīstīt vadības prasmes, komunikācijas prasmes, uzticēšanos, lēmumu pieņemšanu, konfliktu risināšanu un visu veidu sociālās prasmes, kas nepieciešamas, lai grupa labi funkcionētu.

**5. Grupas pašnovērtējums.** Komandām ir jābūt iespējai novērtēt mācību procesu, kuru grupa ir īstenojusi, un analizēt, kuras darbības ir noderīgas un kuras nav. Šī novērtējuma rezultāts sniedz vērtīgu informāciju, nosakot, kādas izmaiņas ir jāveic, lai nākotnē uzlabotu savu darbu.

## 10.4. Koučings

### Koučinga definīcija

Sākotnēji termins „koučings” nozīmēja īpašu psiholoģisko treniņu formu sportistiem, kuri bija orientēti uz izciliem rezultātiem (golfā, tenisā). Par koučinga pamatlicēju tiek uzskatīts Džons Vitmors. Laika gaitā koučingu, kā efektīvu metodi augstu mērķu sasniegšanā, sāka pieprasīt biznesmeņi, politiķi un sabiedriskie darbinieki. Koučings sāka ieņemt svarīgu lomu biznesā un ilgu laiku bija tikai augstākā līmeņa vadītāju privilēģija. Augsti stāvoši vadītāji meklēja koučus, kuri palīdzētu tiem attīstīties gan

profesionālajā, gan arī personiskajā jomā. Viņiem tas izdevās. Drīzumā par koučinga efektivitāti kļuva zināms visā pasaulē. Šī tehnoloģija sāka palīdzēt cilvēkiem attīstīties, apgūt jaunas iemaņas un sasniegt lielus panākumus visās dzīves jomās. Šodien koučingu izmanto ne tikai biznesā, bet arī personīgā dzīvē, karjeras veidošanā, pedagoģijā, sportā, u.c. Koučings neatkarīgi no sfēras, kur to izmanto, ir māksla ietekmēt cilvēka rezultativitātes paaugstināšanu, apmācību un attīstību.

Mūsdienās iemesls koučinga popularitātei pasaulē ir konkurences pastiprināšanās un sapratne, ka ikdienā cilvēks izmanto mazu daļu no savām fantastiskajām iespējām. Tāredzīgi vadītāji apzinās, ka galvenais organizācijas resurss ir cilvēks un tā vēl līdz galam neatklātais potenciāls. (Avots: [http://www.nlpcentrs.lv/lv/kouchings/kas\\_ir\\_kouchings](http://www.nlpcentrs.lv/lv/kouchings/kas_ir_kouchings))

Koučings, paskaidrojot to īsi un konkrēti, palīdz cilvēkiem veidot un paplašināt savas dzīves vīzijas, veidot pārliecību par sevi, atraisīt potenciālu, attīstīt spējas un spert praktiskus, konkrētus soļus, lai sasniegtu savus mērķus. Koučings ir metode, kas palīdz indivīdiem un grupām virzīties no vietas, kur viņi ir, uz turieni, kur vēlas būt (G.R.Collins, 2002).

**Koučinga mērķis** – palīdzēt klientam izveidot uzticēšanās pilnas attiecības pašam ar sevi, tiekties uz augstiem rezultātiem, rast sevī spēkus un nepadoties iekšējam kritiķim, bet ļaut realizēt vislieliskākās iekšējā sapņotāja idejas.

**Koučs** – speciālists, kurš palīdz cilvēkam atrast viņa personiskos mērķu sasniegšanas ceļus un paņēmienus, attīstīt nepieciešamās iemaņas un prasmes, palīdz cilvēkam noticēt saviem spēkiem, paļauties uz sevi. Labs koučs akceptē domu, ka katram cilvēkam ir savs, individuāls ceļš uz labvēlīgām pārmaiņām, labiem rezultātiem, tāpēc neuzspiež savus padomus, gatavas receptes jautājuma risināšanā, bet veicina klientu meklēt savu – vispiemērotāko risināšanas ceļu. Koučs ir eksperts jautājumu uzdošanas jomā, kuri ievieš lielāku skaidrību, atmodina apziņu un vēlmi darboties. Galvenais kouča uzdevums – uzdodot jautājumus, pareizi virzot sarunu ar klientu, panākt rezultativitāti un labvēlīgas pārmaiņas. Vienīgais, kurš var spriest par kouča kompetenci ir viņa klients. Sarunas tēmu vienmēr nosaka klients. Koučs nemāca, bet veicina klienta iekšējā potenciāla aktivizēšanu, palīdz atklāt jaunus ceļus dažādu jautājumu risināšanā. Labs koučs palīdz klientam mācīties pašam no savas pieredzes, nevis māca un dod padomus.

Kam tas paredzēts? Ikviens, kurš vēlas aktivizēt kādu savu darbības jomu. Koučings paredzēts cilvēkiem, kas gatavi domāt un rast atbildes sevī. Koučings nav paredzēts tiem, kas ar visu ir pilnībā apmierināti un uzskata, ka viņu dzīvē nav vietas uzlabojumiem, kā arī tiem, kas ir pārliecināti, ka viss ir slikti, ka pilnīgi visu nosaka kādi augstāki spēki (Avots: [http://www.nlpcentrs.lv/lv/kouchings/kas\\_ir\\_kouchings](http://www.nlpcentrs.lv/lv/kouchings/kas_ir_kouchings))

Profesionāls koučings – koučinga definīcija (ICF formulējums) – tā ir nepārtraukta sadarbība, kura palīdz klientam sasniegt reālus rezultātus savā personīgajā un profesionālajā dzīvē. Ar koučinga procesa starpniecību klients padziļina savas zināšanas, uzlabo savu lietderības koeficientu un paaugstina savas dzīves kvalitāti.

