

Työstökoneen paikoitusjärjestelmän moderni- sointi

LAB-ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

2023

Turo Mähönen

Tiivistelmä

Tekijä(t) Mähönen Turo	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Valmistumisaika 2023
	Sivumäärä 44	
Työn nimi Työstökoneen paikoitusjärjestelmän modernisointi		
Tutkinto ja koulutusala Insinööri (AMK), konetekniikan koulutus		
Toimeksiantajaorganisaatio Padasjoen Metalli Oy		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyössä tarkasteltiin Padasjoen Metalli Oy:n toimeksiannosta Skoda W 160 H -aarpuraa. Työn aiheena oli tutkia, että mitä eri vaihtoehtoja laitevalmistajilla on X-akselin paikanmittauksen ja ohjausjärjestelmän päivitykseen.</p> <p>Tietoa modernisaatioon kerättiin laitevalmistajien internetsivustolta, sekä yhdisteltiin työelämässä ja koulussa opittuja asioita. Saatua tietoa analysoitiin, sekä pohdittiin mahdollisia ongelmia ja haasteita modernisoinnin aikana. Työssä huomioitiin koneturvallisuusstandardien ohjeistukset modernisoinnissa.</p> <p>Työn tuloksena saatiin kolme eri vaihtoehtoa ohjausjärjestelmän päivitykseen ja kolme mittalaitteivaihtoehtoa, jotka sopivat modernisoitavaan koneeseen. Laitevalmistajien tuotetietojen pohjalta luotiin käyttöönottosuunnitelma sopivimmalle vaihtoehdolle.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksia voidaan käyttää työelämässä vastaavanlaisten koneiden modernisaatiossa. Työn aikana hyödynnettiin opittuja asioita logiikoista, sähkökaavioista ja konepiirustuksesta.</p>		
Asiasanat Mittausjärjestelmät, Siemens, Heidenhain, Modernisaatio.		

Abstract

Author(s) Turo Mähönen	Type of Publication Thesis, UAS	Published 2023
	Number of Pages 44	
Title of Publication Machine tool positioning system modernization		
Degree, Field of Study Engineer (UAS), Mechanical Engineering		
Organisation of the client Padasjoen Metalli Oy		
Abstract <p>The aim of this thesis was to investigate the company's horizontal milling machine. During the thesis, the equipment manufacturers option for the modernization of the control system and X-axis positioning system were studied.</p> <p>Information on alternatives solutions were collected from device manufacturers, and learned things in working life and school were combined. The collected information was analyzed and potential problems and challenges during modernization were considered. During the thesis the instructions of the machine safety standards have been considered.</p> <p>The work resulted in three different control system update options and three measuring device options suitable for the machine. Based on the device manufacturers' product information, an installation plan was prepared for the most suitable option.</p> <p>The results of the thesis can be used in the modernization of similar machines in working life. During the thesis things already learned about logic, electrical diagrams, and machine drawings were refreshed.</p>		
Keywords Measurement system, Siemens, Heidenhain, Modernization		

Sisällysluettelo

1	Johdanto.....	1
2	Yrityksen esittely.....	2
3	Standardit	4
3.1	Koneturvallisuusstandardit.....	4
3.2	NC-ohjausstandardit	4
4	Koneistus.....	6
5	Skoda W 160 H.....	9
5.1	Vaakakarainen porauskone	9
5.2	Ohjausjärjestelmä	10
5.3	Mittausjärjestelmä.....	11
5.4	Ongelmakohdat	13
6	Mittausjärjestelmät.....	16
6.1	Heidenhain POSTIP 8016.....	16
6.2	Heidenhain TNC 128	21
6.3	Siemens	24
6.4	Mittasauvat	29
6.4.1	TGM190 mittasauva	32
6.4.2	Heidenhain mittasauva	32
7	Käyttöönottosuunnitelma	34
7.1	Heidenhain POSTIP 8016.....	34
7.2	TGM190	36
8	Yhteenveto ja pohdinta	39
	Lähteet	42
	Liitteet.....	45

Liite 1. Siemens SIPLUS S7-1500 CPU 1518F-4 PN/DP

Liite 2. Siemens CPU 1511F-1PN, 225KB prog, 1MB data

Sanasto

CPU - Central Processing Unit (tietokoneen prosessori)

DS-signaali - kanttiaaltosignaali (EnDat)

Fourier - matematiikan jatkuva integraalimuunnos

G-koodi - standardoitu NC-koodin kirjoitustapa

HMI - Human Machine Interface (koneen ohjauspääte käyttäjälle)

Interpolaatio - numeerisen matematiikan laskumenetelmä

MDI - Manual Data Input (käsin syötetty ohjelma, tai käsky)

NC-ohjaus - Numerical Control (numeerinen ohjaus, symboliohjaus)

PLC - Programmable Logic Controller (ohjelmoitava logiikka/tietokone)

Profinet - standardoitu tiedonsiirtojärjestelmä (yleensä teollisuus)

R-koodi - standardoitu NC-koodin kirjoitustapa ympyränkaarille

SI-signaali - siniaaltosignaali (1 Vpp)

SV-signaali - sinimuotoinsignaali (μApp)

1 Johdanto

Opinnäytetyö on tehty yhteistyössä Padasjoella toimivan Padasjoen Metalli Oy:n kanssa. Yritys tuottaa ja toimittaa laitteistokokonaisuuksia ja niiden osia kotimaassa toimiville sahalaittevalmistajille. Yrityksellä on tuotantotilojen lisäksi kokoonpanotilat Lahdessa. Padasjoen Metalli Oy:n liikevaihto oli vuonna 2021 4,1 miljoonaa euroa ja siellä työskentelee 26 henkilöä (Finder 2023).

Opinnäytetyön tarkoituksena on tutustua tuotannossa käytettävän vaakakaraisen porauskoneen alkuperäiseen mittaus- ja ohjausjärjestelmään. Työn aikana selvitetään laitevalmistajien tarjoamia vaihtoehtoja paikanmittausjärjestelmän nykyaikaistamiseen. Työssä tutkitaan niiden soveltuvuutta modernisointiin ja selvitetään niiden liitettävyyden olemassa olevan järjestelmään. Vanha paikanmittaus- ja ohjausjärjestelmä ei vastaa enää tuotannon tarpeita ja sen varaosasaatavuus on heikentynyt.

Tutkitun materiaalin perusteella tarjolla olevat ohjausjärjestelmät ja mittauslaitteet pisteytetään hinnan, saatavuuden, tunnettavuuden, käytettävyyden ja liitettävyyden mukaan asteikolla 1 - 5. Negatiivisesti saatavuuteen ja hintaan vaikuttaa laitetoimittajien mukaan koronan aikaiset viivästykset komponenttituotannossa.

Opinnäytetyön käyttöönottosuunnitelmassa kerättiin yhteen pisteytyksen perusteella valitun ohjaus- ja mittalaittejärjestelmän keskeiset asennustiedot laitteiston käyttöönottamiseksi. Koneen mukana toimitettuja sähkökaavioita tutkittiin ohjausjärjestelmän liittämiseksi koneen nykyiseen sähkökeskukseen. Ohjekirjan mukaan sähkökeskuksessa on valmiina automaatiovaraus laitteen ohjauksen muuttamiseksi numeerisesti ohjatuksi.

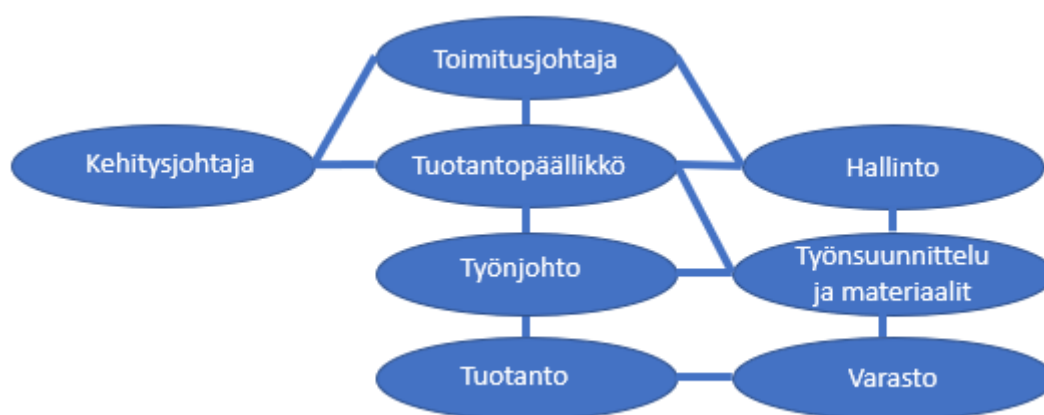
2 Yrityksen esittely

Padasjoen Metalli Oy on vuonna 1972 perustettu tilauskonepaja, jonka tuotantotilat sijaitsevat Padasjoella Taulun teollisuusalueella. Yrityksellä on kokoonpanotilat Lahdessa Kukonkosken teollisuusalueella. Yrityksen toimialaan kuuluu tilausvalmistus asiakkaan mit-tapiirustusten mukaan ja alihankinta. (Padasjoen Metalli Oy. a.)

Yrityksen referenssilistalla on useita laitesuunnittelijoita puun jatkojalostukseen keskittyen. Padasjoen Metallin tuottamia kokonaisuuksia käytetään saha- ja vaneriteollisuudessa puun pilkkomiseen, seulomiseen ja sahaukseen. Lisäksi yritys tuottaa varaosia tekemiinsä lait-teistokokonaisuuksiin. (Padasjoen Metalli Oy. b.)

Yrityksen liikevaihto vuonna 2021 oli 4,1 miljoonaa euroa. Liikevoittoa yritys teki 10,3 % liikevaihdosta, joka on 338 000 euroa. Liikevaihto on ollut tasaista neljän vuoden vertailu-jaksolla. Yritystietojen mukaan yrityksessä työskentelee 26 henkilöä ja toimitusjohtaja on Juhani August Niemi. (Finder 2023.)

Yrityksen organisaatorakenne (kuva 1) on osakeyhtiöjärjestyksen mukainen ja yhtiön ylintä päätäntävaltaa käyttää yhtiön toimitusjohtaja. Toimitusjohtaja määrittelee yrityksen strate-giset tavoitteet ja ohjaa, sekä valvoo niiden toteutumista strategiakauden aikana. Tuotanto-päällikkö vastaa konepajatoiminnan päivittäisestä henkilöjohtamisesta ja tuotannon toimin-tavarmuuden seuraamisesta, sekä vastaa tuotettavien komponenttien materiaalien hankin-nasta.



Kuva 1. Organisaatorakenne (Kuva: Turo Mähönen)

Kehitysjohtaja toimii tiiviissä yhteistyössä asiakkaiden, toimitusjohtajan ja työnjohdon kanssa kehittääkseen tuotantomenetelmiä, ja seuratakseen asiakkaalle menevää materiaalilaatua. Työnjohto vastaa osaltaan tuotannon päivittäisistä tarpeista ja ohjaa, sekä opastaa tuotantohenkilökuntaa ongelmatilanteissa.

Yrityksen konekanta koostuu metallintyöstöön tarkoitetuista koneistuslaitteista ja jälkikäsitelylinjoista. Kappaleiden työnaikaiseen kääntelemistä ja liikuttamista varten tuotantotiloihin on asennettu viisi siltanosturia. Raskaaseen metallintyöstöön on kaksi vaakakaraista jyrsin-keskusta pyörityspöytineen. Pienempien ja kevyempien kappaleiden työstöön on useita CNC-työstökeskuksia, sekä manuaalityöstökoneita. Kappaleiden hitsaukset suoritetaan eri työpisteillä, josta hitsatut kappaleet menevät teräsraekuulapuhalluslinjan läpi maalauslinjalle, ja siitä edelleen kokoonpanopisteelle kasattavaksi.

3 Standardit

3.1 Koneturvallisuusstandardit

Koneturvallisuusstandardit ovat ohjeita ja ohjeistavia, sekä enemmän kantaa ottavia, kuin käskyjä ja määräyksiä. Osassa standardeista on viittaus voimassa olevaan lainsäädäntöön, jolloin standardin noudattaminen on pakollista. Standardien tarkoituksena on yhtenäistää koneiden turvallisuus- ja toimintavaatimukset laitevalmistajille. Tällä varmistetaan laitteiden turvallinen käyttö loppukäyttäjällä. Loppukäyttäjä on yleensä ihminen, ellei laite ei mene suljettuun toimintaympäristöön jonkin automaattioratkaisun osa-alueeksi.

Koneturvallisuus standardien hierarkia on kolmeportainen. Tyypin A standardi luettelee koneenrakennuksen turvallisuusperusteet, suunnittelun periaatteet ja kaikki muut yleiset näkökohdat, joita voidaan soveltaa jokaiseen koneeseen ja laitteeseen. B-tyypin ryhmästandardi ottaa kantaa turvallisuuteen. Standardilla on kaksi alatyyppeä, B1 ja B2. Standardeista B1 käsittelee esimerkiksi koneen melua, sallittavia pintalämpötiloja ja turvaetäisyyksiä. B2 standardi sisältää ohjeet koneen turvallisuuteen ja hallintaan. Esimerkki hallintaan liittyvässä ohjeistuksesta on ohjeistus tehdä laitteeseen kahden käden käynnistys, jolla varmistetaan se, että käyttäjän on käytettävä molempia käsiään laitteen ohjauksessa. Näin estetään raajojen joutuminen laitteeseen. Standardityyppi C on konekohtainen turvallisuusstandardi ja standardien hierarkiassa määräävin standardi.

Koneen valmistaja vastaa koneen toiminnasta direktiivien ja standardien mukaisesti antamalla valmistamalleen koneelle CE-merkinnän. Merkinnällä valmistaja vakuuttaa, että koneet ovat toiminnaltaan suositusten ja määräysten mukaisia koko elinkaarensa ajan. Koneita modernisoitaessa on otettava huomioon sen ajankohdan määräykset ja standardit. Koneen toimintatavan muuttuessa, tulee huomioonottaa vallitsevat turvallisuusstandardit. Koneen toimintatapaa muutettaessa voi tulla kyseeseen myös kone, joka luokitellaan uudeksi koneeksi, jonka on täytettävä kaikki nykypäivän turvallisuusstandardit ja näin ollen valmistajan CE-merkintä ei ole enää voimassa, vaan yrityksen on haettava koneelle uusi CE-merkintä.

3.2 NC-ohjausstandardit

NC-ohjelmoinnissa käytetyt koodit ilmaistaan aakkosten isolla kirjaimella ja ne on standardisoitu ISO 840-1973, ISO 841-1974, ISO 1056-1976 ja ISO 1057-1973 standardeilla. NC-kielen kytkevät ja valmistelevat käskyt ovat yleisesti käytössä standardeja noudattavilla laitevalmistajilla. (EDU, a.) Yhtenäinen ohjelmointikieli auttaa käyttäjiään useamman konetyypin hallitsemisessa samanlaista toimintatapaa noudattamalla.

