
SÄRMÄYKSEN AUTOMATISOINTI



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Automaatiotekniikan koulutusohjelma

Valkeakoski, kevät 2017

Tero Ranta

Tero Ranta



VALKEAKOSKI
Automaatiotekniikan koulutusohjelma

Tekijä	Tero Ranta	Vuosi 2017
Työn nimi	Särmäyksen automatisointi	

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön tavoitteena oli saada tutkittua tietoa särmäyksen automaation mahdollisuuksista ja verrata niitä manuaalisärmäykseen. Toimeksiantajana oli Amada-koneiden maahantuoja Ama-Prom Finland Oy. Opinnäytetyössä esiteltiin eri mahdollisuudet särmäykseen ja niiden hyödyt Ama-Prom Finland Oy:n asiakkaille.

Särmäyksen automaatiomahdollisuuksien lisääntyessä oli tärkeää tutkia eri vaihtoehtoja ja saada ajantasaista tietoa konemyynnin tueksi. Työssä mitattiin koneiden asetusajoja ja kappaleiden läpimenoaikoja ja verrattiin niitä manuaalisärmäykseen.

Etäohjelmointi Dr. Abe Bend -ohjelmistolla muodosti suurimman osan automatisoinnin hyödystä. Ohjelmointi säästi huomattavasti kallista koneaikaa, kun särmäyspuristin oli tuotantokäytössä ohjelmoinnin ajan. Asetusaikaa pienensivät työkaluvaihtajalla varustetut koneet. Pienillä sarjoilla on paljon työkalun vaihtoja, jotka kone tekee nopeammin.

Robotisoinnin suurin hyöty muodostui etäohjelmoinnista sekä kappaleen käsiteltävyydestä. Suurten kappaleiden käsittely on hidasta ja vaikeaa ja vaatii yleensä kaksi työntekijää.

Jokaisesta automaatiovaihtoehdosta löytyi etuja manuaalisärmäykseen verrattuna, mutta tiettyä tapaa tai sarjakokoa ei voi sanoa. Asiakkaan valinnaksi jää, mikä ratkaisu on yritykselle sopivin.

Avainsanat Automaatio, etäohjelmointi, robotiikka, särmäys.

Sivut 35 s. + liitteet 12 s.

Valkeakoski
Degree Programme in Automation Engineering

Author	Tero Ranta	Year 2017
Subject of Bachelor's thesis	Bending automation	

ABSTRACT

The subject of this thesis was to examine different possibilities of bending automation and to compare these to manual bending. This thesis was commissioned by Ama-Prom Finland; the importer of Amada machines in Finland. This thesis introduces the possibilities of automation and its benefits to the customers of Ama-Prom Finland Oy.

Since the potential of bending automation has increased, it has become important to explore different options and to get up-to-date information to support machine sales. In this project setup times and part lead times were measured and compared to manual bending.

Offline programming with the Dr. Abe Bend software has been a major benefit in automatization. Programming has saved a considerable amount of machine time as the press brake has been in production use during the programming phase. The setup time has been reduced on machines equipped with Automatic Tooling Changers. There are many tool changes involved with small batches and the machine is faster than manual use.

The biggest benefit of robotization has been in offline programming and part handling. Working with large parts is slow and laborious and it often requires two employees.

All the automation options examined had benefits compared to manual bending but a specific automatization option or batch size could not be found in this project. Thus, it is up to the customers to choose which option is the best one for their company.

Keywords Automation, bending, offline programming, robotics.

Pages 35 p. + appendices 12 p.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	TOIMEKSIANTAJAN ESITTELY.....	2
3	SÄRMÄYKSEN PERUSTEET.....	2
3.1	Ilmavälitaivutus.....	3
3.2	Pohjataivutus.....	4
3.3	Pohjaiskutaivutus.....	5
3.4	Litistys.....	6
3.5	Särmäyspuristin.....	7
3.6	Särmäystyökalut.....	10
4	SÄRMÄYKSEN TEHOSTAMINEN.....	11
4.1	OEE, Overall Equipment Effectiveness.....	12
4.2	Asetusaika.....	12
4.3	Kapasiteetti ja läpäisy aika.....	13
5	OSITTAINEN AUTOMATISOINTI.....	14
5.1	Offline-ohjelmointi.....	14
5.2	Automaattinen työkaluvaihtaja ATC.....	17
5.3	Robotisoitu särmäys.....	19
6	TÄYSAUTOMAATTINEN SÄRMÄYSROBOTTISOLU.....	20
6.1	Solun ohjelmointi.....	20
6.2	EG 6013 AR -särmäysrobottisolu.....	23
6.2.1	Särmäyspuristin EG6013.....	23
6.2.2	Särmäysrobotti EG AR.....	24
6.3	HG ARs -särmäysrobottisolu.....	26
6.3.1	Särmäyspuristin HG1003.....	26
6.3.2	Särmäysrobotti HGRobot020.....	27
6.4	HG 1303 Rm -särmäysrobottisolu.....	29
6.4.1	Särmäyspuristin HG 1303.....	29
6.4.2	Särmäysrobotti HGRobot080.....	30
7	VERTAILUT.....	31
7.1	Offline-ohjelmoinnin vertailu.....	31
7.2	Työkaluvaihtajan vertailu.....	31
7.3	EG 6013 AR -solun vertailu.....	32
7.4	HG 1003 ARs -solun vertailu.....	32
7.5	HG 1303 Rm -solun vertailu.....	32
8	YHTEENVETO.....	33
	LÄHTEET.....	34

Liite 2	HG 1003 ATC -koneen layout kuva
Liite 3	Motoman MH-50 -robotin layout kuva
Liite 4	EG 6013 AR -särmäysrobotisolun layout kuva
Liite 5	HG 1003 ARs -särmäysrobotisolun layout kuva
Liite 6	HG 1303 Rm - särmäysrobotisolun layout kuva
Liite 7	Vertailu 1. HFE 3i etäohjelmointi.
Liite 8	Vertailu 2. HFE 3i etäohjelmointi.
Liite 9	Vertailu 3. HD ATC
Liite 10	Vertailu 4. EG 6013 AR
Liite 11	Vertailu 5. HG 1003 ARs
Liite 12	Vertailu 6. HG 1303 Rm

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä käsitellään särmäyksen automatisoinnin eri mahdollisuuksia ja hyötyjä Ama-Prom Finland Oy:n asiakkaille. Tavoitteena oli saada tutkittua materiaalia automaatiosta konemyynnin tueksi ja tiedoksi asiakkaille.

Opinnäytetyössä käsitellään lyhyesti särmäyksen perusteita ja särmäykseen liittyviä koneita sekä tarkemmin automaatioon liittyviä mahdollisuuksia ja automatisointitapoja. Asiakasyrityksissä tarvitaan yhtä leikkaavaa konetta kohti useampi särmäyspuristin ja näin ollen useampi koneenkäyttäjä. Työssä esitellään asiakasyrityksissä tehtyjä aikamittauksia ja päämiehen ja yhteistyökumppaneiden tuloksia ja verrataan niitä manuaaliseen särmäystyöhön.

Tekniikan kehittyessä särmäyksen automaatiomahdollisuudet ovat myös lisääntyneet huomattavasti. Työn kuormittavuuteen ja ergonomiaan kiinnitetään huomiota entistä enemmän ja tuotantoa halutaan tehdä myös työaikojen ulkopuolella.

Särmäyksen läpimenoaikojen pienentäminen on monessa asiakasyrityksessä haasteellista ja automaation avulla toimeksiantaja pyrkii tähän vastaamaan. Opinnäytetyö rajattiin käsittelemään tutkimushetkellä tuotannossa olevia automaatioratkaisuja. Taivutusautomaatteja ei tutkittu erilaisen tekniikan sekä rajallisen tuoteprofiilin vuoksi.

2 TOIMEKSIANTAJAN ESITTELY

Ama-Prom Finland Oy on Salossa Varsinais-Suomessa toimiva Amada-merkkisten levytyökoneiden maahantuojaja. Yritys on perustettu vuonna 2007, jota ennen vuodesta 1993 toimintaa hoiti nykyinen emoyhtiö Ama-Prom Oy. Emoyhtiön perusti joukko entisen Teollisuustekniikka Oy:n työntekijöitä ja he jatkoivat Amada-koneiden maahantuontia Suomessa. Yrityksen myynti- ja huolto-organisaatioihin kuuluu 14 henkeä, jonka lisäksi huollon alihankintasopimukset on tehty kolmen yrityksen kanssa.

Japanilainen Amada on vuonna 1946 perustettu maailman johtava levytyökoneiden valmistaja. Päätuotteita ovat särmäyspuristimet, levytyökeskukset ja laserleikkauskoneet. Amadan valikoimaan kuuluu myös vanne-sahat ja kuitulaserhitsausrobotit. (Ama-Prom Finland Oy, 2016.)

Amada -merkkisiä koneita on Suomessa noin 3000 kappaletta, joista särmäyspuristimia 2000. Amada on selkeä markkinajohtaja särmäyspuristimissa Suomessa, 50 % koneista on Amada-merkkisiä. Levytyökeskuksia on noin 500 ja laserleikkauskoneita noin 100 kappaletta. Näiden lisäksi Amadan sahoja on noin 500.

3 SÄRMÄYKSEN PERUSTEET

Särmäys on muotoon leikatun ohutlevyaihion taivuttamista särmäyspuristimella. Särmäyspuristimen ylä- ja alatyökalujen välissä aihio taivutetaan haluttuun kulmaan (Kuva 1.). Kappaleiden särmäminen on yleensä tehokkaampi menetelmä kuin osien hitsaaminen tai liittäminen muilla keinoin. Monimutkaisiakin kappaleita voidaan valmistaa särmäämällä pelkän yhden taivutuksen sijaan.

Särmätä voidaan periaatteessa kaikkia ainevahvuuksia. Ainoa rajoittava tekijä on koneen teho. Särmäyspuristimia käytetään paljon etenkin nopeuden, helppokäyttöisyyden ja suuren taivutustehon takia. Särmäyksessä tarvitaan paljon voimaa, jotta materiaalin myötöraja ylittyy. Näin taivutettu materiaali jää muotoon, eikä palaudu entiseen tilaan. (Lepola & Makkonen 2005.)



Kuva 1. Kappale ylä- ja alatyökalujen välissä. (Amada UK LTD. 2014.)

3.1 Ilmavälitaivutus

Yleisin särmäysmenetelmä on ilmavälitaivutus, jossa särmättävä kappale ei osu alatyökalun pohjaan (Kuva 2.). Ilmavälitaivutuksen etuna on pienempi voimantarve ja vähemmän työkalujen kulumista. Haittoina puolestaan on suurempi takaisinjousto ja pienempi tarkkuus. (Amada Austria GMBH 2016.)



Kuva 2. Ilmavälitaivutus (Amada America Inc. 2016.)

Ilmavälitaivutuksella voidaan pienellä työkalumäärällä valmistaa joustavasti erilaisia kappaleita. Työkalujen kulmat ovat pieniä, jolloin eri taivutuskulmia voidaan taivuttaa samoilla työkaluilla. Taivutuskulmaa muutetaan säätämällä koneen iskunpituutta. (Hyyryläinen 2004, 2-3.)

3.2 Pohjataivutus

Pohjataivutuksessa käytetään suurempia työkalun kulmia ja enemmän voimaa. Taivutuskulma on tarkempi ja takaisinjousto on vähemmän. Haittapuolena on suurempi työkalujen kuluminen ja työkalujen asetustyö: eriasteisille kulmille tarvitaan erilaisia työkaluja. (Kuva 3.)

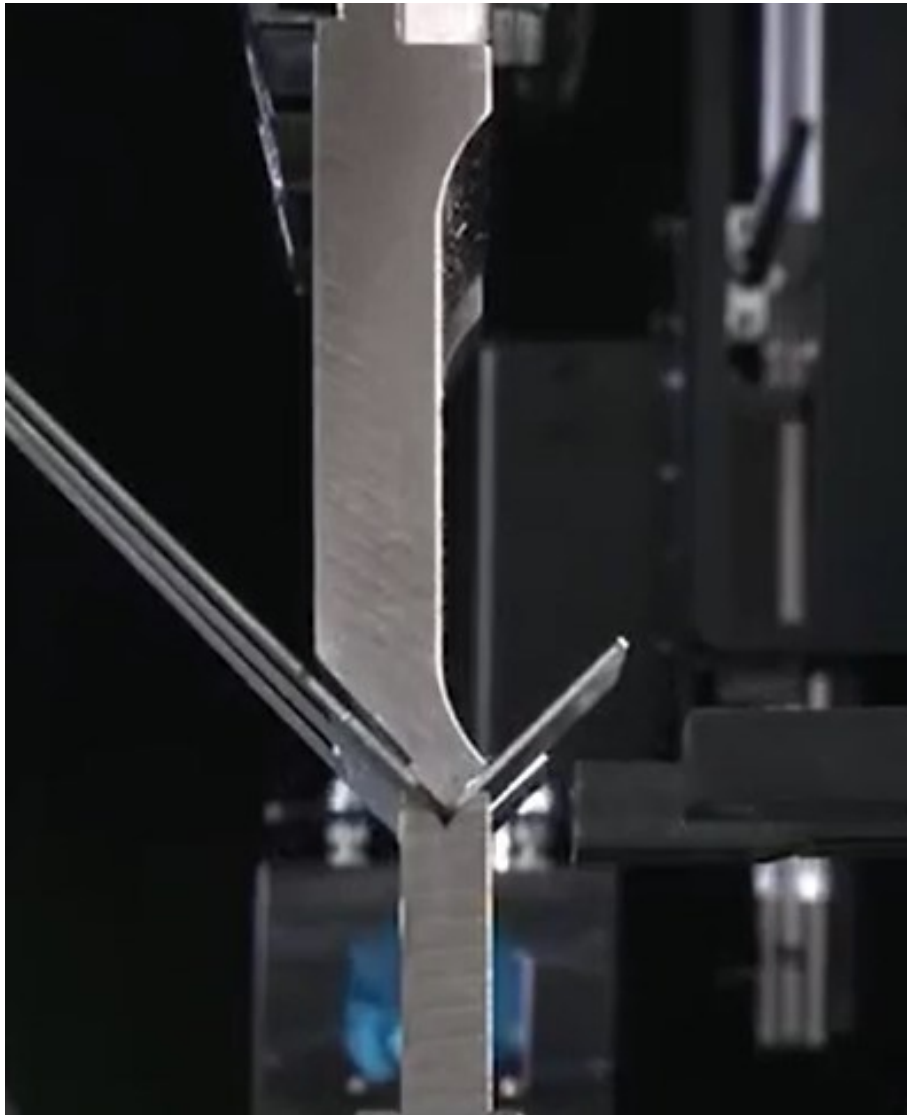


Kuva 3. Pohjaitaivutus (Amada Austria GMBH 2016.)

3.3 Pohjaiskutaivutus

Tarkin mahdollinen taivutus saadaan pohjaiskutaivutuksella. Palkin iskunpituus säädetään niin suureksi, että aihio puristuu tarkasti ylä- ja alatyökalojen väliin. Kuvassa 4. nähdään, miten taivutuskulmaksi muodostuu työkalujen kulma. Kun käytetään riittävän suurta puristusvoimaa, aihion muodonmuutos on kokonaan plastinen, eikä takaisinjousto ole. Liian pienellä voimalla puristettaessa muodonmuutos on sekä plastista että elastista, josta aiheutuu takaisinjousto. (Hyyryläinen 2004, 3-4.)

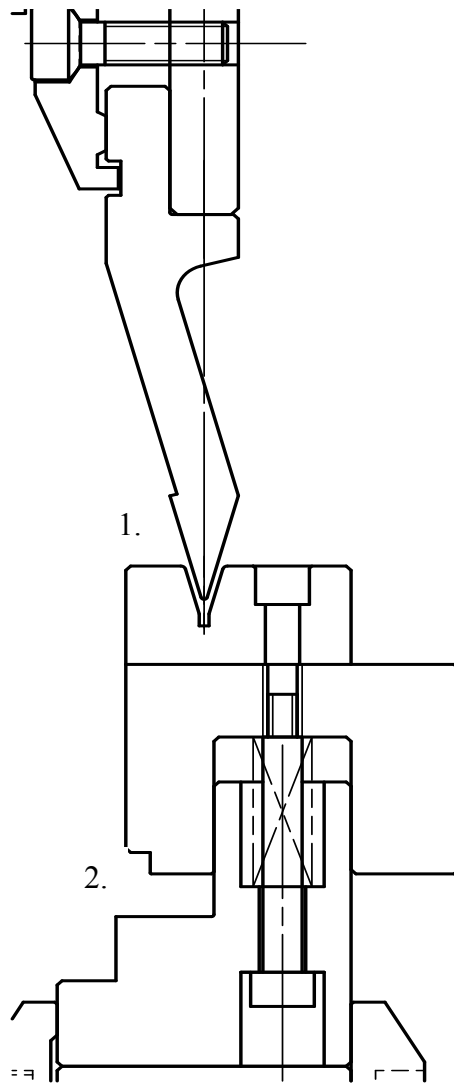
Pohjaiskutaivutuksen käyttö on perusteltua, kun kappaleen täytyy olla tarkka ja jäykkä. Pohjaiskulla myös särmätyt kulmat ovat mahdollisimman teräviä. Voimantarve pohjaiskussa on jopa 7-kertainen ilmavälitaivutukseen verrattuna, joten kone ja työkalut on mitoitettava sen mukaan. (Amada Austria GMBH 2016.)