**Koučinga veidi** – koučingu var iedalīt trīs galvenajos virzienos (pēc izmantošanas nolūka):

**Biznesa-koučings.** Tas ir kopīgs darbs ar klientu pie viņa profesionālo un personisko mērķu sasniegšanas, kontekstā ar viņa biznesu vai organizāciju. Kā mērķis šajā gadījumā var kalpot biznesa rezultātu un rādītāju uzlabošana, kā arī paša cilvēka karjeras izaugsme.

**Personīgais koučings.** Šajā gadījumā tiek izskatīta cilvēka mērķu sasniegšana koncentrējoties uz cilvēku kā personību.

**Korporatīvais koučings.** Uzstādīto mērķu sasniegšana vai problēmu risināšana uzņēmuma ietvaros. Ieviešot korporatīvo koučingu, ieguvēji ir visi: nozīmīgākie darbinieki iegūst izpratni par perspektīvām, skaidrību par virzienu uz kuriem iet uzņēmums, lielu patstāvību, savas iniciatīvas atbalstu. Vadība, savukārt, iegūst lojālus, ieinteresētus, efektīvus līdzgaitniekus. Rezultātā - ieviešot korporatīvo koučingu, uzņēmumā pieaug peļņa. Pēc Starptautiskās Koučinga Federācijas (ICF) datiem, koučinga izmaksu atmaksāšanās ir vienāda ar 5.3 pret 1. (Avots: <http://erickson.lv/lat/koucinga-apmacibas/340-chto-takoe-kouching-/>)

Koučings Latvijā tiek dēvēts par “izaugsmes treniņu”, un koučs profesiju klasifikātorā meklējams ar nosaukumu “izaugsmes treneris”.

Koučinga process balstās uz pieciem Milтона Ēriksona principiem:

- Ar visiem viss ir kārtībā
- Cilvēkiem ir nepieciešamie resursi, lai sasniegtu to, ko viņi patiesi vēlas
- Katras uzvedības pamatā ir pozitīvi nodomi
- Pārmaiņas notiek nemītīgi
- Cilvēki konkrētā brīdī izdara pašu labāko izvēli no iespējamām. (Avots: <http://www.kouci.lv/koucings/>)
- Motivācija un koučings

Koučinga procesa būtiska sastāvdaļa ir motivācija, konkrētāk iekšējā motivācija. Apskatot Maslova vajadzību piramīdu (sk. 2. att.), var redzēt, koučings strādā uz pēdējām divām vajadzībām – pašcieņa un pašizpaušme. Pēdējās divas vajadzības ir personiskas un pilnīgi nav atkarīgas no ārējiem apstākļiem. Lai notiktu pašizpaušme, dzīvei noteikti ir vajadzīga jēga un mērķi. Cilvēks vēlas, lai darbam, rīcībai un esamībai būtu kāda vērtība, lai tas kaut ko dotu citiem (Avots: Dž.Vitmors (2013), Koučings sasniegumiem).



10.3. attēls. Vajadzību piramīda

## Mērķi un koučings

Koučinga jēga ir virzība uz mērķi. Izmantojot koučingu, cilvēki sasniedz savus mērķus daudz efektīvāk un ātrāk, kā arī rada skaidru apjausmu par to, vai viņu izvēlētais attīstības virziens tiešām ir tas, kas viņiem ir svarīgi, nozīmīgi un prioritāri. Mācību procesā pedagogs var palīdzēt izglītojamiem definēt individuālos mērķus.

## Mērķa formulēšana

1953. gadā Jēlas Universitātē (ASV) studentu vidū tika veikts pētījums par to, vai jaunie censoņi skaidri un detalizēti apzinās savus turpmākās dzīves mērķus un vai viņiem ir skaidrs precīzs šo mērķu sasniegšanas plāns. Izrādījās, ka pilnīga skaidrība par to, ko viņi dzīvē vēlas sasniegt, ir tikai 3% studentu...

Pēc 20 gadiem zinātnieki vēlreiz veica aptauju to pašu – nu jau bijušo studentu vidū. Izrādījās, ka minētie 3% dzīvē ir daudz veiksmīgāki finansiālā jomā nekā 97% aptaujāto, kuriem nebija precīzu mērķu. Raksturīgi, ka tie, kas jau studiju gados precīzi zināja, ko vēlas sasniegt, sevi atzina par laimīgiem un ar dzīvi apmierinātiem cilvēkiem.

Veiksmīgs cilvēks vienmēr apzinās savus mērķus – gan būtiskās un nozīmīgās lietās, gan sīkos ikdienas darbos. Savu vēlmju apzināšanās ir ļoti būtiska – daudzi cilvēki peld pa dzīvi, dzīvo tā, kā straume viņus nes. Ja dzīves upe pagriežas savādāk, nekā cilvēks domājis, viņš vairs nav noteicējs pār savu dzīvi, turpretī tas, kurš zina, ko grib, pratīs pārvarēt šķēršļus, negaidītas situācijas, lai nokļūtu tur, kur plānots.

Mērķu formulēšanas likumus jebkurā vecumā var iemācīties un savā dzīvē izmantot ikviens. Ja mēs precīzi zinām, ko gribam sasniegt, tad mums palīdz arī zemapziņa. Mērķu izvirzīšana ir sava veida dzīves pašprogrammēšana. Daudzkārt ir dzirdēta frāze – “Lūdziet, un jums taps dots” – šis apgalvojums piepildās, bet tikai tad, ja cilvēks pats

zina, ko viņš grib lūgt.

