

SAULIUS BASKUTIS
GINTARAS RIMŠA

TÖÖSTUSE VÄLJAKUTSE 4.0

METALLITÖÖTAJATE VÕIMESTAMINE
NUTIKATE TEHASTE JAOKS

BCT**LINPRA****TECHNISCHE
AKADEMIE
NORD****nordbildung**
Bildungsverbund für die Metall-
und Elektroindustrie gGmbHState Education
Development Agency
Republic of Latvia**KVALIFIKACIJŲ IR PROFESINIO
MOKYMO PLĖTROS CENTRAS****VILNIAUS
JERUZALĖS**
DARBU RINKOS MOKYMO CENTRASZEMGALES REĢIONA
KOMPETENČU ATTĪSTĪBAS CENTRS**EMT**
EESTI MASINATÖÖTUSE LIIT**MASOC****МЕТАЛЛКОЛ**

ISBNi 978-9949-01-596-2 (pdf)

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

The European Commission's support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents, which reflect the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

Industry 4.0 Challenge:
Empowering Metalworkers for Smart Factories of the Future
Erasmus + Program KA2:
Cooperation for innovation and the exchange of good practices –
Sector Skills Alliances
Project No 575813-EPP-1-2016-1-LT-EPPKA2-SSA

SISUKORD

EESSÕNA	2	5. CNC TÖÖPINKIDE PROGRAMMEERIMINE	110
1. NELJAS TÖÖSTUSREVOLUTSIOON (TÖÖSTUSREVOLUTSIOON 4.0)	6	5.1. Ettevalmistavad ja abifunktsioonid APJ trei- ja freespinkide programmeerimisel	110
1.1. Neljas tööstusrevolutsioon - ajalugu	6	5.2. APJ seadmete programmeerimise põhimõtted	135
1.2. Neljanda tööstusrevolutsiooni peamised elemendid	7	5.3. Juhtprogrammi laadimine tööpingi kontrollerrisse	156
1.3. Neljas tööstusrevolutsioon tootmises	10	6. PRAKTILINE RAKENDUS	162
1.4. Neljanda tööstusrevolutsiooni riskid ja väljakutsed	13	6.1. Detailide töötlemise kavandamise etapid	162
2. MEHAANILISE TÖÖTLEMISE SEADMED	16	6.2. mCNC-programmide osade rakendamine	166
2.1. Treimisseadmed	16	6.3. Detaili mõõtmine	180
2.2. Freesimisseadmed	25	7. TÖÖOHUTUS	184
2.3. Arvjuhtimisega frees- ja treipinkide komponendid	39	8. TÖÖPINKIDE HOOLDAMINE	192
2.4. Tera kinnitusrakised	50	9. KAASAEGSE TOOTMISE EDASIARENDUSED	198
3. MASINTÖÖTLUSE PROTSESSID	56	9.1. Robotika	198
3.1. Treimine	56	9.2. 3D-printimine	207
3.2. Freesimine	58	9.3. Nutika tootmise juhtimine	213
3.3. Puurimine, koonussüvistamine, hõõritsemine, keermestamine	61	9.4. Infotehnoloogia kasutamine arukate tootmisprotsesside juhtimiseks	231
3.4. Lihvimine jt pinna viimistlemise meetodid	66	9.5. Näited täisautomatiseeritud tootmisest vastavalt <i>Industry 4.0</i> standarditele	249
3.5. Tooriku valik	69	10. ÜLDISED KOMPETENTSID	262
3.6. Tööriista materjalid ja tööriista geomeetria löikeprotsessi vältel	73	10.1 Muutuste juhtimine	262
3.7. Lõikerežiimid ja töötlusaeg	85		
3.8. Masintöötlemise programmid nutiseadmetes	90		
4. DETAILI KVALITEET	92		
4.1. Detaili pinnakvaliteedi hindamine	92		
4.2. Detaili elementide mõõtmised ja hälbed	96		
4.3. Mõõtevahendid	104		



EESSÕNA

Professor Jüri Riives
Teadus- ja arenduskeskus IMECC

Käesolevaid arenguid majanduses iseloomustab neljas tööstusrevolutsioon (*Industry 4.0*, eesti keeles Tööstus 4.0). See on uus väljakutse ja eesmärgiks on riigi ja ettevõtluse konkurentsivõime tugevdamine. Mitmed riigid on välja töötanud oma digitaalse arengu programmid (lisaks Saksamaa *Industrie 4.0* veel näiteks Rootsi – *Sweden 2030* või Inglismaal *Catapult programme*). Tänapäevaks on suuremas osas Euroopa digitaliseerimise ja riigi teatav osalus ning eestvedamine selles.

Eesti mehhatroonika- ja masinatööstus on Eesti riigile tähtis tootmis- haru – valdav enamus selle toodangust eksporditakse ja selle tooted on kõrge lisandväärtusega. See on toomisharu, mis annab tööd kümnetele tuhandetele inimestele ja toob Eestisse nii investeeringuid kui maksuraha. Samas on selles sektoris raske leida töajõudu ning juba täna ei jätku kõigi tellimuste täitmiseks piisavalt inimesi. Mehhatroonika ja masinatööstuses on kiiresti arenev tööstusharu paraku sageli ei tundu noortele piisavalt atraktiivne. Tegelikult on mehhatroonika ja masinatööstus väga moodne tööstusharu, kasutades kaasaegseid digitaallahendusi, tööstusroboteid ja automatiseerimise vahendeid.

Tootmise digitaliseerimise eesmärgiks on integreeritud tootmine, mis võimaldab erinevate allüksuste eesmärgipärast ja ladusat koostööd, mis omakorda loob eeldused tootmistsükli (tellimuse teostuse

tsükli) kestvuse lühendamiseks ja ettevõtte ressursside paremaks kasutamiseks. Automatiseerimine on väga tihedalt seotud tootmise digitaliseerimisega ning koostöös võimaldavad nad suurendada ettevõtte konkurentsivõimet.

Tootmise digitaliseerimise ja automatiseerimise lahendusi on mitmeid ja nad realiseeruvad ettevõtte väärtusahela erinevates positsioonides.

Näiteks CRM (*Customer Relationship Management*) - kliendisuhete halduses;

CAD/CAM (*Computer Aided Design*);

ERP (*Enterprise Resource Planning*);

PLM (*Product Lifecycle Management*) - tootmise ettevalmistamisel ja teostuses;

MES (*Manufacturing Execution System*) – tootmisandmete halduses;

CMMS (*Computerized Machine Maintenance System*) – seadmete hoolduse korraldamisel;

WMS (*Warehouse Management System*) - ettevõtte lao- ja logistika süsteemide juhtimiseks;

LIMS (*Laboratory Information Management System*) toodete kvaliteedinäitajate parandamiseks ja tarnetäpsuse ning tarnekindluse garanteerimiseks, jms.

Automatiseerimise lahendused tuginevad tänapäeval numbriliselt juhitavate seadmete, tööstusrobotite, programmeeritavate kontrollerite, eriliigiliste sensorite ja mitmesuguste juhtimisplatvormide kasutamisele.

Tööstus 4.0 rajaneb küber-füüsikalistel tootmissüsteemidel (*CPS - Cyber-Physical Production Systems*) ja asjade internetil (*IoT - Internet of Things*) ning seob suuremal v vähemal määral eelkirjeldatud digitaalsüsteemid üheks tervikuks.

Nimelt seotakse tööstus 4.0 füüsilised objektid nagu targad masinad, konveierid, tootmistaristu ja tooted virtuaalmaailmaga. Tekivad nn „digitaalsed kaksikud“ kõikides tootmistegevusega seotud faasides: tootearendus, tootmine, tootmise jälgimine, logistika ja taaskasutus.

Kaasajal ei insener ega seadme operaator ettevõttes ei saa enam läbi ühe kitsa valdkonna teadmistega. Integreeritud teadmised ja nende praktilise kasutamise oskused on eeldused edukaks toimetulekuks erinevates töökohtades ettevõttes. Tööstus 4.0 rakendused ja nendega kaasnevad teemavaldkonnad ainult võimendavad seda.

Kiired tempod: tootmises lühikesed tarneajad ja teadmiste omandamisel suured hulgad erinevaid teadmisi on ühelt poolt 21.sajani paratamatus ning teisalt kutsub esile paradigmade muutusi nii tootmises kui koolituses. Ka Erasmus + projekt 4CHANGE on tugevalt suunatud integreeritud teadmiste omandamisele.

Projekti üheks väljundiks on koostatud õpik *Industry Challenge 4.0* (originaal inglise keelne), mille tõlge on tehtud ka eesti keelde. Õpik käsitleb nii tootmistehnika baasteadmisi ja integreerib neid Tööstus 4.0 keske moodsa tehnoloogilise arenguga.

Raamatu lugeja – olgu siis õppur või tehnik tootmises leiab kindlasti nii käsiraamatulisi teadmisi, mida vaja oma oskuste arendamiseks kui ka uusi üldtehnilisi teadmisi, mida vaja oma kompetentsuse taseme tõstmiseks. Lisaks tehnilistele oskustele, on järjest väärtuslikumaks muutumas arusaam meeskonnatöö põhimõtetest, oskused iseseisvalt vastu võtta tarku otsuseid, olla osaline muutuste juhtimises, järjepidev iseõppimine ja ka vajadusel teiste juhendamine. Piirid traditsiooniliste „sinikraede“ ja „valgekraede“ vahel on kiiresti kadumas. Hinnatakse tehniliste, tehnoloogiliste (sh ka infotehnoloogiliste) ja majandusalaste teadmiste kombinatsiooni ja seda nii tehniliste lahenduste väljatöötamisel kui nende praktilise realiseerimise tasandil.

Teadmistes on väärtus ja kompetentsuses kapital. Edu ja jõudu raamatu lugemisel.



1. TÖÖSTUS- REVOLUTSIOON 4.0



1. NELJAS TÖÖSTUSREVOLUTSIOON (TÖÖSTUSREVOLUTSIOON 4.0)

Tänapäeval on robotite kasutamine tootmises väga oluline. Tänu nende paindlikkusele, töökindlusele ja korratavusele saab robotite roll üha tähtsamaks.

Tööstuse 4.0 suurimad „revolutsioonärid“ on sakslased, kes löid fenomeni kirjeldamiseks selle termini. Termin Tööstus 4.0 tuleneb Saksa valitsuse kõrgtehnoloogia strateegiast, mis loodi tagamaks Saksa tööstuse konkurentsivõimet rahvusvahelisel turul. Selle initsiatiivi eesmärk on Saksa majanduse rahvusvaheline juhtpositsioon. Tulemusena mõistetakse Tööstus 4.0 all individualiseeritud toodete säästlikku tootmist.

Neljas tööstusrevolutsioon (Tööstus 4.0) on kolme viimase tööstusrevolutsiooni tulemus. Tööstus 4.0 on sünonüümne tuleviku nutitööstuse tehnoloogiatega. Selle modernse tööstusrevolutsiooni aluseks on globaalne võrgustik inimestest, seadmetest ja toodetest ning autonoomne detsentraliseeritud tootmisüksuste juhtimine ja organiseerimine. Virtuaalse ja tegeliku maailma süntees aitab vastavusse viia seadmete ja tootmisvahendite töö reaalses ühes muutuvate tootmisvajadustega

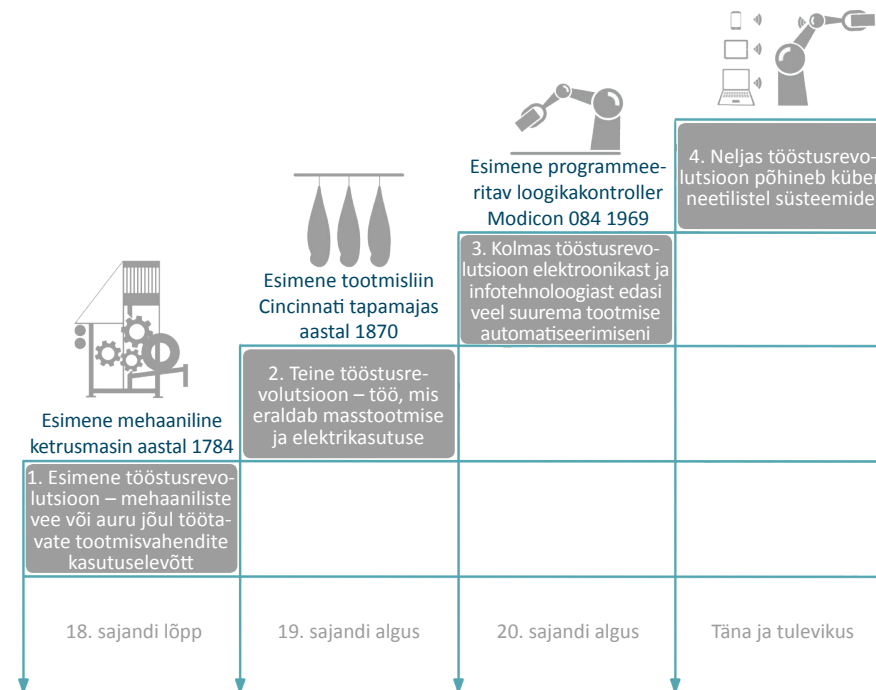
1.1. Neljas tööstusrevolutsioon - ajalugu

Tööstus 4.0 lisandväärtus on tootmisettevõtete, varustajate ja võimalike ostjate võrgustik, mis aitab luua maksimaalse ja paindliku tööproduktiivsuse. Neljas tööstusrevolutsioon on kestnud kauem kui viimased kümme aastat.

Mõistmaks tööstusrevolutsiooni Tööstus 4.0 aluseid täielikult ja kirjeldades peamisi omadusi, mis eristavad seda minevikust, tuleks korraks heita pilk tööstuse ajalukku. Kolme ajaloolise tööstusrevolutsiooni erinevusi on varakult esile tõstetud ja need on nüüd kergesti äratuntavad.

Esimese tööstusrevolutsiooni ajal, mis toimus aastatel 1760–1840, asendati käsitsi tehtav töö mehaaniliste seadmetega. Impulsi selleks andis aurumasina leiutamine. Käsitöö asendati mehaanilise masinaga, vankrid aururongide ja aurulaevadega. See viis suure tootlikkuse hüppeni, ja mitte ainult tööstussektoris (joonis 1.1).

19. sajandi lõpus ja 20. sajandi alguses aset leidnud konveierite kasutuselevõttu ja masstootmise teket tuntakse kui teist tööstusrevolutsiooni. Konveiereid kasutati esmakordselt Cincinnati tapamajas liha valmistamiseks. Hiljem võeti konveieritöö põhimõtte omaks autotööstuses.



Joonis 1.1. Tööstusrevolutsiooni ajalugu

Seitsmekümnendatel leidis aset kolmas tööstusrevolutsioon, mida mõnikord nimetatakse digirevolutsiooniks. Sellel perioodil võeti digitaalne tehnoloogia ning keskserved ja isiklikuks kasutamiseks mõeldud arvutid kasutusele tööstuses ja mujal ühiskonnas. Tehnoloogilised muutused, alustades kiipide paigaldamisest, on radikaalselt muutnud nii era- kui ka avalikku sektorit. Automaatjuhtimine (NC) ja arvutipõhine automaatjuhtimine (CNC) on asendanud käsitsi opereeritavad seadmed.

Kõik kolm tööstusrevolutsiooni on viinud tootmistingimuste radikaalsete muutusteni, mille mõju on puudutanud kogu ühiskonda. Neljas tööstusrevolutsioon leiab aset kolmanda tööstusrevolutsiooni alustel. Tänapäevane olukord, kus kaasaegsed ettevõtted on ennast otsimas, on muutunud palju keerukamaks. Teadus ja tehnoloogia koguvad tähtsust ja saavad üha enam tähelepanu, globaliseerumisest tingitud rahvusvahelised suhted on muutunud iseenesestmõistetavaks. Need protsessid soodustavad muutusi tootmises. Digitaalne tööstus, robotilised ja automatiseeritud vabrikud, kus suure osa tööst teevad masinad ja robotid, mida inimesed ainult juhendavad, on paljude ettevõtete reaalsuseks üle maailma. Need on digirevolutsiooni Tööstus 4.0 peamised tulemused.

Praegune, neljas tööstusrevolutsioon, tuntud ka kui asjade internet, tähendab tööstuse totaalset komputereerimist, mille peamine põhimõte on mehhanismide ja nende süsteemide ühendamine, et arendada nutivõrke terves ketis, kus nad saavad organiseeruda, kontrollida isetoimivaid tootmisprotsesse ja töödelda suuri andmehulki, mis aitab analüüsida ja optimeerida tootmist. Neljandal tööstusrevolutsioonil on suur mõju ühiskonnale, riigile ja maailma arengule. Selle mõju inimeste eludele ja riigi toimimisele on isegi suurem kui esimestel tööstusrevolutsioonidel. See mõjutab haridust ja tervishoiusüsteeme, tööd, kommunikatsiooni, eneseväljendust, infovastuvõtu harjumusi, elustiili harjumusi ja reisimisviise. Neljas tööstusrevolutsioon ei tähenda ainult „nutivabrikuid“ ja globaalset digitaliseerimist, see tähendab ka nutitelefone, nanotehnoloogiat, taastuvenergiaallikaid, nutilinnasid, robotikat, isejuhtivaid autosid

ja 3D-printereid, mida ei kasutata ainult tootmises, vaid ka teistes valdkondades.

Praeguse digirevolutsiooni kiirus mõjutab enim teadussüsteemi. Peame välja mõtlema, millised spetsialiste me kõige enam vajame, ja asuma neid koolitama. Võimalik, et kõiki vajadusi ei suuda me enustada, kuid kui soovime olla konkurentsivõimelised maailmaturgudel, ei tohi me karta muutusi. Väga oluline roll on teadustöötajatel, kes tänu laiale silmaringile, avastustele ja innovaatilisusele annavad koostöös ettevõtetega muutusesse suure panuse.

Digirevolutsiooni tingimustes on oluline mitte keskenduda ja kinni jääda vaid oma riiki. See on globaalne protsess ja riikide suurus pole oluline. Oluline on, mida suudetakse seal luua. Digitaalses revolutsioonis muutuvad kauguse ja transpordiprobleemid teisejärgulisteks, sest tooteid on võimalik luua samal ajal eri riikides. See muudabki need protsessid nii efektiivseks.

Kuidas neljas tööstusrevolutsioon areneb, sõltub inimestest, kultuurist ja väärtustest. Uued tehnoloogiad, ükskõik kui võimsad nad ka ei tunduks, on inimeste loodud tööriistad inimestele. Tuleb mees pidada, et innovatsioon ja tehnoloogiad peavad töötama inimeste heaks, mitte vastupidi. Sellisel juhul julgustab tehnoloogiline läbimurre jätkusuutlikku ühiskondlikku arengut, millest võidavad kõik sootsiumi liikmed.

1.2. Neljanda tööstusrevolutsiooni peamised elemendid

Neljanda tööstusrevolutsiooni laine erineb eelnevatest revolutsioonidest mitmes olulises aspektis, mida saab iseloomustada nende võtmetunnustega.

Sotsiaalmeedia. Sotsiaalmeedia kommunikatsioonistil erineb traditsioonilisest meediast nagu raadio või televisioon. Suhtlus sotsiaalmeedias on digitaalne ja interaktiivne. Sotsiaalmeedia kanalid

on näiteks Facebook, Xing või WhatsApp. Sotsiaalmeedia suurim boonus on võimalus lihtsaks infovahetuseks kasutajate ja seadmete vahel. Arenenud riikide tööstus kasutab neid meediume ettevõtete vaheliseks kommunikatsiooniks. Sotsiaalmeedia kujundab ettevõtete kuvandit, tagab globaalse ligipääsu infole ning annab ettevõtetele võimaluse hankida olulist infot.

Interdistsiplinaarsus. Interdistsiplinaarsust tuleb mõista kui kombinatsiooni teaduslikest distsipliinidest, mis on sõltumatud üksteisest ja erinevad meetoditelt, eeldustelt ja mõtteviisidelt. Erinevad otsustusstrateegiad tagavad parimad võimalikud lahendused. Tulemuseks on uus mõtteviis ja erinevad tegutsemisviisid.

Tööstus 4.0 toimib mitme erineva teadusdistsipliini sünergias. Üheks näiteks on siin mehhatroonika, mis tekkis mehaanika ja elektroonika kombineerumisest, lisades neile teadmisi juhtimisest ja infotehnoloogiast.

Virtualiseerumine. Virtualiseerumine on informaatikast laenatud funktsioon. Virtuaalne keskkond on eraldatud tegelikust maailmast, näiteks seadmetest. Nii on võimalik ressursse lahti ühendada ja kasutajate poolt paremini mõista. Neid põhimõtteid saab üle viia ka tootmisesse. Digitaalselt programmeeritava kontrolli (CNC) keskkonnas kasutakse üha suuremal määral CNC-virtualiseerimise seadmeid, et simuleerida digitaalset juhtimist. Virtualiseerimist saab kasutada ka tehnoloogiliste protsesside reaajas matkemodelleerimiseks.

Mobiilne pilv on kombinatsioon internetiteenusest, mis ühendab inforessursid ja eri serverite tarkvara. Mobiilsete sideseadmete kasutamine on muutumas üha olulisemaks faktoriks arvuti töö transportimisel, mobiilside, tark- ja riistvara abil. Mobiiltelefone saab nimetada nutitelefonideks, tahvliteks ja sülearvutiteks. Ettevõtte infole ligipääs ja rakendused peavad olema nii lihtsasti kättesaadavad kui võimalik. See peaks olema tulevikus kõigi ettevõtete standardiks. Valdonna arengut segab jätkuvalt küllaltki aeglane mobiilne internet, turvalisusstandardite puudulikkus ja nutiseadmete akude kiire tühjaks saamine.

Nutiseadmed. Intelligentsed seadmeid võib kasutada näiteks pakendites, materjalides, üksikutes osades, rekonstrueeritud vormides, mis on varustatud digitaalse mälu andmekandjate formaadis. Neis ühendatakse füüsiline ja digitaalne keskkond. See on vajalik nende objektide kindlakstegemiseks ja kirjeldamiseks. Protsessis kasutatakse näiteks vöötkoode ja raadiosageduse tuvastamise kiipe, mis sisestatakse kasutatavatesse skanneritesse ja arvutitesse (joonis 1.2).



Joonis 1.2. Raadiosageduse tuvastamise kiip (RFID)

Asjade internet. Internet kui meedium on edasi arenenud interaktiivseks infovahetuseks inimeste ja seadmete vahel. Tänapäevane interneti laienemine asjade internetiks on sobiv lahendus koondamaks eri objekte ühte digitaalsesse võrku, tänu millele saab teoks asjade ja keskkonna universaalne kommunikatsioon. Niimoodi integreeritakse reaalne seadmete ja detailide keskkond virtuaalsesse keskkonda. Asjade interneti üks ideedest on see, et igal toodetud tagavaratootel peaks olema IP-aadress ja see peaks olema ühendatud internetiga. Kord kasutatud, peaks detail jääma võrku ja olema lingitud hooldusosakonnaga kogu eluea vältel. Nii kasutatakse ressursse efektiivsemalt, saavutatakse suurem tootmisefektiivsus ja hoolduskulud vähenevad. Suurim väljakutse asjade internetiga on süsteemidevahelise ühesuunalise suhtluse standardi loomine.

Suurandmed (Big Data). Mida enam internetitehnoloogia areneb, seda lihtsam on koguda, talletada ja analüüsida suuri andmehulkasid. Mõiste suurandmed kirjeldab globaalselt kiiresti kasvavat suurt andmehulka.

Suurandmete lisandväärtus põhineb asjaolul, et neid andmeid saab kasutada tööstusliku tootmise automatiseerimises, visualiseerimises ja analüüsimises.

Analüüs ja optimeerimine. Eesmärk on saada suurandmetest suurimat kasu. Seega muutub üha tähtsamaks andmete kvantitatiivne käsitlemine ja analüüs. Suurest andmehulgast eraldatakse vajalik info statistiliste meetoditega. Välise filtrite kaudu vajaliku info kättesaamist suurest infohulgast nimetatakse ka andmekaeveks või andmeotsinguks. Suurandmed hõlmavad aina enam struktureerimata andmeid, mis võivad varustada meid uute teadmistega nagu protsessi optimeerimine uute tehnikate ja tuvastusteooriate kaudu.

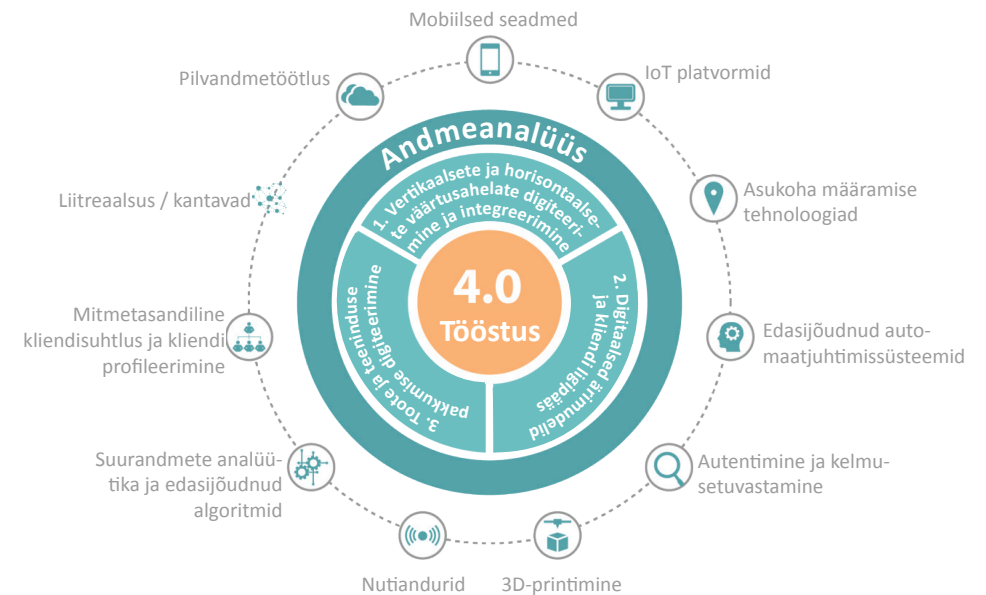
Küberfüüsikalised süsteemid. Küberfüüsikalistes süsteemides arvuti suhtleb ja juhib füüsilisi (reaalseid) seadmeid. Fraunhoferi integreeritud elektroonika instituut on kitsendanud küberfüüsikalist süsteemi järgmiselt: „Küberfüüsikaline süsteem kirjeldab informaatiliste, tarkvaratehnoloogiliste komponentide sidumist mehaaniliste ja elektrooniliste osadega, mis suhtlevad omavahel üle andmeinfrastruktuuri, näiteks interneti.“

Nutikontroller juhib iseseisvalt tootmist ja kontrollib tootmise samme. See on üks võimalikke stsenaariume küberfüüsikaliste süsteemide kasutamisel. Laiemalt võib neid tehnoloogiaid lisada statistilise protsessi kontrolli (SPC) seadmete keskkonda. Üheks näiteks, kuidas küberfüüsikalist süsteemi kasutada statistilise protsessi kontrolli (SPC) seadmete keskkonnas, on nutiprügikonteiner, mis suudab monitoorida oma täituvuse taset videoanduriga ja organiseerida ise õigeaegse prügiveo. Arvutiprogrammi võime õppida ja teha ise otsuseid annab põhjust järelduseks, et pikas plaanis pole enam vahet tehis- ja tegelikul intelligentsusel.

Nutitehas. Nutitehase kontseptsioon kirjeldab uut mõtlemist internetikasutusest tootmises, kus luuakse paindlik tehas tänu inimeste, seadmete ja kaupade suhtlusele ja toodetakse just seda, mida tarvis. Tootmisprotsess on sellistes tehastes detsentraliseeritud ja seda juhivad isetoodevad tooted (kasutades küberfüüsikalist süsteemi).

Toorained ja pooleldi viimistletud tooted, samuti kui tootvad tooted on piisavalt intelligentsed ja võrgustatud infokandjatega, mis suhtlevad nende keskkonna, inimeste ja seadmetega. Kõik see toob kaasa positiivse mõju keskkonnale, vähendab reostust, alandab tarnekuulusid, toodab ja kasutab energiat detsentraliseeritult ja suurendab tootmise produktiivsust.

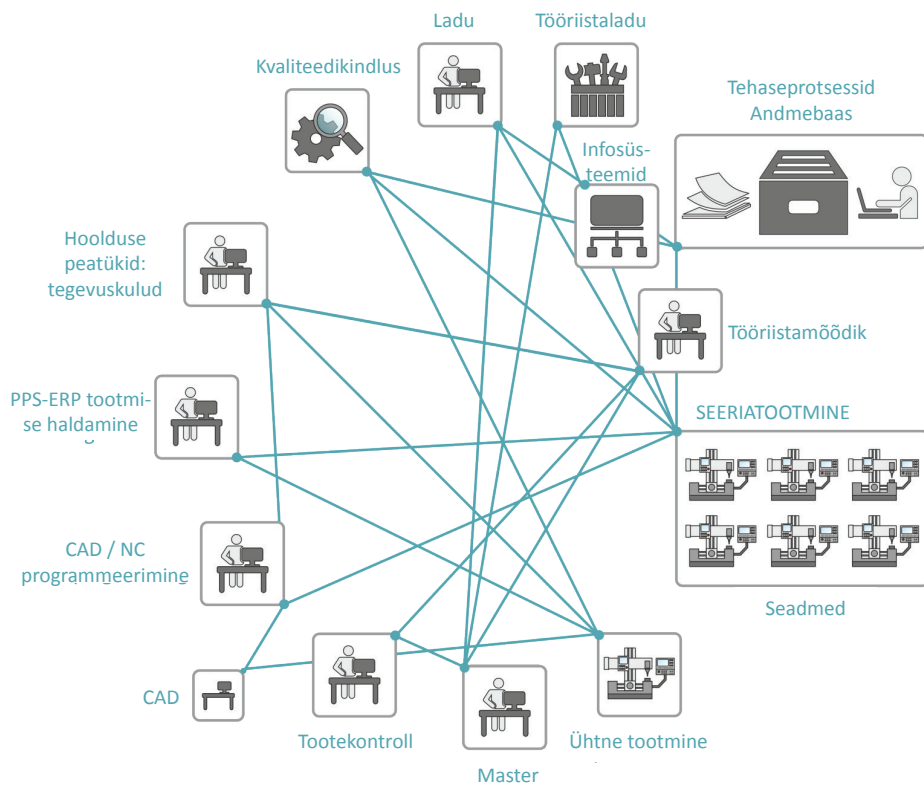
Intelligentsed (nuti-) tehased saavutavad maksimaalse energia ja ressursi efektiivsuse tänu asjade interneti reaaliajase juhtimisele. Joonis 1.3 kujutab neljanda tööstusrevolutsiooni ja digitaalse tehnoloogia aluseid.



Joonis 1.3 Tööstus 4.0 peamised tehnoloogiad

1.3. Neljas tööstusrevolutsioon tootmises

20. sajandil tegi 1970-ndadel tutvustatud arvuteid kasutav tootmine esimesi samme võrgustunud tootmise suunas. Esimene näide arvuteid integreerivast tootmisest jääb aastasse 1986. Ameerika Ühendriikides Detroitis näidati, kuidas integreeritud CAD/CAM-süsteem suudab täita mitmeid konstruktsiooni, tehnoloogia ja tootmisega seotud ülesandeid ühel ajal, kasutades arvuteid ja tarkvara. Sel ajal olid tootmises tavapärased isoleeritud rakendused, st süsteemid või programmid, mida sai kasutada tootmise piiratud osas.

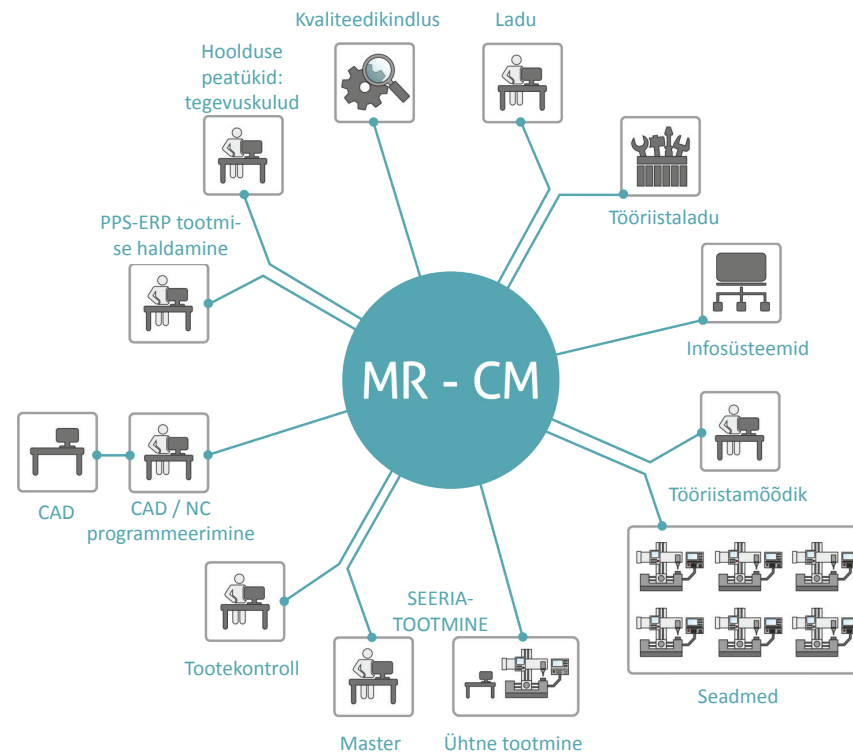


Joonis 1.4 Kommunikatsiooniliidised standardses tootmisettevõttes

Siiski olid sellised programmid, kus puudus side teiste süsteemidega, sobimatud kaasavaks kommunikatsiooniks.

Andmed sisestati käsitsi, mille tulemuseks oli suur veavõimalus, mis on peamiseks põhjuseks arvuteid integreeriva tootmise tõrgetes. Selle probleemi lahendamiseks arvuteid integreerivas tootmises loodi kommunikatsioon nn üks ühele liidises, kuid see oli kogum juhitamatuid ja märkamatu liideseid (joonis 1.4).

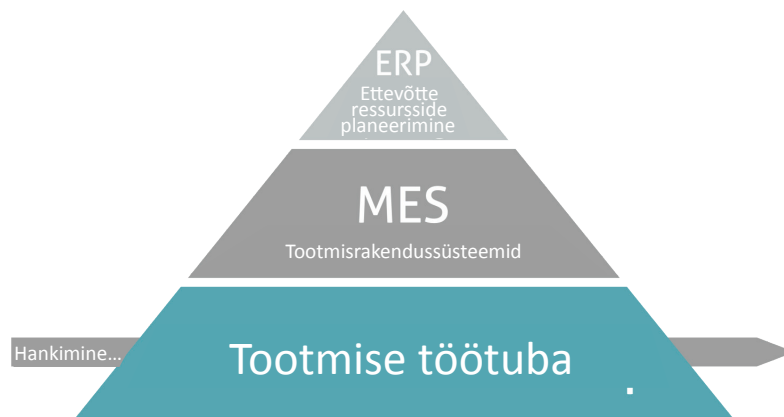
Intelligentne andmeplatvorm (võrgukeskus, andmepank, andmeserveri keskus) vähendab vajalike liideste arvu drastiliselt, kuid piirab ülekandekiirust (joonis 1.5).



Joonis 1.5 Nutiandmeplatvorm

Põhiline erinevus neljanda tööstusrevolutsiooni ja arvuteid integreeriva tootmise vahel on inimestele suunatud fookus. Neljas tööstusrevolutsioon toob inimese tootmiskeskusesse uute assisteerivate süsteemide kaudu, mis võivad leevendada rikkeid ja aidata keerukates tootmisprotsessides. Kuigi neljanda tööstusrevolutsiooni tehnikaid on visualiseeritakse ja analüüsitakse automaatselt, on otsustajaks alati inimene.

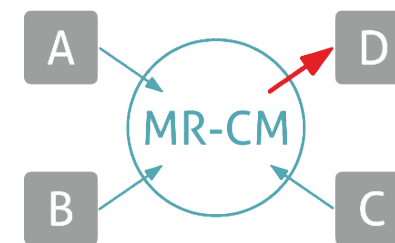
Tootmisrakendussüsteem (MES) on üks olulisimatest elementidest neljanda põlvkonna tööstuse läbimurdes. MES on arvuti tarkvara seadmete süsteem, mis täidab eri tootmisprotsessi juhtimisega seotud funktsioone. MES-i poolt tootmisprotsessi vältel kogutud andmed aitavad meil arvestada vahendeid, toorainet, inimesi, maksumust ja jõudlust. Need andmed töödeldakse ja antakse planeerijale kui otsustuste tegemiseks vajalik info. Sellisel juhul on keskus sisetootmisjuhtimise süsteemi andmeplatvorm. MES-funktsioonid on ühenduspunktiks IT-struktuuride ja ERP – ettevõtte ressurside planeerimise süsteemide (Enterprise Resource Planning System) ning tegeliku tootmise vahel. MES-süsteemid loovad sel viisil vertikaalse ja horisontaalse tootmise integratsiooni, mis on nutivabriku eeltingimuseks (joonis 1.6).



Joonis 1.6 Nutitootmise kontrollisüsteem

Vertikaalse integratsiooni vältel kantakse ERP-süsteemi planeeritud tootmisülesanded üle MES-süsteemile, mis kindlustab nende eduka täitmise kuni lõppresultaadini ettevõtte töökojas. Selles protsessis realiseeritakse integreeritud andmevoog ning ülesande lõpetamisel informeeritakse sellest ERP-süsteemis. Tänu võrguühendusele on ERP-süsteemil ligipääs kõigile tootmisandmetele ja see suudab järjestada plaanilised ülesanded vastavalt tähtaegadele. Horisontaalne tootmistase realiseeritakse töökoja taseme seadmete võrku ühendamise. Võrgu Hub – Hub (HUB) ühendab eri internetiseadmed (sh seadmed ja masinad) ühte võrgulõiku. Reseller Network (arvutivõrguseade) võimaldab selle aparatuuri kommunikatsiooni reaajas. Tänu kõigi tootjate täielikule horisontaalsele ja vertikaalsele integratsioonile läbi andmesidesti on võimalik selgelt ja produktiivselt tootmine realiseerida. Siiani on tootmise IT struktuur jätkuvalt püramiidikujuline, kuid tulevikus see muutub. Neljanda tööstusrevolutsiooni jätkudes asendatakse see struktuur hajutatud ja isetoimivate lokaalsete süsteemidega. Kasutajal on kõige rohkem kasu MES-süsteemist, mis on võimeline pidevalt andmeid sisestama.

Selles olukorras suudab MES-süsteem üle kanda vajalikke andmeid eri lokaalsetest süsteemidest (A, B ja C) päringu esitanud operaatorile D. Samamoodi loob selle info töötlemine uusi, tõhusaid andmeid töövoos jaoks (joonis 1.7).



Joonis 1.7 Andmevahetussüsteem

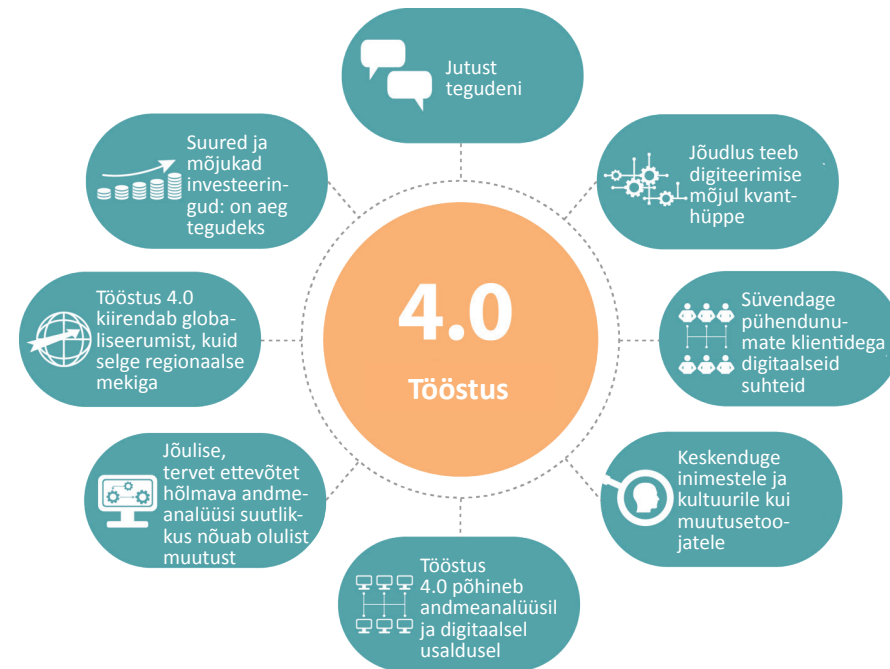
Integreeritud süsteemilahendus MES lubab teil jälgida kogu tootmise ja selle protsesside arengut, samal ajal vaadeldes kontsernikuvandit spetsiifilisi tootmisprotsesse analüüsid. Lisaks on tagatud ühtlane digitaalne töövoog, et kindlustada automatiseeritud ja manipulatsioonikindel tootekontroll OEE-meetodiga. OEE mängib tähtsat rolli tootmisprotsesside efektiivsemaks muutmises, tagades samaaegselt kvaliteeti, terviklikkust ja produktiivsust. See hea tootmistava teoorial põhinev näitaja tagab tulemused kättesaadavuses, jõudluses ja kvaliteedis. Saavutatud selgus garanteerib tootmise produktiivsuse pikaks ajaks, sest see täpsustab, kui seade ei lisa väärtust või ei tööta täisvõimsusel. MES-süsteem saab sellega hakkama, kuna töötajad, kes siiani kogusid teadmisi andmebaasidesse, neid avalikuks tegemata, saavad nüüd valmistada andmeid ette digitaalseks kasutuseks töötajatele ja seadmetele, sõltumata nende asukohast.

Tootmise arenguga käsikäs pakub nüüdisaegne neljandale tööstusrevolutsioonile sobiv MES-süsteem tarbijale suure valiku assisteerivaid süsteeme ja andmeanalüüsi tehnikaid, mis aitavad kogu tootmistsükli keerukust vähendada. Lisaks pakub MES-süsteem boonuseid käeshoitava kontrolleri programmeerimisel: süsteem tagab automaatselt tööriistade nimekirja ja tänu täppismasintöötlustele välistab kõik ebatäpsused tootmises või koostamisprotsessis. Samal ajal standardiseeritakse digitaalse juhtimise dokumentatsiooni ja valmistatakse ette selle elektroonilist versiooni. Digitaliseeritakse seni paberkujul eksisteerinud info. Tänu MES-süsteemile sisenetakse digitaalsesse ruumi. MES-süsteem võimaldab jälgida kõiki muutusi SV-rakendustes ja eristada tööga seotud personali ja kasutatud seadmeid. Tänu komputriseeritud dokumentatsioonile saavutatakse kogu tootmisprotsessi efektiivne ja läbipaistev kuju.

Järgmine samm neljandas tööstusrevolutsioonis tootmise vallas on kommunikatsiooni ja liideste standardite loomine. Infovahetus inimeste ja seadmete vahel toimub jätkuvalt, kasutades suletud andmeformaate, mis ei kaitse katkestuste ja andmekao eest. Probleemi laheneb, kui kasutusele võetakse MES-süsteem, kuhu on installitud võrgukeskus. Mitmekeelne tõlkeaparaat reguleerib keskselt kommu-

nikatsiooni, töötleb automaatselt andmeid ja toob kokku kommunikatsiooni ja andmekaablid. XML-il (laiendataval märgistuskeelel) põhineva standardi kasutamine vertikaalse ja horisontaalse integratsiooni kasutuselevõtuks laiendab tavaüsteeme ja lihtsustab interneti kaudu ühendatud eri tüüpi süsteemide andmevahetust.

Neljanda tööstusrevolutsiooni eesmärgid tööstusettevõtte seisukohalt on osaliselt välja toodud joonisel 1.8.



Joonis 1.8 Tööstus 4.0 eesmärgid ja ülesanded

1.4. Neljanda tööstusrevolutsiooni riskid ja väljakutsed

Ühel või teisel viisil on tootmise areng sõltuvuses meie valikutest kodanike, tarbijate või investoritena. Mida rohkem teeme kaalutletud otsuseid ja jälgime oma lahenduste õigsust ja mudeleid, mis meid sotsiaalselt juhivad, seda suurem on meie võimekus suunata neljandat tööstusrevolutsiooni suunda, mis aitaks meil saavutada ühiseid eesmärgi ja tugevdada meie väärtuseid. Kahtlemata puuduvad neljandat tööstusrevolutsiooni muu inimtegevusega samad väljakutsed. Neljanda tööstusrevolutsiooni väljakutsed tootmises on seotud järgnevate aspektidega.

Standardiseerimine ja tarkvara arhitektuur. Neljas tööstusrevolutsioon tähendab kogu internetipõhist võrgustumist ja et integreeritakse kõik (toorainest toote jälgimiseni). Täna takerdub see segamatu kommunikatsioon veel tervikliku tarkvara arhitektuuri puudumisse, st et olla vastavuses erinevate klientide vajadustega, tuleb teha palju individuaalset ja kulumahukat programmeerimist. Seetõttu on riiki või mitut ettevõtet hõlmavate suurprojektide läbi viimine piiratud.

Teadmised keerukatest süsteemidest. Tooted ja nende tootmise süsteemid on muutumas üha keerukamaks. Tõhusad planeerimismudelid võivad teil aidata kasvava keerukusega toime tulla. Kuid tänapäeval pole piisavalt meetodeid ja tööriistu selliste mudelite loomiseks. Vaja on ümber korraldada majanduslikud, sotsiaalsed ja poliitilised süsteemid. Meie praegused juhtimisstruktuurid ja hoolekandemudelid pole enam ajakohased, veel vähem vastavad need tuleviku vajadustele. Meid ei rahulda hetkel enam väikesed muudatused või väikesed reformid – me peame tulema rambivalgusesse innovatiivsete muudatustega.

Nutivõrgu infrastruktuur tööstusele. Peamine eeldus neljandaks tööstusrevolutsiooniks tootmises on turvaline, kõrgekvaliteediline, intelligentne kommunikatsioonivõrgustik.

Seda peab täiendama globaalselt teostatud intelligentne interneti infrastruktuur. Ühe ja sama kaabli või juhtmeta netiühendusega, sh 5G tehnoloogiaga, saab võrgustikule edastada korraga palju signaale.

Turvalisus. Võtmetegur intelligentsete tootmissüsteemide edus on töö turvalisus ja kaitse pahatahtlike rünnakute eest. Esiteks ei tohi tööstusseadmed ja tooted ise inimesi ja keskkonda ohustada, ja teiseks tuleb kaitsta seadmeid ja tooteid, eriti andmeid ja seal säilitatud infot sobimatu kasutuse ja autoriseerimata ligipääsu eest. Sel eesmärgil tuleks kasutusele võtta integreeritud talletusstruktuurid ja unikaalsed identifitseerimistööriistad.

Haridus ja professionaalne areng. Neljanda tööstusrevolutsiooni valdkonna töötajate ülesanded ja ametioskused muutuvad tulevikus dramaatiliselt. Siiski on hetkel veel liiga vähe spetsiaalsetele vajadustele suunatud väljaõppestrateegiaid töötajatele. Lahendused tulevad inimestelt. Värvata tuleb parimad saadaolevad ressursid, eriti teadlased, insenerid ja juristid üle maailma, nii avalikust kui ka erasektorist. Õigusnormid. Neljanda tööstusrevolutsiooni tootmisprotsessid ja targad võrgud peavad olema viidud kooskõlla seaduste ja regulatsioonidega, mis on riigiti erinevad. Väljakutseks on mitmed andmekaitse, vastutuse, personaalsete andmete ja kaubitsemise piirangud, eriti EL-i isikuandmete kaitse direktiivi jõustumine. Puudu on nii seadusloojate kui ka valdkonna tegijate toest: vajaka on ühtsete juhtimispõhimõtete loomisest, testlepingute valideerimisest, äriliste kokkulepete kooskõlastamisest või isereguleeruvatest vahenditest nagu auditeerimine, ja paljudest teistest sobivatest vahenditest.

Ressursside kuluefektiivsus. Üks faktoritest, mis piirab neljandat tööstusrevolutsiooni, on kõrge energiatarbimine. Kuigi paljud objektid on seotud kommunikatsioonitehnoloogia kaudu, sõltub nende töö võrgu energiavarustusest.

Tänapäevani pole piisavalt tähelepanu pööratud andurite, seadmete, kommunikatsioonivahendite energiasäästu aspektile.

Neljas tööstusrevolutsioon toob uut jõudu nii indiviididele kui ka kogukondadele, ja loob uusi majanduslikke, sotsiaalseid ja omavarustuslikke võimalusi. Samas võivad need muutused viia mõned inimgrupid uue ebavõrdsuse äärele, tekitada uusi turvaote ja nõrgendada inimestevahelisi suhteid. Eksisteerib oht, et neljas tööstusrevolutsioon võib pea peale pöörata traditsioonilised inimeseks olemise alused: töö, kogukonna, perekonna ja identiteedi. Peame jätkuvalt austama ja sallima teisi inimesi ning üksteise eest hoolt kandma. Meie tegevus peab põhinema inimeste jõustamise ja kaasamise põhimõtetel. Neljas tööstusrevolutsioon võib viia avalikkuse uuele kollektiivse teadvuse ja moraali tasandile, kui me taipame, et vaid koostöös saavutame edu.

Kuidas neljas tööstusrevolutsioon areneb, sõltub inimestest, kultuurist ja väärtustest. Uued tehnoloogiad, ükskõik kui võimsad nad ka ei tunduks, on inimeste loodud tööriistad inimestele. Tuleb meeles pidada, et innovatsioon ja tehnoloogia peab olema loodud inimestele, mitte vastupidi. Sellisel juhul stimuleerib tehnoloogiline läbimurre jätkusuutlikku ühiskondlikku arengut, millest võivad kõik sootsiumi liikmed.

The image shows a white industrial robot arm, specifically a FANUC model, positioned in a factory environment. The robot arm is mounted on a vertical column and is reaching towards a work area. The background is a dark blue, semi-transparent overlay featuring a complex network of white lines and dots, resembling a data or communication network. The overall scene is dimly lit, with the robot arm being the primary light source. The text '2. MEHAANILISE TÖÖTLEMISE SEADMED' is overlaid in a large, bold, yellow font on the left side of the image. The robot arm has 'FC41' and 'OPTi mill® F150' printed on its upper section. A small label at the base of the arm reads 'FANUC ROBOT'.

2. MEHAANILISE TÖÖTLEMISE SEADMED

2. MEHAANILISE TÖÖTLEMISE SEADMED

2.1. Treimisseadmed

2.1.1 Treipingid

Treipinke kasutavad tootmisettevõtted laialdaselt. Sageli moodustavad treipingid 25–50% kõikidest töötlemisvahenditest masinaehitustehases. Treipingi abil töödeldakse pöörlevast toorikust soovitud kujuga detail. Neid saab kasutada detailide välis-, sise- ja otspindade töötlemiseks. Need pinnad võivad olla väga erineva kujuga: silindrilised, koonilised, spiraalsed jne.

Treipinkide tehnoloogilised võimalused sõltuvad nende konstruktsioonist, varustusest, täpsusklassist, võimsusest ja arvjuhtimissüsteemist (CNC). Tänapäevased tööpingid on väga erineva konstruktsiooniga, nende juhtpinnad võivad olla kaldsed või vertikaalsed, neil võib olla lõiketerade vahetamiseks revolverpea või eraldi pesad, mis võimaldavad treiterade vahetamist programmi alusel. Mõnel CNC-tööpingil on täiendav pikisuunas treimise-freesimise varustus. Neid kasutatakse samal moel kui revolvertreipinke.

Treipinkide rühma kuuluvad järgmised seadmete põhitüübid: lihtsad treipingid, universaalsed treipingid, arvjuhtimisega treipingid, revolvertreipingid, mitme teraga treipingid, vertikaalsed sise- ja välistreipingid, otspinna treipingid, automaatsed ja poolautomaatsed treipingid ning paljud rakendusekohased treipingid. Treipinkides kasutatakse erinevat tüüpi trei- ja sisetreiterasid, puure, kroonpuure, hõõritsaid, keermekamme, keermepuure, keermelõikureid ja muid tööriistu. Erinevat tüüpi seadmed võivad olla erineva suurusega olenevalt töödeldavate detailide mõõtmetest ja muudest parameetritest, nt treidetailide läbimõõdust ja pikkusest ning spindlite arvust.

Lihtsad treipingid on lihtsustatud konstruktsiooniga universaalsed treipingid. Neil ei ole käigukruvi. Neid pinke ei saa kasutada keermestatud pinna tegemiseks üksersvlõikuri abil.

Universaalseid treipinke saab kasutada kõikide ülalnimetatud treimistööde jaoks, sh keermelõikuriga keermestamiseks. Sellepärast nimetatakse neid ka keermestavateks treipinkideks (joonis 2.1).

Tänapäevased arvjuhtimisega treipingid (joonis 2.2) võivad olla väga erineva konstruktsiooniga. Need arvutiga (arvjuhtimissüsteemi jaoks), ring- ja jooninterpoleerimise ning keermelõikuritega varustatud tööpingid pakuvad suurepärase tehnoloogilist potentsiaali. Neid saab lõiketera asendi seadmise abil kasutada keerulise profiili töötlemiseks kui ka keermelõikuriga keermestamiseks. Arvjuhtimisega treipingi kasutamisel on võimalik saavutada tolerantsiklass 7



Joonis 2.1.
Universaalne treipink OPTiturn TU 2304
(Optimum Maschinen Germany GmbH)

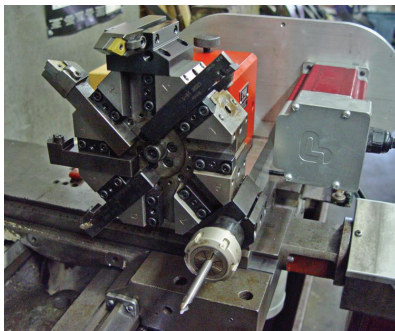


Joonis 2.2.
Arvjuhtimisega treipink OPTiturn L44
(Optimum Maschinen Germany GmbH)

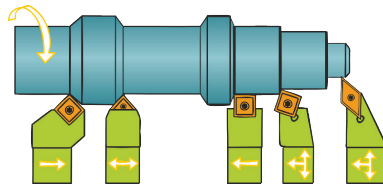
ja pinnakaredus kuni $Rz = 6\text{--}12\ \mu\text{m}$. Pärast põhjalikku pinnatöötlust võib pinnakareduseks saavutada ka $Rz = 20\ \mu\text{m}$. Keerme täpsusaste on 4h–6g. Seadme varustustasemest olenevalt võib saavutada ka kõrgema täpsusklassi.

Revolvertreipinke (joonis 2.3) kasutatakse lühikeste detailide töötlemiseks, kasutades tavaliselt varrasmaterjali. Põhimõtteline erinevus universaalsete treipinkidega seisneb selles, et nende tagapuki asemel on revolverpeaga puk, mille pesi kasutatakse detailide töötlemisel treiterade, puuride, kroonpuuride, keermelõikuritega.

Mitmeteratreipinkidel on mitu terahoidikut ja mitme ükserservlõikuri töö tehakse ühe läbimiga. Kõikide terade kogusügavus ei saa olla suurem kui 30–40 mm (joonis 2.4).



Joonis 2.3. Revolvertreipingi pea
(PracticalMachinist.com)



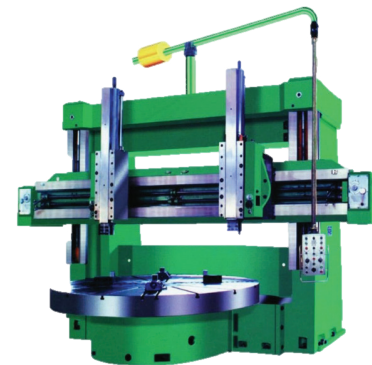
Joonis 2.4.
Detaili töötlemine mitmeteratreipingiga

Vertikaalseid sise- ja välistreipinke kasutatakse selliste raskete detailide keerukaks töötlemiseks, nagu seadmekorpused, turbii- nide staatorid ja rootorid, hoorattad, rihmarattad jms (joonis 2.5). Vertikaalsete sise- ja välistreipinkide üks eriomadus on, et need on varustatud horisontaalse pöördlauaga.

Nende tööpinkide korral paikneb töödeldav detail vertikaaltelje ümber pöörleval pöördlual ja lõiketerad on vertikaalsetel tugeudel ning külgtugeudel.

Otspinna treipinke kasutatakse suure läbimõõduga (kuni 6000 mm), kuid suhteliselt lühikeste detailide (nt hoorattad, turbiinikettad, ää- rikud jne) töötlemiseks. Erinevalt universaaltreipinkidest on nendel treipinkidel lühike säng, kuid tavaliselt puudub tagapukk.

Tavaliselt kasutatakse neid otspindade treimiseks.



Joonis 2.5.
Vertikaalne sise- ja välistreipink CK5250
(Zhengzhou Wonlon Machinery)



Joonis 2.6.
Otspinna treipink CK64160 (KAIDA)

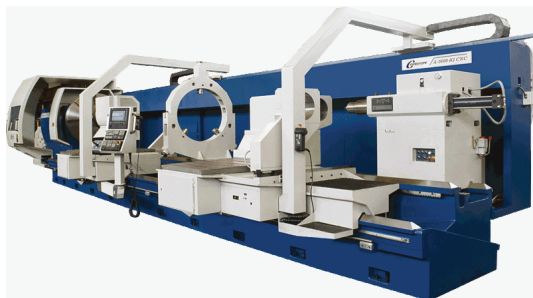
Spetsiaaltreipinke kasutatakse väga spetsiifiliste tööülesannete korral: toruotste, vaguni rattakomplektide, klamberketaste, pikkade nukkvõllide, ekstsentriliste ja astmeliste võllide jne treimiseks (joonis 2.7). Seda tüüpi treipingid võivad olla väga erineva suurusega, alustades kõige väiksematest, mida saab kasutada kella- ja seadmetööstuses kuni rasketööstusrakenduste pinkideni, mida kasutatakse 1600 mm läbimõõduga ja 16 000 mm pikkuste (või mõnikord ka pikemate) detailide töötlemiseks.

Suurpartiide ja masstootmise korral kasutatakse erinevaid automaatseid ja poolautomaatseid treipinke. Need võivad olla erineva konstruktsiooniga: ühe spindliga ja mitme spindliga automaatsed ja poolautomaatsed treipingid, revolverpeaga universaalsed automaattreipingid, automaatsed kujulõike-treipingid, automaatsed pikietteandega kujulõike-treipingid jne.

2.1.2 Treidetailide paigutamine ja kinnitamine

Treimiseks saab detaili kinnitada padruni, tsentri, treitorni või plaaniseibi abil. Treipinkides on detailide kinnitamiseks tavaliselt kasutusel isetsentreeruvad kolme pakiga padrunid (joonis 2.8).

Tavaliselt kinnitatakse kolme pakiga padrunisse detaile, mille pikkuse ja läbimõõdu suhe (l/d) on 4. Pikemaid detaile saab treimiseks toetada tagapuki liikumatu tsentriga. Nelja pakiga padruneid kasutatakse ühtlase silindrilise kuju ja nelja või kaheksa servaga detailide kinnitamiseks. Keerulise kujuga detaile kinnitatakse kahe, kuue või kaheksa pakiga padrunisse. Treipingi padruni pigistusjõud peab olema selline, et detaile saaks töödelda neid deformeerimata (nt õhukese seinaga detailid) ja detailile oleks võimalik üle kanda pöördemomenti, mis ületab lõikejõu takistustõhju.



Joonis 2.7. Kohandatud treipink A-1600 4G nelja juhtpinnaga (töödeldava detaili pikkus võib olla kuni 15 000 mm, läbimõõt 1300 mm, mass 15 t ja sisetreipinna läbimõõt 550 mm) (tootja Gurutzpe)



Joonis 2.8. Kolme pakiga padrun

PRAKTILINE NÕUANNE

Täppisdetailide töötlemiseks tuleb padruni pakid seada treitava detaili läbimõõdu kohaselt.

Arvuhtimisega (CNC-) treipinkides kasutatakse ka hüdraulilisi või pneumaatilisi padroneid. Selliseid padroneid saab juhtida programmiga või seadme lähedal paikneva pedaaliga. Padruni juhtimine pedaaliga lihtsustab seadme kasutajal detaili või selle suuna käsitsi vahetamist.

Enamikul CNC-treipinkidel näitab ekraan teadet, et padrun on suletud (Close Chuck), mis tähendab, et detail on lukustatud, ja teadet, et padrun on avatud (Open Chuck), mis tähendab, et detail on vabastatud. Selleks otstarbeks on juhtpaneelil lüliti, mis tuleb seada ettenähtud asendisse sõltumata sellest, millisel pakkide pinnal (sisemisel või välisisel) treitav toorik paikneb.

Padruni juhtimine programmiga on mugav sellistel juhtudel, kui pingid on varustatud varraste või torude etteandeseadmega. Sellisel juhul lõikab tera töödeldud detaili ühes otsas lahti ja teist detaili töödeldakse edasi samal ajal, kui etteandeseade nihutab varrast määratud pikkuse võrra. Siin kasutatakse juhtprogrammi nii varda etteandmiseks kui ka padruni sulgemiseks ja avamiseks.

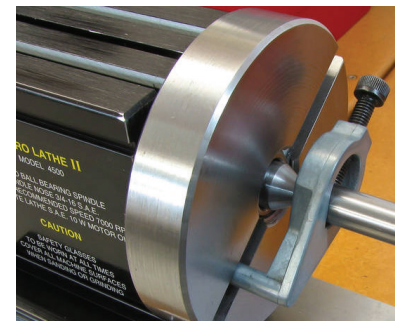
Lisapadruniga CNC-treipinkide juhtimiseks kasutatakse juhtprogramme. Sellisel juhul peab kasutaja ainult kinnitama detaili peapadrunisse ja käivitama programmi. Ta ei pea detaili ümber pöörama. Treipingi töötsükkel on järgmine: detaili töötlemine ühest otsast > lisapadruni avamine > detaili lähendamine > pöördemomendi sünkroonimine peapadruniga ja sulgemine > detaili ärälõikamine > lisapadruni tagasitõmbamine > detaili töötlemine teisest otsast > programmi seiskamine. Lisapadruniga saab täita ka varda etteandefunktsiooni. Sellisel juhul on tööpink täielikult automatiseeritud ja kasutaja ei pea detaile vahetama.

CNC-treipinkides on padruni pakkide pigistusjõu seadmiseks kasutusel spetsiaalne regulaator, mis muudab õli- või õhurõhku. Tavaliselt määratakse pigistusjõu väärtus üks kord ja seda enam ei muudeta. Siiski tuleb mõnikord padruni pakkide pigistusjõudu muuta, nt õhukese seinaga detailide töötlemise korral, et vältida detaili deformeerumist suure pigistusjõu tõttu.

Nii nagu universaaltreipinkidel võib ka CNC-treipinkidel olla tagapukk, mille liikumatut tsentrit kasutatakse pikkade detailide toetamiseks (siiski mitte alati). Sellisel juhul töötab lisapadrun tagapukina.

Kui treitava detaili pikkuse ja läbimõõdu suhe (l/d) on 4–10, kinnitatakse detail tavaliselt tsentrite vahele ja spindli pöördemoment edastatakse detailile kaasaveopadruni vms kaasaveorakise abil (joonis 2.9). Selleks puuritakse võlli otsa tsepterpuuriga tsentreerivad avad. Tsentreeritud detail fikseeritakse liikuva ja liikumatu tsentri vahele.

Kui on vaja treida õhukese seinaga detaile, mille $l/d > 10-12$, kasutatakse detaili täiendavaks toetamiseks lünette (joonis 2.10), mis vähendavad lõikejõu põhjustatud deformatsiooni. Neid kasutatakse



Joonis 2.9. Kaasaveopadrun ja kaasaveorakis (Tooling Around)



Joonis 2.10. Lünnett (PracticalMachinist.com)

ka pikkade völliide toetamiseks otste treimisel, puurimisel või siset-reimisel. Liikuv lünett on kinnitatud seadme pikikelgu ja liikumatu lünett sängi külge.

Aksiaalavaga rõngaste, pukside jne välisläbimõõdu treimiseks fikseeritakse need erineva kujuga tornide abil. Tornid valmistatakse tavaliselt veidi koonilisena (koonilisus $K = 1/200-1/400$). Detaili kinnitamiseks torniga kasutatakse pneumopressi, mis paikneb seadme lähedal. Kasutatakse ka laienevate elastsete komponentidega vedru-
torne (laienevad tornid).

Suuri ebareeglipärase kujuga detaile saab kinnitada plaanseibi abil (joonis 2.11). Plaanseib on kinnitatud padrunisse või spindli ääriku külge ja pöörleb koos sellega. Detaili paigutamise täpsus sõltub mõõtevahendi täpsusest. Tavaliselt kasutatakse sellist kinnitusviisi detaili sisepindade treimise korral. Plaanseibi ei saa kasutada suure pöörlemiskiiruse korral mõjuvate inertsjõudude tõttu.



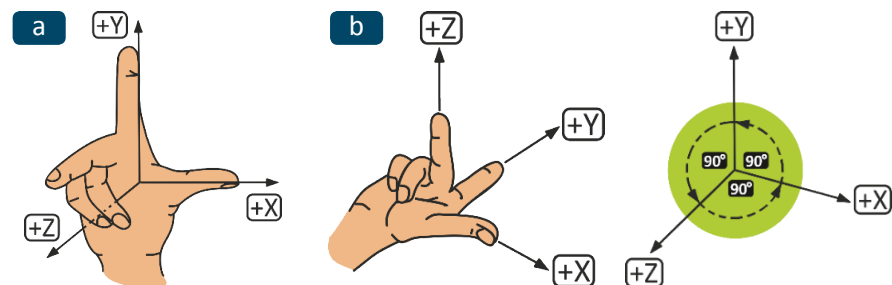
Joonis 2.11. Plaanseib
(The Metalworkers Workshop)

2.1.3 CNC-treipinkide koordinaatsüsteemid ning detaili ja tera dimensioneerimine

Treipingi koordinaatsüsteem

Seadme tööalas konkreetse punkti asukoha määramiseks tuleb valida koordinaatsüsteem. Tavaliselt kasutatakse kolmemõõtmelist ristkoordinaatsüsteemi. See koosneb kolmest omavahel risti olevast (X-, Y- ja Z-) teljest, mis lõikuvad ühes punktis. Koordinaattelgede positiivse suuna määrab nn parema käe kolme sõrme reegel. Selle reegli järgi näitab parema käe põial abstsissitelje (X) positiivset suunda, nimetissõrm ordinaattelje (Y) positiivset suunda ja keskmine sõrm aplikaattelje (Z) suunda (joonis 2.12 a). Koordinaatsüsteemi suund on seadmekohane ja sõltub pingi tüübist. Koordinaatsüsteemi saab orienteerida mistahes suunas (joonis 2.12 b).

Koordinaatsüsteem sõltub töödeldavast detailist ja programmeerimine ei sõltu tera ega detaili liikumise suunast. Programmeerimisel eeldatakse alati, et tera liigub detaili koordinaatsüsteemi suhtes. See tagab ka programmi sobivuse juhul, kui tera asemel liigutatakse detaili.



Joonis 2.12. Telgede suuna määramine ruumis parema käe reegli alusel:
a) lineaartelgede suund, b) pööratud koordinaatsüsteem (treimisel)

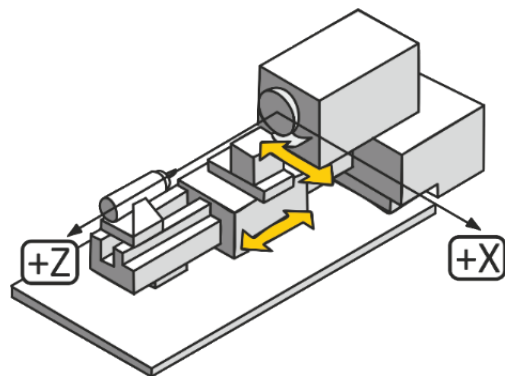
Joonis 2.13 näitab, kuidas määrata treipingi koordinaatsüsteemi.

Treipingi nullpunkt M on treipingi koordinaatide üldine nullpunkt (joonis 2.14).

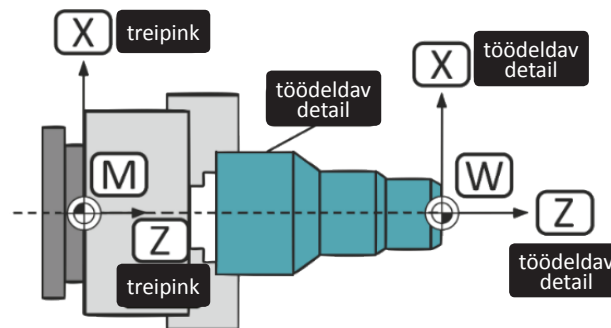
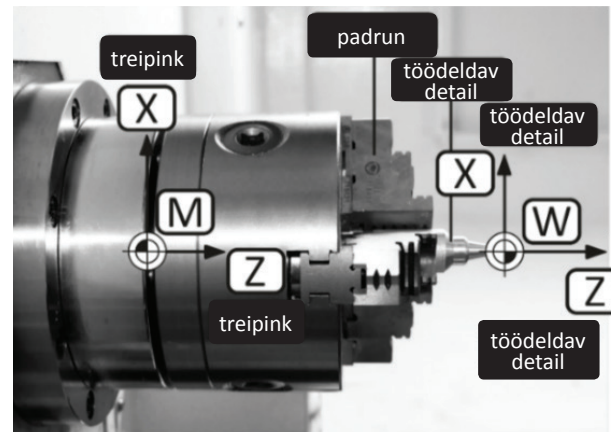
Treipingi koordinaatide nullpunkti M määrab kindlaks treipingi tootja ja seda ei tohi muuta. Joonisel 2.14 tähistab täht W töödeldava detaili nullpunkti. See on pöörleva detaili telje ja otstasapinna lõikepunkt.

Telgede tähistus tuleb valida selline, et tera liigub treitava detaili telje positiivses suunas.

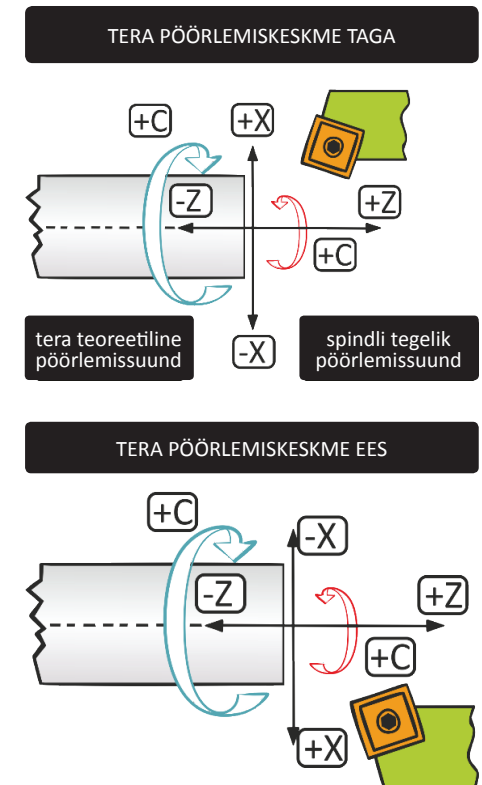
Seega on treipingi tera asendist töödeldava detaili suhtes lähtuv koordinaatsüsteem erinev (joonis 2.15).



Joonis 2.13.
Treipingi koordinaatsüsteemi määramine



Joonis 2.14.
Treipingi nullpunkt M ja töödeldava detaili nullpunkt W



Joonis 2.15. Treipingi koordinaattelgede ja liikumissuundade tähistamine

Detaili koordinaatsüsteem

Töödeldava detaili geomeetria töötlemisprogrammis määratlemiseks kasutatakse lineaartelgede ja pöörlemistelgede suundade määramisel samuti parema käe reeglit.

Selle reegli kohaselt: kui parema käe põial on suunatud kindla telje suunas, näitavad kõverdatud neli sõrme pöörlemise positiivset suunda (joonis 2.16).

Programmeerijal on töödeldava detaili nullpunkti W valimine Z-teljel lihtne, kuid seadme nullpunkti on töödeldava detaili geomeetria programmeerimisel ebamugav kasutada (joonis 2.17). X-teljel on töödeldava detaili nullpunkt paigutatud detaili keskele.

Treitava detaili läbimõõt tuleb sisestada programmi X-koordinaadina. X-telje positiivne suund näitab tera liikumissuunda. Telgede tähistus tuleb valida selline, et tera liigub treitava detaili telje positiivses suunas.

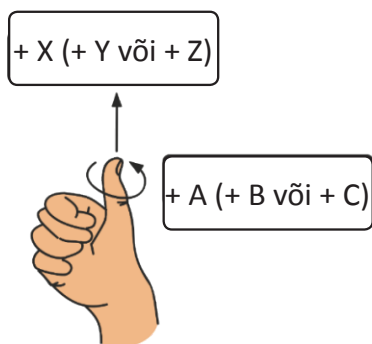
Joonisel 2.18 on näidatud, kuidas määrata töödeldava detaili koordinaatsüsteemi.

Suhteline koordinaatsüsteem

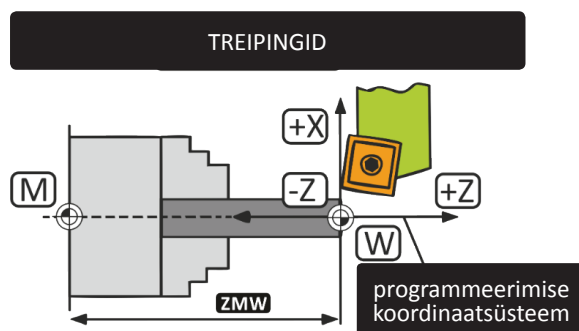
Peale treipingi ja töödeldava detaili koordinaatsüsteemi võimaldab juhtsüsteem kasutada suhtelist koordinaatsüsteemi. Seda koordinaatsüsteemi kasutatakse täiendavate juhtpunktide määramiseks ja see ei mõjuta töödeldava detaili koordinaatsüsteemi.

Töödeldava detaili kinnitamine

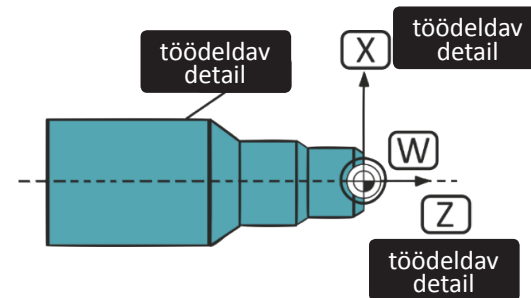
Treitava detaili kinnitamisel peab selle joondama nii, et detaili koordinaatsüsteem on paralleelne treipingi koordinaatsüsteemiga (joonis 2.14), erinev on ainult nullpunkti asukoht. Töödeldava detaili koordinaatsüsteemi nullpunkti peab valima treipingi kasutaja või programmeerija. Vahekaugust seadme nullpunkti ja töödeldava detaili nullpunkti vahel nimetatakse töödeldava detaili kompensatsiooniks. Iga koordinaatsüsteemi jaoks määratud kompenseerimisväärtused on salvestatud treipingi arvjuhtimisseadme mälu kompenseerimisregistris ja see rakendub, kui kindel koordinaatsüsteem rakendatakse kindla koodiga (nt käsuga G54).



Joonis 2.16. Parema käe reegel pöörlevate telgede pöörlemissuuna määramiseks



Joonis 2.17. Töödeldava detaili nullpunkt treimisel



Joonis 2.18. Koordinaatsüsteem ja töödeldava detaili nullpunkti W asukoht treimisel

PRAKTILINE NÕUANNE

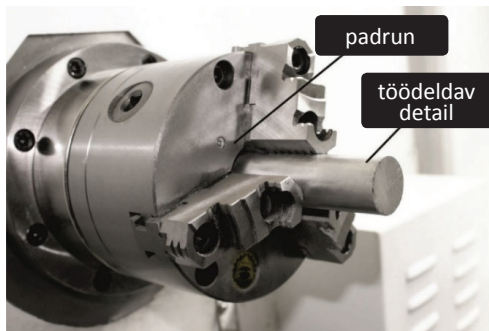
Enne töödeldava detaili nullpunkti määramist tuleb hinnata töödeldava detaili töötlusvaru.

Joonisel 2.19 on näidatud töödeldava detaili kinnitamist.

Treitera dimensioneerimine

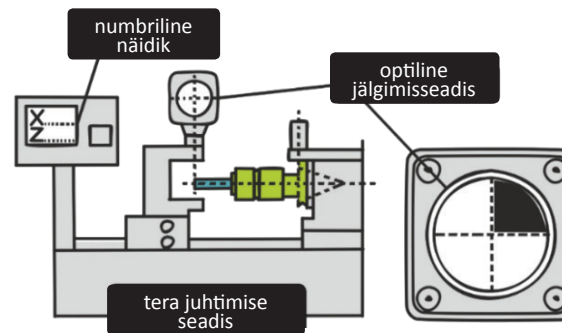
Treipinkides peab iga treitera lõikepunkt (ülemine) P olema joondatud töödeldava detaili nullpunktiga W, s.t terade ülemised osad peavad olema seotud töödeldava detaili nullpunktiga, mis peaaegu alati valitakse spindli ja töödeldava detaili telje ning töödeldava detaili otspinna lõikepunktis (punkt W). Tööriista ülemise koordinaadi asemel võib juhtida ainult spindli (padruni) telje ja otspinna lõikepunkti (punktiga M joonduva punkti) järgi (joonis 2.14).

Töötlemisel (treimisel) võrdleb treipingi juhtseade tera mõõtmeid töödeldava detaili mõõtmetega, et programmeerida töödeldava detaili kontuuri kasutatavast terast sõltumata. Enne seda peavad kõiki terad olema mõõdetud, sest erinevate terade projektsioonid on erineva pikkusega.

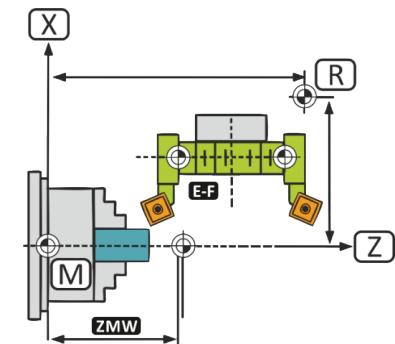


Joonis 2.19.

Treitava tooriku kinnitamine treipingi padrunisse



Joonis 2.20. Tera seadmeväline mõõtmine



Joonis 2.21. Terahoidiku etalonpunkt

Kui mõõdetakse tera, mis ei ole seadmesse paigaldatud, nt eelkontrollitud mõõtevahendi abil, nimetatakse seda tera seadmeväliseks mõõtmiseks (joonis 2.20).

Terahoidik koos sellesse kinnitatud teraga tuleb panna juhtseadme adapterisse. Adapter võimaldab kasutada erinevaid terasid.

PRAKTILINE NÕUANNE

Enne töödeldava detaili seadmesse kinnitamist tuleb kontrollida, et peamised ja survetundlikud pinnad on puhtad ja kraatideta.

Terahoidiku etalonpunkt

Terahoidiku etalonpunkt F langeb kokku koordinaatide programmeeritud väärtustega, kui juhtseade ei määra tera arvutuslikke seadeväärtusi. Terahoidiku etalonpunkt F (joonis 2.21) paikneb tera kinnitamise tugipinna teljel.

Lõikepunkti P ja etalonpunkti E vahekaugus tuleb mõõta (joonis 2.22) ja sisestada CNC-juhtseadme aseademällu seadeväärtusena õige märgiga ja seotuna konkreetse teraga. Seda saab teha treipingi juhtklaviatuuri kaudu käsitsi või andmesideliini kaudu sisestades. Kui tera on paigaldatud CNC-treipinki, joondub tera etalonpunkt E terahoidiku etalonpunktiga F (joonis 2.21).

Töödeldava detaili treimisel peab terahoidiku asukoht olema selline, et konkreetse tera lõikepunkt P jõuab töödeldava detaili programmis näidatud koordinaadist kõrgemale.

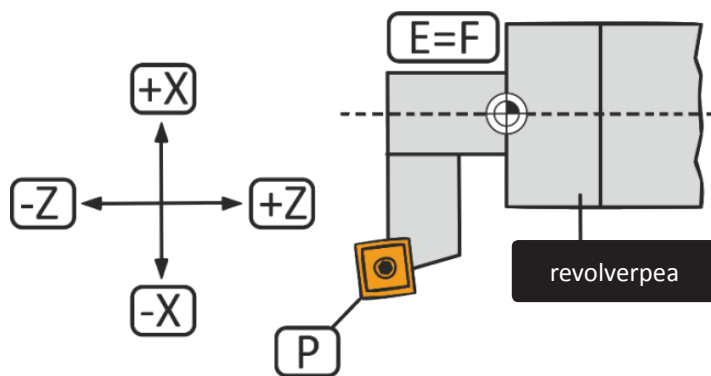
Tera seadesümbol ja seademõõtmed peavad olema valitud selliselt, et lõikepunkt P liigub terahoidiku etalonpunkti F asukohta.

Mõned tänapäevased CNC-treipingid on varustatud mõõteseadmega (nt optiline jälgimisseadis), mis võimaldab mõõta seadmesse paigaldatud tera (tera seadmesisene mõõtmine) (joonis 2.23).

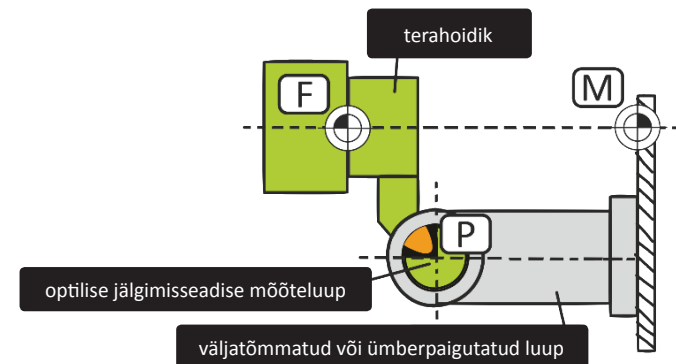
Iga konkreetse tera lõikepunkt P paikneb optilise jälgimisseadise mõõteluubi all. See on tegelik asukoht, kuni treipingi nullpunkti M või lõikepunkti P väärtus on edastatud teraseademällu ja uuesti arvutatud konkreetse teraga töötlemise jaoks.

PRAKTILINE NÕUANNE

Kui tera pikkust hoidikus (tööpunkti kaugus hoidiku etalonpinnast) mõõdetakse, on väga oluline sisestada saadud väärtus treipingi andmebaasi.



Joonis 2.22. Tera seadmise andmed: E – tera etalonpunkt, P – lõikepunkt



Joonis 2.23. Tera seadmesisene mõõtmine

2.2. Freesimisseadmed

2.2.1 Freesimisingid ja töötluskeskused

Freespinke kasutatakse horisontaal-, vertikaal-, profiil-, spiraal- ja kaldpindade, erineva profiiliga tihvtide, soonte, eendite ning hammasrataste töötlemiseks. Metallitöötlemisettevõtetes on freesimistööde maht suur, seega kasutatakse erinevaid ja erinevat tüüpi freespinke.

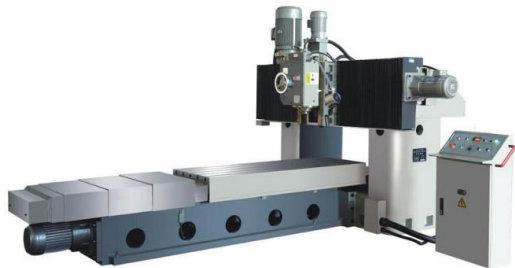
Freesimisel kasutatakse piki-, karussell-, konsool-, konsoolita, kooper-, soone-, CNC- ja eriotstarbelisi freespinke.

Pikifreespinke kasutatakse tasase pinna kujundamiseks ja suurte töödeldavate detailide keerukate profiilide tegemiseks, kasutades laupfreesi, silindrilisi, ketas- või profiilteri (joonis 2.24). Korraga töödeldavate pindade arvust olenevalt on pikifreespingid simpleks-, dupleks- või tripleksfreespingid.

Karussellfreespinke kasutatakse tasase pinna tõhusaks freesimiseks, tavaliselt seeriatootmisel laupfreesiga (joonis 2.25). Töödeldavad detailid kinnitatakse pöördlaual spetsiaalsesse rakistesse ja neid freesitakse nii, et töödeldavad detailid liiguvad järjest ühe või mitme lõikuri juurde.

Konsoolfreespinke kasutatakse laialdaselt masinaehitus- ja tööriistatehastes ning remonditöökodades. Konsoolfreespingi nimi tuleb sellest, et selle töölaud on fikseeritud vertikaalselt liigutatavale konsoolile (joonis 2.26).

Konsoolita freespingis on töölaud paigutatud statsionaarsele sängile, mitte konsoolile, ja see saab liikuda ainult piki- või ristisuunas. Freesimiskõrguse määrab spindli pea liigutamine piki vertikaalseid juhtpindu. Selline konstruktsioon tagab väga jäiga süsteemi. Seetõttu kasutatakse konsoolita freespinke eraldi pakitud raskete korpusosade freesimiseks suure lõikekiiruse, -sügavuse ja etteandega.



Joonis 2.24. Pikifreespink MG10 (JOC)



Joonis 2.25. Karussellfreespink RMW5H 1200 (Sakurai)



Joonis 2.26. Konsoolfreespink UHM30



Joonis 2.27. Freespink OPTImill F150

Kopeerfreepinke kasutatakse pinnale kuju andmiseks freesimisega nii, et pinda töödeldakse kindla vormi järgi, mida nimetatakse kopeeriks (joonis 2.28).

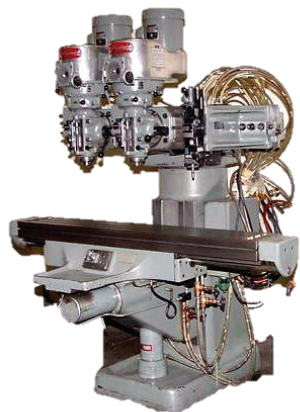
Soonefreepinke kasutatakse liistusoonte, võllitihvtide ja erinevate süvendite freesimiseks, kasutades liistusoonefreese ja otsfreese (joonis 2.29).

CNC-freespinkide konstruktsioon erineb oluliselt universaalfreespinkidest. Paljud neist on varustatud oluliselt jäigemate sõlmede, kõrgtápsete hammasrataste ja veerepindadega (liugepindade asemel). Need muudatused tagavad arvjuhtimise võimaluste parema ärakasutamise, suurema töötlemistäpsuse ja tõhususe. CNC-freespingid on arvjuhtimisega ja suudavad korraga lõigata vähemalt kahe koordinaattelje suunas.

CNC-freespingid ja töötluskeskused võimaldavad freesida, puurida, sisepindu töödelda, kroonpuuriga puurida, avasid hõõritseda ja keermestada, lõigata väliskeeret ning graveerida.

Arvjuhtimisega freespinkide tehnoloogilised võimalused sõltuvad tavaliselt koordinaatide arvust, mille suunas saab liikumist juhtida. Paljusid freespinke juhitakse kolme koordinaadi järgi. Tehnoloogiliste võimalustega saab freespingi võimalusi oluliselt suurendada, sest spindli pöörlemist ja terade vahetamist juhitakse automaatselt. Selle jaoks on freespingid varustatud revolverpea või lõikeriistamagasini-ga. Kui freespingil on pöördlaud, saab sellele kinnitatud detaili töödelda palju keerukamal viisil. Sellepärast nimetatakse tänapäevaseid CNC-freespinke sageli töötluskeskusteks.

Tasku- ja soonfreesimist on samuti võimalik teha erineva kujuga detailidele iga telje suunas. Kontuuride, avade ja keermete freesimine on võimalik igas aksiaal- ja radiaalsuunas, kui tera keerata soovitud nurga alla. Uurida saab vertikaalselt, horisontaalselt või etteantud nurga all (joonis 2.30). Ka sügava ava puurimine on võimalik. Puurimisel kasutatakse tavaliselt jahutusvedeliku ja määrdeaine sisemist etteannet (läbi tera avade) ning sügavate avade puurimise korral jahutusvedeliku eriti suurt vooluhulka (kuni 400 l/min).



Joonis 2.28. Kopeerfreepink
(Bridgeport Machines Ltd)



Joonis 2.29. Soonefreepink AJSL 200
(Ajax Machine Tools)



Joonis 2.30. CNC-freespingiga avade puurimise näiteid (DMG MORI Company Ltd)

Tänapäevaseid CNC-freespinke (töötluskeskusi) saab klassifitseerida järgmiselt:

- korraga juhitud koordinaattelgede arvu järgi – kaks, kolm, neli ja viis telge (joonis 2.31)
- spindli paiknemise järgi – vertikaalne ja horisontaalne (joonis 2.32).

CNC-freespinki ja töötluskeskust saab kasutada avade ja välispindade töötlemiseks tolerantsiklassiga 6–7. Töödeldava detaili saab paigaldada täpsusega $\pm 0,0025$ mm ning töötlemisvea lineaarmõõt on $\pm 0,01$ mm. Neid freespinke saab kasutada eriotstarbeliste detailide töötlemiseks, mida ei saa suure kiirusega pöörlema panna ega kiiresti liigutada (nt suuremõõtmelised, tasakaalustamata lisaosadega, ekstsentrilised, õhukese seinaga detailid), samuti lihtsustatud kujuga detailide korral, kui rakendatakse maksimaalseid lõikerežiime.

Tüüpilise CNC-freespingi lõikeriistamagasinis võib olla 24, 40, 80 või 120 tera (on ka freespinke, mille lõikeriistamagasin sisaldab üle 300 tera) (joonis 2.33).

Lõikeriistamagasinis asend sõltub selles olevate terade arvust. Tera saab vahetada töötlemise ajal, sest töötluskeskuse konstruktsioon tagab, et tera vahetamise ajal ei teki töötlemise täpsust mõjutavat ebataavalist vibratsiooni. Suure läbimõõduga laupfreese ei tohi töötluskeskuses kasutada, sest need võivad katta kõrvalpaiknevaid terapesi.

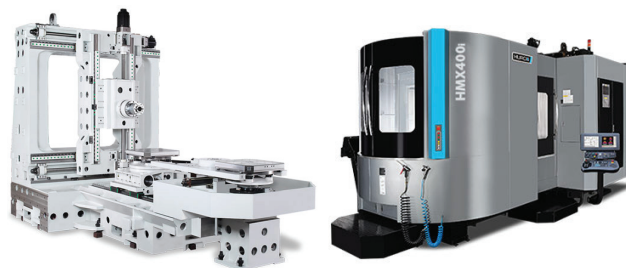
PRAKTILINE NÕUANNE

Kui lõikeriistamagasinis kõik pesad ei ole täidetud, tuleb terad lõikeriistamagasinis paigutada ühtlaselt. Töötlemise ajal ei tohi lõikeriistamagasinis pandud terad detaili töötlemist katkestada.

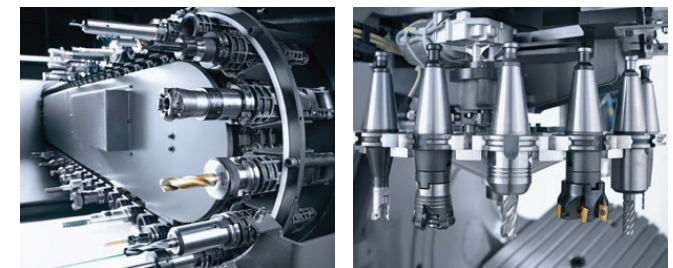
CNC-freespingi automaatse pideva töö tagab lõiketerade juhtfunktsioon, mis võimaldab kulunud lõiketera aegsasti asendada enne selle ulatuslikku kulumist.



Joonis 2.31. Viie teljega vertikaalne töötluskeskus OPTImill FU 5-600 HSC (Optimum Maschinen Germany GmbH)



Joonis 2.32. Horisontaalne töötluskeskus HMX400 (HURCO)



Joonis 2.33. Töötluskeskuse lõikeriistamagasinis näide (DMG MORI freespingid DMU 50 ja DMU 70)

Veelgi enam, töötluskeskust saab täiendada erineva lisavarustusega: valmistoodangu konveierid, laastukonveierid, terade kalibreerimis-seadmed, aktiivjuhtimise seadmed (detaili mõõtmiseks töötlemise ajal), töödeldava detaili kohaleasetamise ja töödeldud detaili eemaldamise seadmed, lõiketsooni automaatsed tulekustutusseadmed jne.

Eriotstarbeliste freespinkide hulka võivad kuuluda ka graveerimis-freespingid (joonis 2.34).

2.2.2 Detaili paigutamine ja kinnitamine freespinki

Detaili töötlemisel ettenähtud täpsuse ja pinnakareduse saavutamiseks peab töödeldav detail paiknema kinnitusrakises kindlalt ja stabiilselt (ja partiina töötlemise korral peavad kõik detailid paiknema täpselt samas kohas), kui kinnitusrakis on paigaldatud freespingi töölauale. Kinnitusrakisel on detaili töötlemisel kaks põhirolli:

- tagab täpse ja pideva lähtepinna töödeldava detaili asukoha kindlaksmääramiseks enne töötlemist



Joonis 2.34. Metalli graveerimisseade MT-M3636 (MORN)

- takistab töödeldaval detailil kinnitusrakise sisse liikumist raken-datava lõikejõu mõjul.

Need mõlemad nõuded on olulised täpsuse ja korratavuse tagami-seks. Kui detail töötlemisel nihkub või liigub kinnitusrakise sisse, on seda võimatu täpselt töödelda, s.t saada pidevalt samu mõõtmeid. Veelgi enam, kui töödeldav detail on valesti paigutatud, võib see kahjustada freespinkide ja tera, töödeldud pinna ettenähtud pinna-karedust ei saavutata ja suure kiirusega liikuv töödeldav detail võib kasutajat vigastada. CNC-freespinkide tööala on töötlemise ajal tavaliselt suletud – freespingi uked on automaatse lukustussüsteemiga, seetõttu juhtub vigastusi väga harva. Töödeldav detail peab olema seadmesse õigesti paigutatud ja kinnitatud. Mehaanilise ajami (ta-valiselt kruvikinnituse), hüdro- või pneumosilindri abil saab raken-dada suuremat pigistusjõudu. See jõud tõkestab töödeldava detaili paigaltliikumise lõikejõu mõjumise korral, kuid ei tohi töödeldavat detaili deformeerida. See on eriti oluline õhukese seinaga detailide töötlemisel.

Protsessiinsener või CNC-freespingi kasutaja otsustab, millist kinni-tusrakist tuleb kasutada töödeldava detaili asukoha kindlaksmäära-miseks konkreetse töötlemisviisi korral.

Kinnitusrakise kasutamise eelised:

- väiksem detaili töötlemisaeg
- korratava operatsiooni suurem täpsus
- paljusid detaile ei saa ilma kinnitusrakiseta töödelda
- väiksemad mõõtmiskulud
- väiksem lisa-aeg asukoha kindlaksmääramiseks ja kinnitamiseks
- täiendavaid tegevusi (paigutuskeemi koostamine ja joonestami-ne) ei ole enam vaja
- kulusäästlikum tootmine (nt mitmes kohas paiknevate seadmete kasutamine)

- lisab freespingile täiendavaid funktsioone (nt kasutades pöördlauda)
- suurem ohutus töötamisel.

Freespingi kinnitusrakis peab vastama järgmistele nõuetele:

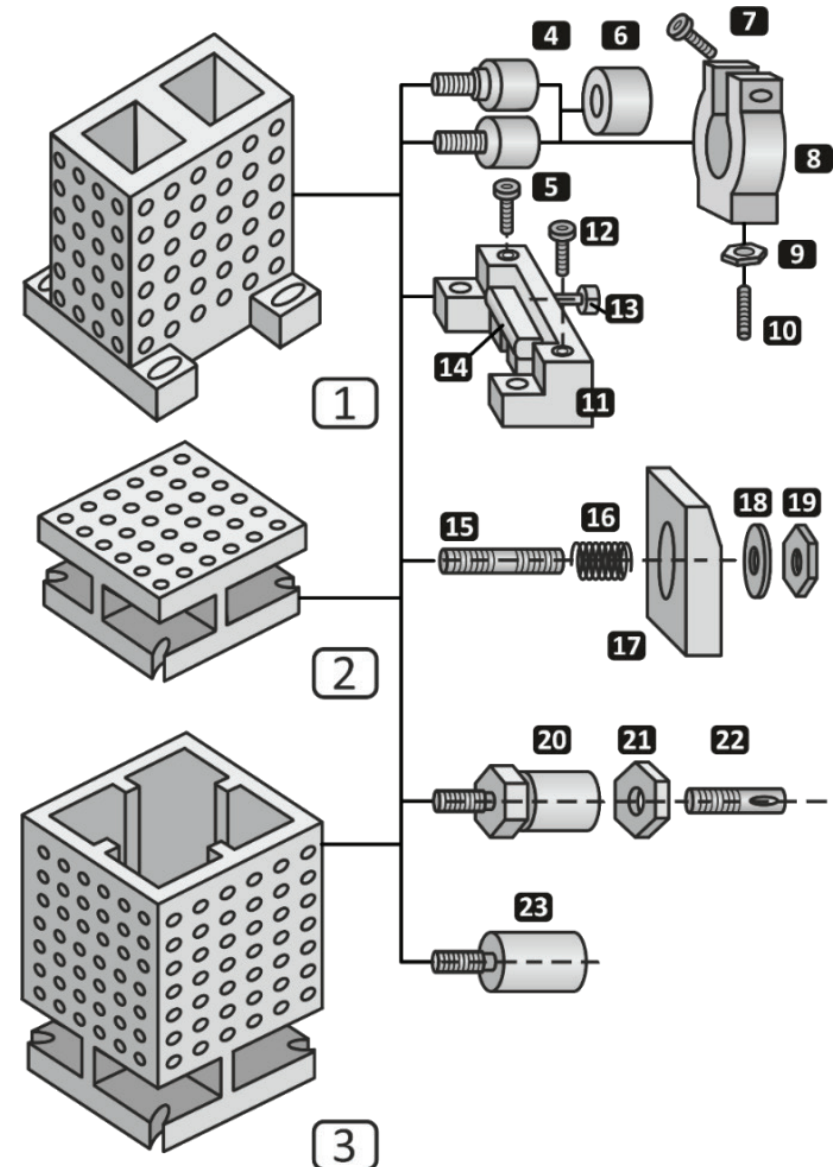
- töödeldav detail peab olema jäigalt fikseeritud
- pigistusjõud ei tohi töödeldavat detaili kahjustada
- korduva paigutamise suur täpsus
- lihtne, kiire ja ohutu kasutamine
- selle komponente peab olema lihtne vahetada
- madalaim võimalik hind.

Pigistusjõud tagatakse mehaanilise, magnet-, hüdro-, pneumo- või vaakumseadisega.

Korpuseosade kinnitusrakised. Korpuseosade fikseerimiseks kasutatakse tavaliselt spetsiaalseid kinnitusrakiseid. Korpuseosade kinnitusrakised koosnevad tavaliselt unifiitseeritud vahetatavatest komponentidest. Need on alusplaadid, nurgikud ja astmelised plokid (rakise komponendid), mis määravad detaili asukoha ja kinnitavad selle. Neid saab komplekteerida standardsetest komponentidest, mida saab kombineerida erinevat tüüpi töödeldavate detailide kinnitamiseks (joonis 2.35). Kinnitusrakise saab alati komponentideks lahti võtta ja uuesti komplekteerida.

Need on eriti sobivad ühe toote valmistamiseks, kui töödeldava detaili mõõtmed sageli muutuvad või uue toote tootmise alguses, kui spetsiaalsed kinnitusrakised ei ole veel valmis.

Korpuseosade rakised peavad olema kiiresti ja lihtsalt kohandatavad erinevate töödeldavate detailide jaoks. Neid peab saama paindlikult kohandada väikese ja keskmise suurusega partide tootmiseks ja



Joonis 2.35. Korpuseosade moodulkinnitusrakis: 1, 2, 3 – rakise korpus, 4 – tagapukk, 5 – külgpukk, 6 – rõngas, 7 – kruvi, 8 – klamber, 9 – lukustusmutter, 10, 15, 22 – tihvt, 11 – kinnitushoob, 12, 13 – kruvi, 14 – hoob, 16 – vedru, 17 – tugipadi, 18 – seib, 19 – mutter, 20 – puki lisakorpus, 21 – lukustusmutter, 23 – pikendus

samuti CNC-freespinkide ning töötluskeskuste jaoks. Moodulkinnitusrakiseid kasutatakse horisontaalsetes ja vertikaalsetes töötluskeskustes, kus töödeldav detail kinnitatakse kinnitusrakise vertikaalseina külge mutrite ja tugipatjade abil ning kogu süsteem kinnitatakse freespingi pöördlauale. Seejärel töödeldakse kinnitatud detaili erinevatelt külgedelt.

Muude detailide kinnitusrakised. Need kinnitusrakised on ette nähtud kasutamiseks keerulise kujuga töödeldava detaili korral, mida ei ole võimalik kinnitada universaalse kinnitusrakise (nt kruustangide) abil. Sel juhul kasutatakse komponentide ühendamise ja kinnitamise plaadimeetodil põhinevat avade ja soonte süsteemi (joonis 2.36).

Avade süsteemi korral on üksikud komponendid ühendatud moodulplaadi külge tihvtide ja kruvide abil (joonis 2.37).

Töödeldavate detailide mehaaniline kinnitamine treipingi töölaual T-soones paiknevate kruvide, **tugipatjade ja positsioneerimisdetailide** abil. Kasutada saab ka astmeliste plokkidega kinnitushoobasid (joonis 2.38).

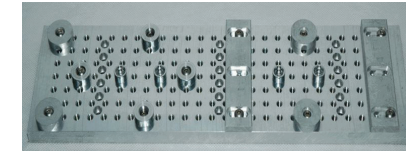
Väikese sammuga astmelise kinnituslindiga kinnitushooba on näidatud joonisel 2.39.

Töödeldava detaili suuruse jaoks sobivaks seadmiseks ja korralikuks kinnitamiseks tuleb kasutada reguleeritavat positsioneerimisplaati. Siiret saab seada kruvitoega kinnitushoova abil. Kruvituge saab seada töödeldava detaili suuruseni, et rakis hoiaks töödeldavat detaili kindlalt (joonis 2.40).

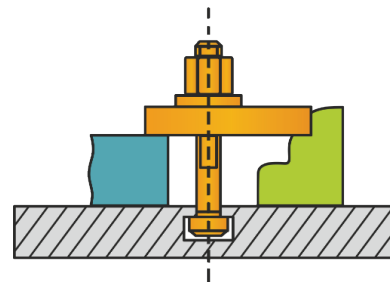
Positsioneerimisplaadita lineaarne rakis on kooniliste ja sfääriliste seibidega keermespolt (joonis 2.41). Keermespolt tuleb panna töödeldavas detailis ettevalmistatud avasse. Koonilised ja sfäärilised seibid võimaldavad kinnitada ka kaldse või ebaühtlase pinnaga töödeldavat detaili.



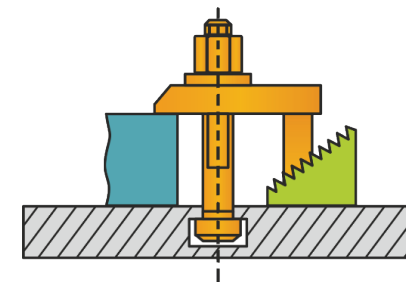
Joonis 2.36. Soonte süsteemiga kinnitusrakis Steelex D3695 (Tools & More)



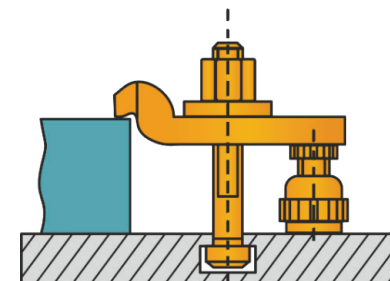
Joonis 2.37. Moodulkinnitusrakise plaadi näide – avade süsteem MWS01 (High Tech Systems LLC)



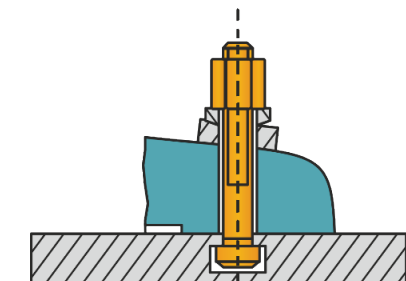
Joonis 2.38. Astmelise plokiga kinnitushoob



Joonis 2.39. Astmelise kinnituslindiga astmeline plokk



Joonis 2.40. Kruvitoega kinnitushoob



Joonis 2.41. Kooniliste ja sfääriliste seibidega keermespolt

Kiirkinnitamise võimalus on kasulik paljude töödeldavate detailide kiire kinnitamise vajaduse korral. Selleks võib kasutada kiirkinnitushooba. Kiirkinnitushoova eelis on minimaalne ruumivajadus ja kiire seadmine vastavalt töödeldava detaili kõrgusele (joonis 2.42).

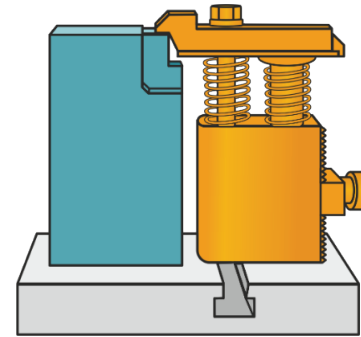
Väikese kõrgusega töödeldavaid detaile võib kinnitada madalate kinnituspakkidega rakise abil (joonis 2.43). Madalate kinnituspakkide kasutamine võimaldab kogu pinna töötlemist.

Klambrite kasutamise korral peavad keermespoldid paiknema töödeldavale detailile võimalikult lähedal (joonis 2.44).

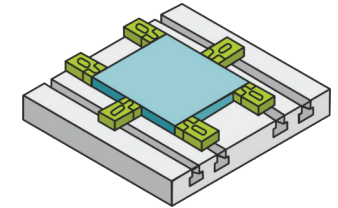
Kinnituskuubi kasutamise korral saab korraga kinnitada neli töödeldavat detaili. Kinnituskuup koosneb alusplaadist ja sambast, millel paikneb üksteise suhtes täisnurga all neli vertikaalset kruustangi. Need kruustangid on kinnitatud freespingi pöördlaua külge. Pärast ühe või kahe detaili töötlemist pööratakse pöördlauda 90° või 180° ja uued töödeldavad detailid liiguvad töötlemistsooni (joonis 2.45).

Silindrilise detaili otspinna või külpinna töötlemisel kasutatakse **kolme pakiga või muud tüüpi padruneid**, mis on freespingi külge kinnitatud keermespoltidega (joonis 2.4).

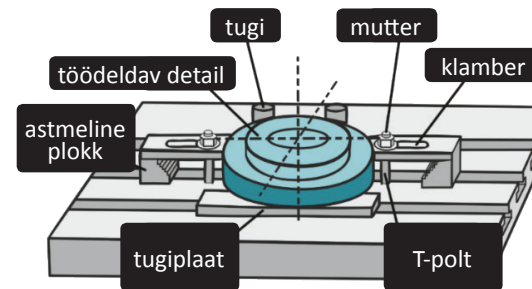
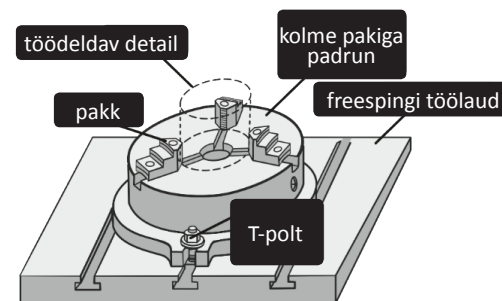
Kolme pakiga padruniga pöördpead kasutatakse töödeldavate detailide kinnitamiseks tavaliselt otspinna või omavahel nurga all paiknevate külgpindade töötlemiseks vertikaalfreespingis. Joonisel 2.47 on näidatud CNC-freespingi juhtsüsteemiga ühendatud pöördpea, mis pöörleb programmi juhtimisel ümber padruni telje.



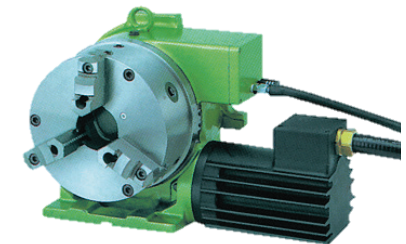
Joonis 2.42. Kiirkinnitushoob



Joonis 2.43. Madalad kinnituspakid

Joonis 2.44.
Töödeldava detaili kinnitamine töölaual klambrite abilJoonis 2.45. Kinnituskuup
(MTD Ebusiness Ltd)

Joonis 2.46. Töödeldava detaili kinnitamine freespingi töölaual kolme pakiga padrunisse

Joonis 2.47. Pöördpea
(Gehring Technologies GmbH)

V-plokke kasutatakse võlli-tüüpi detailide kinnitamiseks liistusoone freesimise, avade puurimise jne korral. Nagu ka muude klambritega kinnitamise korral (joonis 2.48) sõltub saavutatav mõõtmete täpsus sellest, kui hästi V-plokkide külgpind on freespingiga paralleelseks joondatud.

Freespingi kruustangid on kõige levinum vahend prisma- või tasapinnaliste töödeldavate detailide kinnitamiseks freespingis, puurpingis, töötluskeskuses. Pingi kruustange kasutatakse väikese ja keskmise suurusega töödeldavate detailide kinnitamiseks üksiktoodete ja väikeste partiide tootmisel. Kruustangide peamine eelis on nende mitmekülgsus. Töödeldav detail paigutatakse kruustangide pakkide vahele: üks pakk on tavaliselt nihutatav ja teine on liikumatu (joonis 2.49). On olemas kruustange, mille pakkide vahele saab kinnitada 0–1200 mm laiusi detaile. Pigistusjõudu saab suurendada mehaaniliselt või hüdrauliliselt. Pigistusjõu mehaaniliseks suurendamiseks kasutatakse näiteks hoobade süsteemi.

