

Saimaan ammattikorkeakoulu
Tekniikka Lappeenranta
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Tuotantotekniikka ja kunnossapito

Jyrki Riuttala

OVENSULKIMEN MÄNNÄN VALMISTUKSEN KEHITTÄMINEN

Opinnäytetyö 2011

TIIVISTELMÄ

Jyrki Riuttala

Ovensulkimen männän valmistuksen kehittäminen, 43 sivua, 6 liitettä

Saimaan ammattikorkeakoulu, Lappeenranta

Tekniikka, Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Tuotantotekniikka ja kunnossapito

Opinnäytetyö 2011

Ohjaajat: Lehtori Veli-Pekka Jurvanen, Saimaan ammattikorkeakoulu;

Valmistuspäällikkö Kimmo Kuusela, Abloy Oy

Abloy Oy valmistaa useita ovien avaamiseen, lukitsemiseen ja sulkemiseen liittyviä tuotteita. Eräs tuoteryhmä on mäntä-sylinteri-mekanismin perustuvat ovensulkimet. Opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia hammasakselikäyttöisen ovensulkimen männän valmistusta ja etsiä keinoja männän valmistuskustannusten pienentämiseksi.

Toimivan mäntä-sylinteri-mekanismin valmistaminen on monivaiheinen ja monivaiheinen prosessi. Mäntään kohdistuvat lujuus- ja tarkkuusvaatimukset ovat suuret. Nykyisin mäntä valmistetaan alihankitusta takoaihiosta valmiiksi ovensulkimen osaksi viidessä eri vaiheessa. Opinnäytetyössä keskitytään lähinnä takoaihion sorvaamiseen ja sorvatun aihion hammastuksen muodostamiseen aventamalla. Männän hammastus joudutaan valmistamaan suljetun profiilinsa vuoksi verrattain kalliita avenninteriä käyttäen. Erityisesti avenninterien kesto ja teroitusväli on koettu ongelmalliseksi. Ovensulkimen männän valmistamisen kehittämistä on Abloylla tutkittu tarkasti myös aikaisemmin. Alalla tapahtuneen voimakkaan kehityksen vuoksi on kuitenkin aiheellista tutkia männän valmistuksen eri vaihtoehtoja tarkemmin jälleen uudelleen.

Tehtyjen selvitysten perusteella hammasprofiili voitaisiin valmistaa mäntiin myös esimerkiksi vesileikkaamalla, kipinätyöstöön perustuvalla lankasahauksella tai jopa laserleikkaamalla. Nämä menetelmät eivät kuitenkaan nopeutensa tai tarkkuutensa puolesta sovellu ovensulkimen männän sarjatuotantoon. Vaihtoehtoisina männän valmistusmenetelminä on tutkittu tarkkuusvalua, metallien ruiskuvalua eli MIM-prosessia sekä irtokomponenteista liittämistä. Mäntä on kuitenkin haasteellinen osa tutkituille valumenetelmille: kumpikaan ei varsinaisesti sovellu männän valmistusmenetelmäksi. Irtokomponenttiratkaisua tutkittiin tarkemmin valmistamalla laserhitsattuja prototyyppikappaleita. Näiden prototyyppikappaleiden testausten perusteella mäntä on mahdollista valmistaa myös komponenteista liittämällä, mutta tällöin valmistuskustannukset nousevat moninkertaisiksi.

Tavoitteen mukaista uutta valmistusmenetelmää tai muuta keinoa hammasakselikäyttöisen männän valmistuskustannusten pienentämiseksi ei löytynyt. Tämä osoittaa nykyisen valmistusmenetelmän olevan tehokas ja pitkälle optimoitu.

Asiasanat: tuotantotekniikka, tehostaminen, aventaminen, laserhitsaus, mäntä

ABSTRACT

Jyrki Riuttala

Developing production methods for a door closer's piston, 43 pages, 6 appendices

Saimaa University of Applied Sciences, Lappeenranta

Technology, Mechanical Engineering and Production Technology

Production Technology and Maintenance

Bachelor's thesis 2011

Mentors: Mr. Veli-Pekka Jurvanen, lecturer, Saimaa University of Applied Sciences; Mr. Kimmo Kuusela, manufacturing manager, Abloy Oy

Abloy Oy produces many products related to opening, closing and locking of doors. One product group is mechanical door closers, which are based on the principle of a piston-cylinder-mechanism. The aim of this thesis was to investigate the production of rack-and-pinion based door closer's pistons and seek out methods for decreasing the production costs of these pistons.

Producing a highly efficient piston-cylinder-mechanism is a complicated and multi-phased process. The strength and tolerance requirements for the piston are demanding. Currently, the production of the piston starts from an outsourced forged blank, which is then processed into an accurate piston in five different phases. This thesis focused mainly on the rough forming of the piston shape by turning and producing the rack teeth by broaching. Due to the closed profile of the piston, the rack must be formed by using a relatively expensive broaching tool. The tool life of these broaches has been found problematic. The development of production methods for a door closer's piston has been investigated closely at Abloy already earlier. Due to recent advances in technology and production methods, it is feasible to reinvestigate the different possibilities for producing the piston.

Based on the performed research and investigations, the rack profile could also be formed, for instance, by cutting with a water jet, a laser or an electric discharge machine. These methods, due to their inherent inaccuracy or slow cutting speed, however, are not suitable for mass producing the rack on the pistons. Investment casting, metal injection moulding and joining from components have been investigated as completely alternative production methods for the door closer's piston. The piston is a complicated piece for the near-net-shape processes, though. Neither is fully suitable as an alternative method. The component solution was investigated further by producing laser-welded piston prototypes. The tests performed on these prototypes proved that the piston can successfully be produced by joining from components. On the other hand, the production costs with this method are extremely high.

Thus, a new production method or another way of reducing the production costs of the door closer's piston was not found. However, this mainly shows that the current production method is highly efficient and well optimized.

Keywords: production technology, optimization, broaching, laser welding, piston

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	5
2	ABLOY OY.....	5
3	OVENSULKIMET.....	6
4	LÄHTÖTILANNE.....	7
4.1	Haasteet.....	7
4.2	Menetelmät ja rajoitukset.....	7
5	MÄNNÄN VALMISTUS.....	8
5.1	Männän vaatimusprofiili.....	9
5.2	Nykyinen menetelmä.....	10
5.3	Ongelmakohdat.....	10
5.4	Tiivisteet vaihtoehtona.....	11
6	AIKAISEMMAT TUTKIMUKSET.....	12
6.1	Alkuvaiheet.....	12
6.2	Insinööri työ.....	13
6.3	Mäntäprojekti.....	14
6.4	Mäntä ja hammasakseli-selvitystyö.....	15
7	VAIHTOEHTOISIA HAMMASTUKSEN VALMISTUSMENETELMIÄ.....	16
7.1	Vesileikkaus.....	17
7.2	Lankasahaus.....	18
7.3	Laserleikkaus.....	19
7.4	Soveltuvuus.....	20
8	VAIHTOEHTOISIA MÄNNÄN VALMISTUSMENETELMIÄ.....	20
8.1	MIM.....	21
8.2	Tarkkuusvalu.....	23
8.3	Irtokomponenteista liittäminen.....	25
8.4	Soveltuvuus.....	26
9	TESTAUKSET.....	29
9.1	Avoin mäntä.....	30
9.2	Laserhitsattu mäntä.....	30
10	TULOKSET JA NIIDEN ANALYSOINTI.....	33
10.1	Avoin mäntä.....	34
10.2	Laserhitsattu mäntä.....	35
11	NYKYMENETELMIEN KEHITYS.....	37
12	YHTEENVETO.....	38
	LÄHTEET.....	41

LIITTEET

Liite 1 Männän vaatimusprofiili

Liite 2 Mäntien kustannusrakenne

Liite 3 Tuotantomallien geometriamittaukset

Liite 4 Avointen mäntien mittauspöytäkirjat

Liite 5 Laserhitsattujen mäntien puristustestaus

Liite 6 Laserhitsattujen mäntien kulutustestaus

1 JOHDANTO

Kotimainen valmistava teollisuus kohtaa tänä päivänä kiristyvää kansainvälistä kilpailua. Globaaleilla markkinoilla menestyminen edellyttää tuotannon tehostamista ja optimointia. Länsimaissa tapahtuva tuotanto kykenee kilpailemaan matalien henkilöstökulujen maita vastaan panostamalla tuotannon joustavuuteen ja automaatioon. Tehokas tuotantoprosessi valmistaa tuotteen kerralla valmiiksi; ylimääräiset työvaiheet on karsittava. Lisäksi on huomioitava erikoistumisen ja alihankinnan mahdollisuudet. Tuotantoa voidaan tehostaa keskittymällä ja erikoistumalla valmistuksen ydinosaamiseen ja käyttämällä omaan alaansa erikoistuneen alihankkijan palveluita tuotannon muihin vaiheisiin. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on etsiä tällaisia tuotannon tehostamis- ja kehitysratkaisuja Abloy Oy:n ovensulkimien mäntien valmistukseen.

2 ABLOY OY

Abloy Oy on osa kansainvälistä ASSA ABLOY -konsernia. Konsernin palveluksessa on yhteensä noin 30000 työntekijää ja sen liikevaihto on noin 3 miljardia euroa. Abloy Oy on keskittynyt lukkojen, lukitusjärjestelmien ja rakennusheloiden valmistamiseen. Lisäksi Abloy panostaa huomattavasti sähkölukkojen tuotekehitykseen sekä haittaley sylinteritekniikan kehittämiseen. Abloy Oy:n toiminta-ajatus on kehittää lukitusratkaisuja, joiden turvallisuus, miellyttävä ulkonäkö ja helppokulkuisuus tyydyttävät loppuasiakkaiden ja rakennusteollisuuden yhteistyökumppaneiden tarpeet. /1./

Abloy Oy Joensuun tehdas työllistää noin 800 henkilöä. Tehdas valmistaa laajaa valikoimaa lukkoja, ovensulkimia ja ovikoneistoja monenlaisiin käyttökohteisiin. /2./

3 OVENSULKIMET

Abloy valmistaa useanmallisia ovensulkimia erilaisiin käyttötarkoituksiin. Abloyn ovensulkimet ovat huipputuotteita niin laadultaan kuin toiminnoiltaan. Laaja ovensuljinmallisto on varustettavissa joko perinteisillä tai liukuvetolaitteilla. Niinpä Abloyn ovensuljinmallistosta löytyy ratkaisu mitä erilaisimpiin käyttötarkoituksiin ja olosuhteisiin (kuvat 1 ja 2). /3./



Kuva 1. Abloy ovensuljin vetolaitteineen /3/



Kuva 2. Abloy-ovensulkimen leikkauskuva /4/

Ovensulkimen toiminta perustuu jousi ja mäntä -mekanismiin. Abloyn ovensulkimissa on käytössä kahta erityyppistä mäntäratkaisua: perinteinen hammasakselia seuraava rakenne tai uudempi nokka-akselia seuraava rakenne. Molemmille on yhteistä, että ovensulkimen akselin kiertoliike saadaan välitettyä männän lineaariliikkeeksi ja jousen puristumaksi. Ovea aukaistaessa sulkimen mäntä puristaa jousen jännitykseen. Oven vapautuessa jousi työntää mäntää takaisinpäin, sulkien oven. Sulkimen sisällä on lisäksi hydraulikkaöljyä, jonka virtausta säätämällä voidaan vaikuttaa oven sulkemisnopeuteen ja muihin ominaisuuksiin, kuten avautumisjarruun. /3./

4 LÄHTÖTILANNE

Opinnäytetyön tarkoituksena on analysoida ja tutkia ovensulkimen männän valmistusta. Tavoitteena on löytää perusteltu ja käyttökelpoinen ratkaisu hammasakselikäyttöisten mäntien valmistuskustannusten pienentämiseen.