Mērķa esamība ļauj labāk ieraudzīt apkārt esošās iespējas. Ja cilvēkam ir mērķis, viņš sasniedz ievērojami vairāk, nekā tad, ja mērķa nav. Mērķi ļauj mums pašiem vadīt un pārvaldīt savu dzīvi un mainīties tā, kā mēs paši to vēlamies. Savu mērķu esamība padara dzīvi par aizraujošu un patīkamu pārsteigumu pilnu ceļojumu.

Turpmāk apskatīsim svarīgākos mērķu formulēšanas likumus, kas ļauj veiksmīgi sasniegt to, ko vēlamies. Tomēr ir svarīgi apzināties, ka šie likumi ir megaefektīvi vien tajā gadījumā, ja izvirzītais mērķis ir mūsu patiesais mērķis, mūsu sirds vēlme. Mūsu patiesie ir nevis tie mērķi, kas neļauj naktīs gulēt, prasa smagu darbu un gribasspēka piepūli, bet tie, kas liek no rīta ar prieku celties, rada priecīgu satraukumu, prieku un enerģiju. Un, kāpēc gan neizvirzīt tikai tādus mērķus, kas ir mūsu patiesās vēlšanās?

Strādājot ar saviem mērķiem, ir lietderīgi zināt dažus svarīgākos mērķu formulēšanas pamatprincipus:

### 1. Mērķis ir formulēts pozitīvā formā.

Nevis bēgšana no..., bet virzība uz...

Tā vietā, lai teiktu: “Es nevēlos,” saki: “Es vēlos.”

Es negribu slimot. Es gribu būt vesels.

Mūsu zemapziņa visu uztver burtiski, bet tā „nedzird” prievārdu „ne-”. Izvairies mērķa formulējumā ietvert vārdus un vārdu savienojumus ar negatīvu jēgu – visu mērķa formulējumu ieteicams veidot pozitīvā formā, bez prievārda „ne-”.

Es vēlos dzīvot ērtā piecistabu dzīvoklī. Nevis – Es nevēlos dzīvot peticīgos apstākļos.

Es vēlos sabalansēt laiku darbam un laiku personīgai dzīvei. Nevis – Es nevēlos pārāk daudz laika veltīt darbam.

### 2. Mērķis attiecas uz tevi pašu, ir tavā pārvaldījumā un tā realizēšana ir atkarīga no tevis pašā.

Mērķus izvirzām par sevi, par savu dzīvi un arī paši uzņemamies atbildību par to realizāciju. Protams, mēs dzīvojam saskarsmē ar citiem cilvēkiem – tuviniekiem, kolēģiem, draugiem un mēs varam vēlēties, piemēram, labākas attiecības ar konkrētu cilvēku vai arī uzlabot kāda mērķa realizēšanu, kas saistīts ar citiem. Tad mērķa formulējumā iekļaujam savas darbības, savu atbildību.

Kā es varu mainīt savu uzvedību?

Kas man jādara, lai sasniegtu savu mērķi?”

Šāda pieeja ļauj būt savas dzīves noteicējam, nevis upurim, kas gaužas, ka viņa labos nodomus citi nerealizē.

Izvairoties no citu cilvēku pārveidošanas un viņu rīcības plānošanas, mums atbrīvojas milzu enerģija, ko varam veltīt savu mērķu realizēšanai tā, kā mēs paši to vēlamies.

### 3. Mērķis ir konkrēts – pārbaudāms.

Svarīgi ir precīzi iztēloties, kā tas būs, kad mērķis būs sasniegts. Šī ir ļoti nozīmīga mērķa formulēšanas daļa. Tikai nedaudzi cilvēki uz šo jautājumu atbildēs nekavējoties, bez vilcināšanās. Ja precīzi nezinām, ko gribam sasniegt, var gadīties, ka esam mērķi sasnieguši, bet to pat nepamanām. Dažreiz mērķis formulēts pārāk nekonkrēti, vispārīgi. Konkrēta mērķa formulēšana veicina iekšējā darba aktivizēšanos, entuziasma un enerģijas pieplūdumu.

Kā es zināšu, ka esmu mērķi sasniedzis?

Ko konkrēti es redzēšu, dzirdēšu, jutīšu, kad būšu sasniedzis savu mērķi?

Ir noderīgi savu mērķi redzēt un dzirdēt – precīzi iztēlojoties ar skatu no malas (disociēti) vislabākajā tā realizēšanas veidā un iejusties (asociēties) baudot tā piepildījumu. Lietderīgi lietot valodas formas „Es esmu...”, „Man ir...” Var dzīvot ar mērķi „Es vēlos uzcelt māju” un var to pašu formulēt šādi „Es esmu skaistas divstāvu mājas īpašnieks.” Attīstot šo mērķi, vēlams rakstiski aprakstīt, kāda ir māja, kas it kā jau ir īpašumā:

Kāda tā izskatās? Kādā krāsā, cik stāvu? Kur atrodas? utt.

Iztēloties kā skan tuvinieku balsis šajā mājā, kā skan mūzika, bērnu čalas utt.

Sajust mājas smaržu, Ziemas svētku aromātu mājā, kur pulcējas tuvi cilvēki utt.

Izgaršot kafijas garšu agrā vasaras rītā uz terases vērojot, kā pār dārzu ceļas migla.

Sajust omulīgo siltumu pie kamīna aukstā ziemas vakarā.

Izbaudīt emocijas.

