

OPPIMATERIAALEJA

PUHEENVUOROJA

RAPORTTEJA 110

TUTKIMUKSIA

Tero Reunanen & Sakari Koivunen (toim.)

KAPPALEIDEN MERKKAUS ROBOTISOIDUSSA TUOTANTOSOLUSSA

Panoste-projektin julkaisu 3/4



TURUN AMMATIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPPIMATERIAALEJA
PUHEENVUOROJA
RAPORTTEJA 110
TUTKIMUKSIA

Tero Reunanen & Sakari Koivunen (toim.)

KAPPALEIDEN MERKKAUS ROBOTISOIDUSSA TUOTANTOSOLUSSA

Panoste-projektin julkaisu 3/4



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 merkkkaus 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 110

Turun ammattikorkeakoulu
Turku 2011

ISBN 978-952-216-195-6 (painettu)
ISSN 1457-7925 (painettu)
Painopaikka: Tampereen Yliopistopaino – Juvenes Print Oy, Tampere 2011

ISBN 978-952-216-196-3 (PDF)
ISSN 1459-7764 (elektroninen)
<http://julkaisut.turkuamk.fi/isbn9789522161963.pdf>



LUKIJALLE

Tässä julkaisussa kuvataan Panoste-projektissa tehdyt testit ja kehitetyt sovellukset sekä niiden tulokset siten, että ne olisivat mahdollisimman helposti yritysten tutustuttavissa ja käytettävissä. Julkaisu on jaettu osiin tutkimusten, testien ja ratkaisujen mukaan mahdollisimman helpon käytettävyyden saavuttamiseksi yritysten näkökulmasta, eikä niinkään yhtenäisen lukukokonaisuuden vaatimusten mukaisesti. Kirjoittamiseen on osallistunut Turun ammattikorkeakoulun opiskelijoita sekä henkilökuntaa. Osiot on koostettu pääsääntöisesti suoraan valmiista opinnäytetöistä ja raporteista. Pieniä muokkauksia teksteihin on jouduttu tekemään jotta ne on voitu koostaa yhtenäisiksi kokonaisuuksiksi tähän julkaisuun.

Tahdomme esittää kiitoksemme erityisesti Turun ammattikorkeakoulun kone- ja tuotantotekniikan insinööriopiskelijoille jotka toimivat suuressa roolissa myös projektin dokumentoinnissa. Tämä julkaisu on pääsääntöisesti koostettu opiskelijoiden tuottamista opinnäytetöistä ja projektiraporteista. Lisäksi haluamme kiittää Pekka Törnqvistiä hänen tuestaan ja työstään julkaisun hyväksi sekä Tanja Hallenbergiä joka on toiminut oikolukijana ja kommentoinut tekstiä.

Tero Reunanen & Sakari Koivunen

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 MERKKAUSTARPEET JA REUNAEHDOT PANOSTEESSA	23
3 YLEISTÄ MERKKAUKSESTA	24
3.1 Merkkaustekniikan valinta	24
4 MERKKAUSTEKNIIKAT	25
4.1 Mekaaninen kaiverrus	25
4.2 Naarmuttaminen (Scribing)	26
4.3 Mustesuihku	26
4.4 Tarra	28
4.5 Stanssaus	29
4.6 Laser	29
5 MERKKAUSLAITE PANOSTE-SOLUSSA	31
5.1 Laitetiedot	32
5.2 Östlingin merkkauslaitteen sovittaminen robottikäyttöön	32
5.3 Pohjan tekeminen käytännössä	35
5.4 Interfacen käyttöohje	35
6 KÄYTÄNNÖN MERKKAUSTESTIT	37
6.1 Yleistä	37
6.2 Testiparametrit	37
6.3 Eri muuttujien vaikutus merkkaukseen	37
6.4 Testitulokset eri materiaaleilla	38
7 CASE MERKKAUS	41
LÄHTEET	43

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 merkkaukseen 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

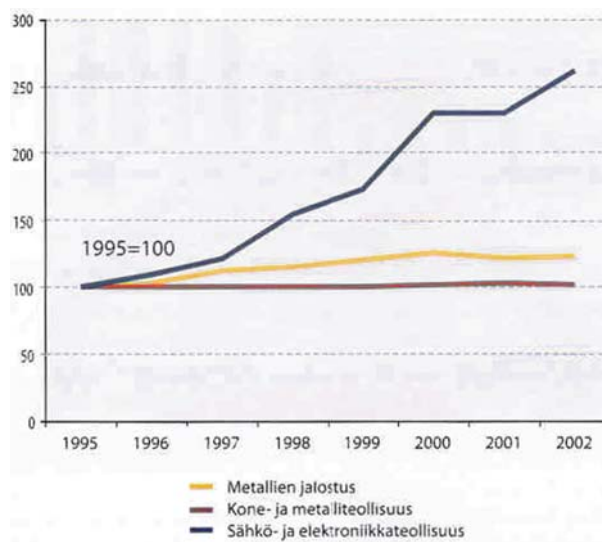
Tero Reunanen
Projektipäällikkö
Turun ammattikorkeakoulu

I KONEISTETTAVIEN AIHIOIDEN UUSIEN PANOSTUSMENETELMIEN KÄYTTÖÖNOTTO – PANOSTE

Tero Reunanen

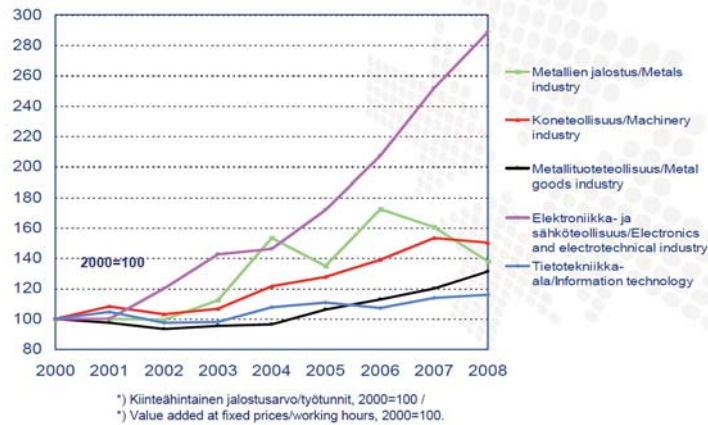
I.1 PROJEKTIN TARVELÄHTÖISYYS JA TAVOITTEET

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).*

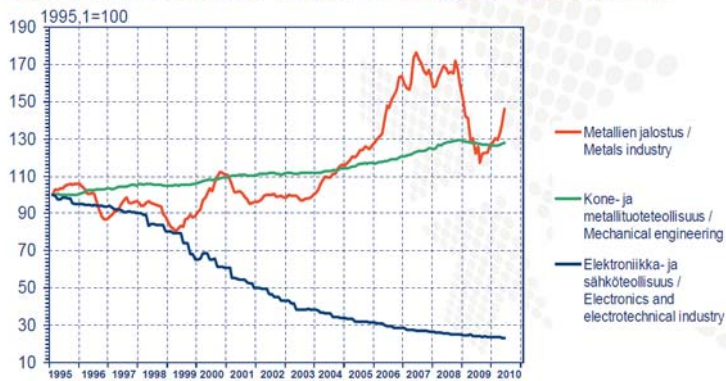
Tuottavuuden kehitys* teknologioteollisuudessa Labour Productivity Development in the Technology Industry



KUVIO 2. Tuottavuuden kehitys teknologioteollisuudessa vuosina 2000–2008 (Teknologioteollisuus Ry).