Kuva 4. Pohjaiskutaivutus (Amada America Inc. 2015.)

3.4 Litistys

Litistyksessä taivutuksen loppu kulma on 0 astetta. Litistykseen käytetään yleensä jousitettua erikoistyökalua. Ensin taivutetaan riittävän pieni alkukulma ($<90^\circ$) työkalun v-aukolla. Taivutus viimeistellään litistysaukossa. (Kuva 5.) Litistys lisää reunan jäykkyyttä ja rakenteen kestävyyttä.



Kuva 5. Litistystyökalu, jossa 1. on v-aukko ja 2. on litistysaukko. (Amada Austria GMBH 2016.)

3.5 Särmäyspuristin

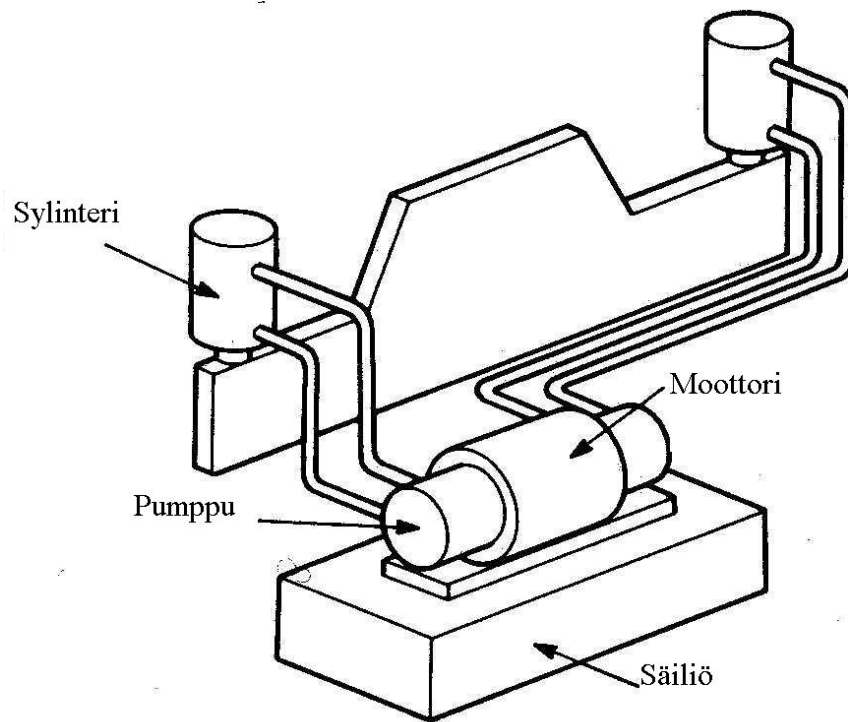
Amada valmistaa särmäyspuristimia sekä servotoimisina että hydraulisina. Koneiden puristusvoima on 50-400 tonnia ja särmäysleveys 1,25-6 metriä. Kaksi konetta voidaan myös liittää yhteen, jolloin suurin särmäysleveys voi olla 12 metriä.

Nesteen välityksellä tapahtuva tehonsiirto eli hydraulikka on tärkeä osa nykyaikaista koneautomaatiota. Hydrauliset järjestelmät siirtävät mekaanisesti tuotetun energian hydrauliseksi tehoksi. Mekaaninen energia tuotetaan tavallisesti sähkö- tai polttomoottoreilla. Hydraulisessa järjestelmässä toimilaitteet muuttavat hydraulisen energian takaisin mekaaniseksi energiaksi. (Keinänen & Kärkkäinen 2009, 170.)

Hydrauliikkajärjestelmillä saadaan aikaan suuria voimia, ja nopeuden sekä momentin ja voiman muuttaminen on helppoa. Hydrauliikkaneste voitelee ja jäädyttää järjestelmän toimilaitteita. Hydrauliikan haittana on järjestelmän vaatima tiiviys. Hydrauliikka perustuu nesteen paineeseen ja vir-

tauksiin, joita ohjataan toimilaitteilla. Mikään hydraulikkajärjestelmä ei ole täysin vuotamaton ja tästä syystä komponenttien toleranssi vaatimukset ovat tiukat. Väliaineena käytettävät nesteet ovat myös haitallisia ympäristölle. (Keinänen & Kärkkäinen 2009, 171.)

Särmäyspuristimissa laitteen ohjausjärjestelmä antaa, esimerkiksi ohjelmoitavan logiikan ja releiden kautta, signaalin hydraulikan ohjaukselle, jolloin sylinteri tekee työliikkeen. Koneenkäyttäjä tekee NC-ohjaukselle särmäysohjelman, joka paikoittaa koneen akselit. Tämän jälkeen jalkapolkimelta tulee ohjaus hydraulikkajärjestelmään ja sylinterit tekevät työliikkeen eli taivutuksen. (Kuva 6.)



Kuva 6. Periaatekuva särmäyspuristimen hydraulisesta voimansiirrosta. (Tool and Manufacturing Engineers Handbook 1984.)

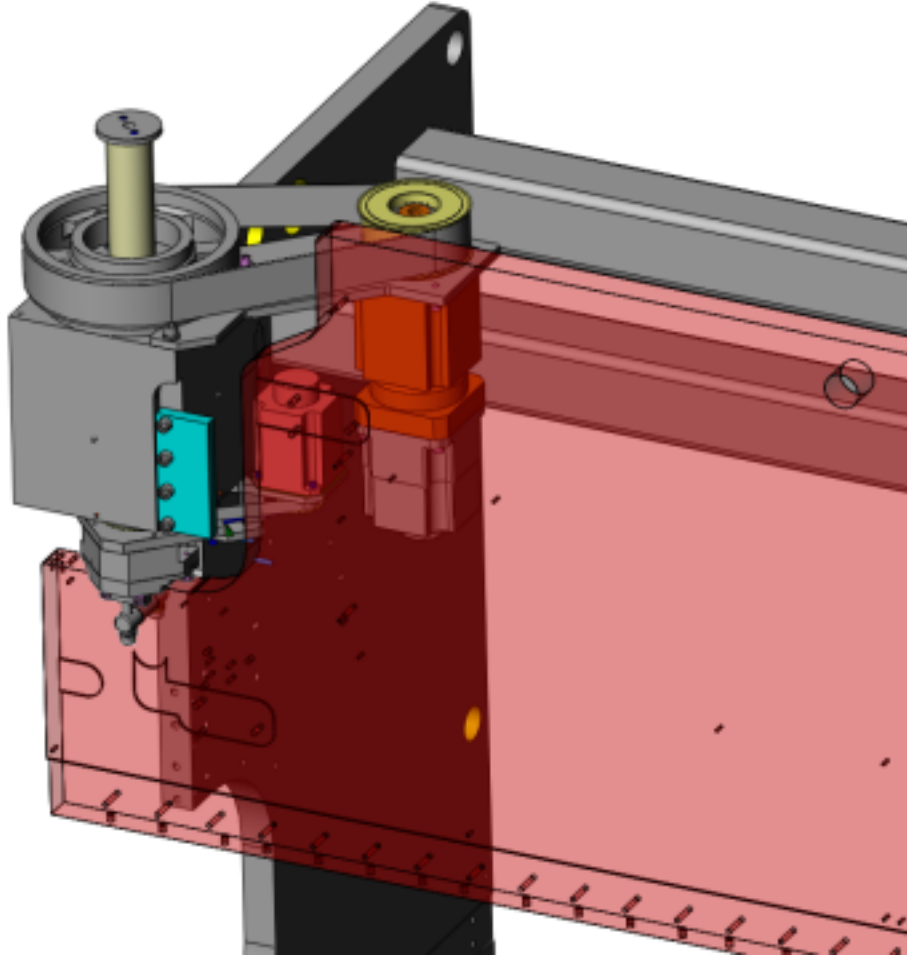
Särmäyspuristimen hydraulijärjestelmä koostuu sähkömoottorista, hydraulipumpusta, putkista ja letkuista, venttiileistä ja kaksitoimisista hydraulisylinereistä. Näitä ohjataan koneen NC-ohjauksella. Venttiilien ja sylinterien avulla saadaan tarvittava puristusvoima eri materiaaleille ja ainevahvuuksille sekä haluttu taivutuskulma. Työkalujen valinnalla voidaan myös vaikuttaa tarvittavaan puristusvoimaan. Kuvassa 7 näkyy Amada HFE 3i -särmäyspuristimen rakenne.



Kuva 7. Amada HFE 3i. (Ama-Prom Finland Oy 2016.)

1. Alapalkki
2. Yläpalkki ja ylätökalun pitimet
3. Käyttöpaneeli eli NC-ohjaus (Numerical Controller)
4. Takarajoittimet.
5. Hydraulisylinterit
6. Laserturvalaite
7. Etupöydät (lisävaruste).

Servotoimiset koneet soveltuvat lähinnä pienten ja vähän voimaa vaativien kappaleiden särmäykseen. Kuvassa 8 Amadan EG-särmäyspuristimen servomoottori ja voimansiirto.

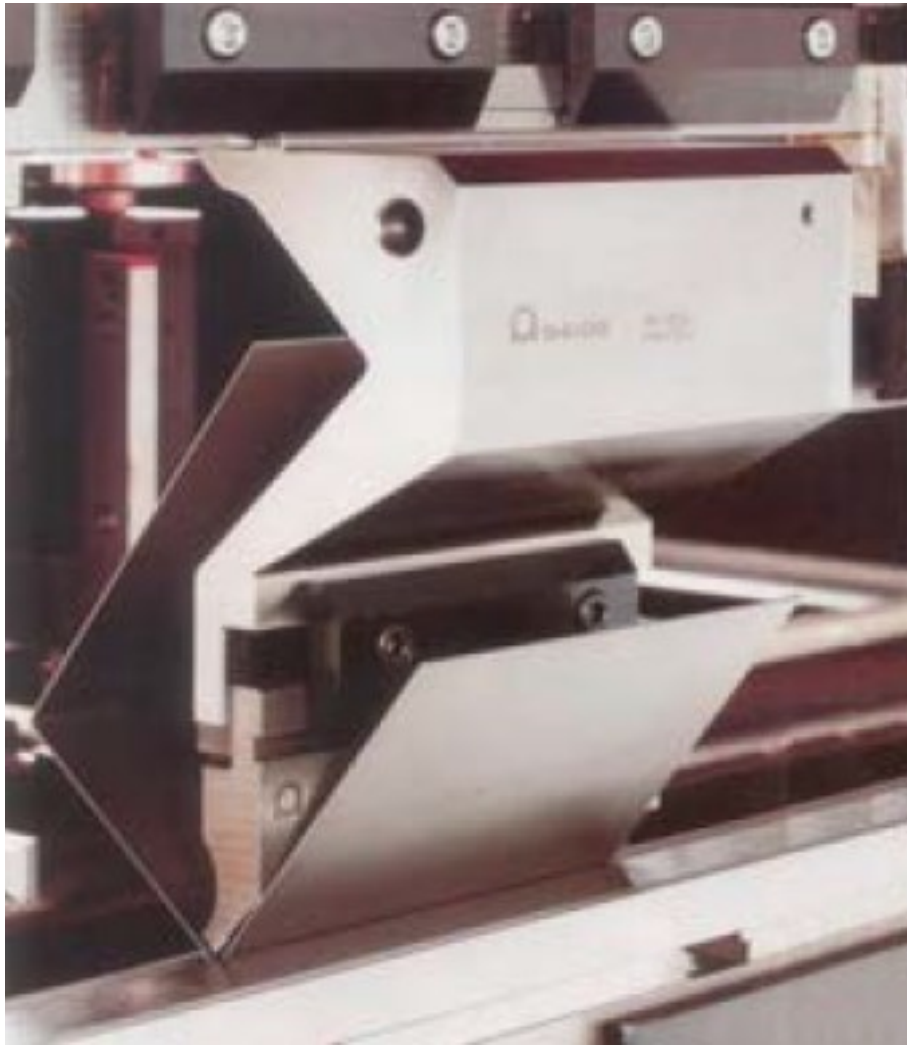


Kuva 8. EG-särmäyspuristimen tekniikkaa. (Amada Co. LTD. 2013.)

3.6 Särmäystyökalut

Erilaisiin särmäyksiin tarvitaan erilaisia työkaluja riippuen särmättävän kappaleen koosta ja materiaalin vahvuudesta. Työkaluvalinnalla voidaan vaikuttaa myös tarvittavaan voimaan. (Liite 1.)

Työkalujen muotoilu mahdollistaa monien erilaisten taivutusten teon, korkeatkin profiilit onnistuvat sopivilla työkaluilla. (Kuva 9.)



Kuva 9. Korkea joutsenkaulateräpidin. (Ama-Prom Finland Oy 2016.)

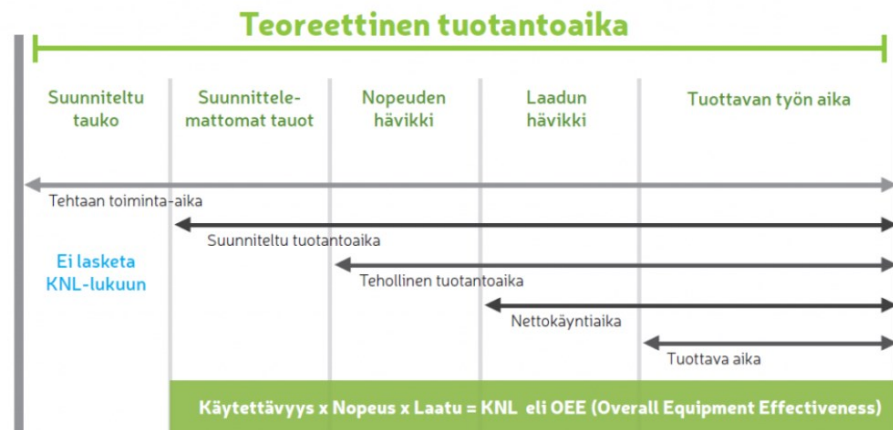
4 SÄRMÄYKSEN TEHOSTAMINEN

Ohutlevytuotteita valmistavissa yrityksissä tarvitaan yleensä useampia särmäyspuristimia yhtä aihioita leikkaavaa konetta kohti. Tästä johtuen särmäyksen tehostaminen on monessa yrityksessä kiinnostava asia. Ammattitaitoisia särmäyspuristimen käyttäjiä on myös vaikea löytää, jota automatisoinnilla pyritään kompensoimaan.

Tehokkuuden mittareina voidaan käyttää mm. kappaleiden läpimenoaikoja ja kustannuslaskelmia, joissain yrityksissä käytetään myös omia laatu järjestelmiä. Karlöfin (2004) mukaan tehokkuuden mittaamisessa tulisi olla mukana asiakkaalle tuotettu arvo. Karlöf pitää tehokkuuden ytimenä toimintaa, jossa tuotetaan arvoa, joka ylittää sen tuottamisen ja toiminnan vaatimat kustannukset. (Sakki 2009, 30.)

4.1 OEE, Overall Equipment Effectiveness

Kilpailukyvyyn ja tuotannon tehokkuuden kehittämiseen on olemassa monia tunnuslukuja. OEE kertoo tuotannon ja koneiden käytön kokonaistehokkuudesta. Vaikka OEE toimii parhaiten prosessituotannossa, moni kappalevalmistaja käyttää sitä yleisenä mittarina tuotantokoneen tehokkuuden ilmaisemiseen. Kuvassa 10 teoreettinen tuotantoaika on jaettu pienempiin osiin OEE:n laskemiseksi. (Webrosensor n.d.)



Kuva 10. OEE teoreettisesta tuotantoajasta. (Webrosensor n.d.)

Käyttöaste muodostuu suunnitellusta työajasta ja toteutuneesta työajasta. Suunnitellussa työajassa koneella on käyttäjä. Sitä vähentää työntekijöiden tauot ja käyttäjän tai suunnitellun työn puute. Toteutunut työaika saadaan vähentämällä huollot, korjaukset, asetukset, jne. suunnitellusta työajasta. Käyttöaste kuvaa kuinka paljon aikaa kuluu seisokkeihin. (Keskisarja 2011.)

Tehokkuutta on käyntiaika ja ansaittuaika. Käyntiaika on toteutunut työaika ja ansaittuaika on valmistuneiden kappaleiden määrä kerrottuna kappaleen valmistusajalla. Tehokkuus kertoo ajan, joka menee hävikkiin tehotomuudesta johtuen. (Keskisarja 2011.)

Laaduntuottokyky muodostuu kaikista valmistuneista kappaleista ja hyvistä tuotteista. Laaduntuottokyky kertoo paljonko huono laatu vaikuttaa tuotantohävikkiin. Näitä voivat olla esimerkiksi koneenkäyttäjän virheet tai huono tuotesuunnittelu. Nämä kolme tekijää muodostavat kokonaiskuvan tuotannon tehokkuudesta. (Keskisarja 2011.)

4.2 Asetusaika

Särmäyksessä asetusaika muodostuu ohjelman tuomisesta särmäyspuristimelle ja työkalujen hakemisesta ja asentamisesta koneeseen. Ohjelmointi lasketaan myös asetusaikaan, mikäli särmättävä tuote on uusi, eikä siitä ole valmista ohjelmaa olemassa.

Yrityksestä riippuen asetusajaksi lasketaan myös koetaivutukset, korjaukset ja mittaukset. Asetusajan merkitys tuotannossa riippuu paljon tuotteen eräkoosta, suurella sarjalla asetusaikea yhtä kappaletta kohti on hyvin pieni verrattuna pieniin sarjoihin ja toistuviin työkaluvaihtoihin.