4.1 Haasteet

Hammasakselikäyttöisten ovensulkimien mäntien valmistuskustannukset ovat verrattain suuret. Männän valmistus on monimutkainen ja monivaiheinen prosessi. Erityisesti männän hammastuksen valmistamisen koetaan olevan ongelmakohta tuotantoketjussa. Avennalla valmistettavan hammastuksen työkalukustannukset ovat korkeat eikä työkalujen kestoikä ole toivotun kaltainen. Lisäksi männän aihiointiin käytettävä sorviliinjasto tulee vaatimaan uudistamista lähivuosina. /5./

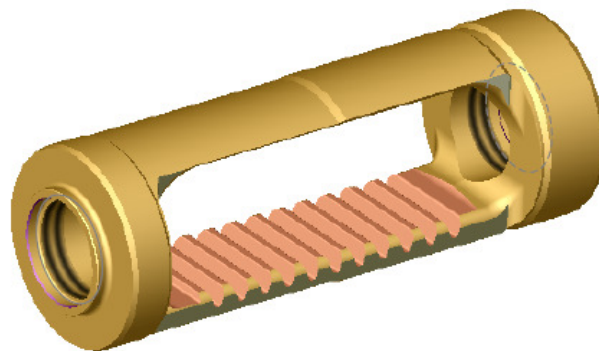
4.2 Menetelmät ja rajoitukset

Työssä kartoitetaan männän valmistuksen nykytilanne ja sen ongelmakohdat. Lisäksi etsitään vaihtoehtoisia tuotantoratkaisuja männän ja sen hammastuksen

valmistamiselle. Mahdollisia vaihtoehtoisia valmistusmenetelmiä ei Abloyn puolesta ole rajoitettu lainkaan. Niinpä työ on koneinsinöörin näkökulmasta varsin mielenkiintoinen. Tarkemmat rajoitukset kohdistuvatkin lähinnä valmiin männän ulkomuotoon, pinnanlaatuun sekä kovuus- ja lujuusominaisuuksiin. Tarkoituksena onkin, että mitään mäntään liittyviä komponentteja ei tarvitse muuttaa. Täten myös männän päämittojen ja -geometrioiden tulee säilyä oleellisesti muuttumattomina. /5./

5 MÄNNÄN VALMISTUS

Mäntä on ovensulkimen toiminnan kannalta keskeinen osa. Toimivan mäntä-sylinteri-yhdistelmän aikaansaaminen on oleellista ovensulkimen moitteettomalle toiminnalle. Niinpä vaatimukset täyttävien mäntien ja ovensulkimien runkojen valmistuksesta on muodostunut Door Control -liiketoimintayksikön keskeinen osaamisalue. Kuvassa 3 on esitetty CAD-malli valmiista ovensulkimen männästä. /5./



Kuva 3. Ovensulkimen mäntä /6/

Esitetyn kaltainen mäntä on tyypiltään suljettu, eli sen päägeometria muodostaa suljetun kehärakenteen. Kuvasta 3 käy myös ilmi muita männän pääpiirteitä kuten hammastus ja päätyporaukset kierteineen. Opinnäytetyössä käsitellään kahta samantyyppistä mäntämallia. Männät poikkeavat toisistaan lähinnä ulko-

halkaisijansa osalta. DC400-mallinimellä käsiteltävän männän ulkohalkaisija on noin 38 mm kun taas DC335-mallinimellä käsiteltävän männän ulkohalkaisija on noin 34 mm /6; 7/.

5.1 Männän vaatimusprofiili

Männältä edellytetään useita erilaisia ominaisuuksia toimiakseen ovensulkimen osana. Vaikka käsittelyssä olevat kaksi mäntätyyppiä ovat päämitoiltaan erilaiset, niiltä vaadittavat ominaisuudet ovat kuitenkin käytännössä samankaltaiset. Vaadittavat ominaisuudet on käsitelty yksityiskohtaisesti kunkin mäntätyyppin työpiirustuksissa kullekin työvaiheelle. Männän tarkempi vaatimusprofiili on esitetty liitteessä 1; pääpiirteittäin männän vaatimusprofiili on kuitenkin seuraavanlainen.

Erilaisten kulumismekanismien hallitsemiseksi männältä vaaditaan kohtalaista pintakovuutta. Männän tarkka liike ovensulkimen sylinterissä vaatii männän vaippapinnalta erinomaisen pinnanlaadun, ulkohalkaisijalta hyvän mittatoleranssin sekä suoruudelta ja ympyrämäisyydeltä erillisten geometrinen toleranssien mukaan määritellyt arvot. Hammastuksen tarkka toiminta edellyttää hampaiden mittatarkkuutta sekä hyvää pinnanlaatua. Männän muiden koneistettavien muotojen mittatoleransseissa esiintyy verrattain tiukkoja toleranssialueita. Öljyn virtausta säätelevien venttiilipakettien asentamiseksi männän muotoihin on määritely myös lukuisia pienehköjä sisäpuolisia pyöristyssäteitä. /7; 8; 9/

Lisäksi mäntiin kohdistuu muun muassa jousi-, hammas- ja hydraulivoimien kautta erilaisia kuormituksia. Männän lujuuden kannalta vaativin tilanne on oven nopeassa avauksessa, jossa mäntään kohdistuu suurin jousivoima yhdistettynä ylikuormitusventtiilin rajoittamaan hydraulipaineeseen. Männän tulee tietenkin kestää nämä kuormitukset murtumatta ja ilman pysyviä muodonmuutoksia. Ovensulkimelta vaadittu kestoikä ja täten myös männän vaadittu kestoikä on hyväksyntästandardin mukaisesti vähintään 500000 oven avaus- ja sulkuliikettä. /10./

5.2 Nykyinen menetelmä

Nykyisin männän valmistus kokoonpanovalmiiksi käsittää viisi erillistä työvaihetta: sorvaus, avennus, pesu, lämpökäsittely ja hionta. Männät saapuvat alihankkijalta tuotantoon nuorrutusteräksisinä takoaihioina. /5./

Aihioihin koneistetaan tehtaalla tarkemmat muodot erillisellä mäntälinjalla, joka muodostuu sorveista, aventimista, kappaleenkäsittelyrobotista sekä näiden välisistä kuljettimista. Koneistamalla mäntään saadaan sen pääasialliset toiminnalliset muodot ja ominaisuudet. Koneistetut männät pestään jatkokäsittelyjä varten. /5./

Mäntien lämpökäsittely suoritetaan alihankintana. Lämpökäsittelymenetelmänä toimii työtyskarkaisu, joka takaa männälle riittävän pintakovuuden kulutuskestävyyden saavuttamiseksi mutta toisaalta säilyttää männän perusaineen sitkeyden. /8./

Karkaistut männät saapuvat takaisin tehtaalle hiontaan, jossa ne saavat lopullisen tarkan muotonsa ja vaadittavan pinnanlaadun ohjainpintoihinsa. Tämän jälkeen männät ovat valmiita kokoonpanoon. Liitteessä 2 on käsitelty kunkin mäntätyypin kustannusrakenteet, vuosikulutukset ja tuotannon tahtiajat. /5./

5.3 Ongelmakohdat

Männän hammastuksen valmistaminen on suljetun profiilin takia haastavaa. Perinteiset hammastuksen valmistusmenetelmät eivät suljetun geometrian vuoksi ole mahdollisia. Hammastuksen valmistamiselle olisi enemmän vaihtoehtoja, mikäli männän päägeometria olisi muodoltaan avoin. Hammastuksen vastakkaisen profiilin poistaminen geometriasta mahdollistaisi esimerkiksi vierintä- tai muotojyrsinnän hammastuksen valmistusmenetelmäksi. /11./

Männän pieni koko ja verrattain suuret kuormitukset ovat kuitenkin materiaalivannan ja geometrian kannalta haastavia. Männän yläpuolisen tukipalan poista-

minen geometriasta tekee rakenteesta huomattavasti joustavamman kuormituksen alaisena. Tästä johtuen männän päädyt pääsevät taipumaan toisiinsa nähden. Tämä on ovensulkimen toiminnan kannalta haitallista, sillä mäntä ei taipuessaan enää ole tiivis sulkimen runkoon nähden. Lisäksi taipuva mäntä kuluttaa suljinta voimakkaasti aiheuttamalla pintaan naarmuja ja jopa ”vuolemalla” runkoainetta. Kulunut ovensuljin ei enää toimi suunnitellun mukaisesti. Niinpä suljetun rakenteen aventaminen on ollut varsin tehokas ja perusteltu ratkaisu hammastuksen valmistamiselle. /11./

Eräs kriittinen kohta hammastuksen valmistuksessa on sopivan tyvivälyksen muodostaminen. Liian pieni tyvivälyys johtaa hammastuksen nopeaan kulumiseen ja usein myös mekanismin jumiutumiseen. Toisaalta liian suuri tyvivälyys heikentää hammastuksen kestoa hammaskosketuksen ollessa suunniteltua pienempi. Muiden lähinnä liityntäosien asettamien rajoitteiden vuoksi männän hammastus on jouduttu valmistamaan tyvistetyllä kärjellä ja verrattain pienellä moduulilla. Tämä edelleen korostaa sopivan hammasvälyksen tärkeyttä. /12./

Valmistuksen kannalta suurimmat ongelmat johtuvat takoihioiden mittapoikkeamista. Tämä ongelma korostuu etenkin avennuksessa, missä pienikin paikoitusvirhe voi aiheuttaa avennintyökalun jumiutumista. Osasyynä tähän ongelmaan on todennäköisesti myös avennintyökalun muoto. Karkean taepinnan koneistaminen lyhentää työkalujen kestoikää huomattavasti. Taontatarkkuuden rajoitusten vuoksi sekä sorvauksessa että avennuksessa joudutaan koneistamaan verrattain suuria lastutilavuuksia. Etenkin avennus helpottuisi huomattavasti, mikäli aihio olisi lähempänä lopullista työstömittaansa. /13./

5.4 Tiivisteet vaihtoehtona

Perinteisissä mäntä-sylinteri-mekanismeissa osien keskinäisestä tiiveydestä vastaavat erilliset tiivisteosat. Abloyn ovensulkimen männissä ei kuitenkaan käytetä erillisiä tiivisteitä. Rungon ja männän välinen tiiveys on toteutettu näiden osien välisellä tarkalla sovitteella. Tämä edellyttää sekä männältä että rungolta erityisen hyvää mittatarkkuutta ja pinnanlaatua. /14./

Tiivisteettömään ratkaisuun on päädytty useista eri syistä. Monien ovensuljinmallien kokoonpano on varsin pitkälle automatisoitua. Tiivisteiden asentaminen on usein kuitenkin varsin tarkkaa käsityötä eikä se siten helposti sovellu automatisoitavaksi. Lisäksi tiivisteet tekisivät tuoterakenteesta monimutkaisemman ja lisääisivät tuotteen kustannuksia. Ongelmana on myös ollut toimivan tiivistemallin löytäminen. Ovensulkimen rungossa on useita porauksia öljyn virtauksen säätelemistä varten. Perinteiset tiivistemallit ja -materiaalit ovat osoittautuneet huonokestoisiksi joutuessaan liikkumaan tällaisten porausten yli. /14./

Männän tarkalla sovitteella runkoon on myös toiminnallisia ominaisuuksia. Riittävää tiiveyttä tarvitaan öljykanavien porausten vuoksi yhtäaikaisesti useassa männän kohdassa. Tämän vuoksi erillisten tiivisteiden käyttö ei varsinaisesti helpottaisi männän vaippapinnan tarkkuusvaatimuksia muilta osin. Lisäksi joissain tapauksissa suhteellista tiiveyttä vaaditaan samanhetkisesti varsin leveältä alueelta. Tällaiseen tarkoitukseen ei ole löytynyt sopivia tiivisteitä. Kaiken kaikkiaan, männän tiiveys ovensulkimen runkoon on varsin hyvin hallinnassa nykyisellä, tiivisteettömällä ratkaisulla. /14./

6 AIKAISEMMAT TUTKIMUKSET

Ovensulkimien vahvasta tuotekehityksestä huolimatta tietyt perusasiat mäntäjousi-mekanismiin perustuvissa ovensulkimissa ovat pysyneet pitkälti muuttumattomina. Rajoittavana tekijänä on lähinnä ollut vakiintunut asennuspulttijako, joka puolestaan osaltaan määrittää suurimman mahdollisen männän halkaisijan /15, s.32/. Hammasakselikäyttöisten mäntien valmistuksen kehittämistä on Abloylla tutkittu tarkemmin useiden projektien myötä.

