



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND  
Virumaa kolledž

**FANUC AI 100 CNC KONTROLLPANEELI  
OPTIMEERIMINE MAKROPROGRAMMIDE ABIL**  
**Optimizing the Fanuc AI100 CNC control panel using  
macro programs**

TELEMAATIKA JA ARUKATE SÜSTEEMIDE ÕPPEKAVA LÕPUTÖÖ

Üliõpilane: Andrey Sakharuk

Üliõpilaskood: 207559EDTR

Juhendaja: Sergei Pavlov, lektor

## **AUTORIDEKLARATSIOON**

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneriplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

# **LIHTLITSENTS LÕPUTÖÖ ÜLDSUSELE KÄTTESAADAVAKS TEGEMISEKS JA REPRODUTSEERIMISEKS<sup>1</sup>**

Mina Andrey Sakharuk(sünnikuupäev: 19.03.1987)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Fanuc ai 100 cnc kontrollpaneeli optimeerimine makroprogrammide abil“, mille juhendaja on Sergei Pavlov,
  - 1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja elektroonilise avaldamise eesmärgil, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
  - 1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. Olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta kolmandate isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ja teistest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

---

<sup>1</sup> *Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingulise tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautori(d) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.*

# SISUKORD

EESSÕNA .....	5
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU (VAJADUSEL) .....	6
SISSEJUHATUS .....	7
1 PROBLEEMI KIRJELDUS .....	9
1.1 Programmide koostamise probleem .....	10
1.2 Visualiseerimise ja simulatsiooni puudumise probleem .....	11
1.3 Kontrollpaneeli väike mälumaht .....	12
2 PROBLEEMIDE LAHENDAMISE VÕIMALUSED .....	13
2.1 CAM-süsteemid .....	13
2.2 FANUC (I seeria) kontrollpaneel .....	14
2.3 Kontrollpaneel Siemens Sinumerik 828 .....	15
2.4 Kontrolpaneel Heidenhain TNC7 .....	16
2.5 G-koodi ja M-koodi makroprogrammid .....	17
3 PROBLEEMIDE LAHENDAMINE MAKROPROGRAMMIDE ABIL.....	19
3.1 Mälu mahtude võrdlemine .....	19
3.2 Ajakulu võrdlus .....	21
KOKKUVÕTE .....	25
SUMMARY .....	26
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU .....	27
LISA 1 KONTUURI ÜMBERMÕÕDU TÄIELIK PROGRAMM, MIS ON KASUTATUD G-KOODI MAKRO ABIL.....	28
LISA 2 TÄIELIK PROGRAMM SISENEMISEKS SISEMISELE LÄBIMÕÕDULE KOOS SUKELDUMISEGA, KASUTATUD G-KOODI MAKRO ABIL .....	29

## **EESSÕNA**

Minu lõputöö teema tekkis probleemidest, mis on seotud tööaja kuluga tootmisprogrammide väljatöötamisel ja nende ohutuse tagamisel nende täitmisel. Selle töö loomise protsessis sain väärtuslikke teadmisi Fanuc AI100 vertikaalse freespingi programmeerimise valdkonnas. Olen sügavalt tänulik kõigile, kes mind selle protsessi vältel toetasid. Teie panus oli hindamatu ja aitas mul selle lõputöö edukalt lõpule viia.

Olen siiralt tänulik kõigile, kes aitasid mul selle lõputöö loomisel.

## **LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU (VAJADUSEL)**

CAM-süsteeme - CAM süsteemid on arvutiprogrammid, mis automatiseerivad tootmisprotsesse, muutes digitaalsed mudelid juhisteks masinatele. Need tagavad protsesside optimeerimise, genereerivad juhtprogramme, visualiseerivad ja simuleerivad toiminguid, integreeruvad CAD-süsteemidega ning neid rakendatakse erinevates tööstusharudes komponentide ja toodete täpseks ja tõhusaks tootmiseks.

CNC –Arvuti numbritega juhtimine

G-kood –CNC juhtimiskeel

M-kood –CNC juhtimiskeel

## SISSEJUHATUS

Kaasaegses tööstuses püütakse pidevalt protsesse parendada ja optimeerida. Kuid mõnedes ettevõtetes kasutatakse endiselt vananenud seadmeid, mis võib takistada kõrgete kvaliteedi- ja tõhususstandardite saavutamist. Lõputöö käsitleb seda probleemi, keskendudes Fanuc AI100 kontrollpanelile. Uuriti, kuidas programmeerimise ja makroprogrammide loomisega saab ületada selle vananenud seadme piiranguid. Töö eesmärk oli näidata, et programmeerimise kasutamine võib muuta töötlemisprotsessid paindlikumaks ja tõhusamaks, parandada toote kvaliteeti ning muuta ettevõtte ressursside kasutamise efektiivsemaks.

Ülesandeid:

Andmete kogumine: Kogutud kogu teave seadme kohta, et mõista selle toimimist ja olemasolevaid piiranguid, eriti programmeerimisel. Tuvastatud kolm probleemi: väike mälu maht stendil, piiratud ekraani suurus sisestamiseks ning programmi pikk käivitusaeg ja visualiseerimise puudumine.

Analüüs ja planeerimine: Andmeid analüüsitud ning välja töötatud programmeerimise kasutamise plaan piirangute ümberlõkkamiseks ja töö efektiivsemaks muutmiseks. Kaaluti mitmeid lahendusvariante, kuid ainult makroprogrammeerimine osutus probleemide lahendamiseks kõige sobivamaks viisiks.

Programmeerimine: Loodud programmid seadmele, mis aitavad tööd paremaks muuta, võttes arvesse olemasolevaid piiranguid. Makroprogrammeerimist kasutati programmide väljatöötamiseks, mis lahendavad probleeme, sealhulgas stendi mälu parandamine, sisestusprotsessi parendamine ja programmi käivitamise aja lühendamine ning visualiseerimise lisamine.

Programmide testimine: Kontrollitud, et programmid toimiksid õigesti erinevates olukordades, tagamaks, et need täidavad seatud ülesandeid.

Optimeerimine: Vajadusel viidi läbi programmide optimeerimine nende tõhususe suurendamiseks.

Koolitus: Koolitatud personal, kes kasutab programme, tagamaks nende õige kasutamise oskus.

Metoodika:

Olemasolevate probleemide analüüs, nagu piiratud mälu ja ekraan, pikk programmi käivitusaeg ja visualiseerimise puudumine.

Lahendusvariantide kaalumise: Erinevate probleemide lahendamise võimaluste uurimine, mis on avastatud eelneval etapil.

Programmide kestuste ja suuruste uurimine: Aja uurimine, mis on vajalik programmide loomiseks ja käitamiseks vanal seadmel, ning nende suuruste mõõtmine.

Uurimise läbiviimine: Andmete kogumine praktilisel tasemel, et mõista, millised programmid vanal seadmel võtavad palju aega ja mälu.

Tulemuste analüüs: Andmete vaatamine ja probleemsete programmide ning nende eripärade tuvastamine.

Järeldused ja soovitused: Järelduste tegemine selle kohta, kuidas saab vanal seadmel programmide loomise ja kasutamise protsessi paremaks muuta, ning soovituste andmine nende optimeerimiseks.

Oodatavad tulemused:

Tootmisprotsesside paranemine: Oodatakse, et välja töötatud makroprogrammide rakendamine märkimisväärselt suurendab Fanuc AI100 kontrollpanelil toimuvate tootmisoperatsioonide tõhusust. See hõlmab aja vähendamist, mis kulub programmide koostamisele ja täitmisele, samuti toodetud toodangu täpsuse ja kvaliteedi paranemist.

Aja ja ressursside kulu vähendamine: Eeldatavasti aitab makroprogrammide kasutamine oluliselt vähendada aega, mis on vajalik seadmete programmeerimiseks ja ülesannete täitmiseks. See aitab kaasa ka programmide salvestamiseks vajaliku mälumahu vähendamisele, mis parandab üldist tootmisprotsesside tõhusust.

Töö paindlikkuse ja kohanemisvõime suurendamine: Eeldatavasti on välja töötatud makroprogrammid paindlikud ja kohandatavad, vastavalt muutuvatele tootmisvajadustele ja -nõuetele. See võimaldab operaatoritel programme kergesti kohandada erinevate ülesannete ja töötingimuste jaoks, mis parandab üldist tootmisprotsesside paindlikkust.