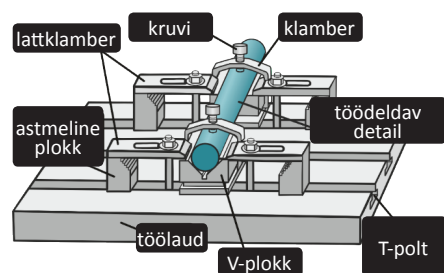
Kui kruustangide siledad pakid asendada teise kujuga pakkidega (nt V-kujulistega), saab kinnitada ka muid kui prismakujulisi detaile. V-kujuliste pakkidega saab kinnitada silindrilisi detaile. Astmeliste

pakkide korral saab erineva kõrgusega detaile töödelda lisaplaate kasutamata. Tuleb märkida, et töödeldava detaili alumise pinna ja kruustangide pinna vahele peab jääma pilu, seega kasutatakse kahte täppisplaati töödeldava detaili alumise lähtepinna hoidmiseks ülemise pinnaga paralleelsena. Nii saab detaili töödelda nii, et puur, keermelõikur vm tera ei kahjusta kruustange.

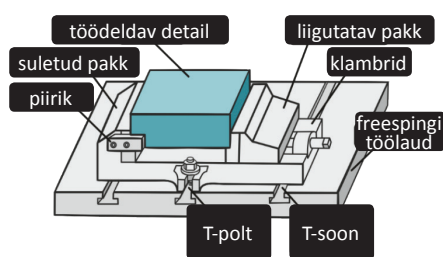
PRAKTILINE NÕUANNE

Enne töödeldava detaili kruustangidesse kinnitamist tuleb seda emulgeeriva joaga loputada ja puhastada.

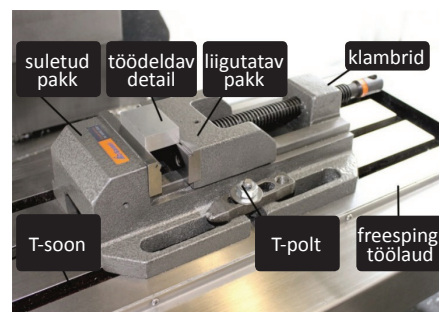
Siledaid osi saab täpselt kinnitada freespingi täppiskruustangide abil. Kruustangi vahetatavaid komponente ja kruustange saab seada lukustiga (joonis 2.50).



Joonis 2.48. Võlli kinnitamine V-plokkide abil



Joonis 2.49. Kruustangidesse kinnitatud töödeldav detail



Joonis 2.50. Freespingi täppiskruustangid (Arc Euro Trade Ltd.)

PRAKTILINE NÕUANNE

Pärast töödeldava detaili kinnitamist tuleb seda seada plastist (puidust) tihendite ja kummist (plastist) haamri abil, et vältida detaili pinna kahjustamist, kui seda ei ole täiendavalt töödeldud.

Magnetilised kinnitusplaadid. Ebatasaste, kumerate, väikese jäikusga ja saledate töödeldavate detailide deformeerumise vältimiseks on hüdrauliliste ja mehaaniliste kinnitusrakiste asemel soovitatav kasutada magnetilisi kinnitusplaate (joonis 2.51). Magnetkinnitus võimaldab kinnitada tugevasti, kiiresti ja töökindlalt. Kinnitusjõu tekitamiseks magnetiseeritakse püsिमagnetsüdamikud elektrimähiste magnetväljaga. Töötlemise ajal hoiab detaili püsिमagnet. Detaili saab töödelda viiest küljest ilma kinnitust muutmata. Pärast töötlemist tuleb magnetiseeritud detail demagnetiseerida.

Magnetilisi kinnitusplaate saab kasutada ainult suure rauasisalduse ja väikese legerivate komponentide sisaldusega ferromagnetiliste

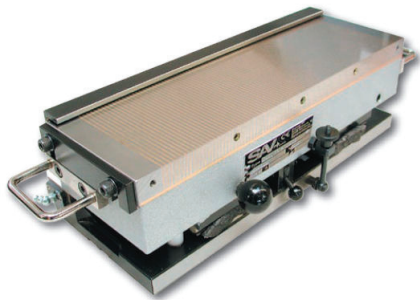
detailide kinnitamiseks. Siiski on töödeldava detaili magnetilist kinnitamist praegu laialdaselt kasutatud ainult tasalihvpinkides. Freespinigid on harva varustatud magnetiliste kinnitusplaatidega (tavaliselt eritellimise korral).

PRAKTILINE NÕUANNE

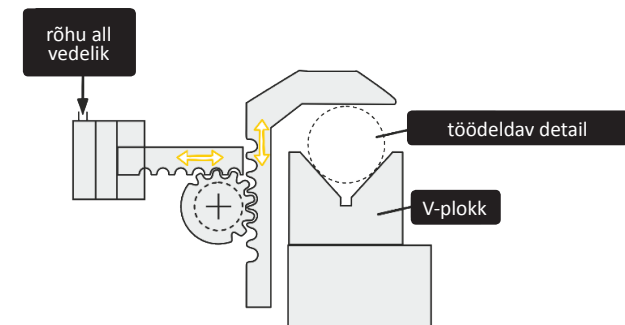
Magnetkinnituse korral on soovitatav paigaldada lisatugi, et vältida töötlemise ajal detaili paigaltnihkumist tööpingi töölaual.

Hüdrauliline kinnitussüsteem. Hüdrauliline kinnitamine võimaldab töödeldava detaili kinnitada lihtsasti ja kiiresti. Ühtlane pigistusjõud suurendab töötlemistäpsust. Hüdraulilised ajamid tekitavad rõhku 800 N/cm² ja enam.

Hüdraulilise kinnitussüsteemi põhiosad on rõhu tekitamise seade, juhtseade ja silinder (joonis 2.52). Rõhk tekitatakse käsipumba, pneumo-hüdrovõimendi või elektrohüdraulilise pumbaga.



Joonis 2.51. Magnetiline kinnitusrakis (kinnitusplaat) (SAV Workholding and Automation)



Joonis 2.52. Hüdrokinnitussüsteem võlli kinnitamiseks V-ploki abil

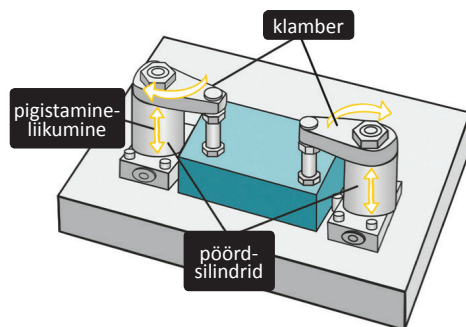
Pneumo-hüdrovõimendi muudab õhukontuuri madala rõhu kõrgeks hüdrauliliseks rõhuks, mida on vaja detaili kinnitamiseks.

Hüdraulilise kinnitusrakise eelised:

- suur kinnitusjõud ja väikesed mõõtmed
- kasutamise universaalsus
- rõhukontuuri kiirliitmik
- rakise suur jäikus
- võimalus kinnitamist mehaaniliselt käitada
- sama pigistusjõud kinnituse igas punktis.

Pöördsilindreid kasutatakse töödeldava detaili paigaldamisel ja eemaldamisel, kui kinnituskohad peavad olema lahti (joonis 2.53).

Hüdrokrustangide kasutamise korral saab kiiresti rakendada suure pigistusjõu (joonis 2.54).



Joonis 2.53. Pöördsilindrid



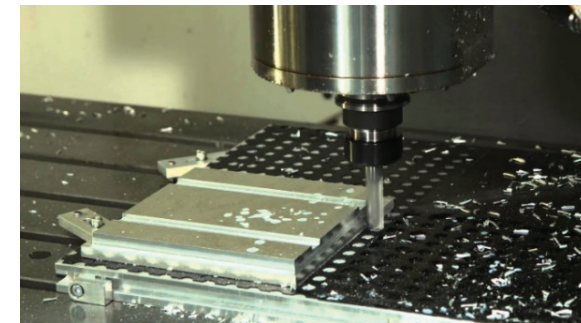
Joonis 2.54. Hüdrokrustangid (Römheld GmbH Friedrichshütte)

Pneumaatiline kinnitussüsteem. Pneumosilindreid kasutatakse rakistes kinnitamis- ja vabastamisliikumise rakendamiseks. Pneumoajami abil toimub vabastamine nii, et pneumosilindri töökambris sisenenud suruõhk lükkab kolbi töödeldava detaili kinnitamisele vastassuunas. Pneumosilindrid ja pneumokambrid võivad töötada pneumoajamitena. On olemas ühe- ja kahepoolse toimega pneumosilindreid.

Kolvivars mõjutab kinnitusrakise komponente ja esimesel juhul liigutab suruõhk seda mõlemas suunas, teisel juhul liigub kolb algasendisse vedru jõul. Pigistusjõud on suhteliselt väike, sest tööõhk on väike. Kui pneumokolviga silindrid ja membraanikambrid on väikesed ja töödeldava detaili kinnitamiseks on vaja suurt jõudu, kasutatakse pneumoseadmetes võimendeid pigistusjõu suurendamiseks ja selle suuna muutmiseks.

Pneumoajamid (ilma võimendita) tekitavad rõhku 170 N/cm².

Vaakumkinnitusrakiseid (vaakumplaadid/-lauad) (joonis 2.55) kasutatakse laialdaselt mittemagnetiliste materjalide kinnitamiseks: näiteks plast, klaas, grafiit, kõvasulam, roostevaba teras.



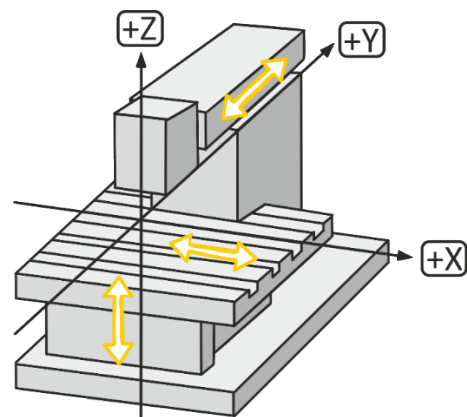
Joonis 2.55. Vaakumkinnituslaud (Stritzelberger GmbH)

Kinnitamisel tekitatakse detaili lähtepinna ja vaakumplaadi vahel vaakum. Kinnitav detail peab olema sileda ja tasase põhipinnaga. Lähtepinna mõõtmetel, kujul ja pinnakaredusel on otsustav mõju kinnitusjõule. Maksimaalne kinnitusrõhk võib ulatuda kuni 10 N/cm².

Jagamispea korral saab töödeldavat detaili pöörata käsitsi. See seadis võimaldab mugavat kontuurfreesimist, sest töödeldavat detaili saab kergesti pöörata soovitud nurga võrra (joonis 2.56).



Joonis 2.56. Jagamispea (Gehring Technologies GmbH)



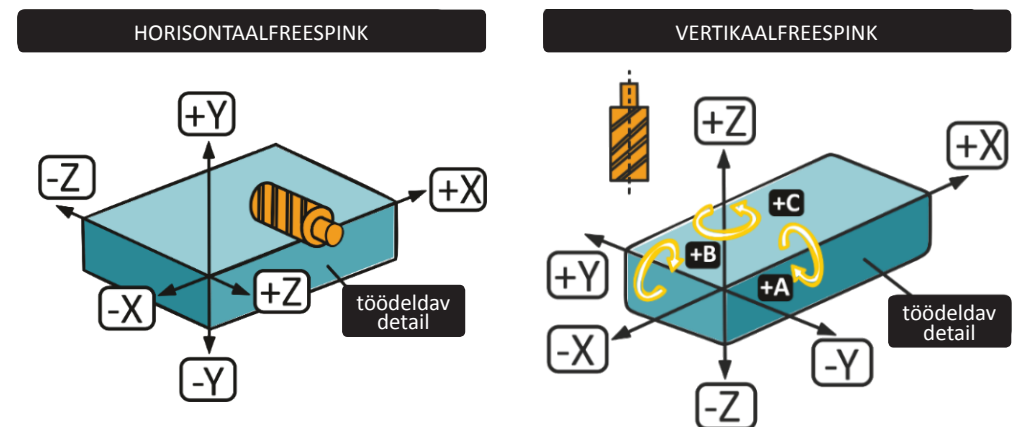
Joonis 2.57. Vertikaalfreespingi koordinaatsüsteem

2.2.3 CNC-freespingi ja detaili koordinaatsüsteem

Freespingi koordinaatsüsteem

Freespingi koordinaatsüsteem on sarnane CNC-treipingi koordinaatsüsteemiga, ka siin saab rakendada parema käe kolme sõrme reeglit (joonis 2.12). Kolmemõõtmeline ristkoordinaatsüsteem (X-, Y- ja Z-telg) joondatakse töödeldava detailiga (joonis 2.57).

Freespingis on Z-telg peaspindli teljel. Seega tuleb vertikaalfreespingi koordinaatsüsteem määrata horontaalfreespingi koordinaatsüsteemist erinevalt (joonis 2.58).



Joonis 2.58. Horisontaal- ja vertikaalfreespingi koordinaatsüsteem

Positiivne aksiaalpöörlemine on päripäeva ja nullpunktist telje positiivses suunas. CNC-freespingi koordinaatsüsteemi määrab kindlaks tootja ja seda ei tohi muuta. Tuleb märkida, et pink käitub nii, nagu liiguks tera. Töötlemisprogrammi koostamisel eeldatakse alati, et tera liigub (isegi siis, kui tera asemel liigub tegelikult töölaud koos selle külge kinnitatud töödeldava detailiga) (joonis 2.59).

Kui freespingi töölaud liigub paremale X-telje positiivses suunas, on see negatiivse märgiga liikumine. Vertikaalfreespingi töölaud võib liiguda ka Z-telje suunas (joonis 2.60). Z-telje positiivse liikumise korral liigub freespingi töölaud Z-telje negatiivses suunas.

Freespingi nullpunkt M on freespingi koordinaatsüsteemi üldine nullpunkt, mille määrab kindlaks freespingi tootja ja seda ei tohi muuta. Erinevate tootjate freespinkide nullpunktid on erinevad.

Tavaliselt paikneb see tööala serval (joonis 2.61). Liikumise mõõtmisandmed sõltuvad freespingi nullpunktist M.

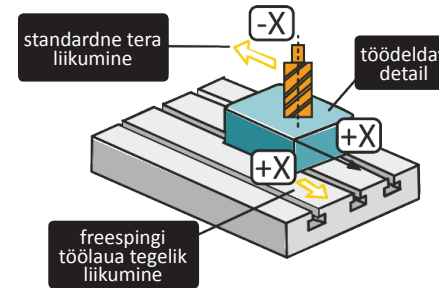
PRAKTILINE NÕUANNE

Etalonpunkt on soovitatav valida detaili osade tehnilisel joonisel näidatud mõõtmeahela põhjal.

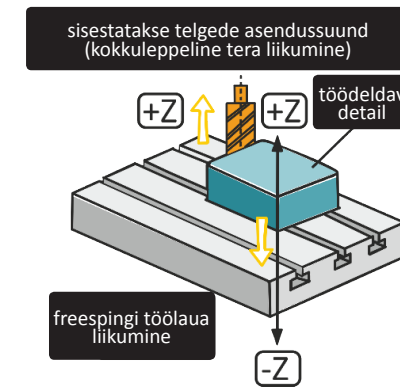
Detaili koordinaatsüsteem

Töödeldava detaili või programmeerimise koordinaatsüsteem on süsteem, milles kasutaja või programmeerija programmeerib tera liikumisi. Selle koordinaatsüsteemi teljed on paralleelsed freespingi koordinaatsüsteemi telgedega, erinev on ainult nullpunkti asukoht.

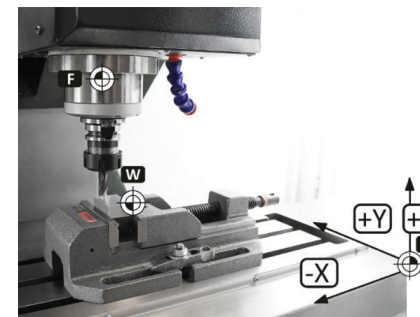
Selle punkti, mida nimetatakse töödeldava detaili nullpunktiks W, peab valima kasutaja või programmeerija. Selle asukoht peab olema selline, et maksimaalselt palju koordinaatide väärtusi saaks võtta otse töödeldava detaili tehniliselt jooniselt ja detaili asend tööalal oleks lihtsasti kindlaks määratav (joonis 2.62).



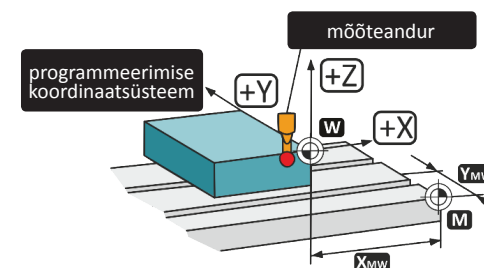
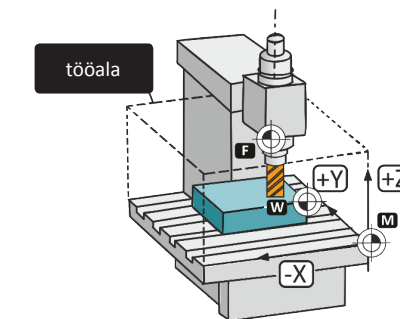
Joonis 2.59. Tera ja detaili liikumine



Joonis 2.60. Freespingi töölaua liikumine Z-telje suunas



Joonis 2.61. Freespingi nullpunkt M, töödeldava detaili nullpunkt W ja tera tugipunkt F



Joonis 2.62. Töödeldava detaili nullpunkti asukoht, mille on valinud kasutaja või programmeerija

Freespingi nullpunkti ja töödeldava detaili nullpunkti koordinaatide vahekaugust (X_{MW} , Y_{MW}) nimetatakse nullpunkti liikumiseks ja see sisestatakse juhtseadmesse. Juhtseade salvestab ja arvutab vajalikud seadeväärtused. Ja seejärel võib kasutaja või programmeerija saada kõik mõõtmised töödeldava detaili nullpunkti suhtes.

Joonis 2.63 näitab seda, et töödeldava detaili koordinaatsüsteem on XW – YW , selle algpunkt, s.t töödeldava detaili nullpunkt on W . Eeldame, et detaili tuleb puurida ava. Selleks peab programmeerija programmis näitama ava keskmise koordinaadid. Mugavam on alustada töödeldava detaili nullpunktist W , kui pingi nullpunktist M .

Kui detaili tehniline joonis on saadaval koos mõõtetega, mis on näidatud konstruktsiooni lähteomadusena (näites esitatud juhul X_{Wp} , Y_{Wp}), ei pea kasutaja või programmeerija määrama vahekaugusi X_{Mp} ja Y_{Mp} , mida on küllaltki raske teha, sest esmalt tuleb määrata vahekaugused X_{WM} ja Y_{WM} ning seejärel arvutada X_{Wp} ja Y_{Wp} .

CNC-freespingi juhtseadmele tuleb anda info töödeldava detaili asukoha kohta freespingi nullpunkti suhtes. Etalonpinda saab mõõta 3D-anduriga (joonis 2.64) või servaanduriga. Etalonpinnad X - ja Y -telje suunas määratakse kindlaks 3D-mõõtepea abil (joonis 2.65).

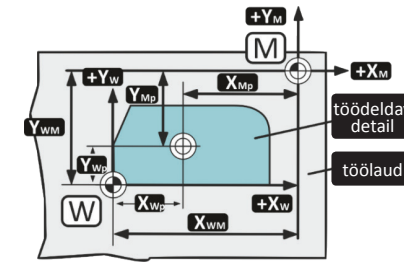
Mõõteplaate saab kasutada nullpunkti kindlaksmääramiseks Z -telje suunas (joonis 2.66). Freespingi töölaud liigub ülespoole, kuni mõõteplaat puudutab spindli otspinda. Mõõteplaadi kõrguse saadud asukoha väärtus tuleb sisestada juhtseadme mälli.

Terahoidiku etalonpunkt

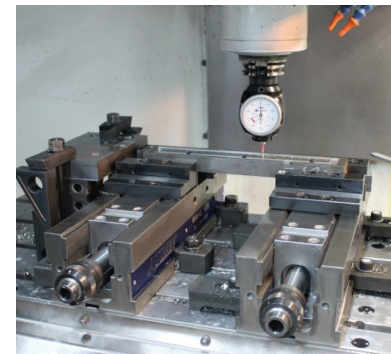
Terahoidiku etalonpunkt F paikneb tera kinnitamise tugipinna teljel (joonis 2.61).

Tera koordinaatsüsteem

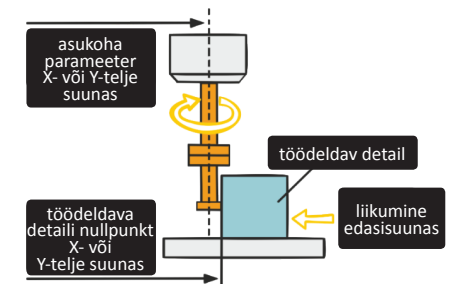
Tera koordinaatsüsteemi kasutatakse tera otsa (punkt P) asukoha kirjeldamiseks terahoidiku (punkt F) suhtes. Seda on vaja peamiselt tera seadmevälise mõõtmise jaoks. CNC-freespingi kasutamisel on



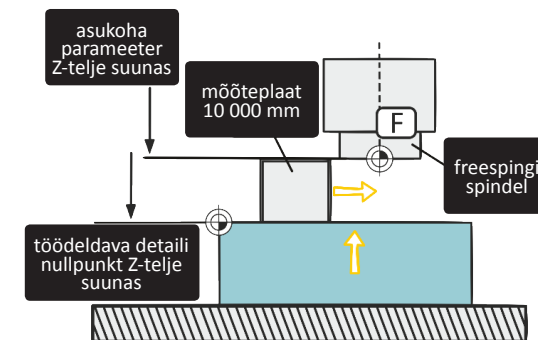
Joonis 2.63. Detaili ja sellesse puuritud ava koordinaadid



Joonis 2.64. Etalonplaatide identifitseerimine 3D-anduri abil



Joonis 2.65. Etalonpindade kontakt 3D-mõõtepeaga



Joonis 2.66. Töödeldava detaili nullpunkti kindlaksmääramine Z -teljel

mugavam juhtida tera otsa trajektoori (punktis P, joonis 2.67), kui hoidiku etalonpunkti F trajektoori, mis järgib etalonpunkti E trajektoori.

Sellisel juhul ei ole programmis vaja arvestada terahoidiku pikkuse projektsiooni. Kui tera on sellisel viisil valmis pandud, puudutab selle tipp töödeldava detaili Z-telje nullpunkti. Seetõttu salvestatakse freespingi juhtseadme mällu freespingi nullpunkti ja detaili nullpunkti vahekaugus, mis võtab arvesse ka tera pikkuse projektsiooni.

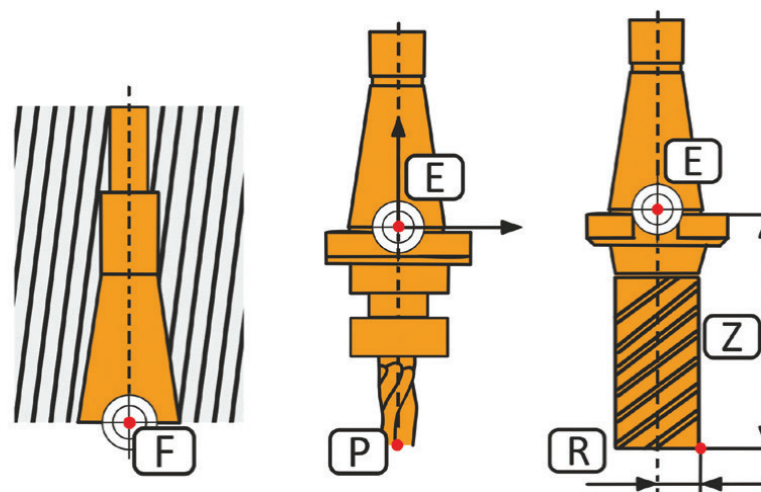
Kui muudatused freespingis tehakse käsitsi, peab juhtseade arvesse võtma tera pikkuse, et löikepunkt oleks programmeeritud punktis Z-teljel (joonis 2.68). Selleks tuleb iga tera mõõtmed sisestada juhtseadme teraseadmällu. Tera telje nihutamiseks tera raadiust arvesse võttes (telg peab olema löikekontuuri servast raadiuse võrra nihutatud) tuleb sisestada ka raadius R.

See on vajalik ka töötlemisprogrammi töö imiteerimiseks.

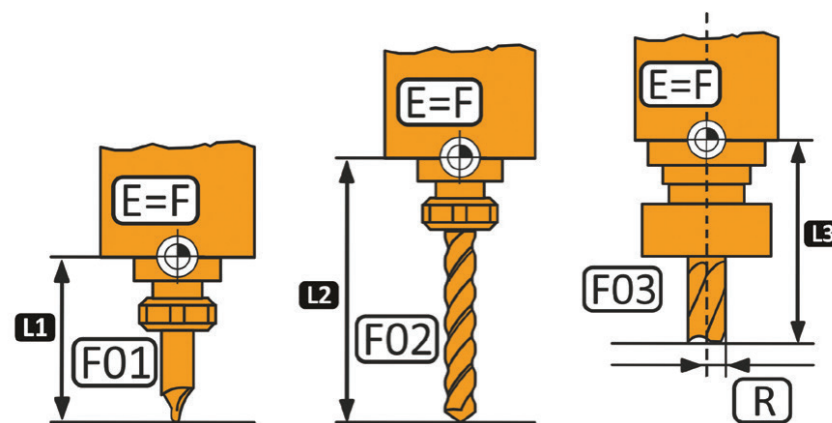
Automatiseeritud tootmises vahetatakse terasid automaatselt ilma kasutaja sekkumiseta. Sellisel juhul tuleb mõõta tera pikkus ja raadius spetsiaalsete mõõteseadmete abil ja saadud väärtused sisestada freespingi terade parameetritabelisse vastavalt tera numbrile freespingi löikeriistamagasinis. Tera seadmesisese mõõtmise korral salvestatakse saadud väärtused automaatselt tera parameetriaknasse.

PRAKTILINE NÕUANNE

Kui sama pinda töödeldakse erinevate teradega, tuleb teise ja järgmiste terade pikkust suurendada mõne sajandiku millimeetri võrra, et arvesse võtta töötlemisvigu.



Joonis 2.67. Tera koordinaatsüsteem

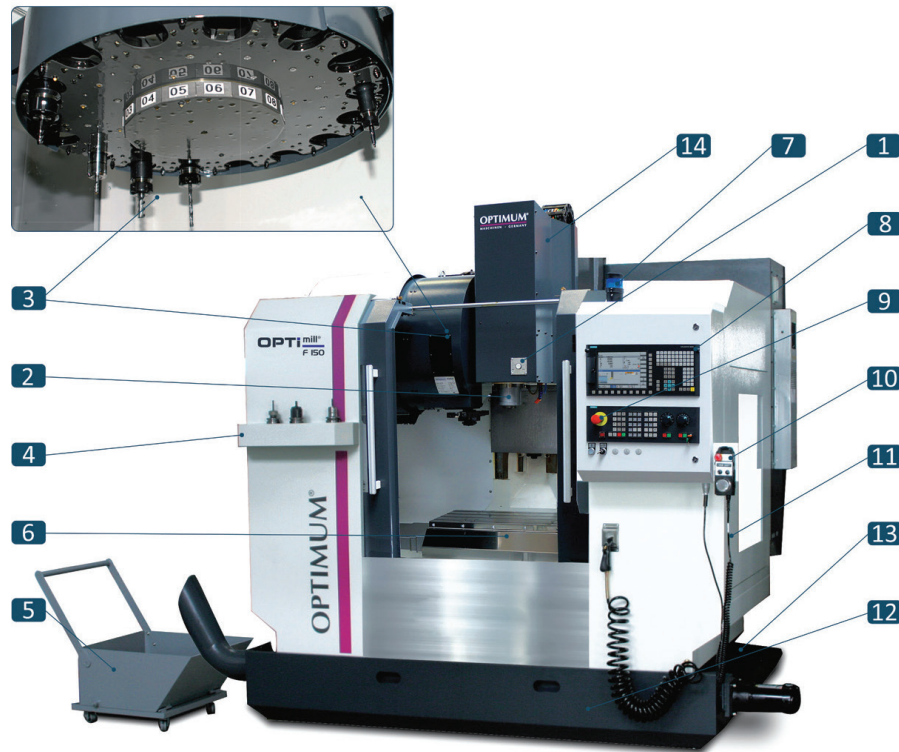


Joonis 2.68. Tera pikkuse ja raadiuse R (F01–F03 seadeväärtused L1–L3)

2.3. Arvjuhtimisega frees- ja treipinkide komponendid

Tavalistel universaalsetel freespinkidel ja CNC-freespinkidel on palju ühiseid omadusi, kuid ka mitmeid spetsiifilisi omadusi.

CNC-freespinkidel, töötluskeskustel ja universaalsetel freespinkidel on samad komponendid. Peamised komponendid on säng, spindli



Joonis 2.69. CNC-freespingi F150 (Optimum Maschinen Germany GmbH) peamised komponendid: 1 – tera vabastamise ja kinnitamise lüliti, 2 – spindel, 3 – teravaheti 16 või 24 teraga löikeriistamagasiniga, 4 – terahoidik, 5 – laastukäru, 6 – töölaud, 7 – märgutuli, 8 – juhtpaneel, 9 – avariiseiskamisnupp, 10 – kaugjuhtimispuult, 11 – puhastuspüstol, 12 – laastukonveier, 13 – säng, 14 – spindli pea

pea, juhikud, töölaud töödeldava detaili kinnitamiseks, jõuülekanne, ettenihkekast, mootorid, löikeriistamagasin (joonis 2.69).

Nagu tavalised treipingid, on ka CNC-treipingid varustatud sängi, esipuki, tagapuki, pikikelgu, juhikute, spindli jms komponentidega (joonis 2.70).



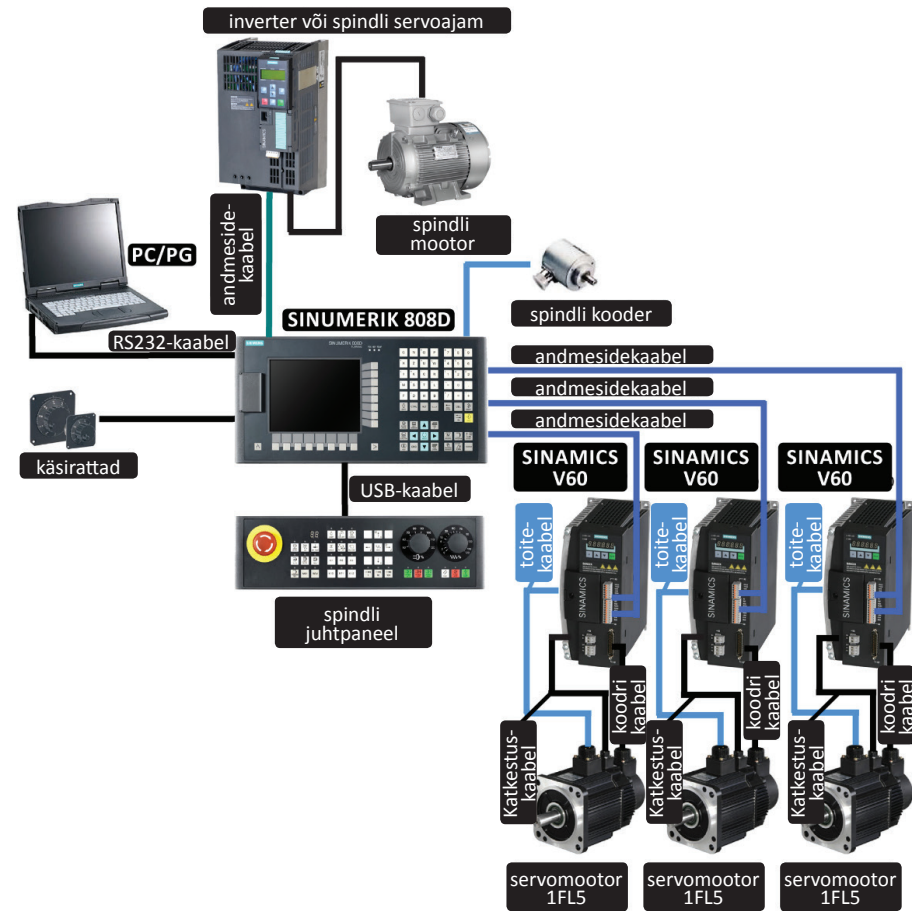
Joonis 2.70. CNC-treipingi L44 (Optimum Maschinen Germany GmbH) peamised komponendid: 1 – padrun, 2 – märgutuli, 3 – juhtpaneel, 4 – avariiseiskamisnupp, 5 – käsiratas, käsitsi liigutamine Z-telje suunas, 6 – pedaal treipingi padruni vabastamiseks/sulgemiseks, 7 – revolverpea, 8 – tagapukk, 9 – X- ja Z-telje suunas liigutamise juhthoob, 10 – käsiratas, käsitsi liigutamine X-telje suunas, 11 – säng, 12 – pikikelk, 13 – lineaarjuhikud, 14 – esipukk

Tänapäevased CNC-treipingid ja töötluskeskused on varustatud paljude spetsiifiliste lisaseadistega (vt ptk 2.2.1). Töötluskeskuste tõhususe suurendamiseks kasutatakse mitme töötluskeskuse jaoks ühist revolverpeade magazini. Revolverpeas on terad paigutatud ja kinnitatud detailide kavandatud töötlemisviisi kohaselt. Detaili töötlemisülesande kohaselt annab töötluskeskuse juhtseade käsu vajalik revolverpea revolverpeade magazinist automaatselt haarata, teisel dala, paigutada ja kinnitada töötluskeskuse spindlile.

CNC-treipinkidel on tavaliselt rohkem täiendavaid arvjuhtimisega seadiseid kui CNC-freespinkidel. Enamikul on täiendav padrun ja seetõttu on võimalik detaili keerata ja töödelda mõlemalt küljelt. Detailipüüdureid kasutatakse vardast lahtilõigatud detailide püüdmiseks. Treipinke kasutatakse tavaliselt vardakujulise materjali töötlemiseks ja need on varustatud varda etteandeseadistega. Hüdro- ja pneumopadruneid juhitakse nii programmi abil kui ka pingi lähedal paikneva pedaaliga. Tänapäevaste CNC-treipinkide revolverpeasse kinnitatakse nii treiterasid, sisetreiterasid, lõiketerasid kui ka otsfree-se, puure, kroonpuure, hõõritsaid ja keermelõikureid, mis pöörlevad ümber oma telje ja mida saab juhtida töödeldava detaili pöörlemiseljega paralleelselt, risti või soovitud nurga all.

CNC-tööpinke tavalistest universaalpinkidest eristav põhikomponent on arvjuhtimiseseade, mis juhib tööpingi telgede servomootoreid jm tööpingi funktsioone. Servomootoreid, mis tagavad sujuva ja pideva liikumise ning konstantse kiiruse, kasutatakse tavaliselt etteande ja tänapäevaste CNC-tööpinkide spindli käitamiseks. Veel üks omadus, mis eristab CNC-tööpinkide tavalisest tööpingist, on see, et CNC-tööpingi tööala on kasutajast täielikult eraldatud.

Standardsed arvjuhtimissüsteemid võimaldavad CNC-treipinkides juhtida kahte telge ja CNC-freespinkides kolme telge. Enamik arvjuhtimissüsteemide tootjaid pakuvad täiustatud süsteeme CNC-treipingi kolme telje juhtimiseks, CNC-freespingi nelja telje juhtimiseks (nt SINUMERIK 808D, SINUMERIK 808 ADVANCED, SINUMERIK 828D, FANUC 30i jm juhtsüsteemid), joonisel 2.71 on näidatud juhtsüsteemi SINUMERIK 808D vooskeem.



Joonis 2.71. Juhtsüsteemi SINUMERIK 808D struktuur (CNC-freespingi jaoks, Siemens AG)

CNC-tööpingi juhtseade on ühendatud kasutaja juhtpaneeliga. Sellel on ekraan ja vertikaalse või horisontaalse paigutusega sõrmistik (joonis 2.72).

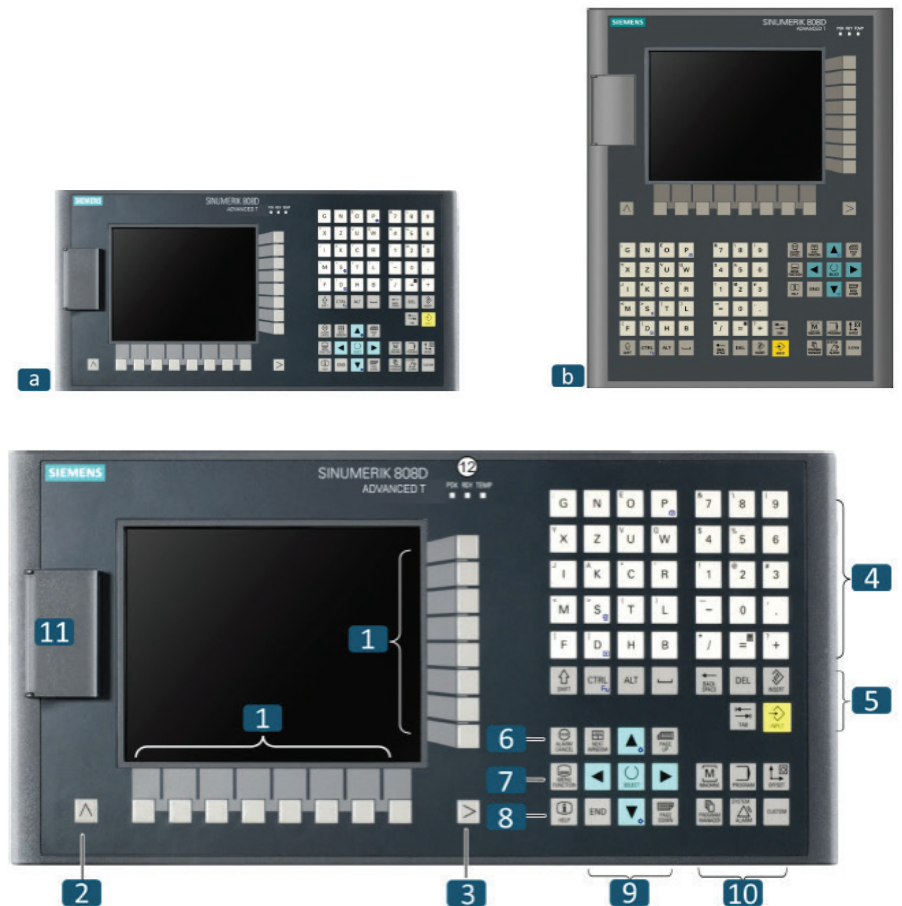
Juhtpaneeli sõrmistik on grupeeritud tööülesannete kohaselt (joonis 2.73). Ühe tootja valmistatud CNC-tööpinkide juhtpaneelid erine-

vad suhteliselt vähe, kuid neil võib olla konkreetse tööpingi iseärasustest lähtuvaid spetsiifilisi nuppe.

CNC-tööpinkide Siemensi juhtsüsteemide SINUMERIK 808D, SINUMERIK 808A ADVANCED ja SINUMERIK 828D juhtpaneelide nupud ja nende funktsioonid on näidatud tabelis 2.1.

Tabel 2.1 CNC-tööpingi juhtpaneeli nuppude funktsioonid

1	Vertikaalne ja horisontaalne nupuriba ekraani servas. Menüü teatud funktsioonide käivitamine.
2	Sisestusnupp. Kõrgemale menüütasemele tagasipöördumine.
3	Menüü laiendusnupp. Madalama menüütaseme avamine või sama taseme menüüde vahel liikumine.
4	Tähe- ja numbrinupud.
5	Juhtnupud.
6	Hoiatuse tühistamisnupp. Selle sümboliga tähistatud hoiatuste ja teadete tühistamine.
7	Süsteemiviisardi nupp. Sammsammulised juhised peamiste kasutuselevõtmise ja tööprotseduuride tegemiseks.
8	Abinupp. Abiteabe kuvamine.
9	Kursorinupud.
10	Tööala nupud.
11	USB-liides.
12	Tööpingi seisundi märgutuled (LED).



Joonis 2.73. CNC-tööpingi kasutaja juhtpaneel













Täpsemad andmed iga nupu ja nende kombinatsioonide kohta ettevõtte Optimum CNC-treipinkidel ja -freespinkidel on esitatud tabelis 2.2.

Tabel 2.2 Tööpingi juhtpaneeli nuppude funktsioonid

1	2	3
Nupu funktsioon	Nupu pilt	Kirjeldus
Tähe- ja numbrinupud		Tähe- ja numbrinupud. Kasutatakse sümbolite ja CNC-käskude sisestamiseks.
		Tähe-/numbrinupul näidatud ülemise registri sümboli sisestamiseks hoida seda nuppu vajutatuna.
		Kui nuppu CTRL vajutada koos selle nupuga, salvestatakse ekraanitõmmis.
		Kui nuppu CTRL vajutada koos selle nupuga, salvestatakse programm.
		Kui nuppu CTRL vajutada koos selle nupuga, kuvatakse ekraanil eelmääratud slaidid.
		Täiendava kalkulaatorifunktsiooni sisselülitamine.
		Kursorinupud. Kursor üles/allas/vasakule/paremale.
	Kursorinupud	

1	2	3
Kursorinupud		<ul style="list-style-type: none"> Järgmise akna nupp. Ei ole kasutusel. Reserveeritud edaspidiseks.
		Lõpunupp. Kursori liigutamine rea lõppu.
		Lehekülg üles. Kursori liigutamine menüüaknas üles.
		Lehekülg alla. Kursori liigutamine menüüaknas alla.
		Ekraani heleduse seadmiseks tuleb seda nuppu vajutada koos nupuga CTRL.
Juhtnupud		Juhtnupp. Nupu CTRL ja mõne muu nupu koos kasutamine rakendab vastava täiendava funktsiooni.
		Tõstunupp. Nupu SHIFT ja mõne muu nupu koos kasutamine sisestab nupul näidatud ülemise registri sümboli või suurtähte.
		Nupp ALT.
		Tühikunupp.
		Tagasilükkenupp. Sümboli kustutamine kursorist vasakul.

Tabel 2.2 järg

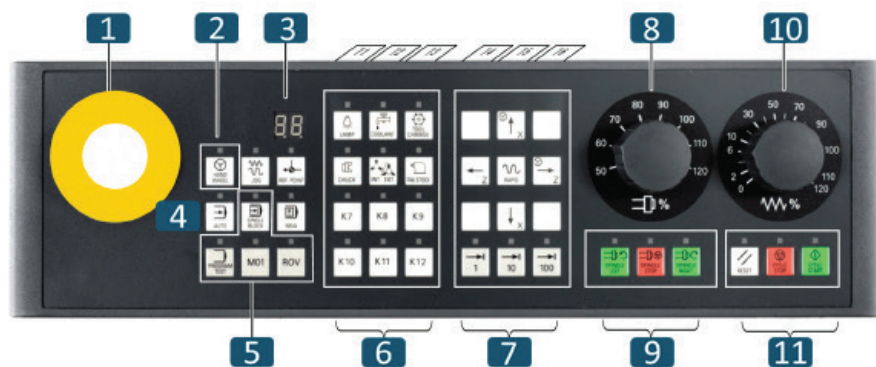
1	2	3	1	2	3
Juhtnupud		Kustutusnupp. Valitud faili või sümboli kustutamine.	Tööala nupud		Lehe „Program“ (programm) avamine.
		Lisamisnupp.			Lehe „Offset“ (nihe) avamine.
		Tabeldusnupp. Kursori nihutamine mõne sümboli võrra edasi. Liikumine sisestusvälja ja valitud programmi nime vahel.			Lehe „Program Manager“ (programmihaldus) avamine.
		Sisestusnupp. Sisestatud väärtuse kinnitamine. Kausta või programmi avamine.			Võimaldab laiendada kasutajavalikuid, nt luua kasutajadialogi funktsiooni Easy X Language abil.
USB-liides	Ühendamiseks USB-seadmega: <ul style="list-style-type: none"> välise USB-mälupulgaga andmevahetuseks USB-mälupulga ja CNC vahel välise CNC-klaviatuuriga. 		Tööpingi seisundi märgutuled (LED)		Märgutuli POK Roheline: CNC-tööpingi toitepinge on sisse lülitatud. Märgutuli RDY Roheline: CNC-tööpink on töövalmis. Oranž: <ul style="list-style-type: none"> põleb – programmeeritav juhtseade (PLC) on seisatud vilgub – PLC toide on sisse lülitatud. Punane: CNC-tööpink on seisatud.
Tööala nupud		Süsteemi andmehalduslehe „Alarm“ (hoiatus) avamine.			Märgutuli TEMP Ei põle: CNC temperatuur on lubatud piires. Oranž: CNC temperatuur ületab lubatud väärtust.
		Nende nuppude kombinatsiooni vajutatakse süsteemi andmehalduslehe avamiseks.			
		Lehe „Machine“ (tööpink) avamine.			

Tööohutuse tagamiseks püüavad tootjad vältida erinevusi tööpingi juhtpaneeli nuppude ja lülitite paigutuses. Paljusid nuppe kasutatakse sarnaste tegevuste jaoks. Nupud ja lülitid võivad tööpingi juhtpaneelil olla horisontaalse või vertikaalse paigutusega (joonis 2.74).

Joonisel 2.75 on näidatud firma Optimum CNC-tööpingi juhtpaneeli juht- ja seadenuppude ning lülitite paigutust. Muude tootjate CNC-tööpinkidel võib olla ka muu otstarbega nuppe ja lüliteid, kuid suur osa on samasuguste tegevuste tegemiseks.



Joonis 2.74. Nuppude ja lülitite paigutus tööpingi juhtpaneelil:
a) horisontaalne, b) vertikaalne (Optimum Maschinen Germany GmbH)



Joonis 2.75. CNC-tööpingi juhtpaneel (Optimum Maschinen Germany GmbH)









CNC-tööpinkide Siemensi juhtsüsteemide SINUMERIK 808D, SINUMERIK 808A ADVANCED ja SINUMERIK 828D juhtpaneelide nupud ja lülitid ning nende funktsioonid on näidatud tabelis 2.3.




Tabel 2.3 CNC-tööpingi juhtpaneeli nuppude ja lülitite funktsioonid

1	Tööpingi avariiseiskamisnupp. Avariiseiskamisnuppu tohib rakendada ainult juhul, kui: <ul style="list-style-type: none"> • on eluohtlik olukord • on tööpingi või detaili kahjustamise reaalne oht.
2	Käsiratta nupp. Tööpingi telje liigutamine väliste juhtkäsirattade abil.
3	Tera numbri näit. Näidatakse hetkel rakendatud tera numbrit.
4	Töörežiimi nupud.
5	Programmi juhtnupud.
6	Kasutaja määratud funktsiooniga nupud.
7	Telje suhtes liikumise nupud.
8	Spindli juhtimine käsitsi.
9	Spindli juhtnupud.
10	Etteandekiiruse juhtimine käsitsi. Liigub valitud telje suhtes määratud etteandekiirusega.
11	Programmi käivitamise, peatamise ja lähtestamise nupud.




Täpsemad andmed iga nupu ja lüliti ning nende kombinatsioonide kohta ettevõtte Optimum CNC-treipinkidel ja -freespinkidel on esitatud tabelis 2.4.




Tabel 2.4. Tööpingi juhtpaneeli nuppude funktsioonid

Nupu funktsioon	Nupu pilt	Kirjeldus
Töörežiimi nupud		Töörežiim JOG (käsitsirežiim).
		Töörežiim REFERENCE POINT (lähenemine etalonpunktile).
		Töörežiim AUTO (automaatrežiim).
		Töörežiim MDA (lühikese programmi käivitamine). Programmi käsitsi sisestamine, automaatne täitmine.
Programmi juhtnupud		Programmi katsetamise nupp. Keelab seadepunktide väljastamise telgedele ja spindlile. Juhtsüsteem ainult imiteerib liikumisi programmi õigsuse kontrollimiseks.
		Tingimusliku peatamise nupp. Peatab programmi iga ploki järel, millesse funktsioon M01 on programmeeritud.
		Juhtimise kiire ülevõtmise nupp. Telje etteandekiiruse juhtimine käsitsi.
		Ühe ploki nupp. Käivitab ühe ploki täitmise.


















Nupu funktsioon	Nupu pilt	Kirjeldus
Kasutaja määratud funktsiooniga nupud		Mistahes töörežiimis lambi kohe sisse või välja lülitamine. Märgutuli põleb: lamp on sisse lülitatud. Märgutuli ei põle: lamp on välja lülitatud.
		Mistahes töörežiimis jahutusvedeliku juurdevoolu kohe sisse või välja lülitamine. Märgutuli põleb: jahutusvedeliku juurdevool on sisse lülitatud. Märgutuli ei põle: jahutusvedeliku juurdevool on välja lülitatud.
		Terade pideva vahetamise käsu rakendamine (ainult töörežiimi JOG korral). Märgutuli põleb: tööpink alustab terade järjestikust vahetamist. Märgutuli ei põle: tööpink peatab terade järjestikuse vahetamise.

Tabel 2.4. järg

Nupu funktsioon	Nupu pilt	Kirjeldus
Kasutaja määratud funktsiooniga nupud		<p>Mistahes töörežiimis padruni rakendamise töödeldava detaili kinnitamiseks/vabastamiseks.</p> <p>Märgutuli põleb: rakendab padruni töödeldava detaili kinnitamiseks.</p> <p>Märgutuli ei põle: rakendab padruni töödeldava detaili vabastamiseks.</p>
		<p>Seda nuppu tohib vajutada ainult siis, kui spindel on täielikult seiskunud (CNC-treipinkides).</p> <p>Märgutuli põleb: rakendab välise padruni töödeldava detaili kinnitamiseks suunaga sissepoole.</p> <p>Märgutuli ei põle: rakendab sisemise padruni töödeldava detaili kinnitamiseks suunaga väljapoole.</p>
		<p>Mistahes töörežiimis tagapuki ettepoole/tahapoole nihutamine.</p> <p>Märgutuli põleb: tagapuki liigutamine töödeldava detaili suunas, kuni see kinnitub kindlalt detaili otsa külge.</p>

Nupu funktsioon	Nupu pilt	Kirjeldus
Kasutaja määratud funktsiooniga nupud		<p>Tera käsitsi vahetamise lubamine/keelamine.</p> <p>Tera käsitsi vahetamine on võimalik ainult juhul, kui tööpingi ohutus-liu- guksed on avatud.</p>
		<p>Ohutusukse juhtnupp. Kui spindel ja liikumine mistahes telje suhtes on seiskunud, vabastab sellele nupule vajutamine ohutusukse.</p> <p>Märgutuli põleb: ohutusüksed on lukust vabastatud.</p> <p>Märgutuli ei põle: ohutusüksed on lukustatud.</p>
		<p>Lõikeriistamagasi päripäeva pöörlemine (ainult töörežiimi JOG korral). Lõikeriistamagasi päripäeva pöörlemise käivitamine (CNC-freespinnis).</p> <p>Märgutuli põleb: lõikeriistamagasin pöörleb päripäeva.</p> <p>Märgutuli ei põle: lõikeriistamagasi päripäeva pöörlemine seiskub.</p>

Tabel 2.4. järg

Nupu funktsioon	Nupu pilt	Kirjeldus	Nupu funktsioon	Nupu pilt	Kirjeldus
Kasutaja määratud funktsiooniga nupud		Lõikeriistamagasini vastupäeva pöörlemine (ainult töörežiimi JOG korral). Lõikeriistamagasini vastupäeva pöörlemise käivitamine (CNC-freespingis). Märgutuli põleb: lõikeriistamagasin pöörleb vastupäeva. Märgutuli ei põle: lõikeriistamagasin vastupäeva pöörlemine seiskub.	Telje suhtes liikumise nupud		Y-telje nupp (CNC-freespingis). Liikumine Y-telje positiivses suunas.
		Lõikeriistamagasin lähendamine etalonpunktile (ainult töörežiimi JOG korral). Lõikeriistamagasin liigutamine etalonpunkti suunas (CNC-freespingis). Märgutuli põleb: lõikeriistamagasin on etalonpunktile lähenenud. Märgutuli ei põle: lõikeriistamagasin ei ole veel etalonpunktis.			Y-telje nupp (CNC-freespingis). Liikumine Y-telje negatiivses suunas.
Telje suhtes liikumise nupud		X-telje nupp. Liikumine X-telje positiivses suunas.			Kiire liikumise nupp. Kiire liikumine valitud telje suhtes selle telje nupu vajutamisel.
		X-telje nupp. Liikumine X-telje negatiivses suunas.			Varu. Ei ole kasutusel.
		Z-telje nupp. Liikumine Z-telje negatiivses suunas.			Etteandekiiruse suurendamine (märgutulega nupp). Valitud telje suunas liikumiskiiruse suurendamine vajalikul määral.
		Z-telje nupp. Liikumine Z-telje positiivses suunas.		Spindli juhtnupud	
			Spindli seiskamine.		
			Spindli päripäeva pöörlemise sisselülitamine.		
Programmi käivitamine, peatamise ja lähtestamise nupud			Programmi käivitamine, peatamise ja lähtestamise nupud		Töötlemisprogrammide täitmise peatamine.
					Töötlemisprogrammide täitmise alustamine.
					Programmide lähtestamine või kõiki programme tühistamine.

Kasutaja juhtpaneeli ekraanil näidatakse töötlemisprogrammi, tööpingi telgede asukohta, tera koordinaate, tera trajektoori jms infot (joonis 2.76). Peale selle on ekraani kaudu võimalik kirjutada uusi programme, värskendada saadaolevaid programme, valida keelt, vaadata diagnostikasüsteemi infot jne.

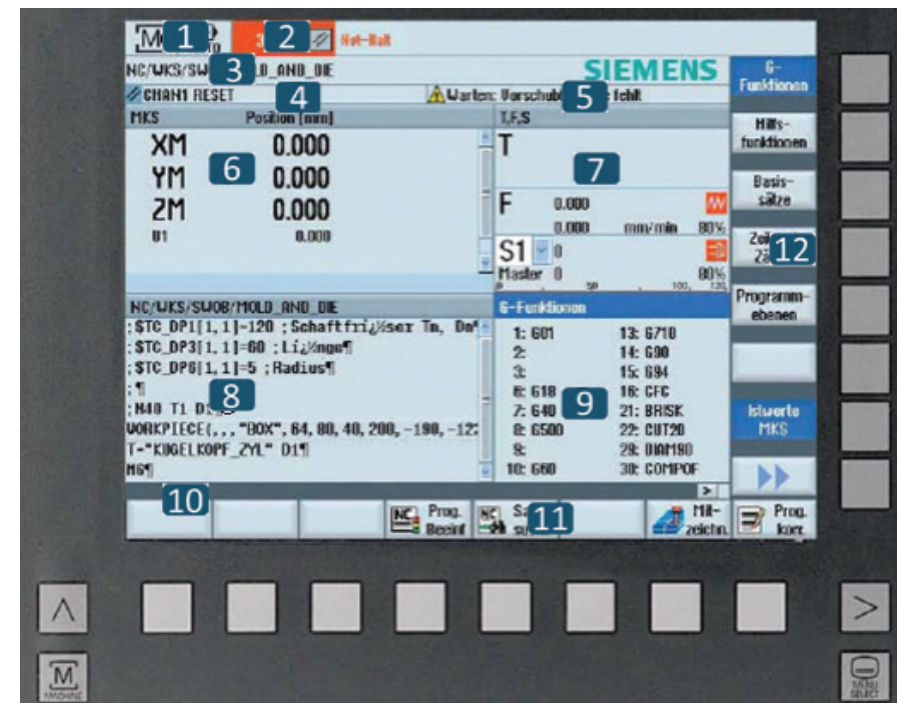
Tüüpiline info, mida CNC-tööpingi juhtpaneeli ekraanil on võimalik vaadata, on esitatud tabelis 2.5.

Tabel 2.5 Info kasutaja juhtpaneeli ekraanil

1	Aktiivne tööala ja töörežiim.
2	Hoiatuste/teadete rida.
3	Programmi nimi.
4	Kanali seisund ja programmi mõju.
5	Kanali tööteated.
6	Telgede asukoha tegeliku väärtuse aken.
7	Rakendatud tera (T), rakendatud etteande (F), pöörlemisageduse (S), spindli koormuse (%) andmed.
8	Töötlemisprogrammi aken.
9	Rakendatud koodide G (ettevalmistuskäskude), kõikide koodide G, erinevate funktsioonide sisestamise (nt vahelejäetud plokkide, programmi juhtimise) aken.
10	Täiendava info dialoogirida.
11	Horisontaalne nupuriba ekraani servas.
12	Vertikaalne nupuriba ekraani servas.

Muude tootjate tööpinkidel võib olla ka muu otstarbega nuppe ja lüliteid, kuid suur osa on samasuguste tegevuste tegemiseks.

Muude tootjate tööpinkidel võib olla ka muu otstarbega nuppe ja lüliteid, kuid suur osa on samasuguste tegevuste tegemiseks.



Joonis 2.76. CNC-tööpingi juhtpaneeli ekraan

Paljusid CNC-tööpinke saab varustada kaugjuhtimispuldiga, millega kasutaja saab juhtida tööpingi kindlaid tegevusi (nt vajutada avariiseiskamisnupu ja peatada töötlemist) ka tööpingist eemalt (tabel 2.6). ötlemist) ka tööpingist eemalt (tabel 2.6).

Tabel 2.6 Kasutaja kaugjuhtimispuldi nuppude funktsioonid

	Nr	Funktsioon	Kirjeldus	
	1	Pöördlüliti	Valikulüliti konkreetse telje juhtimiseks.	
	2	Pöördlüliti	Valikulüliti etteandekiiruse juhtimiseks.	
	3	Käsiratas	Käsiratas konkreetse telje liigutamiseks.	
	4	Avariiseiskamisnupp	Avariiseiskamisnupp lülitab CNC-tööpingi välja.	
	5	Kinnitusnupp	Kui seadistamisrežiimis on ohutus-liuguks avatud, tuleb kinnitusnupu vajutamiselega erandkorras lubada konkreetse telje liikumine.	
	6	Ajami pinges SEES	Ohutuslüliti tera seadistamise sisse-/väljalülitamiseks.	
	7	Võtmega lüliti	Ohutuslüliti tera seadistamise sisse-/väljalülitamiseks.	
		Lüliti asend	0	Seadistamisrežiimi ei saa kasutada. CNC-programmiga töötlemist saab lubada.
			1	Seadistamisrežiim sisse lülitatud.

2.4. Tera kinnitusrakised

Lõiketera kinnitusrakised peavad täitma põhimõtteliselt kolme ülesannet. Need on kohalefikseerimine, lõikelikumise edasiandmine ja lõikejõu vastuvõtmine.

Tera saab tööpinki kinnitada järgmiselt: jäik ühendus, hõõrdühendus ja kombineeritud ühendus. Jäik ühendus koosneb liistudest, tihvtidest ja muudest jäikadest osadest. Peale paigutatud tera saab pikikiilu abil kinnitada silindrilisse torni. Sisse paigutatud tera kinnitatakse kinnitusvõru, koonusvarre ja koonuskiilu, tsangpadruni või Morse koonusega varrega. Kiirkinnituspadrunisse fikseeritavate terade jaoks toodetakse erineva kujuga pakkide, soonte jm komponentidega silindrilisi kinnitusosi.

Tabelis 2.7 on esitatud lõiketerahoidikute loend.

Väikese läbimõõduga terade (nt puuride) silindrilistel vartel ei ole jõumomendi ülekandmiseks täiendavaid komponente. Käsikeermelõikurid ja -hõõritsad kinnitatakse varreosa nelikantotsa abil. Koonilisi varsi kasutatakse suure momendi edastamiseks. Tera koonilise varreosa mõõtmed tuleb arvutada selliselt, et tööpingi pöördemoment kantaks terale üle hõõrdejõuga. Pöördemomendi edastamine tera varreosa kiilu kaudu ei ole lubatud. Seda on vaja tera surumiseks spindli avasse.

Kõik tööpinkide tootjad kasutavad tavaliselt kõikides oma tööpingimudelites sama süsteemiga hoidikuid, kuid hoidikute suurus võib erineda olenevalt tööpingi suuruselt ja mudelist.

Tabel 2.7 Universaalpinkide terahoidikud

Töötlemisviis	Terahoidik
Puurimine	Kolme pakiga puuripadrun Kiirkinnitusena puuripadrun Morse koonusega või ahenduspuksiga Morse koonusega puur Puuripadruni hoiderakis
Sise-keermestamine	Kahe pakiga keermestuspadrun Keermelõikuri kiirkinnituspadrun sünkroonsete spindlite jaoks Keermelõikuri padrun Keermelõikuri tsangpadrun
Freesimine	Lõikefreesi hoiderakis Freesipadrun Otsfreesi hoidik Kroonpuuri tüüpi freeslõikuri ristpiluga torn
Lihvimine	Abrasiivketta kinnitus otse lihvpingi spindlile
Treimine	Lünnett Revolverpea pesa

2.4.1 Treiterade kinnitusrakised

Treipingi peamised lõiketerad on üksservlõikurid: välistreimiseks, lõikamiseks, sisetreimiseks jne. Universaalsetes treipinkides on lõiketerad kinnitatud nelja asendiga lünetti (joonis 2.77). Detaili töötlemisel saab hoidiku etteanne olla piki-, risti- või diagonaalsuunaline.

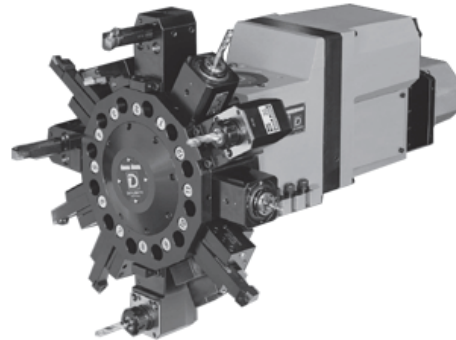
Revolvertreipingis on terad kinnitatud revolverpea pesadesse. Lõiketerad paigutatakse töötlemisjärjestuse kohaselt. Vertikaalsel sise- ja välistreimisel kinnitatakse lõiketerad vertikaal- ja külgkelkudesse. CNC-treipinkides ei kinnitata treiterasid otse revolverpeasse, vaid spetsiaalsetesse terahoidikutesse, mis pannakse revolverpea pesadesse (joonis 2.78).

Terahoidiku kuju sõltub tera kujust ja tööülesandest. Revolverpea pesa tüüp ja suurus sõltub treipingi konstruktsioonist, võimsusest ja tehnilistest omadustest (rakendatud terad, käsitsi või automaatne kinnitamine).

Lõiketerad pannakse revolverpea pesadesse tera juhtprogrammis näidatud aadressväärtuste kohaselt.



Joonis 2.77. Nelja asendiga lünett treiterade kinnitamiseks (PracticalMachinist.com)



Joonis 2.78. CNC-treipingi revolverpea (Diplomatic Automation Srl)

PRAKTILINE NÕUANNE

Enne hoidiku hoivlepanemist tuleb emulsiooni jäägid eemaldada.

2.4.2 Freesiterade kinnitusrakised

Erinevalt CNC-treipinkidest ja treimisjaamadest, kus terad on kinnitatud pöörlevasse revolverpeasse, paigaldatakse CNC-freespinkides ja töötluskeskustes terad lõikeriistamagasinini. Suunavaheti manipulaatori abil võetakse lõikeriistamagasinist vajalikud terad ja paigutatakse spindlisse, mida kasutatakse kõikide terade korral. Kui ei ole suunavahetit, langetatakse revolverpea terahoidikule. Et kõikide terade jaoks kasutatakse sama spindlit, peab terade kinnitusosa olema samasugune. Seda saab saavutada terahoidikute abil, mille külge kinnituvad tera ja spindel.

Spindliga ühendatav terahoidikute osa on standardne ja teraga ühendatav osa võib olla erinev.

PRAKTILINE NÕUANNE

Enne terahoidiku kasutamist tuleb hinnata selle seisukorda ning tera kinnitamise komponendid ja spindliga ühendatav kooniline osa puhastada suruõhuga.

CNC-freespingi ja töötluskeskuse korral sõltuvad terahoidiku varreosa mõõtmed pingi mudelist. Tüübid SK, HSK, BT, CAT (joonis 2.79) on tänapäeval kõige laialdasemalt kasutatavad terahoidikud.

Freesitera kinnitamise komponendid tagavad täpse paiknemise ja tõhusa jõuülekanne. Üks tera kinnitamise komponent on kooniline varreosa, mida kasutatakse tera fikseerimiseks ja lõikejõu edastamiseks. Koonilise varreosa korral on ühendus väga stabiilne. Seda tera saab kiiresti ja lihtsalt vahetada nii käsitsi kui ka automaatselt. Tänu suurele kontaktpinnale on pöördemomendi ülekanne terale stabiilne.

Lõikurid paigaldatakse tavaliselt sisemise avaga hoidikusse ja kinnitatakse poldi või fiksaatorkruviga.

Joonisel 2.80 ja 2.81 on näidatud silindrilisse või koonilisse avasse kinnitatud varreosaga või tsangiga freesiterasid.

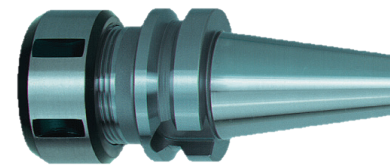
Silindrilisse või koonilisse avasse kinnitamise korral kantakse moment terale üle paralleel- või koonuskiilu abil ja seetõttu on teradel liistusoon.

Pindade freesimise otsfreese saab samuti kinnitada tsangi, koonilise varre või kinnitusmutriga terahoidikuga (joonis 2.82).

Lõiketera kinnitamiseks kasutatav Weldoni liuglukustusega torn on jahutuskanalite ja väga väikese radiaalviskumisega (joonis 2.83). Veelgi enam, tera parameetrite kindlakstegemiseks ja talletamiseks on tehtud spetsiaalne ava mikroskeemi jaoks.



Joonis 2.79. Terahoidikute tüübid: a) SK (Laip, S.A.), b) lõikuriga ühendatud HSK (Seco tools), c) BT 40 (Maritool), d) CAT 40 (Techniks, Inc.)



Joonis 2.80. Lõikuri kooniline varreosa (Gehring Technologies GmbH)



Joonis 2.81. Tsangpadrun ja lukustusmutter (Techniks Industries)



Joonis 2.82. Lukustusmutri terahoidik (Gehring Technologies)



Joonis 2.83. Weldoni liuglukustusega torn HSK koonilise varreosaga (Hoffmann Group)

CNC-freespinkides ja töötluskeskustes vahetatakse terasid erinevate meetodite abil. Neid saab asendada suunavaheti manipulaatoriga või spindli langetamisega lõikeriistamagasini pesale ja terahoidiku koonuselise varreosa sisestamisega spindli koonilisse avasse. Seejärel haarab spetsiaalne mehhanism spindli sees terahoidiku ja suunab selle spindlisse. Nii on tera kinnitatud ja ka tsentreeritud. Sisseliikumist piirab spetsiaalne tugi.

PRAKTILINE NÕUANNE

Enne kasutamist ja hoiulepanekut tuleb tsang hoolikalt puhastada ja kontrollida.

2.4.3 Puuride, kroonpuuride, koonus-süvistuspuuride ja hõõritsate kinnitusrakised

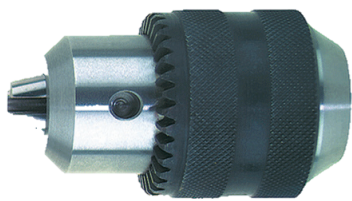
Alla läbimõõduga 10 mm spiraalpuuril on silindriline varreosa. Selle puuri kinnitamiseks tuleb kasutada kolme pakiga puuripadrunit (joonis 2.84). Puur kinnitatakse padrunisse hammasvöö abil, mida keeratakse spetsiaalse padrunivõtmega. Hammasvöö ja padrunivõti on standardiseeritud ja seetõttu kasutatavad erinevatel padrunitel.

Kiirkinnituspadrunisse saab puuri kinnitada käsitsi pingutamise (joonis 2.85). Puuri kinnitusjõud on väiksem, aga puuri kinnitamiseks kulub vähem aega.

Erinevalt universaalseadmetest kasutatakse CNC-tööpinkides tera kinnitamiseks tavaliselt koonilise varreosaga terahoidikut (joonis 2.86). See tagab, et tera on tsentreeritud õiges asendis.

Koonilisi ja silindrilisi süvistuspüre tuleb tootmisprotsessi ajal sageli vahetada, seega peavad need olema seadmesse kiiresti kinnitatavad ja spindlis täpselt tsentreeritud. Koonilised ja silindrilised süvistuspürid kinnitatakse koonilise varreosaga ja tornis kohandamisega.

Väikese läbimõõduga hõõritsad kinnitatakse padrunisse silindrilise varreosaga ja suurema läbimõõduga hõõritsad tööpingi spindlisse koonilise varreosaga. Käsihõõritsate varreosa on nelikantristlõikega.



Joonis 2.84. Kolme pakiga puuripadrunit
(Gehring Technologies GmbH)



Joonis 2.85. Kiirkinnituspadrun
(Gehring Technologies GmbH)



Joonis 2.86. Koonilise varreosaga terahoidik
(Gehring Technologies GmbH)

2.4.4 Keermelõikurite kinnitusrakised

Kahe pakiga padruni abil saab sise- ja väliskeerme lõikamisel keermelõikuri etteannet tööpingis täpselt juhtida (joonis 2.87). Keermelõikuri ja kaitsehülsi õigesti valitud pöörlemissagedus väldib tööriista purunemist.

Käsitsi etteandega ja suunavahetita spindliga (lauale paigutatavatel ja statsionaarsetel) puurpinkidel võib kasutada vasakkeermega keermestuspadrunit (joonis 2.88). Padruni konstruktsiooni kuulub kaitsehülss keermelõikuri murdumise vältimiseks.

Suunavahetiga pinkides võib kasutada standardset (joonis 2.89) või kiirkinnitusega keermestuspadrunit (joonis 2.90). Keermelõikuri murdumise vältimiseks on need samuti varustatud kaitsehülssiga.

Keermelõikuri varreosal on ümardatud soon keermelõikuri kinnitamiseks padrunisse. Käsikeermelõikurid kinnitatakse hoidikusse varreosa nelikantotsaga.

Treipingis kinnitatakse keermelõikur tavaliselt tsangpadruni või terahoidiku abil.

PRAKTILINE NÕUANNE

Täppistöötlemiseks on soovitatav kasutada hüdraulilist või termilist terahoidikut. Enne tera hoidikusse asetamist tuleb hinnata tera ja hoidiku seisukorda. Pärast tööde tegemist tuleb enne tera hoiukohta paigutamist hinnata tera seisukorda ja sobivust edasiseks kasutamiseks.



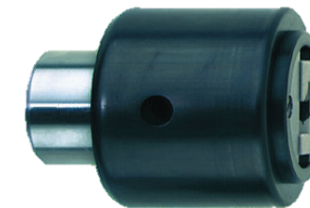
Joonis 2.87. Kahe pakiga keermestuspadrun (Gehring Technologies GmbH)



Joonis 2.88. Vasakkeermega keermestuspadrun (Hoffmann Group)



Joonis 2.89. Kahe pakiga keermestuspadrun (Gehring Technologies GmbH)



Joonis 2.90. Keermelõikuri kiirkinnituspadrun (gehring technologies gmbh)

3. MASINTÖÖTLUSE PROTSESSID



3. MASINTÖÖTLUSE PROTSESSID

3.1. Treimine

Treimine on materjali lõikamine ringjate lõikamisliigutustega eelseadistatud geomeetriliste teradega, st keerlevaid osasid töödeldakse teradega. Treimist saab kasutada detailide välis-, sise- ja otspindade töötlemiseks. See on kõige sagedamini kasutatud pöörleva töötlemise meetod (joonis 3.1).

Harilikult treimise ajal toorik keerleb ja kinnitatud lõikur liigub nii pikisuunas kui ka põigiti mööda töödeldavat pinda.

Treimist kasutatakse eri silindriliste, kooniliste, vormitud ja spiraalsete pindade töötlemiseks (joonis 3.2).

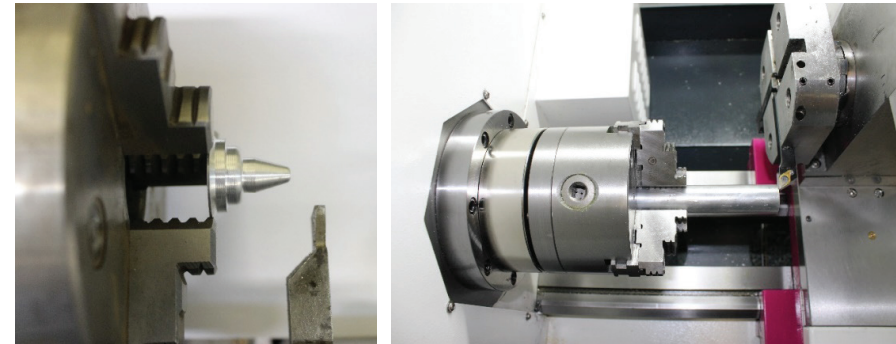
Vastavalt pinnalõikamise protsessile jaotatakse treimise meetodid piki-, külg-, otsa-, kerme-, soon- (joonis 3.3), koonus- (joonis 3.3f) või vormitreimiseks.

Pikitreimisel töödeldakse toorikut piki keerlevat toorikut liikuva lõikeriistaga (joonis 3.3a).

Otspinna treimist kasutatakse lamelate pindade töötlemiseks, mis asuvad risti pöörlemistelje suhtes. Tööriistale saab ettenihke anda põigiti või piki (joonis 3.3b). Otspinna treimist saab jaotada ka külgmise otspinna treimiseks, mahalõikamiseks ja pikiotspinna treimiseks.

Keermelõikamine on keermestatud pinna treimine sobiva profiiliga keermestamistöörriistaga, kus ühe tooriku keerlemise ettenihke võrdub keermesammuga (joonis 3.3c).

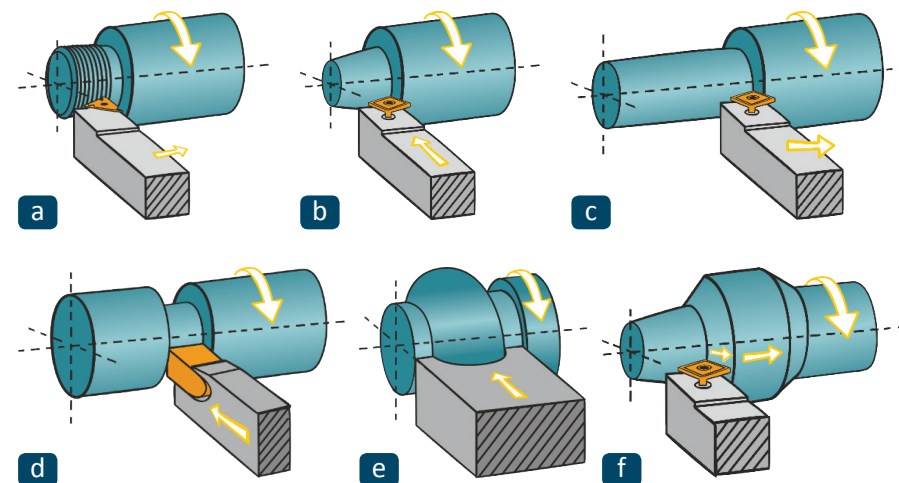
Vormitreimise (**profiilimise**) kaudu kohaldatakse vormimistöörriist töödeldavale toorikule. Vormimistöörriistu kasutatakse harilikult



Joonis 3.1 Treimine



Joonis 3.2 Treitud osade näited



trugimisosadest lühikeste ja jäikade kujundite töötlemiseks (joonis 3.3e).

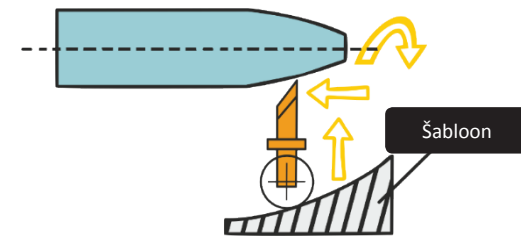
Lihtsamaks tooriku töötlemiseks vormitreimisega kasutatakse universaalset treimise-kopeerimise masina šablooni, mille kontuur sobitub töödeldava pinna kontuuriga (joonis 3.4).

Vaadeldes masintöödeldava tooriku paiknemist (joonis 3.5), saab treimise jaotada välimiseks ja sisemiseks treimiseks (joonis 3.5).

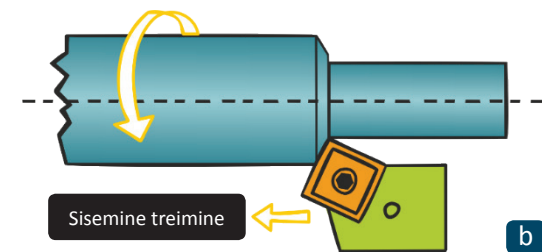
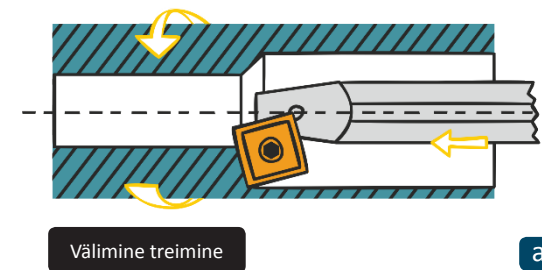
Tööriista peamise lõiketera positsioon tööriista võlli suhtes määrab lõikamise suuna. Ettenihke suunda arvestades saab treiterad jaotada parempoolseteks R, vasakpoolseteks L ja neutraalseteks N (joonis 3.6). Parempoolne tööriist on tööriist, mis liigub treimisprotsessi ajal paremalt vasakule, ja vasakpoolne vasakult paremale. Neil saab kergesti vahet teha, asetades vasaku või parema käe peopesa tööriistale. Parempoolse tööriista peamine lõiketera asetatakse parema käe pöidla poolele, vasakpoolne vasaku käe pöidla poolele.

Sõltuvalt töödeldava pinna asetsemisest eristatakse treimist ja sisetreimist. Kuju, suurus, joondus ja lõikeotsaku konstruktsioon valitakse vastavalt osa materjalile ja kujule, ettenihke suunale ja laastu tüübile. Osadesse treitakse auke, kasutades ühe lõiketeraga tööriista, kahepoolset tööriista – kahe või enama lõiketeraga ja treipeaga. Tööriistadega treimise ajal võib pöörelda kas osa või tööriist. Kasutades treimistööriistu, treitakse harilikult umbseid, enam kui 40 mm diameetriga läbivaid või astmelisi auke; kui kasutatakse treipeasid, treitakse auke enam kui 150 mm diameetriga.

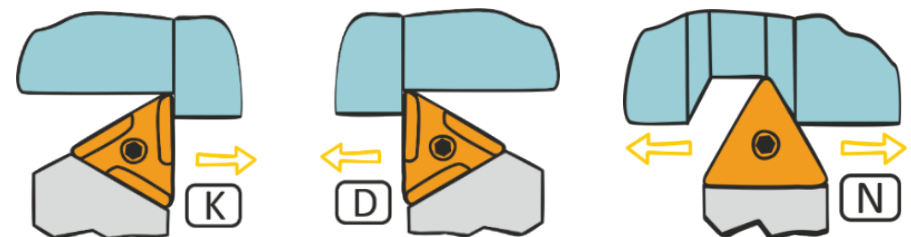
Sõltuvalt töödeldava detaili kordustäpsusest ja pinna kvaliteedist, võib treimine olla raskelõike treimine, ettevalmistav, poolsiluv, siluv ja viimistlustöötlus. Sisetreimine võib samuti olla kare, sile ja viimistlev, mida enamikel juhtudel nimetatakse teemantpuurimiseks.



Joonis 3.4 Treimine šablooniga



Joonis 3.5 Töötlemise positsioon treimisel: a) välimine treimine, b) sisemine treimine



Joonis 3.6 Juhised treitera ettenihkele

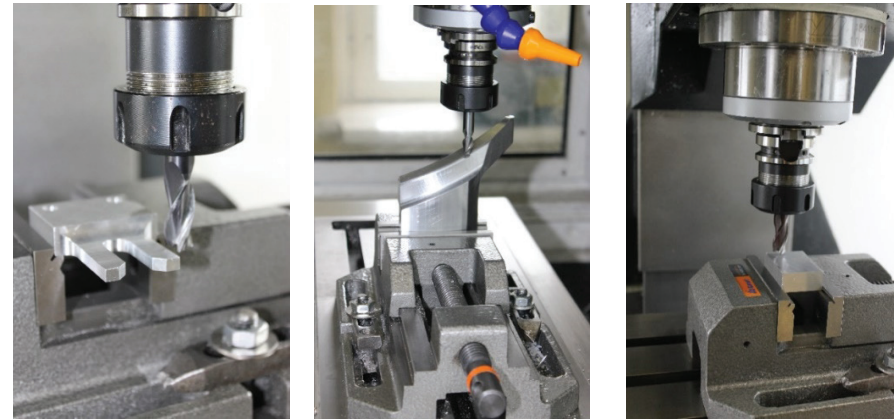
3.2. Freesimine

Freesimine on materjalide mehaaniline töötlemine, kus tööriist (freeslõikur) eemaldab laastu seatud paksuses töödeldud pinnalt, samaaegselt pööreldes ja liikudes piki osa pinda (joonis 3.7). Freesimisel kasutatakse mitmehambalist tööriista, mille mitu hammast teevad lõike üheaegselt. See on kõige tavalisem efektiivne pinnatöötlemise meetod.

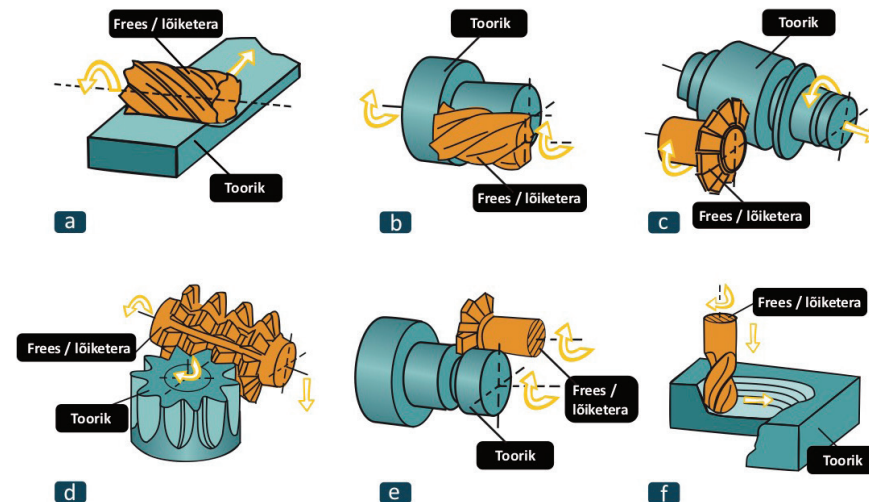
Freesimist saab kasutada erinevate osade pindade töötlemiseks: tasapinnad, vormitud ja spiraalsed pinnad, hammasrattad, pilud, sooned, stantsi kontuurid, lõikehambad jne. Joonis 3.8

Freesimist saab kasutada toorikule puhta pinna tekitamiseks, eri vormide ja soonte lõikamiseks, ääristamiseks ning sirgete ja kaarjate kontuuride tegemiseks. Freesimisel võib frees pöörelda ümber oma telje või pöörelda ja liikuda piki osa pinda. See sõltub freesi ehitusest.

Freesitav toorik tuleb kinnitada seadmele või kasutades eriseadmeid, lihtsalt kinnitada freesmasina töölauale. Harilikult kinnitatakse neljakandilised toorikud kruustangidega, silindrilised toorikud padruniga. Freesimisel võib see liikuda koos töölauga või püsida paigal. Erinevalt treipinkidest ei ole iga freesi hamba lõiketera metalli pinnaga pidevas kontaktis, seega kuumenevad need vähem üle. Nii saab suurendada freesimise kiirust.



Joonis 3.7 Freesimine



Joonis 3.8 Freesimise meetodid: a) pinnafreesimine, b) silinderfreesimine, c) kujufreesimine, d) keermeffreesimine, e) hammaslatt-freesimine, f) kopeerimine

Tasapinna freesimine. Tasapindasid freesitakse sirgjoonelise ettenihkega, kasutades tavalisi freese, laupfreese (joonis 3.9) ja otsfree-se.

Silinderfreesimine. Silinderpinnad freesitakse silindrilise ettenihkega: väline silinderfreesimine ja sisemine silinderfreesimine.

Keermefreesimine. Spiraalsed pinnad freesitakse spiraalse ettenihkega, kasutades kujufreesi, keermefreesi, hammaslatte, keermestamisotsakuid või mitmik-keermefreesi.

Freesimine hammaslatiga. Kujulõikur kaasneb valtsimise- ja ettenihkega; ajamfreeid ja võll kaasnevad tihvtide freesimisega.

Vormi freesimine. Freesi profiil on toorikus eelvormitud: pikifreesimine ja silinderfreesimine.

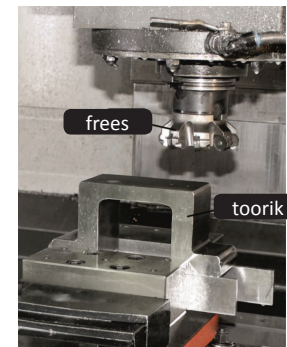
Kopeerimine. Kõiki tasapinnalisi või ruumilisi pindasid freesitakse kontrollitud ettenihkega: graveerimine, kopeerimine, CNC-kopeerimine (joonis 3.10).

Freese jagatakse vastavalt:

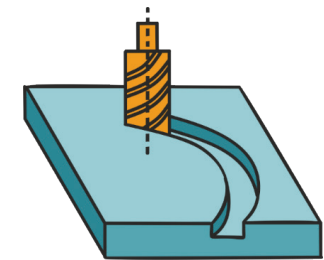
- kinnitusmeetodile: silindriline või koonilise varreosaga, kinnitatud üle silindrilise või koonilise kinnitusaugu;
- lõiketera kujule (lihtne frees, laupfrees, otsafrees, servafrees, nurgafrees, kujundfrees, T-soonega frees jne);
- hammaste kujule ja asetusele;
- soovitud kasutusele (tasapinnad, taskud, erikujulised pinnad, keermes või hamba läbilõikamine, mahalõikamine).

Lõikeriistade tootjad pakuvad eri tüüpi freese tooriku mehaaniliseks töötlemiseks (joonis 3.11).

Vastu- ja päriefreesimine. Freesimine külje-, laup- ja tasapinnafreesidega vastavalt ettenihkele ja lõikesuunale jaotatakse vastu- ja päriefreesimiseks.



Joonis 3.9
Tasapinna freesimine otsfreeisiga



Joonis 3.10 Kopeerimine otsfreeisiga



Joonis 3.11 Freesi näited: a) külje ja nurga frees, b) laupfrees, c) pinnafrees, d) otsafrees, e) T-soonega frees (Gehring Technologies GmbH)

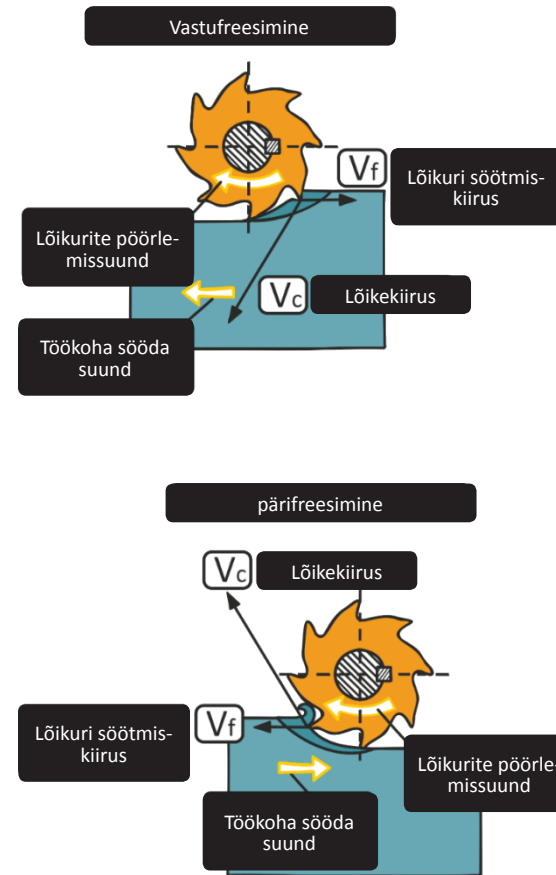
Vastufreesimisel on freesi ringkiiruse suund vastupidine tooriku ettenihke suunale (joonis 3.12). Vastufreesimisel algab lõikamine õhukese laastu eemaldamisega ja lõpeb maksimaalse suurusega laastu eemaldamisega.

Pärfreesimisel on freesi ringkiiruse suund sama tooriku ettenihke suunaga. Pärfreesimisel algab lõikamine maksimaalse suurusega laastu eemaldamisega ja lõpeb minimaalse suurusega laastu eemaldamisega. Seetõttu saavutatakse pärfreesimisega parema kvaliteediga pind. Lisaks mõjub pärfreesimine paremini tööriistale.

PRAKTILINE NÕUANNE

plasmakiire või laseriga lõigatud toorikuid on soovitatav töödelda vastufreesimise meetodiga.

Freesimine jaotatakse ettevalmistavaks, poolsiluvaks, siluvaks ja viimistustöötluks. Karedat freesimist rakendatakse suurte töötlusvarude (enam kui 3 mm) eemaldamiseks, nt sepistatud ja valatud osade pindadelt. Täppisfreesimisel on soovitatav kasutada laupfree-se. Täppisfreesimisel võrdub lõikesügavus $t = 0,05-0,1$ mm, kõrvalekalle sirgjoonest ei ületa $0,04-0,02$ mm.



Joonis 3.12 Vastu- ja pärfreesimine

3.3. Puurimine, koonussüvistamine, hõõritsemine, keermestamine

Treimise ja freesimise masintöötlemise keskused ei paku ainult võimalust treida ja freesida, vaid ka puurida, koonussüvistada, järelpuurida ja keermestada.

Kui osa pöörleb, siis treipingil tööriist ei liigu. Puurimist teostatakse, kui puur on kinnitatud tagapuki õõnesvõlli. Sellel masinal saab teha sise- ja väliskeermestamist. Sisekeermestamiseks kasutatakse keermelõikureid või sisekeermestamise tööriistu. Väliskeermestamiseks kasutatakse keermestamistöörüistu või stantse.

Freesimismasinal teostatakse puurimist, keermestamist ja hõõritsemist samuti kui freesimist, ainult frees vahetatakse välja puuri, hõõritsa vmt vastu.

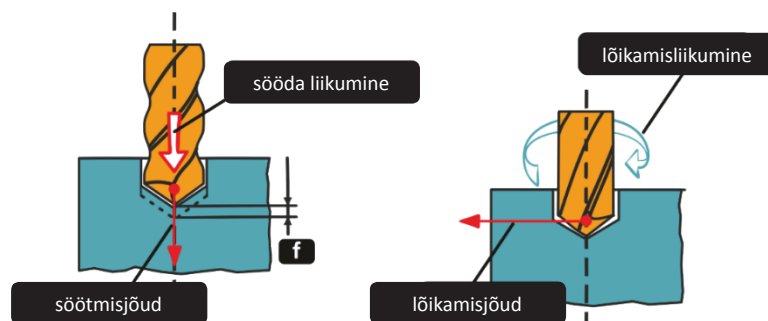
Puurimine

Auke tekitatakse, kasutades eri lõikureid sõltuvalt tooriku tüübist, nõutud kordustäpsusest ja pinnakaredusest. Toorikul võivad olla augud, mis on tekitatud valamise, sepistamisega või stantsimisega, kuid see võib olla ka aukudeta. Aukudeta toorikute töötlemine algab alati puurimisega.

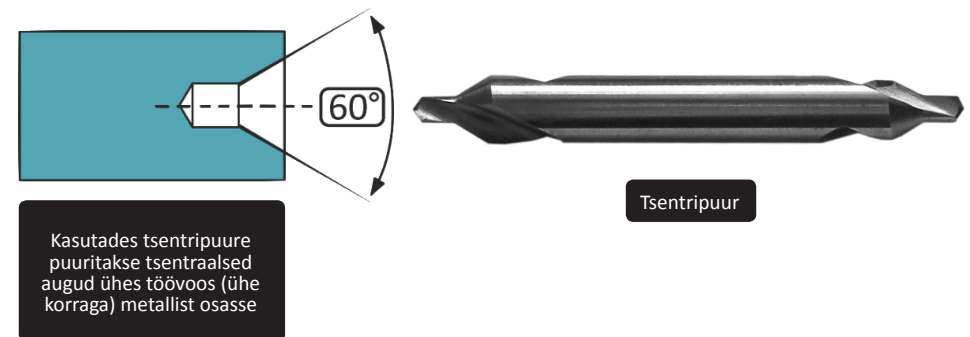
Puurimine on üks tavalisemaid ja vanemaid metalli ja teiste materjalide lõikamise meetodeid aukude tekitamiseks. Sõltuvalt konstruktsioonist jaotatakse puure järgnevalt: spiraalpuurid, sirge soone puur või lamepuurid, astmikpuurid, uspuurid, südamikupuurid, tsentripuurid, kombineeritud puurid.

Puur lõikab ringjate lõikamisliigutustega ja ettenihke liikumine toimub pöördtelje suunas. Rakendades ettenihke jõudu, lõikuvad lõiketerad materjali. Ringikujuline lõikamisliigutus loob lõikejõu (joonis 3.13).

Kasutades tsentripuure puuritakse tsentraalsed augud ühes töövoos (ühe korraga) ühte metallist osasse (joonis 3.14). Treimisel või lihvimisel on tarvis kinnitada toorik tagapuki tsentrite vahele. Esmane tsentreerimine on laialt kasutatav aukude puurimisel automatiseeritud seadmetega.



Joonis 3.13 Lõikejõud ja liigutused



Joonis 3.14 Tsentripuur Gehring Technologies GmbH)

Ühes tükis metalli täpseks ja kiireks esmaseks tsentreerimiseks automaatjuhtimisega masinale kasutatakse spetsiaalseid CNC-tsentripuure, mis on tehtud kiirlõiketerasest või kõvasulamist (joonis 3.15). Tsentripuuril on 90° või 120° ülemine nurk ja väiksem spiraalse soone nurk kui tavalisel spiraalpuuril.

Spiraalpuurid. Need on valmistatud kiirlõiketerasest või kõvasulamist. Soovitav on esialgu puurida auk, mille diameeter ei ületaks 30 mm. Enne suurema diameetriga augu puurimist tuleks puurida 10–15 mm juhtauk. Suurema diameetriga kui 80 mm augud puuritakse spiraalpuuriga. Neid puure kasutatakse ka selliste aukude puurimiseks, mille sügavuse ja diameetri suhe on $l/d \leq 5$. Spiraalpuuriga on sügavamaid auke raskem puurida, sest laastu eemaldamine ja lõiketerade jahutamine halveneb, raske on teha augu telge ristipidiseks pinna suhtes. Seepärast kasutatakse sügavamate aukude puurimiseks usspuure. Enne puurimist, eriti väiksema diameetriga aukude puhul, on soovitatav kasutada skeemi. Mõnikord kasutatakse puurimise ajal puuri juhiks konduktorpuukse. Skeemi kasutamine pole nõutud, kui kasutatakse konduktorpuukse. Spiraalpuuriga puurides on võimalik saavutada puuritud aukude täpsus tolerantsijärguga 11 või 12. Suurema kui 80 mm diameetriga augud puuritakse südamikpuuridega.

Astmikpuuridel on väikesed astmed, et puurida auke koonusjate või silindriliste avade keermestamiseks (joonis 3.16). Lühikeste avade

puhul on puuri stabiilsus kõrge, seetõttu on need eriti sobilikud CNC-masinas kasutamiseks.

Usspuurid. Usspuurid (kui $l/d > 5$) võivad olla ühe või mitme lõikeservaga. Usspuurid võivad saavutada tolerantsijärgu 8 ja kõrge kvaliteediga pinna. Lõikudes toorikusse, tsentreerib usspuur konduktorpuksi suunas; juhtliistud asuvad völliil. Pärast tsentreerib puur augus iseseisvalt. Läbi puuri kohal asuva völli aetakse rõhuga 1,2...1,6 MPa ringi jahutavat libestit lõikepiirkonda ja laastud pestakse august välja läbi süvendatud jahutuskanali.

PRAKTILINE NÕUANNE

puurides jälgige puuri lõikeservade seisukorda ja tagage tööalas sobiv jahutus.

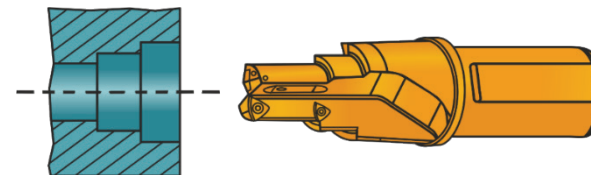
Puurides jälgige aeg-ajalt puuritud aukude pinna kvaliteeti, et aegsasti vahetada või teritada puuri.

Südamikpuurimine

Südamikpuurimine on silindriliste või kooniliste karedate aukude puurimine valatud, karastatud või stantsitud toorikutesse või juhtaukudesse südamikpuuriga, et diameetrit suurendada, parandada pinna kvaliteeti, suurendada kordustäpsust (vähendada koonilisust,



Joonis 3.15 CNC-tsentripuur (Gehring Technologies GmbH)



Joonis 3.16 Väikeste astmetega astmikpuurid

ovaalsust), tasandada augu viltust telge. Südamikpuurimisel suureneb puuritud augu täpsus ühe tolerantsijärgu võrra. Südamikpuurimist saab kasutada augu viimistlemise operatsioonina või vaheoperatsioonina enne hõõritsemist.

Südamikpuuriga puuritakse auke, kasutades standardseid südamikpuuri koonussüvisteid. Neil on rohkem lõiketerasid ja nad on kindlamad kui puurid. Augupõhja diameeter võib suureneeda kuni 120 mm. Tihti on südamikpuurid valmistatud 2-3 astmega, et puurida spetsiifilise kujuga auku (joonis 3.17).

Silinder- ja koonussüvisteid on mugav kasutada silindriliste või koonuseliste aukude tekitamiseks koonussüvistusega krurvipeadele (joonis 3.18).

Lisaks kasutatakse südamikpuure augukoha pinna viimistlemiseks. Neid nimetatakse ka lameavardiks ja neil on püsiv või eemaldatav juhtpuks (joonis 3.19).

Hõõritsemine

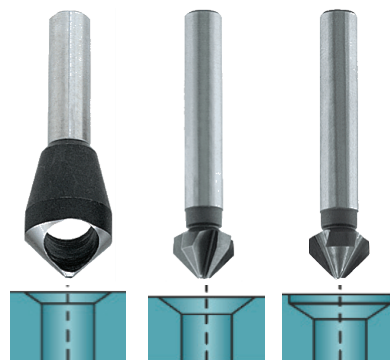
Hõõritsemine on aukude töötlemine väikeste töötlusvarudega, et saavutada viimistletud ja puhas pind. Hõõritsesed saab vähendada silindrilist kõrvalekallet ja reguleerida mõõtu, kuid augu telje ristipidise kõrvalekalle vastu põhiplaati jääb samaks.

Hõõritsemine jaotatakse silindriliseks augu hõõritsemiseks, mida kasutatakse täpse diameetri ja vormiga aukude valmistamiseks (joonis 3.20a), ning erikujuliste aukude hõõritsemiseks, mida rakendatakse koonusjate ja kujundiliste pindade töötlemiseks (joonis 3.20b).

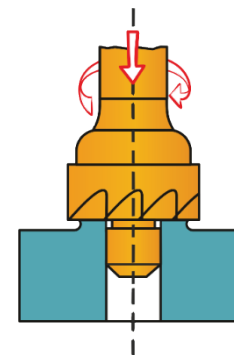
Vastupidiselt puurimisele ja südamikpuurimisele võib hõõritsemine olla kare ja sile, mehaaniline ja manuaalne. Harilikult laiendatakse auku diameetriga kuni 10 mm kohe pärast puurimist ja suuremaid pärast südamikpuurimist või sisetremmist. Kaasaegsete tööriistadega (vahetavate otsakutega puurid) saab auku suurema diameetriga kui 10 mm hõõritseda kohe pärast puurimist, nt pärast 19,7 mm diameetriga augu puurimist saab alustada augu hõõritsemist 20 mm-ks.



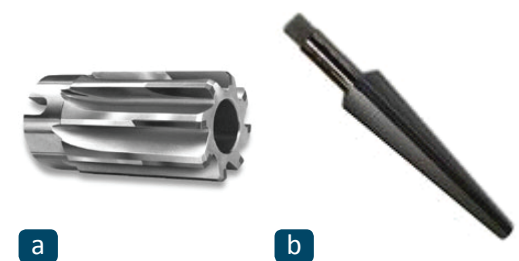
Joonis 3.17 Astmeline koonussüvisti (Coin Precision Tools Co, Ltd)



Joonis 3.18 Koonussüvistamine (Gehring Technologies GmbH)



Joonis 3.19 Lameavardi kasutamine lamedatel tasapindadel



Joonis 3.20 Hõõritsad: a) silindrilistele aukudele, b) koonusjatele aukudele (Gehring Technologies GmbH)

Hõõritsemine on küllaltki kallis tööliik, sest kulunud hõõritsat ei saa teritada. Hõõritsat saab teritada ainult diameetri vähendamiseks.

Sarnaselt puurimisele, südamikpuurimisele ja koonussüvistamisele lõigatakse ka hõõritsemisel laastusid hõõritsa lõikeosaga (joonis 3.21). 0,1 kuni 0,3 mm laiuse kaliibriga silindrilised triibud muudavad augu pinna siledamaks ning augu mõõtmed ja vormi kordustäpsuks. Sõltuvalt diameetrist on sirgete ja spiraalsete hammastega hõõritsate töötlusvaru 0,1 kuni 0,5 mm. Kui tekib pikk laast, on spiraalsete hammastega hõõritsate töötlusvaru kuni 0,8 mm.

Suurema kordustäpsuse saavutamiseks tuleb hõõrits kinnitada spindlisse vastavalt augu teljele, et elimineerida masinal või käsitsi hõõritsemisel tekkiva vibratsiooni mõju.

Keermestamine

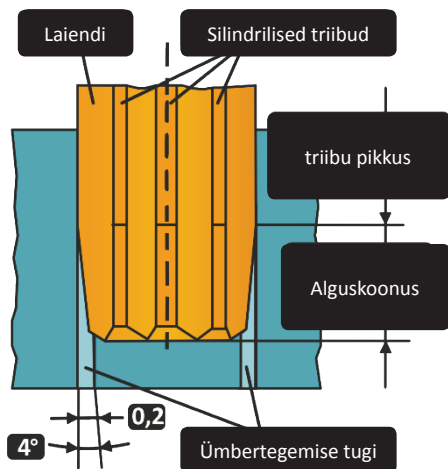
Spiraalseid pindasid kasutatakse osade ühendamiseks või liigutuste ülekandeks ja laadimiseks. Keermeid moodustatakse sisemistele või

välimistele silindrikujulistele pindadele, harvem koonilistele pindadele. Keermestamise meetod valitakse vastavalt keerme tüübile, kasutusele, töödeldavale materjalile, keerme kordustäpsusvajadustele, tööriistade ja masina kättesaadavusele. Kõige tavalisemad keermestamise meetodid on keermetööriistadega lõikamine, keermefreesimine keermefreesiga, keermestamine eri lõikuritega, keermestamine keermestuspeadega, keerme lihvimine ja valtsimine.

Masinkeermestamisel peab puurimismasina spindel liikuma tagurpidi, et eemaldada keere sisekeermestatud august. Tagurpidiliikumise puudumisel tuleb kasutada nn spindli ava keermelõikureid. Kuid neid ei tohi kasutada umbse augu sisekeermestamiseks.

Käsitsi sisekeermestamiseks tuleb kasutada käsikeermelõikureid, et teha kaks või kolm tööoperatsiooni ja pärast seda kasutada kruvisid vastavalt nende suurusele (joonis 3.22)

Keermete täpsus sõltub keermelõikuri kordustäpsusest ja tüübist (joonis 3.22). Kasutades lihvitud keermelõikureid, võib saavutada tolerantsijärgu 6, lihvimata keermelõikuriga 8.



Joonis 3.21 Hõõritsa lõikeosa



Joonis 3.22 Keermelõikurite komplektid käsitsi keermestamiseks: a) kahe lõikuriga komplekt kahele tööetapile, b) kolme lõikuriga komplekt kolmele tööetapile (Thürmer Tools)

Et lõigata koonilist keeret keermelõikuriga, tuleb puuritud auku koonushõõritsaga suurendada. Enne keermestama asumist on väga oluline teha kindlaks, kas keermelõikuri telg on tasapinnaga ristipidine. Seetõttu on soovitatav kasutada nurgikut, et määrata enne keermestama asumist keermelõikuri telje ristisuunalisus. Et teha kindlaks, kas keermelõikur on sobitatud auku, on soovitatav lõigata augu sisse soon.

Umbaugud peavad olema 3-4 sammu pikemad (sügavamad) kui keermelõikur, et jätta ruumi keermestamisel tekkivale laastule. Sisekeermestades auke plastilisse metalli, toimub materjali deformeerumine, seega väheneb sisekeermeprofiili diameeter. Selle vältimiseks tuleb puurida suurema diameetriga augud. Nt keermestades M16 auku terasesse, tuleb puurida 13,9 mm diameetriga auk; malmi sisse – 13,7 mm diameetriga auk.

Välimisi ja sisemisi keermeid saab freesida üksikkeerme või mitmikkeerme freesiga (monoliitsed ja vahetavate otsakutega) või mitmikkeerme evolventhammasrattaga (joonis 3.23). Keermestamisel ühekeermelise freesiga, peab tööriista nurk olema võrdne

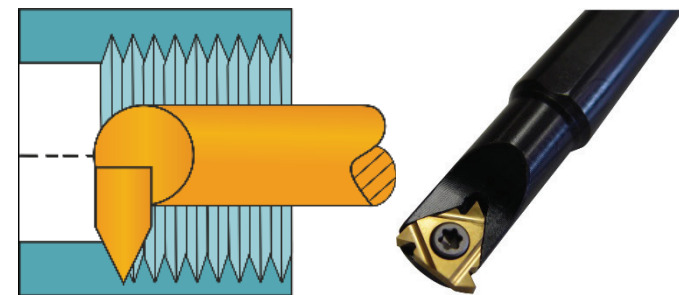
keerme peamise nurgaga. Kolmnurkkeerme profiili lühikesed sise- ja väliskeermed tuleks freesida mitmikkeerme freesiga. Mitmikkeerme frees moodustatakse otstest ühendatud mitmest üksikkeerme freesist.

Keermestamine ühepunkti-keermepuuriga on universaalne ja korrektne meetod. Ühepunkti-keermepuuriga saab lõigata eri mõõdu ja profiiliga sise- ja väliskeermeid (joonis 3.24). Ühepunkti-keermepuur on tööriist, mille lõikeserva profiil ja tipu raadius vastavad lõigatava keerme profiilile. Ühepunkti-keermepuur keermestab eri profiilidega keermeid, sh kolmnurkkeeret, ruutkeeret ja trapetskeeret. Ühepunkti-keermepuure valmistatakse ja teritatakse samal viisil kui treimise tööriistu. Keermestamist ühepunkti-keermepuuriga peetakse ebaefektiivseks töövõtteks, sest ühe täieliku keermeprofiili valmistamiseks tuleb teha mitu lõiget.

Kasutades keermelõikamisstantse (joonis 3.25), tehakse üsna vähese täpsusega väliseid kolmnurkkeermeid, sest keerme sammu profiil pole lihvitud. Stants, millel on pikem ümar läbilõige, on torujas stants. Neid kasutatakse revolvertreipinkides, automaatsetes ja



Joonis 3.23 Keermefreesid: a) keermefrees, monoliitne (OSG Corporation), b) vahetav otsak keermestamiseks (W.W. Grainger Inc.), c) üksikkeermefrees (Lalson Tools Corporation), d) mitmikkeermefrees (MSC Industrial Direct Co., Inc.)



Joonis 3.24 Sisekeermestamine ühepunkti-keermepuuriga (Machineryhouse (NZ))

poolautomaatsetes treipinkides. Stantside nõrkused: madal efektiivsus, sest keermestamiskiirus on suhteliselt väike, ning samuti tuleb stants eemaldada keermestatavalt toorikult.

Sise- ja väliskeermed rullitakse paralleelsete V-ploki valtsimisplaatidega või silindriliste pöörlevate valtside vahel, mis asuvad üksteisest teatud kaugusel. Keermeid rullitakse plastilise deformeerimise põhimõttel. Metall pressitakse kerme soonest välja muhuks. See tõttu rullitakse keermeid ainult plastilistel metallidel. See on kõige efektiivsem keermestamismeetod. Valtsitud keermel on paremad mehaanilised omadused, sest selle pind muutub valtsimise tulemusel kõvaks ja metallikiht on volditud, mitte lõigatud.

Kõvastunud osadel, kõvadusega vähemalt 40 või 42 HRC, keermed harilikult lihvitakse, sest keere paindub kuumtöötlemise tagajärjel. Lihvimiseks kasutatakse lihvimiskettaid. Lihvimisketast valides (tera karedus ja jämedus) võetakse arvesse lihvitud kerme sammu. Jämedaks lihvimiseks kasutatakse jämedamaid ja pehmemaid kettaid, viimistlemiseks – väiksemaid kõvema sideainega. Harilikult kasutatakse kerme lihvimiseks mitmesoonelisi lihvkettaid, sest need on efektiivsemad kui ühe soonega kettad, kuid lihvimine mitmesoonelise kettaga on vähem täpne.