6.1 Alkuvaiheet

Hammastuksen valmistamisen yksinkertaistamista on kokeiltu useilla eri ratkaisuilla. 1970-luvulla mäntä valmistettiin valurauta-aihiosta jyrsimällä ja aventa-

malla. Ratkaisun ongelmana oli lähinnä suuri lastuamalla poistettava tilavuus jokaisesta männästä sekä erityisesti tästä aiheutuvat kustannukset ja raaka-ainehukka. 1980-luvun alussa siirryttiin palamäntäratkaisuun, jossa hammastuksen yläpuolinen tukipinta oli aluksi irrallinen, ja se liitettiin mäntään niittamalla ennen lopullista koneistusta. Lastuttavia tilavuuksia oli saatu pienennettyä tuoterakenteen monimutkaistumisen kustannuksella. Lisäksi pitkäaikaiset testit osoittivat niittiliitoksen joustavan raskaiden kuormitusten alaisena. Vähitellen huomattiin niittauksessa myös erilaisia kesto-ongelmia. /11./

6.2 Insinööriytyö

Ovensulkimien suunnittelua ja tuotekehitystä on käsitelty myös Vesa Kuvajan vuonna 1991 valmistuneessa insinööriytyössä. Tämän työn tuloksina on aikaan saatu muun muassa ensimmäiset mittauksiin perustuvat arvot ovensulkimen todellisista hydraulipaineista sekä testaustuloksia männän taipumista erilaisilla kuormilla. /15./

Erinäisten mittausten ja käytännön kokemusten kautta palamännän joustamisongelmat tulivat selvemmiksi. Ongelmat korostuivat ovensulkimen alumiinisen rungon kulumisena, etenkin niissä ovensuljinmalleissa, joissa käytettiin avautumisjarrua. Eräänä ratkaisuna pidettiin siirtymistä jäykempään mäntämalliin, jossa koko mäntä on valmistettu yhdestä kappaleesta ilman erillisiä liitoksia. /15, s.26-27./

Lisäksi hammasakselin ja männän hammastuksen tutkiminen ja uudelleenmitoittaminen havaittiin tarpeelliseksi. Aikaisempi hammasakselimalli ei kestänyt raskaimmissa testeissä. Ongelmana oli erityisesti hammasakselin yksittäisten hampaiden murtuminen juuresta. Näin ollen hammasakselin uusi mitoitus suoritettiin tyvilujuuden mukaan. Tuloksena havaittiin, että hammastuksen tyvilujuutta voitaisiin parantaa valitsemalla hammastukseen suurempi moduuli. /15, s.32-34./

6.3 Mäntäprojekti

Erään ovensulkimen tuotekehityksen yhteydessä toteutettiin myös männän valmistusmenetelmien kehitykseen keskittynyt mäntäprojekti. Tästä ovensulkimen mäntäprojektista arkistoidut dokumentit kattavat historiatietoja, raportteja, tarjouspyyntöjä, testejä ja suunnitelmia projektin aloitusvuodesta 1989 vuoteen 1991. /16./

Mäntäprojektin aloituspalaverissa on käyty läpi useita erilaisia vaihtoehtoja männän valmistukselle. Tällöin suunnittelun perusteena ovat olleet pienemmät jousivoimat mutta männän halkaisija on pysynyt samana, DC335-mallia vastaavana. Ideoituja valmistusmenetelmiä ovat olleet muun muassa sintraus, taonta sekä erilaiset valumenetelmät. Männän rakennetta on pohdittu muutettavan erilisistä paloista tai ainesputkesta koostuvaksi ja lisäksi liitosmenetelmistä on käsitelty hitsausta ja juottoa. /17./

Hammastuksen keston ja männän taipumien ratkaisuksi on esitetty hammastuksen siirtämistä männän keskilinjaan. Tällöin hammastuksen alle jäisi enemmän ainepaksuutta ja rakenne olisi kestävämpi ja jäykempi. Kyseinen ratkaisu kuitenkin vaatisi mittavia muutoksia liittyviin osiin ja ovensulkimen runkoon, eikä sitä täten ole viety eteenpäin. /18./

Projektin edetessä on erinäisten tarjousten ja selvitysten pohjalta jouduttu karsimaan useita männän valmistusvaihtoehtoja. Useimmissa tapauksissa ratkaisevana tekijänä ovat olleet kustannukset. Esimerkiksi tarkkuusvalu-, valuteräs- ja valurautavaihtoehtojen on katsottu olevan liian kalliita. Kaksiosainen mäntä tai ahioputkesta valmistaminen eivät myöskään vaikuttaneet lupaavilta. Toisaalta, sintraaminen tai palarakenteesta valmistaminen ovat osoittautuneet olevan lisäselvitysten arvoisia vaihtoehtoja. /19./

Konstruktiovaihtoehtojen kartoittamisen lisäksi mäntäprojektissa on käyty lävitse eri materiaalivaihtoehtoja. Raaka-ainetestausten perusteella on todettu kesto-ongelmia useilla eri materiaaleilla. Ainoastaan erään testatun nuorrutusteräksen on todettu olevan riittävän kestävä. Männän rakenteen osalta on todettu mer-

kittäviä kulumis- ja kesto-ongelmia irtopalaratkaisulla. Yksiosaisen rakenteen on ajateltu olevan riittävän kestävä, ”varmanpäälle”-ratkaisu. Huomionarvoista on, että suurimpien kulumis- ja kesto-ongelmien on havaittu kohdistuvan kuitenkin mäntää käyttävään hammasakseliin. Usein hammasakselin vaurioituminen on aiheuttanut myös männän ja sulkimen rungon rikkoutumisen. Tämän vuoksi on aloitettu erillinen selvitystyö hammasakselin lujuusominaisuuksien parantamiseksi. /20./

Mäntäprojektin tuloksena on päädytty tukipalattomaan, yhdestä kappaleesta valmistettuun mäntärakenteeseen. Tuotantomenetelmäksi on valittu aiheista koneistaminen. Tämän perusteella on aloitettu tuotantoinvestointien suunnittelu ja valmistelu mäntälinjan työstökoneiden osalta. Laaja mäntäprojekti selvityksineen ja testeineen tuotti paljon arvokasta aineistoa eri valmistusmenetelmistä ja etenkin niiden soveltuvuudesta monimutkaisen ja vaativan tuotteen valmistamiseen. /21./

6.4 Mäntä ja hammasakseli -selvitystyö

Männän ja hammasakselin kulumista ja mitoitusta on analysoitu myös konsulttiyhtiö Credeltco Oy:n vuonna 2007 tekemässä selvitystyössä. Tuloksina on saatu mielenkiintoisia näkemyksiä männän ja hammasakselin valmistamisesta. /22./

Erilaisten ja erilailla lämpökäsiteltyjen terästen kimmomoduuli on likimain vakio. Näin ollen männän ja hammasakselin jäykkyyttä taivutusta vastaan voidaan parantaa vain uudelleenmitoituksella tai radikaalisti erilaisella materiaalivalinnalla. Esimerkiksi hammasakselin aseman siirrolla kahdella millimetrillä männän keskilinjaan nähden olisi jo huomattava vaikutus männän taipumaan. Männän taipuma vaikuttaa omalta osaltaan myös mekanismin kitkavoimiin ja tätä kautta ovensulkimen hyötysuhteeseen. Männän ja rungon väliseen kitkaan voitaisiin vaikuttaa myös erilaisilla pinnoitteilla. /22./

Suurin osa selvitystyössä esitetyistä muutoksista ja parannuksista männän ja hammasakselin konstruktion edellyttäisi mittavia muutoksia työmenetelmiin, -koneisiin ja -laitteisiin. Lisäksi esimerkiksi männän hammastangon paksuntaminen edellyttäisi rungon valumuotin ja muiden liityntäosien uudelleenmitoitusta. Tästä aiheutuisi myös ei-toivottu asennusmittojen muuttuminen. /22./

Epätasaisen hammaskosketuksen ja huonon ryntösuhteen on koettu olevan hammastuksen kriittisimpiä ongelmia. Hammastus ei toimi jouhevasti. Ratkaisuehdotuksena onkin esitetty ryntösuhteen parantamista erilaisia keinoja käyttäen. Eräs parannusehdotus on ollut hammasluvun pienentäminen. Hammasakselin hammasluvun pienentäminen nykyisestä on kuitenkin testauksissa aiheuttanut ovensulkimen hyötysuhteen alenemista. Hammastuksen jouhevuus on ongelmakohta, mutta liittyvien osien aiheuttamat mitoitus- ja muut rajoitukset ovat toistaiseksi estäneet paremman ryntösuhteen saavuttamisen. /22; 23./

Eräs varsin ristiriitainen parannusehdotus on hammastuksen moduulin pienentäminen. Selvityksessä on esitetty runsaasti perusteluja hammastuksen muodon muokkaamiselle. Hammastuksen moduuli, muut mitoitusrajoitukset huomioidaan ottaen, kuitenkin vaikuttaa oleellisesti hammastuksen tyvilujuuteen. Juuri tyvilujuus on ollut hammastuksen kestoiän kannalta ratkaisevassa asemassa. Aikaisempien tutkimusten perusteella tyvilujuuden parantamiseksi on päädytty juuri päinvastaiseen ratkaisuun, moduulin kasvattamiseen. /22; 15, s.32-34./

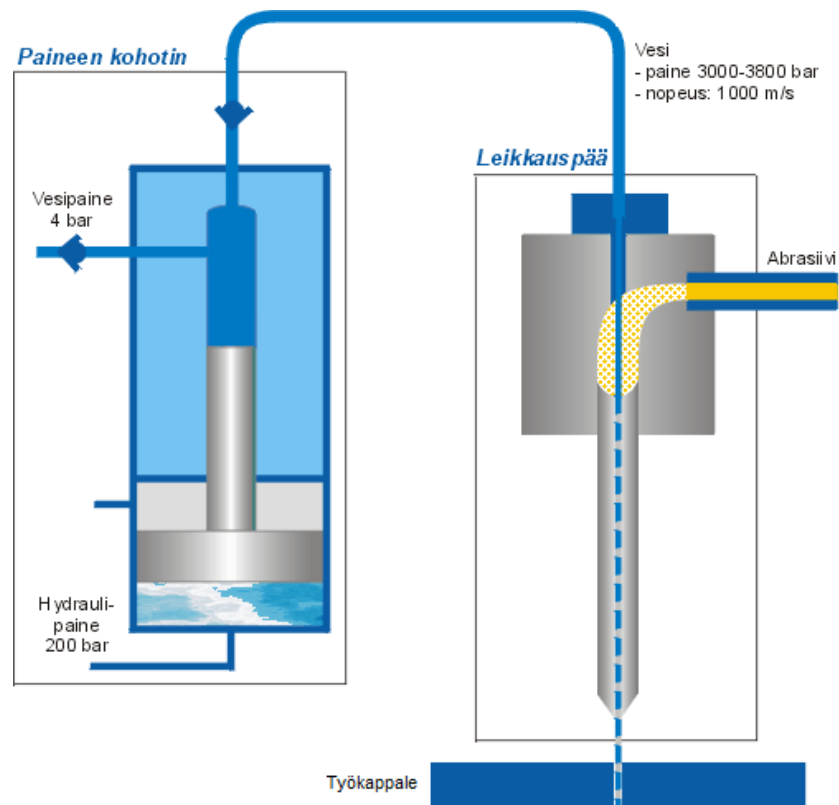
7 VAIHTOEHTOISIA HAMMASTUKSEN VALMISTUSMENETELMIÄ

Nykyteknologia mahdollistaa monia erilaisia menetelmiä metallin työstöön. Männän suljettu profiili luo kuitenkin haasteita, jonka vuoksi monet tavanomaiset työstömenetelmät eivät sovellu hammastuksen valmistamiseen. Seuraavaksi tarkastellaankin muutamia perinteisestä poikkeavia lävistäviä työstömenetel-

miä, joilla hammastuksen aventaminen voitaisiin korvata. Näitä ovat vesileikkaus, laserleikkaus ja kipinätyöstöön perustuva lankasahaus.

7.1 Vesileikkaus

Korkeapaineisen veden voima, tarvittaessa yhdistettynä abrasiiviseen mediaan, mahdollistaa mitä erilaisimpien materiaalien lävistävän leikkaamisen. Erityinen etu vesileikkauksessa (kuva 4) on käytännössä olematon lämmöntuonti, joten työstettäviin kappaleisiin ei muodostu lämmöstä aiheutuvia muodon tai rakenteen muutoksia. Puhdas vesileikkaus soveltuu pehmeille, ohuille tai huokoisille materiaaleille. Abrasiivinen vesileikkaus soveltuu etenkin paksuille ja koville aineille, kuten erilaisille teräksille. Vesileikkauksen tarkkuus voi tyypillisesti olla jopa $\pm 0.2\text{mm}$. /23./



Kuva 4. Vesileikkauksen periaate /24/

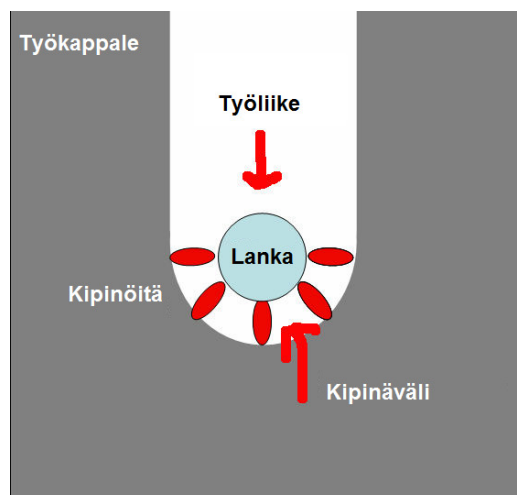
Kuva 4 esittää abrasiivisen lisäaineen syötöllä varustetun vesileikkauksen periaatteen. Puhdas vesileikkaus toimii vastaavalla tavalla. Ohut, lävistävä ve-

sisuihku saadaan aikaan korkeapainepumpun avulla. Leikkauksessa käytettävän veden määrä on kuitenkin niin pieni, etteivät huokoisetkaan työkappaleet ehdi varsinaisesti kastua leikkauksen aikana. /25./

