

OPPIMATERIAALEJA

PUHEENVUOROJA

RAPORTTEJA 109

TUTKIMUKSIA

Tero Reunanen (toim.)

ROBOTISOITU JÄYSTEENPOISTO

Panoste-projektin julkaisu 2/4



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPPIMATERIAALEJA

PUHEENVUOROJA

RAPORTTEJA 109

TUTKIMUKSIA

Tero Reunanen (toim.)

ROBOTISOITU JÄYSTEENPOISTO

Panoste-projektin julkaisu 2/4



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Panoste-projektin julkaisut:

Tero Reunanen (toim.)
Nollapistekiinnitysteknologioiden soveltaminen ja robotisoitu panostus
Panoste-projektin julkaisu 1/4
Turun ammattikorkeakoulun raportteja 108

Tero Reunanen (toim.)
Robotisoitu jäysteenpoisto
Panoste-projektin julkaisu 2/4
Turun ammattikorkeakoulun raportteja 109

Tero Reunanen & Sakari Koivunen (toim.)
Kappaleiden merkkaus robotisoidussa tuotantosolussa
Panoste-projektin julkaisu 3/4
Turun ammattikorkeakoulun raportteja 110

Tero Reunanen & Sakari Koivunen (toim.)
Automatisoitu mittaus robotisoidussa tuotantosolussa
Panoste-projektin julkaisu 4/4
Turun ammattikorkeakoulun raportteja 111

Julkaisuja koostettaessa on käytetty lähteinä seuraavien henkilöiden tekstejä:

Jani Aarnio, Dmitri Glouchenko, Tomi Grönholm, Petri Helin, Sakari Koivunen, Kalle Kuusiniemi, Matias Kylliäinen, Pessi Kääpä, Jasper Lastunen, Teemu Lehtonen, Jaakko Lento, Antti Meriö, Toni Miller, Janne Mäkelä, Marko Piira, Sami Pöllänen, Juuso Raita, Tero Reunanen, Marko Seppälä, Jouni Sirola, Kimmo Sorola, Santtu Suhonen, Pekka Törnqvist, Tommi Unkuri, Samuli Uotila, Juho Vainio, Mikko Valliluoto, Gaius Voltti ja Heikki Vuorinen.

TURUN AMMATTIKORKEAKOULUN RAPORTTEJA 109

Turun ammattikorkeakoulu
Turku 2011

ISBN 978-952-216-193-2 (painettu)
ISSN 1457-7925 (painettu)
Painopaikka: Tampereen Yliopistopaino – Juvenes Print Oy, Tampere 2011

ISBN 978-952-216-194-9 (PDF)
ISSN 1459-7764 (elektroninen)
<http://julkaisut.turkuamk.fi/isbn9789522161949.pdf>



LUKIJALLE

Tämä teos on yksi neljästä Panoste-projektissa syntyneestä julkaisusta. Julkaisuissa kuvataan projektissa tehdyt testit ja kehitetyt sovellukset sekä niiden tulokset siten, että ne olisivat mahdollisimman helposti yritysten tutustuttavissa ja käytettävissä. Toisin sanoen julkaisu on jaettu osiin tutkimusten, testien ja ratkaisujen mukaan mahdollisimman helpon käytettävyyden saavuttamiseksi, eikä niinkään yhtenäisen lukukokonaisuuden vaatimusten mukaisesti.

Julkaisujen kirjoitustyöhön on osallistunut Turun ammattikorkeakoulun opiskelijoita sekä henkilökuntaa. Kaikki neljä julkaisua sisältävät saman johdantoluvun, jota seuraa kunkin projektin osan oma sisältö. Nämä osiot on koostettu pääsääntöisesti opiskelijoiden valmiista opinnäytetöistä ja raporteista tarvittavin muokkauksin. Panoste-projektin osaprojektien tulokset on julkaistu Turun ammattikorkeakoulun raportteja -sarjan osissa 108–111.

Tahdon esittää kiitokseni erityisesti Turun ammattikorkeakoulun kone- ja tuotantotekniikan insinööriopiskelijoille, jotka toimivat suuressa roolissa myös projektin dokumentoinnissa. Lisäksi haluan kiittää Pekka Törnqvistiä ja Sakari Koivusta heidän tuestaan ja työstään julkaisun hyväksi sekä Tanja Hallenbergiä, joka on toiminut tekstin oikolukijana ja kommentoijana.

Tero Reunanen

SISÄLTÖ

ESIPUHE	7
I KONEISTETTAVIEN AIHIOIDEN UUSIEN PANOSTUSMENETELMIEN KÄYTTÖÖNOTTO – PANOSTE	9
1.1 Projektin tarvelähtöisyys ja tavoitteet	9
1.2 Projektin tiedot	17
1.3 Tuotantosolu	20
2 JÄYSTEENPOISTO	23
2.1 Jäysteitys – alustavat testit	25
2.2 Jäysteenpoistotorni	28
3 JÄYSTEITYSTORNI	33
3.1 Jäysteitystornin rakenne	33
3.2 Jäysteitystestit	40
3.3 Kehitetyt robottiohjelmat	44
4 TULOSTEN HYÖDYNTÄMINEN	48
LÄHTEET	50
LIITTEET	51

ESIPUHE

Vuoristoradan kyydissä. Näillä sanoilla voisi kuvailla Suomen kone- ja metalliteknologia-alan yritysten menoa Koneistettavien aihoiden uusien panostusmenetelmien käyttöönotto – Panoste -projektin aikana. Kun projektia valmistettiin loppuvuodesta 2007 ja alkuvuodesta 2008 kävi maailman talous suurilla kierroksilla ja Suomen teollisuustuotanto oli noin 5 % kasvussa. Vuoden 2008 ensimmäisellä neljänneksellä oli metalliteollisuus suomalaisen tuotannon pääasiallisena kasvumoottorina jopa 12 % kasvuvauhdillaan. (Teollisuuden toimialakatsaus I/2008, Tilastokeskus). Kolmannella vuosineljänneksellä vuonna 2008 teollisuuden kokonaistuotannon kasvu lähes pysähtyi ja neljännellä vuosineljänneksellä alkoi jyrkkä alamäki. (Teollisuuden toimialakatsaus IV/2008, Tilastokeskus). Koko vuoden 2009 teollisuuden tuotanto supistui Suomessa tuotannon supistumisen alkaessa hidastua metalliteollisuudessa vasta vuoden 2009 viimeisellä vuosineljänneksellä. (Teollisuuden toimialakatsaus IV/2009, Tilastokeskus). Vaikka vuoden 2010 ensimmäisellä vuosineljänneksellä kaikkien teollisuuden toimialojen tuotanto oli jo kasvussa, niin metalliteollisuuden liikevaihto supistui yhä. (Teollisuuden toimialakatsaus I/2010, Tilastokeskus).

Talouden ja tuotannon vuoristorata loi projektille omat haasteensa. Vaikka Panosteen yhtenä tärkeimpänä tavoitteena oli vastata yritysten tarpeeseen selvitä juuri tällaisista tuotannon volyymin ja vaihtelevuuden muutoksista kehittämällä automatisoituja tuotantoratkaisuja kannattavuuden ja tehokkuuden parantamiseksi, niin laman vaikutuksesta johtuen projektin hyötynäkökohtien painopisteitä jouduttiin selvittämään ja ohjaamaan uudelleen projektin aikana.

Vaikka taloustilanteen vaihtelut aiheuttivat muutoksia jopa yhteistyöyritysten määrässä, niin voidaan sanoa, että Panoste onnistui silti jopa ennakko-odotuksia paremmin. Projektissa luotiin uusia sovelluksia ja ratkaisuja koneistettavien aihoiden panostukseen, jäysteenpoistoon, kappaleiden merkkäamiseen sekä tuotannon laadun valvontaan. Kaikki tutkimukset suoritettiin pitämällä mielessä konepajojen käytännön ongelmat ja kaikki sovellukset kehitettiin sellaisiksi, että pk-sektorin konepajat voivat ottaa ne käyttöönsä mahdollisimman vaivattomasti.

Panoste ei keskittynyt uusien teorioiden tai mihinkään kaukaisten visioiden luomiseen, jotka voitaisiin mahdollisesti hyödyntää vasta vuosikymmenien jälkeen. Panosteen punaisena lankana oli koko projektin läpiviennin ajan jo olemassa olevien tekniikoiden soveltaminen paremmin ja uusilla tavoilla sekä olemassa olevien sovellusten uudenlainen hyödyntäminen ja kehittäminen. Panosteen tarkoitus oli kerätä pk-yrityksiltä valitut kehityskohteet ja kehittää niihin automatisoidut ratkaisut. Tässä tehtävässä Panoste onnistui.

Turussa 24.03.2011

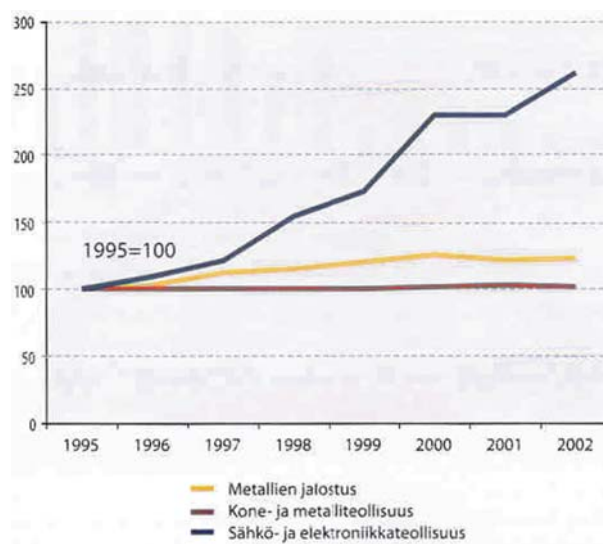
Tero Reunanen
Projektipäällikkö
Turun ammattikorkeakoulu

I KONEISTETTAVIEN AIHIOIDEN UUSIEN PANOSTUSMENETELMIEN KÄYTTÖÖNOTTO – PANOSTE

Tero Reunanen

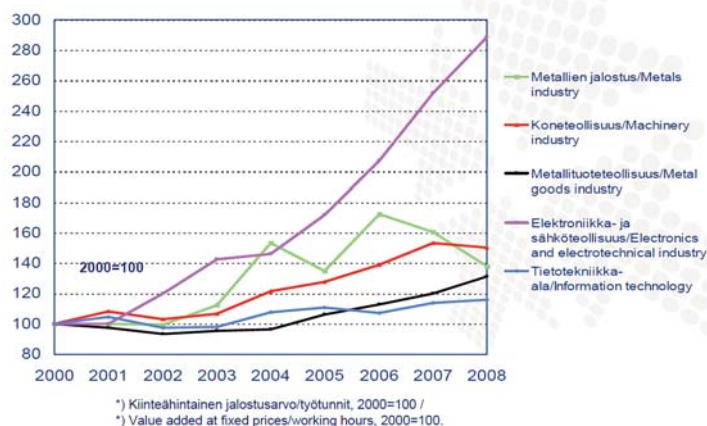
I.1 PROJEKTIN TARVELÄHTÖISYYS JA TAVOITTEET

Panoste syntyi samoista lähtökohdista kuin koko SISU-ohjelma eli suomalaisen teollisuuden kilpailukyvyn heikkoudesta sekä siitä, että suomalainen kone- ja metalliteollisuus ei ollut pystynyt nostamaan tuottavuuttaan juuri lainkaan vuosina 1995–2002 (kuvio 1). Tuottavuuden kasvu vuoden 2002 jälkeen on ollut myös kohtalaisen vaatimatonta (kuvio 2), vaikka tuottavuuden kasvuun oli osaltaan vaikuttanut positiivisesti kysynnän suuruudesta johtunut hintojen nousu, jonka tuottavuuden kasvua avustava vaikutus loppui vuonna 2008 (kuvio 3).



KUVIO 1. *Koneteknologiaateollisuuden tuottavuuden kehitys vuosina 1995–2002 (Teknologiaateollisuus ry 2004).*

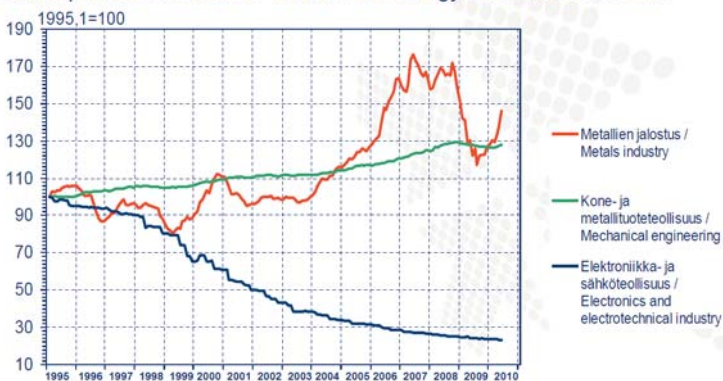
Tuottavuuden kehitys* teknologiasektörissä Labour Productivity Development in the Technology Industry



KUVIO 2. Tuottavuuden kehitys teknologiasektörissä vuosina 2000–2008 (Teknologiasektörin Ry).

Teknologiasektorin tuottajahintojen kehitys Suomessa

Development of Producer Prices in Technology Industries in Finland

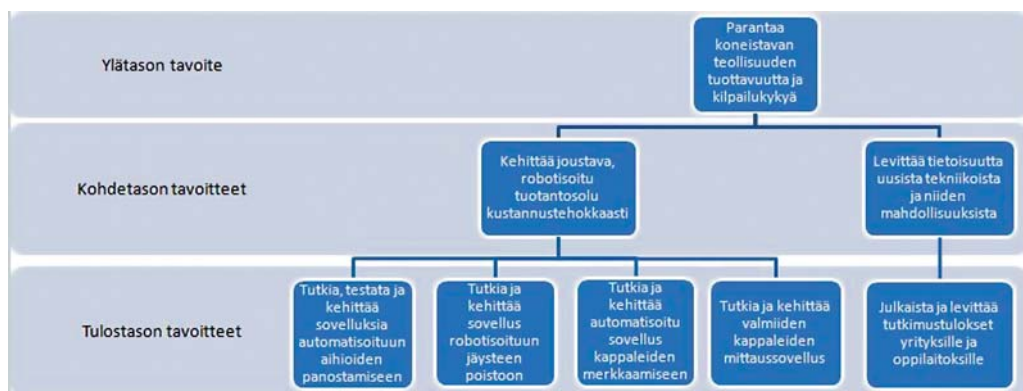


KUVIO 3. Tuottajahintojen kehitys vuosina 1995–2010 (Teknologiasektörin ry).

Automatisoidun tuotannon joustavuuden parantaminen oli Panosteen toinen päätavoite ja tutkimusten kohde. Robotisointi- ja automatisointiratkaisut eivät tule ehkä koskaan olemaan niin joustavia ja adaptiivisia kuin ihminen. Toisaalta ihminen ei koskaan tule olemaan yhtä väsymätön ja tarkka kuin robotti. Ensimmäisen ohjelmoinnin jälkeen robotti pystyy toistamaan ohjelman täysin samanlaisesti pitkienkin taukojen jälkeen ilman virheitä tai muutoksia, kun taas ihmisen täytyy muistella edellistä kertaa ja tutustua uudelleen työtehtävään. Lisäksi ohjelman toistaminen onnistuu täsmälleen yhtä tarkasti toiseltakin robotilta, kun taas ihmisten välillä on suuriakin eroja muun muassa ammattitaidosta riippuen.

Suomalainen kone- ja metalliteollisuus tuottaa pääsääntöisesti pieniä sarjoja, mikä vaatii automatisoinnilta suurta joustavuutta. Tästä huolimatta automatisoidun tuotannon etuja ei voida kuitenkaan suoraan osoittaa vain sen joustavuutta tarkastelemalla. Jotta automatisoinnin kannattavuudesta ja hyödyistä saadaan todellinen kuva, tarkasteluun pitää myös ottaa mukaan muun muassa laatu-, investointikustannus- ja käyttökustannustekijät, suurin mahdollinen vuosittainen työmäärä sekä työmäärän ja työaikojen joustavuus.

Näistä ylätason tavoitteista ja rajaehdoista rajattiin projektille konkretisoidut tavoitteet. Kuvio 4 kuvaa tavoitteiden tasoa ja aktiviteetteja. Luvut 1.2.2–1.2.4 selvittävät tarkemmin yritysten tarpeiden muuntumista projektin tavoitteiksi.



KUVIO 4. Projektin tavoitteet.

1.1.1 Tuotannollinen näkökulma

Uusi ajattelu

Suomalainen koneistava konepajateollisuus nojautuu edelleen liikaa ”mies ja sorvi” -ajatusmalliin. Tällä tarkoitetaan ajatusta, että jokaisella koneella on oma henkilönsä tai päinvastoin, jokaisella henkilöllä on oma koneensa. Toki joissain yrityksissä on ollut myös mahdollista järjestää tuotanto siten, että 1) yksi henkilö operoi kahta tai useampaa konetta tai että 2) henkilö suorittaa koneistuksen aikana esimerkiksi jäysteen poistoa, kappaleiden merkkaukseen tai muita työvaiheita, joita on käsin voitu kappaleille suorittaa. Ensiksi mainittu järjestely kuvaa hyvin tuottavaa ajattelua, mutta tätäkin tuotantojärjestelyä voidaan tehostaa automatisoimalla näiden laitteiden toimintaa, jolloin henkilö pystyy operoimaan vieläkin useampia koneita yhtäaikaaisesti. Jälkimmäisen vaihtoehdon ongelmana on, että siinä hukataan ammattitaitoisen työntekijän työaikaa työvaiheisiin, jotka voitaisiin automatisoida tai suorittaa vähemmän ammattitaitoisella työvoimalla.

Panosteen ajatusmaailmassa ”mies ja sorvi” on vaihtunut ”mies ja useita robotisoituja tuotantosoluja” -ajatusmalliksi. Projektin perusajatuksena ja punaisena lankana ei siis ole ollut sataprosenttiseen automaatioon tähtäävät ratkaisut, vaan

ratkaisut, joissa automatisoidaan tuotantoa niin paljon, että yksi henkilö pystyy operoimaan yhtä aikaa useita tuotantosoluja ja -laitteita.

Työnjako

Panosteessa keskityttiin myös tuotantosolujen sisäisen työjärjestyksen optimoimiseen ja suurimman tuotannollisen hyödyn saamiseen. Automaattiorajapinnan tuominen mahdollisimman lähelle koneistettavaa kappaletta mahdollistaa myös kappaleen saamisen valmiimmaksi, tai täysin valmiiksi, kerralla. Tämä vähentää yrityksen sisäistä logistiikkaa ja keskeneräisen tuotannon määrää. Kappaleen saaminen kerralla aihioista valmiiksi tuotteeksi vapauttaa yrityksen henkilökuntaa kappaleiden siirtelystä työpisteeltä toiselle sekä pienentää keskeneräiseen tuotantoon sidottuja rahallisia resursseja.

Solujen sisäinen työnjako on suunniteltu siten, että mahdollisimman suuri osa kaikista ”avustavista töistä” voidaan suorittaa solussa, mutta koneistavan laitteen ulkopuolella robottivälineillä. Avustaviksi töiksi katsottiin 1) jäysteitys, 2) merkkkaus ja 3) mittaus. Nämä työvaiheet arvioitiin, panostuksen lisäksi, yhdessä yritysten kanssa tärkeimmiksi automatisoinnin tutkimuskohteiksi. Projektissa kehitetyssä tuotantosolun järjestelyssä koneistava laite, joka on yleensä solun kallein laite, suorittaa vain sellaiset työvaiheet, joihin muut laitteet solussa eivät pysty. Tällöin saadaan koneistavan laitteen todellinen tuottava hyötyaika mahdollisimman suureksi. Suorittamalla avustavat työt robotilla ja Panosteessa kehitetyillä sovelluksilla saadaan myös robotin panostusten väliset odotusajat hyötykäyttöön, jolloin robotin todellinen tuottava hyötyaika kasvaa. Kun solussa suoritetaan automatisoidusti sekä panostus, jäysteitys, merkkkaus että mittaus, saadaan vapautettua ammattitaitoista henkilökuntaa tuottavampaan ja ammattitaitoa paremmin hyödyntävään työhön, kuten esimerkiksi uusien kappaleiden koneistusohjelmien laatimiseen.

Tuotantovolyymien joustavuus

Tuotannon volyymin kasvattaminen ja supistaminen onnistuvat automatisoidussa tuotannossa huomattavasti helpommin ja pienemmällä ihmisin negatiivisesti vaikuttavilla seurauksilla kuin henkilötyöhön perustuvassa tuotannossa. Kuten jo johdantokappaleessa mainittiin, kone- ja metalliteknologia-ala on ollut kovassa turbulenssissa, eikä ole nähtävissä, että tällainen suhdanteiden vaihtelu ainakaan vähenisi tulevaisuudessa.

Noususuhdanteessa tuotannon osittaisellakin automatisoinnilla voidaan tuotantovolyymia kasvattaa helposti miehittämättömällä ajolla. Miehitettyjen työvuorojen jälkeen jätetään solut valmistamaan puskurissa olevat tuotteet loppuun. Tällainen miehittämätön tuotanto ei vielä vaadi läheskään sataprosenttista automaatioastetta vaan itsenäisesti toimivan solun, johon voidaan ladata aihioita odottamaan. Miehittämättömällä työvuorolla voidaan vähentää myös ylitöiden teettämistä. Ylityöt ovat työvoimakustannuksia tarkastellen suhteellisen kustan-

nustehoton tapa lisätä tuotannon volyyymia. Lisäksi jatkuvat ylityöt rasittavat yrityksen henkilökuntaa sekä fyysisesti että henkisesti. Usein myös tuotannon laatu ja tehokkuus laskevat suurien ylityökuormien aikana. Mikäli yritys toimii ympärivuorokautisesti, niin vähiten tuottavat ja raskaimmat aamuyön tunnit saattaisi olla kannattavaa hoitaa miehittämättömästi.

Laskusuhdanteessa taas voidaan jättää soluja käyttämättä. Mikäli investointi on jo kuolletettu, solun käyttämättä jättäminen ei aiheuta käytännössä lainkaan kuluja. Laskusuhdanteessa tuotannon supistamisen aiheuttamat inhimilliset ongelmat jäävät pieniksi. Automatisoidussa tuotannossa vältetään lomautuksilta ja irtisanomisilta paljon paremmin kuin ”mies ja sorvi” -tyyppisessä tuotannossa, jossa jokaisen koneen pysäyttäminen tuottaa yhden henkilön, jolle ei ole osoittaa työtehtäviä.