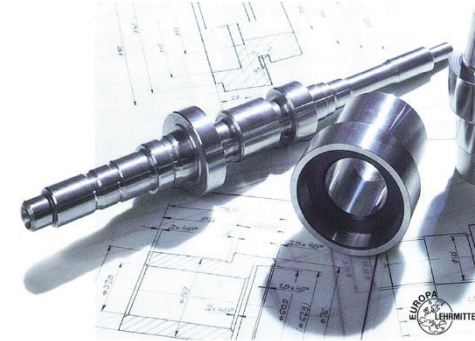
3.4. Lihvimine jt pinna viimistlemise meetodid

Lihvimine on väga tähtis materjali töötlemise meetod saavutamaks korrektset ja siledat pinda (joonis 3.26). Lihvimine on jaotatud karedaks, siledaks ja viimistlevaks lihvimiseks. Viimistleva lihvimisel saavutatakse silindriliselt töödeldud mõõtmel tolerantsijärk 5 või 6 ja pinna karedus kuni $Ra = 0,1 \mu\text{m}$.

Lihvimist teostatakse universaalsete lihvimismasinatega (joonis 3.27), millel on ühine omadus – lõikeriistaks on abrasiivne ketas, mis on tehtud lihvivatest teradest, mis on ühendatud omavahel sideainega. Iga liikuv lihviv tera lõikab metalli, kui ta satub töödeldud pinnale.



Joonis 3.25 Stantsid: a) ümar, b) kuuskant, c) ruut (Thürmer Tools)



Joonis 3.26 Lihvitud osade näited (Gehring Technologies GmbH)



Joonis 3.27 Lihvimismasin: a) pinnalihvimismasin SCHLEIFPOWER FSM 30100 AHD (HESSE+CO Maschinenfabrik GesmbH), b) silindriline lihvimismasin AJG27 (Ajax Machine Tool Company, Ltd.)

Lihvimine jaotatakse silindriliseks lihvimiseks (väline ja sisemine) ja pinnalihvimiseks. Pindasid lihvitakse kahel meetodil: ketta välise pinnaga (joonis 3.28) ja laieneva ava või toruja kujuga lihvkauksi otspinnaga või segmenteeritud kettaga (joonis 3.28).

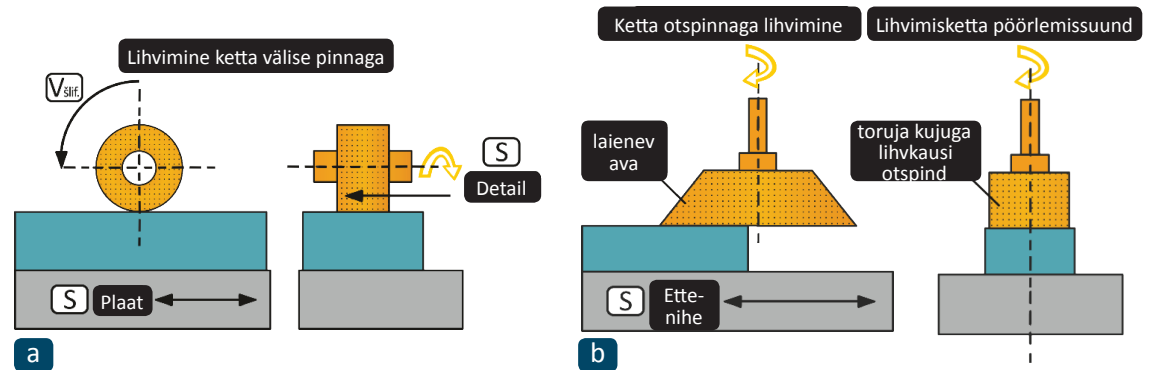
Lihvimist ketta otspinnaga peetakse efektiivsemaks, sest üheaegselt lihvib suur hulk lihvivaid terakesi.

Silindrilisi tasapindasid lihvitakse, rakendades piki ettenihet, põiki ettenihet ja tsentriteta lihvimist. Pikilihvimise meetodi korral lihvimisketas ja toorik pöörlevad, toorik liigub pikiettenihkega mööda telge ja lihvimiskettal on põiki ettenihe, harilikult tooriku iga topeltliikumise korral (joonis 3.29).

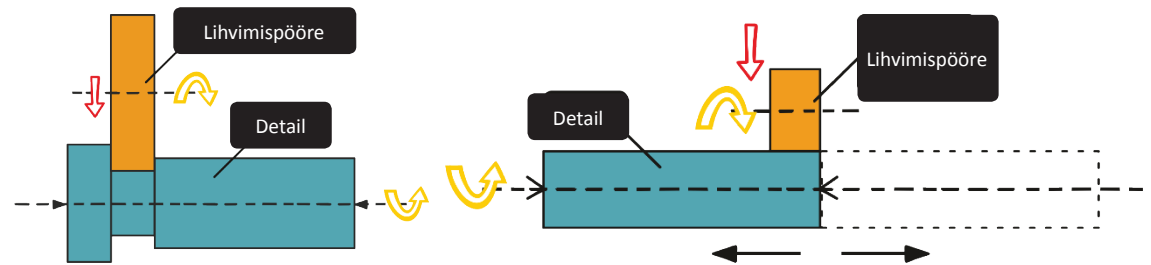
Lühikesi silindrilisi pindasid saab lihvida etteande lihvimise meetodit rakendades (joonis 3.30). Lihvimisketta laius peab olema võrdne lihvimistasapinna pikkusega või suurem.

Kui tasapindu lihvitakse tsentriteta meetodil, paigaldatakse toorik toestamiseks kahe pöörleva ketta vahele (joonis 3.31a). Üks (lihviv) ketas lihvib silindrilist pinda, teine (reguleeriv) ketas ajab toorikut ringi. Tooriku telg peab olema kergelt üle mõlemat ketast ühendava keskjoone (umbes 10–15 mm).

Rakendades sisemise tsentriteta lihvimise meetodit, asub toorik eeltöödeldud välise pinna kohal. Toorikut hoitakse kahe tugirulli ja reguleeriva kettaga, mis mitte ainult ei aja toorikut ringi, vaid ka aeglustab seda, et vältida lihvimisketta põhjustatud kiiret pöörlemist (joonis 3.31).

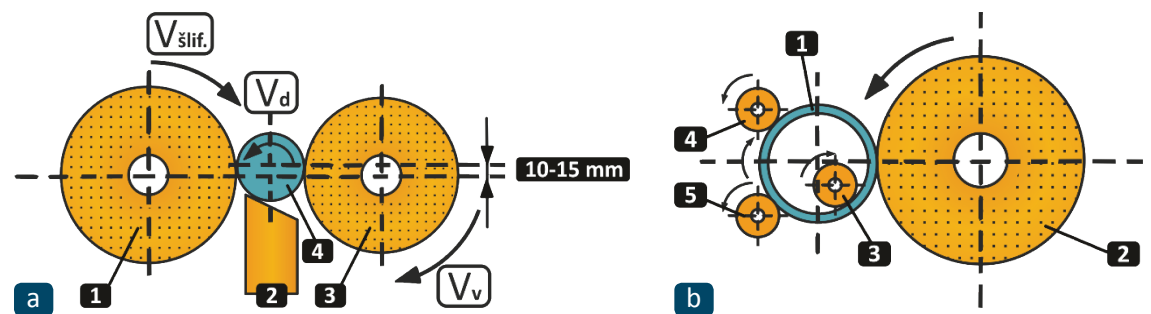


Joonis 3.28 Lameda tasapinna lihvimine: a) lihvimine ketta välise pinnaga, b) ketta otspinnaga lihvimine Vgrind. – lihvimisketta pöörlemissuund, s – ettenihe



Joonis 3.29 Lihvimine pikiettenihet rakendades

Joonis 3.30. Lihvimine põikiettenihet rakendades



Joonis 3.31 Tsentriteta lihvimine: a) välised silindrilised pinnad: 1 - lihvimisketas, 2 - tugi, 3 - reguleeriv ketas, 4 - osa; b) augud: 1 - osa, 2 - reguleeriv

Protsessi, kus tööriist pöörleb ja liigub piki oma telge, nimetatakse hoonimiseks. Hoonimist viiakse läbi hoonimismasinatega (joonis 3.32). Seda kasutatakse aukude töötlemiseks peeneteraliste abrasiivsete varrastega.

Vardad paigaldatakse tööriista, mida nimetatakse hoonijaks (joonis 3.33). Vardad on iseterituvad ega vaja pinnatöötlust.

Hoonimine on töötlus, mis tagab eriti ühetasase ja sileda pinna. Hoonija vardad surutakse vastu töödeldava augu seinu ja nende lihvivad terakesed jätavad ainuomase jäljerea, mis lõikuvad teatud nurga alt. Suur hulk lihvivaid terakesi lõikavad üheaegselt, saavutades kõrge efektiivsuse, küllaltki madala surve ja lõikepiirkonna madala temperatuuri, seega püsib töödeldava pinna struktuur muutumatu. Selliselt hoonitakse sisepõlemismootoreid, kompressoreid ja pumpe silindreid. Pärast hoonimist võib saavutada täpsuse tolerantsijärgu 5.

Suurendamiseks osa pinna siledust, tuleb see pärast lihvimist poleerida. Harilikult teostatakse poleerimist paindlike ketaste ja lihvlindiga (joonis 3.34). Kettad on tehtud nahast, vildist, kangast või polümeerist. Nende pind on kaetud abrasiivse ainega liimi või pasta abil. Poleeritud osa pind muutub peegelsiledaks.

Soveldamisega viimistletakse lamedaid, samuti silindrilisi, koonilisi, sfäärilisi välimisi ja sisemisi osa pindasid. Soveldamisega saavutatakse parem pinnakvaliteet ja vormi kordustäpsus kui poleerimise või hoonimisega. Soveldamine tagab kõrgeima kvaliteediga pinna, mikrokareduse vähenemise kuni $Ra = 0,01 \mu\text{m}$, vähenenud suuruse ja vormi vea kuni $0,3 \mu\text{m}$. Soveldamist teostatakse sovelidiga. Need on valmistatud materjalist, mis on pehmem kui töödeldav materjal, nt malm, värviline metall, plast.

Superviimistlemine on üks soveldamise meetoditest. Hälve korral superviimistlemist ei tehta. Eemaldatakse vaid mikrokareduse pealispind. Seda meetodit rakendatakse eri suuruses välimiste ja sisemiste silindriliste, kooniliste valtsimispindade ja tasapindade viimistlemiseks. Superviimistlemise korral vähendatakse mikrokareduse taset $Ra = 0,012 \mu\text{m}$ (joonis 3.35).

Pinna plastilist deformeerimist rakendatakse osa pinna mikrokareduse vähendamiseks, et suurendada pinna kontaktala ja kõvastada pinnakihi plastikat. Deformatsioon ilmneb, kui tööriista on pressitud ja lükatud või rullitud piki pinda või pinda on joaga pritsitud, nt polümeerpärlitega.



Joonis 3.32 Vertikaalne hoonimismasin HSV-250 (Creative Engineering)



Joonis 3.33 Augu hoonimiseks kasutatav hoonija (GEHRING)



Joonis 3.34 Poleerimismasin lihvlindiga Model-ZX-150-2 (Rohit Polishers)



Joonis 3.35 Superviimistlemise masin Supfina MultiFlex (Supfina Grieshaber GmbH & Co. KG)

3.5. Tooriku valik

Toorik on pooleldi viimistletud või viimistletud materjal, mida töödeldakse, et valmistada osa. Toorik tehakse eeltoorikust. Eeltoorik on toorik enne esimest tehnoloogilist operatsiooni. Toorikud on valmistatud eri materjalidest.

Tooriku valimisel on vaja planeerida, kuidas seda tehakse, milline on paigutus, mõõtmed, töötlusvarud ja tolerantsid edasiseks töötlemiseks, ja tooriku tootmistingimused (toodete kvantiteet, korratavus jne). Toorikuid saab valida kahel viisil. Kui toorik on keeruline, valib konstrueerija tootmismeetodi ja valmistab osa konstrueerides ette joonise. Kui toorik pole keeruline, valib konstrueerija ainult materjali, kõvaduse ja kuumtöötlust, kui vajalik. Siis valib tehnoloog tootmismeetodi ja valmistab ette osa inseneritehnilise joonise. Kui on tarvis kindlat toorikut, kus toorik sarnaneb toodetavale osale vormi ja mõõtmete poolest, tuleb eeltooriku ettevalmistamise töökojas rohkem tööd teha. Kui pole vaja spetsiifilist toorikut, st sellel on suured töötlusvarud mehaanilisel töötlemisel, viiakse suurem osa tööst läbi masintöötluste töökojas.

PRAKTILINE NÕUANNE

enne tooriku masintöötlemise alustamist tuleb uurida tooriku mõõtmeid ja materjali.

Tootmises kasutatakse eri tüüpi toorikuid, mis on jaotatud järgnevalt:

- eri meetodil toodetud valatud toorikud;
- rullitud, kalibreeritud profiilid, ümarad vardad ja ribad, plekk, traat, torud ja nendest lõigatud toorikud;
- vabasepistuse/sepistuse meetodil valminud toorikud;

- kuum- ja külmstantsitud toorikud, mis on tehtud plekist või latmaterjalist;
- kombineeritud toorikud, nt esialgu rakendatakse stantsimist, hiljem eri stantsitud osad keevitatakse;
- metallokeeraamilised toorikud (pulbermetallurgia);
- plastist vormitud ja pressitud toorikud.

Valik tooriku hankimise meetodeid

Valides tooriku tüüpi, tuleb silmas pidada:

- inseneritehnilises joonises märgitud materjaliklassi. Mõnikord määrab materjal toorikutüübi (nt kui materjal on malm või terasevalu, toodetakse toorik valades);
- tooriku üldiseid mõõtmeid. Kui osad on tahked, ei saa neid stantsida, seega toodetakse neid toorikuid vabasepistusega;
- tehase seadmeparki, st tehase reaalsel võimekust;
- vajalikke investeeringuid (seadmete hinda) ja valmistamise aega (disain, tootmine, arendamine, ostmine, seadmete paigaldamine, stantsimine jne);
- osa minimaalset maksumust, st madalama hinna arvutamist: töötooriku töötlemise osakonnas või masintöötlus.

Tihti valitakse parim tooriku tootmise meetod, võrreldes plaanitava tooriku tüüpe kulutõhususe pinnal ja otsides odavaimat varianti.

Valamine

Paljudes masinates moodustavad valatud liitmikud umbes 75 protsenti toote kogukaalust (korpused, sängid, lauad, kelgud, mootorikorpused, käigukasti korpused jne).

Toorikute valamist kasutatakse, kui teised tootmismeetodid pole võimalikud või need ei tasu ära.

Harilikult rakendatakse järgnevaid valamismeetodeid (täpsemad meetodid nimekirjas allpool):

- valamine, disainides käsitsi liivas puust mudelitega;
- valamine, disainides automatiseeritult liivas puust või metallist mudelitega;
- valamine kokillides;
- tsentrifugaalvalamine;
- kestavormi valamine;
- peenvalu;
- survevalu.

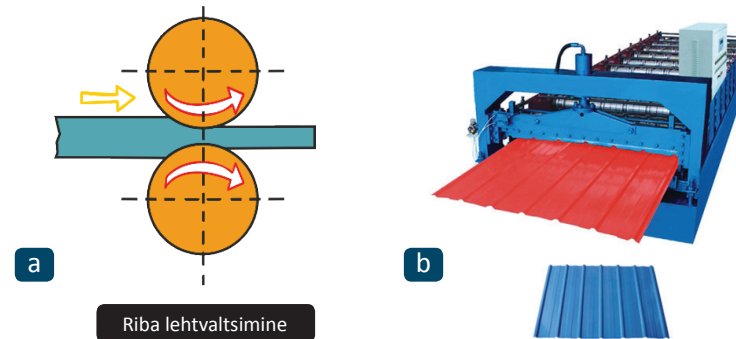
Valamismeetoditel toodetud tooriku mehaanilised omadused on tihti halvemad kui nendel toorikutel, mis on toodetud, kasutades sepistatud, stantsitud või valtsitud profile.

Valtsitud toorikud

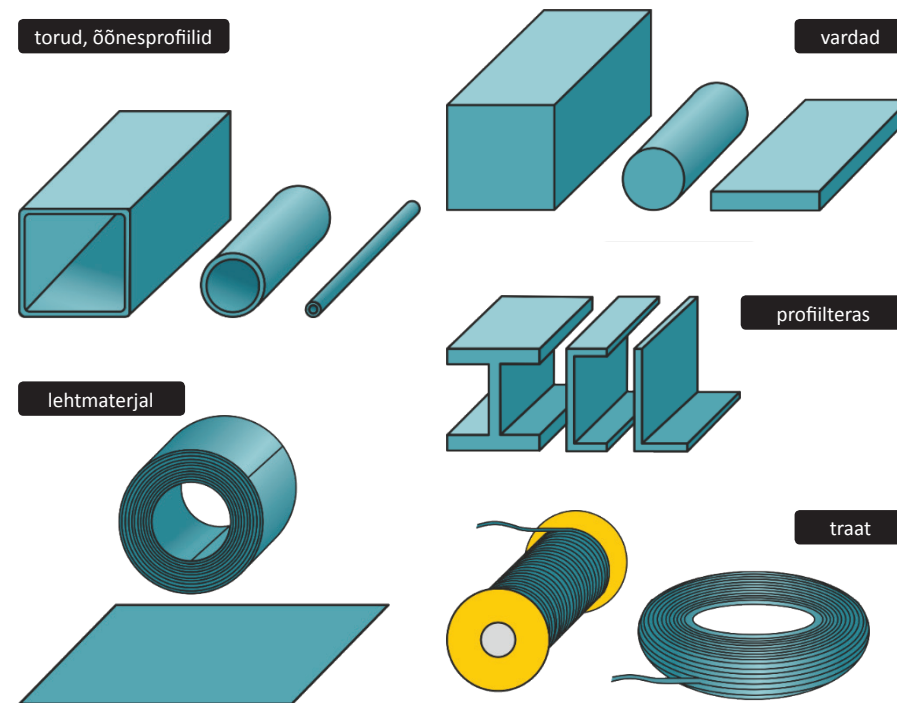
Pressimist rakendavad töötlemismeetodid põhinevad plastilise deformatsiooni põhimõttel, kus tooriku vormi muudetakse, liigutades selle osad üksteise vastu hävitamata materjalide homogeensust. Valtsitud toote ristlõike vormi nimetatakse profiiliks. Valtsitud profiile toodetakse metallurgiatehastes terasevalust kangide kuumutamise ja nende korduva valtsimisega valtspinkides (joonis 3.36). Hiljem külmutatakse täpsed profiilid, kitsad ribad ja poognad.

Valts-sepistamist saab rakendada nii terasele kui ka värvilistele metallidele. Valtsitud profiilid võivad olla väga erinevad: silindrilised, torujad, ruudud, kuuekandilised, kiired, kanalid, T-kujulised, jne.

Joonis 3.37



Joonis 3.36 Valtsitud toorikute tootmine: a) riba lehtvaltsimine, b) valtspink keerulise profiiliga toorikutele TY 860 (Tianyu Machinery Manufacture Co.,Ltd.)



Joonis 3.37 Valtsitud terasest toodete näited

Kuumvaltsitud tavalise täpsusega profiilidel on tolerantsijärk 17, suurendatud kordustäpsuse korral on see 15-16. Mõned täpsed latted, kalibreeritud pärast valtsimist, võivad saavutada tolerantsijärgu 9-10. Lattidel, mida kasutatakse automaatsetel ja poolautomaatsetel masinatel, on tolerantsijärk 11–13.

Tootes võllikujulisi osasid, on sobivam kasutada silindrilisest valtsitud metallist toorikuid, mitte sepistatud või stantsitud toorikuid, et säästa tootmiskulusid ja vähendada osa maksumust. Kui aga valtsitud metallist tooriku mass ületab stantsitud osa massi enam kui 15 protsendiga, on sobivam kasutada stantsitud toorikut.

Sepised

Vabasepistatud toorikuid toodetakse ühes tükis, väikeste ja keskmiste partiidena. Sepistatakse terast, alumiiniumi, plastilist vaske, titaani ja magneesiumisulameid. Sepistamine on kõige sagedamini kasutatav rasketehnika, astmeliste võllide, väntvõllide, tugevate pressimispiilarite ja teise osade tootmiseks. Saavutamaks kulutõhusust, toodetakse väikseid toorikuid vabasepistuse meetodil ühekaupa. Sepistatud toorikud pole väga täpsed ja nende kuju ei meenuta masintöödeldud osa, seega on nende masintöötlamine kallis protsess. CNC-kuumstantsimispinkide levik töökodades on suurenenud. Nendega sepistades saavutatakse hea pinnakvaliteediga täpsemad toorikud.

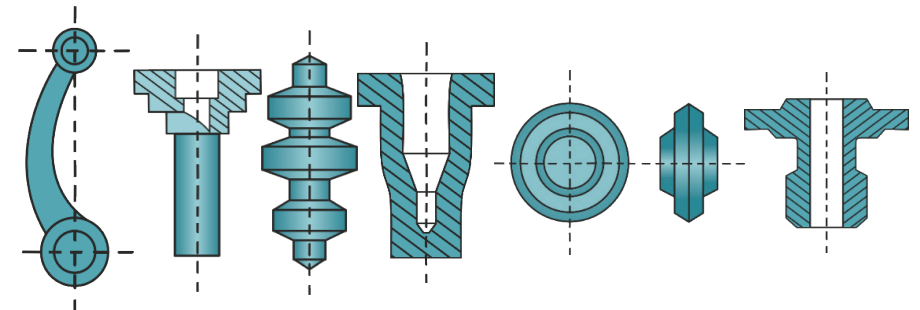
Stantsitud toorikud

Võrreldes sepistamisega, on stantsimisel arvukalt eeliseid. Stantsitud tooriku tolerants on 3–4 korda madalam kui sepistatud toorikul, seega masintöötlamise ulatus väheneb. Lisaks on stantsimine selgelt tõhusam kui sepistamine. Stantsimist saab rakendada keerukatele toorikutele, et vähendada metallijäätmete hulka. Siiski on stantsimispink kallis tööriist ja seda saab kasutada ainult ühe kindla osa

valmistamiseks. Seega peetakse stantsimist kuluefektiivseks ainult siis, kui kasutatakse piisavalt kaugeleulatuvat programmi. Eristatakse kuum- ja külmstantsimist. Kuumstantsimist kasutatakse väikeste osade toorikute valmistamist seeria- ja masstootmises. Need on toorikud, mida kasutatakse osade tootmiseks autodele, traktoritele, põllumajandusmasinatele, raudteevagunitele ja tööpinkidele (joonis 3.38).

Stantsi tüübile vastavalt jaotatakse stantsid lahtisteks ja kinnisteks stantsideks. Harilikult kasutatakse lahtist stantsi, kus üleliigne metall saab välja imbuda. Sellisel juhul ulatub metallikadu 20 protsendini. Kinnise stantsiga stantsimisel ei saa metall välja imbuda, seega peavad algsed toorikud olema eriti täpsed. Tagamaks maksimaalset tulemust, kasutatakse mitmefunktsioonilisi stantse. 100 g – 100 kg toorikud vormitakse laialt kasutatavates horisontaalsetes kuumstantsimispinkides. Lihtsad toorikud stantsitakse stantsis ilma valuvormita, keerulisemad väikeste valuvormidega.

Külmstantsimine on jaotatud vormstantsimiseks ja lehtmetaili stantsimiseks. Kasutades vormstantsimist, toodetakse kinnitamisosasid: polte, neete, võlle, tappe, klapitõukureid. Sama meetodiga valmistatakse lehtmetailist toorikuid ja osasid seadme- ja elektrotehnikatööstuses. Katteid, kilpe, korke, plokkke jt lamedaid osasid.



Joonis 3.38 Vertikaalne hoonimismasin HSV-250 (Creative Engineering)

Lehtmetsalli külmsantsimist peetakse väga efektiivseks ja kergesti automatiseeritavaks. Vormsantsimisel kasutatakse ribasid, valtsitud profiile, sepiseid ja valuvorme. Lehtmetsalli sepistamisel kasutatakse lehtmetsalli, traati, õhukesi plaate. Lehtmetsalli santsimine sisaldab ka voltimist, puurimist, pikendamist ja laiendamist.

Kõik santsimisoperatsioonid saab jagada kahte rühma: eraldamisoperatsioonid, kus üks tooriku osa eemaldatakse teisest, ja ümbervormimisoperatsioonid, kus tooriku üks osa liigub vastu teist osa.

Eraldamisoperatsioonid on näiteks mahalõikamine, mulgustamine, raiumine, augustamine ja puurimine. Ümberkujundamine sisaldab voltimist, jämendamist, pikendamist, laiendamist, kokkusurumist ja graveerimist.

Harilikult pole külmsantsitud toorikute masintöötlus vajalik, sest neil on täpsed mõõtmed ja nad on valmis kokkupanemiseks.

PRAKTILINE NÕUANNE

enne tooriku seadmesse kinnitamist tehke kindlaks, et seal pole kraate, laaste või mügaraid, ning vajaduse korral eemaldage need.

Kombineerimisel toodetud toorikud

Mõnikord lammutatakse keerukad toorikud lihtsamateks osadeks, mis toodetakse tõhusate ja kulutõhusate meetoditega, seejärel kombineeritakse eraldiseisvad osad üheks toorikuks. Näiteks saab esialgu eraldiseisvaid toorikuid santsida ja seejärel keevitada. Tulemuseks on metalli kokkuhoid, kergemad toorikud ja odavam masintöötlus. Lisaks lihtsustab tooriku kombineeritud tootmine kallihinnalise metalli kokkuhoidu. Näiteks, treipingil tootmisel tehakse lõikeosa kallimast tööriistaterasest, tööriista vardad odavamast ehitusterasest.

Metallokeraamilised toorikud

Mõnedele eriliste omadustega spetsiifilistele osadele toodetakse toorikuid, ühendades metalle ja mittemetallist materjale. Selleks kasutatakse metallokeramist meetodit. Metallokeramist toorikuid toodetakse suure survega (kuni 600 MPa) purustatud aineosade kokkupressitud segust, seejärel paagutatakse neid sideainet sulataval temperatuuril. Selle meetodiga toodetud toorikute karedus ja mõõtude kordustäpsus lubavad need jätta vähem töödelduks, mõnikord ei töödelda neid üldse. Selle meetodiga toodetakse hõõrdplaate, püsimagneeteid, seadmete kontaktelemente, laagripukse, lõikeriistade osasid jne.

3.6. Tööriista materjalid jaööriista geomeetria löikeprotsessi vältel

3.6.1 Tööriista materjali klassifikatsioon

Metallilöikamise protsessi vältel tuleb ületada tekkivad jõud, et eraldada toorikult/osalt teatud osa. Need jõud sõltuvad töödeldava materjali tugevusest, löikeriista terade nurgast ja löikeprotsessis tekkiva laastu läbilöikest.

Kuiööriist liigub toorikule vastu, toimub löikamine (kui laast löigatakseööriista ühe pöörde ajal või ühe pikisuunalise liikumise ajal) ja ettenihke (löikamisliikumise ajal löigatakse jooksvalt laastu, kuiööriista terad löikuvad toorikusse).

Sõltuvalt löikamise tüübist (puurimine, freesimine, treimine jne), võib löikamise ja ettenihke tulemuseks olla laastu jooksev löikamine. Löikeosa sobiv vorm tagab löikejõu optimaalse jaotumise, tekkinud kuumuse eemaldamise ja saavutatud pinna kvaliteedi. Laastu kuju ja selle kõrvalekalde suund sõltuvadööriista tera geomeetriast.

Materjalid, mida kasutatakseööriistade löikeosade tootmiseks, puutuvad kokku suure koormusega, mis tekib löikusjõu pideva mõju, kõrge temperatuuri või temperatuuri kõikumise, hõõrdumise ja kulumise tulemusel. Tööriistamaterjalid, millel on sobivad omadused, saavad sellele koormusega hakkama. Materjalid peavad olema kõvad, kergesti teritavad, piisavalt plastilised ning vastupidavad kõrgele temperatuurile ja selle kõikumisele, kulumisele ja paindumisele. Osaliselt vastavad vajaminevatele omadustele legerimata ja legeritudööriistaterased, mis sisaldavad 0,8 ja 1,5 protsenti süsinikku ja mida kasutatakse manuaalsete löikeriistade valmistamiseks. Tänu kõrgele plastilisusele ja vastupidavusele kasutatakse laialdaselt kõrglegeritudööriistaterast ja kiirlöiketerast. Neid materjale on kerge vormidaööriistadeks, millel on spetsiifiline

kasutus, jaööriistadeks, millel on suured esinurgad ja erilise kujuga löikamiskeel. Veel enam, kiirlöiketeras sisaldab 3,5–4,5 protsenti kroomi. Suurendamiseks kulumiskindlust, kaetakse kiirlöiketeras 2–4 µm titaannitriidiga. Selliselt kaetudööriistadele saab rakendada suuremat löikekiirust.

Tabel 3.1 Kõvasulammetalli klassifikatsioon lähtuvalt töödeldavast materjalist




Mehaanilised omadused		Koostis	Rühm	Töödeldav materjal
Kulumiskindluse töstmine	Plastilisus suureneb	P01	P Eristav värv on sinine	Materjalid, mille löikamisel tekivad jooksvad laastud (teras ja sulamid, tempermalm)
		P10		
		P20		
		P30		
		P40		
		P50	M Eristav värv on kollane	Materjal, mille löikamisel tekivad jooksvad ja liigendatud laastud (teras, karastatud teras, malm, värvilised metallid)
		M10		
		M20		
		M30		
		M40		
	K01	K Eristav värv on punane	Materjalid, mille löikamisel tekib vabalt langev laast (valge ja tempermalm, plastik, klaas)	
	K10			
	K20			
	K30			
	K40			

Vähendamaks tootmisaega lõikekiiruse tõstmisega, läheb tarvis materjale, mis on kõvemad, plastilisemad ja vastupidavamad kõrgele temperatuurile, nt kõvasulammetall. Nende materjalidega töödeldakse kõvasid materjale, nt valget malmi, kroomi ja sulameid, terast, klaasi, graniiti, portselani jne. Lõikamise teel töötlemiseks on kõvasulammetallid jaotatud rühmadesse P, M ja K vastavalt töödeldavatele materjalidele, sideaine hulgale ja plastilisusele (joonis 3.1). Tagamaks töödeldud pindade kvaliteeti, kasutatakse õrnade materjalide töötlemiseks peeneteralisi kõvasulammetalle ja tsemente (metallokeraamika ja titaankarbiidide ja/või titaannitriidide sulam). Suurendamiseks kõvasulammetallide kulumiskindlust, kaetakse tööriistad spetsiaalse kattega. Pinnale kantakse katet, mis on valmistatud alumiiniumoksiidist, titaannitriidist, titaankarbiidist vmt.

Spetsiaalsete materjalide töötlemiseks, nt õrn malm, kõvastatud ja tsementeeritud teras, kasutatakse mineraalkeraamikal põhinevaid tööriistamaterjale. Kahte peamist tüüpi mineraalkeraamika (alumiiniumoksiid ja silikoonnitriid) on kõvem kui kõvametallisulamid. Värviliste metallide, nende sulamite, halli malmi, kiudplasti, paagutatud kõvametallisulamite ning klaasi ja keraamika töötlemiseks kasutatakse mikrokristalseid ja polükristalseid tööriistamaterjale nagu teemandid ja boornitriid.

Kui struktuuralsed ja tehnoloogilised võimalused lubavad kasutada suuremaid tööriistu, kasutatakse vajamineva tööriistamaterjali lõikeosa kui eemaldatavat detaili. See võimaldab lõikedetaili kõige kulutõhusama kasutuse – eemaldatav plaat ja mitmetikasutatav tööriistakorpus. Sümmeetrilise disaini tõttu tuleb lõikeplaat toota mõne lõikeserva ja lisaelementidega – laastu murdmise sooned, mis tagaksid hea laastumurdmise. Sobivaim plaadidisain (lõikeserv I), mis määrab ettenihke tolerantsi s piirid ja lõikesügavuse t , valitakse vastavalt töödeldavale materjalile (tabel 3.2).

Tabel 3.2 Lõikamisviisid eri lõikamisplaatidega

Lõikamisplaat		Lõikesügavus, t , mm	Ettenihke s , mm	Lõikejõud F_c , N
Kuju	Suurus l , mm			
	9	6	0,4	5000
	12	8	0,6	10 000
	16	10	0,8	16 000
	9	7	0,4	5000
	12	9	0,6	10 000
	15	12	0,8	16 500
	19	14	1,0	23 000
	11	5	0,4	4000
	16	8	0,6	9000
	22	11	0,8	15 000

Treimise ajal kuluvad tööriista terad hõõrdumise, pragunemise ja difusiooni tõttu, mida tekitab kõrge temperatuur. Töötlemise eesmärk on parandada kestvusperioodi – tööriista töötamise aega enne teritamist või osade vahetust. Kestvus sõltub palju lõikamiskiirusest v , aga ka tööriista materjalist, tooriku materjalist, serva laiusest ja jahutuslibestist.

PRAKTILINE NÕUANNE

kui kasutatakse vahetatavate otsakutega tööriistu, siis otsakuid vahetades tuleks polte määrada spetsiaalsete tootja soovitatud libestitega.

õiketöötlemisel tuleb hinnata tooriku materjali jõudu, plastilisust ja kõvadust. Materjali plastilisus ja kõvadus on peamised tarvituskoollikkuse tegurid, sest need mõjutavad tööriista kulumist ja vastupidavust, laastu tüüpi ja löikejõudu. Nende järgi valitakse löikekiirus, ettenihe, löikesügavus, geomeetria ja tööriista löikeosa materjal. Lisaks hinnatakse löikamisprotsessi režiimi määramiseks kasutatava masina jõudu. Optimaalne tooriku töötlemine on võimalik ainult siis, kui masinlõikamise režiimid, materjali liik ja lõikeriista geomeetria on täpselt määratud. Kui nende parameetrite hindamisel on tehtud viga, on töödeldava pinna kvaliteet madal, osa dimensioonid ebatapsed ja tööriist kulub kiiresti.

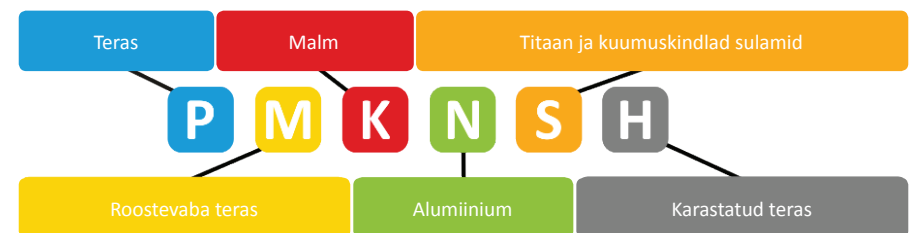
Tööriistatootjad pakuvad tooriku töötlemise tingimustest ja testi tulemustest lähtudes soovituslikke lõikerežiimide väärtuseid, mis on mõõdukad ja mida saab suurendada või vähendada vastavalt lõikamistingimustele (tabel 3.3).

Soovituslikud režiimi väärtused vaadatakse üle vastavalt masina jõule, kinnituseadmele, tööriista ja tooriku jäikusele, spindli kiirusulatusele.

Sobiva materjali valimine on kulutõhusa masintöötlemise tingimus. Tööriista materjal valitakse töödeldava materjali järgi. Töödeldud materjalid on jagatud rühmadesse vastavalt materjali klassifikatsioonile (joonis 3.39).

Tabel 3.3 Soovitavad parandused löikekiiruse väärtustele

Lõikamist mõjutav tegur	Parandustegur
Kooriku sepistamine, valtsimine ja valamine	Kooriku sepistamine, valtsimine ja valamine 0,70 ... 0,80
Pidev lõikamine	Pidev lõikamine 0,80 ... 0,90
Puurimine	Puurimine 0,75 ... 0,85
Mittejäigad toorikud	Mittejäigad toorikud 0,80 ... 0,95
Suure jäikusega toorikud	Suure jäikusega toorikud 1,05 ... 1,20
Kulunud masin	Kulunud masin 0,80 ... 0,95
Uus masin	Uus masin 1,05 ... 1,20
Tööriista iga	T = 8 min T = 30 min T = 60 min 1,10 ... 1,30 0,80 ... 0,90 0,60 ... 0,80



Joonis 3.39 Töödeldud materjalide rühmitamine vastavalt materjali klassifitseerimise koodile

Lõikeriistade materjalid rühmitatakse vastavalt keemilisele koostisele (tabel 3.4).

Tabel 3.4 Lõikeriistade materjalide koostis

Pealkiri	Koostis
Katmata tsementeeritud karbiid	HW
Kaetud tsementeeritud karbiid	HC
Keraamilised materjalid – metallokeramika	
Katmata metallokeramika, mis koosneb titaankarbiidist TiC ja titaannitriidist TiN või mõlemast	HT
Kaetud metallokeramika	HC
Mineraalkeramika	
Oksiidmineraalkeramika puhtast alumiiniumoksiidist Al ₂ O ₃	CA
Oksiidkarbiidmineraalkeramika metallkarbiidist ja puhtast alumiiniumoksiidist Al ₂ O ₃	CM
Nitriidkeramika silikoonnitriidist Si ₃ N ₄	CN
Kaetud nitriidkeramika silikoonnitriidist Si ₃ N ₄	CC
Kuubiline boornitriid	BN
Polükristalne teemant	DP
Kaetud polükristalne teemant	HC

Lisaks saab tööriista materjali hinnata vastavalt selle detailsemale masintöötamise omadustele teatud tingimustes. Sobivimat materjali valides on oluline pöörata tähelepanu tööriista lõikeserva geomeetria vastavalt osa masintöötamise viisile (karedale töötlemisele – H, poolsiledale – M, siledale – S ja täpsele – F). Pärast seda saab otsustada üldise lõikerežiimi valiku vastavalt lõikeserva suurusele ja masina võimsusele.

Lõikamistingimuste keerukuse hindamiseks (hea, keskpärane, raske) teeb iga tööriistatootja kokkuvõtte valitud masintöötamise meetodist vastavalt selle spetsiifilistele omadustele (tabel 3.5).

Tabel 3.5. Mehaanilised töötlemisprotsessid

Töödeldav materjal	Head tingimused	Keskpärsed tingimused	Rasked tingimused
P	Ühtlased lõiked. Pind pärast eeltöötlemist	Üldised tehnoloogilised operatsioonid	Töötlemine väljajooksu pulseerimisega
M			Aeglane lõikekiirus
K			Suur survevaludross
N			Töötlemine väljajooksu pulseerimisega
S			Aeglane lõikekiirus
H			Suur survevalu- või stantsimisdross
			Töötlemine väljajooksuga
			Aeglane lõikekiirus
			Valamisel moodustunud perliidist koorik
			Töötlemine väljajooksu pulseerimisega
			Töötlemine väljajooksu pulseerimisega
			Survevaludross
			Töötlemine väljajooksu pulseerimisega



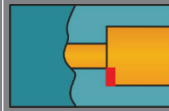







Masintöötuse tingimuste hindamisel tuleb määrata tööriista lõikeserva vormi vastupanu lõikejõule ning selle sobivus spetsiifilise kujuelemendi masintöötuseks. Selleks määravad tootjad parima sobivuse spetsiifilise tööriistamaterjali ja lõikeelementide geometria vahel; selle sobivuse kohta võib infot leida tootja lõiketööriistade kataloogidest.

Kui nüüdisaegses tootmises kasutatakse treimist, kasutatakse harilikult treimise tööriistadid mitmeservaliste vahetatavate otsakutega. Kui otsak ära kulub, saab selle lihtsalt keerata teise positsiooni ja kasutada osa masintöötlemiseks. Tööriistatootjad pakuvad suurt valikut vahetatavaid otsakuid. Need on ühepoolsed, kahepoolsed, fikseeriva auguga või ilma ning laastumurdmise soontega või ilma. Vahetatavad otsakud on märgistatud tähtede ja numbritega, mis viitavad kujule, otsa nurgale α (0 kuni 300), täpsusele, tüübile, lõikeserva pikkusele, paksusele, tipu ümardamisraadiussele, lõikeservade tüübile, ettenihke suunale. Treimiseks mõeldud mitmetahuliste eemaldatavate otsakute klassifikatsioon, mis põhineb otsakute kujul, on esitatud tabelis 3.6.

Otsakute skeemi näidet näeb tabelis 3.7. Otsakute kuju on antud ladina tähtedega. Otsaku tipu nurga väärtus on märgitud tähega vastavalt nurga väärtusele kraadides: A – 3o, B – 5o, C – 7o, D – 15o, E – 20o, F – 25o, G – 30o, N – 0o, P – 11o, O – muu nurk.

Otsaku mõõtmeline kordustäpsus määrab selle kordustäpsuse astme. Otsaku kordustäpsuse aste ja nende geometriliste dimensioonide tolerantsusjärk on esitatud kataloogis, mille on välja andnud tööriistaotsakute tootjad. Otsaku tüübi defineerib selle struktuur (otsaku fikseerimise meetod, võimalus kasutada otsakut mõlemal poolel). Need andmed ja vastav alfabeetiline märgistus on saadaval ka tootjate kataloogides. Lõikeotsaku lõikeserva pikkus määrab selle mõõtmed millimeetrites, nt 16 tähendab, et lõikeserva pikkus on 16 mm. Otsaku paksus pannakse kirja kahe numbriga. Märge 04 tähendab, et otsaku paksus võrdub 4 mm. Otsaku tipu ümardamisraadius on samuti märgitud kahe numbriga.

Tabel 3.6 Mitmetahuliste eemaldatavate raskemetallisulamist plaatide kuju skeem

1	2	3	4
Eemaldatava lõikeotsaku kuju	Pikisuunas treimine	Kopeerimine	Otspinnaga lihvimine
++ – soovitatav + – alternatiiv			
 C – romb 80°	+		++
 D – romb 55°	+	++	+
 R – ümmargune	+		+
 S – ruut	+		
 T – kolmnurkne	++	+	+
 W – trigonaalne	+		+
 V – romb 35°		+	

Tabel 3.7 Näide lõikeotsakute märgistamisest

C	A	K	G	16	04	08	T	L	TM
Otsaku kuju	Otsaku tipu nurk α	Kordustäpsuse klass	Otsaku tüüp	Lõikeserva pikkus	Otsaku paksus	Otsaku tipu ümardamisraadius	Lõikeotsaku serva tüüp	Ettenihke suund	Laastumurdja suund

Tabel 3.8 Soovitavad lõikerežiimid puurimiseks, hõõritsemiseks, keermestamiseks terase 1.0037 töötlemisel

Tööriista tüüp	Tööriista materjal	Tööriista diameeter, mm	Lõikekiiruse vahemik v, m/min	Ettenihke vahemik s, mm/p	Pöörete arvu vahemik n, p/min	Minuti ettenihke vahemik sm, mm/min
Tsenterpuur	HSS*	10	127–174	4045–5541	404–610	
	Raske- metall- sulam		357–401			11 369–12 771
Spiraalpuur	HSS	10	292–398	9299–12 675	2046–3169	
	Raske- metall- sulam		385–1100			12 261–35 032
Puuriotsak	Raske- metall- sulam	10	100–565	3183–17 985	541–3597	
Hõõrits	HSS	10	53–83	1688–2643	253–608	
	Raske- metall- sulam		53–83	2643	529	
Keermelõikur	HSS	Keermelõikur	9–45	287–1433	–	
	Raske- metall- sulam		30–50	955–1592	–	

Näites (tabel 3.7) tähendab märgistus 08, et raadius on võrdne 0,8 mm. Ettenihke suund on kodeeritud tähtedega: R – parempoolsed tööriistad, L – vasakpoolsed, N – neutraalasend. Viimane positsioon näitab laastumurdja koodi, mis märgistab laastumurdja geomeetriat. Need märgistused on samuti leitavad tootja kataloogidest.

Töötingimused ja -eesmärk on eritööriistade puhul selgelt määratletud (puurid, koonussüvistid, keermelõikurid, hõõritsad jne). Neid kasutatakse sobivaima lõikerežiimi kindlaksmääramiseks. Lõikerežiimid leiate tootja kataloogist.

Masintöödeldava materjali täpsemaks hindamiseks ja masintöötuse režiimide valimiseks jagavad tööriistatootjad materjalid spetsiaalsetesse alarühmadesse vastavalt kõvadusele või plastilisusele ning rakendavad testitud ja kõige sobivamaid lõikerežiime (tabelid 3.8 ja 3.9).

Treimises ja otsafreesimises rakendatakse harilikult eemaldatavaid lõikamisplaate, seega pärast kõige kordustäpsema tööriistamaterjali määratlemist valitakse peamised lõikerežiimid otsaku geomeetria ja tööriista tüübi põhjal (tabel 3.10).

Kaasaegsetes CNC-freesimispinkides ja töötuskeskustes kasutatakse pinnatöötluks ainult vahetatavate otsakutega otsfreese. Need otsakud on harilikult märgistatud ISO süsteemis. Otsfreeside skeemid on väga sarnased treimistöriistade vahetatavatele otsakutele. Treimistöriistade otsakute kuju on näidatud esimeses positsioonis (tabel 3.11). Teise tähe väärtus, mis viitab otsaku tipu nurgale, on sarnane treimistöriistade otsakutele. Kordustäpsuse astmed märgitud kolmanda tähega on samuti sarnased treimistöriista otsaku astmetele. Neljanda tähega on märgitud otsaku struktuuri tüüp. Järgnevate numbritega on märgitud otsaku umbkaudne pikkus ja otsaku lõikeserva paksus millimeetrites. Näiteks number 02 tähendab, et otsaku paksus on 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. Järgnev täht märgib otsaku peamise nurga väärtust ϕ plaanil. Sellel nurgal võivad olla järgnevad väärtused: A – 45°, D – 60°, E –

Tabel 3.9 Soovitavad lõikerežiimid puurimiseks, hõõritsemiseks, keermestamiseks terase 1.4301 töötlemisel

Tööriista tüüp	Tööriista materjal	Tööriista diameeter, mm	Lõikekiiruse vahemik v, m/min	Ettenihke vahemik s, mm/p	Pöörete arvu vahemik n, p/min	Minuti ettenihke vahemik sm, mm/min
Tsenterpuur	HSS*	10	19–24	0,04	605–764	24–31
	Raskemetallsulam		48–67	0,06–0,07	1529–2134	92–149
Spiraalpuur	HSS	10	48–67	0,10–0,11	1529–2134	153–235
	Raskemetallsulam		69–251	0,11–0,15	2197–6083	242–912
Puuriotsak	Raskemetallsulam	10	65–359	0,11–0,20	2069–11 427	227–2285
Hõõrits	HSS	10	33–56	0,15–0,26	1051–1783	158–464
	Raskemetallsulam		64–136	0,20	2038–4331	408–866
Keermelõikur	HSS	M10	4–18	–	127–573	–
	Raskemetallsulam		12–20	–	381–637	

Tabel 3.10 Soovitavad lõikerežiimid treimiseks

Tööriista tüüp	Tööriista materjal	Töödeldav diameeter, mm	Töödeldav materjal (ISO)	Lõikekiiruse vahemik v, m/min	Ettenihke vahemik s, mm/p	Lõikesügavuse vahemik, t, mm	Pöörete arvu vahemik n, p/min
Väline treimistöörüst	Raskemetallsulam	50	1,0037	100–330	0,1–0,15	0,3–0,5	637–2102
			1,4301	100–200	0,4–0,5	2,0–4,0	637–1274
Sisepuurimistöörüst	Raskemetallsulam	50	1,0037	90–330	0,05–0,2	0,2–1,0	573–2102
			1,4301	80–210	0,05–0,3	0,2–3,0	453–1189
Sisekeermestamine	Raskemetallsulam	50	1,0037	150–160	–	–	955–1019
			1,4301	90–120			573–764
Ääristamistöörüst	Raskemetallsulam	50	1,0037	120–250	0,05–0,3	–	764–1592
			1,4301	80–150	0,05–0,25		509–955

75o, F – 85o, P – 90o, Z – muud nurgad. Järgnev on otsaku tipu nurk α , mille väärtus on sarnane treimistöörriista otsaku väärtusele. Järgmise tähega on märgitud peamise lõiketera kuju: F – ümardamata (terav), E – ümardatud, T – kaldu, S – ümardatud ja kaldu, K – topeltkaldu, P – ümardatud ja topeltkaldu. Treimisotsakutel tähistab järgmine täht ettenihke suunda. Mõnedel juhtudel on võimalik saada tootjalt otsaku kohta lisainfot. Näiteks tabelis 3.11 tähendab AC, et otsakut kasutatakse jämetöötlemiseks koos laastumurdmisega.

Tabelid 3.12 ja 3.13 esitlevad freesimisrežiime lõikeotsakute kasutamisel.

Tabel 3.11 Tera märgistuste näide

C	D	K	N	12	02	A	G	T	N	AC
Otsaku kuju	Otsaku tipu nurk	Kordustäpsuse klass	Otsaku tüüp	Lõikeserva pikkus	Otsaku paksus	Otsaku lõikeserva nurk ϕ	Otsaku kliirens α	Peamise lõikeserva tüüp	Ettenihke suund	Spetsiifilise otsaku omadused

Tabel 3.12. Soovitavad lõikerežiimid terase 1.0037 treimisel

Tööriista tüüp	Tööriista materjal	Tööriista diameeter; lõike-laius b ja sügavus t, mm	Lõikekiiruse vahemik v, m/min	Ettenihke hambale sz, mm/hambas	Pöörete arvu vahemik n, p/min	Minuti ettenihke vahemik sm, mm/min
Krooni lõikur 90**	HSS*	80	18–37	0,11–0,12	72–147	24–53
	Raskemetallsulam		250–240	0,18–0,18	995	537–516
Krooni lõikur HS	Raskemetallsulam	80, b = 80, t = 2,5	230–260	2,0–4,5	916–1035	5494–13973
Jämetöötlemise otsfrees	HSS	10, b = 10, t = 5	75–95	0,05–0,032	2389–3025	358–290
		10, b = 15, t = 1		0,05–0,019	2389–3025	358–172
	Raskemetallsulam	10, b = 10, t = 5	80–140	0,06	2548–4459	459–803
		10, b = 10, t = 10	60–120	0,05–0,06	1911–3822	287–688
Sileda töötlemise otsfrees	HSS	10, b = 10, t = 5	28–78	0,027	892–2484	72–201
		10, b = 15, t = 1		0,016	892–2484	43–119
	Raskemetallsulam	10, b = 10, t = 5	80–140	0,06	2548–4459	459–803
		10, b = 10, t = 10	70–120	0,05	2229–3822	334–573

*HSS – kiirlõiketerasest lõikur. Lõikuril on 3 lõikeserva. ** Otsaku lõikeserva kaldenurk

Praktikas – reaalse te seadmete ja töötingimuste juures – võivad kasutatavad režiimid erineda soovituslikest, kuid vaja on valida seadme ja osa materjalilõikamise ühilduvad originaalväärtused.

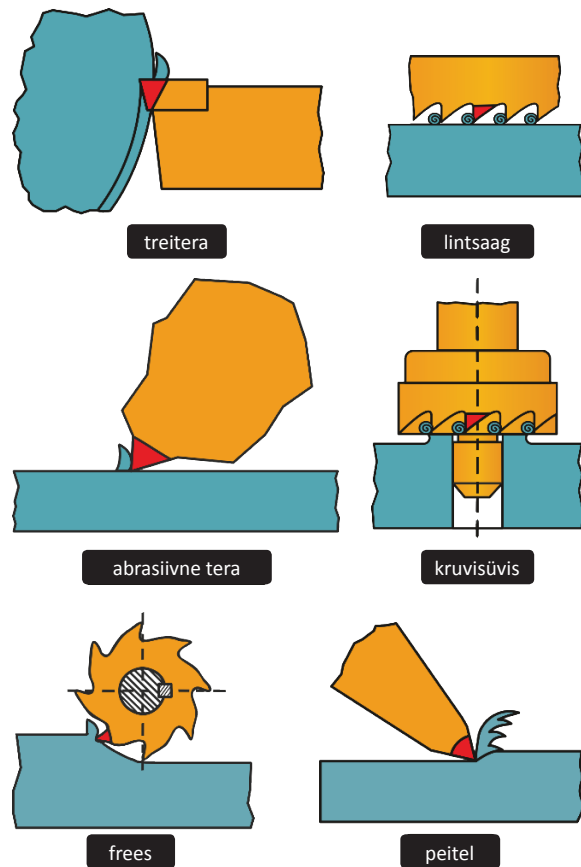
Tabel 3.13 Soovitatavad lõikerežiimid terase 1.4301 treimisel

Tööriista tüüp	Tööriista materjal	Tööriista diameeter; lõike- laius b ja sügavus t, mm	Lõikekiiruse vahemik v, m/min	Ettenihe hambale sz, mm/hammas	Pöörete arvu vahemik n, p/min	Minuti ettenihke vahemik sm, mm/min
Krooni lõikur 90	HSS	80	10–12	0,11–0,12	40–48	13–17
	Raskemetallsulam		140–270	0,15–0,14	557–1075	251–451
Krooni lõikur HSv	Raskemetallsulam	80, b = 80, t = 2,5	160–200	3,5–4,5	637–796	6688–10 748
Jämetöötlemise otsfrees	HSS	10, b = 10, t = 5	14–36	0,024–0,032	446–1146	32–110
		10, b = 10, t = 10		0,014–0,019	446–1146	19–65
	Raskemetallsulam	10, b = 10, t = 5	45–85	0,04	1433–2707	172–325
		10, b = 10, t = 10	40–80	0,03	1274–2548	115–229
Sileda töötlemise otsfrees	HSS	10, b = 10, t = 10	14–23	0,024	446–732	32–53
		10, b = 10, t = 5		0,014	446–732	19–31
	Raskemetallsulam	10, b = 10, t = 5	45–85	0,04	1433–2707	172–325
		10, b = 10, t = 10	40–80	0,03	1274–2548	115–229

Märkus. Lõikuril on 3 lõikeserva.

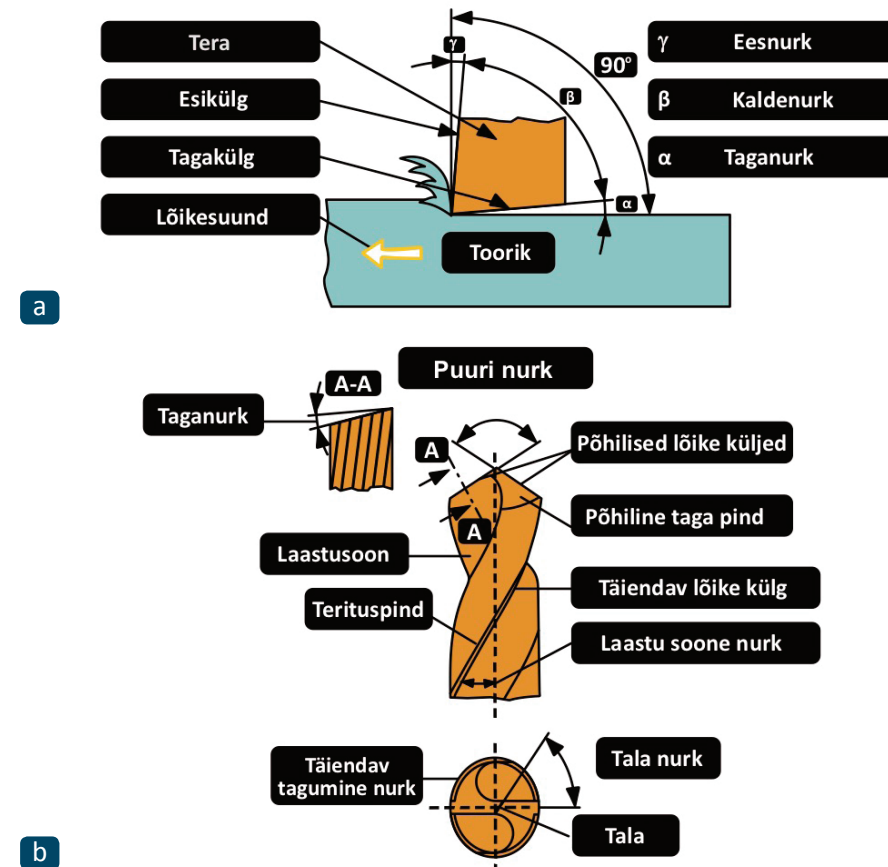
3.6.2 Lõikeriista geometria

Lõikamistegevuse sooritamiseks – eemaldada kiht materjali ja vormida laast – peaks lõiketeradel olema keele kuju ja need peaksid olema valmistatud tugevast, kulumiskindlast ja piisavalt plastilisest materjalist (joonis 3.40).



Joonis 3.40 Valtsitud terasest toodete näited

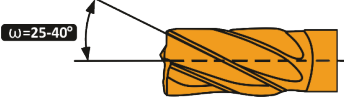
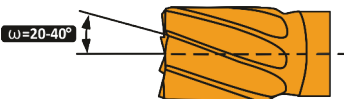

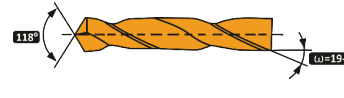
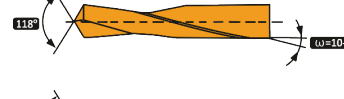

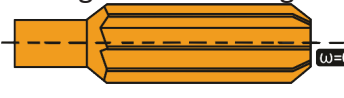


Keel koosneb esi- ja otpinnast. Koos töödeldud tasapinnaga moodustavad need pinnad nurkasid (tööriista kalle jaööriista kliirens) ning nende nurkade suurus mõjutab lõikevõimalusi ja töötlemise omadusi (minimaalne hõõrdumine, maksimaalne vastupidavus ja minimaalne lõikejõud). Iga lõikemeetod näeb ette lõiketasetinna ja spetsiaalse kuju ja suurusega nurgad (joonis 3.41), kuid keel peab jääma piisavalt tugevaks.



Joonis 3.41 Lõikeriista peamised pinnad ja nurgad: a) treimistöriist, b) puur

Pöörlevate tööriistade puhul, mis on materjaliga kontaktis eri tasapindadel (näiteks otsafreesid, puurid, hõõritsad), on oluline määratleda lisaõi-kenurkade servad, mis mõjutavad laastu eemaldamist tööalalt ja jõu hajutamist, kui töödeldakse eri omadustega materjale (tabel 3.14).

Tabel 3.14 Lõikeriista omadused

Lõikeriist	Tööriista tüübi märgistus	Töödeldav materjal	
Faasifrees	Diagonaalne hammas  $\omega = 25-40^\circ$	N	Keskmise tugevuse ja kõvadusega materjalid
	 $\omega = 20-40^\circ$	H	Kõvad, kõvastatud materjalid ja materjalid vabalt langeva laastuga
	Vedrukujulise hambaga  $\omega = 35-45^\circ$	W	Pehmed, venivad materjalid jooksva laastuga
Puur	 $\omega = 19-40^\circ$	N	Keskmise tugevuse ja kõvadusega materjalid
	 $\omega = 10-19^\circ$	H	Kõvad, kõvastatud materjalid ja materjalid vabalt langeva laastuga
	 $\omega = 27-45^\circ$	W	Pehmed, venivad materjalid jooksva laastuga
Hõõrits	Sirgete hammastega  $\omega = 0$	H	Teras, mille tugevuse piir ületab 700 N/mm ² , tugevad ja kergestipurunevad materjalid (perforeeritud ja umbaukudega)
	Vedrukujulise hambaga  $\omega < 7^\circ$	W	Teras, mille tugevuse piir on vähem kui 700 N/mm ² , pehmed ja plastilised materjalid pideva laastuga (perforeeritud aukudele)
	 $\omega < 45^\circ$		

Tööriistad, mis liiguvad piki tööriista telge, peaksid vabalt materjali lõikuma. Selleks kujundatakse lõikeservale lisakalle: nina nurk ja keermesoone kaldenurk ω . Seda põhimõtet rakendatakse, et jagada puurid N-, H- ja W-tüüpi puurideks, millel on erinevad nina nurga ja keermesoone kaldenurga väärtused. Hõõritsate hambad võivad olla sirged või vasakpoolsed vedrukujulised. Viimati nimetatud tüübi puhul liigutavad vedrukujulised sooned laastu ettenihke suunas ja hõõrits liigub vabalt. See on oluline jooksva laastuga pehmete materjalide töötlemisel. Seega valitakse tööriista tüüp vastavalt töödeldavale osale. Lisaks – valides kõige sobivamat geomeetriat tööriista lõikeservale, tuleb hinnata ka teisi tegureid: töö iseloom, ettenihke suund, tööriista materjal. Võtmaks kokku tööriista lõikeservade geomeetriat ja nende sõltuvust töödeldavast materjalist, saab öelda järgmist.

- Kõvasid ja kergesti purunevaid materjale töödeldakse tugeva lõikamiskeelega (suur kiilunurk β), väike tööriista kallak γ (moodustunud laast on kergesti purunev) ja tööriista kliirens α (et vähendada hõõrdumist);
- töödeldes keskmise kõvadusega ja plastilisemaid materjale, tuleks kasutada väiksema kiilunurgaga keelt, selle kallak peaks olema suurem, et paremini laastu vormida ja eemaldada, ja vastavalt väiksemat tööriista kliirensit, et säilitada keele tugevus;
- pehmete materjalide lõikamiseks on vajalik suur tööriista kallak, mis võimaldab laastu tekkimist; suur tööriista kliirens, mis vähendab maksimaalselt hõõrdumist, ja minimaalne kiil.

3.7. Lõikerežiimid ja töötusaeg

Üks peamisi ülesandeid osade tootmise protsessis on lõikamisrežiimide arvutamine. Valides lõikerežiime, tuleb tähelepanu pöörata töödeldud pinna nõuetele, eriti selle karedusele ja mõõtmelisele kordustäpsusele. Lisaks on vajalik teadmine, millist töötlemise meetodit kasutada, st kas see on treimine (sise- või välis-), freesimine, puurimine jne; millist lõikeriista kasutada; millised on mõõtmised ja lõikeotsaku materjal; mis on töödeldava osa materjal ja seisukord.

Peamised lõikerežiimid on lõikesügavus t , ettenihe s , lõikekiirus v ja pöörlemissagedus (pöörde arv) n .

Lõikesügavus t (mm) on materjalikiht, mis eemaldatakse töötlemisel ühe lõikega. See valitakse vastavalt masintöötamise meetodile. Kui rakendatakse ettevalmistavat töötlemist, on sügavus t kõige suurem ja võib olla võrdeline töötlemisel tekkiva töötlusvaruga. Kui rakendatakse siledat masintöötlemist, valitakse lõikesügavus vastavalt töödeldava pinna mõõtmelisele kordustäpsusele ja pinna nõudmistele.

Ettenihe s (mm/p) või s_z (mm/hammas) (freesimises) on lõiketööriista asendi ja töödeldava osa määratud ettenihe. Ettenihe valitakse vastavalt töödeldava pinna mõõtmelisele kordustäpsusele ja pinna kvaliteedinõudmistele. Kui rakendatakse karedat freesimist, võib ettenihe olla suurem kui siledal masintöötlemisel. Lisaks valides ettenihke jäikust süsteemile masin-seade-tööriista-osa (MDTP), tuleb hinnataööriista omadusi, selle paigutust ja teisi piiravaid tingimusi.

Lõikekiirus v või vc (m/min) on kaugus, mille läbib lõikeriist töötlemisel ühe minutiga. Kui rakendatakse karedat freesimist, on kiirus suurem kui siledal masintöötlemisel.

Pöörlemissagedus n (p/min) on tooriku (osa) või lõikeriista pöörde arv ühes ajaühikus.

Tavaliselt valitakse lõikerežiimidööriista arendajate ja masinatootjate trükistest.

Töötlevas tööstuses on üks peamisi tõhususe indikaatoreid ühe osa tootmisele kuluv aeg.

Aega, mis kulub tehnoloogilise operatsiooni läbiviimiseks, nimetatakse töö teostamise ajaks või standardseks osa valmistamise ajaks.

Standardne aeg (osa kohta) T_{vnt} (min) arvutatakse järgnevalt:

$$T_{vnt} = T_m + T_p + T_{dv} + T_a$$

(3.1)

kus T_m – kompuuterjuhitav masin või otsetootmine aeg minutites;

T_p – lisa-aeg minutites;

T_{dv} – aeg masina hoolduseks minutites;

T_a – aeg puhkuseks ja isiklikeks vajadusteks minutites.

Kui osad töödeldakse hulgi (tootepartii), arvutatakse aega järgnevalt:

$$T_{vnt-k} = T_m + T_p + T_{dv} + T_a + \frac{T_{ppx}}{n_d}$$

(3.2)

kus T_{pp} – seadistamise aeg, rakendatud partii;

n_d – osade arv partii.

Põhiline tsükli-aeg tähistab otsetootmise aja hulka ja lisa-aega.

Otsetootmise aeg väljendub lõikeriista kauguse ja minuti ettenihke (ettenihke kiiruse) suhtena. Võttes kokku treimise, freesimise, puurimise, südamikpuurimise ja hõõritsemisoperatsioonid, saab otsetootmise aega väljendada järgnevalt:

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

kus L – nõutud täispikk teekonna pikkus tööriistale, mm;

i – töökäikude (lõigete) arv;

S_m – ettenihe kiirus tööriistale või toorikule, mm/min;

n – spindli või tööriista pöörde arv, p/min;

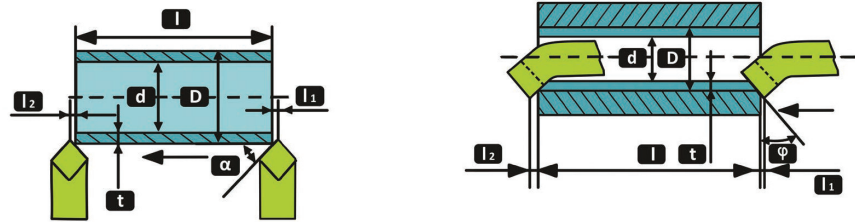
s – ettenihe pöörde kohta, mm/p.

Tööriista kaugus arvutatakse järgnevalt:

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

kus l – masintöödeldava pinna pikkus mm;

l_1 ja l_2 – teekonna pikkus tööriista lähendamiseks ja tööriista varulikumine (joonis 3.42).



Joonis 3.42 Töötlemine treimise ja puurimisega

3.7.1 Lõikerežiimi arvutamise näited treimisel

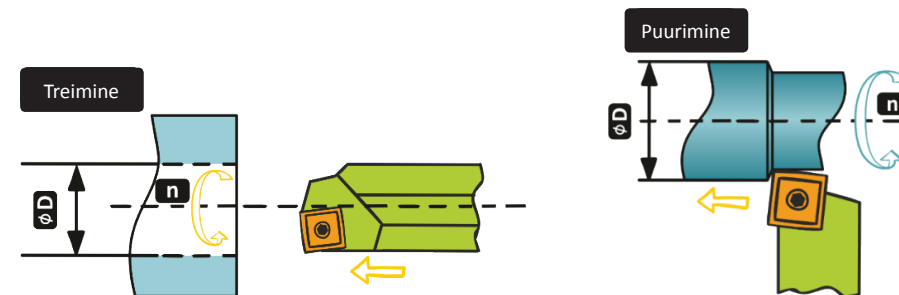
Lõikamistegevuse sooritamiseks – eemaldada kiht materjali ja vormida laast – peaks lõiketeradel olema keele kuju ja need peaksid olema valmistatud tugevast, kulumiskindlast ja piisavalt plastilisest materjalist (joonis 3.40).

$$v_c = \frac{C_v}{T^m t^x s^y} K_v \quad (3.5)$$

Tegurite väärtused C_v , K_v , astme muutujate m , x ja y väärtused, lõikeriista eluiga T on antud vastavate töötlemismeetodite tehnilistes kasutusjuhendites;

s – ettenihe pöörde kohta, mm/p;

t – lõikesügavus, mm.



Jn 3.43 Treimise ja puurimise skeemid

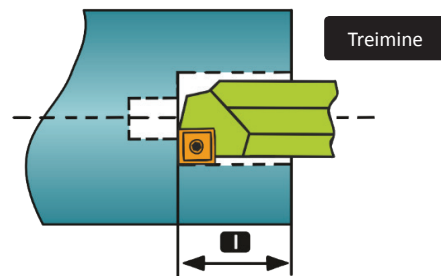
Kui kasutate tootja juhendit lõikerežiimi valiku ja tööriistade ja masintootmise kohta, saab lõikekiirust v_c arvutada lihtsama valemi abil:

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

Pöörete arvu n saab väljendada järgnevalt:

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

Otsetootmise aja treimisel ja freesimisel võib tuletada valemi 3.3 põhjal. Töödeldud pinna pikkuse saab võtta inseneritehnilisest joonisest (joonis 3.44).



Joonis 3.44 Treimise ja puurimisega töödeldava pinna pikkus

Tooriku otstreimise (joonis 3.45) otsetootmise aega arvutatakse järgnevalt:

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

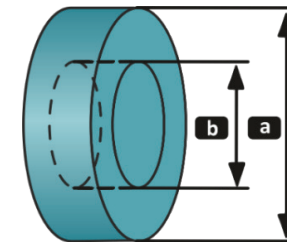
a – väline diameeter, mm;

b – sisemine diameeter, mm.

Lõikamiseks vajalik jõud (kW) arvutatakse järgnevalt:

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

P_z – lõikejõu N tangentsiaalne komponent.



Joonis 3.45 Geomeetrilised parameetrid, mis on vajalikud tooriku otstreimisele kuluva aja väljaarvutamiseks

3.7.2 Lõikerežiimi arvutamise näited freesimisel

Freesimisel arvutatakse lõikekiirus (joonis 3.46) järgnevalt:

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

v_c – lõikekiirus, m/min;

n – pöörde arv minutis, p/min;

D_c – lõikuri diameeter, mm.

Pöörde arvu n saab väljendada, kasutades valemit joonis 3.10.

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

Freesimisel on tööriista või tooriku ettenihke kiirus võrdne:

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

s_m – ettenihke kiirus tööriistale või toorikule, mm/min;

s_z – ettenihe tööriista hambale, mm/hambas;

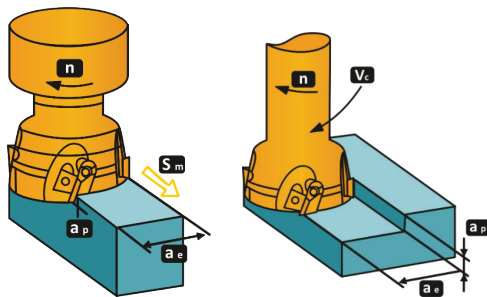
z – tööriista hammaste arv;

n – pöörde arv minutis, p/min;

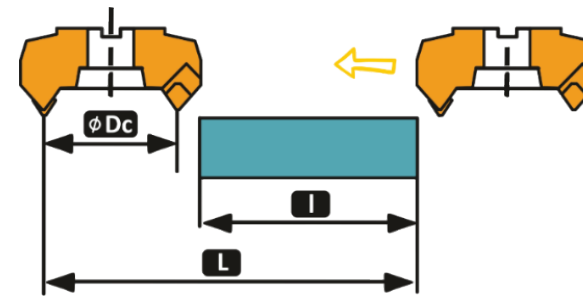
Otsetootmise aeg pinnafreesimisel määratakse järgnevalt:

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

kus L – täispikk liikumisteedkond tööriistale (joonis 3.47),



Joonis 3.46 Freesimise skeemid otsfreesidele: a_p – lõikesügavus, a_e – lõikelaius, n – lõikuri pöördesuund, s_m – ettenihke suundtööriistale või toorikule



Joonis 3.47 Lõikeriista teekond freesimisel

mis määratakse järgneva valemiga:

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

Freesimisel arvutatakse vajaminev löikejõud N (kW) valemiga 3.9.

3.7.3 Lõikerežiimi arvutamise valemid puurimisel, koonussüvistamisel, hõõritsemisel ja keermestamisel

Puurimisel arvutatakse lõikesügavus, jagades puuri diameetri D_c kaheks (joonis 3.48). Südamikpuurimisel ja hõõritsemisel arvutatakse lõikesügavus järgnevalt:

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

kus D – töödeldud augu diameeter, mm;

d – augu diameeter enne töötlemist, mm.

Puurimise (südamikpuurimise, hõõritsemise) kiirus arvutatakse vastavalt valemile joonis 3.10; pöörete arv n – vastavalt valemile joonis 3.11, ja otsetootmise aeg T_m – vastavalt valemile joonis 3.3. Sama valemit saab rakendada, kui arvutatakse lõikesügavust, löikekiiruse ja pöörete arvu, kui töödeldavad osad pöörlevad, nt aukude töötlemisel treipingis (joonis 3.49).

Otsetootmise aega ei saa ülaltoodud viisil arvutada juhul, kui keere on sisekeermestatud auku sisekeermelõikuriga. Sellisel juhul arvutatakse otsetootmise aega, rakendades järgnevat valemit:

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

kus n – sisekeermestatava keermepöörete arv n_1 – toorikult eemaldatava keermepöörete arv.

Jõud N (kW), mida kasutatakse lõikeprotsessis, määratakse vastavalt järgnevale valemile:



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


kus M_s – lõikamise moment, Nm.

PRAKTILINE NÕUANNE




Lõikerežiime valides tuleb pöörata tähelepanu tööstatootja soovitudele.

3.8. Masintööluse programmid nutiseadmetes

Paljud tööriistade tootjad arendavad erinevaid masintööluse ja lõikerežiimi tuvastamise programme, mis on mõeldud töötamiseks nutitelefonis või tahvelarvutis. See teeb lõikamisrežiimi arvutamise ja tööriista valimise protsessi lihtsamaks ja kiiremaks. Paljud neid programmideid on allalaaditavad  Google play ja  iPhone internetilehekülgedelt.

Näiteks Rootsi ettevõtte Sandvik Coromant  on arendanud eri programme tootmise majandusliku jätkusuutlikkuse; tööriista vastupidavuse tuvastamiseks eri materjalide töötlemisel ning treimise ja freesimise arvutamiseks.

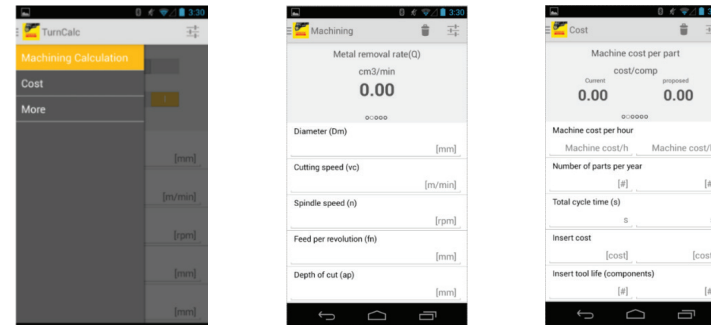
Treimisprotsessi kalkulaatorit ei kasutata vaid tootmisprotsessi, vaid ka töötlemishinna välja arvutamiseks (joonis 3.50).

Jaapani ettevõtte Tungaloy Corporation  pakub Dr. Carbide programmi , mida kasutatakse mobiiltelefonides, ja programmi Tungaloy Tool Navigator  (Tungaloy ettevõtte tööriista navigaator) töötamiseks virtuaalses keskkonnas.

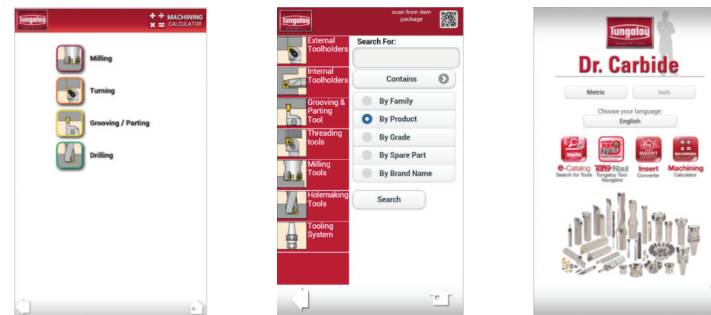
Tungaloy Dr. Carbide programm lihtsustab tööriista valimise protsessi ja töötlemisrežiimi hindamist (joonis 3.51).

Romany's 'Tungaloy Corporation' navigaatorit saab kasutada lõikerežiimide arvutamiseks vastavalt valitud parameetritele. Lisaks pakub programm mõningaid sobivaid lõikeriistu valitud töölusele (joonis 3.52).

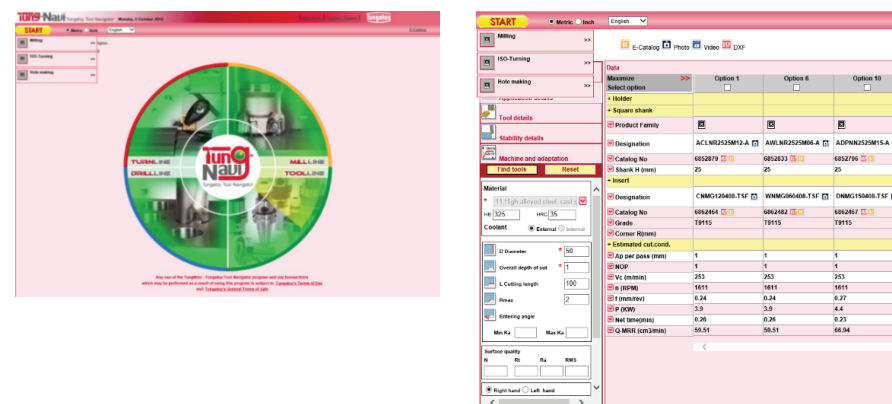
Lisaks ülalpool viidatud tootjatele saab valida ka teisi tööriistatootjaid, kes toodavad sarnaseid programme tootmisrežiimide arvutamiseks.



Joonis 3.50 Treimisprotsessi kalkulaatori programmiaknad (Sandvik Coromant)



Joonis 3.51 Dr. Carbide Tungaloy programm (Tungaloy Corporation)



Joonis 3.52 Tungaloy tööriista navigaator (Tungaloy Corporation)

4. DETAILI KVALITEET



4. DETAILI KVALITEET

4.1. Detaili pinnakvaliteedi hindamine

Pinnakvaliteedi määravad karedus ja lainelisus. Pinnakaredus tähendab pinna mikrokonarusi, mis korduvad suhteliselt väikeste vahemike järel ja mida hinnatakse lähtepikkuse ulatuses. Lainelisus tähendab regulaarselt korduvaid tippe ja nõgusid, mille vahekaugus on suurem nende kõrgusest. Pinnakareduse parameetreid reguleerib standard ISO 4287:1997, mida uuendati 2015. aastal. Selles on määratletud põhiparameetrid R_a , R_z , R_{max} ja muud parameetrid (S_m , S , p).

Pinnakareduse parameetrid määratakse lähtepikkuse l ulatuses, mille arvvaartus valitakse parameetrist R_{max} olenevalt järgmisest reast (mm): 0,01, 0,03, 0,08, 0,25, 0,80, 2,5, 8, 25 (joonis 4.1). Arvvaartus valitakse keskjoone m põhjal, mis jagab profiili selliselt, et punktide ($y_1, y_2 \dots y_m$) vahekauguste kogusumma on minimaalne.

Pinna pikiprofiil ja kareduse näitajad: l – lähtepikkus, m – profiili keskjoon, S_{mi} – profiili ebataasuste keskmine vahekaugus, S_i – pro-

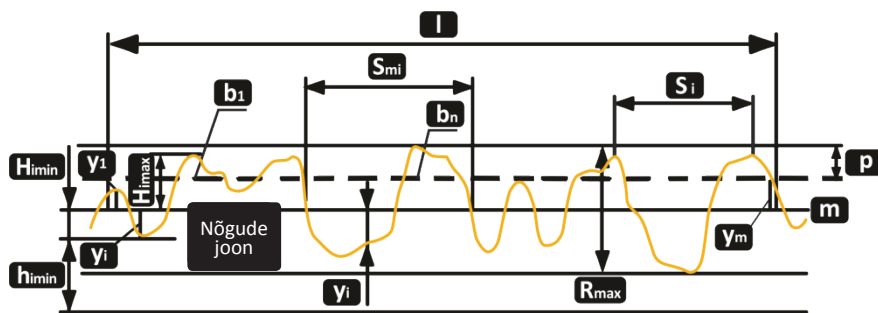
fili ebataasuste tippude vahekaugus, H_{imax} – viie kõrgeima tipu hälve keskjoonest lähtepikkuse ulatuses, H_{imin} – viie madalaima tipu hälve keskjoonest lähtepikkuse ulatuses, h_{imin} – kaugus juhulikust joonest allpool nõgude joont, R_{max} – profiili maksimaalne kõrgus lähtepikkuse ulatuses, y_i – profiili hälve keskjoonest m , p – profiili sektsiooni tase, b_n – võrdlusprofiili kogupikkus p tippude kauguse ulatuses.

Profiili hälvete aritmeetiline keskmine R_a arvutatakse absoluutkauguste y_i keskmisena profiili keskjoonest.

Ebatasasuste kümne punkti kõrgus R_z on profiili viie kõrgeima tipu H_{imax} ja viie madalaima nõo H_{imin} absoluutväärtuste keskmine lähtepikkuse ulatuses.

Kareduse märkimist joonistele on näidatud joonisel 4.2.

Kui joonisel ei ole pinna töötlusmeetodit näidatud, tähistatakse pinnakaredust joonisel 4.2a näidatud märgiga. Tähistus joonisel 4.2b näitab pinnakaredust pärast materjalikihi eemaldamist. Tähistus joonisel 4.2c näitab pinnakaredust materjalikihti eemaldamata (valatud, valtsitud pinnalt). Selle märgiga tähistatakse ka pindu, mida ei töödelda konkreetse joonise kohaselt.



Joonis 4.1. Pinnakareduse profiil, mõõtmised



Joonis 4.2. Kareduse märkimine joonistele: a) pinna töötlusmeetodit ei ole näidatud, b) pärast materjalikihi eemaldamist, c) materjalikihti eemaldamata, d) kareduse märkimine parameetriga R_a .

R_a .

Kareduse parameetri R_a väärtust saab kirjutada selle sümbolita (joonis 4.2d), kuid R_z väärtus tuleb kirjutada koos selle sümboliga (joonis 4.3a). Karedust tähistava märgi serv on alati suunatud ülespoole.

Joonisel võib olla ka muid karedusparameetreid (joonis 4.3b): 1 – tulbas mitte ainult maksimaalne, vaid ka minimaalne väärtus R_z või R_a , S-i väärtus, 2 – töötlusmeetod, 3 – lähtepikkus, 4 – kiht.

Kui detailil on mitu ühesuguse karedusega pinda, tähistatakse neid joonise parempoolses ülanurgas (joonis 4.3c). Kui detaili kõik pinnad on ühesuguse karedusega, tähistatakse ka need joonise parempoolses nurgas (joonis 4.3c).

Standard reguleerib pinnakaredust järgmiste läviväärtustega: $R_a = 100 \dots 0,008 \mu\text{m}$, $R_z = 1600 \dots 0,025 \mu\text{m}$.

Karedusparameetrid, nende optimaalsed väärtused ja lähtepikkused on esitatud tabelis 4.1. Pinnakareduse soovitatavad väärtused on näidatud paksus kirjas.

Standardid ei reguleeri pinnakareduse mõõtmete sõltuvust mõõtmete tolerantsijärgust ega istudest. Nõuded on ainult soovituslikku laadi. Need on esitatud tabelites 4.2 ja 4.3.

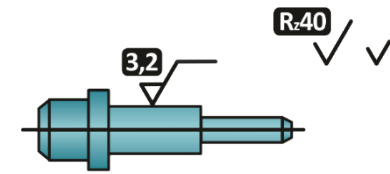
Peale kareduse ja lainelisuse võib pinnal olla ka kriimustusi, pragusid ja sooni. Oluliste pinnamoonutuste korral ei ole tegu kareduse ega lainelisusega. Selliseid pinnamoonutusi hinnatakse eraldi.

Pinna mikroonaruste mõõtmiseks on olemas kontaktivabad, kontaktiga ja subjektiivsed mõõtemetodid.

Kontaktivaba meetodi korral ei puutu seade hinnatava pinnaga kokku, mis väldib pinna kahjustamist ja moonutamist. Selle meetodi jaoks on vaja optilisi ja interferentsseadmeid.

Kontaktmeetodil töötavad mõõteseadmed puudutavad pinda mõõteotsakuga (anduri või nõelaga). Seda meetodit kasutatakse karedusmõõturites (profilomeetrites).

Subjektiivse meetodi abil analüüsitakse pinna visuaalsel kontrollimisel kogutud andmeid ja võrreldakse neid karedusetaloniga.



Joonis 4.3. Asukohad kareduse väärtuste märkimiseks pinnakvaliteedi tähistamisel

Tabel 4.1. Karedusparameetrid R_a ja R_z ning lähtepikkuste arväärtused, mm

$R_a, \mu\text{m}$				$R_z, \mu\text{m}$				Lähtepikkus l, mm
80	63	50	40	320	250	200	160	8
40	32	25	20	160	125	100	80	
20	16	12,5	10	80	63	50	40	
10	8	6,3	5	40	32	25	20	2,5
5	4	3,2	2,5	20	16	12,5	10	
2,5	2	1,6	1,25	10	8	6,3	–	0,8
1,25	1	0,8	0,63	6,3	5	4	3,2	
0,63	0,5	0,4	0,32	3,2	2,5	2	1,6	
0,32	0,25	0,2	0,16	1,6	1,25	1	0,8	0,25
0,16	0,125	0,1	0,08	0,8	0,63	0,5	0,4	
0,08	0,063	0,05	0,04	0,4	0,32	0,25	0,2	
0,04	0,032	0,025	0,02	0,2	0,16	0,125	0,1	0,08
0,02	0,016	0,012	0,01	0,1	0,08	0,063	0,05	
0,01	0,008	–	–	0,05	0,04	0,032	0,025	

Tabel 4.2. Pinnakareduse soovitatava parameetri R_z sõltuvus mõõtmete tolerantsijärgust ja völliide istudest

Nimi- mõõde, mm	Tolerantsijärk																				
	IT5		IT6				IT7		IT8			IT10	IT11	IT12-IT13	IT14	IT15	IT16-17				
	f7, h6, p6	u8	p7, s7, n7, m7, k7, js7, h7, g7		f8	e8	f8	d8, h8, n8	js8	h8	f8	d8	h10	h11	h13	h14	h15	h16			
Minimaalne pinnakaredus R_z , μm																					
1–3	0,4	1,6	0,8	1,6	1,6	3,2	0,8	-	3,2	3,2	3,2	6,3	6,3	12,5	25	50	100	200			
3–6	0,8				3,2		1,6	3,2			6,3								12,5	25	
6–10					3,2		1,6	3,2			6,3								12,5	25	
10–18	1,6	3,2	1,6	3,2	3,2	6,3	6,3	12,5	12,5	25	50	100	200	50	100	200	50	100			
18–30					3,2														6,3	12,5	25
30–50					6,3														12,5	25	50
50–80	3,2	6,3	3,2	6,3	6,3	12,5	12,5	25	25	50	100	200	50	100	200	50	100	200			
80–120					12,5														25	50	
120–180					12,5														25	50	100
180–260	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	12,5	12,5	25	25	50	100	200	50	100	200	50	100	200			
260–360					12,5														25	50	
360–500					12,5														25	50	100

Tabel 4.3. Pinnakareduse soovitatava parameetri R_z sõltuvus mõõtmete tolerantsijärgust ja avade istudest

Nimi- mõõde, mm	Tolerantsijärk																					
	IT6		IT7			IT8			IT9		IT10	IT11	IT12-IT13		IT14	IT15	IT16-17					
	G5, H5, K5, M5, N5, P5, R5, S5	U7	R6, P6, N6, M6, K6, Js6, H6, G6	F7	E8	D8, E8	N7, M7, K7, Js7, H7	H8	F8	D8	h10	h11	h13	h14	h15	h16						
Minimaalne pinnakaredus R_z , μm																						
1–3	0,8	1,6	1,6	1,6	3,2	3,2	1,6	3,2	3,2	6,3	6,3	6,3	6,3	25	50	50						
3–6		3,2		3,2			6,3		6,3								12,5	12,5	25	25	50	
6–10																						1,6
10–18	1,6	3,2	3,2	6,3	6,3	6,3	6,3	12,5	12,5	25	25	50	100	200								
18–30															6,3	6,3	12,5	12,5	25	25	50	50
30–50																						
50–80	3,2	6,3	6,3	12,5	12,5	12,5	12,5	25	25	50	50	100	200									
80–120														6,3	6,3	12,5	12,5	25	25	50		
120–180																					6,3	6,3
180–260	3,2	6,3	6,3	12,5	12,5	12,5	25	25	50	100	200											
260–360												6,3	6,3	12,5	12,5	25	25	100				
360–500																			12,5	12,5	12,5	12,5

4.2. Detaili elementide mõõtmed ja hälbed

Detaili kõikidel elementidel on mõõtmed, geomeetiline kuju ja pinnakvaliteet. Seega tuleb määrata nendele hälbed, mille ületamise korral detaili töomadused halvenevad. Toote kvaliteedi ja väljava-
hetatavuse tagamiseks on elementide mõõtmed, geomeetiline kuju ja pinnakvaliteet reguleeritud standarditega.

Põhihälbed on jaotatud nelja täpsusklassi, mida tähistatakse väikeste tähtedega: f – peen, m – keskmine, c – jäme ja v – väga jäme. Selline suhteline tähistus lihtsustab jooniseid.

Põhihälvete täpsusklassi valimise korral tuleb arvestada valitud töötlemistäpsusega. Kui on vajalik täpsusklassist suurem täpsus (väiksemate hälvetega), tuleb hälbeid näidata vahetult vastava nimimõõtme kõrval. Põhihälbed kehtivad joon- või nurkmõõtmete kohta ainult siis, kui joonised ja tehnilised nõuded vastavad standardile EVS-EN 22768.

Joonmõõtmed

Tolerantside ja istude süsteem eristab 19 tolerantsijärku, mida tähistatakse järjestikku numbritega ja mis suurenevad koos tolerantsi suurenemisega: 01, 0, 1, 2, 3, 4, ... 15, 16, 17. Tolerantsijärk näitab tolerantside summat, mis vastab kõikide nimimõõtmete samale täpsusklassile, mida rakendatakse nimimõõtmete konkreetses vahemikus. Nimimõõde on detaili põhimõõde ja seda kasutatakse võrdluse-
na detaili mõõtme ja piirmõõtmete hälvete arvutamisel (tabel 4.4).

Tolerants (T) on erinevus maksimaalse ja minimaalse piirmõõtme vahel või suurima ja väikseima hälbe algebralise vahe absoluutväärtus. Füüsiliselt väljendab tolerants tegelike mõõtmete võimaliku dispersiooni summat, st määratud töötlemistäpsust. Tolerantsi suurendamise korral toote kvaliteet tavaliselt langeb, kuid tootmiskulud vähenevad.

Tabel 4.4. Pikkusmõõtmete põhihälbed

Hälvete rühm		Mõõtme- ja tolerantsivahemikud, mm							
Märgistus	Täpsus	0,5–3	Üle 3 kuni 6	Üle 6 kuni 30	Üle 30 kuni 120	Üle 120 kuni 400	Üle 400 kuni 1000	Üle 1000 kuni 2000	Üle 2000 kuni 4000
f	peen	±0,05	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5	–
m	keskmine	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2
c	jäme	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2	±3	±4
v	väga jäme	–	±0,5	±1	±1,5	±2,5	±4	±6	±8

Märkus. Väiksemate kui 0,5 mm nimimõõtmete piirhälbed tuleb märkida vastava nimimõõtme kõrvale.

Tolerantsid mõõtmete 1–1000 mm jaoks on esitatud tabelis 4.5.

Joonmõõtmete hälbeid saab joonistele märkida kolmel viisil: tolerantsivälja numbrilises tähistuses, nt $\varnothing 20+0,052$, $\varnothing 60-0,074$; tolerantsivälja tähelises tähistuses, nt $\varnothing 20H9$, $\varnothing 60h9$; või tolerantsivälja tähelises tähistuses ja mõõtme numbrilises hälbes sulgudes, nt $\varnothing 20H9 (+0,052)$, $\varnothing 60h9 (-0,074)$.

Metallosade lõiketöötlemise korral on soovitatav märkida talitlusvabade mõõtmete hälbed, kasutades tolerantsijärku 14. Avade ja võllide talitlusvabade mõõtmete hälbed paigutatakse tavaliselt materjali kõrvale (positiivne $+IT$ avade jaoks ja negatiivne $-IT$ võllide jaoks) ja sümmeetria korral $\pm IT/2$. Talitlusvabade mõõtmete hälbed, mis ei ole seotud avade ega võllidega, on ainult sümmeetrilised ($\pm IT/2$).

Tabel 4.5. Tolerantsid mõõtmetele 1–1000 mm, esitatuna mikromeetrites

Nimimõõde, mm	Tolerantsijärgud													
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Kuni 3	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600	1000
>3 ≤6	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750	1200
>6 ≤10	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900	1500
>10 ≤18	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100	1800
>18 ≤30	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300	2100
>30 ≤50	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600	2500
>50 ≤80	8	13	13	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900	3000
>80 ≤120	10	15	16	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200	3500
>120 ≤180	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000
>180 ≤250	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900	4600
>250 ≤315	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200	5200
>315 ≤400	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600	5700
>400 ≤500	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000	6300
>500 ≤630	22	32	44	70	110	175	280	440	700	1100	1750	2800	4400	7000
>630 ≤800	25	36	50	80	125	200	320	500	800	1250	2000	3200	5000	8000
>800 ≤1000	28	40	56	90	140	230	360	560	900	1400	2300	3600	5600	9000

Nurkmõõtmed ja kujuhälbed

Nurkmõõtmete põhihälbed hõlmavad ainult joonte ja komponentide üldist suunda ega arvesta nende kuju- ja asendihälbeid (tabel 4.6). Kuju- ja asendihälbed on tähistatud nii kuju sümboli kui ka hälbe suuruse üldkirjelduses kirjeldatava pinna kõrval (tabel 4.7).

Pinna kujuhälve on suurim erinevus elemendi tegeliku ja ideaalse geomeetrilise kuju vahel. Kujuhälve on normitud eelmääratud kuju-tolerantsiga.

Pinna asendihälve on pinna, telje või sümmeetriatasandi asendi tegelik hälve nimiasendi suhtes. Asendihälbed on normitud asenditolerantsidega.

Kuju- ja asendihälvete summa koosneb nii kuju- kui ka asendihälbest valitud lähte suhtes.

Kuju- ja asendihälbed tekivad detaili töötlemisel lõiketera kulumise, masina elastse deformatsiooni, teisaldatavate masinakomponentide paigalduse ebatäpsuse, detailide kinnitamise, süsteemi osa, tööriista või seadme vibratsiooni tõttu jne.

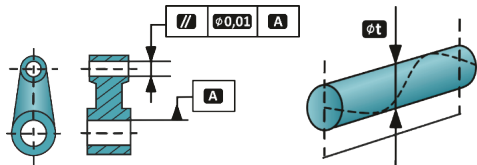
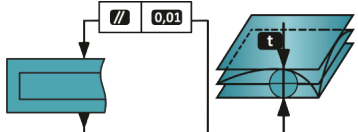
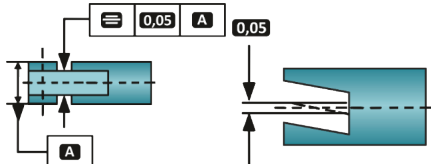
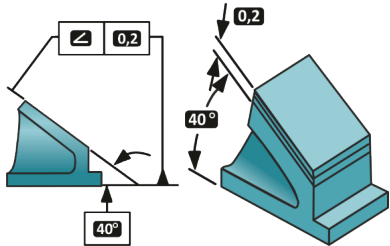
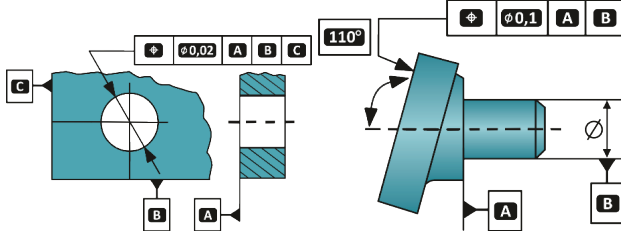
Pinna kuju- ja asendihälbed ning tolerantsid ja nende tavakohane märgistus on esitatud tabelis 4.7.

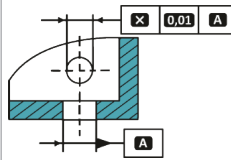
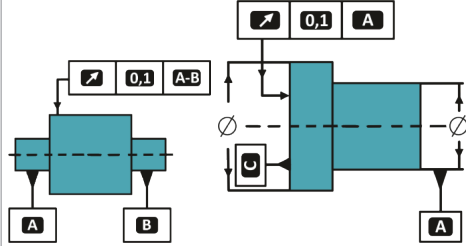
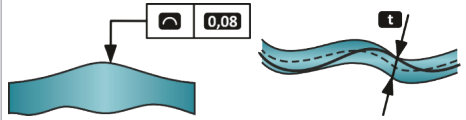
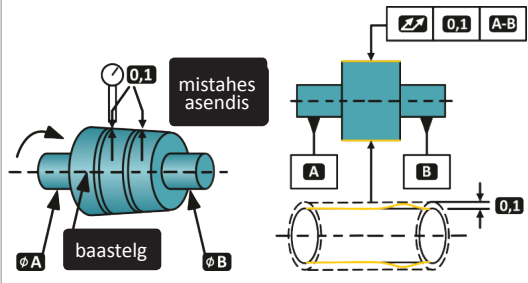
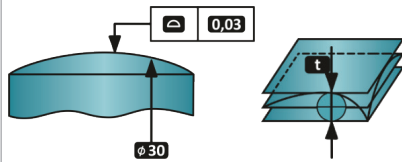
Tabel 4.6. Nurkmõõtmete põhihälbed

Hälvete rühm		Mõõtmevahemikud (lühema külje nimimõõtme suhtes) ja tolerantsivahemikud, mm				
Märgistus	Täpsus	Kuni 10	Üle 10 kuni 50	Üle 50 kuni 120	Üle 120 kuni 400	Üle 400
f	peen	$\pm 1^\infty$	$\pm 0^\infty 30$	$\pm 0^\infty 20'$	$\pm 0^\infty 10'$	$\pm 0^\infty 5'$
m	keskmine	$\pm 1^\infty$	$\pm 0^\infty 30'$	$\pm 0^\infty 20'$	$\pm 0^\infty 10'$	$\pm 0^\infty 5'$
c	jäme	$\pm 1^\infty 30'$	$\pm 1^\infty$	$\pm 0^\infty 30'$	$\pm 0^\infty 15'$	$\pm 0^\infty 10'$
v	väga jäme	$\pm 3^\infty$	$\pm 2^\infty$	$\pm 1^\infty$	$\pm 0^\infty 30'$	$\pm 0^\infty 20'$

Tabel 4.7. Pinna kuju ja asendi ning nende summaarse tolerantsi tähistused

Tolerantside rühm	Tolerantsi tüüp	Sümbol	Tähistused joonistel ja tolerantsitsoonid
Pinna kuju-tolerantsid	Tasapinnalisuse tolerants		Kahe paralleelse pinna vahekauguste tolerants 0,05 mm.
	Ümaruse tolerants		Kahe kontsentrilise ringi tolerants 0,02 mm koonuse kogupikkuses/ löikepunktides.
	Silindrilisuse tolerants		Kahe koaksiaalse silindri pindadevaheline tolerants 0,05 mm.
	Sirguse tolerants		Silindri telje sirguse tolerants
	Pikiprofiili tolerants		
Pinna kuju-tolerantsid	Ristisuse tolerants		Läbimõõdu tolerants 0,1 mm ristisuse suhtes pinnaga A.
Pinna asenditolerants	Samatelgsuse tolerants		Telje läbimõõdu ja baastelje A läbimõõdu samatelgsuse tolerants 0,1 mm.

Tolerantside rühm	Tolerantsi tüüp	Sümbol	Tähistused joonistel ja tolerantsitsoonid
Pinna asenditolerants	Paralleelsuse tolerants	//	<p>Ava on paralleelne baasteljega A. Ava ja baastelje paralleelsuse tolerants on 0,01 mm.</p> 
	Paralleelsuse tolerants	//	<p>Pinnad peavad olema paralleelsed tolerantsiga 0,01 mm.</p> 
	Sümmeetria tolerants	≡	<p>Väljalõike ja läbimõõdu baastelje A sümmeetrilisuse tolerants 0,05 mm.</p> 
	Kalde tolerants	∠	<p>Tolerants 0,2 mm, kui pind on lähte suhtes kaldu.</p> 
Asukoha tolerants	⊕	<p>Ava telg peab olema 0,05 mm läbimõõduga silindri piirides. Silindri telgjoon peab olema võrdne ava telgjoonega tasanditel A, B ja C.</p> 	

Tolerantside rühm	Tolerantsi tüüp	Sümbol	Tähistused joonistel ja tolerantsitsoonid
Pinna asendi-tolerants	Telgede lõikumise tolerants	✘	Ava telje ja ava baastelje A tolerants 0,01 mm. 
	Radiaal- ja/või otsviskumise tolerants. Määratud suunas viskumise tolerants	↗	Pindade A ja B radiaalviskumise tolerants 0,1 mm telje läbimõõdu suhtes. Pinna C otsviskumise tolerants 0,1 mm silindri pinna telje A suhtes. 
Pinna kuju- ja asenditolerants	Jooneprofiili tolerants	⤿	Profiil peab paiknema kahe piirjoone vahel tolerantsiga 0,08 mm. 
	Täisots- või täisradiaalviskumise tolerants	↗↘	Pindade A ja B radiaalviskumise tolerants 0,1 mm telje läbimõõdu suhtes. 
	Pinnaprofiili tolerants	⤿	Pind peab olema kahe piirpinna vahel tolerantsiga 0,03 mm. 

Istud

Ist on ava ja võlli ühendamisviis, mis on määratud lõtku või pingu suurusega. Istud on jaotatud kolme rühma: lõtkistud ehk liikuvad istud, pingistud ehk liikumatud istud ning siirdeistud. Lõtkistudel on tavaliselt ühendatavate detailide vahel lõtk. Pingistudel on tavaliselt ühendatavate detailide vahel ping. Siirdeistudel on ühendatavate detailide vahel lõtk või ping.

PRAKTILINE NÕUANNE

Puhta lõike korral on soovitatav mikromeetri abil kontrollida detaili radiaalviskumist.

Istude täpsusvahemikud on alates 5. kuni 12. tolerantsijärguni. Erinevate lõtkude ja pingudega ning kuni 500 mm istude tegemiseks kasutatakse võllide ja avade 28 põhihälvet. Põhihälve määrab tolerantsivälja asendi nulljoone suhtes (nulljoon võrdub nimimõõtmeaga). Skemaatilistel kujutistel on positiivne ja negatiivne hälve seatud selle põhihälbe suhtes. Avade põhihälbed tähistatakse suurte ladina tähtedega, võllide põhihälbed väiketähtedega.

Avade ja võllide soovitatavad tolerantsitsoonid on esitatud tabelites 4.8 ja 4.9.

Istude tähistused koostejoonistel näitavad koostu nimimõõtmeid ja murdu, mille lugeja näitab ava tolerantsivälja või piirhälbeid ning nimetaja näitab võlli tolerantsivälja või piirhälvet, nt $\frac{\frac{+0.021}{(-0.013)}}{\frac{H7(+0.021)}{H6(-0.013)}}$.

Tabel 4.8. Istude soovitatavad tolerantsitsoonid 1–500 mm läbimõõduga avade jaoks

Avade põhihälbed	Tolerantsijärgud							
	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)				

Tabel 4.9. Istude soovitatavad tolerantsitsoonid 1–500 mm läbimõõduga võllide jaoks

Võllide põhihülbed	Tolerantsijärgud									
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					

Märkus. Sulgudesse on märgitud täiendavad tolerantsitsoonid. Soovitatavad ja eelistatavad tolerantsitsoonid on kirjutatud ilma sulgudeta.

Kui võllil ja aval on erinevad tolerantsid, on soovitatav, et ava tolerants ei oleks võlli tolerantsist suurem rohkem kui 2 tolerantsijärgu võrra.

PRAKTILINE NÕUANNE

Tolerantside, istude ja muude täpsusparameetrite väärtusi saab leida ka nutiseadmete rakendustest.

4.3. Mõõtevahendid

Selles peatükis on esitatud lühiülevaade mõõtevahenditest, mida töötamiskohal saab kasutada. Hinnanguliselt on umbes 90% detailidel mõõdetud suurustest pikkused ja pikkuste suhted. Nende hulka kuuluvad läbimõõt, raadius, pikkus, laius, paksus, kõrgus, sügavus, nurgad, tsentritevaheline kaugus, keermete, koonuste ja hammasrastaste mõõtmed, kuju näitajad, asendi täpsus ja pinnakvaliteet.

Detail peab olema selliste mõõtmete, kuju ja pinnakaredusega, nagu on näidatud selle tööjoonisel. Väärtusi saab mõõta kas absoluutse või võrdleva meetodi abil. Absoluutset mõõtemetodit kasutades saab detaili elemendi mõõtme kohe, nt kaliibriga mõõtmise korral. Võrdlev meetod ei anna absoluutset väärtust, vaid hälbe konkreetsest mõõtmest, nt mikromeetriga mõõtes. Tootmises valitakse mõõtevahendid selliselt, et vältida mõõtevigu, mis ületavad 1/10 tolerantsist. Mõõtevahendid on jaotatud kahte rühma: universaalsed, mida kasutatakse mõõtmiseks etteantud piirides, ja spetsiaalsed mõõtevahendid, mida kasutatakse ainult ühe väärtuse või kuju mõõtmiseks, nt ilma skaalata mõõtevahendid, harkkaliibrid.

Peamistel mõõtevahenditel on põhiskaala ja täpsem abiskaala, mida nimetatakse nooniuuseks (Portugali matemaatiku, astronoomi ja

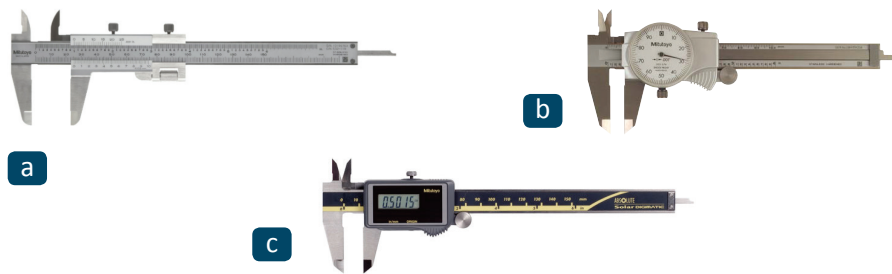
navigaatori Pedro Nunes järgi) või Vernieri skaalaks (Prantsuse matemaatiku Pierre Vernieri järgi). Abiskaala võimaldab mõõta täpselt põhiskaala jaotiste murdosi.

Kõige sagedamini kasutatavad mõõtevahendid on nooniuusega nihikud (joonis 4.4a).

Nende abil mõõdetakse detaili pikkust, paksust, laiust, välis- või siseläbimõõtu ja ava laiust. Olenevalt nihiku täpsusrühmast on referentsväärtus 0,1, 0,05 või 0,02 mm. Nooniuusega nihikud võivad olla erineva konstruktsiooni ja mõõtevahemikuga (0–125, ..., 0–3000 mm). Detaili suurust mõõdetakse põhiskaala täismillimeetrites kuni nooniuskaala nulltähiseni. Millimeetri murdosi loendatakse nooniuskaala märgini, mis ühtib kõige täpsemini põhiskaala mistahes joonega. Üha rohkem kasutatakse ringskaalaga nihikuid, mille mõõtesüsteem koosneb hammasülekandest. Nooniuusega nihikute kõrval kasutatakse ka digitaalseid nihikuid.

Sügavusnihikuid kasutatakse umbavade ja soonte sügavuse ja astmete mõõtmiseks (joonis 4.5a). Mõõtetulemuse arväärtus leitakse samamoodi nagu nooniuusega nihikuga mõõtes.

Digitaalseid sügavusnihikuid (joonis 4.5b) on mugavam kasutada. Erineva konstruktsiooniga sügavusnihikute mõõtepiirkonnad on vahemikus 0–800 mm.



Joonis 4.4. Nihikud: a) nooniuusega nihik, b) ringskaalaga nihik ja c) digitaalne nihik (Mitutoyo America Corporation)



Joonis 4.5. Sügavusnihikud: a) sirgskaalaga (Europac Precision) ja b) diginäidikuga (Mitutoyo America Corporation)

Goniomeetreid (joonis 4.6) kasutatakse välis- ja sisepindade, koonuseliste völliide ja pukside nurkade mõõtmiseks.

Goniomeetritele on paigaldatud nooniused ja optilised seadmed (joonis 4.7), mis tagavad täpsemad tulemused.

Peamised mikromeetrilised mõõtevahendid, mida kasutatakse geomeetriliseks mõõtmiseks, on kruvikud. Nende abil saab mõõta välismõõtmeid, sügavust ja sisemõõtmeid ning need töötavad kruvi põhimõttel.

Nende abil saab teha joonmõõtmisi pöördliikumise abil, mis loob mõõtevahemiku. Seega kasutatakse kruvikuid tavaliselt kindlas mõõtevahemikus (0–25 mm, 25–50 mm, 50–75 mm jne) mõõtmiseks. Mikromeetrilistel mõõtevahenditel on mõõtmiseks kaks skaalat (joonis 4.8). Hüsil oleval pikisuunalisel sirgskaalal on jaotise suurus 1 mm ja alajaotise suurus 0,5 mm. Trumli skaalal on 50 jaotist, igaüks 0,01 mm. Seega saadakse lugem esimese skaala millimeeterjaotiste arvust, millele liidetakse trumli jaotis, mis on esimese skaala telgjoonega kohakuti. Mõnel kruvikul on kruvid sammuga 1 mm ja 100 märgiga trummel. Väliskruvikutel on C-kujuline look, mille üks osa on liikumatu (selle vastu pannakse detail), ning teisel osal on liikuv silindriline hüls pikisuunalise sirgskaalaga (joonis 4.9). Kruvikute mõõtevahemik võib olla erinev, sest neid saab suurendada suuremat C-kujulist looka ja eemaldatavat või reguleeritavat alasit kasutades. Kruvi tööpikkus on tavaliselt 25 mm. Kruvikutel, mille maksimaalne mõõtevahemik on 50 mm või rohkem, on nihikuüksus (vardad nullväärtuse seadmiseks).

