

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
Teknillinen tiedekunta  
Konetekniikan koulutusohjelma  
BK10A0400 Kandidaatintyö ja seminaari

SYÖTTÖ- JA POISTOYHTEEN VALMISTETTAVUUS LASERHITSAAMALLA JA  
SUURPAINEMUOVAAMALLA

PROCESSIBILITY OF INLET AND OUTLET COMPONENTS BY LASERWELDING  
AND HYDROFORMING

Pekka Salkinoja  
8.3.2009

## SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO .....	1
1.1	Työn tavoitteet ja rajaus .....	1
1.2	Yritysesittely .....	2
1.3	Nykyinen valmistus .....	2
2	SUURPAINEMUOVAUS .....	3
2.1	Suurpainemuovauslaitteisto .....	4
2.1.1	Puristin .....	4
2.1.2	Muovaustyökälujärjestelmä .....	5
2.1.3	Laitteisto nestepaineen kehittämiseksi .....	6
2.2	Esipaineistuksen vaikutus suurpainemuovauksessa .....	7
2.3	Putken koon vaikutus suurpainemuovauksessa .....	8
2.4	Kitka ja voitelu .....	8
2.5	Suurpainemuovaukseen soveltuvat aihiot .....	9
2.6	Suurpainemuovauksen edut ja haitat .....	10
3	LASERHITSAUS .....	12
3.1	Laserhitsauksen parametrit .....	13
3.1.1	Laserparametrit .....	13
3.1.2	Prosessiparametrit .....	14
3.2	Laserhitsauksen edut ja haitat .....	15
4	YHTEIDEN NYKYINEN VALMISTUS .....	16
5	LASERHITSAUKSEN JA SUURPAINEMUOVAUKSEN SOVELTUVUUS YHTEIDEN VALMISTUKSEEN .....	20
5.1	Laserhitsauksen soveltuvuus yhteiden valmistukseen .....	20
5.2	Yhteiden muovaus suurpainemuovauksella .....	23
6	ERI VALMISTUSMENETELMIEN KUSTANNUKSET .....	26
6.1	Nykyisen valmistusmenetelmän kustannukset .....	26
6.2	Laserhitsauksen kustannukset .....	27
6.3	Suurpainemuovauksen kustannukset .....	29
6.4	Ulkoistamisen kokonaiskustannukset .....	29
6.5	Investoinnin takaisinmaksuaika .....	31
7	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	33
8	JATKOKEHITYSEHDOTUKSET .....	35
9	YHTEENVETO .....	36
	LÄHTEET .....	37

# 1 JOHDANTO

Teollisuudessa on valmistettu komponentteja ohutseinämäisistä putkista ja levyistä eri käyttötarkoituksiin jo pitkään. Esimerkiksi autoteollisuudessa on tullut erittäin tärkeäksi polttoaineen säästön ja autojen turvallisuuden takia, että auton osista saadaan valmistettua kevyitä ja kestäviä. Vuonna 1903 kehitetty ja vasta viimeisen 17 vuoden aikana enemmän tutkittu ja paranneltu suurpainemuovaustekniikka mahdollistaa ohutseinämäisten komponenttien valmistamisen kustannustehokkaammin ja nopeammin. Kyseinen menetelmä soveltuu erinomaisesti sekä ohutlevyjen, että putkimaisten kappaleiden muovaukseen. Suurpainemuovauksen ansiosta esimerkiksi autoissa voidaan vähentää osien lukumäärää, kasvattaa osien lujuutta ja valmistaa kevyempiä komponentteja. Suurpainemuovauksen avulla voidaan valmistaa yhdellä työvaiheella osia, joiden valmistamiseen muilla menetelmillä vaadittaisiin useampia eri työvaiheita.

## 1.1 Työn tavoitteet ja rajaus

Työn teoriaosassa perehdytään suurpainemuovauksen periaatteeseen ja laitteistoon sekä tarkastellaan suurpainemuovauksen etuja ja haittoja. Vaikka suurpainemuovaus soveltuu sekä levymäisten, että putkimaisten tuotteiden valmistukseen, on tässä työssä käsitelty ainoastaan putkimaisten osien valmistusta suurpainemuovauksella. Laserhitsauksesta kerrotaan sen periaate, tarkastellaan parametreja sekä tutkitaan edut ja haitat. Työn soveltavassa osuudessa on tarkoituksena selvittää teorian perusteella sekä laserhitsauksen ja suurpainemuovauksen asiantuntijoiden avustuksella, onko Larox Oyj:n suodattimien syöttö- ja poistoyhteiden valmistaminen mahdollista suurpainemuovauksella ja laserhitsaamalla. Lisäksi selvitetään, saavutetaanko näitä valmistusmenetelmiä käyttämällä yritykselle rahallista säästöä tai muita etuja nykyiseen yhteiden valmistusmenetelmään verrattuna.

## **1.2 Yritysesittely**

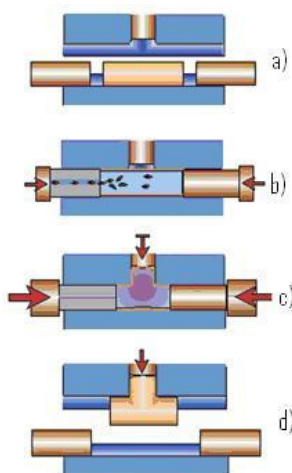
Larox Oyj on teollisuussuodattimia kehittävä, suunnitteleva, valmistava ja niiden jälkimarkkinoinnista vastaava yritys. Larox on teknologiajohtaja omalla alallaan. Yrityksen suodattimet on suunniteltu nesteiden ja kiintoaineiden erotteluun ja niitä on käytössä kaivos- ja metallurgisen teollisuuden sekä kemian prosessiteollisuuden sovelluksissa. Laroxin pääkonttori sijaitsee Lappeenrannassa, jossa valmistetaan myös kaikki pystypainesuodattimet. Yrityksellä on toimintaa 40 maassa maailmanlaajuisesti ja henkilöstöä on yli 430.

## **1.3 Nykyinen valmistus**

Nykyään yhteisiin käytettävät putket ostetaan määrämittaan katkaistuina ja liittimet valmiiksi koneistettuina. Nykyisin yhteiden valmistuksessa on käytännössä kaksi työvaihetta. Putket muovataan hydraulista puristinta ja kahta työkalua apuna käyttäen haluttuun muotoon, jonka jälkeen liitin ja muovattu putki hitsataan TIG-hitsauksella toisiinsa. Poistoyhteitä tarvitaan vuodessa noin 800 kappaletta ja syöttöyhteitä noin 200 kappaletta. Nykyisellä menetelmällä valmistusvirheiden mahdollisuus on melko suuri. Esimerkiksi Duplex-teräksestä valmistettuja putkia muovattaessa putki lähes aina repeää, jolloin putki joudutaan korjaushitsaamaan. Putket on myös erittäin vaikea saada muovautumaan täysin oikean muotoisiksi nykyisellä menetelmällä. Hitsauksessa ongelmana on hitsin tiiveys. Ainoastaan pyörityspöytää apuna käyttäen ei hitsistä saada aina täysin tiivistä. Edellä mainituista syistä laserhitsauksesta ja suurpainemuovauksesta haetaan ratkaisua valmistuksen ongelmiin. Nykyiseen valmistukseen ja sen ongelmiin paneudutaan tarkemmin kappaleessa 4. Käytännössä yhteiden valmistus laserhitsaamalla ja suurpainemuovaamalla tarkoittaa valmistuksen ulkoistamista.

## 2 SUURPAINEMUOVAUS

Suurpainemuovauksessa putkimaista kappaletta muovataan ulkoisen tai sisäisen paineen ja mahdollisen aksiaalisen syötön avulla (Mäki-Mantila 2001, s. 57). Kappale on voideltava ennen sen asettamista suurpainemuovausmuottiin. Voitelun jälkeen kappale asetetaan alatyökaluun (Kuva 1, kohta a) ja ennen työkalujen sulkemista aksiaaliset männät asetetaan muovattavan kappaleen päihin ja kappaleen sisälle syötetään muovausneste (Kuva 1, kohta b). Kun aihion sisältä on saatu kaikki ilma pois, niin muotit puristetaan tiukasti toisiaan vasten. (Savinainen 2008.) Kun muotti on kiinni, männät alkavat puristaa putkea molemmista päistä samanaikaisesti, kun toisen männän päässä olevan reiän kautta ohjataan kappaleen sisällä olevaa nestepainetta (Kuva 1, kohta c). Tätä kutsutaan suurpainemuovaukseksi aksiaalisella syötöllä. Sisäinen paine ja aksiaalinen voima saavat materiaalin virtaamaan työkaluja vasten, jolloin saavutetaan haluttu muoto (Kuva 1, kohta d). Kun kappale on saatu muovattua, työkalut avataan ja muovattu kappale voidaan poistaa. Kuvassa 1 ylin mäntä on hydraulisesti ohjattu vastapainin, jota voidaan käyttää esimerkiksi T-mallisten kappaleiden valmistamiseen suurpainemuovauksella. Aksiaalista syöttöä hyväksi käyttäen voidaan vähentää tai estää muovattavan kappaleen seinämien ohenemista. (Mäki-Mantila 2001, s. 57-59.)



Kuva 1: Suurpainemuovauksen periaate (Mukaillen: Ahmetoglu 2001.)

Suurpainemuovausta voidaan käyttää myös ilman aksiaalista syöttöä. Tällöin lähtöaihiona on putki. Jos aksiaalista syöttöä ei ole, putken seinämä ohenee putken venyessä. Tätä kutsutaan vapaaksi suurpainemuovaukseksi. (Mäki-Mantila 2001, s. 57-59.) Tässä tapauksessa aksiaalisissa sylintereissä käytetään vain tarvittavaa voimaa, jolla saadaan estettyä muovausnesteen vuotaminen aihion päistä (Savinainen 2008). Suurpainemuovausprosessin yhteydessä työkappale voidaan myös rei'ittää halutulla tavalla (Mäki-Mantila 2001, s. 58). Muovauksen lähtöaihioksi soveltuu niin suora, kuin esitaivutettukin putki tai putkeksi hitsatut levyt (Ahmetoglu 2001).

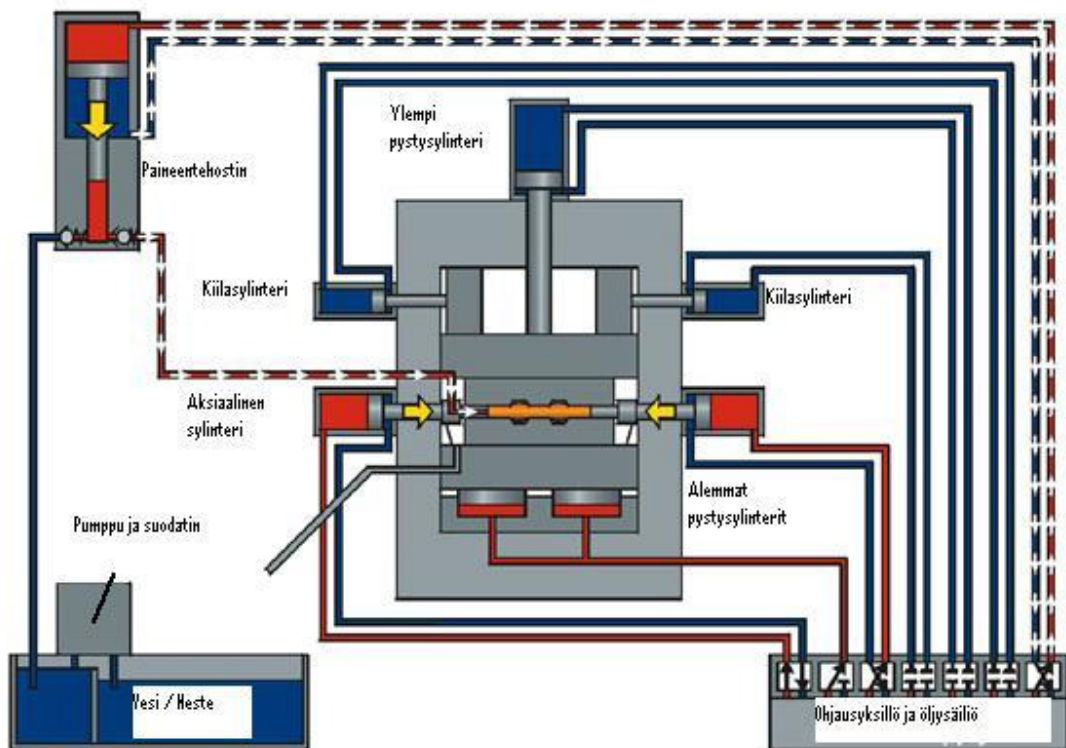
## **2.1 Suurpainemuovauslaitteisto**

Suurpainemuovauslaitteisto koostuu pääasiassa viidestä osasta joita ovat puristin työkalujen sulkemiseen, muovaustyökalut, laitteisto nestepaineen kehittämiseen, hydrauliset sylinterit työkappaleen tiivistämiseen ja materiaalin siirtämiseen sekä ohjausjärjestelmä (Koc & Altan. 2001, s. 387). Seuraavassa on kerrottu hieman enemmän laitteiston komponenteista.