Männän hammastuksen vesileikkauksessa voitaisiin käytettävissä olevilla menetelmillä ja laitteilla tyypillisesti saavuttaa noin R_a 6.3 pinnanlaatu leikkuunopeudella 25 mm/min. Lisäksi etenkin paksuja materiaaleja leikatessa tulee ottaa huomioon vesileikkauksen ominainen leikkuurailon sivuttainen vinous. Leikkuurailo voi olla alhaalta noin 0.1 - 0.5 mm kapeampi, leikkuunopeudesta riippuen. /26./

7.2 Lankasahaus

Lankasahaus on eräs kipinätyöstön sovellus. Täten menetelmän toimivuuden perusedellytyksenä on, että työkappale johtaa sähköä. Kipinätyöstö perustuu suurienergisten sähköisten läpilyöntien, ”kipinöinnin”, työkappaleen pintaa kuluttavaan vaikutukseen. Sähköpurkausten ollessa tarpeeksi suurienergisiä ja tapahtuessa tarpeeksi usein lämpenee työkappaleen pinta pieneltä alueelta tarpeeksi. Ainetta sulaa ja höyrystyy tästä kohti pois ja kappaleen työstö etenee. Sähköenergia tuodaan työkappaleen pintaan erillisellä elektrodilla, joka on samanmuotoinen kuin haluttu koneistettava muoto. Kuvassa 5 on esitetty lankasahauksen periaate tarkemmin. /27./



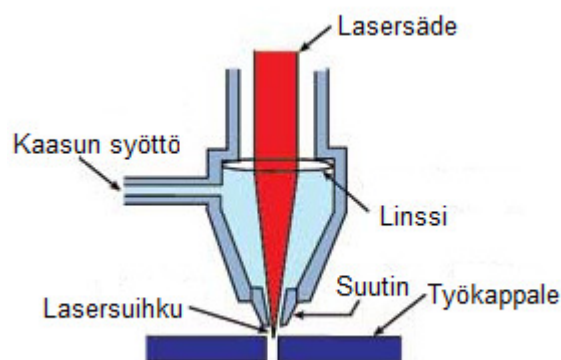
Kuva 5. Lankasahauksen periaate /27/

Lankasahauksessa elektrodina käytetään ohutta sähköä johtavaa lankaa. Langan kulkiessa työkappaleen läpi se työstää siihen läpiulottuvia muotoja. Kuvasta 5 käy myös ilmi kipinätyöstölle ominainen kipinäväli: elektrodina toimiva työkalu tai lanka ei koskaan ole suorassa kosketuksessa työkappaleeseen. Tämä kipinäväli otetaan huomioon työstöratoja ohjelmoitaessa. /27./

Lankasahauksessa, kuten kipinätyöstössä yleisesti, työstettävän materiaalin kovuus ei olennaisesti vaikuta sahausnopeuteen. Saavutettava työstönopeus on kuitenkin hyvin tapauskohtainen. Männän hammasprofiilin työstöön vaadittaisiin todennäköisesti erilliset rouhinta- ja viimeistelytyökierrot. Tällöin voitaisiin saavuttaa vaadittu pinnanlaatu, yhdistetyn leikkuunopeuden ollessa noin 4 mm/min. /28./

7.3 Laserleikkaus

Kuvassa 6 esitetty laserleikkaus on terminen työstömenetelmä, jolla voidaan leikata useimpia materiaaleja. Korkeaenerginen lasersäde fokusoidaan leikattavan materiaalin pintaan tai hieman sen sisällä olevaksi polttopisteeksi. Säde lämmittää kappaletta pieneltä alueelta ja tapauksesta riippuen joko sulattaa, höyrystää tai polttaa materiaalin pois. Laserleikkaus on tyypillisesti kustannustehokas työstömenetelmä ohuilla, alle 10 mm, materiaaleilla. /29./



Kuva 6. Laserleikkauksen periaate /30/

Laserleikkauksen onnistumisen edellytyksenä on, että lasersuihkusta absorboituu työkappaleen pintaan tarpeeksi lämpöä materiaalin sulattamiseksi tai höy-

rystämiseksi. Kuten kuvassa 6 esitetään, laserleikkaus tarvitsee leikattavasta materiaalista riippuvaa prosessikaasua säteen vakauttamiseksi mutta etenkin sulatetun materiaalin poispuhaltamiseksi. Terästen leikkauksessa on mahdollista myös hyödyntää happipuhallusta polttoleikkauksen tavoin. /31./

7.4 Soveltuvuus

Näiden vaihtoehtoisten työstömenetelmien reunaehdoiksi asetetaan luonnollisesti nykyiset pinnankarheus-, mitta- ja sijaintitoleranssit. Lisäksi lävistävällä leikkuulla tehtävässä hammastuksessa on huomioitava työstettävän radan pituus. Näiden reunaehtojen valossa yksikään esitelty vaihtoehto ei varsinaisesti ole käyttökelpoinen hammastuksen valmistamiseksi. Vesileikkauksella ei voida saavuttaa vaadittavaa pinnankarheustoleranssia, lankasahaus ei hitautensa vuoksi sovellu suurten sarjojen tuotantomenetelmäksi ja nykyiset laserleikkauksen menetelmät eivät sovellu paksun hammasprofiilin tarkkaan irtileikkaamiseen. Mikäli pinnanlaatuvaatimuksista voitaisiin joustaa, voisi vesileikkaus osoittaa tiettyä lupautusta hammastuksen valmistukselle. Lisäksi laserteknologian kehittyessä ja säteiden energiatiheyden kasvaessa myös laserleikkauksesta voitulla vartenotettava vaihtoehto paksujen hammasprofiilien työstölle.

8 VAIHTOEHTOISIA MÄNNÄN VALMISTUSMENETELMIÄ

Koska aventaminen osoittautui tehokkaaksi hammastuksen valmistusmenetelmäksi suljettuun profiiliin, vaihtoehdoksi jää tutkia koko männän rakenteen ja/tai valmistusmenetelmän muuttamista toisenlaiseksi. Reunaehdoksi asetetaan, että uuden valmistusmenetelmän on kyettävä tuottamaan vaatimukset täyttävä mäntä tehokkaasti ja ainoastaan viimeistelyhiontaa vaille valmiiksi. Tavoitteena on siis myös rationalisoida tuotantoketjua ja vähentää erillisten työvaiheiden määrää. Aikaisempien tutkimusten, selvitysten ja projektien läpikäynnillä on saatu tietty näkemys mahdollisista ja vartenotettavista vaihtoehtoista männän

valmistusmenetelmäksi. Näistä tarkempaan käsittelyyn otetaan pulverimetallurgiaan perustuva MIM-menetelmä, tarkkuusvalu sekä männän valmistaminen irtokomponenteista liittämällä. Aikaisemmin tutkittujen valmistusvaihtoehtojen uudelleentarkastelu on perusteltua, sillä valmistusteknologioiden nopea kehitys on todennäköisesti muuttanut myös kunkin menetelmän soveltuvuutta männän valmistukseen.

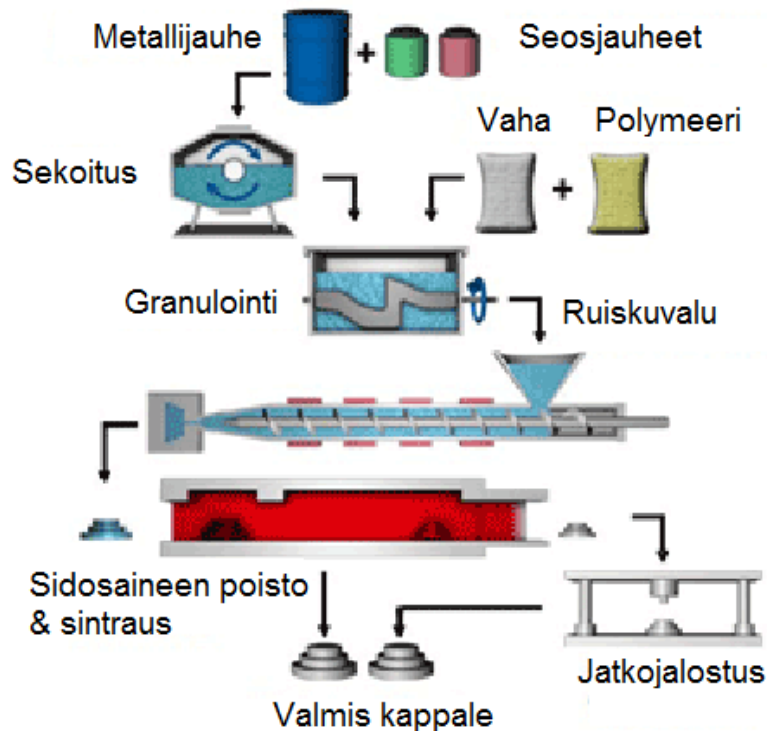
8.1 MIM

MIM on lyhenne sanoista Metal Injection Moulding, joka tarkoittaa metallien ruiskuvalua. Kyseinen valmistusmenetelmä on pulverimetallurgian eräs jatkosovellus. MIM soveltuu erityisesti suurta tarkkuutta vaativien pienehköjen ja monimutkaisten metallikappaleiden suursarjatuotantoon. /32./

MIM-menetelmällä on mahdollista yhdistää metallien ylivertaiset materiaaliominaisuudet ruiskuvaluteknologian tuomaan muotoilun vapauteen. Muiden valumenetelmien tavoin myös MIM tuottaa kappaleita nettomuotoonsa tai varsin lähelle sitä. Näin ollen materiaalihukka on miltei olematonta; eksoottisten materiaalien käytöstä ei aiheudu hukkakustannuksia kuten esimerkiksi lastuavassa työstössä. Lisäksi käytettävissä on myös sellaiset materiaalit, joita on vaikeaa muokata perinteisillä menetelmillä. Muista valumenetelmistä poiketen MIM mahdollistaa kuitenkin erittäin tarkat mitta- ja muototoleranssit sekä erinomaisen pinnanlaadun. MIM-menetelmän avulla kappaleeseen voidaan valmistaa myös erittäin ohuita seinämiä, monensuuntaisia reikiä ja ulokkeita sekä kierteitä ilman jälkikoneistuksen tarvetta. /33./

MIM-tuotteen valmistusprosessi koostuu monesta eri vaiheesta. Nämä vaiheet on esitetty kaaviomaisesti kuvassa 7. Valmistusprosessin lopputuloksena on korkealaatuinen ja tarkka metallituote, joka usein on suoraan kokoonpano- tai asennusvalmis ilman erillisiä jatkokäsittelyjä. Valmiin MIM-osan tiheys voi olla jopa noin 96 % verrattuna kiinteään perusaineeseen. Saavutettava tiheys on myös varsin suuri muihin jauhemetallurgisiin menetelmiin verrattuna. Lisäksi

esimerkiksi sintrauksesta poiketen MIM-menetelmä ei usein myöskään aseta rajoituksia valmiin kappaleen hitsattavuudelle. /34./



Kuva 7. MIM-prosessi /33/

MIM-prosessi alkaa sopivan raaka-aineen sekoittamisesta, kuten kuvassa 7 esitetään. Erilaisia jauhemetalleja sekoitetaan halutuksi seokseksi. Jauheeseen lisätään vaha- ja polymeeripohjaisia sidosaineita ja tästä seoksesta muovataan lämmön avulla tasalaatuista MIM-prosessin raaka-ainegranaattia. Valmistusprosessi jatkuu raaka-aineen ruiskuvalulla. Menetelmä ja käytettävät koneet ovat varsin samanlaisia kuin muovituotteiden ruiskuvalussa. Syöttöruuvi kuljettaa raaka-ainerakeet plastisointiyksikköön, jossa ne lämmön ja paineen vaikutuksesta sulavat ja tiivistyvät nestemäiseksi massaksi. Korkeapaineinen ruiskupuristus saa sulan virtaamaan muotin tarkasti valmistettuihin, tuotettavan kappaleen muotoisiin onkaloihin. Sopivan jäähtymisajan jälkeen muotti avataan ja jähmettynyt kappale siirretään jatkokäsittelyyn. Sidosaaine poistetaan katalyysi-reaktion avulla korkeassa lämpötilassa. Sidosaaineen polymeeriketjut hajoavat ja se poistuu kappaleesta kaasuna. Sidosaaine voidaan poistaa myös erillisen liuotimen avulla. Jäljelle jää huokoinen metallikappale. MIM-osa saavuttaa lopulliset