Standardisoinnista huolimatta on joitakin eroja kytkevien M-koodien toiminnallisuudessa laitevalmistajien välillä. M-koodi on koneen kytkentäfunktio ja niitä on standardisoitu numeroilla välillä 0 - 30. Standardisoidut M-koodit ovat:

- M00 ohjelman loppu
- M01 valinnainen pysäytys
- M02 ohjelman loppu
- M03 karan käynnistys myötäpäivään
- M04 karan käynnistys vastapäivään
- M05 karan pysäytys
- M06 työkalun vaihto
- M08 jäähdytys päälle
- M09 jäähdytys pois päältä
- M10 oheislaitteen lukinta
- M11 oheislaitteen lukinnan avaus
- M19 karan pysäytys vakiokulmaan
- M30 ohjelman loppu (EDU, c).

Listatalla mainitsemattomat numerot ovat laitevalmistajien vapaassa käytössä ja niiden toimintafunktiot vaihtelevat valmistajan mukaan. Laitetoimittajalta saa yleensä ajantasaisen M-koodien listauksen koneen mukana.

4 Koneistus

Koneistus on materiaalin lastuavaa työstöä, jossa kappaleesta poistetaan materiaalia määritellyn paksuuden verran kerrallaan. Työstettävät kappaleet ovat omia, tai asiakkaiden piirustusten mukaan valmistettuja osia, jotka on mallinnettu 3D-suunnitteluohjelmistoilla tarpeen mukaan. Erilaisia työstettäviä materiaaleja ovat muovi, puu ja erilaiset teräslaadut. (Nortech Metal Oy a.)

Työstökoneiden kehityskaari on kehittynyt manuaalisista työstökoneista numeerisesti ohjattuihin automaattikoneisiin. Koneiden työstöradat suunnitellaan tietokoneella etukäteen 3D-mallin perusteella, tai suoraan koneen näyttölaitteelle ohjelmoituna. Koneita voidaan varustaa erilaisilla lisälaitteilla, joilla saavutetaan tuotannossa paras mahdollinen hyöty. (Nortech Metal Oy b.)

Koneistuskeskuksissa koneen työlausekkeet ovat NC-kielen kokonaisuuksia, joissa määritellään koneen liike-, ja teräparametrejä. Kuvassa 2 on esitetty NC-ohjelmoinnin työkierto kirjoitettuna auki vaiheittain.

N100 T07	- työkalun kutsu
N105 M06	- työkalun vaihto
N110 S850 F220 M03	- lastuamisarvojen määrittäminen
(KIERTEEN M16 REIAN PORAUS PO14)	- työstöradan kommentti
N115 G00 G43 Z50. H07 M08	- pituudenkompensoinnin ottaminen
N120 G99 G81 X0. Y0. Z-12.5 R3.	- reiän paikka ja työkierron määrittely
N130 G80 M09	- työkierron peruutus ja lastuamisnesteen sulkeminen
N135 G28 Z50. M05	- paluu z-akselin suunnassa työkalun vaihtopisteeseen
N140 G49 G00 X-100. Y200.	- pituuden kompensoinnin peruutus, väistöasemaan ajo

Kuva 2. Työlausekkeet (EDU, b)

G0 ja G1 -käskyt ovat liikekäskyjä lauseessa, ja samalle lauseelle annetaan myös akseli, jota halutaan liikuttaa. Lausenumerossa N115 ajetaan Z-akseli G0-käskyn pikaliikkeellä 50 mm päähän kappaleesta ja annetaan koneelle muistipaikan tieto työkalun pituudesta, sekä kytketään lastuamisneste päälle.

Työkiertojen määrittely koneelle on tehtävä vaiheittain. Kytettäessä jokin toiminto päälle, on se myös kytkettävä pois päältä. Kuvan 2 N115-lauseen lastuamisneste kytketään vastaavasti pois päältä lauseessa N130 käskyllä M09.

Kuvassa 3 havainnollistetaan jrsintää metallille. Metallien työstössä käytetään lastuamisnestettä kappaleen ja terän jäähdyttämiseen, sekä metallilastujen pois viemiseksi työstetävältä alueelta. Lastuamisnestee on veden ja leikkuunestetiivisten sekoitusta.



Kuva 3. Kappaleen jrsintä (Valmistajat)

Työkalua ajettaessa kappaleen pintaan ja terän ollessa kappaleessa kiinni, käytetään työlauseessa akselin liikekäskyjä G1-koodilla. Lastuamisnopeus on yleensä annettu ohjelmallisesti koneen käyttöönottoparametroinnin yhteydessä, mutta sitä voidaan muuttaa tarpeen mukaan syöttämällä uusi F-arvo. Lastuamisnopeus (kaava 1) tulee perustua terän kokoon ja valmistajan suosituksiin.

$$v_c = \frac{\pi \cdot DC_{aP} \cdot n}{1000} \quad (1)$$

jossa:

v_c = Lastuamisnopeus, m / min.

DC_{aP} = Lastuamishalkaisija lastuamissyvytydessä.

π = Piin likiarvo.

n = Karan pyörimisnopeus, r / min. (Sandvik.)

Karanopeus ilmaisee montako kertaa terä pyörähtää akselinsa ympäri minuutin aikana. Karanopeus voidaan laskea kaavalla 2.

$$n = \frac{\frac{dr}{\pi}}{\phi[m]} \quad (2)$$

joissa:

n = Terän pyörimisnopeus.

dr = Valmistajan ilmoittama leikkuunopeus.

π = Piin likiarvo.

ϕ = Terän halkaisija metreinä.

Kaavat ovat koneistuksessa tarvittavia peruslaskentakaavoja ja niitä noudattamalla terät kestävät valmistajan tarkoituksen mukaisesti. Tarvittavien arvojen laskentaan on tarjolla runsaasti valmiita taulukoita ja mobiilissa toimivia laskentaohjelmia, joihin syötetään ennalta määritellyt tiedot, ja tuloksena saadaan haluttu syöttö-, tai pyörimisarvo.

5 Skoda W 160 H

5.1 Vaakakarainen porauskone

Padasjoen Metalli Oy:n omistaman vaakakaraisen porauskoneen on valmistanut Skoda Machine Tool Tšekkoslovakian tehtaalla vuonna 1978 ja se on käyttöönotettu Machinery Oy:n maahantuomana vuonna 1979. Koneen kokonaispaino on noin 70 000 kiloa. (Machinery Oy 1979a, 2.) Koneen työstöalueet ovat X-akselilla 20 000 mm, Y-akselilla 3150 mm ja Z-akselilla 1600 mm. Kone on varustettu 360 astetta pyörivällä pyöröpöydällä, jonka kapasiteetti on 40 000 kg (Padasjoen Metalli Oy c).

Koneen nimitys vaakakarainen tulee kara-akselin sijoituksesta T-urapöytään nähden (kuva 4). Kara on sivusta katsottuna 90 asteen kulmassa lattiaan nähden ilman lisävarusteita. Koneessa on kaksi kulmapäätä, jotka mahdollistavat erilaiset jyrskinnät 90 ja 45 asteen kulmassa. Perälän (2023a) mukaan koneella tehtävät työt vaihtelevat levyihin porattavista reikäpiireistä aina vaakajyrsintää vaativiin johdekoneistuksiin. Koneen vaatimus työstötarkkuudelle on 0,05 millimetriä metrin matkalla.



Kuva 4. Skoda W 160 H (Kuva: Turo Mähönen)

Koneen käyttäjäpaneeli on koneen karapuoolella operaattorin käytettävissä ja se riippuu kannatinvarressa kaapeliletkun varassa. Koneen koko toiminta perustuu käyttäjäpaneelin mitaus-, merkinanto- ja hallintakytkimiin.

5.2 Ohjausjärjestelmä

Koneen X-, Y- ja Z-akselien mekaaninen voimansiirto koostuu 400 VDC tasavirtaservomootoreista (kuva 5) ja niiden käyttöjännite tulee erillisestä sähköpääkeskuksesta. Servomootoreihin on liitetty sähkömagneettisesti ohjattu monilevykytkinvaihde, jonka vaihdealueen käyttäjä valitsee käyttöpaneelin hallintavivusta ajomootorin ollessa lepotilassa (Machinery Oy 1979b, 19).



Kuva 5. Tasavirtaservo (Kuva: Turo Mähönen)

Laitteen käyttäjäpaneeli (kuva 6) on koneen alkuperäinen ohjausjärjestelmä. Käyttäjäpaneeliin on tuotu kaikkien lineaarisesti liikkuvien akseleiden ohjaukset, sekä karakäytön hallinta. Karakäytölle hallintapaneelissa on analoginen kierroslukumittari ja ampeerituntimittari, josta operaattori voi seurata karan viemää virtamäärää suhteutettuna pyörimisnopeuteen ja päätellä siitä karaan kohdistuvaa rasiutusta.



Kuva 6. Käyttäjäpaneeli (Kuva: Turo Mähönen)

Kuvassa 6 käyttäjäpaneelin oikeassa laidassa on akseleiden valintakytkimet ja keskellä Philipsin valmistamat mittanäyttölaitteet. Ylhäällä vasemmalla näkyvät merkkivalot toiminnallisuuden ilmaisuun ja alhaalla vaakarivissä yhdistetyt merkkivalo ja toimintopainonapit kierteitystoiminnoille, leikkuunestepumpulle, valaistukselle, sekä numeronäyttöjen virtakytkin.

Koneen liikuttaminen tapahtuu ohjauspaneelin potentiometriä kääntämällä halutulta akselilta, jolloin sähköpääkeskuksen moottorinohjauskeskus saa virtaviestin välillä 0 - 10 voltia. Vastakkaiseen suuntaan liikutettaessa akselin suuntakytkimen asento muutetaan ja jänniteviesti muuttuu negatiiviseksi. Syöttönopeus valitaan monilevykytkinvaihteistolle kolmeporaisesti valmistajan esiasetuksen mukaan. Kytkinvaihteiston nopeusalueet Y -akselille ovat:

- 1. vaihde 0.63 + 125 mm / min
- 2. vaihde 6.3 + 1250 mm / min
- 3. vaihde pikaliike, maksimi 4000 mm / min.

X-akselin nopeusalueet ovat:

- 1. vaihde 0.63 - 125 mm / min
- 2. vaihde 6.3 - 1250 mm / min
- 3. vaihde pikaliike, maksimi 5000 mm / min. (Machinery 1979a, 9.)

Konetta on modernisoitu 2000 - luvun alussa karan vaihtovirtaservomoottorilla ja moottorin ohjaus on toteutettu 400 VAC vaihtovirtataajuusmuuttajalla. Taajuusmuuttajan ohjaus on toteutettu käyttäjäpaneelilta potentiometrillä, jolla annetaan taajuusmuuttajalle volttimäärän muutos 0 - 10 V välillä. Potentiometrissä käyttäjälle muutos on ilmaistu arvona 0 - 100 %, jossa 0 % on pyörimätön tila ja 100 % on karan täysi pyörintänopeus.

Machineryn (1979b, 46) käyttäjäoppaan mukaan kontaktorikaapissa automaatiovaraus. Keskukseen on rakennettu relelogiikkapiirejä tulo- ja lähtöpuolelle sillä olettamalla, että koneen voisi myöhemmin muuttaa numeerisesti ohjatuksi. Tulevia ja lähteviä liitinryhmiä on 8 kappaletta, joihin toimittaja on tarkoittanut kytkettävän NC-ohjausjärjestelmän.

5.3 Mittausjärjestelmä

Paikoituksenmittaus on toteutettu Philips lukulaitteella yhdistettyä tietoa keräämällä. Toinen tieto tulee mittasauvalta (kuva 7), jonka keskellä on mitta-asteikkona pystyviivoitus 0,05 mm välein. Toinen kerätty tieto on pyörimisnopeustieto tasavirtaservomoottoreiden pyörimisanteureilta.



Kuva 7. Mittasauva (Kuva: Turo Mähönen)

Mittasauvalta koneen lukupää (kuva 8) lukee mittasauvan pystyviivoitusta ja lähettää tunnistetun viivoituksen lukulaitteelle milliampeeriviestillä. Lukulaite yhdistää lukupään ja pyörimisanturin milliampeeriviestit kanttiaalloksi. Lukulaite muuttaa kanttiaallon säädetyin resoluution mukaan digitaaliseen muotoon käyttäjäpaneelin näyttölaitteelle. Mittalähteiden yhteenlasketun lukeman esitys on kahden desimaalin tarkkuudella (Philips 1979, 6).



Kuva 8. Lukupää (Kuva: Turo Mähönen)

Koneen mittatarkkuus on valmistajan mukaan lineaarisesti kasvava suhteessa kuljettuun matkaan. Kaavassa 3 on esitetty mittatarkkuuden laskeminen (Machinery 1979a, 26).

$$\Delta L = \pm (0,02 + 0,00002) \cdot L \text{ mm} \quad (3)$$

jossa:

ΔL = mittatarkkuus

L = kuljettu matka millimetreinä.

Sijoittamalla kaavaan 4 kuljettu matka millimetreinä saadaan koneen mittatarkkuus valmistajan ilmoituksen mukaan.

$$(0,02 + 0,00002) \cdot 1000 \text{ mm} = 20,2 \text{ mm} \quad (4)$$

Työstötarkkuuden takaamiseksi valmistaja on antanut yhdensuuntaisuusohjeet koneen asennusvaiheelle. T-urapöydän yhdensuuntaisuus koneen runkojohteiden kanssa tulee olla $\pm 0,05 / 1000$ mm.

5.4 Ongelmakohdat

Katselmuskäynnin yhteydessä keskusteltiin yhdessä koneen operaattorin ja tuotantopäällikkö Jouni Perälän kanssa koneen nykytilasta. Perälän (2023a) mukaan ongelmakohtia nykyisessä mittajärjestelmässä tuottaa tuotantotilojen lämpötilavaihtelut, sekä mittasauvojen elinkaaren päätyminen. Mittasauvoja ei enää korjata, tai valmisteta.

Tuotantotilan lämpötilanvaihtelut aiheuttavat lämpölaajentumista mittasauvalla, jonka seurauksena koneen lukulaite hävittää paikkatiedon mittasauvojen saumakohtassa. Mittasauvat ovat 700 mm pitkiä ja valmistettu ruostumattomasta teräksestä. Ruostumaton teräs on austeniittinen teräs, johon on sekoitettu yli 10,5 % kromia ja alle 1,2 % hiiltä (Euro Inox, 4).

Materiaalina ruostumaton teräs on ei magneettinen ja kestää hyvin korroosiota, sekä erilaisia kemikaaleja. Ruostumattoman teräksen pituuden lämpötilakerroin on 16,5 ja se on suurempi, kuin esimerkiksi raudan ja titaanin (Kevarinmäki ym. 2005). Raudan pituuden lämpötilakerroin on 11,7 ja titaanin 8,5. (Anderson ym. 2006, 74.) Lineaarinen lämpölaajentuminen teräksellä lasketaan kaavalla 5 (Valtanen 2013, 388).

$$\Delta L = \alpha \Delta T L_0 \quad (5)$$

jossa:

ΔL = kappaleen pituuden muutos

L_0 = kappaleen alkuperäinen pituus

α = lämpölaajenemiskerroin

ΔT = lämpötilan muutos.