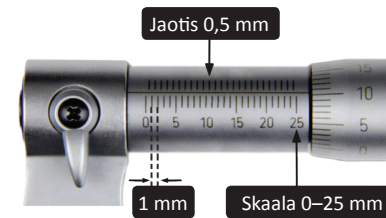
Sügavuskruviku otstarve on analoogne ülalkirjeldatud sirgskaalaga sügavusnihikuga. Erinevalt väliskruviku konstruktsioonist reguleeritakse selle mõõtepiirkonda mõõtevarda, mitte looga pikkuse muutmise (joonis 4.10).



Joonis 4.6. Goniomeeter (HOLEX|Hoffmann Group)



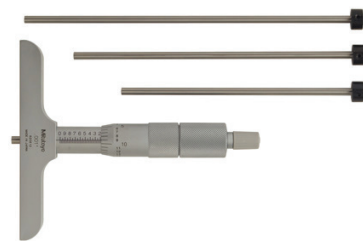
Joonis 4.7. Nooniused ja luubiga goniomeeter (Marui-Keiki Co., LTD.)



Joonis 4.8. Kruviku skaalad



Joonis 4.9. Väliskruvik (Mitutoyo America Corporation)



a



b

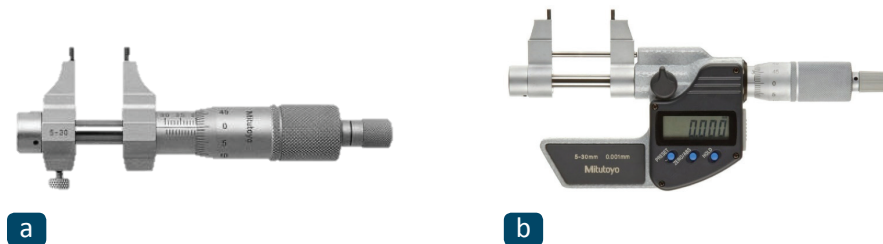
Joonis 4.10. Sügavuskruvik eemaldatava mõõtevardaga: a) sirgskaalaga, b) diginäidikuga (Mitutoyo America Corporation)

Sisekrükut kasutatakse avade ja soonte sisemõõtmete mõõtmiseks (joonis 4.11).

Mikromeetreid kasutatakse detaili geomeetrilise kuju ja kontakt-pindade asendi ning muude pindade mõõtmiseks võrdlusmeetodi abil (joonis 4.12). Mikromeeter kinnitatakse raami või korpuse külge, olenevalt mõõdetava elemendi kujust.

Mikromeetrite abil hinnatakse detaili radiaal- või otsviskumist, silindriliste pindade ümarust, koonilisust, sirgust ja pindade tasapinnalisust. Kõige sagedamini kasutatavatel mikromeetritel on jaotise suurus 0,01 mm ja mõõtepiirkond on 0–2 mm või 0–10 mm. Osuti üks täispööre võrdub mõõtepea 1 mm nihkega mikromeetriskaalal.

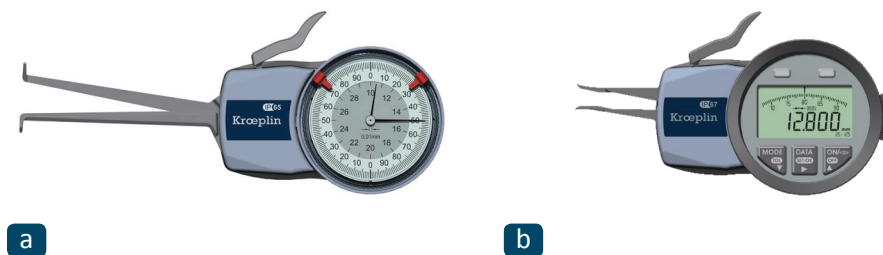
Sisemikromeetri ja digitaalse sisemikromeetriga mõõdetakse detaili siseosade mõõtmeid ja kuju (joonis 4.13).



Joonis 4.11. Sisekrükut: a) sirgskaalaga, b) diginäidikuga (Mitutoyo America Corporation)



Joonis 4.12. Mikromeeter: a) ringskaalaga, b) digitaalne (Mitutoyo America Corporation)



Joonis 4.13. Sisemikromeeter: a) ringskaalaga, b) digitaalne (Kroepelin GmbH)

Sügavusmikromeetreid ja digitaalseid sügavusmikromeetreid kasutatakse detaili umbavade, soonte ja taskute sügavuse mõõtmiseks (joonis 4.14).

Skaalata mõõtevahendeid kasutatakse detailide kontrollimiseks või mõõtevahendite kalibreerimiseks. Skaalata mõõtevahendiga mõõdetakse detailide piirväärtusi, st mõõtmete minimaalseid ja maksimaalseid hälbeid. Olenevalt otstarbest võivad skaalata mõõtevahendid olla järgmist tüüpi: mõõtekaliibrid, profiilikaliibrid, kontrollkaliibrid ja töökaliibrid. Piir- ehk töökaliiber koosneb kahest osast (läbiv ja mitteläbiv), mis määrab mõõtme tolerantsivahemiku. Võlli kontrollimise korral ühtib läbiv detail maksimaalse mõõtmega ja kui kontrollitakse ava, siis minimaalse mõõtmega. Mitteläbiva osa mõõde vastab minimaalsele mõõtmele võlli kontrollimise korral ja maksimaalsele mõõtmele ava korral.

Ühe või kahe otsaga harkkaliibreid kasutatakse detailide välisläbimõõtude mõõtmiseks (joonis 4.15).

Ühe või kahe otsaga korkkaliibreid kasutatakse siseläbimõõtude kontrollimiseks (joonis 4.16).

Pikkuskaliibreid kasutatakse pikkuste kontrollimiseks. Korkkaliibri abil saab kontrollida ka kitsenevaid avasid, Morse koonuseid ja meetrilisi koonuseid (joonis 4.17).

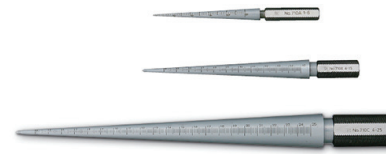
Keerme täpsust kontrollitakse välis- ja siseläbimõõdu, keermeprofiili nurga ning keermesammu alusel. Keermekaliibreid kasutatakse sise- ja väliskeerme kontrollimiseks. Sisekeeret kontrollitakse keermekorkkaliibriga (joonis 4.18). Väliskeeret kontrollitakse keermekorkkaliibriga (joonis 4.19). Nii keermekork- kui ka rõngaskaliibrid on läbivad ja mitteläbivad.



Joonis 4.14. Sügavusmikromeeter (Mitutoyo America Corporation)



Joonis 4.15. Kahepoolne harkkaliiber (Hoffmann Group)



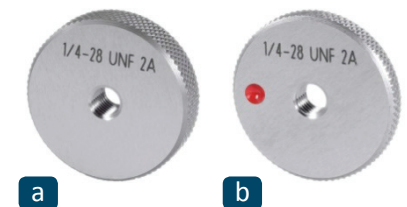
Joonis 4.16. Kahepoolne korkkaliiber (Hoffmann Group)



Joonis 4.17. Korkkaliiber kitseneva ava kontrollimiseks (Hoffmann Group)



Joonis 4.18. Keermekorkkaliiber (Hoffmann Group)



Joonis 4.19. Keermekorkkaliiber: a) läbiv, b) mitteläbiv (Hoffmann Group)

Keermesammu saab kontrollida keermekammiga. Kõige sagedamini kasutatakse keermekamme, mis pannakse keermepaale. Mõõtmiseks tuleb panna keermekammi leht keermeprofiili vastu (joonis 4.20). Kui keermepaale ja lehe samm on samad, paigutub leht täpselt mõõdetava keermepaale profiilile. Väga täpsete keermesammude mõõtmiseks kasutatakse mikroskoopi. Väliskeermepaale läbimõõtu saab mõõta keermekruvikuga. Keermepaale keskläbimõõtu saab mõõta kolme traadi meetodiga. Selle meetodi korral pannakse mõlemalt poolt keermepaale sisse kolm sama läbimõõduga traati. Keermepaale läbimõõtu peab olema selline, et traadid puudutavad keermepaale profiili keskläbimõõdul. Seejärel kasutatakse keermepaale välisläbimõõdu mõõtmiseks kruvikut ja andmeid kasutatakse keermepaale keskläbimõõdu arvutamiseks.

Detaili pinda mikromeetria kontrollimiseks on mitmeid vahendeid, mis mõõdavad pinda kontaktiga, kontaktivaba või subjektiivse meetodi abil.

Töötamiskohal kontrollitakse pinnakaredust sageli ilma mingite vahenditeta ehk subjektiivset meetodit kasutades, nt võrreldes pinnakaredust näidiseempariga – karedusetaloniga. Karedusetalonid on

ette nähtud erinevate töötlusmeetodite ja materjalide võrdlemiseks (joonis 4.21). Komplekt pannakse kontrollitava pinnale ja sobiv pinnakaredus määratakse visuaalselt.

Kontaktkaredusmõõturid puudutavad pinda spetsiaalse otsakuga, mis libiseb üle mõõdetava pinnale. Samal viisil töötavad ja praktikas sageli kasutatavad karedusmõõturid annavad pinnakareduse Ra kvantitatiivsed karakteristikud (joonis 4.22).

Selliseid jälgimispeaga karedusmõõtureid kalibreeritakse pinnakareduse standardkomplektiga. Kontaktivaba karedusmõõtureid kasutatakse ainult laborites.

PRAKTILINE NÕUANNE

Enne detaili mõõtmist kalibri või muu mõõteseadmega on soovitatav kontrollida, et mõõteseadme on kalibreeritud ja detailile ei ole töötlemisest jäänud kraate.



Joonis 4.20. Keermekammi lehed: a) lehtede komplekt (Mitutoyo America Corporation) ja b) keermesammu mõõtmine keermepaale katmisega pealt (World Wide Metric, Inc.)



Joonis 4.21. Karedusetalonide komplekt (Hoffmann Group)



Joonis 4.22. Kontaktivaba karedusmõõtur (Mahr GmbH)

5. CNC TÖÖPINKIDE PROGRAMMEERIMINE



5. CNC TÖÖPINKIDE PROGRAMMEERIMINE

5.1. Ettevalmistavad ja abifunktsioonid APJ trei- ja freespinkide programmeerimisel

Lihtsamat laadi APJ-pingi juhtprogrammi on võimalik sisestada üksikute tähemärkide ja sümbolitena otse tööpingi juhtpulti klaviatuurilt. Teine võimalus juhtprogrammi loomiseks on kasutada juhtpulti sisseehitatud interaktiivset programmeerimise keskkonda. Tänapäeval kõige võimekamaks juhtprogrammide loomise tööriistaks võib pidada spetsiaalset CAD/CAM arvutiprogrammi, paketti. Igal juhul tuleb APJ-pingi töötajal koostada programm selliselt, et see oleks tööpingi juhtsüsteemile arusaadav ja üheselt tõlgendatav. Käesolevalt on enamlevinud programmeerimine formaadis mille struktuur on üldjoontes kirjeldatud standardiga ISO 6983 ja sellest tulenevalt leiab praktikas selle programmeerimiskeele kohta kasutamist väljend „ISO-kood“. Samuti kasutatakse terminit „G-kood“. See on ajendatud asjaolust, et sellise juhtprogrammi koostamisel kasutatakse rohkelt ettevalmistvaid funktsioone mida programmis kirjeldatakse sümboliga „G“. Juhtprogramm mis on koostatud väljaspool juhtpulti tuleb esmalt kopeerida kontrolleri mälusse. Selleks on erinevad tehnoloogilised võimalused, neist kaasaegsemad on programmi edastamine üle arvutivõrgu või mõne portatiivse andmekandja (mälukaart, mälu pulk) abil. Järgnevalt kirjeldatakse põgusalt juhtprogrammi koostamise loogikat APJ-tööpingi kontrollerrisse sissehitatud interaktiivse programmeerimiskeskonna baasil. Fanuc-i tüüpi kontrollritel on üheks selliseks keskkonnaks näiteks Manual Guide i. Sõltumata sellest, et millisel viisil koostatakse juhtprogramm on tarvis välja mõelda detaili töötlemistehnoloogia. Interaktiivse graafilise programmi algsuses tuleb luua detaili ja tooriku geomeetria. Sõltuvalt kasutatava kontrollerist on võimalik programmi koostamiseks üleslaadida

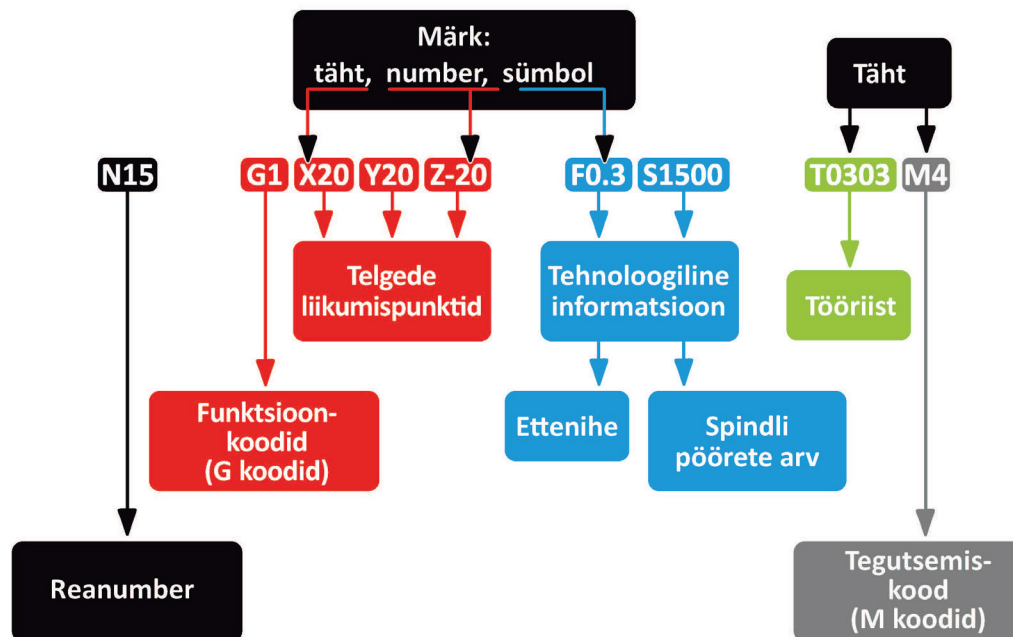
detailijoonis näiteks dxf-formaadis. Töötlemistehnoloogia järgmiseks etapiks on lõiketöötlemise etappide ja nende režiimide määramine. Igaks lõiketöötlemise operatsiooniks tuleb määrata vastav lõikeinstrument. Valminud programmi töökindlust ja ohutust saab kontrollida juhtprogrammi simuleerimisega. Üldiselt on enamikel kontrollritel selline simuleerimise võimalus olemas. Interaktiivsel graafilisel meetodil loodud detaili juhtprogrammi koostamisel ei pea operaator ISO-koodi sümbolite haaval juhtpulti sisestama. Kood genereeritakse automaatselt kontrolleri poolt. Enamjaolt on kontrollerrites olemas tekstitöötlemise võimekus juhtprogrammi loomiseks otse ISO koodis. Selline juhtprogrammi kood on universaalne ja seda on võimalik kopeerida erinevate kontrollerritega APJ-tööpinkide vahel.

5.1.1. Juhtprogrammi struktuur

APJ/CNC tööpinkide juhtprogramm koosneb järjestikkudest standardses formaadis esitatud sümbolitest. Juhtsüsteemis täidetakse juhtprogramm lausete kaupa selliselt, et lõpp-tulemusena valmib nõutud geomeetria ja täpsusega detail. Juhtprogramm peab olema koostatud selliselt, et see oleks juhtsüsteemile, kontrollerile üheselt arusaadav. Kood eraldatakse lauseteks, laused koosnevad sõnadest, sõnad omakorda adressaadist ja arvsõnast. Enimkasutatavad adressaadid on erinevad ettevalmistavad ja abifunktsioonid mida juhtprogrammis tähistatakse erinevate G ja M käskudega.

Juhtprogrammi lausetele on võimalik, aga mitte tingimata vajalik lisada lausenumber. Programmi lause ülesehitust selgitab Joonis 5.1.

Kood koosneb sümbolitest. Sümboliteks on numbrid, tähed, märgid. Programmi koostamisel tuleb kasutada suurtähti. Sümbolite abil pannakse kirja programmi sõna mis algab adressaadiga millele järgneb arvsõna. Adressaat esitatakse ladinatähestiku suurtähega ja sellele järgnevalt (ilma tühikuta) kirjutatakse arvsõna. Järjestikused sõnad moodustavad programmi lause. Lugemise ja arusaamise hõlbustamiseks on soovituslik sõnad lauses eraldada tühikutega. Laused eraldatakse üksteisest spetsiaalse lauselõpu sümboliga.



Joonis 5.1. NC lause struktuur

Lausenumbrit tähistav sõna programmi koodis hakkab adressaadiga „N“ millele järgneb arvsõna täisarvu kujul. Numbrite arv täisarvus võib varieeruda. Arvsõna võimalik kümnendkohtade arv on määratud juhtsüsteemis. Arvsõna aktiveerib spetsiaalse funktsioonis, seadistab parameetri, koordinaadi vms väärtuse. Näiteks, adressaatidele G ja M järgnevad arvsõnad kirjeldavad ettevalmistavat või abifunktsiooni; adressaadile T järgnev arvsõna määrab tööriista numbrit; adressaadile F järgneb ettenihke väärtus; S ja spindli pöörlemissagedus jne. (Joonis 5.2).

APJ juhtprogrammis kasutatavate erinevate adressaatide kohta leiab täiendavaid selgitusi käesoleva õppevahendi peatükkidest 5.1.2 ja 5.1.3.

- N** Lausenumber
- G** G kood (ettevalmistav funktsioon)
- X** tööpingi lineaartelgede koordinaadid X, Y, Z tähistavaid adressaate
- Y**
- Z**
- F** ttenihke ((mm/rev või mm/min.) sõltuvalt valikust)
- S** Spindli pöörlemissagedus
- T** Tööriista valik
- M** M käsk (abifunktsioon)

Joonis 5.2. Sõnad juhtprogrammi lauses

Juhtprogrammi kirjutamisel, koostamisel tuleb programmi laused üksteisest eraldada, Joonis 5.3.

APJ/CNC tööpingi juhtsüsteem tunneb ära ja oskab „lugeda“ korrektselt koostatud ja vormidatud juhtprogrammi. Kood algab reeglina sõnast adreessadiga O ja selle järel olevast arvsõnast mis tähistab ühtlasi programmi numbrit. Programm lõppeb programmi lõpu tähisega. Programmi teksti saab lisada kommentaare. Need ei juhi tööpingi tööd, vaid on ainult informatsiooniks teistele programmi lugejale. Näiteks, pärast uue tööriista väljakutsumist programmis on mõistlik lisada selle juurde kommentaar koos tööriista kirjeldusega.

PRAKTILINE NÕUANNE

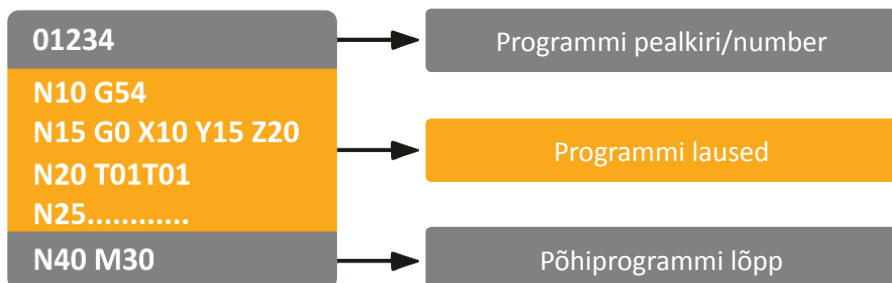
Juhtprogrammi esmasel kasutamisel on soovituslik tööpingi kiirliikumise kiirus piirata vähemalt 25% peale ning programmi käivitada lausete kaupa.

5.1.2. Ettevalmistavad funktsioonid (G-käsud)

Üldiselt, programmi sõnad mis hakkavad adreessadiga G on ettevalmistavad funktsioonid. Kõnekeeles kasutatakse nende kirjeldamiseks sagedalt terminit „G-koodi“ käsud. Programmis järgneb adreessadile G kahe-kolme kohaline arvsõna. Ettevalmistavate funktsioonidega seadistatakse juhtsüsteem järgneva töörežiimi tarbeks. Suuremas osas puudutavad G-käsud tööpingi liikumisi koordinaattelgedel. Näiteks, kood „G02“ häälestab kontrolleri täideviima liikumist ettenihkega ringjoonel päripäeva; „G03“ programmeerib sama asja, aga vastupäeva suunas. Liikumistega mitte-seotud G-käskude näitena käsud G20 ja G21 mis häälestavad kontrolleri töötama vastavalt toll- või meetermõõdustikus.

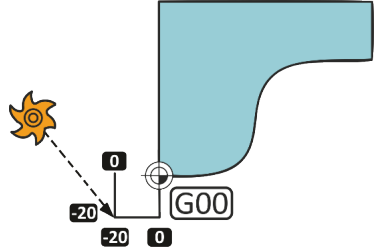
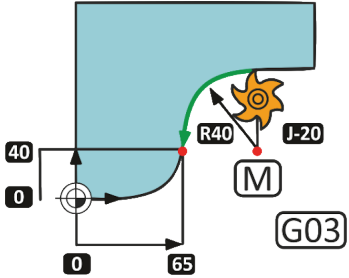
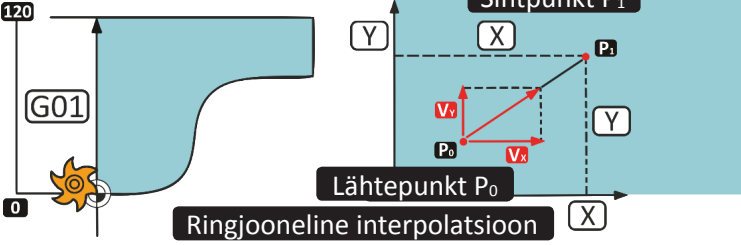
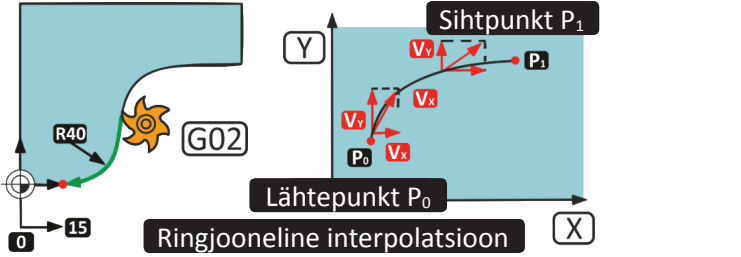
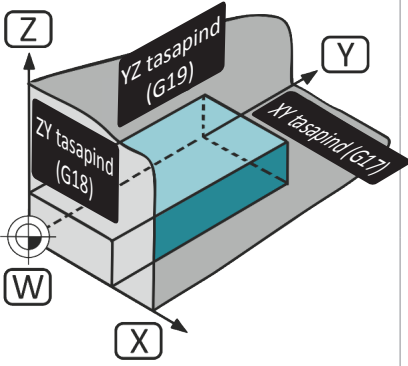
Enamus ettevalmistavad funktsioonid, G-käsud, on kontrollritel samasuguse tähendusega sõltumata konkreetsest tootjast. Siiski, eksisteerib erisusi ja selles osas on oluline uurida konkreetse tootja juhtsüsteemi kasutusjuhendit. Samuti võib ettevalmistavate funktsioonide tähendus sõltuda tööpingist. Treimisel ja freesimisel on mõned funktsioonid sama kirja- ja pildiga, aga erineva tähendusega.

SPV (CNC) programa

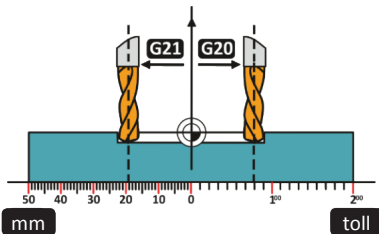
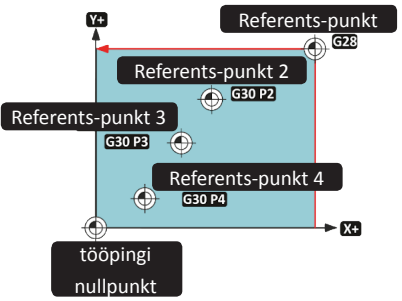


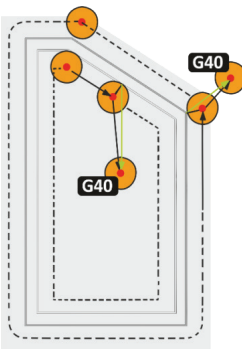
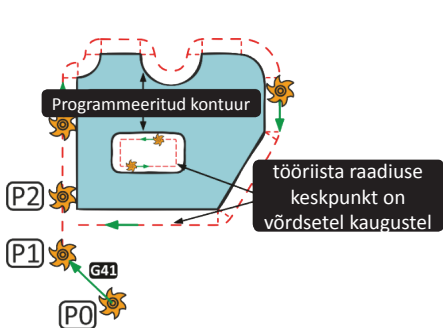
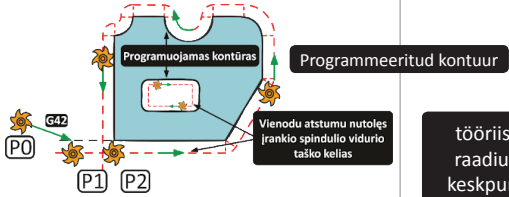
Joonis 5.2. Sõnad juhtprogrammi lauses

Tabel 5.1. Enamlevinud G koodid CNC töötlemiskeskuste juhtprogrammide koostamiseks

G kood	G koodi kirjeldus / koodi lause struktuur	G kood	G koodi kirjeldus / koodi lause struktuur	
G00	<p>Kiirliikumine</p> <p>Koodi lause: G0 X-20 Y-20</p> 	G03	<p>0,8 Ringjooneline liikumine, vastupäeva ettenihkega</p> <p>Kood: G3 X65 Y40 R40 F...</p> <p>R –kaare raadius</p> 	
G01	<p>Lineaarne liikumine (ettenihkega F(mm/min))</p> <p>Kood: G1 X0 Z-Y120 F...</p> <p>F – ettenihe</p> 	G04	Viivitus (aeg P sekundites)	
G02	<p>Ringjooneline liikumine päripäeva ettenihkega</p> <p>Kood: G2 X15 Y0 R40 F...</p> <p>R – kaare raadius</p> 	G09	Liikumise pidurdamine (täpne peatus). Mittemodaalne ettevalmistav funktsioon st. kehtib ainult ühe lause piires.	
		G10	Korrektsoonide muutmine programmisiseselt	
		G11	Andmete tühistamine	
		G12.1	Polaarkoordinaadistiku sisse lülitamine	
		G13.1	Polaarkoordinaadistiku väljalülitamine	
		G17	XY töötasandi valik	
		G18	XZ töötasandi valik	
		G19	YZ töötasandi valik	

Tabel 5.1. Järg

G kood	G koodi kirjeldus / koodi lause struktuur
G20	Programmeerimine toll-möödustikus Kood: G20 
G21	Programmeerimine meetermöödustikus Kood: G21
G27	Referents-punkti kontroll
G28	Tagasiliikumine tööpingi nullpunkti Kood: G28 X... Y... Z... 
G29	Tagasiliikumine referents-punktist
G30	Tagasiliikumine referents-punkti 2, 3 and 4
G31	Programmirea eiramine
G35	Tööriista diameetri automaatne mõõtmine
G36	Detaili koordinaatsüsteemi nullpunkti seadmine
G37	Automaatne tööriista pikkuse kompensatsiooni seadistamine
G39	Ringjooneline liikumine nurgakontuuride nihutamisega

G kood	G koodi kirjeldus / koodi lause struktuur
G40	Freesi raadiuse korrektsooni tühistamine 
G41	Freesi raadiuse korrektsoon vasakule Kood: G41 G01 X... Y... 
G42	Freesi raadiuse korrektsoon paremale Kood: G42 G01 X... Y... 

Tabel 5.1. Järg

G kood	G koodi kirjeldus / koodi lause struktuur
G43	<p>Tööriista pikkuse korrekt-sioon - positiivne</p> <p>Kood: N... T08 M06 N... S... F... M...</p> <p>N... G43 G0 Z5 H08 (pikkuse kompensatsiooni väljakutsumine)</p> <p>N... G0 X... Y...</p> <p>N... G41 G1 X-10 Y-10 D08 (freesi raadiuse kompen-satsiooni sisse lülitamine)</p>
G44	Tööriista pikkuse kompensatsioon - negatiivne
G45	Tööriista pikkuse kompensatsiooni parandi sisseviimine - suurendamine
G46	Tööriista pikkuse kompensatsiooni parandi sisseviimine - vähendamine
G47	Tööriista pikkuse kompensatsiooni parandi sisseviimine – suurendamine 2x
G48	Tööriista pikkuse kompensatsiooni parandi sisseviimine – vähendamine 2x
G49	Tööriista pikkuse kompensatsiooni tühistamine
G50	<p>Mõõtkava muutmise tühistamine</p> <p>Kood: G50</p>

G kood	G koodi kirjeldus / koodi lause struktuur
G51	<p>Mõõtkava muutmise/ska-leerimise aktiveerimine</p> <p>Kood: G51 I-1000 J-1000</p> <p>I – kaugus esialgsest null-punktist piki X-telge</p> <p>J – kaugus esialgsest null-punktist piki Y-telge</p>
G52	<p>Koordinaatsüsteemi ajuti-ne nihutus</p> <p>Kood: G52 X... Y... Z...</p>
G53	Tööpingi koordinaatsüsteem
G54	Koordinaatsüsteemi nihutus
G55	Koordinaatsüsteemi nihutus
G56	Koordinaatsüsteemi nihutus
G57	Koordinaatsüsteemi nihutus
G58	Koordinaatsüsteemi nihutus
G59	Koordinaatsüsteemi nihutus
G60	Liikumine fikseeritud suunas
G61	Täpse peatuse töörežiim
G64	Täpse peatuse töörežiimi tühistamine

Tabel 5.1. Järg

G kood	G koodi kirjeldus / koodi lause struktuur	
G65	Makroprogrammi väljakutsumine	
G68	Koordinaatsüsteemi pööramine Kood: G68 X... Y... R... X/Y – tugipunkt ümber mille pööramine toimub R – pöörenurk	
G69	Koordinaatsüsteemi pööramise katkestamine Kood: G69	
G70	Andmesisetus tollides	
G71	Andmesisetus millimeetrites	
G72	Avade puurimine sirgjoonele	
G73	Avade töötlemise tsükliid Kood: N... G98 (G99) G73 X... Y... Z... R... Q... F... K... X/Y – ava asukoha koordinaadid Z – ava töötlemise sügavus piki Z-telge R – vahetasandi asukoht Z-teljel Q – ühe läbimiga puuritava kihi paksus F – ettenihke väärtus K – korduste arv G91 režiimis SP – lähtetasapind	
G74	Vasakpoolse keerme lõikamine Kood: N... G98 (G99) G74 X... Y... Z... R... P... F... K... X/Y – ava asukoha koordinaadid Z – ava töötlemise sügavus piki Z-telge R – vahetasandi asukoht Z-teljel P – viivituse kestus F – ettenihke väärtus K – korduste arv G91 režiimis	
G76	Täppispuurimine	
G77	Hõõritsemine	
G80	Töötlemistsükli tühistamine Kood: G80	
G81	Puurimine Kood: G98 (G99) G81 X... Y... Z... R... F... K... X / Y – ava asukoha koordinaadid Z – ava töötlemise sügavus piki Z-telge R – vahetasandi asukoht Z-teljel F – ettenihke väärtus K – korduste arv G91 režiimis	

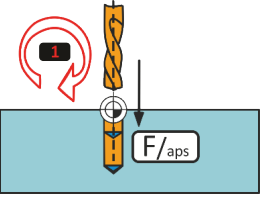
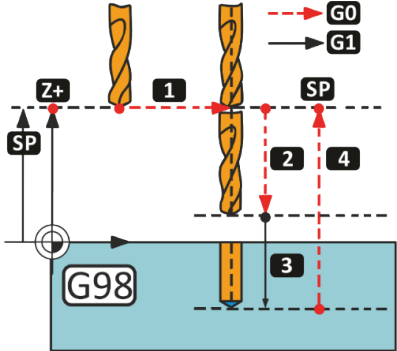
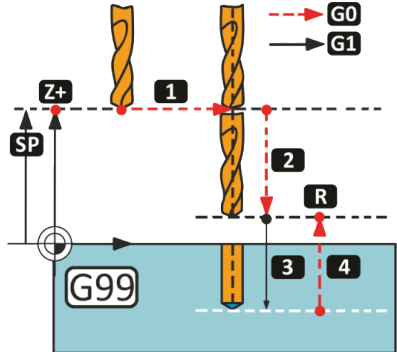
Tabel 5.1. Järg

G kood	G koodi kirjeldus / koodi lause struktuur
G82	<p>Puurimine viivitusega</p> <p>Kood: G98 (G99) G82 X... Y... Z... R... P... F... K...</p> <p>X/Y – ava asukoha koordinaadid Z – ava töötlemise sügavus piki Z-telge R – vahetasandi asukoht Z-teljel P – viivituse kestus F – ettenihke väärtus K – korduste arv G91 režiimis</p>
G83	<p>Puurimine laastu murdmise ja avast väljatoomisega</p> <p>Kood: G98 (G99) G83 X... Y... Z... R... Q... F... K...</p> <p>X/Y – ava asukoha koordinaadid Z – ava töötlemise sügavus piki Z-telge R – vahetasandi asukoht Z-teljel P – viivituse kestus F – ettenihke väärtus K – korduste arv G91 režiimis</p>
G84	<p>Parempoolse keerme lõikamine</p> <p>Kood: G98 (G99) G84 X... Y... Z... R... P... F... K...</p> <p>X/Y – ava asukoha koordinaadid Z – ava töötlemise sügavus piki Z-telge R – vahetasandi asukoht Z-teljel P – viivituse kestus F – ettenihke väärtus K – korduste arv G91 režiimis</p>
G85	<p>Hõõritsemine</p> <p>Kood: G98 (G99) G85 X... Y... Z... R... F... K...</p> <p>X/Y – ava asukoha koordinaadid Z – ava töötlemise sügavus piki Z-telge R – vahetasandi asukoht Z-teljel P – viivituse kestus F – ettenihke väärtus K – korduste arv G91 režiimis</p>

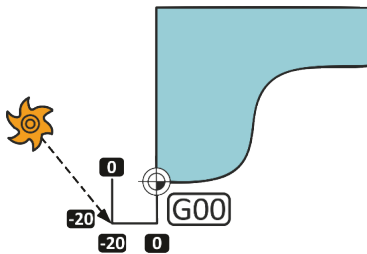
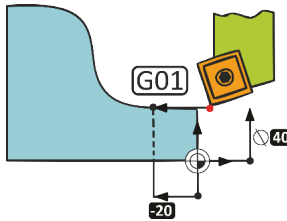
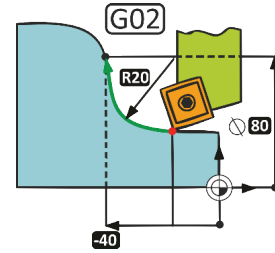
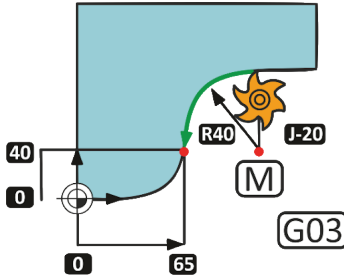
Tabel 5.1. Järg

G kood	G koodi kirjeldus / koodi lause struktuur
G86	<p>Puurimine, hõõritsemise spindli seiskamisega</p> <p>Kood: G98 (G99) G86 X... Y... Z... R... F... K...</p> <p>X/Y – ava asukoha koordinaadid Z – ava töötlemise sügavus piki Z-telge R – vahetasandi asukoht Z-teljel P – viivituse kestus F – ettenihke väärtus K – korduste arv G91 režiimis</p>
G87	Vastupuurimine, hõõritsemise. Liikumisega altpoolt üles
G88	Puurimine, hõõritsemise koos programmeeritava seiskamisega
G89	<p>Puurimine, hõõritsemise koos pausiga</p> <p>Kood: G98 (G99) G89 X... Y... Z... R... P... F... K...</p> <p>X/Y – ava asukoha koordinaadid Z – ava töötlemise sügavus piki Z-telge R – vahetasandi asukoht Z-teljel P – viivituse kestus F – ettenihke väärtus K – korduste arv G91 režiimis</p>
G90	<p>Absoluutse koordinaatsüsteemi valik</p> <p>Kood: G90 G81 X... Y... Z-15 R+5 F...</p>
G91	<p>Suhtelise koordinaatsüsteemi valik</p> <p>Kood: G91 G81 X... Y... Z-15 R-12 F...</p>
G92	Pöörlemissageduse piiramine
G93	Etteanne programmeeritakse tööriista edasilikumise / minimiseerimise abil
G94	<p>Minutiline ettenihke F, mm/min</p> <p>Kood: G94 F...</p>

Tabel 5.1. Järg

G kood	G koodi kirjeldus / koodi lause struktuur	G kood	G koodi kirjeldus / koodi lause struktuur
G95	Ettenihe pöördele, mm/rev Kood: G95 F...	G102	Kehtivate koordinaatide väljastamine kontrolleri RS-232 porti
		G103	„ettevaatavate“ programmi ridade arvu määramine
G96	Püsiva löikekiiruse programmeerimine, m/min	G107	Silindrilise koordinaadistiku aktiveerimine
G97	Püsiva spindli pöörlemissageduse programmeerimine, rpm Kood: G97 S...	G110 - G129	Välise detaili koordinaatsüsteemi nullpunkti määramine
G98	Liikumine lähtetasandile Z-teljel Kood: G98 G81 X... Y... Z-12 R+3 F...	G136	Detaili koordinaatsüsteemi nullpunkti automaatne määramine
		G141	Tööriista kompensatsioon (ruumiline)
G99	Liikumine vahetasandile Z-teljel Kood: G99 G81 X... Y... Z... R... F...	G143	Tööriista pikkuse kompensatsiooni määramine 5-teljelistes töötlemiskeskustes
		G150	Tasku freesimise tsükkel
G100	Koordinaatsüsteemi peegeldamise tühistamine	G153	5-teljelise tööpingi puurimise tsükkel
G101	Koordinaatsüsteemi peegeldamine	G154	Detaili koordinaatsüsteemi nullpunkt
		G155	Vasakpoolse keerme lõikamine 5-teljelisel tööpingil
		G161	Puurimine 5-teljelisel tööpingil
		G162	Viitega puurimine 5-teljelisel tööpingil
		G163	Puurimine 5-teljelisel tööpingil
		G164	Parempoolse keerme lõikamine 5-teljelisel tööpingil
		G165	Hõõritsemine 5-teljelisel tööpingil
		G166	Hõõritsemine 5-teljelisel tööpingil
		G169	Peatamisega hõõritsemine 5-teljelisel tööpingil
		G174	Vasakpoolse keerme „jäik“ lõikamine 5-teljelisel tööpingil
		G184	Parempoolse keerme „jäik“ lõikamine 5-teljelisel tööpingil
		G187	...

Tabel 5.2. Enamlevinud G koodid CNC treikeskuste juhtprogrammide koostamiseks

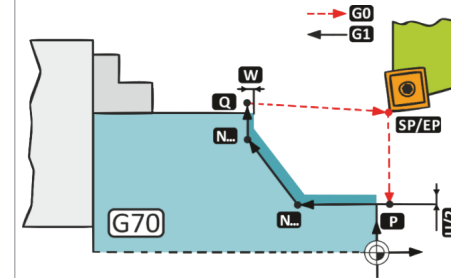
G kood	G koodi kirjeldus / koodi lause struktuur
G00	Kiirliikumine Koodi: G0 X40 Z50 
G01	Lineaarne liikumine ettenihkega F (mm/rev) Kood: G1 X40 Z-20 F... 
G02	Ringjooneline liikumine päripäeva ettenihkega Kood: G2 X80 Z-40 R20 F... R – kaare raadius 
G03	0,8 Ringjooneline liikumine, vastupäeva ettenihkega Kood: 3 X120 Z-60 R20 F... R –kaare raadius 
G04	Viivitus (aeg P sekundites)
G05	Spindli pöörlemisageduse määramine C-teljega tööpinkidel

G kood	G koodi kirjeldus / koodi lause struktuur
G09	Liikumise pidurdamine (täpne peatus). Mittemodaalne ettevalmistav funktsioon st. kehtib ainult ühe lause piires.
G10	Sisendandmete programmeerimine
G11	Andmete tühistamine
G12.1	Polaarkoordinaadistiku sisse lülitamine
G13.1	Polaarkoordinaadistiku väljalülitamine
G14	Spindli programmeerimine
G15	Spindli programmeerimine katkestus
G17	XY töötasandi valik
G18	XZ töötasandi valik
G19	YZ töötasandi valik
G20	Programmeerimine tollmõõdustikus
G21	Programmeerimine meetermõõdustikus
G27	Referents-punkti kontroll
G28	Tagasiliikumine tööpingi nullpunkti
G29	Tagasiliikumine referents-punktist
G30	Tagasiliikumine referents-punkti 2, 3 and 4
G31	Programmirea eiramine
G32	Keermestamise funktsioon
G40	teriku tipuraadiuse korrigeerimise tühistamine Kood: G40 G01 X... Z...

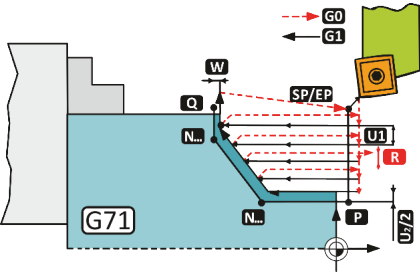
Tabel 5.2. Järg

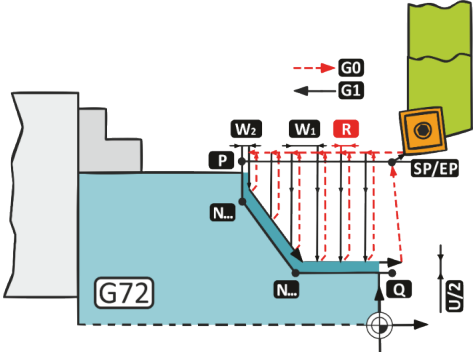
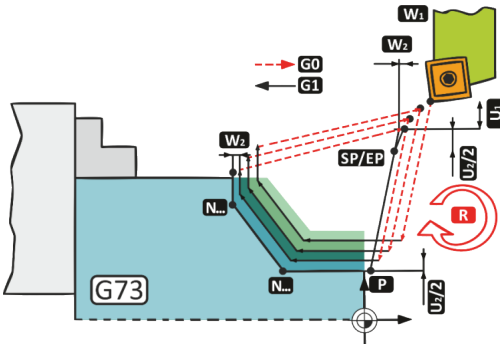
G kood	G koodi kirjeldus / koodi lause struktuur
G41	teriku tipuraadiuse korrektsoon vasakule Kood: G41 G01 X... Z...
G42	teriku tipuraadiuse korrektsoon paremale Kood: G42 G01 X... Z...
G45	Tööriista pikkuse kompensatsiooni parandi sisseviimine - suurendamine
G46	Tööriista pikkuse kompensatsiooni parandi sisseviimine - vähendamine
G47	Tööriista pikkuse kompensatsiooni parandi sisseviimine - suurendamine 2x
G48	Tööriista pikkuse kompensatsiooni parandi sisseviimine - vähendamine 2x
G50	Spindli pöörlemissageduse lubatud maksimumväärtuse piiramine Kood: G50 S...
G52	Koordinaatsüsteemi ajutine nihutus
G53	Tööpingi koordinaatsüsteem

G kood	G koodi kirjeldus / koodi lause struktuur
G54	Koordinaatsüsteemi nihutus
G55	Koordinaatsüsteemi nihutus
G56	Koordinaatsüsteemi nihutus
G57	Koordinaatsüsteemi nihutus
G58	Koordinaatsüsteemi nihutus
G59	Koordinaatsüsteemi nihutus
G61	Täpse peatuse töörežiim
G64	Täpse peatuse töörežiim katkestus
G65	Makroprogrammi väljakutumine
G70	puhastöötlustsükkel Kood: G70 P.. Q.. P – kontuuri PQ esimest koordinaati sisaldava lause nr Q – kontuuri PQ viimast koordinaati sisaldava lause nr U – puhastöötlusvaru X-teljel W – puhastöötlusvaru Z-teljel SP/EP – töötlustsükli algus- ja lõpp-punkt

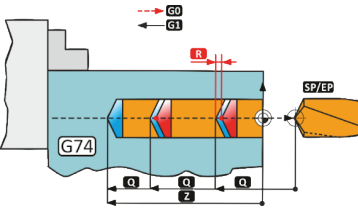
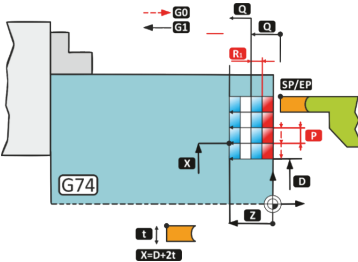
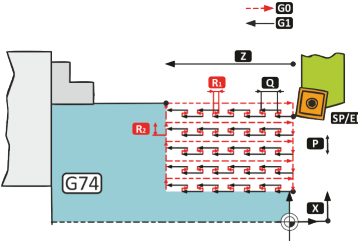
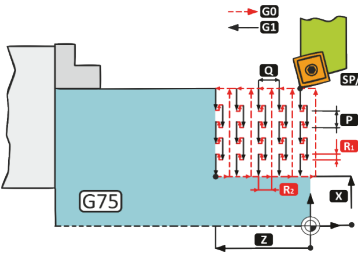


Tabel 5.2. Järg

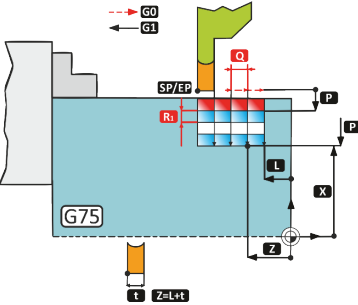
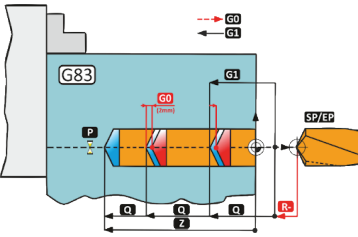
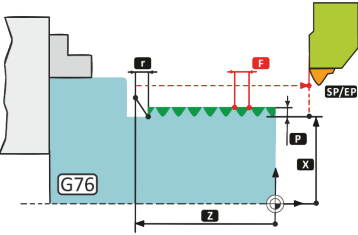
G kood	G koodi kirjeldus / koodi lause struktuur
G71	<p>koorivtöötlustsükkel pikitreimiseks</p> <p>1. Kood: G71 U1... R...</p> <p>U – lõikesügavus, raadiusele, R – töötusvaru</p> <p>2. Kood: G71 P... Q... U2... W...</p> <p>P – kontuuri PQ esimest koordinaati sisaldava lause nr Q – kontuuri PQ viimast koordinaati sisaldava lause nr U – puhastöötusvaru X-teljel W – puhastöötusvaru Z-teljel</p> 
G72	<p>koorivtöötlustsükkel radiaalsuunas treimiseks</p> <p>1. Kood: G72 W1... R...</p> <p>W – lõikesügavus, R – töötusvaru</p> <p>2. Kood: G72 P... Q... U... W2...</p> <p>P – kontuuri PQ esimest koordinaati sisaldava lause nr Q – kontuuri PQ viimast koordinaati sisaldava lause nr U – puhastöötusvaru X-teljel W – puhastöötusvaru Z-teljel</p>

G kood	G koodi kirjeldus / koodi lause struktuur
G72	
G73	<p>kontuuri kopeeriv koorivtöötlustsükkel</p> <p>1. Kood: G73 U1... W1... R...</p> <p>U – kaugus ja suund piki X-telge W – kaugus ja suund piki Z-telge R – koorivtöötuse lõigete arv</p> <p>2. Kood: G73 P... Q... U2... W2...</p> <p>P – kontuuri PQ esimest koordinaati sisaldava lause nr Q – kontuuri PQ viimast koordinaati sisaldava lause nr U – puhastöötusvaru X-teljel W – puhastöötusvaru Z-teljel</p> 

Tabel 5.2. Järg

G kood	G koodi kirjeldus / koodi lause struktuur		G kood	G koodi kirjeldus / koodi lause struktuur	
G74	<p>Töötlemine laastu katkestamisega, piki Z telge. Kolm varianti.</p> <p>Variant 1: Puurimine</p> <p>1. Kood: G74 R...</p> <p>R – vahetasandi määramine</p> <p>2. Kood: G74 Z... Q...</p> <p>Z – töödeldud ava sügavus Q – ühe läbimiga puuritava materjali paksus</p>		G74	<p>Variant 3: soone töötlemine koos laastu katkestamisega</p> <p>1. Kood: G74 R1...</p> <p>R – vahetasandi määramine</p> <p>2. Kood: G74 X... Z... P... Q... R20</p> <p>X – kontuuri diameeter Z – töötlemissügavus Z-telje suunas P – lõikesügavus X-telje suunas Q – lõikesügavus Z-telje suunas</p>	
	<p>Variant 2: pikitreimise koorivtöötlus</p> <p>1. Kood: G74 R 1...</p> <p>R – vahetasandi määramine</p> <p>2. Kood: G74 X... Z... P... Q... R2...</p> <p>X – kontuuri diameeter Z – töötlemissügavus Z-telje suunas P – lõikesügavus X-telje suunas Q – lõikesügavus Z-telje suunas R – vahetasandi määramine</p>			<p>Töötlemine laastu katkestamisega, piki X telge</p> <p>Variant 1: otspinna treimise koorivtöötlus</p> <p>1. Kood: G75 R1...</p> <p>R – vahetasandi määramine</p> <p>2. Kood: G75 X... Z... P... Q... R2...</p> <p>X – kontuuri diameeter Z – töötlemissügavus Z-telje suunas P – lõikesügavus X-telje suunas</p>	

Tabel 5.2. Järg

G kood	G koodi kirjeldus / koodi lause struktuur		G kood	G koodi kirjeldus / koodi lause struktuur	
G75	<p>Q – lõikesügavus Z-telje suunas R – vahetasandi määramine</p> <p>Variant 2: soone töötlemine koos laastu katkestamisega X-telje sihis</p> <p>1. Kood: G75 R1...</p> <p>R – vahetasandi määramine</p> <p>2. Kood: G75 X... Z... P... Q... R20</p> <p>X – kontuuri diameeter Z – töötlemissügavus Z-telje suunas P – lõikesügavus X-telje suunas Q – lõikesügavus Z-telje suunas R – vahetasandi määramine</p>		G76	<p>Z – kerme pikkus R – kerme koonilisus P – kerme sügavus Q – esimese töökäigu sügavus F – ettenihe, kerme samm</p>	
G77			G77	Aktiivinstrumendi programmeerimine	
G80			G80	Töötlemistsükli tühistamine	
G81			G81	Puurimistsükkel avade töötlemiseks tsentrjoonel	
G82			G82	Puurimistsükkel viivitusega avade töötlemiseks tsentrjoonel	
			G83	<p>Puurimistsükkel</p> <p>Variant 1: laastu murdmise ja avast väljatoomisega puurimine</p> <p>Kood: G83 X... Z... R... Q... P... F...</p> <p>X – ava asukoht Z – ava sügavus R – vahetasandi määramine Q – ühe läbimi lõikesügavus Z-telje suunas F – ettenihe P – viivitus pikkus ava põhja töötlemiseks, ms</p>	
G76	<p>keermestustsükkel</p> <p>1. Kood: G76 Pxx xx xx Q1... R1...</p> <p>P – lõikeskeem Q – minimaalne lõikesügavus R – puhastöötlusvaru</p> <p>2. Kood: G76 X... Z... R2 0 P... Q2... F...</p> <p>X – kerme diameeter</p>				

Tabel 5.2. Järg

G kood	G koodi kirjeldus / koodi lause struktuur		G kood	G koodi kirjeldus / koodi lause struktuur		
G83	Variant 2: puurimine koos laastu katkestamisega ja väljatoomisega Kood: G83 X... Z... R... Q... P... F... X – ava asukoht Z – ava sügavus R – vahetasandi määramine Q – ühe läbimi lõikesügavus Z-telje suunas F – ettenihe P – viivitus pikkus ava põhja töötlemiseks, ms		G85	Avade puurimine, hõõritsemine (avad asuvad X-telje tsentrijoonel) Kood: G85 X... Z... R... P... F... X – ava asukoht Z – ava sügavus R – vahetasandi määramine P – viivitus pikkus ava põhja töötlemiseks, ms F – ettenihe		
	Variant 3: puurimine ilma laastu katkestamiseta ja väljatoomiseta Kood: G83 X... Z... R... P... F...			G86	Puurimine, hõõritsemine spindli seiskamisega	
	Avade keermestamine, parempoolne keere Kood: G84 X... Z... R... P 0... F... X – ava asukoht Z – ava sügavus R – vahetasandi määramine P – viivitus pikkus ava põhja töötlemiseks, ms F – ettenihe, kerme samm			G87	Vastupuurimine, hõõritsemine. Liikumisega altpoolt üles	
G84	Avade keermestamine, parempoolne keere Kood: G84 X... Z... R... P 0... F... X – ava asukoht Z – ava sügavus R – vahetasandi määramine P – viivitus pikkus ava põhja töötlemiseks, ms F – ettenihe, kerme samm		G88	Puurimine, hõõritsemine koos programmeeritava seiskamisega		
			G89	Puurimine, hõõritsemine koos pausiga		
			G90	Pikitreimise tsükkel Variant 1: Pikitreimise tsükkel Kood: G90 X... Z... F... Viie erineva diameetri jaoks: Kood: N... G90 X1... Z... F0.25– diameeter $\varnothing X1$ N... X2... –diameeter $\varnothing X2$ N... X3... –diameeter $\varnothing X3$		

Tabel 5.2. Järg

G kood	G koodi kirjeldus / koodi lause struktuur	
G90	<p>N... X4... –diameeter $\varnothing X4$ N... X5... –diameeter $\varnothing X5$</p> <p>Variant 2: koonilise pinna pikitreimine</p> <p>Kood: G90 X... Z... R... F...</p>	
G92	<p>Keerme lõikamise töotsükel</p> <p>Variant 1: silinderkeere</p> <p>Kood: G92 X... Z... F...</p> <p>Variant 2: koonilise keerme töötlemine</p> <p>Kood: G92 X... Z... R... F...</p>	
G94	<p>otspinna töötlemise tsükel</p> <p>Variant 1: tasapinnalise otspinna treimine</p> <p>Kood: G94 X... Z... F...</p> <p>Variant 2: kaldpinnalise otspinna treimine</p> <p>Kood: G94 X... Z... R... F...</p>	
G95	ettenihe pöördele, mm/rev	
G96	Püsiva lõikekiiruse programmeerimine, m/min Kood: G96 S...	
G97	Püsiva spindli pöörlemissageduse programmeerimine, rpm Kood: G97 S...	
G98	<p>minutiline ettenihe F, mm/min</p> <p>Kood: G98 F...</p>	
G99	<p>ettenihe pöördele, mm/rev</p> <p>Kood: G99 F...</p>	
G100	Koordinaatsüsteemi peegeldamise tühistamine	
G101	Koordinaatsüsteemi peegeldamine	
G102	Kehtivate koordinaatide väljastamine kontrolleri RS-232 porti	
G103	„ettevaatavate“ programmi ridade arvu määramine	
G105	Materjali etteandja programmeerimine	
G110	Välise detaili koordinaatsüsteemi nullpunkti määramine	
G111	Välise detaili koordinaatsüsteemi nullpunkti määramine	

Tabel 5.2. Järg

G kood	G koodi kirjeldus / koodi lause struktuur
G112	Ristkoordinaatide XY teisendamine polaarkoordinaatideks XC tööpinkidel millel on aktiivinstrumendid ja programmeeritav C-telg
G113	Ristkoordinaatide XY teisendamine polaarkoordinaatideks XC katkestus
G114 - G129	Koordinaatsüsteemi nihutus
G154	Koordinaatsüsteemi nihutus
G159 - G161	Tooriku tõstmine peaspindli ja kontraspindli vahel
G184	Parempoolse keerme lõikamine
G186	Vasakpoolse keerme lõikamine
G187	Tööpingi täpsuse ja ümmardamise järgu seadmine
G195	Parempoolse keerme lõikamine raadialsuunal aktiivinstrumendiga
G196	Vasakpoolse keerme lõikamine raadialsuunal aktiivinstrumendiga
G200	Turreti positsioneerimine

Ülalesitatud tabelis on kirjeldatud enamkasutatavad ettevalmistavad funktsioonid tootjate Fanuc ja Haas CNC trei- ja töötlemiskeskuste kontrollerite baasil. Samade funktsioonidega on võimalik programmeerida MTS(Mathematisch technische software-entwicklung GmbH, Saksamaa) juhtsüsteeme. Teatud ettevalmistavad funktsioonid ei ole enam kasutatavad uuematel kontrolleritel, aga on siinkohal esitatud, et vajadusel neid kasutada vanema põlvkonna juhtsüsteemidega töötamisel. Igal juhul on oluline, et konkreetse tööpingiga töötamisel tutvutaks eelnevalt selle tööpingi kontrolleris kasutatavate funktsioonide ning nende eripäradega.

5.1.2. Ettevalmistavad funktsioonid (G-käsud)

CNC tööpingi juhtimiseks ja detaili töötlemiseks ei piisa ainult ettevalmistavatest funktsioonidest, G-käskudest, lisaks on vajalikud erinevad abifunktsioonid ehk M-käsud. Siia alla kuuluvad funktsioonid millega juhitakse erinevaid tööpingiga ühendatud seadmeid, lisamooduleid. Abifunktsioonid on jagatud kahte gruppi, esimesse gruppi kuuluvalt juba kirjeldatud funktsioonid tööpingi seadmete juhtimiseks, teise gruppi kuuluvate funktsioonide abil on võimalik kontrollida, juhtida programmi täitmise järjekorda, selle kulgu ehk programmivoogu. Näiteks, teise programmivoogu kontrollivate funktsioonidega on võimalik korraldada tööpingi automaatne töörežiim.

Abifunktsioonidega juhitakse tööpingi komponentide ja pingiga ühendatud lisaseadmete tööd. Spindli käivitamine, pöörlemissuuna määramine, laastu-konveieri sisse lülitamine, tööriista vahetamine, jahutusvedeliku pumba käivitamine, jne.

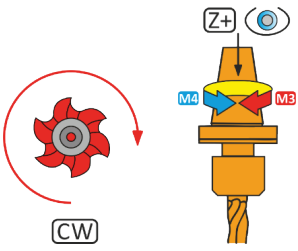
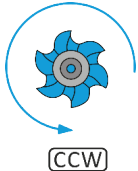

Teine grupp abifunktsioone koosneb käskudest millega juhitakse programmivoogu: programmi lõpetamine, peatamine, alamprogrammide väljakutumine, põhiprogrammi naasmine jne.

Kahte gruppi kuuluvad abifunktsioonid on esitatud Tabelites 5.3 ja 5.4 vastavalt.

Tabel 5.3. CNC töötlemis- ja treikeskustes kasutatavad abifunktsioonid

M käsk	kirjeldus
M00	Programmi peatus ilma kontrolleri lähtestamiseta
M01	Kood: M00
M02	Abifunktsioon M00 põhjustab töötlemisoperatsiooni peatamise

Tabel 5.3. Järg

M käsk	kirjeldus		M käsk	kirjeldus
M03	Spindli käivitamine vastupäeva Kood: M4		M11	Pöördlaua (4nda telje) väljalülitamine
M04	Spindli käivitamine vastupäeva Kood: M4		M12	5nda telje väljalülitamine
M05	Spindli peatamine Kood: M5		M13	5nda telje sisse lülitamine
M06	Tööriista vahetuse väljakutsumine		M16	Tööriista vahetuse väljakutsumine (sama mis M06)
M07	Õhkjahutuse sisse lülitamine		M17/ M18	Palletivahetaja väljakutsumine.
M08	Jahutus-, lõikevedeliku sisse lülitamine Kood: M8 Abifunktsioon M08 lülitab käima jahutusvedeliku pumba. Märkus: kui tööpingis on kaks jahutusvedeliku pumba siis teine pump lülitatakse sisse abifunktsiooniga M07		M19	Spindli pöördenurga fikseerimine
M09	Jahutus-, lõikevedeliku väljalülitamine. Kood: M9		M21– M28	Lisafunktsioonide käivitamine
M10	Pöördlaua (4nda telje) sisse lülitamine		M30	Põhiprogrammi lõpp koos kontrolleri lähtestamisega Kood: M30 Abifunktsioon M30 lõpetab juhprogrammi töö ja „kerib selle tagasi“ algusesse Liikumised kõigil telgedel peatatakse, spindli pöörlemine seisatakse, jahutusvedeliku pump seisatakse; Cycle Start nupule vajutamisega jätkatakse programmi tööd selle algusest
			M31	Laastukonveieri sisse lülitamine
			M33	Laastukonveieri väljalülitamine
			M34	Programmeeritava jahutusvedeliku otsiku liigutamine alla
			M35	Programmeeritava jahutusvedeliku otsiku liigutamine üles
			M41	Käiguvahetus kõige madalamale positsioonile
			M42	Käiguvahetus kõige kõrgemale positsioonile
			M50	Palettivahetus

Tabel 5.3. Järg

M käsk	kirjeldus
M51– M68	Lisafunktsioonide käivitamine
M75	Mõõtmiste baaspunkti seadistamine
M76	Ekraanikuva „külmutamine“
M77	Ekraanikuva uuendamine
M78	Veateate kuvamine mõõtmis-tsükli siseselt kui vastav signaal on sondilt saanud käskude G31, G36 ja G37 täitmisel
M79	Veateate kuvamine mõõtmis-tsükli siseselt kui vastav signaal puudub sondilt saanud käskude G31, G36 ja G37 täitmisel
M80	Tööpingi turvaukse avamine
M81	Tööpingi turvaukse sulgemine
M82	Tööriista vabastamine spindlist (NB! Reeglina kasutavad seda tööpingi väljaõppinud hooldustehnikud)
M83	Jahutusventilaatori sisse lülitamine
M84	Jahutusventilaatori väljalülitamine
M86	Tööriista haaramine spindlisse (NB! Reeglina kasutavad seda tööpingi väljaõppinud hooldustehnikud)
M88	Läbispindli jahutuse sisse lülitamine
M89	Läbispindli jahutuse väljalülitamine
M95	Viide
M96	Liikumine juhtprogrammi etteantud numbriga reale
M97	Alamprogrammi väljakutsumine põhiprogrammist

M käsk	kirjeldus
	Alamprogrammi väljakutsumine eraldi programmifailist
	Kood: M98 P34321
	Põhiprogrammist kutsutakse välja alamprogramm numbriga 04321, näiteks mingi kindla kontuurijoone lõikamiseks.
	Alamprogrammi tegevusi on võimalik korrata kuni 999 korda.
	Alamprogramm võib omakorda kutsuda välja alamprogrammi.
	Selliselt on võimalik kuni nelja kihiline programmide omavaheline väljakutsumise ring.
M98	<p>The diagram illustrates a call sequence between a main program (Põhiprogramm) and a subprogram (Alamprogramm). The main program has a call instruction N30 M98 P34321. The subprogram has a return instruction N40 M99. A red box with '3x' and arrows indicates that the subprogram is called three times from the main program.</p>
	Korratavate tegevuste täitmiseks kirjutatakse need eraldi alamprogrammi mis vajadusel kutsutakse välja ja täidetakse soovitud arv kordi.
	Pärast alaprogrammi täitmist naastakse põhiprogrammi

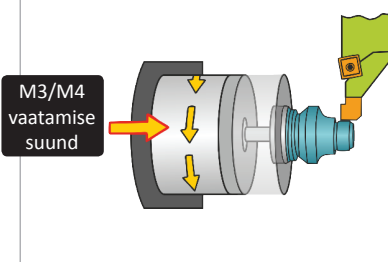
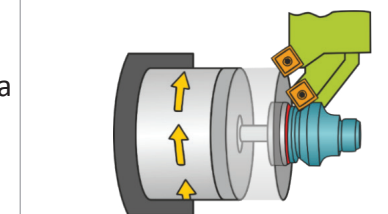
Tabel 5.3. Järg

M käsk	kirjeldus
M99	Alamprogrammi lõpp ja naasmine põhiprogrammi Kood: M99 Alamprogrammi töö on täidetud ning programmivoo järg liigub põhiprogrammi
M101	Programmeeritavate jahutusvedeliku otsikute salvestamine
M102	Programmeeritavate jahutusvedeliku otsikute salvestamise lubamine
M103	Programmeeritavate jahutusvedeliku otsikute salvestamise katkestamine
M109	Sisend kontrolleri sõrmistikult

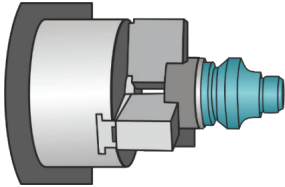
Tabel 5.4. CNC töötlemis- ja treikeskustes kasutatavad abifunktsioonid

M käsk	kirjeldus
M00	Programmi peatus ilma kontrolleri lähtestamiseta Kood: M00 Abifunktsioon M00 põhjustab töötlemisoperatsiooni peatamise Liikumised kõigil telgedel peatatakse, spindli pöörlemine seisatakse, jahutusvedeliku pump seisatakse; Cycle Start nupule vajutamise jätkatakse programmi tööd Võimaldab sooritada abitegevused nagu laastu eemaldamine, detaili mõõtmist ja/või selle ümberpaigutamist

Tabel 5.4. Järg

M käsk	kirjeldus	
M01	Valikuline programmi peatus Kood: M01 Abifunktsioon M01 põhjustab töötlemisoperatsiooni peatamise ainult juhul kui vastav lüliti kontroll-paneelil on sisse lülitatud. Liikumised kõigil telgedel peatatakse, spindli pöörlemine seisatakse, jahutusvedeliku pump seisatakse; Cycle Start nupule vajutamise jätkatakse programmi tööd Juhul kui lüliti ei ole sisse lülitatud siis kontrolleri ignoreerib M01 käsku.	
M02	Programmi lõpp ilma kontrolleri lähtestamiseta	
M03	Spindli käivitamine päripäeva Kood: M3 Pöörlemis-suund määratakse spindli poolt vaadatuna st. spindli poolt tagapuki suunas. Reeglina ühtib see Z-telje „+“ suunaga	
M04	Spindli käivitamine päripäeva Kood: M4	

Tabel 5.4. Järg

M käsk	kirjeldus	
M05	Spindli peatamine Kood: M5	
M08	Jahutus-, lõikevedeliku sisse lülitamine Kood: M8 Abifunktsioon M08 lülitab käima jahutusvedeliku pumba. Märkus: kui tööpingis on kaks jahutusvedeliku pumba siis teine pump lülitatakse sisse abifunktsiooniga M07	
M09	Jahutus-, lõikevedeliku väljalülitamine Kood: M9	
M10	Treipadrundi pakkide sulgemine	
M11	Treipadrundi pakkide avamine	
M12	Tagapuki liigutamine sisse	
M13	Tagapuki liigutamine välja	
M14	Spindli piduri, luku rakendamine	
M15	Spindli piduri, luku mahavõtmine	
M17	Turreti pööramine edasi	
M18	Turreti pööramine tagasi	
M19	Spindli pöördnurga seadmine	
M21	Spindli liigutamine edasi	
M22	Spindli liigutamine tagasi	
M23	Automaatne keerme lõpetamine faasiga, sisse lülitamine	

M käsk	kirjeldus
M24	Automaatne keerme lõpetamine faasiga, väljalülitamine
M21– M28	Lisafunktsioonide käivitamine
M30	Põhiprogrammi lõpp koos kontrolleri lähtestamisega Kood: M30 Abifunktsioon M30 lõpetab juhprogrammi töö ja „kerib selle tagasi“ algusesse Liikumised kõigil telgedel peatatakse, spindli pöörlemine seisatakse, jahutusvedeliku pump seisatakse; Cycle Start nupule vajutamisega jätkatakse programmi tööd selle algusest
M31	Laastukonveieri sisse lülitamine
M33	Laastukonveieri väljalülitamine
M36	Detailipüüdja liigutamine
M37	Detailipüüdja eemaldamine
M38	Spindlipöörete pöörlemissageduse ulatuse piiramine, sisse lülitamine
M39	Spindlipöörete pöörlemissageduse ulatuse piiramine, väljalülitamine
M41	Käiguvahetus kõige madalamale positsioonile
M42	Käiguvahetus kõige kõrgemale positsioonile
M43	Turreti vabastamine
M44	Turreti lukustamine
M51– M68	Lisafunktsioonide käivitamine

Tabel 5.4. Järg

M käsk	kirjeldus
M76	Ekraanikuva „külmutamine“
M77	Ekraanikuva uuendamine
M78	Veateate kuvamine mõõtmis-tsükli siseselt kui vastav signaal on sondilt saanud käsu G31 täitmisel
M79	Veateate kuvamine mõõtmis-tsükli siseselt kui vastav signaal puudub sondilt saanud käsu G31 täitmisel
M85	Tööpingi turvaukse avamine
M86	Tööpingi turvaukse sulgemine
M88	Kõrgsurve jahutuspumba sisse lülitamine
M89	Kõrgsurve jahutuspumba väljalülitamine
M93/ M94	HAASI tööpinkide bar feederi opereerimine
M95	Viide
M96	Liikumine juhtprogrammi etteantud numbriga reale
M97	Alamprogrammi väljakutsumine põhiprogrammist
M98	Alamprogrammi väljakutsumine eraldi programmifailist Kood: M98 P34321 Põhiprogrammist kutsutakse välja alamprogramm numbriga 04321, näiteks mingi kindla kontuurijoone lõikamiseks. Alamprogrammi tegevusi on võimalik korrata kuni 999 korda. Alamprogramm võib omakorda kutsuda välja alamprogrammi. Selliselt on võimalik kuni nelja kihiline programmide omavaheline väljakutsumise ring.

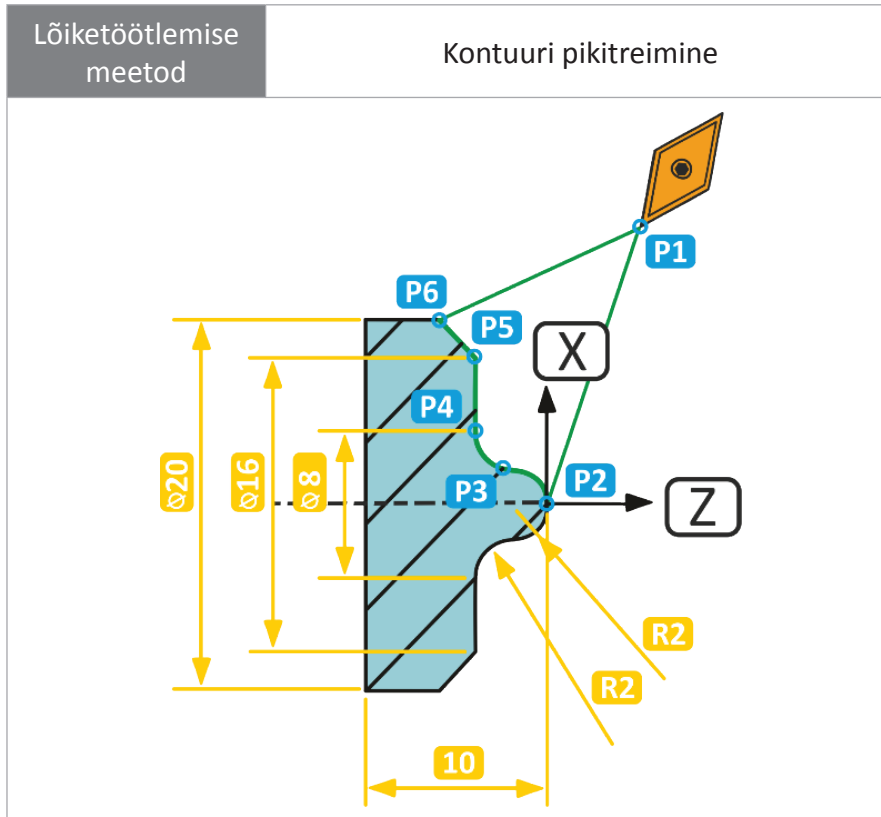
M käsk	kirjeldus
M99	Alamprogrammi lõpp ja naasmine põhiprogrammi Kood: M99 Alamprogrammi töö on täidetud ning programmivoo järg liigub põhiprogrammi
M104	Tööriistamõõtja aktiveerimine
M105	Tööriistamõõtja deaktiveerimine
M109	Sisend kontrolleri sõrmistikult
M119	Lisaspindli pöördnurja kontrollimine
M121– M128	Lisafunktsioonide aktiveerimine
M133	Aktiivinstrumenti spindli käivitamine päripäeva
M134	Aktiivinstrumenti spindli käivitamine vastupäeva
M135	Aktiivinstrumenti spindli peatamine
M143	Lisaspindli käivitamine päripäeva
M144	Lisaspindli käivitamine vastupäeva
M145	Lisaspindli peatamine
M154	Spindli ühendamine C-teljeks, aktiveerimine
M155	Spindli ühendamine C-teljeks, deaktiveerimine

Ülalesitatud tabelis on kirjeldatud enamkasutatavad abifunktsioonid tootjate Fanuc ja Haas CNC trei- ja töötlemiskeskuste kontrollereite baasil. Samade funktsioonidega on võimalik programmeerida MTS(-Mathematisch technische software-entwicklung GmbH, Saksamaa) juhtsüsteeme. Lisaks on esitatud abifunktsioonid erinevate lisaseadmete nagu materjali ettesöötja, detaili-püüdja, paletivahetaja juhtimiseks. Juhul kui tööpingil sellised lisaseadmed puuduvad siis vastavad käsud koodis jäetakse täitmata.

5.1.2. Ettevalmistavad funktsioonid (G-käsud)

Tabelis 5.5 ja 5.6 kirjeldatakse näidistena juhtprogramme kontuuri treimiseks ja freesimiseks.

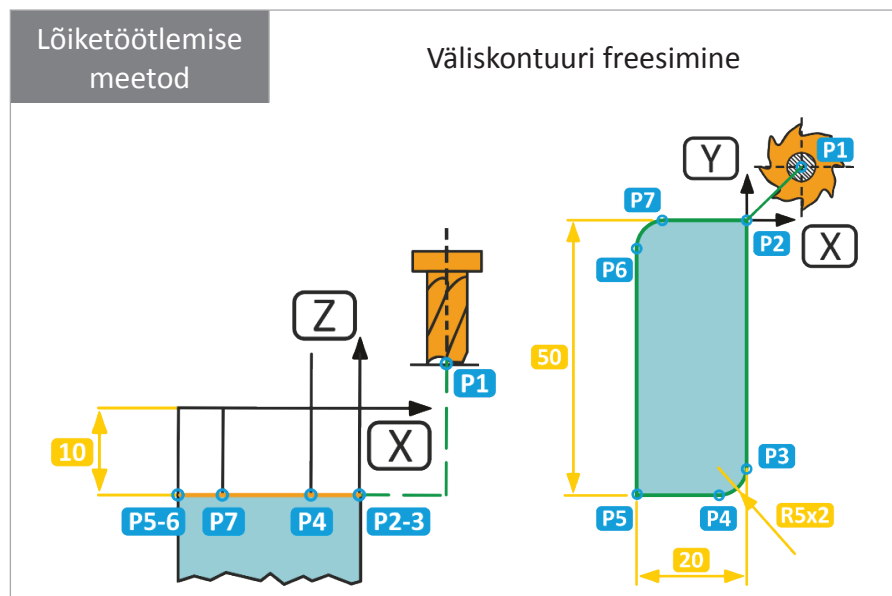
Table 5.5. Juhtprogrammi näidis CNC treipingile – kontuuri treimine



Märkus: Kontuuri treimise kood on siinkohal esitatud ilma teriku tipuraadiuse kompensatsioonita.

Töötlemistehnoloogia G-kood	Töötlemistehnoloogia selgitused
G0 X15 Z15	Teriku viimine lähtepunkti P1
G1 X0 Z0	Teriku liikumine kontuuri alguspunkti juurde P2
G3 X2 Z-2 R2	Raadiuse treimine lõpp-punkt P3
G2 X4 Z-4 R2	Raadiuse treimine lõpp-punkt P4
G1 X8	Vertikaalse kontuuri lõigu treimine, lõpp-punkt P5
G1 X10 Z-6	Faasi treimine, lõpp-punkt P6
G0 X15 Z15	Teriku eemaldumine kontuurist ja viimine tagasi lähtepunkti P1

Tabel 5.6. Juhtprogrammi näidis CNC töötlemiskeskusele – kontuuri freesimine




Töötlemistehnoloogia G-kood	Töötlemistehnoloogia selgitused
G0 X10 Y10 Z5	Tööriista lähtepunkt P1
G0 Z-10	Tööriista viimine tooriku lähedale töötlemisandile liikumisega piki Z-telge
G1 X0 Y0	Tööriista liikumine lõikkesse (tooriku vastu) XY-tasapinnal (punkt P2)
G1 Y-45	Parempoolse külje freesimine piki Y-telge, lõpp-punkt P3
G2 X-5 Y-50 R5	Alumise parempoolse raadiuse freesimine päripäeva ringliikumisega, lõpp-punkt P4
G1 X-20	Alumise külje freesimine piki X-telge, lõpp-punkt P5
G1 Y-5	Vasakpoolse külje freesimine piki Y-telge, lõpp-punkt P6
G2 X-15 Y0 R5	Ülemise vasakpoolse raadiuse freesimine päripäeva ringliikumisega, lõpp-punkt P7
G1 X0	Ülemise külje freesimine piki X-telge, lõpp-punkt P2
G0 X10 Y10	Tööriista väljumine lõikest, liikumine XY-tasandil lähtepunkti P1
G0 Z5	Tööriista eemaldumine toorikust liikumisega piki Z-telge lähtepunkti P1

Märkus: Kontuuri treimise kood on siinkohal esitatud tööriista raadiuse kompensatsioonita.

5.2. APJ seadmete programmeerimise põhimõtted

MTS (Mathematisch Technische Software – Entwicklung, GmbH, Germany) on spetsiaalne programmipakett CNC töötlemisprotsesside programmeerimiseks, seadistamiseks ja simuleerimiseks personaalarvutis. Loodud programmid on hiljem võimalik laadida CNC tööpingi kontrollerrisse füüsiliste detailide töötlemiseks.

MTS programmi käivitamiseks tuleb failimenüüs liikuda kataloogi MTS\MTS CNC-System 7.5\ ja topelt-klikiga käivitada MtsTopStart.exe. Samuti on programm võimalik käivitada töölaua ikooni abil . Programmi käivitamisel kuvatakse kasutajale Joonisel 5.4. esitatud programmiaken.

Failimenüü allolevast ikoonirealt on võimalik valida millist programmi moodulit soovitakse kasutada: TopTurn, TopMill, TopFix, TopCAM 2D, TopCAM 3D või TopTrain.

TopTurn on moodul mis kasutab PAL2009, UTC, Fanuc, Mazak, Siemens juhtsüsteemide ja samuti teiste ISO programmeerimiskeelte koodi. See on mõeldud CNC treipingi juhprogrammide koostamiseks. Seejuures on kasutajale kättesaadavad kõigi kaasaegsete tööpinkide võimalused nagu kontraspindel, aktiivinstrumendid, silindriliste ja kõverpinda töötlemine jne. Mooduli kaudu on võimalik koostada detailid tehnoloogilisi kaarte, programmeerida mitme turretiga tööpinke, simuleerida töötusprotsessi tööradade visualiseerimisega kolmemõõtmelises ruumis.

TopMill on moodul mis kasutab PAL2009, UTC, Fanuc, Heidenhain, Siemens juhtsüsteemide ja samuti teiste ISO programmeerimiskeelte koodi. See on mõeldud CNC töötlemiskeskuste juhprogrammide koostamiseks nende mitme-teljeliseks töötlemiseks. TopMill rakenduse abil saab luua programme erinevate materjalide (metall, plast ja puit) töötlemiseks ning neid hiljem tööpinkide peal rakendada. Lisaks saab töötlemisprotsessi simuleerida ja tööradasid visualiseerida.

TopTrain moodul on mõeldud lihtsamate trei- ja freesoperatsioonide programmeerimiseks, simuleerimiseks.

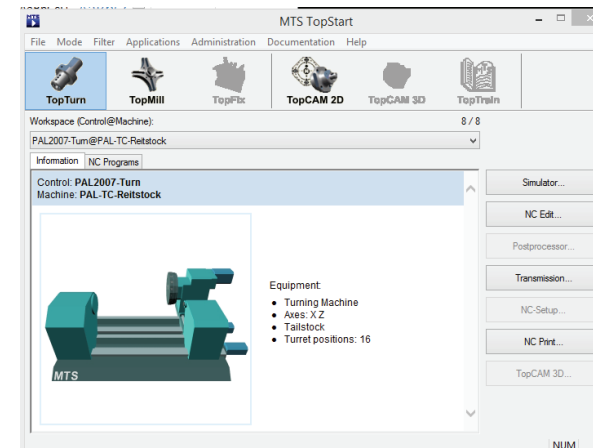
TopFix abil on võimalik kirjeldada detaili toorikut, tööriistu ja nende valikud, määrata kompensatsiooniks vajalike parameetreid jne. Samuti kirjeldada tooriku, detaili nullpunkti ja selle kinnitamist tööpinki.

TopCAM2D paketiga saab luua ja muuta tehnilisi jooniseid. Ennekõike sobib kasutamiseks treidetailide ja 2 ½ freesdetailide geometria loomiseks.

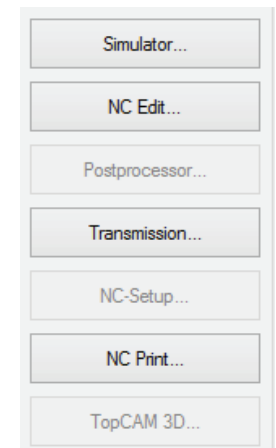
TopCAM 3D on 3D-CAD/CAM programm mitme-telje töötamise tarbeks.

MTS programmi parempoolsest menüüst (Joonis 5.5), saab valida järgmisi funktsioone:

- Simulator – koodi simuleerimine;



Joonis 5.4. MTS programmiaken



Joonis 5.5. MTS programmiakna parempoolne menüü

- NC Edit – programmi muutmine ehk redigeerimine;
- Transmission – juhtprogrammi edastamine, kopeerimine;
- NC-Setup – seadistused;
- NC Print – koodi väljatrükk.

5.2.1. CNC treipingi juhtprogrammide loomine MTS programmiga

Treipingi programmeerimiseks tuleb MTS programmi avaaknas (Joonis 5.4) käivitada TopTurn rakendus.





Seejärel on võimalik määrata, valida konkreetne kontrolleri tüüp, programmeerimiskeel, millele soovitakse programmi luua: PAL, FA-NUC või SINUMERIC

Lähtuvalt tehtud valikust kuvatakse vastav informatsioon eraldi aknas programmiakna alumises osas. Järgnevalt on soovitatav vajutada Simulator nuppu, misjärel kuvatakse kasutajale vastava tööpingi 3D mudel ja saab alustada uue programmi (Joonis 5.6).

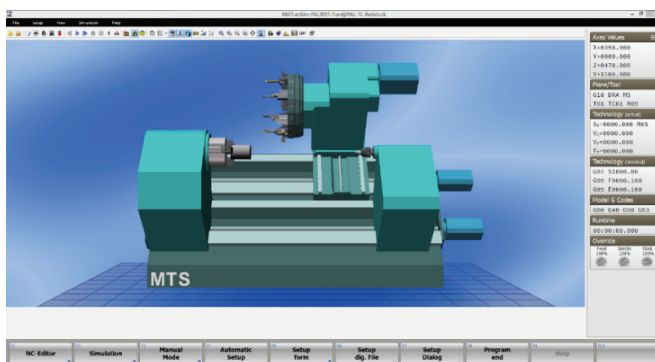
Olemasolevate programmide avamiseks vajutada nuppu NC Programs (*Numeric Control Programs*). Kasutajale kuvatakse programmi loend (Joonis. 5.7).

Treipingi 3D mudeli simulatsiooni aken (Joonis. 5.6)

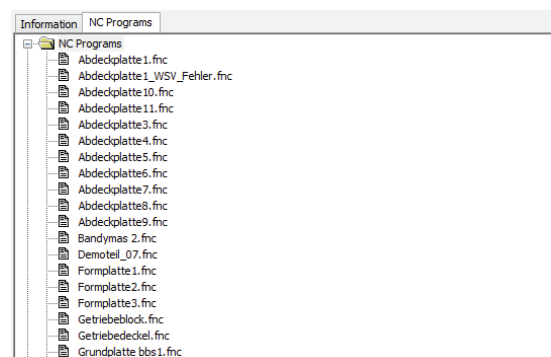
Selle programmiakna menüüriba koos tööriistadega (Joonis. 5.8):

-  Programmide loendi avamine,  Uue programmi loomine,  tööriistade kataloog.
-  Programmi simulatsiooni käivitamine, täitmine lausehaaval edasi või tagasi.

Joonis 5.6.
CNC treipingi 3D mudel



Joonis 5.7.
Programmide loend



Joonis 5.8. Menüüriba





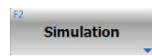

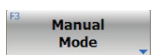

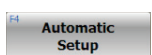
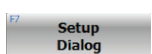

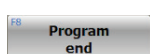
Teiste ikoonide taga peituvate funktsioonide tähendused on esitatud Tabelis 5.7 ja selgitatud edaspidises tekstis.

- Hiirekursori abil on võimalik simulatsiooni juhtida.

Ekraani alaservas olevate tööriistadega (Joonis 5.9) on võimalik aktiveerida erinevaid tööriistu.

Tabelis 5.7 antakse ülevaade tööriistadest, funktsioonidest mis esitatud tööakna ülemisel ja alumisel real

Tabel 5.7. Tööriistade seletused

Alumise menüü-rea tööriistad	Pealkiri	Ülemise menüü-rea tööriistad
	Koodi redigeerimine / <i>NC editor</i>	
	Simuleerimine / <i>Simulation</i>	
	Käsijuhtimine / <i>Manual mode</i>	
	Automaatseaded / <i>Automatic setting</i>	
	Seadistamine / <i>Setup dialog</i>	
	Programmi lõpp / <i>End the program</i>	

Ülemise menüürea kuva tööriistad :



2D vaade (tööpink + detail);




detaili 3D mudel;



3D vaade (tööpink + detail); detaili ristlõige.

Programmi saab kasutada järgnevates simuleerimise režiimides:

1. Automaatrežiim. Detaili lõiketöötlemine simuleeritakse järjest juhtprogrammi järgselt ilma katkestusteta
2. Interaktiivne režiim. Saab kasutada nii programmide loomiseks, redigeerimiseks ja testimiseks. Nimetatakse ka nõ. dialoog-programmerimiseks kus programmi luuakse samm-sammult sisuliselt küsimustele vastamise teel
3. Programmi simuleerimine üksikute järjestikuste lausetena. Iga lause järgselt tuleb kasutajal uus lause välja kutsuda.
4. Tööriista trajektoori esitamine. Tööriista liikumise trajektoori ehk töörada saab visualiseerida kasutades funktsiooni *<Tool Path>* . Programmi simulatsiooni käivitamisel kuvatakse kõik teriku töökäigud






Joonis 5.9. Tööriistad ekraani alaservas

tööradadena 3D ruumis. Erinevate tööriistade töökäigud esitatakse eri värvides (Joonis 5.10).

Simuleerimine ehk sisuliselt juhtprogrammi virtuaalne testimine võimaldab märgata vigu koodis enne selle kasutamist tööpingis. Selliselt hoitakse kokku tööaega ja kasvab tootmise efektiivsus.

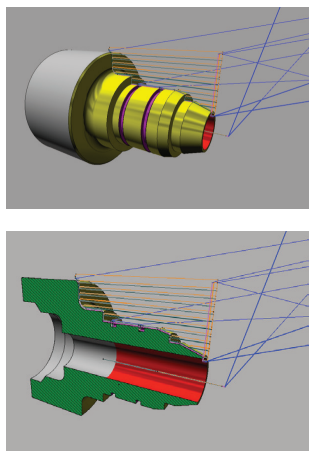
- Mõõtmine ja testimine. Sõltumata hetkel aktiivset režiimist saab kasutaja alati aktiveerida funktsiooni <Measure/3D> (Mõõtmised/3D).

Selle tegemiseks tuleb leida ja vajutada tööriistarealt nupule  (ülemine rida). Mõõtmiste funktsiooni/tööriista abil on võimalik igal töötlemise etapil mõõta pooltoote mõõtmeid.

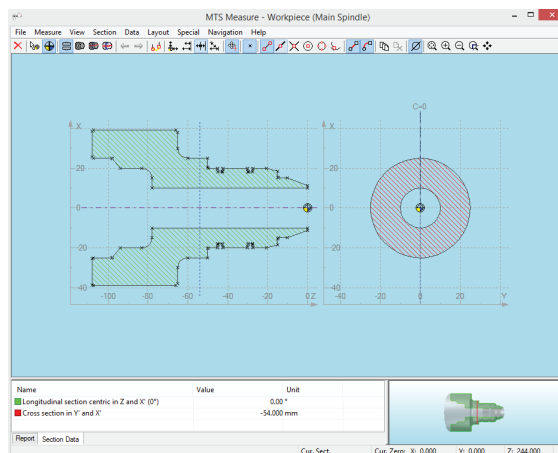
- Tööriista <Measurement/3D>  alt avanevad mõõtmise võimalused mis on sarnased mõõtemasina omadele ning jäljendavad lähedaselt mõõtelabori tegevuste sisu (Joonis. 5.11).
- Pinnakaredus.  Pinnakaredust on võimalik hinnata kasutades tööriista mis avaneb ikooni alt ülemisel tööriista eral. Avanevas aknas on võimalik inspekteerida vastavaid parameetreid (Joonis. 5.12).

Pinnakareduse mõõtmise tööaknas saab mõõta detaili erinevate osade, pindade pinnakareduse parameetrite väärtuseid (Joonis 5.12 üleval vasakul).

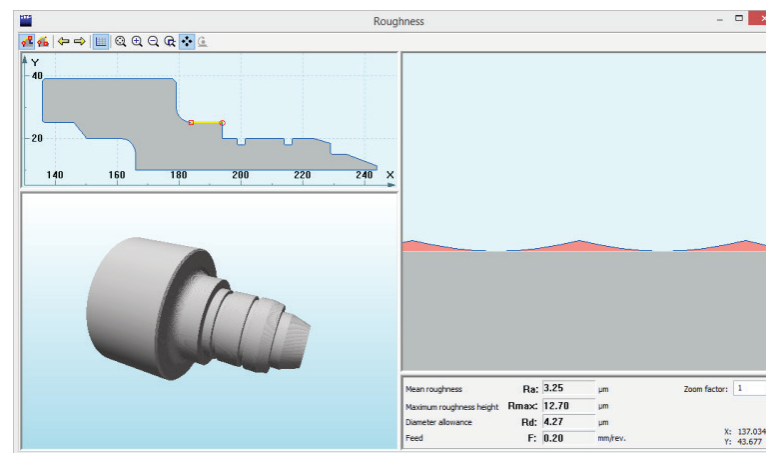
Märkus: esmakordsel programmi kasutamisel on soovituslik alustada tööd automaatrežiimis Seal edasi on kasutajal lihtsam liikuda erinevate teiste režiimide kasutamisele.



Joonis 5.10. Tööradade graafiline esitamine



Joonis 5.11. Mõõtmise ja testimise aken



Joonis 5.12. Pinnakareduse mõõtmise tööriist

UUE JUHTPROGRAMMI LOOMINE VÕI JUBA OLEMASOLEVA PROGRAMMI MUUTMINE, REDIGEERIMINE.

I. Uue programmi loomine



Tööriista tähistav nupp asub ülemisel menüüreal nagu näidatud Joonisel 5.13.

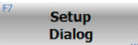


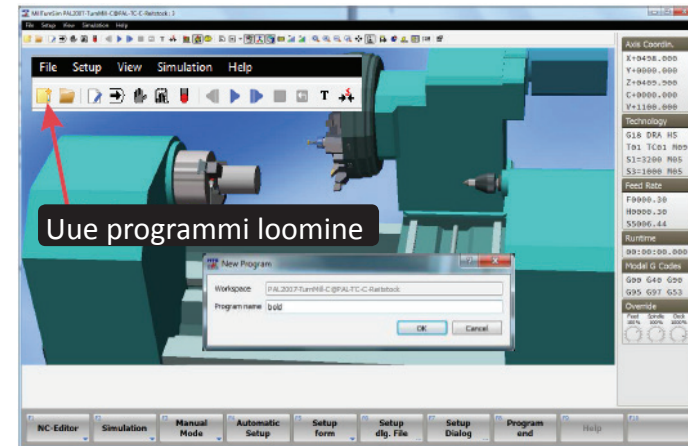
Uue programmi loomist tähistava tööriista ikoonil vajutamise järgselt kuvatakse uus aken nagu näidatud (Joonis 5.14).

Uue programmi loomisel tuleb esiteks anda sellele nimi, näiteks Test 1. See nimi tuleb sisestada dialoogiaknasse nimega *Program Name*, sisestuse kinnitamiseks tuleb klikkida OK nuppu.

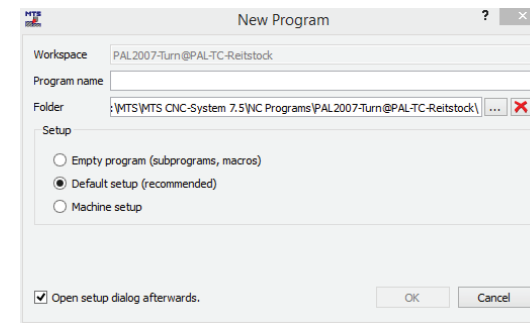
Märkus: Uue juhtprogrammi loomiseks on selle dialoogiakna kasutamine ainukene võimalus.

Oma valiku kinnitamise ja OK nupule vajutamise järgselt avatakse järgmine aken. Selle akna ülemisel tööreal esitatakse järgmised valikud: *General information*, *Workpieces and clamping devices* ja *Tool systems* (Joonis 5.15).

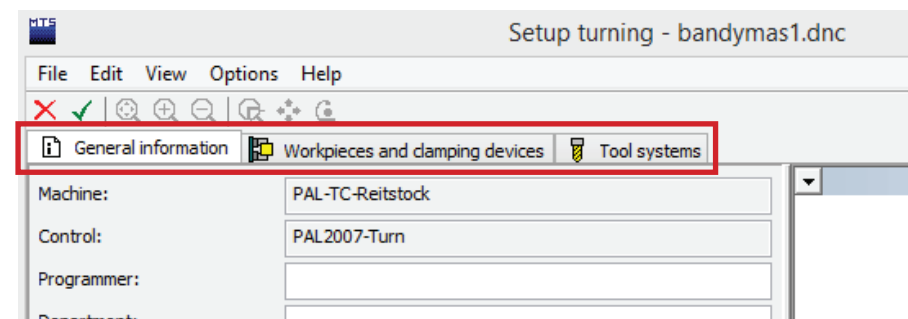
Olemasoleva juhtprogrammi muutmisel on võimalik sama seadistuse dialoogiaknani jõuda ikooni kaudu .



Joonis 5.13. Uue programmi loomise aken




Joonis 5.14. Programmi loomine




Joonis 5.15. Uue programmi seadistuste valimine

II. Juhtprogrammi seadistamine

Valides ülemiselt tööriistarealt ikooni  (klikkides sellele hiirega) saab sisestada järgmisi andmeid (Joonis 5.16):

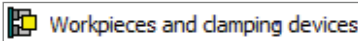
- *Programmer* – programmi autori nimi;
- *Department* – asutus, osakond;
- *Project* - projekt;
- *Workpiece drawing identification number* – detaili tehnilise joonise number;
- *Program number* – programmi number;
- *Program file name, etc.* – programmi faili nimi

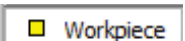
Detaili tehnilise joonise, kinnitusvahendide kirjeldused jne. saab esitada SVG, BMP, JPG ja PNG formaatides Igal joonisel peab olema oma unikaalne number. Juhul kui sama kasutaja on juba eelnevalt loonud programmikeskkonnas tehnilisi jooniseid siis nendele pääseb ligi ikooni peale vajutades .

Märkus: Olemasoleva programmi redigeerimisel ei ole kohustuslik ülalkirjeldatud andmeid sisestada.

III. Detail ja kinnitusvahendid

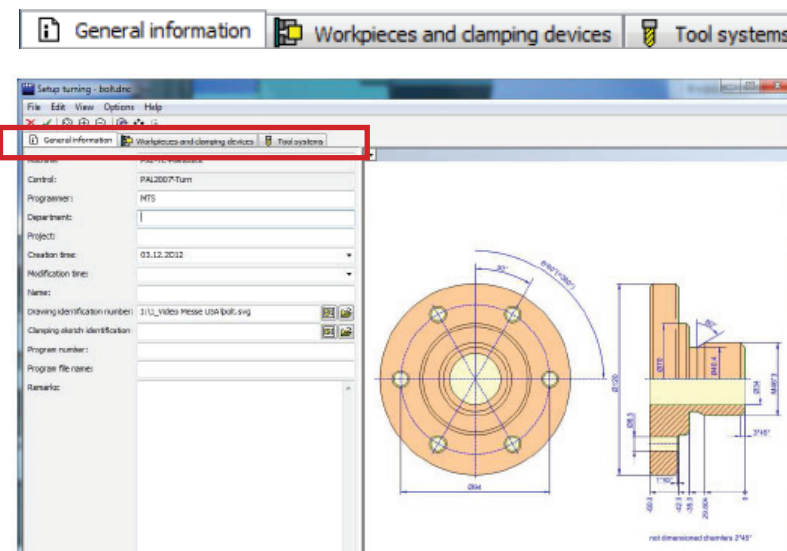
Informatsioon detaili kohta

Hiirekursoriga tuleb navigeerida ikoonile  ülemisel menüüreal. Avaneb aken mille lahtritesse saab sisestada informatsiooni detaili ja kinnitusvahendite kohta (Joonis. 5.17).

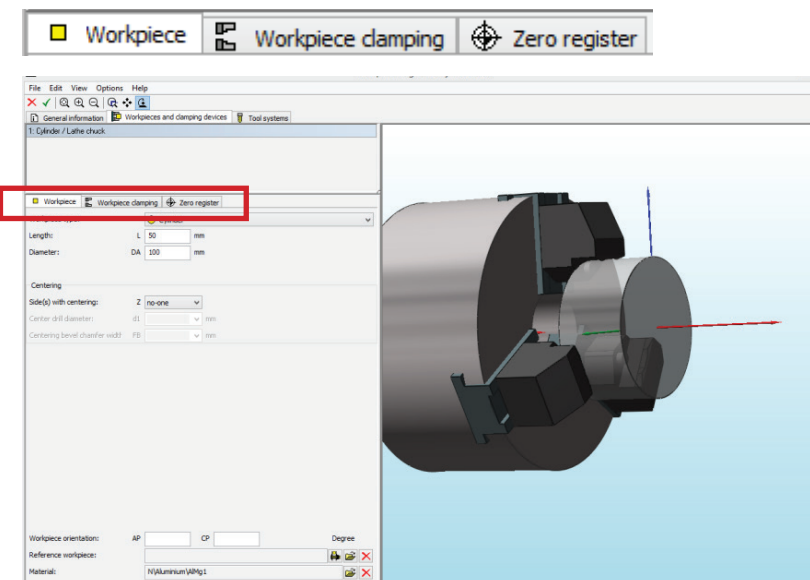
 Ikonil vajutamisega avatakse tööaken millelt saab sisestada detaili mõõtmeid – pikkus ja diameeter.

Length:	L	50	mm
Diameter:	DA	100	mm

Märkus: Kui kasutatakse standardkujuga detaile on nende andmete sisestamine kohustuslik.




Joonis 5.16. Programmi üldinformatsiooni sisestamise aken




Joonis 5.17. Detaili informatsiooni sisestamise aken

Järgnevalt kirjeldatavate parameetrite sisestamine on valikuline. Nendeks on: näidisdetail, detaili materjal mille järgi ühtlasi määratakse edaspidine detaili kuvamise värv.


Detaili materjali määramiseks tuleb klikata ikoonil . Avatakse aken detaili materjali määramiseks (Joonis 5.18). Siia kuvatakse materjalide andmebaas millest saab kasutaja valida erinevaid materjale lähtuvalt selle füüsilistest omadustest – tihedus, kõvadus, tugevus jne. Juhul kui kasutaja jätab materjali valiku tegemata, määratakse detaili materjali omadused automaatselt MTS programmi poolt.

Kinnitusvahendite kirjeldamine (treipadruni pakkide ja tooriku omavahelise asendi kirjeldamine)

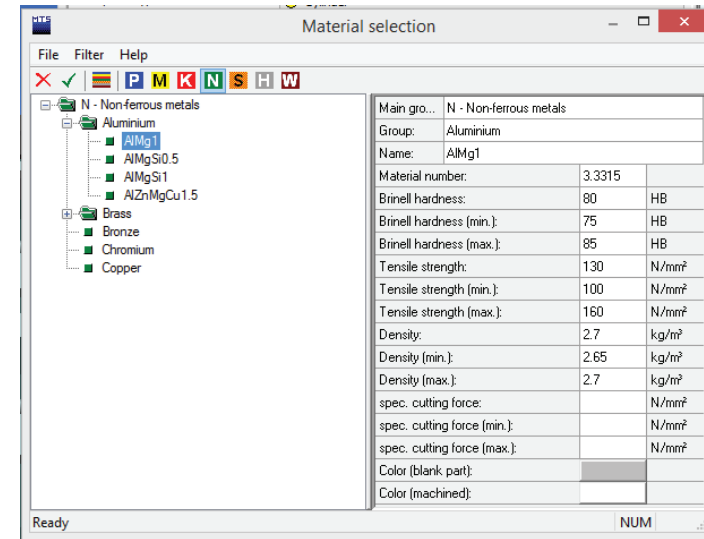
Tööriista *Workpiece Clamping* saab avada vajutades ikoonile  **Workpiece clamping**, misjärel avatakse aken vastavate parameetrite määramiseks (Joonis 5.19). Siit saab kasutaja määrata järgmised valikud: treipadruni pakkide arv, näiteks 2, 3 või 4 treipadruni pakki), treipadrun koos kinnitus stangega jne. Lisaks saab määrata treipadruni mõõtmeid ja pakkide geomeetrilist kuju.

Märkus: treipadruni ja pakkide kirjeldamise juures on kohustuslik määrata tooriku paiknemine pakkide sees, kinnitussügavus: .

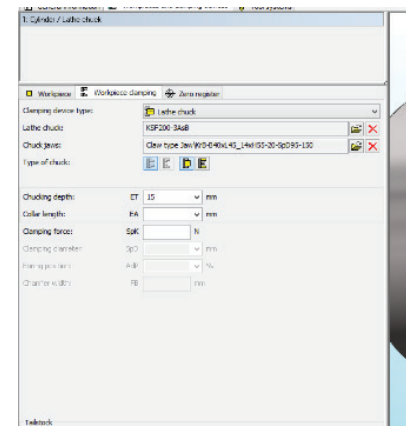
Detaili koordinaatsüsteemi nullpunkti määramine

Valides Zero Register ikooni ( **Zero register**) saab kasutaja määrata detaili koordinaatsüsteemi nullpunkti st. fikseerida nihutuse tööpingi koordinaatsüsteemi nullpunktist (Joonis. 5.20). Praktikas on laialtlevinud ettevalmistava funktsiooni G54 kasutamine selleks otstarbeks. Peale selle on võimalik lisaks fikseerida nullpunktid teise, kolmanda ja neljanda detaili tarbeks kasutades G55, G56 ja G57 funktsioone.

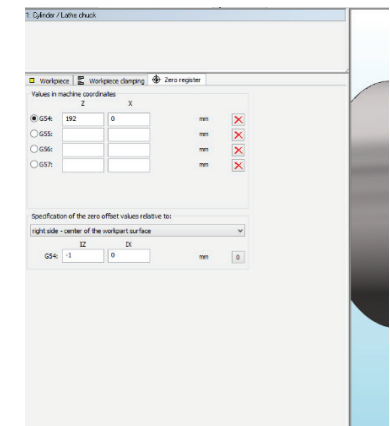
Vastavate väärtuste valmiseks tuleb tuleb funktsioonid valida nimikirjast ning anda neile väärtused nagu näidatud Joonisel 5.21. Tööpingi nullpunkti asukohta on võimalik määrata järgnevatest



Joonis 5.18. Detaili materjali valimine



Joonis 5.19. Detaili kinnituse kirjeldamine



Joonis 5.20. Nullpunkti määramise aken

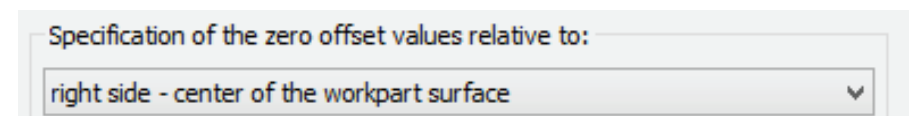



Figure 5.21. Tooriku nullpositsioon

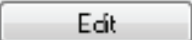
valikutest: detaili tsentrijoonel; detaili otpinnast vasakul; detaili otpinnast paremal.

Parameetri IZ sisestamine on kohustuslik, seda tuleb teha samaaegselt või vahetult koos nullpunkti määramisega (Joonis. 5.22).


Parameetri IZ-1 märk ja väärtus tähendavad, et G54 väärtust nihutatakse 1mm võrra Z-telje negatiivses suunas.

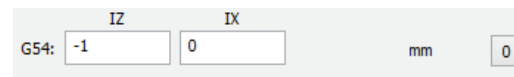
IV. Tööriista valik (vaikesätte)

Tool System tööriista ikoon  **Tool systems** asub ülemisel tööriista-real. Selle kaudu on võimalik valida andmebaasist leitud tööriistu (Joonis 5.23).

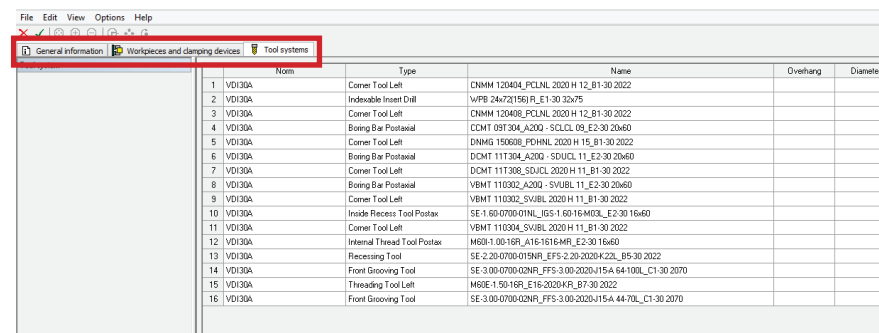
Olemasolevate tööriistade parameetreid on võimalik muuta ikooni  taga peituva tööriistaga. Tööriista parameetreid tutvustatakse õppevahendi järgmises lõigus.

Tööriista kinnitamine, positsioneerimine

 Ikonil klikkimine tööriistade andmebaasi aknas (Joonis 5.23) avab tööriista muutmist võimaldava akna (Joonis 5.24).

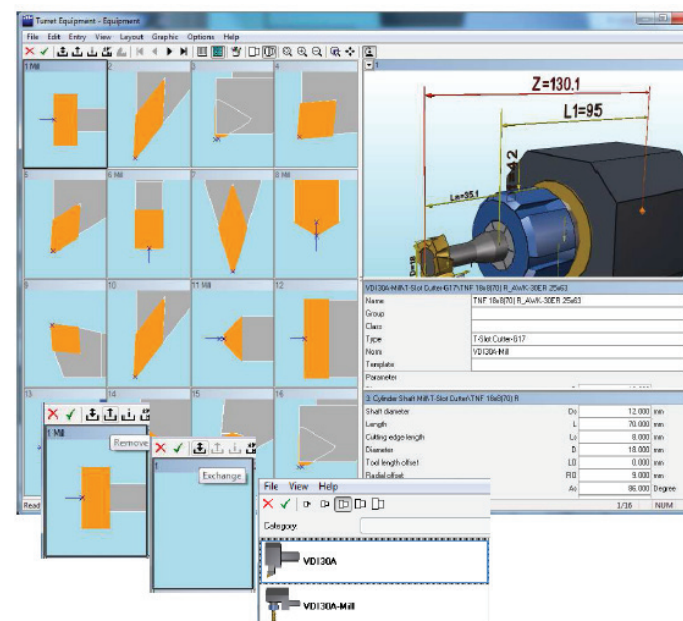


Joonis 5.22. IZ parameetri sisestamine



Nom	Type	Name	Overhang	Diameter
1	VDI30A	Corner Tool Left	CNMM 120404_PCLNL 2020 H 12_B1-30 2022	
2	VDI30A	Indexable Insert Drill	WIPB 24x72156/R_E1-30 32x75	
3	VDI30A	Corner Tool Left	CNMM 120408_PCLNL 2020 H 12_B1-30 2022	
4	VDI30A	Boring Bar Postaxial	CMHT 091 306_A200 -SCLCL 09_E2-30 20x60	
5	VDI30A	Corner Tool Left	DIMG 150x208_FCHNL 2020 H 15_B1-30 2022	
6	VDI30A	Boring Bar Postaxial	DCHT 111 304_A200 -SDUCL 11_E2-30 20x60	
7	VDI30A	Corner Tool Left	DCHT 111 308_SDJCL 2020 H 11_B1-30 2022	
8	VDI30A	Boring Bar Postaxial	VBM 110302_A200 -SVUBL 11_E2-30 20x60	
9	VDI30A	Corner Tool Left	VBM 110302_SVUBL 2020 H 11_B1-30 2022	
10	VDI30A	Inside Recess Tool Postax	SE 1 60 0700 01NL_IG5-1 60 16M03_E2-30 16x60	
11	VDI30A	Corner Tool Left	VBM 110304_SVUBL 2020 H 11_B1-30 2022	
12	VDI30A	Internal Thread Tool Postax	M60-1 00 16R_A16-1616MR_E2-30 16x60	
13	VDI30A	Recessing Tool	SE 2 20 0700 01NR_EFS-2 20 2020x225_B5-30 2022	
14	VDI30A	Front Grooving Tool	SE 3 00 0700 02NR_FFS-3 00 2020x154 54 100L_C1-30 2070	
15	VDI30A	Threading Tool Left	M50-1 50 16R_E16-2020xR_B7-30 2022	
16	VDI30A	Front Grooving Tool	SE 3 00 0700 02NR_FFS-3 00 2020x154 44 70L_C1-30 2070	

Joonis 5.23. Tööriistade andmebaas





Joonis 5.24. Tööriista parameetrite määramine

Ülevaade erinevat tüüpi tööriistadest

Erinevat tüüpi tööriistad on olemas ülevaatamiseks ja valimiseks.