Asetusten tehokkuutta voidaan parantaa seuraavilla tavoilla:

- Särmäys keskeytetään ainoastaan asetuksen teon ajaksi.
- Vaihto on valmisteltu etukäteen siten, ettei siihen kulu ylimääräistä aikaa.
- Asetus automatisoidaan.
- Asetus tehdään jalostavan työn ohessa. (Lapinleimu, Kauppinen & Torvinen 1997, 60.)

Käytännössä särmäyksessä asetusajan pienentäminen vaatii aina automaatiota, manuaalisärmäyksessä koneen käyttäjä ei voi samaan aikaan särmätä ja hakea seuraavan kappaleen vaatimia työkaluja.

4.3 Kapasiteetti ja läpäisy aika

Kapasiteetilla kuvataan koneen tuotantokykyä. Sillä voidaan seurata esimerkiksi särmäyspuristimen kokonaistuotantomäärää. Vakiotuotteita tai omia tuotteita valmistavilla yrityksillä kapasiteetti voidaan määrittellä tuoteyksiköinä. Jos tuotteiden tai sarjakokojen vaihtelu on suurta, paras yksikkö kapasiteetille on käyttöaika. Kapasiteetin hallinta perustuu koneen tuotantokykyyn ja suunniteltuun kuormitukseen. Kuormituksen tarkoitus on kertoa, kuinka paljon kapasiteettia varataan tuote-erän valmistukseen. Kuormituksen ja kapasiteetin suhde voidaan laskea alla olevalla kaavalla. (Haverila, Uusi-Rauva, Kouri & Miettinen 2009, 399-400.)

$$\text{Kuormitussuhde} = \frac{\text{Kuormitus}}{\text{Kapasiteetti}} * 100\%$$

Kapasiteetin rinnakkaiskäsitteinä käytetään käyttöastetta ja käyttösuhdetta. Ne kuvaavat todellisen työajan ja kapasiteetin suhdetta. Realistisemmän kuvan antaa nettokapasiteetti, joka on usein vain 50-90 %. Se huomioi myös huollot, häiriöt ja konerikot, sairaudet yms. (Haverila ym. 2009, 399-400.)

Koneiden kuormitus voidaan pitää korkealla valmistamalla suuria tuote-eriä. Näin tuottavuus paranee, kun asetusajat eivät hukkaa kapasiteettia. Suurten tuotesarjojen valmistus vaatii kuitenkin tasaisen menekin vakio-tuotteille ja paljon varastotilaa. (Haverila ym. 2009, 403.)

Läpäisy aika tai läpimeno aika kuvaa tuotteen valmistamiseen käytettyä aikaa. Särmättävissä kappaleissa läpäisy aika sisältää ohjelmoinnin, asetusten teon, ensimmäisten kappaleiden mittauksen ja mahdollisen säädön sekä varsinaisen tuote-erän särmäyksen.

Lyhyt läpäisy aika mahdollistaa lyhyet toimitusajat ja parantaa tuotannon ajoitusta ja siten ohjattavuutta. Asiakasohjautuvan tuotannon edellytys on läpäisyajan saaminen selvästi toimitusaikaa pienemmäksi. Asiakasohjau-

tuvassa tuotannossa tuotevarastoja ei tarvita, koska tilauksia tehdään enemmän peräkkäin kuin rinnakkain. Tämän johdosta töiden järjesteleminen on helpompaa ja pääomaa on vähemmän sitoutuneena keskeneräiseen tuotantoon. (Lapinleimu ym. 1997, 55.)

Läpäisyajan lyhentäminen on yritykselle tehokas keino pienentää toimintaan sitoutunutta pääomaa. Eräkoko ja kappaleiden vaihtelu vaikuttavat suuresti läpäisy aikaan, pienten erien valmistus ei ole kannattavaa, koska asetusaikat vievät kapasiteettia ja kuormitusaste jää pieneksi. (Haverila ym. 2009, 406-407.)

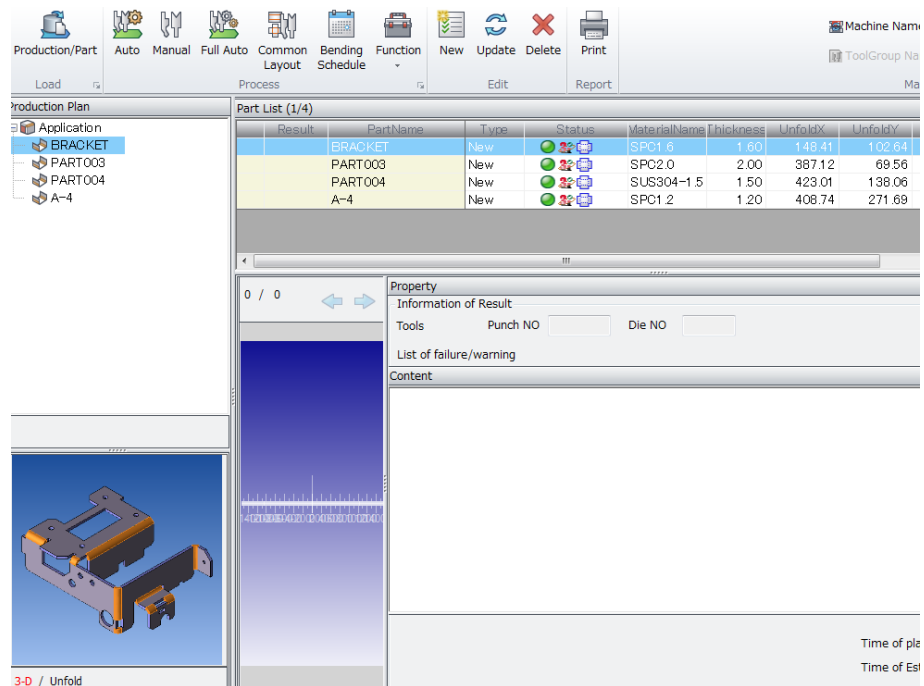
5 OSITTAINEN AUTOMATISOINTI

Särmäyksen automatisointi osittain lisää nopeasti koneen käyttöastetta. Riippuen automatisointitavasta voidaan pienentää asetusajoja, jolloin pienten sarjojen valmistus on kannattavaa. Suurissa sarjoissa voidaan vähentää ihmistyötä ja ihmisen tekemiä virheitä.

5.1 Offline-ohjelmointi

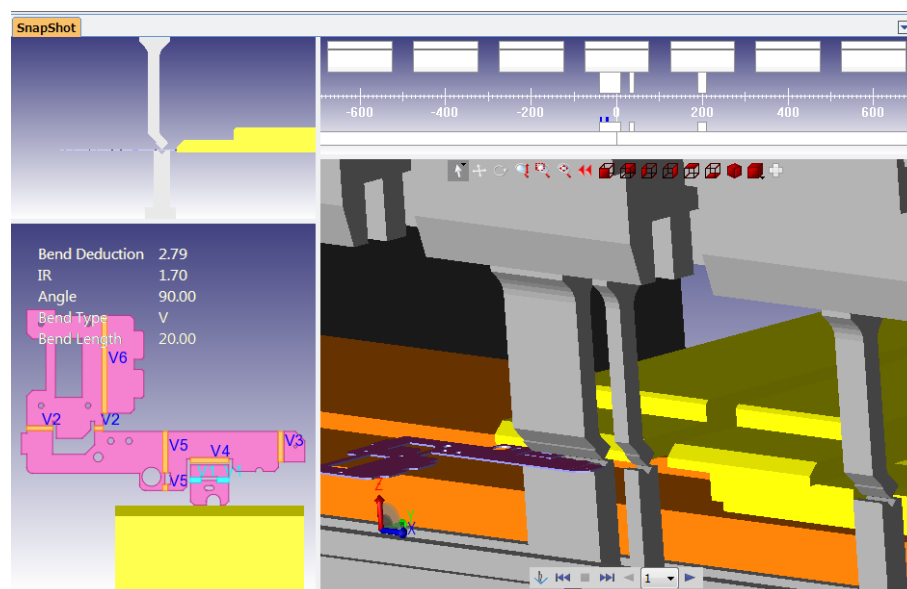
Särmäyksen automatisoinnissa ensimmäinen askel on offline-ohjelmointi. Amadan Dr. ABE Bend -ohjelmistolla särmäysohjelmat tehdään valmiiksi tietokoneella, jolloin koneen käyttäjä tekee vain työkalu asetukset koneella ja on valmis työhön. Ohjelmointia varten särmättävästä kappaleesta täytyy olla joko 2D tai 3D malli, joka tallennetaan tietokantaan. Tämän jälkeen malli on käytettävissä särmäys ohjelmoinnissa.

Dr. ABE Bend -ohjelmisto sisältää automaattisen ABE Planner -ohjelman, jolla ohjelma hakee automaattisesti mallit tietokannasta ja tekee niille särmäysohjelmat. Ohjelmassa voidaan valita erilaisia kriteereitä särmäykselle, esim. käytetäänkö mahdollisuuksien mukaan samoja työkaluja kaikille kappaleille, jolloin asetus aika koskee vain ensimmäistä kappaletta. Ohjelmaan tallennetaan yrityksessä olemassa olevat työkalut, eli automaatiikka ei ehdota työkaluja, joita todellisuudessa ei ole käytettävissä. Kuvassa 11 on ABE Plannerin listaus kappaleista.



Kuva 11. ABE Plannerin listaus ohjelmista.

Särmäysohjelmat voidaan tehdä myös manuaalisesti BendCam-ohjelmalla. Kappale avataan ohjelmaan tietokannasta, jonka jälkeen valitaan käytettävät työkalut ja määritellään särmäysjärjestys. Offline-ohjelmoinnin etuna on valmis 3D-simulointi, jolloin mahdolliset työkalujen ja kappaleen törmäykset nähdään ennalta ja särmäysjärjestys voidaan määrittellä toimivaksi. Lisäksi harjoituskappaleita särmäystä varten ei enää tarvita. Kuvassa 12 valmis särmäysohjelma.



Kuva 12. Särmäysohjelma BendCam-ohjelmalla tehtynä.

Jussi Markkula (haastattelu 15.12.2016) kertoo BendCam-ohjelman olevan erinomainen työkalu kokeneelle särmääjälle. Koneaikaa tuotannossa

säästyy paljon ohjelman ansiosta. Särmäystä vähemmän tuntevalle automaatti antaa hyviä ehdotuksia, joita voi koneella tarpeen mukaan muokata.

Offline-ohjelmoinnin suurena etuna voidaan pitää myös 3D-simulointia koneen ohjauksessa. Koneen käyttäjä näkee työn edetessä koko ajan kappaleen mallin, joten särmäysvirheiden mahdollisuus pienenee oleellisesti. Amadan AMNC 3i -ohjaus näyttää myös takavasteiden avulla, mihin käyttäjän tulee asettaa käytettävät työkalut.

Langaton Digipro -kulmamittaustilaite helpottaa korjausten tekoa ohjelmaan, laite näyttää mitatun kulman, joka lähetetään koneen ohjaukselle automaattista säätöä varten. Tallennettaessa ohjelma takaisin tietokantaan, tehdyt korjaukset tallentuvat mukana. Tietokantaan voidaan lisätä myös kappaleen piirustus esim. PDF-tiedostona, jolloin käyttäjä saa alkuperäisen piirustuksen suoraan koneen näytölle. Kuvassa 13 AMNC 3i RUN -tilassa. (Ama-Prom Finland Oy 2015.)

Juha Muhosen (haastattelu 28.9.2016) mukaan manuaalisärmäyksessä vaikeiden kappaleiden ohjelmointi voi viedä yli kaksi tuntia, jolloin kone on pois tuottavasta käytöstä. BendCam-ohjelmalla sama kappale on tehty 20 minuutissa, eikä peltiä ole tarvinnut leikata valmiiksi. Simuloinnissa näkee, onnistuuko kappaleen valmistus.

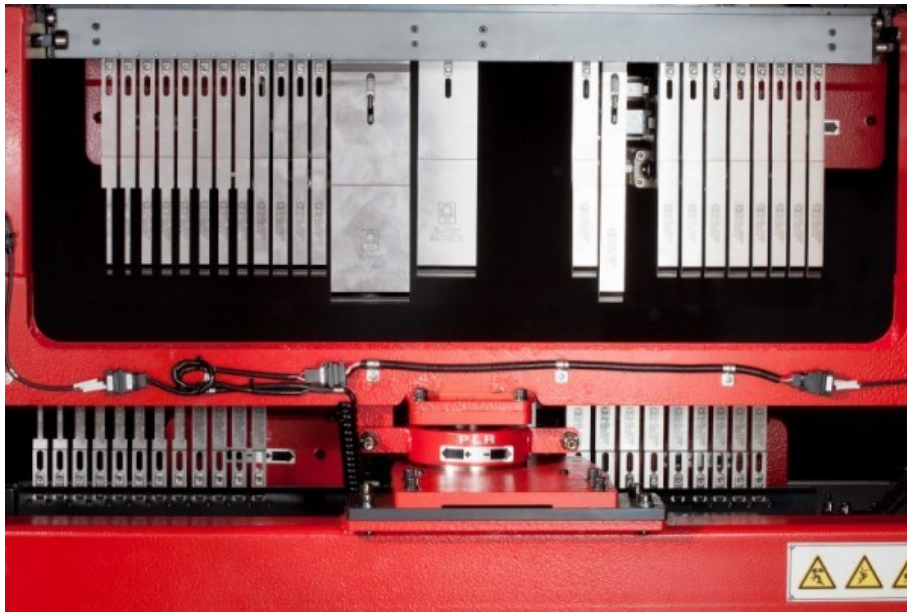


Kuva 13. Amada AMNC 3i -ohjaus. (Ama-Prom Finland Oy 2015.)

5.2 Automaattinen työkaluvaihtaja ATC

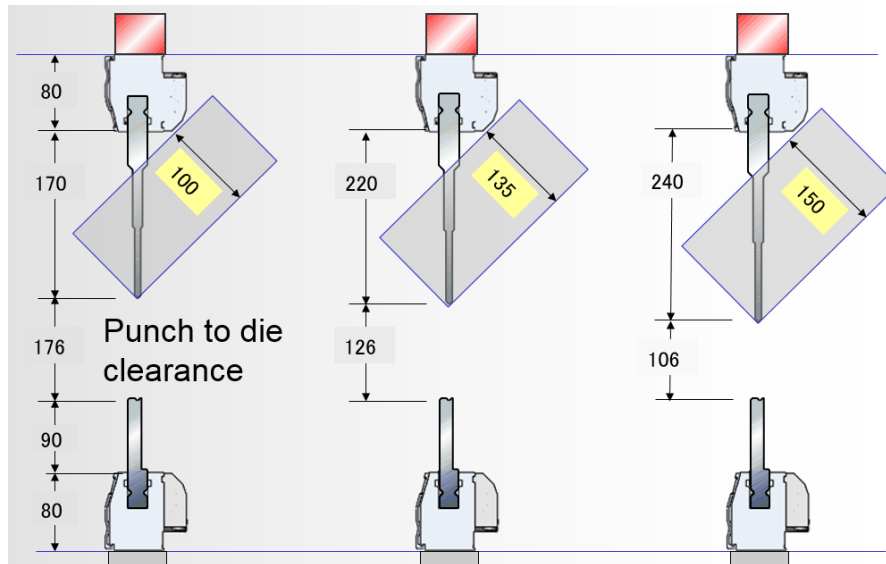
Asetusaikoja voidaan vähentää yhdistämällä särmäyspuristimeen automaattisen työkaluvaihtajan. Koneen käyttäjän tehtäväksi jää tällöin ainoastaan itse särmääminen. Työkaluvaihtajaa voidaan käyttää joko koneen ohjauksesta tai offline-ohjelmoinnilla, jolloin särmäysohjelma hoitaa työkalujen vaihdon automaattisesti.

Työkaluvaihtajassa on 15 paikkaa yläterille ja 18 paikkaa alaterille, jokaisen pituus 800 mm. Työkalujen teoreettinen maksimipituus on siis 26400 mm. ATC:n neljä manipulaattoria hoitaa oikean työkaluasetuksen. Kuvassa 14 työkalumakasiini avattuna. (Amada SA 2014.)



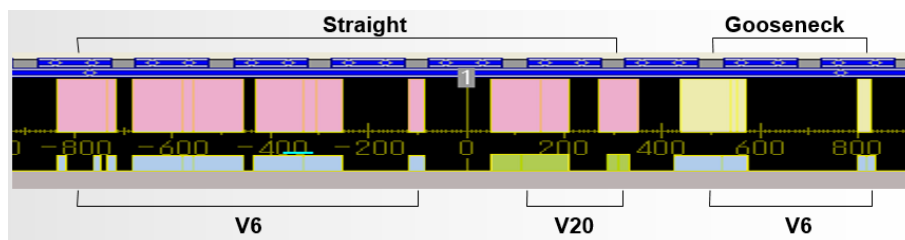
Kuva 14. ATC-työkalumakasiini. (Amada SA 2014.)

Työkaluvaihtajassa alatyökalujen korkeus on 90 mm, joten yhdessä työkaluasetuksessa voidaan käyttää sekaisin eri V-uran leveyksiä. Ylätyökalujen vakiokorkeudet ovat 170 mm, 220 mm ja 240 mm. Kuvassa 15 nähdään, miten ylätyökalun korkeudesta riippuu särmättävän kappaleen suurin korkeus. (Amada SA 2014.)



Kuva 15. Yläterän ja särmäyksen korkeus. (Amada SA 2014.)