1.1.2 Investoinnin näkökulmat

Hankinta

Tuotannon automatisointi vaatii luonnollisesti investointinsa, mutta vaaditun investoinnin suuruutta pystytään rajaamaan muun muassa automaatioasteen järkevällä määrittelyllä sekä selvittämällä, mitä todella kannattaa automatisoida ja miten. Liian usein pyritään, ainakin myyntipuheissa ja mielikuivissa, sataprosenttiseen automaatioon. Varsinkin yksittäiskappale- ja piensarjatuotannossa sataprosenttisen automaation investointikustannukset nousevat todella suuriksi, mikäli täydellinen automatisointi on edes teknisesti mahdollista. Automatisointiastetta rajaamalla koskemaan automatisointi vain sellaisia toimia, jotka eivät vaadi liian suuria ja kalliita erikoisratkaisuja, saadaan automatisoinnin investointikustannukset pysymään siedettävänä.

Panosteen yhdeksi tavoitteeksi otettiin automatisoinnin toteuttaminen kustannustehokkaasti. Kustannustehokkuutta pyrittiin ylläpitämään sillä, että soluun kehitettävien laitteistojen ohjaaminen tapahtuu robotilla. Tällöin soluun ei tarvitse investoida ylimääräisiä ohjauskeskuksia tai muita suoraa tuottavaa työtä tekemättömiä laitteita. Ratkaisulla pyritään pitämään myös osaamiseen tarvittavat investoinnit matalampina, koska henkilökunta ei tarvitse koulutusta useiden eri laitteiden käyttöön, vaan koulutus robotin ohjaamiseen riittää.

Osaaminen

Kaikkien uusien tekniikoiden käyttöönotto vaatii investointinsa myös osaamiseen, eikä koneistavan tuotannon automatisointi tee tästä poikkeusta. Mikäli yrityksessä ei jo ennestään ole robotiikan ja automaatioalan osaajia, automatisoinnin investointikustannuksiin täytyy laskea myös yrityksen miltei pakolliset investoinnit tietotaitoon. Yritys tarvitsee henkilökunnaltaan uudenlaista osaamista niin automatisoidun tuotannon käyttämisessä kuin tuotannon ja toiminnan op-

timoimisessa. Robotin ja muiden laitteiden ohjelmoiminen sekä automatisoidun tuotannon suunnittelu poikkeavat tilanteesta, jossa kaikki työvaiheet tehdään ihmisten suorittamina. Nämä uudet vaatimukset herättävät usein vastustusta automatisointia kohtaan. Tämän muutosvastarinnan voittamiseksi ja uusien tapojen omaksumiseksi henkilökunnan kouluttaminen ja heille tiedottaminen sekä henkilökunnan mukaan ottaminen automatisointihankintoja tehdessä ovat hyvin tärkeitä asioita, jotka liian usein unohdetaan.

Panoste-projektia valmisteltaessa kävi yrityksissä ilmi sekä varoittavia että hyviä esimerkkejä automatisoinnin vaatiman osaamisen saralta. Huonoissa esimerkeissä osaamiseen ei oltu investoitu tarpeeksi ja automatisointiratkaisut olivat käytössä joko huonolla hyötysuhteella tai ne oli kokonaan poistettu käytöstä. Hyvissä esimerkeissä koulutukseen oli panostettu riittävästi ja oikealla tavalla. Eräs yritys oli kouluttanut yli 55-vuotiaita henkilöitä, joilla ei ollut ennestään minkäänlaista automaatiotaustaa, robotisoitujen tuotantosolujen operaattoreiksi, jotka kykenivät itsenäisesti solujen ongelmien ratkomiseen. Panosteen eräs tavoite oli levittää tietoa automatisoinnin vaatimista taidoista sekä tarjota yrityksille esimerkkejä ja osaamisen verkottumista automatisoinnin kynnyksen madaltamiseksi.

Käyttökustannukset

Käyttökustannusten laskeminen onnistuu robotisoidussa tuotannossa suhteellisen vaivattomasti. Nykyaikaiset teollisuusrobotit ovat ehkä konepajojen toimintavarmimpia laitteita. Mikäli tuotantomäärien arviot osuvat oikeaan, laitteiston vaatimat energia- ja huoltokustannukset sekä kappaleiden vaatima tuotantoaika voidaan laskea tarkasti. Epävarmimmaksi kustannustekijäksi käyttökustannuslaskelmissa jää ihmistyövoiman osuus. Automatisoitu laitteisto tuottaa samanlaiset kappaleet täsmälleen samassa ajassa, kun taas ihmistyöhön vaikuttaa useampi tekijä.

Kuten kaikkiin laitteisiin, myös automatisoituihin järjestelmiin ja robotteihin voi tulla häiriöitä ja vikoja. Tällöin kuitenkin yhden solun vikatilanne ei seisauta kaikkea tekemistä solua hoitavalta henkilöltä. Mikäli työntekijä hoitaa esimerkiksi viittä automatisoitua tuotantosolua, yhden solun häiriö- tai rikkoutumistilanteessa hänen työpanoksestaan häviää vain 20 %, kun taas ”mies ja sorvi”-tilanteessa menetetään henkilön koko työpanos. Samalla tavalla koneiden määrääikaishuollot ja muut seisokit aiheuttavat operoivalta henkilöltä huomattavasti pienemmän työpanoksen menetyksen.

1.1.3 Teknologinen näkökulma

Panostus

Panosteen ylätasoin tavoitteiden saavuttaminen vaati ensisijaisesti kappaleiden panostamisen automatisoinnin tutkimista ja soveltamista. Tästä johtuen projekti nimettiin ”Koneistettavien aihoiden uusien panostusmenetelmien käyttöönotto”. Automatisoiduille panostusmenetelmille on yhtenäistä yksi asia: nollapiste. Kappaleisiin tarttuminen ja kappaleiden asettaminen ei ole automatisoidusti mahdollista, mikäli kappaleista ei jollain keinolla tiedetä yhtenäistä pistettä avaruuskoordinaatistossa, jonka mukaan tarttuminen ja asettaminen voidaan suorittaa. Keinoja nollapisteen aseman havaitsemiseen on useita ja ne vaihtelevat konenäöstä mekaanisiin paikoituksiin ja rajoihin. Nykyisin on markkinoilla useiden eri valmistajien useita erityyppisiä nollapistekiinnityselementtejä. Koska koko projektin perusajatus lähti panostuksen automatisoinnista, luonnollisesti *Panosteen ensimmäiseksi tutkimusalueeksi ja tavoitteeksi valittiin aihoiden robotisoidun panostuksen tutkiminen, testaaminen ja soveltaminen koneistavassa konepajatuotannossa nollapistekiinnityselementtejä hyödyntämällä.*

Jäysteitys

Jäysteitys on erittäin tärkeä koneistettujen ja sorvattujen kappaleiden viimeistelyvaihe. Jäysteen määritelmänä voidaan pitää seuraavaa: ”Jäyste on lastuavassa työstössä työkappaleen särmiin plastisen muodonmuutoksen seurauksena syntynyt ei-toivottava materiaalimuodostuma.” (Gillespie 1999) Koska jäyste ei ole suunniteltua materiaalin muodostumista, jäysteen syntymistä voidaan, ja pitää, pyrkiä ensisijaisesti estämään. Jäysteen syntymistä voidaan estää muun muassa oikeanlaisella kappaleensuunnittelulla sekä oikealla työvaiheiden suunnittelulla ja järjestyksellä.

Yleensä ei silti jäysteen syntymistä voida täysin estää, vaan kappale pitää huolellisesta suunnittelusta ja oikeasta työjärjestyksestä huolimatta viimeistellä. Tähän löytyy useita eri keinoja termisestä räjäyttämisestä käsin suoritettavaan viilaukseen. Käsin suoritettava jäysteenpoisto on suorittajalle suhteellisen puuduttava, yksitoikkoinen ja epämiellyttävä työvaihe. Lisäksi käsin suoritettavaan jäysteenpoistoon kuluu huomattavan paljon työaikaa ja se vaatii suorittajaltaan jatkuvaa tarkkaavaisuutta. Tämän vuoksi Panoste keskittyi jäysteen robotisoituun poistamiseen pyörivillä työkaluilla. Ratkaisulla saadaan vapautettua ammattitaitoinen työvoima tuottavampaan ja miellyttävämpään työhön ja siten voidaan hyödyntää paremmin robotin aihoiden panostusten välistä odotusaikaa. *Panosteen toiseksi tutkimusalueeksi ja tavoitteeksi tuli pyörivien jäysteitystyökalujen soveltaminen robotisoidussa tuotantosolussa sekä jäysteityslaitesovelluksen kehittäminen.*

Merkkaus

Valmistettaviin kappaleisiin halutaan usein merkintöjä, kuten tekstiä, numeroita tai kuvioita, jotka identifioivat kappaleen tai kertovat kappaleen valmistajan. Lisäksi myös kappaleen oikeanlainen käyttö saattaa vaatia merkintöjen tekemistä, kuten esim. hydraulikkaventtiileissä, joissa halutaan kertoa venttiilin eri kanavien funktiot. Tämän lisäksi tutkimuskohteita kartoitettaessa tuli esille, että nykypäivänä kappaleiden jäljitettävyyksivaatimukset ovat lisänneet kappaleiden merkkauksen tarvetta. Useat päätoimijat tilaavat samanlaisia kappaleita eri alihankkijoilta ja vaativat tällöin alihankkijoiltaan kappaleiden täyttä seurattavuutta.

Kappaleiden merkkauksen voi olla kohtalaisen paljon aikaa vievä prosessi. Kun Panosteen tutkimuskohteita kartoitettiin, tuli esille muun muassa seuraavanlainen tapaus: yritys valmisti hydraulikkakomponentteja, joihin merkittiin kanavien tunnuksia. Merkkaukset suoritettiin koneistuskeskuksessa pienellä terällä kaivertamalla. Kun he tutkivat asiaa myöhemmin niin kävi ilmi, että kaiverruksiin kului niin paljon aikaa, että kaikkien koneiden kaiverrusajat yhteenlaskettuna yhden koneistuskeskuksen koko vuoden työaika meni vain merkkauksien tekemiseen. Tämän tehottomuuden ymmärtää paremmin, kun käännetään ajatus niin päin, että joku ehdottaisi yrityksessä yhden koneistuskeskuksen investointia vain tämän tyyppiseen työhön. Todennäköistä on, että ehdotus ei menisi läpi ja alettaisiin etsiä muita vaihtoehtoja työvaiheen suorittamiseen. On tosin hyvin inhimillistä, että tällainen tilanne pääsee pikkuhiljaa kehittymään. Työvaihe on joskus saattanut olla järkevä suorittaa kaivertamalla koneistuskeskuksessa, mutta tuotantovolyymien kasvaessa tuotantoa ei oltu huomattu järkeistää. *Panosteen kolmanneksi tutkimusalueeksi ja tavoitteeksi tuli mahdollisimman hyvälaatuisen ja pysyvän merkkauksen menetelmän soveltaminen robotisoituun tuotantosoluun kustannustehokkaasti.*

Mittaus

Panosteessa kehitettävät ratkaisut ja tuotantosolu kehitettiin sellaisiksi, että osittainen miehittämätön tuotanto on mahdollista. Osittaisella miehittämättömällä tuotannolla saadaan aikaan suurempi joustavuus ja kokonaiskäyttökustannuksia saadaan alennettua. Tämän tavoitteen saavuttamiseksi pitää kuitenkin kehittää tuotannon laatua varmistavia ratkaisuja. Mikäli laatua ei seurata mitenkään ja tuotanto pyörii miehittämättömästi, todennäköisesti jossain vaiheessa koko miehittämättömänä ajettu tuotanto on epäkuranttia ja koko tuotantoerä joudutaan siksi hylkäämään.

Panosteen valmistelussa kyseltiin yritysten suurinta tämän hetkistä tarvetta tuotannon aikaiseen mittaamiseen, minkä tuloksena päädyttiin sorvattavien kappaleiden ulkopuolisten halkaisijoiden mittatarkkuuden varmistamiseen sekä sisäpuolisten halkaisijoiden mittaamiseen. Alkuperäisenä tarkoituksena oli kehittää yksinkertainen sovellus tuotannon pysäyttämiseksi virheellisen kappaleen ilmesytyessä, mutta esiselvitysten jälkeen tavoitetta nostettiin siten, että tuotannon-

aikaisten mittaustulosten perusteella sorville syötetään parametrien korjaukset, mikäli kappaleen mitat lähestyvät toleranssirajoja. Tällöin voidaan estää ensimmäisenkin virheellisen kappaleen valmistus. *Panosteen neljänneksi tutkimusalueeksi ja tavoitteeksi muotoutui mittauslaitesovelluksen kehittäminen ulkopuolisten ja sisäpuolisten halkaisijoiden mittaamiseen.*

1.2 PROJEKTIN TIEDOT

1.2.1 SISU 2010 -ohjelma

SISU 2010 Uusi tuotantoajattelu -ohjelma aloitti toimintansa kesällä 2005 tilanteessa, jota oli edeltänyt hidaskasvun aineellisten investointien kasvu Suomen teollisuudessa sekä olemattoman tuottavuuden kehitys etenkin kone- ja metalliteollisuudessa. Ohjelman toteutusajankautena on koettu teollisuudessa voimakkaan korkeasuuhdanteen kausi, mutta myös nopeasti edennyt valmistavan teollisuuden käytännössä lamauttanut taloustaantumien vastaisku.

Ohjelman käynnistyspäätöksen taustalla vaikuttivat odotettavissa olevat merkittävät kehityspaineet valmistavassa teollisuudessa, joiden asettamiin haasteisiin ohjelmalla on haluttu vastata tukemalla kappalevalmistuksen ja erityisesti kone- ja metallituoteteollisuuden yrityksiä vaativissa tuotannonkehityshankkeissa ja edistämällä alan tutkimustoimintaa. Havaittiin, että halvalla tuotannon maiden kilpailukyky perustuu pääasiassa edulliseen työvoimaan. Muilla kilpailukyvyn osa-alueilla suomalaisella kappalevalmistuksen teollisuudella uskottiin olevan täydet mahdollisuudet saavuttaa kansainvälinen kilpailuetu. Ohjelman missioksi määritettiin teknologisten edellytysten luominen suomalaisen kappalevalmistuksen kansainväliselle kilpailuedulle.

Ohjelmassa on rahoitettu yhteensä yli 140 projektia, joiden yhteenlaskettu budjetti nousee 81 miljoonaan euroon. Tästä Tekesin rahoitusosuus on ollut 39 miljoonaa euroa, mistä kaksi kolmasosaa on suuntautunut yrityksiin. Yritysten hankerahoituksella on voitu pienentää kehityshankkeisiin sisältyvää riskiä yritysten näkökulmasta ja kannustaa niitä haastavampiin tuotannon kehityshankkeisiin ja suurempiin teknologiaharppauksiin. Hankerahoituksella on luotu yrityksille mahdollisuuksia erikoistumiselle ja omien toimintaprosessien ennakkoluulottomaan kehittämiseen.

Ohjelman kohderyhmänä ovat olleet teknologiateollisuuden kappalevalmistajia valmistava teollisuus ja tehdastason investointihyödykkeitä tuottavat kone- ja laitevalmistajat sekä alalla toimivat tutkimuslaitokset (mukaan lukien VTT), yliopistot ja ammattikorkeakoulut. Hanketoiminta on kohdentunut erityisesti kolmelle teema-alueelle, joita ovat joustavat tuotantoratkaisut, edistyskelliset tuotanto- ja valmistusteknologiat sekä itseohjautuvuus tuotannossa.

Ohjelmatoimintaan sisältyneillä seminaareilla on tuotu esille ohjelman tarjoamia palveluja ja rahoitusmahdollisuuksia sekä edistetty hankkeiden välistä vuorovaikutusta ja alan toimijoiden välistä verkottumista. Ohjelman vuosiseminaarien lisäksi on järjestetty alueseminaareja ja teemaseminaareja sekä kolme kansainvälistä seminaaria. Yhteensä seminaarituloja on ollut 26, ja niihin on osallistunut lähes 1900 kotimaista ja yli 400 ulkomaista osallistujaa. Ulkomaisia puhujia tilaisuuksissa on ollut yli 50. (SISU 2010 Uusi tuotantoajattelu).

1.2.2 Panoste-projekti pähkinänkuoressa

Panoste toteutettiin Turun ammattikorkeakoulun ja yhteistyökumppaneiden yhteisellä ponnistuksella.

Yhteistyökumppaneita oli erityyppisiä. Osa kumppaneista oli varsinaisia projektipartnereita ja jotkut tukivat projektia mm. luovuttamalla tilojaan tai tuoteitaan projektin käyttöön. Lisäksi kumppaneiksi voitaneen laskea tavarantoimittajat, joista muutamat kuluttivat paljon aikaa ja vaivaa projektin tavoitteiden eteen. Luonnollisesti kumppaneiden panostusten määrät olivat erisuuruisia, mutta kaikkien kumppanien osallistuminen mahdollisti projektin toteuttamisen niin hyvälaatuisena kuin se toteutettiin. Panosteen projektiryhmä ja Turun ammattikorkeakoulu kiittää kaikkia kumppaneita!

Yhteistyökumppanit ja projektin rahoitus

TAULUKKO 1. *Rahoitussuunnitelma.*

Rahoitussuunnitelma		
Rahoittaja	Summa €	%
Tekes	260.818	60,00
Turun ammattikorkeakoulu	117.879	27,12
Gardner Denver Oy	5.000	1,15
Wipro Technologies Oy, Finland	5.000	1,15
ST-Koneistus Oy	5.000	1,15
Pemamek Oy	5.000	1,15
Konepaja Ceiko Oy	5.000	1,15
Carpino Oy	5.000	1,15
Salon Konepaja Oy	2.000	0,46
Mesera Works Oy	2.000	0,46
Mesera Paimio Oy	2.000	0,46
Tumo Oy	10.000	2,30
Högfors Oy	10.000	2,30
Yhteensä	434697	100

Muut partnerit:

Koneteknologiakeskus Turku Oy (tilat ja ohjausryhmän jäsenyys)
Fastems Oy Ab (ohjausryhmän puheenjohtajuus ja asiantuntemusta)
Leinovalu Oy (asiantuntemusta)
Wärtsilä Finland Oy (ohjausryhmän jäsenyys)

Suurimman rahoitussuunnitelmassa näkymättömän ja projektilta suuria summia säästäneen panoksen projektille antoi Koneteknologiakeskus Turku Oy (KTK). Projektin tutkimuksista pääosa tehtiin KTK:n tiloissa ja laitteilla. Lisäksi projektissa valmistettujen sovellusten osat valmistettiin pääasiassa KTK:n laitteilla.

Aikataulu

Projekti aikataulutettiin alun perin aikajaksolle 1.5.2008–30.4.2010, mutta laman aiheuttamien muutosten vuoksi projektille anottiin ja saatiin lisääaikaa 31.12.2010 asti. Tämä lisääika mahdollisti projektin suunnitellun ja tuloksellisen läpiviemisen.

Tekijät

Projekti suoritettiin sovittamalla yhteen Turun ammattikorkeakoulun insinööriopiskelijoiden opintoja, tutkimus- ja kehityshenkilöstön työtä sekä yritysten työtä. Tunteissa lasketuista työmääristä ylivoimaisesti suurimman työn suorittivat Turku ammattikorkeakoulun opiskelijat. Projektiin otti osaa yhteensä 28 opiskelijaa, jotka suorittivat projektissa opinnäytetöitään, alakohtaisia ja erikoistumisprojektio-pintojaan, vapaavalintaisia opintojaan sekä työharjoittelujaan. Turun ammattikorkeakoulun henkilökunnasta aktiiviseen työskentelyyn otti osaa kahdeksan henkilöä.

1.2.3 Turun ammattikorkeakoulu

Turun ammattikorkeakoulu (AMK) on monialainen koulutusyhteisö. Siellä työskentelee 750 ammattilaista ja opiskelee 9000 opiskelijaa. Turun AMK tarjoaa työelämää ja yrittäjyyttä kehittävää koulutusta sekä organisaatioita kokonaisvaltaisesti kehittävää tutkimus- ja kehitystyötä.

Turun AMK:n seitsemästä tulosalueesta Tekniikka, ympäristö ja talous (TYT) on innovaatio-akatemia, joka vastaa alallaan Varsinais-Suomen ja osittain koko Suomen alueella korkeimman ammatillisen osaamisen kehittämistä. Turun AMK:n ja näin ollen myös TYT-tulosalueen tärkeimmät tehtävät ovat tutkintoon johtava koulutus, aikuiskoulutus, opiskelijoiden ammatillisen kasvun tukeminen, soveltava tutkimus- ja kehitystoiminta sekä toiminta-alueensa kehittäminen.

Kukin Turun ammattikorkeakoulun tulosalueista osallistuu Tutkimus-, kehitys- ja innovaatio (TKI) -ohjelmiensa avulla toiminta-alueensa elinvoimaisuuden kehittämiseen. Turun ammattikorkeakouluun on nimetty seitsemän T&K-ohjelmaa, jotka ovat pitkäkestoisia ja tulevaisuussuuntautuneita kokonaisuuksia, joiden alla T&K-projektit toimivat. Monipuolinen yhteistyö yritysten ja yhteisöjen kanssa on tuottanut sekä lyhyitä kehittämisprojekteja että monikansallisia hankkeita. Työelämän kanssa yhteistyössä toteutettavia projekteja käynnistetään vuosittain yli 100.

1.2.4 Koneteknologiakeskus Turku Oy

Vuonna 2005 perustettu Koneteknologiakeskus Turku Oy on Varsinais-Suomen teknologiateollisuusyritysten ja Turun tekniikan alan oppilaitosten yhteinen oppimis- ja kehittämiskeskus. Turun ammattikorkeakoulun, Turun ammatti-instituutin ja Turun aikuiskoulutuskeskuksen lisäksi mukana keskuksen toiminnassa on yli 70 yritystä.