### **2.1.1 Puristin**

Puristinta käytetään työkaluparin avaamiseen ja sulkemiseen sekä niiden kiinni pitämiseen muovausprosessin aikana. Puristimissa tarvittava voima riippuu muovattavasta kappaleesta. Mitä suurempi kappale on ja mitä paksumpi on muovattavan kappaleen seinämä, sitä enemmän tarvitaan voimaa työkalujen kiinnipitämiseen, koska sisäisen paineen on oltava kovempi kuin pienillä ja ohutseinämäisillä kappaleilla. Kappaleen materiaali vaikuttaa myös tarvittavaan puristusvoimaan. (Koc & Altan 2001, s.387.) Muovauksen aikana puristin on pidettävä tiukasti kiinni. Tähän voidaan käyttää joko pelkästään hydraulisia sylintereitä tai vaihtoehtoisesti kiiloja ylemmän työkalun kiinni pitämiseen. Puristimet, jotka pidetään kiinni ainoastaan sylinterien avulla, ovat yleensä erittäin kalliita, koska sylintereissä on oltava riittävästi voimaa ja pitkä liikerata. (Siegert, Häussermann, Lösch & Rieger. 2000 s. 254.)

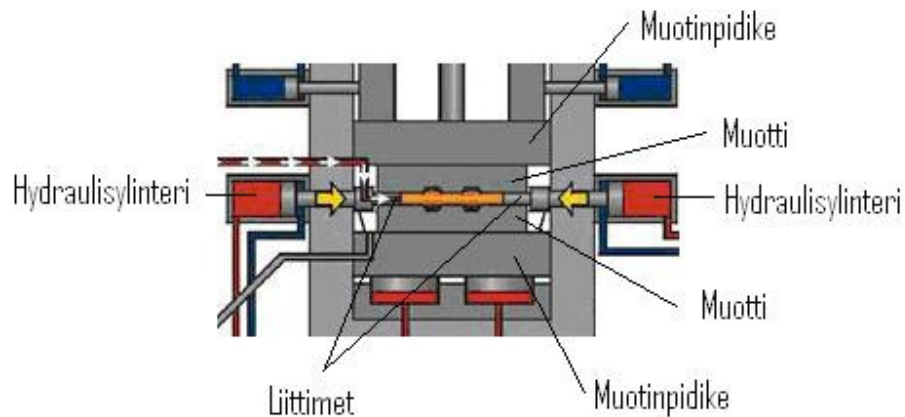
Puristimet, joissa käytetään apuna kiiloja, ovat halvempia. Näissä puristimissa ylätyökalua liikutetaan sellaisen hydraulisen sylinterin avulla, jossa on pitkä liikerata, mutta vain vähän voimaa. Ylätyökalu lukitaan paikalleen ala-asentoon kiilojen avulla. Tarvittava puristusvoima saadaan aikaan alatyökalun ja rungon välissä olevilla sylintereillä, joissa on lyhyt liikerata, mutta paljon voimaa. Kuvassa 2 on esitetty tällaisen puristimen periaate. (Siegert et al. 2000, s. 255.)



Kuva 2: Puristimen periaate (Mukaiillen: Siegert & Aust. 2003.)

### 2.1.2 Muovaustyökalujärjestelmä

Muovaustyökalut koostuvat kaksiosaisesta muotista, muottien pidikkeistä, hydraulisyntereistä kappaleen tiivistämiseen ja materiaalin siirtämiseen sekä liittimistä työkalun ja hydraulisynterien väliin. Muovaustyökalujärjestelmän osat on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3: Muovaustyökalujärjestelmä. (Mukaillen: Siegert & Aust, 2003.)

Järjestelmään voi kuulua myös vastapainimia, jos muovattava kappale niin vaatii. Kaikki pinnat, jotka ovat kosketuksissa muovattavan kappaleen kanssa, tulee olla erittäin kovia ja sileitä. Kovuutta vaaditaan, jotta muotit eivät anna periksi kappaletta muovattaessa. Muottien sileys vähentää kitkaa kappaleen ja muotin välillä. Muovattavan putken päihin tulevien liittimien tulee olla hyvin viimeistelyjä, jotta saavutetaan tarvittava tiiveys. (Koc & Altan 2001, s.388.)

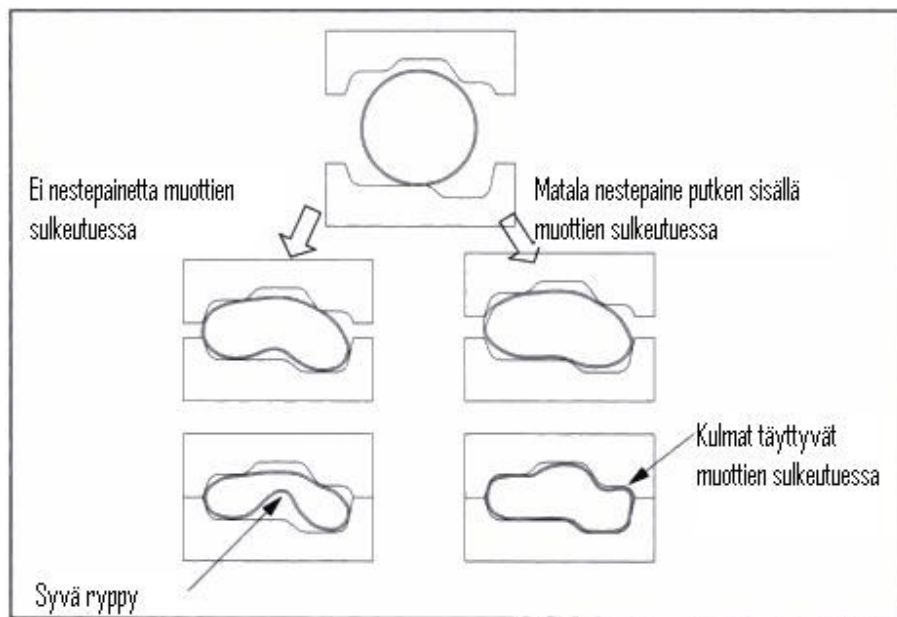
### 2.1.3 Laitteisto nestepaineen kehittämiseksi

Nestepainetta tarvitaan kappaleen sisäpuoleiseen muovaamiseen. Laitteistoon kuuluu pumppu, ohjausventtiilit sekä painentehostin. Nämä komponentit on esitetty kuvassa 2. (Koc & Altan 2001, s.388.) Joissain sovelluksissa käytetään kahta eri pumppua; toisella syötetään muovausneste aihion sisälle ja poistetaan ilma ja toinen pumppu on muovauspaineen kehittämistä varten (Savinainen 2008). Tarvittava paine riippuu muovattavan kappaleen materiaalista, seinämäpaksuudesta ja mitoista. Laitteistoa hankittaessa on syytä huomioida kaikki mahdolliset komponentit, joita suurpainemuovauksella tullaan valmistamaan ja investoitava laitteeseen, jolla voidaan kehittää riittävä paine vaativimmillekin komponenteille. (Koc & Altan 2001, s.388.) Suurpainemuovauslaitteissa muovauspaine on syklinen ja yleensä noin 3000 baria, mutta VTT on hankkinut laitteen, jolla saadaan aikaan 5000 barin jatkuva muovauspaine (Metallitekniikka 2006).



## 2.2 Esipaineistuksen vaikutus suurpainemuovauksessa

Perinteisesti suurpainemuovauksessa työkalut suljetaan ennen paineen syöttöä. Kun kappaleen sisäosa paineistetaan ennen kuin työkalut suljetaan, käyttäytyy muovattava kappale ikään kuin kiinteä esine. (Morphy 2002a.) Tätä menetelmää käyttämällä vältetään seinämänpaksuuden ohenemiselta ja voidaan käyttää pienempää muovauspainetta, koska materiaali alkaa virrata haluttuun suuntaan jo työkalujen sulkemisvaiheessa ja kappaleen sisällä oleva neste estää kappaletta litistymästä kuvan 4 mukaan. Tarvittava muovauspaine on yleensä noin  $1/3 - 1/5$  verrattuna perinteiseen suurpainemuovaukseen. (Morphy 2002b.)



Kuva 4: Esipaineistuksen vaikutus putken suurpainemuovauksessa (Harjinder 2003, s.22.)

Kun muovattavaa kappaletta ei esipaineisteta, täytyy työkappaleen olla ympärysmitaltaan 5-10 prosenttia pienempi, kuin valmiin kappaleen. Tätä menetelmää käyttämällä tarvitaan huomattavasti suurempi sisäinen paine, jotta kaikki kulmat saadaan muovattua riittävän teräviksi ja kappale saa halutun muodon. Tässä menetelmässä on myös huonona puolena se, että työkappaleen seinämänpaksuus pienenee. (Morphy 2002a.)

### **2.3 Putken koon vaikutus suurpainemuovauksessa**

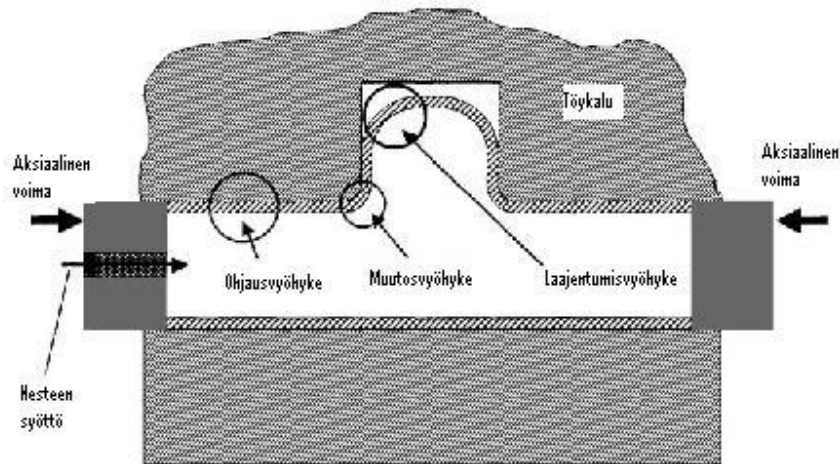
Putkiaihion halkaisijalla on merkittävä vaikutus lopputulokseen; mitä suurempi aihion halkaisija on, sitä vähemmän putken seinämä ohenee ja putki muovautuu tasaisemmin. Putkia muovatessa onkin valittava aina halkaisijaltaan mahdollisimman suuri putki, tietenkin työkalun sallimissa rajoissa. Työkalun muotoa voidaan muuttaa, jotta aihioiksi saadaan mahdollisimman suuri putki. (Kang, Kim & Kang. 2005, s. 33.)

### **2.4 Kitka ja voitelu**

Suurpainemuovauksessa syntyy erittäin suuri kitka työkappaleen ja muotin välille (Ngaile, Jaeger & Altan. 2004, s. 108). Kitkaan vaikuttavia asioita ovat voiteluaineen lisäksi muovattavan kappaleen ominaisuudet, kuten pinnankarheus ja myötölujuus sekä työkalun ominaisuudet, kuten kovuus, pinnankarheus ja pinnoite (Ahmetoglu 2001). Näiden asioiden lisäksi kitkaan vaikuttavat muovausnopeus, muovattava pituus sekä muovauspaine (Ahmetoglu & Altan. 2000, s. 29). Kitka estää materiaalin virtausta muovattaville alueille, ja voi aiheuttaa epätasaisen seinämänpaksuuden. Kitka myös edesauttaa muovausvirheitä, eli rypistymistä, nurjahtamista ja puhkeamista. Tämän takia on välttämätöntä käyttää voitelua suurpainemuovauksessa. (Ngaile et al. 2004, s. 108.) Kitkan huomioiminen ja voitelun merkitys korostuvat erityisesti silloin, kun suurpainemuovausprosessia kalibroidaan, jotta saavutetaan haluttu lopullinen kappaleen muoto (Ahmetoglu & Altan. 2000, s. 28).