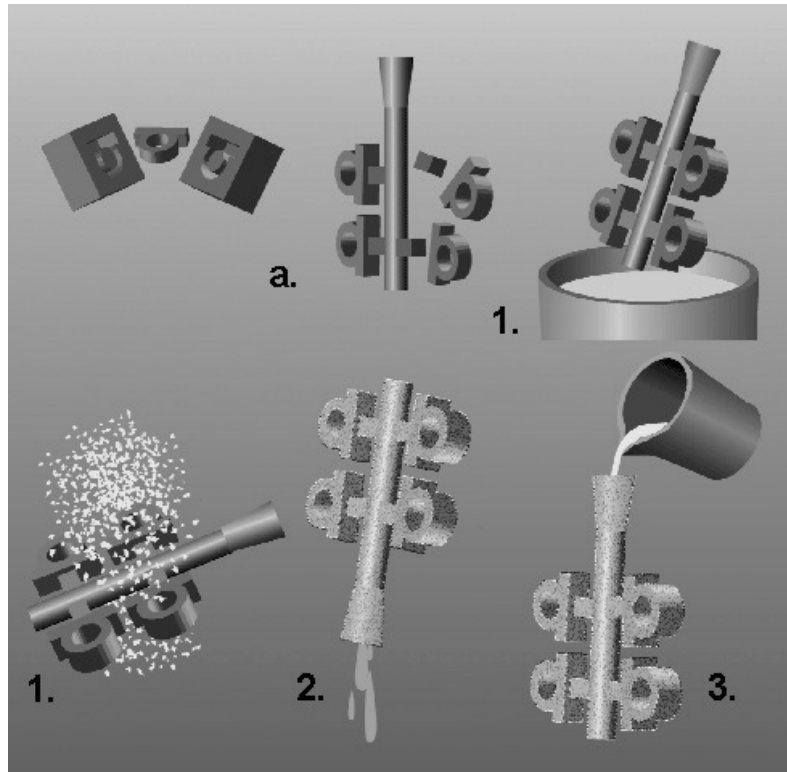
ominaisuutensa lähellä metallin sulamispistettä tapahtuvassa sintrauksessa, jossa huokoisesta kappaleesta muodostuu tiivis ja luja tuote. /33; 34./

Prosessin luonteen vuoksi ruiskuvaletut MIM-aihiot kutistuvat noin 16 - 18 prosenttia sintrauksen aikana. Tämä otetaan luonnollisesti huomioon ruiskuvalu-
muotin suunnittelussa ja valmistuksessa sekä sintrausolosuhteiden tarkalla hallinnalla. Raaka-aineesta ja vaatimuksista riippuen MIM-osaa voidaan vielä jatkojalostaa erilaisin lämpö- ja pintakäsittelyin. /33; 34./

8.2 Tarkkuusvalu

Tarkkuusvalun periaate on tunnettu jo pronssikaudelta alkaen. Nykyaikainen tarkkuusvalumenetelmä mahdollistaa useiden metallien valamisen tarkasti ja suurella muotoiluvapaudella. Kuten muissakin valumenetelmissä, tarkkuusvale-
tuista kappaleista tulee liki nettomuotoisia. Tarkkuusvalu kuitenkin mahdollistaa paremman pinnanlaadun sekä tarkempien toleranssien saavuttamisen kuin perinteisillä valumenetelmillä. Niinpä tarkkuusvalettujen kappaleiden jatkokäsittely-
jen tarve kappaleen lopullisen muodon saavuttamiseksi on usein vähäistä. Tä-
ten menetelmä mahdollistaa erilaisten monimutkaisten ja tarkkuutta vaativien kappaleiden valmistamisen taloudellisesti. /35./

Kaikkia valumetalleja voidaan tarkkuusvalaa. Tyypillinen tarkkuusvalun sovel-
luskohde on erilaiset aseiden ja lentokoneiden osat. Toisaalta, myös jalometal-
lisen koriste-esineiden, korujen ja taidevalujen muotoiluun käytetään tarkkuus-
valua. Menetelmää hyödynnetään yleisesti silloin, kun valmiin kappaleen mate-
riaali on vaikeasti työstettävää tai kallista, sekä silloin kun valmiin kappaleen
muodot ovat vaikeasti toteutettavissa esimerkiksi lastuavilla menetelmillä. Ku-
vassa 8 on esitetty tarkkuusvalun periaate tarkemmin. /36./



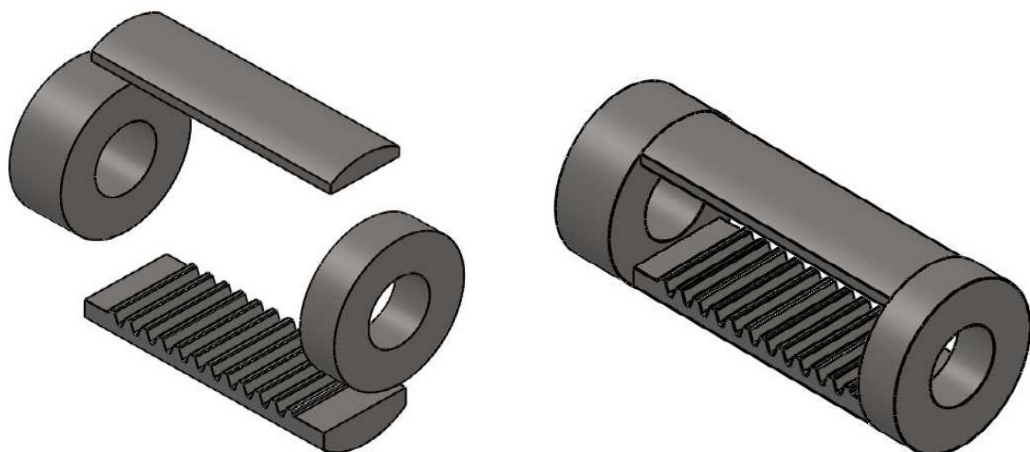
Kuva 8. Tarkkuusvalun periaate /36/

Kuvan 8 mukaisesti tarkkuusvaluprosessi alkaa lopputuotteen muotoisen vaha- tai muovimallin valmistamisella. Malli voidaan valmistaa esimerkiksi ruiskuvalamalla, pursottamalla, 3D-tulosteesta tai yhdistämällä eri tekniikoita. Valmiista malleista rakennetaan usein eräänlainen rypäs, johon liitetään kaato-, valu-, ja ilmakanaavat sekä haluttu määrä valumalleja. Myös yksittäisiä kappaleita voidaan valaa, mutta näihinkin tulee liittää tarvittavat kanavistot. Valmista rypästä kastetaan keraamiliemeen ja sen päälle sirotellaan täyteainetta. Kastaminen ja sirottelu toistetaan useita kertoja, kunnes muotista tulee tarpeeksi vahva. Mallin päälle on tällöin muodostunut keraaminen kuori. Malliainees poistetaan muotin sisältä sulattamalla. Lopuksi muotti sintrataan korkeassa lämpötilassa. Tämän jälkeen muotti on valmis valua varten ja sula metalli voidaan kaataa syöttökanaavasta muotin sisään. Tarkkuusvalu on kertamuottimenetelmä. Niinpä valun jäähtyttyä tarpeeksi, keraamimuotti rikotaan pois mekaanisin ja kemiallisin menetelmin valmiiden kappaleiden ympäriltä. Valmiit valukappaleet irrotetaan kanavista ja viimeistellään vaatimusten mukaisesti. /36./

Tarkkuusvalumuotissa ei ole jakotasoja eikä yleisesti myöskään irrallisia keernoja. Näin ollen tarkkuusvaletuilla kappaleilla on muihin valumenetelmiin verrattuna erinomainen muotoilun vapaus. Valumallin valmistuksella on toki omat rajoituksensa, mutta näistäkin päästään tarvittaessa ylitse rakentamalla malli erillisistä osista. Tarkkuusvalu on pääasiassa sarjatuotantomenetelmä, mutta prototyyppien valmistuksessa myös pienemmät sarjat ja jopa yksittäiskappaleet ovat mahdollisia. Valmistettavat kappaleet ovat tyypillisesti pieniä, alle viiden kilon painoisia osia. /36./

8.3 Irtokomponenteista liittäminen

Ovensulkimen mäntä koostuu useista eri toiminnallisista osista. Männän päädyt toimivat ohjaavina pintoina männän liikkuessa sulkimen rungossa. Lisäksi niihin asennetaan hydrauliohjauksen virtausta rajoittavat venttiilipaketit. Männän hammastus toimii momentin siirtäjänä hammasakseliin. Hammastuksen yläpuolinen tukipala sulkee männän rakenteen tehden siitä jäykän ja lujan. Eräs vaihtoehto männän valmistusmenetelmäksi on näiden toiminnallisten osien valmistaminen erillisinä irtokomponentteina ja niiden liittäminen valmiiksi männäksi, kuten kuvassa 9 esitetään. Täten kukin komponentti voitaisiin valmistaa erikseen, käyttäen kuhunkin osaan soveltuvaa, tehokasta ja nopeaa valmistusmenetelmää. Esimerkiksi hammastuksen valmistusmenetelmät eivät olisi enää rajoitettuja männän suljetun geometrian vuoksi.



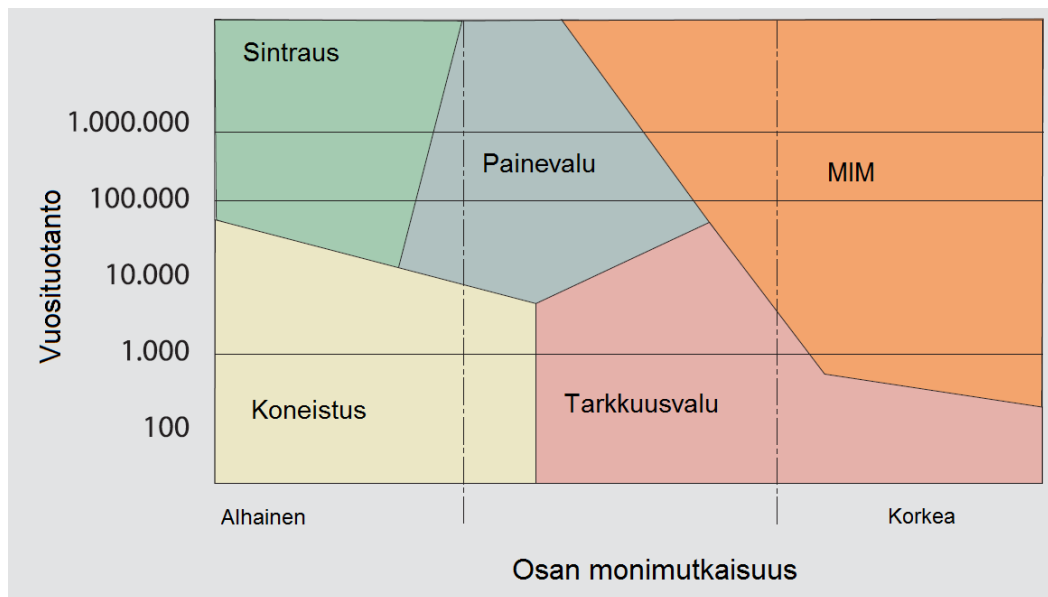
Kuva 9. Irtokomponenteista valmistettu mäntä

Kuvan 9 mukainen irtopalaratkaisu on periaatteeltaan samankaltainen kuin aikaisemmin käytössä ollut niitattu mäntä sekä mäntäprojektissa tutkittu palaratkaisu. Oleellinen seikka irtokomponenteista valmistetun männän toimivuudessa on osien välille muodostettava kestävä ja jäykkä liitos. Mekaanisessa ja muotosulkeisessa liitoksessa on havaittu jousto- ja kestävyysongelmia /15/. Niinpä tarkastelun kohteeksi otetaankin hitsausliitos. Eräs soveltuva hitsausmenetelmä männän osien liittämiseen on laserhitsaus.

Laserhitsaus ja aiemmin esitelty laserleikkaus ovat toimintaperiaatteeltaan varsin samankaltaisia prosesseja. Laserhitsauksen ominaispiirteitä muihin hitsausprosesseihin verrattuna ovat tarkkuus, nopeus ja joustavuus. Prosessilla on mahdollista aikaansaada syviä ja kapeita hitsejä. Energiatiheyden ollessa suuri, kokonaislämmöntuonti kappaleeseen ja siitä aiheutuvat haittavaikutukset ovat pieniä. Laserhitsaamalla on myös verrattain helppoa liittää eripaksuisia tai eri perusaineesta valmistettuja materiaaleja. Hitsaava säde on mahdollista ohjata ahtaisiinkin väleihin, joihin ei tavallisilla hitsausmenetelmillä voida edes ylettyä. Valmis laserhiksi on varsin korkealaatuinen ja tarvitsee vain harvoin mitään viimeistelyä tai jälkityöstöä. Toisaalta, laserhitsaus edellyttää huolellista ja tarkkaa railonvalmistelua sekä erityishuomiota työkappaleen kiinnitykseen. Laserhitsaus suoritetaan yleensä joko sulattavana tai lävistävänä hitsauksena ilman lisäainetta. Mahdollinen lisäaineen tuonti hitsaussaumaan on usein monimutkaista ja vaatii erikoisjärjestelyjä. Lisäksi laserlaitteiden rajalliset tehot asettavat omat rajoituksensa suurimmalle saavutettavalle tunkeumalle. /37./

8.4 Soveltuvuus

Sekä tarkkuusvalu että etenkin MIM vaikuttavat erittäin lupaavilta männän valmistusmenetelmiltä. Valmistusmenetelmien soveltuvuuden vertailua voidaan suorittaa alustavasti esimerkiksi kuvan 10 kaltaisilla kaavioilla.