KTK tarjoaa oppilaitoksille nykyaikaiset puitteet ja laitteet teknologian opetukseen ja ammatilliseen erikoistumiseen, mahdollisuudet harjoitus- ja lopputöiden tekemiseen sekä ammattitutkintonaäyttöjen suorittamiseen.

Yrityksille KTK tarjoaa uuden teknologian käyttöönottoon liittyviä koulutus- ja uudelleen koulutuspalveluita. KTK tarjoaa yrityksille myös valmistuspalveluita, jolloin KTK:n ajanmukaista laitekantaa voidaan hyödyntää tarkoituksenmukaisesti opetusajan ulkopuolella.

Teknologiateollisuus on Turun alueen vahvin teollisuuden ala, ja sen osuus Varsinais-Suomen viennistä ja elinkeinoelämän T&K-investoinneista on huomattava. Koulutukseen hakeutuvien nuorten keskuudessa teollisuusalojen kiinnostavuus on kuitenkin vähentynyt jatkuvasti. Siksi KTK pyrkiikin esittelemään nuorille teknologia-alaa ja siihen liittyviä koulutus- ja työmahdollisuuksia sekä korjaamaan samalla osittain vanhentuneita käsityksiä alasta itsestään.

1.3 TUOTANTOSOLU

Panoste-projektin sovellukset tehtiin integroitaviksi Koneteknologiakeskus Turku Oy:ssä olevaan robotisoituun tuotantosoluun. Projektin aikana ei ollut mahdollista muuttaa solun vakiopohjapiirustusta, mutta kaikki uudet sovellukset kyettiin kuitenkin sinne sijoittamaan projektissa päätetyillä tavoilla. Lisäksi soluun tehtiin pienimuotoisia muutostöitä, kuten seinien ja latausaseman uudelleensijoittelua.



KUVA 1. Solun ympäristö. (Kuva Pekka Törnqvist)



KUVA 2. Panoste-solun raakile. (Kuva Sakari Koivunen)

1.3.1 Lastuavat laitteet

Lähteenä Pekka Törnqvistin projektiraportti.

Koneteknologiakeskuksessa on käytössä kolme työstökoneetta: monitoimisorvi (Puma Series Mx 2500 ST), vaakakarainen koneistuskeskus (Doosan ACE HP 5000) ja viisiakselinen yleisjyrsinkone (Deckel Maho DMC 60 T). Koneet kuuluvat Fastems Oy:n toimittamaan FMS-järjestelmään. Panostaminen tapahtuu panostussolussa. Solussa on käytettävissä nivelvarsirobotti (Fanuc R-2000iB/165F) sekä latausasema.

1.3.2 Robotti

Lähteenä Sakari Koivusen projektiraportti.

Panoste-solussa on Fanuc R-2000iB/165F -teollisuusrobotti R-30iA -ohjauksella. Robotin kappaleenkäsittelykyky on 165 kg ja se on varustettu automaattisella työkalunvaihdolla. Sorvin panostamiseen on kahden kolmileukatarttujan yksikkö ja lisäksi nollapistekiinnikkeiden panostamiseen on oma erikoistarttujansa. Robotin 2655 mm yltämää on laajennettu asentamalla robotti 3070 mm pitkälle servotoimisille lineaariradalle. Lineaariradan ja robotin liikkeet on synkronoitu niin, että esimerkiksi suuren ja monimutkaisen kappaleen jäysteenpoistossa robottia voidaan siirtää radalla eri paikkaan jäysteenpoiston aikana.

FM-järjestelmään kytketty robottisolu voi ottaa työkappaleet suoraan hyllystöhissin varastosta. Robotin työalueella on kaksi FM-järjestelmän lavapaikkaa ja lisäksi erikoiskuljetin konepaletteille.

Konepalettia voidaan pyörittää, joten robotilla on mahdollista panostaa ja purkaa myös monitahoisia paletteja. Kappaleita valmistussoluun voidaan syöttää myös manuaalisesti kahden lavakärryn avulla.

Robotin ohjaus on kytketty Profibus-väylällä sekä ylätason FM-ohjaukseen että Daewoo -monitoimisorviin. Lisäksi robotissa on Ethernet-liitäntä esim. etädiagnostiikkaa tai, varmuuskopiointia varten. Oheislaitteiden liittämiseksi robotissa on kaksi sarjaporttia, joihin voidaan liittää esimerkiksi mittalaite tai merkkäuskone.

Kun kiinnitetään kappaleita pystytasoon perinteisillä nollapiste-elementeillä, on välttämätöntä pitää kappaleesta kiinni lukitsemisen ajan. Elementin lukitsemisen aiheuttaa suuria ulkoisia voimia robottiin. Tästä johtuva mekaaninen rasitus pyrittiin välttämään varustamalla robotti Softflood-optiolla. Sen avulla robotti voidaan asettaa myötäilemään ulkoisia voimia servovirtoja tarkkailemalla, joten kun elementti lukitaan, robotti seuraa perässä.

Robotissa on ohjelmistovalmiudet myös konenäön hyödyntämiseen, mutta Panosteessa konenäköä ei otettu käyttöön.

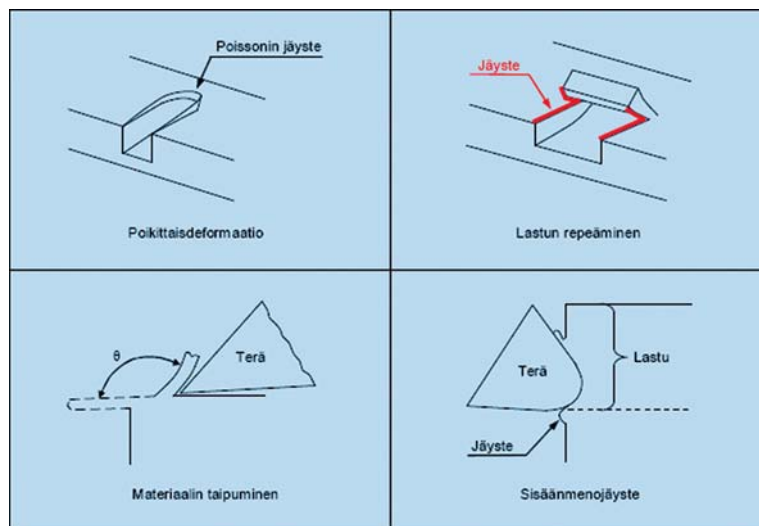
2 JÄYSTEENPOISTO

Lähteinä Tero Reunasen projektiraportti ja Santhu Suhosen opinnäytetyö.

Lastuavassa työstössä työkappaleen särmiin plastisen muodonmuutoksen seurauksena syntyneitä ei-toivottuja materiaalmuodostumia kutsutaan jäysteeksi. Jäystettä on kaikki se materiaali, joka ulottuu työkappaleen kahden leikkaavan pinnan muodostaman laskennallisesti määritellyn särmän ulkopuolelle. (Gillespie 1999, 36.)

Kun lastu repeytyy irti työkappaleesta sen sijaan että se leikkautuisi irti, työkappaleeseen kiinni jäävä osuus lastusta on jäystettä. Plastiseen muodonmuutokseen perustuvien jäysteen muodostumismekanismien lisäksi jäystettä syntyy mm. materiaalin virratessa työkalun syöttösuuntaa vastakkaiseen suuntaan, terän tunkeutuessa työkappaleeseen sekä työkappaleen irrotessa ahiosta ennen katkaisun loppuun vientiä (Gillespie 1999, 53). Terän tunkeutuessa työkappaleeseen kappaleen pinnalle syntyvää muodostumaa kutsutaan sisäänmenojäysteeksi.

Lastuavan työstön menetelmissä jäysteen synty perustuu joko yhteen tai useampaan muodostumismekanismiin (Gillespie 1999, 61). Jäysteen eri muodostumismekanismia on havainnollistettu kuvassa 3.



KUVA 3. *Jäysteen syntyminen.*

Jäyste aiheuttaa Gillespien (1999, 1) mukaan seuraavia haittoja:

- Leikkaa haavoja käsittelyn yhteydessä.
- Aiheuttaa yhteensovitusvaikeuksia kokoonpanossa.
- Saattaa estää mekanismien toimintaa.
- Naarmuttaa pintoja ja aiheuttaa tiivistevuotoja.
- Lisää tai muuttaa kitkaa.
- Aiheuttaa oikosulkuja.

Robotisoidun jäysteenpoiston etuja ovat:

- Robotisoitu jäysteenpoisto on suunniteltu miehittämättömään tuotantoon.
- Se vapauttaa työvoimaa tuottavampaan työhön. Kun vähän lisäarvoa tuottavan työn tekee robotti, voidaan ammattitaitoista henkilökuntaa käyttää vaativammissa tehtävissä.
- Sillä saadaan aikaan tasainen laatu.
- Automaatio parantaa työturvallisuutta.
- Henkilöstön työolosuhteet paranevat.

Jäysteenpoiston tutkiminen ja testaus jaettiin työpaketteihin työn nopeuttamiseksi, kokonaisvaltaisen näkemyksen saavuttamiseksi ja työn järjestämiseksi mahdollisimman tarkoituksenmukaisesti. Tavoitteena oli konkreettisten ja käytännönläheisten ratkaisujen kehittäminen kone- ja metalliteollisuuden pk-yrityksille. Siksi kaikki työt keskittyivät konkreettisten ja helposti sovellettavien ratkaisujen etsimiseen. Tehtävät jaettiin seuraavasti:

- Robotisoitu jäysteenpoisto (ryhmä 1)
 - Tavoitteena oli selvittää erilaisia jäysteenpoistomenetelmiä ja selvittää, mitkä jäysteenpoistomenetelmät soveltuvat projektissa mukana olevien yritysten tuotteille. Rajaehtoina olivat kappaleen soveltuvuus Panoste-soluun ja kappaleen jäysteenpoisto niin, että hiottava kappale on kiinni robotin tarttujassa ja hiomakone telineessä.
- Robotisoitu jäysteenpoisto (ryhmä 2)
 - Tehtävänä oli suunnitella ja toteuttaa jäysteenpoistotorni. Tornissa sovellettiin karahiomamoottoriin pohjautuvaa työkalua, joka kiinnitetään robottiin. Pyörimispään pyörimisnopeutta ja pyörimispään jäykkyyttä oli voitava säätää sekä portaisesti että portaattomasti.
- Jäysteenpoistoaseman suunnittelu ja toteutus (opinnäytetyö)
 - Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella jäysteenpoistoasema, jolla pystytään poistamaan jäysteet robotisoidusti mahdollisimman monipuolisesti kaikenlaisista kappaleista.

2.1 JÄYSTEITYS – ALUSTAVAT TESTIT

Lähteenä Tomi Grönholmin ja Janne Mäkelän projektiraportti.

Testattavien hiomapäiden valinta

Ryhmä 1 selvitti, millaisia hiomapäitä markkinoilla on. Hiomapäitä myyvät esimerkiksi Teräskonttori, Würth, FMS-tools, PFERD ja Biltema. Ryhmän mielestä projektin tarpeisiin parhaat hiomapäävalikoimat olivat Teräskonttorilla ja PFERDilla. Teräskonttorin katalogi on luettavissa myös Internetissä (www.teraskonttori.fi), mutta paperiversio on käytössä nopeampi ja yksinkertaisempi. Lisäksi Internetistä ei löydy kaikkia yrityksen tuotteita. Teräskonttorin ja PFERDin katalogeista löytyy paljon tietoa hiomapäistä, kuten esimerkiksi mihin käyttöön ne soveltuvat parhaiten ja millaisia pyörimisnopeuksia tulisi käyttää. Teräskonttorin hiomapäät ovat pääosin PFERD:in tuotteita. Bilteman Internet-sivuilta (www.biltema.fi) löytyy jonkin verran hiomatarvikkeita. Würthin ja FMS-toolsin katalogeista ei löytynyt kuin muutamia tuotteita. FMS-toolsin työkalut sopivat paremmin viimeistelyyn kuin varsinaiseen jäysteenpoistoon.

Aluksi rakennettiin kaksi mahdollisimman yksinkertaista telinettä karahiomakoneelle jäysteenpoistopäiden testejä varten. Testeillä haluttiin varmistaa, että varsinaisiin sovelluksiin kehitettäisiin vain tarpeellisia ominaisuuksia.



KUVA 4. *Hiomakoneen teline jousisovelluksena.*

Ryhmä tilasi Teräskonttorista erilaisia hiomapäitä ja hankki Biltemasta tarvikkeita sekä aloitti hiomistestit käsin hiomalla ja tutustumalla jäysteenpoistoon.

Ensimmäisessä versiossa jousto toteutettiin jousella, joka hitsattiin telineen runkoputken väliin (kuva 4). Karahiomakone kiinnitettiin telineeseen ruuvi-mutteri -kiristyksellä. Kyseinen jousi ei kuitenkaan kestänyt hitsausta, vaan se katkesi lähes välittömästi.



KUVA 5. *Hiomakoneen teline värinänvaimenninkumisovelluksena.*

Toisessa versiossa jousto toteutettiin rungon osien väliin kiinnitetyn värinänvaimenninkumin avulla. Hiomakone kiinnitettiin telineeseen letkukiristimien avulla. Teline kesti koko projektin ajan ja sillä tehtiin useita erilaisia hiomistestejä.

Toimittajilta tilattiin erilaisia hiomapäitä, joiden oletettiin soveltuvan robotisoituun jäysteenpoistoon. Testeihin hankittiin kalliita, keskihintaisia ja edullisia hiomapäitä, jotta ryhmä voisi vertailla hinnan vaikutusta hiomapään toimintaan ja kestävyys. Hiomapäiden kestävyyttä ja toimintaa varten teetettiin testikappaleita. Testikappaleet valittiin sillä perusteella, että testauksissa voitiin tutkia suorien särmien, kaarevien muotojen, reikien sekä risteävien reikien jäysteenpoistoa.



KUVA 6. *Erilaisia testikappaleita.*

2.1.1 Testit yrityksen teräskappaleella

Ryhmä kävi yritysvierailulla Högfors Oy:ssä Salossa. Toimitusjohtaja Mikko Salmela esitteli läppäventtiilin läppään tehtävää jäysteenpoistoa. Jäysteet poistetaan sovitereikien ulkopuolelta ja risteävistä rei'istä. Hionta tehdään käsihiomakoneella pallonmuotoisella kovametallijyrinpäällä. Aikaa yhden kappaleen hiomiseen kuluu noin kolme minuuttia. Kyseinen tuotantokappale valittiin jäysteenpoiston case-tapaukseksi. Kappale on esitetty kuvassa 7.



KUVA 7. *Case-testikappale.*

Robotisoidussa jäysteenpoistossa havaittiin seuraavia haasteita:

- Jäysteet voivat olla erisuuruisia koneistuksen jälkeen (riippuu mm. terän kuluneisuudesta).
- Jäystettävät reiät ovat erikokoisia. Miten robotin ohjelmointi tehdään helposti muokattavaksi jokaiselle erikokoiselle reiälle?
- Miten varmistetaan jäysteenpoiston laatu?
- Miten reikien keskipiste saadaan selville?

2.2 JÄYSTEENPOISTOTORNI

2.2.1 Tornin runko

Lähteenä Jani Aarnion projektiraportti.

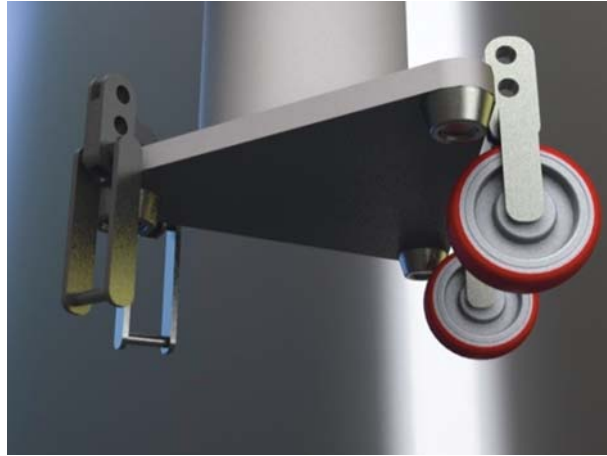
Tavoitteena oli suunnitella erilliselle karahiomakoneelle torni. Tornin tulee olla helposti siirrettävissä ja irrotettavissa. Torniin kiinnitetään karahiomakone (Schunk FDB 340) ja jäysteenpoistotornia käyttää nivelrobotti (R-J31C).

Tornin tärkeimmiksi ominaisuuksiksi ennen suunnitteluvaihetta määriteltiin seuraava asiat:

- Torni tulee olla helposti kiinnitettävissä alustaan.
- Torniin ei kohdistu suuria voimia eikä taivuttavia momentteja, joten sen ei tarvitse olla massiivinen.
- Tornille on varattu rajoitettu ala, joten tornin olisi hyvä olla mahdollisimman kapea (kuitenkin ilman kaatumisvaaraa).
- Tornin sisälle tulee mahtua paineilmakomponentteja. Siksi tornin tulee olla tarpeeksi tilava sisäpuolelta ja sen muodon tulee mahdollistaa kiinnitys.
- Tornin tulee olla tarpeeksi korkea, jotta robotti pystyy toimimaan optimaalisesti. Jos teline on liian matala, robotti ei pääse kiertymään hio-mapään alta.
- Tornin sisälle on tarvittaessa päästävä käsiksi, joten telinettä ei saa sulkea kokonaan tai siihen tulee asentaa ovi.
- Tornin kiinnitys alustaan pitää toteuttaa niin, ettei tornia siirrettäessä alustaan jää koholla olevia tappeja.
- Torni tulisi olla helppo valmistaa.
- Torniin tulisi liittää paineilmakomponenteille ja sähköjohdoille pika-liittimet, jotka mahdollistavat helpon irrotuksen.
- Tornin sisälle tulee paineilmakomponentteja, joten tornin tulee olla mahdollisimman suljettu.

Tornin suunnittelussa otettiin huomioon sekä torniin tulevien laitteiden että oheislaitteiden ominaisuuksia. Suunnittelussa pyrittiin kompaktiin ratkaisuun, joka mahtuu pieneen tilaan ja on samalla kevyt ja siirrettävissä.

Torniin suunniteltiin jousitettujen pyörien asentamista, jotta telinettä ei tarvitsisi nostaa irrotettaessa ja kiinnitettäessä (kuva 8). Jousissa olisi ollut maavaraa sen verran, että teline vain kuljetetaan alustan ylle, ja de-sta-co -kiinnittimet vetävät sen kiinni maahan. Lopulliseen versioon ei kuitenkaan haluttu pyöriä, koska tornia tullaan liikuttelemaan todennäköisesti todella harvoin.



KUVA 8. *Pyörät ja kiinnitys lattiaan alkuperäisen suunnitelman mukaan.*

Lopullista toteutusta yksinkertaistettiin, jolloin tornista tehtiin kuvan 9 mukainen.

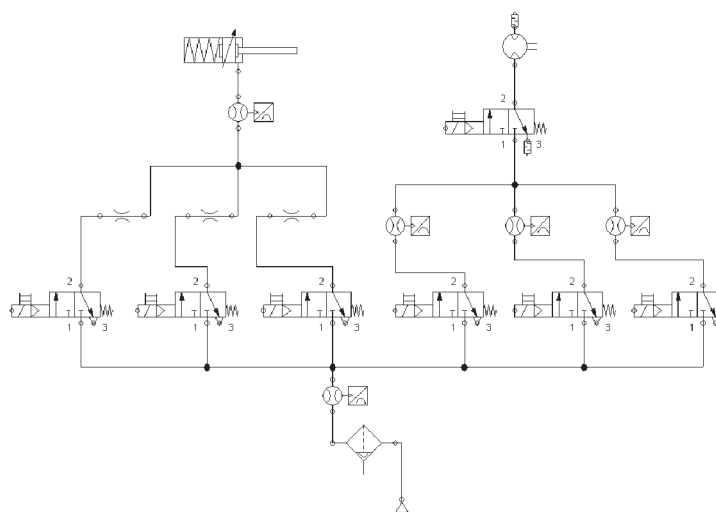


KUVA 9. *Havainnekuva valmiista jäysteenpoistotornista.*

2.2.1 PI-kaavio ja suunnitelma

Lähteenä Matias Kylliäisen ja Jasper Lastusen projektiraportti.

Laitteisto suunniteltiin niin, että painehäviö on mahdollisimman pieni. Virtauksen säätö tehdään sähköisesti. Arvojen esiasetuksia pitää voida säätää portaattomasti. Lopullisessa suunnitelmassa järjestelmään lisättiin lisää vastusvasta-venttiilejä mahdollisten säätöasentojen lisäämiseksi ja ohjauksen helpottamiseksi. Tarkoituksena oli tehdä laitteistosta digitaalisäätöinen, jolloin tornia voidaan käyttää robotin digitaalisilla I/O -lähdöillä. Kuvassa 10 on kuvattuna jäysteenpoistotornin PI-kaavio.