Vigade vähenemine ja töökindluse suurendamine: Eeldatavasti aitab makroprogrammide kasutamine vähendada vigade tekkimise tõenäosust programmeerimis- ja täitmistöde käigus, mis omakorda suurendab seadmete töökindlust ja stabiilsust.

Ettevõtte konkurentsivõime tõus: Üldiselt oodatakse, et välja töötatud makroprogrammide rakendamine parandab märkimisväärselt ettevõtte konkurentsivõimet, suurendades tootmisprotsesside tõhusust, vähendades aja- ja ressurssikuluid ning suurendades seadmete paindlikkust ja töökindlust.

Siin on mõned võtmesõnad ja väljendid, mis iseloomustavad seda lõputööd: Fanuc AI100, G-koodid, M-koodid, CNC-pingid, CAM-süsteemid, bakalaureusetöö.



# 1. PROBLEEMI KIRJELDUS

Fanuc AI100 CNC kontrollpaneel (vt joonis 1.0) ei vasta enam tänapäevastele nõuetele, kuna selle funktsionaalsus on piiratud ja liides on kaugel intuiitivsest mõistmisest. See muudab selle vähem eelistatavaks operaatoritele, kellel on vaja laia valikut tööriistu efektiivsemaks ja mugavamaks tööks. Aja jooksul on sarnases seadmes tehtud mitmeid täiustusi, mis on suunatud kasutaja suhtluse parandamisele masinaga, kuid kahjuks puudub see antud mudelil.



Joonis 1.0 CNC kontrollpaneel FANUC AI100

Kontrollpaneeli Fanuc AI100 moderniseerimine võib osutuda üsna kulukaks, ja konkreetsete kulude osas sõltub see mitmest tegurist, sealhulgas soovitud moderniseerimise tasemest, komponentide maksumusest, uue tarkvara vajadusest ning ka spetsialiseerunud moderniseerimisteenuste maksumusest. Siin on mõned olulised aspektid, mis mõjutavad kulusid:

Komponendid: Kui moderniseerimine hõlmab vananenud komponentide asendamist kaasaegsemate ja tõhusamatega, võivad osade kulud oluliselt erineda. Kõrgtõhusad komponendid, nagu näiteks uued servomootorid, kontrollid ja andurid, võivad olla kallid.

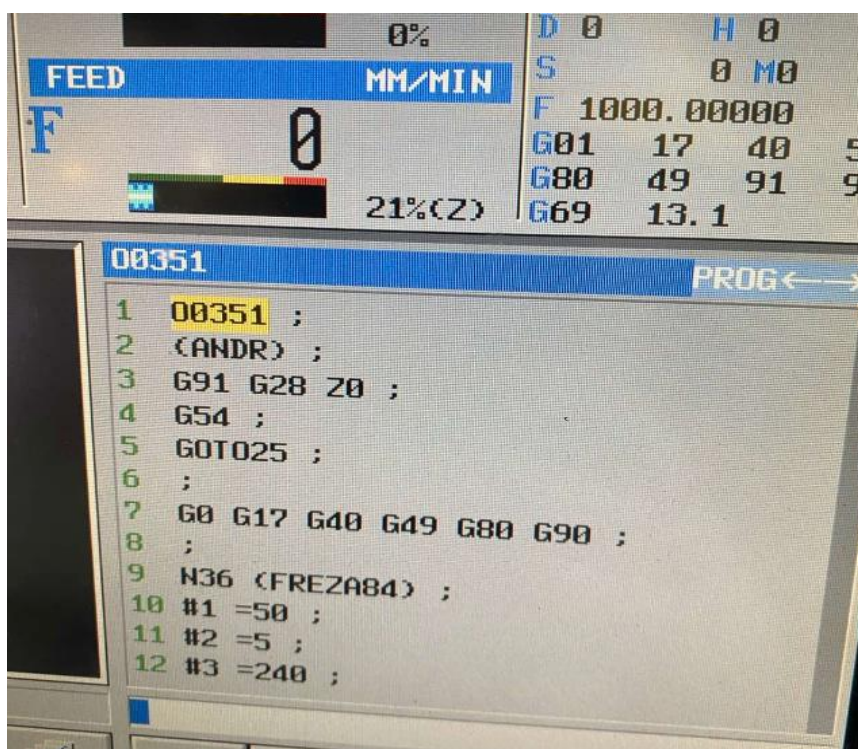
Tarkvara: Kontrollpaneeli funktsionaalsuse ja liidese parandamiseks tarkvara uuendamine või asendamine nõuab ka investeeringuid. See võib hõlmata litsentside ostmist ja võib-olla spetsiaalse tarkvara arendamist konkreetsetele nõuetele vastavaks.

Tööjõukulud: Kvalifitseeritud kontrollpaneeli moderniseerimise spetsialistide teenused võivad oluliselt suurendada projekti kogukulusid. Tööjõukulud sõltuvad moderniseerimise keerukusest, projekti kestusest ja piirkonnast, kus see toimub.

Tootmiskatkestused: Tuleb arvestada ka seadmete seisakust tulenevate kahjudega moderniseerimise ajal. Ajavahemik, mille jooksul kontrollpaneel pole töötamiseks kättesaadav, võib kaasa tuua kaotatud tulu.

## 1.1 Programmide koostamise probleem

Üks oluline probleem, millega Fanuc AI100 kontrollpaneeli operaatorid kokku puutuvad, on programmeerimisprotsess. Väike ekraan suurusega 12 rida (vaata Joonis 1.1.1) muudab seadmega suhtlemise keeruliseks ja vajalike muudatuste tegemise programmides keeruliseks.



Joonis 1.1.1 Koodi sisestamise väli on 12 rida.

Lisaks sellele, nõue sisestada G-koodi ja M-koodi käsitsi iga koordinaadi muutuse korral tekitab täiendavaid raskusi, eriti arvestades, et iga koodiviga võib põhjustada töökatkestusi või isegi masina kahjustusi (vt Joonis 1.1.2).



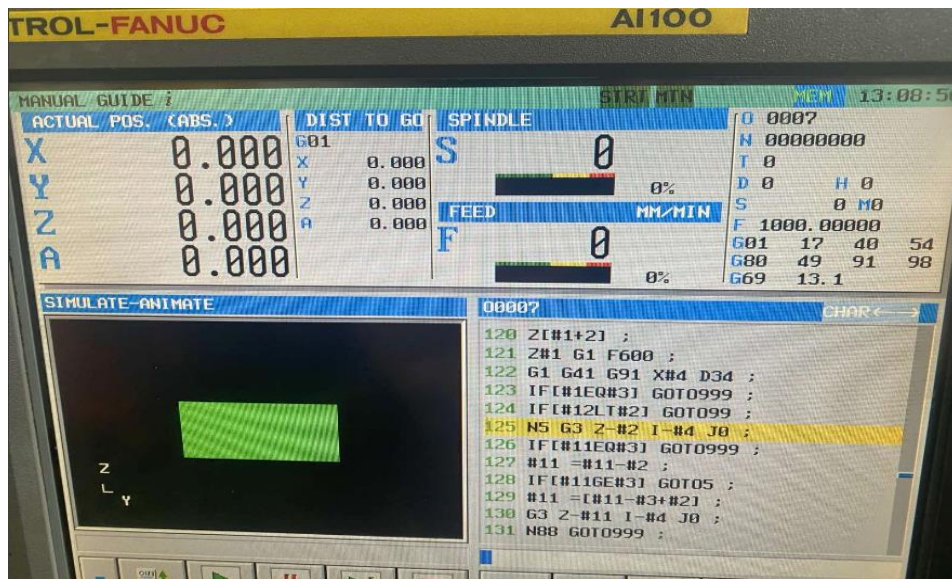
Joonis 1.1.2 Seadme kahjustamine programmi kirjutamise vea tõttu

See muudab seadme seadistamise protsessi eriti töömahukaks ja vigadele avatuks, kuna iga muudatus nõuab hoolikat ülevaatamist ja käsitsi korrigeerimist, mis mitte ainult ei võta oluliselt aega, vaid suurendab ka vigade riski inimteguri tõttu. Piiratud koodisestusruum halvendab olukorda, muutes koodi redigeerimise ja kontrollimise protsessi veelgi vähem mugavaks ja efektiivseks.

Kaasaegses tööstuskeskkonnas, kus aeg ja täpsus on edu võtmetegurid, võivad sellised puudused oluliselt vähendada tootlikkust ja suurendada käitamiskulusid. Sellega seoses võib Fanuc AI100 kontrollpaneeli programmeerimisliidese ja -funktsionaalsuse moderniseerimine olla mitte ainult paranemine, vaid ka vajalik samm tootmise konkurentsivõime tagamiseks.