Pärast tööriista valimist kuvatakse ekraanile võimalikud lõiketöötlemise suunad. Järgnevalt tuuakse vasakpoolse treitera baasil konkreetne näide (Joonis 5.28).


MTS programm kasutatakse vasakpoolset treitera. Valiku tegemine lihtne, selleks tuleb klikkida valikud kinnitavale nupule .


Lisaks on tööriista valikut tehes võimalik määrata treimisel tekkiva pinna pinnakaredust. Vastavale infomratsiooni teeb kättesaadavaks ikoon  ülemisel menüüreal. Siinkohal on võimalik lähtuvalt lõikerežiimi parameetrite väärtustest välja arvutada eeldatav pinnakareduse parameetri väärtus. Timmitavateks lõikerežiimi parameetrite väärtusteks on lõikesügavus a_p , ettenihe, F (Joonis 5.29).

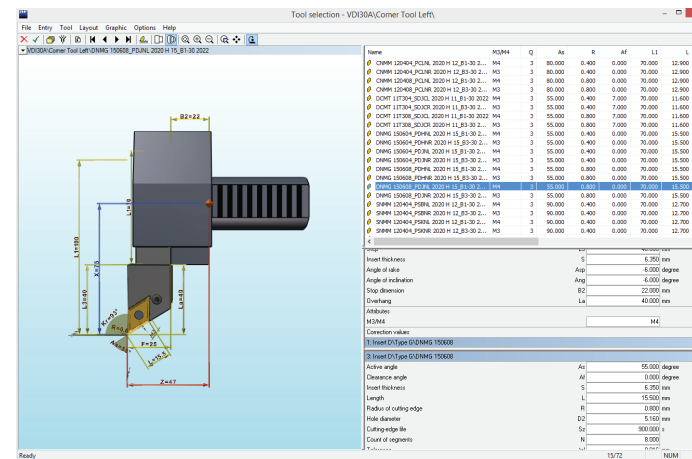
Aktiivne tööriist

Tööriistade positsioonid turretsis on kasutajale vabalt muudetavad.

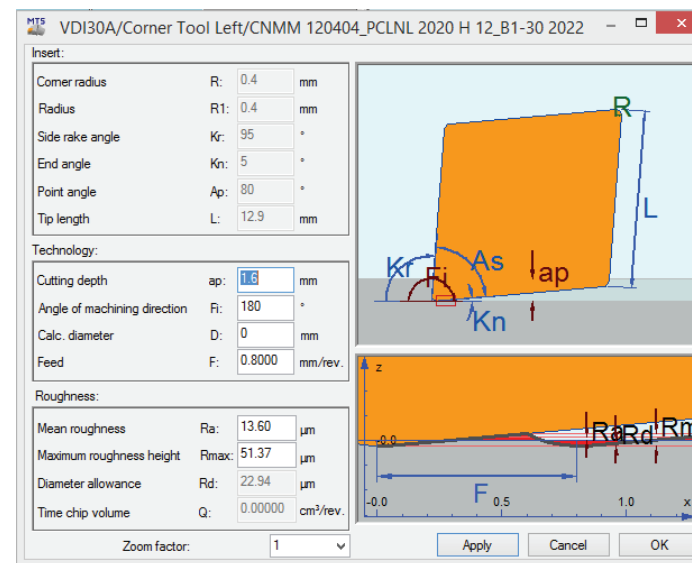
Vastava informatsiooni kättesaamiseks saab kasutada ikooni  all asuvat tööriista.

Pärast konfigureeritud tööriista asetamist virtuaalse tööpingi turrettisse tuleb kõik valikud kinnitada .

Märkus: Tööriistade laadimiseks turrettisse on erinevaid võimalusi. Näiteks, kui loodav programm ei ole veel salvestatud siis saab kõik andmed nullida kui alustada uue programmi loomist  ikooni peale klikkimisega. Seadistatud tööriistu mis on ühtlasi kinnitatud mingisse kindlasse tööpingi turreti pesasse saab salvestada ühtse tervikuna. Selliselt on neid tervikuna võimalik lisada uutesse projektidesse, samuti saab neid vajadusel muuta.





Joonis 5.28. Vasakpoolne treitera

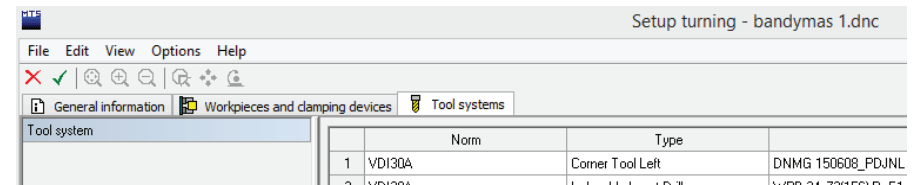


Joonis 5.29. Pinnakareduse väärtuse arvutamine ja selle sisendid

V. Seadistamise lõpetamine

Pärast kõigi seadistuste ülevaatamist, muutmist on kindlasti vajalik muudatused salvestada  ikoonile klikkimisega (Joonis 5.30).


Vastasel juhul on võimalik nupuga  tühistada kõik seni tehtud seaded.



Joonis 5.30. Seadete aken

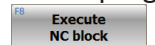
VI. Juhtprogrammi loomine interaktiivse dialoog-programmeerimise režiimis

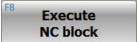
Pärast seadistuste kinnitamist avatakse MTS Programmi TopTurn järgmine aken Joonis 5.31.

Dialoog-programmeerimise režiimi sisse lülitamiseks tuleb vajutada  või alternatiivse valikuna klaviatuuri funktsioonklahvi F4 (NC-Editor).

Juhtprogrammi loomiseks kasutatakse ettevalmistavaid funktsioone (G-käsud) ja abifunktsioone (M käsud) (Joonis 5.32).

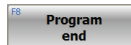
Pärast programmilause sisestamist saab selle käivitada nupuga



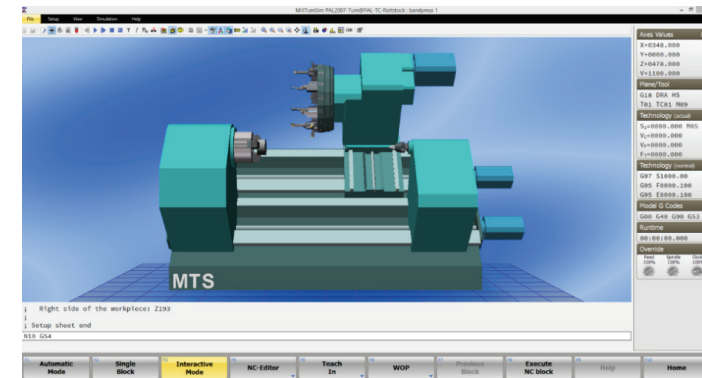
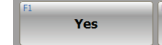
Kui kogu juhtprogramm on sisestatud saab selle salvestada nupule vajutamiselega  või teise võimalusena klikkimisega nupule



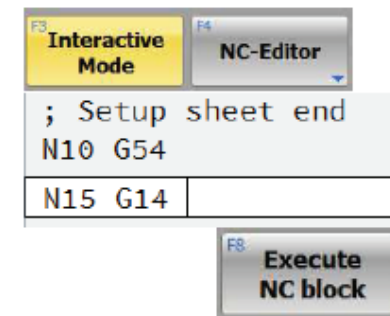
Juhtprogrammi simulatsiooni lõpetamiseks tuleb vajutada



Terminate Simulation? nupule vajutamist.



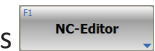
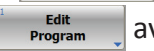
Joonis 5.31. juhtprogrammi loomise aken





Joonis 5.32. Juhtprogrammi loomine

VII Juhtprogrammi redigeerimine

Olemasoleva juhtprogrammi redigeerimiseks tuleb kasutada  nupp ülemisel menüüreal või  alumisel menüüreal.

Juhul kui luuakse uut programmi siis nupuvajutus  muudab alumise menüürea sisu. Vajutusega nupule  avatakse dialoog-programmeerimise aken (Joonis 5.33). Siinkohal on võimalik kõigi programmi sõnade kohta leida täiendavad detailsed kirjeldused.

Pärast programmi redigeerimist tuleb muudatused kinnitada nupule  klikkimisega. Vastasel juhul muutatusi ei salvestata.

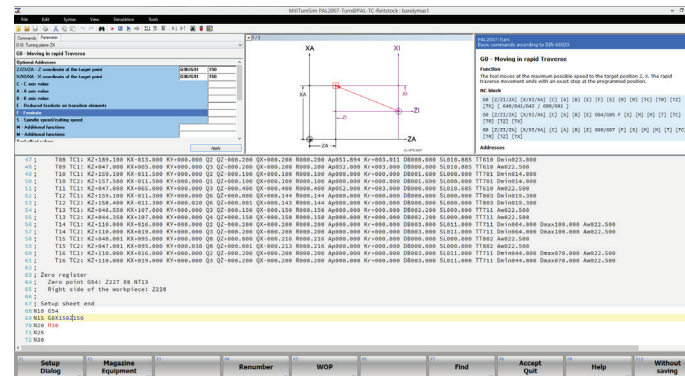
Juhul kui programmi ei muudetud või muutatusi ei soovita salvestada saab kasutada funktsiooni  selleks et programmi redigeerimisest väljuda.

5.2.2. CNC töötlemiskeskuse juhtprogrammide loomine MTS programmiga

Selleks, et alustada tööd töötlemiskeskuse (CNC freespingi) režiimis, tuleb põhiprogrammiaknas klikkida TopMill ikoonil (Joonis 5.34).





Järgnevalt on võimalik määratleda programmeeritava kontrolleri tüüp. Selleks tuleb teha vastav valik Workspace väljal, valikus on erinevad kontrollertüübid: PAL, FANUC ja SINUMERIC.

Pärast kontrolleri tüübi kinnitamist kuvatakse informatsiooni aken (Information), milles antakse kasutajale detailne info valitud tööpingi kohta. Jätkates tegevust Simulator ikoonile vajutamisega on võimalik alustada uute juhtprogrammide loomist (Joonis 5.35).



CNC FREESPINGI TÖÖPROTSESSI SIMULEERIMINE 3D KESKKONNAS

Simulatsiooni moduli ülemise töörea käskudeks on:


-  Olemasoleva juhtprogrammi avamine,  Uue juhtprogrammi loomine,  tööriistade andmebaas.
-  Juhtprogrammi simulatsiooni käivitamine, programmi täitmine ühe lause kaupa, programmivoo juhtimine tagasi eelmisele reale. Nende tööriistade detailsema kirjelduse leidmiseks vaadata palun Tabelit 5.7.
- Simulatsiooni juhtimine hiirega nii nagu selgitatud MTS programmi treimise osas.


Funktsiooninupud tööala alumisel real võimaldavad aktiveerida erinevaid töörežiime (Joonis 5.36)

Vastavate nuppude tähendused on leitavad Tabelist 5.7.

Uue juhtprogrammi loomine või olemasoleva muutmine viiakse läbi järgmiste sammudega

I. Uue CNC juhtprogrammi loomine

Uue programmi loomiseks tuleb valida  nupp ülemiselt tööriistarealt (Joonis 5.37).

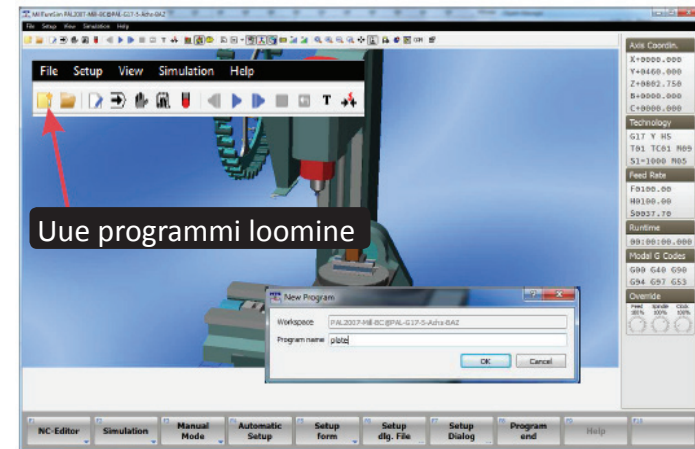
Vajutamisega uue programmi loomise nupule  avatakse uus dialoogiaken (Joonis 5.38).

Uue programmi nimi tuleb sisestada reale „Program name“ ja sisestatud nime kinnitamiseks on vajalik vajutada nuppu „OK“

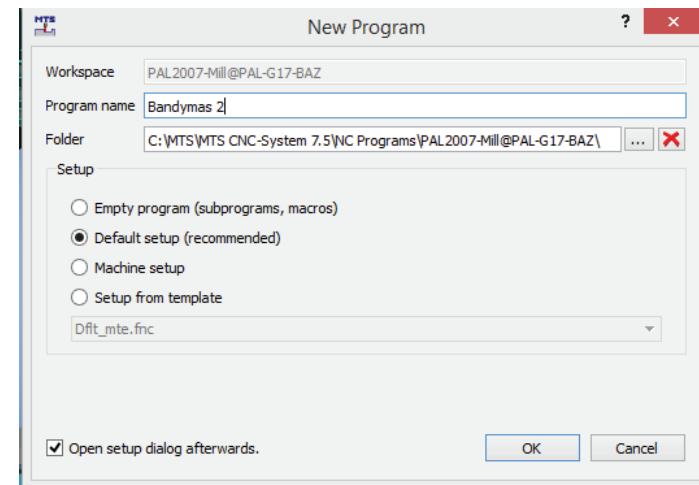
Märkus: uue juhtprogrammi loomiseks on selle dialoogiakna kasutamine ainuvõimalik valik.



Joonis 5.36. Funktsiooninupud




Joonis 5.37. Aken uue programmi loomiseks

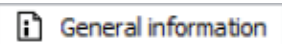


Joonis 5.38. uue juhtprogrammi loomise aken


Pärast „OK“ nupule vajutamist avatakse dialoogiaken mille kaudu on võimalik määrata erinevaid seadeid: „General information“; „Workpieces and clamping devices“ ja „Tool systems“ (Joonis 5.39)

Juba olemasoleva juhtprogrammi muutmisel avaneb sama aken kui vajutada ikoonile  .

II. Seadete määramine

Valides hiirega ülemiselt realt ikooni  saab kasutaja sisestada järgmised parameetrid (Joonis. 5.40)

- Programmeerija, autor / *Programmer*;
- Osakond, asutus / *Department*;
- Projekti nimi, pealkiri / *Project*;
- Tehnilise joonise I.D. / *Workpiece drawing identification number*;
- Programmi number/ *Program number*;
- Juhtprogrammi faili nimi/ *Program file name, etc.*

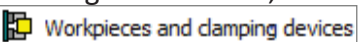
Detailijoonised, kinnitusvahendite ja rakiste joonised saab programmi eksportida SVG, BMP, JPG või PNG formaatides. Igal joonisel peab olema oma unikaalne nimi. Vastavate jooniste olemasolul on võimalik neid kuvada nupu  abil TopMill programmiaknas.

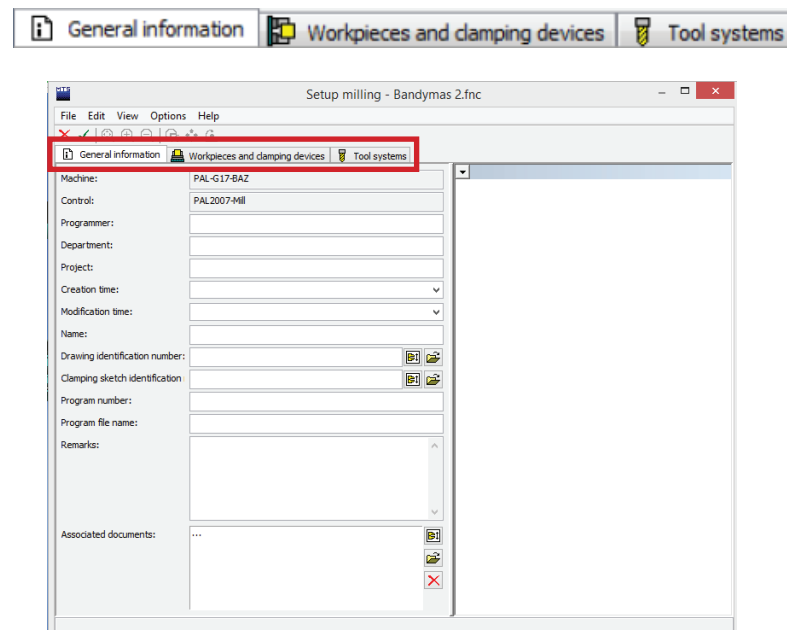
Märkus: uue programmi loomise või olemasoleva muutmise seisukohast ei ole kirjeldatud andmete sisestamine kohustuslik

III. Toorikud, detailid ja kinnitusvahendid

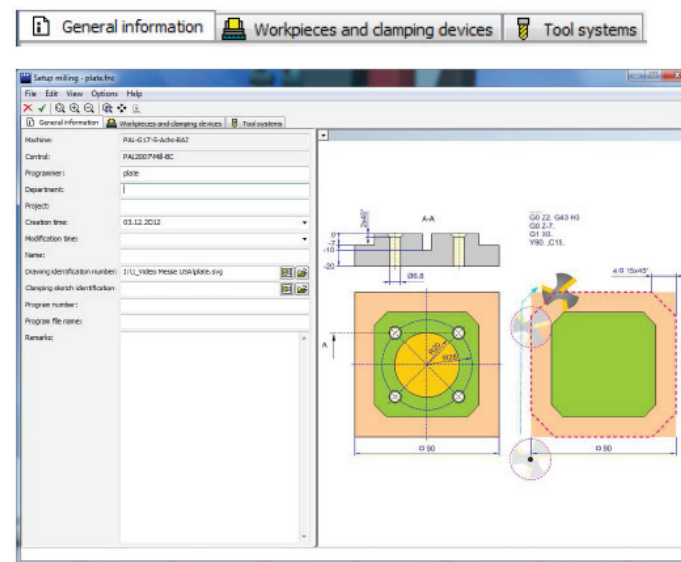
Informatsioon tooriku, detaili kohta

Kasutuga hiirt selleks, et kursoriga navigeerida nupule

 tööakna ülemiselt osalt. Siit on võimalik

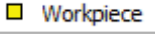


Joonis 5.39. Seadete menüü



Joonis 5.40. Üldinfo osa seadete määramisest


sisestada informatsiooni detaili ja kinnitusvahendite, tarvikute kohta (Joonis 5.41).

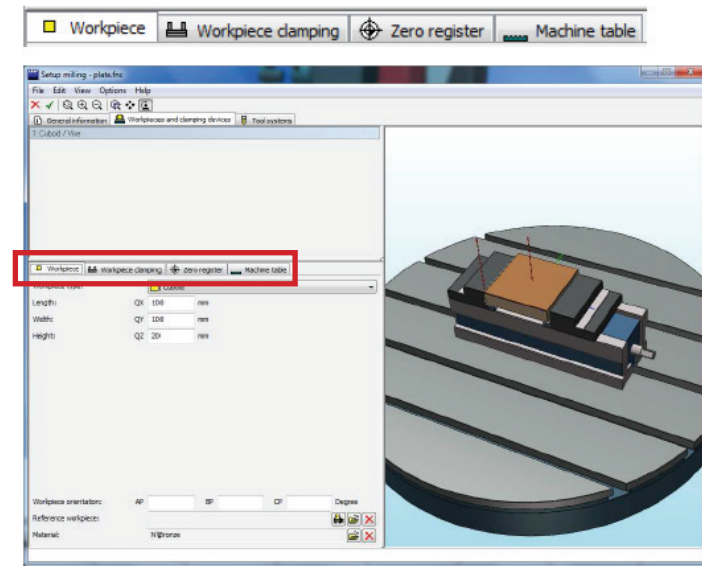
Vajutage  nupule määramaks tooriku mõõtmeid – pikkust, laiust, diameetrit ja kõrgust.

QX	100	mm
QY	100	mm
QZ	20	mm

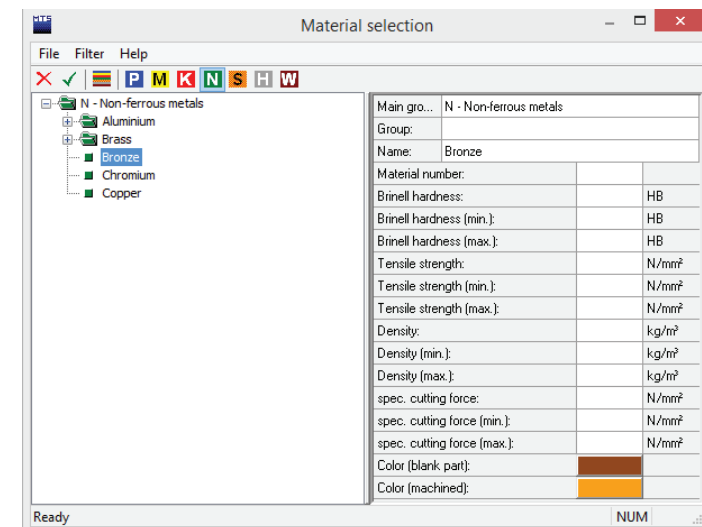
Märkus: nende andmete sisestamine on kohustuslik kui kasutatakse programmi sisseehitatud standardseid tooriku mudeleid

Järgnevate toorikut kirjeldavate suuruste sisestamine on vabatahtlik. Nendeks on näiteks tooriku materjali määramine, värvi omistamine jne.

Tooriku materjali määramiseks tuleb vajutada nuppu . Avatakse programmi sisseehitatud andmebaas millest on võimalik valida erinevaid materjale (Joonis 5.42). Valiku aktiveerimisel kuvatakse selle konkreetse materjalimargi füüsikaliste omaduste väärtused (kõvadus, tihedus, tõmbetugevus jne. Juhul kui kasutaja jätab materjali valiku tegemata, määratakse detaili materjali omadused automaatselt MTS programmi poolt.




Joonis 5.41. Tooriku informatsiooni aken




Joonis 5.42. Tooriku materjali valimine

Kinnitusvahendite kirjeldamine (kruustangide, pakkide ja tooriku omavahelise asendi kirjeldamine)

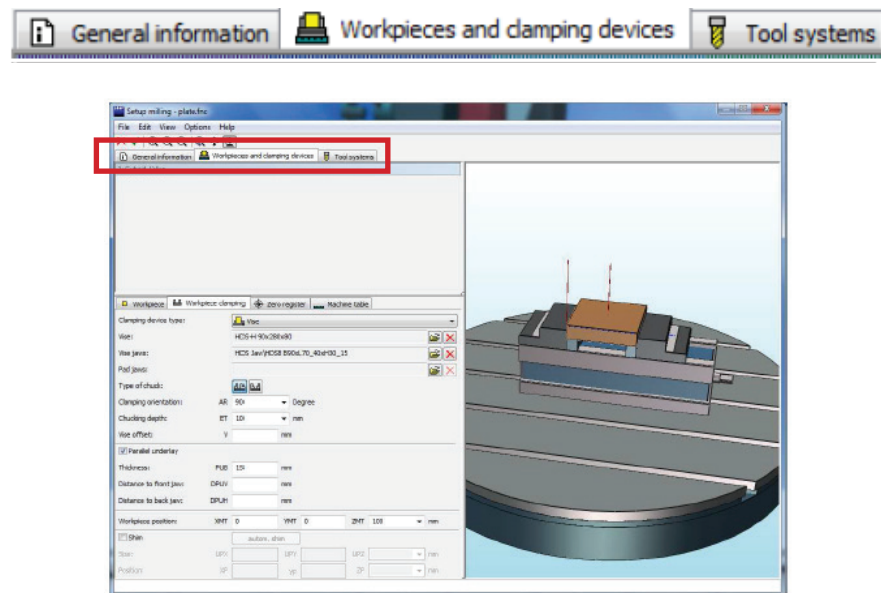
Tööriista  **Workpiece clamping** *Workpiece Clamping* saab avada vajutades ikoonile misjärel avatakse aken vastavate parameetrite määramiseks (Joonis 5.43). Siit saab kasutaja määrata järgmised valikud: kruustangide pakkide arv, näiteks 3 pakiga padrun või kahe pakiga kruustangid jne.

Märkus: sarnaselt treimisele on siinkohal kohustuslik määrata tooriku paiknemine pakkide sees, kinnitussügavus (ET) .

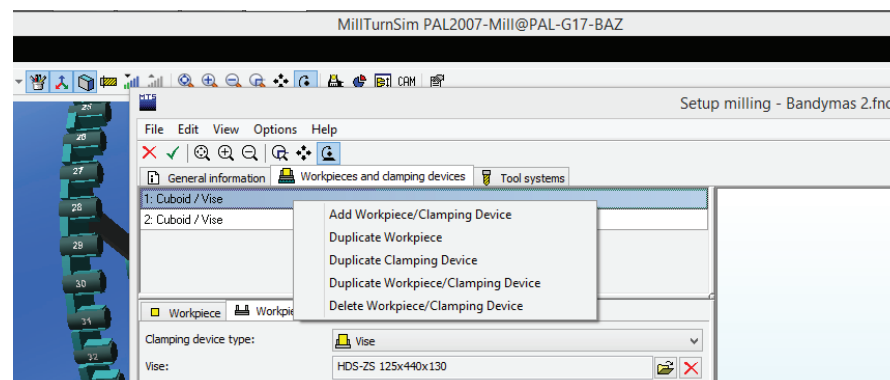
Töötamine mitme toorikuga

MTS programm võimaldab töölaual samaaegselt kinnitada mitut toorikut. Selleks tuleb teha klikk hiire parema klahviga ikoonil  ülemisel tööreal. Seejärel avatakse uus tööaken (Joonis 5.44).

Valides funktsiooni  aktiveeritakse mitme tooriku kinnitamise võimalus.



Joonis 5.43. Kruustangi parameetrite kirjeldamine



Joonis 5.44. Tooriku kinnitamise valikud

Kruustangide dubleerimine


Tööriistaga **Duplicate Clamping Device** saab MTS programmis korruga kasutada kahtesid kruustange. Sellisel juhul tuleb teiste kruustangide parameetrid häälestada eraldi sarnasest tööaknast (Joonis 5.45)

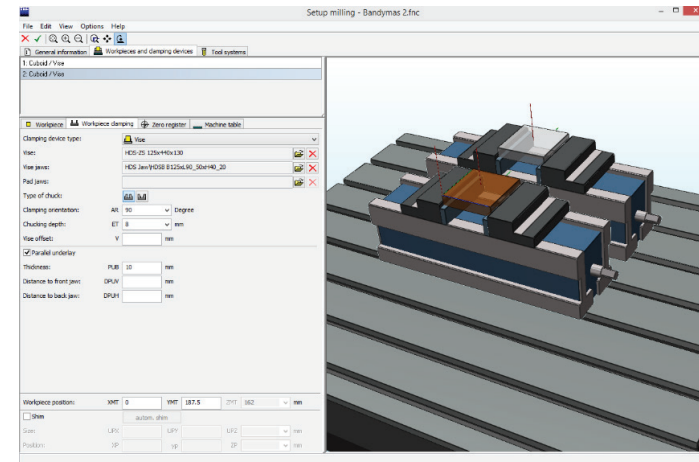
Teiste kruustangide häälestamisel tuleb esiteks määrata nende asukoht töölaual misjärel tuleb kasutajal defineerida tooriku asend ja kinnitus kruustangides

Kruustangide asukoha ja tooriku kinnituse määramiseks on programmeerijal kasutamiseks vastav koorinaatsüsteem (Joonis 5.46).

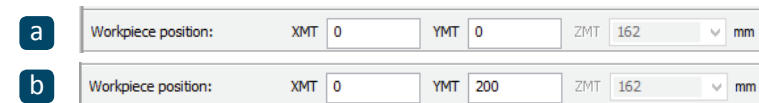
Sõltuvalt määratud kinnitustarvikust ja kinnitussügavusest (ET), kuvatakse toorikud virtuaalses tööpingsis erinevatele kõrgustele.

Detaili koordinaatsüsteemi nullpunkti määramine

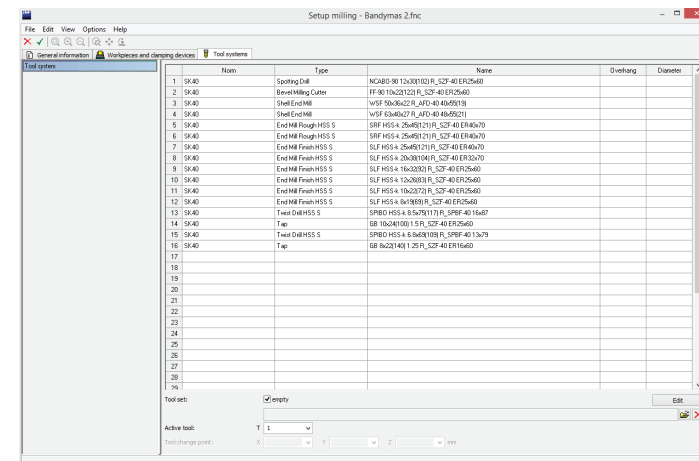
Valides Zero Register ikooni ( **Zero register**) saab kasutaja määrata detaili koordinaatsüsteemi nullpunkti st. fikseerida nihutuse tööpingsi koordinaatsüsteemi nullpunktist (Joonis. 5.47). Praktikas on laialtlevinud ettevalmistava funktsiooni G54 kasutamine selleks otstarbeks. Peale selle on võimalik lisaks fikseerida nullpunktid teise, kolmanda ja neljanda detaili tarbeks kasutades G55, G56 ja G57 funktsioone.



Joonis 5.45. Teiste kruustangide häälestamine



Joonis 5.46. Kahtede kruustangide positsioneerimine töölaual




Joonis 5.47. Nullpunkti määramise aken

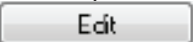
Detaili, tooriku nullpunkti määramiseks tuleb teha valik avanenud dialoogiaknas, Joonis 5.48. Kasutajal on võimalus valida järgmiste variantide vahel: tooriku, detaili alus- või pealispind, selle kõik nurgad ja keskpunktid nendel tasapindadel.

Detaili, tooriku nullpunkti määramiseks tuleb kasutada parameetreid IX , IY ja IZ mis on esitatud kuvatud valikus. Nullpunkti nihutuse teostamiseks on olemas parameeter. IZ-1. IZ väärtuse sisestamine on kohustuslik (Joonis 5.49).

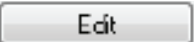
Parameetri IZ-1 märk ja väärtus tähendavad, et G54 väärtust nihutatakse 1mm võrra Z-telje negatiivses suunas.

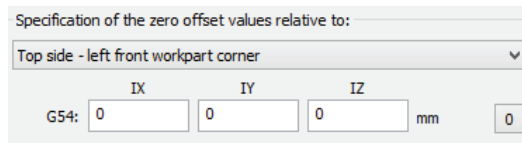
IV. Tööriista valik (vaikesätte)

Tool System tööriista ikoon  asub ülemisel tööriistareal. Selle kaudu on võimalik valida andmebaasist leitudvaid tööriistu (Joonis 5.50).

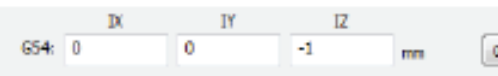
Olemasolevate tööriistade parameetreid on võimalik muuta ikoonil  . taga peituva tööriistaga. Tööriista parameetreid tutvustatakse õppevahendi järgmises lõigus.

Tööriista kinnitamine, positsioneerimine

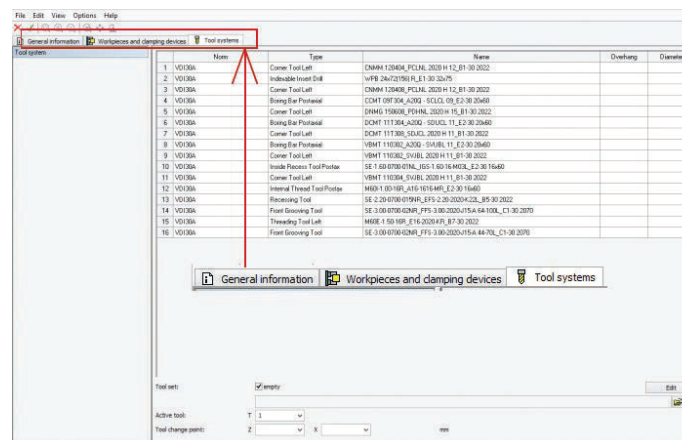
Ikoonil  klikkimine tööriistade andmebaasi aknas (Joonis 5.50) avab tööriista muutmist võimaldava akna (Joonis 5.51).



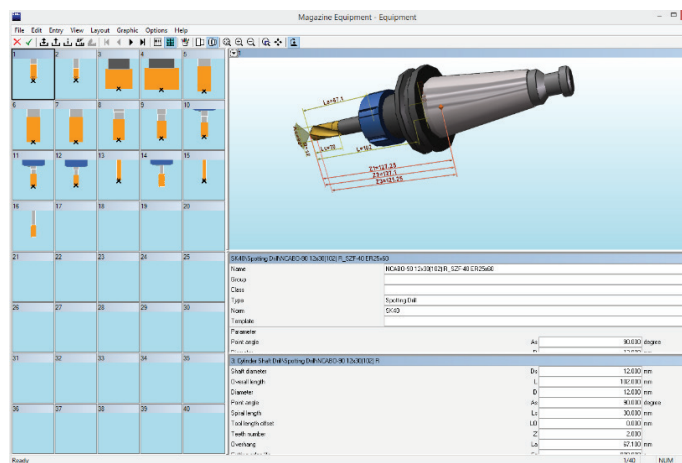
Joonis 5.48. Detaili, tooriku nullpunkti määramine



Joonis 5.49. IZ parameetri sisestamine








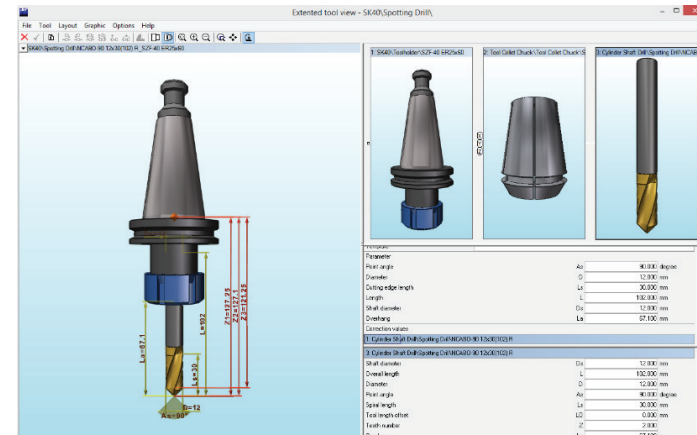
Joonis 5.50. Tööriistade andmebaas





Joonis 5.51. Tööriistade andmebaas

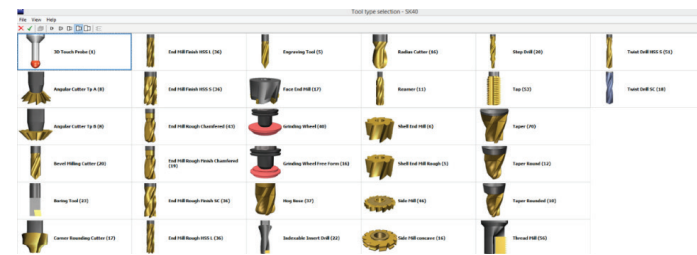
Tööriista üleväl olevast menüürest on võimalik valida järgmised tööriistad:

-  Tööriista geomeetrised parameetrid (joonmõõtmed ja nurgad) (Joonis 5.52);
-  tööriista eemaldamine andmebaasist;
-  tööriista lisamine andmebaasi;
-  tööriista eemaldamine virtuaalsest tööpingist;
-  tööriista lisamine virtuaalsesse tööpinku.



Joonis 5.52. Tööriista kirjeldamine

Uue tööriista lisamiseks tuleb esmalt eemaldada, kustutada olemasolev tööriist kasutades funktsiooni . Uue tööriista lisamist tuleb alustada tööriistaga . Sellele vajutamisel avatakse järgmine aken (Joonis 5.53).

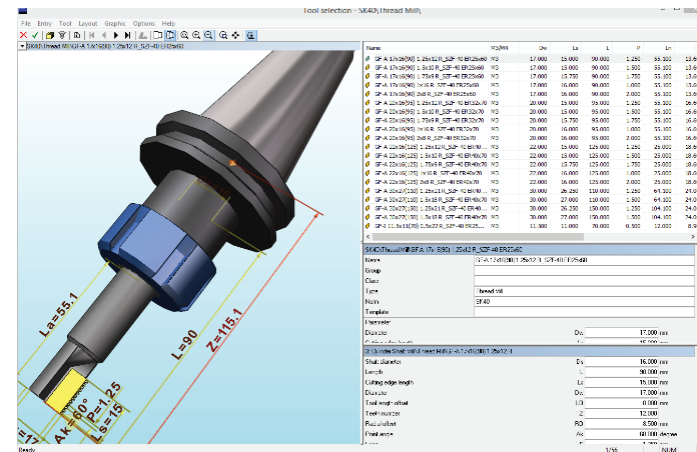


Joonis 5.53. Freespingi tööriistad

Vastava tööriista tüübi peale vajutades avatakse täiendav aken koos tööriistade loeteluga (Joonis 5.54).

Ülevaade erinevat tüüpi tööriistadest



Digitaalsest andmebaasist on võimalik valida tööriist lähtuvalt erinevatest kriteeriumidest. Näiteks, tööriista koos selle hoidjaga. Kasutajal on valida erinevate suurustega koonuste vahel (Joonis 5.54).



Joonis 5.54. Tööriista hoidiku koonuse suuruse määramine


MTS programmi selles aknas kuvatakse kasutajale erineva koonuse tüübiga tööriistahoidjad. Konkreetse hoidiku valimine on lihtne, selleks tuleb selle peale navigeerida hiire kursoriga ning vajutada nuppu valiku kinnitamiseks.


Tööriistade paigutamine virtuaalsesse tööpinku

Pärast ühe tööriista paigutamist virtuaalsesse tööpinku, saab teised tööriistad reastada selle järgi. Informatsiooni tööriista positsioonist tööpingis saab ikooni  abil. Tööpinku installeeritud tööriistade kogumi seadistamine tuleb lõpetada „ok“ nupule vajutamisel .

Märkus: Tööriistade laadimiseks töötlemiskeskusesse on erinevaid võimalusi. Näiteks, kui loodav programm ei ole veel salvestatud siis saab kõik andmed nullida kui alustada uue programmi loomist ikooni peale klikkimisega. Seadistatud tööriistu mis on ühtlasi kinnitatud mingisse kindlasse tööpingi pesasse saab salvestada ühtse tervikuna, komplektina. Selliselt on neid tervikuna võimalik lisada uutesse projektidesse, samuti saab neid vajadusel muuta..


Aktiivne tööriist

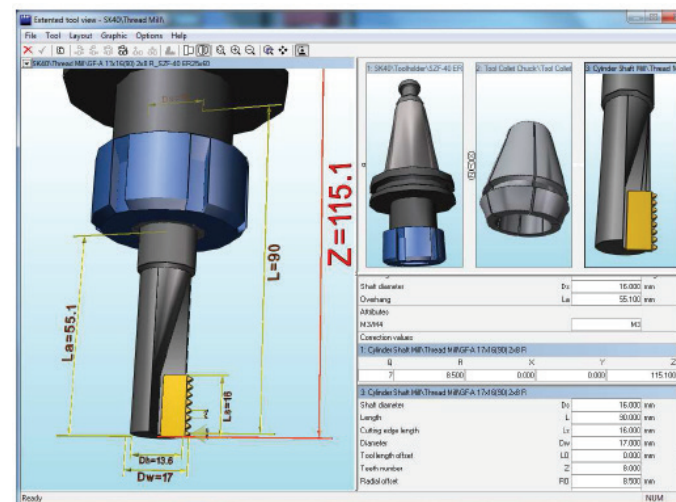
Hiireklahvi vajutamiselega  nupul kuvatakse kasutajale informatsioon hetkel aktiivse tööriista kohta. Aken näeb välja selline nagu esitatud Joonisel 5.55.

Aknas esitatakse kasutajale informatsioon tööriista diameetri kohta, lõikeosa pikkus, tööriista hoidjast väljaulatuva osa pikkus, tööriista pikkus hoidiku baaspinnast mõõdetuna jne. Selle akna saab sulgeda ikoonile  vajutamisega.

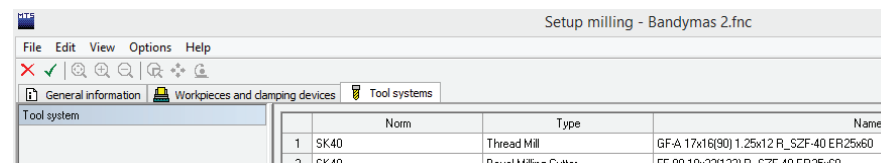
V. Seadistamise lõpetamine

Pärast kõigi seadistuste ülevaatamist, muutmist on kindlasti vajalik muudatused salvestada ikoonile klikkimisega (Joonis 5.56).

Vastasel juhul on võimalik nupuga  tühistada kõik senitehtud sead.



Joonis 5.55. Tööriista informatsioon



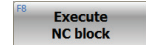
Joonis 5.56. Seadistuste määramine

VI. Juhtprogrammi loomine interaktiivse dialoog-programmeerimise režiimis

Pärast seadistuste kinnitamist avatakse MTS Programmi TopMill järgmine aken Joonis 5.58.

Dialoog-programmeerimise režiimi sisse lülitamiseks tuleb vajutada **F3 Interactive Mode** või alternatiivse valikuna klaviatuuri funktsioonklahvi **F4 (NC-Editor)**. Juhtprogrammi loomiseks kasutatakse ettevalmistavaid funktsioone (G-käsud) ja abifunktsioone (M käsud) (Joonis 5.59).

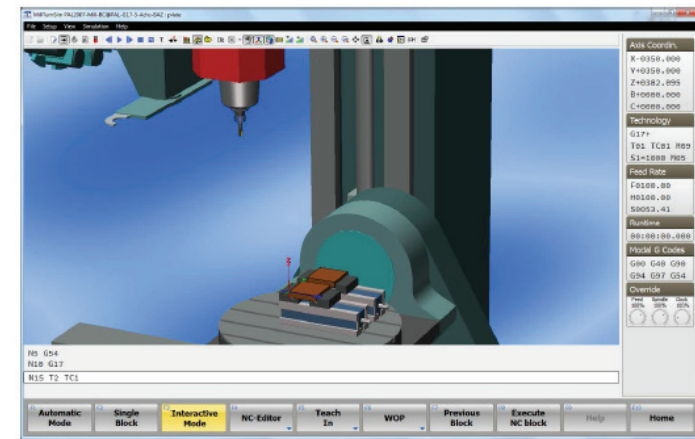
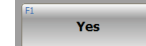
Pärast programmilause sisestamist saab selle käivitada nupuga



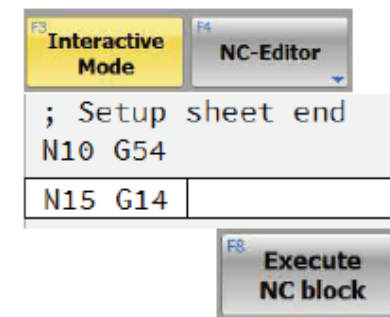
Kui kogu juhtprogramm on sisestatud saab selle salvestada nupule vajutamisega **Execute NC block** või teise võimalusena klikkimisega nupule



Juhtprogrammi simulatsiooni lõpetamiseks tuleb vajutada **Program end** nuppu. Seejärel naastakse MTS programmi aknasse pärast **Terminate Simulation?** nupule vajutamist.



Joonis 5.58. juhtprogrammi loomise aken



Joonis 5.59. Juhtprogrammi loomine

5.3. Juhtprogrammi laadimine tööpingi kontrollerrisse

CNC tööpingi juhtprogrammi kirjutamiseks kasutatakse peamiselt ettevalmistavaid funktsioone (G-käsud) ja abifunktsioone (M-käsud). Masina liikumisi juhitakse põhiliselt G-käskudega, M-käskude abil saab programmeerida täiendavaid tegevusi. Praktikas kasutatakse tööpinkide juhtprogrammide koostamiseks erinevaid meetodeid. Käesolevas õppevahendis keskendutakse kaasajal kõige efektiivsema meetodi tutvustamisele. Selleks on juhtprogrammide koostamine spetsiaalsete tarkvaraprogrammide, CAM-programmide, abil. CAM – *Computer Aided Manufacturing*, eesti keeles raaltootmine, on programmikeskkond mille abil saab luua ja muuta detaili geomeetriat, tööriistade tööradasid ning lõpuks automaatselt genereerida juhtprogrammi koodi. Tuntumad ja enimkasutatavad programmid on MasterCam, EdgeCam, MTS TopMill, MTS TopTurn jne. CAM-keskkonna kasutamine hõlbustab märgatavalt töötlemistehnoloogia loomise protsessi. Programmeerijal on kasutada lai valik tööriistu detaili geomeetria töötlemiseks, erinevat tüüpi töötlemisoperatsioonide loomiseks, simuleerimiseks, koodi genereerimiseks jne.

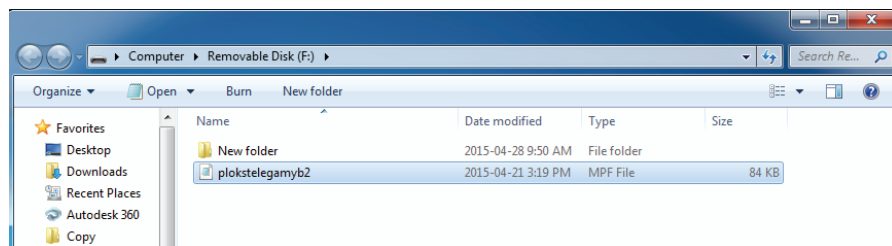
Pärast programmi koostamist ja juhprogrammi genereerimist tuleb kood laadida tööpingi kontrollerrisse. Üks levinud võimalus selle teostamiseks on programmifaili kopeerimine USB-mälupulga abil. Esiteks kopeeritakse programmifail arvutist mälupulgale ja seejärel juba mälupulgalt juhtsüsteemi kontrollerrisse. Enne töötlemisprotsessi alustamist on soovitatav ja mõistlik juhtprogrammi sobivust kontrollida selle simuleerimisega tööpingi kontrollerris. Olles veendunud, et programm on vea-vaba võib alustada reaalse töötlemisega ning hakata valmistama detaile.

Programmifaili salvestamine USB-mälupulgale

Arvutis loodud tööpingi juhtprogrammi formaat peab olema selline, et see oleks kontrollerris arusaadav ja töödeldav. Enamlevinud failiformaadid on NC, MPF, TXT (Joonis 5.60)

Juhtprogrammi edastamine tööpingi kontrollerrisse

USB-mälupulk ühendatakse, sisestatakse vastavasse pesasse, porti kontrollerris (Joonis 5.61).




Joonis 5.60. Juhtprogrammi kopeerimine USB-mälupulgale




Joonis 5.61. USB-mälupulga ühendamine kontrollerriga (Optimum Maschinen Germany GmbH)

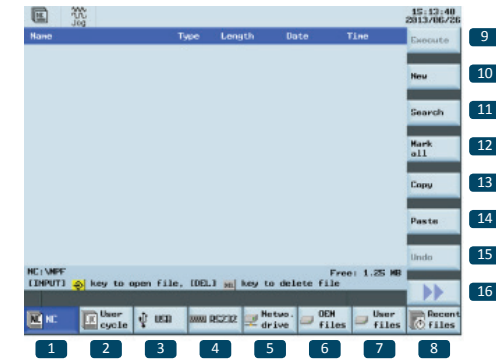
Mälupulgal olevate programmide kuvamiseks tuleb vajutada programmi ikooni nuppu kontrolleri juhtpaneelil. Seejärel kuvatakse ekraanile vastav NC-aken (Joonis 5.62).

Tabel 5.8. Tööakna ikoonid, seletused

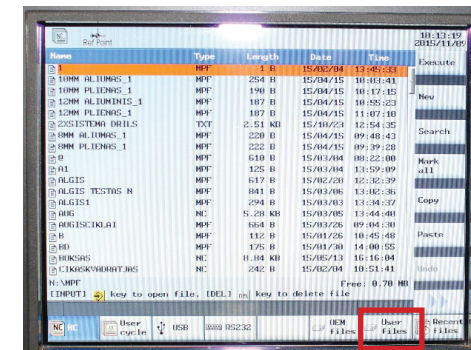
1	NC programmi salvestamine
2	Aktiivse juhtprogrammi käivitamine
3	Tootjapoolsete töötlemistsüklite haldamine
4	Uue faili või kataloogi loomine
5	Andmete ülekandmine, programmi käivitamine USB-mälupulgalt
6	Otsingu funktsiooni käivitamine
7	Andmete ülekandmine, programmi käivitamine RS-232 andmepordi kaudu
8	Failide esitamine hilisemaks kasutamiseks
9	Andmete ülekandmine, programmi käivitamine Ethernet andmepordi kaudu
10	Valitud failide kopeerimine vahemällu
11	Original Manufacturer File (OEM)
12	Vahemälus olevate failide asetamine sellesse kataloogi
13	Kasutaja failid
14	Kustutatud failide taastamine
15	Viimati avatud failide loend
16	Täiendavate funktsioonide avamine, näiteks: 

Programmi muutmise, kuvamise tööakna nuppude tähendused on lahti seletatud Tabelis 5.8.




Vajutusega  (Joonis 5.63) ikoonile avatakse aken milles kuvatakse USB-mälupulga sisu.





Joonis 5.62. Programmi muutmise aken kontrolleri ekraanil









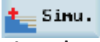
Joonis 5.63. USB-mälupulga sisu kuvamine

Kuvatud failide loendis saab liikuda klahvide  ja  abil. Programmifaili kopeerimiseks tuleb kasutada  nuppu (Joonis 5.64).

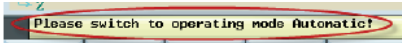
NC ikoonile  vajutamine pärast kopeerimist avab uuesti NC tööakna. Nupule  vajutamisega kopeeritakse programmifaili kontrolleri mälusse (Joonis 5.65).


Programmi käivitamine simulatsiooni režiimis

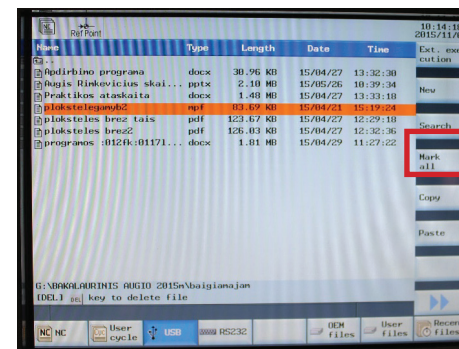
Enne juhtprogrammi käivitamist tööpingis on rangelt soovitatav seda programmi kontrollida simulatsiooni abil. Selleks tuleb tegutseda järgmiselt:

-  1. Määrata sobiv virtuaalne tööala.
-   2. Valida juhtprogramm mida soovitakse simuleerida.
-  3. Vajutada seda nuppu valitud juhtprogrammi avamiseks. Vajutada uuesti nuppu  avamiseks programmi muutmise tööakent (Joonis 5.66).
-  4. Lülitada ümber AUTO režiimi.
-  5. Vajutada sellele nupule avamiseks spetsiaalset programmi simuleerimise tööakent. Vastav režiim käivitub automaatselt

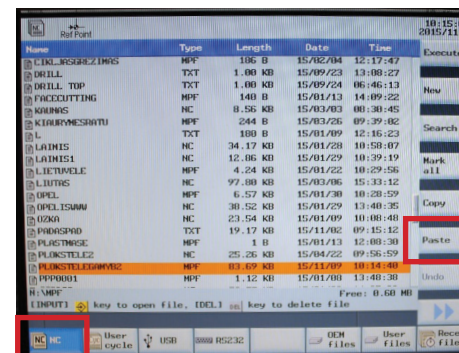
Juhul kui kontrolleri ei ole eelnevalt lülitatud AUTO režiimi, kuvatakse ekraani alla vastavasisuline teade.

Sellisel juhul tuleb kasutajal  korrata juhiseid punktist 4.

 6. Vajutada „Cycle Start“ nuppu simulatsiooni alustamiseks. Seda on võimalik teha ainult siis kui kontrolleri on eelnevalt lülitatud AUTO režiimi.



Joonis 5.64. Programmifaili kopeerimine kontrolleri mälu



Joonis 5.65. Programmi salvestamine kontrolleri mälu



Joonis 5.66. Programmi muutmise tööaken

Eelpool esitatud juhiste korrektsel täitmisel alustatakse seejärel kontrolleri ekraanil programmi simulatsiooniga st. graafiliselt kuvatakse töörajad (Joonis 5.67).




Simulatsiooni režiimis kuvatava tööakna ikoonide tähendused on lahti seletatud Tabelis 5.9.


Tabel 5.9. Simulatsiooni tööakna ikoonide tähendused



1	Simulatsiooni järjehoidja kuvamine
2	Alammenüü avamine. Sealt edasi on kolm valikut:   
3	Suurendamine täisekraanile
4	Täisekraanist välja- suurendamine
5	Simulatsiooni järjehoidja kustutamine
6	Simulatsiooni järjehoidja sammu suurendamine, vähendamine
7	Täiendavad valikud: Materjali eemaldamise näitamine  Täiendavad valikud: Saab määrata, et kas kuvatakse täidetav lause või mitte 
8	Naasmine programmi muutmise režiimi

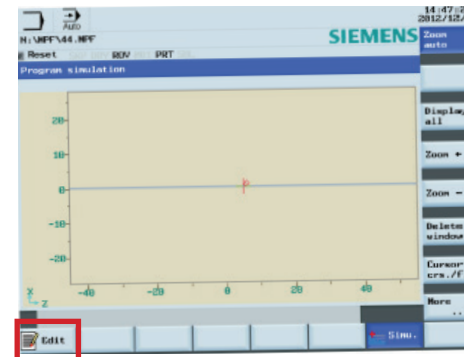
Programmi käivitamine töörežiimis, töötlemine

Enne kui alustatakse juhtprogrammi tööd töörežiimis tuleb veenduda, et tööplangi kõik komponendid, operaator jms. on korras ja tööks ettevalmistatud. Tegevuste järjekord on:

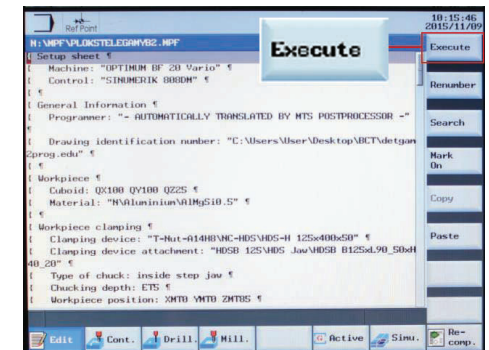
-  1. Määrata sobiv tööala.
-  2. Leida kataloog.
-  3. Valida programm mida soovitakse käivitada.

Programmi aktiveerimiseks töörežiimis tuleb esmalt valida  nupp (Joonis 5.67).

 4. Programmi käivitamiseks tuleb vajutada „Execute“ nuppu (Joonis 5.68). Teatud kataloogides asuvate programmifailidega töötamisel võib olla vajalik kasutada nuppu .




Joonis 5.67. Programmi simulatsiooni tööaken



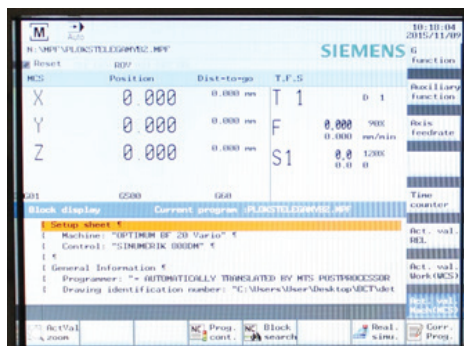
Joonis 5.68.

5. Pärast nimetatud juhiste täitmist lülitatakse kontrollid ümber AUTO režiimile.

Pärast nupule vajutamist avatakse programmi täitmist kirjeldav tööaken (Joonis 5.69).

 6. Vajutada „Cycle Start“ nuppu töötlemise alustamiseks. Seda on võimalik teha ainult siis kui kontrollid on eelnevalt lülitatud AUTO režiimi. (Joonis 5.70).

CNC tööpink alustab programmi täitmist vastavalt juhistele mis on kirjutatud juhtprogrammi.



Joonis 5.69.



Joonis 5.70.

6. PRAKTILINE RAKENDUS



6. PRAKTIINE RAKENDUS

6.1. Detailide töötlemise kavandamise etapid

Detaile saab töödelda erinevate masintöötlemise meetoditega. Protsessiinseneri ülesanne on valida parim variant, mis vastab konkreetsetele nõuetele, on odavam ja tagab parima jõudluse.

Enne tootmise tehnoloogilise protsessi ettevalmistamist tuleb esimese sammuna hoolikalt analüüsida valmistatava detaili **koostu tehnilisi andmeid joonisel ja tehnoloogilisi nõudeid**. On vaja analüüsida eesmärgiks seatud funktsionaalsust, võtta arvesse, kuidas detail peab koostus paiknema, hinnata detaili mõõtude täpsust, pinnakaredust, kuumtöötlemise tingimusi ja detaili materjali.

Toorik tuleb valida pärast tööjooniste, töötlemisprogrammi, tootmise tüübi ja tooriku töötlemiseks kasutada olevate tööriistade analüüsimist. Tooriku valimise põhimõtteid on kirjeldatud ptk 3.5. Kogemused näitavad, et tooriku töötlemise kulud on väiksemad, kui toorik vastab valmistatava detaili nõuetele nii varases tehnoloogilise protsessi etapis kui võimalik.

Detaili töötlemise operatsioonide järjestuse planeerimine – see on üks tähtsamaid etappe, millest sõltuvad tootmiskulud. Enne tööoperatsioonide järjekorra määramist tuleb selgeks teha detaili pinnakareduse, lineaarmõõtude täpsuse ja nurkasendi nõuded ning analüüsida mõõtjoonistel märkimise järjekorda, mis määrab kindlaks töödeldavate pindade suhtelise asendi. Lähtepinnad ja tooriku töötlemise protseduur valitakse joonisel esitatud mõõtude järgi.

Vaatleme lühidalt detaili töötlemise tööoperatsioonide järjekorra planeerimise soovitatavat (võimalikku) metoodikat. Tooriku masintöötlemise protsess on asjakohane jaotada jäme- (joonis 6.1) ja viimistlustöötlemiseks.

Peamine tähelepanu peab olema pööratud nende pindade töötlemisele, mida kasutatakse edasiste tööoperatsioonide lähtepinnana. Need tööoperatsioonid, mille järel on võimalik toorikut võrrelda ettenähtud mõõtudega (võimaliku defektse tooriku tuvastamiseks), tuleb teha nii varases etapis kui võimalik. Eriti oluline on see karastatud ja valatud toorikute töötlemisel.

Edasine **masintöötlemise tööoperatsioonide järjekord** on vastupidine täpsusastmele, st täpsemalt töödeldavad pinnad tuleb töödelda hiljem. Detaili pindu on soovitatav töödelda sama meetodiga, sest siis saab korraga töödelda mitut pinda.

Vältida tuleb samal ajal jäme- ja viimistlustöötlemist, välja arvatud juhul, kui on tegemist suurte detailidega, mille ümberpaigutamine võtab aega. Sel juhul on enne viimistlemise alustamist soovitatav töödeldav detail kinnitusest lahti võtta ja uuesti kinnitada.

Kui on vaja teha kuumtöötlus, siis tuleb osa tööoperatsioone teha enne ja osa pärast kuumtöötlemist. Parema töötlemistulemuse



Joonis 6.1. Pinna jämeffreesimine

tagamiseks tuleb toorikut lõõmutada ja normaliseerida ainult enne masintöötlemist, siis ei mõjuta kuumtöötlemine masintöötlemise tööjärjekorda.

Jääkpingete põhjustatud deformatsioonide vältimiseks või nende mõju vähendamiseks tuleb täppisdetailile vanandada jämetöötlemise ja viimistlustöötlemise vahel ja mõnikord enne täppistöötlemist.

Detaili karastamine, tsementiitimine või kõrgnoolutamiseiga karastamine tuleb teha masintöötlemise tööoperatsioonide vahepeal.

Avad tehakse tootmisprotsessi lõpus, v.a. juhul, kui avasid on vaja detaili fikseerimiseks töötlemise ajal.

Detaili kõige tähtsam ja kõige täpsem pind tuleb töödelda viimaseks. Kergesti kahjustuvad pinnad (nt väliskeermed) tuleb töödelda protsessi lõpus.

Kvaliteeti tuleb kontrollida pärast keerulisi tööoperatsioone, kui on töödeldud olulisi pindu ja pärast selliseid tööoperatsioone, mille järel on võimalik leida tüüpilisi defekte.

Suurpartii- ja masstoodangu korral on soovitatav **töötlusvaru arvutada analüütiliselt**. Nii saadakse täpsemad väärtused. Töötlusvaru on materjali kiht, mis tuleb detaili ettenähtud pinnakarakteristikute saavutamiseks eemaldada järgmise või lõpliku tööoperatsiooniga. Analüütilisel arvutamisel tuvastatakse algul tootmisetapi kõige viimase tööoperatsiooniga eemaldatava materjalikihi mõõt ja seejärel vastupidises järjekorras kõikide tööoperatsioonide mõõdud ning lõpuks arvutatakse tooriku vajalik suurus. Kui on tegemist üksikdetailiga, väikese või keskmise tootepartiiga, siis tuleb töötlusvaru tuvastamiseks rakendada statistilist meetodit, st konkreetsete tööoperatsioonide töötlusvarud tehakse kindlaks juhendmaterjalides esitatud tabelite abil. Töötlusvaru arvutamisel tuleb arvestada ka tööoperatsioonist sõltuvaid mõõtusid ja nende tolerantse.

Detaili töötlemise üldises tehnoloogilises protsessis visandatakse **tööoperatsioonide sisu**. Tööoperatsioonid sisaldavad detaili erine-

vaid töötlemistegevusi. Tehnoloogiliste tööoperatsioonide planeerimisel tuleb kindlaks määrata töötlemistegevuste järgnevus ja sisu ning vähendada tüüpilist ajakulu (detaili kohta), rakendades töötlemisprotsessi omaduste, töötlemise kestuse ja abitegevuste ajasäästu võimalusi. Liinitöötlemises on tööoperatsiooni kestus võrdne tootmise sammuga. Tootmise samm on ajavahemik, mille jooksul tootmisliinilt peab tulema järgmine lõpetatud toode.

Detaili valmistamise tehnoloogilise protsessi kavandamise järgmine samm on **tööpingi ja rakise valimine**. Valitud tööpink aitab täita detailide pindadele esitatud nõudeid. Tööpingi valikul on peamised parameetrid tööala, töödeldava pinna võimalik kuju, tööpingi jõudlus (mis peab vastama planeeritud tootmisprogrammile), tööpingi täpsus ja võimsus.

Kui töötlemine toimub universaalsel tööpingil, siis ei tohi sama tööpink kasutada jäme- ja viimistlustöötlemiseks. Jäme- ja viimistlustöötlemise tööoperatsioonide eraldamist ei rakendata automaatselt tööpingi ja töötluskeskusega töötlemise korral. Töötluskeskuse kasutamise korral töödeldakse tavaliselt lähtepinnad tavatööpingiga ja muud pinnad töötluskeskusega.

Enamikul juhtudel on detaili töötlemise jaoks planeeritud tööpingid tehase tootmisprotsessis hõivatud, seetõttu tuleb arvestada ka seda, milline tööpink ja millal on vaba. Uue tööpingi hankimise kaalumisel tuleb hinnata tasuvusaega, detaili tootmiskulusid, tööpingi ostu- ja kasutuskulusid. Kui masstoodangu korral näitab arvutustulemus, et tööoperatsiooni tegemiseks on vaja kolme või enam sarnast tööpink, siis ei ole valitud tööpingid tõhusad ja tuleb valida sobivamad tööpingid. Tänapäevases tootmises kasutatavad arvjuhtimisega (CNC) tööpingid võivad olla üle kümne korra tõhusamad kui universaalpingid. CNC-tööpinke saab kasutada nii üksikdetailide kui ka masstootmise jaoks.

Detaili kinnitusrakise valikul tuleb arvesse võtta tootmise tüüpi, töödeldava detaili konstruktsiooni, asukohta, tootmisprotsessi tehnoloogilisi ja organisatsioonilisi tingimusi. Üksiktoodete ja väike-

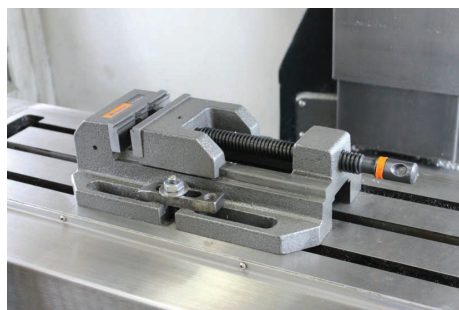
partiide tootmisel kasutatakse laialt universaalkruuseid (joonis 6.2), suurpartii- ja masstoodangus kasutatakse spetsiaalseid kinnitusrakiseid, see aitab vähendada abitöödele kuluvat aega ja suurendada töötlemise tõhusust ja täpsust.

Standardsetest komponentidest koostatud spetsiaalseid kinnitusrakiseid kasutatakse niikaua, kui neid on vaja. Seejärel monteeritakse need lahti ja nende komponente saab kasutada teistsuguste kinnitusrakiste koostamiseks. Need võivad olla üksik- või mitmikrakised. Detaili kinnitamiseks konkreetse tööoperatsiooni jaoks kasutatakse spetsiaalseid rakiseid, mis detaili ei riku. Nende kasutamine on kiire ja automatiseeritav, kuid kõrge hinna tõttu kasutatakse neid ainult suurpartii- ja masstootmisel. Kokkumonteeritud rakised on kaheosalised: põhiosa (mis on tehtud standardsetest materjalidest ja komponentidest) ning vahetatav osa (mis koosneb unikaalsetest komponentidest). Neid on mugav rakendada detailide rühma töötlemiseks, tihti kasutatakse neid keskmiste ja suurte partiide tootmisel. Väikeste ja keskmiste partiide tootmiseks kasutatakse universaalseid rakiseid, mille konstruktsiooni ei saa muuta. Täpsem info kinnitusrakiste funktsiooni kohta on esitatud ptk 2.1.2 ja 2.2.2.

Lõiketera valimisel tuleb arvestada töödeldavat materjali, detaili mõõtmeid, tootmise tüüpi, valitud tööpinki ning täpsuse ja pinnakareduse nõudeid. Kõikide tootmise tüüpide korral on soovitatav kasutada standardseid lõiketeri (joonis 6.3), sest need on oluliselt odavamad kui spetsiaalsed lõiketerad.

Väikeseeria tootmiseks kasutatakse spetsiaalseid lõiketeri ainult siis, kui pindade ettenähtud töötlemiseks ei ole võimalik kasutada standardseid lõiketeri. Suurpartii- ja masstootmise ning mõnikord ka keskmise suurusega partiide korral on mugav kasutada astmikpuure (astmeliste avade jaoks), kujulõike-treiterasid, freesikomplekte kombineeritult standardsete freesidega. Lõiketera materjal valitakse töödeldavast materjalist lähtuvalt. Lõiketera tüübi valikut mõjutab töödeldava pinna mõõtmete täpsusnõue. Vt täpsemalt ptk 3.6.

Mõõtevahendite valikul tuleb keskenduda sellistele, mis tagavad mõõtmistäpsuse, töökindluse ja mõõtmise tõhususe. Ideaaljuhul saavutatakse detaili vajalik täpsus õige tehnoloogilise meetodi rakendamise ja täiendavat kontrollimist ei ole vaja. Tänapäevastes tootmisprotsessides kasvab aktiivsete mõõtevahendite kasutamine.



Joonis 6.2. Kinnitusrakise universaalkruustangid



Joonis 6.2. Kinnitusrakise universaalkruustangid



Joonis 6.4. Koordinaatmõõtepingi mõõtepea

Need on tööpinki integreeritud mõõtevahendid, mida saab kasutada detaili osade mõõtmisteks töötlemise ajal. Kui aktiivseid mõõtevahendeid ei ole võimalik kasutada, tuleb valida standardsed mõõtevahendid. Need on ilma näidikuta mõõturid, mikromeetrid, reeperid, nihikud, avakaliibrid, nurgamõõdikud, keermekaliibrid, profiilmõõturid, sügavusemõõturid jne. Masstootmisel kasutatakse tavaliselt spetsiaalseid mõõtevahendeid. Keerukate koostude täpseks mõõtmiseks kasutatakse mõõtepeadega (joonis 6.4) koordinaatmõõtepinke ja mõõtemikroskoobe.

Lõiketingimused valitakse lähtuvalt tööpingi tehnoloogilistest võimalustest, töödeldavast materjalist ja lõiketera materjalist. Lõiketingimused määravad ära nii töö tõhususe kui ka töödeldud pinna kvaliteedi. Lõiketingimuste valiku või arvutamise kohta on täpsem info esitatud ptk 3.7.

Kui lõiketingimused on valitud või arvutatud, tehakse kindlaks **detaili standardne töötlemisaeg**. Standardset töötlemisaega on vaja teada nii tööviljakuse hindamiseks ja töö lõpetamise innustamiseks kui ka vajaliku tööpinkide arvu ja koormuse arvutamiseks ning tsehi või töögrupi tootmisjõudluse hindamiseks. Detaili standardne

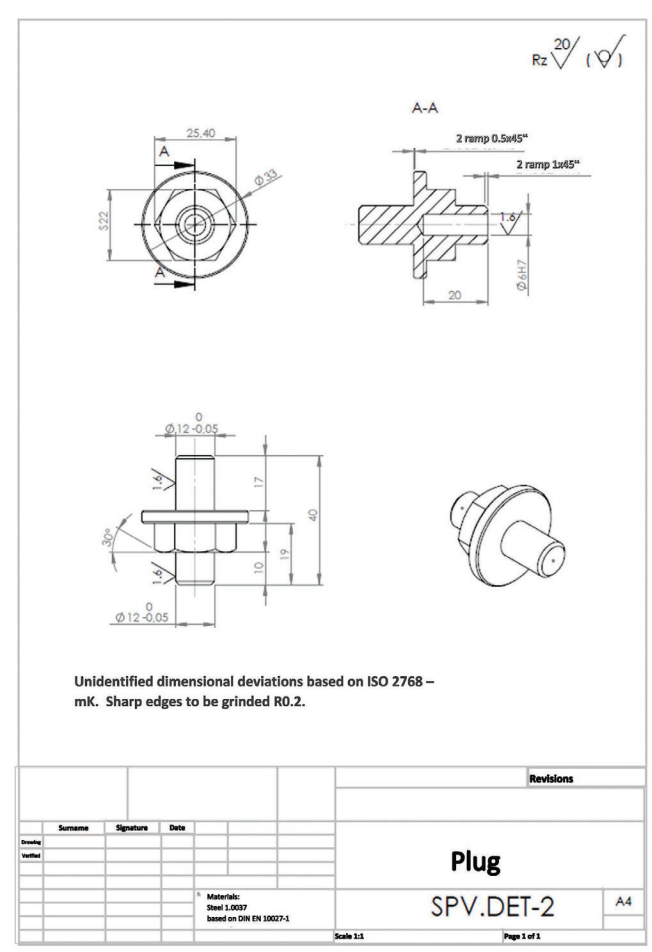
töötlemisaeg sisaldab tööpingi tööaega ja muid ajakomponente (ühe detaili kohta): näiteks abitegevuste aeg, tööpingi hooldusaeg, töötaja puhkeaeg ja isiklike vajaduste aeg, seadistamise aeg. Nende väärtuste leidmiseks saab kasutada asjakohaseid juhendmaterjale. Töötlemisaja arvutamise valemid on esitatud ptk 3.7.

Töötlemisoperatsioonide planeeritud järjekord kirjutatakse spetsiaalsetele tehnoloogiakaartidele. Tavaliselt on tootmisettevõtetel tehnoloogiakaartide jaoks oma vormid. Siiski on erinevate ettevõtete kaartidel palju ühist. Tehnoloogiakaardid peavad selgelt näitama, millised tööoperatsioonid ja mis tingimustel on vaja teha. Marsruudikaardil on kirjeldatud detaili valmistamise tehnoloogilised tööoperatsioonid, tööetapid, konkreetsed tööpingid, lõiketerad ja mõõtevahendid, rakised, detaili standardne töötlemisaeg ja muu oluline info. Marsruudikaardid koostatakse igat liiki töötlemise korral. Operatsioonikaardil on tööoperatsioonide ja etappide üksikasjalik kirjeldus, detaili tehnoloogiline joonis, millel on märgitud selle tööoperatsiooniga töödeldavad pinnad, mõõtmed, pinnakaredus, kinnitusvahendid. Samuti on märgitud lõiketingimused, standardse töötlemisaja komponendid, rakistus, jahutusvedelik jne. Operatsioonikaardid koostatakse keskmiste ja suurte partiide ning masstoodangu korral.

6.2. mCNC-programmide osade rakendamine

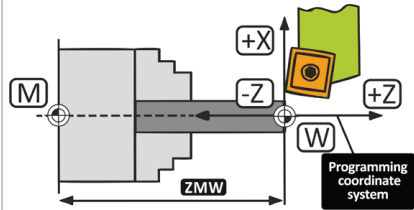
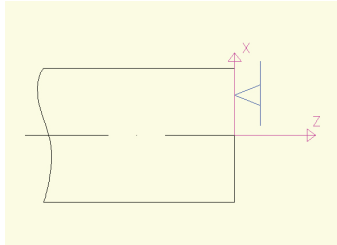

Ptk 6.2.1 ja 6.2.2 on esitatud info CNC-programmide kohta (tabelid 6.1 ja 6.2) ning töödeldavate detailide joonised (joonised 6.5 ja 6.6) treimise ja freesimise tööoperatsioonide jaoks.

6.2.1. Treimise tööoperatsiooni näide

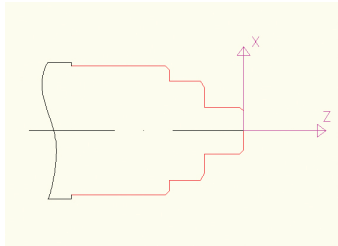


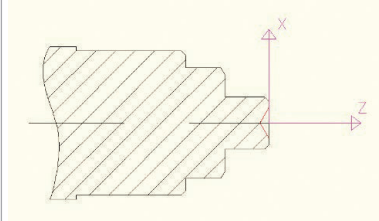


Joonis 6.5. Korgi töötlemisjoonis

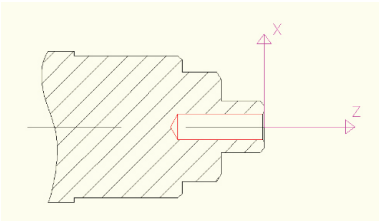

Tabel 6.1 CNC-programm korgi töötlemiseks

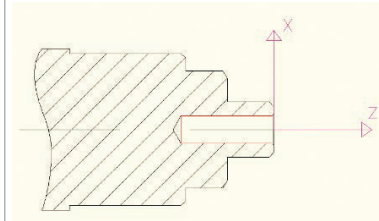

Programmi kirjeldus	Programmi selgitus
<p>%</p> <p>O0001(CNC.DET-2, tööoperatsioon 1)</p> <p>;W – detaili nullpunkt</p> <p>;X – detaili parempoolne ots</p> <p>;Z – detaili telg</p>	<p>Programmi algus.</p> <p>Programmi number. Sulgudes on detaili nimetus ja märkused.</p> 
<p>(Detaili tugi)</p>  <p>T01</p> <p>G0 Z100.</p> <p>G28 U0.</p>	<p>Sulgudes on märkused.</p>  <p>(Hoffmann Group)</p> <p>Toe rakendamine.</p> <p>Toe nihutamine ülespoole piki Z-telge töödeldava detaili pikendamiseks.</p> <p>Toe nihutamine allapoole lõiketera vahetuspunktini.</p>

Tabel 6.1 järg

Programmi kirjeldus	Programmi selgitus	Programmi kirjeldus	Programmi selgitus
(Kontuuri jämetreimine töötusvaru jätmisega viimistlustöötlemiseks.) (Jämetöötlemise treitera.) 	Tööoperatsiooni nimetus. Tööoperatsiooni jaoks kasutatav lõiketera.  (Walter AG) T – lõiketera number. Spindli maksimumkiiruse seadmine. Spindli pöörlemiskiiruse, suuna ja käivitumise seadmine. Määrdeaine/jahutusvedeliku juurdevoolu avamine. Lõiketera nihutamine detaili otsa poole. Otstreimine. Ettenihe. Detailist eemaleliikumine. Treimistsüklite parameetrite kirjeldus kontuuri jämetöötlemiseks.	G0 X11. Z0. G1 X12. Z-0.5 Z-10. X22. X25.4 Z-10.98 Z-19. X32. X33.2 Z-19.6 Z-44. X35. Z-46. G0 Z100. G28 U0. M05 M09	Lõiketera trajektoori (kontuuri osade) kirjeldus kontuuri jämetöötlemiseks. Lõiketera detailist eemale tõmbamine. Spindli seiskamine ja lõiketera liigutamine vahetuspunkti. Jahutusvedeliku juurdevoolu sulgemine.
T02 G50 S2000 G96 S150 M04 M08 G0 X37. Z0.2 G1 X-1.65 F0.2 G0 X35. Z2. G71 U2.5 R0.2 G71 P100 Q200 U0.3 W0.1 F0.3	Tööoperatsiooni nimetus. Tööoperatsiooni jaoks kasutatav lõiketera.  (Hoffmann Group)	Ava tsentreerimine, läbimõõt 6,5 mm. (Tsenterpuur, läbimõõt 10 mm.) 	

Tabel 6.1 järg

Programmi kirjeldus	Programmi selgitus
T03 G97 S1000 M03 G0 X0. Z20. M08 G98 G81 Z-1. R2. F0.1 G00 Z100. G28 U0. M05 M09	T – lõiketera number. Spindli pöörlemiskiiruse ja suuna seadmine. Lõiketera lähendamine detailile. Määrdeaine/jahutusvedeliku juurdevoolu avamine. Tsentreerimistsükli parameetrite ja ettenihke seadmine. Lõiketera detailist eemale tõmbamine. Spindli seiskamine ja lõiketera liigutamine vahetuspunkti. Jahutusvedeliku juurdevoolu sulgemine.
(Ava puurimine, läbimõõt 6,5 mm, H7.) (Puur, läbimõõt 6,3 mm.) 	Tööoperatsiooni nimetus. Tööoperatsiooni jaoks kasutatav lõiketera.  (Hoffmann Group)

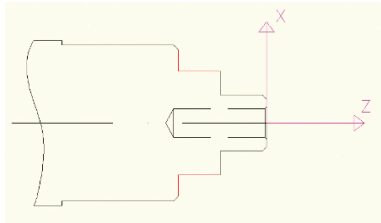

Programmi kirjeldus	Programmi selgitus
T04 G97 S800 M03 G0 X0. Z20. M08 G98 G83 Z-21.95 R2. Q3. F0.12 G0 Z100. G28 U0. M05 M09	T – lõiketera number. Spindli pöörlemiskiiruse ja suuna seadmine. Määrdeaine/jahutusvedeliku juurdevoolu avamine. Sügavpuurimise tsükli parameetrite ja ettenihke seadmine. Lõiketera detailist eemale tõmbamine. Spindli seiskamine ja lõiketera liigutamine vahetuspunkti. Jahutusvedeliku juurdevoolu sulgemine.
(Ava hõõritsemine, läbimõõt 6,5 mm, H7.) (Hõõrits, läbimõõt 6,5 mm, H7.) 	Tööoperatsiooni nimetus. Tööoperatsiooni jaoks kasutatav lõiketera.  (Hoffmann Group)

Tabel 6.1 järg

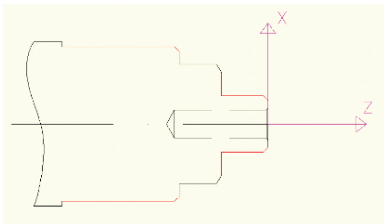

Programmi kirjeldus	Programmi selgitus
T04	T – lõiketera number.
G97 S600 M03	Spindli pöörlemisrežiimi, kiiruse ja suuna seadmine.
G0 X0. Z20. M08	Määrdeaine/jahutusvedeliku juurdevoolu avamine.
G98 G85 Z-21.95 R2. Q3. F0.05	Hõõritsemistsükli parameetrite kirjeldus. Lõiketera ettenihke seadmine.
G0 Z100.	Lõiketera detailist eemale tõmbamine.
G28 U0. M05	Spindli seiskamine ja lõiketera liigutamine vahetuspunkti.
M09	Jahutusvedeliku juurdevoolu sulgemine.
(Kuuskandi freesimine, 22 mm.)	Tööoperatsiooni nimetus.
(Otsfrees, läbimõõt 10 mm.)	Tööoperatsiooni jaoks kasutatav lõiketera.
	
	(Hoffmann Group)

Programmi kirjeldus	Programmi selgitus
T06	T – lõiketera number.
M69	Rakendatud lõiketera koordinaatide määramine.
S1350 M03	Spindli pöörlemiskiiruse ja suuna seadmine.
M08	Määrdeaine/jahutusvedeliku juurdevoolu avamine.
G28 C0. G28 U0. G28 W0.	Rakendatud lõiketera etalonasendi seadmine.
G00 Z20.	Rakendatud lõiketera lähendamine detailile.
G0 X30. C17.	Rakendatud lõiketera liikumine töödeldaval pinnal.
G0 Z-9.	Lõiketera nihutamine ülespoole piki Z-telge.
G1 Z-14.5	Töötlemissügavuse seadmine.
G12.1	Kontuuri kirjelduse algmooduli seadmine tsükli jaoks.
Z-19.	Töötlemissügavuse näit.
G12.1	Kontuuri kirjelduse algmooduli seadmine tsükli jaoks.

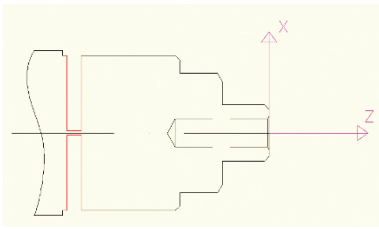

Tabel 6.1 järg

Programmi kirjeldus	Programmi selgitus	Programmi kirjeldus	Programmi selgitus
G1 G42 F0.2 X14. C11.2 X-12.94 F0.045 X-25.86 C0. X-12.94 C-11.2 X12.94 X25.86 C0. X11.9 C12.1 G40 F1.5 X30. C17.	Lõiketera trajektoori kirjeldus (kuuskandi jämfreesimiseks), töötlemisparameetrite seadmine lõiketera raadiuse arvestamisega 14,5 mm sügavuse jaoks.	(Kuuskandi viimistlusfreesimine, 22 mm.) (Otsfrees, läbimõõt 10 mm.)	Tööoperatsiooni nimetus. Tööoperatsiooni jaoks kasutatav lõiketera.
G1 G42 F0.2 X14. C11.2 X-12.94 F0.045 X-25.86 C0. X-12.94 C-11.2 X12.94 X25.86 C0. X11.9 C12.1 G40 F1.5 X30. C17.	Lõiketera trajektoori kirjeldus (kuuskandi jämfreesimiseks), töötlemisparameetrite seadmine lõiketera raadiuse arvestamisega 19 mm sügavuse jaoks.		
G13.1	Kontuuri kirjelduse lõppmooduli seadmine tsükli jaoks.	T07	(Hoffmann Group) T – lõiketera number.
G0 Z50. M05	Lõiketera detailist eemale tõmbamine. Spindli väljalülitamine.	M69	Rakendatud lõiketera koordinaatide määramine.
M68	Rakendatud lõiketera koordinaatide tühistamine.	S1350 M03	Spindli pöörlemiskiiruse ja suuna seadmine.
G28 U0. G28 W0.	Rakendatud lõiketera liikumine tagasi alguspunkti.	M08	Määrdeaine/jahutusvedeliku juurdevoolu avamine.
		G28 C0. G28 U0. G28 W0.	Rakendatud lõiketera etalonasendi seadmine.
		G00 Z20.	Rakendatud lõiketera lähendamine detailile.
		X30.C17.	Rakendatud lõiketera liikumine töödeldaval pinnal.
		Z-17.	Kontuurile ohutul kaugusel lähendamine piki Z-telge.

Tabel 6.1 järg

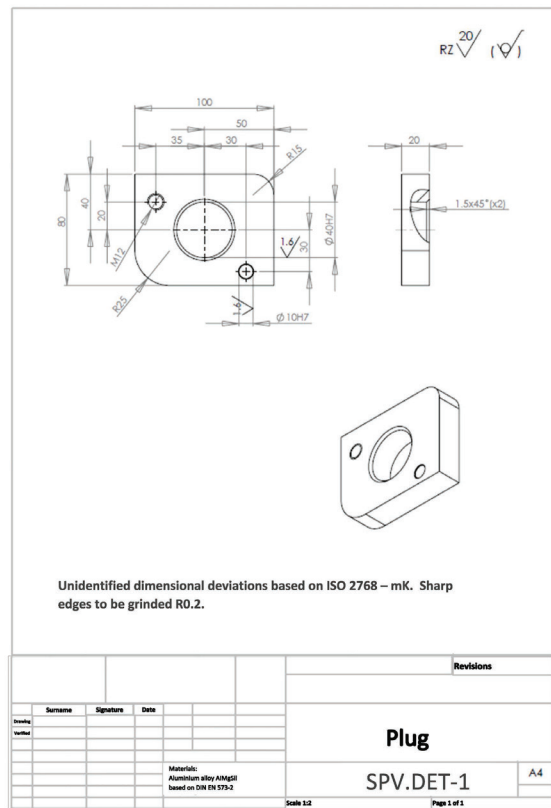
Programmi kirjeldus	Programmi selgitus	Programmi kirjeldus	Programmi selgitus
G1 Z-19.	Töötlemissügavuse näit.	T01	T – lõiketera number.
G12.1	Kontuuri kirjelduse lõppmooduli seadmine tsükli jaoks.	G50 S2000	Spindli maksimumkiiruse seadmine.
G1 G42 F0.2 X14. X11. X-12.7 F0.045 X-25.4 C0. X-12.7 C-11. X12 X25.4 C0. X11 54 X12. G40 F1.5 X30. C17	Lõiketera trajektoori kirjeldus (kuuskandi viimistlusfreesimiseks), töötlemisparameetrite seadmine lõiketera raadiuse arvestamisega 19 mm sügavuse jaoks.	G96 S150 M04	Spindli pöörlemiskiiruse ja suuna seadmine.
G13.1	Kontuuri kirjelduse algmooduli seadmine tsükli jaoks.	M08	Määrdeaine/jahutusvedeliku juurdevoolu avamine.
G0 Z50. M05	Lõiketera detailist eemale tõmbamine. Spindli väljalülitamine.	G0 X14. Z0.	Lõiketera nihutamine detaili otsa poole.
M68	Rakendatud lõiketera koordinaatide tühistamine.	G1 X25.4 F0.2	Ostreimine. Ettenihe.
G28 U0. G28 W0.	Rakendatud lõiketera liikumine tagasi alguspunkti.	G0 X11.Z2.	Lõiketera detailist eemale tõmbamine.
(Kontuuri viimistlustreimine.) (Viimistlustöötlemise treitera.)	Tööoperatsiooni nimetus. Tööoperatsiooni jaoks kasutatav lõiketera.	G1 Z0. X12. Z-0.5 Z-10. X22. X25.4 Z-10.98 Z-19. X32. X33.2. Z-19.5	Lõiketera trajektoori kirjeldus detaili kontuuri järgi.
		G0 X35. Z-21.	Lõiketera eemalõmbamine ohutule kaugusele.
(Walter AG)		Z100. M05	Lõiketera tööpiirkonnast eemale tõmbamine. Spindli väljalülitamine.
		M09	Jahutusvedeliku juurdevoolu sulgemine.
		G28U0.	Toe nihutamine allapoole lõikeriista vahetuspunktini.

Tabel 6.1 järg

Programmi kirjeldus	Programmi selgitus
(Detaili lahtilõikamine.) (Lahtilõikamise tera.)	Tööoperatsiooni nimetus. Tööoperatsiooni jaoks kasutatav lõiketera.
	
	(Tungaloy Corporation)
T01	T – lõiketera number.
G50 S2000	Spindli maksimumkiiruse seadmine.
G96 S150 M04	Spindli pöörlemiskiiruse ja suuna seadmine.
M08	Määrdeaine/jahutusvedeliku juurdevoolu avamine.
G0 X37. Z-40.2	Lõiketera liikumine lõikeasendi poole.
G1 X22. F0.05	Lõikeliikumine detaili keskme poole piki X-telge. Lõiketera ettenihke seadmine.
G0 X0.	Lõiketera lõikepiirkonnast eemale tõmbamine.
Z100.	Lõiketera tööpiirkonnast eemale tõmbamine.
G28 U0. M05	Spindli seiskamine ja lõiketera liigutamine vahetuspunkti.


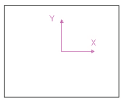

Programmi kirjeldus	Programmi selgitus
M09	Jahutusvedeliku juurdevoolu sulgemine.
M03	
%	Programmi lõpp ja pöördumine programmi algusesse.

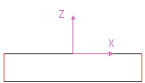
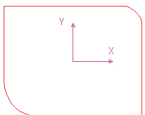

6.2.1. Treimise tööoperatsiooni näide



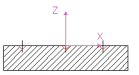

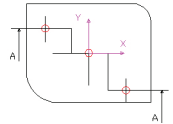
Joonis 6.6. Plaadi töötlemisjoonis

Tabel 6.2 CNC-programm plaadi töötlemiseks

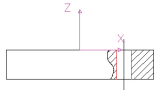
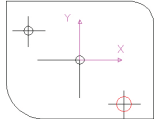

Programmi kirjeldus	Programmi selgitus
%	Programmi algus.
O0001 (Part – plate)	Programmi number. Detaili nimetus ja märkused.
(centre of X) (centre of Y) (Top of Z)	Detaili nullpunkti etaloni kommentaarid.
(Ülemise pinna freesimine.) (Laupfrees, läbimõõt 40 mm.)	Tööoperatsiooni nimetus. Tööoperatsiooni jaoks kasutatav lõiketera.
 	
T01 ME	(Hoffmann Group) T – lõiketera number ja lõiketera vahetamise käsk.
G0 G71 G50 G0 G96 X35. Y-20.	Tööpinna ja absoluutsete koordinaatide määramine.
S150 S150 M3	Lõiketingimuste seadmine, ettenihke määramine (minuti kohta), spindli pöörlemisvuuna määramine.
G43 Z50.0 H1 D1 M8	Lõiketera pikkuse ja liikumissuuna parameetrite rakendamine. Jahutusvedeliku juurdevoolu avamine.

Programmi kirjeldus	Programmi selgitus
G0 Z2.	Lõiketera nihutamine töödeldava pinna poole ohutul kaugusel. Lõiketera nihutamine detaili pinna poole. Sirgjooneline liikumine X-telje suunas. Sirgjooneline liikumine Y-telje suunas. Sirgjooneline liikumine X-telje suunas.
G1 Z0.	
X-75.	
Y20.	
X75.	
G0 Z20.	Lõiketera detaili pinnalt eemale tõmbamine.
G80 M9	Jahutusvedeliku juurdevoolu sulgemine.
G28 G91 Z0 M5	Spindli seiskamine ja tagasipöördumine etalonpunkti.
(Kontuurfreesimine.) (Otsfrees, läbimõõt 12 mm.)	Tööoperatsiooni nimetus. Tööoperatsiooni jaoks kasutatav lõiketera.
 	
	(Hoffmann Group)

Tabel 6.2 järg

Programmi kirjeldus	Programmi selgitus	Programmi kirjeldus	Programmi selgitus	
T2 M6	T – lõiketera number ja lõiketera vahetamise käsk.	G1 Y-42.	} Sirgjooneline liikumine Y-telje suunas.	
G0 G17 G54 G90 G94 G0 X55. Y-52.	Tööpinna ja absoluutsete koordinaatide määramine.	G40 X62.		} Lõiketera raadiuse korrigeerimise väljalülitamine.
S1500 F150 M3	Lõiketingimuste seadmine, ettenihke määramine (minuti kohta), spindli pöörlemissuuna määramine.	G0 Z50.	Lõiketera detaili pinnalt eemale tõmbamine.	
G43 Z50.0 H2 D2 M8	Lõiketera pikkuse ja liikumissuuna parameetrite rakendamine. Jahutusvedeliku juurdevoolu avamine.	G80 M9	Jahutusvedeliku juurdevoolu sulgemine.	
G0 Z2.	} Lõiketera nihutamine töödeldava pinna poole ohutul kaugusel.	G28 G91 Z0 M5	Spindli seiskamine ja tagasipöördumine etalonpunkti.	
G1 Z-10.		Lõiketera läbiliigutamine alla töösügavusele.	(Ava tsentreerimine.)	Tööoperatsiooni nimetus.
G41 Y-40.		Lõiketera raadiuse korrigeerimise sisselülitamine (vasak pool).	(Tsentripuur.)	Tööoperatsiooni jaoks kasutatav lõiketera.
X-25.		Sirgjooneline liikumine X-telje suunas.		
G2 X-50. Y-15. R25.		Ringliikumine päripäeva.		(Hoffmann Group)
G1 Y40.		Sirgjooneline liikumine Y-telje suunas.	T3 M6	T – lõiketera number ja lõiketera vahetamise käsk.
X35.		Sirgjooneline liikumine X-telje suunas.	G0 G17 G54 G90 G94 X30. Y-30.	Tööpinna ja absoluutsete koordinaatide määramine.
G2 X50. Y25. R15.		Ringliikumine päripäeva.	S1000 F100 M3	Lõiketingimuste seadmine, ettenihke määramine (minuti kohta), spindli pöörlemissuuna määramine.

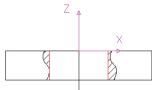

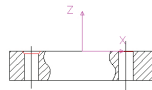

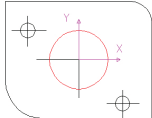
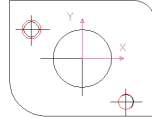
Tabel 6.2 järg

Programmi kirjeldus	Programmi selgitus	Programmi kirjeldus	Programmi selgitus
G43 Z30.0 H3 M8 (Ava 10H7) G98 G81 X30. Y-30. Z-1. R2. (Ava 40H7) G98 G81 X0. Y0. Z-1. R2. (Ava M12) G98 G81 X-35. Y20. Z-1. R2.	Lõiketera pikkuse ja liikumissuuna parameetrite rakendamine. Jahutusvedeliku juurdevoolu avamine. Märkus G98 – pöördumine tagasi algsele sügavusele (Z30.). Tsentreerimistsükli parameetrite kirjeldus: ava koordinaadid, tsentreerimise sügavus, lõiketera ohutu nihutamise kaugus detaili pinna poole kiire ettenihkega.	T4 M6 G0 G17 G54 G90 G94 X30. Y-30. S1000 F100 M3 G43 Z30.0 H4 M8 G98 G83 Z-25. R2. Q5.	T – lõiketera number ja lõiketera vahetamise käsk. Tööpinna ja absoluutsete koordinaatide määramine. Lõiketingimuste seadmine, ettenihke määramine (minuti kohta), spindli pöörlemissuuna määramine. Lõiketera pikkuse ja liikumissuuna parameetrite rakendamine. Jahutusvedeliku juurdevoolu avamine. G98 – pöördumine tagasi algsele sügavusele (Z30.). Puurimistsükli parameetrite kirjeldus: puurimissügavus, lõiketera ohutu nihutamise kaugus detaili pinna poole kiire ettenihkega, ühe läbistamise sügavus.
G80 M9 G28 G91 Z0 M5	Jahutusvedeliku juurdevoolu sulgemine. Spindli seiskamine ja tagasipöördumine etalonpunkti.	G80 M9 G28 G91 Z0 M5	Jahutusvedeliku juurdevoolu sulgemine. Spindli seiskamine ja tagasipöördumine etalonpunkti.
(Ava puurimine, läbimõõt 10 mm, H7.) (Puur, läbimõõt 9,8 mm.)  	Tööoperatsiooni nimetus. Tööoperatsiooni jaoks kasutatav lõiketera.  (Hoffmann Group)		

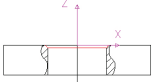
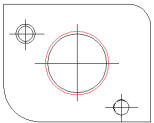

Tabel 6.2 järg

Programmi kirjeldus	Programmi selgitus	Programmi kirjeldus	Programmi selgitus
(Ava puurimine, läbimõõt 40 mm, H7.) (Puur, läbimõõt 17.5 mm.)	Tööoperatsiooni nimetus. Tööoperatsiooni jaoks kasutatav lõiketera.	(Ava puurimine, M12.) (Puur, läbimõõt 10,2 mm.)	Tööoperatsiooni nimetus. Tööoperatsiooni jaoks kasutatav lõiketera.
			
	(Hoffmann Group)		(Hoffmann Group)
T5 M6	T – lõiketera number ja lõiketera vahetamise käsk.	T6 M6	T – lõiketera number ja lõiketera vahetamise käsk.
G0 G17 G54 G90 G94 X0. Y0.	Tööpinna ja absoluutsete koordinaatide määramine.	G0 G17 G54 G90 G94 X-35. Y20.	Tööpinna ja absoluutsete koordinaatide määramine.
S1000 F100 M3	Lõiketingimuste seadmine, ettenihke määramine (minuti kohta), spindli pöörlemissuuna määramine.	S1000 F100 M3	Lõiketingimuste seadmine, ettenihke määramine (minuti kohta), spindli pöörlemissuuna määramine.
G43 Z30.0 H5 M8	Lõiketera pikkuse ja liikumissuuna parameetrite rakendamine. Jahutusvedeliku juurdevoolu avamine.	G43 Z30.0 H6 M8	Lõiketera pikkuse ja liikumissuuna parameetrite rakendamine. Jahutusvedeliku juurdevoolu avamine.
G98 G83 Z-25. R2. Q3.	Puurimistsükli parameetrite kirjeldus.	G98 G83 Z-25. R2. Q5.	Puurimistsükli parameetrite kirjeldus.
G80 M9	Jahutusvedeliku juurdevoolu sulgemine.	G80 M9	Jahutusvedeliku juurdevoolu sulgemine.
G28 G91 Z0 M5	Spindli seiskamine ja tagasipöördumine etalonpunkti.	G28 G91 Z0 M5	Spindli seiskamine ja tagasipöördumine etalonpunkti.

Tabel 6.2 järg

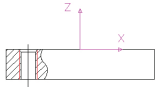
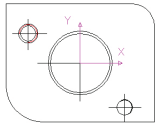

Programmi kirjeldus	Programmi selgitus	Programmi kirjeldus	Programmi selgitus
(Ava puurimine, läbimõõt 40 mm, H7.) (Otsfrees, läbimõõt 16 mm.)	Tööoperatsiooni nimetus. Tööoperatsiooni jaoks kasutatav lõiketera.	(Ava faasimine.) (Kraatide eemaldamine.)	Tööoperatsiooni nimetus. Tööoperatsiooni jaoks kasutatav lõiketera.
			
	(Hoffmann Group)		(Hoffmann Group)
T7 M6	T – lõiketera number ja lõiketera vahetamise käsk.	T8 M6	T – lõiketera number ja lõiketera vahetamise käsk.
G0 G17 G54 G90 G94 X0. Y0.	Tööpinna ja absoluutsete koordinaatide määramine.	G0 G17 G54 G90 G94 X30. Y-30.	Tööpinna ja absoluutsete koordinaatide määramine.
S1000 F100 M3	Lõiketingimuste seadmine, ettenihke määramine (minuti kohta), spindli pöörlemissuuna määramine.	S1000 F100 M3	Lõiketingimuste seadmine, ettenihke määramine (minuti kohta), spindli pöörlemissuuna määramine.
G43 Z30.0 H7 D7 M8	Lõiketera pikkuse ja liikumissuuna parameetrite rakendamine. Jahutusvedeliku juurdevoolu avamine.	G43 Z30.0 H8 M8	Lõiketera pikkuse ja liikumissuuna parameetrite rakendamine. Jahutusvedeliku juurdevoolu avamine.
G120 P22 X0. Y0. Z-20. R2. K10. D7. U40. W5. E200 Q0.2 F200	Ümardatud süvendi freesimistsükli parameetrite kirjeldus.	(Ava 10H7) G98 G81 X30. Y-30. Z-1. R2. (Ava M12) G98 G81 X-35. Y20. Z-1. R2.	Märkus Tsentreerimistsükli parameetrite ja ava koordinaatide kirjeldus.
G80 M9	Jahutusvedeliku juurdevoolu sulgemine.	G80 M9	Jahutusvedeliku juurdevoolu sulgemine.
G28 G91 Z0 M5	Spindli seiskamine ja tagasipöördumine etalonpunkti.	G28 G91 Z0 M5	Spindli seiskamine ja tagasipöördumine etalonpunkti.

Tabel 6.2 järg

Programmi kirjeldus	Programmi selgitus
(Ava faasimine, läbimõõt 40 mm, H7.) (Faasifrees.)	Tööoperatsiooni nimetus. Tööoperatsiooni jaoks kasutatav lõiketera.
 	 (Hoffmann Group)
T9 M6	T – lõiketera number ja lõiketera vahetamise käsk.
G0 G17 G54 G90 G94 X0. Y0.	Tööpinna ja absoluutsete koordinaatide määramine.
1000 F100 M3	Lõiketingimuste seadmine, ettenihke määramine (minuti kohta), spindli pöörlemissuuna määramine.
G43 Z30.0 H9 D9 M8	Lõiketera pikkuse ja liikumissuuna parameetrite rakendamine. Jahutusvedeliku juurdevoolu avamine.
G0 Z2. G1 Z-0.5 G1 G41 X-20. Y0. G3 I20. G1 G40 X0. Y0. G0 Z20.	Lõiketera trajektoori kirjeldus.

Programmi kirjeldus	Programmi selgitus
G80 M9	Jahutusvedeliku juurdevoolu sulgemine.
G28 G91 Z0 M5	Spindli seiskamine ja tagasipöördumine etalonpunkti.
(Ava hõõritsemine, läbimõõt 10 mm, H7.) (Hõõrits, läbimõõt 10 mm, H7.)	Tööoperatsiooni nimetus. Tööoperatsiooni jaoks kasutatav lõiketera.
 	 (Hoffmann Group)
T10 M6	T – lõiketera number ja lõiketera vahetamise käsk.
G0 G17 G54 G90 G94 X30. Y-30.	Tööpinna ja absoluutsete koordinaatide määramine.
S200 F100 M3	Lõiketingimuste seadmine, ettenihke määramine (minuti kohta), spindli pöörlemissuuna määramine.
G43 Z30.0 H10 M8	Lõiketera pikkuse ja liikumissuuna parameetrite rakendamine. Jahutusvedeliku juurdevoolu avamine.
G98 G85 Z-23. R2.	Hõõritsemistsükli parameetrite kirjeldus.

Tabel 6.2 järg

Programmi kirjeldus	Programmi selgitus
G80 M9	Jahutusvedeliku juurdevoolu sulgemine.
G28 G91 Z0 M5	Spindli seiskamine ja tagasipöördumine etalonpunkti.
(Ava keerrestamine, M12.) (Keermelõikur, M12.)	Tööoperatsiooni nimetus. Tööoperatsiooni jaoks kasutatav lõiketera.
 	 (Hoffmann Group)
T11 M6	T – lõiketera number ja lõiketera vahetamise käsk.
G0 G17 G54 G90 G95 X-35. Y20.	Tööpinna ja absoluutsete koordinaatide määramine.
S100 F100 M3	Lõiketingimuste seadmine, ettenihke määramine (minuti kohta), spindli pöörlemisnõrguse määramine.
G43 Z30.0 H11 M8	Lõiketera pikkuse ja liikumissuuna parameetrite rakendamine. Jahutusvedeliku juurdevoolu avamine.
M0	Paus
M29 S100	Sisekeerrestamine. Spindli pöörlemisrežiimi määramine.

Programmi kirjeldus	Programmi selgitus
G98 G84. Z-23. R2. F1.75	G98 – pöördumine tagasi algsele sügavusele (Z30.). Keermestamisüklil parameetrite kirjeldus: keerme sügavus, lõiketera ohutu nihutamise kaugus detaili pinna poole kiire ettenihkega, ettenihe keermesammu väärtuse kohaselt.
G80 M9	Jahutusvedeliku juurdevoolu sulgemine.
G28 G91 Z0 M5	Spindli seiskamine ja tagasipöördumine etalonpunkti.
M30	Programmi peatamine, kui pöörduakse tagasi algusesse.
%	Programmi lõpp.

6.3. Detaili mõõtmine

Mõõtmine on detaili ja selle osade töötlemise osa ning seda tehakse pärast igat töötlemisoperatsiooni ja kõikide tööoperatsioonide lõpetamisel. Mõõtmisega hinnatakse detaili kuju, mõõtmete ja pinnakvaliteedi vastavust joonisel esitatud tehnilistele andmetele. Iga mõõdetava väärtuse jaoks tuleb kasutada kõige sobivama mõõtepiirkonna ja täpsusega mõõteseadet (tabel 6.3 ja 6.4).

Tabel 6.3 Treitud detaili mõõtmine

Mõõtmise pilt	Selgitus
	Välismõõtmed (pikkus, raadius jne) mõõdetakse lineaarmõõtmete mõõtmise standardsete mõõtevahenditega.
	Tavaliselt saab standardset mõõtevahendit kasutada detaili paljude erineva kujuga osade mõõtmiseks (nt kaelad, astmed, süvendid).
	Detaili osade suhtelist asendit tuleb mõõta spetsiaalse mõõtevahendiga (sügavusemõõtur, mikromeeter jne).

Mõõtmise pilt	Selgitus
	Enamikul universaalsetel mõõtevahenditel on mitu erinevat mõõtmispinda, mille abil saab mõõta välis- või sisemõõtu ning pindade suhtelist asendit.
	Täpsemaks mõõtmiseks kasutatakse eriti suure täpsusega mõõtevahendeid. Välisläbimõõtu mõõdetakse mikromeetriga. Võlli läbimõõdu mõõtmisel võib mõnikord piisava täpsuse tagada ka kaliiber, siiski on sellega mõõtmisel puutepind mõõtepindade kuju tõttu väiksem kui mikromeetriga mõõtmisel. Seetõttu võib läbimõõdu mõõtetulemuse hälve olla kaliibri korral suurem kui mikromeetri korral.
	Detaili osade siseläbimõõte mõõdetakse spetsiaalsete mõõtevahenditega. Need peavad tagama suurema mõõteala ja sobima kokku mõõdetava osa geomeetriaga. Standardiseeritud hälbega silinderpinna sisemõõtu mõõdetakse korkkaliibriga.

Tabel 6.3 järg

Mõõtmise pilt	Selgitus
	Korkkaliibril on tavaliselt kaks mõõtekomponenti – läbiv ja mitteläbiv kork (rahuldav ja mitterahuldav mõõt), mis vastavad mõõdetava ava mõõtude piirväärtustele. Mõõdetavat ava tuleb kontrollida/mõõta kaliibri mõlema korgiga. Tulemuseks on hinnang, kas mõõt on lubatud hälbe piires.
	Peale lineaarmõõtmise ja nende hälbe tuleb hinnata detaili osade pinnakvaliteedi vastavust joonisel esitatud nõuetele (nt pinnakaredust, mida saab mõõta pinnakareduse testri ja karedusetaloni abil).

Tabel 6.4 Treitud detaili mõõtmine

Mõõtmise pilt	Selgitus
	Välismõõtmised mõõdetakse standardsete mõõtevahenditega.
	Kindlasti tuleb mõõta üldmõõtmised ja hinnata ka geomeetria hälbeid, mille kohta võivad täiendada nõuded.
	Iga mõõtmise hälvet tuleb eraldi hinnata, sest väärtusest olenevalt võib lubatud hälve olla erinev.
	Tootmise ajal mõõdetakse keermeid keerme-korkkaliibriga. Keerme-korkkaliibril on kaks mõõtekomponenti – läbiv ja mitteläbiv kork (rahuldav ja mitterahuldav mõõt). Läbiva korgi saab kontrollitavasse keermesse kergesti keerata, mitteläbiva korgi ainult osaliselt, kõige rohkem kaks pööret.

Tabel 6.3 järg

Mõõtmise pilt	Selgitus
	Mõõdetava osa suhtelise asendi kindlakstegemiseks tuleb esiteks mõõta selle tegelik mõõt.
	Avade suhtelise paiknemise mõõtmisel tuleb hinnata kaugust ava pinna ja detaili muude osade vahel. Peale selle tuleb mõõta ava tegelik mõõt. Pärast neid mõõtmisi saab arvutada ava geomeetrilise keskmee asukoha.
	Suure täpsusnõudega detailide korral ei ole standardsed korkkaliibrid ja harkkaliibrid alati piisavad. Sel juhul võib kasutada standardset mõõteskaalaga mikromeetrit, mis on kohandatud mõõdetava suuruse jaoks. Sellises mikromeetris on kasutusel võrdlev mõõtemetod, seetõttu tuleb mikromeeter kalibreerida konkreetse kork- või harkkaliibri järgi.