Voitelun merkitys korostuu, kun käytetään aksiaalista syöttöä. Kuvassa 5 on esitetty eri kitkavyöhykkeet muovattaessa T-mallista tuotetta aksiaalisella syötöllä. Ohjaus-, muutos- ja laajentumisvyöhykkeellä on erilaiset kitkaominaisuudet. Tämän takia jokainen vyöhyke pitää tarkastella erikseen. Ohjausvyöhykkeellä materiaali ei muokkaudu toisin kuin muutos- ja laajentumisvyöhykkeellä, mutta on kuitenkin painettuna työkalua vasten sisäisen paineen ansiosta ja aksiaalinen voima liikuttaa sitä työkaluun nähden. Suurpainemuovaukseen on saatavissa niin kiinteitä, kuin nestemäisiäkin voiteluaineita. Näitä ovat esimerkiksi grafiitti ja molybdeenisulfidipohjaiset voiteet sekä erilaiset vahat, öljyt ja emulsiot. (Ahmetoglu & Altan

2000, s.28-29.) Voide voidaan levittää joko suihkuttamalla tai kastamalla työkappale voiteeseen (Mäki-Mantila 2001. s.59).



Kuva 5: Kitkavyöhykkeet suurpainemuovauksessa (Mukaiillen: Ahmetoglu & Altan 2000, s.29).

## 2.5 Suurpainemuovaukseen soveltuvat aihiot

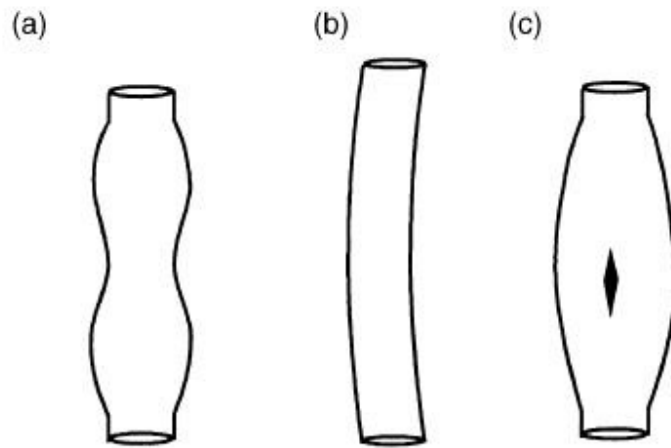
Suurpainemuovauksen lähtöaihiona on aina puolivalmiste. Muovauksen aihiksi käy esimerkiksi pyöreä putki tai pursotettu aihio. Putkiaihiota käytettäessä on tiedettävä, salliiko materiaalin sitkeys seinämän venymisen haluttuun muotoon. Jos materiaali on liian sitkeää, on yleensä valittava tasomainen aihio, joka on hitsattu putkeksi. (Mäki-Mantila 2001 s.58). Lähtöaihoita voidaan myös muokata taivuttamalla ja muovaamalla ennen suurpainemuovausta. Monimutkaiset kappaleet on yleensä esivalmisteltava ennen suurpainemuovausta (Lücke et. al. 2001, s.87-88.) Kun putkea esivalmistellaan esimerkiksi taivuttamalla ennen suurpainemuovausta, materiaali muokkauslujittuu vaikeuttaen suurpainemuovausta. Muokkauslujittuneet kappaleet on yleensä saatava alkuperäiseen tilaan, jotta suurpainemuovaus onnistuu. Tämä voidaan tehdä esimerkiksi hehkuttamalla aihiota, jolloin materiaali pehmenee. (Morphy 2004.) Materiaalin valintaan on myös kiinnitettävä huomiota, jos muokkauslujittuminen on ongelmana ennen suurpainemuovausta. Kannattaa miettiä, voitaisiinko valita venyvämpi materiaali. (Ahmetoglu 2001.)

## 2.6 Suurpainemuovauksen edut ja haitat

Suurpainemuovauksesta on eniten etua monimutkaisten osien valmistuksessa (Mäki-Mantila 2001, s.57-58). Tällä menetelmällä saadaan valmistettua räätälöityjä tuotteita, osien lukumäärää voidaan vähentää ja muovatuissa osissa saadaan säästettyä materiaalia, jolloin painokin on alhaisempi. Valmistusvaiheita saadaan myös vähennettyä, koska osat saadaan valmistettua yhdellä työvaiheella, eikä hitsaus- tai muita liitoksia välttämättä enää tarvita. Suurpainemuovauksella päästään myös hyviin muototarkkuuksiin lujillakin materiaaleilla, sillä takaisinjousto on vähäistä ja muovattuun kappaleeseen syntyy tasainen venymäjakauma. (Ahmetoglu & Sutter & Li & Altan. 2000, s.224.)

Suurpainemuovauksen suurimpana haittana voidaan pitää menetelmän soveltumattomuutta yksinkertaisten tuotteiden valmistukseen. Kappaleen tulee olla tarpeeksi monimutkainen ja työvaiheita on oltava paljon tai kappale tulee olla vaikea valmistaa muilla menetelmillä, jotta suurpainemuovauksesta saataisiin paras mahdollinen hyöty. (Mäki-Mantila 2001, s.58.) Tahtiajat ovat myös melko hitaat ja suurpainemuovauslaitteistot ovat erittäin kalliita verrattuna perinteisiin valmistusmenetelmiin. Suurpainemuovaus on myös suhteellinen uusi valmistusmenetelmä, joten tietotaitoa on erittäin vähän. (Ahmetoglu 2000.)

Putkien suurpainemuovauksessa on myös omat rajoituksensa. Kuvan 6 mukaisesti putki voi nurjahtaa, rypistyä tai puhjeta suurpainemuovauksen aikana. Nurjahtaminen on etenkin vaarana muovattaessa pitkiä putkia, kun putken pituus on suuri verrattuna seinämänpaksuuteen. Rypistymistä voi esiintyä lyhyemmilläkin putkilla, kun seinämänpaksuus on vähäinen. Nurjahtaminen ja rypistyminen voivat aiheutua monesta eri tekijästä. Näitä ovat esimerkiksi käytettävä materiaali ja geometria sekä vaikuttavat voimat. (Koc & Altan. 2002, s.124.)



Kuva 6: Yleisimmät virheet suurpainemuovauksessa. a: rypistyminen, b: nurjautaminen, c: puhkeaminen (Koc & Altan. 2002, s.124.)

### 3 LASERHITSAUS

Laserhitsaus voidaan jakaa avaimenreikähitsaukseen, sulattavaan laserhitsaukseen, pulssihitsaukseen, lisäaineelliseen laserhitsaukseen, monipalkohitsaukseen ja hybridihitsaukseen. Yleisesti laserhitsauksessa säde fokusoidaan työkappaleen pinnalle tai noin 25 % työkappaleen paksuudesta pinnan alapuolelle. (Kujanpää, Salminen & Vihinen. 2005 s.158-163.)

Avaimenreikähitsauksessa säteen tehotiheys on terästä hitsattaessa oltava vähintään  $10^6 \text{ W/cm}^2$  työkappaleen pinnalla. Kun tämä tehotiheys ylitetään, riittää teho avoimen reiän höyrystämiseen teräksillä. (Kujanpää et al. 2005 s. 158-159.) Kun lasersädettä liikutetaan hitsin suuntaisesti, materiaali sulaa säteen edestä ja kulkeutuu säteen taakse, jossa se jähmettyy ja muodostaa hitsin (Dawes 1992, s. 17).

Jos tehotiheyttä  $10^6 \text{ W/cm}^2$  ei saavuteta, on hitsaus sulattavaa. Sulattavassa hitsauksessa lasersäteestä tuleva lämpö johtuu materiaalin sisällä ja sulattaa materiaalia, jolloin muodostuu hitsi. Pulssihitsauksessa laserin teho vaihtelee säännöllisin väliajoin. Tällä saavutetaan suurempi energiatiheys, joka mahdollistaa suuremman tunkeuman tai pienemmän lämmöntonnin. Pulssihitsaus soveltuu erityisesti tuotteisiin, joissa tarvitaan tarkkoja hitsejä. (Kujanpää et al. 2005, s. 159.)

Lisäaineellinen laserhitsaus on sulattavaa- tai avaimenreikähitsausta. Tässä prosessissa lisäainetta tuodaan hitsisulaan, joka sulatetaan laserin avulla. Lisäainetta tuodaan yleensä 110-120% railotilavuudesta, jolloin saavutetaan riittävä kupu ja juuri. Monipalkohitsauksessa hitsattavat pinnat liitetään yhteen useammalla palolla. Ensimmäinen palko hitsataan ilman lisäainetta ja seuraavat palot lisäaineen kanssa. Hybridihitsauksessa yhdistetään perinteinen kaarihitsausprosessi, kuten TIG-, MIG tai plasmahitsaus sekä laserhitsaus. (Kujanpää et al. 2005, s. 161-163.)

### 3.1 Laserhitsauksen parametrit

Laserhitsauksen parametrit voidaan jakaa laser- ja prosessiparametreihin. Laserparametrit riippuvat käytettävästä laserista, eikä niitä voida muuttaa hitsauksen aikana. Näitä parametreja ovat polarisaatio, moodi sekä säteen halkaisija ja divergenssi. Prosessiparametreja ovat teho, hitsausnopeus, suojakaasu, säteen fokusointi ja polttoväli, polttopisteen asema, työtäisyys sekä säteen poikkeutus. Näitä parametreja pystytään muuttamaan hitsauksen edetessä, jos esimerkiksi kappaleen geometria sitä vaatii. (Kujanpää et al. 2005, s.164.)

#### 3.1.1 Laserparametrit

Lasersäde on valoa, jolla on tietty polarisaatio. Säde voi olla ympyräpolarisoitunutta tai tasopolarisoitunutta. Ympyräpolarisoitunutta laseria käytetään, kun hitsausjäljen on oltava samanlainen joka suuntaan. Kuitulasereilla polarisaatio ei ole ongelmana, sillä kuitu tekee säteestä niin sanotusti satunnaispolarisoitunutta, joka vastaa käytännössä ympyräpolarisoitunutta lasersädettä. (Kujanpää et al. 2005, s.164.)

Lasersäteen teho ei ole tasainen säteen poikkileikkauksella. Tätä jakaumaa kutsutaan moodiksi. Yleensä hitsauksessa käytettävien lasereiden teho on riittävän suuri, jolloin voidaan käyttää multimoodia. Kuitulasereita käytettäessä kuitu muuttaa tehojakauman tasaiseksi. Suuritehoisissa diodilasereissa tehojakauma on suorakaiteen muotoinen, joka tulee ottaa huomioon hitsaussuunnassa. (Kujanpää et al. 2005, s. 164.)

Lasersäteen halkaisija ei ole sama koko ajan, vaan se kasvaa säteen edetessä. Tätä kutsutaan säteen divergenssiksi. Koska divergenssi vaikuttaa säteen halkaisijaan, on sen vaikutus hitsausprosessin onnistumiseen käytännössä sama, kuin säteen halkaisijan vaikutus. Kun säteen halkaisija kasvaa, sen tehotiheys pienenee, jolloin tunkeuma heikkenee. Tämä saattaa koitua ongelmaksi varsinkin hiilidioksidilareilla, joissa säde ohjataan peilien avulla. Kuitu- ja diodilasereilla säteen koko ei ole ongelma, sillä kuitu vakioi säteen koon ja diodilasereissa laser on integroitu työstöliikkeeseen. (Kujanpää et al. 2005, s.165.)

### 3.1.2 Prosessiparametrit

Laserin tehosta puhuttaessa on syytä erottaa laserin ulostuloteho ja teho työkappaleen pinnalla. Teho työkappaleen pinnalla on aina pienempi, kuin laserin ulostuloteho. Tämä johtuu erilaisista optisista komponenteista, joilla säde ohjataan työkappaleen pinnalle. Teho työkappaleen pinnalla on käytännössä se, joka täytyy tietää. Tämä teho vaikuttaa tunkeuman syvyyteen, mutta nämä eivät ole kuitenkaan suoraan verrannollisia. Tunkeuman syvyys johtuu useista muistakin parametreista. (Kujanpää et al. 2005, s. 165.)

Hitsausnopeudella tarkoitetaan nopeutta, jolla säde liikkuu työkappaleen pinnalla. Tämä nopeus vaikuttaa tunkeuman syvyyteen ja leveyteen. Kun energiantuonti on vakio, eli tehoa lisätään suhteessa hitsausnopeuteen, ja hitsausnopeutta kasvatetaan, niin hitsi on kapeampi. (Kujanpää et al. 2005, s. 166.)