Teknologioteollisuuden tuottajahintojen kehitys Suomessa

Development of Producer Prices in Technology Industries in Finland

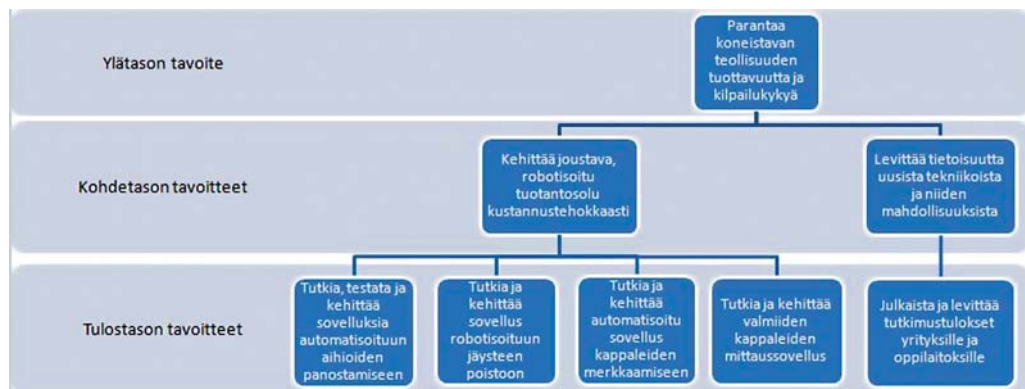


KUVIO 3. Tuottajahintojen kehitys vuosina 1995–2010 (Teknologioteollisuus ry).

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 merkkausta 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.

Panosten 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 materiaaliomuodostuma.” (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 mittaustalaitesovelluksen 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 toteutusajankautana on koettu teollisuudessa voimakkaan korkeasuhdanteen kausi, mutta myös nopeasti edennyt valmistavan teollisuuden käytännössä lamauttanut taloustaantumisen 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 lisäaikaa 31.12.2010 asti. Tämä lisäaika mahdollisti projektin suunnitellun ja tuloksellisen läpiviemisen.

Tekijät

Projekti suoritettiin sovittamalla yhteen Turun ammattikorkeakoulun insinööriopiskelijoiden opintoja, tutkimus- ja kehityshenkilöstön työtä sekä yritysten työtä. Tunneissa 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 kehittämisestä. 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) -ohjelmiansa 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 uudelleenkouluuspalveluita. 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 MERKKAUSTARPEET JA REUNAEHDOT PANOSTEESSA

Lähteenä Sakari Koivusen projektiraportti.

Panoste-projektin yhtenä tutkimuskohteena oli koneistettavien tuotteiden merkkaus. Tuotemerkinä on jäljitettävyyksivaatimusten kasvaessa yhä olennaisempi osa tuotantoa. Halusimme vastata tähän haasteeseen ja projektimme filosofian mukaisesti integroimme tuotemerkin suoraan osaksi valmistusprosessia.

Alustavan teknologiakartoituksen ja asiakasyritysten tarpeiden pohjalta merkkausteknologiaksi valittiin neulapistekirjoitin, jossa merkkauspää hakkaa pysyvän merkinnän kappaleeseen. Merkkaustekniikan etuja ovat pysyvä jälki myös erittäin vaativissa olosuhteissa, merkkauslaitteen soveltuvuus karskeihin konepajaolosuhteisiin ja hyvä soveltuvuus erilaisille pinnoille.

Merkattava kappale pidetään robotin tarttujassa merkkaustapahtuman ajan. Tämän etuna on, että kappale voidaan viedä lähes missä tahansa asennossa merkkauslaitteelle. Kappaleeseen, esimerkiksi kuutiomaisen kappaleen eri pinnoille, voidaan siten tehdä useita merkkauksia. Robotti paitsi käsittelee kappaletta, myös lähettää merkkauslaitteelle merkattavan tekstin. Koska merkattava teksti tulee robotilta, siihen voidaan liittää esimerkiksi mittaustulokseen perustuvia tietoja.

Kappaleeseen tehtäviä merkintöjä rajoittaa vain käytössä oleva tila ja aika. Yhteen kappaleeseen voidaan yhdistellä useita erityyppisiä merkintöjä eri paikkoihin ja erikokoisina. Alla joitakin esimerkkejä mahdollisuuksista:

- kappaleen sarjanumero
- kappaleen mallinumero
- tieto mittaustulosten perusteella
- päivämäärä
- yrityksen logo
- solua valvoneen henkilön nimikirjaimet
- valmistussolun tunnus
- asiakkaan tilausnumero
- raaka-aineen sulatuseränumero
- projektitunnus
- lyhyet ohjeet osan käytöstä.

3 YLEISTÄ MERKKAUKSESTA

Lähteenä Petri Helinin, Toni Millerin ja Jouni Sirolan projektiraportti.

Merkkaus on kappaleen valmistusprosessissa pieni, mutta tärkeä osa. Merkkausta käytetään mm. tuotteiden identifiointiin, tuotetietojen liittämiseen tuotteeseen, näkyvien logojen merkintään ja auttamaan varkauksien torjunnassa. Merkkaus takaa tuotteelle jäljitettävyyden, tunnistettavuuden ja laadunvarmistuksen. Sarjanumeron perusteella yrityksen tietokantaan voidaan tallentaa tietoja tuotteesta, kuten esimerkiksi valmistusajankohta tai muuta valmistukseen ja laatuun liittyvää tietoa. Merkkauksella voidaan myös ohjata tuotteen kulkua automaattisissa tuotantolaitoksissa tai seurata tuotteen kulkua asiakkaalle vaikkapa viivakoodien ja radiotaajuustunnisteiden (RFID) avulla.

3.1 MERKKAUSTEKNIIKAN VALINTA

Kuten merkkaustarpeita, myös merkkaustekniikoita on olemassa hyvin suuri määrä. Jokaisessa tekniikassa on vahvuutensa, ja siksi onkin välttämätöntä selvittää merkkauksen vaatimukset ja merkattavan kappaleen erityispiirteet ennen merkkauslaitteen hankintaa. Tärkeitä mietittäviä asioita ovat esimerkiksi merkkauslaitteen vaatima tila, hankinta- ja käyttökustannukset, huollon tarve, nopeus, merkkauksen pysyvyys ja merkinnän ulkonäkö.