ATC-työkaluvaihtajan suurin etu tulee asetusajojen pienentymisestä. Suurilla sarjoilla etu häviää, koska asetuksia tulee vähemmän. Kuvassa 16 olevan työkaluasetuksen tekoon menee koneenkäyttäjältä 6 minuuttia 59 sekuntia olettaen, että työkalut ovat koneen lähellä saatavissa. ATC tekee asetuksen 2 minuutissa 27 sekunnissa. Lisäksi ATC:n työkalut ovat aina kiinni makasiinissa. (Amada Co. 2013.)



Kuva 16. Työkaluasetus kahdella eri V-uralla. (Amada Co. Engineering dept. 2013.)

Työkaluvaihtajan yhdistäminen särmäriin lisää koneeseen myös automaattisen kulmamittauslaitteen BI-S:n. Särmäyksen yhteydessä BI-S mittaa ja korjaa särmäyskulmaa sekä tunnistaa ja kompensoi takaisinjoustoja, jolloin jokainen taivutus on ohjelmoidun kulman mukainen ilman koneen käyttäjän tarvetta tehdä korjauksia. (Amada SA 2014.)

Motorisoitu jalkapoljin seuraa särmäystä ja liikkuu sivusuunnassa oikean työkaluasetuksen kohdalle. Koneen käyttäjän ei näin tarvitse siirrellä poljinta edestakaisin särmäyskohdan muuttuessa. (Amada SA 2014.)

Työkaluvaihtajalla varustettu särmäyspuristin vie huomattavasti vähemmän tilaa robotisoituun särmäriin verrattuna. HG 1003 ATC -koneen tilantarve on noin 30 m². (Liite 2.)

5.3 Robotisoitu särmäys

Särmäyksen robotisointi korvaa ihmisen jalostavassa työssä. Koneen käyttäjää tarvitaan tekemään särmäysohjelma särmäyspuristimelle ja robottiohjelma robotille. Tavallisessa robottisolussa särmäyspuristin ohjelmoidaan manuaalisesti ja robotti opetetaan tietylle liikeradalle särmäysohjelman mukaan. Opettamalla tehty ohjelmointi vie paljon aikaa, jolloin särmäyspuristin ei ole tuottavassa käytössä.

Pillin (2006) mukaan robotin etuna on aina tasainen laatu. Raskaissa ja yksitoikkoisissa tehtävissä ihminen väsyä, mikä näkyy työn jäljessä sekä virheinä. Vaikka ihmistyövoima on järkevintä pienissä sarjoissa, kannattaa aina selvittää voiko robotti ratkaista tuotannossa olevan ongelman. (Pylväläinen 2008.)

Särmäyksessä robottina käytetään yleensä nivelvarsirobottia. Robotisoinnin edut tulevat esiin toistuvissa ja suurissa sarjoissa. Tällöin asetus aika kappaleita kohden minimoituu. Sarjakoon on yleensä oltava yli 150 kpl. Suurissa tai painavissa kappaleissa robotin teho verrattuna ihmiseen lisääntyy nopeasti sarjakoon kasvaessa. Manuaalisärmäyksessä vaaditaan usein kaksi henkilöä tekemään särmäys turvallisesti. Kuvassa 17 on Motoman -robotti yhdistettynä Amadan HFB125-3 -särmäyspuristimeen.



Kuva 17. Motoman – robotti ja Amada HFB125-3 – särmäyspuristin. (Yaskawa Finland Oy 2016.)

Teemu Kiiskin (haastattelu 17.10.2016) mukaan sarjakokojen merkitys pienenee kappalekoon kasvaessa. Suurissa ja vaikeasti käsiteltävissä kappaleissa jopa yksittäiskappaleet voivat olla kannattavia tehdä robotisoidusti. Vaikka robottiohjelman teko voi kestää tunteja, työergonomia on parempi ja yksi työntekijä riittää. Robotisoinnilla voidaan ratkaista myös särmäyksen jälkeinen toiminta, solussa voi olla toinen robotti siirtämässä

kappaleen seuraavaan työvaiheeseen. Robottien liikkeet voidaan synkronoida eikä törmäyksen vaaraa ole.

Eri robottivalmistajilla on erilaisia ratkaisuja robottien liittämiseen särmäykseen. Robotin liikealue valitaan olemassa olevan tilan ja vaadittavan liikkeen perusteella. Motoman -robotteihin saatavilla oleva VST-servojalusta lisää liikealuetta huomattavasti. Liitteessä 3 olevassa layout-kuvassa sisempi ympyrä kuvaa robotin liikealuetta ja ulompi liikealuetta VST-jalustalla.

Robotteja varten on kehitetty myös etäohjelmointimahdollisuuksia. Obelisk-ohjelmalla voidaan ohjelmoida esimerkiksi Motoman-, Kuka- ja Fanuc -robotteja. Ohjelmalla valitaan työkalut ja taivutusjärjestys ja simuloidaan särmäys ja robotin liikkeet. (Kuva 18.) Obelisk generoi myös särmäysohjelman joihinkin särmäyspuristin malleihin. (Yaskawa Finland Oy 2016.)



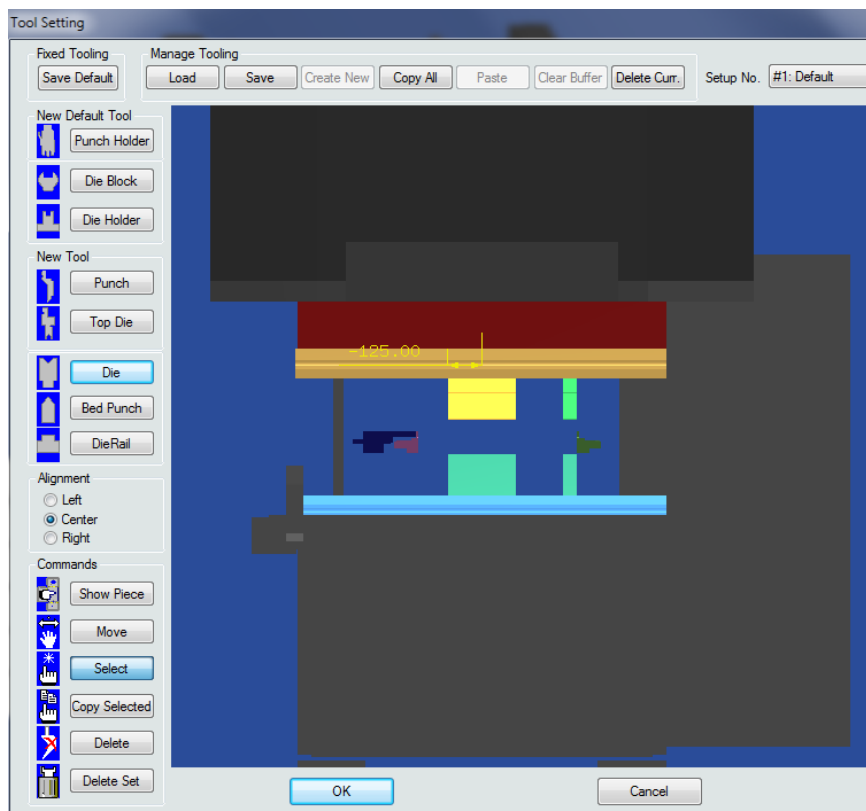
Kuva 18. Obelisk -etäohjelmointi. (Yaskawa Finland Oy 2016.)

6 TÄYSAUTOMAATTINEN SÄRMÄYSROBOTTISOLU

Täysautomaattisessa särmäyssolussa särmäyspuristin, särmäysrobotti, työkaluvaihtaja ATC ja tarttujan vaihtaja AGC on yhdistetty kokonaisuudeksi, joka ohjelmoidaan offline-ohjelmointina. Amadan tuotannossa on eri vaihtoehtoja asiakkaan tarpeen ja tuotannon mukaan.

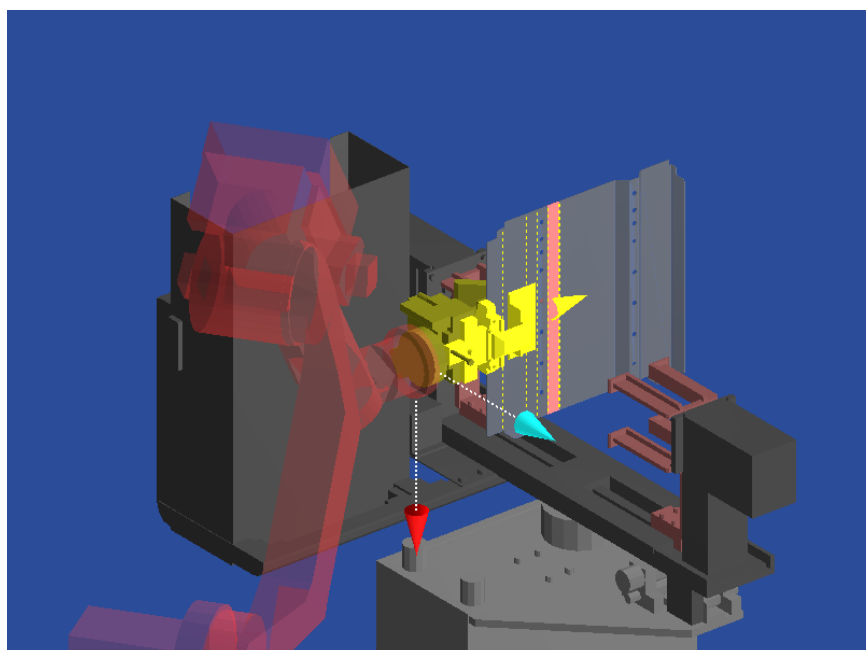
6.1 Solun ohjelmointi

Amadan automaattiset särmäysrobotisolut ohjelmoidaan AR-CAM-etäohjelmointiohjelmalla. Ohjelmaa käynnistäessä valitaan mille soluista ohjelma tehdään. Ohjelmassa valitaan käytettävät työkalut ja niiden asema koneessa. Kuvassa 19 on valittu kaksi työkalupaikkaa EG 6013 AR -soluun. Työkaluvaihtajilla varustetuissa soluissa ala- ja yläteräpitimet ovat kiinteät, joten niitä ei erikseen tarvitse valita.



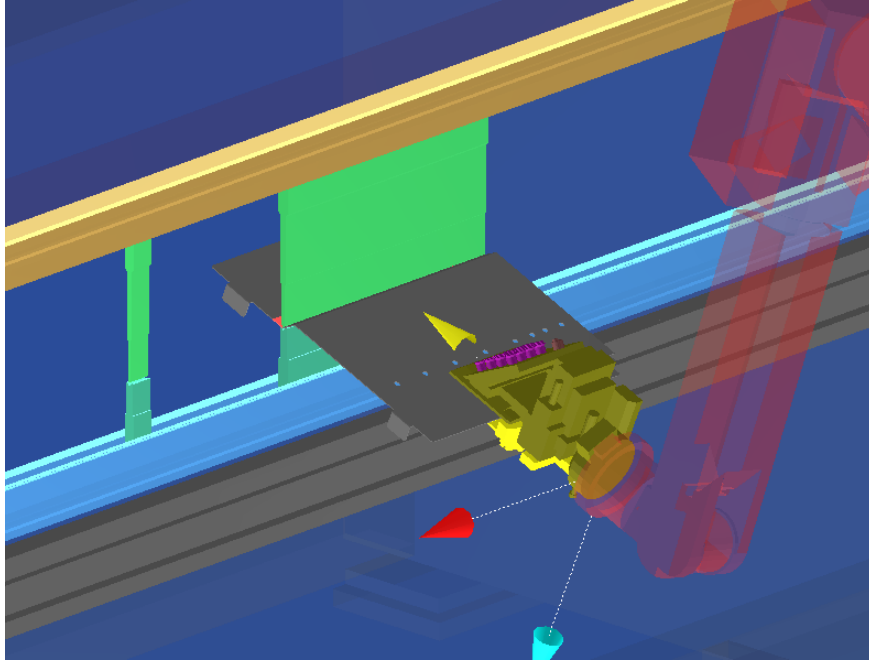
Kuva 19. Työkalujen valinta ja paikoitus soluun. (Amada Co. LTD. 2014.)

Kappaleen latauksessa valitaan sopiva tarttuja. EG AR -robotti voi ladata joko horisontaalisesti pinosta tai vertikaalisesti telineestä. Telinettä käytettäessä latauksen jälkeen voi jatkaa suoraan särmäykseen. Ladattaessa imu-kupeilla täytyy tehdä otteenvaihto mekaaniselle tarttujalle. Suurempien solujen lataus on aina vertikaalinen. Kuvassa 20 HG 1303 Rm -solun otteenvaihto.



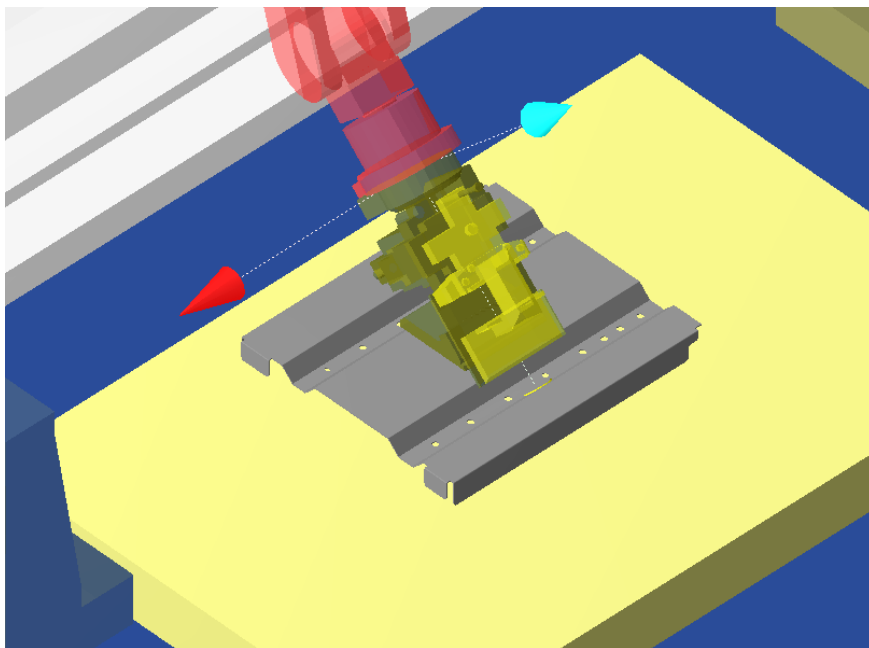
Kuva 20. Otteenvaihto latauksen jälkeen HGRobot080-robotilla. (Amada Co. LTD. 2014.)

Taivutuksia valitessa ohjelma simuloi robotin liikkeitä, jolloin huomataan taivutuksen onnistuminen. Taivutusjärjestystä voidaan muuttaa missä vaiheessa tahansa ja otteenvaihtoja voidaan tehdä aina tarpeen mukaan. Vaikeissa kappaleissa ohjelmaa voidaan opettaa väistämään törmäyksiä työkaluihin ja koneen runkoon. (Kuva 21.)



Kuva 21. HG 1003 ARs -solun taivutuksen ohjelmointi. (Amada Co. LTD. 2014.)

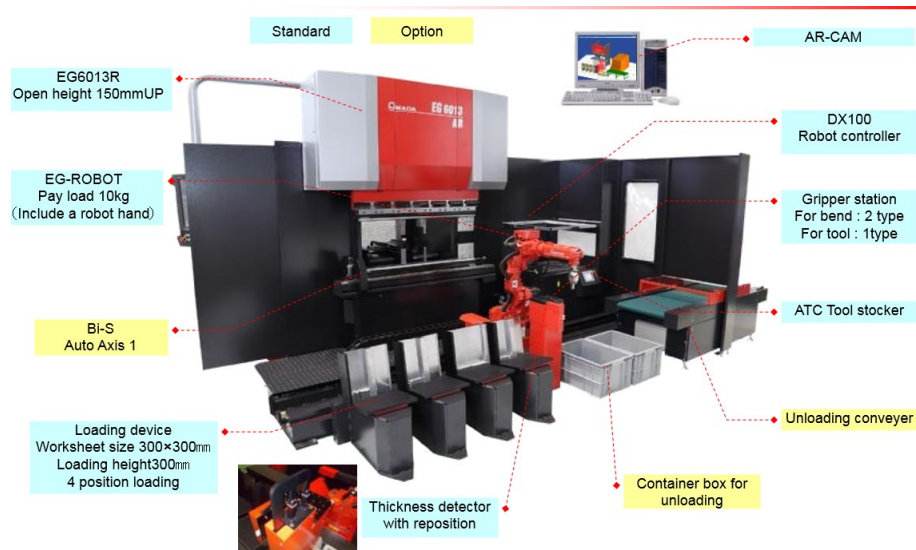
Kappaleen purku voidaan ohjelmoida lavoille tai kuljettimelle. Kappaleet voidaan ohjelmoida yhteen tai useampaan pinnoon ja tarvittaessa joka toinen kappale käännettynä. Kappaleet voidaan tarpeesta tarttujasta riippuen purkaa mekaanisella tai imukuppitarttujalla. (Kuva 22.)



Kuva 22. HG 1003 ARs -solun kappaleen purku lavalle. (Amada Co. LTD. 2014.)