## **1.2 Visualiseerimise ja simulatsiooni puudumise probleem**

Võimaluse puudumine visualiseerida ja simuleerida programme Fanuc AI100 kontrollpaneelil (vt Joonis 1.2) on oluline takistus, mis piirab tootmisprotsesside kiirust ja täpsust. See aspekt on kriitiline, arvestades, et visualiseerimine ja simulatsioon mängivad olulist rolli kaasaegsetes CNC-pinkide programmeerimisprotsessides, võimaldades võimalike programmeerimisvigade eelhinnangu ja korrigeerimise enne tegelikku teostust.



Joonis 1.2 Simuleerimisvõimaluste puudumine.

Nende funktsioonide puudumisel nõuab iga uue programmi või olemasoleva korrigeerimine füüsilist käivitamist seadmel, mis viib ebamõistliku ajakuluni ja suurendab vigade riski, mis võivad kaasa tuua kahjulikke tagajärgi, sealhulgas seadmete ja tooraine kahjustusi. Lisaks suurendab see protsess oluliselt operaatorite koormust, kuna see nõuab neilt suuremat tähelepanu ja kontsentratsiooni kogu testimise ja programmi korrigeerimise ajal.

### 1.3 Kontrollpaneeli väike mälumaht

Fanuc AI100 kontrollpaneeli piiratud mälu on oluline piirang, mis mõjutab tootmisprotsesside paindlikkust ja efektiivsust. See on eriti oluline tänapäeva tootmisoludes, kus on vajalik kiire kohanemine muutuvate tingimustega ning võime salvestada mitmeid erinevaid programme erinevate toodete töötlemiseks. Piiratud mälu sunnib operaatoreid sageli olemasolevaid programme ümber kirjutama, mis mitte ainult ei suurenda seadmete ettevalmistusaega, vaid suurendab ka oluliste andmete kaotamise riski.

## 2. PROBLEEMIDE LAHENDAMISE VÕIMALUSED

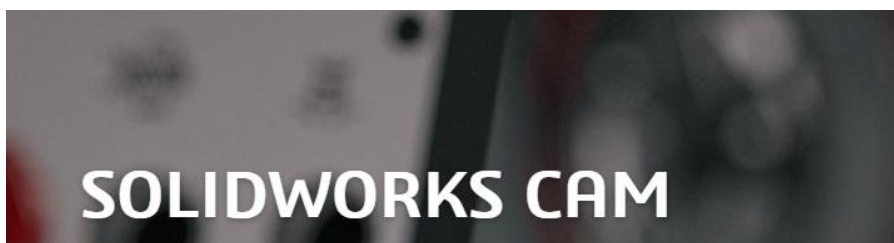
Kontrollpaneeli Fanuc AI100 piiratud funktsionaalsuse ja võimaluste probleemide lahendamiseks võib kaaluda mitmeid alternatiivseid lähenemisviise. Iga pakutud valik omab oma eeliseid ja puudusi ning optimaalse lahenduse valik sõltub konkreetsetest kasutustingimustest ja tootmisprotsessi nõuetest. **CAM-süsteemid**

Maailmas on palju erinevaid CAM-süsteeme (arvutiga toetatud tootmine), kuid kaks kõige levinumat ja laialdasemat kasutatavat on Mastercam [1](vt Joonis 2.1.1) ja SolidWorks CAM. [2](vt Joonis 2.1.2).

### **Mastercam 2024**

Joonis 2.1.1 Mastercam

Mastercam on võimas CAM-süsteem, mis on loodud CNC-töötlemiskeskuste programmide loomiseks ja haldamiseks. See pakub laia valikut tööriistu erinevate töötluste jaoks, sealhulgas freesimine, treimine, lõikamine jne. Mastercam võimaldab inseneridel ja tootjatel luua täpseid ja efektiivseid töötlemisprogramme detailide ja toodete valmistamiseks.



Joonis 2.1.2 SolidWorks cam

*SolidWorks* CAM - see on CAM-i integreeritud lahendus, mis on spetsiaalselt loodud *SolidWorks*'i kasutajatele. See pakub lihtsat ja intuitiivset kasutajaliidest, mis võimaldab luua töötlemisprogramme otse *SolidWorks*'i keskkonnas. See on mugav lahendus neile, kes juba töötavad *SolidWorks*-iga, kuna see võimaldab integreerida projekteerimise ja tootmise protsessi ühte keskkonda.

Kasutades CAM-süsteeme, nagu *Mastercam* või *SolidWorks CAM*, saab luua täpseid töötlemisprogramme CNC-seadmetele. Need süsteemid pakuvad mitmesuguseid töötlusvahendeid, sealhulgas freesimist, treimist, lõikamist ja muid toiminguid. Need tagavad inseneridele ja tootjatele intuitiivse kasutajaliidese, mis võimaldab tõhusalt luua töötlemisprogramme.

Ent CAM-süsteemide kasutamise maksumus võib olla üsna kõrge. See tuleneb tarkvara

litsentside ostmise ja uuenduste maksmise vajadusest. Lisaks nõuab CAM-süsteemide tõhusaks kasutamiseks töötajate koolitust, mis võib samuti kaasa tuua täiendavaid kulusid.

Meie ettevõtte jaoks on praegu CAM-süsteemide kasutuselevõtt üsna kallis investeering. Siiski mõistame, et need kulud võivad tasuda end ära tänu tootlikkuse suurenemisele, töötlemiskvaliteedi paranemisele ja töötlemisprogrammide väljatöötamise ja seadistamise aja vähenemisele.

## 2.2 FANUC (I seeria) kontrollpaneel

FANUC CNC [3] (vt Joonis 2.2) süsteemi peamised eelised:



Joonis 2.2 Fanuc i series

Täielikult digitaalne juhtimine: Servo plaadi juhtimine kõrge kiirusega optilise liidese FSSB abil:

- andmeedastuse kõrge kiirus
- laiad enesediagnostika võimalused
- juhtimine on tundetu häiretele.

Eriline riistvaraplatvorm: CNC-I on oma unikaalne riistvaraplatvorm ja operatsioonisüsteem, mis tagab kõrge usaldusväärsuse, stabiilse töö ilma "krahhideta" ja jäätumisteta, immuunsuse viirustele.

Täiustatud isediagnostika süsteem: Kogu diagnostiline teave on kättesaadav CNC liideses: pole vaja arvutit servomootoritega diagnostilistel eesmärkidel ühendada.

Graafilised programmeerimissüsteemid: Töötlemise programmeerimine on maksimaalselt lihtne ja arusaadav isegi operaatorile, kes ei ole G-koodidega tuttav.

Laiad viga kompenseerimise võimalused: Praktiliselt kõik mehaanilised seadmevead saab CNC funktsionaalsuse abil kompenseerida.

Kontrollpaneeli vahetamine CNC-staanil võib olla üsna kulukas ja keeruline nii ajalisel kui ka ressursside mõttes. See on seotud mitme teguriga:

Tehniline keerukus: Kontrollpaneeli vahetamine võib nõuda olulise osa seadmete lammutamist, mis võib olla töömahukas protsess. See hõlmab erinevate seadme komponentide demonteerimist ja monteerimist ning vastavaid kalibreerimisi ja seadistusi.

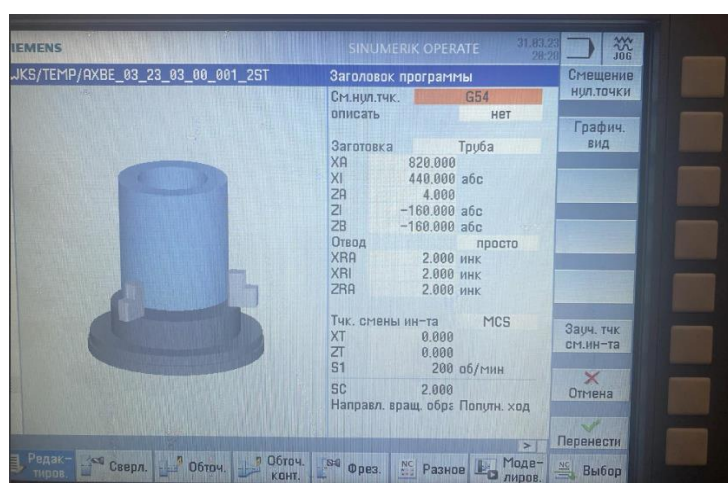
Varuosade ja seadmete kulud: Kontrollpaneeli vahetamine võib nõuda uute komponentide ja seadmete soetamist, mis suurendab samuti kulusid. Lisaks võivad varuosade ja seadmete enda kulud olla üsna kõrged, eriti kui tegemist on spetsialiseeritud osadega.