Jos merkkauslaite integroidaan osaksi automaattista valmistussolua, pitää lisäksi ottaa huomioon rajapinta merkkauslaitteen ja solun muiden laitteiden välillä. On myös tarpeen selvittää, vaatiiko merkkkaus avustavia toimenpiteitä kuten kappaleiden puhdistus tai kuivaus ennen merkkausta.

4 MERKKAUSTEKNIIKAT

Lähteenä Petri Helinin, Toni Millerin ja Jouni Sirolan projektiraportti.

4.1 MEKAANINEN KAIVERRUS

Mekaaninen kaivertaminen on materiaalin poistoa mekaanisesti kappaleen pinnasta. Kaivertaminen muistuttaa menetelmänä jyrshintää. Liike, jolla kaiverrus syntyy, saadaan aikaan liikuttamalla joko merkattavaa kappaletta tai työkalua. Työkaluina käytetään akselinsa ympäri pyöriviä teriä. Kaivertamalla tehtävä merkkkaus voidaan tehdä työstökoneessa tai sen ulkopuolella sijaitsevalla kaiverruslaitteella. Jos merkkkaus tehdään erillisellä kaiverruslaitteella, voidaan kallista työstökoneetta käyttää tehokkaammin tuottavaan työhön, kappaleiden koneistamiseen. On kuitenkin tapauskohtaista, kannattaako merkkkausta varten hankkia omaa laitetta vai onko mielekkäämpää kaivertaa merkinnät koneistuksen yhteydessä samalla kiinnityksellä.

Kaivertamalla saadaan tarkka ja tarvittaessa syvä merkkkausjälki. Menetelmä soveltuu esimerkiksi kuvien, tekstin, ja sarjanumeroiden merkkkaukseen lähes kaikkiin materiaaleihin, kuten muoviin, lasiin, metalliin ja puuhun.

Kaiverrusterien kuluminen riippuu työstettävästä materiaalista ja työstöarvoista. Esimerkiksi teräksen kaivertamisessa käytetään tyypillisesti lastuamisnestettä.



KUVA 3. *Mekaaninen kaiverrus.*

4.2 NAARMUTTAMINEN (SCRIBING)

Naarmuttaminen muistuttaa menetelmänä mekaanista kaiverrusta, mutta työkalu ei pyöri oman akselinsa ympäri kuten kaivertamisessa. Terä painetaan kappaleen pintaan, jossa sitä liikutetaan merkkäusohjelman mukaan. Menetelmä on lähes äänetön ja puhdas. Naarmuttamista voidaan myös verrata neulapistekirjoitukseen, mutta toisin kuin neulapistemerkkauksessa, naarmutuksen jälki on jatkuvaa ja merkkäustapahtuma on lähes äänetön. Jälki on siistiä, tasaista ja kestävä.



KUVA 4. *Naarmuttaminen.*

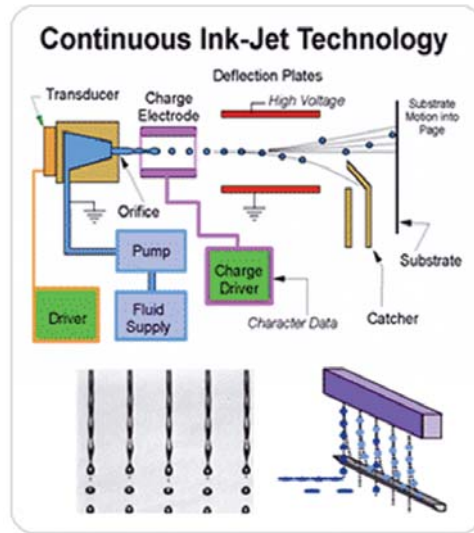
4.3 MUSTESUIHKU

Mustesuihkumenetelmiä on kahta eri tyyppiä: jatkuvan mustesuihkun tekniikka (CIJ, Continuous Ink Jet) ja pistetulostus (DOD, Drop On Demand). Menetelmissä mustetta suihkutetaan suoraan kappaleen pintaan. Mustesuihku on nopea ja käyttökustannuksiltaan melko edullinen menetelmä, mutta asettaa tiettyjä vaatimuksia merkattavan pinnan suhteen. Esimerkiksi rasvainen pinta pitää puhdistaa ennen merkkäusta.

4.3.1 Jatkuvan kierron mustesuihku

Jatkuvan kierron mustesuihku on yleinen merkintätapa teollisuudessa. Sillä saavutetaan hyvä merkintäjälki ja suuri nopeus. Merkintäpää ei koske merkattavaan kappaleeseen, vaan kappaleen ja merkintäpään välinen etäisyys voi vaihdella, tyyppillisesti välillä 5...15 mm. Näin ollen muodoltaan vaihtelevienkin pintojen merkkäminen onnistuu ongelmitta. Elintarviketeollisuuden päivämäärämerkinnät ovat yksi esimerkki mustesuihkulla toteutetusta merkinnästä. Valittavissa on hyvin suuri määrä erilaisia mustelaatuja merkattavan materiaalin, kuivumisnopeuden ja kemikaalikestävyuden mukaan. Huollon tarve on vähäinen ja ainakin osa markkinoilla olevista malleista puhdistaa suutinpään automaattisesti käytön yhteydessä.

Jatkuvan kierron mustesuihku pystyy jopa 62500 pisaran sekuntivauhtiin. Merkkkaus muodostetaan liikuttamalla kappaletta tai merkkkauspäätä vaakasuunnassa ja poikkeuttamalla pisaroiden lentorataa pystysuunnassa. Merkkkauslaite suihkuttaa mustepisarot yhdestä pisteestä varauselektrodin läpi, jonka jälkeen varattujen pisaroiden lentorataa poikkeutetaan korkeajännitelevyillä. Varaamattomat pisarat kierrätetään takaisin mustesäiliöön ja uudelleen käyttöön.

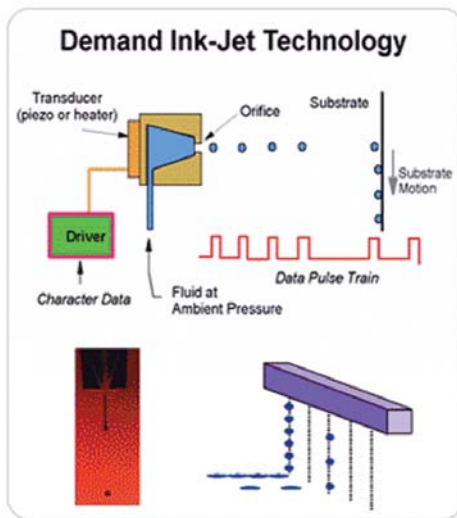


KUVA 5. Jatkuva mustesuihku.