KUVA 10. *Jäysteenpoistotornin paineilmakaavio.*



KUVA 11. *Paineilmakomponentit tornin sisällä.*

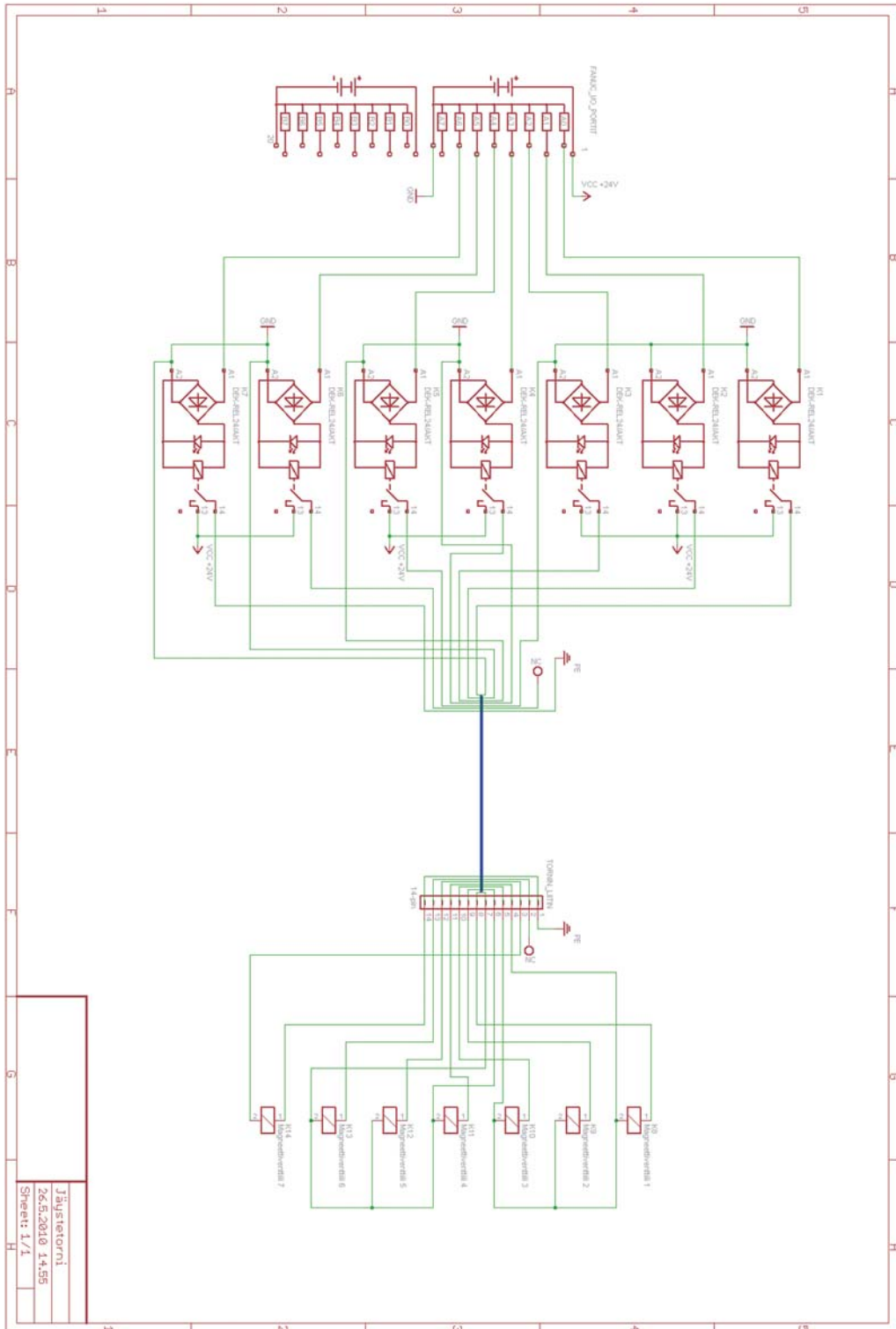
Aluksi säädetään laitteiston kuristusventtiilejä, jotta karahiomakoneen pyörimisnopeudet saataisiin halutunlaisiksi. Pyörimisnopeudet on esitetty taulukossa 2.

TAULUKKO 2. *Esisäädettyt pyörimisnopeudet.*

Venttiili	pyörimisnopeus r/min
1	18000
2	19500
3	30000

Valmistajan ilmoituksen mukaan hiomalaitteen maksimipyörimisnopeus on 65000 r/min, mutta testeissä saavutettiin vain 40000 r/min nopeus. Kaikkien venttiilien avaaminen ei nostanut pyörimisnopeutta. Sen sijaan vääntömomentti nousi jokaisen venttiilin avaamisesta. Venttiilien läpäisemää painetta on vaikea mitata, koska painemittarin tarkkuus ei riitä siihen. Lukemaksi arvioitiin < 0,05 MPa. Hiomapään jäykkyyttä säädettäessä ongelmaksi muodostui tarpeeksi pienen säädön määrittäminen. Kolmelle venttiilille määritettiin läpäisyksi 0,15; 0,25 ja 0,3 MPa. Pieninkin paine vaikutti jo hieman liian suurelta tähän tarpeeseen. Säästöjen toimivuus todettiin muuten hyväksi.

Jäystetornissa on seitsemän magneettiventtiiliä ohjaamassa paineilmaa, ja ne on numeroitu 1–7. Venttiilit 1–3 ovat hiomakoneen nopeuden säätöön, 4–6 ovat jouston säädölle ja venttiilillä 7 järjestelmä voidaan tarvittaessa tyhjentää paineesta. Magneettiventtiilejä ohjataan releillä, jotka on kytketty robotin I/O -portteihin. Robotin I/O -portteja ei voi suoraan kytkeä venttiileihin, koska niitä ei saada tarpeeksi virtaa kelojen käyttämiseksi. Jäysteenpoistotornin ohjauskaavio on esitetty kuvassa 12.



KUVA 12. Jäysteenpoistotornin ohjauskaavio.

3 JÄYSTEITYSTORNI

Lähteenä Santtu Suhosen opinnäytetyö.

Tavoitteena oli suunnitella jäysteenpoistoasema, jolla pystytään poistamaan mahdollisimman monipuolisesti jäysteet kaikenlaisista kappaleista.

3.1 JÄYSTEITYSTORNIN RAKENNE

Monipuolisuus saatiin aikaan käyttämällä viittä erilaista hiomakaraa, joissa oli eri pyörimisnopeuksia ja tehoja. Hiomakaroista yksi oli varustettu kulmapäällä, joka mahdollistaa risteävien kanavien jäysteenpoiston. Sopiva hiomakara voidaan vaihtaa ohjelman avulla. Vaihto tehdään kääntämällä oikea hiomakara robotin ulottuville. Jokaisessa hiomakarassa on joustojärjestelmä, joka estää robotin törmäykset jäysteenpoistoasemaan ja kompensoi hiomapäiden kulumisen. Hiomakaroissa on kahdenlaisia joustojärjestelmiä. Toisessa joustojärjestelmässä jousto on lineaarista ja toisessa radiaalista.

Jäysteenpoistoaseman käyttäminen jäysteenpoistoon on uusi menetelmä, ja esimerkkejä siitä löytyy vain vähän. Tavanomaiseen robotilla tehtävään jäysteenpoistoon verrattuna jäysteenpoistoaseman käyttämisen etuja ovat:

- Helppo tehon tuonti työkaluille, koska työkalut eivät liiku robotin mukana.
- Kappale on valmiiksi robotin tarttujassa, kun robotti poistaa kappaleen työstökoneesta.
- Työkalun vaihto sujuu helposti kääntämällä jäysteenpoistoasemaa.
- Voidaan hyödyntää useita nopeasti kuluvia työkaluja, jolloin vaihtoväli pitenee.
- Laajat joustot työkaluissa, jos verrataan tavallisiin robotteihin kiinnitettäviin koneisiin.

Jäysteenpoistoaseman käyttämisen ongelmia ovat:

- Robotin täytyy kuitenkin irrottaa kappale tarttujasta, kun työstökoneeseen laitetaan seuraava kappale.
- Huonompi ulottuvuus kuin perinteisellä robottiin kiinnitettävällä jäysteenpoistolaitteella.
- Vaatii käyttäjältä enemmän perehtymistä kuin perinteiset jäysteenpoitotavat.

3.1.1 Joustojen rakenne

Joustojen suunnittelun lähtökohtana oli, että radiaaliseksi joustoelementiksi tulisi paineilmapalje ja lineaariseksi joustoelementiksi paineilmasylinteri. Paineilmapalje tarvitsee yleensä tuentaa ja ohjausta. Tukeminen on tarpeen, jotta hiontakara on aina samassa paikassa. Kun palkeessa on vain vähän painetta, hiontakara ei saisi roikkua oman painonsa johdosta. Hiontakaran paikan säilyvyys on tärkeä, jotta toistettavuus robotin ohjelmoinnissa on helpompaa. Hiontakaran paikallaan pysyvyyden varmistaminen oli haasteellinen tehtävä, koska sekä pituutta että kallistumaa on voitava rajoittaa. Lisäksi tarvitaan jonkinlaiset johteet.

3.1.2 Osien piirtäminen

Aseman suunnitteluun ja osien piirtämiseen käytettiin Solidworks 2009-tietokone mallinnusohjelmaa. Ohjelma sopi tähän työhön hyvin, koska sillä voidaan suunnitella kolmiulotteisesti. Kolmiulotteisesta mallista voidaan katsoa, miltä laite näyttää valmiina ja varmistaa, että osat sopivat yhteen. Lisäksi ohjelmalla voidaan tehdä suunnitelluista osista myös lopulliset kaksiulotteiset valmistuspii-rustukset. Kaikki piirustukset ovat liitteessä 1.

Jäysteenpoistoaseman runko

Runko oli aluksi tarkoitus valmistaa muoviputkesta, mutta materiaalin tarkoituksenmukaisen hankinnan takia runko päätettiin lopulta valmistaa teräsputkesta. Teräsputki oli standardikokoa: $D_n = 350$ mm, $S = 8,8$ mm, $D_o = 355,6$ mm ($D_n =$ nimellismitta, $S =$ seinämäpaksuus, $D_o =$ ulkohalkaisija). Rungon korkeudeksi tuli 300 mm.

Runkoputkeen tehtiin reiät kansien kiinnitystä ja hiomakarojen läpivientiä varten. Putkesta tehdyn rungon arveltiin suojaavan muita osia. Ohutseinämäinen putki oli haastava koneistettava. Muoviputki olisi ollut helpommin työstettävä ja siihen olisi saatu tarvittavat reiät vaikkapa käsityökaluilla. Rungon rakenne on esitetty kuvassa 13.



KUVA 13. *Jäysteenpoistotornin runko.*

3.1.3 Kannot ja laipat

Kaikki kannot valmistettiin alumiinista kevyen painon takia. Kansien valmistus aloitettiin vesileikkauksella, jossa alumiinilevystä leikattiin ympyrän malliset aihiot. Koneistusta jatkettiin jyrsimällä ja poraamalla CNC-jyrsimessä (CNC= Computerized Numerical Control, tietokoneistettu numeerinen ohjaus). Aihiona oli 20 mm alumiinilevy. Laipat valmistettiin samalla tavalla kuin kannot, mutta aihiona oli 10 mm alumiinilevy.

3.1.4 Karahiomakoneet ja kiinnikkeet

Karahiomakoneiden kiinnikkeet oli myös tarkoitus valmistaa alumiinista, mutta lopulta ne päätettiin toteuttaa teräksestä. Aihiona oli 50 mm teräksinen pyörötanko.

Hiomakaroiksi valittiin Mannesmannin valmistamat teollisuuskäyttöön tarkoitettut hiomakarot. Niiden etuina oli sylinterimäinen muoto, joka mahdollisti helpon kiinnityksen. Lisäksi teollisuuskäyttöön tarkoitettujen hiomakarojen kestävyys arvioitiin parhaaksi. Valitut karot selviävät taulukosta 3. Hiomakaroja hankittiin aluksi vain kaksi, koska niiden uskottiin riittävän testikäyttöön. Hiomakarot ovat kalliita ja niiden sopivuus haluttiin varmistaa ennen lisähankintoja.

TAULUKKO 3. *Valitut karahiomakoneet.*

Hiomakoneen malli	Pyörimisnopeus	Teho
Es 280 Er	28000	380 W
Es 200 Er	20000	400 W
Ebm 5200 s	5200	380 W
Ebm 2400 s	2400	380 W
MRDW 38-18000	18000	380 W

3.1.5 Yläsuojus

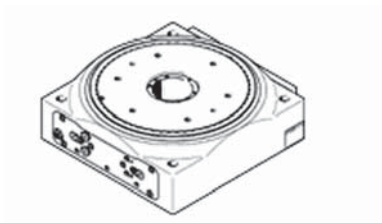
Yläsuojuksen ala- ja yläkannet valmistettiin samalla tavalla ja samasta materiaalista kuin laipat. Koneistusta jatkettiin jyrsimisen jälkeen sorvauksella, jossa kansiin tehtiin kierteet yläsuojusta varten. Yläsuojus tehtiin muoviputkesta. Muoviputki oli standardikokoa: $D_u = 140$ mm, $D_i = 126,6$ mm (D_u =ulkohalkaisija, D_i = sisähalkaisija). Muoviputkeen tehtiin kierteet sorvilla.

3.1.6 Muut osat

Jäysteenpoistoasemassa käytettiin helposti saatavissa olevia valmiita standardiosia.

Indeksipöytä tilattiin valmiina Festolta. Se on mallia DHTG-220. Pöydässä on kahdeksan asemaa, jotka on sijoitettu 45° välein. Pöytä on lukittavissa jokaises-

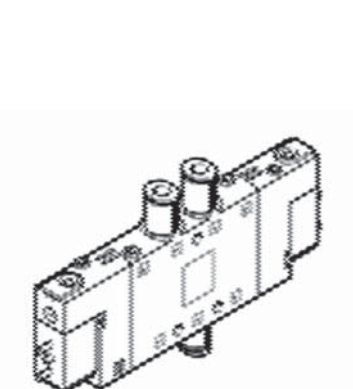
sa asemassa ja se toimii paineilmakäyttöisesti. Siinä on anturointi, jolla selviää, onko pöytä lukittu ja mikä on pöytää kääntävien mäntien asento. Mäntien asennon tietäminen on tärkeää pöydän kääntämisen kannalta, koska suunnanmuutokset ja kääntö tehdään mäntien asentoa muuttamalla.



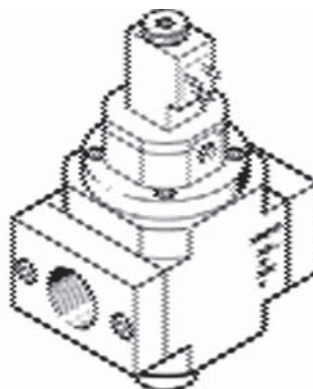
KUVA 14. Indeksipöytä DHTG-220 (www.festo.com).

3.1.7 Paineilmaventtiilit

Paineilmaventtiilit hankittiin Festolta. Niillä ohjataan indeksipöytää ja hiomakaroja. Paineilmapalkeelle ja sylintereille ohjauspaine otettiin aikaisemmin rakennetusta järjestelmästä, jossa oli kolme eri asetuspainetta joustolle. Näin toimittiin, jotta nähtäisiin miten Panosteessa kehitetyn jäysteenpostitorinin ohjaus soveltui nyt kehitettävälle joustojärjestelmälle ja voitaisiin soveltaa toisenlaista järjestelmää, mikäli säätö olisi liian karkea. Festolta tilatut venttiilit olivat mallia CPE14-M1BH-5J-QS-6 ja HEE-3/8-D-MINI-24. CPE14-M1BH-5J-QS-6 on sähköisesti ohjattu 5/2-venttiili, jota tarvittiin kaksi kappaletta pöydän ohjaukseen. Tämä venttiili on esitetty kuvassa 15. HEE-3/8-D-MINI-24 on sähköisesti ohjattu 3/2-venttiili, ja siinä on rakenteesta johtuen pieni virtausvastus. HEE-3/8-D-MINI-24 on esitetty kuvassa 16. Näitä venttiileitä tarvittiin viisi kappaletta.



KUVA 15. Venttiili CPE14-M1BH-5J-QS-6 (www.festo.com).



KUVA 16. Venttiili HEE-3/8-D-MINI-24 (www.festo.com).

3.1.8 Joustojärjestelmä

Joustot koostuvat kahdesta erilaisesta järjestelmästä. Ensimmäisessä järjestelmässä jousto koostuu yhdestä paineilmapalkeesta, jossa jousto on radiaalista. Tässä järjestelmässä on joustoelementtinä paineilmapalje WSR 20, jonka valmistaja on Weforma. Paineilmapalje on esitetty kuvassa 17. Toisessa järjestelmässä jousto tulee pienestä paineilmasylinteristä ja jousto on lineaarista. Sylinterissä on johteet lineaarista liikettä varten. Sylinterin malli selviää kuvasta 18. Sylinteri on Feston valmistama ja mallia SLS-16-25-P-A. Sylinterin halkaisija on 16 mm ja iskunpituus 25 mm. Liitteestä 1 löytyy eri joustojärjestelmien kokoonpanot.

Molemmat joustot ovat säädettäviä. Joustoja säädetään painetta laskemalla ja nostamalla. Ihanneltilanne olisi, että joustoa voitaisiin robotin ohjauksella portaattomasti muuttaa kesken liikkeen. Tässä kokoonpanossa oli käytettävissä kolme erilaista paineasetusta, joita kaikkia voitiin säätää välillä 0 - 0,8 MPa.



KUVA 17. Paineilmapalje (www.weforma.com).



KUVA 18. Paineilmasylinteri johteilla (www.festo.com).



KUVA 19. Jäysteenpoistopään lineaarinen ja radiaalinen joustojärjestelmä.

3.1.9 Jäysteenpoistotyökalujen kiinnitys

Jäysteenpoistotyökalujen kiinnityksen asemaan piti mahdollistaa myös toisenlaisten jäysteenpoistotyökalujen käytön kuin niiden, joille asema alun perin suunniteltiin. Asemaan tehtiin laippa, johon palje ja laakerit kiinnitettiin. Lisäksi laippaan kiinnitettiin hiomakaranpidin keskittävällä ohjauksella. Tätä pidintä vaihtamalla on helppo toteuttaa toisenlaisen koneen kiinnitys. Jäysteenpoistotyökalujen kiinnitykset on havainnollistettu liitteessä 1.

3.1.10 Sähköosat

Sähkösuunnittelu aloitettiin piirtämällä sähkökaavio (liite 1). Sähkökeskukseksi hankittiin automaattisulakkeelle tarkoitettu sähkörasia, josta muokattiin sellainen, että siihen mahtuivat riviliittimet. Kaikki venttiilit ja anturit kytkettiin sähkökeskukseen, joka oli kiinnitetty jäysteenpoistoaseman jalustaan. Sähkökeskukseen sijoitettiin riviliittimet, jotka kiinnitettiin DIN-kiskolle. Sähkökeskuksesta johdettiin kaapeli robotin sähkökeskukseen. Jäysteenpoistoasemaan ei tullut lainkaan kytkimiä tai käyttöliittymää, vaan kaikki hallinta tapahtuu robotin ohjelmalla.

3.1.11 Jalusta

Jäysteenpoistoasemalle tehtiin jalusta. Levytyökeskuksessa valmistettiin levyosa, johon indeksipöytä kiinnitettiin. Jalat valmistettiin kulmarauodoista ja jalusta koottiin hitsaamalla. Jalusta on esitetty kuvassa 20.



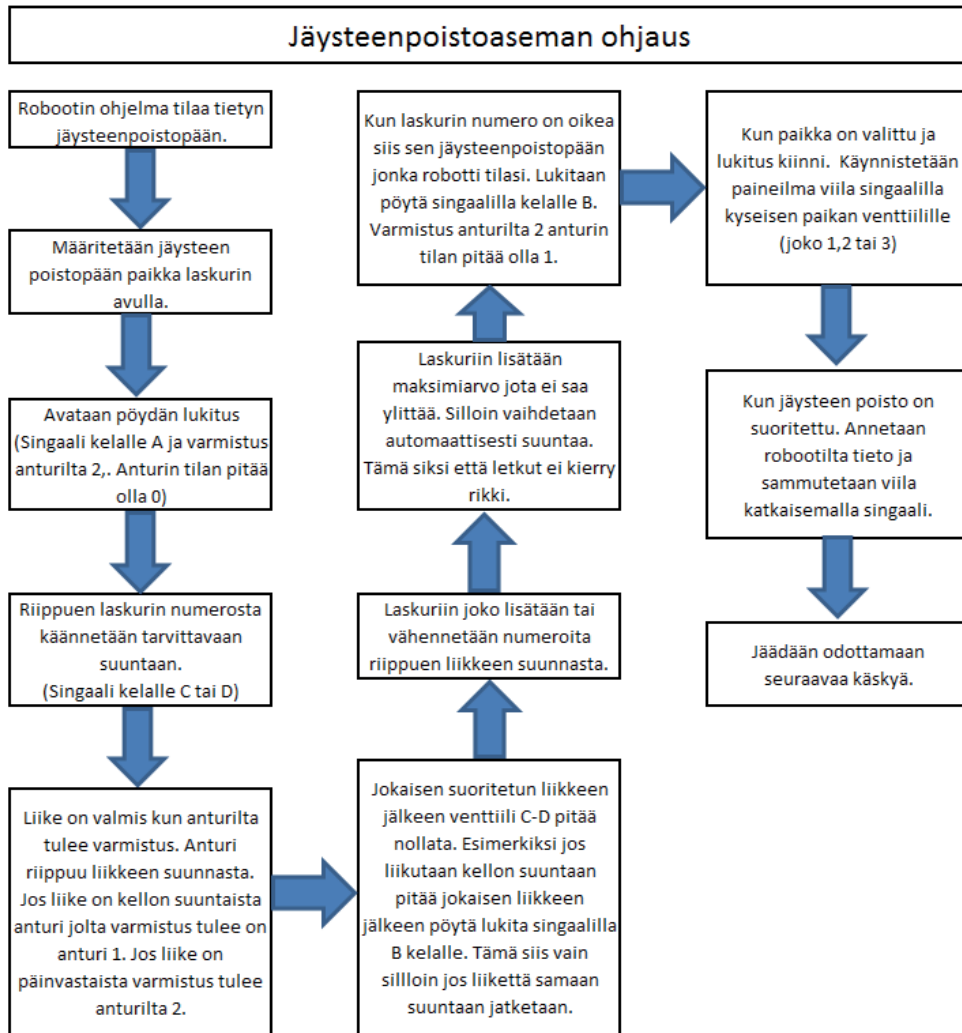
KUVA 20. *Jäysteenpoistoaseman jalusta.*



KUVA 21. *Jäysteenpoistoasema.*

3.1.12 Laitteiston ohjaus

Laitteiston ohjaus toteutettiin sähköisesti ohjatuilla paineilmaventtiileillä ja robotin ohjelmoitavalla logiikalla. Kuviossa 5 esitetään ohjelman yksinkertaistettu eteneminen.



KUVIO 5. Ohjelman eteneminen.

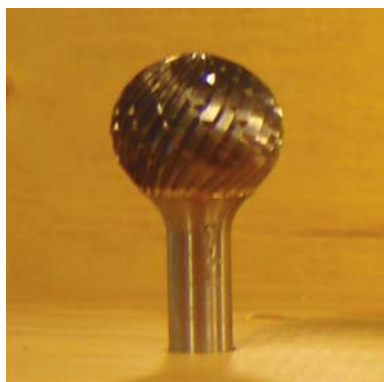
3.2 JÄYSTEITYSTESTIT

3.2.1 Testit teräksisillä kappaleilla

Lähteenä Tomi Grönholmin ja Janne Mäkelän projektiraportti.