Mõõtmise pilt	Selgitus
	Ava täpse mõõtmise tagamiseks, peab kogu ava läbimõõdu ulatuses olema tagatud väike hälve. Seetõttu tehakse mõõtmine mitmes kohas, et kontrollida, kas ava erinevate ristlõigete mõõt on lubatud hälbe piires.
	Töödeldud pinna kareduse kontrollimisel tuleb pinda mõõta mitmes kohas, et hinnata võimalikku ebatasasust ja kahjustusi.

PRAKTILINE NÕUANNE

Enne mõõtmist tuleb kontrollida mõõtevahendi nullpunkti seadistust.

7. TÖÖOHUTUS



7. TÖÖOHUTUS

Töötingimused peavad tagama iga töötaja tervise ja turvalisuse. Töötajate tervist ja turvalisust reguleerivad töökoodeks, töetervishoiu ja tööohutuse seadus, valitsuse otsused ja seadused. Tööandja peab finantseerima tehniliste, sanitaarsete ja hügieeniliste kaitsemeetmete soetamist, et tagada turvalised ja tervist hoidvad töötingimused.

Hooldusettevõtte tehniline personal või tootja esindajad peavad välja õpetama masinate hooldamiseks ja nendega töötamiseks volitatud personali. Tööandja peab välja õpetama masinatega töötavad töötajad; regulaarselt (vähemalt kord aastas) instrueerima neid kõigi CNC-masinaid puudutavate ohutusstandardite ja võimalike hädaohuolukordade osas; kontrollima töötajate teadlikkust; dokumenteerima väljaõpet/instruktsioone hooldusraamatus; nõudma, et töötaja kinnitaks oma kohalviibimist väljaõppel/instrueerimisel allkirjaga; kontrollima, kas töötajad töötavad turvaliselt, väldivad ohtusid ja järgivad kasutusjuhendit.




Masinaoperaator peab teadma ja täpselt järgima regulatsioonis paika pandud tööohutuse nõudeid, et vältida masinatest põhjustatud vigastusi. Masinaoperaator peab olema välja õpetatud hooldama ja programmeerima CNC-masinat; teadma ja mõistma programmi faase ja nende mõju masina osa parameetritele ja täitma kasutaja logi; lugema ja mõistma kasutusjuhendit; olema tuttav kõigi ohutusseadmete ja märguannetega enne masina kasutamise alustamist. Masinaoperaator peab teadma masinal või mujal tööpaigal olevate sümbolite (ikoonide) ja teiste hoiatustähiste tähendust ja neid järgima.









Ohutusjuhised on määratud eri tasanditele. Sümbolite (ikoonide) ülevaade ning hoiatused ja võimalikud tagajärjed on kirjas tabelis 7.1.

Töökoha ohutus on tagatud hoiatus-, keelu-, kohustus- ja ohutusmärkidega. Kõik hoiatus- ja kohustusmärgid peavad olema selgesti loetavad.

Hoiatusmärguanded – kollane kolmnurk musta sümboliga (joonis 7.1). Need määratlevad keskkonna ja hoiatavad võimalike ohtude eest.

Tabel 7.1. Sümbolite (ikoonid) ja hoiatuste seletused

Ikoon	Hoiatus	Seletus/tagajärg
	HÄDAOHT!	Surmaga lõppeva õnnetuse oht töötajale
	HOIATUS!	Raske vigastuse või surma oht töötajale
	ETTEVAATUST!	Ebaturvalise protseduuri oht, mis võib põhjustada töötajatele vigastusi või rikkuda seadmeid
	TÄHELEPANU!	Olukord, mis võib põhjustada kahjustusi CNC-masinale või teistele seadmetele. Puudub oht töötaja tervisele või vigastusoht
	TEAVE	Näpunäited ja muu tähtis ja kasulik info, märkused. Puudub hädaoht või kahjulik tagajärg töötajatele või objektidele

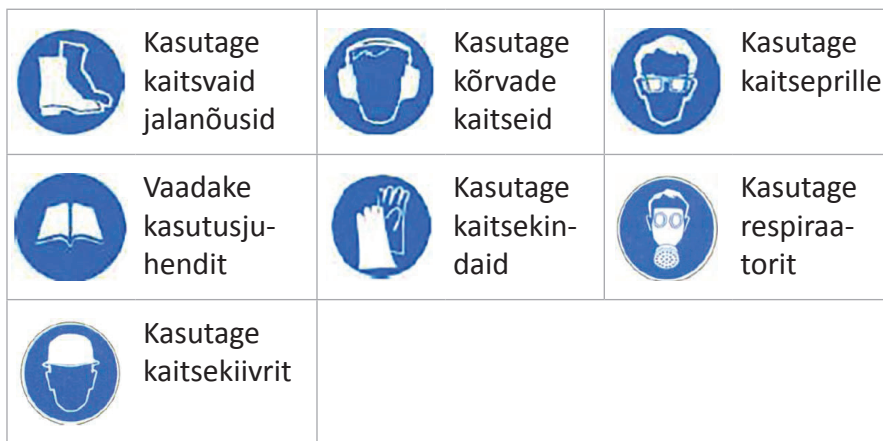
	Võimaliku käevigastuse hoiatus		Ohtliku pinge hoiatus		Pöörlevate osade hoiatus
	Tõstetud lasti hoiatus		Kergesti süttivate materjalide hoiatus		Kergesti plahvatavat materjalide hoiatus
	Mürgise materjali hoiatus		Siseliikluse hoiatus		

Keelumärgid on ümmargused punase ääre ja valge taustaga märgid, millel on punane diagonaalne joon. See taust näitab keelatud toimingut (joonis 7.2).



Joonis 7.2 Keelumärgid

Kohustusmärgid on ümmargused, sinise ja valgega, need osutavad spetsiifilisele käitumisele (jn 7.3).



Joonis 7.3 Kohustusmärgid

Ohutusmärgid on roheline ja valgega ristkülikud või ruudud. Need võivad anda infot lühima evakuatsiooniteekonna, esmaabivahendite asukoha jmt kohta (jn 7.4).



Joonis 7.4 Ohutusmärgid

CNC-masin on disainitud ja toodetud metallist jt mittesüttivatest materjalidest ja materjalidest, mis ei ole ohuks tervisele ega masin-töötlusele. Masina kasutamine teisel otstarbel peab olema kooskõlastatud tootjaga. Masin peab olema paigaldatud ja kasutuses mitte-plahvatusohtlikus, kuivas ja hästiventileeritud keskkonnas. CNC-masinat võib kasutada ainult töökorras ohutusseadmetega. Kui ohutusseadmed pole paigaldatud või on vigased, tuleb CNC-masin kohe peatada. Kõik kliendi soovil lisatud lisamasinaosad peavad olema varustatud otstarbekohaste ohutusseadmetega. CNC-masina kasutamise ajal pole lubatud teha mugandusi ega muudatusi. See võib suurendada riski töötaja tervisele ja kahjustada masinat. Kõiki ülesandeid, mida viiakse täide CNC-masina töötamise ajal, peab teostama masinaoperaator või mõni teine volitatud töötaja. Ettevõtte peab selgelt ja täpselt määratlema CNC-masina eri tegevustega (kasutamine, paigaldamine, hooldamine, parandamine) seotud vastutuse. Masinaoperaatori logisse tuleb sisestada vastutava isiku nimi ja perekonnanimi.

Enne CNC-masina kasutamise alustamist peab masinaoperaator tagama, et tema rõivastusel poleks lahtisi ja rippuvaid osi; kontrollima, kas masin, seadmed, lõiketööriistad, kaitse- ja maandusvahendid on töökorras. Kontrollida tuleb masinat jõudeolekus, kontrollimehhanisme, määre-jahutussüsteemi paagi taset ja elektroonikaseadmeid. Kõikidest vigadest ja kõrvalekalletest tuleb ette kanda vastutavale isikule.

Keelatud on kasutada masinat kinnastega või töötada plaasterdatud sõrmedega, kandmata kummist sõrmekaitsmeid. Raskete toorikute (raskemad kui 20 kg) masinale paigaldamiseks ja masinalt mahavõtmiseks tuleb kasutada tõsteseadeldist. Erandjuhtudel võib raskeid toorikuid paigaldada ainult koos abilisega. Toorik peab olema tiheidalt ja kindlalt kinnitatud masina külge või masina plaadile, et hoida ära äkilist lahti tulemist ja vigastusi masinaoperaatorile ja lähedalviivatele isikutele. Valesti kinnitatud toorikud võivad suurel kiirusel lendu paiskuda ja läbi torgata masina kaitseukse. Masintöödeldavaid osasid tuleb töödelda ettevaatlikult, sest killud ja leegid võivad vigastada käsi. Laastud tuleb eemaldada eri tööriistu kasutades; keelatud on teha seda kätega või mitteotstarbekohaste tööriistadega. Kui treimise käigus tekivad pikad laastud, tuleb neid murda laastumurdjaga. Kasutades CNC-treipinki, ei tohi padruni haaratsite otsad ületada padruni diameetrit pärast tooriku kinnitamist. Masintöödelda ei tohi osasid, mis on suuremad kui treipingi padrun. Kui treitakse pika varda osasid, tuleb spindlist väljaulatuv ots sisestada spetsiaalsesse kaitsetorusse. Mõõte ei tohi võtta, kui seade treib. Mõõtmine on lubatud alles siis, kui spindel on peatunud. Enne CNC-masina puhastamist ja hooldamist seisake masin ja lahutage toiteallikast. Ärge seisake spindlit või osasid kätega. Kui liigute masinast eemale või teete pausi, seisake masin ja lülitage välja elektrimootor. Kasutage masintöötluseks ainult sobivaid lõiketööriistu. Keelatud on ületada masintöötluse programmis toodud lõikekiirust, etteandmist ja lõikesügavust. Vibratsiooni (rappumine) tekkimisel seisake treipink kohe. Treides ei tohi ületada padruni nominaalset pöörämist, sest suurem pöörlemiskiirus vähendab padruni kinnitusjõudu.

Masinaoperaatori asukoht töötades on kaitseakna ees või masina juhtpaneeli juures (joonis 7.5).

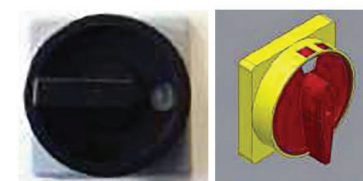
Kui töö on lõpetatud, peab masinaoperaator seiskama masina ja elektrimootori, puhastama tööpaiga ja andma masina üle järgmise vahetuse masinaoperaatorile või töödejuhatajale ning informeerima neid kõigist tekkinud vigadest ja parandustöödest. Ärge eemaldage laaste ja muid pühkmeid suruõhku kasutades, sest see võib kahjustada CNC-masinat. Pärast CNC-masina seiskamist lukustage alati pealüliti (joonis 7.6). See tagab, et masinat ei saa kasutada volitamata personal.

Võtke arvesse, et ikooniga ⚡ tähistatud osad võivad olla pinges all, isegi kui pealüliti on väljas.

CNC-masinaga töötades peab masinaoperaator järgima ettevõtte üldisi reegleid, mis näevad ette tööpaiga korra ja puhtuse säilitamise.



Joonis 7.5 Masinaoperaatori asukoht CNC-masinaga töötamisel



Joonis 7.6 Üldvaated CNC-masina pealülitist

Ärge blokeerige vahekäike ja masinate vahel olevat ruumi osade, toorikute, kinnitamisvahenditega; eemaldage aegsasti laastud, viga-
sed osad või toorikud; ärge laske põrandal õliga, libesti või emulsioo-
niga määrduda; vältige põranda pragunemist, mõranemist; tagage
piisav valgustus tööalale.

CNC-masin on varustatud järgmiste ohutusseadmetega:

- lukustatav pealüliti,
- kaks hädaseiskamisnuppu masina juhtpaneelil,
- lukustatavad kaitseuksed löögikindlast materjalist akendega,
- lisaohutusseadmed (sõltuvalt CNC-masina konfigureeringust).

Hädaseiskamisnupp on erepunane (joonis 7.7). Masin seiskub kohe, kui nuppu vajutatakse. Hädaseiskamisnuppu võib vajutada ainult tõ-
sise hädaohu korral. Kui CNC-masin töötab tavapäraselt, võib masina
selle nupuga peatamine kahjustada tööriista või toorikut. Masina
töörežiimi taaskäivitamiseks pärast hädaseiskamisnupu vajutamist
keerake nuppu paremale.



Joonis 7.7 Hädaseiskamisnupud



Joonis 7.8 Märgutuli

Akende kaitseklaas on tehtud löögikindlast materjalist (polükar-
bonaat) ja need kaitsevad masinaoperaatorit ja personali pitsiva
jahutusvedeliku, lendavate laastude või muude pühkmete eest ning
masina rikete korral. Neid aknaid tuleb regulaarselt inspekteerida,
et tagada CNC-masina turvaline töötamine. Pikaajaline kokkupuude
jahutusvedelike, puhastusainete, libestite, õlide ja teiste tööprotses-
si ajal kasutatavate või tekkivate ainetega mõjutab polükarbonaadist
akende kulumist ning muudab nende mehaanilisi omadusi. Selle ta-
gajärjeks on polükarbonaadist akende vähenenud löögikaitsevõime.
Seetõttu tuleb polükarbonaadist kaitseaknaid vahetada iga 60 kuu
tagant (või varem, kui vajalik).

**Soovitav on kontrollida CNC-masina ohutusseadmeid järgmistes
olukordades:**

- aktiveerides pealüliteid,
- iga vahetuse alguses (kui masin töötab seiskumata),
- kord päevas (ühe vahetuse jooksul),
- kord nädalas (kui masinaga töötatakse vahelduvalt),
- pärast iga hooldust või parandust.

Kui tuvastatakse viga, tuleb kohe informeerida vastutavat isikut. Ta-
gake, et keelu-, hoiatus- ja infomärgid ja märguanded CNC-masinal
on loetavad ja üksikasjalikud. Vajadusel puhastage või asendage.

CNC-masina töötamisel on soovitatav, et masinaoperaator jääks
lähedusse, kuni programm on lõpetatud ja masin seiskub. Aktiivsest
programmist annab märku märkutuli (joonis 7.8). Kui märkutuli põ-
leb, siis on programm aktiivne. Vilkuv tuli annab märku veast.

Isikukaitsevahendid

Isikukaitsevahendite kasutamine on kohustuslik teatud tööde tege-
misel või kui töötatakse spetsiifiliste materjalidega. Kui töötatakse

osadega või teravate tööriistadega, vahetatakse või lisatakse masina libestamis-jahutussüsteemi õli, libestit, libestit-jahutusvedelikku, siis on kaitsekinnaste kasutamine soovitatav. Kasutage kaitsvaid jalanõusid, kui panete kokku, võtate koost lahti või transpordite raskeid komponente. Kasutage kõrvakaitseid, kui müratase töökohal on suurem kui 80 dB. Kasutage kaitseprille või näokaitsega kiivrit, kui on oht näole ja silmadele. Enne töö alustamist tehke kindlaks, et isikukaitsevahendid on tööpaigas käeulatuses. Isikukaitsevahendid peavad olema puhtad. Soovitatav on puhastada neid peale iga kasutamist, lisaks kord nädalas.

Kui masintöödeldakse aineid, mis sisaldavad magneesiumi, tuleb kasutusele võtta lisaohutusmeetmed tule või plahvatuseohtu tõttu, mille võivad põhjustada spontaanselt süttivad või lõhkevad osakesed, mis moodustuvad protsessi käigus. Magneesiumi tulekahju korral kasutage ainult sobivaid tulekustutusaineid. Nendeks on D-klassi tuleaeglusti, mida kasutatakse metallitulekahjude kustutamiseks, kuivad soolad magneesiumiühendite kustutamiseks, liiva ja malmilaastude segu, argoon või lämmastik. Ärge kunagi kasutage vett magneesiumi tulekahju kustutamiseks, sest see põhjustab plahvatusohtlike gaaside teket.

Kui töötamise ajal koguneb ruumi suits või kerge sudu, tuleb kasutada sobivat väljatõmmet (ventilatsiooni), et hoida ära süttivate segude tekkimist.

Viivitamatult teavitage otsest juhtkonda kõigist hädaohujuhtumitest ja olukordadest, mis võivad viivad õnnetusteni.

Ohutus masina hoolduse või remondi ajal

Enne masina igasuguse hoolduse või remondi alustamist seisake masin, lülitades pealüliti välja. Et vältida masina volitamata aktiveerimist hoolduse või remondi ajal, on soovitatav lukustada nupp lukuga ja hoida võtit turvalises kohas.

Pärast mehaanilise hoolduse või remondi teostamist tuleb eemaldatud ohutusseadmed (ohutuskatted, maandusühendused, hoiatusmärgid jmt) endisesse asukohta tagasi paigaldada.

Enne elektrisüsteemi ja elektriseadmetega töötamise alustamist tuleb kõik elektrilised ühendused toitest lahti võtta ja kontrollida pinget. Tagage, et masina ja toite juhuslik ühendamine poleks võimalik.

Enne hüdraulilise süsteemi hoolduse või remondi alustamist kandke hoolt, et hüdrauliline süsteem ei oleks rõhu all. Hüdrauliline süsteem võib jääda rõhu alla isegi pärast seda, kui masina toide on lahutatud. Kasutage kaitseriietust ja -prille, kui töötate hüdraulilise süsteemiga, sest hüdrauliline rõhk CNC-masina hüdraulilises süsteemis võib ulatuda 4000 kPa-ni.

Mahavalgunud vedelik või õli tuleb kohe ja õigete võtetega kokku korjata ning tööpaik puhastada vastavalt kehtivatele keskkonnakaitse seadustele. Ärge taaskasutage vedelikke, mis eraldusid süsteemist hoolduse või remondi ajal või mis on välja imbinud hoiupaagist. Vältige otsekontakte libestite, õlide, emulsioonide või osadega, mis on kaetud nende ainetega.

Töökojad, masinad, tööriistad ja -vahendid peavad vastama standarditele, seadustele ja tootja dokumentatsioonile. Tööpaik on korralikult varustatud, kui kõik vahendid ja töötarvikud on masinaoperaatorile mugavalt käeulatuses, et vähendada töö ajal tehtavaid samme ja liigutusi ja tagada sobivad tingimused tavapäraseks, puhtaks, organiseeritud ja turvaliseks tööks. Masinaoperaatori tööpaiga asukoht sõltub kasutatavast masinast. Selle määrab ühele masinale seatud standard. Väikesele masinale määratud ala on 10–12 m², keskmisele masinale 15–25 m², suurele masinale 30–45 m². Masina ja teiste seadmete paigutamisel tuleb arvestada, et jääks piisavalt ruumi nendega töötamiseks ja nende hooldamiseks ja et teiste masinate töö poleks häiritud. Kui masinaoperaator peab töötama mitme masinaga, peab masinate paigutusviis tagama mugava ligipääsu juhtseadmetele. Kaugus seinast ja vahesammastest sõltub masina mõõtmetest. Vahemaad peavad vastama seadustes ja standardites

määratud nõuetele. Planeerides tootmisvahendite paigutust, pidage silmas ühendusteid komplektide, seadmete, osade ja ainete transportimiseks tööpaika. Ühendustee laiuse määravad transpordivahendite ja masinate mõõtmed. Raskeid seadmed, kaste toorikutega ja pakitud tootmisprügi ei tohi ladustada vahekäikudesse (joonis 7.9). Ohtlikud piirkonnad tuleb taraga eraldada.

Tööriistad, mida masinaoperaator kasutab kõige tihemini, peavad asuma talle kõige lähemal ja vastupidi. Tööriistad ja seadmed peavad olema paigutatud mugavalt: vasaku käe tööriistad peavad asetsema vasakul ja parema käe tööriistad paremal. Selle põhimõtte järgi määratakse lisavarustuse (tööriistakapid, riiulid jmt) asetsemine (joonis 7.10). Tööriistu ja seadmeid, mida kasutatakse tihemini, hoitakse ülemistel riiulitel ja vastupidi. Soovitav on asetada sagedasti kasutatavad tööriistad samasse kohta, see hoiab kokku nende leidmisele kuluvat aega. Osade joonised ja tehnoloogiline dokumentatsioon tuleks kinnitada või asetada selgesti nähtavasse kohta, et masinaoperaator saaks neid kergesti lugeda. Libesteid, tööriistu, toorikuid jt esemeid ei tohi asetada masinale. Tööriistad peavad olema kappides kenasti korrastatud, väiksemad asetatud oma pesadesse.

Täppis- ja mõõteriistu ei tohiks hoida koos lõikeriistadega. Neid tuleb ladustada eraldi. Tööpingi kõrgus peab olema kohandatud masinaoperaatori pikkusele, lisades spetsiaalseid rakiseid kas tööpingi alla või masinaoperaatori jalge alla. Tööpingi laius peab olema vähemalt 750 mm, kõrgus vähemalt 800–1000 mm. Tööpaiga põrand peab olema ühetasane ja kindel. Põrandapind peab olema lihtsasti puhastatav ja libisemiskindel. Külma põranda korral peavad ruumide põrandal olema lisaks puidupaneelid (restid).

Masinaoperaatori tööpaik peab olema puhas ja korras, korralikult valgustatud, vaba osadest ja toorikutest. Laastud masinal ja tööpaikade vahekäikudes tuleb igapäevaselt ära pühkida. Laastude kogunemine on lubamatu, need tuleb koguda eraldi konteinerisse. Täitunud konteiner tuleb kohe töökojast eemaldada.

Tagamaks masintöötamise ala korraliku valgustuse, tuleb hügieeni nõuetest lähtudes paigutada masinate lähedusse kohtvalgustid. Kohtvalgustuse puudumine universaalsete masinate juures on lubatud vaid tehnilistel põhjustel. Valgustid tuleb paigutada nii, et need ei pimestaks masinaoperaatoreid ega muud personali.



Joonis 7.9 Tööpiirkond masina juures



Joonis 7.10 Masinaoperaatori tööpaik

8. TÖÖPINKIDE HOOLDAMINE



8. TÖÖPINKIDE HOOLDAMINE

Metallilõikepinkide täpsus, töökindlus ja ohutus on tagatud ainult tööpingi sihipärasel ja teadlikul kasutamisel. Korrektne kasutamine ning õigeaegselt teostatud hooldustööd aitavad ennetada soovimatuid tõrkeid tööpingi töös. Töötajatel (meistrid, operaatorid, tehnoloogid jne.) tuleb hoolitseda selle eest, et tööpink kasutataks sihipäraselt ja et hooldustööd oleksid teostatud regulaarselt ja õigeaegselt.

Korrektset teostatud hooldustööd on vajalikud tööpingi tõrkevabaks opereerimiseks, ühtlasi kindlustatakse selliselt valmistoodangu (detailide) kvaliteet ja pikendatakse seadme üldist kasulikku tööiga. Hooldus- ja remonditööd peavad olema teostatud ainult vastava kvalifikatsiooni ning väljaõppega spetsialistide poolt. Siia, hooldustööde, alla kuuluvad ennetavad hooldustööd, konkreetsete pisirikete kõrvaldamine ja remontimine. Ennetavate tegevustena võib loetleda toiminguid nagu tööpingi puhastamine, visuaalne inspekteerimine, määrimine, veatuvastus ja kasutuspäeviku pidamine. Pisiriketena peetakse silmas väiksemaid ja kohapeal parandavaid tõrkeid. Metallilõikepinkide hooldamisel tuleb olla eriti tähelepanelik kontrolleri, ohutus – ja määrdesüsteemi hooldamisel. Need on olulised alamsüsteemid, mehhanismid ja peavad toimima tõrkumata.

Hooldustööde iseloom: ennetav või likvideeriv, hooldusremont või pingi inspekteerimine koos seadme lahti võtmisega on reeglina kirjeldatud tootmisettevõtte kvaliteedistandardiga. Ennetavat laadi hooldustööde intervall on määratud seadme tootja poolt ja kirjeldatud tööpingi tehnilises dokumentatsioonis, pingi passis. Koos regulaarse hooldusega saab fikseerida tööpingi komponentide kulumise määra. Ennetavat laadi remonttöödega on võimalik vältida tööpingi seisakuid või puudusi selle opereerimisel. Sellist laadi töödega soovitakse ennekõike välja vahetada masina piiratud tööeaga komponendid. Ennetavat laadi hooldustööde ja remonttööde intervall on ettenähtud vastava graafiku järgselt. Sellised tööd tuleb teostada

olenemata tööpingi seisukorrast hooldustööde alustamise hetkel. Tööde teostamise ja sisu kohta tuleb teha sissekanne tööpingi hooldusraamatusse.

Tööpingi seiskorra inspekteerimine koos seadme lahti võtmisega, kapitaalremont, viiakse läbi siis kui eesmärgiks on taastada seadme töökord selliselt, et see sarnaneks võimalikult sellele mis see oli pärast masina esmast kasutuselevõttu. Sellist tüüpi hooldustöö teostamisel võetakse tööpink kas osaliselt või täielikult lahti komponentideks ja teostatakse vajalikud veaotsingud. Vajadusel remonditakse komponendid, vahetatakse välja kuluosad, misjärel monteeritakse tööpink kokku tagasi, seadistatakse ning teostatakse häälestus - tööd. Hooldustööde läbiviimine sellises mastaabis võib võtta aega kuni üks kuu, seda sõltuvalt konkreetsete tööde iseloomust. Pärast kapitaalremonti peavad seadme jõudlusnäitajad olema sisuliselt samad mis uuel tööpingil.

Arvjuhtimisega (CNC) metallilõikepinkide hooldustööde sisu on detailselt kirjeldatud järgmiste rahvusvaheliste standartidega:

EN ISO 12100:2010	Masinate ohutus. Projekteerimise, riskide hindamise ja riskide vähendamise üldised põhimõtted
DIN EN ISO 12100-1:2003/A1:2009	Masinate ohutus. Põhimõisted, konstrueerimise üldpõhimõtted. Osa 1: Põhiterminoloogia, meetoodika
DIN EN ISO 12100-1:2003/A1:2009	Masinate ohutus. Põhimõisted, konstrueerimise üldpõhimõtted. Osa 2: Tehnilised põhimõtted (ISO 12100-2:2003)
DIN EN 60204-1	Masinate ohutus. Masinate elektri-seadmed. Osa 1: Üldnõuded
EN 12415	Tööpingid. Ohutus. Arvjuhtimisega (CNC) treipingid

EN 12417	Tööpingid. Ohutus. Töötluskeskused. 1: Üldnõuded
EN 12840	Tööpingid. Ohutus. Manuaaltööpingid
DIN 66025-1. 1983-01	Tööpinkide arvjuhtimine, formaat, üldnõuded
DIN 66025-2.1988-09	Tööstusautomaatika. Tööpinkide arvjuhtimine, formaat, ettevalmistavad ja abifunktsioonid
EN ISO 13849-1:2008	Masinate ohutus. Juhtimissüsteemide ohutusega seotud osad. Osa 1: Kavadamise põhimõtted

Arvjuhtimisega tööpingi hooldustööde nimekiri on esitatud Joonisel 8.1.

HOOLDUSTÖÖD		
LÄBIVAATUS	HOOLDUS	REMONT
Möötmine	Puhastamine	Parandamine
Testimine	Konserveerimine	Timmimine
	Väljavahetamine/ Asendamine	Väljavahetamine/ Asendamine
	Määrimine	
	Joondamine	
	Desinfitseerimine	
	Kokkupanek	

Allkiri: Joonis 8.1 Hooldustööd (vastavalt EN 13306 (DIN 31051))

Metallilõikepinke tuleb kasutada ainult sihtotstarbeliselt materjalide lõiketöötlemiseks, seda tuleb hoida puhtana ja heas seisukorras. Vastavad mehhanismid peavad olema alati korrektset ja põhjalikult määratud. Vajaliku määrdeaine olemasolu tuleb regulaarselt kontrollida. Lõikeinstrumente, kinnitusvahendeid ja mõõtmisvahendeid tohib kasutada ainult ettenähtud tegevusteks vastavalt väljatöötatud tehnoloogiale. Tööpingi opereerimisel ei tohi mingil juhul märkimisväärselt ületada lubatud lõikerežiimide (spindli pöörlemiskiirus, telgete ettenihete) väärtuseid. Pärast töövahetuse lõppu tuleb tööpink korda panna, kontrollida ja seejärel anda üle järgmisele vahetusele.

Tabelis 8.1 tuuakse välja CNC tööpingi hooldustööd koos nende teostamise intervalliga.

1	2	3
Intervall	Tööpingi komponent/ mehhanism/osa	Hooldustööde kirjeldus
Töö alustamisel pärast remont – või hooldustööd	CNC töötlemis-, treikeskus	Veenduda tööpingi ohutusnõuete olemasolus vastavalt tootja ettekirjutustele
	Kaitseklaas	Puhastada kaitseklaas. Selleks kasutada sobivat puhastusvahendit ja puhastustarvikut
Töö alustamisel igapäevaselt	CNC töötlemiskeskuse töölaud ja laastukonveieri osad	Eemaldada laast töölaualt, laastuvannist ja laastukonveierilt
	Kaitseklaas	Puhastada kaitseklaas.

1	2	3
Iganädalaselt	CNC treipingi padrun	Puhastada ja määrada treipadrun. NB! Puhastada ei ole soovitatav teha suruõhku kasutades.
Igapäevaselt, samuti pärast remont – või hooldustööd	Õlipaak	Kontrollida õli taset paagis. Vajadusel lisada õli.
	Jääk-õli anum	Kontrollida taset. Vajadusel tühjendada anum.
Igakuiselt	Tööriista vahetaja	Olenevalt tööpingi tüübist ja ehitusest, kontrollida õli taset.
Esimene kord pärast 240 töötundi. Järgnevalt iga 2400 töötundi järgselt.		Vahetada tööpingi õli.
Iganädalaselt	CNC töötlemis-, treikeskus	Õlitada kõik tööpingi tööpinnad
	Jahutusvedeliku paak	Kontrollida vedeliku taset, kontsentratsiooni, pH väärtust ning veenduda, et jahutusvedelik ei oleks hakanud käärima või hapnema
	Lõikeõli	Kontrollida phväärtust. Vajadusel lisada või asendada õli.

1	2	3
Iganädalaselt	Hüdroüsteem	Kontrollida õli taset. Vajadusel lisada õli.
Igakuiselt	Telgede ja spindli ajamid	Kontrollida hammasrihmade kulumist, vajadusel pingutada või väljavahetada
	Õhufilter	Veenduda, et õhufilter on töökorras. Vajadusel reguleerida pealetuleva õhu voolu
	Määrimissüsteem	Puhastada filtrid
Iga 50 töötundi järgselt	Korpus	Puhastada või vahetada süsteemi õhufilter
Iga 6 kuu tagant	Puur- ja freespea	Määrada. Pöörata pea erinevatesse asenditesse ning kontrollida kinnituspolte. Eemaldada korpuse kaitse ning määrada hammasratad
	Kuulkruvid	Määrada
	Tööriista vahetaja	Kontrollida mehhanismi töökorda
Üks kord aastas	Spindli ajami kiilrihmad	Kontrollida korrasolekut, vajadusel pingutada või vahetada
	Telgede ajamite kiilrihmad	Kontrollida korrasolekut, vajadusel pingutada või vahetada

1	2	3
Üks kord aastas	Nukksidur	Kontrollida korrasolekut, hinnata kulumise määra. Vajadusel vahetada
	Määrimissüsteem	Täielikult tühjendada, põhjalikult puhastada ning vajadusel desinfitseerida paagid. Vahetada vastavad filtrid.
Iga 500 töötunni järgselt	Lõikeõli paak	Täielikult tühjendada, põhjalikult puhastada ning vajadusel desinfitseerida paagid. Vahetada vastavad filtrid.
	Määrimissüsteem	Täielikult tühjendada, põhjalikult puhastada ning vajadusel desinfitseerida paagid. Vahetada vastavad filtrid.
Iga 500 töötunni järgselt	Kabineti liugukse pühkijad	Kontrollida ja vajadusel vahetada
	Elektrikilp	Puhastada. Tähelepanu! Puhastamiseks ei tohi kasutada suruõhku!
	Hüdroüsteem	Vahetada hüdroõli
	Servomootorid	Kontrollida ühendusi
Vajadusel	Laastupaak	Puhastada paak ja konveier
	Laastukonveier	Vajadusel seadistada

1	2	3
Vajadusel	Kabineti ukseklaas, vaateakna klaas vms	On rangelt soovitatav klaas vahetada juhul kui: <ul style="list-style-type: none"> • Klaas on deformeerinud; • Mõranenud; • Tihend on katki;
Iga 6 kuu tagant või vastavalt tootjapoolsele ettekirjutusele	Telgede rihmarattad	Kontrollida, vajadusel timmida
	Kuulkravid	Kontrollida, vajadusel vahetada
Iga 60 kuu tagant	Kabineti ukseklaas, vaateakna klaas vms	Asendada
	Hüdroüsteemi ühendusvoolikud	Kontrollida, vajadusel vahetada
Igakuiselt või vastavalt tootjapoolsele ettekirjutusele	Treipadrün	Inspekteerida visuaalselt padrunit ja pakke. Veenduda, et ei oleks kuskilt mõranenud, vajadusel täielikult väljavahetada

Masinaosade kasvavad pöörlemiskiirused tähendavad ühtlasi kõrgemaid nõudeid mehhanismide määrimissüsteemidele ja määrdeainetele. Määrimissüsteemi peamiseks ülesandeks on tagada määrdeaine piisav olemasolu kontaktpindade vahel vähendamaks soovimatut kulumist, hõõrdumisest tekkivat energiakaudu ja komponentide ülekuumenemist. Heas töökorras määrimissüsteem ja korralik määrdeaine tagavad tööpingi normijärgse töötäpsuse pikaks

ajaks. Määrimiseks sobivad ained mis on võimeliselt korralikult katma kontaktpindu. Peamiselt kasutatakse mineraal- ja sünteetilisi õlisid, määrdeid. Suurematel pöörlemiskiirustel sobib paremini kasutamiseks väiksema viskoossusega, vedelam, õli. Mida kõrgem on temperatuur, seda paremini sobib kasutada kõrgema viskoossusega, paksem, määre.

Üks peamine mõjufaktor kuidas pikendada lõikeinstrumendi tööiga ning ühtlasi tagada töödeldud pinna kvaliteet on jahutus-määrdevedeliku (jahutusvedelik, lõikeõli) olemasolu ning selle juhtimine vahetusse lõiketsoonis. Lisaks lõikeprotsessi parendamisele juhitakse jahutus-määrdevedeliku abil lõiketsoonist eemale laast.

Vältimaks soovimatuid tõrkeid tööpingi opereerimisel on oluline panna tähele, et vee-põhine jahutusvedelik sobiks keemiliselt kokku erinevate komponentide omavahelist liikumist hõlbustavate määretega.

Tööpingi operaator või spetsiaalne seadet hooldav haldusfirma peavad olema teadlikud, et millised on parimad valikud, lahendused jahutus-määrdevedelike osas antud tööpingi juures kasutamiseks.

Lõike - ja määrdeainete tuleb valida selliselt, et need ei oleks ohtlikud tööpingi teistele komponentidele (erinevad metallid, plastid). Olulised omadused millest lähtuda vedelike valimisel on eeldatava tööea pikkus, töövõime püsimine ja keemiline püsivus (vastupanu käärimisele, hapnemisele jne.). Lähtuvalt DIN 51360-2 ja VDI 3035 standarditest ei tohi lõike - ja määrdeainete põhjustada korrosiooni, aga mõjuda kahjustavalt lakitud pindadele.

CNC tööpingis on soovituslik vedelikud täielikult välja vahetada igapäevaselt. Siia hulka tuleb arvestada tööpingu seisuaeg. Oluline on ratsionaalselt hinnata vedeliku pH-väärtust, bakterite ja seente olemasolu.

9. KAASAEGSE TOOTMISE EDASIARENDUSED



9. KAASAEGSE TOOTMISE EDASIARENDUSED

9.1. Robotika

9.1.1. Sissejuhatus robotikasse

Tänapäeval on robotite kasutamine tootmises väga oluline. Tänu nende paindlikkusele, töökindlusele ja korratavusele saab robotite roll üha tähtsamaks.

9.1.2. Robotite klassifikatsioon

Roboteid saab rühmitada eri kategooriatesse lähtuvalt nende liikuvusest, vabadusastmest, telgede roteerumisest ja funktsioonist.

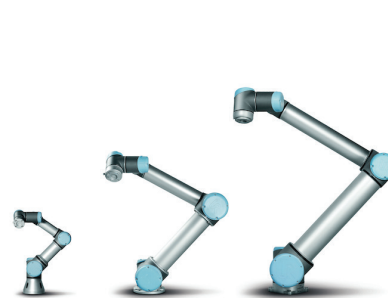
Jaapani tööstusrobotite assotsiatsiooni jaotab robotid 6 klassi.

- **Klass 1:** manuaalne käsitsemiseade: eri vabadusastmetega seade, mida aktiveerib masinaoperaator.
- **Klass 2:** fikseeritud faasiga robotid – seade, mis teostab ülesande järjestikuseid etappe vastavalt eelseadistatud muutumatule meetodile ja mida on raske muuta.
- **Klass 3:** muutuva faasiga robot – seade, mis teostab samu ülesandeid nagu klass 2, kuid mida on kerge muuta.
- **Klass 4:** taasesitamise robot – inimesest masinaoperaator teostab ülesandeid, juhtides manuaalselt robotit, mis salvestab liigutused hilisemaks taasesitamiseks. Robot kordab sama liigutust vastavalt salvestatud infole.
- **Klass 5:** arvulise kontrolli robot – masinaoperaator varustab roboti liigutuste programmiga, mitte ei õpeta ülesannet manuaalselt.

- **Klass 6:** intelligentne robot – robot, millel on võime aru saada oma keskkonnast ja võime edukalt täide viia ülesandeid olenevatest muudatustest tingimustes, kus ülesannet täidetakse.

Ameerika robotika instituudi klassifikatsioon on järgmine.

- **Tööstusrobotid.** Tööstusrobot on käekujuline seade, mis on disainitud täide viima üldise eesmärgiga ülesandeid, kasutades vastavaid „tööorganeid“, milleks on mehaaniline instrument nagu haarats, pihusti, keevitamisseade või mõni muu tehnoloogiline seade. (Joonis 9.1)
- **Õpirobotid.** See programmeeritav liikuv robot on disainitud liikuma iseseisvalt ja hoiduma takistustest. Nende roll on demonstreerida põhikontseptsioonide õpetamist ja suunata tähelepanu valdkonna tulevastele inseneridele. (Joonis 9.2)



Joonis 9.1. Tööstusrobot



Joonis 9.2. Õpirobot

- **Põllumajanduslikud robotid.** See spetsialiseeritud mehhanism on disainitud vastavalt kommertspõllumajanduse vajadustele. (Joonis 9.3)
- **Robotid kosmoses.** Neid tuntakse kaugjuhitavate sõidukitena. See võib olla ühildatav mehhitamata kosmoseaparaadiga, mis jääb lendama, või maanduriga, mis astub kontakti maavälise kehaga ja tegutseb statsionaarsel positsioonil, või kulguriga, mis suudab pärast maandumist liikuda pinnasel. (Joonis 9.4)
- **Liikuvad robotid (transport).** Automaatne masin, mis on suuteline oma keskkonnas ringi liikuma ega ole fikseeritud ühele füüsilisele asupaigale; on suuteline liikuma igas keskkonnas või suudab liikuda ja valida suuna iseseisvalt. (Joonis 9.5)
- **Tervishoiu robotid.** Need on võimelised täide viima lihtsaid ülesandeid ja parendama mõnd meditsiinilist protokollit ja protseduuri. (Joonis 9.6)

9.1.3. Roboti definitsioonis kasutatavad terminid

Taasprogrammeeritav: disainitud viisil, et programmeeritud liigutusi või lisafunktsioone saab muuta ilma füüsilise muutmiseta.

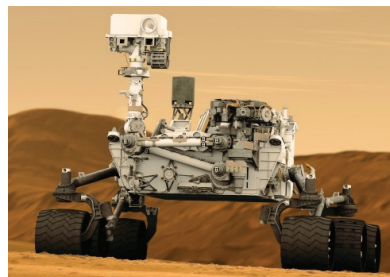
Mitmetikasutatav: saab füüsilise muutmisega adapteerida eri rakendusteks.

Füüsiline muutmine: mehaanilise süsteemi koostis.

Telg: suund, mida kasutatakse roboti liikumise täpseks määratlemiseks.



Joonis 9.3. Põllumajanduslik robot



Joonis 9.4. Kosmoserobot



Joonis 9.5. Liikuv robot



Joonis 9.6. Tervishoiu robot

9.1.4. Robotite rakendamine

Kaaludes, kas teatud toimingu tegemiseks saaks kasutada robotit, tuleb silmas pidada seitset tegurit:

1. toimingu raskusaste;
2. häire aste;
3. tootismäär;
4. tootismaht;
5. õigustus;
6. pikaajaline potentsiaal;
7. vastuvõetavus.



9.1.5. Robotite tunnused

Robot täidab automaatselt keerukaid ja korduvaid ülesandeid ja seda juhitakse automaatselt. Roboteid kasutatakse teatud tööfunktsioonides, sest erinevalt inimestest nad:

- ei väsi kunagi;
- taluvad füüsilisi tingimusi, mis on ebanugavad või isegi ohtlikud;
- saavad töötada õhuta tingimustes;
- ei tüdine korduvast tegevusest;
- hoiavad tähelepanu tehtaval tööl;
- suudavad töötada autonoomselt või koos muu tehnoloogilise seadmega või inimesega.

9.1.6. Robotite iseloomustus

- Kandevõime
- Ulatus
- Universaalsus
- Kiirus
- Kiirendus
- Positsioneerimise täpsus
- Eraldusvõime
- Liikuvus
- Paindlikkus

Koorma vedamise võimekus (kandevõime) on tähtis tegur. Selle määrab objektide haaramiseks kasutatava haaratsi kaal. Raske haarats lisab robotilisele manipulaatorile suurema koorma, mis lisandub objekti massile. Kommertsrobotid suudavad kanda koormaid raskusega kuni 900 kg, keskmise suurusega tööstusrobotite võimekus on kuni 45 kg. Robotite kandevõime on võrreldes nende enda kaaluga väga väike.

Ulatus on maksimaalne kaugus, mille robot oma tööpiirkonna ulatuses saavutab. Paljud roboti tööpiirkonna punktid on kättesaadavad igas soovitud suunas. Seda võimet nimetatakse osavuseks. Siiski, teiste punktide osas, mis asuvad roboti haardeulatuse läheduses, ei saa suunda määratleda soovituna (nimetatakse mitte-osavuspunktiks). Ulatus on roboti lüli pikkuse ja konfiguratsiooni funktsioon ja seda saab välja arvutada manipulaatori skeemi põhjal.

Universaalsus. Roboti universaalsust iseloomustab manipulaatori vabadusaste (ing k degree of freedom, DOF) arv. Vabadusaste on termin, mis tähistab roboti liikumise suunda. Iga lüli esindab ühte vabadusastet. Seal on kolm telge X, Y ja Z, mida kasutatakse roboti lülide liigutamiseks ruumis, ja lisaks kolm pöörliikumist A, B ja C, mis vastavad lülide pöörlemisele. Astmete arv sõltub roboti raken-dusest, näiteks teisaldusrakendus vajab ainult kolme telje määramist, samal ajal kui keevitusrobot vajab viit või kuut vabadusastet. Telgede arv on tavaliselt sama mis roboti vabadusastmete arv. Sõltuvalt roboti geomeetriast, võib roboti ruumis ühest kohast teise liikumiseks vajalik olla ühe või mitme telje liikumine. Ajamite liikumine „tööorganites“, nagu sulgurhaaratsid või puuri liikumine, ei anna vabadusastmeid juurde.

Positsioneerimise täpsus. Roboti positsioonilise jõudlusega seotud parameetrid on järgmised:

- kordustäpsus,
- korratavus,
- eraldusvõime.

Kõik need sõltuvad eri komponentidest, mida on roboti konstrueerimisel kasutatud: konstruktsiooniprotseduur, lülid, mootorid, kodeerimisseadmed, sõiduajamite võimalused ja kontrollid.

Kõige enam sõltub robotite täpsus roboti lülidest. Nende lülide täpsus masintöötusel tuleneb määratletud masintöötuse tolerant-sidest. Erinevused kontrolleri poolt raporteeritud roboti füüsilise lüli nullpositsiooni ja tegeliku füüsilise lüli nullpositsiooni vahel omavad roboti täpsusele harilikult järjekorras teist mõju.

Kordustäpsust (valiidsust või positsioneerimise täpsust) defineeritakse selle järgi, kui suure täpsusega jõutakse ettenähtud punktini. See on ajamite eraldusvõime funktsioon, samuti selle tagasiside-seadmete funktsioon. Positsioneerimise täpsuse järgi saab roboteid klassifitseerida järgnevalt:

- vähene täpsus ± 1 mm;
- keskmine täpsus $\pm 0,1... \pm 1$ mm;
- suur täpsus $<\pm 0,1$ mm.

Roboti iga DOF on varustatud autonoomse ajamiga, mis tagab vajaliku positsioneerimistäpsuse.

Absoluutne täpsus ja korratavus kirjeldavad roboti võimet liikuda soovitud alale teelt eksimata.

Dünaamiline täpsus ja korratavus kirjeldavad roboti võimet järgida soovitud trajektoori vähese või puuduva variatsiooniga. Lisaks, kõigis robotilistes rakendustes tuleks kasutada nullümardamist, et hoida ära õnnetustega lõppevaid kokkupõrkeid teiste osadega tööklastris. Seega asetab kontrolleri disain meid probleemi uue tahu ette, kuna sooviksime maksimeerida jäikust ja ribalaiust üheaegselt reageerimisaja minimeerimisega. Ideaalselt oleksid nii absoluutne kui ka dünaamiline täpsus ja korratavus minimeeritud saavutatava eraldusvõimeni.

Korratavus on palju tähtsam kui kordustäpsus. Kui robot pole kordustäpne, teeb ta harilikult korduvat viga, mida on võimalik ette näha ja seega programmeerimisega korrigeerida.

Eraldusvõimet määratleb kontrollisüsteem, mida kasutatakse manipulaatori toiteks, kuid mida mõjutavad ka järgnevad põhjused:

- konstrueerimise protseduur;
- manipulaatori jäikus (struktuuriline paindlikkus);
- lüli jäikus;
- kodeerimisseadmed.

Liikuvus

- **Fikseeritud robotid.** Fikseeritud robotid suudavad töötada ainult limiteeritud ruumis või alal. Kuni viimase ajani olid kõik tööstusrobotid fikseeritud pjedestaalile, mis oli põranda külge kinni kruvitud, kuid nüüd on mõned fikseeritud robotid paigutatavad, et võimaldada piiratud mobiilsust.
- **Mobiilsed robotid.** Mobiilsed robotid teevad võimalikuks töö paljudes eri paikades. Kasutatakse kolme peamist maad mööda liikumise viisi: ratastel, rööbastel ja jalgedel.

Paindlikkust saab määratleda kui võimet muutuda või reageerida väikese aja, hinna, pingutuse või soorituse kuluga. Suurendamiseks orientatsiooni paindlikkust, võib kasutada randme juures ühte, kahte või kolme pöörlevat telge, vastavalt rakenduse vajadustele. Neli vabadusastet on selektiivse vastavusseadme puhul tüüpiline. Kuus vabadusastet on tavaliselt võimalikud liigestatud käega ja portaalrobotitel.

Stabiilsus viitab üleulatuse ja võnkumise määrale, mis avaldub roboti „tööorgani“ käe liikumises, kui see üritab liikuda järgmise programmeeritud lokatsiooni juurde. Suur võnkumine roboti liikumises viib vähema stabiilsuseni robootilises manipulaatoris. Suurem stabiilsus võib siiski tekitada aeglasema reageerimisajaga robootilise süsteemi.

9.1.7. Tööstusrobotid

Tööstusrobot on ISO 8373:2012 järgi tõlgendatuna automaatselt kontrollitav, taasprogrammeeritav, mitmetikasutatav manipulaator programmeeritava kolme või enama teljega, mida saab fikseerida nii lokaalseks kui ka mobiilseks kasutuseks industriaalseteks automaatseteks rakendusteks ning mis koosnevad elektroonilistest, elektrilistest ja mehaanilistest üksustest. Tööstusrobotid on konstrueeritud mehaaniliste lülide struktuuridest ja lülidest, mida kontrollitakse sensorite ja kontrolleritega.

9.1.8. Tööstusrobotite klassifikatsioon

Liikumise tunnuste järgi:

- **Tasapinnaline manipulaator.** Manipulaatorit nimetatakse tasapinnaliseks manipulaatoriks, kui kõik liikuvad lülid liiguvad üksteise suhtes paralleelsetel pikitasapindadel.
- **Sfääriline manipulaator.** Manipulaatorit nimetatakse sfääriliseks, kui kõik lülid teostavad sfäärilisi liikumisi ühiselt statsionaarselt punktilt.
- **Ruumiline manipulaator.** Manipulaatorit nimetatakse ruumiliseks manipulaatoriks, kui vähemalt üks mehhanismi lülidest liigub ruumiliselt.

Kineetilise struktuuri järgi:

- **Avatud ahela manipulaator** (või sarirobot). Manipulaatorit nimetatakse avatud ahela manipulaatoriks, kui selle lülid moodustavad avatud ahela keti.
- **Suletud ahela manipulaator** (või sarirobot). Manipulaatorit nimetatakse suletud ahela manipulaatoriks, kui selle lülid moodustavad suletud ahela keti.

- **Paralleelne manipulaator.** Manipulaatorit nimetatakse paralleelseks manipulaatoriks, kui see koosneb suletud ahela ketist.
- **Hübriidne manipulaator.** Manipulaatorit nimetatakse hübriidseks manipulaatoriks, kui see koosneb suletud ja avatud ahela kettidest.

Mehaanilise struktuuri järgi defineeritakse roboteid:

- lineaarsed robotid (sealhulgas Cartesiuse ja portaalrobotid);
- SCARA robotid;
- liigestatud robotid;
- paralleelrobotid (delta);
- silinderrobotid;
- sfäärilised robotid;
- teised: selgroorobotid (usjas tüüp); pendelrobotid.

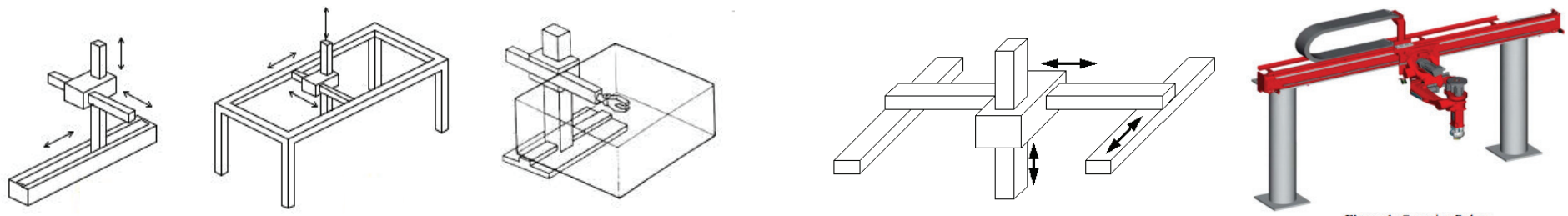
Tööpiirkond kirjeldab, kuidas robot on piiratud oma mehaanilise süsteemi konfiguratsiooniga. Roboti igal lülil on piiratud liikumisraadius. Roboti tööpiirkonna määravad ümbritseva keskkonna punktid, milleni robot ulatub. Joonis illustreerib seda tüüpi robotite konfiguratsiooni.

Cartesiuse robot: robot, mille käel on kolm prismaatilist lüli ja mille teljed ühtivad Cartesiuse koordinaatsüsteemiga (Descartes'i koordinaatsüsteemiga). Kolm lõikuvat perpendikulaarset sirgjoont X-, Y- ja Z-teljel kirjeldavad roboti käeliigutust, kasutades Cartesiuse süsteemi. Cartesiuse konfiguratsiooni tööpiirkond on ristkülikukujuline (Joonis 9.7).

Cartesiuse konfiguratsiooniga robotite eeliseks on see, et nende lineaarne liikumine on lihtsasti kontrollitav, neil on kõrge mehaaniline jäikus, täpsus ja korratavus. Nad suudavad kanda raskeid koormaid ja nende suur kandejõud ei varieeru tööpiirkonna eri kohtades.

Cartesiuse roboti miinuseks on see, et selle tööpiirkond on limiteeritud nende liikumisega väikeses, ristkülikukujulises tööruumis.

Neid roboteid kasutatakse harilikult teisaldustöödeks, CNC-masina laadimiseks ja tööks, montaažitöödeks, masintöötuse rakendusteks, liimimistödeks, lasertöötuseks, veejoalõiketöödeks, kaarkeevituseks, materjali või tööpinkide käsitlemiseks.



Joonis 9.7. Cartesiuse robot

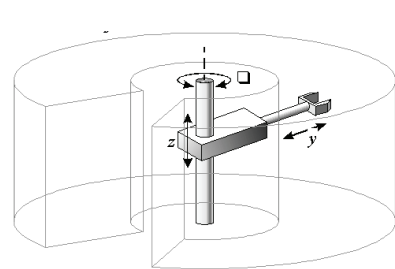
Silinderrobotid: robotid, mille teljed moodustavad silindrilise koordinaatsüsteemi (Joonis 9.8).

Silinderrobotil on vähemalt üks pöörlev lüli alusel ja vähemalt üks prismaatiline lüli, mis ühendab liited. Lüli teljel liigub pöörlev telg pöörlevalt, prismaatilisel lülil aga liigub lineaarselt. Nende liikumised toimuvad silindrikujulise tööpiirkonna raames.

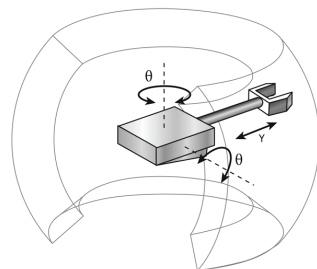
Silinderroboteid kasutatakse montaažitöödeks, tööpinkide ja survevalumasinade käsitsemiseks ja punktkeevituseks.

Sfääriline (polaarne) robot:

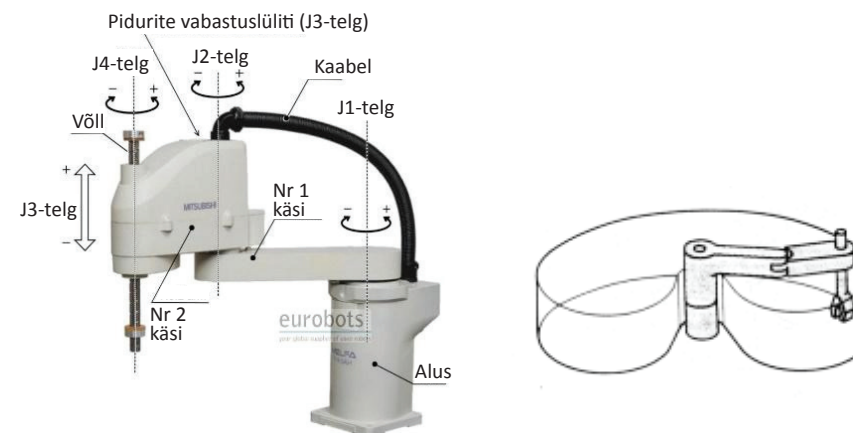
selle roboti tööpiirkonnal on keerukas kumer-sakiline kuju ja see sõltub individuaalsest ülesandepüstitusest. Need on tuntud ka kui polaarsed robotid. Käsi on ühendatud alusega keerleva lüli abil, ja see on kombineeritud kahest pöördlülist ja ühest lineaarsest lülis. Kombineeritud lülide teljed moodustavad polaarse koordinaatsüsteemi ja töötavad sfäärilise tööpiirkonna sees (Joonis 9.9).



Joonis 9.8. Silinderrobot



Joonis 9.9. Sfääriline (polaarne) robot



Joonis 9.10. SCARA robot

Neid roboteid kasutatakse tööpinkide käsitsemiseks, punktkeevituseks, survevaluks, plasti- ja klaasitöötamiseks, termotöötamiseks, trellpuuri laadimiseks, järeltöötusmasinate juures, gaas- ja kaarkeevituseks ja virna laadimiseks ja mahalaadimiseks.

SCARA robot: robot, millel on kaks paralleelselt pöörlevat lüli ja üks lineaarne liigutus, tagamaks vastavust tasapinnal (Joonis 9.10). SCARA robot on disainitud puhasruumis rakendustele, mis võivad mõjutada täpsust, kandevõimet, dünaamikat, ja roboti võimet korrata liigutust täpselt. See konfiguratsioon muutub ka vähem stabiilseks, kui käsi on jõudmas maksimaalse ulatuseni.

Tüüpilised rakendused SCARA robotile on automaatne montaaž, osade ja materjali käsitsemine, mitmeastmeline masintöötlemine, protsessikontroll, kaubaalustele ladustamine, masina koormamine ja mahalaadimine, masinnägemine, materjali lõikamine ja eemaldamine, kuumvärvimine, maalritöö, liimimine, keevitamine ja valamine.

Liigestatud robot: robot, mille käel on vähemalt kolm pöörlevat lüli, kaks nendest on paralleelsed ja kolmas teiste suhtes perpendikulaarne (Joonis 9.11).

Liigestatud roboteid kasutatakse laialdaselt tootmisliinidel, kus tuleb kasuks nende paindlikkus eri suundades liikumisel.

Robotite lülisid saab lisaks individuaalsele aktiveerimisele programmeerida koos tegutsema. Paljud uue põlvkonna robotid on liigestatud, sest see tagab kõrge funktsionaalsuse taseme. Neid roboteid kasutatakse ka õpetamiseks.

Paralleelrobot: robot, mille kätel on peamiselt kolm või neli prismaatilist või pöörlevat lüli. Paralleelroboteid tuntakse ka kui deltaroboteid (Joonis 9.12). Need on ehitatud lülidest koosnevatest rööpkülikutest, mis on ühendatud ühisele alusele. Robot on võimeline kordustäpseks liikumiseks ning saab liigutada ühte haaratsit kuplikujulises tööpiirkonnas. Paralleel- ehk deltaroboteid kasutatakse peamiselt toidu-, ravimi- ja elektroonikatööstuses ning teisdustöodes nagu ravimi- ja toidusorteerimine.

Robotite erikonfiguratsioonid

Mitmed tööstusrobotid kasutavad kombinatsioone või erimugandusi. See annab võimaluse paigutada neid roboteid muudele seadmetele väga lähedale, mis kahandab ruumivajadust, ent samal ajal säilib suur ja efektiivne tööpiirkond. Neid roboteid kasutatakse rakendustes nagu punktkeevitus ja materjalikäsitlus.

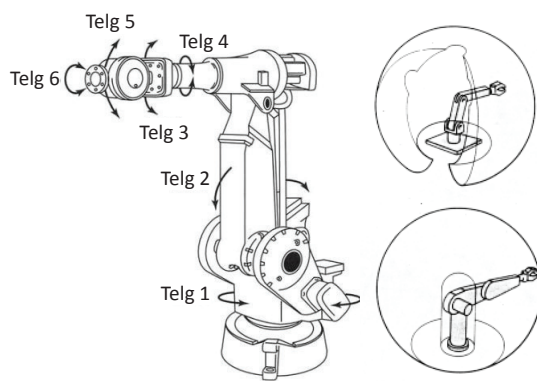
Selgroorobotid (usjas tüüp)

Selle roboti välispiire on poolkera ja selle tööpiirkond sõltub liigete ajamite arvust selgroos (Joonis 9.13).

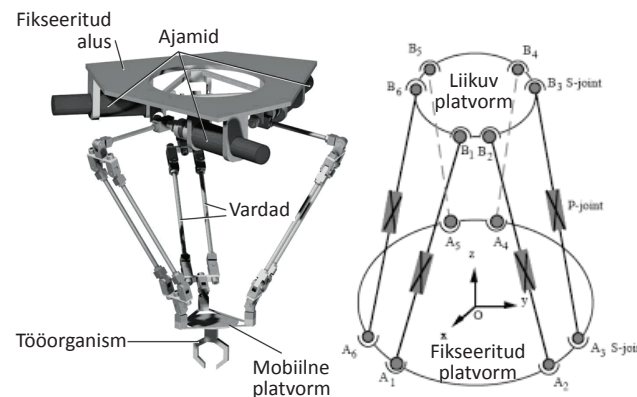
Neid roboteid kasutatakse kõige enam autotööstuses värvipritsitööl suletud ruumides.

Pendel-konfiguratsioon

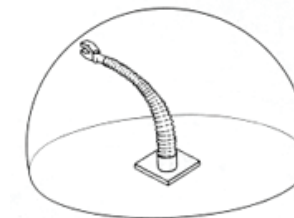
Pendel-konfiguratsiooni tööpiirkonnal on tükeldatud hobuseraua läbilõike kuju (Joonis 9.14). Robotit saab kinnitada igasse asendisse, tema tööpiirkonna määrab tööülesanne.



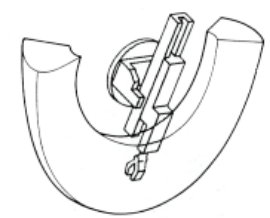
Joonis 9.11. Liigestatud robot



Joonis 9.12. Paralleelrobot



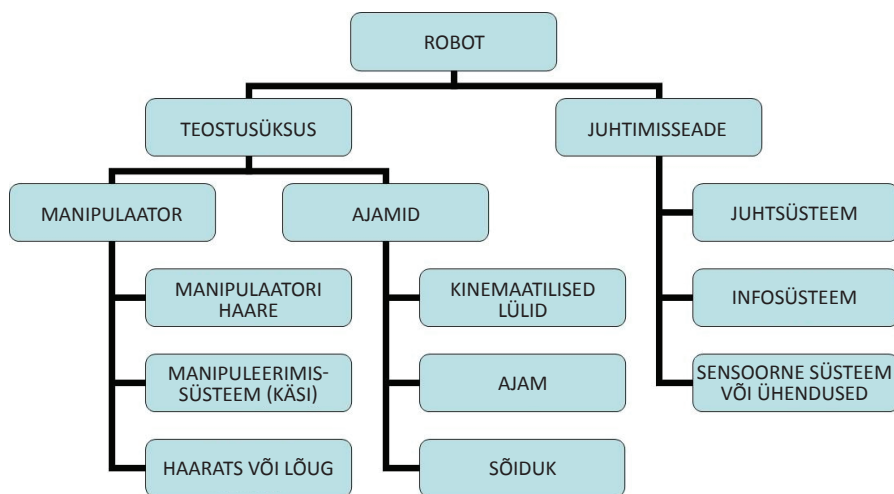
Joonis 9.13. Selgroorobotid (usjas tüüp)



Joonis 9.14. Pendel-konfiguratsioon

9.1.9. Roboti komponendid

Tööstusrobot koosneb manipulaatorist, mis liigutab ja täidab ülesandeid, kontrollierist, mis aktiveerib ja kontrollib manipulaatorit, ja programmeerimispuldist, mis õpetab manipulaatorile liikumist. Joonisel 9.15 on esitatud roboti komponendipõhine ehitus.

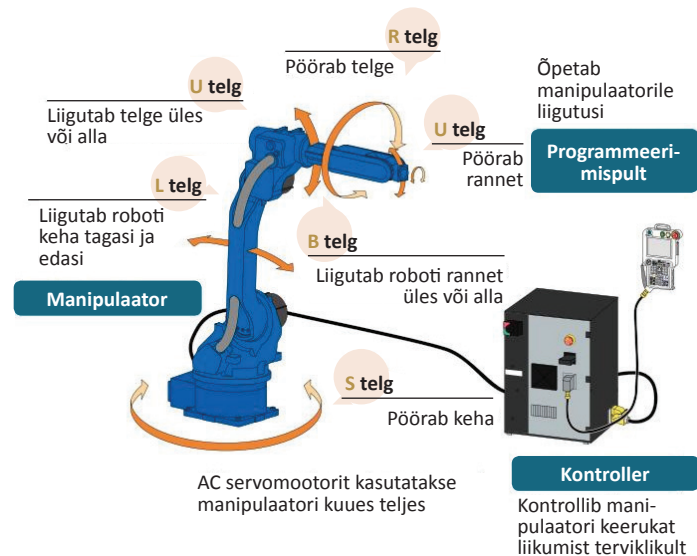
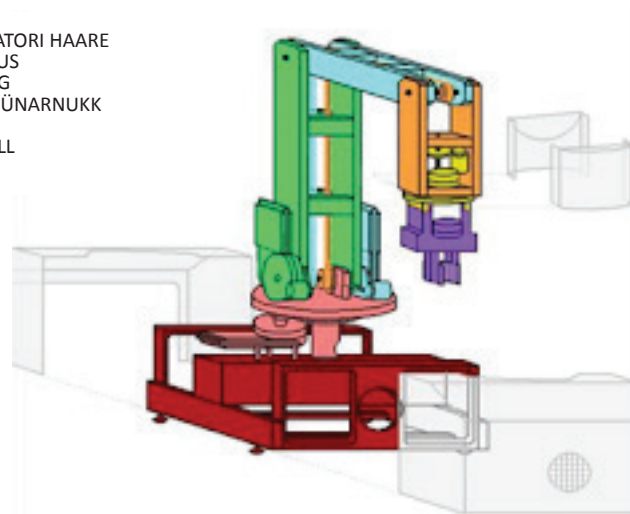


Joonis 9.15. Roboti komponendipõhine ehitus

9.1.10. Roboti manipulaatori struktuur

Manipulaatori osad esitatuna joonistel 9.16.

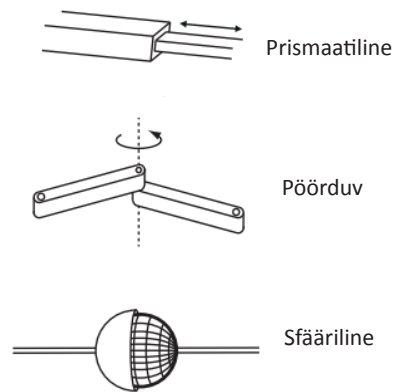
- A. MANIPULAATORI HAARE
- B. 1. DOF – ALUS
- C. 2. DOF – ÕLG
- D. 3. DOF – KÜÜNARNUKK
- E. RÕHTOSA
- F. 4. DOF – VÖLL
- G. HAARATS



Joonis 9.16. Manipulaatori osad

9.1.11. Manipulaatori lülid

Enamikul robotitel on kas lineaarne (prismaatiline) või pöörlev (pöörduv) lüli. Lülid võivad olla aktiivsed või passiivsed. Prismaatilised lülid on lineaarsed, pöörlemist ei toimu. Need on krüvimis-, ülekande- ja hammaslammehhanismid, hüdraulilised või pneumaatilised silindrid või lineaarsed elektrilised ajamid. Neid lülisid kasutatakse portaali-, silinder- või teiste sarnaste lülikonfiguratsioonide puhul (SCARA ja PUMA robotid). Kuigi hüdraulilised ja pneumaatilised pöörlevad lülid on tavalised, veavad enamikke pöörduvaid lülisid stepper- või servomootorid. Sfäärilised lülid on tavakasutuses mitmetes süsteemides, sest neil on mitu vabadusastet ja seetõttu on neid raske kontrollida, robotikas kasutatakse sfäärilisi lülisid vähe, kui, siis teadustöös.



Joonis 9.17. Manipulaatori lülid

9.2. 3D-printimine

See on aluseks uutele tehnoloogiatele, mis tegelevad automatiseeritult toorikute või CAD-iga valmistatud ükskõik milliste 3D koopiade tootmisega. Seda tuntakse ka kui kiirprototüüpimist, kiirtehnoloogiat ja genereerivat tootmist.

3D-printimine kujutab endast reprodutseerimise viisi, kus üksteise peale kuhjatakse nn kiudusid, peamiselt paljude õhukeste kihidena. Kasutatakse eri materjale, sh polümeere, metalle, keraamikat, paberit ning isegi elusrakke. Seega on ka meetodi kasutusala lai:

- Ehitusdetailid, nt lennunduses
- Tööriistad
- Mudelid
- Muuseumikoopiad
- Skulptuurid
- Tekstiilid
- Siiratav kude

9.2.1. Tootmisprotsessi põhiterminid

Tootmisprotsessi saab jaotada kolme kategooriasse: lahutav, vormiv, liitev. Lahutava meetodiga toodetakse objekte freesides või treides. Tootmisprotsess on vormiv, kui kasutatakse valamist. 3D-printides ehitatakse geomeetiline vorm või struktuur üles, kasutades kihilist arhitektuuri.

Tihti sõltub terminoloogia protsessi eesmärgist.

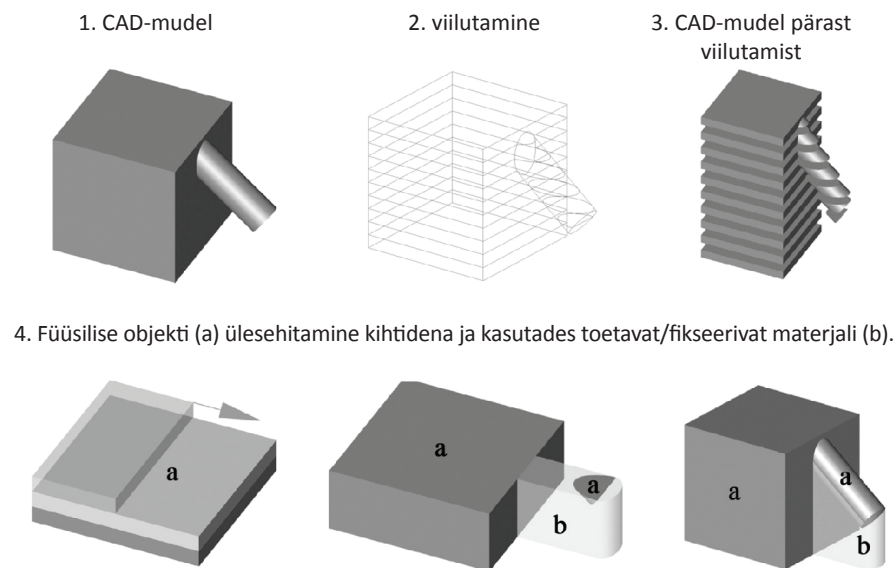
Nii kutsutakse töövahendite valmistamist „Kiirtootmiseks“ ja prototüüpide tootmist „Kiirprototüüpimiseks“. Valmistoodangu tootmise kohta on samuti käibel mitu terminit, nt „3D printimine“, „Kiirtootmine“, „Digitaalne koostamine“, „e-tootmine“, „Digitaalne tootmine“ või „Otsene tootmine“.

9.2.2. 3D-printimise tunnusjooned

- Individuaalsete kihtide ehitusprotsess tuleneb CAD-mudelist
- Tööriistu ei kasutata
- Mehaanilised-tehnilised omadused genereeritakse protsessi käigus
- Andmekogumeid saab ehitada igasse võimalikku suunda
- Stereolitograafia (STL) on standard kõigile masinatele

9.2.3. Põhimõte

Joonisel 1 on illustreeritud tootmise kõik sammud CAD-mudelist füüsilise objektini. Joonis 9.18. Põhiinfo 3D-printimisest (Fastermann, 2012, lk 15–17)



Joonis 9.18. Põhiinfo 3D-printimisest (Fastermann, 2012, lk 15–17)

Esmalt luuakse toorik CAD-tarkvaraga (nt AutoCAD või Blender) ja salvestatakse STL-formaati.

1. Seejärel jagatakse virtuaalne mudel kihtideks, kasutades teist tarkvara (nt Slic3r või Reprap).
2. Tulemuseks on CAD-mudel, mis on lõigatud kihtideks, et seda saaks printida.
3. Kihtide paksus võib olla nii ühesugune kui ka erinev. Nüüd algab tegelik valmistusprotsess, objekti füüsiline tootmine. Seetõttu ehitakse mudeli kihid ükshaaval.
4. Protsessi käigus toodetakse ka tugimaterjali, et stabiliseerida materjali, mis ripub või ulatub välja. Valmistusprotsessi lõppedes on füüsiline mudel identne virtuaalse mudeliga ja tugimaterjali võib eemaldada. (Fastermann, 2012, lk 13–17) (Gebhardt, 2007, lk 11–15)

9.2.4. Kasutatav materjal ja valmistusprotsessi alused

Põhiline tooraine: **Traat** (plastmaterjal, söödav, metall,..)

Muundamisviis: Sulamine ja tahkumine

Tootmisviis: **Pressimisprotsess** (nt FDM, pinnakatmine)

Põhiline tooraine: **Pulber** (plastmaterjal, metall, keraamika,..)

Muundamisviis: Sulamine ja tahkumine

Tootmisviis: **Paagutamine, sulatamine** (nt SLS, SLM, EBM, pinnakatmine)

Põhiline tooraine:	Pulber (plastmaterjal, metall, keraamika,..)
Muundamisviis:	Sideainega kokku kleepimine
Tootmisviis:	Kleepainega kokku kleepimine (nt 3D-printimine)
Põhiline tooraine:	Foolium (plastmaterjal, metall, keraamika,..)
Muundamisviis:	Lõikamine ja ühendamine
Tootmisviis:	Lamineerimisprotsess (nt LOM, FTI)
Põhiline tooraine:	Sideaine (polümeer-betoon, fotopolümeer)
Muundamisviis:	Peale kandmine ja tahkumine (lõpptulemuks polümeriseerumine)
Tootmisviis:	Pressimisprotsess (nt Contour Crafting)
Põhiline tooraine:	Vedelik (fotopolümeer)
Muundamisviis:	Polümeriseerimine
Tootmisviis:	Polümeriseerimine, stereolitograafia (SL, MJM, PolyJet)

Olenevalt kasutatud materjalide agregaatolekust klassifitseeritakse need gruppidesse nagu traat, pulber, foolium, sideaine ja vedelik.

- Kui peamine tooraine on traat, siis materjalivalikut piirab ainult temperatuur. Tuleb ainult silmas pidada, et otsak ei sulaks või et materjal moodustuks. Seetõttu on nimetatud protsess sobiv plastile, metallile või toiduainetele nagu šokolaad. Meetod on lihtne, materjal sulatatakse, pressitakse läbi otsaku, pärast see tahkub ise.

- Kõige suurema valiku materjale saab toota pulbri baasil. Ainsaks piiranguks paagutamisele ja sulatamisele, kus pulber ühendatakse valades, mille järel see tahkub, on tingimus, et materjalid peavad reageerima nagu termoplast. 3D-printimisel kasutamiseks sobivad mitmed eri pulbri-kleepaine segud. Mõlemaks töötusviisiks sobivad eri liiki materjalid nagu näiteks plast, metall, keraamika ja mitmed teised toorained.

- Kui peamine tooraine on foolium, võib kasutada peaaegu kõiki materjale, sest põhimõtteliselt kõiki materjale on võimalik transportida ja laseriga lõigata fooliumina. Plast, metall ja keraamika on mõned materjalidest, mida saab selles protsessis kasutada. Lamineerimisel paigutatakse üksikud fooliumikihid üksteise peale ja lõigatakse laseriga mööda kontuuri.

- 3D-printimisel saab töödelda ka toorainet, milleks on sideaine või vaht. Sideaine või vaht kantakse peale ja seejärel see kuivab, nt kasutatakse seda kookidel toiduainetööstuses või majadel ehitustööstuses.

- Polümerisatsiooni tulemusel valgustundlikud sideained ja vedelikud tahkuvad. See meetod sobib ainult plastile, mis sisaldab fotopolümeeri.

9.2.5. 3D-printimine tootmises

3D-PRINTIMINE PULBRIGA

Vedela kleepaine lisamise tulemuseks pulbri-kleepaine meetodi puhul on mudeli üksikute kihtide tahkumine. Tootmiseadmetel on mitmed prindipead, mis kannavad pinnale kleepainet väikeste annuste kaupa, sarnaselt tindiprinterile. Selle protsessi tulemusel pulbriosakesed kristalliseeruvad ja kihid kinnituvad üksteisele. Värviliste 3D-mudelite tootmiseks võib kleepainet värvida. Pärast mudeli masinast välja võtmist saab seda viimistleda epoksüvaiguga. Kasutamata jäänud pulbri võib panna tagasi kassetti, et seda hiljem

kasutada. Plasti asemel saab kasutada ka teisi pulbrilisi materjale, nt metalli või keraamikat.

Võrreldes teiste tehnoloogiatega võimaldab 3D-printimine mudelite mõistlikku tootmist suurel hulgal, mitmevärvilistena ja hea ruumilise stabiilsusega. Kuna tootmisprotsess ei hõlma kuumutamist, püsivad energiakulud madalal ja vigastuste risk on väike.

SELEKTIIVNE LASERPAAGUTAMINE (SLS)

Materjaliosakeste pindmist sulatamist nimetatakse laserpaagutamiseks. Selektiivse laserpaagutamise korral paagutatakse struktuuri üksikuid kihte. Kasutatakse eri materjalide pulbreid, nt termoplasti, metalli, keraamikat või liivasid. Protsessi käigus viiakse pulbri elemendid laseri abil sulamistemperatuuri lähedale. Kiht kihi haaval vähendatakse ehitise platvormi kihi paksuse võrra, materjalimahutist lisatakse uus pulbrikiht ja korratakse protsessi järgmiste kihtidega.

Tugimaterjali pole vajadust kasutada, sest toorik luuakse pulbrivanis. Erinevalt stereolitograafiast kasutatakse pulbrit toorainena ja seetõttu on detailsusaste piiratud graanuli suurusega.

Muutused jahtuvas materjalis tuleb eelnevalt masinal kalkuleerida, et kahanemisprotsessi kompenseerida.

Sõltuvalt pulbriosakeste suurusest on toorikul kare või vähem kare pind. Vältimaks seda ilmingut küllastatakse toorikuid vedelas vases või vaigus või töödeldakse pritsiga, et pinda silendada.

SELEKTIIVNE LASERSULATUSMEETOD (SLM)

Selektiivse lasersulatamismeetodi (SLM) kasutamisel ehitusmaterjali ei paagutata. See hoopis sulatatakse täielikult ja kantakse pinnale. Pärast jahtumist materjal kõvastub. Platvormi madaldamise kaudu taandatakse toorik kihtideks.

SLM võimaldab saavutada pragude ja poorideta struktuuri, mille tulemuseks on tooriku sajabrotsendiline tihedus. Näiteks SLS-meetodi

puhul tuleb kokkutõmbumisprotsess, mis ilmneb tooriku jahtudes, kompenseerida masinaga kalkuleerides.

Tooraineks saab kasutada metalle nagu roostevaba teras, alumiinium, titaan, või plast või keraamika. Detailsusaste ja tootmismetod on sarnased laserpaagutamisele.

ELEKTRONKIIREGA SULATAMINE (EBM)

Elektronkiirega sulatamisel metallipulber paagutatakse kihtidena vaakumis elektronkiirega, et ehitada toorikut.

See meetod muutus alternatiivina SLS-ile kommertsiaalselt kättesaadavaks aastal 2001. EBM-meetodis kasutatakse laseri asemel elektronkiirt. See võimaldab suurt paindlikkust ja ristlõike täpset kontrolli. 1000 °C temperatuuri tõttu on sulamismäär kõrgem kui lasermeetodeid kasutades.

SULATATUD SADESTUMISE VORMIMINE (FDM)

Sulatatud sadestumise vormimise töö turule ettevõtte Stratasys. Ka see tehnoloogia ehitab toorikut kihtidena. Sünteetiline materjal sulatatakse kuumutatud otsakuga ja kantakse ehitusplatvormile. Printeripea suudab liikuda ristlõike piirides piki horisontaalset või vertikaalset mõõdet vastavalt ehitamise spetsiifikale. Pärast sünteetilise materjali pealekandmist tahkub see jahtudes kohe. See tähendab, et sünteetilist materjali kuumutatakse vaid lühiajaliselt sulamistemperatuurini.

Pärast kihi valmimist lastakse ehitusplatvormi kihi paksuse võrra alla ja sulatatakse peale järgmine kiht.

FDM on sobivaim prototüüpide ja mudelite tootmiseks, sest toorainena saab kasutada ainult sünteetilist materjali ja vaiku ning stabiilsus on väiksem kui survevaluga töödeldud osadel.

FDM kuulub mõistlike tehnoloogiate hulka ja individuaalsed kihid on enamasti nähtavad.

Kui toorikul on üleulatuvaid osasid, tuleb neid fikseerida isegi juhul, kui materjal kiirelt stabiliseerub. Fikseerimist teostab masin täisautomaatselt. Fikseerimismaterjal on tehtud rabadast materjalist. Nii saab seda pärast viimistlemist toorikut kahjustamata kergesti eemaldada.

PINDAMINE

Pindamine sulatab ja kinnitab materjali otse, lokaalselt ja kihtidena toorikule. Vastupidiselt paagutamisele puudub pulbrivann. Materjali võetakse mahutist ja seda vedeldatakse laseriga.

Tehnilises mõttes kirjeldab pindamine eri tehnoloogiate gruppi, kuhu kuuluvad näiteks otsene metalli sadestamine (DMD), metallipulbri laservormimine (LENS) või metalli laservormimine (LMF).

Toorainena kasutatakse mitmeid eri materjale, nagu metallid ja keraamika. Alguses on materjal kas pulbri või traadi kujul.

Pindamine on meetodina soositav, sest tänu heale mikrostruktuurile saavutatakse tooriku suur tihedus. Seetõttu on toorikutel head mehaanilised omadused ja kõrge kandevõime. Samuti saab seda meetodit kasutada näiteks metallist tööriistade remontimiseks.

MULTI-JET-MUDELDUS (MJM)

Multi-Jet-mudeldusega kantakse valgustundlik tooraine vedelana mahutist ja see tahkestatakse ultraviolettkiirgusega.

Seda protsessi kasutatakse ka hambaravis. Materjal kantakse printeripeaga ehitusplatvormile, seejärel tasandatakse kiht rulliga ning tahkestatakse ultraviolettkiirgusega. Seejärel lastakse ehitusplatvormi allapoole ja korratakse protseduuri.

Ehitusmaterjalina kasutatakse akrüül-fotopolümeeri. Kui üleulatuvaatele osadele on tarvis fikseerimismaterjali, toodab seda termoplastist teine printeripea. Fikseerivat materjali saab pärast kergesti eemaldada seda kuumutades – see annab järele, sest see materjal sarnaneb vahale.

Seda protsessi nimetatakse täppistootmiseks, kuid pinna kvaliteet kannatab printimise kiiruse tõttu.

STEREOLITOGRAAFIA (SL)

Stereolitograafia on vanimaid kiirprototüüpimise meetodeid. Selle meetodi põhimõte on vedela tooraine tahkestamine polümerisatsiooniga. Ettevõtted kasutavad polümeriseerimiseks eri meetodeid.

SL-i puhul tooriku individuaalsed külgmised lõiked tahkestatakse laseriga vedela ehitusmaterjali vannis. Siis lastakse ehitusplatvorm alla kihi paksuse võrra ja vedel materjal vannist kantakse laiali tahkestunud kihile.

Laser sihitakse osadele, mis vajavad tahkestamist, liigutavate peeglite abil. Tänu fikseerivatele konstruktsioonidele ei lähe toorik polümeerivannis ujuma. Fikseerivad konstruktsioonid tuleb eemaldada, kui tooriku tootmine on lõpetatud.

See meetod võimaldab toota väga siledaid ja täpseid pindasid. Kuid selle kandevõime on madalam kui teistel meetoditel ja materjali hind on kõrge.

POLYJET-MEETOD

PolyJet-meetod sarnaneb Multi-Jet-mudeldusele. Materjal, mida kantakse pinnale printeripeaga, tahkestatakse samuti ultraviolettkiirgusega. Erinevus Multi-Jet-mudeldusega seisneb selles, et PolyJet-meetodis liigub valgus koos printeripeaga ja ehitusmaterjal polümeriseeritakse kohe pealekandmisel. Seadmetel on kaks või enam

printeripead. Ühte kasutatakse tugimaterjalile ja teist erinevale materjalile. PolyJet-meetod võimaldab toota eri värvides toorikuid.

LAMINEERITUD OBJEKTI MUDELDAKINE (LOM)

Lamineeritud objekti mudeldamise meetod kasutab fooliumikihte, mis on rulli keritud. Need fooliumid on kaetud liimiga ja need lamineeritakse kihtidena toorikule. Aglutatsioon saavutatakse polümeeriseerimise või galvaniseerimise teel.

Pärast seda lõigatakse individuaalsed kihid mööda soovitud kontuuri. Olenevalt tootjast tehakse toorik noaga, kuuma traadi või laseriga. Ehitusmaterjalina kasutatakse eri tooraineid, mida saab toota fooliumina. See meetod ei vaja fikseerivaid konstruktsioone. Metalliviimistluseks on ülejäänud fooliumikihtide eemaldamine.

CONTOUR CRAFTING (CC, KONTOUREHITUS)

Kontuurehituse meetod (CC) leiutati Lõuna-California Ülikoolis Los Angeleses. CC-ga on võimalik konstrueerida ja printida terveid hooned. Hoone disainitakse arvutiga ja siis ehitatakse kihtidena roboti poolt. Sarnaselt ülal kirjeldatud meetoditele kasutab CC samuti materjalimahutit, millest kantakse otsakuga materjali toorikule, kus see laiali laotatakse. Kihide paksus on ainult 5–10 mm ja seega kuivavad need kohe pärast peale kandmist ja tahkuvad.

Ehitusmaterjalina kasutatakse betooni või tellisesavi. Ehitusmaterjal on vedelas olekus, et tagada materjali voolavus.

Kuna selle meetodiga saab maju ehitada 24 tunniga, kasutatakse seda peamiselt hädaabivarjendite ehitamiseks pärast katastroofe.

CC-meetodil konstrueeritud hooned ei saa võrrelda traditsiooniliselt püstitatud hoonetega. Kuid tuleb öelda, et CC-meetod võimaldab ehitada väiksema müra ja ehitusjäätmeteta.

FILMI ÜLEKANDE KUVAMINE (FTI)

FTI-meetod muudab ehitusmaterjali kompaktselt kujutiste kuvamise süsteemi kaudu. Seetõttu tuleb materjal eelnevalt koguda toetavale pinnale. Materjali pinnakihi tahkestumine toimub tänu valgusele, mis on suunatud ainult tooriku pinnale.

Valgustamata materjal, mis asub väljaspool ehitatava objekti kontuuri, ja ülejäänud foolium tuleb eemaldada masinaga, pärast seda kui tootmisprotsess on lõpetatud ja printeri kassett on suletud. Materjalina kasutatakse fotopolümeere, mis reageerivad valgusele sarnaselt stereolitograafia meetodile.

DIGITAALNE VALGUSTÖÖTLUS (DLP)

DLP toimib sarnaselt FTI-le.

Kuid objektid toodetakse vedela materjali vannis, mitte fooliumi abil.

Kihid tahkestatakse digitaalse valgusprotsessoriga, mis kuvab individuaalsed kihid ehitusplatvormile rasterpildina. Ehitusplatvorm asub tooriku kohal ja liigub üles. Tooriku ja materjali omadused on peaaegu identsed.

9.2.6. Järeldus

See oli lühike sissejuhatus 3D-printimise ajakohastes meetoditesse. Need meetodid arenevad pidevalt. Hetkel leiab aset suur areng ja edasimineku, nt patentide tühistamine, et üle saada juriidilistest takistustest ja arendada uusi tööstuslikke standardeid. Turule tulevad uued ettevõtted, mis arendavad rakendusi ja meetodeid. Loodud on ka täiesti uus turg – esmakordselt pööratakse tähelepanu ka lõpptarbijale, kellele pakutakse hobiseadmeid odavamas hinnagrupis (u 800 USD).

Hetkel on veel raske ennustada, mis suuna tehnoloogiate areng võtab ja kui suureks see ärisektor tulevikus kujuneb. Praegune

olukord meenutab ekspertidele elektrooniliste pooljuhtide tööstust 1960-ndatel, kui veel ei teatud, millise tähtsuse saab see tööstus vaid mõned aastakümned hiljem. (Wohlers Associates, 2012, lk 250–258).

3D-printimise edu alus seisneb materjali valikus. Vaid mõned aastad tagasi oli metalli töötlemine veel lapsekingades. Tänapäeval töötatakse alumiiniumist, titaanist, väärismetallidest ja terasest toorikutega.

Tänu matemaatikale on ehitusdetailide ruumilised struktuurid optimeeritud. Samuti on ehitusdetailide kaal tänu 3D-printimisele vähenenud 80 protsenti. See omakorda tähendab suurt kulude kokkuvõtet. (Wohlers Associates, 2012, lk 250–251).

Tänu kiirele ja edukale arengule on 3D-printimine saavutanud „tõelise“ tootmismeetodi staatuse ja selles ei nähta enam vahendit ainult prototüüpide või funktsioneerivate mudelite ehitamiseks. Hetkel on see meetod kasutusel näiteks lennukitootmises ja hambaravikabinettides hambakroonide valmistamiseks.

Tänu ettevõtete suurenevale huvile tegeletakse tulevikus materjalide parendamise ja tootmisprotsesside arendamisega. Seda toetavad investeeringud eri sektorite ettevõtete arendus- ja uurimistöösse (Wohlers Associates, 2012, lk 25).

9.3. Nutika tootmise juhtimine

9.3.1 Tootmise juhtimissüsteemi struktuur

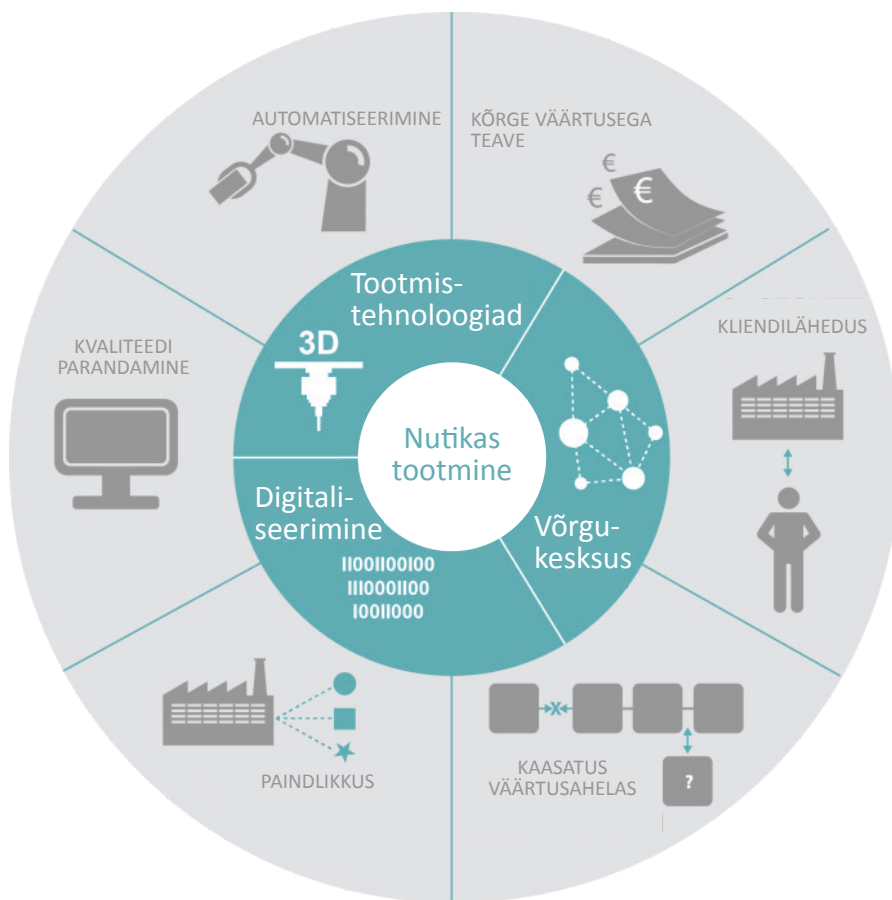
Töötleva tööstuse ettevõtte jaoks on tootmisprotsessi efektiivsuse tõstmine peamine meetod kogu organisatsiooni eesmärkide saavutamiseks – majanduslikult edukas ettevõtte. Ettevõtte edukus on otseselt seotud korrektselt valmistatud, õigeaegselt tarnitud ja vajalikus koguses valmistatud toodanguga. Tootmisprotsessi tõhususe parendamine ehk tihkimine on seotud asjasse puutuvate teguritega nagu tootmismahu suurendamine, kulude vähendamine ja tänapäevaste tehnoloogiate kasutamine. Ettevõtte kui organisatsiooni üldine edukus ja elujõulisus sõltub otseselt tootmisprotsessist. Sõltuvalt üldisest majanduskliimast võib see seos olla oluline või vähemoluline.

Üldiselt loetakse tootmisprotsessi osadeks järgmisi komponente: tootmine, tootmisvahendid üldiselt ja samuti lõpp-toodet kui protsessi väljundit. Ettevõtte toimimiseks on vajalik, et sellel oleks kasutada vastavad vahendid alates vajalikust tööjõust (spetsialistid, lihttöölised jne), sobiv tehnikapark ja oleks väljatöötatud vajalikud juhtimisprotsessid. Loetletud ressursside ratsionaalsel ja põhjendatud valikul on otsene mõju ettevõtte üldistele majandusnäitajatele. Juhtimis- ja tootmissüsteemi parandamiseks tasub kasutada tänapäevaseid meetodeid.

Tootmissüsteemi organiseerimisel on kasulik lähtuda järgmistest põhimõtetest: paindlikkus, automatiseeritus, jätkusuutlikkus, efektiivsus ja kiirus. Nende põhimõtete rakendamine ei pruugi olla lihtne ülesanne tulenevalt välistest teguritest nagu olemasoleva tööjõu kvalifikatsioon, üldine turusituatsioon, poliitiline olukord jne. Isegi kui üksikud tootmisprotsessi komponendid on olemas ja pruugi see tähendada, et tootmine saaks toimuda. Selleks peab ettevõtte kui tervikliku organisatsiooni struktuur olema paigas. Tänapäeval on levimas nutika tootmise meetod, see on tootmissüsteem milles mõõdetakse, salvestatakse ja analüüsitakse protsessi erinevate

etappide juures mitmeid erinevaid väljundnäitajaid. Nutika tootmise põhimõtteid ja meetodeid saab rakendada kõigi ettevõtte operatsioonide tõhususe parandamiseks (Joonis 9.19).

Ettevõtetes võib tootmine olla ülesehitatud erinevalt. See sõltub näiteks tootmismahust, piiratud tehnilistest võimalustest, finantsvõimekusest jne. Vastavalt sellest tuleb lähtuda erinevate protsesside



Joonis 9.19. Nutikas tootmine

korraldamisel, näiteks erinevat tüüpi hooldused jne. Tootmisprotsessi peamised etapid ehk põhiprotsessid on sellised etapid millede käigus muudetakse toote kuju, mõõtmeid, keemilisi ja füüsilisi omadusi jne. Põhiprotsesside tulemuseks on valmis lõpp-toode.

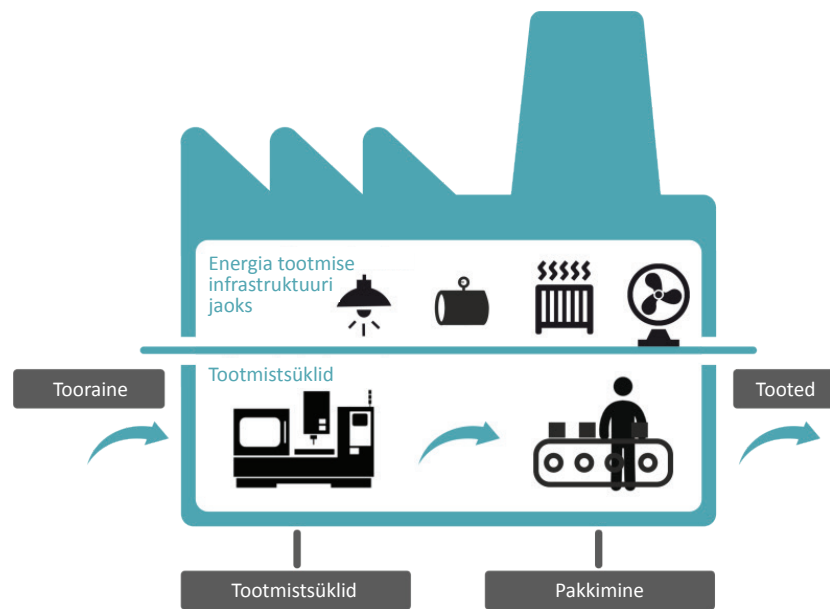
Masinaehituse tootmisettevõttes koosneb põhiprotsess reeglina kolmest etapist: ettevalmistus, lõiketöötlemine ja kooste. Ettevalmistavas etapis viiakse üldiselt läbi tegevused mis seotud toormaterjali hankimise ja esmase käitlemisega. Lõiketöötlemise või üldisemalt töötlemise faasis valmistakse tööpinkidel detailid mis seejärel viimases põhiprotsessi etapis liidetakse koostu. Samuti toimetatakse seejuures vajalikud mõõtmised ja testid. Töötlusele võib vahetult enne koostamist järgneda teatavad laadi lisatöötlus, näiteks pindamine vms.

Esitatud etappide tehnoloogiline protsess sõltub konkreetsest toote või teenuse tüübist. Väike- ja keskmise suurusega ettevõtetes ei pruugi olla vajadust kõigi esitatud etappide järgi. Samuti sõltub see ettevõtte spetsialiseerituse tasemest. Kaasajal on tooteprotsess pigem jagunenud tarneahela erinevate osapoolte vahel st. lõpp-toode valmistatakse mitmete erinevate ettevõtete koostöös. Selline mudel võimaldab üksikute tootmisettevõtetel säästa tootmis- ja tööjõukuludelt. Erinevad teadusuuringud ja praktiline kogemus tõestavad, et tootmisprotsessi juurutamisel, planeerimisel on otstarbekaas lähtuda ülaltoodud põhimõtetest: paindlikkus, automatiseeritus, jätkusuutlikkus, efektiivsus ja kiirus. Lisaks on oluline pöörata tähelepanu tootmisprotsessi kui ahela erinevatele etappidele (Joonis 9.20).

Nende põhimõtete rakendamine ei pruugi olla lihtne eriti väiksema suurusega ettevõtetes. Näiteks, efektiivsuse põhimõtte eeldab, et ettevõtte erinevad tootmisüksused töötavad üksteisega sünkroonselt ja seega koguprotsess tervikuna on sujuv. Tootmisprotsessi pidevust on praktikas keeruline teostada, mingid tõrked tekivad paratamatult. Probleemid ja tõrked on tootmise paratamatu osa, nende ennetamine vähendab toote tükiaga ja tööhulka protsessis. Siia juurde saab lisada tootmisprotsessi tööühtluse mõiste – ajas muutumatu tootmis-

võimsuse hoidmine st. püsiv valmistoodangu hulk. Tootmisprotsessi kvaliteedi hoidmiseks ja parandamiseks tuleb teha tööd ja näha vaeva. Väike- ja keskmise suurusega ettevõtete tootmisprotsessi iseloomustab võrdlemisi väike tootmisvõimsus, väike tootmismahd ja võimalikud eripärad organisatsiooni struktuuris. Üldiselt koosnevad ettevõtted väiksematest või suurematest üksustest mis on omavahel seostatud kas juhtimis- või tootmissüsteemiga.

Väikeettevõttes on reeglina üksainus tootmisüksus, keskmise suurusega ettevõttes võib neid olla mitu. Tootmisüksusel on oma juht, ja üksuse piires tootmine reeglina pigem laabub. Tootmisprotsessi ülesehituse spetsiifika sõltub konkreetse tootmise eripärast ja kasutatavast tehnoloogiast. Tootmisprotsessi struktuuri ehk ettevõtte



Joonis 9.20. Tootmisprotsessi väärtusahel

infrastruktuuri planeerimisel ja projekteerimisel on kasulik kohe alguses arvestada võimalusega seda laiendada. Vajadus laienemiseks võib olla tingitud ettevõtte edukast majandustegevusest, ühinemisest teise ettevõttega või tegevusvaldkonna laiendamisest.

Kõige väiksemaks üksuseks tootmises on töökoht. See on üldise tootmisprotsessi kõige väiksem diskreetne üksus mis on varustatud tööriistadega millega töötaja saab teostada vastavad tööülesanded. Töökoha korraldus ja haldamine on tootmise juhtimise seisukohast oluline asjaolu. Siit lähtuvalt kujundatakse välja töökvaliteet, ettevõtte sisesed standardid ja töökultuur. Erinevatel tööülesannetel on erinev tähendus ja sellest sõltuvalt ka vastav töökoha ülesehitus, töötaja kvalifikatsiooni nõue ja tööriistade mehhaniseeritus. Siia alla kuuluvad põhiprotsessi tööülesanded, abi- ja hooldustööd mis omakorda jagunevad üld- ja eritöödeks.

Täiendavalt saab tööülesandeid liigitada järgnevasse kategooriasse: manuaalsed, pool-manuaalsed ja automatiseeritud. Lähtuvalt tööülesande täitmiseks vajalikust töötajate arvust kas meeskonna- või individuaaltöök. Töökoht võib olla ilma tööpingita (seadmeta), tööpingiga või mitme tööpingiga. Lisaks võib töökoht olla statsionaarne või mobiilne.

Töökoha planeerimise ja korraldamise kohta on olemas spetsiaalsed juhendid ja normid. Nendega kirjeldatakse metoodika mille järgi hinnata töökoha ülesehituse ja korralduse ratsionaalsust. Siinkohal kasutatakse töökohal opereeriva töötaja optimaalse haarde ehk liikumisulatus mõistet. Tootmise efektiivsuse kasvatamiseks on oluline, et enimkasutatavad tööriistad, seadmed ja lülitid oleksid paigutatud töötaja optimaalse haarde ulatusse. Üks oluline töökoha ülesehituse, planeerimise põhimõte on tööliigutuste korraldamine. Sümmeetrilised liigutused on alati eelistatud, sest need tekitavad töötajale kõige vähem füüsilist stressi. Vertikaalsed ehk üles-alla tehtavad liigutused on raskemad, energiakulukamad ja väsitavamad kui horisontaalsed tööliigutused. Üles-alla toimuvate tööliigutuste korral on soovituslik, et tööliikumise trajektoori horisontaalne projektsioon

oleks kaare-kujuline. Selliselt väheneb füüsiline koormus töötaja käsivarrele.

Tööriistad mida kasutatakse üksteise järel, tööriista võttes, kasutades ning tagastades, on mõistlik paigutada üksteise kõrvale, sest esimese tööriista tagasipannes on efektiivne järgmiseks võtta teine tööriist. Selliselt vähendatakse tarbetute liigutuste arvu ja mittevajaliku energiakulu. Kõigi tööriistade ja vahendite paigutus töökohas peab olema fikseeritud, korrektselt ja üheselt märgistatud. Kui iga tööriist on alati paigutatud oma kindlasse kohta siis tekib oskuslikul töötajal kiiresti nõ. automaatne liigutus tööriista haaramiseks. Lisaks töötamise kiiruse kasvule suureneb sellisel juhul töötaja töövõime ja vastupanu tööväsimusele. Parema käega haaratavad tööriistad tuleb hoida, paigutada töötajast paremale. Sagedamini kasutatavad tööriistad tuleb paigutada lähemale kui need mida tihti ei kasutata. Viimased on soovitatav paigutada töötaja suhtes allapoole.

Kaasaegsete timmitud tootmise ehk LEAN tootmise põhimõtete järgi on kõige mugavam tööasend ühtlasi ka kõige efektiivsem. Erinevates tööasendites kulutab töötaja erineval määral energiat. Näiteks, sirgeselgelt istuv ja sellest asendis töötav inimene kulutab ajas mingi konkreetse hulga energiat. Selles asendis töötades kulub iga tund võrdne hulk energiat. Kui nüüd seda tööd tuleks teha püstiseistes siis kuluks töötajal 1,6 korda rohkem energiat. Istudes ja ettepoole küünitades st. mitte sirgeselgelt töötades võib kuluda isegi kuni 10 korda rohkem energiat. Siit lähtuvalt on oluline töökoha planeerimisel veenduda, et töötaja erinevate kehaosade (jalad, käed, torso) liikumised ei oleks piiratud, rüht oleks sirge ja oleks tagatud töökoha optimaalne valgustus. Tööriistad peavad olema asetatud ja fikseeritud korrektselt. Vastasel juhul kulub töötajal energiat tööriistade leidmiseks ja tööaega ei kasutata enam otstarbekalt.

Tööriistade korraldamiseks on olemas erinevaid tehnilisi vahendeid – riiulid, sahtlid, kapid, stendid jne. Tootmise efektiivsus sõltub sellest kui optimaalselt see on planeeritud ja korraldatud. Erinevad teadusuuringud ja praktiline kogemus tõestavad, et tootmisprotses-

si juurutamisel, planeerimisel on otstarbekaas lähtuda ülaltoodud põhimõtetest: proportsionaalsus, paindlikkus, automatiseeritus, jätkusuutlikkus, efektiivsus, integreeritus, voogsus ja kiirus. Näiteks, efektiivsuse põhimõtte eeldab, et ettevõtte erinevad tootmisüksused töötavad üksteisega sünkroonselt ja seega koguprotsess tervikuna on sujuv.

Tootmisprotsessi pidevus ja proportsionaalsus tagavad kõigi tootmisüksuste tööjärje. Seda on praktikas keeruline teostada, mingid tõrked tekivad paratamatult. Probleemid ja tõrked on tootmise paratamatu osa, nende põhjused ei pruugi olla ainult otseselt protsessist lähtuvad vaid saavad olla ka välised tegurid. Ennetamine vähendab toote tükiaga ja tööhulka protsessis. Siia juurde saab lisada tootmisprotsessi tööritmi mõiste – ajas muutumatu tootmisvõimsuse hoidmine st. püsiv valmistoodangu hulk lähtuvalt töökohast. Töörütmi mõiste on oluline, sest selle järgi saab hinnata tootmisprotsessi kvaliteeti üldiselt.

Tootmisprotsessi detailsuse tase on otseselt seotud terve ettevõtte kui organisatsiooni spetsialiseerituse tasemega. Tootmisele fokuseeritud ettevõttes on tootmisprotsessid, tooted, pooltooted ja operatsioonid liigitatud, klassifitseeritud vastavalt teatud parameetritele. Sõltuvalt esitatud parameetrite olemusest eksisteerivad erinevad spetsialiseerituse tasemed. Üks võimalik spetsialiseerumise strateegia on selline kus tootmisprotsess on segmenteeritud vastavalt toodangu (detail, pooltoode, koost) valmistamisele, valmistustehnoloogiale või valmistamiseks kasutatud tootmiseseadmetele. Näiteks, oletagem et metallitöötlemise ettevõttes valmistatakse pöördekeha tüüpi detaile (treidetailid) ja lehtmetailist korpuste detaile. Valmistataval toodangul põhinev spetsialiseerumine on teoreetiliselt kõige ideaali lähedasem variant.

Tootest, detailist lähtuval jaotusel on mitmeid eeliseid: oluliselt on lihtsustatud operatsioonide juhtimine ning juhtide vastutuse piirid on üheselt selged. Sellest lähtuvalt on selge ja üheselt arusadav alam- ja kesktaseme juhtide töö mõju tootmisprotsessile. Sellisel

juhul on toote valmistamise aeg lühem, sest transpordi osakaal protsessis ei oma arvestatavat kaalu. Suure hulga tootmisettevõtete kogemuse põhjal saab kokkuvõtta, et sellisel kujul spetsialiseeritud ettevõttes on kõrge töö efektiivsus ja madalamad tootmiskulud. Sellist laadi tootmisprotsessi kujundamine sobib ennekõike masstootmise ettevõtetele.

Väike-seeria tootmisettevõttes on keeruline tootmiskoormust üksuste vahel võrdselt jagada sest üksused võivad olla ebaühtlase suurusega. Tootmisüksuste eristamine lähtuvalt kasutatavast tehnoloogiast on pigem vähelevinud. Mingile üksikule tehnoloogilisele operatsioonile fokuseeritud tootmisüksuste koondamine eeldab, et kogu ettevõtte on pigem suurettevõtte tüüpi. Üldiselt tähendab seda tüüpi spetsialiseerumine seda, et konkreetne osakond, üksus tegeleb ja on vastutav ainult ühe või ühte tüüpi töötlemise operatsiooni eest.

Masinatööstuse sektoris võib sellekohaste näidetena esitada valutöökodad, kaevandused, termika ja galvaanika töökodad, mehhaanikalist töötlust pakkuvad ettevõtted ning samuti ainult koostet pakkuvad töökodad. Mehhanikalise töötlemise all on omakorda võimalik kitsamalt spetsialiseeruda freesimisele, treimisele, puurimisele, lihvimisele jne. Ajalooliselt ei ole sellist tüüpi ettevõtteid peetud eriti kulutõhusateks. Pigem on selline vorm väljakujunenud kui paratamatus paremate valikut puudumisel. Kaasajal ja seoses arvutustehnika kiire arenguga ning selle rakenduste levikuga masinaehituse valdkonnas on tehnoloogiline spetsialiseerumine muutumas järjest aktuaalsemaks.

Tootmisprotsesside spetsialiseerituse taset on võimalik kirjeldada erinevate indeksite abil: tootmise voogsus, mehhaniseeritus, automatiseeritus, paindlikkus ja tootmise integreeritus. Voogsuse või lahti seletatuna tootmise voolavuse juures peetakse silmas, et protsessis liiguks toode ainult ühes suunas, alati kõige lühemat võimaliku teekonda mööda. Igasugu tagasipööret või silmusesse jooksmist tuleks tootmisprotsessis vältida. Ettevõtte tootmismahu saavuta-

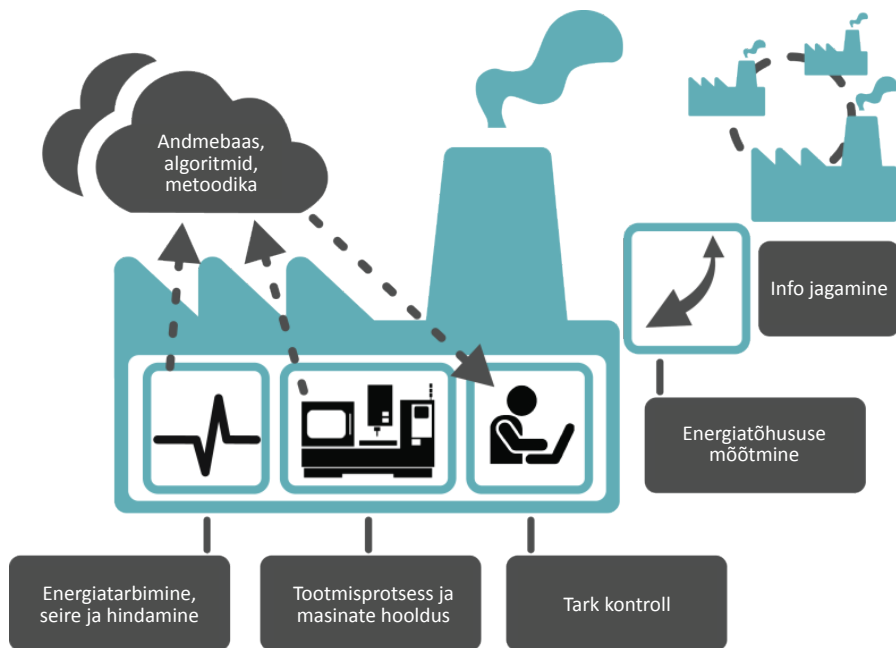
miseks on esmalt oluline töökodad, tsehhid ja töökohad hoolikalt planeerida.