4.3.2 Pistetulostus

Menetelmää on kahta eri tyyppiä, venttiilisuihku- ja korkearesoluutioinen piezotekniikka. Molemmissa tekniikoissa muste suihkutetaan kappaleen pintaan pisaroina, ilman pisaran ohjausta. Venttiilisuihkutekniikalla toimivassa laitteessa on venttiileitä, jotka ohjaavat suuttimia, joiden kautta muste johdetaan pintaan. Venttiilisuihkutekniikka on yleisesti käytössä laatikoiden ja pakettien suurten merkkien tulostamisessa. Sillä voidaan tulostaa yhteen tai kahteen riviin 7- tai 16-pisteisiä alfanumeerisia merkkejä.

Piezo-tekniikalla toimivassa laitteessa on sarja mustekammioita. Muste pumpataan mikrosuuttimien läpi ja pumppaus saadaan aikaan muuttamalla piezomateriaalin muotoa kohdistamalla jännite materiaaliin. Tulostusjälki on korkealaatuaista, mikä johtuu piezo-tekniikan tuottamasta pisaramäärästä sekunnissa, jopa 20 000 pisaraa sekunnissa.



KUVA 6. Pistetulostus.

4.4 TARRA

Tarramerkkkaus on yleisimmin käytetty merkkkausmenetelmä. Merkkkausjälki on selkeää ja valikoima on laaja. Tarrat valmistetaan yleisesti metallista, muovista, paperista tai niiden yhdistelmistä. Tarra-arkeissa voi olla valmiiksi painettuja värikköisiä logoja ja tekstiä. Tarran sisään voidaan myös sisällyttää RFID-tekniikkaa, jolla voidaan esimerkiksi helpottaa tuotteiden seuranta. Tarroja voidaan merkata lämmöllä, laserilla, stanssauksella ja useilla muilla menetelmillä. Lämmöllä merkattaessa voidaan käyttää lämpöherkkää tarraa tai mustenauhaa, joka lämmön vaikutuksesta luovuttaa musteen tarran pintaan.

Tarran kiinnitys kappaleeseen tapahtuu liimapinnan avulla. Tämä kuitenkin edellyttää, että kappaleen pinta on puhdas, jolloin liimapinta tarttuu kappaleeseen hyvin. Tarra voidaan myös kiinnittää erilliseen laattaan, joka kiinnitetään mekaanisesti kappaleeseen. Tarramerkkkaus voidaan automatisoida käyttämällä erilaisia applikaattoreita. Tarran kestävyys vaihtelee käytetystä materiaalista ja merkkkausmenetelmästä riippuen. Esimerkiksi paperitarra, joka on merkattu musteella, ei kestä hyvin kulutusta.



KUVA 7. *Tarramerkkaus.*

4.5 STANSSAUS

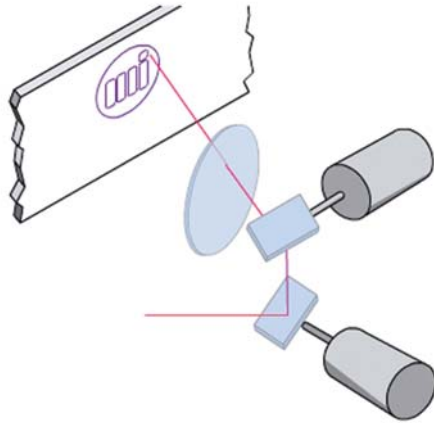
Stanssauksessa merkkäusjälki muodostetaan joko puristamalla tai lyömällä, jolloin tapahtuu mekaaninen muodonmuutos. Stanssaus on materiaalia poistamaton merkkäusmenetelmä, joka soveltuu parhaiten metallin merkkäukseen. Muita materiaalivaihtoehtoja ovat eri muovilaadut. Merkkäus tapahtuu suoraan kappaleeseen tai erilliselle kilvelle, joka liitetään kappaleeseen. Stanssausta voidaan tehdä sekä käsin että koneellisesti. Käsin stanssauksessa käytetään yleensä meistotyövälineitä tai pistepuikkoa. Automatisoidussa stanssauksessa käytetään yleisimmin neulapistekirjoitinta. Neulapistekirjoitin soveltuu parhaiten sarjanumeroiden ja 2D-datamatriisien merkkäukseen.



KUVA 8. *Neulapistekirjoitus, kirjaimet 2 mm korkeita.*

4.6 LASER

Laser on optinen laite, joka tuottaa koherentin valonsäteen. Fokusoitu lasersäde kohdistetaan galvanometrisesti ohjatuilla tarkkoilla peileillä linssien läpi kohteeseen (kuva 9). Suuri kuumuus kohdistetaan lasersäteen avulla pienelle alueelle, jolloin säde muuttaa merkittävän materiaalin pintaa tai poistaa siitä materiaalia. Lasermerkkäusprosesseja on viisi erilaista: päästövärjäys, materiaalin höyrystys, materiaalin poisto, värinmuutos ja vaahdotus. Lasermerkkäus soveltuu myös hauraille ja aroille materiaaleille.



KUVA 9. *Lasermerkkäusprosessi.*

Merkkäusjälki on kestävä. Se ei kulu normaalissa käytössä ja se katoaa vasta, kun itse esine kuluu. Laserilla pystytään merkkäamaan pieniä ja monimutkaisia kuvioita. Tarkkuuden lisäksi laserin avulla merkkäminen on joustavaa, sen mitatarkkuus suuri, eikä työkappaleissa juuri tapahdu muodonmuutoksia kappaleisiin kohdistuvan vähäisen lämmöntuonnin takia. Lasersäteellä voidaan myös merkitä lasin läpi sen takana olevaan alueeseen ja jopa lasin sisälle. Vektorimerkkäyksessä nopeus on tyypillisesti 20 merkkiä sekunnissa noin 2 mm korkeilla kirjaimilla.

Lasermerkkäuksen käyttökohteita ovat esimerkiksi numerosarjat, tekstit, kuvat, sarjanumerot, vaihtuvat sarjanumerot, merkkijonot, tarkat mitta-asteikot (mm. kaareville pinnoille), logot, viivakoodit, piirustuskuvat sekä yksilölliset ja tuotekohtaiset tunnisteet. Varsinaisen merkkäuslaitteen hankintahinta on merkittävästi korkeampi kuin esimerkiksi tarratulostimen, mutta sen käyttäminen on melko taloudellista. Menetelmä on kilpailukykyinen myös useiden muiden menetelmien kanssa. Lasermerkkäyksellä voidaan merkitä lähes mitä tahansa materiaalia, kuten puuta, lasia, timanttia, terästä tai muovia. Merkkäusetäisyys voi olla jopa yli 300 mm, joten lasertekniikalla voidaan tehdä merkintöjä myös vaikeasti luoksepäästäviin kappaleisiin.