6.2 EG 6013 AR -särmäysrobotisolu

Lähinnä pienille kappaleille suunniteltu EG 6013 AR -solu käsittää servo-toimisen EG-särmäyspuristimen, EG AR -särmäysrobotin, työkalumakaasiin, tarttujan vaihtajan sekä lastaus- ja purkuasemat. Ohjelmointi tehdään AR-CAM-ohjelmalla. Solu sisältää neljä lastausasemaa ja purku tapahtuu normaalisti esim. laatikoihin tai lavoille. Optiona on saatavilla purkukuljetin, joka vie kappaleet solun ulkopuolelle seuraavaan työvaiheeseen. (Kuva 23.)



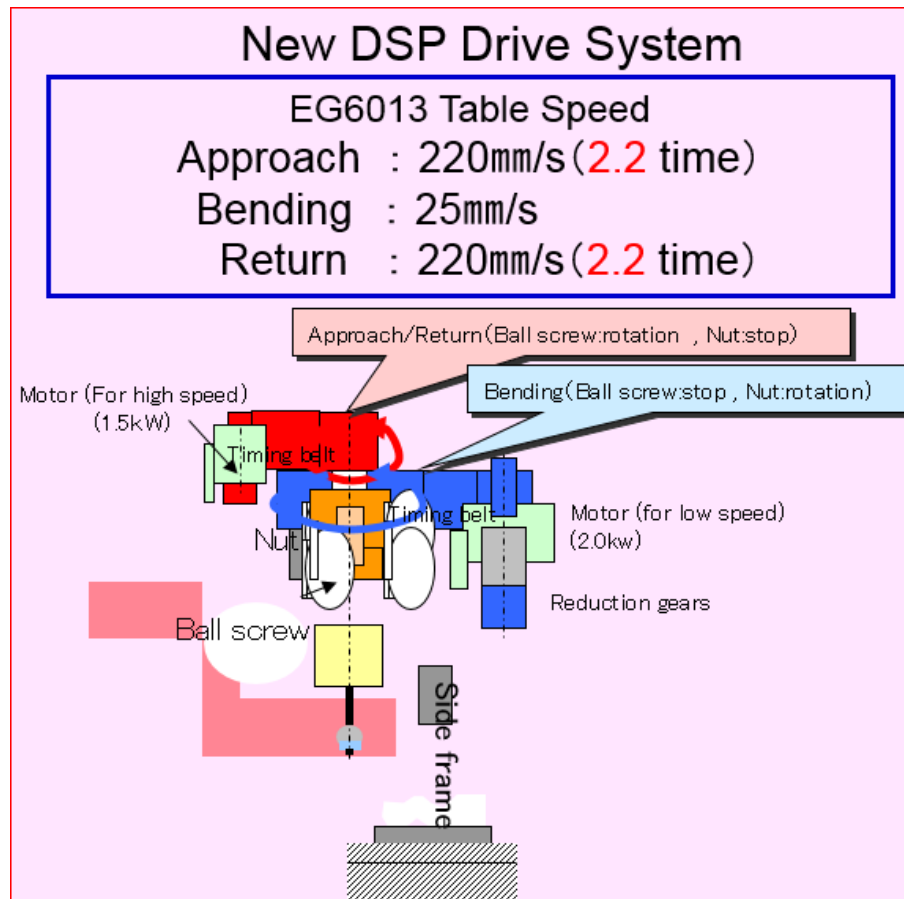
Kuva 23. Havainne kuva EG 6013 AR -solusta. (Amada Co. LTD. 2013.)

Särmäyssolun tehollinen tilantarve vastaa kahta manuaalikäyttöistä särmäyspuristinta. (Liite 3.) Pienen koon takia myös särmättävät kappaleet ovat pieniä:

- suurin koko 300 x 300 x 2,3 mm
- pienin koko 40 x 80 x 0,6 mm
- suurin paino 1,6 kg.

6.2.1 Särmäyspuristin EG6013

Särmäyspuristimen puristusvoima on 600 kN ja työleveys suurimmillaan 1300 mm. Koneessa on AMNC 3i -ohjaus. Särmäyspuristimen kaksoiservo, DSP Drive System, sisältää kaksi moottoria, joilla lähestyminen, työliike sekä avautuminen ovat nopeampia verrattuna perinteiseen hydrauliseen tai servohydrauliseen särmäyspuristimeen verrattuna. (Kuva 24.)



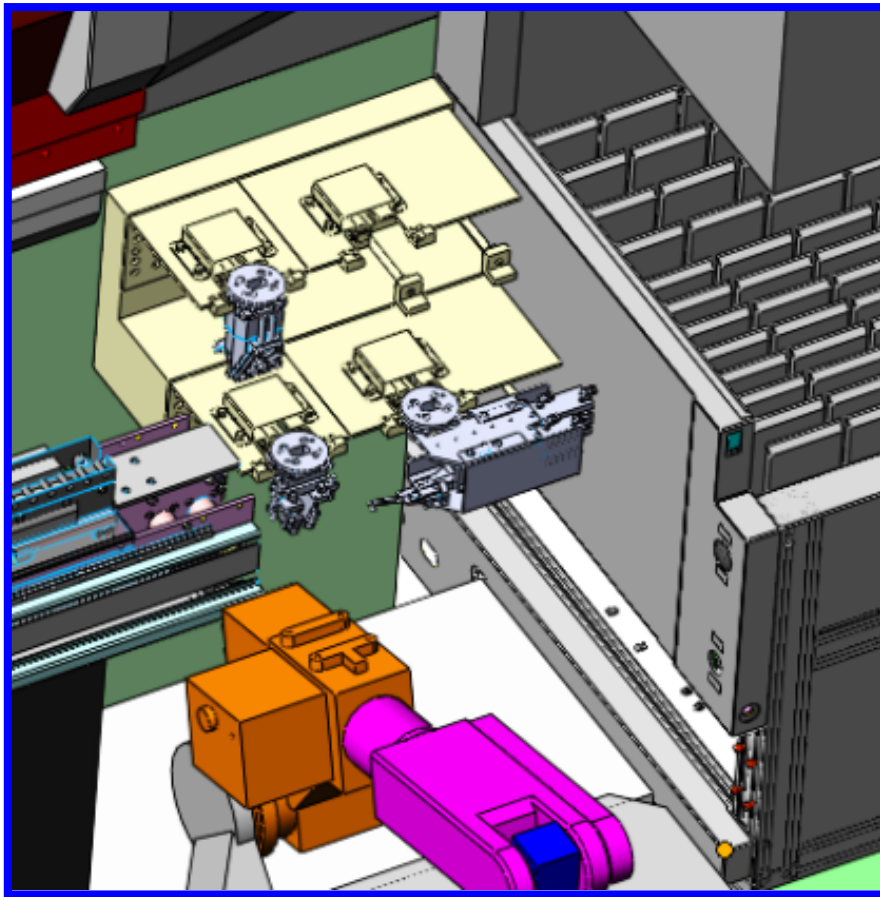
Kuva 24. EG 6013 -särmäyspuristimen DSP Drive System. (Amada Co. LTD. 2013.)

Servo-ohjaus mahdollistaa myös kompensoinnin materiaalin laadun vaihdelta, ohjaus tunnistaa mittaheitot ainevahvuudessa ja säätyy tarpeen mukaan. (Amada Co. LTD. 2013.)

6.2.2 Särmäysrobotti EG AR

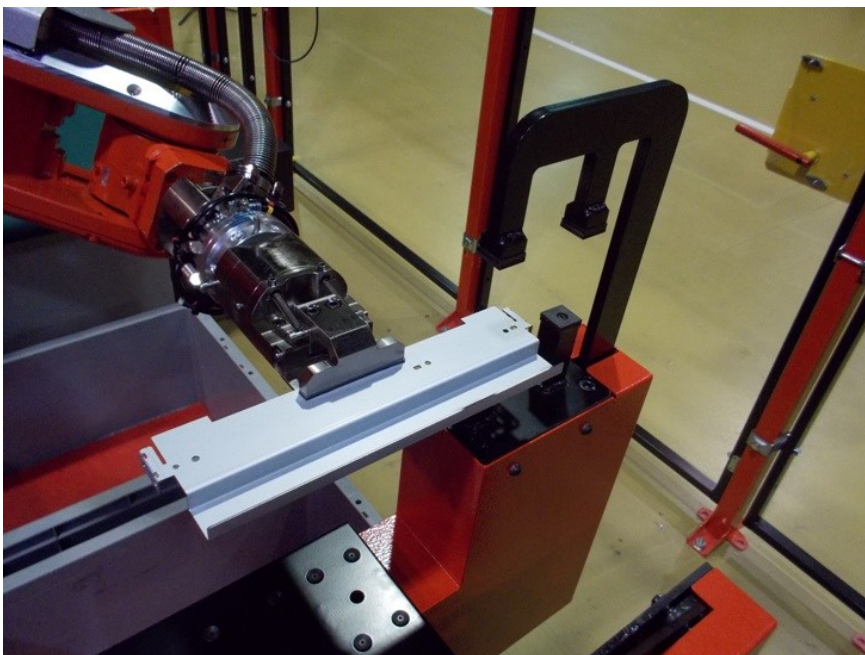
EG AR -särmäysrobotti vaihtaa työkalut, lastaa kappaleen, särmää ja lopuksi purkaa tuotteen purkupaikalle. Robotin hyötykuorma on 10 kg sisältäen tarttujan painon. Tarttujia on kolme kappaletta tarttuja-asemassa: kaksi särmäykseen ja yksi työkalujen vaihtoon. (Kuva 25.) Pieniä kappaleita varten erityisesti rakennettu robotti voi toimia myös koneen sisäpuolella työkalujen takana särmättävän kappaleen niin vaatiessa.

Työkaluvalikoima on sama kuin ATC-työkalumakasiinissa. EG AR käsittelee työkaluja kuitenkin eri tavalla, ATC:ssa on omat manipulaattorit työkalujen vaihtoon, EG AR käyttää erillistä tarttujaa työkalujen paikoitukseen. (Amada Co. LTD. 2013.)



Kuva 25. EG 6013 AR -solun tarttuja-asema. (Amada Co. LTD. 2013.)

Robottisärmäyksen monipuolisuutta lisää erillinen otteenvaihtotarttuja. Kaikkia särmäyksiä ei voida tehdä yhdellä robotin otteella, jolloin robotti vie kappaleen otteenvaihtoon. (Kuva 26.)



Kuva 26. Otteenvaihtoasema. (Amada Co. LTD. 2013.)

Tarttujissa on sekä puristin että imukuppitartunta, jolla mahdollistetaan horisontaalinen ja vertikaalinen aihion lastaus ilman erityisratkaisuja. Lastauspaikkoja solussa on neljä vierekkäin, pitkissä sarjoissa kaikki paikat voidaan täyttää samalla kappaleella tai jakaa paikat eri ohjelmille ja EG 6013 AR -solu työstää kappaleet työjonon mukaan käyttäjän puuttumatta koneen toimintaan. (Amada Co. LTD. 2013.)

6.3 HG ARs -särmäysrobotisolu

Suuremmille kappaleille suunniteltu HG ARs -särmäyssolu sisältää HG1003-särmäyspuristimen, HGRobot020-särmäysrobotin, ATC-työkaluvaihtajan, AGC-tarttujan vaihtajan sekä AR-CAM-etäohjelmoinnin. Lisäksi koneen varustukseen kuuluu BI-S-kulmamittauslaite. Kuvassa 27 olevaa särmäysrobotisolua voidaan käyttää myös manuaalisesti ilman robotia.

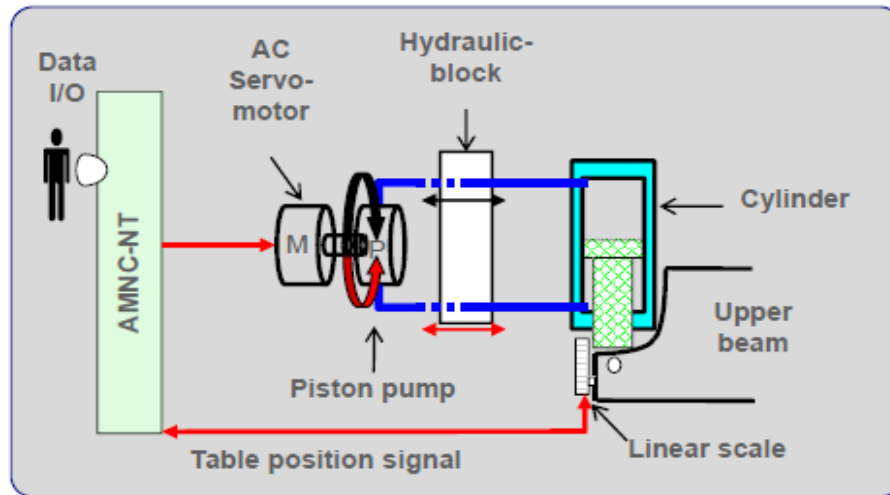


Kuva 27. HG1003ARS -särmäysrobotisolu. (Amada SA 2010.)

Särmäyssolu varustettuna 8,8 metrin lineaariakselilla ja kahdella hihnakuuljettimella vaatii lattiapinta-alaa 139 m², joten pieneen tilaan konetta ei voi hankkia. Ilman hihnakuuljettimia tilantarve on noin 88 m². (Liite 5.)

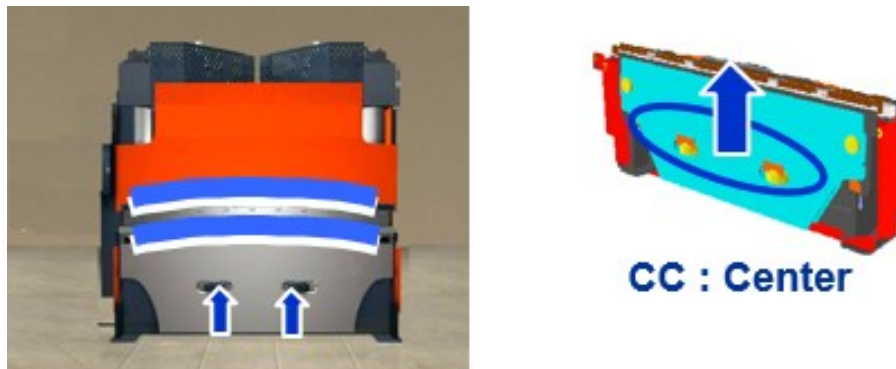
6.3.1 Särmäyspuristin HG1003

Amadan HG1003-särmäyspuristimessa yläpalkin ohjaus tapahtuu servomootorilla ja kaksisuuntaisella hydraulipumpulla, jolla lähestymisliike on 200 mm/s normaalin 100 mm/s sijaan. Myös työliike 20 mm/s on kaksinkertainen manuaaliseen särmäriin nähden. Kuva 28 havainnollistaa yläpalkin ohjausta. (Amada SA 2014.)



Kuva 28. HG-särmäyspuristimen yläpalkin ohjaus. (Amada SA 2014.)

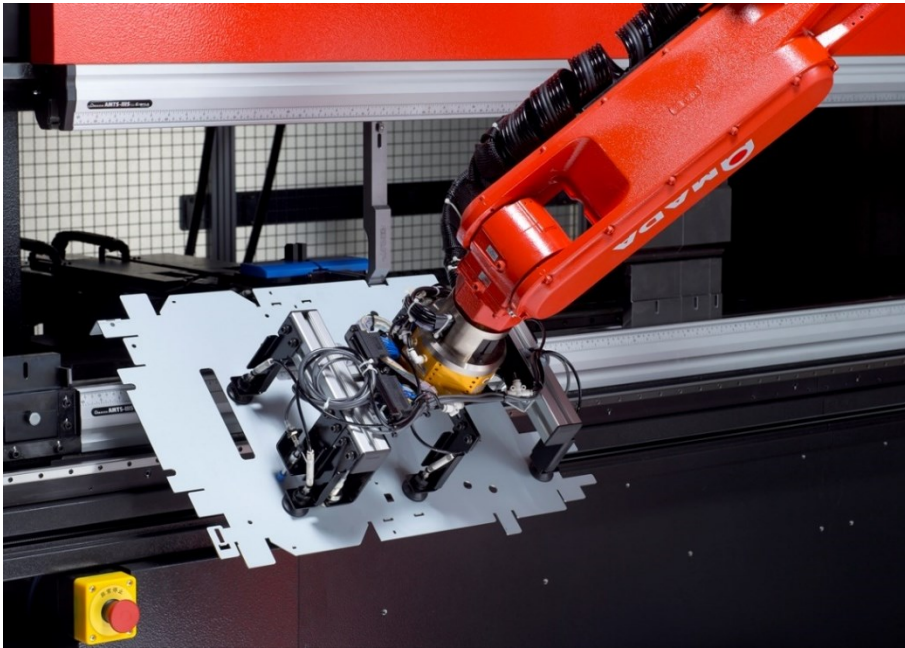
Ylätoimisissa särmäyspuristimissa suurilla leveyksillä tulee usein ongelmaksi bombeeraus, särmäyskulma on haluttu kappaleen päissä mutta auki keskellä. Tätä varten HG-puristimessa on kaksi hydraulista cc-akselia, (crowning control), alapalkissa (Kuva 29.). Akselit puristavat keskeltä vastaan suhteessa yläpalkkiin. (Amada Co. Processing Technology Department. 2012.)



Kuva 29. Havainne kuva HG -särmäyspuristimen crowning control -akseleista. (Amada Co. Processing Technology Department. 2012.)

6.3.2 Särmäysrobotti HGRobot020

Särmäysrobotti HGRobot020:n hyötykuorma on 20 kg ja siinä on kuusi nivelakselia ja yksi lineaarinen akseli korkeintaan 8,8 metrin liikealueelle. Nivelakselien toistotarkkuus on $\pm 0,06$ mm ja lineaariakselin $\pm 0,1$ mm. Näiden akselien ansiosta robotti voi seurata myös alaspäin taivutusta. (Kuva 30.)