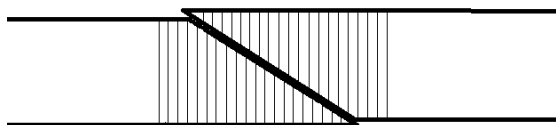
Sijoittamalla kaavaan 6 tunnuksien tilalle numerot saadaan lineaarinen lämpölaajentuminen yhden lämpötila-asteen muutoksen aikana.

$$\Delta L = 700 \text{ mm} \cdot 1 \text{ }^\circ\text{C} \cdot 16,5 \cdot 10^{-6} = 0,01155 \text{ mm} \quad (6)$$

Ottaen huomioon, että normaalin työpäivän aikana lämpötilan muutos saattaa olla huomattava, jos sääolosuhteet ovat aamulla viileät, mutta koneiden ollessa käynnissä saattaa lämpötila nousta päivän aikana useilla asteilla ylöspäin. Kaavalla 7 lasketaan lineaarinen lämpölaajeneminen, jos lämpötila nousee 15 astetta päivän aikana.

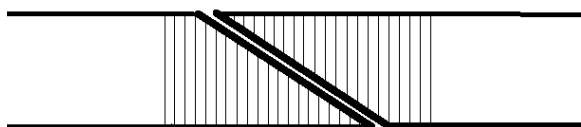
$$\Delta L = 700 \text{ mm} \cdot 15 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot 16,5 \cdot 10^{-6} = 0,17325 \text{ mm} \quad (7)$$

Tällä lämpötilan muutoksella mittasauvat laajenevat noin 0,17 mm jokaiselle 700 mm matkalle. Mittasauvan päiden ollessa viistetyt, ne menevät lomittain (kuva 9), jolloin sauvan mittaviivoitus on epäsuorassa-asemassa toisiinsa nähden. Lämpötilan nouseminen vuoksi voi mittasauvan keskellä oleva lasipinta rikkoutua. Lasipinta suojaa mittasauvan mittaviivoitusta ulkopuoliselta kulumalta.



Kuva 9. Mittasauvan lämpölaajentuminen (Kuva: Turo Mähönen)

Vastaavasti tuotantotilan lämpötilan laskeminen alle sauvojen asennuksen aikaista lämpötilaa voi erottaa sauvojen päät toisistaan (kuva 10). Tällainen lämpötilan tippuminen voisi tulla kyseeseen talvella viikonlopun aikana, jolloin tuotantoa ei ole ja lämpötila laskee alle sauvojen asennuslämpötilan.



Kuva 10. Mittasauvan supistuminen (Kuva: Turo Mähönen)

Supistumisen seurauksena mittasauvan päät erkanevat toisistaan ja lukupää ei saa saumakohdista mittaustietoa syötettäväksi mittalaitteelle. Mittaustiedon hävitessä koneen paikkatieto häviää lukulaitteelta ja koneen nollapiste on asetettava uudestaan suhteessa kappaleeseen.

Perälän (2023b) mukaan haasteita ja epävarmuutta tuotannolle aiheuttaa myös lineaariakselien servomootoreiden korkea ikä ja niiden huono varaosasaatavuus. Servomoottorin jälkeen olevan vaihdelaatikon kytkinpakettien epävarma saatavuus luo tarvetta miettiä päämootoreiden modernisointia.

6 Mittausjärjestelmät

6.1 Heidenhain POSITIP 8016

Heidenhain POSITIP 8000-sarjan paikoitusnäyttölaitte on tarkoitettu manuaalisten sorvaus- ja jyrsinkoneiden päivitykseen. Paikoitusnäyttölaitte on kosketusnäyttö, johon saadaan asennettua neljä ohjattavaa akselia, sekä tuotua käyttäjälle karamoottorin pyörimisnopeustieto. Kuvassa 11 on POSITIP 8016 paikoitusnäyttölaitte, johon on simuloitu X-, Y- ja Z- akselin paikoitustieto, sekä karamoottorin pyörimisnopeus. (Heidenhain 2022, 8.)

Näyttölaitteelle on saatavissa lisäoptiona NC-lisäyksikkö. Lisäyksikön liittäminen mahdollistaa akseleiden ohjaamisen asettamalla liikutettavalle akselille paikkatieto näyttölaitteesta ja suorita-komentoä käyttämällä kone liikkuu haluttuun pisteeseen. Paikan saavutettuaan kone pysähtyy asetettuun koordinaattiin. Koneella voidaan myös ajaa NC-ohjelmaa lause kerrallaan niille akseleille, joissa NC-lisäyksikkö on kytkettynä. Näiden toimintojen suorittamiseksi jokainen akseli tarvitsee oman NC-lisäyksikön ja jokaisella akselilla tulee olla moderni mittasauva asennettuna. Näyttölaitte toimii koneessa ilman NC-lisäyksikköä koordinaattinäyttönä.

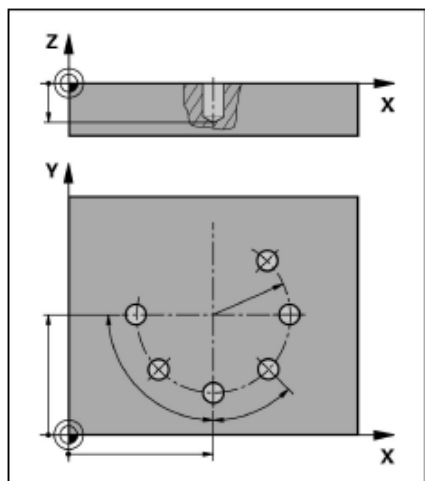


Kuva 11. POSITIP 8016 (Heidenhain 2022, 1)

Paikoitusnäyttölaitte mahdollistaa koneen jyrsinrataohjelmistojen tekemisen etukäteen ja niiden syöttämisen näyttölaitteelle ulkoisen muistiaseman kautta, tai suoraan tietokoneelta välikaapelilla. Käyttäjän on mahdollista ajaa ohjelman simulaatio näyttölaitteella ja tehdä

sen jälkeen tarvittavia korjauksia ohjelmaan. Akseleiden NC-lisäohjaimen ollessa kytkettyä, koneella voidaan ajaa ohjelmaa lauseke kerrallaan. (Heidenhain 2022, 32.)

Paikoitusnäytön MDI-käyttövalikko tarjoaa käyttäjälle mahdollisuuden suorittaa koneistusohjelmat lauseke kerrallaan edellyttäen, että kappaleen 0-pisteet on asetettu manuaalisesti. MDI-valikossa on esiasetettuja toimintoja, koneistuskuvioita reikäpiireille, reikäkaarille (kuva 12), työkalun sädekorjauksia ulkoiselle jrsinnälle, sekä taskujen jrsintään. (Heidenhain 2022, 236, 238.)



Kuva 12. Reikäkaari (Heidenhain 2022, 240)

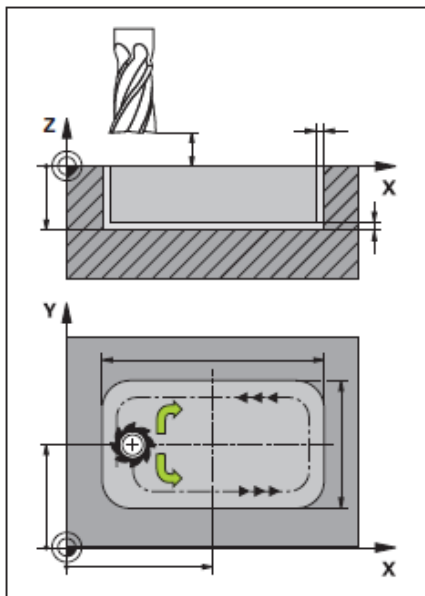
Reikäkaaren porauksessa näyttölaitteelle syötetään

- reikien lukumäärä
- reikäkaaren keskipiste X- ja Y-tasossa
- syöttönopeus
- porauksen aloituskorkeus
- kaaren säde
- ensimmäisen reiän lähtökulma. (Heidenhain 2022, 239-241.)

Esiohjelmoitu suorakulmataskun (kuva 13) työkierto ohjaa käyttäjän jrsintätyökierron tekemiseen vaiheittain. Parametroitaessa taskua näyttölaite ohjaa käyttäjää syöttämään tiettyjä aloitusarvoja taskun työstämiseen. Vaadittavia arvoja suorakulmataskun työstämiseen ovat:

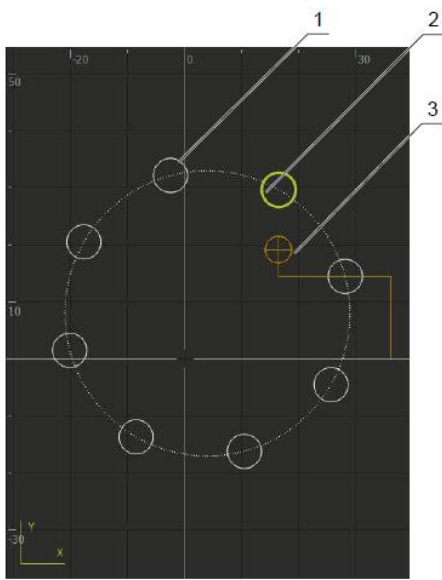
- koneistustapa
- varmuuskorkeus
- tavoitesyvyys
- keskipisteen X- ja Y-koordinaatit

- sivujen X- ja Y-pituus
- rouhintasuunta. (Heidenhain 2022, 241, 243.)



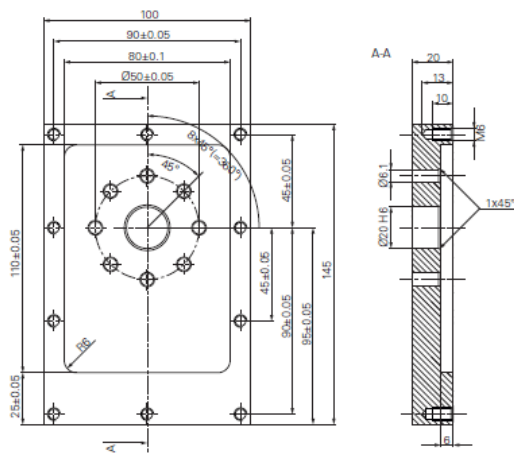
Kuva 13. Suorakulmatasku (Heidenhain 2022, 242)

Näyttölaitteen simulaatioikkuna (kuva 14) näyttää koneen käyttäjälle ohjelmoidun muodon muotonäkymänä. Ennen koneistustyön aloitusta parametrejä on mahdollisuus muokata. Kuvassa 14 valkoisella näkyvät reikäkaaren ohjelmoidut reiät, vihreällä ensimmäinen porattava reikä ja oranssilla työkalun liikerata. (Heidenhain 2022, 271)



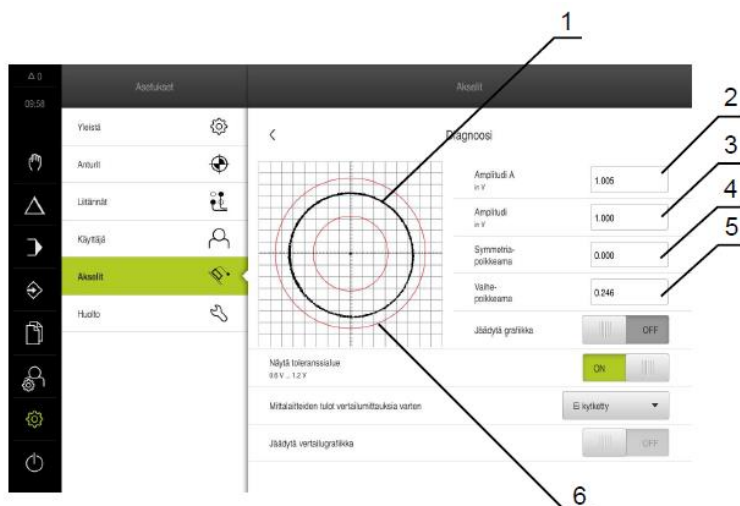
Kuva 14. Simulaatioikkuna (Heidenhain 2022, 271)

Paikoitusnäyttölaitte mahdollistaa monimutkaisten kappaleiden työstämisen, jossa vaaditaan porausta, rouhintaa, sekä pinnan viimeistelyä. Kuviossa 1 on esimerkkikuva monimutkaisesta kappaleesta, jonka työstäminen on mahdollista. (Heidenhain 2022, 275, 277.)



Kuvio 1. Tekninen piirustus (Heidenhain 2022, 276)

Näyttölaitteessa on siniaaltosignaalia tukeva vikadiagnostiikka (kuva 15), joka näyttää graafisen esityksen signaalin tulosta Lissajous-kuviona. Lissajous-kuviossa on esitetty symmetria- ja vaihepoikkeamat. Kuvion grafiikka saadaan jäädytettyä tarvittaessa tarkempia tutkimuksia varten. Diagnostiikka näyttää amplitudi-, symmetria-, ja vaihepoikkeamat digitaalisena lukemana vertailulaskentaa varten. Signaalivahvistusten voimakkuuden arviointi ja vikadiagnostiikka on mahdollista vertailemalla tulevaa signaalikäyrää kuvion käyrään. (Heidenhain 2022, 202.)



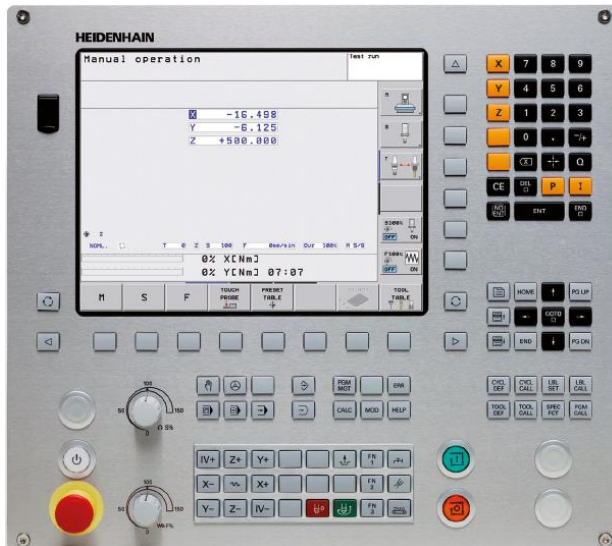
Kuva 15. Lissajous-kuvio (Heidenhain 2022, 202)

Kuviossa punaisella näkyvät ympyrät ovat toleranssipoikkeamia arvoille ja ne voidaan kytkeä pois päältä. Samaan grafiikkaan saadaan päällekkäin toisen mittalaitteen grafiikka vertailua varten. Laitteen vikadiagnostiikkaan on asetettu oletuksena hälytysvirheitä mittalaitteen häiriöille. Esiasetettuja häiriötiloja ovat valaistus-, ja amplitudivirhe, yli-, ja alijännite, sekä ylivirranvirhe. (Heidenhain 2022, 203.)

Laitteistoon on mahdollista luoda tarkastuspisteitä mittausvirheiden vähentämiseksi. Kuljetun matkan mittapituudesta ohjelmisto kykenee laskemaan mittavirheet asetetulla matkalla. Mahdollisia mittavirheitä voi aiheutua heilahduksista tukipintojen epätasaisuuden, mittapään kiinnitysvirheen vuoksi. Voimansiirron välyksien ehkäiseminen on mahdollista ennalta-asetetuilla mittapisteillä. (Heidenhain 2022, 97, 99.)