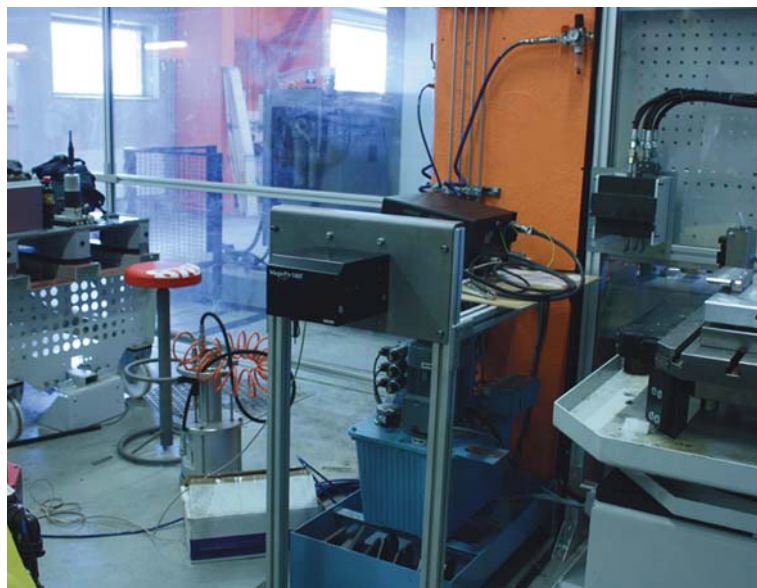
5 MERKKAUSLAITE PANOSTE-SOLUSSA

Lähteinä Petri Helinin, Toni Millerin ja Jouni Sirolan projektiraportti sekä Sakari Koivusen ja Sami Pölläsen projektiraportit.

Merkkauslaitteelle asetettiin tiettyjä vaatimuksia:

- Merkattava ala vähintään 100 x 50
- Pysyvä merkkaus (esimerkiksi työkoneen osa, jonka merkinnät pitää pystyä lukemaan 15 vuoden käytön jälkeen) → tekniikaksi neulapistekirjoitin.
- Merkattavat materiaalit: teräs, messinki, alumiini, titaani.
- ”Kelluva” merkkauspää, joustaa pystysuunnassa ja sopii epätasaisillekin pinnoille.
- Merkintätyypit
 - Tekstityyppinen data, tekstin koko ja suuntakulma ohjelmoitavissa, mahdollisuus kaarevaan tekstiin.
 - Grafiikka, mahdollisuus merkitä vapaasti ohjelmoitavia muotoja, esimerkiksi yrityksen logo (näitä ei tarvitse syöttää sarjaväylän kautta robotilta, vaan pohja voidaan tehdä tietokoneella).
- Rajapinta robotin kanssa
 - Robotti ohjaa merkkauslaitetta.
 - Merkkauspohja/ohjelma voidaan valita robotilta.
 - Merkkauspohjan muuttujat voidaan syöttää robotilta.
 - Käytettävissä olevat liitännät: RS232 ja ethernet.
 - Tiedonsiirtoprotokollasta pitää olla kattava dokumentointi.

Laitteistoksi Panoste-projektiin valikoitui Östling-yhtiön valmistama neulapistekirjoitin MagicPin 100T UMC eco-ohjainlaitteella. Laite oli aluksi pöytämallinen. Östlingin kalliimpiin neulapistekirjoittimiin on mahdollista saada kolmas synkronoitu akseli pyörähdyskappaleiden merkintään. Tässä tapauksessa sitä ei tarvittu, koska projektissa kappaletta liikutellaan robotilla. Laite asennettiin soluun itse alumiiniprofilista ja särmätyistä teräslevyistä rakennettuun telineeseen. Merkkauspää poistettiin alkuperäisestä telineestä ja asennettiin kiinteästi itse tehtyyn telineeseen (kuva 10). Merkkauspään asennuksessa on otettava huomioon robotin luoksepäästävyys ja riittävä korkeus.



KUVA 10. *Teline solussa.*

5.1 LAITETIEDOT

5.1.1 MagicPin 100T

- Päämitat 188 x 207 x 141 mm
- Merkkausalue 100 x 100 mm
- Paino 4,5 kg
- Ohjausyksikkö UMC eco
- Resoluutio 0,1 mm
- Neulat WE2 ja WP2
- Merkkausnopeus 5 kirjainta sekunnissa
- Paineilma 6 bar (6 mm liitin)
- Käyttöjännite/taajuus 110–230 V AC, 50/60 Hz

5.2 ÖSTLINGIN MERKKAUSLAITTEEN SOVITTAMINEN ROBOTIKÄYTTÖÖN

Merkkauslaitteelle voidaan tehdä valmiita merkkauspohjia, *maskeja*. Maskissa määritellään tekstien ja kuvien koko ja sijainti. Maski on siis eräänlainen pohjapiirustus tehtävästä merkinnästä. Yksinkertaisimmillaan maskissa on vain yksi tekstikenttä, jossa on kiinteästi määritelty teksti. Toisaalta maskissa voi olla hyvin paljon erilaisia tekstikenttiä ja lisäksi useita kuvia. Usein tehdään merkintöjä, joissa osa tiedoista pysyy kiinteästi samana, kun taas osa merkittävistä tekstistä vaihtuu merkkauksen välillä. Merkkauslaitteen ohjausyksikkö pystyy itsenäisesti merkkamaan laskureita ja päivämääriä, joten niiden osalta voidaan tukeutua merkkauslaitteen sisäänrakennettuihin toimintoihin. On kuitenkin usein tar-

peen saada ladattua merkittävä teksti myös robotin ohjelmasta (esimerkiksi tieto siitä, onko kappale läpäissyt tarkistusmittauksen). On myös tarpeen pystyä valitsemaan käytössä oleva maski robottiohjelmasta, koska eri kappaleille voidaan vaatia erilaiset merkinnät. Robottiohjelmasta käsin on siis voitava

- vaihtaa merkkauispohjaa
- syöttää pohjaan uusi teksti haluttuun kenttään
- käynnistää merkkauksen.

5.2.1 Sarjaliikenne

RS-232 on yleisin asynkroninen sarjamuotoinen liitäntä. Se on tarkoitettu pienille välimatkoille ja suurimmaksi toimintaetäisyydeksi on määritelty 15 metriä. Käytännössä se kuitenkin toimii merkittävästi pidemmilläkin etäisyyksillä. (Koskinen 2006, 30.)

RS-232-liitynnällä tieto siirretään merkki kerrallaan. Ennen varsinaista dataa lähetetään alkubitti, joka on aina 0. Tämän jälkeen tulevat databitit, joita on tyypillisesti viidestä kahdeksaan. Databittien jälkeen voidaan lähettää pariteettibitti, jolla tarkistetaan lähetetyn datan oikeellisuus. Tiedonsiirron päättävät loppubitit, joita voi olla 1 tai 2. Seuraavan merkin siirto voi alkaa välittömästi loppubitin jälkeen, mutta väylä voi jäädä myös joutotilaan odottamaan seuraavan merkin lähettämistä. Sekä loppu- että joutobitin arvo on looginen 1. (Haltsonen & Rautanen 2008, 153–154.)