Kuva 30. HGRobot020 toiminta. (Amada Co. LTD. 2014.)

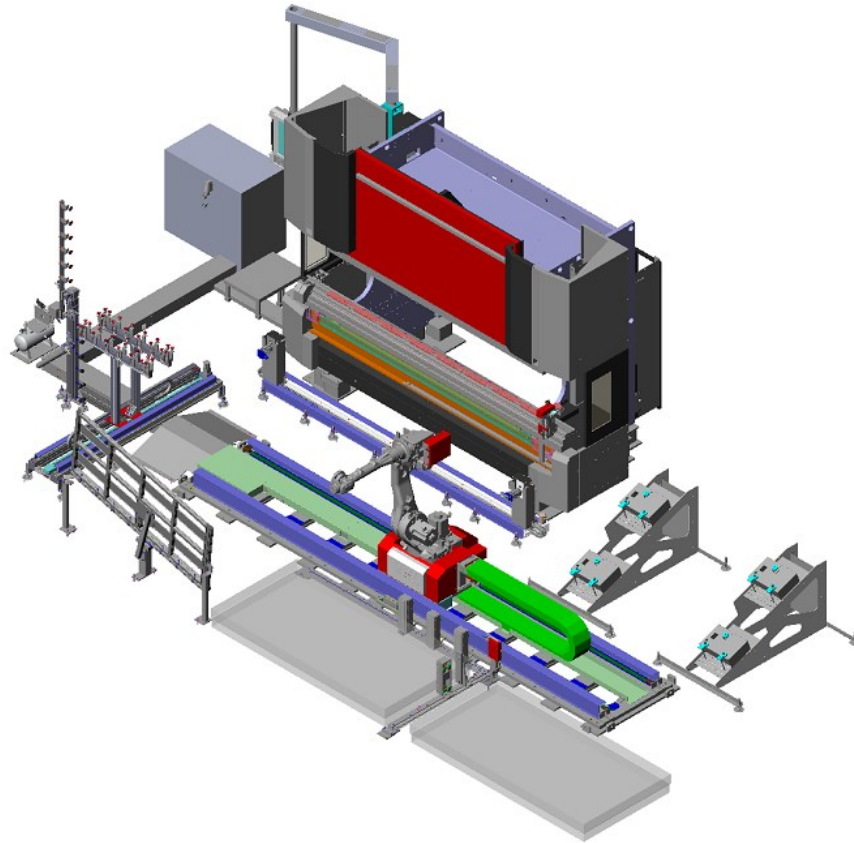
Robotille on saatavilla kolmen tyyppisiä tarttuvia: paineilmatoimisia, mekaanisia ja näiden yhdistelmiä. Tarttuja-asemassa on kolme paikkaa imu-kuppitarttujille ja kuusi paikkaa muille tarttujille. (Kuva 31.)



Kuva 31. Tarttuja-asema AGC. (Amada Co. LTD. 2014.)

6.4 HG 1303 Rm -särmäysrobottisolu

Suuremmille ja painavammille kappaleille suunnitellulla HG 1303 Rm -solulla voidaan särmätä korkeintaan 2500 mm leveitä kappaleita. Soluun kuuluu Särmäyspuristin HG1303, robotti HGRobot080, kaksi tarttuja-asemaa ja kolme erilaista otteenvaihtoasemaa. Koko solun ohjelmointi tapahtuu Amadan AR-CAM -ohjelmalla. (Kuva 32.)



Kuva 32. Havainne kuva HG 1303 Rm -särmäysrobottisolusta. (Amada Co. LTD. 2014.)

Robotin suuren kapasiteetin ja särmättävien kappaleiden koon vuoksi tarvitaan enemmän tilaa. HG 1303 Rm -solun tilantarve on noin 100 m². (Liite 6.)

6.4.1 Särmäyspuristin HG 1303

HG 1303 -puristimessa särmäysleveys on 3000 mm ja puristusvoima 1300 kN. Koneen ohjauksena on AMNC3i ja puristusvoimaa lukuun ottamatta koneen tekniikka vastaa muita Amadan HG-sarjan koneita. Konetta on mahdollista käyttää myös manuaalisesti ilman robottia ja etäohjelmointia. Särmäyspuristimessa on lisäksi automaattinen kulmamittaustaite BI-S, joka mittaa ja säätää kappaleen kulmaa reaaliajassa. (Kuva 33.)



Kuva 33. BI-S kulmamittauslaite. (Amada Co. LTD. 2014.)

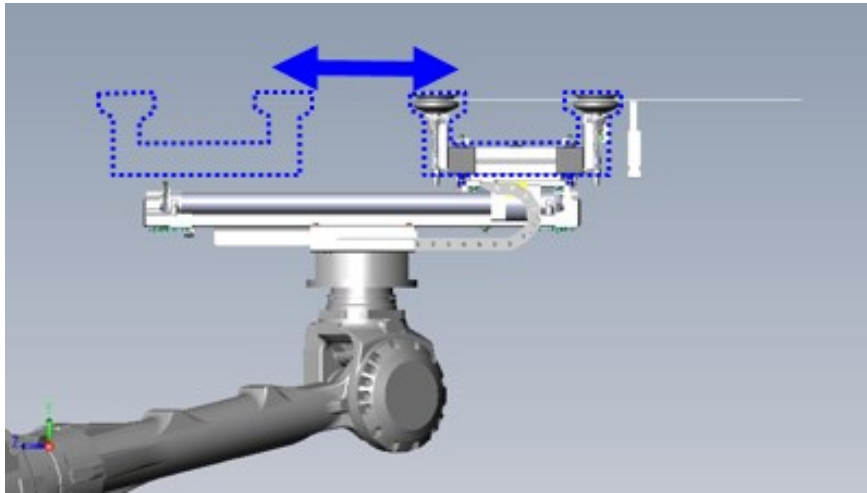
6.4.2 Särmäysrobotti HGRobot080

HGRobot080 -särmäysrobotissa on kuusi nivelakselia tarkkuudeltaan $\pm 0,07$ mm ja yksi lineaarinen akseli, jonka tarkkuus on 0,1 mm. Robotin hyötykuorma on 80 kg sisältäen tarttujan painon. Solussa on neljä erilaista tarttujaa kahdessa tarttuja-asemassa. (Kuva 34.)



Kuva 34. HGrobot080 ja tarttuja-asema. (Amada GMBH 2016.)

Suurten kappaleiden käsittelyä varten solussa on kaksi erillistä otteenvaihto telinettä sekä yksi Slide gripper -tarttuja, joka mahdollistaa pienen otteenvaihdon pelkästään imukuppeja siirtämällä. Kuva 35 havainnollistaa Slide gripperin toimintaa.



Kuva 35. Slide gripper. (Amada Co. LTD. 2014.)

7 VERTAILUT

Vertailtaessa automaatiota ja manuaalisärmäystä, jaettiin aika viiteen osaluokkaan:

- Ohjelmointi: Käyttäjä päättää työkalut ja särmäysjärjestyksen.
- Työkalujen haku: Työkalujen haku särmäsin luokasta.
- Asetus: Käyttäjä paikoittaa sopivat työkalut.
- Mittaus/säätö: Käyttäjä särmäilee ensimmäisen kappaleen ja mittaa ja tarvittaessa säätää kappaleen kulmia ja taivutusmittoja.
- Tuotanto: Tässä vaiheessa ohjelma on säädetty ja kappale on piirustuksen mukainen. Käyttäjä tekee tuottavaa työtä.

7.1 Offline-ohjelmoinnin vertailu

Rahikainen kirjoittaa opinnäytetyössään, että jokaisen kappaleen kohdalla ei-tuottavaa työtä saatiin minimoitua. Myös ajoaikaa saatiin pienennettyä. Huomattavin tulos oli, että Mittaus/säätö -osuutta saatiin pienennettyä keskimäärin 72 % ja asetusajaa lähes 50 %. Kokonaisuudessa särmäyksen läpimenoaikoja pienennettiin noin 50 % Amadan BendCam-ohjelmoinnilla. (Rahikainen 2014.)

Liitteessä 3 kappaleen 4c särmäys on 230 % nopeampaa offline -ohjelmoinnin avulla. Tuotteen 1h särmäminen onnistuu puolestaan 177 % nopeammin. Särmättävien kappalemäärien kasvaessa ero pienenee nopeasti, 10 000 4c-kappaleen tuotannossa offline-ohjelmointi on enää 7 % nopeampi. 1h kappaleessa ero on käytännössä 0. (Amada SA 2012.)

7.2 Työkaluvaihtajan vertailu

Käytettäessä ATC -työkaluvaihtajaa asetusajaksi on ainoa merkittävä tekijä kokonaisajassa. Ohjelmointi tehdään tässäkin tapauksessa etänä, joten oh-

jelmointiaikaa ei ole. Kone voi olla normaalissa tuottavassa työssä eikä käyttäjän tarvitse keskeyttää särmäystä ohjelmoinnin ajaksi. Asetusajasta johtuen ATC-kone on ensimmäisen kappaleen kohdalla 550 % nopeampi. 10 000 kappaleen sarjassa ero on pudonnut 15 %:iin. (Liite 5.)

Asetusaikaa mietittäessä manuaalisen särmäyspuristimen tapauksessa täytyy ottaa huomioon, onko tarvittavat työkalut käytettävissä haluttuna aikana. Tehtaissa, joissa on paljon särmäyspuristimia, on yleensä myös hyvä valikoima työkaluja. Kaikkia työkaluja ei kuitenkaan ole aina riittävästi, tai ne ovat varattuna toisella koneella. ATC-koneessa työkalut ovat aina makasiinissa ja jo etäohjelmointivaiheessa voidaan todeta työkalujen riittävyys.

7.3 EG 6013 AR -solun vertailu

Pienten kappaleiden robottisolussa nopeus ei aina ole ratkaiseva tekijä. Koneenkäyttäjä voi pienelläkin sarjakoolla olla robottia nopeampi kappaleiden helpomman käsiteltävyyden takia. Liitteessä 6 olevan kappaleen helpon muodon ja pienen koon ansiosta ihminen on nopeampi jo 24 kappaleen jälkeen.

Kappaleiden ollessa monimutkaisempia ohjelmointiaika lisääntyy ja manuaalisärmäyksessä asetus aika ja virheiden mahdollisuus kasvaa. suuremmilla sarjoilla taas robotti tekee työtä myös taukojen aikana ja työajan ulkopuolella. Solun neljällä lastauspaikalla voidaan tehdä neljää eri kappaletta yhdellä koneenkäyttäjän asetuksella.

7.4 HG 1003 ARs -solun vertailu

Suurempia kappaleita särmätessä manuaalisesti kappaleen paino ja ulkomitat vaikuttavat särmäysnopeuteen. HG ARs -solun työkaluvaihtaja laskee asetus aikaa ja etäohjelmointi poistaa ohjelmointiajan koneelta. BI-S kulmamittauslaitetta käytettäessä myös tarkistus nopeutuu ja säätö on automaattinen.

Liitteen 7 kappaleen paino on n. 8 kg ja leveys 1120 mm, joten käsin särmättäessä kappaleen käsiteltävyys hidastaa työtä. Robottisolulla ensimmäisen kappaleen läpimenoaika on 88 sekuntia verrattuna manuaalisen särmäyksen 328 sekuntiin. Tässä ajassa on oletettuna, että manuaalisessa koneessa työkalut ovat helposti saatavilla. Särmättäessä yli 10 kappaleen sarjaa ihminen on nopeampi. Kovin kauaa koneenkäyttäjä ei tätä tahtia jaksa, joten suuremmilla sarjoilla robotin hyöty on selvä.

7.5 HG 1303 Rm -solun vertailu

Suurten kappaleiden solussa työkalujen haku ja asetus aika ovat käytännössä samat manuaalisärmäykseen verrattuna, koska koneessa ei ole työkaluvaihtajaa. Etu tulee etäohjelmoinnista ja kappaleenkäsittelystä robotilla. Suuret ja painavat kappaleet vaativat kaksi työntekijää tekemään yksinkertaisiakin särmäyksiä.

Liitteessä 12 olevan paneelin robotti särmää 109 sekunnissa, kun kahdelta särmääjältä aikaa kuluu suuri koko ja paino huomioiden laskennallisesti kaksi kertaa kauemmin.

8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli särmäyksen automaation uusien mahdollisuuksien esittely ja vertailu sekä asiakkaille että konemyyjille. Myyjät saivat tutkittua tietoa automaation mahdollisuuksista ja vaikutuksista asiakasyritysten tuotantoon. Särmäys itsessään ei ole selkeää kaikille ja myös siitä saatiin lisätietoa.

Särmäyksen läpimenoaikojen pienentäminen on haasteellista monissa yrityksissä. Automatisoinnin mahdollisuuksien lisääntyessä näitä voidaan oleellisesti pienentää. Varsinkin ohjelmointi- ja asetusajojen pienentäminen kiinnostaa yrityksiä, jolloin kallista koneaikaa voidaan hyödyntää paremmin tuottavaan työhön.

Helpoin ja halvin tapa aloittaa särmäyksen automatisointi on etäohjelmointi. Suunnittelija voi jo työn tarjouslaskentavaiheessa tehdä särmäysohjelman valmiiksi ja varmistaa kappaleen onnistumisen. Koekappaleita ei tarvitse leikata ja testata, kun kaiken simuloinnin voi tehdä tietokoneella.

Monen yrityksen haaste on pitää työkalut helposti saatavilla silloin, kun niitä tarvitaan. Työkaluvaihtajalla varustetussa särmäyspuristimessa työkalut ovat vain kyseisen koneen käytössä. Etäohjelmoinnin ansiosta koneenkäyttäjän ei tarvitse tehdä muuta kuin avata ohjelma, jolloin kone vaihtaa oikeat työkalut ja särmäyksen voi aloittaa.

Särmäyksen robotisointi on kannattavaa suurille ja toistuville tuotantosarjoille mutta myös vaikeasti käsiteltäville kappaleille. Jopa yksittäisen kappaleen tekeminen robotin avulla voi kannattaa, jos särmäys manuaalisesti vaatisi kaksi työntekijää ja olisi muutenkin vaikea toteuttaa.

Automaattiset särmäysrobotisolut ovat lisääntyneet markkinoilla ja niistä saadut käyttökokemukset todella kiinnostavat konehankintoja suunnittelevia. Soluja on eri vaihtoehtoja pienten tuotteiden koneista aina suuriin, kolme metriä leveisiin kappaleisiin, ja kaikki voidaan etäohjelmoida.

Opinnäytetyön johdosta uusien automaattioratkaisujen esittely ja neuvonta asiakkaille on helpompaa ja asiantuntevampaa. Tutkimuksessa ei löydetty tiettyä tuotantomäärää tai -tapaa, jonka voisi selkeästi mitata ja sanoa olevan toisia parempi vaan jokaisesta automaattioratkaisusta löytyi asioita, joiden hyödyn asiakas päättää itse.

LÄHTEET

Amada America Inc. HG ATC Press Brake with Automatic Tool Changer. [YouTube-video.] Julkaistu 28.4.2015. Viitattu 19.12.2016. <https://www.youtube.com/watch?v=lZ3G9zVg4vg>

Amada America Inc. HG ARs Robotic Bending System. [YouTube-video.] Julkaistu 3.3.2016. Viitattu 19.12.2016. <https://www.youtube.com/watch?v=YXLH21sK954>

Amada Austria GMBH. Bending technology. 2016. [intranet] Viitattu 16.6.2016.

Amada Co. Engineering Department. HG1003 ATC Solution Note. 2013. [intranet] Viitattu 22.9.2016.

Amada Co. LTD. EG-AR 3i-document. 2014. [intranet] Viitattu 21.9.2016.

Amada Co. LTD. EG 6013 AR Solution Note. 2013. [intranet] Viitattu 22.9.2016.

Amada Co. LTD. HG-ARs solution note. 2014. [intranet] Viitattu 11.12.2016.

Amada Co. LTD. HG1303Rm solution note. 2014. [intranet] Viitattu 12.12.2016.

Amada Co. Processing Technology Department. HG Series Solution Note. 2012. [intranet] Viitattu 22.9.2016.

Amada GMBH. HG Rm Brochure. Viitattu 12.12.2016. http://www.amada.de/CentralData/Bending-Technology/HG-RM/Brochures/EN/HG%20Rm_Brochure.pdf

Amada SA. Study HG-ARS. 2010. [intranet] Viitattu 21.9.2016.

Amada SA. New presentation HD ATC-II-UK-V2. 2012. [intranet] Viitattu 19.9.2016.

Amada SA. Modèle étude HG-ATC UK. 2014. [intranet] Viitattu 20.9.2016.

Amada UK LTD. AMADA HG Series. [YouTube-video.] Julkaistu 18.12.2014. Viitattu 19.12.2016. <https://www.youtube.com/watch?v=fG8h0RYdKRE&t=41s>

Haverila, M., Uusi-Rauva, E., Kouri, I. & Miettinen, A. 2009. Teollisuustalous. 6. p. Tampere: Infacs Oy.

Hyyryläinen, J. 2004. Särmättävien ohutlevyosien valmistustarkkuuteen vaikuttavat tekijät ja niiden määrittäminen. Oulun yliopisto. Konetekniikan osasto. Diplomityö.

Keinänen, T. & Kärkkäinen, K. 2009. Automaatiojärjestelmien hydrauliiikka ja pneumatiikka. Helsinki: WSOY.