Ja pēc šāda iztēles vingrinājuma rodas papildus enerģija, prieks un vēlme rīkoties – mērķis ir pareizi izvirzīts. Mūsu zemapziņa neatšķir iztēli no realitātes. Jo biežāk mēs iztēlojamies mērķa gala versiju vislabākajā veidā, jo lielāka iespējamība, ka mērķis realizēsies. Esi gatavs pieņemt jaunas idejas, ko tavš iekšējais prāts atradīs konkrētā mērķa sakarā!

4. Mērķis ir ekoloģisks. Ekoloģija – rūpes par cilvēkam un viņa apkārtējai videi draudzīgām psiholoģiskām izmaiņām.

Pirms mēs izdarām kādas pārmaiņas (un jaunu mērķu sasniegšana vienmēr nozīmē pārmaiņas), ir jāraugās, kā šīs pārmaiņas ietekmēs dzīvi kopumā.

Vai šis mērķis ir manu pūļu vērts?

Kā šī mērķa sasniegšana ietekmēs manu un manu tuvinieku dzīvi?

Kādi būs galvenie ieguvumi?

Kāda ir šī mērķa cena?

Vai man ir izdevīga šī mērķa sasniegšana?

Ko svarīgu es zaudēšu, ja sasniegšu šo mērķi?

Vai būs kādi negatīvi blakus efekti?



Pārbaudīt mērķa ekoloģiju ir kā šaha spēlē izskaitļot vairākus gājienus uz priekšu – būt gudriem un paredzēt, kādas izmaiņas mērķis ienesīs mūsu dzīvē. Izvērtējot mērķa ekoloģiju var iegūt gan papildus motivāciju gan ieraudzīt iespējamās „zemūdens akmeņus”. Mērķa ekoloģiju ieteicams izvērtēt arī saistībā ar tiem cilvēkiem, kurus tieši vai netieši šis mērķis skars (tuvinieki, kolēģi, draugi, klienti utt). Ekoloģiski ir izvirzīt mērķus, kuros darbojas princips „ieguvējs – ieguvējs” – ieguvēji esam gan mēs paši, gan iesaistītie cilvēki.

5. Mērķis ir izvēlēts reālā mērogā. Ja mērķis ir pārāk globāls, vēlams to sadalīt mazākos komponentos. Sena ķīniešu paruna vēsta: „Ziloni nevar apēst uzreiz, bet visa mūža garumā tas izdodas”. Dažreiz, domājot par globāliem mērķiem, rodas mazvērtība, neticība. sadalot lielu mērķi mazākos apakšmērķos, palielinās motivācija, ticība saviem spēkiem.

Es vēlos, lai man būtu labi panākumi visās dzīves jomās. (Kura dzīves joma ir vissvarīgākā?)

Mums ir jāpanāk visa uzņēmuma veiksmīga darbība. (Kurā struktūrvienībā tas būtu darāms vispirms?)

Mājai nepieciešams remonts. (Kuru telpu remontēt vispirms? Kas tam nepieciešams?)

6. Mērķis ir atbilstošs pieejamiem resursiem. Par resursiem pieņemts uzskatīt gan finanses un materiālās vērtības, gan zināšanas, prasmes, iemaņas, pozitīvus emocionālos stāvokļus utt.

Kādi resursi ir vajadzīgi, lai sasniegtu šo mērķi?

Kādi resursu jau ir manā rīcībā?

Kas vēl nepieciešams, lai mērķi realizētu?

Kā es varu šos resursus iegūt?

Parasti risinot jautājumu par resursiem, rodas mazi apakšmērķi, kas sasniedzami lielā mērķa īstenošanai.

Ja runājam par īstermiņa mērķiem, ir būtiski tos izvirzīt atbilstoši pieejamo resursu daudzumam. Iepērkoties veikalā, varam pirkt tik, cik ir pieejami līdzekļi. Arī ikgadējo atvaļinājumu plānojam, samērojot ar reālajiem resursiem. Tādējādi mērķis ir realizējams, nerodas neapmierinātība, vairojas drošības sajūta.

Šis princips būtu jāpaliek malā, plānojot ilgtermiņa mērķus. Droši izvirziet lielus ilgtermiņa mērķus! Neļaujiet tos ierobežot šodienas resursiem, ja tie vēl ir nepietiekamā daudzumā. Atbilde uz jautājumu „Kas ir svarīgāks, primārāks – skaists mērķis vai pieejamie resursi?” viennozīmīgi ir – mērķis! Ar noteikumu, ka tas ir balstīts uz patiesu vēlēšanos, sirds aicinājumu. Neļaujiet savus mērķus ierobežot šodienas situācijai! Viens no pamatpieņēmumiem ir šāds „Mūsu rīcībā jau ir visi resursi savu mērķu realizēšanai vai arī mēs varam tos radīt”. Cits pamatpieņēmums – „Ja kaut kas ir iespējams šajā pasaulē, tas ir iespējams arī man.”

7. Kādi ir iespējamie šķēršļi mērķa sasniegšanai?

Nereti cilvēki vairās izvirzīt mērķus, jo intuitīvi nojauš, ka būs dažādas grūtības to īstenošanā. Tā teikt – kāpēc sev pašam radīt problēmas? Uzliekot „reālista brilles” un atbildot uz dažiem jautājumiem mērķu sakarā, mēs varam iegūt papildus informāciju, labāk saprast sevi un nereti ieraudzīt, ka mērķa īstenošana ir daudz vienkāršāka, nekā domājam.

Kas traucē šo mērķi īstenot tūlīt?

Kāpēc es neesmu šo mērķi sasniedzis agrāk?

Ar ko man ir jārēķinās, ja šo mērķi realizēšu?