Suojakaasun tehtävä laserhitsauksessa on estää hitsin hapettuminen, joka voi aiheuttaa huokoisuutta ja heikentää hitsin laatua. Toinen suojakaasun tehtävä on parantaa säteen laatua, joka voi heikentyä huuруjen ja muiden kaasujen takia. Jos säde absorboituu hitsaushuuruun, syntyy plasmaa, minkä takia työkappaleeseen ei absorboitu niin paljoa energiaa. Tämä voi aiheuttaa vajaan tunkeuman. Yleisimmin käytetyt hitsauskaasut ovat argon, helium ja typpi. (Dawes 1992, s. 87-88.)

Säteen fokuoinnilla raakasäteen halkaisijaa pienennetään niin paljon, että säteen tehotiheys saavuttaa tarvittavan arvon. Halkaisijaltaan pienintä säteen kohtaa kutsutaan fokuspisteeksi ja aluetta, jolla säteen halkaisija ei kasva yli viittä prosenttia pienimmästä arvosta kutsutaan polttopisteeksi. (Dawes 1992, s. 78.) Polttoväliksi kutsutaan matkaa linssistä fokuspisteeseen. Kun polttoväliä kasvatetaan, kasvaa myös polttopisteen pituus (Kujanpää et al. 2005, s.81).

Polttopisteen asemalla tarkoitetaan polttopisteen ja työkappaleen pinnan välistä etäisyyttä. Yleensä polttopiste kohdistetaan juuri työkappaleen pinnalle tai hieman sen alapuolelle. Pienelläkin muutoksella polttopisteen asemassa saattaa olla suuria vaikutuksia hitsauksen



onnistumiseen, koska säteen intensiteetti muuttuu nopeasti fokuspisteen ylä- sekä alapuolella. (Dawes 1992, s. 85.)

Työetäisyys on työkappaleen ja hitsaussuuttimen välinen etäisyys. Yleensä työetäisyys on noin 50 mm mutta joissain sovelluksissa se saattaa olla jopa 500 mm. Säteen poikkeutuksella tarkoitetaan polttopisteen pyöritystä tai lineaarista liikettä työkappaleen pinnalla. Tätä tekniikkaa käyttämällä saadaan aikaan leveämpi hitsi, mutta työkappaleeseen tuodaan samalla enemmän energiaa, jolloin muodonmuutokset lisääntyvät. (Kujanpää et al. 2005, s.168.)

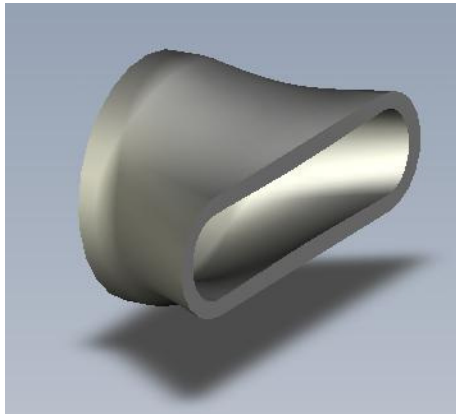
### **3.2 Laserhitsauksen edut ja haitat**

Laserhitsauksella on useita etuja verrattuna perinteisiin kaarihitsausprosesseihin. Laserhitsauksella saadaan aikaan syvä ja kapea hitsi, jonka ansiosta ei tarvita lisääainetta eikä V-railoa (Kujanpää et al. 2005, s. 157). Matalan lämmöntuonnin ansiosta hitsattavan kappaleen muodonmuutokset vähenevät tai ne voidaan eliminoida kokonaan, eikä metallurgia muutosia hitsattavassa kappaleessa tai hitsissä muodostu. Laserhitsaus on myös erittäin nopea hitsausprosessi verrattuna perinteisiin kaarihitsausmenetelmiin. Laserhitsaus tuo myös paljon vapauksia suunnitteluun, koska yhdellä hitsillä voidaan hitsata useamman levyn läpi yhtäaikaaisesti ja hitsi saadaan aikaan hitsaamalla vain toiselta puolelta. Hitsausasento ei myöskään ole ongelmana laserhitsauksessa, kunhan optiikka saadaan suojattua roiskeilta. (Dawes 1992, s. 21-23.)

Laserhitsauksella on myös omat haittapuolensakin. Koska lasersäde on erittäin kapea, täytyy hitsattavien kappaleiden olla erittäin tarkkaan valmistettuja ja saumakohdassa ei saa olla juurikaan ilmarakoa, jotta lasersäde osuu itse hitsattavaan kappaleeseen. Tämän vuoksi hitsattavat kappaleet on aina koneistettava ennen hitsausta. Tehokkaat laserhitsauslaitteistot, kuten hiilidioksidilaserit ovat kooltaan yleensä erittäin suuria, jonka takia hitsaus on aina suoritettava konepajassa. Laserhitsaus on myös aina suoritettava mekanisoituna tai automatisoituna hitsauksena, jonka takia alkuinvestoinnit ovat yleensä suuret. (Dawes 1992, s.26-27.)

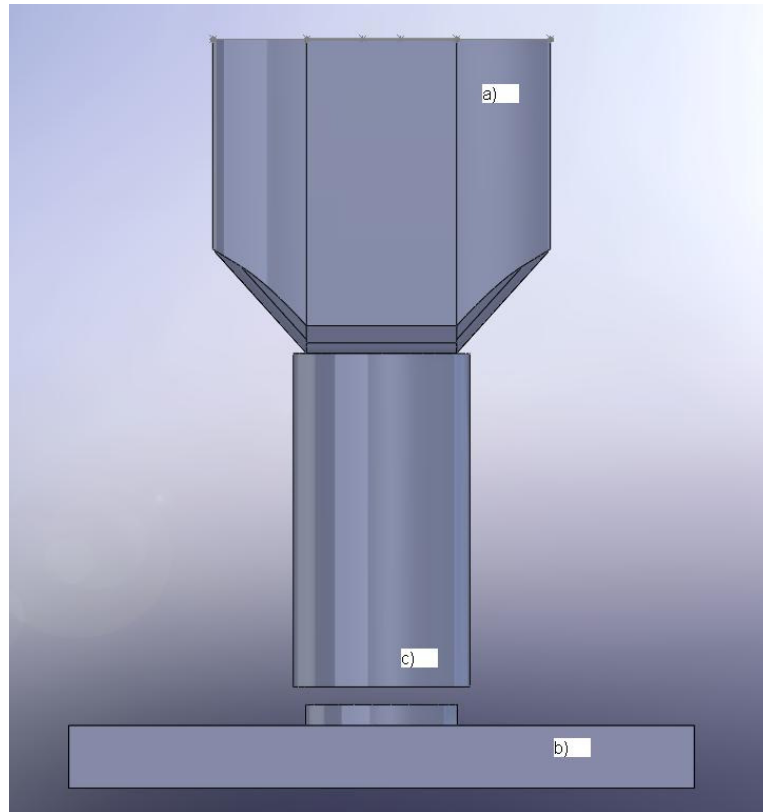
#### 4 YHTEIDEN NYKYINEN VALMISTUS

Yhteet koostuvat liittimestä ja putkesta. Liittimet ovat molemmissa yhteissä samat, mutta ero on putkien pituudessa ja muodossa. Syöttöyhteen muovatun putken pituus on valmiissa kappaleessa 90 mm ja poistoyhteen (Kuva 7) 30 mm. Valmistusmenetelmä on kuitenkin molemmille sama. Käytännössä yhteiden valmistuksessa on kaksi työvaihetta; putken muovaus sekä liittimen ja putken hitsaaminen yhteen. Liittimet hankitaan valmiiksi koneistettuina ja putket määrämittaan katkaistuina.



Kuva 7: Poistoyhteen muovattu putki.

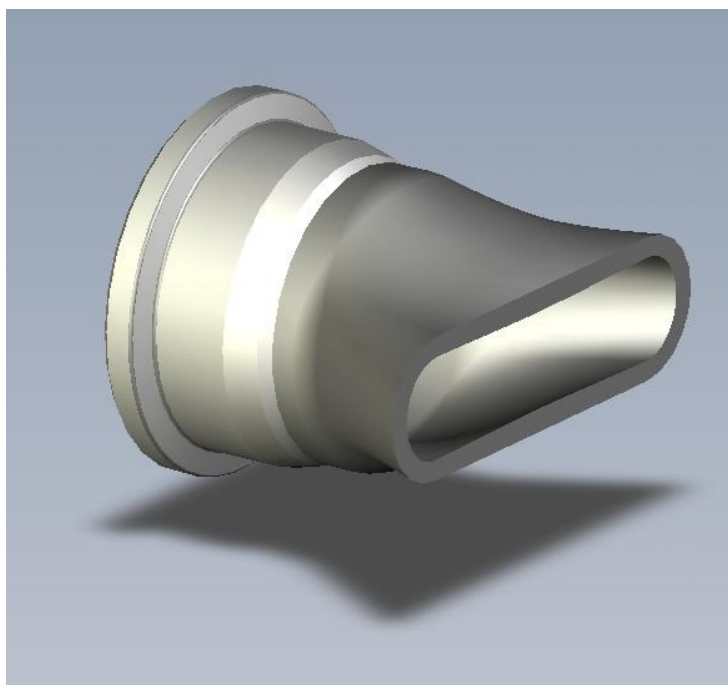
Putki painetaan muotoonsa kuvan 8 mukaisesti hydraulisen puristimen avulla. Putki asetetaan alatyökalussa olevan ulokkeen ympärille, jonka jälkeen ylätyökalua painetaan putken sisään, jolloin putki muovautuu haluttuun muotoon. Tällä menetelmällä saadaan putken ovaalinmuotoinen pää haluttuun muotoon. Molemmissa yhteissä putken päät ovat samanmuotoiset, joten yhdellä työkaluparilla voidaan muovata sekä syöttö- että poistoyhteiden putket.



Kuva 8: Poistoyhteen putken muovaus. Kuvassa a) ylätyökalu, b) alatyökalu, c) muovattava putki.

Putkien muovaus on tällä menetelmällä erittäin hidasta ja vaikeaa. Putki on aseteltava erittäin huolellisesti alatyökaluun ja muovausta seurattava ja korjattava koko ajan, sillä putki kääntyy muovattaessa helposti vinoon. Muovattu putki ei myöskään ole mitoiltaan aivan tarkka. Käytännössä putken soikeanmuotoinen pää kaareutuu aina, eikä pyöreä pää pysy täysin muodossaan. Nämä muotovirheet vaikeuttavat putken hitsausta liittimeen ja lopuksi suodattimen levyyn. Muovattaessa Duplex-teräksestä valmistettuja putkia, on ongelmana materiaalin lujuus. Duplex-teräksen suuren lujuuden vuoksi putken sivu halkeaa aina muovattaessa. Halkeama on hitsattava umpeen, joka vaikeuttaa ja hidastaa valmistamista. Putkien mitoista kriittisimmät ovat soikean muotoisen pään mitat; leveys ja korkeus sekä putken pituus muovattuna. Näiden mittojen on oltava tarkat, jotta liittimet sopivat tarkalleen kehyksissä oleviin paikkoihin ja ovat asennettuina tarkalleen oikean mittaisia.

Kun putki on puristettu oikeaan muotoonsa, hitsataan se liittimeen jonka päähän on koneistettu viiste TIG-hitsauksen lisäainetta varten (Kuva 11, kohta a). Hitsauksen jälkeen poistoyhteen tulisi olla kuvan 9 mukainen. Ongelmana TIG-hitsauksessa on, että liitin ja putki on saatava liitettyä toisiinsa aivan yhdensuuntaisesti. Koska putken pyöreä pää saattaa muovattaessa kääntyä hieman vinoon, on liittimen ja putken hitsaus melko vaikeaa. Tällä hetkellä hitsauksessa käytetään apuna pyörityspöytää. Hitsausliitoksesta on myös saatava erittäin tiivis, etteivät yhteet vuoda. Tiiveys on melko helppo saavuttaa TIG-hitsauksella, mutta joskus hitsausliitokseen tulee virheitä, eikä hitsistä tule täysin tiivis.



Kuva 9: Valmis poistoyhde.

Valmistukseen kuluu aikaa yhteensä noin 30 minuuttia mukaan lukien putken muovauksen ja hitsauksen. Yhteitä valmistetaan jopa 300 kappaleen sarjoissa, joten yhden sarjan valmistaminen vie aikaa noin 150 tuntia. Poistoyhteitä valmistetaan eri materiaaleista vuodessa yhteensä noin 800 kappaletta ja syöttöyhteitä noin 200 kappaletta. Yhteitä valmistetaan useisiin eri käyttökohteisiin ja käyttöympäristöihin, mistä syystä yhteitä on myös valmistettava useista eri materiaaleista. Materiaalit on lueteltu taulukossa 1.