6.2 Heidenhain TNC 128

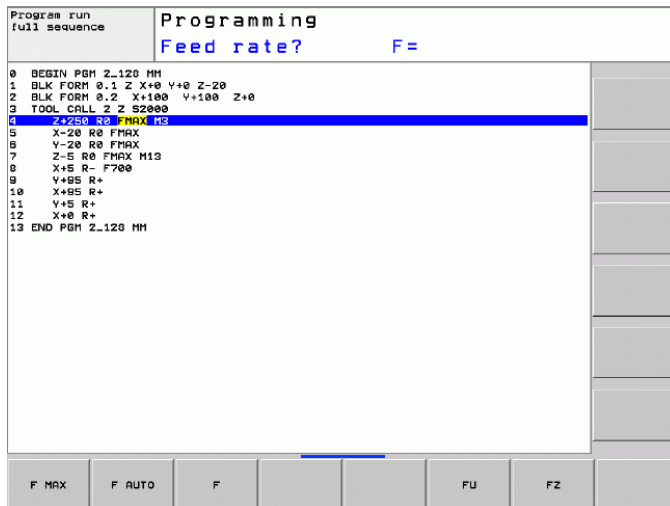
Heidenhain TNC 128 -janaohjausjärjestelmä (kuva 16) on suunniteltu päivityskäyttöön koneille, joissa on alkuperäisenä ohjausjärjestelmänä NC-ohjaus. Liitettävyyden manuaalikoneeseen on myös mahdollista, mutta käyttöönottoaiheessa ohjaus on parametroitava ja ohjausjärjestelmään on luotava logiikka. Heidenhain (2013, 56) käyttäjäoppaassa käyttäjää ohjeistetaan luomaan kappaleen työstöradat suoraan TNC 128 -käyttäjäpaneelilla.



Kuva 16. TNC 128 (Heidenhain 2013, 1)

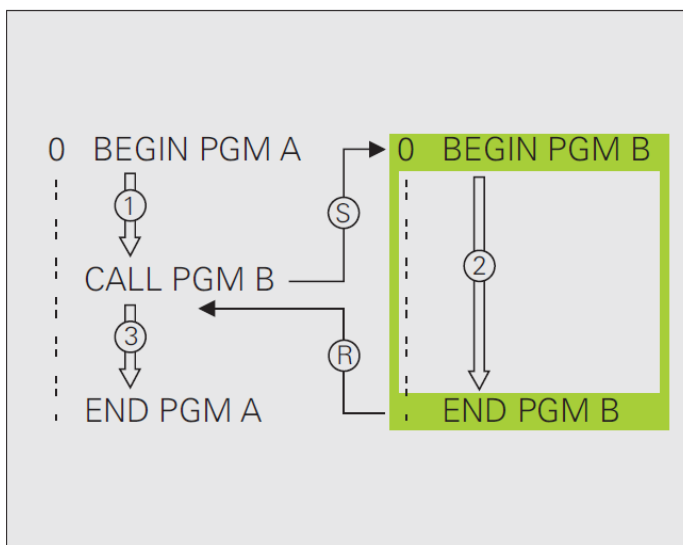
Laitteeseen on mahdollista liittää kolme ohjattua akselia, sekä karan pyörimisnopeuden ohjaus. Laitteessa on käyttäjää opastava ja ohjaava ohjelmisto kappaleen välivaiheiden tarkasteluun. Työkalujen määrittystietoja varten on kuusitoista paikkaa tarkkoja työkalutietoja käytettäessä. Tarkkoja työkalutietoja ovat pituus-, halkaisija-, tai nirkonsäde -tiedot. Ilman tarkkaa työkalutietoa työkalut voidaan numeroida välillä 0 - 32767. Työkalu numero nolla on automaattisesti pituudeltaan ja säteeltään nolla. (Heidenhain, 2013. 142.)

Kappaleen työstössä on pyörivän työkalun teräsäteen kompensoatio automaattisesti NC-kielen R-koodien mukainen. R-koodilla kerrotaan NC-ohjaukselle ajettavan kulman sädetieto. Lisäksi R-koodi kertoo, että onko kyseessä tasku- vai ulkopuolista jyräintää. Kone laskee tarvittavat liikeradat automaattisesti annettujen työkalu- ja työstöratatietojen mukaan. Kuvassa 17 on TNC 128 laitteelle ohjelmoitu lyhyt esimerkkiohjelma työstöradasta.



Kuva 17. Työkierto (Heidenhain 2013, 162)

Laitteisto tukee työkierto-ohjelmoinnin aliohjelmakutsua. Aliohjelmaa kutsutaan työkierron yhteydessä CALL-toiminnolla ja se suoritetaan niin monta kertaa, kuin CALL-käskyyn on merkitty. Aliohjelmatoiminto on yleensä käytössä useasti muuttuvan pääohjelman lisänä, kun työestetään samanlaisia muotoja erimuotoisista raaka-aineista. Kuvassa 18 nähdään TNC 128 -laitteiston aliohjelman toimintakaavio.



Kuva 18. Aliohjelman toimintakaavio (Heidenhain 2013, 169)

Laitteen ohjelmisto kykenee laskemaan trigonometrisiä funktioita. Syöttämällä esimerkiksi suorakulmaisen kolmion a ja b -kateetin tiedot, laite laskee tangenttikulman. Tangenttikulma lasketaan kaavan 8 mukaisesti. Tangenttikulman laskemiseksi ohjelmisto laskee ensin hypotenuusan pituuden suorittamalla Pythagoraan lauseen. Pythagoraan lause lasketaan kaavalla 9 (Anderson ym. 2006, 36).

$$\sin \alpha = \frac{a}{c} \quad (8)$$

jossa:

$\sin \alpha$ = sin-laskufunktio

a = suorakulmaisen kolmion a-kateetti

c = suorakulmaisen kolmion c-kateetti

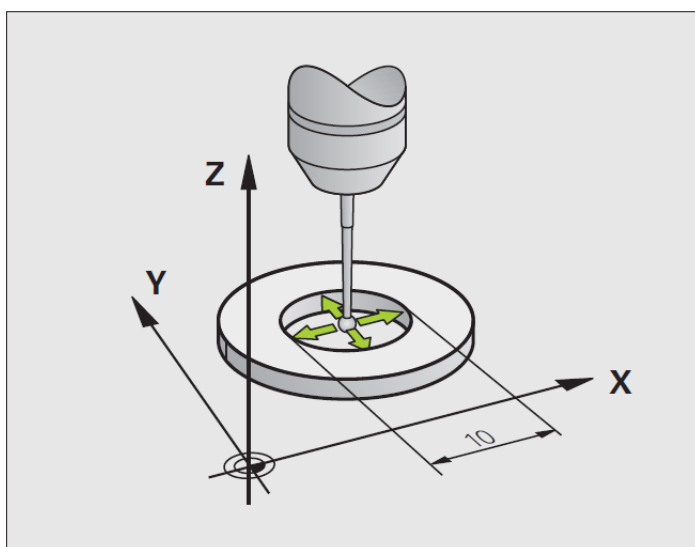
$$a^2 + b^2 = c^2 \quad (9)$$

jossa:

a^2 = suorakulmaisen kolmion a-kateetti

b^2 = suorakulmaisen kolmion b-kateetti

Ohjausjärjestelmään on saatavilla lisälaitteena käsiohjauslaite, jolla työstökonetta voidaan liikuttaa manuaalisesti. Lisälaitteena on laitteistoon liitettävä 3-D kosketusanturi (kuva 19), joka auttaa käyttäjää kappaleiden reikäkeskiöinnissä, sekä kappaleen pinnanollapisteiden haussa. (Heidenhain 2013, 296.)

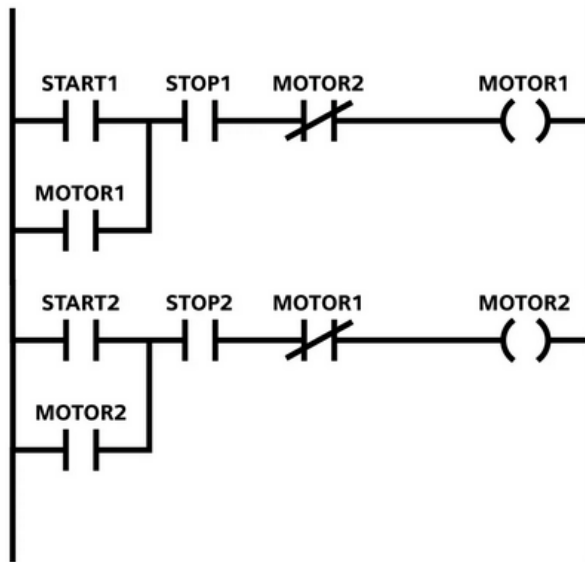


Kuva 19. 3-D kosketusanturi (Heidenhain 2013, 296)

Laitteelle voidaan ohjelmoida eri käyttäjätasoja. Erilaisia käyttäjätasoja ovat pääkäyttäjä ja laitteen päivittäinen käyttäjä. Pääkäyttäjällä on pääsyoikeudet laitteiston käyttäjäikkunaan ja laitteiston parametreihin. Päivittäiskäyttäjän oikeudet rajoittuvat käyttäjäikkunaan ja koneen työkierron syöttämiseen.

6.3 Siemens

Siemens PLC-ohjelmointia käytetään prosessi- ja ohjaustekniikassa laitteiston, sekä tuotantolinjan ohjauksessa. Logiikoita käytetään lukuisissa muissakin kohteissa, mikäli se on järkevää ja logiikan käytöstä saadaan merkittävää hyötyä. Ohjelmoinnissa logiikkaohjelma voidaan luoda graafisesti tikapuumenetelmällä (kuva 20). Tikapuuohjelmoinnissa usean ehdon on täytyttävä ennen haluttua toimintoa.



Kuva 20. Tikapuuohjelmointi (CodeBerry)

Kuvan 20 ohjelmassa moottori 1 saa käynnistyskäskyn, kun START1, tai MOTOR1 on kytkettynä, STOP1 kytkettynä ja MOTOR2 ei ole aktiivinen. Kuvan toisella rivillä MOTOR2 saa käynnistyskäskyn, kun START2, tai MOTOR2 on kytkettynä, STOP2 aktivoitu ja MOTOR1 ei ole aktiivinen.

Logiikkaohjelmoinnissa voidaan käyttää myös tekstimuotoista ohjelmointia. Tekstimuotoista ohjelmointia käytetään myös internetsivujen ohjelmointikielenä. Käytettävissä on myös ohjelmalohko-ohjelmointi. Ohjelmalohko-ohjelmoinnissa tulee yhden ohjelmakokonaisuuden toteutua ennen kuin seuraavaa ohjelmalohko voi tulla aktiiviseksi.

Logiikkaan voidaan kerätä lukuisia tulotietoja linjaston, tai laitteiston antureilta, joiden mukaan ohjelmointi toteutetaan. Logiikan uloslähdöt ohjaavat haluttuja toimintoja kohteessa ja ohjelman tarpeen mukaan lähtöjä voidaan käyttää myös ehtoina ohjelman sisäisesti. Tulot ja lähtötietojen viemiseksi antureille ja toimilaitteille täytyy logiikkaan liittää tulo- ja lähtökortteja tarpeen mukaan.

Valittaessa logiikkaa modernisaation tarpeisiin voidaan käyttää Siemens TIA Selection Tool -työkalua (kuva 21) (Siemens 2023). Työkalulla voidaan kerätä tarvittavat komponentit

laitteisto liikkeenohjaukseen asettamalla pyydytetyt tiedot työkalun pudotusvalikkoihin. Pilvi-pohjaisella työkalulla luodaan laitteistokokonaisuus tarvittavista osista modernisaatioon. Laitteistokokonaisuus muodostuu logiikasta, muistikortista, kenttäväylämoduuleista, tulo- ja lähtökorteista, sekä kaapeleista. Liikkeenohjaus vaatii laskentatehoa prosessorilta ja ohjelmisto pisteyttää prosessorit suorituskyvyn mukaan.

The screenshot displays the Siemens TIA Selection Tool interface. On the left, the 'Motion Control properties' panel is visible, showing various configuration parameters for motion control. On the right, the 'Possible CPUs' panel lists available CPUs with their utilization and runtime data.

Motion Control properties

The TIA Selection Tool estimates the controller utilization depending on the...
[Read More](#)

Reset configuration [X]

Motion control functionality [Standard Motion Control]

Motion Control cycle [ms] [4]

Cycle load caused by communication [%] [15]

Main OB cycle time without Motion Control, Fail-safe and Communication [ms] [5]

Maximum Main OB cycle time [ms] [50]

Configuration limits for the CPU load

Drive-controlled axes (SINAMICS) [0]

Speed-controlled axes [1]

Positioning axes (for positioning / kinematic axes) [3]

Synchronous axes (for gearing / camming / kinematic axes) [1]

Cams (1000 points + 50 segments) [0]

Cams (10000 points + 50 segments) [0]

Possible CPUs

The specified utilization data and response times always refer to the current hardware firmware version.

Only show suitable CPUs [checked] Compare [checked] Search term: Na

Available CPUs	Utilization:	Runtime:
CPU 1511F-1PN, 225KB prog, 1MB data 6ES7511-1FK02-0AB0	51%	1%
CPU 1511F-1PN, 450KB prog, 1.5MB Data 6ES7511-1FL03-0AB0	30%	1%
CPU 1511TF-1PN, 225KB progr., 1MB data 6ES7511-1UK01-0AB0	51%	1%
CPU 1511TF-1PN, 450KB Prog., 1.5MB Data 6ES7511-1UL03-0AB0	30%	1%
CPU 1513F-1 PN, 450KB Prog., 1.5MB data 6ES7513-1FL02-0AB0	51%	1%
CPU 1513F-1 PN, 900KB Prog., 2.5MB data 6ES7513-1FM03-0AB0	30%	1%
CPU 1515F-2 PN, 750KB Prog., 3MB Data 6ES7515-2FM02-0AB0	47%	1%
CPU 1515F-2 PN, 1.5MB Prog., 4.5MB Data 6ES7515-2FN03-0AB0	30%	1%
CPU 1515TF-2 PN, 750KB progr, 3MB data 6ES7515-2UM01-0AB0	47%	1%
CPU 1515TF-2 PN, 1.5MB Progr, 4.5MB Data	30%	1%

Open comparison (2 Articles in)







Kuva 21. Parametrit (Siemens 2023)

Ohjelman kiertoajalle on asetettu oletusarvona perusparametrit. Ohjelmiston kiertoajat on ilmoitettu millisekunteina. Perusparametriarvoja muuttamalla voidaan ohjelman kiertoaika lyhentää, mutta se vaatii enemmän laskentatehoa prosessorilta. Ohjelmiston pudotusvalikoista valitaan

- liikkeenohjauksen ohjelmankiertoajaksi 4 ms
- CPU ja HMI-näytön välisen ohjelmankiertoajaksi 15 ms
- pääohjelman ohjelmankiertoajaksi 50 ms
- nopeusohjattavia akseleita 1 kpl
- paikoittavia akseleita 3 kpl
- synkronoitavia akseleita 1 kpl.