Kādi ir citi iespējamie mērķa realizēšanas ceļi?

Pozitīvi domājošu cilvēku atbildes uz šiem jautājumiem motivēs meklēt reālus mērķu sasniegšanas ceļus.

8. Kādi būs pirmie soļi šī mērķa realizēšanai?

Ko es darīšu vispirms, lai šo mērķi īstenotu?

Konkrēti kur un kad es speršu pirmos soļus šī mērķa īstenošanai?

Šeit tika minēti galvenie mērķu izvirzīšanas pamatprincipi. Galvenais ir atcerēties – veiksmīgs cilvēks vienmēr zina, ko vēlas. Tāds ir viņa domāšanas stils, dzīvesveids. Ar mērķtiecīgu cilvēku nav iespējams manipulēt, jo viņš pat neapzināti dara visu, lai savus sapņus īstenotu. Un sapņi īstenojas (Avots: <http://www.nlpcentrs.lv>).

### **Atgriezeniskā saite un koučings**

Koučingā viens no svarīgiem elementiem ir atgriezeniskā saite. Atgriezeniskā saite palīdz mums labāk izprast sevi un savu rīcību. Balstoties uz šo informāciju, varam izlemt, vai un ko mainīt sevī un savā darbā. Tā ir nepieciešama no paša mācību procesa sākuma līdz beigām, lai uzturētu attiecības, kā arī lai pamanītu nepieciešamos uzlabojumus.

Cilvēka dabiskā reakcija ir baidīties no kritikas un noliegt to, jo izjūt to kā apdraudējumu. Jo biežāk saņemam atgriezenisko saiti, jo vieglāk paliek ieklausīties teiktajā un atrast tajā noderīgu informāciju savai izaugsmei.

### **Daži ieteikumi**

1. Pārdomā, ko gribi uzzināt un uzdod konkrētus jautājumus, piemēram:

Kas ir divas lietas, ko, tavuprāt, man būtu jāpilnveido savā darbā?

Kā varu celt savu darba efektivitāti?

Kā es vārēju ātrāk un efektīvāk izpildīt šo uzdevumu?

Ja manu darbu veiktu ideāls darbinieks, ko viņš darītu citādāk?

Kā tu vērtē manu ieguldījumu projektā? Ko vēl varu darīt, lai jūs atbalstītu mērķu sasniegšanā?

2. Saņemot atgriezenisko saiti, ieklausies otra teiktajā; nesāc taisnoties vai skaidroties.

Atceries, ka cilvēks dalās ar savu skatījumu uz notikušo. Arī ja nepiekrīti teiktajam (pat ja tiek minēta kļūdaina informācija) "uzkod sev uz mēles" un uzklausi viņu līdz galam. Ja pārtrauksi runātāju un sāksi oponent viņa teiktajam, tu beigsi aktīvi klausīties un atņems sev iespēju izprast otra viedokli.

Uzdod precizējošus jautājumus, piemēram, "Gribu pārliecināties, vai pareizi sapratu tevis teikto: vai tu saki, ka man...", "Vai vari minēt kādu konkrētu piemēru, kad šādi rīkojos?"

### 3. Izvērtē saņemto atgriezenisko saiti.

Nesteidzīgi izvērtē saņemto informāciju. Ja nepiekrīti teiktajam, pārdomā, kāpēc otrai pusei radās aplams priekšstats. Meklē dzirdētajā sev noderīgu informāciju. Apsver iespēju, iegūt citu kolēģu viedokli, lai izzinātu viņu skatījumu. Pārdomā, vai, balstoties uz saņemto informāciju, gribi kaut ko mainīt savā rīcībā vai darbā (Avots: <https://www.metodes.lv>).

### Atgriezeniskās saites sniedzējam

Uzsver, ka tu dalies ar savām izjūtām un saviem novērojumiem. Saki Es... vai Man...

Pamatojums: Atgriezeniskajā saitē izsakām savu subjektīvo viedokli un novērojumus par kādu konkrētu situāciju vai procesu. Piemērs: "Es kļuvu dusmīgs, kad tu man nedeivi iespēju izteikt savu viedokli"; "Kad Tu uzsāki sarunu ar Jāni, man šķita, ka konflikts ir pārvarēts".

Runā ar cilvēku, nevis par viņu. Saki "Tu darīji...", nevis "Viņš darīja...".

Pamatojums: Ja uzrunājam tieši to cilvēku, kuram sniedzam atgriezenisko saiti, teiktais kļūst personīgāks, līdz ar to vieglāk pieņemams. Piemērs: Nesaki "Man likās, ka Jānis nebija līdz galam sapratis uzdevumu", saki, "Jāni, man likās, ka tu nebiji līdz galam sapratis uzdevumu".

Apraksti rīcību. Nevērtē cilvēku. Neinterpretē otra rīcību.

Atgriezeniskās saites uzdevums ir stāstīt par saviem novērojumiem / izjūtām kādā konkrētā situācijā. Vispārinot un interpretējot sākam domāt un izdarīt secinājumus otra cilvēka vietā. Šādu rīcību atgriezeniskās saites saņēmējs var izjust kā uzmācšanos.

Piemērs: Nesaki "Pēteris ir vienmēr gatavs palīdzēt citiem cilvēkiem", saki "Pēter, kad padalījies ar savām iestrādēm, tas ļoti palīdzēja virzīties uz priekšu un izpildīt uzdevumu." Nesaki "Var just, ka Dacei patīk būt vadošā lomā", saki "Dace, kad sāki dot instrukcijas un sadalīt pienākumus, jutu, ka esi mūsu komandas vadītāja." Nesaki "Ja tu vairāk aizstāvētu savu viedokli, mums būtu labāki rezultāti", saki, "Biju vīlies, kad uzzināju, ka nepiekrīti mūsu secinājumiem. Domāju, ka mums būtu bijuši labāki rezultāti, ja būtu izteicis savas šaubas diskusiju laikā."