Testauskonfiguraatiot:

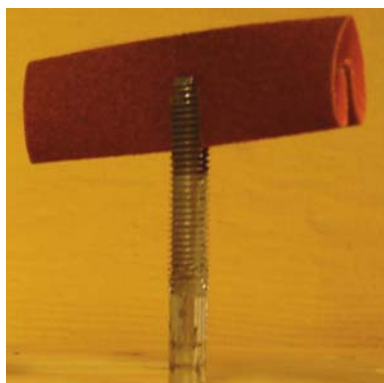
1. pallomainen kovametallijyrsin (kuva 22)
2. pallomaisella hiontakivellä suuremmat jäysteet (kuva 23); taitetulla hiomapaperilla viimeistely (kuva 24)
3. pallomainen hiontakivi (kuva 23) sovitetappien reiät (kappale kuvassa 7); kartiomaisella kovametallijyrsimellä (kuva 25) akselien reiät (kappale kuvassa 7)
4. pallomaisella kovametallijyrsimellä suuremmat jäysteet (kuva 24); lieriömäisellä teräsharjalla viimeistely (kuva 26)
5. pallomaisella kovametallijyrsimellä suuremmat jäysteet (kuva 24); kuituharjaviimeistely (kuva 27)
6. Joustavavartinen keraaminen hiontakivi(kuva 28)



KUVA 22. Pallomainen kovametallijyrsin.



KUVA 23. Pallomainen hiontakivi.



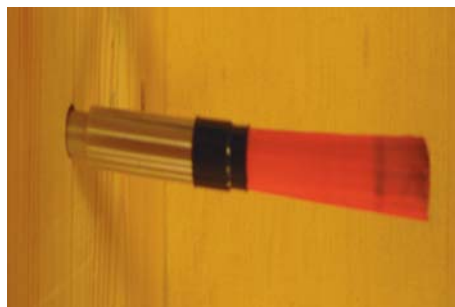
KUVA 24. Taitettu hiomapaperi.



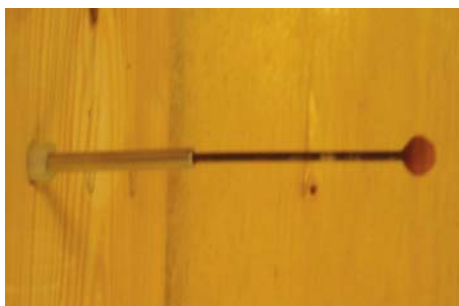
KUVA 25. Kartiomainen kovametallijyrsin.



KUVA 26. *Lieriömäinen teräsharja.*



KUVA 27. *Kuituharja.*



KUVA 28. *Joustavavartinen keraaminen hiontakivi.*

Testien tulokset

1. Pallomaisella kovametallijyrsimen avulla jäysteenpoisto ei onnistunut hyvin. Jäysteitä ei saatu kokonaan poistettua. Tämä johtui pääosin jyrsimen koosta, joka ei sopinut reikien kokoihin.
2. Menetelmä toimi melko hyvin. Ongelmaksi muodostuu hiomapaperin vaihto hiomakoneeseen automaattisesti. Lisäksi hiomapaperin kestoikä on vaikea arvioida.
3. Pallomainen hiontakivi ei poistanut jäysteitä kunnolla. Kartiomainen kovametallijyrsin teki liian ison viisteen.
4. Menetelmällä ei saatu jäysteitä poistettua toivotulla tavalla. Teräsharjan pitää aina olla samankokoinen kuin reikä, jotta hiominen onnistuisi.
5. Jäysteitä ei saatu poistettua kunnolla tällä menetelmällä. Kuituharja ei kestänyt hiomista riittävän hyvin, eikä se poistanut jäysteitä teräksestä.
6. Joustavavartisella hintakivellä ”kierrenousu” -tyyppisen hionnan avulla jäysteet saatiin poistettua hyvin. Kivi kesti hiomista hyvin. Lisäksi robotin ohjelma on helppo muokata sopivaksi erikokoisille rei'ille.

3.2.2 Testit titaanisilla ja alumiinisilla kappaleilla

Lähteenä Dmitri Glouchenkon ja Marko Piiran projektiraportti.

Ensimmäinen testi tehtiin hiomalla kartionmuotoisella ADW Hardness M -hiontakivellä titaanikappaletta. Hiontakivellä tehtiin 50 toistoa ja tutkittiin kulumista. Tämän jälkeen sama testi toistettiin lieriön muotoisella vastaavanlaisella hiontakivellä.

Kuluma oli vähäistä. Kappaletta painettiin hiomapäätä vasten ja tehtiin vielä 50 toistoa hiomapään eri kohdista. Kuluma oli selvästi nähtävissä. Titaanikappaleesta hiottiin terävää suoraa särmää lineaariliikkeellä.

Seuraavaksi testattiin titaanille soveltuvaa J-kovuusluokan (AWCO) hiomakiveä titaanikappaleella. Hiontakivellä tehtiin 50 toistoa ja tutkittiin kulumista.

Alumiinikappaleen testausta varten tehtiin uusi robottiohjelma. Ohjelmassa kappaleen reuna pysyy 15° kulmassa hiomapäähän nähden ja liikkuu tämän ympäri. Varsinaisesti alumiinille suositeltua hiomapäätä (Hardness F-Alu CN) ei ollut käytettävissä ja sen tilalla käytettiin yleishiomapäätä (Hardness M ADW). 20 toiston jälkeen todettiin, että hiomapäähän oli sulanut kiinni niin paljon alumiinia, ettei hiontaa voinut enää jatkaa samalla hiomapäällä.

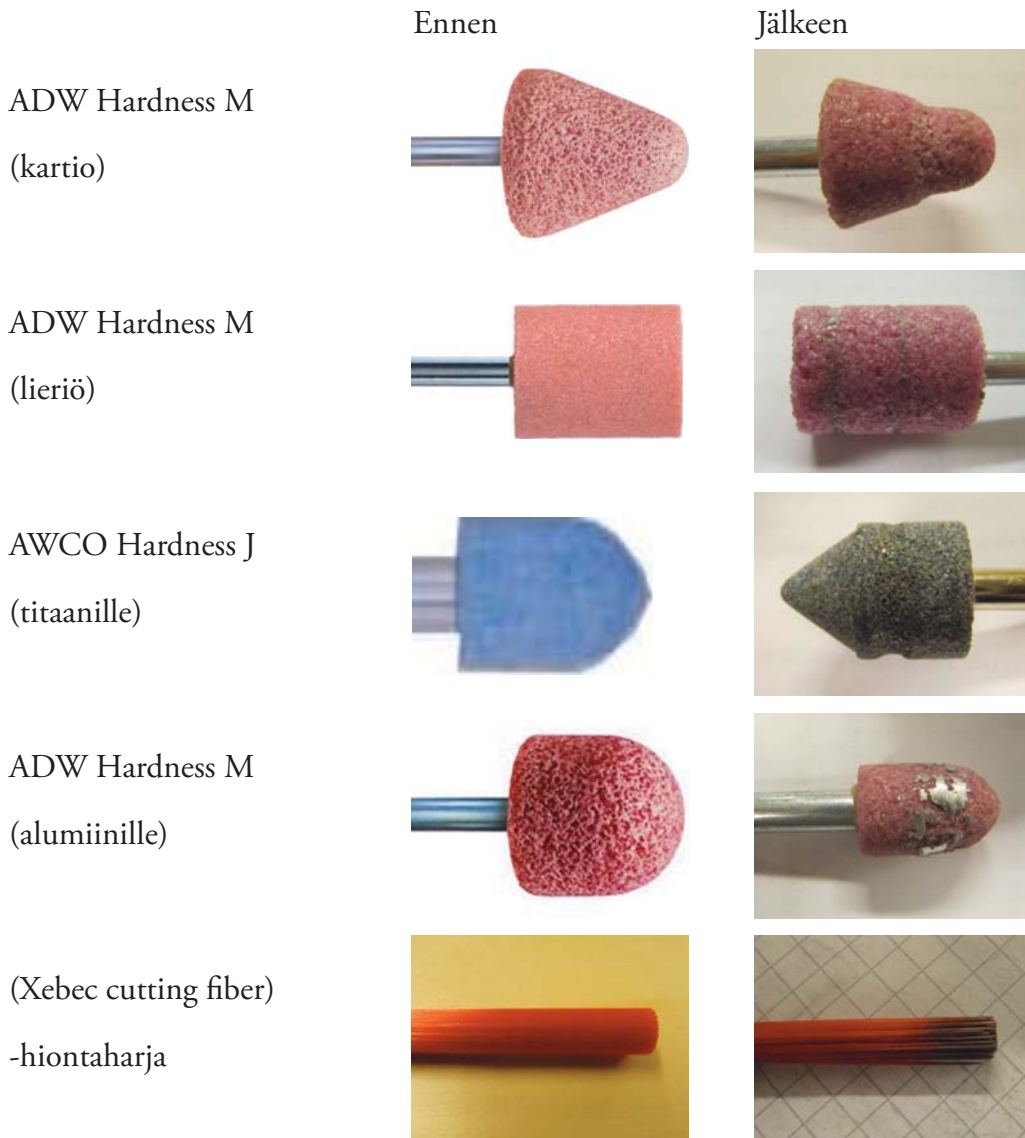
Hiontaharjan (Xebec cutting fiber) testaamiseksi sekä sen kulumisen ja jäljen tutkimista varten porattiin alumiinikappaleeseen 10 mm reikä. Harja sijoitettiin reikään niin, että harjasten päät olivat reiän sisällä. Poratun reiän sisäpintaa hiottiin harjasten varsilla 5 minuuttia 8000 kierroksen minuuttinopeudella. Tuloksena oli, että reiän jäysteisiin ei tullut mitään jälkeä, eivätkä harjaksetkaan erityisesti kuluneet. Harja tummui hieman.

Hiontaharjaa onkin parempi käyttää niin, että harjasten päät osuvat hiottavaan pintaan. Tätä varten sorvattiin lieriömäiseen alumiinikappaleeseen pitkittäinen ontelo ja sen kanssa neljä risteävää reikää. Näin ontelon sisäpuolelle syntyi jäysteitä, joita oli tarkoitus poistaa hiontaharjalla.

Jäystettä poistettiin ajamalla hiontaharjaa kappaleen sisällä edestakaisin noin seitsemän kertaa. Ennen ajoa pyörimisnopeudeksi asetettiin 8000 kierrosta minuutissa, mutta vauhti hidastui ajon aikana noin 7500 kierrokseen minuutissa. Jäysteenpoiston jälkeen kappaleen sisällä oli hienoa alumiinipölyä, mutta jäysteet eivät olleet poistuneet.

Hiontapäät testien jälkeen

Ennen hiontaa kaikki hiomapäät olivat uusia ja kulumattomia.



Havainnot

Kulumaa kasvatti erityisesti voima, jolla kappaletta painettiin hiomapäähän. Kappaleen kuluessa hiomapää hioi yhä vähemmän ja materiaalia poistui vähemmän. Titaanin hiomiseen soveltuva AWCO Hardness J -hiomapää jätti paremman hiomajäljen titaanikappaleeseen kuin yleissopiva ADW Hardness M -hiomapää. Alumiinin hionnassa hiomapää ei varsinaisesti kulunut, vaan alumiini suli siihen kiinni. Jäysteenpoisto ei enää onnistunut kyseisen hiomapään avulla.

Xebec cutting fiber -hiontaharja osoittautui pettymykseksi. Se ei poistanut jäystettä mistään materiaalista pitkilläkään hionta-ajoilla.

3.3 KEHITETYT ROBOTTIOHJELMAT

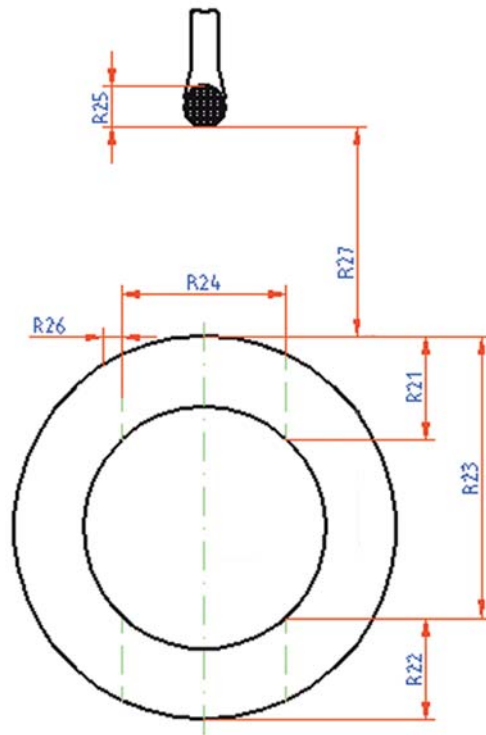
Lähteinä Tomi Grönholmin ja Janne Mäkelän projektiraportti sekä Pessi Kääpän projektiraportti.

Tavoitteena oli tehdä ohjelma, jota on helppo muokata, vaikka jäysteenpoiston kohteina olevien reikien halkaisija, reikien koko tai hiomakoneen paikka muuttuisi. Ohjelman helppo hallinta ja inhimillisten virheiden minimointi olivat myös tärkeässä osassa.

Ohjelmaa saa muokattua eri asetuksille helposti pääohjelmassa. Annetaan vain arvot millimetreissä eri rekisterikohtiin ja loppu hoituu automaattisesti. Jäysteenpoiston kohteena olevaa reikää ohjelmoitaessa kysytyt arvot ovat: (annetut arvot ovat esimerkkejä ja millimetreissä)

- R[20:Kertaa]=1
 - montako kertaa toistetaan yhden risteävän reiän hionta
- R[21:1R syvyys]=10
 - ensimmäisen reiän hiontamatka
- R[22:2R syvyys]=10
 - toisen reiän hiontamatka
- R[23:R vali]=48
 - ensimmäisen ja toisen reiän keskipisteiden etäisyys
- R[24:R halkaisija]=17
 - hiottavan reiän halkaisija
- R[25:Hp halkaisija]=6
 - hiontapään halkaisija
- R[26:Pain ajo]=.5
 - kuinka kovin painetaan seinämää hiontapäällä
- R[27:Sisaan tulo]=50
 - kuinka kaukana sisääntulopiste sijaitsee ensimmäisestä reiästä
- [29:Kierteen nousu]=1.5
 - paljonko siirretään hiontapäätä eteenpäin aksiaalisesti yhdellä kierroksella.

Tarvittavien mittojen selitykset on esitetty kuvassa 29.



KUVA 29. Mittojen selitykset.

Lisäksi pääohjelma tarvitsee jokaisen reikäparin ensimmäisen reiän keskipisteen paikan. Pisteet tallennetaan ohjelmaan kohtien JMP LBL[1] ja LBL[1] väliin, jotta robotti ei osuisi niihin kun ohjelmaa ajetaan. Pisteiden määrää ei ole mitenkään rajoitettu, joten useiden reikien lisääminen käy nopeasti. Seuraavaksi jokainen piste pitää saada paikkarekisteriin 27. Se käy helposti funktiolla PR[27:Reika kp]=P[*], jossa tähden tilalle tulee halutun pisteen numero. Sen jälkeen kutsutaan vain kierrenousuohjelmaa, joka hoitaa loput. Esimerkiksi kahden uuden reikäparin lisääminen onnistuu Panoste-solussa seuraavalla tavalla:

```
PR[27:Reika kp]=P[1]
CALL PANOSTEKIEREUUS
PR[27:Reika kp]=P[2]
CALL PANOSTEKIEREUUS
```

Ensimmäiseksi syötetään ensimmäisen reikäparin keskipiste paikkarekisteriin 27. Tämän jälkeen kutsutaan kierreohjelmaa. Kun kierrenousuohjelma on suoritettu, pääohjelma siirtyy seuraavaan kohtaan, eli laittaa seuraavan reikäparin keskipisteen paikkarekisteriin 27 ja kutsuu kierreohjelmaa. Samaa toistamalla voidaan käydä rajaton määrä reikäpareja läpi. Vaikka jotain asetusta pitäisi vaihtaa kesken pääohjelman ajon, se ei vaikeuta työtä mitenkään. Oletetaan, että reiän halkaisija muuttuisi 17 mm:stä 25 mm:iin; silloin uusi arvo vain tallennettaisiin

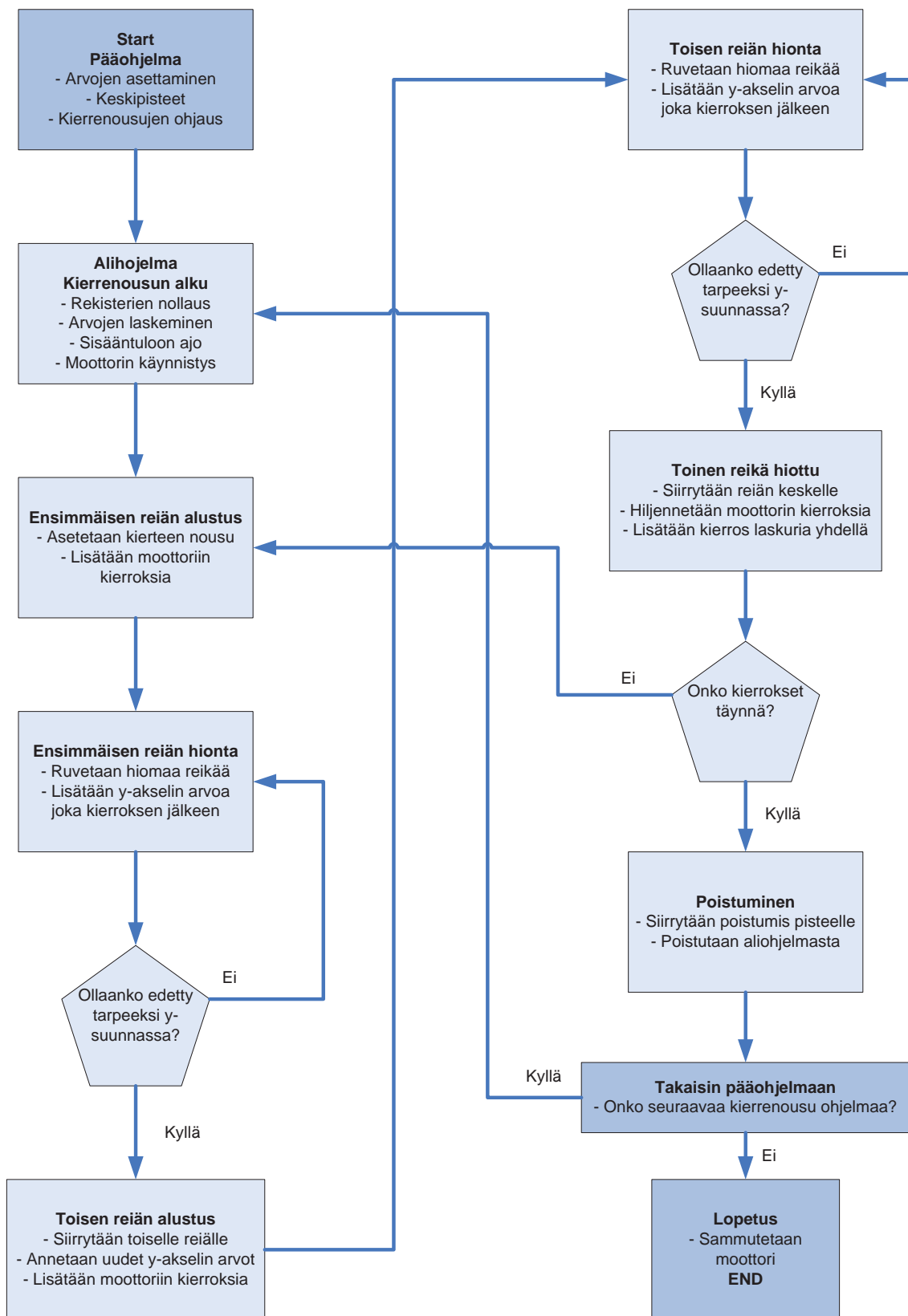
rekisteriin ennen uuden halkaisijan omaavaa reikää. Esimerkiksi jos P1-pisteessä olevan reiän halkaisija on 17mm ja P2 on sen sijaan 25mm, sen muuttaminen tapahtuisi seuraavasti:

```
PR[27:Reika kp]=P[1]  
CALL PANOSTEKIEREUUS
```

```
R[24:R halkaisija]=25  
PR[27:Reika kp]=P[2]  
CALL PANOSTEKIEREUUS
```

Muuttujaa voi siis muuttaa vain antamalla sille uusi arvo ennen sitä pistettä, missä sitä tarvitaan. Muita muutoksia normaalikäytössä ei tarvitse tehdä.

Aliohjelmassa tapahtuu kaikki arvojen laskeminen ja robotin ohjaus annetun paikkapisteen mukaan. Koska aliohjelmaa ei tarvitse muokata ja se nolaa aluksi kaikki arvot, inhimillisen virheen mahdollisuus on pieni. Pääohjelmasta näkee yhdellä silmäyksellä, ovatko kaikki arvot oikein. Aliohjelmaa muokatessa jää helposti jokin kohta huomaamatta, jolloin robotti voi tehdä yllättäviä asennon muutoksia. Aliohjelma löytyy liitteestä 2 ja koko kierrenousun toimintakaavio löytyy kuvasta 30.



KUVA 30. Toimintakaavio.

4 TULOSTEN HYÖDYNTÄMINEN

Panosteen tulosten hyödyntäminen on aloitettu jo itse projektin aikana. Myös tiedotustyö aloitettiin luonnollisesti jo projektin aikana. Panosteen tutkimuksista, uusista tekniikoista ja sovelluksista on tiedotettu aktiivisesti projektin eri toiminnoissa. Tutkimuksia ja projektissa kehitettyjä sovelluksia on esitelty yhteensä sadoille henkilöille ja yrityksille. Parhaimman käsityksen projektin tuloksista ovat saaneet luonnollisesti ne henkilöt ja tahot, jotka ovat vierailleet Koneteknologiakeskuksen tiloissa ja nähneet kehitetyt ratkaisut ja niiden pohjalta tehdyt demonstraatiot käytännössä.