*Taulukko 1: Syöttö- ja poistoyhteiden materiaalit.*

ASTM	EN	AST
304	1.4301	4301
316	1.4401	4401
316L	1.4404	4404
N08904	1.4539	904L
S31254	1.4547	254 SMO
S32205	1.4462	2205
S32750	1.4410	SAF 2507
Hastelloy C276		
Alloy 31		

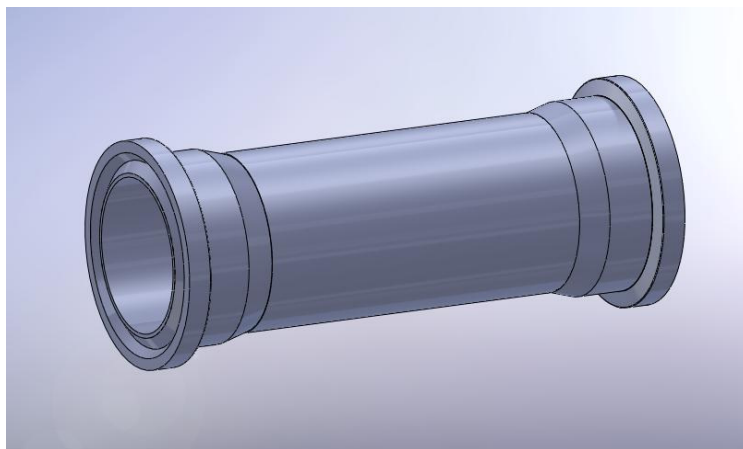
Valmiiden yhteiden mitoista kriittisimpiä ovat siis kokonaispituus sekä putken soikeanmuotoisen pään sisämitat. Näihin mittoihin saattaa syntyä virheitä käytännössä ainoastaan putken muovausvaiheessa. Valmiiden yhteiden sisällä ei myöskään saa olla pursetta, sillä niihin saattaisi takertua sisällä virtaavasta nesteestä pieniä partikkeleja, jolloin yhteet tukkeentuvat. TIG-hitsauksessa yhteen sisäpuolelle syntyy helposti epätasainen kupu, johon pienet partikkelit tarraantuvat. Tämä kupu on aina poistettava ennen yhteiden hitsaamista kehyksiin.

## 5 LASERHITSAUKSEN JA SUURPAINEMUOVAUKSEN SOVELTUVUUS YHTEIDEN VALMISTUKSEEN

Tässä kappaleessa on esitetty yksi vaihtoehto nykyisen valmistusmenetelmän tilalle. Yhteet on mahdollista valmistaa laserhitsaamalla ja suurpainemuovaamalla, joiden soveltuvuudesta yhteiden valmistukseen on kerrottu seuraavassa enemmän.

### 5.1 Laserhitsauksen soveltuvuus yhteiden valmistukseen

Ennen suurpainemuovausta kaksi liittintä hitsataan laserilla putken molempiin päihin kuvan 10 mukaisesti. Putken pituus poistoyhteelle on 80 mm ja syöttöyhteelle 190 mm. Kun liittimet on hitsattu putken päihin, voidaan kappale muovata käyttäen suurpainemuovausta. Hitsi ei sinänsä ole ongelma suurpainemuovausta ajatellen, sillä laserhitsistä ei synny suurta kupua kappaleen ulkopuolelle. Kappaleen ulkopuolelle syntyvä kupu vaikeuttaisi suurpainemuovausta, sillä se ottaisi kiinni suurpainemuovausmuotteihin vahingoittaen niitä ja estäen aksiaalisen syötön. Hitsistä tulee perusmateriaaliin verrattuna lujempi suuremman raekoon ansiosta, joten hitsin murtumisen todennäköisyys on erittäin pieni suurpainemuovauksen aikana (Kujanpää 2008).



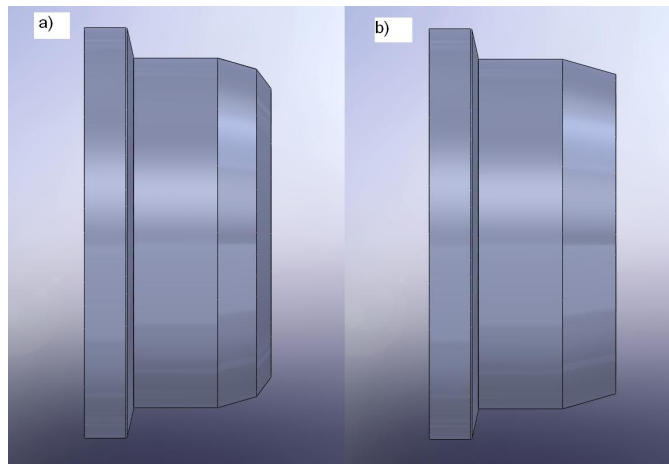
Kuva 10: Laserhitsattu poistoyhteen aihio suurpainemuovausta varten.

Laserhitsauksen suhteen kappaleen muoto on suhteellisen yksinkertainen, seinämänpaksuus riittävän pieni ja suurin osa materiaaleista hyvin hitsattavia. Näistä syistä hitsaukseen soveltuvat käytännössä kaikki laserhitsauslaitteet. Koska hitsit ovat pyörähdyssymmetrisiä, tarvitaan laserhitsauslaitteen lisäksi joko pyörityspöytä tai vaihtoehtoisesti hitsauspään on kierrettävä kappale. (Kauppila 2009) Ainoat ongelmat saattavat esiintyä duplex-teräksillä, joita hitsatessa on mahdollista, että hitsin korroosiokestävyys heikkenee, ellei käytetä lisäainetta tai lämpökäsittelyä. Yhden kappaleen hitsaukseen kuluu aikaa alle viisi minuuttia mukaan lukien kappaleen kiinnittäminen jigiiin, hitsauksen ja hitsatun kappaleen poiston. Hitsausarvot on määritettävä erikseen eri materiaaleille. (Kujanpää 2008). Jos lisäaine katsotaan tarpeelliseksi, on liittimen geometriaan tehtävä tarpeelliset muutokset sopivan railon aikaansaamiseksi.

Käytännössä putket voidaan hitsata laserilla kahdella eri tavalla; yksinkertaisen jigien avulla tai hieman monimutkaisemman jigien avulla. Jos käytetään yksinkertaisempaa jigiiä, on liittimet ensin silloitettava putken molempiin päihin TIG-hitsauksella. Tämän jälkeen kappale asetetaan pyörityspöydässä kiinni olevaan jigiiin, jonka jälkeen hitsaus voidaan suorittaa. Tämä menetelmä vaatii, että liittimet ja putket ovat tarkoin koneistettuja, jolloin putken ja liittimen pituudet ovat aina samat, ja näin hitsin paikka on aina vakio. (Kauppila 2009.)

Toinen mahdollisuus on valmistaa hieman monimutkaisempi jigii, johon kappaleet vain asetetaan. Tässä tapauksessa osia ei tarvitse silloittaa toisiinsa, mikä helpottaa valmistamista. Monimutkaisempi jigii kuitenkin vaatii, että liittimeen ja putkeen on koneistettu olakkeet, jotka helpottavat kappaleiden kohdistamista laserhitsausta varten. Molemmissa tapauksissa laserhitsauslaitteessa mahdollisesti oleva railonseuranta helpottaisi valmistamista ja takaisi paremman hitsauslaadun. (Kauppila 2009.)

Jotta putki ja liitin voitaisiin hitsata toisiinsa laserhitsauksella, on liittimen geometriaa muutettava. TIG-hitsauksen lisäainetta varten oleva viiste on poistettava siten, että liittimen pään ulkohalkaisija on sama, kuin putken ulkohalkaisija kuvan 11 mukaisesti. Jos hitsauksessa tarvitaan lisäainetta, on liittimeen koneistettava sopiva viiste. Monimutkaisempaa jigiiä varten liittimeen on koneistettava myös olake.



Kuva 11. a) Liittimen nykyinen geometria. b) Liittimen geometria laserhitsausta varten

Materiaaleista ainakin duplex-teräksille on tehtävä hitsausohje ja varmistettava parametrien oikeellisuus sekä selvitettävä lisäaineen ja esilämmityksen tarve (Kauppila 2009.) Liitoksen on oltava läpihitsattu, eikä juurivirheitä saa olla, jotta saadaan varmistettua hitsin riittävä lujuus (Rautio 2009.) Näin ollen hitsauksen on oltava avaimenreikähitsausta.

Putket ja liittimet hankitaan jo ennestään koneistettuina, joten liitospintojen tarkkuus ei ole ongelma laserhitsausta ajatellen. Itse hitsaukseen kuluu aikaa alle 20 sekuntia, mutta suurin osa ajasta kuluu kappaleen vaihtamiseen. Pienellä sarjakoollla on myös asetusajalla merkitystä, eli kuinka kauan kestää, ennen kuin laitteisto on valmis hitsausta varten. Tähän lasketaan esimerkiksi jigin asemointi ja hitsauspään valmistelu, eli mm. railonseurannan ja fokusointioptiikan kohdistaminen (Kauppila 2009.)

Laserhitsauksen eduista yhteitä hitsattaessa parhaiten tulevat esille pieni lämmöntuonti ja hitsin lujuus. Suurpainemuovausta ajatellen hitsauksen aikana tapahtuvat muodonmuutokset saattaisivat merkittävästi vaikeuttaa muovausprosessia, sillä aihio ei välttämättä enää mahtuisi suurpainemuovausmuottiin. Pienen lämmöntuonnin ansiosta muodonmuutokset jäävät erittäin vähäisiksi. Hitsin suuri lujuus on myös erittäin edullinen suurpainemuovauksen kannalta.



Yhteiden hitsaukseen soveltuvia laserhitsauslaitteita on Suomessa paljon. Putkille soveltuvia suurpainemuovauslaitteita on Suomessa vain kaksi. Toinen sijaitsee Äänekoskella Meconetilla ja toinen Torniossa Länsi-Lapin ammatti-instituutissa. Jos suurpainemuovaus tehdään Torniossa, on hitsauskin järkevää tehdä Torniossa. HT Lasertekniikalla on samassa kaupungissa yhteiden hitsaukseen soveltuvat laitteet.

## **5.2 Yhteiden muovaus suurpainemuovaksella**

Kun liittimet on hitsattu putken molempiin päihin, on aihio valmis suurpainemuovattavaksi. Yhteitä muovattaessa on edullista käyttää esipaineistusta. Esipaineistuksen avulla putki ei nurjahda keskeltä muottien sulkeutumisvaiheessa, ja hitseihin kohdistuvaa taivuttavaa voimaa saadaan pienennettyä, koska sisäpuoleinen nestepaine pitää ympyrän muotoisen putken osan muodossaan. Esipaineistuksen ansiosta aihio muovautuu ikään kuin kiinteä kappale.

Voitelun jälkeen aihio asetetaan alempaan työkaluun, johon on koneistettu puolikkaan aihion muotoinen ura. Tämän jälkeen aksiaaliset sylinterit asetetaan putken päihin ja aihion sisälle syötetään muovausneste. Kun kaikki ilma on saatu aihion sisältä pois, syötetään aihion sisälle esipaine, jonka jälkeen muotti suljetaan ja puristetaan tiukasti kiinni. Tämän jälkeen aihion päihin asetetut aksiaaliset sylinterit alkavat puristaa kappaletta kasaan samanaikaisesti, kun sisäpuoleista painetta ohjataan. Aksiaalinen syöttö ei muovauksessa voi olla kovinkaan suuri, sillä liittimen päissä olevat ulokkeet eivät salli kovin pitkää syöttöä. Aksiaalinen syöttö voi olla maksimissaan noin 10 mm molemmilla puolilla. Koska putken pituus on ennen suurpainemuovausta 80 mm ja muovauksen jälkeen 60 mm, on 20 mm aksiaalinen syöttö riittävä, jotta materiaalia saadaan syötettyä tarpeeksi muovattavalle alueelle. Näin saadaan huomattavasti vähennettyä seinämänpaksuuden vähenemistä. Kun aihio on saatu muovattua, se poistetaan muotista ja uutta aihiota aletaan muovata. Muovattu kappale katkaistaan keskeltä poikki, jolloin valmistuu kaksi kappaletta valmiita yhteitä. Katkaistun pinnan laadulla ei ole enää kovin suurta merkitystä, sillä yhteet hitsataan kehyksiin puikkohitsauksella. Ainoa kriteeri katkaisulle on se, että leikkauspinta on suora. Tästä syystä katkaisuun voidaan käyttää esimerkiksi vannesahaa ja se voidaan suorittaa Laroxilla.