Dod iespēju mācīties no pozitīvās un negatīvās rīcības. Esi patiess.

Pamatojums: Atgriezeniskā saite ir iespēja mācīties. Ja cilvēks nedalās ar saviem novērojumiem un izjūtām, viņš otram atņem šo iespēju. Atgriezeniskās saites sniedzējam jāņem vērā saņēmēja vajadzības. No tā izriet, ka var kritizēt tikai lietas,

kuras var mainīt, atrod piemērotu laiku, kad to pateikt un ir empātisks.

Ja atgriezeniskā saite tiek sniegta grupā, var papildus iekļaut citu grupas locekļu iespaidus un novērojumus, lai uzzinātu, kā viņi uztvēra rīcību. Katram cilvēkam patīk, ja viņu uzslavē par labi padarītu darbu, veiksmīgu rīcību vai ko citu.

### **Atgriezeniskās saites saņēmējam**

Klausies un ieklausies kā otrs uztvēra tavu rīcību.

Pamatojums: Ja tiek izteikta kritika, mums rodas tieksme aizstāvēties un taisnoties par savu rīcību. Ir svarīgi atcerēties, ka atgriezeniskā saite mums dod iespēju uzzināt, kā citi izjuta mūsu rīcību. Ieklausoties teiktajā, mums tiek dota iespēja pārdomāt, vai iegūtā informācija ir noderīga, vai nākotnē gribam ko mainīt savā rīcībā.

Ieteikums: Lai apspiestu taisnošanās refleksu, vadītājs var uzstāt, lai grupas locekļi ievēro klusumu atgriezeniskās saites sniegšanas laikā; drīkst tikai uzdot precizējošus jautājumus. Atgriezeniskās saites saņēmējam jāgaida vismaz pēc pāris minūtes, pirms drīkst komentēt saņemto informāciju. (Avots: <https://www.metodes.lv>).

### **Pieci koučinga principi**

Pieci universāli koučinga principi, kas ir neatņemama mācīšanās un pārmaiņu procesu daļa. Apzināta to izmantošana palīdzēs ātrāk un vienkāršāk sasniegt mērķus.

#### **1. Princips. Atrodi resursus!**

Mums visiem pietiek resursu, lai pārvarētu izaicinājumus. Sarežģīti kļūst tad, kad nespējam sevī tos apzināties. Savu resursu apzināšanās palīdz mums justies pārliecinātiem par savām spējām.

#### **2. Princips. Izproti sevi un mainies!**

Apzināšanās acumirkļi ved uz pārmaiņām. Tā nozīmē saprast, kas notiek manī, ap mani un caur mani. Šī ir pamata kompetence katram, kas vēlas radīt augstas kvalitātes sasniegumu.

#### **3. Princips. Uzņemies atbildību!**

Atbildība rodas no apzināšanās kas ir un kam vajadzētu būt. Uzticēšanās, apzināšanās un atbildība ir svarīgi priekšnosacījumi augsti kvalitatīvam sniegunam katrā aktivitātē.

#### **4. Princips. Tev ir izvēle!**

Izvēle ir vienmēr! Taču, cik mums ir iespēju, - tas atkarīgs no mūsu gribas uzņemties atbildību. Domā ārpus rāmjiem, strādā ārpus savas komforta zonas!

#### **5. Princips. Iespējas mācīties!**

Šis ir fundamentālais mācīšanās princips! Izmēģinot ko jaunu, ko neesi darījis pirms tam, vienmēr pastāv risks. Savu sniegunu iepriekš nezināmā jomā vari uzlabot tikai tad, ja ar katru kļūdu un katru veiksmi paplašini savu redzesloku. Pieņem, ka nav kļūdu, ka tās patiesībā ir iespējas mācīties! (Avots: Koučings jauniešu iniciatīvās)

**Paškoučings - 7 soļi darbam ar sevi** (pēc Dž. Makani)

1. Uzņemties atbildību par visu, kas notiek jūsu dzīvē. Pārlicību daba, domāšanas struktūra un iespējas veidot realitāti. Iepazīt sevi.
2. Jūsu personīgā stāsta izpēte. Jūsu dzīvē atkārojošos paternu un situāciju noskaidrošana. Nākotnes noteikšana: jūsu misija, vīzija un dziļākās vērtības. Būt šeit un tagad.
3. Sensorās sistēmas spēju paplašināšana. Apzināšanās treniņš ikdienā. Attīrīt savu dzīvi.
4. Kas jāatlaiž no savas iekšējās un ārējās pasaules? Iekšējo ierobežojumu transformācijas psiholoģiskie instrumenti. Kas nepieciešams, lai atbrīvotos no vecām negatīvām emocijām un ierobežojošiem uzskatiem? Dzīvot no sirds.
5. Dzīve un līdzietība. Piedošana. Ar ko vēlos piepildīt savu dzīvi? Personīgo dzīves principu komplekta izveide. Izlemt, ko vēlos dzīvēt.
6. Mērķu izvirzīšana, jaudīga apziņa un zemapziņa bāzēta fokusa radīšana uz to, ko patiešām vēlies savā dzīvē. Atgriezt sev savu spēku.
7. Atbrīvošanās no emocionālām atkarībām un atkarīgu attiecību transformācija. Savu spēku un iekšējo resursu pieņemšana un integrācija.