Panostuksen osalta muutamat yritykset ovat jo ottaneet käyttöön tai ainakin harkitsevat nollapisteteknologian käyttöönottoa. Panoste on luonut uusia ajatuksia ja ratkaisuehdotuksia, jotka parantavat suomalaisen konepajateollisuuden kilpailukykyä ja mahdollisuuksia kehittyä. Panosteen tutkimusten ja selvitysten perusteella on luotu opetusmateriaalia Turun ammattikorkeakoulun omaan käyttöön ja laitteistoja on hyödynnetty jo opetustoiminnassa. Turun AMK pystyy hyödyntämään tuloksia luonnollisesti helpoimmin, mutta laitteiston sijoittaminen Koneteknologiakeskukseen sekä tutkimusten julkisuus mahdollistavat kaikkien halukkaiden helpon tutustumisen projektin tuloksiin nyt ja tulevaisuudessa.

Ajatusmallin ”mies ja 5 automatisoitua tuotantosolua” juurruttaminen on onnistunut hyvin ja yhä useammat tahot ovat alkaneet vakavan harkinnan tuotantonsa automatisoimiseksi. Tämän kehityksen esteenä on ollut lähinnä projektin loppuvaiheessa alkanut maailmanlaajuinen lama, joka on vienyt useilta toimijoilta ennustettavuuden ja mahdollisuudet investoida tuotantonsa automatisointiin. Panosteessa mukana olleiden tahojen ehkä suurimmaksi tehtäväksi jää pitää projektin tulokset kirkkaina mielessä, jotta taloustilanteen salliessa pystymme tukemaan yrityksiä parhaalla mahdollisella tavalla heidän automatisointipyrkimyksissään.

Jatkokehitysideat

Panosteen yhtenä tavoitteena oli kehittää kustannustehokas, pk-yrityksille sopiva tuotantosolu. Tätä ajatusta voidaan viedä eteenpäin ja ottaa seuraavaksi haasteeksi kustannustehokkaan joustavan tuotantojärjestelmän kehittäminen. Muutamien Panosteessa toimineiden Turun ammattikorkeakoulun henkilökunnan jäsenien ja opiskelijoiden yhteistyöllä on jo aloitettu tällaisen tuotantojärjestelmän esiselvitykset. Tarkoituksena olisi löytää yhtä mahtava verkosto toteuttamaan tätä projektia kuin Panosteessa. JOPI-nimellä (Joustava pienerien integroitava tuotantojärjestelmä) kutsutun projektin valmistelu lähti käyntiin loppuvuonna 2010.

Toisena Panosteesta alkunsa saaneena hankkeena voidaan pitää Turun ammatti-korkeakoulussa vuonna 2011 valmisteluun tulevaa HITSARIA (Konenäön hyödyntäminen robottihitsauksessa). Tässä hankkeessa tullaan vastaamaan samantyyppisiin ajatuksiin ja kysymyksiin hitsaavan teollisuuden saralla kuin Panoste vastasi koneistavanteollisuuden puolella. Projektin johtoajatus on saada robotisoidusta hitsauksesta yhtä joustavaa kuin robotisoitu panostaminen on.

LÄHTEET

Tekes, 2010, SISU 2010 – uusi tuotantoajattelu, Helsinki: Libris Oy.

Teknolohiateollisuus ry, www.teknolohiateollisuus.fi.

Tilastokeskus, 2008, Teollisuuden toimialakatsaus I/2008, www.stat.fi.

Tilastokeskus, 2008, Teollisuuden toimialakatsaus IV/2008, www.stat.fi.

Tilastokeskus, 2009, Teollisuuden toimialakatsaus IV/2009, www.stat.fi.

Tilastokeskus, 2010, Teollisuuden toimialakatsaus I/2010, www.stat.fi.

Julkaisemattomat lähteet:

Aarnio Jani, projektiraportti.

Glouchenko Dmitri & Piira Marko, projektiraportti.

Grönholm Tomi & Mäkelä Janne, projektiraportti.

Kylliäinen Matias & Lastunen Jasper, projektiraportti.

Kääpä Pessi, projektiraportti.

Opinnäytetyöt:

Suhonen Santtu, 2010, Jäysteenpoistoaseman suunnittelu ja toteutus.

Gillespie, LaRoux K, 1999, Deburring and edge finishing handbook.

Reunanen, Tero, 2010, Tekesin ohjelmaraportti 1/2010.

www.weforma.com, viitattu 25.11.2010.

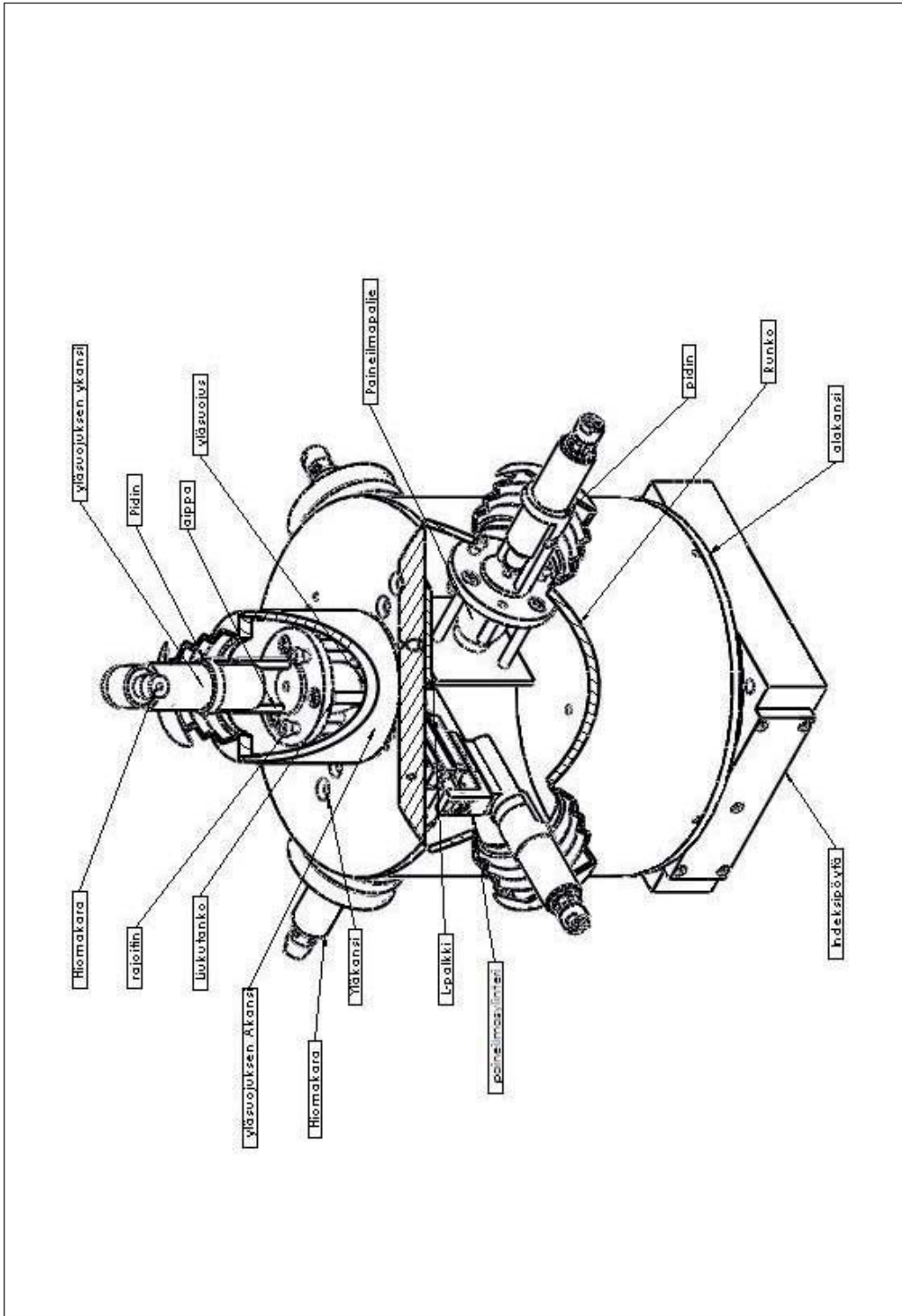
www.festo.com, viitattu 25.11.2010.

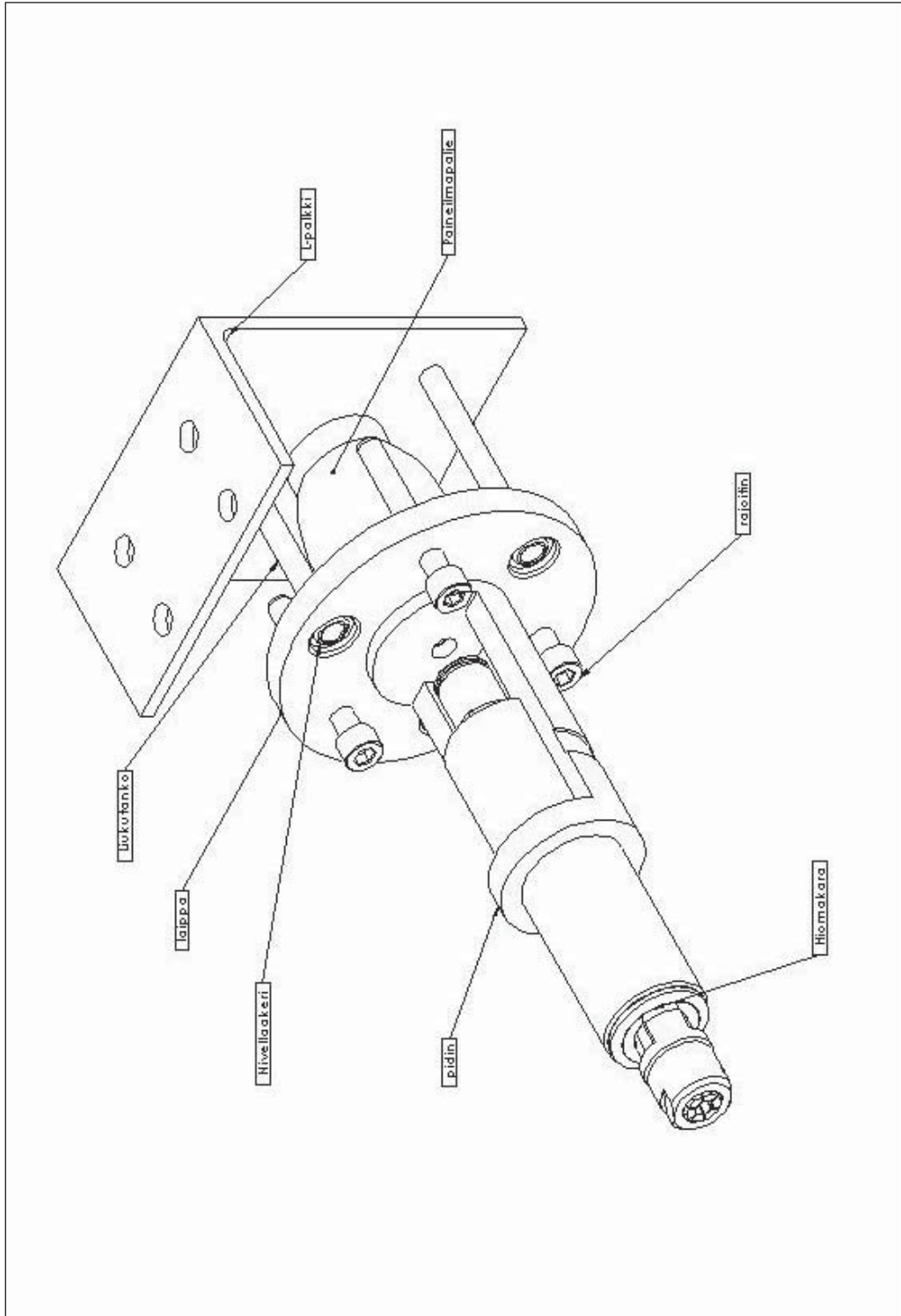
<http://www.mannesmann-demag.com/en/>, viitattu 10.11.2010.

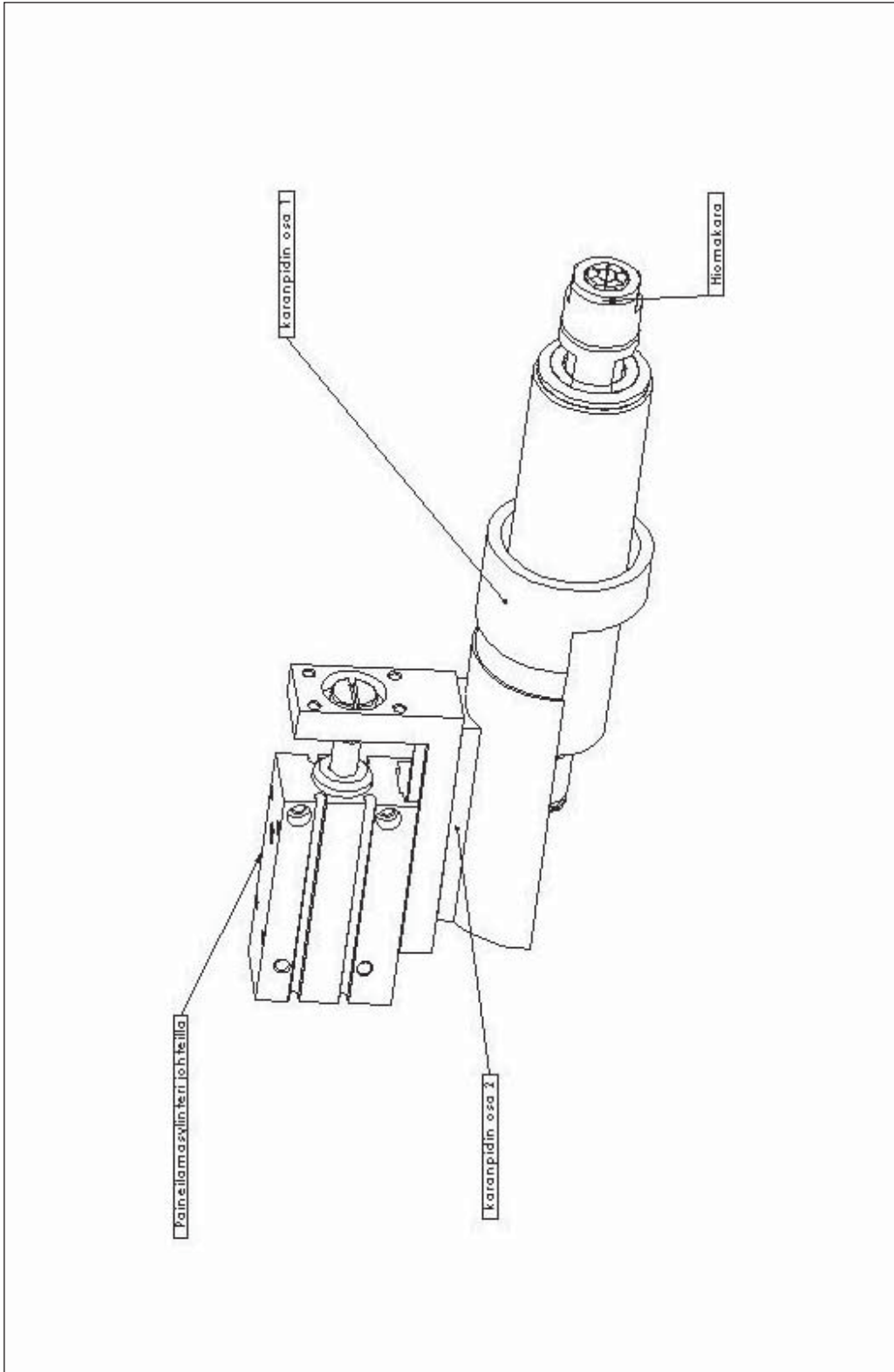
LIITE I

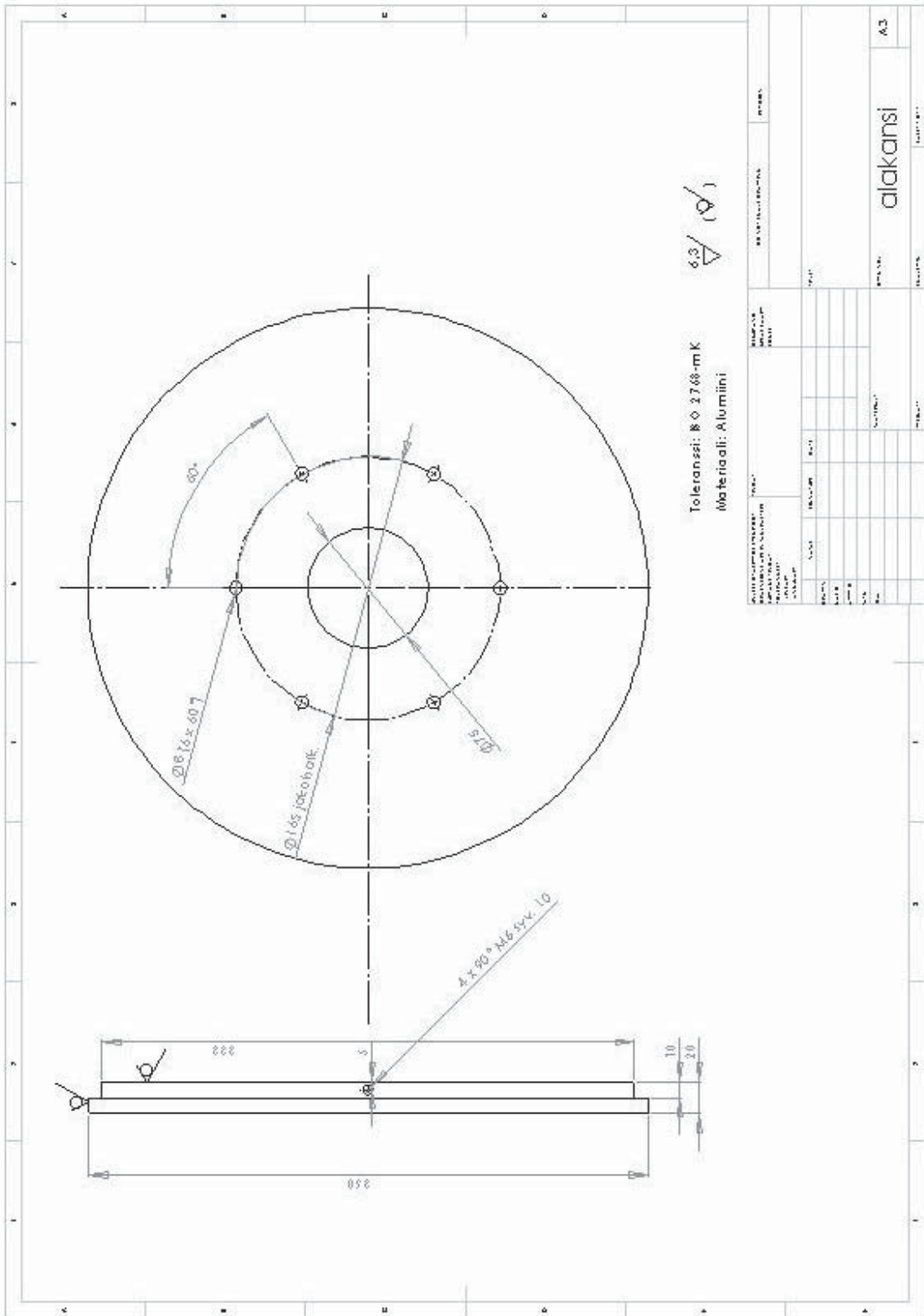
JÄYSTEENPOISTOASEMAN PIIRUSTUKSET

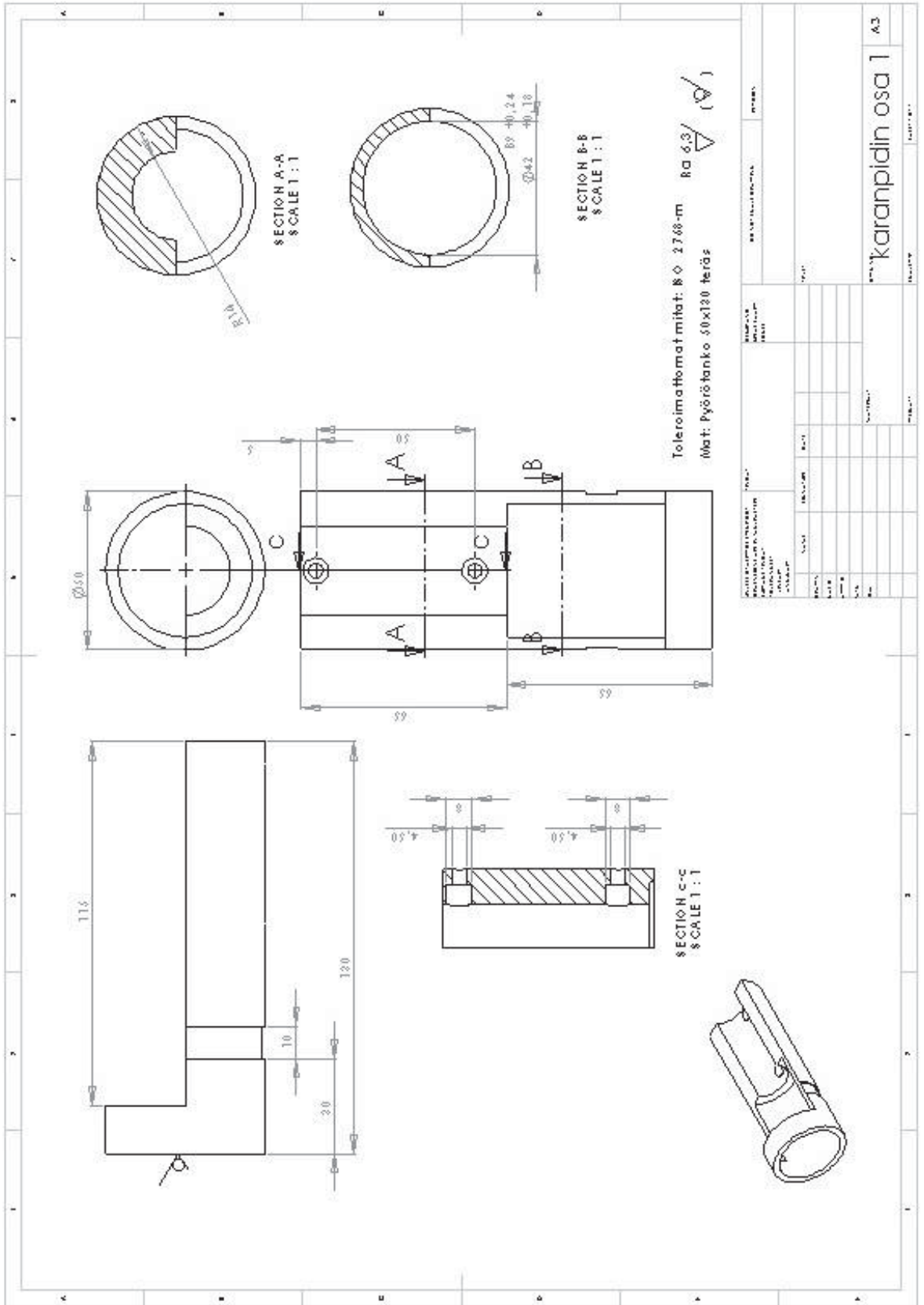
Alakansi.	Runko kiinnittyy alakanteen ja alakansi kiinnittyy Indeksipöytään.
Karanpidin osa 1.	Karanpidin osa 1 on karanpidin harja käyttöön tarkoitetulle karahiomakoneelle.
Karanpidin osa 2.	Karanpidin osa 2:lla saadaan karanpidin osa 1 kiinnitettyä paineilmasylinteriin SLS-16-25-P-A.
Laippa.	Laippaan kiinnitetään nivellaakerit ja karanpidin.
L-palkki	L-palkkiin kiinnitetään liukutangot, joiden varassa joustojärjestelmä liikuu. Lisäksi paineilmapalje kiinnittyy tähän.
Pidin.	Tämä on karanpidin viila käyttöön tarkoitetulle karahiomakoneelle.
Runko.	Runkoon kiinnittyvät kaikki osat.
Yläkansi.	Yläkanteen kiinnittyvät kaikki joustojärjestelmät.
Yläsuojus	Yläsuojus suojaa kulmapäällä varustettua hiomakaraa.
Yläsuojuksen alakansi.	Yläsuojuksen alakannen avulla yläsuojus kiinnittyy yläkanteen.
Yläsuojuksen yläkansi.	Yläsuojuksen yläkansi suojaa kulmapäällä varustettua hiomakaraa ja tähän saadaan kiinnitettyä tiiviste.