Tööjõukulud ja professionaalsed oskused: Kontrollpaneeli vahetamiseks on vaja kogenud spetsialiste, kellel on kogemusi CNC-seadmetega töötamisel. See võib nõuda täiendavaid tööjõukulusid ja töötajate koolitust.

Kokkuvõttes on kontrollpaneeli vahetamine CNC keeruline ja kulukas protsess, mis nõuab hoolikat planeerimist ja täitmist. Siiski võib mõnel juhul see olla vajalik seadme tootmisvõimaluste uuendamiseks ja parandamiseks.

## 2.3 Kontrollpaneel Siemens Sinumerik 828

Tehnoloogilise juhtimissüsteemi SINUMERIK 828 [4] (vt Joonis 2.3) tarkvaral on lai rakendusvaldkond, mis hõlmab vertikaalseid ja baashorisontaalseid töötlemiskeskusi, samuti vormistamiseks, pind- ja silindrilist lihvimist, kuni kahe kanaliga treipingikeskusteni vastupöörava spindli, juhitud tööriistade ja Y-teljega.



Joonis 2.3 Siemens Sinumerik 828

Tugev riistvara arhitektuur ja intelligentsete juhtimisalgoritmidega koos kõrgema klassi ajami- ja mootortehnoloogiaga tagavad kõrgeima dünaamilise reageerimise ja täpsuse töötlemisel. Samuti võib CNC kontrollpaneeli vahetamine olla üsna kulukas ja keeruline ajaliselt ning ressursimahukas protsess.

## 2.4 Kontrollpaneel Heidenhain TNC7

Kohandatav kasutajaliides TNC7 [5] (vt Joonis 2.4) toetab kasutajaid kõikides stsenaariumides, sealhulgas programmeerimisel, seadme seadistamisel ja detailide mõõtmisel.



Joonis 2.4 Heidenhain TNC7

Ekraani sisu on lihtne kohandada antud olukorrale, pakkudes täielikku teavet ja funktsionaalsust täpselt seal, kus neid vaja on. Eriti öörežiimi funktsioon lihtsustab tööd nõrgas valguses.

Tark programmeerimine

TNC7 täiendab tuttavat Klartext-programmeerimist nutikate funktsioonidega. Uus graafiline programmeerimisfunktsioon võimaldab kasutajal kontuure joonistada otse puutetundlikule ekraanile. Seejärel teisendab TNC7 saadud joonise Klartext-programmiks. Vanu Klartext-programme on samuti lihtne muuta.

Tuttav keskkond

TNC7-l kasutatakse endiselt tööelemente nagu TNC-klaviatuur, tagades suurepärase ergonoomika ka pikaajaliseks tööks. Vanu NC-programme saab edasi kasutada. Töö TNC7-ga muutub lihtsamaks tänu selle uute funktsioonide juhendamisele.

Ülesandekeskne tugi



TNC7 pakub intelligentseid lahendusi, sealhulgas laia valikut tsükleid, nutikaid sondimisfunktsioone ja graafilist juhendamist kinnitus- ja töödetailide 6D joondamiseks. Töödeldud detaili ja töötsooni täiuslik visualiseerimine lihtsustab teie tööpäeva, samuti mitmed uued funktsioonid ja töömeetodid.

Usaldusväärsed protsessid

TNC7-sse sisseehitatud uus protsessi jälgimise funktsioon tuvastab usaldusväärselt protsessi ebakorrapärasused ja tagab kõrge protsessi kvaliteedi. Kasutaja saab seda jälgimisvõimalust kohandada lihtsa Klartexti süntaksiga ja intuitiivse kasutajaliidesega.

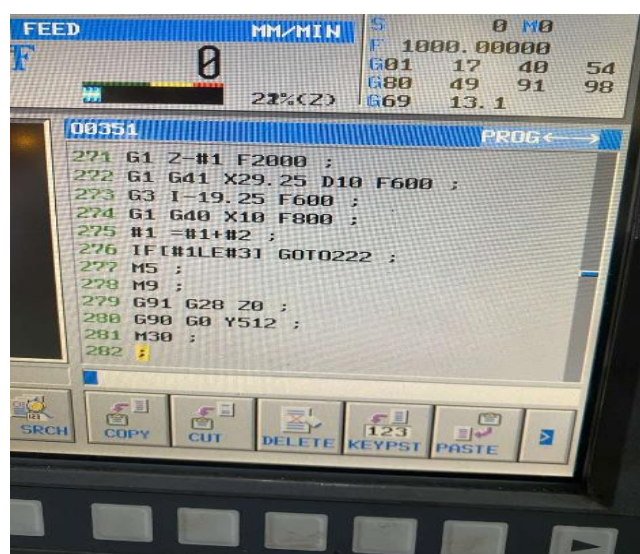
Ennetav kaitse

TNC7 komponentide jälgimise funktsioon võib kaitsta puksiirilaagrit ülekoormuse eest või avastada suurenenud komponendi kulumist ajami ahelas isegi töö ajal. See pakub ka väärtuslikku teavet ennetava hoolduse ja protsessi võimekuse hindamise kohta.

Samuti võib CNC kontrollpaneeli vahetamine olla üsna kulukas ja keeruline ajaliselt ning ressursimahukas protsess.

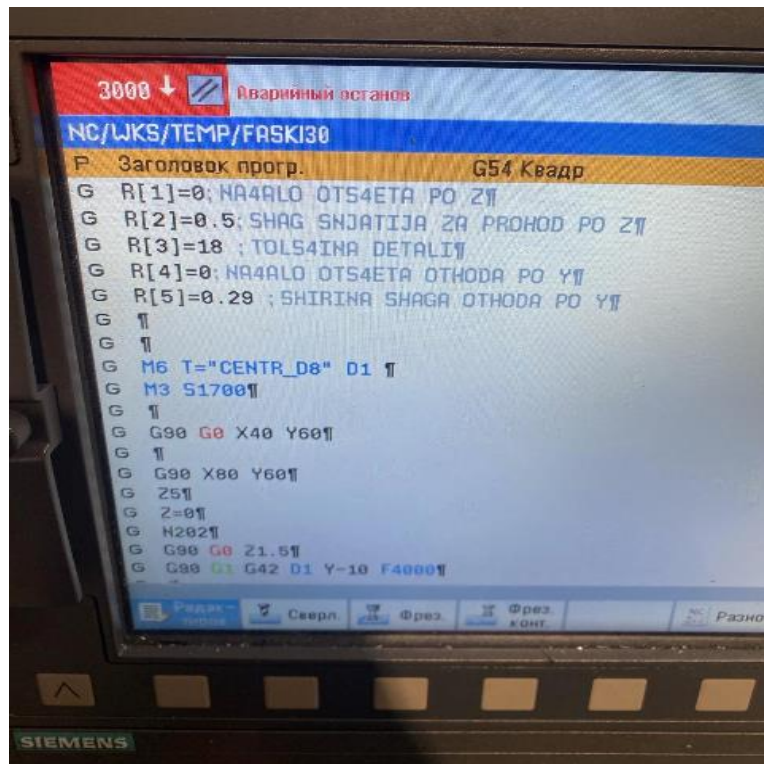
## 2.5 G-koodi ja M-koodi makroprogrammid

Kõigi kaalutletud võimaluste hulgast tundub makrode rakendamine kõige majanduslikult otstarbekam lahendusena, mis võimaldab oluliselt laiendada olemasoleva kontrollpaneeli võimalusi, ilma et oleks vaja teha suuri investeeringuid. See lahendus aitab vähendada eespool kirjeldatud probleeme, suurendades seadme kasutamise efektiivsust ja vähendades aega tootmistööde ettevalmistamiseks ja täitmiseks. Siin on näide makrokoodi osast kontrollpaneelil Fanuc AI100. (vt Joonis 2.5.1)



Joonis 2.5.1 Osa makrokoodist, kasutatud G-koodil ja M-koodil kontrollpaneelil Fanuc AI100

Samuti G-koodi makrokoode kontrolliti Siemens Sinumerik 828 juhtpuldil ja see täitis edukalt oma ülesande. (vt Joonis 2.5.2)



Joonis 2.5.2 Makro Siemens 828 kontrollpaneelil.