Kuva 10. Valmistusmenetelmien vertailu /33/

Kuvan 10 perusteella, mäntien vuosituotantomäärät sekä muodon verrattainen monimutkaisuus huomioon ottaen, MIM tai painevalu voisi olla soveltuva prosessi männän valmistusmenetelmäksi. Tarkkuusvalun soveltuvuus on tuotantomäärien kasvaessa näitä vaihtoehtoja huonompi. Huomionarvoista kuitenkin on, ettei teräksisiä tuotteita voida valmistaa painevalamalla /38/. Materiaalirajoitusten vuoksi painevalu ei siis sovellu ovensulkimen männän valmistusmenetelmäksi. Täten MIM on alustavan vertailun lupaavin vaihtoehto. Tarkempien soveltuvuus- ja hintatietojen saamiseksi hyödynnettiin Abloyn osto-osaston kontakteja ja ammattitaitoa.

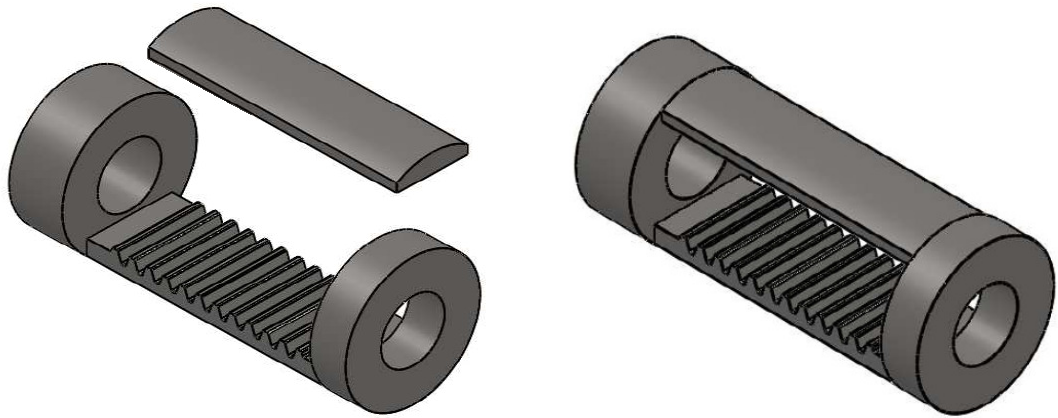
Osto-osaston suorittaman tarjouspyyntökierroksen perusteella kuitenkin havaittiin, etteivät tarkkuusvalu tai MIM-menetelmät varsinaisesti sovellu männän valmistusmenetelmiksi. Männän havaittiin olevan haasteellinen osa Abloyn toimittaja- ja alihankintaverkoston yrityksille. MIM-prosessi ei sovellu valmistusmenetelmäksi lähinnä männän suuren koon ja vahvojen seinämäpaksuuksien vuoksi /39/. Tarkkuusvalun osalta erityisesti hammastus on ongelmallinen. Toleranssien ketjuuntumisen vuoksi hammastukseen lisättävät työvarat käytännössä sulkisivat hammasprofiilin /40/. Näin ollen hammastus tulisi koneistaa erikseen, mikä on ristiriidassa asetettujen tavoitteiden kanssa.

Irtokomponenttiratkaisun soveltuvuus on riippuvainen monesta muuttujasta. Aikaisemman mäntäprojektin laserhitsauskokeilu ei tuottanut toivottuja tuloksia /17/. Alalla tapahtuneen voimakkaan kehityksen vuoksi on kuitenkin perusteltua tutkia uudelleen laserhitsauksen soveltuvuutta männän osien liitosmenetelmäksi.

Tarjouspyynnön ja selvityskierroksen perusteella havaittiin, että männän kuorimitusten kannalta rasitetuinta osaa, hammastusta, ei voi valmistaa erilliskomponenttina kustannustehokkaasti /41/. Irrallisia hammastankoja on markkinoilla runsaasti erilaisia lineaariliikkeen sovelluksia varten. Ovensuljinsovelluksessa hammastuksen muoto kuitenkin poikkeaa hieman standardin mukaisesta, mikä osaltaan vaikuttaa hammastangon hintaan. Lisäksi irrallisen hammastangon ongelmaksi olisi voinut muodostua tangon ohuus, etenkin hammastuksen juuresta.

Selvitysten perusteella soveltuvat ja kustannustehokkaat vaihtoehtoiset valmistusmenetelmät männälle ovat varsin rajalliset. Irtokomponenteista liittämällä valmistettu mäntä on näistä lupaavin vaihtoehto, vaikkakin hammastankoa ei voida hankkia kustannustehokkaasti. Komponenteista liittäminen mahdollistaa kuitenkin myös useita muunlaisia konstruktiovaihtoehtoja.

Irtokomponenteista liittämällä valmistetussa männässä erityishaasteena on komponenttien tarkka paikoitus liittämisen yhteydessä. Teoreettisesti, männän päätyjen on oltava koaksiaalisia toisiinsa nähden. Lisäksi tukipalan ja hammastuksen on oltava yhdensuuntaisia toisiinsa nähden kahdessa tasossa. Nämä reunaehdot täyttyvät automaattisesti yhdestä kappaleesta valmistetussa männässä. Liittämällä valmistetun männän tapauksessa viimeistelyhionnan työvarat osaltaan kuitenkin helpottavat komponenttien paikoitusvaatimuksia. Paikoitushaasteiden helpottamiseksi mäntä voitaisiin valmistaa myös pelkästään irtonaisella tukipalalla kuvan 11 mukaisesti.



Kuva 11. Avoin mäntä

Kuvan 11 esittämä ratkaisu on liittämismenetelmää lukuun ottamatta lähes identtinen jo aikaisemmin käytössä olleen, niittaamalla valmistetun mäntäratkaisun kanssa. Tässä vaihtoehdossa männän profiili ei alkuvaiheessa ole suljettu, joten hammastuksen valmistus on mahdollista useilla eri keinoilla. Lisäksi toteutettavien liitosten määrä on pienempi kuin kuvan 9 ratkaisussa, mikä helpottaa liitosten paikoitustarkkuutta.

9 TESTAUKSET

Testausten tavoitteena on selvittää irtokomponenttiratkaisun tarkempi soveltuvuus männän valmistusmenetelmäksi. Testausten vertailukohtana käytetään nykyisen valmistusprosessin mukaisesti tuotettuja mäntämalleja. Irtokomponenttiratkaisun soveltuvuuden testaus suoritettiin alustavasti kuvan 11 mukaisella, avoimen männän konstruktiolla.

Vertailukappaleet sekä DC400- että DC335-mallin männistä toimitettiin Abloy:n mittausosastolle, jossa näistä mitattiin männän toiminnan kannalta oleellimmat ominaisuudet. Näin saatiin tarkempi kuva siitä, kuinka hyvin nykyinen prosessi kykenee valmistamaan piirustusten mukaisia mäntiä.

9.1 Avoin mäntä

Männän taipumien kannalta kriittisin tilanne on sellainen, jossa kuormitukset ovat suurimmillaan ja männän jäykkyys pienimmillään. Tällaisen tapauksen jäljittelemiseksi valmistettiin Abloyn työkaluosaston avustuksella kuvan 11 mukaisia avoimia mäntiä. Valmistus tapahtui koneistamalla tukipala irti tuotantomallin männästä. Näin saatiin aikaan tukipalattomia, avoimen rakenteen omaavia testimäntiä molemmista mäntämalleista.

Kyseisistä testimännistä kasattiin kullekin mäntätyypille raskaimman jousikuorman mukainen testisuljin. Näiden testisulkimien toiminta ja ominaisuudet mitattiin tuotekehitysosaston toimesta tavanomaisilla testilaitteilla. Testisulkimista mitattiin hyötysuhde avautumis- ja sulkuvoiman perusteella sekä mäntämekanismiin tiiveys erillisellä pitotestillä. Tämän jälkeen sulkimia testattiin erityisessä kulutustestissä, jossa sulkimia kuormitettiin oven aukaisu- ja sulkuliikettä simuloiden noin 40000 sykliä. Tämän lyhyen kulutustestin jälkeen hyötysuhde- ja tiiveystestit toistettiin. Tämän jälkeen sulkimet purettiin männän ja sulkimen rungon kuluneisuuden tarkastelemiseksi.

9.2 Laserhitsattu mäntä

Laserhitsauksen soveltuvuutta irtokomponenteista valmistetun männän liittämismenetelmäksi tutkittiin koehitsauksia sisältävällä menetelmätestillä. Testaus- ta varten valmistettiin tuotekehitys- ja työkaluosaston avulla tukipalan kohdistus- tasoilla varustettuja avoimia mäntiä sekä erillisiä tukipaloja molemmista mäntä- malleista. Tukipaloja valmistettiin kullekin mäntätyypille kahta eri mallia: nimel- lis- sekä ylimittaista. Ylimittaisella tukipalalla oli tarkoitus saada kokoonpanoon hitsin kutistumaa kompensoiva esijännitys.

Laserhitsausten käytännön suorittamiseksi oltiin yhteydessä kahteen alan eri- koisyriitykseen, joiden kanssa käytiin tarkemmin läpi menetelmän mahdollisuuksia ja rajoituksia. DC400-mallin männät lähetettiin koehitsattavaksi helsinkiläi- selle Laserle Oy:lle, DC335-mallin männät vastaavasti riihimäkeläiselle Prolaser

Oy:lle. Hitsausten jälkeen koemännät tarkastettiin tuotekehitysosaston puolesta ja lähetettiin tuotantoprosessin mukaisiin lämpökäsittelyihin. DC400-mallin männät käsiteltiin Abloyn sopimusalihankkijalla, DC335-mallin männät puolestaan käsiteltiin Abloyn omassa karkaisimossa. Tämän jälkeen männille suoritettiin vielä viimeistelyhionta ennen varsinaisia testauksia. Tuotantoaikataulujen vuoksi ainoastaan DC400-mallin männät voitiin hioa tuotantoprosessin mukaisesti, DC335-mallin männät hiottiin erillistyönä työkaluosastolla. Kuvassa 12 on esitetty yksityiskohta laserhitsatusta männästä.

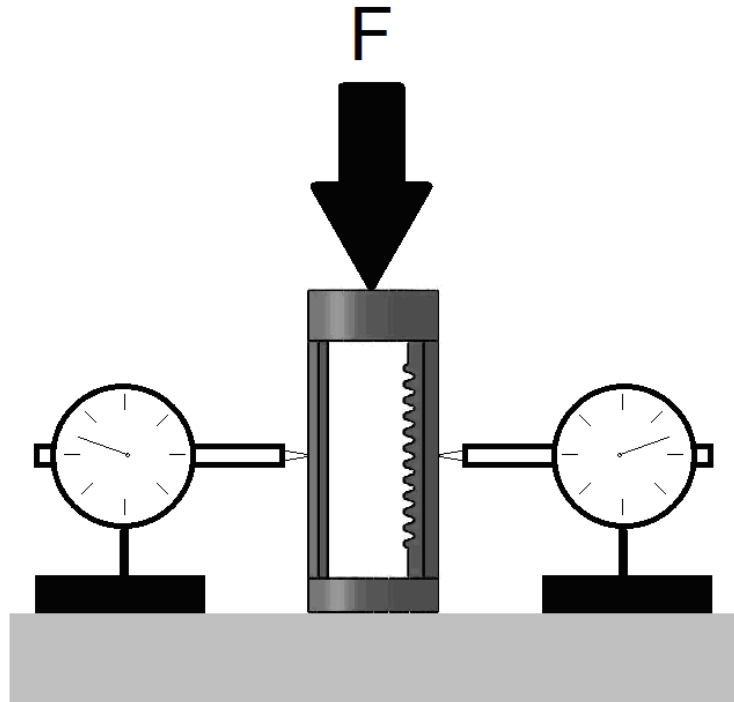


Kuva 12. Laserhitsattu mäntä ennen lämpökäsittelyä ja hiontaa

Kuten kuvasta 12 käy ilmi, laserhitsattu liitossauma on verrattain siisti ja sen lämpövyöhyke on kapeahko. Hitsausjäljestä voitaisiin varmasti saada vielä parempi optimoimalla hitsausparametreja. Huomionarvoista on, että laserhitsin kutistuma oli huomattavasti arvioitua pienempi. Tämä tuli ilmi ikävänä yllätyksenä laserhitsattujen mäntien viimeistelyhionnan yhteydessä. Ylimittaisilla, kutistumaa kompensoivilla tukipaloilla varustetut männät eivät hioutuneet täysin tukipalan vastakkaiselta puolelta. Syynä tälle on täytynyt olla ylimittaisen tukipalan aiheuttama männän muodonmuutos: männän päädyt ovat taipuneet hieman ulospäin tukipalasta nähden tehden männän tukipalan vastakkaisesta puolesta koveran. Vastaavia muoto-ongelmia ei kuitenkaan esiintynyt nimellismittaisilla

tukipaloilla valmistetuissa koemännissä. Varsinaisia testauksia jatkettiin täten nimellismittaisilla tukipaloilla varustetuilla männillä, joiden hionta oli onnistunut vaatimusten mukaisesti.