Toodangu voolavuse hoidmiseks on oluline, et laod ja tootmishooned oleksid vastavalt asetatud. See nõue puudutab nii ettevalmistavaid ja abi töörume, kui erinevaid lõiketöötlemise ja kooste tsehhid. Tootmises mille väljundiks on ühe detaili tootmine ja seda pigem väike-seeriatena ei ole toodangu voolavust lihtne realiseerida. Mida lähemale liikuda masstootmisele, seda reaalsem on toodangu voolavuse põhimõtte rakendamine tootmiseks. Tootmistehnoloogias on üldiselt levimas arusaam, et tootmisega seotud transpordikulud tuleb hoida võimalikult minimaalsed. Seega otsitakse pidevalt võimalusi kuidas vähendada vajadust pooltoodangut tootmisprotsessi keskel kuhugi arvestatavale kaugusele transportida.

Tootmise mehhaniseeritus ja automatiseeritus. Tootmisprotsesside ja tootmise abiprotsesside digitaliseerimine on tänases infoühiskonnas üks peamisi tootmissektori ees seisvatest väljakutsetest. Tootmise abiprotsesside all mõeldakse siinkohal näiteks transporti, ladustamist, kvaliteedi kontrolli operatsioone jne. Tootmise põhiprotsess koondab endasse samuti tootmisjuhtimise ja juhtimissüsteemi. Teoorias on tootmisprotsess võimalik digitaliseerida tasemeni mil inimese, töötaja sekkumine on sisuliselt minimaalne. Digitaliseerimine on üldnimetus mis koondab mehhaniseerimise ja automatiseerimise põhimõtteid. Infoühiskonna vahenditega on võimalik luua keerukaid süsteeme mis haldavad tootmisprotsesse alates tootmaterjali vastuvõtust kuni valmistoodangu väljastamiseni. Töötaja kohustuseks on seejuures ainult seadmete ja tehnoloogia juhtimine, kontrollimine. Koos tööstuse digitaliseerimisega väheneb inimestöötaja füüsiline koormus, selmet tekivad töökohad mis nõuavad töötajalt mitmekülgsemat oskuste pagasit. Eeldatavalt kasvab koos tootmisprotsesside digitaliseerimisega tootlikus ja toote kvaliteet ja vähenevad tootmiskulud. Tootmisprotsesside digitaliseerituse määra on võimalik hinnata kolmel põhimõttel: digitaliseeritud tehnoloogia ja seadmete poolt läbiviidud töö hulk võrrelduna kogu tööga; ainult automaatselt valmistatud toodangu hulk võrrelduna kogu toodan-

guga ja tehnoloogia abil tehtud töö arvutatuna ümber inimtööjõu tundideks.

Edukamates tööstusriikides on tööstuse digitaliseerimisega tegeletud järjepidevalt. Ajalooliselt on väljakujunenud perioodid, etapid mis kätkevad endas suuremat ja järsumat ideoloogiat muutumist – revolutsioonid. Eesti keeles nimetatakse viimast, hetkel toimuvat ideoloogiat või paradigma muutust lühidalt „Tööstus 4.0“. Esimene neist revolutsioonidest tööstuses oli seotud aurumasina leiutamisega, viimased on saanud tõuke üldisest infoühiskonna arengust. Tööstus 4.0 ideoloogias liigutakse täieliku automatiseerituse suunas ehk enam ei räägita ainult üksikute protsesside digitaliseerimisest vaid tootmisettevõttest kui integreeritud digitaalsest organisatsioonist



Joonis 9.21 Integreeritud intelligentsed protsessijuhtimise diagramm, skeem

nist (Joonis 9.21). Juhtimine, eelarvestamine, raamatupidamine jne. kõik on koondatud süsteemi üldnimetusega Ettevõtte Ressursside Planeerimine (ERP – Enterprise Resource Planning).

Paindtootmine, paindtootmissüsteemid. Veel möödunud sajandi esimeses pooles oli levinud tootmise metoodika kus konkreetne tootmisettevõtte valmistab ühte ja sama toodet aastaid ja aastakümneid. Ilma, et toote juures oleks sisse viidud mingeid märkimisväärsid muudatusi ehk modifikatsioone. Täna globaalses, pingelises ja konkurentsitihedas turusituatsioonis on tootmisettevõtete jaoks oluline olla valmis muutusteks, muutustele õigeaegselt ja adekvaatselt reageerida. Ettevõtte peab olema paindlik ja võimeline kiiresti muutusi omaks võtma. Kogu tootmisprotsess peab olema planeeritud ja ülesehitatud selliselt, et selle baasil oleks võimalik kiiresti ja kuluefektiivselt hakata tootma uusi tooteid. Siit nimetus paindtootmine või tootmise paindlikkus. Igal juhul tekivad siit lähtuvalt uued väljakutsed nii mass- kui väikeseeriatootmise ettevõtetele. Tootmise integratsioon. Erialakirjanduses leiab kasutamist termin integreeritud tootmine, tootmise integreerimine või integreeritud paindtootmissüsteem. Selle all mõeldakse kogu ettevõtte tegevust kontrollivat digitaalset süsteemi kui ühtset tervikut millesse seotakse ehk integreeritakse erinevate üksuste – tootmine, varustamine, raamatupidamine, juhtimine jne. alamsüsteemid.

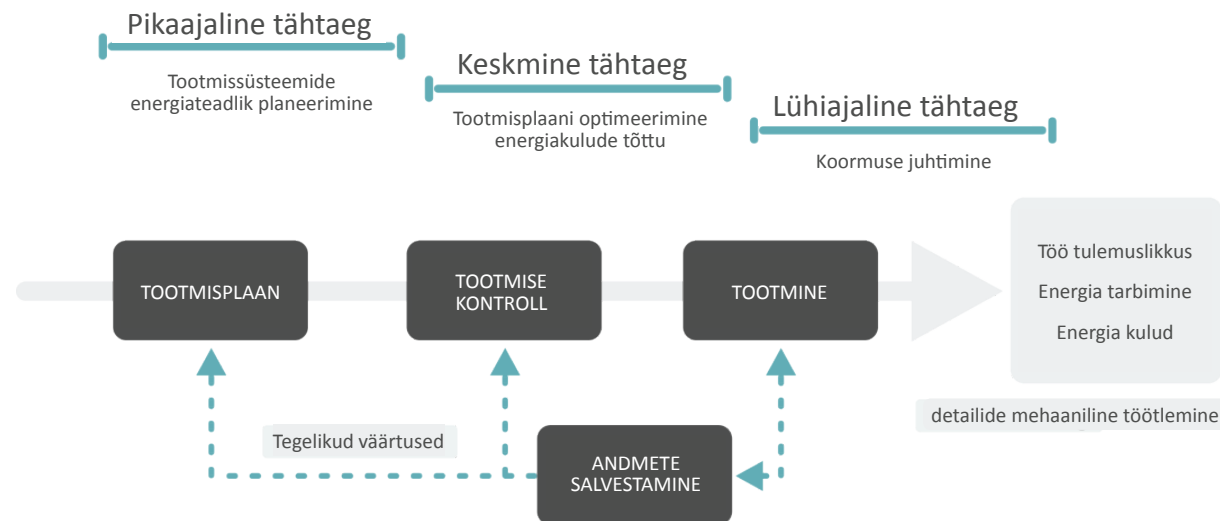
Üksikud tööülesanded on koos arvutustehnoloogia arenguga kõrgel tasemel digitaliseeritud st. nende tööülesannete täitmisele aitavad arvestataval määral kaasa digitaaltehnikalt kontrollitavad seadmed. Üldiselt on Tööstus 4.0 kandvaks probleemiks see, et üksikud tööülesanded ei ole samamoodi st. digitaalselt teiste ülesannetega ühiselt kokku seotud. Täna on tööstussektori suur väljakutse kirjeldatud üksikute ülesannete või etappide omavaheline integreerimine. Täielikult integreeritud ja digitaliseeritud tootmises jooksevad kõigi allüksuste andmed kokku tsentraalsesse süsteemi. Siinkohal ei räägita enam ainult üksikutest ja suhteliselt lihtsalt mõõdetavatest tootmisülesannetest ja abioperatsioonidest. Pigem kirjeldatakse süsteemi milles on lisaks kõigele muule (juhtimine, raamatupidamine

jne.) võimalik arvestada ja prognoosida näiteks ettevõtte infrastruktuuri energiatarvet (Joonis 9.22). Üldiselt nimetatakse selliseid integreeritud süsteeme Ettevõtte Ressursside Planeerimise süsteemideks.

Kõigi kirjeldatud protsesside täielik integreerimine ei ole praktikas lõpuni realiseeritav. Pigem toimub liikumine järk-järgult, kus integreeritakse tööülesandeid ning nende alamgrupe ehk siis tegemist on osaliselt integreeritud tootmissüsteemiga. Tehnoloogia areng sh. digitaalelektronika võidukäik ning selle rakendamine tootmistehnoloogias on teinud võimalikuks paindootmissüsteemide (FMS - flexible manufacturing systems) tekkimise. Integratsiooniprotsessi aluseks on „täieliku kvaliteedi“ põhimõte. Sellest lähtuvalt on üldine kõrge kvaliteedi tase saavutatav ainult läbi iga üksiku etapi kvaliteedi pideva kontrolli. Igas ettevõttes tuleb rakendada konkreetne kvaliteedijuhtimise süsteem. Samas on oluline tähele panna, et liigne kontroll võib tekitada asjatuid pingeid nii lihtöölistel kui juhtidel.

Siit edasi võib tekkida stress mis omakorda mõjutab märgatavalt töötajate sooritusvõimet ja on seega kahulik ettevõtte majandustegevusele. Seega on oluline, et määrataks kindlaks fookus mille kontrollimisele ennekõike keskendutakse. Reeglina lähtutakse selle määramisel ettevõtte üldisest profiilist, vajadusel võib eraldi analüüsida all-üksuste vajadusi. Tootmissüsteemi kriitilised sõlmpunktid tuleb tuvastada ja võtta eraldi jälgimisele. Toetavad ja lisategevused tuleb samuti läbi vaadata ja tuvastada neist olulisimad. Erilist tähelepanu tasub pöörata ettevõtte finantsnäitajatele – analüüsida ja kontrollida. Selle aluseks on raamatupidamise bilanss ja kasumiaruanne. Lisaks saab ja tuleb läbi vaadata ning analüüsida kolmandate osapoolte läbiviidud auditid.

Ettevõtte juht- ja kontrollisüsteemide projekteerimisel tuleb lähtuda järgmistest põhimõtetest: kontroll peab olema integreeritud juhtimissüsteemi, see peab olema planeeritud ja täideviidud õigeaegselt,



Joonis 9.22 Ettevõtte Ressursside Planeerimise

kontroll peab olema täielik. Nõudeid kontrollisüsteemi rakendamisele ei ole mõistlik üksteisest eraldada, neid tuleks rakendada koos ühtse tervikuna. Lubatud on kontrollifunktsiooni muutmine johtuvalt lähteülesandest ja selle erinevatest omadustest. Näiteks, sõltuvalt asukohast, mahust jne. Ettevõtte juhtsüsteemi kontrolliks ei ole üldiselt eraldi vahendeid vaja. Reeglina piisab olemasolevatest. Mõningatel juhtudel võib tekkida väärarusaam nagu kontrollimine oleks üks töötajate karistamise viis, see ei ole õige. Kontrolli eesmärk on avastada puudusi organisatsiooni töös ja nende likvideerimine. Kokkuvõttes peab läbi kontrolli pidevalt kasvama ettevõtte toimimise efektiivsus.

9.3.2. Töökorraldus

Tootmisprotsessi tootlikkuse kasvatamiseks tuleb parandada kõigi selle komponentide omavahelist koostööd ehk pidevalt tuleb arendada töökorraldust. Töökorraldus tähendab tööprotsessi juhtimissüsteemi rakendamist tootmises. Selle alla kuuluvad üksikute töökohtade tööülesannete korraldamine, hindamine ja analüüs. Samuti allüksuste omavahelise suhtluse korraldamine, seda nii seadmete kui töötajate tasemel. Töökorraldus tuleb läbi mõelda alati uute protsesside juurutamisel või olemasolevate muutmisel. Lõpuks peab töökorraldus olema arendatud optimaalse tasemeni, et tagada töötajate töökus ja loovus. Optimaalseks töökorralduseks tuleb pidada sellist töökorraldust millega soodustatakse töötajate aktiivust, koos millega kasvab tootmise tõhusus. Töökorralduse timmimiseks vajalikud muudatused tuleb rakendada sellisel viisil, et sellega ei pärsitaks töötajate sotsiaalsust ja töökust. Muudatused tuleb ellu viia ratsionaalselt. Optimaalse töökorralduse leidmiseks tuleb lahendada järgmised ülesanded:

- tööprotsesside optimaalse struktuuri loomine
- töötajate optimaalne sekkumine töö- ja tootmisprotsessi
- tööriistade ja seadmete optimaalne kasutamine töötajate poolt.

Töötingimuste optimeerimine on oluline nii organisatsiooni kui üksiku töötaja tööohutuse seisukohast. Tööohutuse eesmärk on kaitsta töötajat võimalike töökohas valitsevate ohuallikate eest. See ei ole oluline ainult töötaja seisukohast vaid see on oluline kogu ettevõtte seisukohast, sest ülekoormatud või vigastatud töötajal võivad tekkida füsioloogilised või psühholoogilised probleemid mistõttu väheneb tööviljakus. Töökorralduse arendamiseks ning paremaks korraldamiseks on võimalik kasutada erinevaid materjale nagu käsiraamatuid, teaduslikke uurimistöid ja teiste ettevõtete kogemusi. Tööprotsessi optimeerimisel tuleb ennekõike arvestada ettevõtte tootmise eripäraga mis on omakorda määratud kasutatava tootmistehnoloogiaga.

Seejuures tuleb peamiselt pöörata tähelepanu töötajate tööjaotusele lähtuvalt töökogemusest, erialaharidusest ja töökoormusest erinevates osakondades. Igal juhul on oluline, et organisatsiooni struktuur oleks ülesehitatud lähtuvalt vajadusest saavutada ettevõtte kui terviku eesmärgid.

Ettevõtte osakonnad peavad olema formuleeritud selliselt, et neil oleks selge ja konkreetne eesmärk. Optimaalse struktuuri loomiseks on parim meetod tööjaotuse meetod, samuti nõustamine ja erialase hariduse andmine. Koostöös erinevate osakondade vahel seatakse ettevõtte üldised eesmärgid mis omakorda saab jagada ära allüksuste vahel. Tööriistade ja –seadmete kasutamiseks tuleb leida ja fikseerida optimaalsed töövõtted. Seda tuleb teha lähtuvalt töökohast.

Töökorralduse loomisel on oluline arvestada kõigi seotud osapoolte huvidega. Seda tuleb teha lähtuvalt erinevatest seisukohtadest nagu töötaja psühholoogiline seisund, tema sotsiaalsed ja majanduslikud vajadused. Töökorralduse optimeerimine lähtuvalt töötajate sotsiaalsetest vajadustest on tänapäeval järjest olulisem. Teadusuuringud ja praktika kinnitavad, et emotsionaalselt õnnelikud töötajad on töökamad ja nende panus ettevõtte edusse on sellevõrra suurem.

Seega, üks võimalus tootmisprotsessi optimeerimiseks on lähtuvalt majanduslikest kaalutlustest, tinglikult saab seda nimetada lisaks

kvalitatiivseks tingimuseks. Teine ehk kvantitatiivne lähenemine eeldab kirjeldavate parameetrite kui füüsikaliste suuruste mõõtmist ja nendest lähtuva teooria kasutamist. Enamlevinud meetod tööprotsessi optimeerimiseks on lähtuvalt erialasest teaduskirjandusest ehk toetudes teiste tunnustatud organisatsioonide poolt läbiviidud uuringutele.

Siit lähtuvalt saab kokkuvõtvalt väita, et edukas tööprotsessi optimeerimise strateegia on selline mille planeerimisel lähtutakse esmalt töötaja seisukohast ja seejärel timmitakse omadusi lähtuvalt majanduslikest kaalutlustest. Töötja seisukohast lähtuva tööprotsessi optimeerimise meetodiga lähtekohad on järgmised: tööülesannete iseloomustamine, koostöö kirjeldamine, erialase täiendhariduse kättesaadavus, töö- ja puhkeaja reguleerimine.

9.3.3. Nutika tootmise CNC tootmissüsteem

Esmakordselt kasutati arvprogrammjuhtimise põhimõtet metallilõikepingi juhtimiseks aastal 1952. Lühidamalt nimetatakse sellised tööpinke CNC tööpinkideks ja nende tehnoloogiline areng on sealtmaalt alates olnud märkimisväärne. Ennekõike seotuna arendus- ja teadustööga mis läbiviidud arvutustehnika valdkonnas. CNC tehnoloogia kombineerituna nutika tootmise põhimõtetega on tõhus meetod kuidas vähendada tootmiskulusid, kindlustada toote kvaliteet, toota jätkusuutlikult ja samas valmistada tooteid märkimisväärses koguses.

Nutikas tootmises, mis on ühtlasi üks *Industry 4.0* alustest, jälgitakse tootmisprotsessi piltlikult suure hulga anduritega, nendelt kogutavad andmed analüüsitakse. Lähtuvalt järeldusest mida saab teha andmete kohta timmitakse pidevalt tootmisprotsessi. Tulemuseks on tootmissüsteemid millega on võimalik valmistada kõrge lisandväärtusega tooteid. Sellised nutikad paintootmissüsteemid on omavahel ühendatud Interneti sarnasesse globaalsesse võrku, mille kaudu toimub omavaheline infovahetus. Suured tööstusriigid

nagu USA, Jaapan ja Hiina on juba üle 30 aasta panustanud nutikate tootmissüsteemide arendamisse.

Töötleva tööstuse digitaliseerituse taseme hindamiseks kasutatakse sageli CNC metallitööpinkide näidet. Hinnatakse, et masinaehituslik tootmine, kitsamalt CNC lõiketöötlemine, on üks olulisimaid tööstuse valdkondi ja selle põhjal on võimalik anda hinnang tööstusele tervikuna. Üldiselt on levinud arusaam, et ilma kaasaegse tehnoloogia rakendamiseta ei ole võimalik püsida tänapäevases konkurentsis. Nutikad tootmissüsteemid on pidevas arengus, järjest töötavad teadlased välja uusi põhimõtteid millest lähtuvalt luua ja täiustada tootmissüsteeme. Selliste süsteemide kesketeks komponentideks on arvuti ja arvutivõrgud.

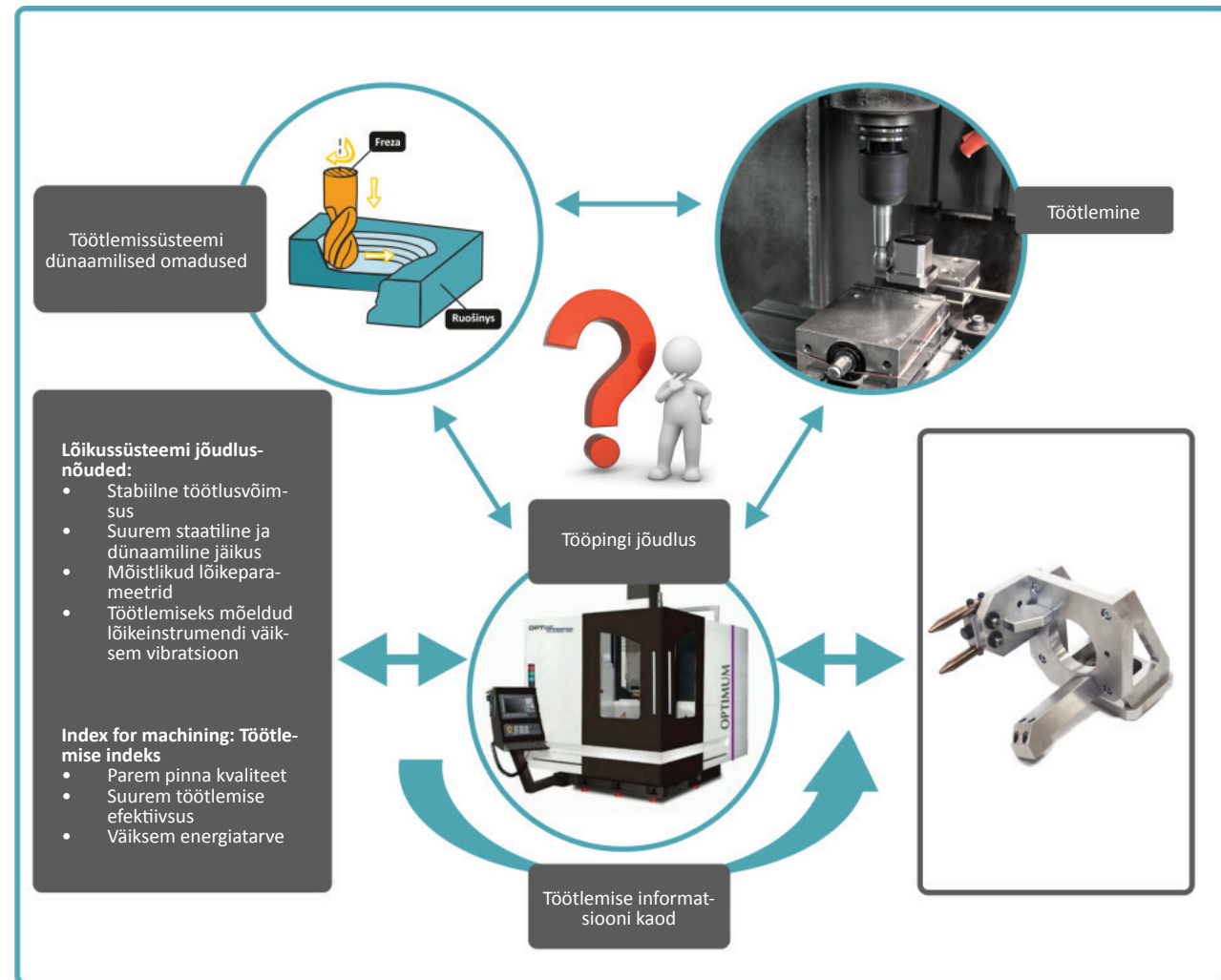
Just arvutivõrkude andmevahetusprotokollide muutumisel ja samuti tootmise kontseptsiooni nihkumisel toote põhiselt teenusele põhisele, võivad nutikad tootmissüsteemid silmitsi seista tehniliste probleemidega. Üldiselt puuduvad erinevate platvormide vahel ühised andmebaasid, mistõttu on reaalne, et „ressursi-põhised“ süsteemid ei ühti „ressursi-põhiste andmehaldussüsteemidega“. Info- ja arvutustehnoloogia arengul on märkimisväärne mõju tootmise tehnoloogilisele arengule.

Tootmine on valdkond milles koonduvad ja milles rakendatakse erinevate tehnikaerialade teadmisi ja oskuseid. Tänapäeval arvatakse, et nutikas ja jätkusuutlik tootmine on ainuvõimalik tulevikutee. Teenuse-põhised CNC tootmissüsteemid ehk kompleksed tööpingid on tootmise uus suund. Need on efektiivsed tootmissüsteemid mis üheaegselt omavad tehnoloogilist võimekust, on paindlikud, kuluefektiivsed ning keskkonnasäästlikud.

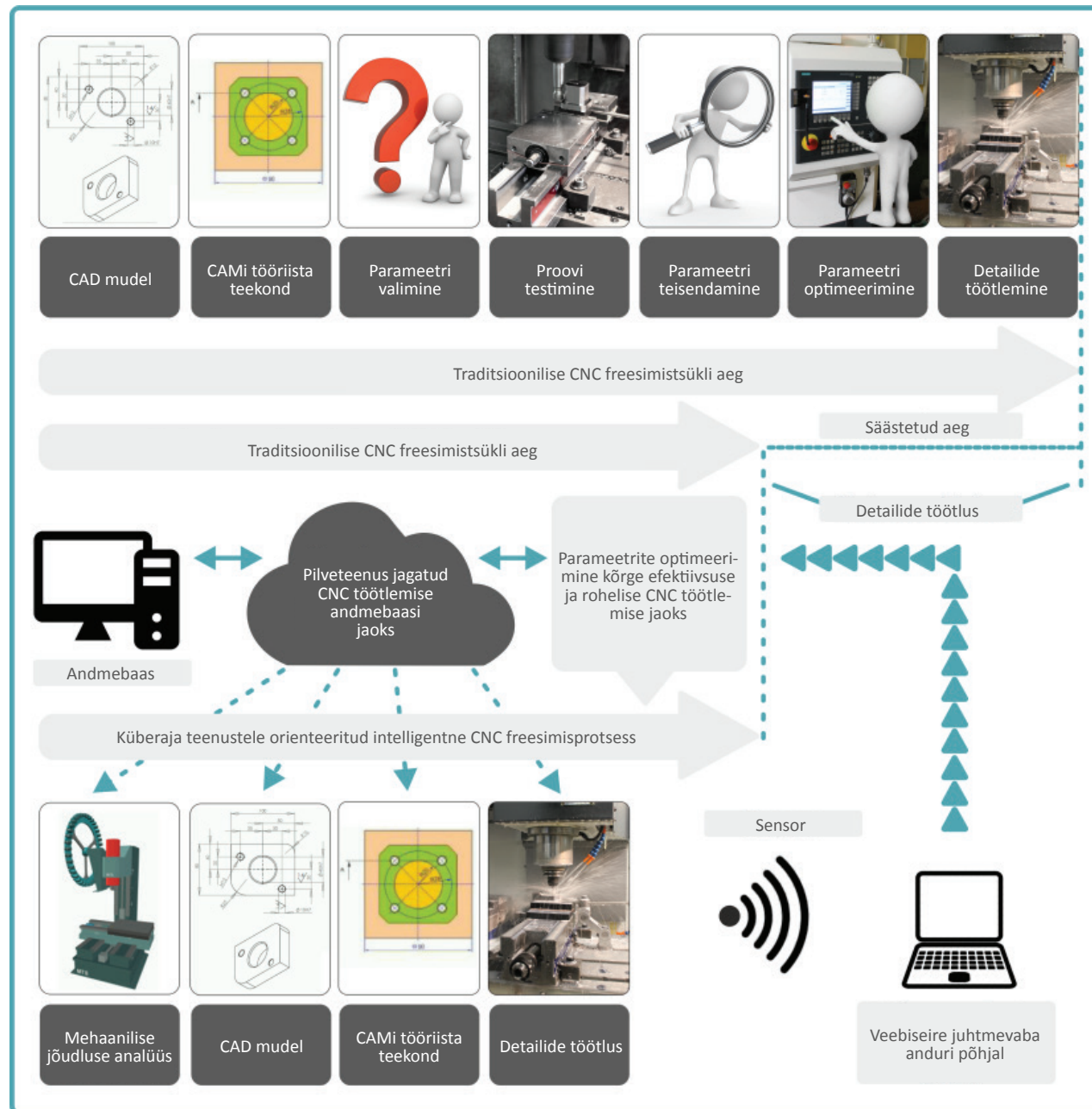
Nutikate tootmissüsteemide juures ei fokuseerita enam vajadusele säästa energiat kui ressursi, pigem on nende süsteemide fookuses informatsiooni korje, salvestamine ja analüüs. Tootmisprotsessi kvaliteet nutikates tootmissüsteemides on parem igas aspektis. CNC lõiketöötlemine on keerukas mehhaaniline protsess millest võtavad osa erinevad jõud ja nendest tingituna erinevad liikumised. Valmi-

nud toote või detaili, kitsamalt selle pinna või mõne muu geomeetrilise elemendi kvaliteeti mõjutad mitmed faktorid. Näiteks, tööriista kulumise määr, lõikerežiimi parameetrid, tööpingid üldine stabiilsus jne. Olukorras kus töötlemine jaguneb erinevateks üksikuteks etappideks on keeruline iga üksiku etapi kohta piisavalt andmeid korjata. Joonisel 9.23 on esitatud diagramm milles kujutatakse tootmisprotsessi kus see on jagatud üksikuteks etappideks, millest iga eraldi viiakse täide traditsioonilise CNC tööpingiga. Nutika tootmissüsteemi üheks omaduseks on selle võime ajas pidevalt jälgida ehk monitoorida oma komponentide seisukorda. Näiteks, nutika tootmissüsteemi CNC tootmissüsteem jälgib pidevalt tööriista kulumise määra ja on võimeline lähtuvalt sellest reageerima. Põhimõtteliselt on selleks vaja, et lisaks monitoorimisele oleks süsteem võimeline andmeid salvestama, töötleva ning lähtuvalt tulemustest protsessi muutma.

Tulenevalt asjaolust, et teadaolevalt puudub üldtunnustatud allikas, andmebaas lõiketöötlemise parameetrite kohta, siis kasutavad enamik CNC lõiketöötlemisele suunatud ettevõtteid peamiselt kogemuspõhiseid andmeid. Reeglina see tähendab, et iga uue töö juurutamisel tuleb viia läbi mingi hulk



Joonis 9.23 traditsiooniline töötlemine CNC tööpingiga



Joonis 9.24 Erinevused traditsioonilise CNC tööpingi ja nutika CNC tootmissüsteemi vahel

proovikatseid. See ei ole ainult ajakulu vaid ressursikulu üldiselt. Uute tööpin- kide ja tööriistade kasutuselevõtmisel on katseliselt ehk empiirilisel määratud väärtustel oluline tähtsus.

Teenusele orienteeritud nutikas CNC tootmissüsteem on võimeline lahendama mitmeid probleemseid ülesandeid nagu pikk töötlemise aeg, ebapädevate väärtuste valik, toor- kute laoseis jne. Nutikas süsteem on võimeline kogu sellekohase vajaliku informatsiooni koguma ja töötleva. Selleks on nutika tootmissüsteemi juurde loodud spetsiaalne andme- haldusega tegelev moodul. Nutika CNC tootmissüsteemi üheks sisendiks on valmistatava detaili digitaalne 3D mudel. Selle põhjal luuakse esiteks töötlemise virtuaalne simulatsioon. Hiljem, juba valminud detaili mõõte- sondiga mõõtes saab kontrollida kui palju realselt valminud detail erineb esialgsest ideaalsest mudelist. Ligi- pääs süsteemile ei ole piiratud selle füüsilise asukohaga. Seda saab juhtida üle arvutivõrgu suvalisest asukohast. Joonisel 9.24 tuuakse välja erinevused traditsioonilise CNC tööpingi ja nutika CNC tootmissüsteemi vahel.

CNC töötlusandmete andmebaas on nutika CNC tootmissüsteemi tsent- raalne osa. Andmebaasi korjatakse ja selles salvestatakse turvaliselt lõike-

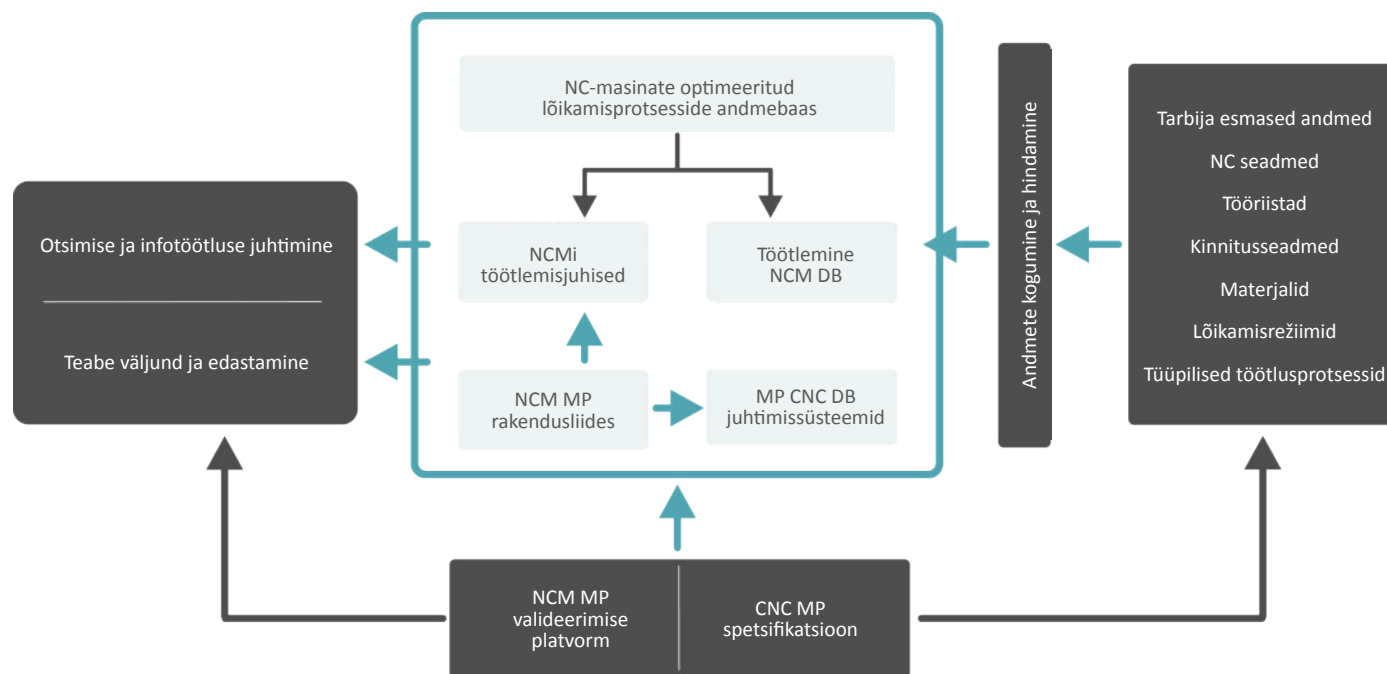
töötlemise parameetrid koos teiste vajalike näitajatega. Eesmärgiga, et tekiks võimalikult täielik ja kõiki aspekte kattev andmekogu. Selle andmebaasi struktuur on esitatud Joonisel 9.25.

Andmebaas sisaldab endas andmeid mis puudutavad otseselt ja kaudselt materjalide lõiketöötlemist CNC tootmissüsteemiga. Keskseks osaks on andmebaas ise, lisaks veel arvutisüsteem, kasutaja rakendusprogramm ja administreerimise tööriist. Kõige olulisemad andmebaasi kogutavad andmed puudutavad lõiketöötlemise protsessi ehk on lõikerežiimi parameetrid laiendatud kujul.

Võttes arvesse, et materjalide lõiketöötlemine on keerukas ja mitmetahuline operatsioon, jagatakse andmebaas sektoriteks. Eraldi sektoritesse koondatakse andmed tööpingi, tööriista, lõikevedeli-

ku ja lõikerežiimi parameetrite kohta. Detaili ja selle valmistamise tehnoloogia kohta on samuti eraldi sektor andmebaasis. Ilmselgelt ei ole võimalik kõiki andmeid katseliselt määrata ja andmebaasi kanda, sellisel juhul kasutavad andmebaasid spetsiaalseid matemaatilisi mudeleid mis annavad parameetritele esialgse väärtuse. Mudeleid on erinevat tüüpi ja erineva keerukuse astmega. Kuna lõikeprotsessi kirjeldavad andmed võivad pärineda erinevatest allikatest saab nende usaldusväärsus olla erineva kvaliteediga.

Matemaatilise mudeli poolt arvutatud väärtused ei ole samaväärsed praktikas mitmekordselt läbiproovitud väärtustega, viimased peaksid alati olema eelistatud. Sestap on andmebaasi andmed samuti usaldusväärsuse järgi struktureeritud erinevatele tasemetele. And-



Joonis 9.25 nutika CNC tootmiskeskuse andmebaasi struktuur



Joonis 9.26 Neljaastmeline parameetrite hindamise protsess

Joo-
nis tõlki-
mata

mete jaotamine kuni viie astmelisse struktuuri on küllalt levinud. Jaotamise kriteeriumiteks on andmete päritolu ja erinevad teised hinnangud. Mingi parameetrite kogumi või komplekti kirjeldamiseks kasutatakse üldiselt järgmist parameetrite komplekti mis sisaldab endas väärtust lõiketöödeldavusele üldiselt, pinnakareduse hinnang, tööriista eluea hinnang, materjali eemaldamise kiirus ja energiakulu.

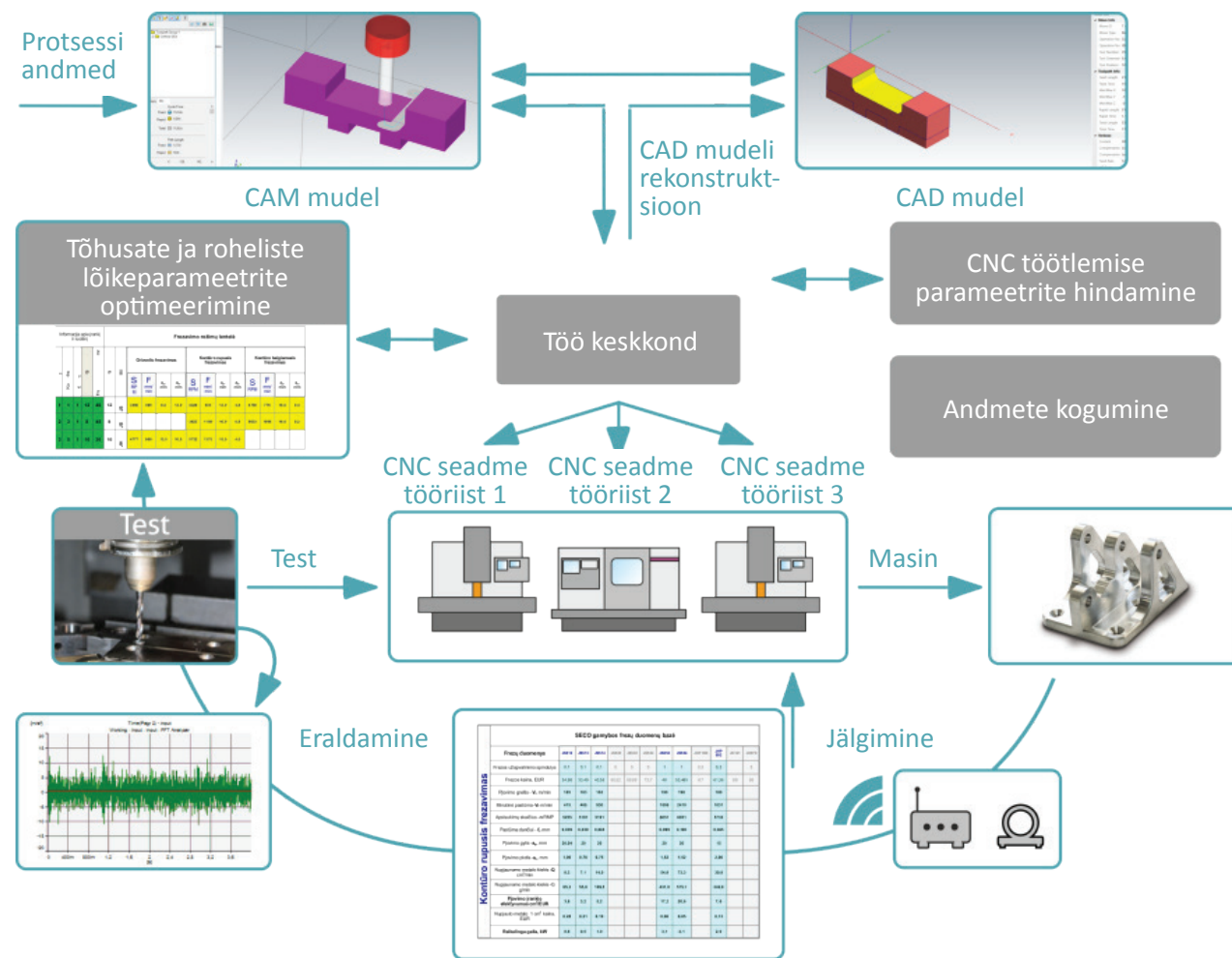
Üldiselt on kõige kvaliteetsemad väärtused kirjutatud viienda taseme andmetesse ja kõige vähem-väärtuslikumad esimese taseme omasse. Mingil hetkel tuleb kasutajal anda isiklik hinnang parameetri väärtusele ehk siis isiklikule kogemusele toetudes lisada kirje andmebaasi. Sellisel juhul muutub väärtus subjektiivseks. Objektiivselt kogutud andmeid tuleb alati eelistada subjektiivsetele. Joonisel 9.26 on esitatud protsessi põhimõtteskeem kuidas hinnata parameetreid. Korrektselt määratud töötlemise parameetrid suurendavad lõiketöötlemise osa stabiilsust, vähendavad tööpingi tõrkeriske ning ohtu, et tööriist kuluks enneaegselt.

Pärast tootmissüsteemi raudvara monteerimist luuakse andmebaas millesse kogutakse mehaanilist töötlemist kirjeldavad parameetrid. Soovitavalt võiks tarkvaral olla lihte ja kasutajasõbralik kasutajaliides. Kolmeastmeline parameetrite määramise alamsüsteem võimaldab anda kasutajale detailset informatsiooni. Lihtsustatult ja põhimõtteliselt kirjeldatuna koosneb andmebaas esimese põlvkonna, teise põlvkonna ja kolmandaks objekt-orienteeritud astmetest.

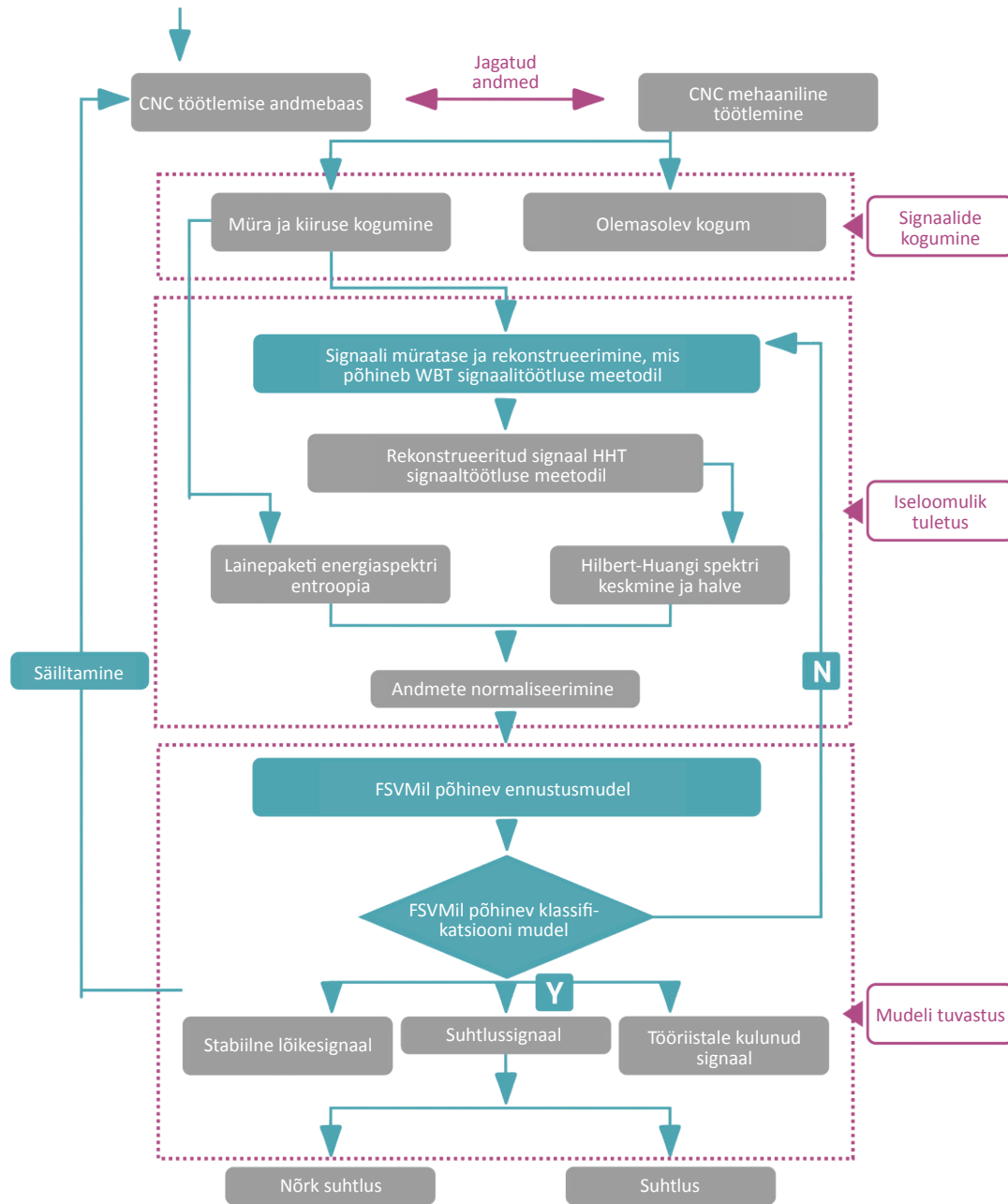
Andmevahetus astmete vahel toimub mõlemas suunas. Tulemusliku ja edukalt töötava andmebaasi loomiseks on oluline, et andmestruktuur oleks hõlpsasti hallatav ehk oleks olemas vastav haldusvahend. Andmebaasid on universaalsed ja neid on võimalik ümber tõsta teistele platvormidele. Nutika CNC tootmissüsteemi tarbeks loodud andmebaasid kasutavad Active MQ tehnoloogiat. Sellel tehnoloogial põhinevad andmebaasid kasutavad andmete kolmeharulist paralleelset käsitlemist. Nendeks on andmete otsene monitoorimine, tööpingi dünaamika monitooring ja modelleerimine. Lisaks mainitutele viiakse taustal läbi andmetöötlus ja vajadusel optimeeritakse parameetrite väärtuseid.

Joonisel 9.27 on kujutatud nutika CNC tootmissüsteemi diagramm millel on ühtlasi näidatud andmehõive osa, arvuti, kirjeldatud andmevahetuse toimumine ja illustreerivalt kujutatud CNC tootmiskeskuse raudvara. Lõikeprotsessi üldine stabiilsus on oluline näitaja mis tagab töödeldud pindade kvaliteedi, tõstab lõikeprotsessi usaldusväärsust ja pikendab tööriista kasuliku eluiga. Füüsiliselt on iga perioodilise liikumisega võimalik vibratsioonide teke süsteemis. Lühidalt selgitatuna on tegemist olukorra mil keha omavõnkesagedus ja sundiva jõu sageduse toimel võimendatakse keha liikumise ulatust. Vibratsioone tuleb vältida, nende esinemise tõenäosus kasvab eriti suurematel kiirustel. Laastutekkeprotsess materjalide lõiketöötlemisel on keeruline mehhaaniline protsess milles osalevad mitmed jõud. Lõikejõud on otseselt lõikeriistale mõjuvad jõud ja tööriista kasuliku eluea hindamise vajalikkusest lähtuvalt on lõikejõu mõõtmine oluline. Selle monitoorimine, salvestamine ja analüüs võimaldavad hinnata vibratsioonide määra süsteemist. Vajadusel saab sellest informatsioonist lähtuvalt läbi tagasiside muuta tööparameetreid.

Nutika CNC tootmissüsteemi kuulub andurite komplekt mille abil mõõdetakse ja salvestatakse müra, kiirendu-



Joonis 9.27 Nutika CNC tootmissüsteemi diagramm



Joonis 9.28 Mõõtmine ja signaalitöötlus nutika CNC tootmissüsteemis

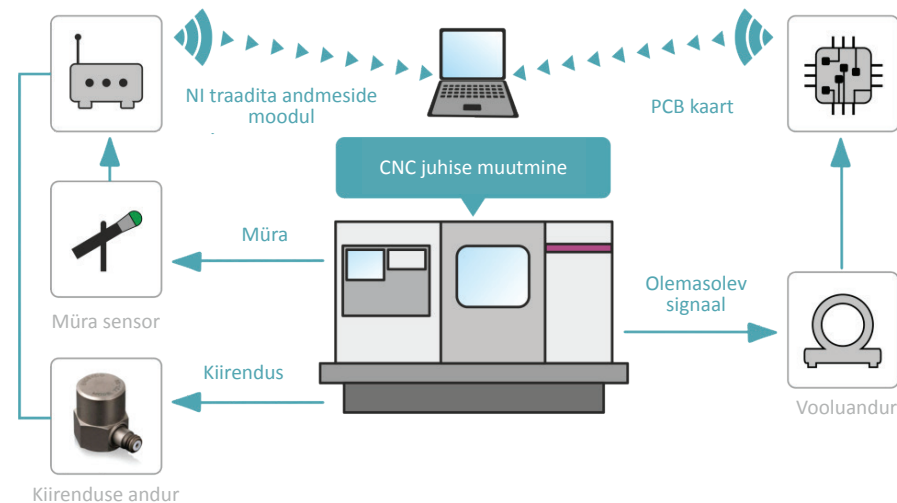
se ja voolutugevuse väärtused. Metallilõikeprotsess on sedavõrd keerukas ja kompleksne, et ühe signaali väärtustest ei ole võimalik arvestatavaid järeldusi teha.

Müra ja kiiruse signaale tuleb pärast mõõtmist töödelda, filtreerimine on tehnika mille abil eraldada erineva sagedusega signaali komponendid. Pärast mida töödeldakse mõõdetud signaali spetsiifiliste algoritmide abil: Wavelet Packet Transform (WPT) ja Hilbert-Huang (HHT-Hilbert-Huang Transform) signaalitötluse meetoditega. Tulemuseks on kaks peamist parameetrit: energia sageduse spekter ja tõenäosustihedus. Viimasena rakendatakse Fuzzy Support Vector Machine meetodit (FSVM) selleks et andmete põhjal luua Vibratsioonide Diagnostika Mudel (Joonis 9.28). Lisaks mõõdetakse voolutugevust tööpingi spindli ahelas. Selle analüüsimisel on võimalik anda hinnang tööprotsessi stabiilsusele.

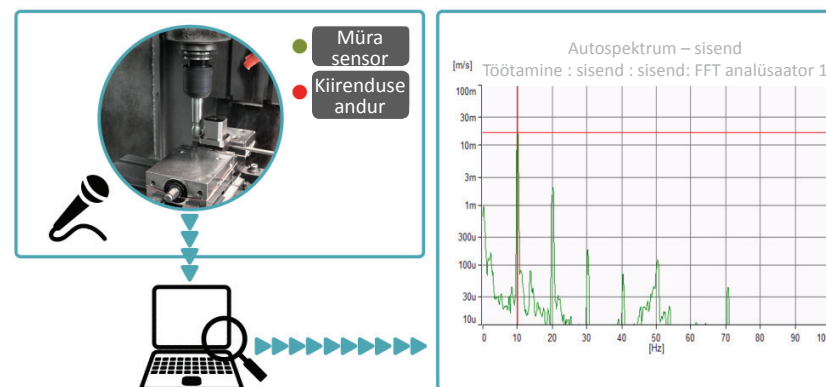
Nutika CNC tootmissüsteemi mõõtmisüsteemi põhimõtteskeem on esitatud Joonisel 9.29. Andmevahetus toimub üle traadita võrguühenduse. Sellega vähendatakse koormust teistes andmekanalites ja samuti väheneb signaalide soovimatu interferentsi tõenäosus.

Joonisel 9.30 näidatakse müra ja kiirenduse mõõtesüsteemi ülesehitust. Sellesse on monteeritud üks kanal müra mõõtmiseks ja kolm X / Y / Z kanalit vibratsiooni mõõtmiseks. Signaalid mõõdetakse ja reaajas toimub andmetöötlus. See on vajalik, sest lõiketöötlemise parameetreid tuleb muuta koheselt kui tuvastatakse võimalik häire. Näiteks, kui signaalid näitavad, et tööriist hakkab kuluma vms. Mõõdetud signaali analüüsitakse WPT ja HHT algoritmide abil. FSVM meetodiga luuakse Vibratsioonide Diagnostika Mudel.

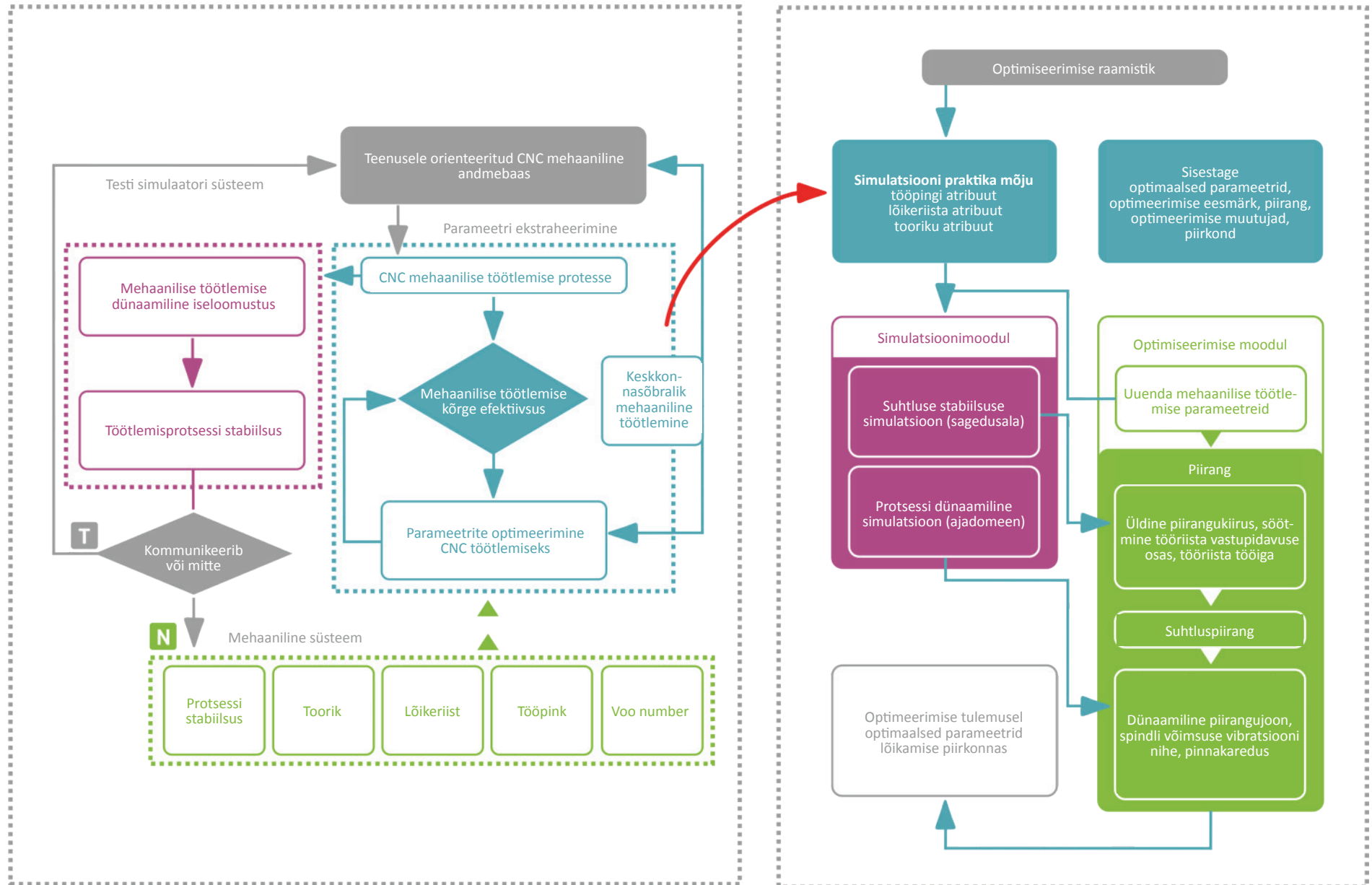
Selline süsteem ja meetodika võimaldavad tõhusalt tuvastada muutusi vibratsiooni mustris. Sellised muutused annavad omakorda informatsiooni lõikeprotsessi komponentide seisukorra kohta. HHT signaalitöötluse meetod on jagatud kaheks osaks: esiteks empiiriline ehk katseliselt määratud osa ja teiseks Hilbert teisendus. Hilbert-Huang teisenduse tulemusena tõstetakse esile algsignaali sageduse ja amplituudi järsud muutused. Aja keskväärtuse kõver μ ja variatsioon on kaks väljundparameetrit. FSVM meetod on arenenud masinõppe meetod mida peetakse objektiivselt võimekamaks kui närvivõrkude meetodit. Näiteks, vajab FSVM meetod analüüsi teostamiseks vähem katsepunkte. Mistõttu on selle kasutamine põhjendatud müra uurimisel – tulemusi on võimalik saada väiksema arvu võnge järgi. CNC tootmisprotsessi parameetrite seadistamisel on oluline leida kompromiss tootlikust suurendavate ja teisalt jätkusuutlikust (keskkonnahoid) parandavate parameetrite vahel. Ülalpool on kirjeldatud süsteemi milles parameetrite optimeerimiseks kasutatakse mõõtesüsteemi mille üheks väljundiks on vibratsiooni mõõtmine ja teise väljundina määratakse lõikejõud lähtuvalt otsesest kiirenduse mõõtmisest. Nutika CNC tootmissüsteemid on omavahel ühendatud Interneti sarnasesse andmevõrku ja selle kaudu edastatakse töötlemise parameetreid ühest süsteemist teise. Seeläbi kasvab üleüldise tootlikus ja väheneb kahjulik mõju keskkonnale. Keskkonnakahju



Joonis 9.29 Nutika CNC tootmissüsteemi mõõtmisüsteemi skeem



Joonis 9.30 müra ja kiirenduse mõõtesüsteem



Joonis 9.31 Nutika CNC tootmissüsteemi juhtimine lähtuvalt tootlikkusest ja keskkonnanõuetest

9.4 Infotehnoloogia kasutamine arukate tootmisprotsesside juhtimiseks

9.4.1. Numbriline otsejuhtimisseade (DNC)

Ajalugu. Arvutivõrk, mille otsene eesmärk on andmete ülekandmine, on tänapäevases maailmas standardiks saanud. Arvutivõrgutehnoloogia pakub palju eeliseid, nagu ressursside jagatud kasutamine, ligipääs eemal asuvale teabele, sotsiaalne suhtlus, kaugõpe, ekspertide tugi. Tööstuslikes ettevõtetes integreerivad arvutivõrgud kõik digitaalsed juhtseadmed, k.a masinad, ühtsesse süsteemi. Numbriline otsejuhtimisseade (DNC) oli selle arengu ja arvutisüsteemide arenemise peamine tegur. Kiire DNC progress saavutati 1950ndatel, mil tarbijad ja arendajad töötasid välja DNC-de nõuded. Sel ajal arutleti laialdaselt prooviperioodi, haldusalgoritmide ja põhiliste stabiilsusprobleemide lahendamise üle.

Praegu seostub see kontseptsioon tootmises peamiselt digitaalsete juhtseadmetega (masinad, robotid, mõõtemasinad, tööriistaseadistajad jms), mis on arvutitega ühendatud. DNC tõukas areenilt varem kasutuses olnud andmelaod: magnetlindid, flopikettad koos nende lugemis- ja kirjutamisseadmetega. Vahetu andmete ülekandmise eelis on madalamad kulud ja uute tehnoloogiate rakendamine. DNC oluline omadus on haldusteabe haldamine ja selle õigeaegne jaotamine suurele hulgale numbrilistele juhtseadmetele, mis kasutavad arvutil digitaalseid juhtfunktsioone. Viimased funktsioonid ei ole moodsates DNC-süsteemides olemas: masinatööriistade juhtfunktsioonid on paigaldatud samadele numbrilistele juhtsüsteemidele. Tänu andmevõrkude ja võimsa TSV tarkvara turuletoomisele saavad seadmed üksteisega ettevõtte sees kohtvõrgukeskkonna (LAN) kaudu suhelda, kasutades vaid neile määratud kommunikatsiooni sõlmsüsteeme.

9.4.2. DNC eesmärgid ja eelised

Kuigi tehnoloogia on viimastel aastatel olulisel määral muutunud, on DNC-süsteemide peamised funktsioonid jäänud samaks. DNC-süsteemidega tehtavad kaks peamist ülesannet on järgmised.

- See tagab turvalise ja õigeaegse andmete ülekandmise digitaalselt tarkvarakontrollerilt.
- See haldab tuhandeid digitaalseid haldusprogramme.

Esimese ülesande, turvalise andmeedastuse, jooksul on ettevõtte kaitstud oma seadmete või toodete võimaliku kahjustamise eest. Digitaalne programmihaldus hoiab korda ja turvalisust suures andmebaasis, mis hoiab tähtsat teavet. Mõlemad ajakohaste süsteemidega tehtud ülesanded on väärtuslik investering, et suurendada tootlikkust ja kvaliteedikindlust. Lisaks DNC peamistele ülesannetele on olemas edasised süsteemifunktsioonid, nagu tööriistade või komponentide haldus automaatsetes tootmissüsteemides.

DNC-süsteemide eelised tulevad esile järgmiste tegurite puhul.

Palju uusi programme. Kui uusi programme või programme kasutatakse töö käigus regulaarselt, on vajalik programmi ülekandmine CAD/CAM-süsteemilt CNC-kontrollerile. See peab eriti paika tootmisele suunatud programmeerimisel, st juhul, kui seadet programmeerivad CNC-masina käitajad ja rakendatavate programmide turvalisus on oluline tegur.

Suurem andmeedastuskiirus. See on tingitud masintöötluskeskuste või laserseadmete suurtest löikekiirustest, mis nõuavad väga kiiret andmete ülekandmist. Seetõttu on üks DNC nõuetest digitaalse juhtprogrammi andmete edastus CNC-seadmele kiirel kiirusel nii, et andmete puudumine ei häiriks tootmisprotsessi. Seda nõuet saab täita vaid DNC-süsteemi abil.

Tööriistade haldamine arvutiprogrammidega. Pidev vähendamine ja andmekaeve saab kulusid vähendada. Tööriista seisakuaja ka-

sutamine aitab aega säästa, vältides tööriista oleku kontrollimisel tehtavat ebavajalikku tööriista eemaldamist ja sisestamist. Tööriista ID-numbri lisamine teiste CNC-seadme tööriistaandmete hulka vähendab ajakulu ja parandab turvalisust.

Paindlikud tootmissüsteemid. Paindlikud tootmissüsteemid moodustavad selgelt eristuva kategooria, mida iseloomustab tõik, et ühelt hostilt võetakse üle DNC põhifunktsioone, aluste hankimist, ladustamist ja haldamist puudutavad andmed, korrektsiooniväärtused, mõõtmised ja muud andmed. Kõige sagedamini paigaldab haldussüsteemide vahendaja DNC-süsteemid kohandatud ja laiendatud tarkvarasse. DNC arvutitarkvara rakendab lisaks numbrilistele juhtprogrammidele, alamprotsessidele ja tsükklitele ka vajalikke lõikamistöörüstade andmeid, töödeldava detaili või komponendi nullpunkti nihutamist, korrektsiooniväärtuseid. Paindlikud tootmissüsteemid, millele on paigaldatud töötlusfunktsioon, peavad pakkuma eri seadmetele vajalikke programmiosi iga komponendi tootmiseks. Asjakohase tarkvara lisaprogrammiga hangib paindlik tootmissüsteem / DNC teavet iga seadme hetkeoleku kohta, näiteks lõiketööriista paiknemine kabiinis, seisuaeg, korrektsiooniväärtused või muud andmed. Kõik see vähendab suurel määral CNC-seadme mälus andmekao võimalust seadme sisselülitamisel.

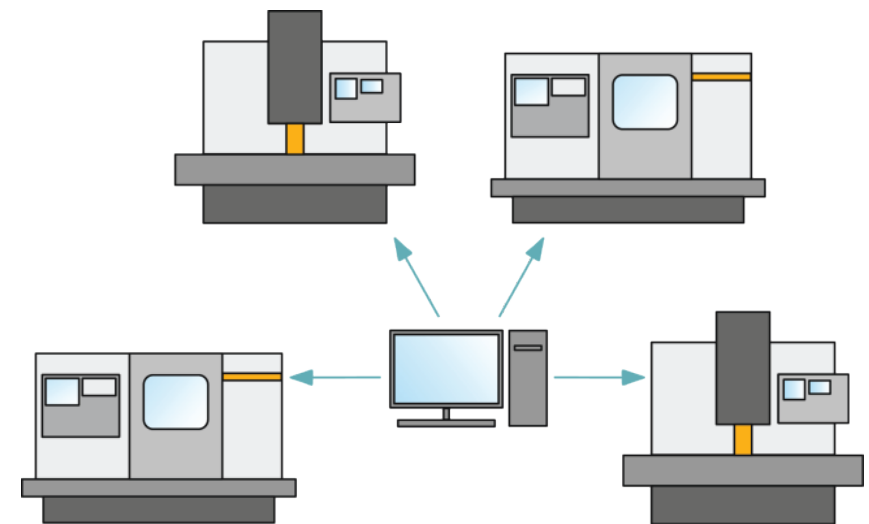
Üldine teave. Võib väita, et DNC-d on arvutipõhise tootmise komponendid ja tuleks lisada üldisesse tootmisplaani. Eesmärk on kasutada aina enam CAD/CAM-süsteeme, tööriistahaldussüsteeme ja eelseadistatud seadmeid selleks, et edastada ja töödelda rohkem andmeid lühema aja jooksul. Selle eesmärgi täitmisel on DNC-süsteemid asendamatud abimehed. DNC-süsteemi kasutamine tootmises toob kaasa järgmised eelised:

- suurema tootlikkusega tootmine üsna lühikese üleminekupeerioidi jooksul;
- täielikult kindlustatud andmeedastus pikkade vahemaade taha;
- kiire programmi skannimine;
- andmete lihtsustatud salvestamine;
- vähem programmeerijate vastutust rutiinse igapäevatöö eest;
- jälgitavus tänu kvaliteedihaldussüsteemide ISO 9001, DIN EN ISO 13485: 2003 rakendamisele;
- terviklik kaitse välistelt meediumitelt pärinevate andmetega seotud segaduse eest;
- kvaliteetne veatu andmete ülekanne ka suurtel kiirustel (nt HSC ehk kiiretel kiirustel lõikamine);
- asjakohaste programmide kasutamise tagamine;
- lihtne, automaatne ja selge programmihaldus;
- kiirem ligipääs programmidele ja nende kiirem korrigeerimine;
- seadme puuduvatest rakendustest tingitud seisakute vältimine;
- kvaliteetne tööriista ettevalmistus ja kontrollimine;
- tõhusam tööriistade kasutamine, kui neid käitatakse suletud andmeringis;
- minimaalne tööriistade vahetamine programmide vahetamisel;
- selgem andmeedastus eriti just ühendatud tootmissüsteemide puhul;
- paindlikud ja automaatselt käitatavad SV-seadmed;
- seadmete pikem tööiga.

9.4.3. CNC-masinate võrguühendused

Enne jadaliideste kasutuselevõtmist kasutati seadmete manipuleerimisel perfokaarte. Peamine miinus oli tõsiasi, et neid ei saadud käsurea kontrollimiseks muuta. 1962. aastal tegi EIA (Electronics Industries Association) ettepaneku andmete jadaedastusseadmete tootjate standardi (RS) 232 kohta. RS232 liides oli piisavalt mitmekülgne ja võimaldas tarkvarakontrolleritel oma varustust sellele standardile lihtsal viisil vastavaks kohandada. Hiljem, kui jadaliidesed (RS232, RS232C) olid juba standard, peeti neid parimaks valikuks, kuna need toetavad dupleksedastust, st andmed liiguvad korraka mõlemas suunas ning neid saab kasutada ka programmide ladustamiseks ja dekodeerimiseks. Eelmised DNC-süsteemid, mis loodi tolleaegsetel miniarvutitel (võrreldes tänapäevaste arvutitega olid need väga kallid), olid juba multifunktsionaalsed ja neil oli mitu jadaliidest. Need tulid korraka toime suure hulga edastatud andmetega ja neid hallati ühest terminalist. Neid miniarvuteid kasutati digitaalse haldustarkvara salvestamiseks. Kõik need süsteemid on töötanud infoedastustehnoloogiatega, mis edastavad terminali andmeid seadmetele. Kuna andmete jadaedastus on häiriv protsess, tagab RS232 turvalise andmeedastuse ainult 15 m kauguseni ja sellel on vaid elementaarne andmekontroll, siis said tootjad ruttu aru, et infoedastust tuleb protokolliga kaitsta. Protokoll defineerib, kuidas ja mis vormingus andmeid võrgus vahetatakse. Piiramatu andmeedastuse võimaldamiseks võeti kasutusele andmete edastus plokkides. Sel juhul antakse igale plokkile juhtsüsteem. Ebakõla tuvastamisel nõuab juhtimiseseade automaatselt andmete uuesti edastamist. Kuigi sellised protokollid (FEI, FE2, LSV-2 jne) aeglustavad andmeedastuskiirust, tagab see veatu edastuse. Lisaks võimaldavad need laadida suuri programme, mis ületavad juhtseadme jõudlust. Kuna digitaalne tarkvara ja teised seadmed kestavad kaua, kasutatakse peaaegu kõiki andmeedastusmeetodeid tehase töökodades, mis olid kasutusel ka vanemates CNC-des. Näiteks linditagused liidesed, RS232 (V.24) liidesed ja ettevõtte intranetiliidesed.

Viimastel aastatel on aina enam CNC-masinaid ja varustust arvutivõrku integreeritud ning neid hallatakse intraneti kaudu, kasutades mitut eri operatsioonisüsteemi ja ülekandeprotokolli. Haldus tugineb Unixi või Linuxi operatsioonisüsteemidele ning ka DOS-i või Windowsi operatsioonisüsteemidele. Jaapani tarkvarakontrollerid kasutavad tihtipeale failiedastusprotokolli (FTP), samal ajal kui Euroopa tootjad kasutavad muid andmeedastusprotokolle, näiteks Netbios, NetBeans, NFS jne. See mitmekülgne võimaldab valida sobiva DNC-süsteemi, mis vastab nõuetele. Kõik moodsad DNC-süsteemid kombineerivad CNC-masinaid arvutitega, kasutades standardvõrku ja andmeedastusvahendit, st jadakaableid. Nende seadmete ühendamiseks kasutatakse kolme eri strateegiat. DNC-süsteemid, mis on ühendatud jadaühendusega. Nendes väiksemates ja vähemate installatsioonidega süsteemides kasutatakse arvutit nii programmi säilitamishosti kui ka kommunikatsiooniseadmena (joonis 9.34).



Joonis 9.34. CNC ühenduvus DNC-süsteemis

Sellise ühenduse puhul on arvutil tavaliselt mitmekanaline liidesekaart ja ühendab DNC-seadme RS232 või RS485 liidese kaudu. Vaskkaablite kaudu andmeedastuse puhul on edastuskiirus tavaliselt aeglasem, edastatavat signaali mõjutavad välisallikate häiringud, kuid teisalt tagab see usaldusväärsema ülekande. Häirete kõrvaldamiseks on vaskkaablite asemel kasutusele võetud valguskiudkaablid. Üks fikseeritud kaabli miinustest on DNC-arvuti asukoha muutmisel vajadus kaablikoost uuesti paigaldada. See tüüp sobib väikeäriledele, kus on üsna vähe seadmeid ja arvuti paikneb kuni 15 m DNC-seadmest.

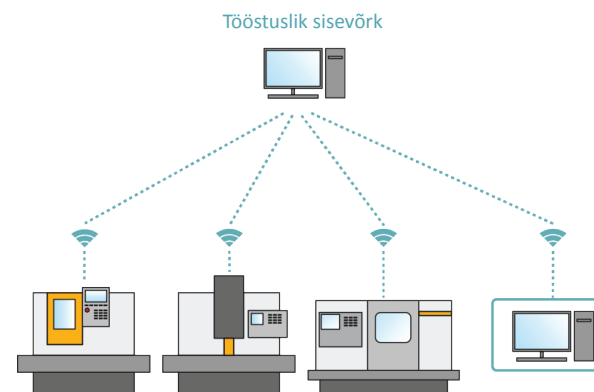
Terminaliga DNC-süsteemid. Need DNC-süsteemid olid just 1980ndatel eriti laialt levinud. Terminale (tööstuslikud arvutid) kasutati andmeedastuse tööriistana serverite ja CNC-seadmete vahel (joonis 9.35).

Tootmise arvutipõhiseks muutmise tõttu pärines kogu CNC-seadmete tootmisinfo tööstuslikest arvutitest. Käitajale anti võimalus jälgida kõiki tootmisega seotud andmeid ja dokumente ning kasutada terminali digitaalse juhtteabe edastamiseks. Neid süsteeme täiendati tihti CNC-seadmete ja ettevõtet puudutava teabega. Seda DNC-süsteemi kasutades said vastutavad isikud teavet varustuse seisuaegade ja -põhjuste kohta. Seda tüüpi DNC-süsteem on kaua olnud ainus viis, kuidas vältida jadaühendatud CNC-seadmete omavahelist ühendamist, mis oli tingitud võrgutehnoloogiast. Terminaliga DNC-süsteemid on väga kasutajasõbralikud, kuid nõuavad töötajate põhjalikku koolitamist ja on üsna kallid.

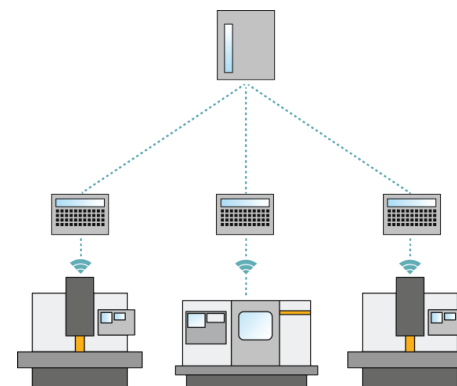
DNC võrgusüsteemid. Nende süsteemide puhul kasutatakse andmete edastamiseks võrguadaptereid (joonis 9.36).

Sellises süsteemis on ettevõtte intranetti integreeritud jadaliidestega seade, kasutades selleks võrguadapterit (seadme server, com-server või terminali server). Seetõttu on võimalik digitaalsete juhtimis-seadmete poole pöörduda veel peale käitusterminalide ka otse juhtimis-seadmest. Need süsteemid lahendavad andmete pikkade vahemaade taha saatmise probleemid, kuna õige andmeedastus tagatakse

võrgutehnoloogiaga. Niisugused süsteemid on üsna soodsad, sobivad nii suur- kui ka väikeäriledele. Klassikalise arvuti võrgukaabli asemel kasutatakse enamasti võrguvaba kohalikku ligipääsuvõrku (WLAN) või kohalikku võrku (LAN). LAN kasutab kommunikatsioonisüsteemi loomiseks vaid ühte juhet. Moodsad arvutite operatsioonisüsteemid (tavaliselt Windows, harvem Linux või Unix) võimaldavad samal ajal andmeid edastada mitmele seadmele ja neid mitmelt seadmelt vastu võtta.



Joonis 9.35. Terminali juhtimine CNC puhul



Joonis 9.36. DNC Networki süsteem

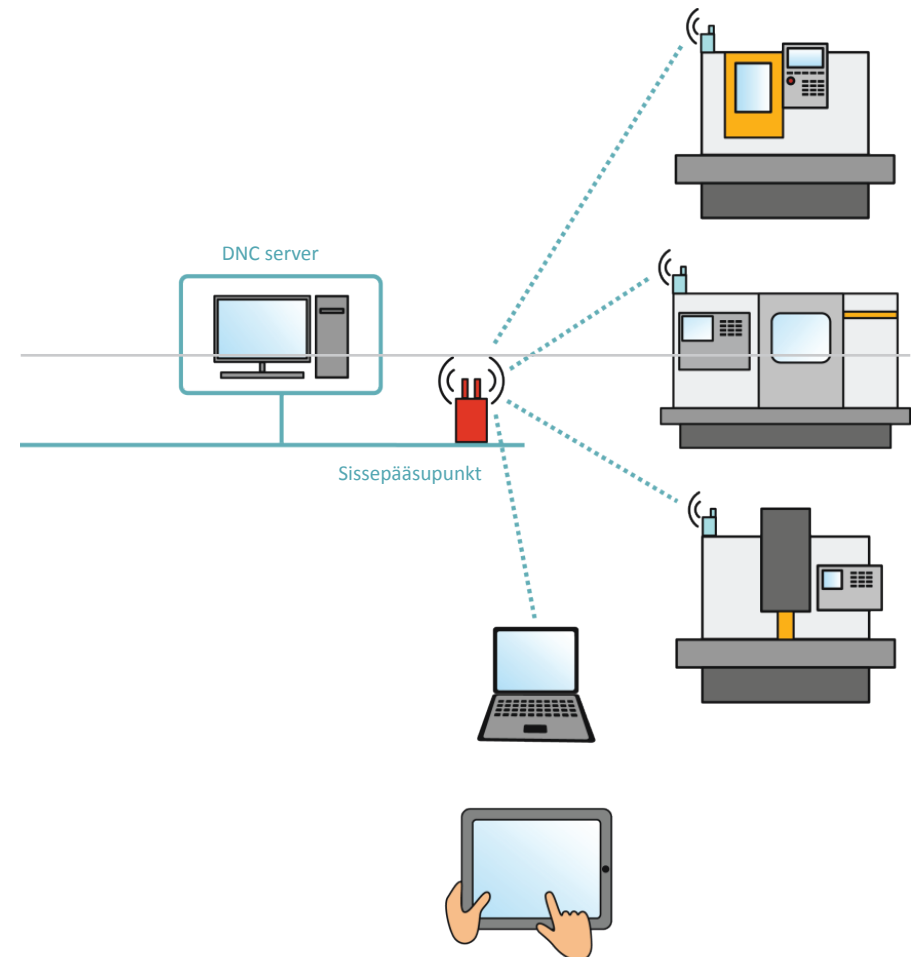
9.4.4. TSV-süsteemide võrgutehnoloogia

Standardsete arvutivõrkude andmeedastusprotokollid (tänapäeval peaaegu täielikult veebis) pakuvad suurte andmemahutude katkestusteta andmeedastust kaugete vahemaade taha. Tänapäevased põhilised võrguprotokollid TCP/IP (transmission control protocol/internet protocol) pakuvad tööstusvaldkonnas laitmatut andmeedastust. TCP/IP on tavalisim vabavaraline, st sõltumatu prototüüpsüsteem tootjatele ja inseneriprogrammide arvutivõrkudele. See sobib nii LAN-i kui ka WLAN-i ühenduste puhul. TCP/IP protokollid defineerivad andmevahetuse sama saatja ja vastuvõtja taseme vahel, kasutades võrgumudelit. Praegusajal domineerivad TSV-süsteemid Windowsi operatsioonisüsteemidel ja standardses kohtvõrgus LAN. Kui ühendatakse CNC-masinatega, millel on ainult jadaliides, siis kasutatakse andmekandjana andmeedastusega tegelevat võrguadapterit (com-server, seadme server). Väga spetsialiseerunud võrguadapteritel on vahetud DNC funktsioonid ning need suudavad teha oma andmeedastusrakendusi ja filtrifunktsioone.

9.4.5. Juhtmevabad kohtvõrgud WLAN

WLAN-i juhtmevabad LAN-id kuuluvad tänapäeval standardvõrkude alla (joonis 9.37).

WLAN-võrkude ajalugu ulatub aastasse 1971, kui Hawaii ülikooli professor Norman Abramson lõi esimese juhtmevaba andmevõrgu ALOHnet, mis hõlmas seitset arvutit neljal eri saarel ja suhtles keske arvutiga Oahul telefonivõrku kasutamata. Juhtmevabad võrgud hõlmavad andmevõrke, mis kasutavad elektromagnetlaineid andmete edastamiseks, seetõttu nimetatakse neid vahel ka raadio-kohtvõrkudeks. Juhtmevabad võrgud kuuluvad internetivõrkude hulka, mis kontrollivad andmevoogu koos TCP/IP internetiprotokolli komplektidega. WLAN-võrgud kasutavad tavaliselt litsentseerimata 2,4 GHz sagedusriba, mis suudab juhtmevabalt andmeid lugeda kuni kiirusega 11 Mb/s. Juhtmevabad võrguseadmed on näiteks jaotur,



Joonis 9.37. Juhtmevaba LAN (WLAN)

sild, ruuter, modem, ligipääsupunkt, jaotur). Kongsentraator ühendab mitu sõlme üheks võrguks; sild eraldab võrgud segmentideks, edastades andmeid ühelt segmentilt teisele, vajaduse korral saadab kommutaator vastuvõetud andmepaketi täpselt saajale; ruuter loeb paketi saaja IP-aadressi ja valib sobiva marsruudi andmete asjakohasesse alamvõrku; jagajaga ühendatud pääsupunkt, kommutaator või ruuter edastab signaalid juhtmevabalt võrgult. Sel viisil saavad arvutid ja CNC-seadmed juhtmevabalt ühenduda juhtmetega võrgu külge. Ligipääsupunktil on saatja ja vastuvõtja funktsioonid ning seda saab kasutada ka juhtmevabade võrguseadmete võrgu külge ühendamiseks. Vastuvõtja funktsioon on ühendatud CNC-masinaga kas sisseehitatud antenniga võrguadapteri või hariliku veebiadapteri kaudu (joonis 9.37). WLAN-i (juhtmevaba võrgu) kasutamine pakub eelkõige majanduslikku kasu. Enamikul juhtudest piisab kommutaatori ja kuluka kaablipõhise võrgu asemel juhtmevabast ligipääsupunktist. See suudab teenindada kuni 100 m kaugusel olevaid vastuvõtjaid. Keskmiselt maksavad tavalised võrgukaablid ning nende ja muude seadmete paigaldamine WLAN-süsteemist kaks korda rohkem. Kuna juhtmevaba meediakeskkonnaga saavad kõik ühenduda, siis on nõutav riskianalüüs. Eri kodeerimismeetodite avaldamisel arvutiajakirjades ei olnud ükski kood täiesti turvaline. Teisisõnu avati üks tööstuslikule spionaažile. Lisaks on seda olukorda võimalik kasutada pahatahtlikel kaalutlustel, näiteks konkurendi tootmisprotsessi ajutise peatamise jaoks. Muu hulgas võivad eri WLAN-võrgud tiheda asustusega piirkondades üksteist häirida. Seetõttu on WLAN-võrgus edastatud andmed tavaliselt krüptitud.

9.4.6. DNC-liides

Tihti esineb küsimus, kas internetiliidesega seadet on otsehalduseks üldse vaja, sest programmi on lihtne saata ja arvutisse salvestada. Arvuti pakub kiiret ja turvalist andmeedastust, kuid praktikas ilmneb mõni probleem.

- Kuna edastatakse ja salvestatakse suures mahus andmeid, kontrollitakse andmeid ebaregulaarselt, mistõttu võivad kõvaketta-defektid põhjustada kalli tarkvara hävinemise.
- Masintööriista operaatoril on õigus programmide nimistut edastada / ümber kirjutada. Inimfaktor võib arvuti keskset haldust negatiivselt mõjutada juhtprogrammide kustutamise, transkribeerimise teel või arvuti andmeedastuse ajal väljalülitamise teel.
- Keskne juhtarvuti, nagu kõik muud ettevõtte arvutid, võib langeada viiruste ohvriks.
- Ilma DNC-süsteemideta ei ole programmiedastuste jälgitavus tagatud, sest ettevõtetel puudub harilikult logiraamat.

Loendi esimesed probleemid võivad ettevõttele põhjustada olulisi finantskahjusid. Viimase probleemi saab kõrvaldada lihtsal viisil kvaliteedijuhtimissüsteemi (ISO 9001) abil. Ülalmainitud probleemide tõttu jookseb mitu ettevõtte CNC-seadme programmi läbi DNC-süsteemide ja kasutab viirusteohu vältimiseks jadaliidese kaudu vahetut ühendust.

9.4.7. WLAN-i eelised CNC tootmises

Standardsete võrkude (intranettide) kasutamisel on mitu selget eelist:

- veatu andmete ülekanne tänu automaatsele veatuvastusele ja lahendamisele;
- kõigi digitaalsete haldusprogrammide ja tootmisandmete keskne haldus;
- piiramatult arv ühendatud kasutajaid;
- ühendus kaugel asuvate asutuste ja kasutajatega;
- maksimaalne edastuskiirus jadaliidese/jadapordi kaudu;
- süsteemi sujuv laiendatavus, mis vastab ettevõtte vajadustele;
- otseühendus mitme arvuti, CAD/CAM-süsteemi, digitaalse haldusrakenduse, tootmise planeerimissüsteemi, töökoja ja TSV-arvuti ning CNC-seadme vahel;
- kõigi ettevõtte andmete ja võrgukasutajate lihtsustatud ja tsentraliseeritud haldus (arvutid, CNC-seadmed jne).

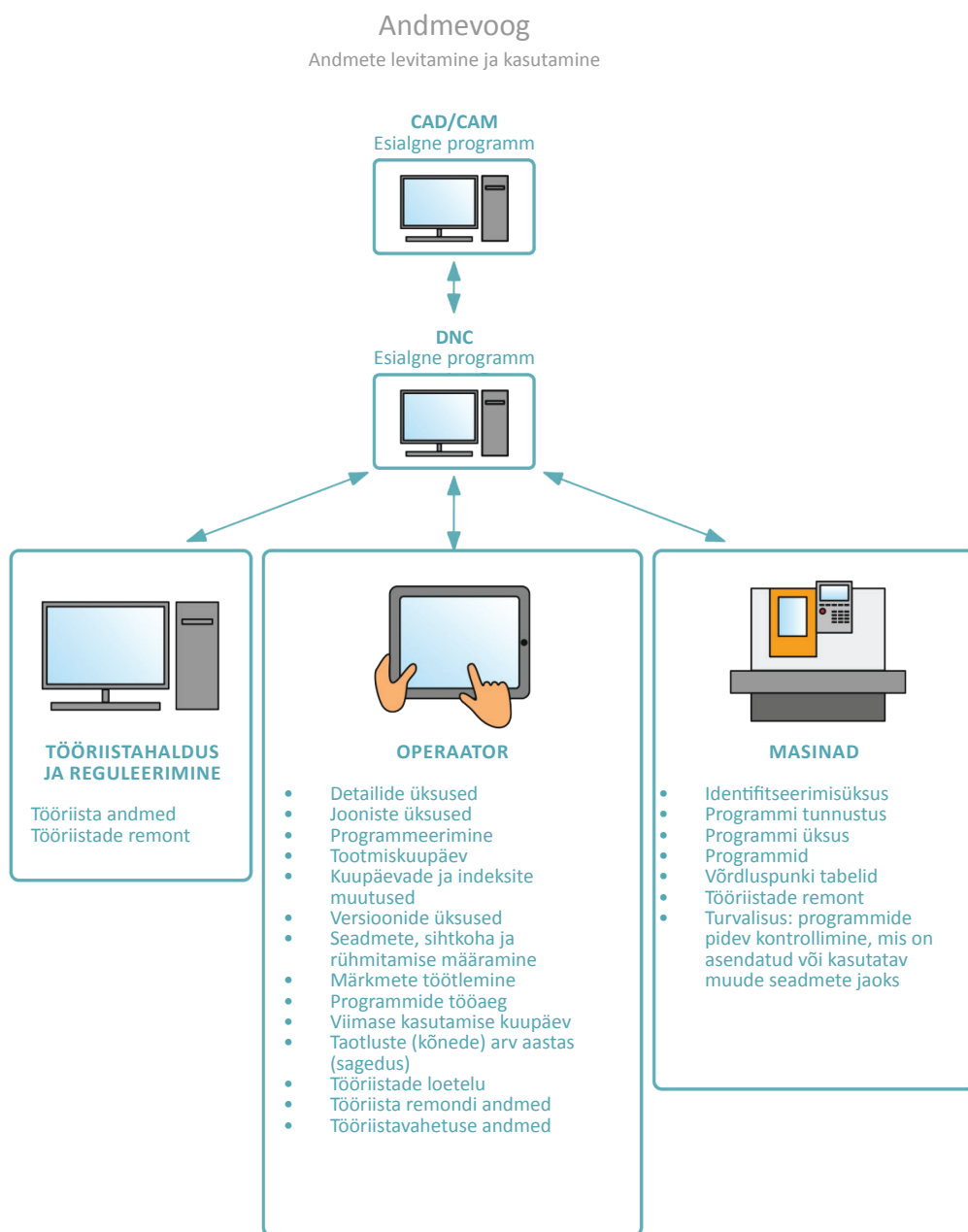
9.4.8. NC-programmi juhtnupud

Praktika on näidanud, et programmiandmete töötlustele ei pöörata enamasti piisavalt tähelepanu. Kuna vanemad juhtseadmed töötasid vaid üsna väikese hulga digitaalsete haldusprogrammidega, kohandati juhtseadmed andmeid piiratult töötlemaks, mis on kulukas. Moodsad DNC-haldussüsteemid käsitlevad NC programminumbrite piirangut ja kasutavad konkreetseid ridu programmi tarbeks selge NC-programmi tuvastamiseks. Sel põhjusel ei pea käitaja NC programminumbreid analüüsima, sest igal tootmisülesandel on nõutav hulk teavet ja välja kutsutakse vajalik toote NC. Nüüdisaegsed võrgupõhised DNC-süsteemid kontrollivad NC-programme automaat-

selt. Uued programmid, mis saadetakse seadmesse või edastatakse CAM-süsteemidesse, on automaatselt andmebaasi esitatud ja alati valmis programmiga juhitud seadmele edastamiseks. Asendatud (muudetud) programme võrreldakse automaatselt algse programmi- ja ning viiakse eraldi alasse, kus programmi eest vastutav isik saab lihtsal viisil näha kõiki muudatusi ja seda lisatuvastusteta kasutada. Duplikaatprogrammi kasutamise ajal on algne programm blokeeritud.

Tuvastamata või kehtetud programmid tuvastavad DNC-süsteemid automaatselt ja need kustutatakse või välistatakse spetsiaalselt. Kui võrrelda tavaliste töömeetoditega, vähendavad moodsad TSV-süsteemid NC-rakenduste haldamise kulusid kuni 90%, tänu millele tasuvad need end kiiresti ära. ISO 9001 standard nõuab jälgitavust nii, et alati saaks tuvastada, mis seadme ja rakendusega detail valmistati. Moodsate NC-programmide kasutamine pakub ajakohast andmehaldust (joonis 9.38):

- NC-programme hallatakse seadme või seadmete rühmaga;
- kogu tootmisteave on hallatud (kõik dokumenditüübid, mis kuuluvad NC-programmidele);
- NC-programme hallatakse kohalike identifikaatoritega, mis vastavad tootmise planeerimise / ettevõtte ressursside planeerimise süsteemi (ERP) nõuetele;
- programmid, mida edastatakse või redigeeritakse, blokeeritakse ja blokeering eemaldatakse automaatselt;
- mitme kasutajaga operatsioonidele mõeldud programmid;
- välised redaktorid (nt CAM-süsteemid) on lubatud;
- võimaldab ühe klõpsuga näha kõiki programmi tehtud muudatusi (programmide võrdlus);
- edastamise, programmiedastuse ja dokumentatsiooni funktsioonid on realiseeritud; - automaatne andmete allalaadimine



Joonis 9.38. Juhtmevaba LAN (WLAN)

CAM-süsteemidest, tööriistahaldussüsteemid, digitaalsete seadmete tootjad;

- täitke kõik ülekande/korrektuuri vormid (isikliku arvuti kasutajategevused, seadme rakenduste saatmine ja salvestamine jne);
- aegunud programmide automaatselt arhiveeritud versioonid;
- andmeedastusstatistika on lõpetatud.

9.4.9. DNC jõudlus

Majandusteadlaste hinnangu kohaselt jääb DNC-süsteemi paigalduse kogukulu sõltuvalt toodete ja CNC varustuse keerukusest tänapäeval vahemikku 1000 kuni 5000 eurot üksuse kohta. Iga süsteemi tulevane kasutaja peab arvutama ökonoomse versiooni iga individuaalse juhtumi kohta. Siinkohal on oluline teiste kasutajate praktiline kogemus ja hinnangud. Samal ajal on väga tähtis pöörata tähelepanu hangitud CNC ühilduvusele tarkvara ja selle uute versioonidega. DNC-süsteemi hindamisel tuleb arvesse võtta järgmisi kriteeriumeid:

- DNC komponendid, kuna vahetevahel ei vasta kõik DNC komponendid tootmisprotsessi nõuetele (ei ole interfeerentsi, temperatuuri, vibratsiooni, alalise töö, keskkonnamõjude suhtes resistentsed);
- DNC tarkvara peab olema modulaarne, seda peab saama laiendada, katsetada ja selle kvaliteeti kontrollida ning see peab vastama kõigile vajalikele nõuetele;
- kommunikatsioonivahendid, nagu koaksiaalkaablid, bifilaarkablid, kiudoptilised/optilised kaablid;

- kasutatud protokollid (eelistatult standardsed, näiteks intranet TCP/IP-ga);
- ettevõtte töötajad oma kogemuste, vastutuse, heade toodete, varuosade laos ja suurepärase teenindusega;
- hinna-kvaliteedi suhe, tasuvusaeg.

Erakorraliste olukordade strateegiat DNC-arvutite, edastusasutuste või terminali tõrke puhul tuleb enne põhjalikult kaaluda ja pakkuda tõrgete korral vajalikke tõrgete kõrvaldamise samme.

9.4.10. DNC arengu prognoosid ja eelised

Tänapäeval on DNC-süsteem oluline osa ettevõtte infotehnoloogiast. Need annavad digitaalsetele juhtseadmetele ja meeskonnale kogu vajaliku tootmisteabe. DNC-süsteemid kasutavad võimsaid, tööstusele vastavaks kohandatud arvuteid universaalse andmehaldus ja -jaotussüsteemina. Võrreldes eelmiste DNC-süsteemidega on uued süsteemid toonud juurde uusi funktsioone, parema usaldusväärsuse ja kiiruse. Paindlike tootmissüsteemide kasutamisega saate kasutada kõiki peamisi tootmisandmebaase. Tulevikus püüeldakse digitaalse tootmise poole. Tootmises edastatakse aina enam protsesse digitaalsesse tootmisesse. Moodsad tootjad sõltuvad üha rohkem digitaalsest tehnoloogiast. Andmed ja nende analüüs muudavad kogu tootmisprotsessi olulisel määral. Vajadus kohandatud tootmise järele on kiiresti kasvanud. Kolmemõõtmelist visualiseerimist kasutades disainitakse, toodetakse ja monteeritakse toode kokku individuaalse kasutaja vajaduste järgi. Digitaalse tootmise laiendamine võimaldab turuvajadustele ja toote nõudlustele aegsasti reageerida, uued tooted jõuavad kiiremini kliendini ja need muutuvad kvaliteetsemaks. Digitaalse tootmisteabe kaitsmiseks saab kolmest mõõtmest teha koopia ja edastada selle virtuaalsesse ruumi mobiilses pilves. Uusimate tehnoloogiatega, nagu kiire lõikamine, prototüüpimine või laseri kasutamine, on võimalik käsitleda suuri andmekogusid ja pakkuda väga kiiret infoedastust. Tulevased DNC-süsteemid on

tugevalt seotud kommunikatsiooni arengutega (võrgutehnoloogiad, internet, intranetid jne) ning peavad suutma täita vanema generatsiooni varustuse ja nende haldussüsteemide nõudeid. Moodsad DNC pakkujad annavad võimaluse ühendada selline varustus peaaegu kõigi DNC installatsioonidega. Uutel CNC-süsteemidel on universaalsed dokumendiedastusfunktsioonid ja standardsed LAN-liidesed. Selle tulemusel, nagu kõigi võrgukasutajate puhul (CAD, PPS, ERP, CAPP, CAE jne), võivad need segada äriinfo edastamist. DNC-süsteemide turg kasvab pidevalt ja seda on prognooside kohaselt vaja pikka aega. DNC-de kasutamine on tootmistöökodades, kus on suured NC-seadmed või kuhu neid plaanitakse paigaldada, väga perspektiivikas. See kehtib ka uue tehnoloogia paigaldamise puhul isegi kohtades, kus kasutatakse ainult mõnda CNC-moodulit. DNC-süsteemid on paindlike tootmissüsteemide rakendamisel asendamatud, sest selliste süsteemide paindlikkust on võimalik saavutada vaid siis, kui NC-programme, tööriistu, tööriistaandmeid, korrektsiooniväärtuseid, töödeldava detaili nullkoordinaate jms saab muuta. Kasvav tööstuslik digitaliseerimine nõuab ettevõtetelt oma tootmisprotsessi muutmist, kuna tootmine ja digitaalsed tehnoloogiad on aina tihedamalt üksteisega seotud.

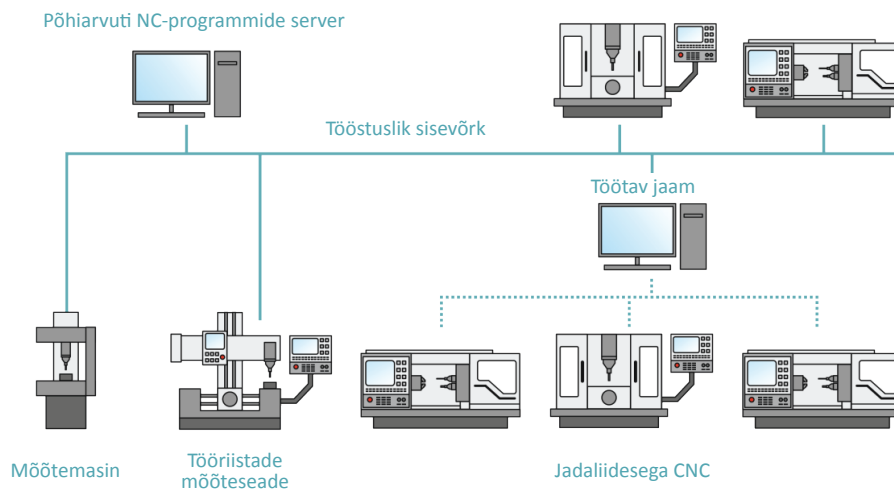
DNC-süsteemidel on kolm põhilist funktsiooni: kõigi ühendatud CNC-de NC-programmide haldamine, rakenduste õigeaegne edastamine CNC-seadmetele ja andmeedastuse aktiveerimine. Need funktsioonid tähendavad, et andmeid saab NC-seadmelt kindlaksmääratud CNC-seadmele edastada nii arvutist kui ka teisest CNC-seadmest. CNC-arvuti ei kirjuta üle ega muuda CNC-programmi funktsiooni. Paindlikes tootmissüsteemides, kus kõiki CNC-moduleid varustatakse DNC kaudu andmetega, hallatakse haldusfunktsioone CNC-moodulis. Automaatseks andmeedastuseks DNC-arvutiga edastatakse tänapäeval NC-programmidel käsked DNC liinide kaudu enamasti intranetiliidese teel. Kui mitu CNC-seadet kutsuvad korraga välja (DNC) süsteemiprogramme, hallatakse programmi edastusjada eeldefineeritud prioriteetide alusel. Kui NC-programm on nii suur, et tekkida võib krahhi, muudab programmi väikeste osadena edasta-

mine selle töö tõhusamaks. DNC kasutusel olevate arvutite jõudluse suurendamisega on DNC-le juurde tulnud üha enam lisafunktsioone. Need on tööriistad seadme rakenduste, mõõtmisprogrammide, lõiketööriistade, koordinaatsüsteemi häälestuse ja tööriistade kulumise hindamise programmide jms haldamiseks. Programmi ülekandevigade vältimiseks edastatakse programmiga koos ka järgmine teave: - programmi numbri kontrollimine edastatud seadme puhul; - operaa- tori pöördumise kellaeg ja kuupäev; - uue programmi käivitamine üksuse aktiveerimise ja töötlemise kaudu; - tööriistad, mis on vajalikud tööriistade võrdlustegevuse läbiviimiseks olemasolevate tööriis- tadega aluses ning päringuandmed, näiteks operaatoril on „puudu tööriist xxxx“. Teine väga tähtis ülesanne on seadmesse sisestatud andmete automaatne edastamine ja selle saatmine CNC-seadmele keskarvutis (server). Nende alla kuulub teave mooduli töötundide ja seisuaegade kohta, toodetud toodete arv ning defektide raportid, tootmise peatamise põhjused, veateated statistilise analüüsi tege- miseks, hooldusjuhised ja rakenduste jälgimine. Teenindusprotsessi puhul on oluline, kas CNC-seadme ja DNC-keskse arvuti vaheline kommunikatsioon toimub integreeritud klaviatuuri kaudu CNC-sead- mel või on vajalik DNC terminal. Kuigi tänapäevane CNC juhtpaneel on soodne ja soovile vastavaks kohandatav, vajab iga CNC selleks liidestamist ja seda tihtipeale ka eri juhtseadetega. DNC-de termina- liseadmetena kasutamise suur eelis on identsete tehinguprotseduu- ride kasutamine. Lisaks ei saa kõrvale jätta andmete ülekande kiirust ja tüüpi. Et edastus oleks tõhus, peab edastuskiirus olema võima- likult suur, st suurem andmekanalilaius ja ribalaius. Lisaks tuleb edastusprotsessi jooksul vältida kõiki vigu. Intranetiühendus aitab praegusajal täita neid kahte nõuet. Teine alternatiiv on juhtmevaba raadiosüsteem. Kokkuvõttes saab vahetu digitaalse kontrolli puhul jaotada kontrollfunktsioonid eri arvutitele, mis suhtlevad LAN-iga. Tänapäevastel DNC-süsteemidel on selgelt defineeritud ülesanded:

- CNC-masinate NC-rakenduste seadmete ja muu tootmise jaoks vajaliku teabe õigeaegne pakkumine;
- NC-seadmete ja muude tootmisandmete ooteaja vähendami- ne; - andmete ülekande organiseerimine koos asjassepuutuva programmi tuvastusega;
- mobiilsete andmekandjate elimineerimine koos kõigi nende puu- dustega (neid tuleb salvestada, administreerida, andmekadu on väga tõenäoline, seadmete hooldamine on keerukas);
- piiramatul arvul NC-rakenduste administreerimine/haldamine DNC töötluse ja tootmisinfo tarbeks keskses arvutis;
- CNC-seadmete jaoks korrigeerimisel NC-programmidesse tehtud muudatuste tuvastamine;
- detailsem teave CNC asutuse seisukorra kohta operaatori kaudu. Kahesuunalise kommunikatsiooni implementeerimine (täisdu- pleksrežiim) andmete edastamiseks pakub kahte võimalust.
- Arvuti, mis ühendab tähetopoloogiat iga kasutaja mitme liide- sekaardi kaudu. Tähetopoloogia eelis on usaldusväärsus, et võrk jätkab tööd ka siis, kui üks ühendus arvuti ja kommutaatori vahel katkeb.
- Kohtvõrgu (LAN) implementatsioon, mille eelised on täielik and- meturve ja suurem andmeedastuse moodul.
- Raadio teel on samuti võimalik CNC-seadmest andmeid saa- ta. TSV-I CNC lubamine ei nõua edasist andmelugerit, mistõttu puudub seisakuaeg ja töökulud on väiksemad. Andmete edasta- miseks on mitu viisi. Ettevõttes kasutatakse tavalisel TCP/IP-ga (transpordikihi protokoll / internetiprotokoll) kohtvõrke. See protokollide komplekt on mõeldud toetama mis tahes suurusega võrke ja teenuseid ning on muu hulgas maailma populaarseim protokoll. Moodsal CNC-I peab olema andmeühendus.

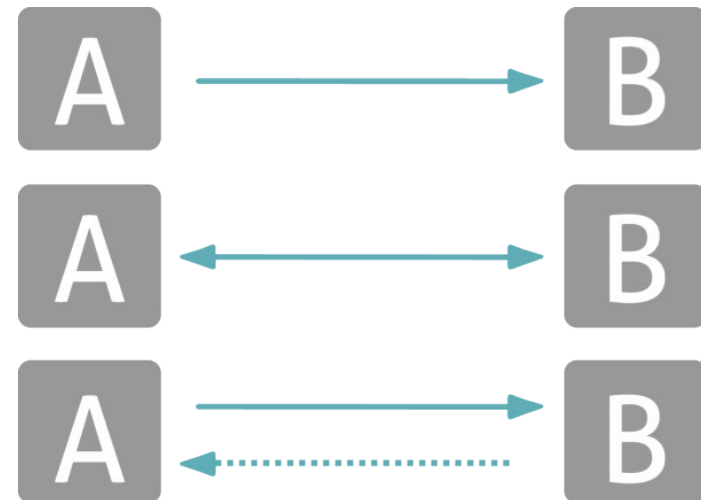
9.4.11. LAN – kohalikud võrgud

Infovõrgu loomine on vältimatu protsess nii praeguste kui ka tulevaste ettevõtete puhul, sest see aitab saada vajaliku info. Automatiseerimis- ja robotite rakendamise protsessi kaudu muutub ettevõtte andmestik aina olulisemaks, see sisaldab mitmesugust tähtsat teavet ja tulemusi. Seetõttu peavad andmevõrgud olema usaldusväärsed, kiired, paindlikud ja hästi kaitstud. Info jaotamine ettevõtte osakondade vahel on üha tähtsam ja nüüdisajal on see üks tõhusa tootmise alustaladest. Eesmärk on pakkuda võrguga ühendatud kasutajatele õigel ajal kogu vajalikku teavet. Eri ülesanded (CAD, CAM, CAQ, CAR, CAI, CAE) on arvutid ning CNC-seadmed on andmeid loovad ja töötlevad süsteemid. Mida rohkem selliseid seadmeid ettevõttes paigaldatakse, seda olulisem on, et need üksteisega suhtleksid. Ülesannet tehakse ettevõtte andmeedastuse arvutivõrgus (LAN) (joonis 9.39).



Joonis 9.39. CNC-masinate paralleelne ühendamine LAN-võrku

Koaksiaalkaablid ja võrgud edastavad ühel ajal teavet eri saatjalt eri vastuvõtjatele. Sellised koaksiaalkaablivõrgud sarnanevad kaabeltelevisioonivõrkudega. Need kaablid edastavad samal ajal tele-, raadioprogramme ja videotekste. Iga kasutaja saab teabe, mida ta seda tüüpi andmete kohta vajab. See nõuab kaabli tuunerit, mis teisendab kaabli kaudu edastatud info vastuvõetud seadmele sobivale sagedusele. Kuigi infoedastus on tavaliselt ühesuunaline kommunikatsioon, st tavaliselt saatjalt vastuvõtjale, on siiski tehniliselt võimalik andmeid kahes suunas edastada. Sellist edastust kutsutakse kahepoolseks kommunikatsiooniks. Kõige rohkem levinud täielikult kahe-suunalise sidevõrgu näide on telefonisüsteem. Mõlemad pooled saavad korruga rääkida ja teineteist kuulda. Põhimõtteliselt kahe-kordistavad täielikult kahe-suunalised sidevõrgud olemasoleva võrgu ribalaiust. Olemas on ka kolmas võimalus, poolbinaarne kommunikatsioon, mispuhul saab teavet saata ainult kasutaja (joonis 9.40).



Joonis 9.40. Kahesuunaline, osaliselt kahesuunaline LAN-ühendus

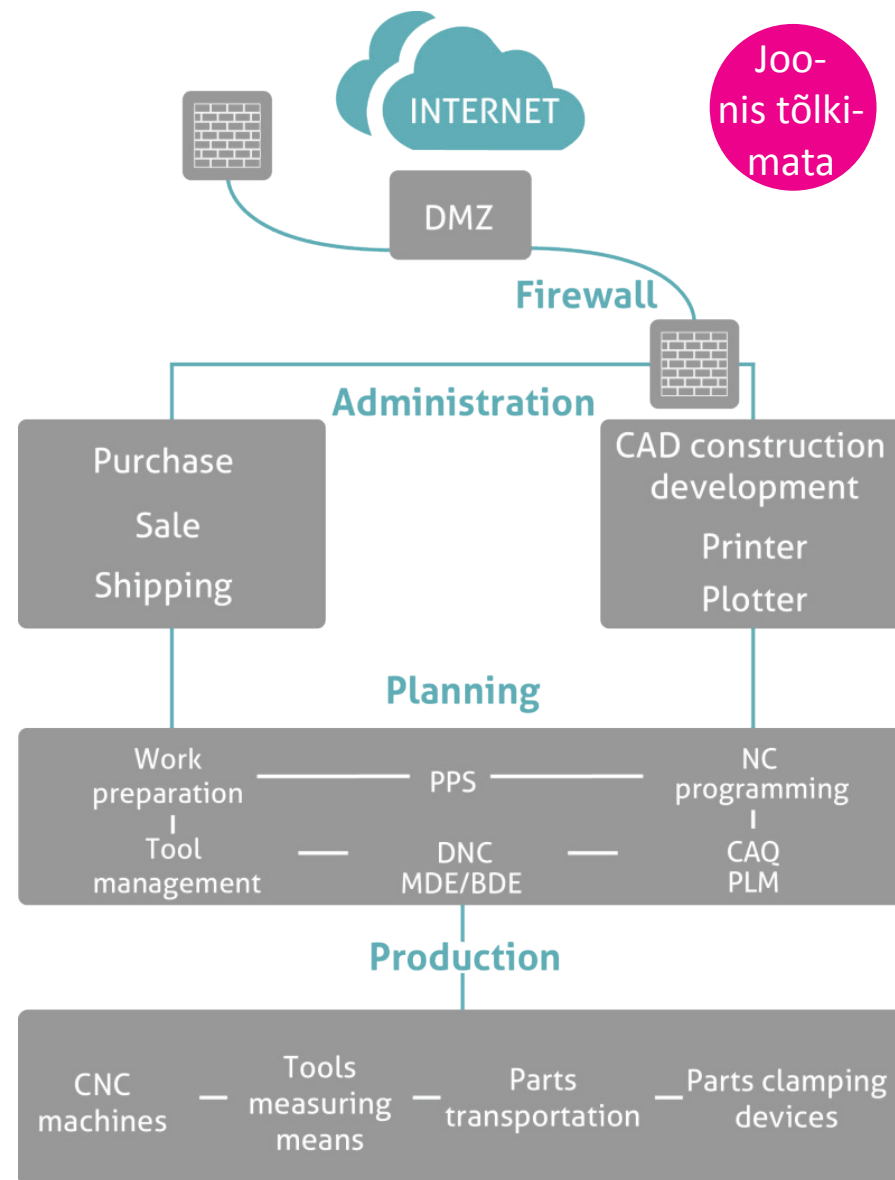
Osaliselt kahe-suunalise kommunikatsioonisüsteemi näiteks on kahe-suunaline raadio, mis puhul saab korraga teavet edastada vaid üks osaline ning kus kõik peavad ütlema „lõpetatud“ ja vahetama saaterežiimilt vastuvõtorežiimile. Televisioonikaablid toovad LAN-iga võrreldes esile väga tähtsa erinevuse: kaablitelevisioonivõrgu kasutajad ei saa üksteisega suhelda.