# 1 PROBLEEMIDE LAHENDAMINE MAKROPROGRAMMIDE ABIL

Vana seadme piirangute ületamiseks, nagu näiteks FANUC AI100 kontrollpaneel, on välja töötatud G-koodi makrosid kontuuride kordamiseks. Muutujate (vt Joonis 3.1) kaudu määratakse vajalikud parameetrid. Näiteks sageli kasutatavates standardsetes programmides on piisavalt järgmisi parameetreid: alguspunkt, sammusügavus, lõppsügavus, tööriista number, spindli pöörded ja töökiiruse sөөt.

```
(Muutujad)
#1=0;(Z-telje töötlemise algus)
#2=1;(Z-telje muutumise samm)
#3=90;(Z-telje lõplik koordinaat)
#4=9;(Tööriista number)
#5=2500;(Spindli pöörded)
#6=800;(Töökiirus)
```

Joonis 3.1 Muutujate määramine kontrollpaneelil Fanuc AI100.

Enne korduvat kontuuri pannakse märk ja pärast seda - tingimus. Seega saame muutujate kaudu määrata kontuuri korduste arvu ja selle muutused kordamise protsessis. (vt Joonis 3.2).

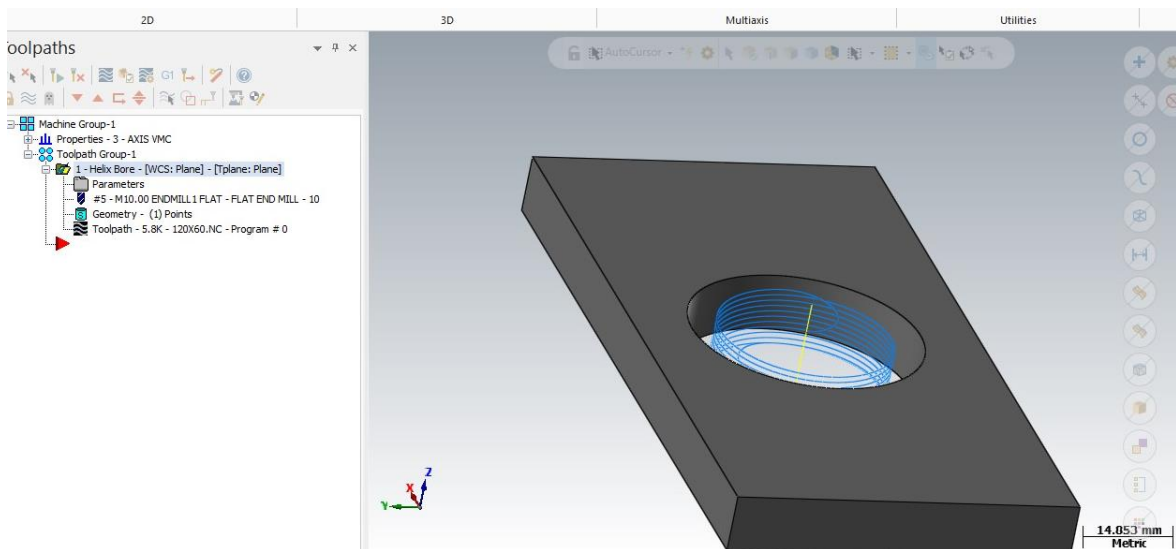
```
!20;(makro kordamise märk)
G1 Z-#1 F2000;(liikumine Z-telje koordinaadile, mille on määranud muutuja, koos söötmisega 2000)
G41 X0 D#4 F#6;(diameetri korrektori sisselülitamine "detail paremal" lähenedes operaatööri poolt määratud koordinaadile)
Y150;(liikumine söötmisega määratud koordinaadile)
X100;(liikumine söötmisega määratud koordinaadile)
Y0;(liikumine söötmisega määratud koordinaadile)
X0;(liikumine söötmisega määratud koordinaadile)
G40 X-50 F2000;(diameetri korrektori väljalülitamine liikudes operaatööri poolt määratud koordinaadile)
#1=#1+#2;(muutujale #1 omistatakse väärtus)
IF[#1LE#3] GOTO20;(tingimus: kui muutuja #1 on väiksem või võrdne muutujaga #3, mine märgile 20)
```

Joonis 3.2 Makro G-koodi

Makroprogrammid on väga kohandatavad ja neid saab kergesti kohandada vastavalt ettevõtte konkreetsetele vajadustele ja nõuetele. See teeb neist ideaalse lahenduse vananenud kontrollpaneeli piirangute ületamiseks.

## 3.1 Mälu mahtude võrdlemine

Mälu mahtude võrdlemiseks kirjutati mitu programmi, kasutades makrosid ja ilma nendeta. Esimene programm sisaldas liikumist sisemise läbimõõdu järgi koos sukeldumisega (vt Joonis 3.1.1).



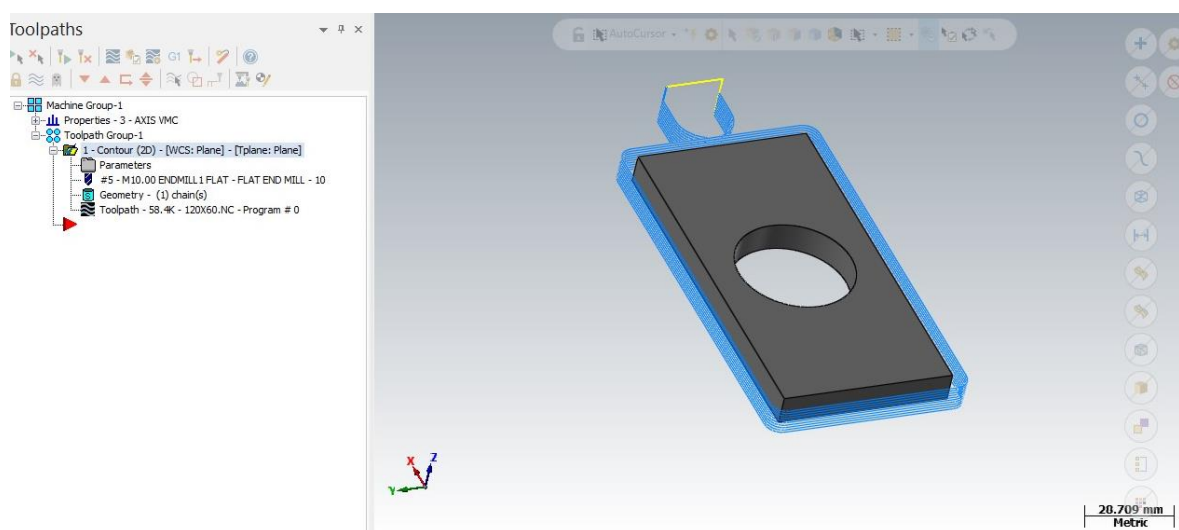
Joonis 3.1.1. Diameetri suunaline liikumine koos sukeldumisega.

Joonisel (vt Joonis 3.1.2) on näha erinevust 120x60 programm on kasutatud makroskoodiga, 120x60-2 ilma makroskoodita. 10 kordust läbimist diameetri suunaliselt sukeldumisega.

 120X60-2	Тип: Файл "NC"	Размер: 3,48 КБ
 120X60	Тип: Файл "NC"	Размер: 709 байт

Joonis 3.1.2. D40-1 Programm on kasutatud makroskoodiga, D40-2 ilma makroskoodita. 10 kordust liikumisel diameetri suunas sukeldumisega.

Teine liikumine perimeetri ümber koos sukeldumisega (vt Joonis 3.1.3). Programmi täitmise ajal liigub spindel määratud kontuuri mööda, lahkub kontuurist, sukeldub läbi muutuva määratud sügavuse ja kordab kontuuri.



Joonis 3.1.3. Liikumine perimeetri ümber koos sukeldumisega.