Ohjelmakiertoaikojen lyhentäminen oletusarvosta tuo laskentatehoa modernisaation tarpeisiin ja se ei vaikuttanut ohjelman tarjoamiin CPU-yksiköihin. Työstökoneen kara-akseli on nopeusohjattu, Z-, X- ja Y -akselit ovat paikoittavia ja pyörityspöytä on synkronoitava akseli.

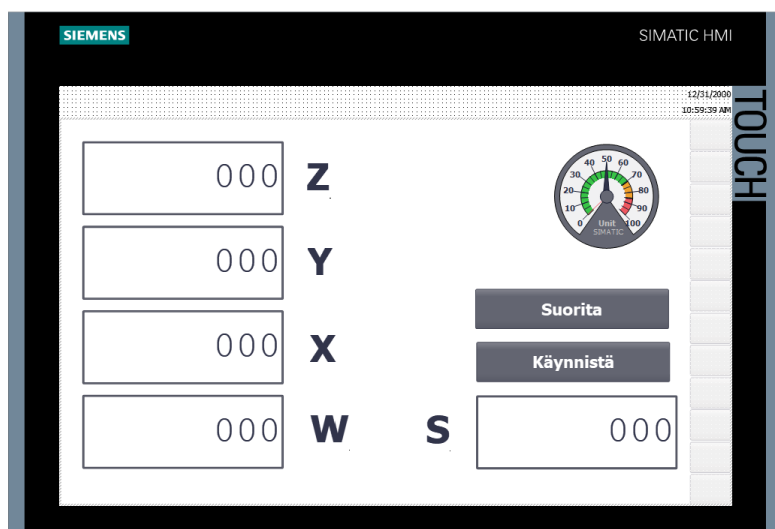
Parametroinnin jälkeen vertailuun (kuva 22) valitaan työkalun ehdottamista CPU-yksiköistä suorituskyvyltään heikoin ja paras. Vertailtaessa CPU-yksiköitä huomataan, että mallin 1518F-4 PN/DP (liite 1) suorituskyky modernisaation käytössä olisi 48 % parempi kuin 1511F-1PN (liite 2) mallin.

Available CPUs	Utilization:	Runtime:			
 CPU 1511F-1PN, 225KB prog, 1MB data 6ES7511-1FK02-0AB0	51%	1%	<input checked="" type="checkbox"/>		
 SIPLUS S7-1500 CPU 1518F-4 PN/DP 6AG1518-4FP00-4AB0	3%	0%	<input checked="" type="checkbox"/>		

Kuva 22. CPU-yksiköt (mukailtu Siemens 2023c)

CPU-yksiköiden liitteissä olevia tuotetietoja vertaillessa huomataan, että laajennettu liikkeenohjauksen resurssi on huomattavasti parempi 1518F-4 -mallissa. Liikkeenohjauksen ohjelman kiertoaika on 1,87 ms lyhyempi 1518F-4 -mallissa, kuin 1511F-1PN -mallissa.

Logiikkaohjelmaan luodaan käyttäjälle käyttöliittymä. Käyttöliittymä ohjelmoidaan logiikkaan HMI-paneelille. Käyttöliittymään tuodaan käyttäjälle tuotannossa tarpeelliset toiminnot kosketusnäyttöpaneelille. Vertailutyökalun suositus HMI-näytöksi on 15 tuumainen kosketusnäyttö. Kosketusnäyttöominaisuudet poistavat ulkoisten tekstinsyöttölaitteistojen tarpeen. Kuvassa 23 nähdään vaihtoehtoinen aloitusikkuna käyttöliittymän aloitusikkunaksi.

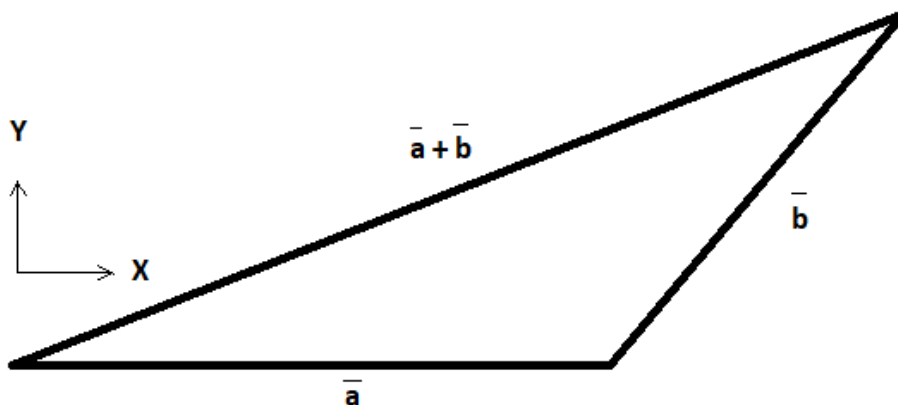


Kuva 23. Aloitusikkuna (Kuva: Turo Mähönen)

Käyttöliittymän aloitussivulla nähdään paikoitustieto jokaiselta lineaariakselilta ja karan pyörimisnopeustieto, sekä pyöröpöydän astekulmatieto. Käyttöliittymän luominen ja ohjelmointi vaatii Siemens TIA -ohjelmiston. Ohjelmistolla luodaan käyttöliittymän kosketuspainikkeet ja määritellään painikkeiden suorittamat toiminnot. TIA-ohjelmistolla luodaan logiikkaan laadattava ohjelma. Ohjelmoinnissa voidaan käyttää tikapuu- tai ohjelmalohko-ohjelmointia. Tekstiohjelmointi on myös mahdollista.

Tehtäessä logiikkaohjelmointia tulee työstökoneesta olla tiedossa toiminnan kannalta välttämättömät tulo- ja lähtösignaalit. Ohjelmoinnissa luodaan lineaariakseleiden ajoon tarvittavat ohjelmistokokonaisuudet. Ohjelmistokokonaisuuksia ovat esimerkiksi mittaustiedon signaalien käsittely ja sen muuttamien HMI-paneelille luettavaan muotoon käyttäjälle. Akselin servomootoreiden liikekäskyt muodostavat kokonaisuuden akseleiden ohjelmalohkosta, sekä mittausdatan käsittelylohkosta.

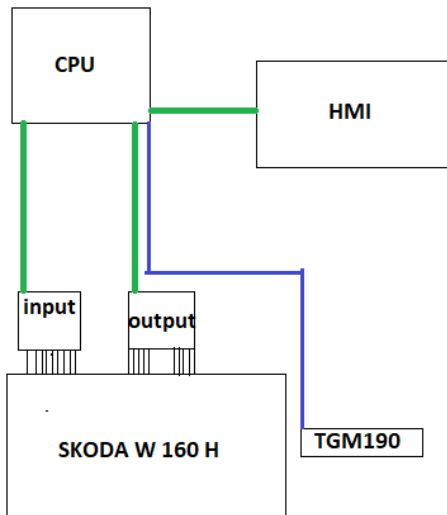
Ohjelmoitaessa akseleiden liikekäskyjä voidaan akseleille luoda akseleiden välinen interpoloitu ajo. Interpoloitu ajo tarkoittaa kahden akselin yhtäaikaista liikettä ja saapumista annettuihin koordinaatteihin samanaikaisesti. Interpoloidessa akseleiden liikevektorit lasketaan kuvion 2 esittämällä tavalla.



Kuvio 2. Vektorin laskenta (mukailtu Anderson ym. 2006, 40)

Kuvion esityksessä vektori a esittää X-akselia ja b vektori Y-akselia. Vektorit ovat kuviossa arvoltaan positiivisia. Akseleiden liikkuessa nollapisteestä negatiiviselle puolelle, on vektorien laskennan arvojen oltava myös negatiivisia.

Tiedonsiirto logiikan, koneen ja HMI-paneelin välillä voidaan toteuttaa kenttäväylällä, jolloin kaapeleiden tarve vähenee ja vikaantumisherkät signaalikaapelit poistuvat. Kuvassa 24 on hahmotelma kenttäväylän toteutuksesta. Koneen tulotiedot kerätään tulotietokortille ja ne viedään tiedonsiirtokaapelilla CPU-yksikölle. Logiikan saatua tarvittavat signaalitiedot työstökoneelta se suorittaa ohjelmoidun ohjelmakierron. Ohjelmakierron jälkeen lähtötieto viedään ulostulokortille ja muutetaan signaaliviestistä koneen tarvitsemaan jänniteviestiin.



Kuva 24. Kenttäväylähahmotelma (Kuva: Turo Mähönen)

Logiikalla toteutettavassa liikkeenohjauksessa on kuitenkin huomioitava, että koneen valmistaja on määritellyt koneen manuaalisesti ajettavavaksi ilman automaatiota. Koneen käyttötarkoitus ja käyttötapa tulee olla modernisaation jälkeen samanlainen, kuin se on tehtaalla valmistumisajankohtana ollut.

Yhteenveto ohjausjärjestelmät

Heidenhain-mittausjärjestelmien ja Siemens-logiikkaohjauksen -tuotetietojen perusteella mittausjärjestelmät pisteytettiin (taulukko 1), sekä laskettiin pisteiden keskiarvo. Pisteytys on välillä 1 - 5, jossa 1 on huonoin ja 5 paras mahdollinen.

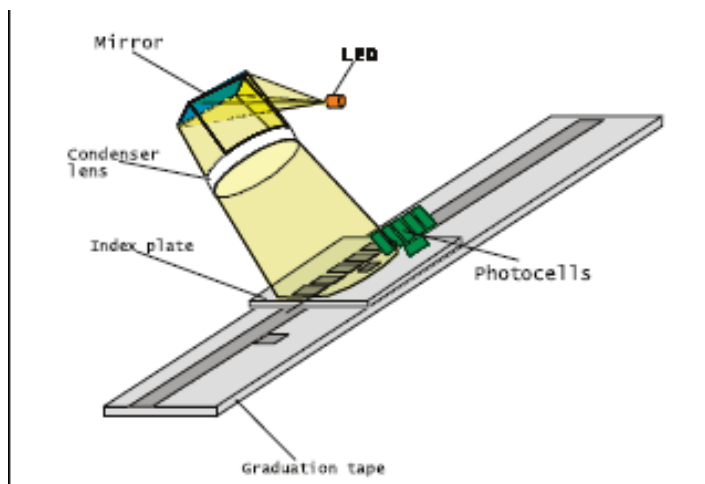
Tuotteet	Saatavuus	Hinta	Liitettävyyys	Käytettävyys	Tunnettavuus	Pist. keskiarvo
POSITIP 8016	4	3	3	5	4	3,8
TNC128	3	3	3	4	4	3,4
Siemens PLC	3	2	3	5	4	3,4

Taulukko 1. Mittausjärjestelmä pisteytys (Taulukko: Turo Mähönen)

Heidenhain-tuotteiden saatavuus ja hintatieto on tiedusteltu laitetoimittajilta. Liitettävyyys, käytettävyys ja tunnettavuus -pisteytys perustuu tutkittuihin laitedokumentteihin ja työelämän kokemukseen.

6.4 Mittasauvat

Mittasauvat-termi muodostuu mittasauvan rungosta, mittapästä ja mittasauvan alumiinirungon sisällä käytettävästä astenauhasta. Mittasauvan paikanmittaus perustuu mittasauvan lukupäähän (kuva 25), jonka sisällä valo heijastetaan peilin kautta kondensaatiolinssin läpi astenauhalle. Käytettäviä mittasauvoja paikanmittaukseen on inkrementaalisia ja absoluuttisia.



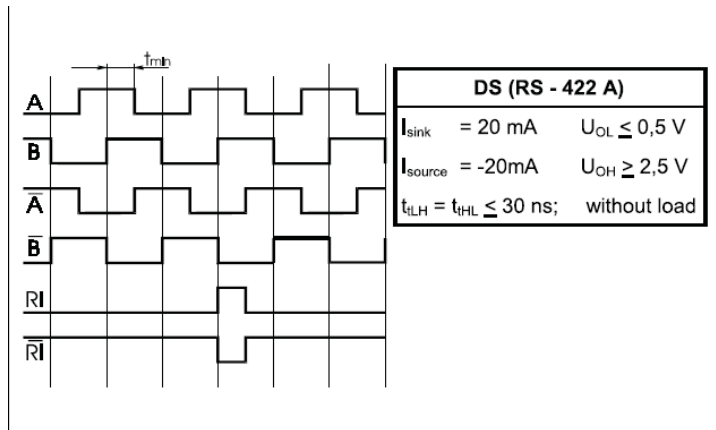
Kuva 25. Mittasauvan lukupää (Tela-ms)

Absoluuttisen mittasauvan astenauhassa on absoluuttinen, sekä inkrementaalinen asteikko. Inkrementaalista asteikkoa käytetään absoluuttisessa mittanauhassa paikoituksen tarkistukseen ja mittaustuloksen vertailemiseen absoluuttisen mittatiedon kanssa. Absoluuttisen mitta-asteikon jokainen mitattava väli on ainutlaatuinen, joten mittaustulos muodostaa mittapäälle koodin. (Heidenhain 2023a, 5.) Mittanauhaan muodostunut koodi on mittapään tunnistettavissa sähkökatkon jälkeenkin mittapään käydessä jännitteettömänä. Käytettäessä inkrementaalista astenauhaa asteikko on itseään toistava ja samanlainen alusta loppuun. Mittausjärjestelmän lukupää ei tunnista paikkatietoa esimerkiksi sähkökatkon jälkeen.

Astenauhan pinnan mitta-asteikko on valoa heijastava toimintatavasta riippumatta. Lukupää saa mittanauhasta paluuviestinä mitta-arvon muutoksen koneen liikuessa, joka lähetetään signaaliviestillä mittausjärjestelmälle. Signaaliviestin muoto voi olla DS-, SI-, tai SV-signaali.

DS-signaali

Kanttiaaltosignaali (kuvio 3) on RS422A-sarjaliikennestandardin mukainen yksipäätteisillä tiedonsiirtojärjestelmillä. RS422A-standardi määrittelee tiedonsiirtonopeuden suhteessa etäisyyteen vastaanottimen ja anturin välillä. (Foldoc 2023.)



Kuvio 3. Kanttiaaltosignaali (Tela-ms, 2)

Kuviossa 3 esitetään DS-signaalin pulssin pituus suhteessa aikaan. Kanttiaallon huippukohdassa anturi antaa virtaviestin 20 mA ja vastaavasti kantin pohjalta virtaviestin -20 mA. Kanttiaaltoa syöttävästä mittalaitteesta lasketaan ohjausjärjestelmässä Fourier-sarja (kaava 10) akselin etenemän mukaan.

$$f(t) = \frac{1}{2} - \frac{2}{\pi} \left[\sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3 \omega t + \frac{1}{5} \sin 5 \omega t + \frac{1}{7} \sin 7 \omega t + \dots \right] \quad (10)$$

jossa:

$f(t)$ = pulssin matka suhteessa aikaan

π = piin likiarvo

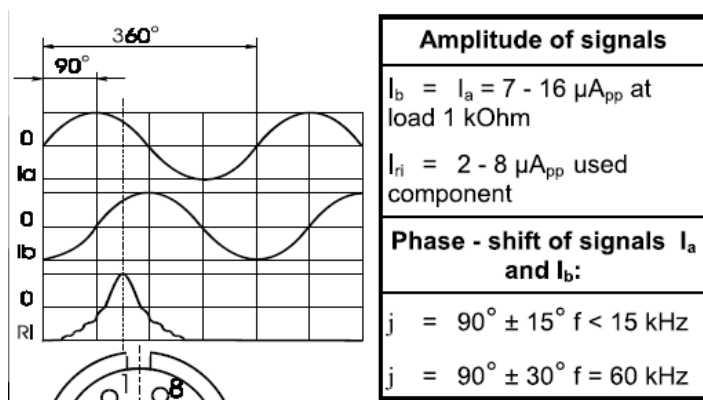
\sin = sin-laskufunktio

ω = kulmataajuus radiaaneina

t = signaalin aika (Perkiö ym. 2012, 118).