Yksinkertaisimmillaan RS-232 -väylä rakentuu kolmesta johtimesta: signaalimaan, johon viestitasoja verrataan; vastaanottava johdin ja lähetävä johdin. Vastaanottavasta johtimesta käytetään RS-232 -määrittelyissä merkintää RxD ja lähetävästä johtimesta TxD. Kahden laitteen välisessä kommunikoinnissa vastaanottava ja lähetävä johdin kytketään ristiin: laitteen 1 lähetävä johdin vietään laitteen 2 vastaanottavalle johtimelle ja päinvastoin. Johtoa, jossa laitteiden välille on kytketty signaalimaan lisäksi vain ristikkäiset RxD ja TxD, kutsutaan nollamodeemikaapeliksi. (Koskinen 2006, 30, 264–267.)

Yksinkertaisen kolmijohtimisen tiedonsiirron lisäksi RS-232 -määrittelyissä on varattu signaaleja tiedonsiirron ohjausta varten. DSR (Data Set Ready) ja DTR (Data Terminal Ready) -signaalit kertovat, että kumpikin väylän laitteista on toimintavalmiina. CTS (Clear To Send) ja RTS (Request To Send) ovat niin sanottuja vuonohjaussignaaleja. RTS aktivoidaan, kun laite on valmis lähettämään tietoa. Tämän vastaparina on CTS, joka on lähetyslupa. Jos vastaanottopäässä on ruuhkaa ja tiedonsiirtopuskuri tulee täyteen, asetetaan CTS nollatilaan. Tämä kertoo lähettävälle laitteelle, että tietoa ei voida nyt ottaa vastaan. Kun ruuhka vastaanottopäässä on purettu, asetetaan CTS taas 1-tilaan ja tiedonsiirtoa voidaan jatkaa. Nollamodeemikaapelissa vuonohjaus on ohitettu kytkemällä kummankin päässä liittimissä ohjaussignaalit yhteen siten, että laite luulee vastapuolen olevan aina valmiina vastaanottamaan tietoa. (Koskinen 2006, 30, 265–266)

5.2.2 Tiedonsiirtoprotokollan kuvaus

Östlingin merkkuslaitteiden käyttämä tiedonsiirtoprotokolla on kuvattu käyttöohjeessa. Sarjaliikenteen tiedonsiirtoparametreinä on käytettävä nopeutta 9600 bps, 8 databittiä, ei pariteettibittiä ja 1 stop-bitti. Laitetta voi ohjata sarjavyölyn kautta ainoastaan silloin, kun laite on valmiina merkkamaan (*ready to mark* -tila).

Tiedonsiirto robotin ja merkkuslaitteen välillä on dialogi, jossa robotti lähettää käskyn merkkuslaitteelle ja tämä lähettää takaisin kuittauksen. Käskyissä on ASCII-merkistön tulostumattomia ohjausmerkkejä kuvaamassa käskyn alkua ja loppua. Näihin tulostumattomiin merkkeihin viitataan tässä julkaisussa ASCII-koodiston numeroilla kymmenjärjestelmässä. Ohjausmerkit erotetaan leipätekstistä tasalevyisellä fontilla, esimerkiksi 21.

Merkkauksen aloittaminen

Maskin vaihtaminen

Robotti	Merkkuslaite
01 ML 26 <ladattava maski> 23 04	
	Kommunikointi onnistui virheettömästi: 01 ML 06 <ladattava maski> 23 04
	TAI Virhe, maskia ei löydy: 01 05 21 <ladattava maski> 23 04
	TAI Virhe, vastaanotettu käsky on virheellinen: 01 01 21 <ladattava maski> 23 04

Tekstin lataaminen

Robotti	Merkkuslaite
01 TD 26 <tekstikentän numero kahdella merkillä, esim. 01> 23 04	
	Viesti otettu vastaan ja merkkuslaite on valmiina: 01 TD 06 < tekstikentän numero kahdella merkillä, esim. 01> 23 04
	TAI Viesti otettu vastaan mutta merkkuslaite ei ole valmiina: 01 ER 21 < tekstikentän numero kahdella merkillä, esim. 01> 23 04
02 <ladattava teksti, enintään 50 merkkiä> 04	
	02 <vastaanotettu teksti, enintään 50 merkkiä> 04

Merkkauksen käynnistäminen

Robotti	Merkkauslaite
01 PS 26 04	
	Viesti otettu vastaan, aloitetaan merkkkaus: 01 PS 06 04
	Merkkaus valmis: 01 PB 06 80 23 04

5.2.3 Rajapinnan toteutus

Rajapinta merkkauslaitteen ja robotin välillä toteuttaa seuraavat asiat: merkkauuspohjan valinta, tekstikentän sisällön muuttaminen ja merkkauksen aloitus. Merkattavan tekstin pituutta rajoittaa ohjelmakutsussa välitettävän parametrin maksimipituus, 16 merkkiä. Tämä rajoitus tulee robotin ohjausjärjestelmästä. Merkkauslaitteen ohjausjärjestelmä taas rajoittaa maskin nimen pituutta. Tiedonsiirtoprotokollan määrittelyissä maskin nimelle on varattu kahdeksan merkkiä. Maskin nimen maksimipituus on siis rajattu kahdeksaan merkkiin. Jos nimi on lyhyempi kuin kahdeksan merkkiä, pitää maskin nimen ja tiedostotarkenteen MSK:n väliin jättää tarvittava määrä tyhjiä välimerkkejä.

5.3 POHJAN TEKEMINEN KÄYTÄNNÖSSÄ

Merkkauspohja voidaan tehdä joko tietokoneella PinWare-ohjelmalla tai vaihtoehtoisesti suoraan merkkauslaitteen omasta käyttöliittymästä. Merkattavat kuvat pitää olla HPGL-vektorimuodossa. HPGL-muotoisia kuvia voi tehdä esimerkiksi avoimen lähdekoodin Inkscape-ohjelmalla, joka on vapaasti saatavissa useimpiin käyttöjärjestelmiin osoitteesta <http://www.inkscape.org/>.

5.4 INTERFACEN KÄYTTÖOHJE

5.4.1 Kohdatut ongelmat ja rajoitukset

Tiedonsiirtoprotokollan määrittelyissä on virhe maskin vaihtamisen osalta. Onnistuneen vaihdon jälkeen merkkauslaite lähettää viestin, jonka neljä ensimmäistä tavua määrittelyjen mukaan ovat [start of header]ML[acknowledge]. Merkkauslaitteen lähettämän viestin alkuosa on kuitenkin [start of header]ML[substitute].

Kun ladataan merkkaukspohjaan tekstiä, pitää odottaa jonkin aikaa ennen uuden tekstin lataamista. Kahden sekunnin viive riittää.

Hyvin nopeat merkinnät aiheuttavat ongelmia. Jos merkataan esimerkiksi yksi piste tai pilkku, merkkauslaitteen ohjausjärjestelmä ei lähetä ”ready to mark”

-kuittausta merkkauksen päätyttyä. Tämä aiheuttaa ylemmän tason ohjauksen kanssa ongelmia, koska merkkauslaitteen kanssa kommunikoiva robotti-ohjelma jää odottamaan kuittausta. Jos on tarvetta tehdä erittäin lyhyitä merkkauksia, voidaan tämä ongelma kiertää lisäämällä maskiin viive. Viive voidaan toteuttaa position-kentällä, joka ajaa merkkaukseen haluttuun sijaintiin ja pysyy paikollaan halutun ajan.