Yhteet eivät ole suurpainemuovauksen kannalta kovinkaan monimutkaisia kappaleita, eikä käytettävistä materiaaleista mikään aiheuta ongelmia suurpainemuovauksessa (Hildén 2009b). Nykyisellä valmistusmenetelmällä duplex-teräksen suuri lujuus aiheuttaa ongelmia putkea muovattaessa, mutta suurpainemuovauksessa sekään ei tuota ongelmia. Tasainen muovaustapahtuma ja aksiaalinen syöttö mahdollistavat myös duplex-terästen muovaamisen ilman ongelmia. Tasainen muovaustapahtuma estää materiaalin repeytymisen ja aksiaalinen syöttö estää seinämänpaksuuden ohenemisen. Suurimpana hyötynä kappaleiden valmistuksessa suurpainemuovauksella valmistustekniseltä kannalta on lopputuotteen mittatarkkuus. Kriittisimmät mitat yhteissä ovat putken pituus sekä ovaalinmuotoisen pään sisämitat. Suurpainemuovauksella nämä mitat saadaan täysin piirustusten mukaisiksi. Putken ovaalinmuotoisen pään kulmia ei saada aivan nykyisen kuvan mukaisiksi, mutta se ei vaikuta mainittavasti valmistukseen eikä yhteiden toimintaan. Lisäksi suurpainemuovauksen etuna on se, että putken ovaalinmuotoinen pää ei ole enää kaareva, vaan täysin suora. Tämä helpottaa merkittävästi yhteiden hitsausta levyihin.



Kuva 12: VTT:n suurpainemuovauslaitteisto Torniossa (Hildén 2009c).

Kuvassa 12 esitetty laitteisto on VTT:n omistama, mutta pitkäaikaisvuokralla Länsi-Lapin ammatti-instituutille. Laitteella saavutetaan 5000 barin jatkuva muovauspaine ja muovauspöydän koko on 1,2 X 1,6 metriä. Laitteella voidaan muovata halkaisijaltaan 150 mm, seinämäpaksuudeltaan 10 mm ja pituudeltaan 1000 mm kokoisia putkia. (Heiska, 2006.) Laitteessa on myös manipulaattori kappaleiden vaihtoon, jonka avulla tahtiajat saadaan pieniksi (Hildén 2009b). Näin ollen syöttö- ja poistoyhteet ovat varsin pieniä ja helposti valmistettavia kappaleita tällä suurpainemuovauslaitteistolla. Suurpainemuovaksessa käytettävät muotit kestävät keskimäärin 40 000 muovausta, ennen kuin muottia joudutaan korjaamaan (Savinainen 2009). Näin ollen esimerkiksi poistoyhteiden 800 kappaleen vuosituotannolla muotti kestää 50 vuotta.

## **6 ERI VALMISTUSMENETELMIEN KUSTANNUKSET**

Tässä kappaleessa on käsitelty yhteiden valmistuksesta muodostuvia kustannuksia. Ensin käydään läpi nykyisen valmistusmenetelmän aiheuttamat kustannukset, jonka jälkeen perehdytään laserhitsauksen ja suurpainemuovauksen kustannuksiin. Tämän jälkeen tarkastellaan ulkoistamisesta aiheutuvat kustannukset sekä lasketaan takaisinmaksuaika.

Yhteiden hinta koostuu putken ja liittimen hinnasta sekä työvoimakustannuksista. Putken ja liittimen hinta riippuu erittäin paljon käytettävästä materiaalista. Esimerkkilaskelmien kohteeksi voidaan ottaa halvin materiaali, eli AISI 304. Materiaalilla ei ole merkitystä säästöjä ajatellen, sillä kustannukset nousevat samassa suhteessa niin nykyisellä menetelmällä, kuin laserhitsaamalla ja suurpainemuovaamalla materiaalin vaihtuessa. Materiaali ei vaikuta laserhitsauksen eikä suurpainemuovauksen kustannuksiin, sillä prosessit ovat samat materiaalista riippumatta. Yhteiden päähän tulevan liittimen hinta ei muutu, vaikka sen geometriaa hieman muutettaisiinkin. Putken osalta hankintahinta hieman muuttuu, sillä osa putken hinnasta muodostuu sen katkaisusta. Mitä pidempi putki ostetaan, sitä halvempi on metrihinta. Syöttöyhteiden vuosittainen tarve on 200 kappaletta ja poistoyhteiden 800 kappaletta.

### **6.1 Nykyisen valmistusmenetelmän kustannukset**

Tällä hetkellä poistoyhde maksaa Laroxille halvimmillaan 20 euroa ja syöttöyhde 25 euroa. Hinnat koostuvat taulukon 2 mukaan, mutta hinta vaihtelee paljonkin materiaalista riippuen ja on korkeimmillaan jopa yli 200 euroa kappaleelta.

*Taulukko 2: Syöttö- ja poistoyhteen hinnan muodostuminen nykyisellä valmistusmenetelmällä.*

Kappale	Putken hinta (€)	Liittimen hinta (€)	Työn hinta (€)	Loppuhinta (€)
Syöttöyhde	5,40	6,00	13,60	25
Poistoyhde	3,30	6,00	10,70	20

Taulukosta huomataan, että työn osuus on noin 50 % loppusummasta. Koska liittimet ja putket hankitaan valmiiksi koneistettuina ja putken muovaus ja yhteiden hitsaus tapahtuu Laroxilla, ei sarjakoolla ole vaikutusta loppuhintaan. Jotta voidaan vertailla nykyisen menetelmän ja ulkoistamisen kustannuksia, on taulukossa 3 laskettu poistoyhteiden ja taulukossa 4 syöttöyhteiden tämänhetkiset kustannukset sarjakoona mukaan.

*Taulukko 3: Poistoyhteiden valmistuksen hinta nykyisellä valmistusmenetelmällä sarjakoona mukaan.*

Sarjakoko	Putken hinta	Liittimen hinta	Työn hinta	Hinta yhteensä
100	3,3	6	10,7	2000
200	3,3	6	10,7	4000
300	3,3	6	10,7	6000
400	3,3	6	10,7	8000
500	3,3	6	10,7	10000
600	3,3	6	10,7	12000
700	3,3	6	10,7	14000
800	3,3	6	10,7	16000

*Taulukko 4: Poistoyhteen valmistuksen hinta nykyisellä valmistusmenetelmällä sarjakoona mukaan*

Sarjakoko	Putken hinta	Liittimen hinta	Työn hinta	Hinta yhteensä
100	5,4	6	13,6	2500
200	5,4	6	13,6	5000

## **6.2 Laserhitsauksen kustannukset**

Laserhitsauksen työn kustannukset riippuvat käytettävästä hitsaustavasta ja sarjakoosta. Työn osuuteen ei vaikuta, hitsataanko syöttö- vai poistoyhteitä. Yksittäisen aihion hitsauksen kustannukset on esitetty taulukossa 5. Ensimmäisellä tavalla hitsattaessa, eli yksinkertaisempaa jigä käyttäen hitsauksen hinta on sarjakoosta riippumatta yhden euron

halvempi, kuin tavalla kaksi hitsattaessa, mutta tämän hinnan lisäksi tulee kustannuksiin laskea siltahitsien hinta, joka on kaksi euroa/aihio sarjakoosta riippumatta. Monimutkaisempaa jigiiä käyttämällä ei siltahitsejä tarvita. (Kauppila 2009.)

*Taulukko 5: Sarjakoon vaikutus laserhitsauksen kustannuksiin käytettävästä menetelmästä riippuen (Kauppila 2009.)*

Sarjakoko	Tapa 1. Euroa/aihio	Tapa 2. Euroa/aihio
50	10	9
100	8,5	7,5
150	8	7
200	7,75	6,75
250	7,6	6,6
300	7,5	6,5
350	7,4	6,4
400	7,35	6,35

Laserhitsaukseen käytettävien liittimien hinta on sama, kuin nykyisellä menetelmällä käytettävien liittimien, eli 6 €/liitin. Poistoyhteelle käytettävä 80 mm putki maksaa 4,80€/kappale ja syöttöyhteelle käytettävä 190 mm pitkä putki maksaa 8 €/kpl. Monimutkaisempaa jigiiä käyttämällä tulee työn hinnaksi vähemmän, kuin yksinkertaisempaa jigiiä käyttämällä, sillä liittimiä ei tarvitse silloittaa putken päihin. Tämä menetelmä tosin vaatii, että liittimen ja putken päihin koneistetaan olakkeet helpottamaan kappaleiden kohdistusta laserhitsausta varten. Liittimen hintaan tämä ei vaikuta, mutta putken päähän koneistettava olake maksaa enemmän, kuin yhden euron/putki (Rautio 2009). Tästä syystä monimutkaisemman jigien käyttö jätetään pois laskelmista, koska sillä ei saavuteta rahallista säästöä ja sen valmistaminen maksaisi yritykselle 2500€. Yksinkertaisemman jigien valmistus maksaa 890 €.

### **6.3 Suurpainemuovauksen kustannukset**

Yhteiden suurpainemuovaamiseen tarvittava muotti maksaa 50 000 €. Sekä poisto- että syöttöyhte vaativat molemmat omat muottinsa. JaloteräsStudiolla sijaitsevan suurpainemuovauslaitteiston päivähinta on 2000 € ja laitteisto vuokrataan aina päiväksi, joten suurpainemuovauksen kustannukset ovat kiinteät riippumatta sarjakoosta. (Hildén 2009a.) Laitteistolla pystytään muovaamaan noin 500 – 600 aihiota päivässä (Hildén 2009b).

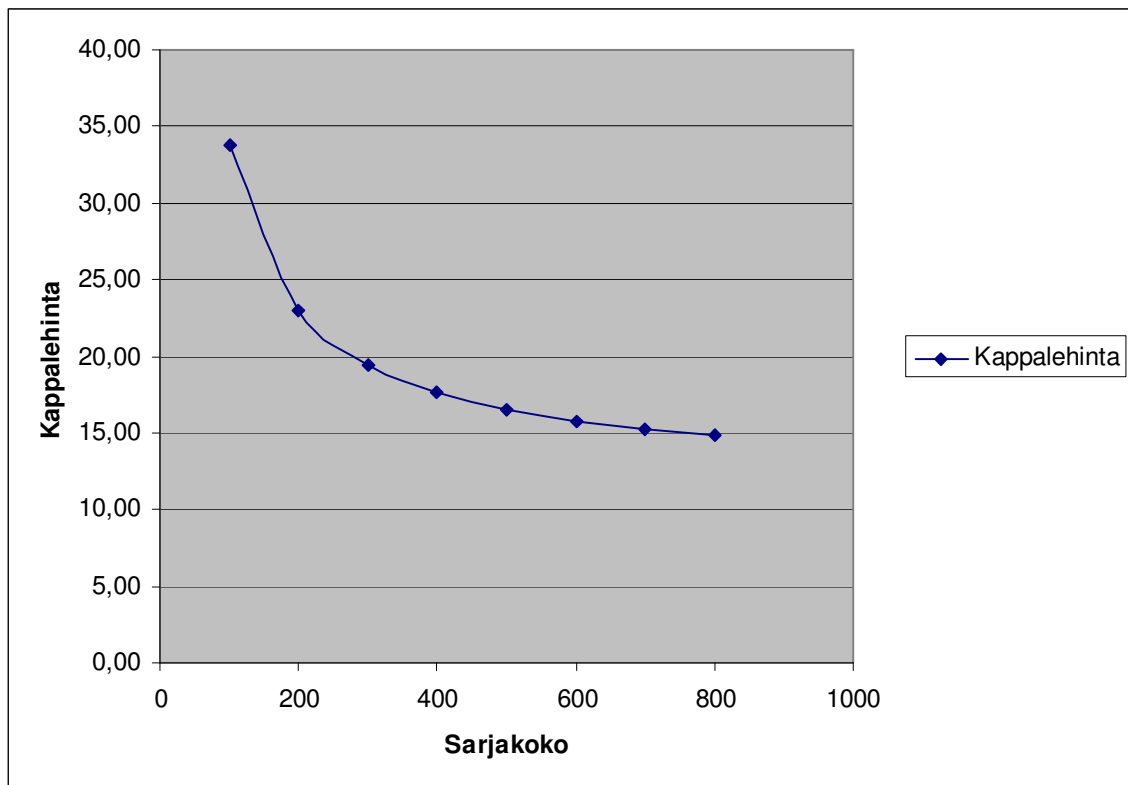
### **6.4 Ulkoistamisen kokonaiskustannukset**

Kun yhdistetään laserhitsauksen ja suurpainemuovauksen kustannukset, sekä lasketaan mukaan kappaleiden kuljetus Tornioista Laroxille ja otetaan huomioon kappaleen katkaisu, saadaan ulkoistamisen kustannukset selville. Liitteessä I on esitetty poistoyhteen valmistuksen ulkoistamisesta syntyvät kustannukset ja liitteessä II syöttöyhteen.