Hitsisaumojen riittävän keston toteamiseksi mäntiä testattiin erillisellä veto-puristuskoneella. Tätä testausta varten otettiin vertailukohtaksi tuotantomallin männät. Testijärjestelyt on esitetty tarkemmin kuvassa 13.



Kuva 13. Männän kuormituskoee

Kuten kuvasta 13 käy ilmi, laserhitsattujen mäntien saumojen kestävyyttä arvioitiin puristamalla mäntää keskeisesti veto-puristuskoneella. Samanaikaisesti mitattiin männän hammastuksen ja tukipalan muodonmuutosta männän keskikohdalta kahden vastakkaisesti asetetun mittakellon avulla. Lisäksi veto-puristuskoneen sisäänrakennettu mittalaitteisto mittasi tarkasti männän puristumaa sekä puristusvoimaa. Kutakin mäntätyyppiä kuormitettiin sekä suurimman jousikuorman mukaisella voimalla että suurimman kokonaiskuormituksen mukaisella voimalla. Huomionarvoista on, ettei tämä testijärjestely täysin vastaa männän todellisia kuormituksia, sillä ne vaikuttavat pääasiassa männän hammastuksen kautta. Tuotantomallin männillä suoritettavat alustavat mittaukset kuitenkin toimivat käyttökelpoisina vertailukohtina laserhitsattujen mäntien testauk-

seen. Puristustesti suurimmalla kokonaiskuormituksen mukaisella kuormalla on myös hyvä keino testata hitsisaumojen staattista lujuutta.

Lisäksi laserhitsattuja koemäntiä testattiin testioivissa vastaavalla menetelmällä kuin avoimia mäntiä. Koemäntä kasattiin ovensulkimeen ja siitä testattiin hyötysuhde sekä tiiveys. Samat testaukset toistettiin noin 100000 sykliä sisältävän kulutustestin jälkeen. Tässä kulutustestissä ovensulkimen avautumisjarru säädettiin täydelle vaikutukselle simuloiden männän raskainta kuormitustilannetta. Tämä testausmenetelmä antoi myös hyvää tietoa laserhitsatun sauman kestävydestä dynaamisen kuormituksen alaisena.

10 TULOKSET JA NIIDEN ANALYSOINTI

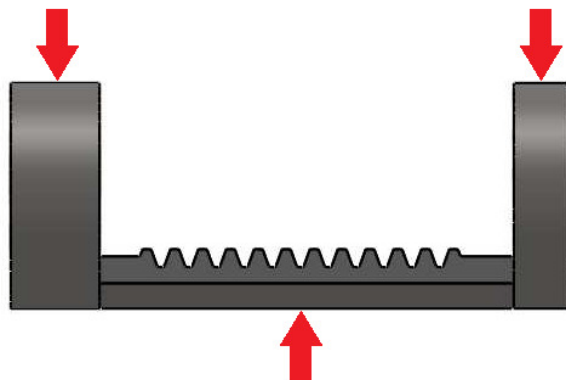
Tuotantomallin mäntien geometriamittausten alkuperäiset mittauspöytäkirjat on esitetty liitteessä 3. Yhteenvedona näistä mittauksista voidaan mainita, että mitatut männät vastasivat piirustuksiaan miltei täysin. Huomionarvoisin poikkeama on hammastuksen pinnanlaadussa. Tämä poikkeama ei kuitenkaan varsinaisesti vaikuta mäntä-hammasakseli-mekanismiin toiminnallisuuteen. Näin ollen pinnanlaatuvaatimuksen muuttaminen nykyprosessin suorituskykyä vastaavaksi voisi olla aiheellista.

Avoimien ja laserhitsattujen mäntien testauksissa mitattiin hyötysuhdetta ja mekaniikan tiiveyttä. Ovensulkimen hyötysuhde määritellään olevan oven aukaisuun tarvittavan voiman ja sulkimen aiheuttaman sulkuvoiman osamäärä tietyllä oven avauskulmalla. Kitkahäviöiden vuoksi hyötysuhde jää usein varsin vaatimattomaksi. Ovensulkimien hyväksymisstandardi kuitenkin määrittelee kullekin ovensuljinluokalle minimihyötysuhteet, jotka on saavutettava hyväksynnän saamiseksi. Hyväksytyyn mallisen ovensulkimen tulee saavuttaa tämä hyötysuhde myös kattavan kulutustestin jälkeen. Mäntämekanismiin tiiveydelle on myös omat vaatimuksensa, jotka niin ikään on saavutettava myös kulutustestin jälkeen. /42./

10.1 Avoin mäntä

Testauksen tuloksina saatiin mielenkiintoista tietoa tukipalattoman männän toiminnasta raskaasti kuormitetussa ovensulkimessa. Molempien mäntämallien testauksessa havaittiin hyötysuhdeongelmia heti ensimmäisessä mittauksessa. Avoin mäntärakenne pääsi taipumaan ja hankaamaan runkoa vasten jousivoiman ansiosta niin paljon, että vaadittu hyötysuhde jäi saavuttamatta. Mäntien tiiveys sulkimen runkoon oli kuitenkin erinomainen, kenties juuri taipuman aiheuttamasta hankautumisesta johtuen. Kulutustestin jälkeen havaittiin, ettei suuremman männän sisältävä testisuljin enää avautunut täyttä 180 astetta, vaan pysähtyi noin 100 asteen kohdalle. Pienemmässä mäntämallissa ei vastaavalaista ongelmaa esiintynyt, vaikkakin hyötysuhteessa oli selvä epäjatkuvuuskohta juuri noin 100 asteen kohdalla. Molempien suljintyyppien hyötysuhde oli parantunut hieman kulutustestin aikana, mutta se oli silti hyväksymisrajoihin nähden liian alhainen. Toisaalta, mäntien tiiveys runkoon nähden oli hieman laskeutunut, mutta ei alle hyväksymisrajojen. Alkuperäiset testauspöytäkirjat on esitetty liitteessä 4.

Testisulkimien purkamisen yhteydessä havaittiin männissä voimakasta kulumista kuvan 14 osoittamissa kohdissa. Männän hammastus, hammasakseli ja akselin laakerointi olivat kuitenkin hyvässä kunnossa.



Kuva 14. Männän voimakkaasti kuluneet kohdat

Männän kulumisen kuvan 14 osoittamista kohdista oli osittain odotettavissa. Ilman tukipalaa männän jäykkyys jousivoimia vastaan on huomattavasti heikompi. Näin ollen männän päädyt pääsevät joustamaan ja hankaamaan sulkimen runkoa vasten. Hammastuksen vastainen kulumisen aiheutuu ilmeisesti koko männän taipumisesta kuperaksi kuormituksen alaisena. Huomionarvoista on, että sulkimien rungossa oli männän liikealueella vastaavaa kulumaa. Suuremman sulkimen kohdalla tämä kulumisen oli varsin voimakasta; runkoon oli kulunut selvä olake, joka myös esti männän liikkumisen pidemmälle. Tämä oli myös syy sille, ettei testiovea voinut kulutustestin jälkeen avata kuin noin 100 astetta. Myös pienemmän sulkimen sisällä oli vastaava, mutta huomattavasti pienempi olake. Hyötysuhdemittauksen epäjatkuvuuskohta kulutustestin jälkeisessä mittauksessa selittyy juuri tämän olakkeen ylityksestä aiheutuvasta radikaalista kitkan kasvamisesta. Mäntä-sylinteri-mekanismien kulumisen on joustavan männän tapauksessa voimakasta sekä männän että sylinterin puolelta. Kuluminen voisi olettaa tapahtuvan pääasiassa sylinterissä, teräsmännän kuluttaessa huomattavasti pehmeämpää alumiinirunkoa. Painevaletun alumiinirungon sisältämä pii kuitenkin aiheuttaa voimakasta kulumista myös mäntään.

10.2 Laserhitsattu mäntä

Puristusmittausten alkuperäiset mittauspöytäkirjat ja -raportit on esitetty liitteessä 5. Yhteenvedona mittauksista voidaan todeta, että laserhitsatut männät kestivät kuormituskokeet hyvin. Testattujen laserhitsattujen mäntien muodonmuutokset olivat varsin samankaltaisia kuin vertailukohtana olleitten tuotantomallin mäntien muodonmuutokset.

Laserhitsattujen mäntien kulutustestausten alkuperäiset mittauspöytäkirjat on esitetty liitteessä 6. Mäntien testauksissa esiintyi tiettyjä ongelmia itse tukipalan hitsausten sekä hammasakselin kestossa.

Ehjinä säilyneiden testattavien ovensulkimien hyötysuhteet ja tiiveydet pysyivät vaatimusten mukaisina koko testin ajan. Hitsattu tukipala toimi tarkoituksensa mukaisesti estäen männän liialliset taipumat ja muodonmuutokset sekä näistä

aiheutuvat kitkahäviöt. Niinpä testisulkimien purkamisen yhteydessä havaittiin myös männän ja ovensulkimen rungon kulumisen olleen yhtä vähäistä kuin tuotantomallin ovensulkimissa.

Raskaammin kuormitetun DC400-mallin männän testissä havaittiin ongelmia mäntään liittyvän hammasakselin kestossa. Putkimainen hammasakseli jouduttiin vaihtamaan vahvistettuun malliin testin loppuunsaattamiseksi. Tämä osoittaa, että raskaasti kuormitetun mäntä-hammasakseli-mekanismiin kriittisin komponentti hammastuksen keston kannalta on edelleenkin putkimainen hammasakseli, sillä itse laserhitsattu mäntä ja sen hammastus säilyivät täysin käyttökelpoisina koko testin ajan.

DC335-mallin männän testaukset jouduttiin aloittamaan kertaalleen alusta, sillä mäntä oli rikkoutunut osiin vain noin 15000 syklin jälkeen. Rikkoutuneen männän tarkempi analysointi paljasti tukipalan hitsauksen tunkeuman olleen varsin vaatimaton. Tästä johtuen tukipalan liitos ei ollut kestänyt dynaamista kuormitusta murtumatta tarpeeksi kauan. Tukipalan irrottua männän jäykkyys oli vähentynyt oleellisesti ja mäntä oli päässyt katkeamaan hammastuksen juuresta. Jatkotestit uudella männällä sujuivat ongelmitta noin 77000 sykliin asti, jonka jälkeen mäntä oli hajonnut vastaavalla tavalla. Tämän pidempään kestäneen männän tukipalan hitsiliitokset olivat tunkeumaltaan selvästi aikaisempaa parempia. Tästä huolimatta liitos ei kuitenkaan kestänyt raskasta dynaamista kuormitusta ja tukipalan irrottua mäntä pääsi jälleen katkeamaan hammastuksen juuresta. DC335-mallin testaukset jouduttiin täten lopettamaan, sillä käytävissä ei ollut enää enempää käyttökelpoisia laserhitsattuja prototyypimäntiä.

Testausten perusteella tukipalan oleellisuus männän toiminnan kannalta on ilmeistä. Laserhitsattujen mäntien kulutustestit kuitenkin osoittivat, ettei männän tukipalan liitoskohta välttämättä ole mäntämekanismiin kriittisin osa. Tukipalan liitoksen kestävyys oli jo alun perin epäilyksen alainen lähinnä laserhitsausten rajallisen tunkeuman vuoksi. Testit kuitenkin osoittivat, että liitoksesta on mahdollista saada myös raskasta dynaamista kuormitusta kestävä tekemällä hitsaukset huolellisesti ja ammattitaidolla. Tuotantohitsauksissa hitsausparametrien haarukoinnilla voitaisiin vielä optimoida hitsauksen laatu.

Tuotantohitsausten osalta saatu tarjous kuitenkin osoittaa, ettei menetelmä kustannusten puolesta sovellu käytettäväksi männän valmistuksessa. Laserhitsausten suorittaminen edellyttää huolellisesta valmistelua hitsattavien kappaleiden osalta. Tämän lisäksi liitosten vuosivolyymi on saatavissa olevaan hitsauskapasiteettiin nähden suurehko. Varsinaisten hitsauskustannusten ollessa moninkertaisia verrattuna männän nykyiseen kokonaisvertailuhintaan on selvää, ettei laserhitsaus ole soveltuva menetelmä männän valmistamisessa. /43, 44./

11 NYKYMENETELMIEN KEHITYS

Männän valmistuskustannuksia voitaisiin pienentää myös kehittämällä käytössä olevaa menetelmää pienin muutoksin kustannustehokkaammaksi. Mahdollisia kehityskohteita ovat etenkin itse takoihio sekä hammastuksen koneistamisessa käytetty avenninterä. Muutosmahdollisuuksien selvittämiseksi lähestyttiin asianomaisia terä- ja aihioitoimittajia.