SI-signaali

Siniaalto- ja sinimuotoisetsignaaliit ovat saaneet nimensä aallon muodosta yhden jakson aikana. Kuviossa 4 huomataan, että aallon jakso muodostaa S-kirjaimen. Sinimuotoinen eroaa kuvaukseltaan siniaaltosignaalista siten, että se kuvataan yleensä vuorottelevana puoliympyränmuotoisena käyränä kuvaajan vaaka-akselin molemmin puolin. Sinimuotoista signaalia laskettaessa vaaka-akselin yläpuolella käytetään sin-funktiota (kaava 11) ja vaaka-akselin alapuolelta cos-funktiota (kaava 12) (Saini 2022).



Kuvio 4. Sinimuotoinen signaali (Tela-ms, 2)

$$x(t) = \sin \omega t \quad (11)$$

$$x(t) = \cos \omega t \quad (12)$$

jossa:

$x(t)$ = aallon pituus suhteessa aikaan

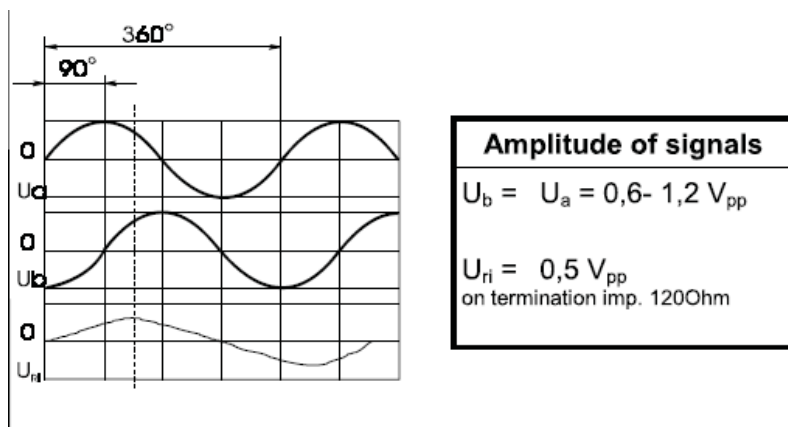
ω = kulmataajuus radiaaneina

t = signaalin aika.

Sinimuotoinen signaali on ajan funktio suhteessa edettyyn aallon matkaan. Sinimuotoinen signaali on matemaattisesti yksinkertaisin analysoitava signaalimuoto (Saini 2022).

SV-signaali

Siniaaltosignaali (kuvio 5) on yleisin tunnettu, sekä esitetty mittaamismuoto esimerkiksi verkkovirrälle ja radiotaajuuksille. Kaavassa 13 on esitetty siniaallon matemaattinen muoto.



Kuvio 5. Siniaaltosignaali (Tela-ms, 2)

$$y(t) = A \sin(\omega t + \varphi) \quad (13)$$

jossa:

$y(t)$ = aallon jakso suhteessa aikaan

A = amplitudi

ω = kulmataajuus radiaaneina

φ = vaihe radiaaneina. (Electronics-notes.)

Siniaaltosignaaleja laskettaessa käytetään radiaaneja asteiden sijasta. Aaltosignaalin matka nollassa nolnaan on 2 radiaania, eli 360 astetta. Siniaalto voidaan myös rinnastaa monen muun tieteen ja elämän alalle kuvaajaksi.

6.4.1 TGM190 mittasauva

TGM190-mallin mittasauvan teknisten tietojen mukaan inkrementaalisen mittasauvan tarkkuus on 10 mikrometriä metrin matkalla. Kaavalla 14 lasketaan mittasauvan tarkkuus. Mittasauvan maksimiliikenopeudeksi on ilmoitettu 120 m / min ja käyttöjännite 5 VDC. (Telsms, 2-3.)

$$(10 \cdot 10^{-6}) \cdot 1000 \text{ mm} = 0,01 \text{ mm} \quad (14)$$

Mittasauvan kaapelin liittimen johdinjärjestystä muuttamalla, saadaan signaaliulostuloksi DS-, SI-, tai SV-signaaleita. Mittasauva on varustettu paineilimäliitännällä ylipaineen luomiseksi mittakotelon sisäpuolelle. Ylipaineella estetään lian ja epäpuhtauksien pääsy kotelorakenteen sisälle.

6.4.2 Heidenhain mittasauva

Heidenhain tuotevalikoiman mittasauvoja tarkastellessa huomataan, että inkrementaalisista sauvoista LB 383 C -malli on maksimiasennuspituudeltaan ja signaali muodoltaan tarkoituksenmukainen. LB 383 C -mallin tarkkuus on 8 mikrometriä metrille. Absoluuttisista mittasauvoista LC 185 – malli käytettäessä SI-signaalia antaa valmistajan mukaan 3 mikrometrin tarkkuuden metrille. Kaavalla 15 lasketaan LB 383 C -mallin tarkkuus ja kaavalla 16 lasketaan LC 185 mittasauvan tarkkuus.

$$(3 \cdot 10^{-6}) \cdot 1000 \text{ mm} = 0,003 \text{ mm} \quad (15)$$

$$(8 \cdot 10^{-6}) \cdot 1000 \text{ mm} = 0,008 \text{ mm} \quad (16)$$

Mittasauvojen maksimiliikenopeudeksi valmistaja ilmoittaa 190 m / min. Käyttöjännite on DC 3,6 V 1,1 W teholla. Käytettäessä 14 V DC jännitettä tehomaksimi on 1,4 W. Alumiini-profiiliin on lisätty paineilimäliitäntä ylipaineen luomiseksi. (Heidenhain 2023b, 4, 14.)

Yhteenveto ohjausjärjestelmät

Heidenhain ja TGM190 -mittasauvoista kerättyjen tietojen perusteella mittasauvat pisteytetään taulukossa 2. Pisteytys on välillä 1 - 5, jossa 1 on huonoin ja 5 paras.

Tuotteet	Saatavuus	Hinta	Liitettävyyys	Käytettävyyys	Tunnettavuus	Pist. keskiarvo
Heidenhain LC 185	2	1	5	5	4	3,4
Heidenhain LB 383 C	2	1	5	5	4	3,4
TMG190	3	3	2	5	2	3

Taulukko 2. Mittasauvojen pisteytys. (Taulukko: Turo Mähönen)

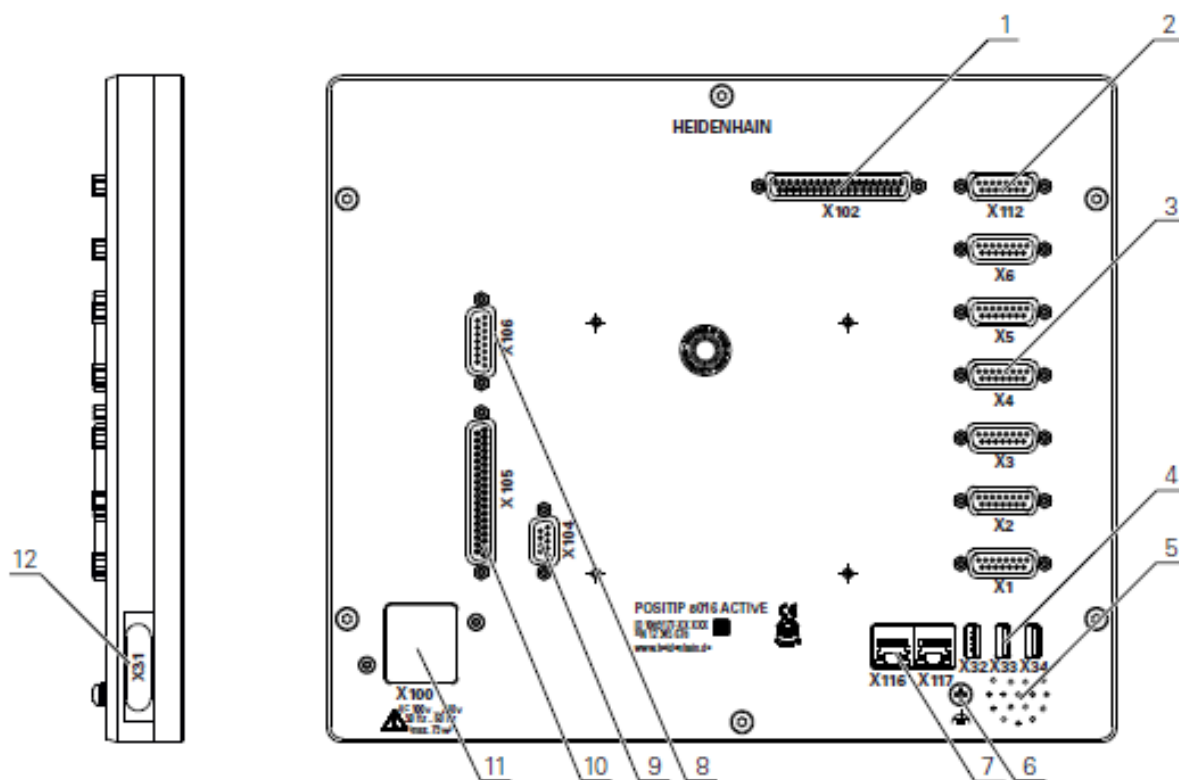
Taulukon tiedoista saatavuus ja hintatieto on tiedusteltu laitetoimittajilta. Tunnettavuus, liitettävyyys ja käytettävyyys on pisteytetty tuotetietoa tutkimalla ja asennusohjeisiin perehtymällä, sekä työelämän kokemuksen perusteella.

7 Käyttöönottosuunnitelma

7.1 Heidenhain POSITIP 8016

Näyttölaitteeseen kytketään Heidenhain (2022, 213) omistajan käsikirjan mukaan syöttöjännite AC 100 - 240 V. Laitteessa on varustettu muistiparistolla sähkökatkojen varalle. Muistiparisto on tyypiltään CR2032; 3 V. Mittalaitetulo liittimiä on neljä kappaletta 15-pin D sub - liittimille. Mittalaitteita saadaan ohjelmisto-optiolla kaksi lisää, jos kone on jyrsinkäytössä.

Näyttölaitteella on analogiset tuloportit. Tuloporttien jännitealue on 0 - 5 V, ja virta-arvo 2,1 - 6,0 mA. Digitaaliset lähdöt ovat jännitearvoltaan - 10 - 10 V ja virta-arvo maksimissaan 150 mA. Relelähtöjen kytkentäjännite AC 30 V ja maksimi syöttövirta 0,5 A. Tietoliikenneportteja on neljä kappaletta ja ne ovat tyypiltään USB 4.0. Laitteessa on RJ 45 ethernet - portti. Kuvassa 26 on esitetty näyttölaitteen takaosa ja siinä näkyvät kytkentäliittimien sijainnit.



Kuva 26. Liittimet (Heidenhain 2022, 70)

Liittimiin kytketään

- 1 X102 37-pin D sub digitaaliliitännät, 8 tuloa, 16 lähtöä
- 2 X112 15-pin D sub kosketusjärjestelmät
- 3 X1-X6 15-pin D sub mittajärjestelmät

- 4 X32-X34 USB-liitännät
- 5 kaiutinliitäntä
- 6 standardin IEC/EN 30204-1 mukainen maadoitusliitäntä
- 7 X116 RJ 45 ethernet (X117 ei käytössä)
- 8 X106 15-pin D sub analogialiitin, 4 tuloa, 4 lähtöä
- 9 X104 9-pin D sub releliitin
- 10 X105 37-pin D sub digitaaliliitin, 24 tuloa, 8 lähtöä
- 11 X100 verkkoliitäntä
- 12 X31 USB-liitin laitteen sivussa. (Heidenhain 2022, 71-77.)

Mittalaitteiden jännitteensyöttö on valittavissa laitetta parametroitessa 5 V, tai 12 V jännitteelle. Käyttönoton yhteydessä näyttölaite parametroitaan syöttämään 5 VDC -jännitettä mittalaitteelle. Mittaustulosignaalin parametri asetetaan vastaanottamaan siniaaltosignaalia ja karalle tulee tehdä pyörimisnopeusanturin pulssien skaalaus. Karan pulssianturi voidaan parametroida myös tietokoneella ja sopivalla välikaapelilla suoraan pulssianturista. Pulssit skaalataan pulssia asetta kohden, tai pulssia 360 astetta kohden. Perusparametrien asetuksiin kuuluu kellon- ja päivämäärän asetus, sekä lineaari- ja kulma-arvojen asetus ja niiden pyöristämistarkkuus desimaaleissa. (Heidenhain 2022, 86-88.)

Mittalaitteen parametroidin yhteydessä annetaan signaalitunnistus ajosuunnan tunnistamiseksi. Perusoletuksena on positiivinen eteenpäin ja negatiivinen taaksepäin. Mittauspi-tuuden parametrit syötetään näyttölaitteelle millimetreinä. Mittavirheen kompensatioasetus on oletuksena pois päältä. (Heidenhain 2022, 90, 93.)

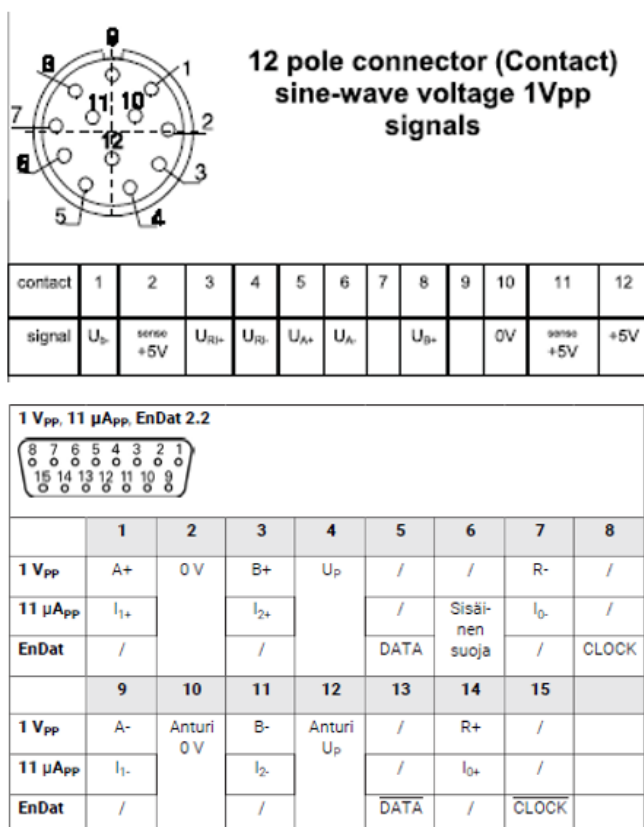
Mittavirheen kompensoinnin päälle kytkeminen vaatii tarkistuspisteiden luomisen koneen akselin liikealueelle. Liikealueelle voidaan asettaa 0 - 200 tarkistuspistettä matkan mukaan. Mittavirheen kompensoinnin asettamisen jälkeen järjestelmä laskee koneen heilahduksista, sekä kulumisesta aiheutuvaa väljyyttä, ja huomioi sen mittaustuloksessa.