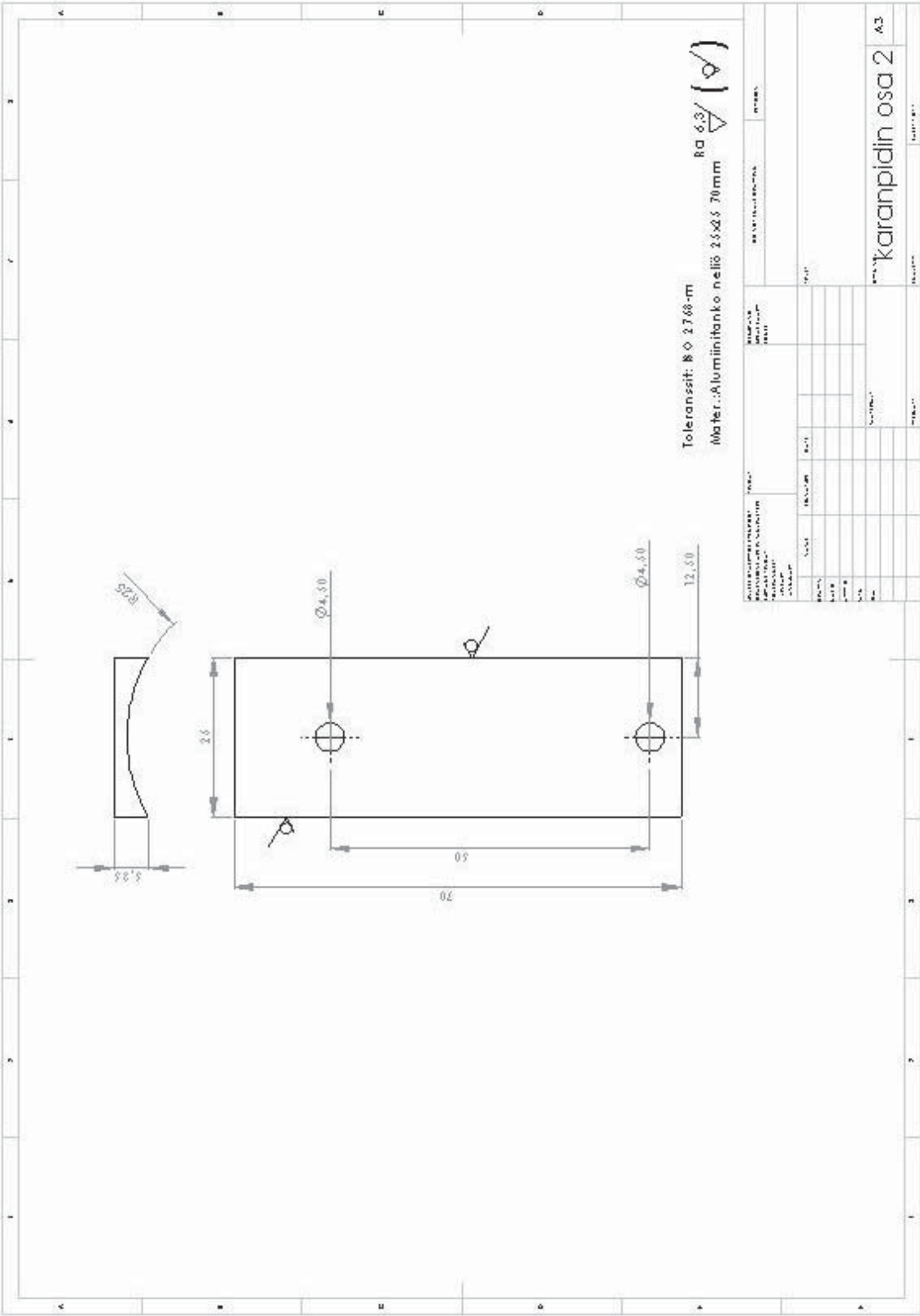


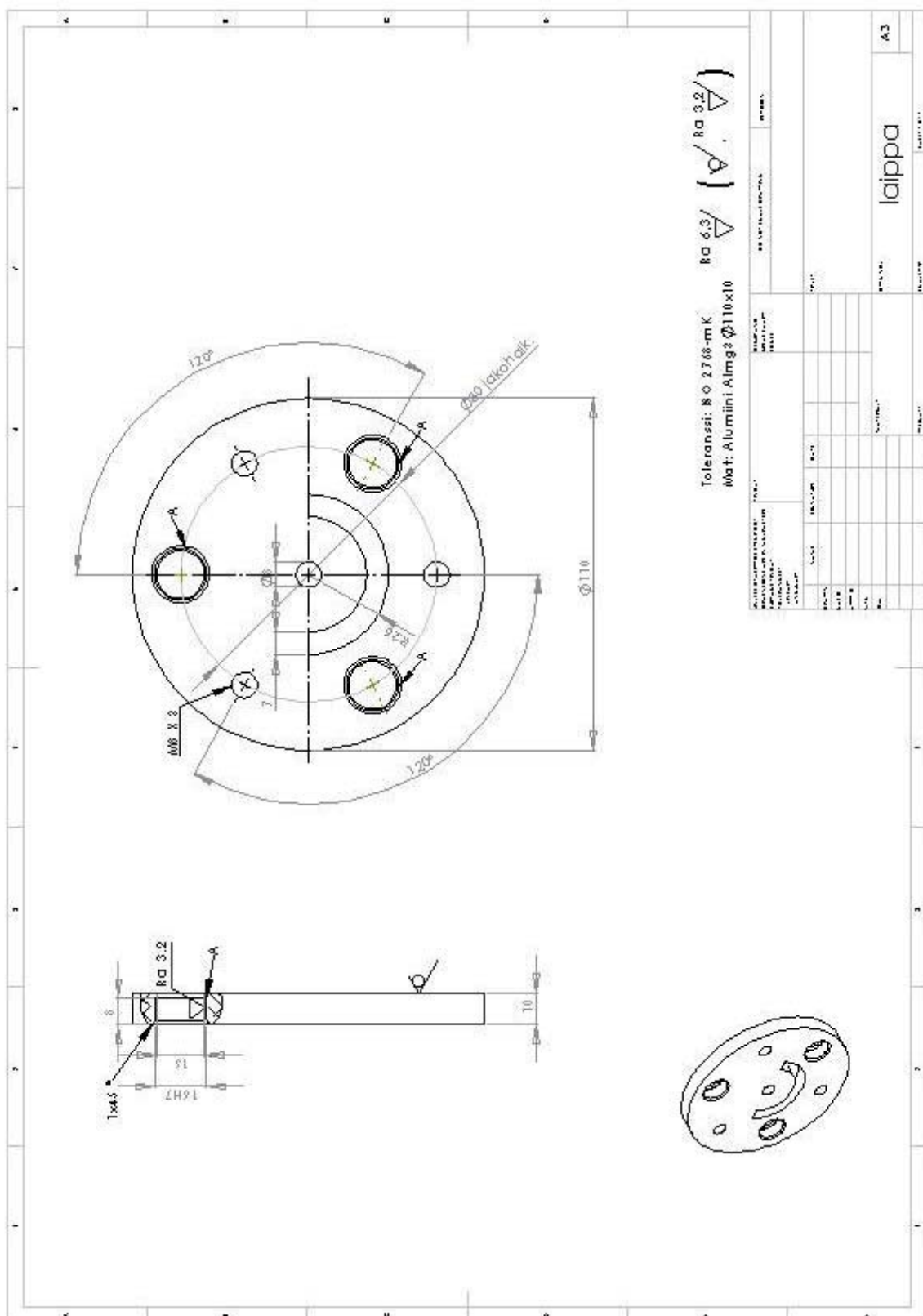


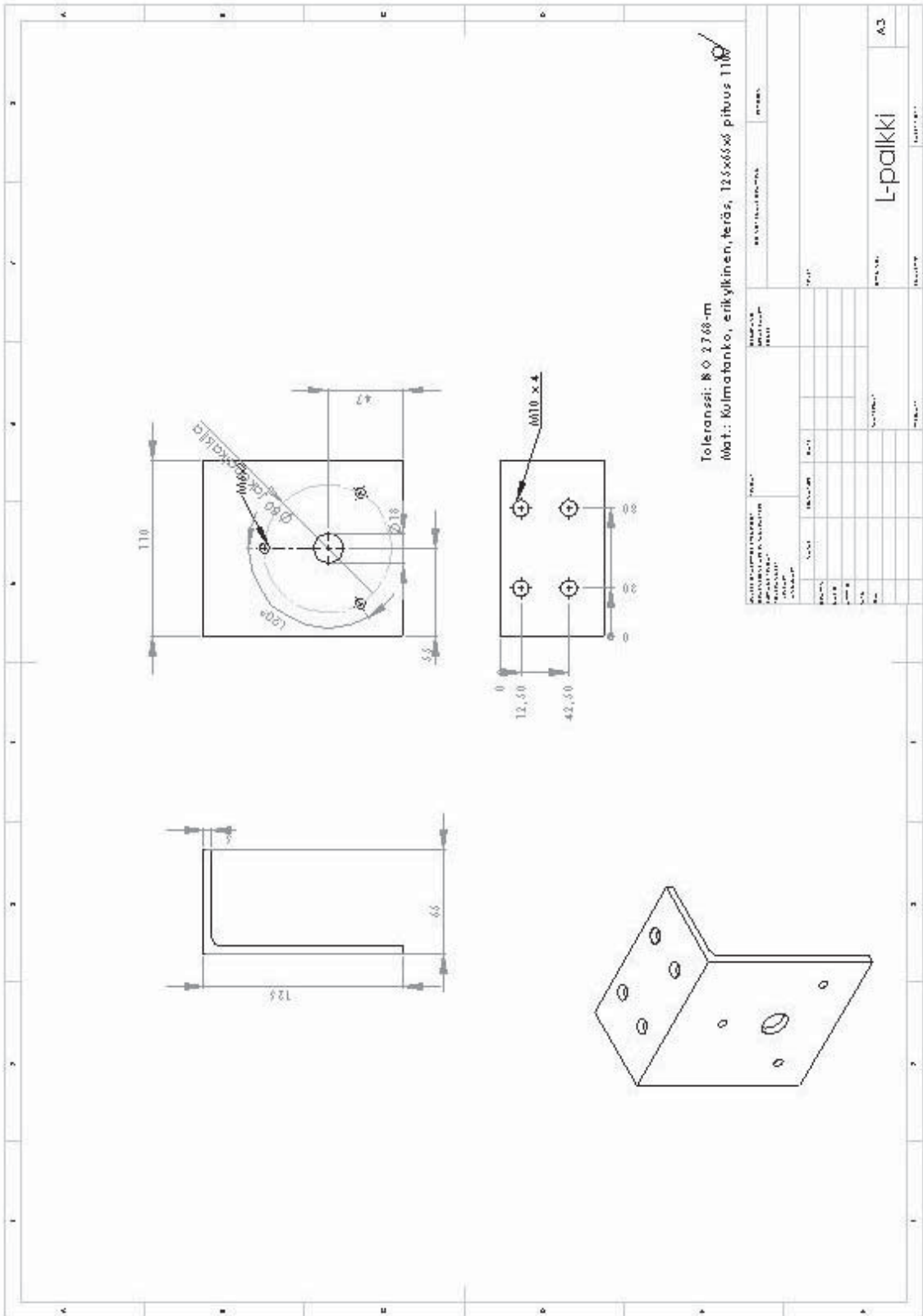


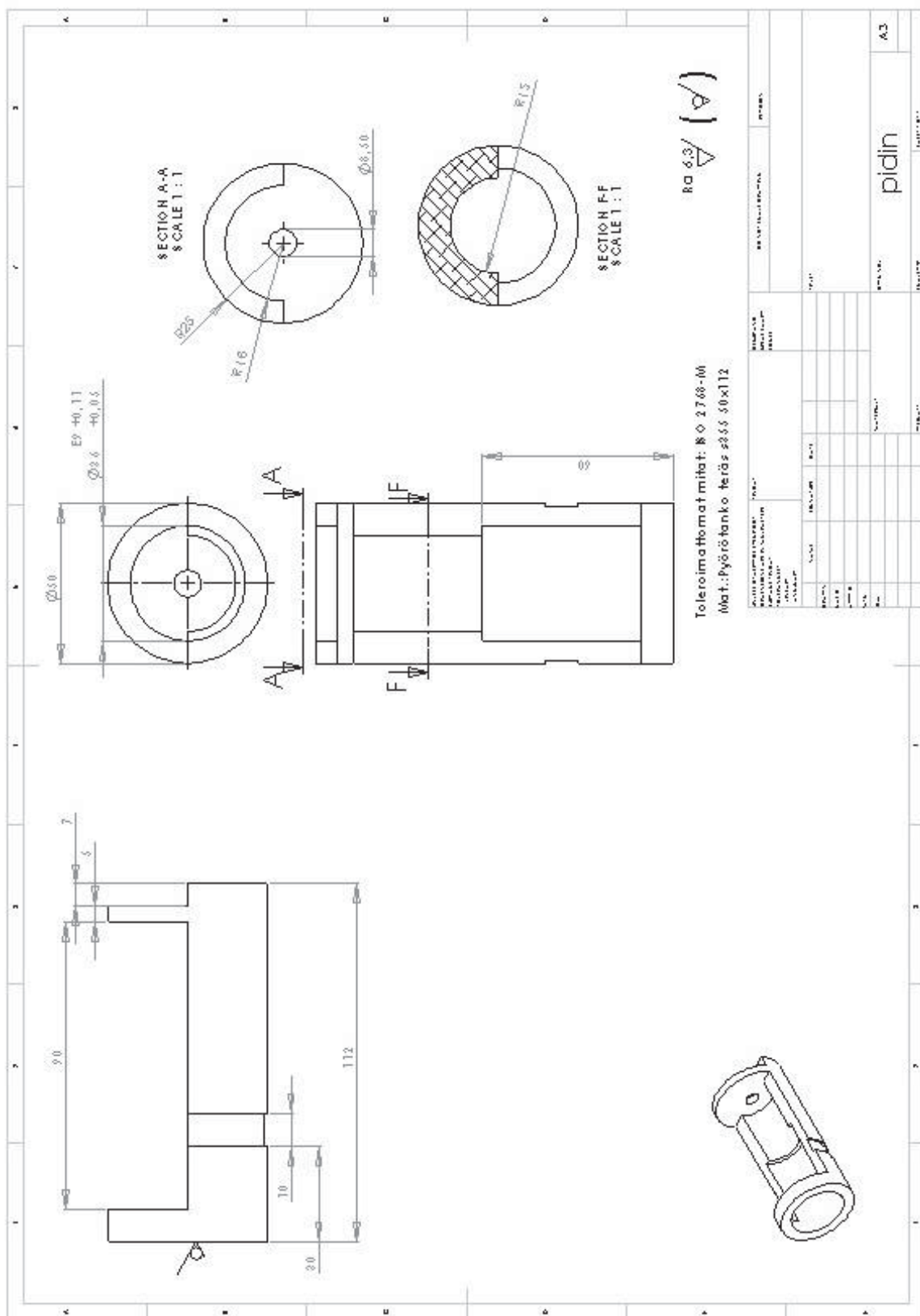


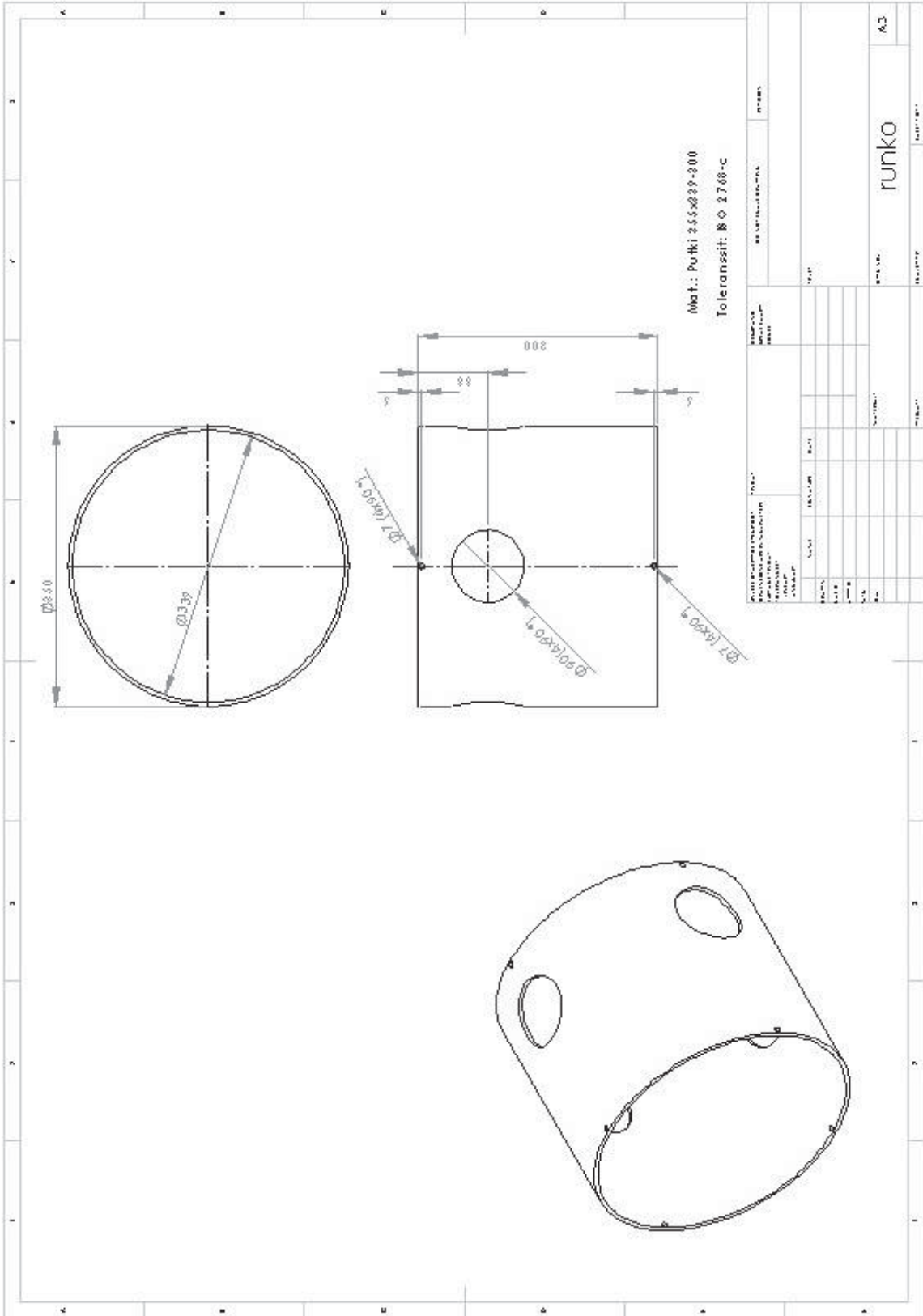


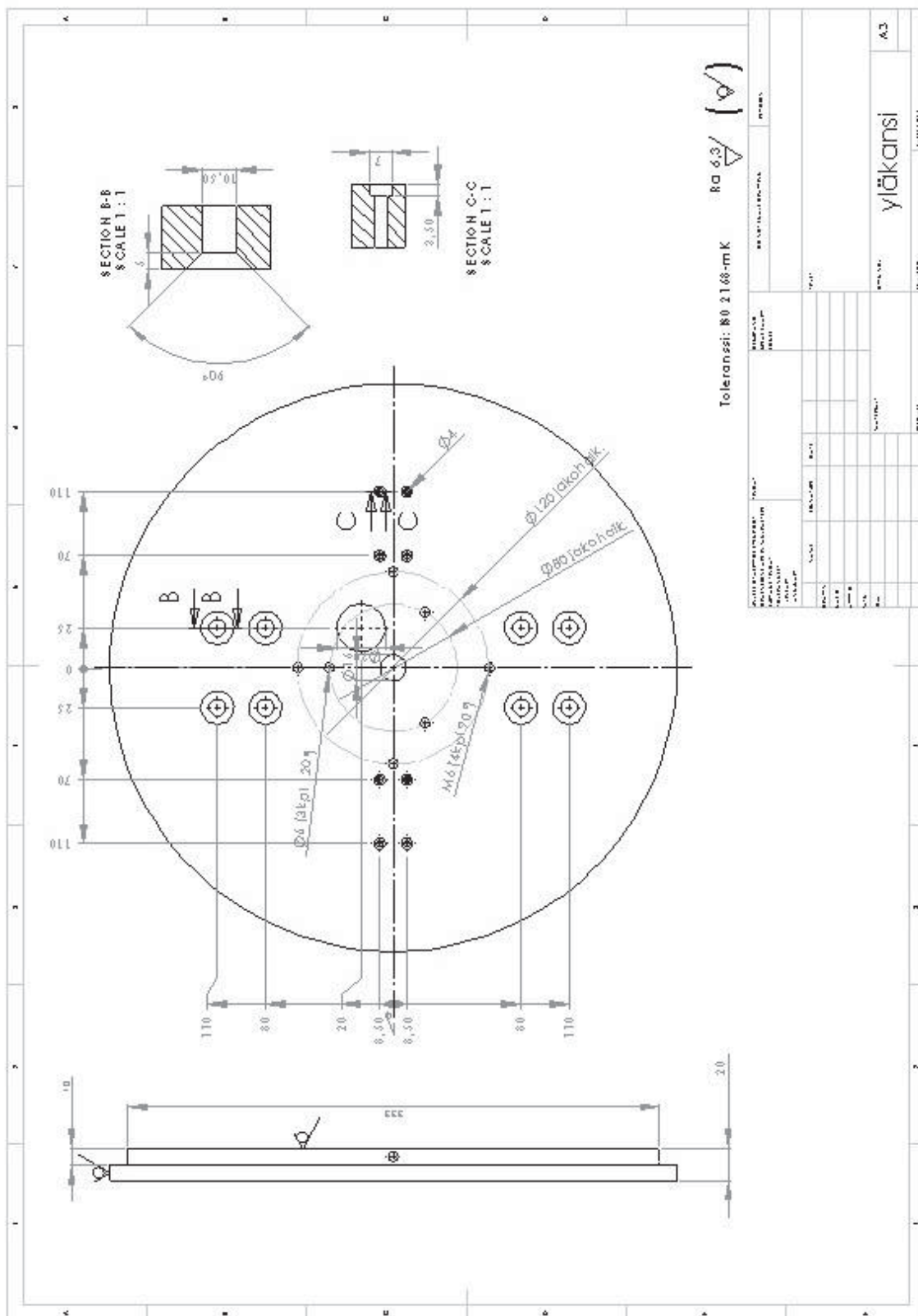


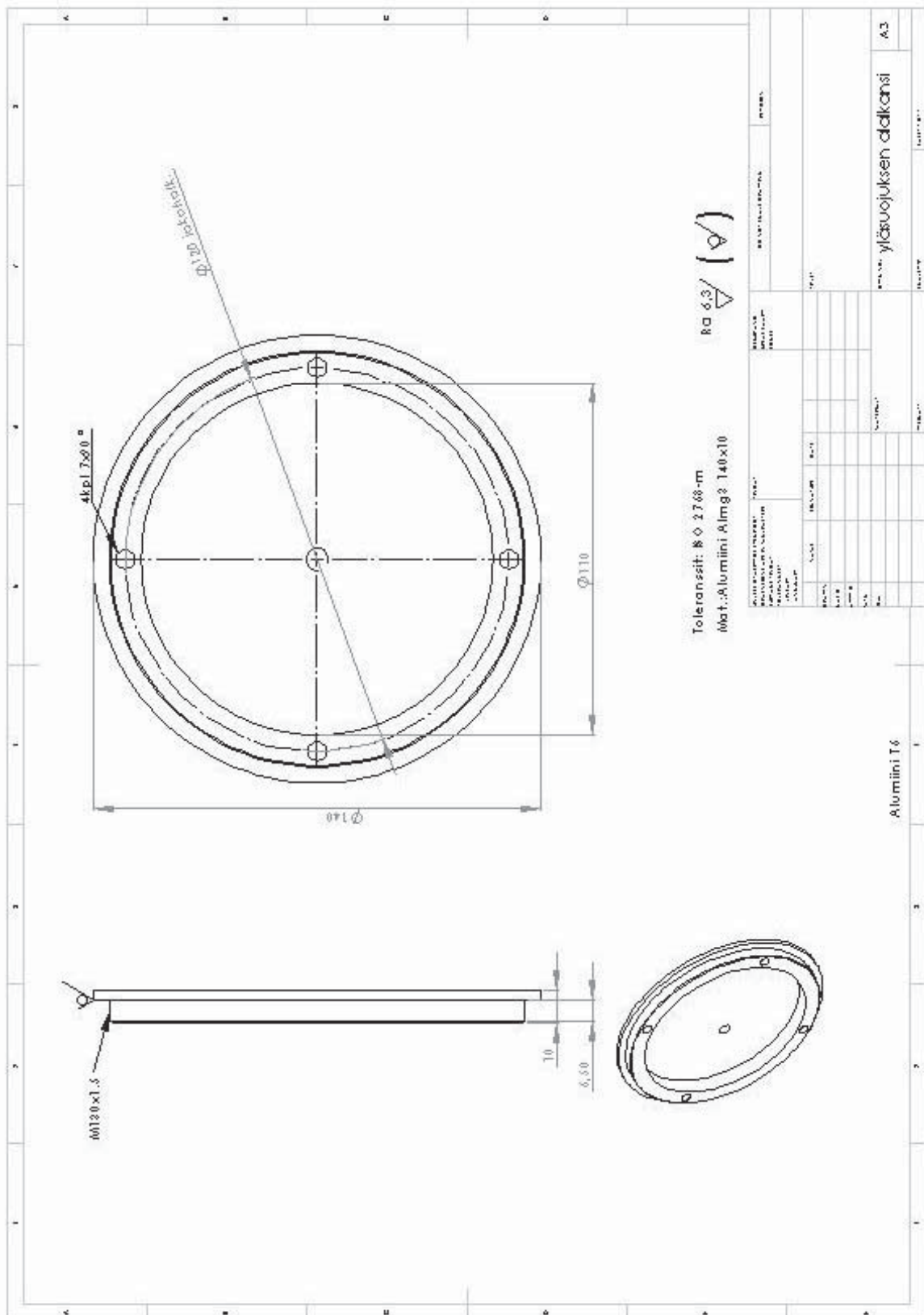












Tuote/Aines	Tarvittava/koko /malli	Määrä	Toimittaja	Huom!
Alumiinilevy (Almg3)	20x500x1000	1	Rautaruukki	
Kulmatanko, erikylkinen, teräs	125x65x5	250mm	Rautaruukki	
pyörötanko teräs s355	ø50	650mm	Rautaruukki	
Teräsputki	Dn= 350mm S=8,8mm Do=355,6mm	300mm	Halikko pipe Oy	
Muoviputki PVC-U	d=140 di=126,6	150mm	Vink	
Hiomakara	Taulukossa määritelty	4	Teräskonttori	
Paineilmapalje	WSR 20	3	Safeware components Oy	
Nivellaakeri	GE 8 E	9	D&E Trading	
Alumiinilevy (Almg3)	10x300x400	1	Rautaruukki	
Kuusiokoloruuvi	M6x60 DIN 6912	9	WÜRth	
Kuusiokoloruuvi	M10x25 DIN EN ISO 10642	8	WÜRth	Uppokanta
Kuusiokoloruuvi	M4x16 DIN 6912	8	WÜRth	
Kuusiokoloruuvi	M6x20 DIN 6912	4	WÜRth	
Kuusiokoloruuvi	M8x30 DIN 6912	6	WÜRth	
Kuusiokoloruuvi	M6x10 DIN 6912	8	WÜRth	
Kumipalje	?	5	Irpola Oy	Mittojen mukaan tilattavissa oleva!
Indeksipöytä	DHTG-220-8-A (Osa nro: 548095)	1	Festo	
Induktiivianturi indeksipöytään	SIEN-M8B-NO-K-L (Osanro: 150386)	3	Festo	
Paineilmasylinteri (mini)	SLS-16-25-P-A (Osa nro: 1705019)	2	Festo	
Paineilmaliitin kulma 90°	Letkun koko 10/12mm	5		Koko paineilmakarojen mukaan
Pyörötanko s355	ø10	900mm		
Alumiinilaattatanko	10x25	150mm	Rautaruukki	Tai vaihtoehtoisesti 25x25 neliötankoa
Kuusiokoloruuvi	M4x25 (DIN 6912)	4	WÜRth	
Paineilmakara kulmapäällä	Taulukossa määritelty	1	Teräskonttori	
Kuusiomutteri	M16 (DIN 4036)	3	WÜRth	Kapeampi malli
Kuusiomutteri	M6 (DIN EN ISO 10511)	18	WÜRth	nylock
Aluslaatta	M6	18	WÜRth	
Aluslaatta	M16	3	WÜRth	
Jousilaatta	M16 (DIN 127)	3	WÜRth	

LIITE 2

JÄYSTEENPOISTO-OHJELMA RISTEÄVIIN REIKIIN

Kierrenousun pääohjelma "PANOSTEKIEREPAA"

1: UTOOL_NUM=1 ;

Asetetaan haluttu koordinaatisto käyttöön

2: UFRAME_NUM=0 ;

3: ;

Pistetään rekistereihin hionta tiedot

4: R[20:Kertaa]=1 ;

Monta kertaa suoritetaan reikäparin hionta

5: R[21:1R syvyys]=10 ;

Ensimmäisen reiän hiontasyvyys

6: R[22:2R syvyys]=8 ;

Toisen reiän hiontasyvyys

7: R[23:R vali]=48 ;

Toisen reiän keskipisteen etäisyys ensimmäisen reiän keskipisteestä

8: R[24:R halkaisija]=17 ;

Hiottavien reikien halkaisija

9: R[25:Hp halkaisija]=6 ;

Hiontapään halkaisija

10: R[26:Pain ajo]=.5 ;

Kuinka kovaa painetaan seinämää hiontapäällä

11: R[27:Sisaan tulo]=50 ;

Kuinka kaukana sisääntulopiste on ensimmäisen reiän keskipisteestä

12: R[29:Kierteen nousu]=1.5 ;

Kierteen nousu

13: ;

14: JMP LBL[1] ;

Robottia ei haluta liikuttaa näihin pisteisiin joten hypätään niitten yli

15: ;

Tähän väliin asetetaan jokaisen reikäparin ensimmäisen reiän keskipiste josta halutaan hiomisen alkavan

16:J P[1] 100% CNT100 ;

17:J P[2] 100% CNT100 ;

Pisteitä lisätään niin paljon kuin reikäpareja on ja sen lisäksi

18:J P[3] 100% CNT100 ;

LBL[1] lisätään reikien määrän verran kutsuja perä jälkeen

19: ;

20: LBL[1] ;

Aloitetaan ohjelma

21: ;

22: R[28:Pyoritys]=1 ;

Aktivoidaan karahiomakoneen käynnistys

23: ;

24: PR[27:Reika kp]=P[1] ;

Asetetaan paikkarekisteriin 27 ensimmäisen reikäparin keskipiste

25: CALL PANOSTEKIEREUUS ;

Kutsutaan kierrenousu ohjelmaa ja ajetaan se läpi

26: ;

27: PR[27:Reika kp]=P[2] ;

Ensimmäisen reiän hiomisen jälkeen siirrytään seuraavaan reikään

28: CALL PANOSTEKIEREUUS ;

ja ajetaan kierrenousuohjelma

29: ;

30: PR[27:Reika kp]=P[3] ;

31: CALL PANOSTEKIEREUUS ;

32: ;

33: DO[50:Magnvent2]=OFF ;

Sammutetaan karamoottori

34: DO[53:Magnvent5]=OFF ;

/END

Reiät on hiottu ja pääohjelma voidaan lopettaa

Kierrenousun aliohjelma “PANOSTEKIEREUUS”

1: UTOOL_NUM=1 ;

Asetetaan haluttu koordinaatisto käyttöön

2: UFRAME_NUM=0 ;

3: ;

4: PR[20:Ympyra 1]=PR[20:Ympyra 1]-PR[20:Ympyra 1] ;

5: PR[21:Ympyra 2]=PR[21:Ympyra 2]-PR[21:Ympyra 2] ;

6: PR[22:Ympyra 3]=PR[22:Ympyra 3]-PR[22:Ympyra 3] ;

7: PR[23:Ympyra 4]=PR[23:Ympyra 4]-PR[23:Ympyra 4] ;

8: PR[24:Ympyra 5]=PR[24:Ympyra 5]-PR[24:Ympyra 5] ;

9: PR[25:Siirtyma]=PR[25:Siirtyma]-PR[25:Siirtyma] ;

10: PR[26:Koko vali]=PR[26:Koko vali]-PR[26:Koko vali] ;

11: PR[28:Sisaan tulo]=PR[28:Sisaan tulo]-PR[28:Sisaan tulo] ;

Nollataan aluksi paikkarekisterit etteivät vahingossa pistetyt arvot sekoita ohjelmaa

12: ;

13: R[3: Testi 2]=0

Nollataan kierrosten laskussa tarvittava rekisteri

14:

15: PR[20,3:Ympyra 1]=(((R[24:R halkaisija]/2)-(R[25:Hp halkaisija]/2)+R[26:Pain ajo])* (-1)) ;

16: PR[21,1:Ympyra 2]=(((R[24:R halkaisija]/2)-(R[25:Hp halkaisija]/2)+R[26:Pain ajo])) ;

17: PR[22,3:Ympyra 3]=(((R[24:R halkaisija]/2)-(R[25:Hp halkaisija]/2)+R[26:Pain ajo])) ;

18: PR[23,1:Ympyra 4]=(((R[24:R halkaisija]/2)-(R[25:Hp halkaisija]/2)+R[26:Pain ajo])* (-1)) ;

19: PR[24,3:Ympyra 5]=(((R[24:R halkaisija]/2)-(R[25:Hp halkaisija]/2)+R[26:Pain ajo])* (-1)) ;

20: ;