Teises näites on erinevus samuti üsna märgatav. Ilma makrosita kasutatud programm on peaaegu 3 korda suurem kui sama programm, mis on kasutatud makrosiga. (vt Joonis 3.1.4)

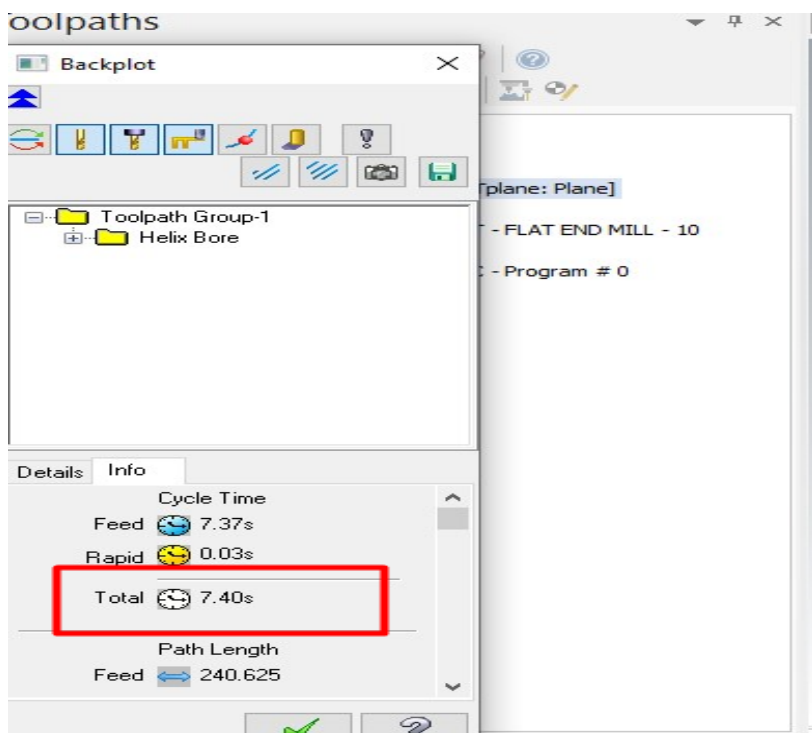


Joonis 3.1.4. 120x60-1 on kasutatud makro abil, 120x60-2 ilma makrota. 10 kordust ruudukujulise perimeetri mööda liikumist.

Tulemused näitasid, et makroprogrammid vajavad märkimisväärselt vähem mälu kui sarnased programmid ilma makrota. See tuleneb sellest, et makroprogrammides on ressursse tõhusamalt kasutatud ja kood on optimeeritud. Seega võimaldab makrode kasutamine säästa mälu ja tagada ettevõtte ressursside tõhusama kasutamise.

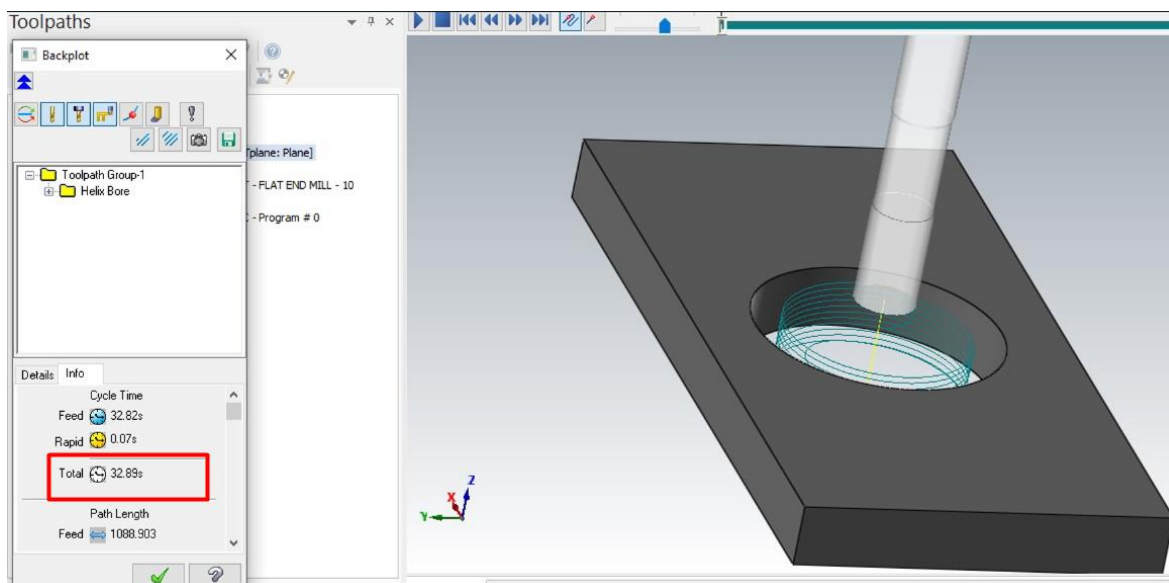
## 3.2 Ajakulu võrdlus

Ajakulu võrdlemiseks, kuna FANUC AI100 kontrollpaneelil puudub simuleerimisvõimalus, tuli programmide testimiseks teostada detaili ülekatsetused, mis võttis palju aega. Illustratsioonidel kuvatakse, kui palju aega kulus sama detaili testimisprogrammi läbiviimiseks makro kasutamisel ja selle kasutamisel. Liikumine sisemise läbimõõdu järgi, spiraaliga sukeldumine 10 mm sügavusele makroprogrammi kasutades võttis umbes 7,4 sekundit. (vt Joonis 3.2.1)



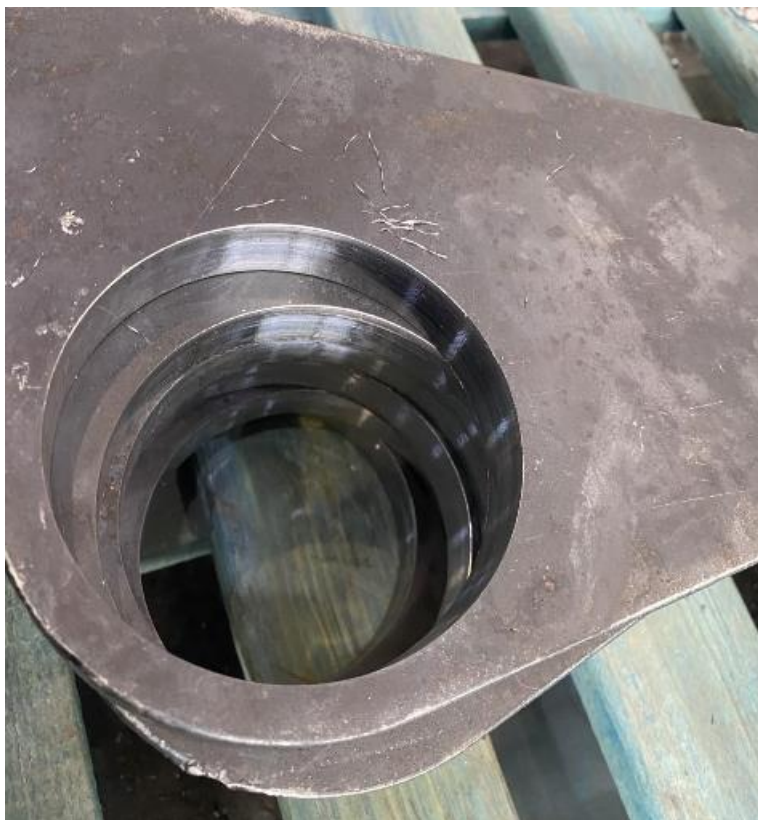
Joonis 3.2.1 Spiraaliga sukeldumine makro kasutamisel.

Kuna ilma makroprogrammita tuleb vältida vigu, tuleb programmi täielikult läbi viia, seega testprogrammi käitamine spiraali sukeldumiseks sisemise läbimõõdu järgi 10 mm sügavusele võttis umbes kolm korda rohkem aega. (vt Joonis 3.2.2)