Moottorityypiksi asetetaan parametreissa kaksinapainen servomoottori, jolloin käytössä on digitaalinen jännitteensyöttö. Jännitearvojen oletukset ovat + 10 V positiivinen liikesuunta ja -10 V negatiivinen liikesuunta. Tämä voidaan muuttaa parametreissa vastakkaiseksi, mikäli koneen vanha sähköjärjestelmä sitä vaatii. Jännitealueen maksimi on oletuksena - 9 - 9 VDC ja se voidaan parametreista muuttaa - 10 - 10 VDC. Hälytysraja-arvoja käytettäessä asetetaan akseleiden jänniteviestille ylä- ja alaraja-arvot, jonka ylittyessä laite antaa hälytyksen hallitsemattomasta liikkeestä, ja jännitteensyöttö katkaistaan. Akseleiden kiihdytys- ja jarrutusrampit luodaan ajan suhteessa jäljellä olevaan matkaan. Paikoitukseen voidaan määrittää asemointivirhe mikrometrien tarkkuudella. (Heidenhain 2022, 101, 104, 106, 109, 110.)

POSITIP-näyttölaite asennetaan vanhan näyttölaitteen tilalle ohjauspaneeliin niin, että Philips-paikannäyttölaite jää Z ja Y -akseleille toimintaan. Näyttölaitteen takana on VESA 100 x 100 kiinnitysliitin. Kiinnityksessä voidaan käyttää tietokoneen näytössä käytettävää monitorivartta. Muiden akselien mittasauvojen päivityksen jälkeen voidaan uusi näyttöpaneeli siirtää kiinteäksi ohjauspaneeliin Philips-näyttölaitteen tilalle.

7.2 TGM190

TGM190 kaapelin asennus johdotetaan tuottamaan siniaaltosignaalia. Siniaaltosignaali on vikaantumistilanteessa POSITIP 8016 -laitteella tutkittavissa ja häiriökohtat mittasauvassa nähdään vikadiagnostiikkaohjelmalla. Kuvassa 27 on kytkentäjärjestys paikoitusnäyttölaitteeseen kytkettävälle 15-pin D -liittimelle.

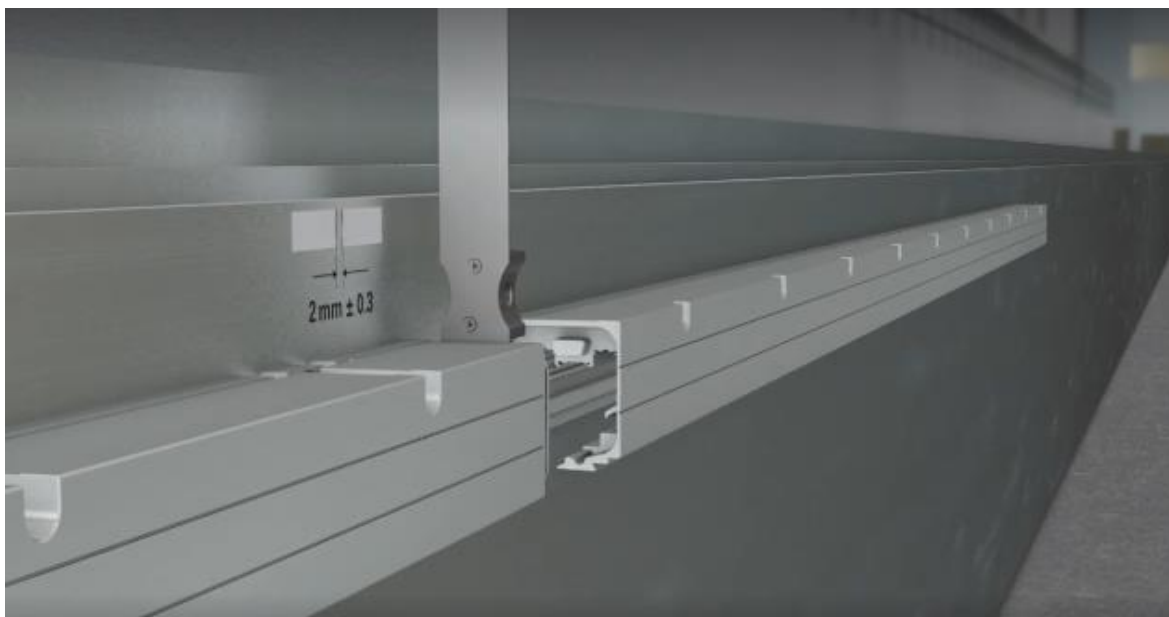


Kuva 27. Kytkentäjärjestys (mukailtu Tela-ms, 2; Heidenhain 2022, 71)

- 1 = 5.
- 2 = 10.
- 3 = 8.
- 4 = 12.
- 5 = tyhjä.
- 6 = tyhjä.

- 7 = 4.
- 8 = tyhjä.
- 9 = 6.
- 10 = 10.
- 11 = 1.
- 12 = 2 ja 11.
- 13 = tyhjä.
- 14 = 3.
- 15 = tyhjä.

Mittasauvan runko asennetaan koneeseen vanhan mittausjärjestelmän tilalle. Mittakotelon fyysiset ulkomitat ovat 58 x 45 x 295 mm ja ne toimitetaan ilmoitetun kokonaispituustarpeen mukaan valmiiksi esikasattuina. Mittasauvojen kiinnitys koneen runkokiskoon tapahtuu M5 x 50 pulteilla. Mittasauvojen linjauksessa käytetään tasolaseria ja liitoskohtiin (kuva 28) tulee asentaessa jättää 2 mm väli. Vaihtelu liitoskohtien välillä pituussuunnassa saa olla $\pm 0,3$ mm. Mittasauvojen keskinäinen heitto pystysuunnassa saa olla maksimissaan $\pm 0,3$ mm. Pystysuuntaista heittoa voidaan tarkastella mittakellon avulla.



Kuva 28. Mittasauvojen asennus (Heidenhain 2023a, 1:08)

Mittakotelon asennuksen jälkeen koteloon asennetaan mittanauha. Mittanauha esijännitetään paikoillaan pysymisen varmistamiseksi. Mitta-anturin kulkuaukkoon asennetaan kumiset huulitiivisteet, jonka jälkeen mitta-anturi asennetaan. Mittanauha esijännitetään 2 nm -momenttiin. Mittalaitteen ja mittanauhan kalibrointi (kuva 29) tulee tehdä viimeistään, kun mittaustulosta saadaan esitettyä mittausjärjestelmän näytössä.



Kuva 29. Mittalaitteen kalibrointi (Heidenhain 2023a, 06:07)

Kalibroinnissa mittapää liikutetaan käsin mittasauvan päästä päähän. Mittanauhaa kiristetään niin, että mittausjärjestelmän paikannäyttö näyttää nollaa. Näiden toimenpiteiden jälkeen mittapää voidaan kytkeä kiinteästi koneeseen koeajon suorittamista ja tarvittavia hienosäätöjä varten.

8 Yhteenveto ja pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutustua Padasjoen Metalli Oy:n omistaman vaakakaraisen työstökoneen alkuperäiseen ohjaus- ja paikanmittausjärjestelmään. Alkuperäinen järjestelmä on valmistettu 1970-luvulla. Järjestelmä on elinkaarensa päässä huollettavuuden ja varaosien suhteen. Omistajan tarpeet koneen tuotantovarmuuden ylläpitämiseksi ovat mitausjärjestelmän tarkkuuden säilyttäminen ja ohjausjärjestelmän päivittäminen vastaamaan nykyaikaisempaa ohjausjärjestelmää. Ohjausjärjestelmä toivottiin päivitettävän niin, että käyttäjä voisi antaa koneelle koordinaatin, mihin kone liikkuu nappia painamalla ja pysähtyy koordinaattipisteen saavutettuaan.

Opinnäytetyössä selvitettiin koneenrakentamisen standardeihin liittyvät rajoitukset modernisaatiolle. Työstökone on valmistunut ennen standardien voimaantuloa, mutta voimassa olevat standardit osittain määräävät modernisoitavan koneen rakentamisesta ja turvallisuudesta. Standardeja noudatettaessa on otettava huomioon, että koneen toimintavan muutuksessa oleellisesti valmistusajankohdan toimintatavasta, on koneen vastattava kaikilta osin voimassa olevia standardeja.

Opinnäytetyössä perehdytään työstökoneissa käytettävään NC-kieleen. NC-kieli on standardisoitu koneen symboliohjaustapa, jolla koneelle kerrotaan suoritettava komento tai työkierto. Komentosarjoja käytettäessä symboleina käytetään yleensä isoa aakkosta, jonka perään syötetään numerolla haluttu toiminto. NC-kielessä käytetään myös erikoismerkkejä työkomennoissa.

Ohjausjärjestelmän päivitykseen käytettävien järjestelmien ominaisuuksiin perehdyttiin laitetoimittajan tuotetietojen perusteella. Heidenhain-ohjausjärjestelmien liitettävyyden modernisoitavanaan koneeseen on haasteellinen, koska koneessa on suuri määrä tulo- ja lähtötietoja signaalijänniteviestille. Signaalijänniteliittimiä on molemmissa Heidenhain-ohjausjärjestelmissä rajoitettu määrä. Siemens-logiikkaohjaus on monipuolisin toiminnoiltaan ja liitettävyydeltään. Koneen ohjaus HMI-näytölle voidaan luoda logiikassa siten, että koneen toimintatapa ei muutu valmistajan tarkoittamasta toimintatavasta. Logiikkaan voidaan ohjelmoida myös sähköpääkeskuksen reletoiminnot. Sähköpääkeskuksen toimintojen vieminen logiikkaan poistaa vanhat vikaantumisalttiit releet sähkökeskuksesta. Logiikan käyttämää kenttävylyä hyödyntämällä saadaan koneen sähköjohtojen määrää vähennettyä merkittävästi ja sitä kautta tuotantokatkoksia pienennettyä.

Ohjausjärjestelmien tuotetietojen vertailun tuloksena Heidenhain POSITIP 8016 -mallin ohjausjärjestelmä on toiminnoiltaan käyttäjäystävällisin suomenkielisen käyttöliittymän vuoksi. Ohjausjärjestelmässä on valmiina esiohjelmoituna työkiertoja ja kattava vikadiagnostiikka

signaaliviestillä toimiville mittasauvoille. POSITIP-ohjausjärjestelmällä työstökoneetta liikuteaan luodun NC-ohjelman pohjalta lauseke kerrallaan. Lausetta suoritettaessa on suorita-komento käyttäjäpaneelistä pidettävä aktiivisena. Liiketoiminnot vaativat käyttäjän fyysistä ohjausta, jolloin koneen alkuperäinen toimintatapa ei muutu. Heidenhain-ohjausjärjestelmien hintataso ja saatavuus on suhteellisen hyvä ottaen huomioon yleinen haastavuus komponenttimarkkinoilla.

Mittasauvoja on opinnäytetyössä vertailtu kahdelta valmistajalta. Mittasauvan lukupään signaalimuotoa voi vaihtaa lukupäältä lähtevän kaapelin johdinjärjestystä muuttamalla. Perusrakenteeltaan mittasauvat ovat samanlaisia lukuun ottamatta Heidenhain LC 185 -mallin absoluuttista mittasauvaa. Absoluuttisen mittasauvan eroavaisuus inkrementaaliseen mittasauvaan on sen ominaisuus muistaa koneen paikkatieto sammuttamisen jälkeen.

Mittasauvan valintaa mietittäessä on hyvä muistaa, että nollapiste on haettava jokaiselle työstettävälle kappaleelle uudestaan, joten se ei puolla absoluuttisen mittasauvan asentamista. Tämä huomioon otettaessa mittasauvojen eroavaisuus tulee laitetoimittajan tunnettavuudessa ja sitä kautta kustannuksissa. Vähemmän tunnettu tuote mittasauvoissa on huomattavasti edullisempi, mutta varaosasaatavuus on epävarma tulevaisuudessa. Suurilla laitetoimittajilla on kokemuksen mukaan markkinoilta poistuville tuotteille luotuna uusi korvaava tuote, joka soveltuu käytettäväksi vanhan osan rikkoutuessa. Opinnäytetyö keskittyi X-akselin paikanmittauksen modernisaatioon. Modernisaation toteutuessa Y ja Z -akselien mittasauvojen päivitys kannattaa tehdä samalla, koska se ei kokonaiskustannuksia nosto merkittävästi. Kaikkien mittasauvojen päivityksellä uudesta ohjausjärjestelmästä saadaan täysi hyöty.

Työstökoneessa on automaatiovaraus NC-ohjaukselle. Automaatiojärjestelmän varauksen kytkentäliittimet on ilmoitettu sähkökuvissa viitenumerolla 21. Viitenumeron perässä on järjestystunnus X ja juokseva liitinnumero alkaen numerosta 12. Liittimiä on 8 tuloa ja 8 lähtöä signaalijännitteelle. Liittimet ohjaavat sähkökeskuksessa relelogiikkapiirejä.

Tästä ei kuitenkaan maahantuojalla ollut tarkempaa tietoa asiasta kysyttäessä. Mahdollista on, että NC-ohjauksen varaus on käytössä muussa konemallissa. Ohjekirja on merkinnöistä päätellen luotu sopimaan useampaan saman, tai suuremman sarjan koneeseen. Ennen ohjausjärjestelmän valintaa on hyvä selvittää, että löytyykö sähkökeskuksesta valmistajan luomia NC-ohjauksen kytkentäliittimiä. Näiden liittimien avulla voidaan työstökoneeseen kytkeä lähes mikä tahansa ohjausjärjestelmä, koska tulo- ja lähtösignaalitietojen määrä vähenee merkittävästi.

Opinnäytetyön aikana tuli uutta tietoa 1970-luvulla käytetyistä ohjaustavoista ja tuntemusta vanhempien koneiden toimintaperiaatteista. Opittua tietoa pääsi soveltamaan koneen rakennepiirustuksia ja sähkökuvia tutkimalla. Laajempaa tuntemusta tuli eri laitetoimittajien tuotteista, jotka sopisivat ominaisuuksiltaan modernisaation tarpeisiin. Työn käytännön osuus jää opinnäytetyössä käyttöönottosuunnitelman tasolle, mutta se on apuna yritykselle päätöksenteossa modernisaation edetessä.