5.4.2 Käytännön vinkkejä robotisoituun merkkaukseen

Ensimmäinen merkkkaus tauon jälkeen saattaa käynnistyä tahmaisesti. Merkkauslaitteelle kannattaa suorittaa pieni ”lämmittelyajo” ennen varsinaista merkkauksia, jotta varmistetaan paineilmaneuhan toiminta varsinaisen merkkauksen alussa. On mielekästä ohjelmoida robotti ajamaan työvuoron alussa yksi ylimääräinen merkkkaus.

Hyvän merkkausjäljen saavuttamiseksi on tärkeää, että merkkausneulan ja työkappaleen välinen etäisyys on sopiva. Käytännössä tähän todettiin hyvin toimiviksi tavoiksi sekä mellalevyn että robotin paikkakorjaimen käyttö. Toinen tapa on opettaa merkkauksen paikkapiste niin, että merkattava pinta juuri ja juuri koskee merkkausneulaa. Kun pisteeseen lisätään robotin ohjelmassa paikkatiedon korjain, voidaan helposti numeerisesti säätää etäisyys halutuksi. Tämä on kätevä tapa erityisesti silloin, kun testataan merkkausparametreja ja halutaan muuttaa merkkausetäisyyttä toistuvasti.

Merkattava pinta pitää olla samansuuntainen merkkauslaitteen liiketason kanssa. Koska merkkauslaitteen kotelo on riittävällä tarkkuudella samansuuntainen merkkautason kanssa, voi merkattavan kappaleen asennon hakea kohdalleen kotelon alareunaa vasten.

6 KÄYTÄNNÖN MERKKAUSTESTIT

Lähteenä Petri Helinin, Toni Millerin ja Jouni Sirolan projektiraportti.

6.1 YLEISTÄ

Osa testauksesta suoritettiin merkkauslaitteen ollessa vielä alkuperäisessä pöytätelineessä ja osa laitteen ollessa Panoste-robotisolussa. Testauksia tehtiin eri materiaalia oleville levyaihiolle, joilla tutkittiin merkkauksen nopeuden, etäisyyden ja käyttöpaineen vaikutusta merkkauksen jälkeen ja laatuun. Testaus toteutettiin merkkaamalla aina käytetty etäisyys, paine ja nopeus. Esimerkiksi etäisyydellä 2,5 mm, paineen ollessa 6 bar ja nopeuden ollessa 15 mm/s merkintä oli p6 h2,5 v15. Näin on helppo jälkeinpäin analysoida eri muuttujien vaikutusta merkkauksen jälkeen sekä tehdä valintoja suunniteltaessa merkkauksia eri materiaalia oleviin kappaleisiin. Lisäksi testattiin tekstien, kuvien, 2D-datamatriisien, laskurien ja päivämäärän merkkaamista.

6.2 TESTIPARAMETRIT

- | | |
|----------------------------------|--------------|
| • Kirjainkorkeus | 2...3 mm |
| • Kirjainleveys | 1...2,5 mm |
| • Kirjainväli | 0,5 mm |
| • Käyttöpaineet | 4...6 bar |
| • Merkkaukseen etäisyys pinnasta | 2...4 mm |
| • Merkkausnopeudet | 5...100 mm/s |

6.3 ERI MUUTTUIJEN VAIKUTUS MERKKAUKSEEN

Merkkausneulan iskutaajuus on vakio, 200 Hz, joten merkkausnopeus vaikuttaa jäljen syvyyteen ja pisteiden määrään yhdessä merkissä. Kun merkataan hitailla nopeuksilla, jälkeä voidaan verrata kaiverrukseen/naarmuttamiseen. Merkattaessa suurilla nopeuksilla pisteiden tiheyden vähentyessä merkkauksen laatu ja luettavuus puolestaan heikentyy. Pisteiden väli kasvaa niin suureksi, että merkkejä ei välttämättä tunnista. Yleisesti hyväksi merkkausnopeudeksi havaittiin 10...30 mm/s.

Neulan etäisyys materiaalin pinnasta vaikuttaa jäljen syvyyteen. Neulan maksimi-iskuksi ilmoitetaan 4 mm, mutta aivan näin etäältä ei kannata merkata merkkausten epävarmuuden vuoksi. Jos kappale esimerkiksi on vinossa tai neula ei iske pohjaan asti, merkeistä voi jäädä osa pois. Testausten perusteella hyväksi havaitut etäisyydet ovat 2,5...3,5 mm.

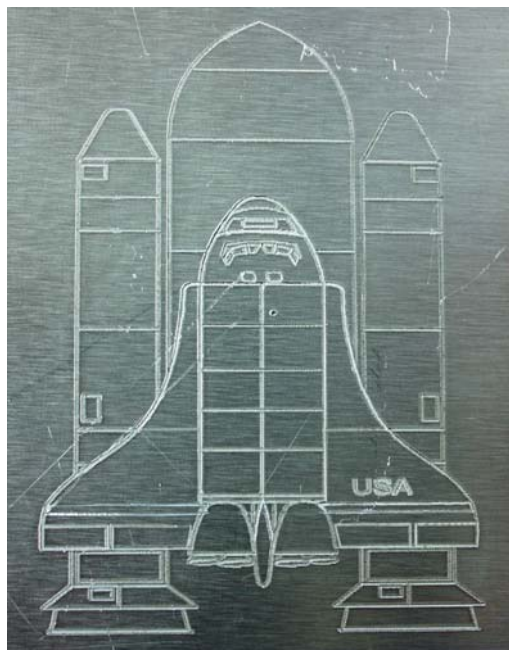
Paineen vaikutus merkkaukseen on lähes sama kuin neulan etäisyydellä, eli suuremmalla paineella tulee syvempi jälki. Kun käytetään suurempaa painetta, voidaan merkata suuremmilla nopeuksilla ja etäisyyksillä saavuttaen silti hyvä jälki. Testatessa matalilla paineilla havaittiin epävarmuutta neulan toiminnassa, joten paine kannattaa pitää aina sallitussa maksimipaineessa (6 bar).