(Avots: [http://www.nlpcentrs.lv/lv/kouchings/paskoucings\\_7\\_soli\\_darbam\\_ar\\_sevi](http://www.nlpcentrs.lv/lv/kouchings/paskoucings_7_soli_darbam_ar_sevi))

Izglītojamā ieguvumi no koučinga

Izglītojamaais var:

- uzlabot profesionālās un personiskās prasmes un sniegumu;
- iemācīties atrisināt savas problēmas;
- iegūt lielāku pārlicību un uzņemties atbildību;
- kļūt efektīvāks un pārliecinošāks, strādājot ar cilvēkiem;
- apgūt jaunas prasmes un iemaņas;
- attīstīt lielākas pielāgošanās spējas pārmaiņām.

Koučings rada unikālas attiecības pārmaiņām tikai tad, kad koučs (treneris) un izglītojamaais strādā pie izmaiņu radīšanas kopā. Koučs ir atbildīgs par mācību procesu: koncentrējoties uz skaidri definētu mērķi, veicinot izglītojamā domāšanu un sniedzot konstruktīvu atgriezenisko saiti. Izglītojamaais ir atbildīgs par treniņu saturu: radot idejas, veicot pasākumus mērķa sasniegšanai un progresā ziņošanai.

Koučings veicina komunikāciju un atgriezenisko saiti starp komandas locekļiem, tas palīdz veidot komandā uzticības atmosfēru.

### **Padomi izglītojamajam**

1. Akceptēt koučingu labprātīgi.
2. Dalīties ar savu kouču, kā jūs jūtaties par to, kā attiecības darbojas.

3. Saglabājiet pozitīvu priekšstatu par sevi.
4. Veiciniet savu attīstību.
5. Uzticieties savam kaučam.
6. Esiet gatavs atklāti apspriest jautājumus.
7. Uzņemieties risku, lai attīstītos.

### **Laba koučinga pamatprincipi**

1. Vienlīdzība. Abas puses ir vienlīdzīgas. Treneris un izglītojamais strādā partnerībā kā līdzvērtīgi. Atvērtība domāšanā un darbība vērsta uz sadarbību, atzīst izglītojamā autonomiju un fokusēšanos uz sevi. Tas ietver vēlmi izpētīt izglītojamā spējas, ar patiesu interesi uz viņu pieredzi un perspektīvu.
2. Atvērtība. Attiecības pamatojas uz atklātību un uzticēšanos. Koučings caur atbalstu un pašapzināšanos mudina izglītojamos uzņemties atbildību par pašu rīcībām - iespēju radīšanu, izvēlēm un lēmumu pieņemšanu. Koučinga kultūrā kļūdas tiek uzskatītas par mācību pieredzi.
3. Fokuss uz risinājumiem. Koučings atklāj jaunas perspektīvas, fokusējas uz risinājumiem, nevis problēmām. Šādā veidā izglītojamie iegūst jaunu ieskatu, kas noved pie vairākām iespējām, kas savukārt noved pie vēlmes rīkoties un mainīt.
4. Izpratne. Izglītojamam ir iedzimtas spējas, un tādēļ nav nepārtraukti jāpasaka, kas ir jādara. Koučs uzskata, ka izglītojamais spēj mainīt un uzlabot savu sniegumu, tādēļ viņš ir vērsts uz izglītojamā izpratnes paaugstināšanu un pašizziņu.
5. Paša atbildība. Izglītojamais ir atbildīgs par rezultātiem. Izglītojamais apņemas noteikt darbības un veikt nepieciešamos pasākumus savu mērķu sasniegšanai. Cilvēki mācās labāk, ja viņi atklāj lietas sev, nevis citiem, kas to saka.
6. Atbalsts. Koučs ir apņēmies pastāvīgi atbalstīt izglītojamo visā mācību procesā. Cilvēki attīsta pašpārliecinātību, dodot iespēju mācīties, izdarot kļūdas un sasniedzot mērķus. Koučs mudina izglītojamo meklēt jaunas perspektīvas.