Takoihion toleranssien ja pinnanlaadun parantaminen sekä mahdollisesti koneistusvarojen pienentäminen voisivat pienentää männän valmistuskustannuksia sekä etenkin koneistuksen teräkustannuksia. Näiden muutosten lisäksi takomolta pyydettiin omia näkemyksiä männän valmistuskustannusten pienentämiseksi. Lisäksi takomoa pyydettiin ottamaan kantaa avoimen mäntämallin valmistamiseen. Takomon mahdollisuudet aihion laadun parantamiseen ovat kuitenkin varsin rajalliset, sillä nykyiset kappaleet ovat jo varsin vaativia muodoiltaan ja ominaisuuksiltaan. Takomon mukaan takeen pinnanlaatua on jo parannettu huomattavasti. Lisäksi koneistusvarojen pienentämisessä on oma riskinsä hylkykappaleiden määrän kasvamisesta. Koneistusvarojen pienentäminen sekä avoimen mäntämallin takoihion kehittäminen vaatisivat mittavia panostuksia uusiin taontatyökaluihin. Erityisesti avoin mäntäaihio tuntuu olevan taonan kannalta vaikea tapaus jäännösjännitysten, kappaleen suoruusvaatimusten sekä koneistuksen kiinnitystasojen kannalta. Kokonaisuudessa takoihiolle ei ole nähtävissä helppoja ja yksinkertaisia muutoksia, jotka voisivat pienentää valmiin männän kokonaisvalmistuskustannuksia. /45./

Avenninterän kohdalla tiedusteltiin terätoimittajan näkemystä mahdollisuuksista pienentää työkalukustannusten osuutta avennettua mäntää kohden kasvattamalla teroitussväliä ja pidentämällä työkalun kestoikää. Eräänä vaihtoehtona esitettiin avenninterän perusaineen vaihtamista pulveripikateräkseen. Valmistajan mukaan saavutettava hyöty olisi kuitenkin työkalun kohonneeseen hintaan nähden varsin marginaalinen. Lupaavampana vaihtoehtona pidettiin uudenlaista pinnoitusmenetelmää. Modernit ohuet kovapinnoitteet voisivat vähentää avennuksen kitkavoimia sekä parantaa työkalun kulutuskestävyyttä. /46./

12 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä selvitettiin hammasakselikäyttöisen ovensulkimen männän valmistusta ja sen kehitysmahdollisuuksia. Ovensulkimen männän tai sen hammastuksen valmistamiselle ei löytynyt kustannustehokasta vaihtoehtoista valmistusmenetelmää. Tämä tulos puhuukin täten männän valmistuksen nykyisen menetelmän tehokkuuden puolesta. Takoaihiosta sorvaamalla ja aventamalla valmistettu mäntä on muihin valmistusmenetelmiin verrattuna varsin kilpailukykyinen kappale.

Eryyisesti käsitys hammastuksen aventamisen tehottomuudesta ja suhteellisesta kalleudesta lienee aiheeton. Vaihtoehtoiset hammastuksen valmistusmenetelmät männän suljettuun profiiliin ovat varsin rajalliset ja tyypillisesti aventamista huomattavasti hitaampia, epätarkempia tai kalliimpia. Aventaminen on tehokas keino sisäpuolisen hammastuksen valmistamiseen: koko männän hammastuksesta saadaan vaatimusten mukainen yhdellä verrattain nopealla työliikkeellä.

Mäntien nykygeometrioiden rajoitusten puitteissa myös metallien erilaiset nykyaikaiset valumenetelmät ovat soveltumattomia männän valmistukseen. Tiettyjen ovensuljinmallien korkeat kuormitukset tuovat oman haasteensa mäntien kestolle. Erilaisten testausten perusteella mäntä on mahdollista valmistaa toimivaksi ovensulkimen osaksi irtokomponenteista hitsaamalla, mutta tällöin valmistus-

kustannukset ovat nykymenetelmään nähden moninkertaiset. Lisäksi tällaisen ratkaisun saattaminen tuotantoon vaatisi mittavia muutoksia aihion valmistamiseen.

Suoritettu selvitys- ja tutkimustyö osoittaaakin, että männän valmistuksen nykyinen menetelmä on varsin tehokas ja toimiva. Ilman männän ja liityntäkomponenttien radikaalia uudelleenmitoitusta takoaihiosta sorvaaminen ja aventaminen lienee soveltuvin vaihtoehto hammasakselikäyttöisen ovensulkimen männän valmistamiseksi. Avennintyökalun kulutuskeston parantamiseksi voisi tutkia modernien kovapinnoitteiden tuomat mahdollisuudet. Lisäksi metallien nykyaikaisten nettomuotoon valmistamisprosessien kehittyessä männän valmistukselle voi löytyä vielä uusia, kustannustehokkaita ja suorituskykyisiä vaihtoehtoja.

KUVAT

- Kuva 1. Abloy ovensuljin vetolaitteineen /3/, s.6
- Kuva 2. Abloy-ovensulkimen leikkauskuva /4/, s.6
- Kuva 3. Ovensulkimen mäntä /6/, s.8
- Kuva 4. Vesileikkauksen periaate /24/, s.17
- Kuva 5. Lankasahauksen periaate /27/, s.18
- Kuva 6. Laserleikkauksen periaate /30/, s.19
- Kuva 7. MIM-prosessi /33/, s.22
- Kuva 8. Tarkkuusvalun periaate /36/, s.24
- Kuva 9. Irtokomponenteista valmistettu mäntä, s.25
- Kuva 10. Valmistusmenetelmien vertailu /33/, s.27
- Kuva 11. Avoin mäntä, s.29
- Kuva 12. Laserhitsattu mäntä ennen lämpökäsittelyä ja hiontaa, s.31
- Kuva 13. Männän kuormituskoe, s.32
- Kuva 14. Männän voimakkaasti kuluneet kohdat, s.34

LÄHTEET

1. Abloy Oy. 2011. Yritysesittely. <http://www.abloy.fi/fi/abloy/abloyfi/Yritys/> (Luettu 20.1.2011)
2. Abloy Oy. 2011. Tehtaat. <http://www.abloy.fi/fi/abloy/abloyfi/Yritys/Tehtaat/> (Luettu 20.1.2011)
3. Abloy Oy. 2010. Abloy ovensulkimet-esite. <http://www.abloy.fi/Abloy/Fl/Esitteet/Ovensulkimet/8802080%20ABLOY%20Ovensuljinesite.pdf> (Luettu 20.1.2011)
4. Abloy Oy. 2010. DC335 Sulkimen toimintaperiaate. Kuvakaappaus esittelyvideosta.
5. Kuusela, K. 2011. Valmistuspäällikkö. Abloy Oy. Haastattelu 17.1.2011.
6. Abloy Oy. 2008. Piirustus D816168.
7. Abloy Oy. 2006. Piirustus 1-3A803401.
8. Abloy Oy. 2006. Piirustus 1-3A803402.
9. Abloy Oy. 1998. Piirustus 1-4A803417.
10. Soikkeli, J. 2011. Tuotesuunnittelija. Abloy Oy. Haastattelu 25.1.2011.
11. Pehkonen, H. 2011. Hioja. Abloy Oy. Haastattelu 1.2.2011.
12. Lehenberg, H. 2011. Työnjärjestelijä. Abloy Oy. Haastattelu 28.1.2011.
13. Turpeinen, J. 2011. Ajaja/asettaja. Abloy Oy. Haastattelu 9.2.2011.
14. Juntunen, H. 2011. Tuotesuunnittelija. Abloy Oy. Haastattelu 24.1.2011.
15. Kuvaja, V. 1991. Puristusjousiovensulkimen teoreettinen laskenta ja uuden CEN-normin mukaisen ovensulkimen suunnittelu. Wärtsilän teknillinen oppilaitos. Koneosasto. Insinööriyö.
16. Abloy Oy. Modul-sarjan mäntä 3400-910/367. Projektikansio
17. Abloy Oy. Modul-sarjan mäntä 3400-910/367. Muistio 16.6.1989/HSL.
18. Abloy Oy. Modul-sarjan mäntä 3400-910/367. Ideoita männästä. 19.6.1989/HJP
19. Abloy Oy. Modul-sarjan mäntä 3400-810/367. Muistio 28.9.1989/HJP
20. Abloy Oy. Modul-sarjan mäntä 3400-810/367. Muistio 22.12.1989/HJP

21. Abloy Oy. Modul-sarjan mäntä 3400-810/367. Muistio 18.5.1990/HSL
22. Similä, M. 2007. LR NRO T07243. Mäntä ja hammasakseli. Selvitystyö. Credeltco Oy.
23. Soikkeli, J. 2011. Tuotesuunnittelija. Abloy Oy. Haastattelu 1.3.2011.
24. Laserle Oy. 2011. Vesileikkaus. <http://www.laserle.fi/vesileikkaus.htm> (Luettu 14.2.2011)
25. Prolaser Oy. 2002. Vesileikkaus. <http://www.prolaser.fi/vesileikkaus.html> (Luettu 1.2.2011)
26. Heikkinen, H. 2011. Prolaser Oy. Sähköposti. 28.1.2011
27. Höök, T. 2009. Valmistusmenetelmät: Lankasahaus. Teoksessa Höök, T. (toim.) Muotin valmistus. Valuatlas oppimateriaali. <http://www.valuatlas.fi/tietomat/koosteet/muotinvalmistus/index.html> (Luettu 1.2.2011)
28. Jalkanen, V. 2011. SK-Tools Oy. Sähköposti. 24.1.2011
29. Prolaser Oy. 2002. Laserleikkaus. <http://www.prolaser.fi/laserleikkaus.html> (Luettu 1.2.2011)
30. Aviation Metals Inc. 2011. Value added. <http://www.aviationmetals.net/valueadded.php> (Luettu 14.2.2011)
31. Laserco. 2011. Laserleikkauksen perusteet. http://www.laserco.fi/lasertiedostot/Laserleikkaus_perusteet.pdf (Luettu 14.2.2011)
32. Schunk Group. 2011. Schunk Sintermetalltechnik. Powder metallurgical injection moulding, MIM - Metal Injection Moulding. Esite. http://www.sintermetalltechnik.com/sixcms/media.php/1751/SST_MIM_engl.pdf (Luettu 7.3.2011)
33. GKN Sinter Metals. 2011. MIM Technology. Esite <http://www.gknsintermetals.com/images/GKN%20MIM%20Technology.pdf> (Luettu 7.3.2011)
34. Schunk Group. 2011. Schunk Sintermetalltechnik. Sintered Structural components. Sintered bearings. Metal Injection Mouldings (MIM). Esite. <http://www.sintermetalltechnik.com/sixcms/media.php/1751/SST-produkte-engl.pdf> (Luettu 8.3.2011)
35. Buderus Feinguss. 2011. Tarkkuusvalu - valmistusmenetelmä kaikille sovellusaloille. Esite. http://www.buderus-feinguss.de/download/Buderus_Flyer_finnisch.pdf (Luettu 9.3.2011)

36. Meskanen, S. & Höök, T. 2009. Keraamimuotit. Tarkkuusvalu. Teoksessa Höök, T., Meskanen, S., Orkas, J. & Tennilä, P. Suunnittelijan perusopas. Valuatlas oppimateriaali.
<http://www.valuatlas.fi/tietomat/koosteet/valukappaleensuunnittelu/index.html> (luettu 9.3.2011)
37. Robinson, D. 2009. Laser welding basics. FMA Communications, Inc. Artikkel. <http://www.thefabricator.com/article/laserwelding/laser-welding-basics> (luettu 15.3.2011)
38. Meskanen, S. & Höök, T. 2009. Valumenetelmät. Kestomuottimenetelmät: Painevalu. Teoksessa Höök, T., Meskanen, S., Orkas, J. & Tennilä, P. Suunnittelijan perusopas. Valuatlas oppimateriaali.
<http://www.valuatlas.fi/tietomat/koosteet/valukappaleensuunnittelu/index.html> (luettu 9.3.2011)
39. Hilska, T. 2011. Strateginen ostaja. Abloy Oy. Sähköposti. 24.2.2011
40. Myller, J. 2011. Strateginen ostaja. Abloy Oy. Haastattelu. 7.3.2011
41. Salin, K. 2011. SKS Mekaniikka. Tarjous 264753.
42. Kärkkäinen, V. 2011. Tuotekehityspäällikkö. Abloy Oy. Haastattelu 18.2.2011
43. Båsk, G. 2011. Toimitusjohtaja. Laserle Oy. Sähköposti 18.4.2011.
44. Båsk, G. 2011. Laserle Oy. Tarjous TA3652. 18.4.2011.
45. Petit, P. 2011. Vientiassistentti. Forgex France. Sähköposti 31.3.2011.
46. Jansson, H. 2011. Ironbridge Oy. Sähköposti 8.4.2011