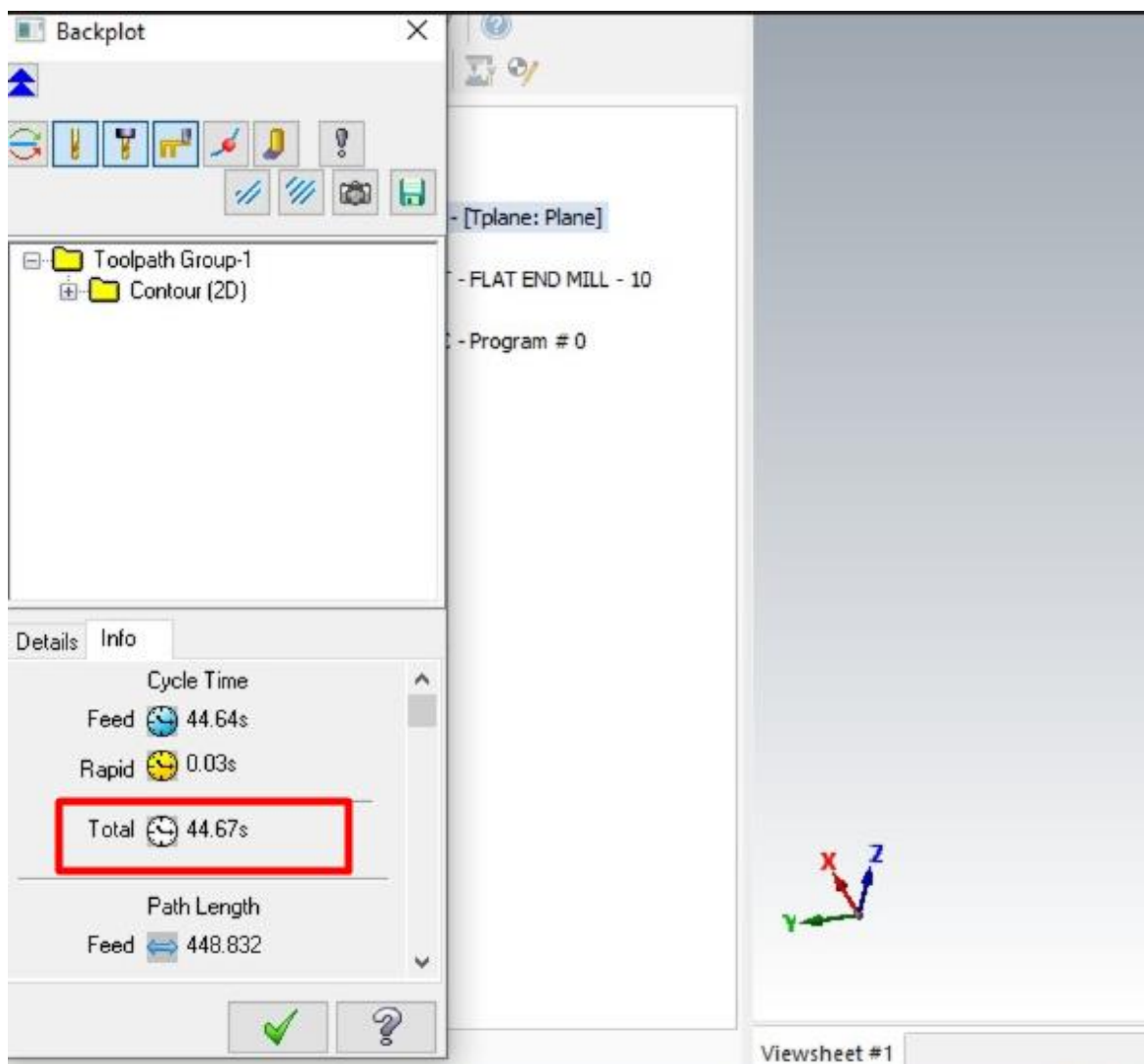
Joonis 3.2.2 Spiraaliga sukeldumine ilma makrota.

Võite näha valmistatud detaili näidet, mis on loodud makroprogrammi abil. (vt Joonis 3.2.3)



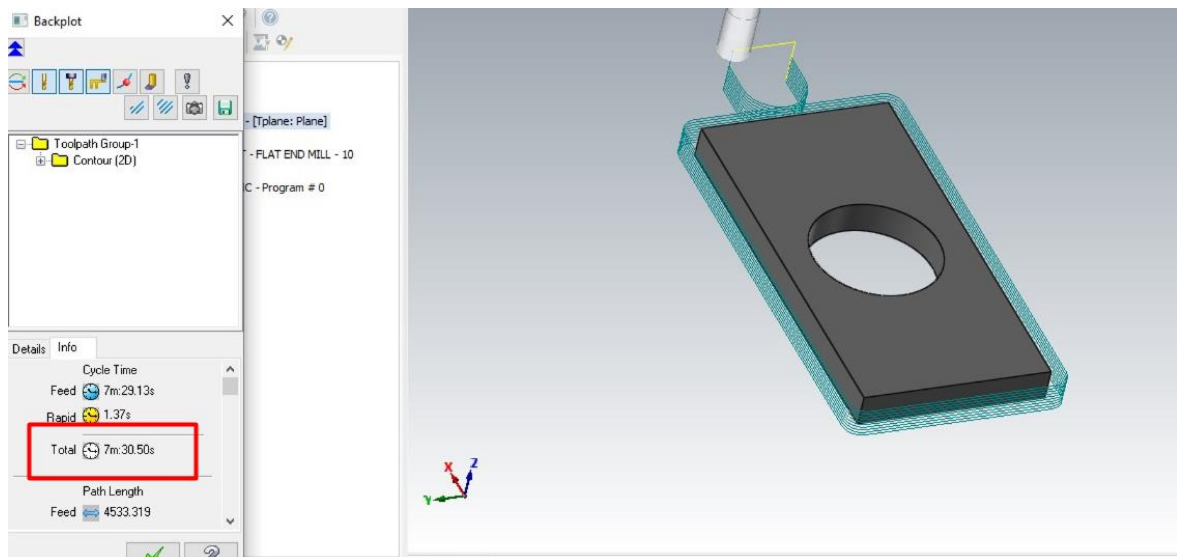
Joonis 3.2.3 Valmis detail, mis on tehtud G-koodiga kasutatud makroprogrammiga.

Samuti vaatleme makro abil kasutatud ja ilma makrota perimeetri liikumise programmi. Makroprogrammi testjooks võttis umbes 44 sekundit. (vt Joonis 3.2.4)



Joonis 3.2.4 Makro abil kasutatud ristküliku ümbermõõt.

Programmi testjooks, mis on kasutatud ilma makrota, võttis umbes 7 minutit ja 30 sekundit, mis on oluliselt rohkem kui makro abil kasutatud programm. (vt Joonis 3.2.5)



Joonis 3.2.5 Ristküliku ümbermõõt ilma makrota.

Võite näha valmistatud detaili näidet, mis on loodud makroprogrammi abil. (vt Joonis 3.2.6)



Joonis 3.3.3 Valminud detail, mis on loodud makroprogrammi abil.



## KOKKUVÕTE

Läbiviidud uuringu käigus selgus, et probleemid, mis on seotud vananenud seadmete piirangutega, nagu näiteks Fanuc AI100 kontrollpaneel, võivad oluliselt takistada tootmisprotsesse ja vähendada ettevõtte efektiivsust. Siiski õnnestus makroprogrammeerimise ja arendustööde abil neid piiranguid ületada ning muuta töötlemisprotsessi efektiivsemaks ja paindlikumaks.

Operaatoreid vaevanud peamised probleemid Fanuc AI100 kontrollpaneeliga töötamisel hõlmasid piiratud funktsionaalsust, programmeerimiskursi ja võimetuse puudumist programme visualiseerida ja simuleerida. Nende probleemide lahendamiseks kaaluti mitmeid lähenemisviise, sealhulgas CAM-süsteemide kasutamist, kuid otsustati makroprogrammeerimise kasuks.

Makroprogrammeerimise abil loodi kohandatavad ja paindlikud lahendused, mis olid kohandatud konkreetsetele ettevõtte vajadustele ja nõuetele. See võimaldas märkimisväärselt vähendada programmeerimisele kuluvat aega ja vähendada vajalikku mälumahtu nende salvestamiseks. See omakorda suurendas tootlikkust ja tootmisprotsesside efektiivsust.

Tuleb rõhutada, et tarkvara tasemel programmeerimise abil probleemide lahendamine võimaldas saavutada märkimisväärsed tulemusi ilma vanaaegse seadme asendamise või suurte struktuurimuudatuste tegemiseta. See kinnitab kaasaegsete tehnoloogiate ja lähenemisviiside tõhusust tööstustootmises.

Lisaks võimaldas selle lõputöö täitmine mul omandada väärtuslikku kogemust CNC-tööpinkide programmeerimise ja makroprogrammide arendamise valdkonnas. See kogemus mitte ainult ei laiendanud minu teadmisi ja oskusi, vaid valmistas mind ette keerukate ülesannete lahendamiseks automatiseerimise ja tootmisprotsesside optimeerimise valdkonnas.

Üldiselt näitavad töö tulemused, et programmeerimise ja makroprogrammide arendamise kasutamine on efektiivne viis Fanuc AI100 kontrollpaneeliga töötavate pinkide töö optimeerimiseks ja ettevõtte konkurentsivõime suurendamiseks.