# IZMANTOTĀ LITERATŪRA

1. Ahmad, R. / Faiz Soberi, M. S.: Changeover process improvement based on modified SMED method and other process improvement tools application: an improvement project of 5-axis CNC machine operation in advanced composite manufacturing industry, London: Springer Verlag 2017.
2. EntreComp: The Entrepreneurship Competence Framework” (Bacigalupo, M., Kampylis, P., Punie, Y., Van den Brande, G. (2016). Luxembourg: Publication Office of the European Union.
3. McCallum E., Weicht R., McMullan L., Price A., EntreComp into Action: get inspired, make it happen (M. Bacigalupo & W. O’Keeffe Eds.) , EUR 29105 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018.
4. Granig, P./ Stammer, E. / Heiden, B. (Hrsg.): Mit Innovationsmanagement zu Industrie 4.0. Grundlagen, Strategien, Erfolgsfaktoren und Praxisbeispiele, Wiesbaden: Springer Gabler 2018.
5. Schallmo, R. A./ Brecht, L.: Prozessinnovation erfolgreich anwenden. Grundlagen und methodischen Vorgehen: Ein Management- und Lehrbuch mit Aufgaben und Fragen, Wiesbaden: Springer Gabler 2014.
6. Anti Backlash Gears by Nordex (2016). <https://youtu.be/fux1Q98IyBM> [https://www.google.com/search?safe=active&biw=1600&bih=758&tbm=isch&sa=1&ei=WCQQXKfYc4LQswHmyJHgAg&q=+gear+backlash+HELICAL+springs.pdf&q=+gear+backlash+HELICAL+springs.pdf&gs\\_l=img.12...318510.362455..363975...0.0..0.138.2003.24j3.....0....1..gws-wiz-img.AM963hEH-II#imgsrc=ysKXcVcxjJCHEM:](https://www.google.com/search?safe=active&biw=1600&bih=758&tbm=isch&sa=1&ei=WCQQXKfYc4LQswHmyJHgAg&q=+gear+backlash+HELICAL+springs.pdf&q=+gear+backlash+HELICAL+springs.pdf&gs_l=img.12...318510.362455..363975...0.0..0.138.2003.24j3.....0....1..gws-wiz-img.AM963hEH-II#imgsrc=ysKXcVcxjJCHEM:)
7. Artificial Intelligence and Robotics (2016). Perez J.A., Deligianni F., Ravi D., Guang-Zhong Yang A. <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1803/1803.10813.pdf>
8. Introduction to robotics (2000). <http://engineering.nyu.edu/mechatronics/smart/pdf/Intro2Robotics.pdf>
9. Asada H.H. (2005). Introduction to Robotics. Chapter 2 Actuators and Drive Systems. <https://ocw.mit.edu/courses/mechanical-engineering/2-12-introduction-to-robotics-fall-2005/lecture-notes/chapter2.pdf>.
10. Asada H.H. (2005). Introduction to Robotics, *Chapter 3. Robot mechanisms*. <https://ocw.mit.edu/courses/mechanical-engineering/2-12-introduction-to-robotics-fall-2005/lecture-notes/chapter3.pdf>
11. Comparative Review of Robot Programming Languages (2001). Izzet Pembeci I., Hager G. <http://www.cs.jhu.edu/CIRL/publications/pdf/pembeci-review.pdf>
12. Dan F.D. (2009). Design and Manufacturing I Gears: Strength, Gear Trains,... [https://ocw.mit.edu/courses/mechanical-engineering/2-007-design-and-manufacturing-i-spring-2009/lecture-notes/MIT2\\_007s09\\_lec13\\_note.pdf](https://ocw.mit.edu/courses/mechanical-engineering/2-007-design-and-manufacturing-i-spring-2009/lecture-notes/MIT2_007s09_lec13_note.pdf)
13. Dobot magician (2017). User manual.manual. (<https://www.generationrobots.com/media/Dobot-Magician-User-Manual-V1.2.4.pdf>

14. Fundamentals of Robotics. <https://docplayer.net/6136953-Chapter-2-fundamentals-of-robotics.html> Industrial Robot Programming Nilsson, Klas 1996. <http://portal.research.lu.se/ws/files/4385078/8840258.pdf>
15. Iovine J. (2004) A Beginner's Guide to Robotics. *PIC Robotics Projects Using the PICmicro*, McGrawHill, 289 p. [http://www.robot.bmstu.ru/files/books/\(Ebook%20-%20English\)%20Mcgraw-Hil,%20Pic%20Robotics%20--%20A%20Beginner'S%20Guide%20To%20Robotic.pdf](http://www.robot.bmstu.ru/files/books/(Ebook%20-%20English)%20Mcgraw-Hil,%20Pic%20Robotics%20--%20A%20Beginner'S%20Guide%20To%20Robotic.pdf)
16. Introduction robot drive systems (2018). <https://www.scribd.com/document/350841179/Introduction-Robot-Drive-Systems>
17. Kumar, A. (2016). What is the backlash in gears? How is it advantageous or disadvantageous? <https://www.quora.com/what-is-the-backlash-in-gears-how-is-it-advantageous-or-disadvantageous>
18. Manufacturing Robotics The Next Robotic Industrial Revolution (2016). [https://www.ukras.org/wp-content/uploads/2018/10/UK\\_RAS\\_wp\\_manufacturing\\_web.pdf](https://www.ukras.org/wp-content/uploads/2018/10/UK_RAS_wp_manufacturing_web.pdf)
19. MTS-CNC-System. <https://www.mts-cnc.com//index.php/en/>
20. Next Generation Robotics (2015). Christensen H.I., Okamura A., Mataric M., Kumar V., Greg Hager G., Howie Choset H. <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1606/1606.09205.pdf>
21. Restelli M. (2014) Sensors and Actuators. *Robotics for Computer Engineering students*. [http://home.deib.polimi.it/gini/robot/docs/sensor-actuators\\_14\\_15.pdf](http://home.deib.polimi.it/gini/robot/docs/sensor-actuators_14_15.pdf)
22. Robot programming languages and systems. Chapter 12 [http://ocw.snu.ac.kr/sites/default/files/NOTE/Chap12\\_Robot%20programming%20languages.pdf](http://ocw.snu.ac.kr/sites/default/files/NOTE/Chap12_Robot%20programming%20languages.pdf)
23. Robotic Systems. Chapter 9F. <http://www.me.nchu.edu.tw/lab/CIM/www/courses/Flexible%20Manufacturing%20Systems/Microsoft%20Word%20-%20Chapter9F-Robotic%20Systems.pdf>
24. Shakhathreh, F. (2011). : The basics of robotics: *Mechatronics thesis*, 122 p. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/37806/Shakhathreh\\_Fareed.pdf?sequence=2](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/37806/Shakhathreh_Fareed.pdf?sequence=2)
25. Universal robots. User manual (2017). [http://www.me.umn.edu/courses/me5286/robotlab/Resources/ur5\\_user\\_manual\\_gb.pdf](http://www.me.umn.edu/courses/me5286/robotlab/Resources/ur5_user_manual_gb.pdf)