Syöttö- ja poistoyhteiden kappalehinta ulkoistettaessa laskee merkittävästi sarjakoon kasvaessa. Laserhitsauksen kappalekohtaiset kustannukset pienenevät, kun sarjakokoa kasvatetaan. Merkittävin osa hinnan laskuun tulee kuitenkin suurpainemuovauksen kustannuksista, jotka pysyvät samana riippumatta sarjakoosta. Kuvasta 13 selviää sarjakoon vaikutus poistoyhteen kappalehintaan käyttämällä yksinkertaisempaa jiggiä aihioden hitsauksessa. Laskelmien mukaan (Liite I) poistoyhteen kappalehinnaksi tulee alle 20 €, kun sarjakoko ylittää 300 kappaletta. Jos poistoyhteitä voitaisiin valmistaa koko vuoden tarve kerralla, eli 800 kappaletta, tulisi valmistamien 5,13 €/kappale halvemmaksi nykyiseen valmistusmenetelmään verrattuna. Näin ollen vuodessa saataisiin noin 4100 € säästöt.

Poistoyhteiden valmistuksesta laserhitsaamalla ja suurpainemuovaamalla saadaan siis säästöä alkuinvestointien jälkeen yli 300 kappaleen sarjoissa. Sarjakoossa ei tarvitse ottaa huomioon eri materiaaleja, sillä laserhitsaus onnistuu kaikille materiaaleille samalla jigillä vain hitsausarvoja muuttamalla. Suurpainemuovauksen hintaan materiaali ei myöskään vaikuta, sillä muotti on kaikille sama. Muovauksessa ainoastaan sisäisen paineen suuruus ja aksiaalisen

puristusvoiman tarve muuttuvat materiaalin vaihtuessa. Nämä parametrit ovat helposti muutettavissa tietokoneella, jolla muovauslaitteistoa ohjataan, materiaalin vaihdon yhteydessä. Suurpainemuovattu aihio on vielä katkaistava, jotta saadaan kaksi kappaletta valmiita yhteitä. Tämä voidaan tehdä Laroxilla ja yhden aihion katkaiseminen maksaa 0,50 € (Rautio 2009.)

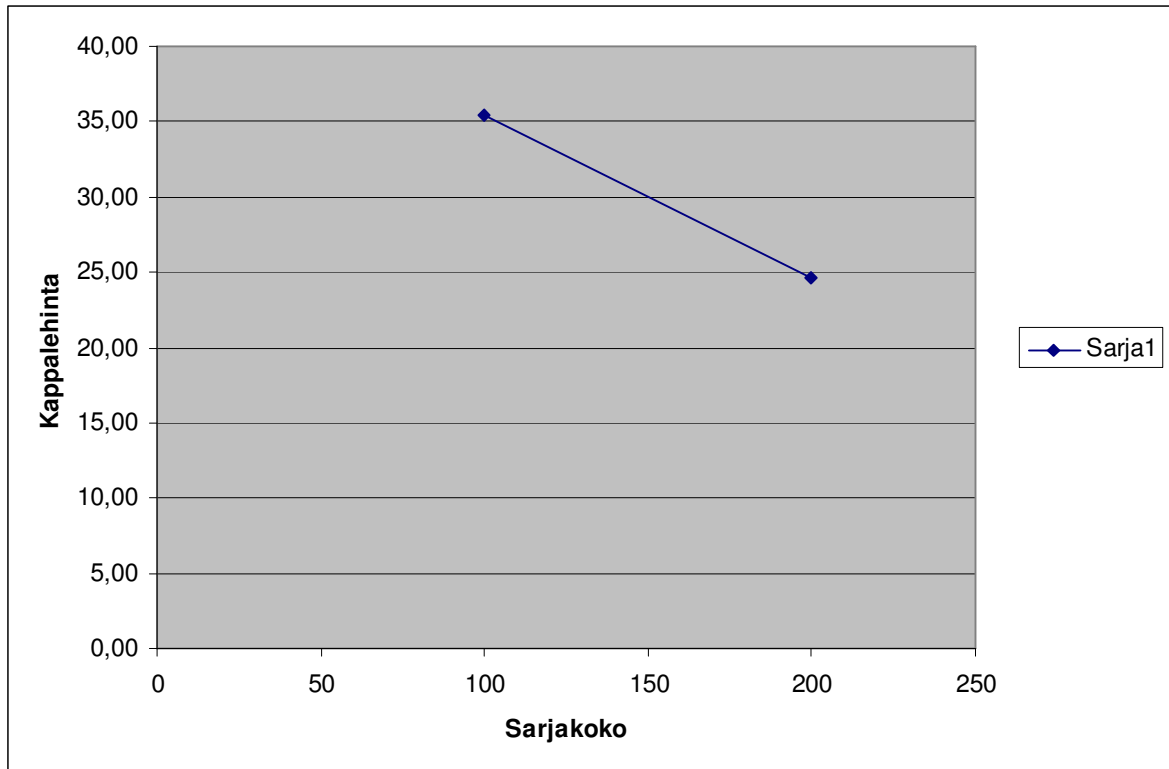


Kuva 13: Poistoyhteen hinnan muuttuminen sarjakoona kasvaessa yksinkertaisempaa jigii käyttäen.

Syöttöyhteiden vuosittainen tarve on 200 kappaletta. Kuvasta 14 voidaan nähdä syöttöyhteiden hinnan muuttuminen sarjakoona mukaan yksinkertaisempaa jigii käyttäen. Kaavion arvot tulevat liitteen II mukaan. Kaaviosta nähdään, että syöttöyhteiden valmistus tulee laserhitsaamalla ja suurpainemuovaamalla nykyistä menetelmää halvemmaksi, jos koko vuoden tarve, eli 200 kappaletta valmistetaan kerralla. Suurimmillaan näillä menetelmillä saataisiin syöttöyhteiden valmistuksessa 39 sentin säästö syöttöyhdettä kohden, mutta 50 890 € investointi suurpainemuovausmuotteihin ja laserhitsausjigiin on erittäin suuri näin pieneen



säästöön verrattuna. Koska syöttöyhteiden valmistusmenetelmää muuttamalla ei voida saavuttaa huomattavaa rahallista säästöä, on turha pohtia siihen investoimista.

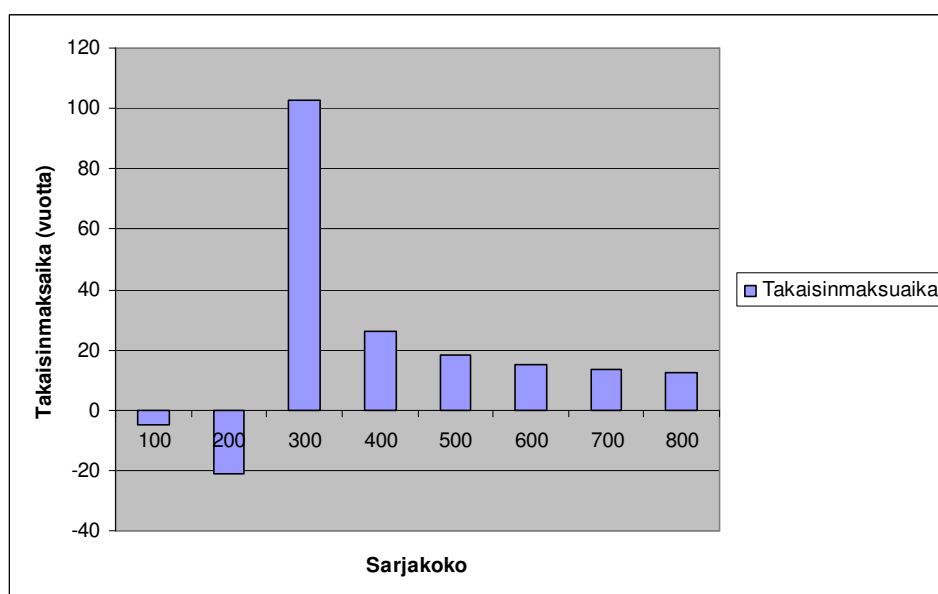


Kuva 14: Sarjakoona vaikutus syöttöyhteen kappalehintaan.

## 6.5 Investoinnin takaisinmaksuaika

Kustannuslaskelmien perusteella ainoastaan poistoyhteiden valmistuksen ulkoistamiseen sijoittamalla saavutetaan rahallista säästöä yritykselle. Investoinnin suuruus olisi siis 50890 € mukaan lukien hitausjigin ja suurpainemuovausmuotin valmistamisen. Jos investoinnin takaisinmaksuaika lasketaan korottomalla takaisinmaksuajalla, riippuu se valitusta sarjakoosta. Kuvasta 15 voidaan nähdä koroton takaisinmaksuaika jokaisella sarjakoolla poistoyhteille. Kuvan 15 arvot on saatu taulukosta 6. Taulukossa sarjakoko on valmistettavien poistoyhteiden määrä yhdellä kertaa. Laserhitsauksen ja suurpainemuovauksen kustannukset on laskettu samalla tavalla, kuin liitteessä I, mutta nyt on huomioitu, että yhteitä tarvitaan vuodessa joka tapauksessa 800 kappaletta. Tästä johtuen kustannukset on kerrottu niin, että 800 kappaletta

saadaan valmistettua. Kustannukset nykyisellä valmistusmenetelmällä ovat aina 16 000€ vuodessa, koska sarjakoko ei vaikuta loppusummaan. Säästöt on laskettu yksinkertaisesti vähentämällä nykyisistä valmistuskustannuksista uuden valmistustavan aiheuttamat kustannukset. Koroton takaisinmaksuaika voidaan lasketa jakamalla investoinnista aiheutuvat kustannukset saatavilla säästöillä (Neilimo & Uusi-Rauva. 1997, s.194). Taulukosta 6 ja kuvasta 15 voidaan selvästi havaita, että takaisinmaksuaika laskee rajusti sarjakoosta kasvaessa. Lyhyin takaisinmaksuaika saadaan, jos pystytään valmistamaan kaikki vuoden aikana tarvittavat poistoyhteet kerralla.



Kuva 15: Koroton takaisinmaksuaika sarjakoosta riippuen.

Taulukko 6: Koroton takaisinmaksuaika

Sarjakoko (kpl)	Laserhitsauksen ja suurpainemuovauksen kustannukset yhteensä (€/vuosi)	Kustannukset nykyisellä valmistusmenetelmällä (€/vuosi)	Säästö vuodessa (€)	Koroton takaisinmaksuaika (vuotta)
100	27042,40	16000	-11042,40	-4,6
200	18390,40	16000	-2390,40	-21,3
300	15505,33	16000	494,67	102,9
400	14063,00	16000	1937,00	26,3
500	13197,60	16000	2802,40	18,2
600	12620,67	16000	3379,33	15,1
700	12198,86	16000	3801,14	13,7
800	11890,90	16000	4109,10	12,4

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Laserhitsauksen kannalta aihoiden valmistamisessa ei ole suuria ongelmia. Yhteiden hitsaus vaatii laserhitsauslaitteiston lisäksi pyörityspöydän tai vaihtoehtoisesti sellaisen laitteiston, että hitsauspää saadaan kiertämään aihio. Materiaaleista suurin osa on erittäin yleisesti käytettyjä laserhitsausprosesseissa, joten yhteiden aineenpaksuuksille löytyy valmiiksi käyttökelpoiset hitsausarvot. Todennäköisesti ainoastaan duplex-teräksille on laadittava hitsausohje. Prosessia ajatellen laserhitsaus soveltuu erittäin hyvin liittimien hitsaamiseen putkeen, sillä laserhitsauksessa on pieni lämmöntuonti, jolloin muodonmuutokset ovat myös erittäin pienet. Laserhitsauksesta ei myöskään synny merkittävää kupua yhteiden ulkopinnalle, joka vaikeuttaisi tai estäisi suurpainemuovauksen. Tämä on suuri etu verrattuna perinteisiin kaarihitsausprosesseihin.

Suurpainemuovausprosessi on varsin helppo toteuttaa VTT:n laitteistolla, sillä laitteisto soveltuu huomattavasti suurempienkin kappaleiden muovaamiseen. Nykyisellä valmistusmenetelmällä duplex-teräksestä valmistettuja putkia muovattaessa putki repeää aina muovauksen aikana. Lämpömuovauksen avulla duplex-teräksestä valmistettu putki saataisiin ehkä muovattua nykyisellä menetelmällä ilman ongelmia, mutta putken kova lämmitys poistaisi kaikki vaaditut duplex-teräksen ominaisuudet. Suurpainemuovaus soveltuu kaikille materiaaleille, sillä esipaineistus ja aksiaalinen syöttö vähentävät seinämänpaksuuden pienenemistä. VTT:n laitteistossa on myös manipulaattori, joka nopeuttaa valmistusta huomattavasti.