Mahdollisia jatkokehityksiä olisi koneen akseleiden servokäytön- ja servomoottorin päivitys, lukuun ottamatta karamoottoria, joka on tehdyn päivityksen myötä nykyaikainen. Vanhojen tasavirtaservojen käyttö on toteutettu ON/OFF -periaatteella ja voimasiirron välissä olevalla monilevykytkinvaihteistolla määrätään akselin liikenopeus. Vanhemmat tasavirtamoottorit ovat hiiliharjallisia, mikä lisää niiden säännöllisen huollon tarvetta hiilipölyn muodostumisen vuoksi. Työssä jäi selvittämättä uuden vaihtovirtaservomoottorin liitettävyyden nykyisen vaihdelaatikon ja servomoottorin tilalle. Uudenaikaisia vaihtovirtamoottoreita ohjataan taajuusmuuttajalla, joka mahdollistaa niiden laajan kierrostoiminta-alueen, sekä korkean vääntömomentin liikkeen aikaansaamiseksi. Taajuusmuuntajaan voidaan parametroida hyvinkin tarkasti moottorin jarrutus- ja kiihdytysrampit. Ohjausjärjestelmässä on lisäksi hienosäätömahdollisuus moottorin rampeille. Toimintavarmin ratkaisu tähän päivitykseen on asiantuntijan kanssa selvittää vanhan vaihdelaatikon välityssuhteet ja liittää uusi taajuusmuuntaja-ohjattu vaihtovirtamoottori ilman vaihdelaatikkoa. Tilan säästämiseksi kannattaa kuitenkin laittaa kulmavaihteella vaihdelaatikon tilalle. Kulmavaihteella vaihtovirtamoottorin asennus on vaakasuorassa koneen torniin nähden. Kulmavaihteella voidaan myös muuttaa välityssuhdetta, jos esimerkiksi käytetään 2:1, tai 3:1 -välityssuhteella olevaa kulmavaihdetta. Välityssuhteen muuttaminen keventää moottoriin kohdistuvaa rasitusta.

Koneen valmistusajankohtana ei ole ollut erityisempiä turvalaitevaatimuksia. Päivityksenä ohjausjärjestelmästä riippumatta koneen työskentelyalueelle olisi hyvä asentaa turvaloverhot estämään sivullisten pääsyn työskentelyalueelle koneen käydessä. Turvaloverhon valokennojen välisen yhteyden katketessa turvalogiikka katkaisee koneen ohjausjännitteen ja koneen liikkeet pysähtyvät. Koneen johdesuojien molemmilla puolilla on avoimet lastukourut. Operaattori työskentelee lastukourun ja T-urapöydän välissä. Lastukouruun olisi mahdollista myös asentaa turvaloverho ja liittää se asennettavaan turvalogiikkaan. Lastukourun valoverhon havaitessa sinne kuulumattoman objektin katkaisee turvalogiikka ohjausjännitteen. Lastukourun valoverhoon voisi myös liittää huomiovalon, joka alkaa vilkkua turvalogiikan katkaistessa jännitteen. Huomiovalo herättäisi tässä vaiheessa muiden hallissa työskentelevien operaattoreiden huomion.

Lähteet

Anderson, R., Koski, V., Myller, J., Pihko, P., Venäläinen, M. 2006. Maol taulukot, matematiikka fysiikka kemia. 2.–3. Keuruu: Otava.

CodeBerry. PLC-ohjelmointi aloittelijoille. Viitattu 12.5.2023. Saatavissa <https://codeberryschool.com/blog/fi/plc-ohjelmointi-aloittelijoille/>

EDU.a. Ohjelman yleiset koodit ja sanat. Viitattu 22.5.2023. Saatavissa <http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/nctekniikka/NCkoodit.html>

EDU. b. Työstörata. Viitattu 3.4.2023. Saatavissa <http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/nctekniikka/NCkoodit.html>

EDU. c. Kytkevät M-koodit. Viitattu 22.5.2023. Saatavissa <http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/nctekniikka/NCkoodit.html>

Electronics-notes. What is a Sine Wave - Electronics Waveform. Viitattu 20.4.2023. Saatavissa https://www.electronics-notes.com/articles/basic_concepts/electronic-electrical-waveforms/sine-waveform.php

Euro Inox. What is stainless steel. Viitattu 22.3.2023. Saatavissa https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/What_is_Stainless_Steel_FI.pdf

Finder. Padasjoen Metalli Oy. 2023. Viitattu 22.3.2023. Saatavissa <https://www.finder.fi/Konepajateollisuus+ja+metallity%C3%B6t/Padasjoen+Metalli+Oy/Padasjoki/yhteystiedot/140037>

Foldoc. 2023. EIA-422. Viitattu 19.04.2023. Saatavissa: <https://foldoc.org/EIA-422>

Heidenhain. 2013. User's Manual HEIDENHAIN Conversational Programming. Viitattu 18.04.2023. Saatavissa https://product.heidenhain.de/JPBC/image/FILEBASE_PUBLIC/819494-20.pdf

Heidenhain. 2022. POSITIP 8000. Omistajan käsikirja. Jyrsintä. Viitattu 3.4.2023. Saatavissa https://product.heidenhain.de/JPBC/image/FILEBASE_PUBLIC/pt8016active_milling_1252216-13x_ba_1317302-02-a-10_fi.pdf

Heidenhain. 2023a. Video for mounting the LC 201. Viitattu: 19.4.2023. Saatavissa <https://www.heidenhain.com/products/linear-encoders/sealed/lc-200/mounting>

Heidenhain. 2023b. Lienar Encoders. Viitattu 21.4.2023. Saatavissa https://www.heidenhain.com/fileadmin/pdf/en/01_Products/Prospekte/PR_Linear_Encoders_for_Numerically_Controlled_Machine_Tools_ID571470_en.pdf

Kevarinmäki, A., Oksanen, T., Yli-Koski, R. 2005. Ruostumattomasta teräksestä valmistettujen puurakenteiden liitosten suunnittelu. Helsinki: VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. VTT Working Papers 38. Viitattu 30.3.2023. Saatavissa https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.vttresearch.com%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Fpdf%2Fworkingpapers%2F2005%2FW38.pdf&psig=AOvVaw2f2Mhvx9xjTrLjckjx_gk&ust=1680249552718000&source=images&cd=vfe&ved=0CBAQjRxqFwoTCPCvp7-Xg_4CFQAAAAAdAAAAABAI

Machinery Oy. 1979a. Käyttöohje osa 1. Saatavissa Padasjoen Metalli Oy

Machinery Oy. 1979b. Käyttöohjeet osa 2. Sähköinen osa. Saatavissa Padasjoen Metalli Oy

Nortech Metal Oy. a. Niin mitä te siellä Nortechilla oikein teette. Viitattu 04.04.2023. Saatavissa <https://nortech.fi/niin-mita-te-siella-nortechilla-oikein-teette/>

Nortech Metal Oy. b. Koneluettelo. Viitattu 4.4.2023. Saatavissa <https://nortech.fi/koneluettelo/>

Padasjoen Metalli Oy. a. Viitattu 15.2.2023. Saatavissa <https://padasjoenmetalli.fi/>

Padasjoen Metalli Oy. b. Viitattu 15.2.2023. Saatavissa <https://padasjoenmetalli.fi/referenssit/>

Padasjoen Metalli Oy. c. Viitattu 15.02.2023. Saatavissa <https://padasjoenmetalli.fi/konekanta/>

Perkiö, J. Peltonen, H. Vierinen, K. 2012. Insinöörin fysiikka. Osa 2. p 8. Saarijärvi. OFFSET Oy.

Perälä, J. 2023a. Tuotantopäällikkö. Padasjoen Metalli Oy. Opinnäytetyön katselmuskäynti 19.1.2023.

Perälä, J. 2023b. Tuotantopäällikkö. Padasjoen Metalli Oy. Opinnäytetyön välipalaveri 17.5.2023.

Philips. 1979. Digital readouts. PE 2477, PE2478. Saatavissa Padasjoen Metalli Oy

Railwayscenics. 2023. D Sub Connector Wiring Diagrams. Viitattu 20.4.2023. Saatavissa <https://www.railwayscenics.com/connector-wiring-diagrams-download-p-3129.html>

Saini, M. 2022. What is a Sinusoidal Wave Signal – Definition and Importance. Viitattu 19.4.2023. Saatavissa <https://www.tutorialspoint.com/what-is-a-sinusoidal-wave-signal-definition-and-importance>

Sandvik. Jyrsinnän laskukaavoja ja määritelmiä. Viitattu 15.5.2023. Saatavissa <https://www.sandvik.coromant.com/fi-fi/knowledge/machining-formulas-definitions/milling-formulas-definitions>

Siemens. 2023. TIA Selection Tool cloud. Viitattu 18.4.2023. Saatavissa <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/topic-areas/tia/tia-selection-tool.html>

Skoda. 1978a. Sähkökuvat Skoda W 160 H. Saatavissa Padasjoen Metalli Oy

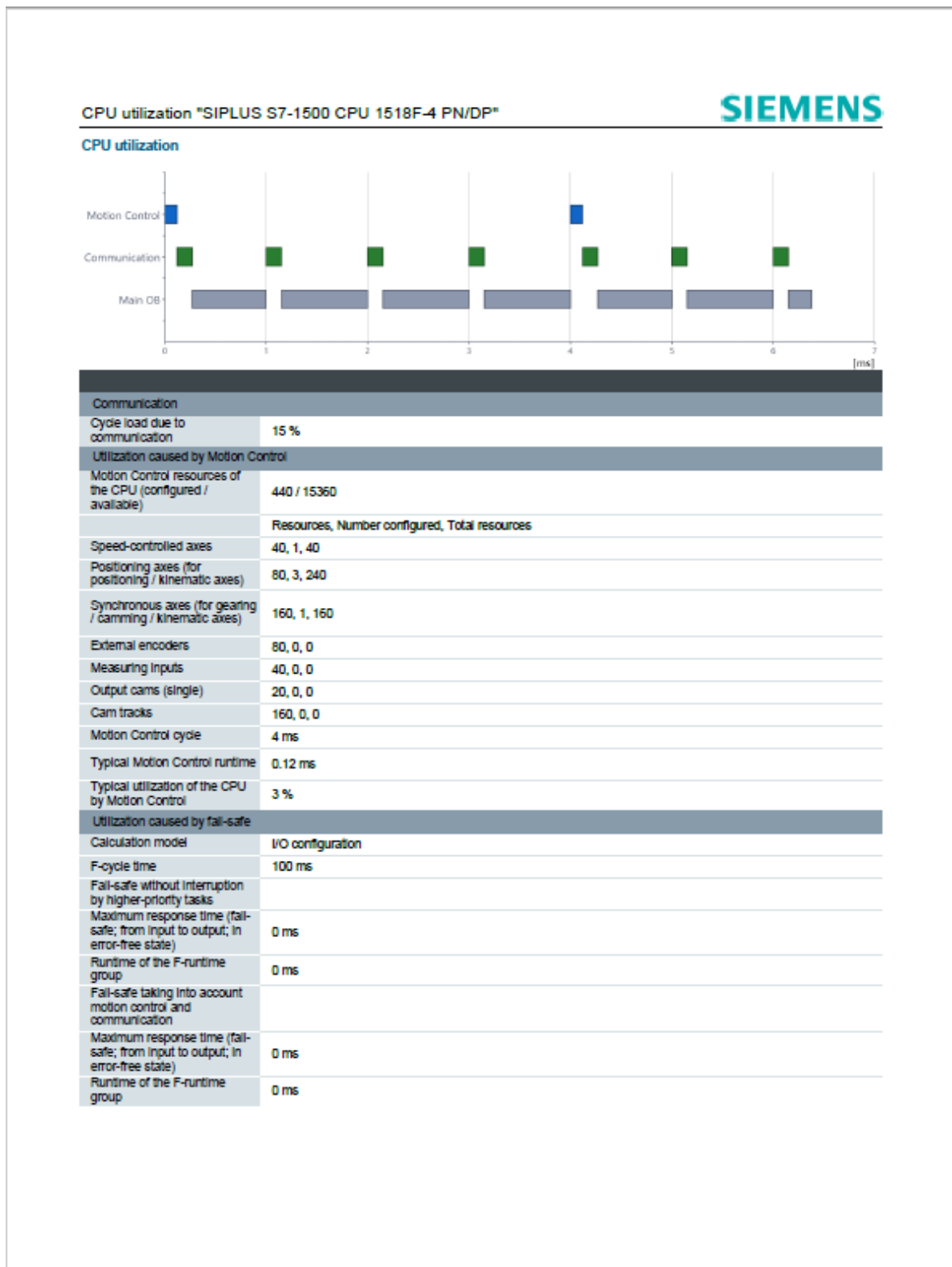
Tela-ms. Long lenght linear scale. Viitattu 19.4.2023. Saatavissa <http://tela-ms.si/doc/TGM190.pdf>

Valmistajat. Lastuavat työstömenetelmät. Viitattu 15.5.2023. Saatavissa <https://valmistajat.fi/menetelmat/lastuavat-tyostomenetelmat>

Valtanen, E. 2013. Tekniikan taulukkokirja. p 20. Mikkeli: Genesis-Kirjat.

Liitteet

Liite 1. Siemens SIPLUS S7-1500 CPU 1518F-4 PN/DP

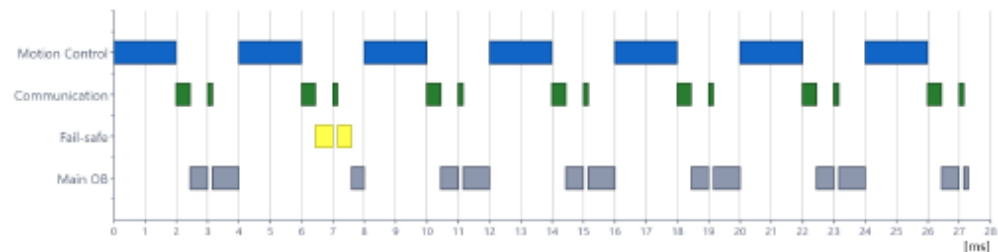


Lite 2. Siemens CPU 1511F-1PN, 225KB prog, 1MB data

CPU utilization "CPU 1511F-1PN, 225KB prog, 1MB data"

SIEMENS

CPU utilization



Communication	
Cycle load due to communication	15 %
Utilization caused by Motion Control	
Motion Control resources of the CPU (configured / available)	440 / 800
	Resources, Number configured, Total resources
Speed-controlled axes	40, 1, 40
Positioning axes (for positioning / kinematic axes)	80, 3, 240
Synchronous axes (for gearing / camming / kinematic axes)	160, 1, 160
External encoders	80, 0, 0
Measuring inputs	40, 0, 0
Output cams (single)	20, 0, 0
Cam tracks	160, 0, 0
Motion Control cycle	4 ms
Typical Motion Control runtime	1.99 ms
Typical utilization of the CPU by Motion Control	49.81 %
Utilization caused by fail-safe	
Calculation model	I/O configuration
F-cycle time	100 ms
Fail-safe without interruption by higher-priority tasks	
Maximum response time (fail-safe; from input to output; in error-free state)	101 ms
Runtime of the F-runtime group	1 ms
Fail-safe taking into account motion control and communication	
Maximum response time (fail-safe; from input to output; in error-free state)	101.15 ms
Runtime of the F-runtime group	1.15 ms