6.4 TESTITULOKSET ERI MATERIAALEILLA

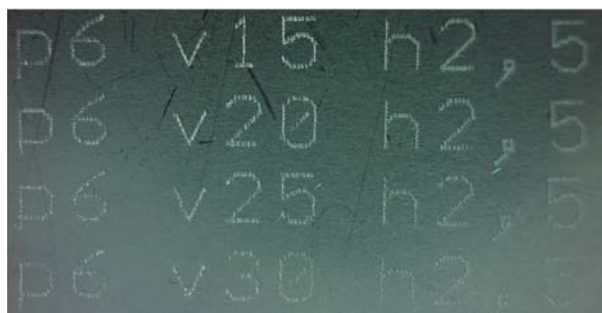
Materiaalien ominaisuudet vaikuttavat merkkauksijäljen laatuun, käytettäviin etäisyyksiin ja merkkauksnopeuksiin. On tapauskohtaista, tavoitellaanko kevyttä vai syvää merkkauksijälkeä. Pehmeämpiin materiaaleihin on helpompi saada syvää jälkeä, mutta se ei välttämättä ole selvästi luettavissa. Testien perusteella kovat materiaalit ovat paremmin merkattavissa. Jäljestä tulee selkeämpi, kun isku ei nostata metallin pintaan purseita.



KUVA 11. *Alumiini, kirjainkorkeus 3 mm.*



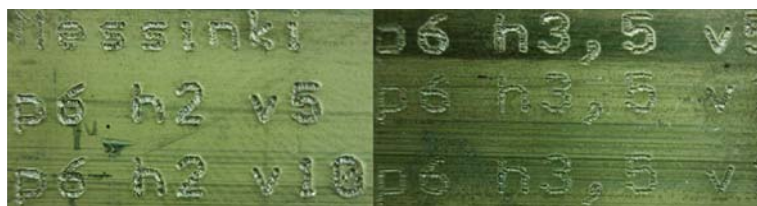
KUVA 12. *Alumiini, esimerkkikuva.*



KUVA 13. *Ruostumaton teräs, kirjainkorkeus 3 mm.*



KUVA 14. *Teräs, kirjainkorkeus 3 mm.*



KUVA 15. Messinki, kirjainkorkeus 2 mm.



KUVA 16. Titaani, kirjainkorkeus 2,5 mm.

7 CASE MERKKAUS

Lähteenä Sakari Koivusen projektiraportti.

Testin tarkoituksena oli tutkia merkkaamista erikoiskovaan halkaisijaltaan n. 20 mm olevaan koneistettuun pyörähdyskappaleeseen. Tehtävänä oli merkitä kappaleeseen 15 merkkiä pitkä piirustusnumero. Merkkaus toteutettiin robotin ja merkkauslaitteen kanssa.

Merkkauksen vaatimukset:

- merkin korkeus enintään 2 mm
- merkkausjäljen syvyys kappaleen pinnasta enimmillään 0,4 mm
- merkkaus ei saa nostattaa tuntuva pursetta kappaleen pintaan
- lopputuloksessa kirjaimia, numeroita sekä erikoismerkkejä
- piirustusnumero 15 merkkiä.

Materiaalina toimi ruostumaton teräs S145 (seosaineiden pitoisuudet Cr 14,7 %, Ni 5,80 %, Mo 2,00 %, Cu 2,00 % ja Nb 0,40 %).

Ominaisuuksia:

- R0,2-raja 1030 N/mm
- murtolujuus 1465 N/mm
- kovuus 429 HB
- iskusitkeys 20 J

Testissä käytetyt arvot:

- merkin korkeus: 2,0 mm
- merkin leveys: 1,0 mm
- kirjainväli: 0,5 mm
- 6 bar
- merkkäuspään etäisyys kappaleesta \approx 3.5mm
- merkkäusnopeus: 15 mm/s.

Merkkaamisesta teki hankalaa kappaleen pieni halkaisija ja merkkien määrä kappaleen kokoon nähden. Merkkien määrä oli 15 ja jokaisen merkin välissä robotti käänsi työkalua 14 astetta sekä välilyönnissä 24 astetta. Yhteensä kääntö, välilyönti mukaan lukien, oli 220 astetta. Pitkä numerosarja, kääntösäde ja kappaleen pieni halkaisija aiheuttivat ongelmia robotin kanssa, sillä robotti jouduttiin viemään asentoihin, joissa se ei ole tarkimmillaan.

Merkkaus aloitettiin melkein robotin ääri-asennosta. Ennen merkkausta robotille tehtiin uusi työkalupiste, joka määritettiin merkattavan kappaleen keskipisteseen. Jos robotti olisi pystynyt kääntämään kappaletta tarkemmin nivelten ääri-asennoissa, olisi voitu ohjelmoida vain aloituspiste ja kääntää kappaletta inkrementaalisesti tietty astemäärä. Nyt jouduttiin ohjelmoimaan ensimmäisille neljälle merkille pisteet erikseen ja loput kääntämällä inkrementaalisesti.

Merkkauslaitteen ja robotin välisen interfacen kanssa oli ongelmia. Ohjelma jummutui aina joidenkin merkkien merkkauksen jälkeen. Asiaa tutkittiin liittämällä tietokone merkkauslaitteeseen. Näin päästiin tutkimaan sarjaportin liikennettä ja huomattiin, että merkkauslaite ei vastaa/kuittaa oikein tietyillä numeroilla ja merkeillä kuten 1 ja -. Ryhmä päätteli ongelman johtuvan näiden merkkien merkkauksen nopeudesta. Ongelma saatiin alustavasti korjattua lisäämällä tällaisten merkkien merkkauksen kestoa lisäämällä välilyöntejä merkin perään.

Huomioitavaa:

- Hyvän merkkausjäljen saavuttamiseksi merkkauslaite vaatii muuttaman testikappaleen merkkaamista eli ”lämmittelyajoa”.
- Robotti ei ole nivelten ääri-asennoissa tarkimmillaan, vaan sen paikoitus voi silloin hieman muuttua.
- Merkkaukset saatiin toteutettua vaatimusten edellyttävällä tavalla.



KUVA 17. Case kappaleen merkkaus. (Kuva: Sakari Koivunen)

LÄHTEET

JETEC Corporation. http://jetec.com/ink_jet.html. Jatkuvan tulostuksen mustesuihku/Pistetulostus.

Kujanpää V.; Salminen A. & Vihinen J. 2005. Lasertyöstö. Tampere: Tammer-Paino Oy.

Markem Imaje. <http://www.markem-imaje.com/international/fi/fi-fi/home/technologies/index.cfm>, tulostustekniikat, Laser/Jatkuvan tulostuksen mustesuihku/Pistetulostus.

Paakki Pasi. 2003. Kilven merkkauksen kehittäminen. Insinööriyö. Turun Ammattikorkeakoulu.

PRYORMARKINGTECHNOLOGY. <http://www.pryormarking.com/marketing-products.html>. Marking Products.

Suomen Teollisuusmerkintä Oy. <http://teolmerk.fi/>. Laser/mustesuihku/Stanssaus.

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

Teknolוגiateollisuus ry, www.teknolוגiateollisuus.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.

ÖSTLING. <http://www.etchmark.co.uk/marketing-tech/scribing.htm>. Naarmutus.

Julkaisemattomat lähteet:

Helin Petri, Miller Toni & Sirola Jouni, projektiraportti.

Koivunen Sakari, projektiraportti.

Pöllänen Sami, projektiraportti.