Keskisarja, H. 2011. Ohutlevyosia valmistavien tuotantosolujen tehokkuuden parantaminen. Keski-pohjanmaan ammattikorkeakoulu. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.

Lapinleimu, I., Kauppinen, V. & Torvinen, S. 1997. Kone- ja metalliteollisuuden tuotantojärjestelmät. Porvoo: WSOY.

Lepola, P. & Makkonen, M. 2005. Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet. Viitattu 20.12.2016. Saatavissa Ellibslibrary-tietokannassa: <https://www.ellibslibrary.com.ezproxy.hamk.fi//book/951-0-32254-7>

Pylväläinen, T. 2008. Käyttöasteen nostaminen robottisärmäysseläsolussa. Keskipohjanmaan ammattikorkeakoulu. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.

Rahikainen, J. 2014. Offline-ohjelmoinnin käyttöönotto ohutlevyjen särmäyksessä. Tampereen ammattikorkeakoulu. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.

Sakki, J. 2009. Tilaus-toimitusketjun hallinta. B2B – Vähemmällä enemmän. 7. uud. p. Vantaa: Jouni Sakki Oy.

Tool and Manufacturing Engineers Handbook. Fourth edition, volume II, Forming. 1984. Teoksessa Wick, C., Benedict, J. & Veilleux, R. (toim.) Society of Manufacturing.

Webrosensor n.d. Mitä on OEE ja mitä se ei ole? Viitattu 11.12.2016. <http://www.webrosensor.fi/blogi/mita-on-oee-ja-mita-se-ei-ole/>

Yaskawa Finland Oy. Robotisoitu särmäys. Viitattu 20.10.2016. Saatavissa <http://www.motoman.fi/fi/sovellukset/robotisoitu-saermaeys/>.

HAASTATTELUT

Kiiski, T. 2016. Myyntipäällikkö. Yaskawa Finland Oy. Haastattelu 17.10.2016.

Markkula, J. 2016. Team leader. Scanfil EMS Oy. Haastattelu 15.12.2016.

Muhonen, J. 2016. Bending specialist. Ojala-Yhtymä Oy. Haastattelu 28.9.2016.

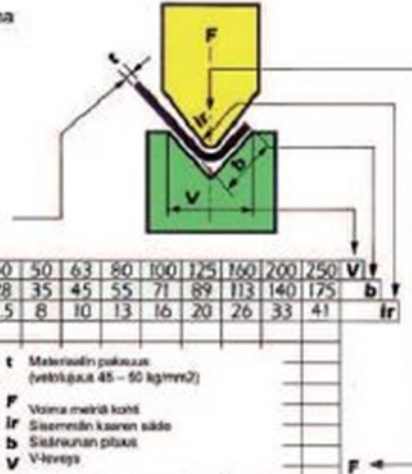
PURISTUSVOIMATAULUKKO

TAIVUTUSVOIMAN TAULUKKO, TERÄS

Kuinka luet puristustaulukkoa

Jos materiaalin paksuus ja sisäpuolinen säde on tunnettu, alataulukosta voidaan saada seuraavat tiedot:

1. yhden metrin pituisen materiaalin vaatima puristusvoima
2. käytettävä V-uran leveys
3. pienin ulkosärmän pituus



t	4	6	7	8	10	12	14	16	18	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	V	t		
m/m	0.7	1	1.1	1.3	1.6	2	2.3	2.6	3	3.3	4	5	6.5	8	10	13	16	20	26	33	41	b	r		
0.5	4	3																							
0.6	6	4	4	4																					
0.8		7	7	5	4																				
1.0			11	10	8	7	6																		
1.2				14	12	10	8	7	6																
1.4					15	13	11	10	9	8															
1.6						17	15	13	11	10	9														
2.0							22	19	17	15	13	11													
2.3								25	23	19	17	15	12												
2.6									28	25	22	18	14												
3.0										34	30	24	19	15											
3.2											34	27	22	17	14										
3.5												33	26	20	16	13									
4.0													43	34	27	21	17								
4.5														44	34	27	21								
5.0															52	42	33	26	21						
6																60	48	38	30	24					
7																	52	41	33	26					
9																		67	54	43					
10																			85	67	53	42			
12																				96	78	60	55		
16																					136	107	86		
19																						150	125	100	
22																							160	130	
25																								210	170
30																									240

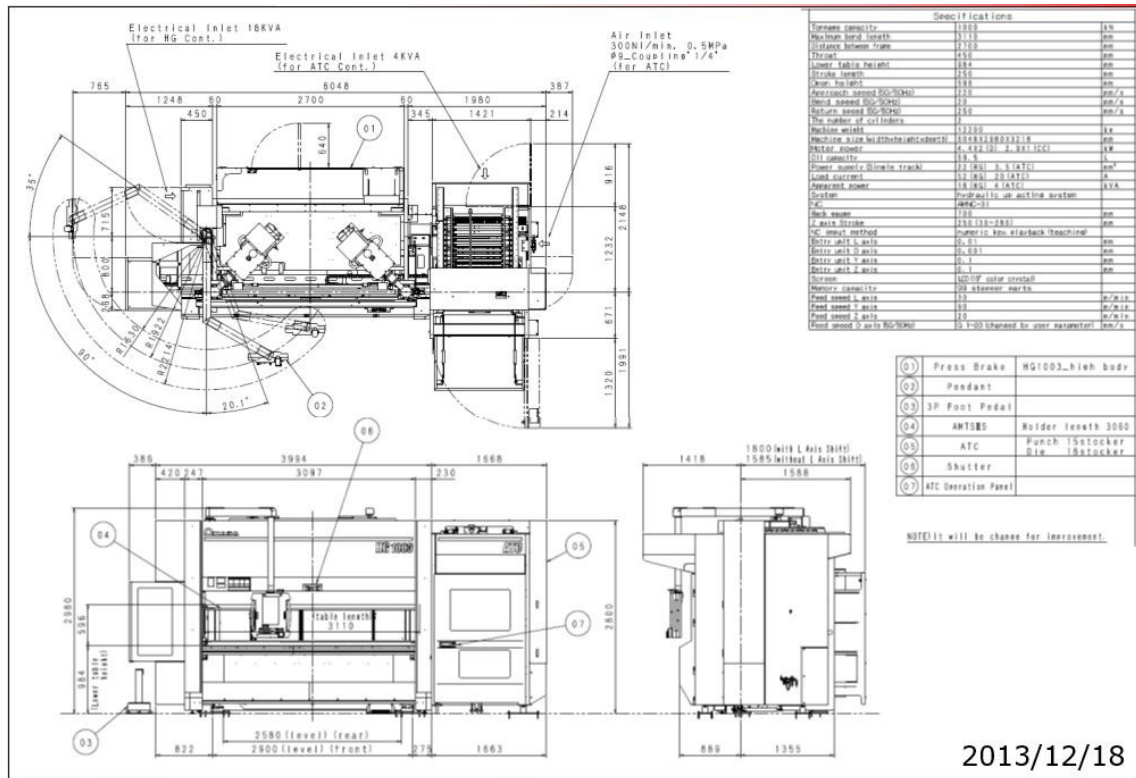
Materiaalin paksuus ja uran leveys.

V-uran leveys on uran reunojen väli. Sopiva V-uran leveys pitäisi valita materiaalin paksuuden mukaaan niin hyvin kuin on mahdollista vapaasti määritellä. Alapuoinen taulukko näyttää materiaalin paksuuden ja V-uran suhteen ajmmaisena.

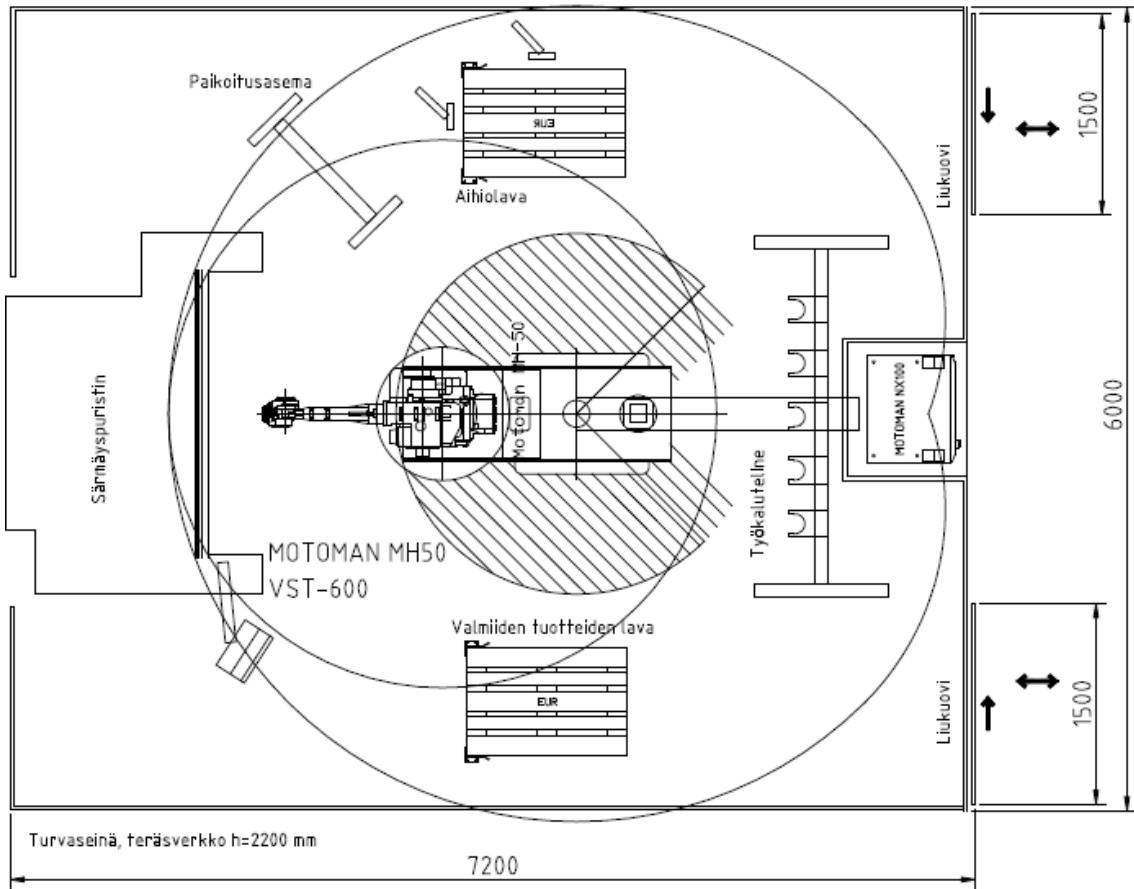
Taulukko näyttää standardin mukaisen optimin, mutta todellisuudessa uran määrää ulkoreunan pituus, tuotteen sisäsaade ja puristusvoima.

Materiaalin paksuus (t mm)	0.5-2.5	3.0-8	9-10	12 =>
V-levyys	6t	8t	10t	12t

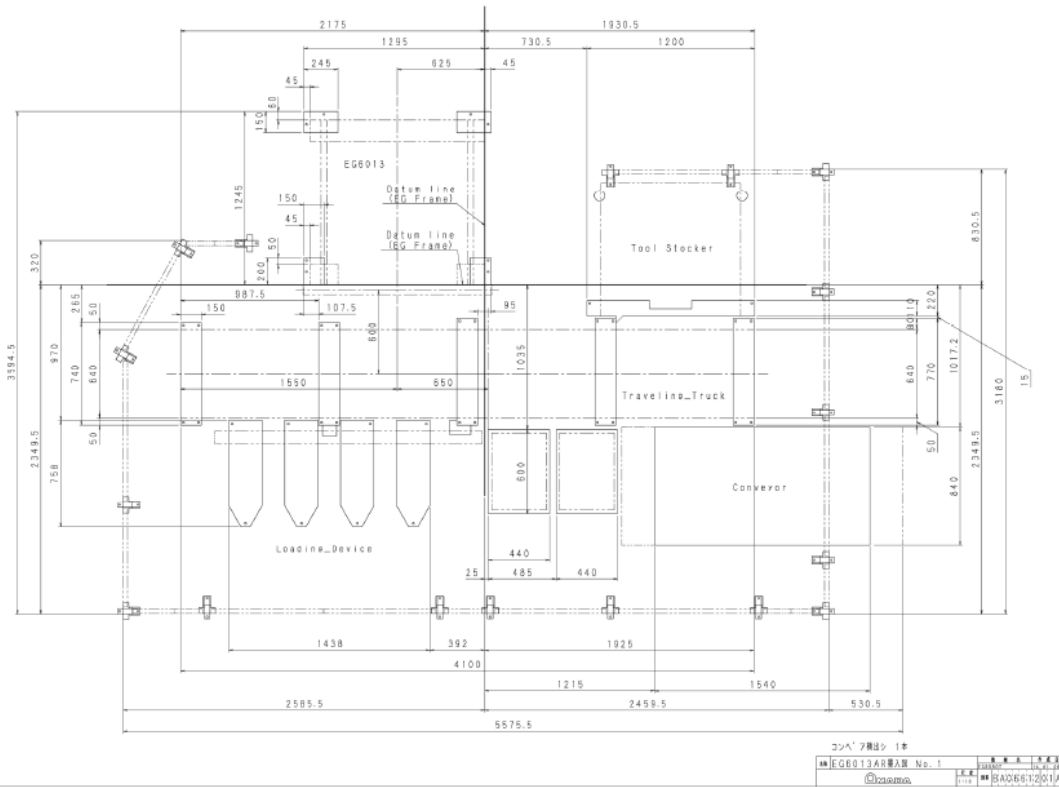
. HG1003 ATC -särmäyspuristimen layout kuva.



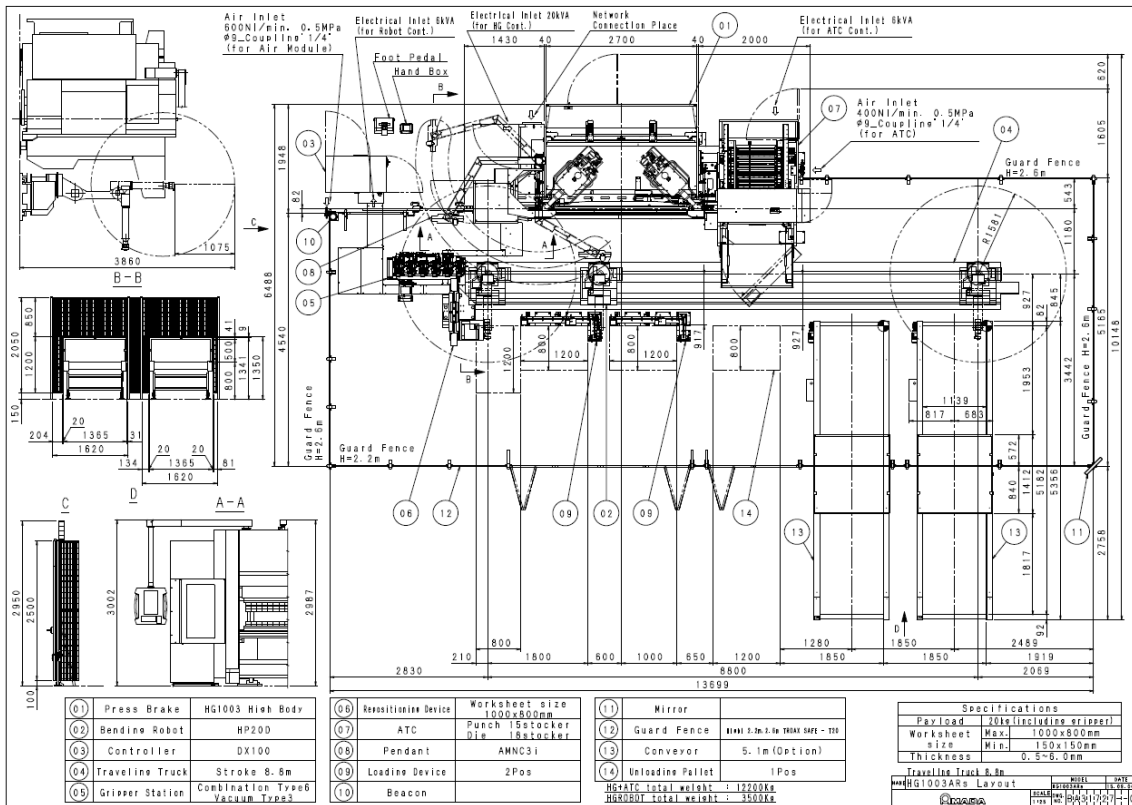
MOTOMAN MH-50 -särmäysrobotin layout kuva.