Lasketaan kierrenousun ympyrän arvot eri kohdissa

21: PR[28,2:Sisaan tulo]=R[27:Sisaan tulo]*(-1) ;

Sisääntulo pisteen arvo paikkarekisteriin

22: ;

23: J PR[27:Reika kp] 100% CNT100 Offset,PR[28:Sisaan tulo] ;

Mennään sisääntuloon

24: IF R[28:Pyoritys]=1,JMP LBL[8] ;

Tarkistetaan onko karahiomakone jo käynnistetty

25: JMP LBL[5] ;

Jos on niin hypätään alku käynnistyksen ohi

26: ;

27: LBL[8] ;

Karahiomakoneen käynnistys alkaa

28: ;

29: DO[50:Magnvent2]=ON ;

Pistetään karahiomakone pyörimään

30: DO[53:Magnvent5]=ON ;

Karahiomakoneen jousto päälle

31: WAIT 15.00(sec) ;

Odotetaan 15 sekuntia jotta hiomakone ehtii kiihtyä

32: R[28:Pyoritys]=0 ;

Asetetaan R28 arvoksi nolla koska tämä tarvitsee tehdä vain kerran reikien hionnan aikana

33: ;

34: LBL[5] ;

Ensimmäisen reiän hionnan alustus

35: ;

36:L PR[27:Reika kp] 10mm/sec FINE ;

Ajetaan reiän keskipisteeseen

37: ;

38: PR[20,2:Ympyra 1]=0 ;

39: PR[21,2:Ympyra 2]=R[29:Kierteen nousu]*.25 ;

40: PR[22,2:Ympyra 3]=R[29:Kierteen nousu]*.5 ;

41: PR[23,2:Ympyra 4]=R[29:Kierteen nousu]*.75 ;

42: PR[24,2:Ympyra 5]=R[29:Kierteen nousu] ;

Nousun arvojen laskut yhdelle kierrokselle

43: ;

44: PR[25,2:Siirtyma]=R[23:R vali] ;

Siirretään paikkarekisteriin reikien väli

45: ;

46: DO[51:Magnvent3]=ON ;

Avataan venttiili 3 jotta saadaan enemmän kierroksia ja vääntöä (Panostesolun ohjaustoiminto)

47: WAIT 3.00(sec) ;

odotetaan kolme sekuntia kiihtymistä

48: ;

49: LBL[1] ;

Ensimmäisen reiän hionta alkaa

50: ;

Viedään terä reunaan ja aloitetaan ympyrä liikkeet

51: L PR[27:Reika kp] 10mm/sec CNT100 Offset,PR[20:Ympyra 1] ;

52: C PR[27:Reika kp] Offset,PR[21:Ympyra 2]

: PR[27:Reika kp] 10mm/sec CNT100 Offset,PR[22:Ympyra 3] ;

53: C PR[27:Reika kp] Offset,PR[23:Ympyra 4]

: PR[27:Reika kp] 10mm/sec CNT100 Offset,PR[24:Ympyra 5] ;

54: ;

Joka kierroksen jälkeen lisätään y-arvoa jotta terä liikkuisi eteenpäin

55: PR[20,2:Ympyra 1]=PR[20,2:Ympyra 1]+R[29:Kierteen nousu] ;

56: ;

57: PR[21,2:Ympyra 2]=PR[21,2:Ympyra 2]+R[29:Kierteen nousu] ;

58: ;

59: PR[22,2:Ympyra 3]=PR[22,2:Ympyra 3]+R[29:Kierteen nousu] ;

60: ;

61: PR[23,2:Ympyra 4]=PR[23,2:Ympyra 4]+R[29:Kierteen nousu] ;

62: ;

63: PR[24,2:Ympyra 5]=PR[24,2:Ympyra 5]+R[29:Kierteen nousu] ;

64: ;

65: ;

Tarkastetaan onko jo edetty tarpeeksi, jos ei niin hypätään takaisin hiontaan

66: IF (PR[24,2:Ympyra 5]<R[21:1R syvyys]),JMP LBL[1] ;

67: ;

68: DO[51:Magnvent3]=OFF ;

Suljetaan venttiili 3 toiselle reiälle siirtymisen ajaksi (Panostesolun ohjaustoiminto)

69: ;

Liikutaan alemman reiän keskipisteeseen

70:L PR[27:Reika kp] 10mm/sec FINE Offset,PR[25:Siirtyma] ;

71: ;

72: ;

Lasketaan uudet kierroksen nousu matkat ottaen huomioon siirrytty matka

73: PR[20,2:Ympyra 1]=R[23:R vali] ;

74: PR[21,2:Ympyra 2]=((R[29:Kierteen nousu]*.25)+R[23:R vali]) ;

75: PR[22,2:Ympyra 3]=((R[29:Kierteen nousu]*.5)+R[23:R vali]) ;

76: PR[23,2:Ympyra 4]=((R[29:Kierteen nousu]*.75)+R[23:R vali]) ;

77: PR[24,2:Ympyra 5]=R[29:Kierteen nousu]+R[23:R vali] ;

78: ;

79: DO[51:Magnvent3]=ON ;

Avataan venttiili 3 jotta saadaan enemmän kierroksia ja vääntö (Panostesolun ohjaustoiminto)

80: WAIT 3.00(sec) ;

Odotetaan kolme sekuntia kiihtymistä

81: ;

82: LBL[2] ;

Toisen reiän hionta alkaa

83: ;

Viedään terä reunaan ja aloitetaan ympyrä liikkeit

84: L PR[27:Reika kp] 10mm/sec CNT100 Offset,PR[20:Ympyra 1] ;

85: C PR[27:Reika kp] Offset,PR[21:Ympyra 2]

: PR[27:Reika kp] 10mm/sec CNT100 Offset,PR[22:Ympyra 3] ;

86: C PR[27:Reika kp] Offset,PR[23:Ympyra 4]

: PR[27:Reika kp] 10mm/sec CNT100 Offset,PR[24:Ympyra 5] ;

87: ;

Joka kierroksen jälkeen lisätään y-arvoa jotta terä liikkuisi eteenpäin

88: PR[20,2:Ympyra 1]=PR[20,2:Ympyra 1]+R[29:Kierteen nousu] ;

89: ;

90: PR[21,2:Ympyra 2]=PR[21,2:Ympyra 2]+R[29:Kierteen nousu] ;

91: ;

92: PR[22,2:Ympyra 3]=PR[22,2:Ympyra 3]+R[29:Kierteen nousu] ;

93: ;

94: PR[23,2:Ympyra 4]=PR[23,2:Ympyra 4]+R[29:Kierteen nousu] ;

95: ;

96: PR[24,2:Ympyra 5]=PR[24,2:Ympyra 5]+R[29:Kierteen nousu] ;

97: ;

98: ;

Tarkastetaan onko jo edetty tarpeeksi, jos ei niin hypätään takaisin hiontaan

99: IF (PR[24,2:Ympyra 5]<R[22:2R syvyys]+R[23:R vali]),JMP LBL[2] ;

100: ;

101: DO[51:Magnvent3]=OFF ;

Suljetaan venttiili 3 seuraavan siirtymän ajaksi (Panostesolun ohjaustoiminto)

102: ;

103: PR[26,2:Koko vali]=R[23:R vali]+R[22:2R syvyys] ;

Lasketaan reikien väli ja hiotun toisen reiän hionnan pituus,

104: ;

105:L PR[27:Reika kp] 30mm/sec CNT100 Offset,PR[26:Koko vali] ;

106: ;

107: R[3: Testi 2]=R[3: Testi 2]+1 ;

Lisätään joka kierroksen jälkeen laskuria yhdellä

108: ;

109: ;

Jos haluttua reikien ajo kertaa ei ole saavutettu niin hypätään ensimmäisen reiän hiontaan

110: IF R[3: Testi 2]<R[20:Kertaa],JMP LBL[5] ;

111: ;

112: ;

Muuten siirrytään sisääntulo pisteeseen ja poistutaan ohjelmasta

113:L PR[27:Reika kp] 30mm/sec CNT100 Offset,PR[28:Sisaan tulo] ;

114: ;

/END