LAN on arvutite rühm, mis on paigutatud küllaltki väiksele alale ja mis ühendavad omavahel andmemeediume. LAN on piiratud ettevõtte alaga ja seda ei reguleeri avalikud asutused. Võrgu laiendamiseks üle nende piiride saate ühendada mitu LAN-i üksteisega, kasutades selliseid seadmeid nagu ruuterid. Sel viisil luuakse ???, mis on põhimõtteliselt võrkudest koosnev võrk. Kommunikatsioonivõimalusi näidatakse joonisel 9.41. Arvuti kaugvõrke nimetatakse laivõrkudeks (WAN). Üleilmsed võrgud hõlmavad eri linnu või riike. Nende käitamine nõuab avalikke asutusi ja ühiseid sideliine, nagu telefoniliinid, ISDN-id (integraalteenuste digitaalvõrk), DATEX-P või DSL (digitaalne abonendiliin). Kohtvõrke kujundades kasutatakse nende integreerimiseks mitut spetsiaalset võrguseadet.

9.4.12. LAN-i tehnilised andmed

Tänapäeval aktsepteeritakse tööstuses erisuguseid LAN-süsteeme. Kuigi nende peamised ülesanded on samad, on neil tehnilisi erinevusi, mis hõlmavad järgmisi omadusi:

- signaaliedastustehnoloogia (meetodid); - ülekandevahend/meedia, instrument;
- võrgutopoloogia;
- ligipääsumetod (meetod);
- protokoll;
- andmeedastuskiirus;
- maksimaalne kasutajate arv.



Joonis 9.41. Digitaalse CNC-tehase (LAN) kommunikatsioonijuhtumid

Signaaliedastuse tehnoloogia (meetodid). Kohalike võrkude puhul kasutatakse kahte signaaliedastuse meetodit: mittemodulaarset (põhiriba) ja lairiba. Mittemodulaarne (kitsa riba) signaalitehnoloogia kasutab isiklikke signaaliedastuskanaleid, mis on kommunikatsioonipartnerile lühikest aega saadaval. Teavet edastatakse ühes kanalis, vahetult moduleerimata signaalidena. Seda meetodit nimetatakse ka aegmultipleksimise meetodiks, mille puhul ühendatakse mitu andmekanalit üheks kompilleeritud kanaliks. Kuna see meetod ei nõua keerukaid moduleerijaid ja demoduleerijaid, siis on see põhimõtteliselt lairibatehnoloogiast odavam. Lairibatehnoloogia puhul kasutatakse igat kanalit ainult ühel lairiba ribalaiusel, seetõttu nimetatakse seda meetodit ka sagedusjaotuse multipleksimiseks. Lairibatehnoloogiaid ei kasutata peaaegu kunagi kohalikes võrkudes, kuid üleilmsetes võrkudes levivad need üha enam. Mõlemal meetodil on nii eeliseid kui ka puudusi. Nende tehnoloogiate turvalisuse tõttu krüptitakse edastatud teave elektrooniliselt ja teisendatakse kaudselt muunduri abil saajale vastuvõetavaks. Edastusvahend/meedia/kandja/režiim. Sidetehnoloogia valdkonnas jaotatakse edastusvahendid ja meediumid selliselt.

1. Esiteks on juhtmega signaaliedastus (nt LAN, WAN).

- Bifilaarkaablid, varjeta või varjega bifilaarkaabel, mõlemad juhtmed on kaetud isolatsioonimaterjalidega. Kahe paariga bifilaarkaablil on neli eraldi juhtmepaari ühes kestras, üks sissetulevale ja teine väljaminevale andmevoole. Seda tüüpi kaablit vajavad võrgud on teoreetiliselt võimelised toimima täielikult dupleksrežiimil.
- Koaksiaalkaablid, mis on kiire andmeedastuskiirusega kaablid, koosnevad isoleeritud juhust, mis on kaetud vaskvõrguga (varje) ja plastist isoleermaterjaliga. Koaksiaalkaablil on üks juht ja maanduskontakt, mistõttu puudub füüsiline eeldus andmevoole kahesuunaliseks juhtimiseks, kui just ei paigaldata kaht eraldi kaablit iga suuna kohta.

- Kiudoptilised/optilised kaablid, näiteks valguskiudkaablid. Nende kaablitega moduleeritakse andmeedastust valguslainete ???, mis liiguvad erilises klaaskiust torus peaaegu takistuseta. Kiudoptilisi kaableid ei mõjuta elektromagnetiline interferents, mis muudab need bifilaar- või koaksiaalkaablite suhtes usaldusväärsemaks.

2. Teiseks on juhtmevaba signaaliedastus (nt WLAN).

- Raadiolained (100 kHz kuni 300 GHz) on peamine viis hetkel kasutatavate juhtmevabade võrkude edastamiseks. Mida kõrgem on sagedus ja suurem infoedastuse kiirus, seda lühem on vahemaa ning seda kõrgemad on nõuded otsesele nähtavusele ja tundlikkus õhumuutusele.
- Infrapunakiirgus on elektromagnetilised lained, mille pikkus on nähtava valguse lainetest suurem, kuid raadiolainetest väiksem.
- Bluetoothiga ühenduvuse puhul töötavad seesugused seadmed 2,4 GHz sagedusvahemikus. Bluetoothi võrgus on üks seade peamine seade ja teised on selle alluvad. Peamine Bluetoothi võrguseade korraldab teiste seadmete uuringu. Kui tutvustatakse teine seade, mis soovib võrguga ühenduda, käivitub autentimine, st sisselogimise koodide saatmine. Kui koodid võetakse vastu, on seade võrguga ühendatud.

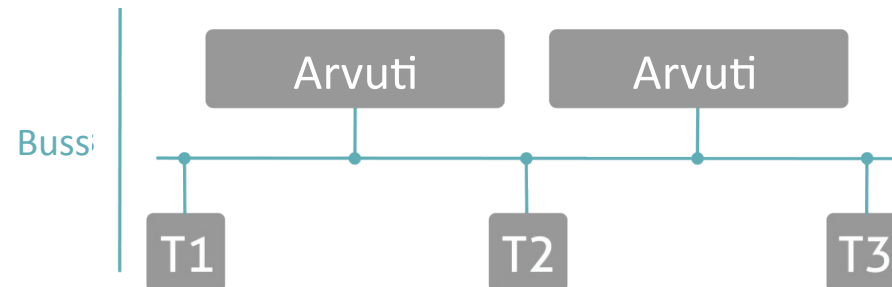
Kui andmesagedus on vahemikus 500 kHz kuni 10 GHz, võib kasutada tavalisi bifilaar-, varjestamata bifilaarkaableid, koaksiaalkaableid või kiudoptilisi kaableid. Kiudoptilised kaablid on häiringutele immuunsed, kuid need vajavad kallimaid modemeid edastatud andmete moduleerimiseks ja demoduleerimiseks.

Võrgutopoloogia. Topoloogia on skeem füüsiliste või elektriliste kaablite üheks võrguks ühendamise kohta. Moodsad LAN-id saab ühendada siini, ring-, täht- või laiendatud täht või võrk-segatopoloogiaga. Suured kohtvõrgud on organiseeritud, kasutades eri topoloogiaid. Võrgusiiniühenduse korral on kõik võrgukasutajad ühte võrgu-

edastuskanalit (harilikult koaksiaal- või optiline kaabel) kasutades ühendatud ühise liiniga (joonis 9.42). Otsemagistraali topoloogiaga võrke iseloomustab lühike ja lihtne võrguhaldus. Ülekanne tehakse alati vahetult saatja ja vastuvõtja vahel oleval siinil. Sellise ühenduse peamine puudus on see, et ühes asukohas toimunud võrgurike põhjustab kogu võrgu rikke. Võrk võib koosneda eri seadmetest: arvutid, modemid, printerid jne.

Võrgu ühendusringi puhul on kõik võrgukasutajad ühendatud ringikujulise võrguga, mis tähendab, et iga jaam on ühendatud vähemalt kahe naaberjaamaga (joonis 9.43). Ringis liiguvad andmed teatud suunas ja jõuavad lõpuks alguspunkti tagasi, st andmeid edastatakse ühes suunas. Ringitopoloogia nõuab katkestusteta ühendust kõigi arvutite vahel, sest nii nagu siinitopoloogia puhul ei toimi see juba enam ühes sõlmes toimunud võrgukatkestuse tagajärjel. Lubaringi kasutatakse selleks, et peatada ringühendusega võrk ilma info edastamist peatamata. Topeltliini kontroll bifilaarkaabli kasutamisega.

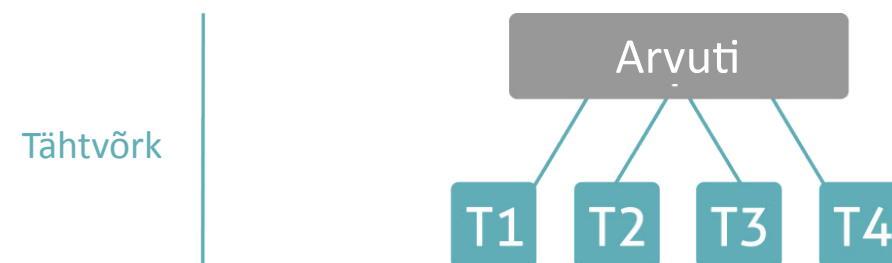
Tähtvõrgu ühendamiseks on kõik võrgukasutajad ühendatud keskjaama/sõlmega ja saavad otse üksteisega suhelda, suhtlus toimub läbi keskjaama (joonis 9.44). Kuna igal arvutil on konnektorid, sobib see ühendusmeetod väikesele kasutajate arvule. Tähetopoloogia ühendus kasutab siinitopoloogiast rohkem kaablit ja keskne sõlm nõuab edasist võrguseadet ehk jagajat (kommutaator). Selle ühenduse eelis on see, et võrk jätkab tööd ka siis, kui üks ühendus arvuti ja kommutaatori vahel katkeb. Kui kommutaator on rikkis, siis võrk enam ei tööta. Selles võrgutopoloogias on vigade leidmine lihtne. Tähtvõrgu ühendamine on tavalisim ja kõige sagedamini kasutatav LAN-topoloogia.



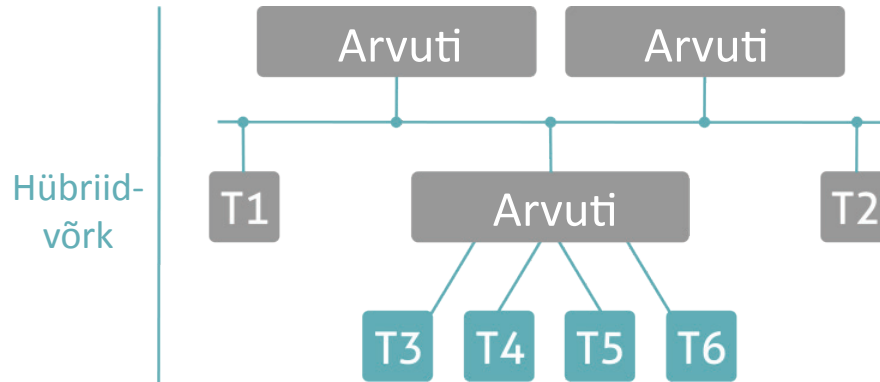
Joonis 9.42. Magistraalvõrgu topoloogia



Joonis 9.43. Lubaringi topoloogia



Joonis 9.44. Tähtvõrgu topoloogia



Joonis 9.45. Kombineeritud topoloogia

Laiendatud tähttopoloogia kombineerib individuaalseid tähttopoloogiaid üheks. Nende puhul saab see topoloogia laiendada võrgu pikkust ja tööala, ühendades jagaja ja/või kommutaatori. Võrgutopoloogia on sõlme ühendamise viis juhul, kui iga sõlm on ühendatud eraldi kanaliga iga võrgusõlmega (joonis 9.45). Sedasorti topoloogia tagab võrgu maksimaalse füüsilise turvalisuse. Seda kasutatakse väga usaldusväärsetes süsteemides.

Täht	Ring	Buss	Hübriid
Laiendatud struktuur	Iga jaam vajab aktiivset saatjat ja vastuvõtjat	Koaksiaalkaablid ja passiivsed andmekandjad	Pealiin levib harudeks
Eelised			
Üksik arvuti rike ei mõjuta võrku	Lihtne ühendada uue kasutajaga	Jaamad lülituvad automaatselt sisse ja välja	Sobib üksikute võrkude jaoks või hilisemaks laiendamiseks
Puudused			
Kulukad kaablid pikkade vahemaade taha	Kahe liini ohutus on vajalik ühe jaama rikke korral	Kaabli rike põhjustab seisakuid (kogu võrk ei tööta)	Võrgu laiendamiseks kulub palju kulutusi ja erinevatele võrkudele on see kallid

Joonis 9.46. LAN-topoloogiade eelised

Ligipääsutehnoloogiad. Ligipääsutehnoloogiad reguleerivad, milline kasutaja saab andmesuunle andmeid saata ja kuidas vastuvõtja vastava sõnumi ära tunneb. See eristab ligipääsutehnoloogiaid, mis ennetavad kokkupõrkeid, ja ligipääsutehnoloogiaid, mis välis- tavad kokkupõrkeid. Kokkupõrge on signaali- de kokkupõrke juhtum, mille tulemus on uus moonutatud signaal, mida ei saa interpreteeri- da kui 0 või 1. Selle protsessi tulemusel ei suuda vastuvõtja eristada elektrilist signaali eraldi loogilise signaalina (bitt). Sellised rikked vähendavad kaabli muu info läbilaskvust ja seega süsteemi kogujõudlust, kui püütakse andmeid saata mitu korda.

Kasutatakse järgmisi põhilisi ligipääsutehno- loogiaid:

- ülem-alam (Interbus-S),
- lubaring,
- loaedastus (Profi-Bus).

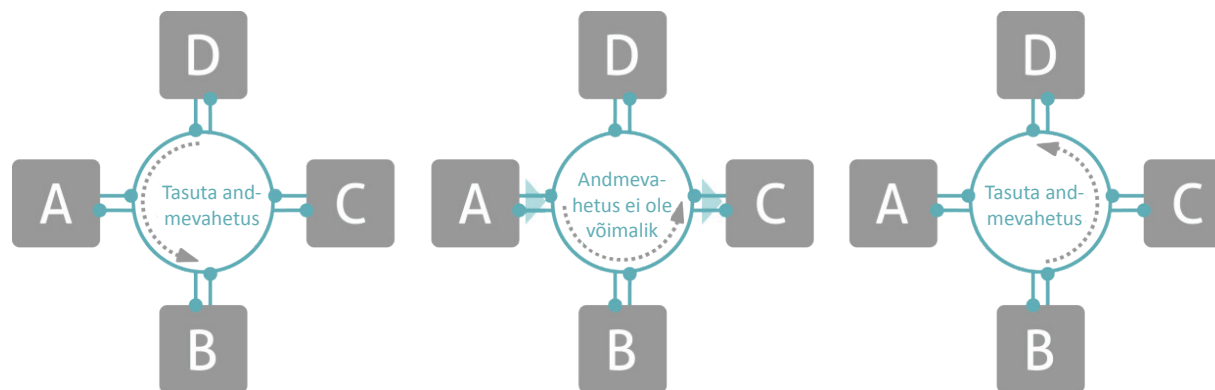
Konflikti tuvastamine ja ennetamine on väga oluline. Konflikti tuvastus on viis tagada sõlme ainulaadne ligipääs jagatud andmetele ja kaitsta seadet rikutud andmete eest. Selleks kasutatakse järgmisi tehnoloogiaid.

- CSMA/CD (liikluse ja pörke tuvastusega multipöördusvõrk) – multipleksimisega ligipääsuanduri tuvastus / kokkupõrketuvastus. CSMA/CD tehnoloogia toimib selliselt, et kui tööjaam tahab teavet edastada, „kuulab“ ja hindab see kaabli olekut või ei edasta sel ajal teisi andmeid. Kui liin on hõivatud, ootab sõlm selle vabanemist, muidu edastab andme jaam. Kokkupõrge toimub, kui jaamad alustavad samal ajal andmeedastust.
- CSMA/CD (liikluse ja pörke vältimisega multipöördusvõrk) – multipleksimisega ligipääsutarviku tühistamine / kollaps (kokkupõrge). Seda tehnoloogiat kasutatakse juhtmevabades võrkudes, kuna sellistes võrkudes olevad jaamad n-õ ei kuule oma soovitusi, ning signaalide kokkupõrkeid on võimalik tuvastada ainult pärast tegeliku kokkupõrke toimumist. CSMA/CD meetod kasutab konfliktide puhul arbitratsioonilooget, st kõrgema prioriteediga kasutaja saadab signaali edasi, väiketähtedega aadressiga kasutajal on kõrgem prioriteet.

Väiketähtedega aadressiga kasutajal on kõrgeim prioriteet ja võime andmeid reaalsajas saata ja vastu võtta.

Ülema-alama ligipääsutehnoloogia toimib nii, et üks kasutaja on ülem, teised alamad. Halduril on ligipääs vaid jagatud ressursidele. Alam ei saa ise siinil tegutseda. Ta peab ootama, kuni haldurit kutsutakse. Selle eelis on konfliktide vältimine, kui ligipääsu kontrollitakse vaid ülemaga. Meetodi miinus on aga see, et alamad ei saa üksteisega suhelda. Ülema kaudu tehtav alluuring ei ole tõhus. Alamate vahelist kommunikatsiooni saab vältida, kui kasutada kiirendatud andmevahetuse meetodit (sks *beschleunigten Datenaustausches*). Selle tehnoloogia abil edastab ülem alamale käsu „Võta andmed vastu“. Teine alam saab ülemalt käsu „Saada andmed“ ja sellega algab andmeedastus. Esimene alam saab andmed koos saatmisilõpu sõnumiga ja saadab siis sõnumilõpu sõnumi ülemale.

Ülem-alam struktuuri saab kombineerida siini ligipääsu loavõtmega. Sel juhul saab ligipääsuloa edastada vaid ülem. Lubaringi tehnoloogia puhul kasutatakse ringitopoloogiat (joonis 9.37). Loaringi tehnoloogia tuum on spetsiaalne binaarne jada, mis ringleb pidevalt ühes ringis. Iga bitt, mis jaama ringliidesesse jõuab, kopeeritakse ühebitisesse puhvrisse ja edastatakse tagasi ringi. Ligipääsuvõti antakse



Joonis 9.47. Lubaringi topoloogi

ühelt seadmelt teisele ja ainult ligipääsuvõtmega kasutajatel on luba andmeid saata. Andmete edastuseks valmis jaamad ootavad nn reisija võtit, et alustada andmekandja vabadust väljendavate signaalide saatmist. Siis lisatakse saatja ja saaja aadress ning muud tähtsad andmed. Saaja jaam tuvastab selle aadressi ja kodeerib andmed voogedastuspuhvrise. Kogu andmevoog naaseb saatja jaama, mis võrdleb seda turvalisuse tagamise eesmärgil saadetud andmetega, eemaldab ja edastab ringi ligipääsu vabastava märkuse. See aitab vältida andmete kokkupõrkeid.

Loaedastustehnoloogia on loaringi ja ülema-alama infoedastustehnoloogia hübriid.

Protokoll. Kui ühendus on füüsiliseks tegevuseks valmis, nõuab see protokoll, mis määrab kindlaks, kuidas ja mis kujul andmeid võrguseadmete vahel vahetatakse. Protokoll sisaldab mõisteid, reegleid ja tavasid, mis tagavad info turvalise vahetuse kahe või mitme omavahel ühendatud süsteemi või süsteemikomponendi vahel. Protokoll on juhised andmeedastussüsteemis suhtlemise kohta. Protokoll täpsustab koodi, tüüpi ja edastussuuna, vormingu, ühenduse sätted ja lahutuse. Üks protokollil olulisimatest funktsioonidest on tagada, et kõik seadmed suudavad edastatud bitivoos eraldada kontrollereid ja andmebaite. Et tagada andmeedastuse toimimine, peavad kõik kasutajaliidesed ja protokollid olema identsed või tuleb need teisedada identsete muunduritega. Samuti on oluline ühildada saatmise ja vastuvõtmise kiirus.

Andmeedastuskiirus. Andmeedastuskiirus peab olema võimalikult kiire, edastamiseks võimalikult palju andmeid antud ajaühiku jooksul (sekundis), et keegi ei peaks pikka aega teavet ootama. Edastuskiirus ja andmekiirus on samatähenduslikud. Digitaalse signaali korral kasutatakse ribalaiuse kontseptsiooni, mis tähistab sideliini või -kanali võimet edastada teatud aja jooksul kindel hulk andmeid. Ribalaius sõltub sõlmede hulgast võrgus, nende tegevusest ja teiste võrgusõlmede ribalaiusest. Ribalaiust mõõdetakse tavaliselt bittides (kilobitt, megabitt) sekundis (bps, Kb/s, Mb/s), vahel baitides (kilobait, mega-

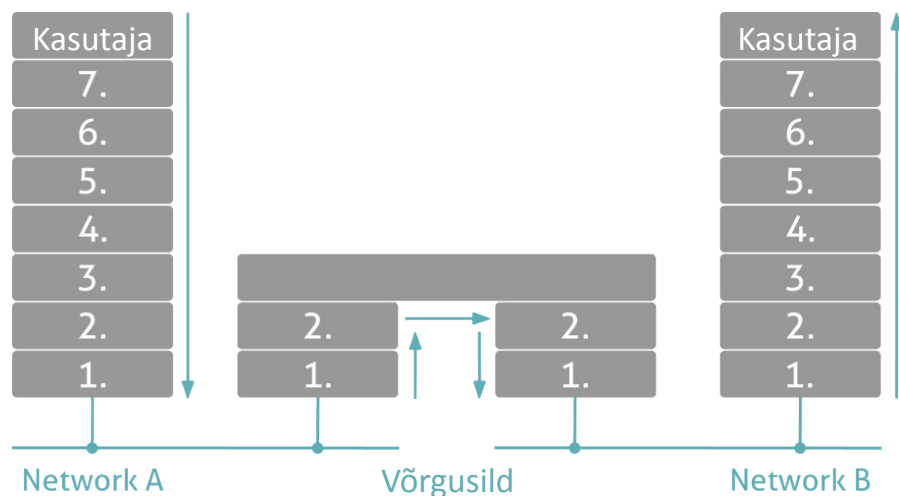
bait) sekundis (B/s, KB/s, MB/s). Baudide kasutamine on tihti eksitav, sest tegu on liikumiskiirust väljendava ühikuga (andmeedastuskiirus, telegraafi edastuskiirus baudides). Kui kasutatakse ainult kahte pinget, nt RS232 liidest, siis vastab üks kahest loogikatasemest (0 ja 1) kindlale pingetasemele, mispuhul edastatakse üks bitt ühe signaali muutuse perioodi jooksul, mis tähendab, et 9600 baudi vastavad 9600 bps-ile. Aga kui kasutatakse rohkem pingetasemeid, edastatakse baudi kohta rohkem bitte. Teisisõnu saab ühe biti edastada ühe biti kohta ühes signaaliperioodis, kui modulatsioon on keerukam, on neid mitu. Seetõttu kasutatakse bittide arvu kohta sekundis paaritud arvu. Kui NC- või CNC-seadmete teabe saatmine andmevõrku on piiratud, tuleb LAN-i ja juhtmooduli vahele lülitada muundur. LAN-ist vaheseadmesse edastatud andmete kiirus peab olema kiirem, et kasutada kahe teise seadme töökiirust või signaalitaset tasakaalustamiseks (puhver) ja edastada andmeid CNC-seadmele sobival lugemiskiirusel. Kuna CNC-süsteemide aluseks on arvutid, on neil tihtipeale kiiremad andmeliidesed. Pidevalt kõigile kasutajatele edastatud andmed peavad jõudma aadressis mainitud õige kasutajani. Seetõttu võtab muundur üle ka teabe filtreerimise ja lahtipakkimise funktsioonid.

Maksimaalne kasutajate arv. Intranetivõrgul saab kõige rohkem olla 1024 jaama ja võrgu ulatus saab olla võrguliidese või ruuterita kuni 2500 m. Standardne interneti edastuskiirus (kiirus) on 10 Mbit/s, kiire Ethernet on 100 Mbit/s ja gigabiti interneti puhul (gigabitine Ethernet) kuni 1000 MB/s. Kiirete ja gigabitt-intranettide puhul kasutatakse viienda ja kõrgemate kategooriate bifilaarkaableid, sest üksikedastuskaableid (koaksiaalkaablid) ei kasutata kõrgematel sagedustel. Siini Feldbus CAN tõttu sõltub InterBus-S, Profibus füüsiliselt RS485-tüüpi jadaliidese, tööandmed on peaaegu identsed, kuid siini ligipääsumetodid, turvamehhanismid ja edastusprotokollid erinevad. CAN-siin kasutab CSMA/CA tehnoloogiat, mis hõlmab keerukalt arvatud kaablipikkust, mispuhul edastatakse umbes 1 km kaablipikkuse puhul andmeid kiirusel 50 Kbit/s. Maksimaalne kasutajate arv võib olla suurem kui 64, piiriks on 128. Interbus-S siinis

edastatakse kahe kasutaja vahel andmeid 500 KB/s kuni 40 m kaugusele maksimaalselt 256 kasutajaga võrgus. Siinil Profibus Highway võib olla 32 kasutajat ja kuni 127 seadet 128 kasutajaga, mispuhul saab kahe suhtleva kasutaja vahele paigaldada kuni kolm repiiterit. Ülekandekiirus kuni 200 m saavutab 500 Kbit/s ja 1200 m puhul 93 Kbit/s.

9.4.13. Võrgusillad ja lüüsid

Andmeside eesmärk on teavet ette valmistada asukohast sõltumatuks kasutamiseks. See eesmärk vastandub kohalikele võrkudele, kui neid piiratakse konkreetse hoone või hoone osaga, mille tulemusena võib ettevõttes olla suurel hulgal kohtvõrke. Seega on vaja seadmeid, mis edastavad andmeid ühest LAN-ist teise. Selliseid seadmeid kutsutakse võrgusildadeks või võrgulüüsideks (joonis 9.48).



Joonis 9.48. Võrgusillad ja lüüsid

9.4.15. Kriteeriumid õige LAN-i valimiseks

Silla all mõistetakse seadet, tavaliselt arvutit, millel on kohandatud tarkvara, mis loob ühenduse sama tüüpi LAN-iga ning võimaldab nende võrkude kasutajatel omavahel suhelda. Kuna omavahel ühendatud võrgud on definitsiooni poolest taandatud, ei konverteerita sildade protokolle. Need peavad tuvastama edastatavate andmepakettide aadressid, et tuvastada, kas paketi saaja on teises võrgus. Ainult sel juhul edastatakse andmepakett teisele võrgule ja välditakse võrgu ülekoormamist. Sild jaotab liiklust, suurendades võrgu jõudlust. Neid kasutatakse ka võimendina, mis suurendab piiratud võrgu pikkust. Võrguliidesed on aga disainitud eri võrkudega ühenduma. Võrguliidese struktuur on üsna keeruline, kuna see teeb mitut lisaülesannet, protokolliteisendusi, formaatimist ja kohandamist.

LAN-i valimisel soovitatakse analüüsida järgmisi LAN-i võtmekriteeriume: - maksimaalne andmeedastuskiirus bit/s; - maksimaalne edastatavate andmete hulk; - maksimaalne ühendatud kasutajate arv, kes pääsevad võrgule tõrgeteta ligi; - andmete edastuse ja liigutamise probleemid ühesuunalistes, osaliselt kahesuunalistes ja kahesuunalistes kommunikatsioonisüsteemides; - andmeedastuse turvalisus; - maksimaalse lubatud kaabli (liini) pikkus ilma repiiterit kasutamata; - liinide või kaablite arv ning kaablite tüübid (varjestatud, bifilaar-, koaksiaal- või kiudoptilised/optilised kaablid); - kaabli väikseim painderadius, võttes arvesse kommunikatsiooniliinide paigaldust kaablikanalites; - kommunikatsiooniliinide paigaldamise tingimused, nt paigaldus koos elektrikaablitega, elektromagnetilised või kõrgepingevõrgu häiring; - hind (kogukulu LAN-i kohta ja hind tellija/kasutaja kohta). LAN on standardiseeritud kohalik andmeedastusvõrk, mis võimaldab ettevõttel suhelda eri andmeid vastuvõtivate tööluseseadmetega. Võrgus on saadaval mitu LAN-ile pühendatud andmete ülekandmise ja kasutuse seadet. Seadmete valik on tarbija otsus. Kuigi LAN-võrkude ülesanded ja funktsioonid on peaaegu alati samad, siis sõltuvad need paljudest teguritest ning need jaotuvad selliselt:

- edastustehnoloogia,
- edastusvahend,
- võrgutopoloogia,
- ligipääsumeetodid (meetodid),
- protokollid,
- maksimaalne edastuskiirus/edastuskiirused,
- maksimaalne kasutajate arv.

Samad LAN-id ühendatakse võrgusildadega ja ühendatakse eri võrgud. Tasub märkida, et LAN-iga ühendatud kasutajate arv on piiratud. Eri tasemega kasutajatel soovitatakse valida sobivaimad LAN-id ja need vajaduse korral ühendada. Tänapäeval on kõige enam kasutatud LAN-võrk on intranet. Enne, kui arvuti valib konkreetse LAN-võrgu, tuleb kaaluda seda, kuidas seadmete liideseid kasutama hakatakse. Edasine ettevõtte rada arvutitoega tootmiseni ei toeta isoleeritud ja eri kohtvõrke ettevõttes. Eraldi LAN-id, mis edastavad ühe kanali kaudu vahetult moduleerimata signaali ja võrgud, mis kasutavad info edastamiseks lairiba. Muudetud andmed edastatakse üle mitme kanali. LAN-i ligipääsukontroll on tavaliselt tagatud kas CSMA/GD või loaedastuse meetoditega.

9.5. Näited täisautomatiseeritud tootmisest vastavalt *Industry 4.0* standarditele

Viimastel aastatel on tänu esiplaanile kerkinud ärilise mõtteviisile ning digitaliseerimisele olnud ka palju positiivset kajastust seoses *Industry 4.0* teemaga. Ühest küljest raporteerivad ärimehed suurest edust *Industry 4.0* rakendamisel oma plaanides ning tunnevad, et on selleks võrdlemisi hästi valmistunud. Teisalt puudub aga selge arusaam sellest, mida *Industry 4.0* rakendamiseks reaalset vajatakse ning seetõttu on enamikel ettevõtetel keeruline teha esimesi samme selle suunas.

9.5.1 Praegused seisukohad *Industry 4.0* rakendamise äriprotsessides

Kuigi üldjoontes ollakse optimistlikud, esineb sellegi poolest erinevat lähenemist, hirme ning edusamme seoses *Industry 4.0* rakendamisega. McKinsey Consulting viis 2016 ja 2017¹ aastal läbi uuringud, mis neid detaile uurisid. Selleks, et mõõta *Industry 4.0* standardite rakendamist, tuleb arvesse võtta kolme aspekti:

- Teadlikkus tähistab muutust ärilises suhtumises antud teemasse viimastel aastatel;
- Progress: Kui kaugele on ettevõtted jõudnud *industry 4.0* rakendamisega? Missugused *industry 4.0* rakendusi on ettevõtted kõige edukamalt teostanud?
- Mis on peamised takistused teostuses, mis on siiani tootjaid tagasi hoidnud?

Uuringu tulemused teadlikkuse valdkonnas:

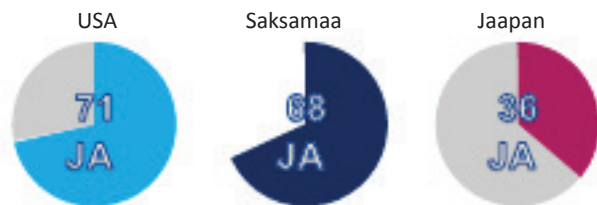
- Enamik sakslasi (67 protsenti) on *industry 4.0* potentsiaali osas sama optimistlikud, kui aasta tagasi, samas kui 44% USA ettevõtetest väidavad, et nad on muutunud veelgi optimistlikumaks;
- 90% väidavad, et nende konkurentsivõime suureneb või jääb samaks, kui võtta kasutusele *industry 4.0*. 89% protsenti eeldavad, et *industry 4.0* mõjutab töö efektiivsust, ent vaid 80% leiavad, et *industry 4.0* mõjutaks ka nende ärimudelit;
- Keskmiselt 70% eeldavad uute konkurentide saabumist teistes sektoritest nende turule *industry 4.0* korral; see kartus on tun-

1 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 (Zugriff: 15.01.2019).

duvalt levinum USAs ja Jaapanis (vastavalt 81 ja 75 protsenti), kui Saksamaal (55 protsenti) ning samuti ka levinum tehnoloogia pakkujate (80 protsenti) kui tootjate seas (65 protsenti).

- Kuus vastanut kümnest arvavad, et nende firma on *industry 4.0* hästi valmistunud, ent see varieerub regiooniti, kusjuures enam saksa ning ameerika ettevõtteid (vastavalt 68 ja 71 protsenti) tunnevad, et on selleks valmis, kui jaapani ettevõtteid (36 protsenti) (joonis 9.49).

USA ja Saksamaa ettevõtted tunnevad end suhteliselt hästi ettevalmistatuna, samas kui Jaapani mängijad ei tunne end valmis



Joonis 9.49

Uuringu tulemused progressi valdkonnas:

- Kui tehnoloogia tarnijad ja 16 protsenti tootjatest tunnevad, et nad on *industry 4.0* jaoks valmis, vaid 30 protsendil on selleks kõikehõlmav strateegia ning vaid 24 protsendil on *industry 4.0* jaoks määratud selged kohustused.
- Umbes pooled ameerika ja saksa vastanutest (vastavat 50 ja 56 protsenti) raporteerivad viimase aasta jooksul *industry 4.0* rakenduste kasutusele võtul head kuni märgatavat arengut. Lisaks

selgub, et tehnoloogia varustajatel on olnud suurem progress (vähemalt 47 protsendil on toimunud hea/oluline areng) kui tootjatel (kellest vaid 37 protsendil on toimunud vähemalt hea/oluline areng).

- Enamikes ameerika, saksa ja jaapani ettevõtetes, kus on *industry 4.0*-le määratud kindlad kohustused, on vastutavad äriüksuste juhid (33 protsendil). Vaid 19 protsentil nendest firmadest juhivad *industry 4.0* strateegiat CEOd ehk tegevdirektorid.
- Tööstusega seotud teadus- ja arendustegevusse investeerimise osas jäädakse pigem konservatiivseteks – keskmiselt investeeritakse teadus- ja arendustegevuse vaid 14 protsenti eelarvest.
- Viimase aasta jooksul on *industry 4.0* rakenduste kasutuselevõttust kõige suurem areng toimunud targa energitarbimise, reaalaajas tarbimishela optimeerimise, kaugjuhtimise, digitaalkvaliteedi ning digitaalkasutuse juhtimise valdkondades.

Peamisteks takistusteks *industry 4.0* rakendamisel peeti erinevate organiseerimisüksuste vahelise tegevuse koordineerimise keerukust, muresid seoses küberturvalisuse ning andmete omandiõigustega koostööl kolmandate osapooltega, puudust vajalikest talentidest ning julgusest viia läbi radikaalseid muutusi.

Sellegipoolest üheksa ettevõtet kümnest eeldavad, et vähemalt nende enda ettevõtte puhul, *industry 4.0* mõjul firma konkurentsivõime kas suureneb või jääb samaks. Vaid üks kümnest kardab konkurentsivõime vähenemist. Ent mis on olulisimad faktorid, mida ettevõtted peaksid *industry 4.0* oma äriprotsessides kasutusele võtmisel silmas pidama?

McKindsey on töötanud välja „kompassi“, mis keskendub kaheksale põhiväärtusele: kvaliteet, nõudmiste ja pakumiste suundumus, turustamisaeg, operatsioonid, ressursid/protsess, vara kasutamine, varustus ja teenus/müügijärgne.

9.5.2. Põhinäide: Hiina

Tänu suurele riiklikule toetusele on Hiina ärimaailm on juba mitut aastat intensiivselt *industry 4.0* suunas liikunud. Veel üks põhjus, miks hiina tootjaid peetakse oma ala rahvusvahelisteks pioneerideks – see tähendab kvantitatiivset üleolekut ettevõttesises orientatsioonis võrreldes Euroopa ettevõtetega – on hiinlaste suur kiindumus tehnikasse. Hiljutine McKinsey uuring näitab, et 90% hiina juhatuse liikmetest näevad digitaliseerimist kui kõige olulisemat tootmisprobleemi. Saksamaal kehtib see vaid umbes kahe kolmandiku ettevõtetejuhtide puhul. Lisaks on hiina tootenõudluses juba arvestatud sellega, et iga kolmas firma kasutab tehisintellekti – Saksamaal on see vaid iga viies.

Hiina suurfirmit nagu Huawei ja Lenova liiguvad oma tootmisprotsesside digitaliseerimise poole tuleviku suunatud viisil – eriti saksa IT partneritega nagu SAP.

Lisaks nendele elektroonika hiigelfirmadel investeerivad tehisintellekti, ärianalüütika ja Internet of Things tehnoloogiavaldkondadesse ka nii autotööstuse ja selle varustajad. Ka McKinsey maksab selle eest: 2016 aastal investeeriti Hiina IT struktuuri 12 protsenti rohkem, kui eelmisel aastal.

Surve ettevõtetele sellest osa võtta tuleb ühest küljest nii seestpoolt (toetused, konkurents), kui ka väljast (rahvusvaheline konkurents). Samal ajal tekitab *industry 4.0*-ga jätkamine ettevõtetele uusi väljakutseid. Nagu ka Saksamaal ja mujal Euroopas on vaja leida sobiva väljaõppega töötajaid ning pakkuda neile konkurentsivõimelist palka. Robotite kaasamine tootmisesse peaks ettevõtjate seas seda probleemi vähendama. Fakt, et inimfaktoril on täisautomatiseeritud tootmises veelgi väiksem roll, võib Hiinale maksma minna nende suhtelise eelise.

Kuigi praeguse Maaailma Robootika Raporti (World Robotics Report) andmetel on Saksamaa veel endiselt kolmandal kohal, kasvab robotite kasutamine Hiinas palju kiiremini. Seda arengut soodustavad

peamiselt valitsuse algatused Made in China 2025 ja Internet plus. Hiinas kasutatakse sageli Made in China 2025 strateegiat ja *industry 4.0* sünonüümidenä, mille all peetakse silmas infotehnoloogia ja tööstuse ühendamist. Made in China 2025 iseenesest on juba tugevalt orienteeritud Saksamaa ideele. Samas ületab siin investeeritud 2,7 billionit eurot rahastust Saksamaa investeeringuid üle tuhande protsendi (260 millionit eurot).

Samas pole Hiinas tootmiskvaliteedi tagamise samal tasemel kui läänes, eriti tehnoloogia vallas, mida lääne omatootmises edendatakse nagu six-axis robotid ja sobiv tarkvaraarendus. See takistab Hiinal katta kõiki *industry 4.0* ja robotika alasid ning seetõttu ei lase neil konkurentidest ette jõuda. See on ka põhjus, miks oskusteavet ostetakse endiselt sisse välismaalt äriühingute omandamise kaudu – nii ka Saksamaal. Üheks näiteks sellest on Baieri autotööstuse tarnija Grammeri ülevõtmine Ningbo Jifengi poolt.

Kokkuvõttes on pühendumus *industry 4.0* või Made in China 2025 projektide suhtes ning nende edendamine võrreldamatu Euroopaga, kuigi sellest faktist hoolimata ei ole selle produktiivsus veel siiski samal tasemel.

9.5.3. Saksa ettevõtetest pioneerid

Kuna Saksamaal sõltub ligi 15 miljonit töökohta erineval moel töötlevast tööstusest, on täisautomatiseeritud protsesside kasutusele võtul, eriti *industry 4.0* tähe all, pakkuda palju võimalusi: tööstuse digitaliseerimine ei muudaks mitte vaid lisandväärtusega protsesse, vaid looks ka uusi ärimudeleid ja perspektiive töötajatele, mis looks väikestele ja keskmise suurusega ettevõtetele häid võimalusi digitaliseeritud ja intelligentse tootmisprotsesside valdkonnas. Saksamaal on sadu kasutajaid, kes rakendavad *industry 4.0* oma tootmises ja tõestavad, kuidas digitaallahendused annavad lisaväärtust¹.

¹ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/industrie-40.html> (Zugriff: 15.01.2019).

Majandus- ja energeetikaministeeriumi loodud interaktiivne kaart *Industry 4.0* annab laiapõhjalise ülevaate saksa ärimaastikust ning praegusest olukorrast *industry 4.0* protsesside rakendamise osas.

Seda on võimalik filtreerida rakenduse või toote näite, loodud väärtuse ala, aregustaadiumi, regiooni ja ettevõtte suuruse kaupa. Mõned näited on toodud tabelis 9.1.

Tabel 9.1. Täisautomatiseeritud tootmisprotsesse rakendavad saksa ettevõtted.

Ettevõtte	Ärisektor	Täisautomatiseeritud tootmise näide
BEUMER Group GmbH & Co.KG	BEUMER Group varustab integreeritud pakkimissüsteeme ja interalogics süsteeme ühest ainsast allikast eesmärgiga tagada jätkusuutlik materjali ja informatsiooni jägimine ning kõigi relevantsete võtmefiguuride seire; optimeerida ettevõttes <i>industry 4.0</i> põhimõtteid veelgi enam.	<ul style="list-style-type: none"> • Et tagada jätkusuutlik materjali ja andmete järgmine, on täidis, alustele asetamine, pakendamine ja muud süsteemi komponendid optimaalselt koordineeritud kõrgetasemelise arvutisüsteemi poolt (individuaalne kohandamine igal korral); • Kasutajaliides on võimalik ühendada kliendi laohaldussüsteemi või ERP lahenduse võrguga; • Pidev infovahetus pakkimisliini individuaalsüsteemide ja kõrgema taseme juhtsüsteemi vahel. • BG.evolution arendas hiljuti välja ka äpi BEUMER Overall Operation Monitoring app
KNOLL Maschinenbau GmbH	Alates 2005 aastast on firma pidevalt arenenud ning tänasest on tegemist vägagi eduka näitega <i>industry 4.0</i> -ga seotud ettevõtetest Firma produktiivsus on kasvanud 20-25 protsenti ja ettevõtte tutvub järjest enam Targa Tehasega (<i>Smart Factory</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Puhtuse ja korra paindliku juhtimise põhimõtete kasutuselevõtt; • Firma kolis ümber, et rakendada moderniseeritud tehase planeeringut. • Täisautomatiseeritud ladu 1200 ladustamiskohaga ning 13 peale- ja mahalaadimisjaamaga • Säilitamis- ja väljaotsimissüsteem liigub kiirelt erinevate ladustamispaikade vahel nii horisontaalselt, kui vertikaalselt, eemaldades toomaterjali ning toob selle reaajas töötlemistehasesse; • Pärast töötlust saadab see valmis osad või masinad järeltöötlusesse • Kiirvahetusjaamade abil automatiseeritud tootmiskontrolli arendamine. • Öösel ning nädalavahetusel on vahetused mehitamata.

Ettevõtte	Ärisedektor	Täisautomatiseeritud tootmise näide
Bosch Rexroth AG	<p>Bosch Rexroth AG kuulub töötleva tööstuse alla ning loob tootmiseks, tarneahelate ning logistika tarvis mehhatroonikasüsteeme ning automatiseerimis komponente.</p> <p>Tehase järjepidev horisontaalne ning vertikaalne suhtlusvõrgustik võimaldab nende toodeteid, nagu elektrilised sõidukid ning juhtimisseaded, toota väga laias ulatuses.</p> <p>Riistvara, tarkvara ning mõnikord ka kliendipõhiste komponentide kombinatsioonil on neil üle 200 000 aktiivse toote.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • MESi abil luuakse SAP tootmisandmete põhjal virtuaalne pilt tootest; • Eesmärgiks on luua varieeruvuse üle kontroll nii, et töötajate jaoks oleks see „märkamatuks“ jääv (\emptyset partii suurus ~ 3); • Boonuseks on kõrge läbipaistvus, paberivaba tootmine, ettevalmistusaja puudumine, seerianumbrid, tugi töötajatele, vähenenud varustus ning suurenenud produktiivsus; • Päril toodang on loodud virtuaalse pildi baasil; • Protsessi parameetrid/test programmid on automaatselt korrektselt laetud; • Installida on võimalik vaid täielikult eeltöödeldud hästi kontrollitud komponente (<i>Q-locking</i>); • Jälgitavuse/andmete hanikmise/field service baasil raporteeritakse oluliste komponentide reaalsed protsessi andmed ning seerianumbrid teise suunda, nii, et reaalne pilt luuakse tootmise lõpus; • IT seire, reaajas FPY (<i>First-Pass Yield</i>) kuvamine ICT-s (<i>In-Circuit Test</i>) operaatoritele ja süsteemi operaatoritele ning SMD tootmisandmete võrgupõhine (online) jälgimine.
Alfred KÄRCHER GmbH & Co.KG	Alfred KÄRCHER GmbH & Co.KG kuulub töötleva tööstuse tootmisprotsessi ja tarneahela valdkonda.	<ul style="list-style-type: none"> • B 40/B 60 põrandapesumasinaid toodetakse tehases, mis asub ettevõtte peakorteris (individualiseeritud konstruktsioon võimaldab kuni 40 000 varianti); • Rakenduslikud lahendused nagu toorikualuste identifitseerimine raadiosagedustuvastuse (RFID) kaudu, reaajas analüüs võimalike vigade ning arenguetappide kombinatsioon Andoniga (optimeerimisprotsessi instrument) on osa protsessist; • SAP kasutajaliides tagab andmete ja informatsiooni läbipaistvuse; • Rakendus võimaldab töödelda tootmistellimusi efektiivsemalt ning läbipaistvalt (partii suurus 1); • Edastatakse tellimusega seotud informatsioon ning paigaldusjuhendid aitavad tõsta kvaliteeti;

Ettevõtte	Ärisedektor	Täisautomatiseeritud tootmise näide
		<ul style="list-style-type: none"> • Kui uus masin alustab tootmist, genereeritakse QR kood, mille abil on võimalik saada kogu tootmisega soetud informatsioon. Need salvestatakse ka RFID kiibile, mis asub toorikualuse küljes, mis on kliendi poolt individuaalselt paigaldatud ning tükk-tüki haaval toodetud; • Andmed väljastatakse igasse tööjaama – detailsed paigaldamisjuhised ilmuvad vastava tööjama ekraanile; • Tootmiseks vajalikud osad võimaldatakse materjali voo süsteemi (Kanban) abil, mis baseerub reaalsel tootmisliini tarbimisel; • Valguse abil töötab osade eemaldussüsteem (pick by light) määrab, millised komponendid on vastavas tootmisfaasis vajalikud; • Probleemide või talitlushäirete korral on võimalik kutsuda 20 puuteekraani abil appi vastutav kontaktisik; • Kui põrandapuhastaja täielik funktsionaalsus on tagatud, skanneeritakse QR kood ning täielikult kokku pandud ning testitud masin sisestatakse süsteemi.

Üldkokkuvõttes võib väita, et üldine ärimaailma arvamus *industry 4.0* rakendamise suhtes on positiivne. Samas on rahvusvahelisel mõõdupuul pioneeriks jäämiseks vaja vabaneda hirmust võtta riske ning investeerida.

9.5.4. Ettevõtete takistused ja hirmud

Kuus tootjat kümnest on rakendamisel kokku puutunud niivõrd suurte barjääridega, et viimase aasta jooksul pole toimunud mingisugust arengut või on see olnud väga väike. Mõningad neist barjääridest esinevad pigem alustades, ent teised kerkivad esile alles edasi arenemisel. Viis kõige olulisimat takistust, mille tõid välja tootjad, kellel oli endiselt raskusi *industry 4.0* rakendamise alustamisega (Joonis 9.50):

- Raskused erinevate organiseerimisüksuste vahelise koostöö korraldamisel. Paljud firmad näevad vaeva, et vabaneda kitsaskohtadest erinevate valdkondade vahel nagu arendus, tootmine, turundus, IT ja finants. Need müürid on muutnud *industry 4.0* strateegia ja projektide koordineerimise ettevõttesiseselt väga keeruliseks;
- Julguse puudumine, et viia läbi radikaalseid muutusi. Paljud tootjad ütlevad, et neil lihtsalt puudub söekus viia läbi tehnilisi ja organisatoorseid muutusi, mis on *industry 4.0* jaoks vajalikud;
- Spetsialistide nagu andmeteadlaste puudus. Paljud tootjad tunnevad, et neil pole vajalike oskusi ja teadmisi, et *industry 4.0* rakendusi ellu viia. Ühes kolmandate osapooltega koos töötamisega seotud muredega, muudab see ettevõtteid tegutsemisvõimetuks;

- Küberturvega seotud kahtlused koostööl kolmandate osapooltega. *Industry 4.0* rakenduste arendamine eeldab sageli ka koostööd tehnoloogia/tarkvara ja kohanemisabi pakkuvate ettevõtete ja ning paljud firmad pole endiselt eriti vastuvõtlikud ideele jagada oma informatsiooni, kuna muretsevad IT turvalisusega partnerite poolt ning andmete ülekandmisel;
- Alustpaneva IT-arhitektuuri investeerimine pole piisavalt selgelt majanduslikult põhjendatud. Paljud organisatsioonid peavad veel arendama business case'i, mis põhjendaks adekvaatselt suuri ja üldiseid investeeringuid andmete- ja süsteemistruktuuri, mida vajatakse, et arendada täielikult välja kogu ettevõtet hõlmavaid *industry 4.0* rakendusi.

5 peamist tõket, mille on välja selgitanud tootjad, kellel on / ei ole piiratud Tööstus 4.0 edendamine



Raskused osakondadevahelise tegevuse kooskõlastamisel



Julguse puudumine radikaalsete muutuste elluviimiseks



Kvalifitseeritud töötajate, nt andmespetsialistide puudus



Mure küberjulgeoleku pärast kolmandate osapoolte hankijatega töötades



Puudub selge ärijuhtum, mis õigustaks investeeringuid selle aluseks olevasse IT-arhitektuuri

Täiendavad tõkked, mida mainivad arenenumad tootjad



Mured andmete omamise pärast kolmandate osapooltega töötades



Ebakindlus pakujate sisseostmise ja sisseostmise osas ning teadmiste puudumine pakujate kohta



Väljakutse on erinevatest allikatest pärit andmete integreerimine *Industry 4.0* rakenduste jaoks

Industry 4.0 rakendamisega alustanud firmade seas esines veel kolm barjääri, mis takistasid nende edasiarengut antud valdkonnas:

- Andmete omandiõigustega seotud mured kolmandate osapooltega koos töötamisel. Lisaks küberturvalisuse probleemidele, kardavad tootjad, et nad võivad *industry 4.0* rakendamise tarvis kolmandate tehnoloogia ja tarkvara pakkujatega koos töötades kaotada kontrolli oma andmete üle. Samuti avastatakse sageli, et hetkel kehtivates OEM lepingutes kirjeldatud andmete omandiõigused on juba niigi limiteeritud, kui nad arvasid.
- Puudub selge arusaam, millised *industry 4.0* rakendustega tuleks hakkama saada firmasiseselt ning milliste puhul oleks tarvis abi kolmandatelt osapooltelt. Samuti puudub ülevaade sobivatest teenusepakkujatest, kelle poole vajadusel pöörduda. Ettevõtjad pole kindlad, millised tegevused on potentsiaalselt sobivad, et need ise läbi viia ning mis juhtudel oleks kasulik leida appi mõni kolmas partner. Lisaks väidavad paljud tootjad, et neid puudub arusaam potentsiaalsete teenusepakujate võrgustikust.
- Raskused integreerida *industry 4.0* rakenduste jaoks vajaliku informatsiooni mitmest allikast. Enamik neist rakendustest baseeruvad andmetele, mis on pärit erinevatest allikatest. Nende ühendamine on *industry 4.0* töö jaoks hädavajalik, ent andmete integreerimine võib olla väga keeruline.

Joonis 9.49 McKinsey - Tööstus 4.0 pärast esialgset hüpet. Kust tootjad väärtust leiavad ja kuidas seda kõige paremini tabada

9.5.5 Ennustused ja soovitused ettevõtetele

Kuigi sõnakõlks *industry 4.0* tekitab suuri ootusi, pole suur osa sellest (veel) täide läinud. Sellegipoolest on käputäis tootjaid avastanud *industry 4.0* jaoks mitmeid spetsiifilisi rakendusi ning lõikavad sellest kasu. *Industry 4.0* ellu viimine on pikaajaline protsess ja mida rohkem areneb tehnoloogia, seda rohkem rakendusi *industry 4.0* jaoks

tekib. On hädavajalik, et kõigi riikide tootjad alustaksid mõningate kindlate rakenduste kasutusele võtmisest. See looks organisatsioonilised ja tehnilised võimalused võtta tulevikus ette veelgi nõudlikumaid projekte nagu täielik info integratsioon toote elutsükli vältel. Allpool on välja toodud konkreetsed nõuanded spetsialistidelt, et ettevõtetele oleks võimalik *industry 4.0* abil teenida lisakasu (tabel 9.2):

Tabel 9.2 Viis soovitud ettevõtetele, et saada *industry 4.0* rakendamisest maksimaalset kasu

Soovitus	Termin	Kirjeldus
Keskenduda kindlale arvule rakendustele	1. Digitaal-sooritus-haldus (<i>digital performance management</i>)	Digitaal-sooritus-haldus võib olla lävepakuks digitaalsele toomisele tänu oma väiksele ressursside kulule ning lihtsatele, kiiresti paigaldatavatele lahendustele. Rakendus kiirendab juba olemasolevaid pandliku juhtimise protsesse ning aitab luua digitaalset võimekust ja andmetepõhist meelelaadi, luues baasi veelgi arenenumate digitaal-tehnoloogiate tarvis. Digitaalsed armatuurilaudad, mis toetavad sooritusega seotud dialoogbokse, võivad saavutada 20-50 protsenti OEE paremist kolme kuu jooksul, parandades eesrinde operaatorite kaasatust ja andmete haldust. Lisaks kasutatakse digitaliseeritud andmeid tootmise kohta ka arvutustes ning raportites, et jagada ning võrrelda KPIsid varem isoleeritud funktsioonide, tehaste ja ettevõtetele, et tagada jätkusuutlikus ja parim kogemuste jagamine;
	2. Ennetav hooldus	Märgatavad arengud andmete kättesaadavuse, masinate õppimise ning pilve tehnoloogia vallas võimaldavad täiesti uut lähenemist: uus variant ennetavaks hoolduseks, mis integreerib mitut andmekogumit ja kasutab keerukaid süvaõppe algoritme nagu neurovõrk. Selle tulemusena paraneb masinate kasutusaeg ning vähenevad hoolduskulud – uute ennetava hoolduse algoritmide põhjal 10 kuni 15 protsenti. Selleks on tarvis põhjalikke oskusteadmisi hoolduse valdkonnas ning vastava tehase kohta, samuti kõrgetasemelisi teadmisi analüütika vallas ning vastava muutuse haldamise oskusi;

Soovitus	Termin	Kirjeldus
Keskenduda kindlale arvule rakendustele	3. Saagise, energia ja läbilakse optimeerimine	Protsessi kontrollsüsteemi andmete integreerimine muu informatsiooniga nagu kuluandmed, võib aidata ettevõtetel optimeerida saagist, energiakulu ning läbilaset. Juba täna lõikavad tootjad kasu tehase andmete kombineerimisest õige tarkvaraga. Lisaks on tarvis arendada oskusi luua sobivaid algoritme. Lõppude lõpuks on edu saavutamiseks kriitiline luua uute ideede rakendamiseks vajalik tugisüsteem nii väiksemate, kui ka suuremamahulisemate projektide tarvis.
	4. Järgmise etapi automatiseerimine	Prognoositakse, et järgmise viie kuni kümne aasta jooksul suureneb robotite aktsepteerimine töötajate tegevusaladel oluliselt. Tööstusrobotite maksumus väheneb 2020. aastani igal aastal umbes 10 protsenti. Samuti on oodata edusamme sensorite tehnoloogias ning tehisintellekti puhul, mis võimaldab kasutada roboteid keerulisemates süsteemides ning situatsioonides, suurendades auto-matiseerimise ligipääsetavust ja potentsiaalset kasu. Suur potentsiaal optimeerimisvallas on ka teadmustöö funktsioonide kasutamisel, nagu nõudluse planeerimise nt ennustava analüütika ja halduskorralduse kasutamine või kontaktivaba tellimuste haldamine tarneahela protsessis.
	5. Digitaalkvaliteedi haldus (<i>digital quality management</i>)	Alustavad tootjad võivad saada olulist kasu (nt efektiivsuse suurenemine, vigade lokeerimise paranemine ja tagastamiskulude vähenemine) digitaalsete dokumenteerimissüsteemide rakendamisest, mis aitavad salvestada kvaliteedi ning teemakohast toomise ja teenuste infot. Arenenud kvaliteedikontroll koos uute sensortehnoloogiatega (nt Computer Vision) ning poolautomaatne kvaliteedi kontroll (nt robotid, ladustamissüsteemid – vt tekstivälja nr 3) loovad veelgi uusi väärtusi. Digitaalkvaliteedi haldust intensiivsemaks muuta soovivad kasutavad hästi välja arendatud algoritme ning massiivseid andmeanalüüse nt poolautomaatne algpõhjuste analüüs.
Ära kardada „vastukaalu“ (vigade neutraliseerimiseks), aga alusta juba homme viimistletumate tulemuste tarvis IT alustest	1. Tervisliku pragmatismi puudus	Tihiti ei saa kliendid alustada <i>industry 4.0</i> rakenduste kasutusele võtmist, kuna puudub tervislik pragmatism. Peaaegu kõigil juhtudel hõlmab prioriteeritud <i>industry 4.0</i> rakenduse väärtuse määramine olulisi operatiivseid takistusi, mille tootjad ületama peavad.
	2. Talentide ja IT süsteemide puudus	On fakt, et et väga edukad kliendid on suutelised edukalt projekte lõpetama isegi keerulistes tingimustes nagu andmete puudumine, ebasobivad IT süsteemid ning vajalikkude talentide puudumine.

Soovitus	Termin	Kirjeldus
Ära karda „vastukaalu“ (vigade neutraliseerimiseks), aga alusta juba homme viimistletumate tulemuste tarvis IT alustest	3. Vastukaal	Vastukaaluga nagu väljastellimine saavad ettevõtted kiirelt alustada uute juhtumite rahuldamisega ning tagada sageli vajaliku tõestuse efektiivsusest tulevaste väljalasete tarvis. Pilvelahendused on samuti kasulikud, et luua vahepealseks ajaks riskivabu lahendusi. Ettevõtted võivad kasutada pilve, et eksperimenteerida uute juhtumitega, ilma, et neid aeglustaks juba olemasolev IT infrastruktuur ja arhitektuur.
	4. Kapitali kulud	Esimeste pilootprojektide edukusest olenemata vajab suuremahuline <i>industry</i> 4.0 väljalase suuri investeeringuid kogu tehnoloogiapinu. Lisaks mängib andmepinu olulist rolli ka edasistes IoT rakenduste investeeringutes ning ärioloogika integratsioonis. Majandusliku põhjenduse leidmine, mis õigustaks andme investeeringuid võib olla keeruline, kuna <i>industry</i> 4.0 tehnoloogia on veel võrdlemisi noor ning sellega seotud edu on siiski olnud võrdlemisi piiritletud. Need investeeringud on hädavajalikud edukate <i>industry</i> 4.0 pilootprojektide tarvis.
	5. Selged äri omandiõigused	Lisaks tehnoloogiasse investeerimisele peavad ettevõtted looma ka baasi selgeks äriomandiks, et korralikult hallata seadete või klientidega seotud andmeid. Keskne andmehalduse osakond koos tähendusrikka andmete domeeni struktuuriga võib olla lahendus üldise andmestrategia loomiseks ning ettevõtteülese info standardiseerimise tagamiseks. See hõlmab ka üleminekut professionaalsemale andmeoperatsiooni mudelile, kus on ligipääs kõrgekvaliteetsetele andmetele, andmevooge hallatakse aktiivselt ja need pole lukustatud privaatsetesse andmesalvestuspai-kadesse.
	6. Andmete ülesehitus	Lisaks peaks andmehaldusosakond hõlbustama diskussiooni optimaalse andmearhitektuuri üle, kaasates selge tegevuskava eemärgiks oleva staadiumini jõudmiseks. Üks suurimaid väljakutseid on olemasolevate orginaalandmete integreerimise ülekandeandmetega sensoritest ning seadmetest, et edendada arenenud analüüsi ja reaalaajas võimekust astuda vastu keerulistele situatsioonidele. Suured andmetehnoloogiad nagu „andmejärved“ (data lakes), mis tegelevad ka mittestruktureeritud andmetega (nt Hadoopil põhinevad andmed) ning sõnumitöötlus tehnoloogiad (nagu ZeroMQ või Apache Kafka) võivad olla elegantsed lahendused et ületada olemasolevaid piiranguid, kiirendada ligipääsu andmetele ning initsieerida paradigma muutus tehnoloogias, mis võib samuti tuua kasu juba olemasolevale jurisdiktsioonile.
	7. Andmete integreerimine kogu toote elutsükli jooksul	Ettevõtted on juba aastaid püüdnud paigaldada holistlikke PLM (Product Lifecycle Management) süsteeme, st ärilahenduste komplekti, mis võimaldaks järjepideva kontseptsiooni-põhise tootemääratlusandmete kasutuse. Juhtivad firmad nagu Audi AG on alustanud oma tootmisandmete maastiku kindlustamise ja „puhastamisega“, et luua alus arenenud <i>industry</i> 4.0 rakendustele.

Soovitus	Termin	Kirjeldus
Loo portfoolio tehnoloogia teenuseid pakkuvatest kolmandatest osapooltest	1. Strateegilised „kontrollpunktid“	<i>Industry 4.0</i> rakenduste kasutusele võtmisel peaksid ettevõtted läbi mõtlema, millised osad protsessi eduahelast on strateegilised „kontrollpunktid“, kus tuleks ehitada ja hoida andmeid, et tagada olulisi eeliseid konkurentide ees. On suur hulk <i>industry 4.0</i> lahendusi, mille seast firmad valida saavad. Uued pakkumised nagu Siemensi MindSphere võivad olla firmasiseste andmete ning kolmandate osapoolte rakenduste integreerimise platvormiks. Tuginedes olemasolevatele võimalustele saavad firmad vastavalt olukorrale ning vajadusele sobivaid lahendusi kiiremini leida ning rakendada.
	2. Varustaja portfoolio	<i>Industry 4.0</i> muutub ainsa tarnija mudelist suureks hulgaks integreeritud tehnoloogia pakkujateks. Et saavutada selles valdkonnas edu, vajavad teenusepakkujad hästi välja arendatud portfooliot ja tugevat koostööpartnerite haldamise lähenemist. See algab õigete partnerite valimisest, turust selge arusaama loomisest ning maailmaklassi teenusepakkuja struktuuri haldamise oskuse arendamisest.
	3. Andme omandiõiguste struktuur	Veel üks oluline element, mis vajab tugevat juhtimist on õige andmeomandi struktuuri tagamine OEMide ja tarkvarapakkujutega koost töötamisel selleks, et kliendid ei loobuks eneselegi teadmata andmeomandis OEMidele, mis avastatakse tavaliselt alles siis kui ollakse <i>industry 4.0</i> projektiga poole peal. Enne lepingule alla kirjutamist peavad tootjad hoolikalt läbi mõtlema, millistele andmetele on neil vaja ligipääsu.
Loo tugeva ja söeka suhtumisega sisetiimi	1. Firmasisese võimekuse arendamine	Selleks et <i>industry 4.0</i> rakendustest tõeliselt kasu lõigata, peavad ettevõtjad arendama tugevat firmasisest võimekust ja pühendunud multifunktsionaalse meeskonna, tuginedes vabale kultuurivahetusele ja eksperimenteerimisele.
	2. Oskusliku tööpremeerimine	Selle protsessi osa jaoks, mida firma otsustab teha ettevõttesiseselt, vajatakse oskusliku tööjõudu. Eriti kehtib see IT talentide suhtes – alates andmeteadlastest, kes aitavad välja arendada keerulisi algoritme, kuni firmasiseselt uusi, kriitiliselt vajalike rakendusi loovate tarkvaraarendajateni.

Soovitus	Termin	Kirjeldus
Loo tugeva ja söeka suhtumisega sisetiim	3. Koostöö ühilduvus	Samal ajal peavad need IT valdkonnas andekad üksused tegema sujuvat koostööd ka teiste valdkondadega. Traditsiooniliste barjääride jaoks, mis mitmeid firmasisesid üksusi eraldavad, ruumi ei ole. <i>Industry 4.0</i> jaoks on vaja koostööd tehniliste oskustega eksperte, arenenud analüütikat, ettevõtte IT arhitektuuri ning infrastruktuuri tundvaid IT eksperte ning ärieksperte, kes teaksid, kuidas siduda investeeringud ärimaailmaga. <i>Industry 4.0</i> strateegia põhineb nende lähedasel koostööl. Näiteks lõi üks ettevõtte töögrupi, kuhu kuulusid iga valdkonna esindajad. Töögrupp kohtub regulaarselt, et arutleda uute ja käimasolevate <i>industry 4.0</i> projektide ning nendeks vajalike ressursside üle. Töörühmal (koos C-Suite osalusega) on õigus kasutada kõiki tootmisliine, süsteeme ja andmebaase. Teised koondavad kõik <i>industry 4.0</i> -ga seotud inimesed koguni uueks organisatsiooniliseks üksuseks.
Proovi modernseid ärimudeleid	1. Reaalajas andmed	Tootjatel peaks aina enam olema ligipääs reaalajas andmetele, et pakkuda klientidele uusi lisaväärtusega teenuseid. Kui varem kadus tavaliselt side tootja ja nende poolt loodud toote vahel pärast müümist, siis uued sensor- ja kommunikatsioonitehnoloogiad aitavad tootjatel koguda reaalajas informatsiooni masinate töötamise kohta. See võimaldab tootjatel arendada nende müügijärgseid teenuseid ning lisada uusi lisandväärtusega teenuseid, mis põhinevad kogutud andmetele. Üheks näiteks on saksa õhukompressorite tootja KAESER KOMPRESSOREN, kes edendab masinate tööd arenenud ennetava hoolduse mudeli abil, baseerudes SAP HANA ning hiljuti lisas oma portfooliosse „maks kokkusurutud õhu kuupmeerti eest“ valiku.
	2. Ärimudeli innovatsioon	Et leida oma koht uues <i>industry 4.0</i> konkurentsikäikes, peavad tootjad arendama oma oskust uuendada ärimudeleid. Kuigi sellega tegeleb kahtlemata ka strateegiaosakond, peaks ka CEO uute mudelitega eksperimenteerima.

10. ÜLDISED KOMPETENSIID



10. ÜLDISED KOMPETENSIID

10.1 Muutuste juhtimine

Üha võimsam tehnoloogia muutub üha enam kättesaadavaks ja töötamist mõjutab võimalus andmeid vahetada igal ajal igast maailma otsast. Luuakse uusi digitaalseid tooteid, nt 3D printereid, tööprotsesse kontrollitakse ja jälgitakse IT süsteemide poolt. See tähendab, et mõned töösammud jäetakse ära ja lisatakse uued.

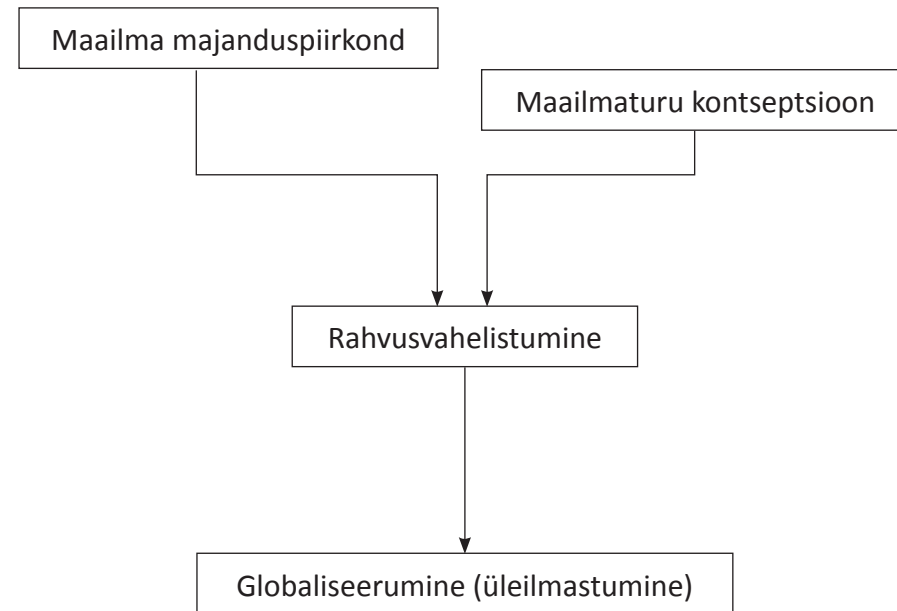
Digitaliseerimine loob uued kommunikatsiooniviisid, muutused tarbija käitumises ja teatud määral ka uue töökultuuri.

Võrgu kaudu toimuv kommunikatsioon tagab kiire informatsiooni edastamise, üks inimene saab samal ajahetkel suhelda paljude teiste inimestega. Sama kehtib ka masinate kohta, seetõttu on nendega opereerimiseks vajalikud algtasemel tehnilised teadmised. CNC-spetsialisti teadmised peavad vastama globaalsetele, sotsiaalsetele ja tehnilistele nõudmistele. Pidev keskkonnaga infovahetus on vajalik.

10.2 Rahvusvahelistumine

Rahvusvahelistumine tagab:

- ettevõtlusega seonduvate tegevuste laiendamise globaalses mõistes;
- vastutusvaldkondade laiendamise läbi teistes riikides läbi viidavate tegevuste;
- tarkvara arendamise ja kohandamise teistesse keeltesse ja kultuuridesse.



CNC-spetsialisti jaoks annab ettevõtte laienemine talle võimaluse arendada endas rahvusvahelisi oskusi. Selline areng annab CNC-spetsialistile ka võimaluse püüelda kõrgema hariduse omandamise poole.

Võõrkeelte õppimine ja rahvusvaheline otsustamine on seega koolituse lahutamatu osa. Tehnilisele koolitusele lisaks on suure tähtsusega keeleõpe ja üldõpe. See võimaldab selgitada välja ja mõjutada rahvusvahelisi trende ning suurendab tõenäosust tulevikus ette tulevate konkurentsiolukordadega edukaks toimetulekuks.

Globaliseerumise ja võrgustumise edasine tõus tähendavad, et mitte ainult keelebarjääri vaid ka kultuurilisi erinevusi tuleb märgata ja neist üle saada.

CNC-spetsialisti jaoks annab ettevõtte laienemine talle võimaluse arendada endas rahvusvahelisi oskusi. Selline areng annab CNC-spetsialistile ka võimaluse püüelda kõrgema hariduse omandamise poole.

Võõrkeelte õppimine ja rahvusvaheline otsustamine on seega koolituse lahutamatu osa. Tehnilisele koolitusele lisaks on suure tähtsusega keeleõpe ja üldõpe. See võimaldab selgitada välja ja mõjutada rahvusvahelisi trende ning suurendab tõenäosust tulevikus ettevõtete konkurentsivõimega edukaks toimetulekuks.

Globaliseerumise ja võrgustumise edasine tõus tähendavad, et mitte ainult keelebarjääri vaid ka kultuurilisi erinevusi tuleb märgata ja neist üle saada.

10.3 Sotsiaalsed muutused

Sotsiaalsed muutused tagavad:

- töömaailma muutumise ja
- võõrtööjõuga toimetulemise.

Digitaliseerimise tulemusena on vastutusvaldkonnad muutunud laiemaks ja keerulisemaks, CNC-spetsialist peab olema võimeline hindama enda tegevusi ja nende tulemusi. Sellest tulenev vastutuse surve suureneb, kuna reaalsus ühineb virtuaalmaailmaga ja otsene suhtlus leiab aset masinaga või masinapargiga.

Tööaeg ja töökoht muutuvad üha paindlikumaks ja omavad seega mõju vaba aja ja eluplaanide organiseerimisele. Probleemid on samuti teised ja need tuleb parenduste võimaldamiseks muuta läbinähtavamaks.

Kokku puutudes üha moodsama tehnoloogiaga väheneb füüsiline aktiivsus, seega füüsilise treeningu pakkumisi tuleb alati soodustada.

Tänu globaalsele turule peab CNC spetsialist teiste kultuuriliste tingimustega ja religioonidega toime tulema.

10.4 Tehnoloogiline edasimineku

Tänu kiirele tehnoloogia arengule on vajalik algtasemel teadmised protsessist ja CNC-spetsialistidel tuleb üha enam mõista terviklikku äriprotsessi.

Uued suhtlusfoorumid muudavad mobiilsete seadmete ja tehnoloogiate kasutamise tavaliseks. See nõuab kohanemist. Kiire andmete edastamisega muutuvad ülesanded keerulisemaks ja läbipaistvamaks, seega pole enam olemas sellist asja nagu lihtne ülesanne või töö. CNC-spetsialistid peavad üha enam toime tulema algtasemel tarkvara ja juhtimisprotsesside tundmisega. Andmete tundliku iseloomu tõttu tuleb neid kaitsta. Andmekaitse saab seega olema samuti tuleviku tegevuste alus.

CNC-spetsialist peab igapäevaselt omandama uusi teadmisi igas etteantud vormis, pidev õppimine on äärmiselt vajalik.

Uuendusi saab algatada ja tööelu saab parandada kasutades ettevõtte soovituskeemi.

10.5 Innovatsioonijuhtimine

Vastavalt programmi *Industry 4.0* eesmärgile kirjeldab innovatsioonijuhtimise termin protsesside optimeerimise tegureid, mis on täna kõikidele tööstusvaldkondadele äärmiselt olulised. Eriti just CNC sarnastes tootmisvaldkondades tähendab innovatsioonijuhtimine üldist tehnoloogilisel arengul põhinevat tulevikku suunatud protsesside juhtimist (Granig 2018, lk. V-VII).

Projektide ja protsesside tõhusaks, funktsionaalseks ja tulemuslikuks elluviimiseks mõeldud protsesside juhtimise mudeleid on arvukalt. Eesmärk on suuta innovatsiooni määra mõõta. Tulemusele orientee-

ritud lähenemine mõõdab innovatsiooniprotsessi läbi turule tuttavate või ettevõttesiseste kvalitatiivsete innovatsioonide, eesmärgiga enda majanduslikku edukust parandada (Schallmo 2014, lk. 22 f.) Põhitähelepanu on innovatsiooni objektil, selle määral ja võrdluspunktil, millest kaks esimest aspekti on alguse saanud. Teine võimalus protsesside innovatsioonimäära mõõta on protsessile orienteeritud lähenemine. Innovatsiooniprotsess tähendab uue toote või protsessi turunduslike sündmuste jada (Ebd., lk 23).

CNC tootmise valdkonna ühendamine innovatsiooni juhtimise teabega ja seega ka programmi *Industry 4.0*-ga ja selle elluviimisega on suur väljakutse. Selleks tuleb vastata järgmisele küsimusele. Kuidas saavutada programmi *Industry 4.0* eesmärke innovaatiliste protsesside abil ja ellu viia just CNC spetsialisti elukutse esindajatele? Innovatsiooni juhtimise tegurid sisaldavad endas järgmist.

Uute tehnoloogiate sisse seadmine, nagu 3D printimine ja 3D visualiseerimine tootmisprotsessides või nutikas automatiseerimises (programmeerimine).

Üha suurenev simulatsioonide kasutamine tootmisprotsessis tekkinud vigade allikate selgitamiseks juba varases arengustaadiumis ja nende vigade kiire korrigeerimine.

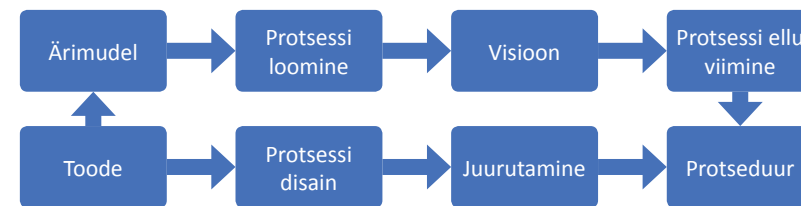
Uute lahenduste arendamine logistilistele protsessidele, mis on omavahel tõhusamalt ühendatud ideest ettevalmistavate tegevusteni (ruumide plaanid, materjal, tööriistad) kuni tootmise ja levitamiseni välja.

Pidevalt kasvav konkurentsi globaliseerumine kui viimaste kümnendike majandusprotsesside põhiline tegur on järk-järgult asendumas innovatsiooni globaliseerumisega. Tänu muutumisprotsessidele (märksõnad: digitaliseerimine, tööstuse koondumine ja andmete tähtsuse kasv) on ettevõtete edukuse reeglid samuti muutumas (Granig 2018, lk. 16 ff.). Majanduslikult teistega sammu pidamiseks pole ettevõtete jaoks hädavajalikuks muutunud mitte ainult innovatsiooniprotsesside algatamine vaid need peavad olema parimal juhul juba ka edukalt läbi viidud. Selle põhjuseks on näiteks lühemad toote elutsüklid või konkurentsielise kindlustamine ja seega erinemine teistest konkurentidest.

10.6 Innovatsiooniprotsesside arendamine

Edukate innovatsiooniprotsesside strateegiliseks arendamiseks on mitmeid võimalusi. Innovatsioonistrateegia on ettevõtte eduka tuleviku jaoks määrava tähtsusega ja sisaldab põhielementidena konkurentsikeskkonnas enda määratlemise eesmärgi ja tegevusi. Tulevikus on CNC spetsialistidel võimalus innovatsiooniprotsesside arendamisse panustada.

Innovatsioonitsükkel võiks visuaalselt järgmine välja näha.



Joonis 10.1. Innovatsioonijuhtimise tsükkel

Sellise strateegia arendamiseks on mitmeid võimalusi.

Kokkuvõtteks on määrava tähtsusega järgmised sammud.

- Ärimudeli analüüs (Schallmo 2014, lk. 63/65)
Olemasoleva ärimudeli mõistmist võimaldab esimene samm. Edufaktoriid ja juhtimismuutujad tulenevad analüüsikirjeldusest, mis on järgmiste sammude põhialuseks. Eesmärgiks on ärimudeli põhjal protsessijuhtimise tundmine. See kohustus on siiani olnud peamiselt ettevõtte juhtkonna ülesandeks.
- Protsesside loomine (id lk 64/67)
Ärimudeli ja olemasolevate kliendiprofiilide analüüsile põhinedes

on võimalik tuletada tootlust, tugi- ja juhtimisprotsesse. Eesmärki- deks on: turusegmentide kujundamine, kliendi mõistmine, teenus- protsesside tundmine. Selle tulemuseks on kokkuvõttes terviklik protsesside tundmine. Teises faasis on CNC spetsialistil võimalik teha ulatuslikku koostööd juhtkonnaga, tänu tema kogemusele masinprotsessides.

- Visioon (id lk 64/70)
Protsessi visioon luuakse põhinedes ettevõtte enda vajadustele. Visiooni aluseks on tuleviku korporatiivstrateegia alustalad. Ees- märkideks on: kasutamata potentsiaali arendamine, potentsiaal- sete partnerite integreerimine, tuleviku ärisuundade kaalumine. Kolmas samm teostatakse juhtkonna poolt ja CNC spetsialistil pole suuri võimalusi tuleviku suunas liikumisel kaasa aidata, kuid tal on arvestades eelmist sammu kaudne mõju.
- Protsesside tõhusus(id lk 64/72)
Protsessiteenuste arendamine sisaldab nii kliendi protsesside kui toetavate, juhtimisega ja partneritega seonduvate protsesside võrdlust. Parendusvõimaluste selgitamiseks antakse detailne tee- nuste senise toimimise ülevaade sisugraafikute ja kuluarvestuse abil.
- Protseduur (id lk 64/74)
Protsessiteenuste arendamine sisaldab nii kliendiprotsesside kui toetavate, juhtimisega ja partneritega seonduvate protsesside võrdlust. Parendusvõimaluste selgitamiseks antakse detailne tee- nuste senise toimimise ülevaade sisugraafikute ja kuluarvestuse abil.
- Täideviimine (id lk 64/75)
Kõikide eelnevate sammude tulemusena saadakse kriitilised edu- tegurid. Eesmärk on protsessijuhtimist olemasoleva kliendi nõud- mistele vastava ärimudeliga ühendada (suure nõudluse saavuta- miseks) ja seejärel muuta see mõõdetavaks.
- Protsesside kujundamine (id lk 65/77)

Kõik eelnevad tulemused kogutakse kokku, et välja tuua protsessi põhilised omadused. Eesmärgiks on saavutada põhjalik ülevaade vajalikest tegevustest, ajakavast ja tähtaegadest. CNC spetsialisti kaasabil kujundatud protsess ühendatakse teiste protsessidega.

Eelpool kirjeldatud innovatsiooniprotsesside elluviimine on muidu- gi ajamahukas ja kulukas ning sisaldab ärilist riski. Siiski on sellised innovatsioonid ettevõtte tulevikus eksisteerimise jaoks vältimatud. Kui nt võtta arvesse punkti „toodete lühem elutsükkel“, sisaldab see ka survet tooteid lühema ajaperioodi jooksul edasi arendada, et mitte konkurentsisis maha jääda.

Selleks et esitletud teooriat ja strateegia arendamise samme päris protsessidega kooskõlla viia, saab tutvustada SMED meetodi rakenda- mist, kasutades näitena 5-teljelist CNC-masinat. SMED on innovatsioo- niprotsess, milles CNC-seadmete kasutusvõimaluste muutmise aega on võimalik märkimisväärselt vähendada. SMEDi peetakse väljakuju- nenud ja innovaatiliseks meetodiks, kuid seda saab ikkagi kasutada viisil, mis ei kehti kõikidele rakendustele. Esimeses sammus kirjelda- takse tegelikku olukorda. Sellest sõltub vajaliku meetodi valik. Järgneb visioon (mida peab olukorra parandamiseks tegema) ja täitmise ning sellel põhineva protsessikulu analüüs. Täideviimine ja protsessi kujun- damine lõpetavad SMED meetodi protsessiinnovatsiooni.

CNC valdkonnas soovitud tööprotsesside ühildamiseks programmi *Industry 4.0*-ga ei juhitata mitte ainult sisemist tootmisprotsessi edasi tehnoloogia abil vaid ka nõudmisi CNC-masinate valdkonna ametis- tandarditele. Võimalik CNC spetsialistipoolsete oskuste omandamine tavalise puurimise ja lõikamise valdkonnas, CNC programmeerimises, robotikas, 3D-tootmises jne on niisama elementaarne nii tehnilises lähenemises sihttööstus 4.0-le kui ka kompetentside omandamises nagu muudatuste ja innovatsiooni juhtimine.

Kirjandus

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.

Granig, P./ Stammer, E. / Heiden, B. (Hrsg.): *Mit Innovationsmanagement zu Industrie 4.0. Grundlagen, Strategien, Erfolgsfaktoren und Praxisbeispiele*, Wiesbaden: Springer Gabler 2018.

Schallmo, R. A./ Brecht, L.: *Prozessinnovation erfolgreich anwenden. Grundlagen und methodischen Vorgehen: Ein Management- und Lehrbuch mit Aufgaben und Fragen*, Wiesbaden: Springer Gabler 2014.

10.7 Ettevõtlusoskuste arendamine

COACHINGU TÄHENDUS

Rahvusvaheline Coachide Liit defineerib *coachingut* kui mõtteid esilekutsuvat ja loomingulist partnerlussuhet kliendiga, mis paneb klienti oma isiklikku ja tööalast potentsiaali täiel määral kasutama. *Coachingu* Assotsiatsioon kirjeldab *coachingut* kui koostööl põhinevat, lahendusele ja tulemustele orienteeritud ning süstemaatilist protsessi, milles coach aitab coachitaval suurendada tööalast võimekust, elukogemusi, omaalgatuslikku õppimist ja isiklikku arengut. Seetõttu pole *coaching* mitte ainult oskuste kogum vaid unikaalne suhtlusviis ja eriline suhe kliendiga. Olenemata definitsioonist leiab *coachingu* ajal aset eriline jutuaajamine, mis on täielikult üliõpilase vajadustele orienteeritud selliselt, et see suurendab tema võimekust, oskust väljendada oma soove ja motiveerida oma unistuste poole liikumist.

Mis on üliõpilastele mõeldud *coachingu* positiivseteks omadusteks?

Üliõpilane saab:

- parandada oma professionaalseid ja isiklikke oskusi ning võimekust;
- õppida paremini oma probleeme lahendama;
- suurendada oma enesekindlust ja õppida rohkem vastutust võtma;
- õppida olema tulemuslikum ja enesekindlam oma soovide väljendamises teiste inimeste juuresolekul;
- omandada uusi oskusi ja võimeid;
- tulla paremini muutustega toime.

Coaching loob muutuste esilekutsumiseks unikaalse ja võimalusterohke omavahelise suhte ainult siis, kui coach (juhendaja) ja coachitav (juhendatav) töötavad muutuse loomiseks koos. Juhendaja on vastutav *coachingu* protsessi eest: hoides tähelepanu selgelt defineeritud eesmärgil, aidates kaasa üliõpilase mõtteprotsessidele ja andes konstruktiivset tagasisidet. Üliõpilane on vastutav *coachingu* sisu eest: tuues välja ideid, võttes ette tegevusi eesmärgi saavutamiseks ja andes ülevaadet edasijõudmise sammudest.

Coaching kutsub esile paremat meeskonnavahelist suhtlust ja tagasisidestamist ning aitab luua meeskonnasisest usalduse õhkkonda.

Soovitused üliõpilastele:

- ole oma mõtetega *coachingus* kohal;
- jaga oma juhendajaga tundeid *coachingusuhte* töötamise kohta;
- ole enda suhtes positiivne;

- võta oma arengus aktiivne roll;
- usalda oma juhendajat;
- ole valmis probleemidest avatult kõnelema;
- ole edasimineku saavutamiseks valmis riskima.

HEA COACHINGU PRINTSIIBID

- **Võrdsus.** Mõlemad osapooled on võrdsed. Nii juhendaja kui üliõpilane töötavad *coachingu* võrdsete partneritena. Avatus on mõtlemise viis ja sellega töötamine on pidev koostöö ja mitte kohustusel põhinev, austades üliõpilase iseseisvust ja enesjuhtimist. Juhendaja peab olema valmis kõrvale jätta juhtiv roll, avastada üliõpilase võimekust ja mitte võimetust, olles siiralt huvitatud üliõpilase kogemustest ja arusaamadest.
- **Avatus.** *Coachingu*suhe põhineb avatusel ja usaldusel. *Coaching* julgustab üliõpilastel läbi toetuse ja suurenenud eneseteadlikkuse võtma vastutust endale suuremate võimaluste loomiseks, ise valikute tegemiseks ja oma sammude üle otsustamiseks. *Coachingu* nähakse vigu kui võimalusi õppimiseks.
- **Lahendusele orienteeritud.** *Coaching* avab uusi võimalusi ja teadlikkust, pannes rõhku enam lahendusele kui probleemile. Üliõpilane saab enda seest uut teavet, mis loob uusi võimalusi, mis omakorda viib soovini tegutseda ja muutuda.
- **Teadlikkus.** Üliõpilane on ise võimekas ja seetõttu ei ole vajadust talle pidevalt öelda, mida teha. Juhendaja usub, et üliõpilane on võimeline muutuma ja parandama oma sooritusi, seetõttu on ta suunanud oma tähelepanu üliõpilase teadlikkuse ja enesetunnetuse suurendamisele.
- **Vastutamine.** Üliõpilane vastutab ise tulemuste eest. Üliõpilane seob ennast kohustusega tegevusi määratleda ja oma eesmärkide poole liikumisel vajalike samme astudes. Inimesed õpivad

paremini mitte teiste inimeste soovitude järgi vaid ise asju avastades.

- **Toetus.** Juhendaja on kohustatud pakkuma üliõpilasele kogu *coachingu* protsessi jooksul jätkuvat toetust. Inimestel tekib usk endasse läbi õppimisvõimaluste, nii läbi vigade tegemise kui eesmärkide saavutamise. Juhendaja julgustab üliõpilast vaatama uute võimaluste poole.

ETTEVÕTLIKU MÕTTEVIISI OLEMUS

Käsiraamatus on põhitähelepanu järgnevatel ettevõtluskompetentsidel.

- Teadmised (ärieetika, tootmise, juhtimise ja turunduse tundmine).
- Oskused (iseseisva töö ja meeskonnas töötamise, riskide hindamine, läbirääkimiste ja esitusoskused).
- Isiklikud võimed (initsiatiivi võtmine, pro-aktiivsus, iseseisvus, visadus, uuenduslik mõtteviis ja motivatsioon).

Mida tähendab ettevõtlik olemine?

Üha enam usutakse, et ettevõtlusoskused, -teadmised ja -hoiakud on õpitavad, mis arendavad ka laiemalt ettevõtlikku mõtteviisi ja kultuuri, olles kasulik nii üksikisikutele kui ka laiemalt ühiskonnale. Ettevõtluskompetents on kasulik kõikides elu valdkondades. See võimaldab inimestel oma isiklikku arengut toetada, aktiivselt panustada sotsiaalsesse arengusse, siseneda tööjõuturule töötaja või iseenesele tööandjana, samuti alustada või skaleerida ettevõtmisi, millel võib olla kultuuriline, sotsiaalne või äriine eesmärk.

18. detsembril 2006.a. Euroopa parlamendi ja Komisjoni soovitudes elukestva õppe põhikompetentsidele toodi välja initsiatiivi võtmist ja

ettevõtlikkust kui ühena kaheksast põhikompetentsist, mis on vajalikud teadmistele põhinevas ühiskonnas. Kompetentse mõistetakse siinkohal kui teadmiste, oskuste ja kontekstiga sobivate hoiakute kogumit. Põhikompetentsid on need, mida kõik inimesed vajavad eneseteostuseks ja arenguks, aktiivseks ühiskonnas osalemiseks, sotsiaalseks sidususeks ja tööhõiveks.

Ettevõtlikkus mängib Euroopa majanduse konkurentsivõimes olulist rolli. Vastavalt Euroopa Komisjonis avaldatule on 99 protsenti kõikidest Euroopa ettevõtetest väikeettevõtted, mis annavad kaks kolmandikku kogu erasektori töökohtadest ja on vastutavad Euroopa majanduskasvu eest.

Ettevõtlikkus on õpitav oskus. Ettevõtlusõpe valmistab inimesi ette olema vastutav ja ettevõtlik isiksus. See aitab inimestel arendada endale seotud eesmärkide saavutamiseks vajalikke oskusi, teadmisi ja hoiakuid. On tõendeid selle kohta, et ettevõtlust õppinud inimesed on ka paremad töövõtjad.

Ettevõtlikkus kompetentsina on võime võimalustest ja ideedest kinni haarata teistele inimestele väärtuse loomiseks. Loodud väärtus võib olla sotsiaalne, kultuuriline või rahaline. Ettevõtluskompetents tähendab initsiatiivikut ja ettevõtlikkust. Kompetentsid on teadmiste, oskuste ja hoiakute kombineeritud ja integreeritud komponendid. Kompetentsid on muudetavad, õpitavad ja saavutatavad läbi kogemuse, treeningu ja *coachingu*.

Ettevõtluskompetentsi peetakse üha enam elukompetentsiks, mis on seotud isikliku arengu ja eneseteostusega ja töö leidmise ning karjääriga, samuti ka uute ettevõtmiste algatamisega, milleks võivad olla ühiskondlikud kampaaniad, sotsiaalsed ettevõtted kuni uute alustavate ettevõtete ni välja.

Üliõpilastel peavad olema järgnevad ettevõtlikkuskompetentsid:

- probleemilahendamise oskus;

- meeskonna kokkupanemise oskus;
- võime märgata võimalusi;
- initsiatiivi võtmine;
- enesemotivatsioon;
- suhtlusoskused;
- kohanemisvõime;
- õppimisvõime jne.

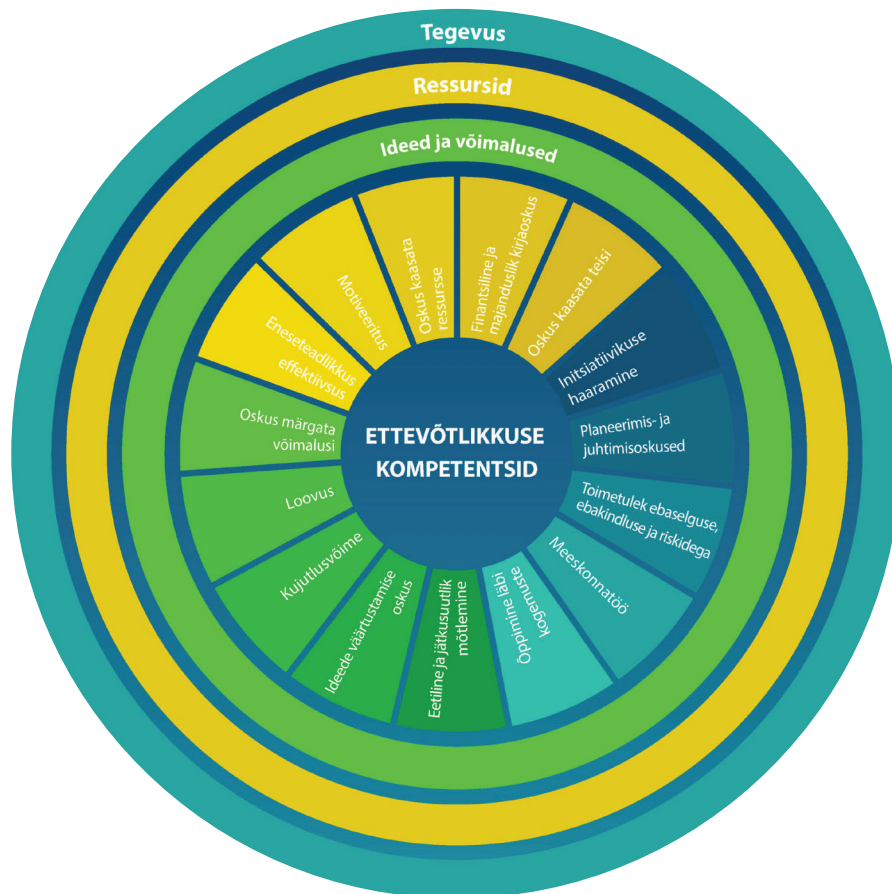
Ettevõtlusõpe

Ettevõtlusõpe peab katma kõiki selliseid hariduslikke tegevusi, mis valmistavad inimesi ette olema vastutustundlikud, ettevõtlikud isiksused, kellel on oskused, teadmised ja hoiakud, mida on vaja elus rahulolu saavutamiseks nende endi seotud eesmärkide täitmiseks.

Ettevõtlusõpet ei tohiks segi ajada üldise äri- või majandusõppega, ettevõtlusõppe eesmärk on kasvatada loovust, innovaativsust ja õpetada enesele töödandjaks olemist. Ettevõtlusõpe võib olla erialahariduse ühe osana eriti efektiivne, kuna üliõpilased on siis lähedal tööellu sisenemiseks ja ettevõtlikkus võib olla neile väärtuslik valik. Ettevõtlusõppe eelised ei seisne mitte ainult iduettevõtluses, innovaatiivsetes ettevõtmistes ja uutes töökohtades. Ettevõtlikkus on igaühe kompetents, aidates olla inimestel loovamad ja enesekindlamad igas tegevuses.

Ühisuuringute Keskuse raport "*EntreComp: The Entrepreneurship Competence Framework*" (Bacigalupo, M., Kampylis, P., Punie, Y., Van den Brande, G. (2016). Luxembourg: *Publication Office of the European Union*) määratleb 3 ettevõtlikkuse kompetentsi valdkonda ja 15 kompetentsi. Allpool näidatud EntreCompi ratas pakub välja ülevaate erinevatest aga siiski omavahel seotud kompetentsidest.

EntreComp on kokku pandud kolmest kompetentsivaldkonnast: ideed ja võimalused, ressursid ning tegutsemine. Antud kolm kompetentsivaldkonda peegeldavad otseselt ettevõtluse definitsiooni kui



oskust muuta ideed tegudeks viisil, mis loob väärtust kellelegi teisele. 15 kompetentsi koos moodustavad ehitusblokid kõikide inimeste ettevõtluskompetentsidele.

„Ideed ja võimalused“, „ressursid“ ja „tegutsemine“ on antud kontseptsiooni 3 valdkonda ja need moodustavad ettevõtluskompetentsi kui oskuse kasutades ressursse muuta ideed ja võimalused tegudeks. Ressursid võivad olla isiklikud (näiteks eneseteadlikkus, enesetõhusus, motivatsioon ja sihikindlus), materiaalsed (näiteks vahendid tootmiseks ja finantsressursid) ja mittemateriaalsed (näiteks teatud teadmised, oskused ja hoiakud).

Kompetentsidest lähemalt

(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.)

IDEED JA VÕIMALUSED

KOMPETENTS	SOOVITUS	KIRJELDUS
Võimaluste märkamine	Kasuta oma kujutlusvõimet ja võimeid väärtuse loomise võimaluste avastamiseks.	<ul style="list-style-type: none"> • Väärtuse loomiseks selgita avastades sotsiaalsed, kultuurilist ja majanduslikku olukorda välja võimalused ja haara neist kinni. • Selgita välja ühiskonna vajadused ja vastuvõtmist vajavad väljakutsed. • Loo uusi seoseid ja too kokku laiali paisatud elemendid, et väärtuse loomiseks võimalusi tekitada.
Loovus	Arenda loovaid ja otstarbekaid ideid	<ul style="list-style-type: none"> • Mõttele välja mitmeid ideid ja võimalusi väärtuse loomiseks, sh ka paremaid lahendusi uutele ja olemasolevatele väljakutsetele. • Avasta ja mängi uudsete lähenemistega. • Kombineeri teadmisi ja ressursse väärtusliku tulemuse saavutamiseks.
Visioon	Tööta oma tuleviku visiooni suunal.	<ul style="list-style-type: none"> • Kujuta endale ette oma tulevikku. • Arenda oma visiooni, et muuta ideed tegevusteks. • Visualiseeri võimalikke tulevikustsenaariume, et jõupingutusi ja tegevusi paremini suunata.
Ideede väärtustamine	Kasuta ideed ja võimalused maksimaalselt ära.	<ul style="list-style-type: none"> • Hinda oma idee väärtust sotsiaalses, kultuurilises ja majanduslikus mõttes. • Tunne ära idee potentsiaal väärtuse loomiseks ja selgita välja selle maksimaalseks ärakasutamiseks sobivad viisid.
Eetiline ja jätkusuutlik mõtlemine	Hinda ideede, võimaluste ja võimalike tegevuste tulemusi ja mõju.	<ul style="list-style-type: none"> • Hinda väärtust loovate ideede ja ettevõtlusalase tegevuse mõju sihtkogukonnale, turule, ühiskonnale ja keskkonnale. • Mõttele, kui jätkusuutlikud on pikaajalised sotsiaalsed, kultuurilised ja majanduslikud eesmärgid ja valitud tegevussuunad. • Tegutse vastutustundlikult

RESSURSID

KOMPETENTS	SOOVITUS	KIRJELDUS
Eneseteadvustamine ja enesetõhusus	Usu endasse ja jätkka enda arendamist.	<ul style="list-style-type: none"> Mõtiskle oma lühiajaliste, keskmise pikkusega ja pikaajaliste vajaduste, unistuste ja tahtmiste üle. Selgita välja ja hinda oma isiklike ja meeskonna tugevusi ja nõrkusi. Usu enda võimesse sündmuste käiku mõjutada ebaselgusest, tagasilöökidest ja ajutistest ebaõnnestumistest hoolimata.
Motivatsioon ja sihikindlus	Hoia oma fookust ja ära anna alla.	<ul style="list-style-type: none"> Ole otsusekindel oma ideede tegevusteks muutmisel ja rahulda vabalt oma saavutusvajadust. Ole valmis olema kannatlik ja jätkka püüdlemist oma isiklike ja meeskonna pikaajaliste eesmärkide saavutamiseks. Pea vastu pingelistes olukordades, kohates vastasseisu ja ajutiste ebaõnnestumiste puhul.
Ressursside kasutamine	Kogu kokku ja juhi vajaminevaid ressursse.	<ul style="list-style-type: none"> Hangi ja majanda ideede tegevusteks muutmiseks vajalikke materiaalseid, mittemateriaalseid ja digitaalseid ressursse. Kasuta piiratud ressursse maksimaalsel määral. Hangi ja majanda igal sammul vajaminevaid kompetentse, sh tehnilisi, juriidilisi, maksudega seonduvaid ja digitaalseid kompetentse.
Rahanduslik ja majanduslik kirjasoskus	Omanda rahanduse ja majandusega seonduvaid teadmisi.	<ul style="list-style-type: none"> Hinda idee maksumust. Planeeri, paiguta ja hinda rahalisi otsuseid läbi aja. Halda rahalisi vahendeid, et tagada väärtust loovate tegevuste kestlikkus ka pikema aja jooksul.
Teiste kaasamine	Inspireeri, innusta ja saa ka teised oma pardale.	<ul style="list-style-type: none"> Inspireeri ja innusta asjassepuutuvaid osapooli. Saa vajalik toetus väärtuslike tulemuste saavutamiseks. Näita välja tõhusat suhtlusoskust, veenmisvõimet, läbirääkimisoskust ja juhtimisvõimet.

TEGUTSEMINE

KOMPETENTS	SOOVITUS	KIRJELDUS
Initsiatiivi haaramine	Tee ära!	<ul style="list-style-type: none"> • Algata väärtust loovaid tegevusi. • Võta vastu väljakutsed. • Eesmärkmide saavutamiseks tegutse ja tööta iseseisvalt, jää kindlaks oma soovidele ja vii planeeritud tegevused ellu.
Planeerimine ja juhtimine	Määra prioriteetid, organiseeri ja kontrolli.	<ul style="list-style-type: none"> • Sea lühiajalisi, keskmise pikkusega ja pikaajalisi eesmärke. • Määra prioriteetid ja tegevusplaan. • Kohandu ettenägematute muutustega.
Ebakindluse, ebaselguse ja riskige toimetulek	Tee otsuseid mis on seotud ebakindluse, ebaselguse ja riskidega.	<ul style="list-style-type: none"> • Tee otsuseid, eriti siis kui otsusega kaasnev tulemus on ebakindel, kui olemasolev informatsioon on osaline või ebaselge või kui esineb risk saada mittesooitavaid tulemusi. • Ebaõnnestumise riski vähendamiseks too väärtusloovasse protsessi struktuurseid viise ideede ja prototüüpide testimiseks varases staadiumis. • Käsitle kiiresti esile kerkivaid probleeme koheselt ja paindlikult.
Koostöö	Ühine koostöök, tee koostööd ja suhtle.	<ul style="list-style-type: none"> • Tööta ja tee koostööd ideede arendamiseks ja nende teostamiseks. • Laienda suhtlusvõrgustikku. • Lahenda konflikte ja astu konkurentsile positiivselt vastu.
Õppimine läbi kogemuse	Õpi midagi tehes.	<ul style="list-style-type: none"> • Kasuta iga väärtuse loomise algatust kui head võimalust õppimiseks. • Õpi koos teistega, sh kaaslase ja mentoritega. • Peegelda ja õpi nii (enese kui teiste inimeste) edust kui läbikukkumistest.

Miks on õpilastel vaja ettevõtlusoskusi õppida?

Inimestel on vaja sellist mõtteviisi, oskusi ja teadmisi loovate ideede väljamõtlemiseks ja ideede teostamiseks ettevõtlikku initsiatiivi. Seda enam et tööandjad otsivad lõpetajaid ja töötajaid, kellel on head probleemilahendamise oskused, kes on paindlikud ja kohane-misvõimelised, kes võtavad initsiatiivi ja kellel on suurem enesetead-likkus ja vastupidavus. Kui noored inimesed tahavad olla globaalsel tööjõuturul edukad, peab suurem tähelepanu olema suunatud ettevõtlusõppele. Ettevõtlusõpe mitte ainult ei võimalda noortel inimestel alustada oma ettevõttega vaid anda ka väärtuslikku panust kogu Euroopa majandusele.

Ettevõtlusõppes osalevatel noortel on suurem tõenäosus asutada oma ettevõtte ja nende ettevõtted on innovaatilisemad ja edukamad nende inimeste ettevõtetest, kellel puudub ettevõtlusalase hariduse taust. Ettevõtlusõppe lõpetanud noortel on väiksem tõenäosus jääda töötuks ja nad on sagedamini kindlal töökohal. Võrreldes kaaslas-tega on neil parem töökoht ja suurem töötasu.

Ettevõtlusõppe mõju õpilastele:

- aitab karjääriambitsioone suurendada;
- viib suurema tõenäosusega töökoha saamiseni;
- viib paranenud ettevõtlusoskuste ja positiivsete hoiakuteni;
- aitab muuta käitumist suurema ettevõtlusambitsioonikusega;
- suurendab kavatsust asutada oma ettevõtte.

Ettevõtlusõpe nõuab aktiivsete õppimismeetodite kasutamist, mis paneb õppija haridusprotsessi keskele ja võimaldab neil võtta vastu- tust oma enda õppimise eest, katsetada ja enese kohta midagi õppi- da. Sellised õppemeetodid muudavad õppimiskogemuse rikkamaks ja neil on positiivne mõju üliõpilastele, parandades nende motivat- siooni ja pühendumist õppimisele ning suurendades pikaajalist saa-

vutusvajadust. Õpetajad juhendavad üliõpilased läbi õppeprotsessi, mitte ei jaga vastavalt traditsioonilistele õppemeetoditele teadmisi.

Ettevõtlusõppe õpetamismudelid sisaldavad:

- formaalseid loenguid,
- külaliskõnelejaid,
- juhtumiuuringuid,
- äriplaanide koostamist,
- ärisimulatsioone,
- rollimänge,
- grupidiskussioone ja -projekte,
- individuaalseid esitlusi ja kirjutatud aruandeid,
- praktikat,
- individuaalset ja grupisupervisiooni ning coachingut.

Üliõpilastele võimalikult tõetruude tegevuste loomiseks kasutatakse erinevat ressurside hulka ja tuues välismaailma kooliseinte vahe- le. Sellisteks ressursideks võivad näiteks olla äri- sarnase projekti arendamine ja juhtimine, ettevõtetesse või heategevusorganisat- sioonidesse õppekohtumiste organiseerimine või ettevõtjate külas- tused kooli.

Koostööl põhinev õppimine

(Education Tools for Entrepreneurship: Creating an Action-Learning Environment through Educational Learning Tools. Peris-Ortiz, M., Gómez, J.A., Vélez-Torres, F., Rueda-Armengot, C. (Eds.). Springer International Publishing, 2016.)

Koostööl põhineva õppimise viis põhilist elementi on otseselt seo- tud inimestevaheliste kompetentside üldise arendamisega, kursuse programmides on need üldkompetentside hulgas. Viite elementi saab kokku võtta järgmiselt.

- 1. Koostöö.** Üliõpilased peavad mingi ülesande läbiviimiseks koos töötama. Kui igaüks saavutab oma isiklikud eesmärgid, siis on ka ülesande lõplik eesmärk saavutatud. Üliõpilaste vahel valitseb positiivne vastastikune sõltumine. Seega ühe üliõpilase edu sõltub kogu meeskonna edust. Lõppkokkuvõttes toetavad kõik üliõpilased üksteist koos ja jagavad eesmärke, ressursse ja saavutusi.
- 2. Individuaalne vastutus.** Üliõpilased vastutavad individuaalselt neile antud ülesande osa tegemise eest. Samal ajal vastutavad nad ka grupi lõplike saavutuste eest, mis haakub koostöö kontseptisooniga.
- 3. Kommunikatsioon.** Meeskonnaliikmed peavad neile seatud eesmärkide saavutamiseks koos töötama ja õppima oma kaaslastelt. See nõuab informatsiooni ja materjalide jagamist, üksteise aitamist, erinevate vaatenurkade üle vaidlemist, teistele enda ülesande selgitamist, tagasiside andmist ja kõike muud, kus on tegemist kommunikatsiooniga parimate tulemuste saavutamiseks.
- 4. Meeskonnatöö.** Üliõpilased õpivad probleeme koos lahendama, arendavad endas juhtimisoskusi, suhtlemisoskusi, usaldust, otsusekindlust, konfliktide lahendamist ja muid erinevaid sotsiaalseid oskusi, mida on vaja heaks grupi funktsioneerimiseks.
- 5. Grupi enesehindamine.** Meeskonnal peab olema võimalus läbitud õppimisprotsessi hinnata, analüüsida, millised tegevused olid kasulikud ja millised mitte. Hindamine annab väärtuslikku informatsiooni vajalike muudatuste selgitamiseks ja oma edasiste töötulemuste parandamiseks.