## **SUMMARY**

As part of the diploma project "Optimizing the Fanuc AI100 CNC Control Panel Using Macro Programs" by Andrey Sakharuk, it was found that issues associated with the limitations of outdated equipment, such as the Fanuc AI100 control panel, can significantly hinder manufacturing processes and reduce the efficiency of the enterprise. However, thanks to the utilization of programming and the development of macro programs, it was possible to overcome these limitations and make the processing process more efficient and flexible.

The main problems encountered by operators when working with the Fanuc AI100 control panel included limited functionality, programming complexities, and the lack of program visualization and simulation capabilities. Various approaches were considered to address these issues, including the use of CAM systems, but the choice was made in favor of macro program development.

Programming with the use of macro programs allowed for the creation of adaptive and flexible solutions tailored to the specific needs and requirements of the enterprise. This significantly reduced the time required for program writing and decreased the memory volume needed for storage, thus enhancing the productivity and efficiency of manufacturing processes.

It is important to note that addressing issues through software-level programming enabled significant results to be achieved without the need to replace outdated equipment or make major structural changes. This confirms the effectiveness of using modern technologies and approaches in industrial manufacturing.

Furthermore, the completion of this diploma project provided valuable experience in the field of CNC machine programming and macro program development. This experience not only expanded my knowledge and skills but also prepared me to tackle complex tasks in the automation and optimization of manufacturing processes.

Overall, the results of the author's research indicate that the use of programming and macro program development is an effective way to optimize the operation of machines on the Fanuc AI100 control panel and enhance the competitiveness of the enterprise.

## **KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU**

1. MasterCAM [Online]

<https://www.mastercam.com/solutions/products/>

(24.04.2024)

2. SolidWorks CAM [Online]

<https://www.solidworks.com/ru/product/solidworks-cam>

(25.04.2024)

3. FANUC I seria [Online]

[https://www.fanuc.co.jp/en/product/cnc/fs\\_30i-bplus.html](https://www.fanuc.co.jp/en/product/cnc/fs_30i-bplus.html)

(24.04.2024)

4. Siemens Sinumerik 828 [Online]

<https://www.siemens.com/global/en/products/automation/systems/cnc-sinumerik.html>

(10.05.2024)

5. Heidenhain TNC7 [Online]

<https://www.heidenhain.com/products/cnc-controls/tnc7>

(10.05.2024)

# LISA 1 KONTOURI ÜBERMÕÖDU TÄIELIK PROGRAMM, MIS ON KASUTATUD G-KOODI MAKRO ABIL

```
Kontuuri übermõõd:  
(Turvapea:)  
G91 G28 Z0; (tööriista tagasitõmbamine masina nullpunkti mööda Z-telge)  
G90 G80 G40;(koordinaatsüsteemi lülitamine absoluutsele, puurtsüklite väljalülitamine, korrigeerijate väljalülitamine)  
G54;(valitud operaatori poolt koordinaatsüsteemi lülitamine)  
  
(Muutujad)  
#1=0;(Z-telje algus)  
#2=1;(Z-telje muutuse samm)  
#3=90;(Z-telje lõppkoordinaat)  
#4=9;(tööriista number)  
#5=2500;(spindli pöörded)  
#6=800;(töövoolukiirus)  
  
(Töökoodeks)  
M6 T#4;(määratud tööriista kutsumine muutuja kaudu)  
G0 X-50 Y-50;(tööriista kiire liikumine operaatori poolt määratud koordinaatidele)  
M3 S#5;(spindli pöörete sisselülitamine muutujaga määratud kiirusega, päripäeva)  
G43 Z50 H#4(tööriista pikkuse korrigeerija sisselülitamine operaatori poolt määratud koordinaadis)  
M8;(jahutusvedeliku sisselülitamine)  
N20;(makro kordamise märk)  
G1 Z-#1 F2000;(liikumine muutuja kaudu määratud Z-koordinaadi juurde töökiirusega 2000)  
G41 X0 D#4 F#6;(tööriista diameetri korrigeerija sisselülitamine "detail paremal" operaatori määratud koordinaadile lähenedes)  
Y150;(töövoolukiirusel liikumine operaatori määratud koordinaati)  
X100;(töövoolukiirusel liikumine operaatori määratud koordinaati)  
Y0;(töövoolukiirusel liikumine operaatori määratud koordinaati)  
X0;(töövoolukiirusel liikumine operaatori määratud koordinaati)  
G40 X-50 F2000;(tööriista diameetri korrigeerija väljalülitamine operaatori määratud koordinaadile liikudes)  
#1=#1+#2;(muutuja #1 omistamine)  
IF[#1LE#3] GOT020;(tingimus, kui muutuja #1 on väiksem või võrdne muutujaga #3, mine märgile 20)  
  
(lõplik läbimine, kui tingimus on täidetud)  
G41 X0 D#4 F#6;(tööriista diameetri korrigeerija sisselülitamine "detail paremal" operaatori määratud koordinaadile lähenedes)  
Y150;(töövoolukiirusel liikumine operaatori määratud koordinaati)  
X100;(töövoolukiirusel liikumine operaatori määratud koordinaati)  
Y0;(töövoolukiirusel liikumine operaatori määratud koordinaati)  
X0;(töövoolukiirusel liikumine operaatori määratud koordinaati)  
G40 X-50 F2000;(tööriista diameetri korrigeerija väljalülitamine operaatori määratud koordinaadile liikudes)  
  
G0 Z50;(tööriista kiire liikumine operaatori poolt määratud koordinaatidele)  
M5;(spindli pöörete väljalülitamine)  
M9;(jahutusvedeliku väljalülitamine)  
G91 G0 G28 Z0;(tööriista tagasitõmbamine masina nullpunkti mööda Z-telge)  
G28 X0 Y0;(tööriista tagasitõmbamine masina nullpunkti mööda X- ja Y-telge)  
M30;(programmi lõpp)
```

## LISA 2 TÄIELIK PROGRAMM SISENEMISEKS SISEMISELE LÄBIMÕÕDULE KOOS SUKELDUMISEGA, KASUTATUD G-KOODI MAKRO ABIL

Freesimine spiraali järgi, millel on määratud läbimõõt:

(Turvapea:)

G91 G28 Z0; (Tööriista liigutamine masina nullpunkti mööda Z-telge)

G90 G80 G40; (Koordinaatsüsteemi lülitamine absoluutseks, puurtsüklite ja korrigeerijate väljalülitamine)

G54; (Valitud operaatori poolt koordinaatsüsteemi)

(Muutujad)

#1=0; (Z-telje algus)

#2=1; (Z-telje sammu muutus)

#3=90; (Z-telje lõpp)

#4=9; (Tööriista number)

#5=2500; (Spindli pöörded)

#6=800; (Töökiirus)

#7=20; (Ringjoone raadius)

(Töökoodeks)

M6 T#4; (Valitud tööriista kutsumine muutuja kaudu)

G0 X0 Y0; (Tööriista kiire liigutamine operaatori määratud koordinaatidele)

M3 S#5; (Spindli pöörete sisselülitamine muutuja määratud kiirusega, päripäeva)

G43 Z50 H#4; (Tööriista pikkuse korrigeerija sisselülitamine operaatori määratud koordinaadis)

M8; (Jahutusvedeliku sisselülitamine)

G1 Z#1 F2000; (Liikumine muutuja määratud Z-koordinaadi juurde töökiirusega 2000)

G41 X#7 D#4 F#6; (Tööriista diameetri korrigeerija sisselülitamine operaatori määratud koordinaatidele)

N20; (Makro kordamise märk)

G3 i-#7 Z-#1 R#7; (Ringikujuline interpoleerimine vastupäeva koos Z-koordinaadi muutumisega, sammuga täisringi läbimiseks, määratud muutuja "raadiuse" järgi)

#1=#1+#2; (Muutuja #1 omistatakse väärtus)

IF[#1LE#3] GOTO20; (Kui muutuja #1 on väiksem või võrdne muutujaga #3, mine märgile 20)

G40 X-#7 F2000; (Tööriista diameetri korrigeerija väljalülitamine liikumisel operaatori määratud koordinaatidesse)

G0 Z50; (Tööriista kiire liigutamine operaatori määratud koordinaatidele)

M5; (Spindli pöörete väljalülitamine)

M9; (Jahutusvedeliku väljalülitamine)

G91 G0 G28 Z0; (Tööriista liigutamine masina nullpunkti mööda Z-telge)

G28 X0 Y0; (Tööriista liigutamine masina nullpunkti mööda X- ja Y-telge)

M30; (Programmi lõpp)