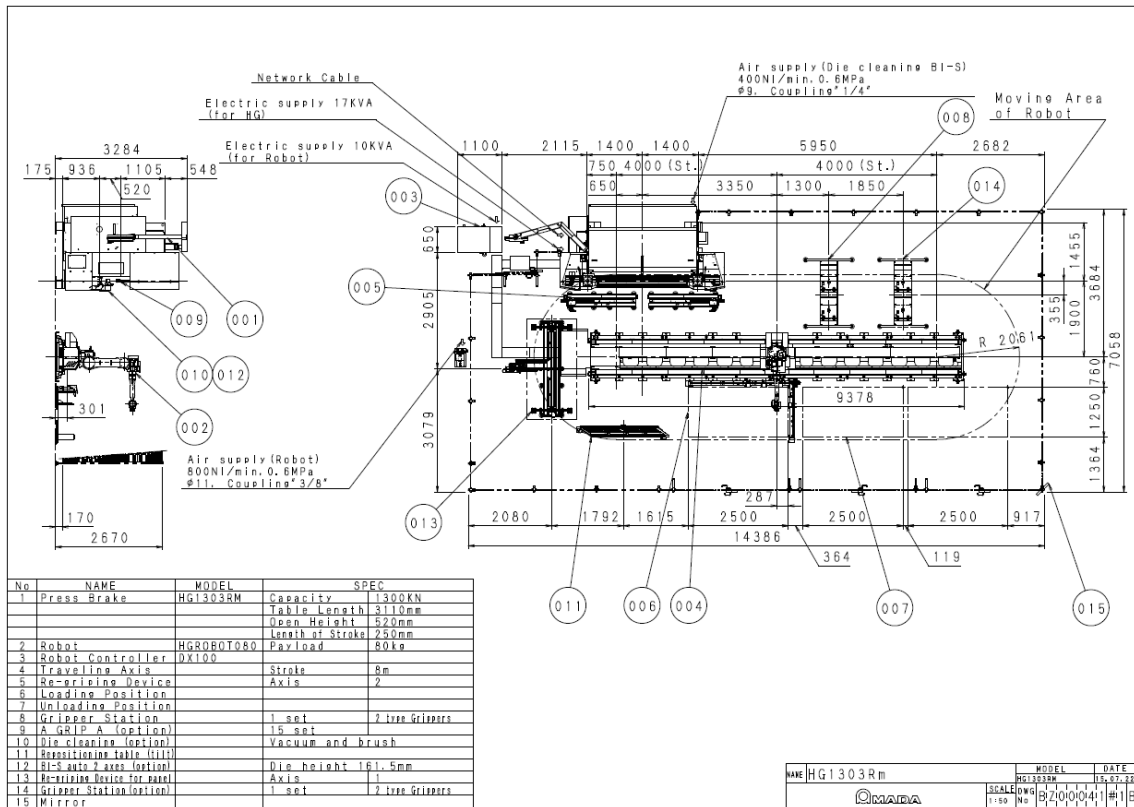
EG 6013 AR -solun layout kuva.



HG 1003 ARs -solun layout kuva.

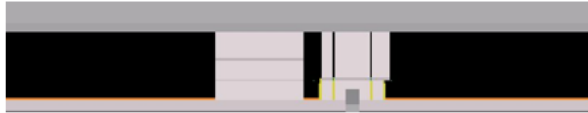
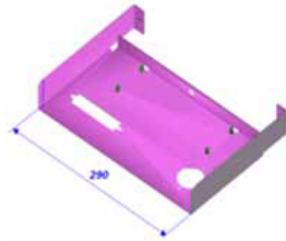


HG 1303 Rm -solun layout kuva.



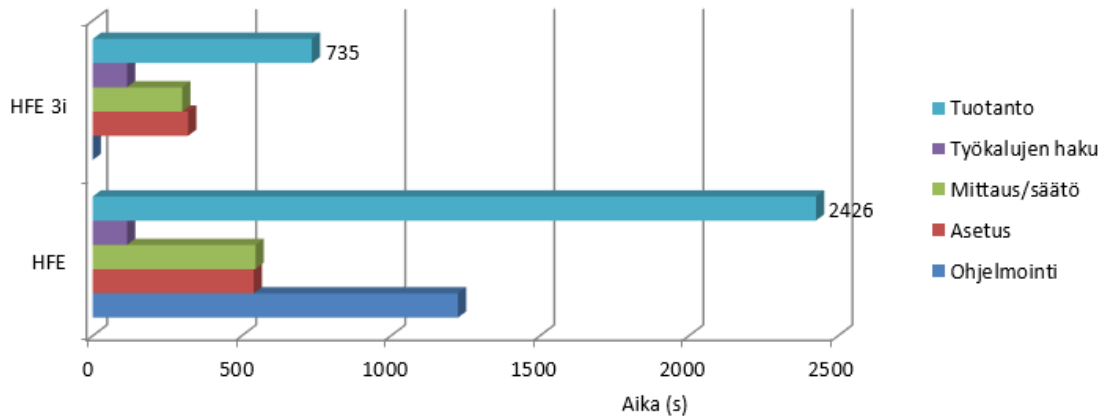
Vertailu 1. HFE 3i etäohjelmointi

Kappale
4C



Materiaali / Ainevahvuus EZ / 1.0mm
 Mitat 400 x 218.26 mm
 Särmäykset 4
 Työkalupaikat 4

		HFE	HFE 3i
Aika (s)	Ohjelmointi	1225	0
	Asetus	540	320
	Mittaus/säätö	546	300
	Työkalujen haku	115	115
	Kokonaisaika	2426	735



		HFE	HFE 3i									
Min	Asetus	40	12									
	Särmäysaika	0.93	0.87									
Tuotannon vertailu												
Kappaleita		1	5	10	20	50	100	500	1000	5000	10000	
Min	HFE	40	44	49	58	86	133	505	970	4690	9340	
	HFE 3i	12	16	20	29	55	98	446	881	4361	8711	

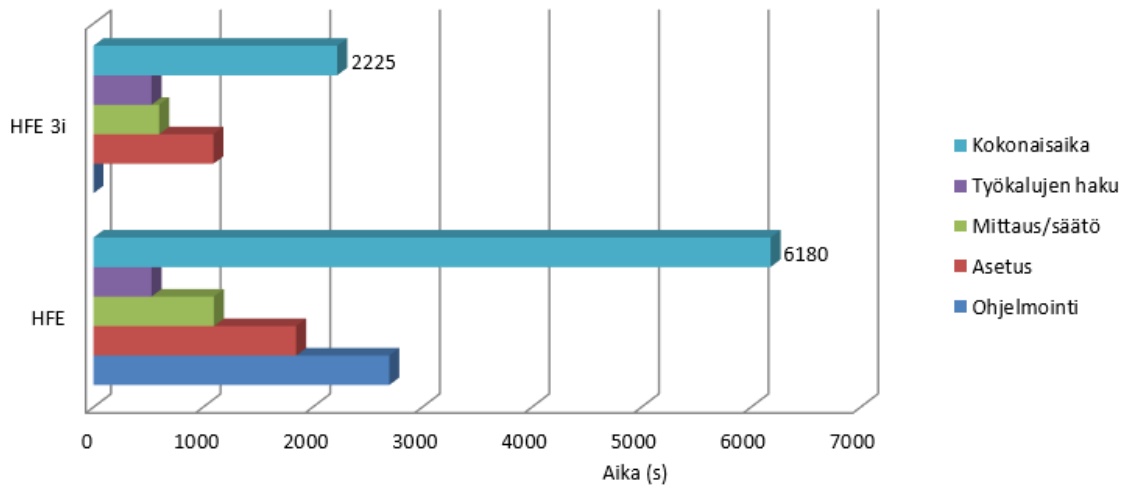
Vertailu 2. HFE 3i etäohjelmointi

Kappale
1H



Materiaali / Ainevahvuus EZ / Ep=1.0mm
 Mitat 696.52 x 467.52mm
 Särmäykset 10 plis
 Työkalupaikat 7

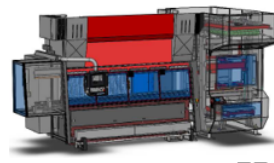
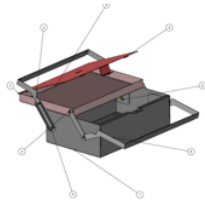
		HFE	HFE 3i
Aika (s)	Ohjelmointi	2700	0
	Asetus	1850	1095
	Mittaus/säätö	1100	600
	Työkalujen haku	530	530
	Kokonaisaika	6180	2225



		HFE	HFE 3i							
Min	Asetus	103	37							
	Särmäysaika	2.42	2.25							
Tuotannon vertailu										
	Kappaleita	1	5	20	50	100	500	1000	5000	10000
Min	HFE	56	65	98	166	278	1178	2303	11303	22553
	HFE 3i	37	46	80	147	260	1160	2285	11285	22535

Vertailu 3. HD ATC

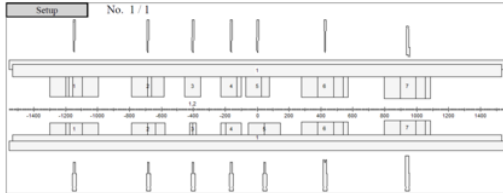
Työkalulaatikko



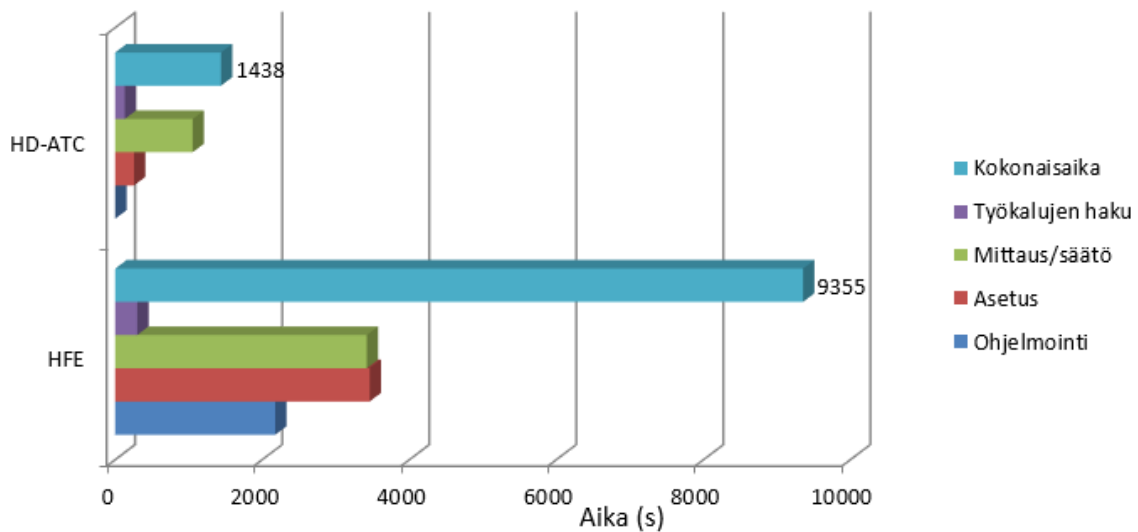
HD ATC SERIES

- ASTRO ATC
- Bi-S AUTO
- AUTO SLIDE PEDAL

Material/Thickness EZ / Ep=1.0mm
 Mitat 310 x 200 x 130 mm
 Särmäykset 5 osaa / 31 taivutusta
 Työkalupaikat 7

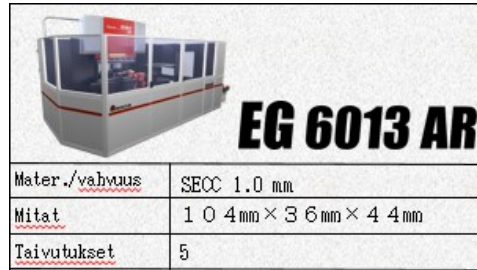


		HFE	HD-ATC
Aika (s)	Ohjelmointi	2175	0
	Asetus	3460	256
	Mittaus/säätö	3420	1053
	Työkalujen haku	300	129
	Kokonaisaika	9355	1438

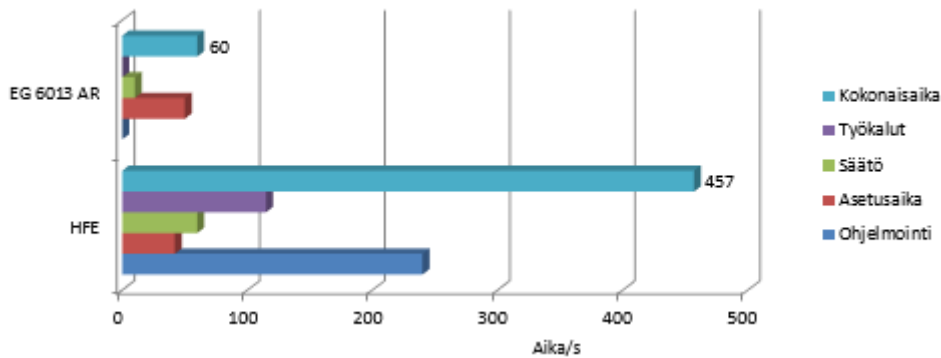


		HFB	HG-ATC							
Min	Asetusaika	156	24							
	Särmäysaika	5.20	4.50							
Tuotannon vertailu										
Kappaleita		1	10	20	50	100	500	1000	5000	10000
Min	HFE	96	141	191	341	591	2591	5091	25091	50091
	HG-ATC	24	65	110	245	470	2270	4520	22520	45020

Vertailu 4. EG 6013 AR



		HFE	EG 6013 AR
Aika (s)	Ohjelmointi	240	0
	Asetus	42	50
	Mittaus/säätö	60	10
	Työkalujen haku	115	0
	Kokonaisaika	457	60



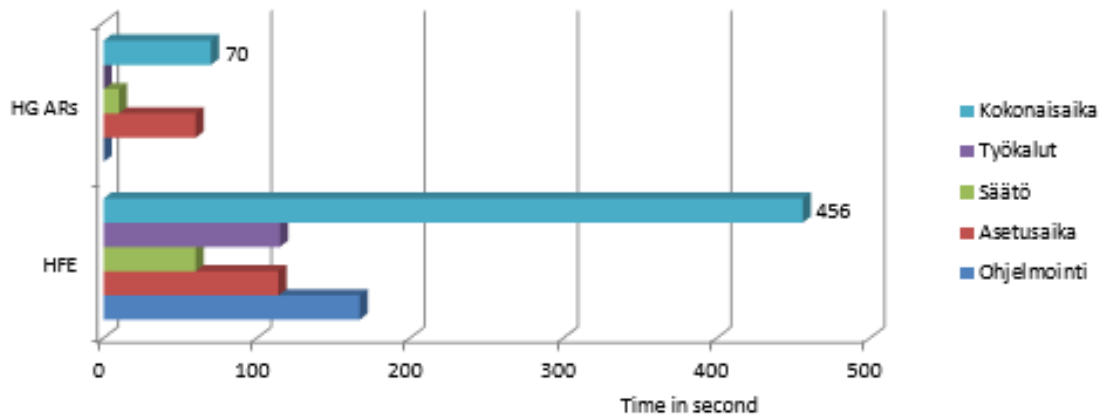
		HFE	EG 6013 AR			
s	Asetus	397	50			
	Särmäysaika	49	63			
Tuotannon vertailu						
	Kappaleita	1	5	10	20	50
s	HFE	446	642	887	1377	2847
	EG 6013 AR	113	365	680	1310	3200

Vertailu 5. HG 1003 ARs

Kappale 6B



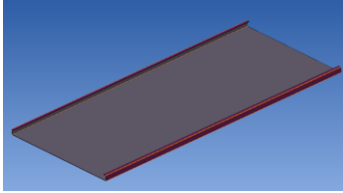
		HFE	HG ARs
Aika (s)	Ohjelmointi	167	0
	Asetus	114	60
	Mittaus/säätö	60	10
	Työkalujen haku	115	0
	Kokonaisaika	456	70



		HFE	HG ARs		
S	Asetus	229	60		
	Särmäysaika	47	84		
Tuotannon vertailu					
	Kappaleita	1	5	10	20
S	HFE	503	691	926	1396
	HG ARs	144	480	900	1740

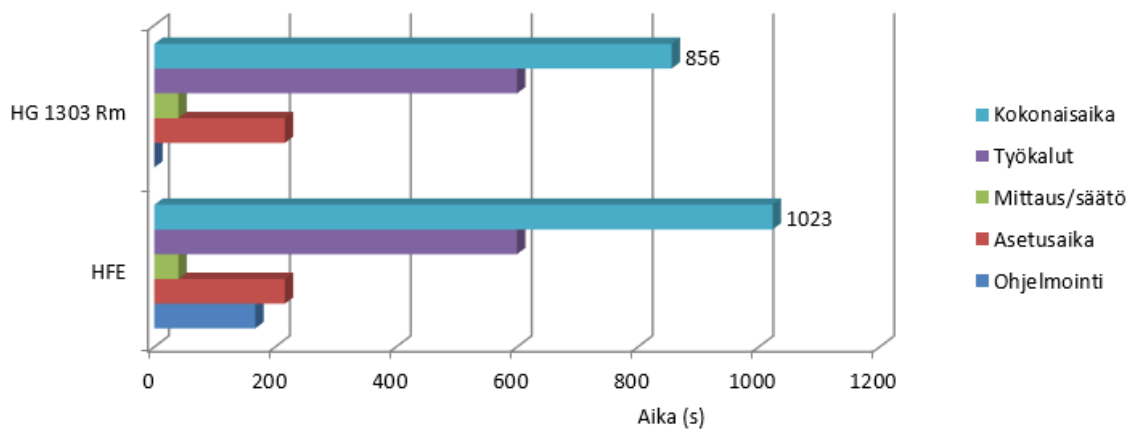
Vertailu 6. HG 1303 Rm

Kappale 6C



Materiaali/vahvuus: FE-1.0
 Mitat: 2500 x 1100 x 51 mm
 Taivutukset: 4

		HFE	HG 1303 Rm
Aika (s)	Ohjelmointi	167	0
	Asetus	216	216
	Mittaus/säätö	40	40
	Työkalujen haku	600	600
	Kokonaisaika	1023	856



		HFE	HG 1303 Rm			
s	Asetus	816	816			
	Särmäysaika	101	109			
Tuotannon vertailu						
	Kappaleita	1	5	10	20	50
s	HFE	917	1321	1826	2836	5866
	HG 1303 Rm	925	1361	1906	2996	6266