Jos yhteiden valmistus ulkoistetaan ja niitä aletaan valmistaa laserhitsaamalla ja suurpainemuovaamalla, saadaan yhteiden laatu nykyistä paremmaksi. Laserhitsauksen käyttäminen vähentää vuotamisen mahdollisuutta ja suurpainemuovauksen avulla saadaan ovaalinmuotoinen pää täysin suoraksi.

Kustannuksia ajatellen alkuinvestointi on melko suuri verrattuna ulkoistamisen tuottamiin säästöihin. Vaikka kaikki poistoyhteet valmistettaisiinkin kerralla, on takaisinmaksuaika todella pitkä; noin 13 vuotta. Toisaalta taas nykyisillä valmistusmäärillä muotti kestäisi kymmeniä vuosia ennen kuin sitä jouduttaisiin korjaamaan. Vaikka rahallinen säästö onkin pieni, saa yritys valmistuksen ulkoistamisesta muita hyötyä, kuten työvoimaa vapautuu muihin tarkoituksiin ja poistoyhteiden laatu paranee.

## 8 JATKOKEHITYSEHDOTUKSET

Jotta kappale saadaan käytännössä valmistettua laserhitsaamalla ja suurpainemuovaamalla, on jatkossa tarkasteltava laserhitsauksen kannalta tarkkaan kaikki työn teoriaosassa esitetyt parametrit materiaalikohtaisesti, valittava oikeat suojakaasut sekä laadittava hitsausohje sitä tarvitseville materiaaleille. Työssä mainittujen hitsausjigien lisäksi tulee myös selvittää, onko mahdollista valmistaa sellainen kiinnitin, jota käytettäessä liittimiä ei tarvitse silloittaa putkeen, eikä olakkeita tarvita osien kohdistukseen. Laserhitsauksen tilalle kannattaisi myös miettiä elektronisuihkuhitsausta, jolla hitsi ei hapettuisi.

Suurpainemuovausta ajatellen on laskettava tarkoin tarvittava paine, aksiaalisen syötön tarve sekä paras mahdollinen voiteluaine. Suurpainemuovauksen muotti on myös suunniteltava ja valmistettava. Lisäksi suurpainemuovauksen kannalta olisi hyvä pohtia liittimen geometria sellaiseksi, että tasaisen osuuden pituus olisi mahdollisimman pitkä. Tämä saattaisi helpottaa suurpainemuovausprosessia mahdollistaen pidemmän aksiaalisen syötön. Liittimen geometriaa suunniteltaessa on otettava myös laserhitsauksen onnistuminen huomioon.

Lisäksi on hyvä tarkoin selvittää, voitaisiinko yhteitä valmistaa muualla halvemmalla. Tässä työssä esitetyt kustannuslaskelmat on tehty VTT:n laitteiston hintojen mukaan, joten olisi selvitettävä kustannukset myös Meconetin laitteiston mukaan. Laserhitsauslaitteita löytyy huomattavasti enemmän, kuin suurpainemuovauslaitteita, joten suurpainemuovauslaitteen sijainnin mukaan on syytä etsiä toimittaja suurpainemuovattaville aihioille. Olisi myös hyvä selvittää laserhitsauksen paikasta riippuen uusi toimittaja putkille ja liittimille rahtikustannusten vähentämiseksi.

Lisäksi olisi syytä pohtia, voitaisiinko suurpainemuovaukseen käytettävä aihio valmistaa muulla tavalla, esimerkiksi yhdestä kappaleesta sorvaamalla. Tällä tavalla ei hitsausta tarvittaisi ollenkaan, eikä yhteisiin tulisi liitoksia.

## 9 YHTEENVETO

Työ tehtiin Larox Oyj:lle ja työn tarkoituksena oli selvittää, onko syöttö- ja poistoyhteiden valmistaminen mahdollista laserhitsaamalla ja suurpainemuovaamalla ja saavutettaisiinko sillä rahallista säästöä tai muita etuja. Asiaa alettiin tutkia, koska yhteiden valmistaminen on nykyisellä menetelmällä hidasta ja vaikeaa, eikä lopputuotteen laatu ole paras mahdollinen. Työn teoriaosassa tarkasteltiin suurpainemuovausta yleisellä tasolla sekä kerrottiin hieman laserhitsauksesta. Soveltavassa osuudessa tutkittiin, onko syöttö- ja poistoyhteiden valmistaminen laserhitsaamalla ja suurpainemuovaamalla mahdollista ja saavutetaanko sillä haluttuja hyötyjä.

Suurpainemuovauksella tarkoitetaan kappaleen muovausta suuren nestepaineen avulla. Suurpainemuovaus soveltuu sekä levyjen, että putkimaisen kappaleiden muovaukseen. Laserhitsauksessa lasersäde fokusoidaan kappaleen pinnalle ja säteen energia sulattaa hitsattavan materiaalin muodostaen hitsin.

Laserhitsaus ja suurpainemuovaus soveltuvat hyvin syöttö- ja poistoyhteiden valmistukseen ja näihin valmistusmenetelmiin siirtyminen tarkoittaa käytännössä valmistuksen ulkoistamista. Syöttöyhteiden pienen vuositarpeen takia niiden valmistus näillä menetelmillä on kuitenkin kannattamatonta. Poistoyhteitä tarvitaan vuodessa noin 800 kappaletta, joten niiden valmistus tutkituilla menetelmillä tulee alkuinvestointien jälkeen nykyistä menetelmää halvemmaksi. Pienen rahallisen säästön lisäksi valmistuksen ulkoistamisen ansiosta yrityksessä vapautuisi työvoimaa muihin tarpeisiin.

## LÄHTEET

Ahmetoglu, M. 2001. The basic elements of tubular hydroforming. Päivitetty 5.3.2001.

Viitattu 6.1.2009. Saatavissa:

[http://www.thefabricator.com/Hydroforming/Hydroforming\\_Article.cfm?ID=28](http://www.thefabricator.com/Hydroforming/Hydroforming_Article.cfm?ID=28)

Ahmetoglu, M. & Altan, T. 2000. Tube hydroforming: state-of-the-art and future trends.

Journal of Material Processing Technology 98, s. 25-33.

Ahmetoglu, M. & Sutter, K. & Li, X.J. & Altan, T. 2000. Tube hydroforming: current

research, applications and need for training. Journal of Material Processing Technology 98. s.

224-231.

Dawes, C. 1992. Laser Welding : a practical guide. Abington, Abington publishing. 258 s.

Harjinder, S. 2003. Fundamentals of Hydroforming. Versio: illustrated. SME. 219 s.

Heiska, E. 2006. VTT:lle Euroopan monipuolisin suurpainemuovauslaite. Päivitetty

12.4.2006. Viitattu 3.2.2009. Saatavissa:

<http://www.tiedetoimittaja.com/sivut/suurpainemuovaus.html>

Hildén, E. 29.1.2009a. Sähköpostikysely. Länsi-Lapin Ammatti-instituutti.

Hildén, E. 2.2.2009b. Henkilökohtainen tiedonanto. Puhelinkeskustelu. Lappeenranta.

Hildén, E. 2.2.2009c. Sähköpostikysely. Länsi-Lapin Ammatti-instituutti.

Kang, S-J. & Kim, H-K. & Kang, B-S. 2005. Tube size effect on hydroforming formability.

Journal of Material Processing Technology 160. s. 24-33.

Kauppila, J. 14.1.2009. Sähköpostikysely. HT Lasertekniikka.

Koc, M. & Alta, T. 2001. An overall review of the tube hydroforming (THF) technology. *Journal of Materials Processing Technology*. 108. s. 384-393.

Koc, M. & Altan, T. 2002. Prediction of forming limits and parameters in the tube hydroforming process. *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 42. s. 123–138.

Kujanpää, V. & Salminen, A. & Vihinen, J. 2005. Lasertyöstö. Teknologiateollisuus ry. Helsingin, Teknologiainfo Teknova Oy. 373 s.

Kujanpää, V. Henkilökohtainen tiedonanto. 19.12.2008. Klo 15.00. Tulevaisuudentehdas. Lappeenranta

Lücke, H.-U. & Hartl, Ch. & Abbey, T. 2001. Hydroforming. *Journal of Materials Processing Technology* 115. s.87-91.

Metallitekniikka. 2006. VTT:lle Euroopan monipuolisin suurpainemuovauslaite. Päivitetty 12.4.2006. [viitattu 21.11.2008].

Saatavissa:<http://www.tekniikkatalous.fi/metalli/metallitekniikka/article142169.ece>

Morphy, G. 2002a Tube Hydroforming Design Flexibility – Part I. Päivitetty 16.5.2002 Viitattu 8.11.2008.

Saatavissa:[http://www.thefabricator.com/Hydroforming/Hydroforming\\_Article.cfm?ID=24](http://www.thefabricator.com/Hydroforming/Hydroforming_Article.cfm?ID=24)

Morphy, G. 2002b Tube Hydroforming Design Flexibility – Part II. Päivitetty 10.10.2002 Viitattu 8.11.2008.

Saatavissa:[http://www.thefabricator.com/Hydroforming/Hydroforming\\_Article.cfm?ID=335](http://www.thefabricator.com/Hydroforming/Hydroforming_Article.cfm?ID=335)

Morphy, G. 2004 Tube Hydroforming Design Flexibility – Part V. Päivitetty 24.2.2004. Viitattu 8.11.2008.

Saatavissa:[http://www.thefabricator.com/Hydroforming/Hydroforming\\_Article.cfm?ID=839](http://www.thefabricator.com/Hydroforming/Hydroforming_Article.cfm?ID=839)



- Mäki-Mantila, J. 2001, Ohutlevyjien taivutus ja muovaus. MET 11/2001. Helsinki: Metalliteollisuuden keskusliitto, MET. Metalliteollisuuden kustannus Oy. s.64
- Neilimo, K. & Uusi-Rauva E. 1997. Johdon laskentatoimi. Oy Edita Ab. Helsingin. 327 s.
- Ngaile, G. & Jaeger, S. & Altan. T. 2004 Lubrication in tube hydroforming (THF) Part I. Lubrication mechanisms and development of model tests to evaluate lubricants and die coatings in the transition and expansion zones. Journal of Material Processing Technology 146. s. 108-115.
- Rautio, M. 20.1.2009. Henkilökohtainen tiedonanto. Larox Oyj. Lappeenranta.
- Savinainen, T. Henkilökohtainen tiedonanto. 19.11.2008 klo 10.00. Tulevaisuudentehdas. Lappeenranta.
- Savinainen, T. Henkilökohtainen tiedonanto 2.2.2009. Puhelinkeskustelu. Lappeenranta.
- Siegert, K, Aust, M. 2003. A survey of presses for hydroforming tubes, extrusions. Päivitetty 9.10.2003. [viitattu 14.11.2008].  
Saataavissa:[http://www.thefabricator.com/Hydroforming/Hydroforming\\_Article.cfm?ID=736](http://www.thefabricator.com/Hydroforming/Hydroforming_Article.cfm?ID=736)
- Siegert, K. & Häussermann, M. & Lösch, B. & Rieger, R. 2000. Recent developments in hydroforming technology. Journals of processing technology 98. s. 251 – 258.

## LIITE I

Sarjakoko (kpl)	Putken hinta (€)	Putkien määrä (kpl)	Liittimien hinta (€)	Liittimien määrä (kpl)	Hitsauksen hinta (€)	Kappaleiden hinta hitsauksen jälkeen (€)	Muovauksen hinta (€)	Paino (kpl)	Rahti (€)	Katkaisu (€)	Yhteensä (€)	Kappalehintaa (€)
100	4,8	50	6	100	10	1340	2000	23	18,36	25	3383,36	33,83
200	4,8	100	6	200	8,5	2530	2000	46	21,12	50	4601,12	23,01
300	4,8	150	6	300	8	3720	2000	69	23,4	75	5818,4	19,39
400	4,8	200	6	400	7,75	4910	2000	92	25,8	100	7035,8	17,59
500	4,8	250	6	500	7,6	6100	2000	115	28,2	125	8253,2	16,51
600	4,8	300	6	600	7,5	7290	2000	138	30,6	150	9470,6	15,78
700	4,8	350	6	700	7,4	8470	2000	161	34,8	175	10679,8	15,26
800	4,8	400	6	800	7,35	9660	2000	184	37,08	200	11897,08	14,87

Sarjakoko = valmistuvien yhteiden määrä

Putken hinta = aihioon käytettävän putken hinta

Putkien määrä = sarjakokoon tarvittavien putkien määrä

Liittimien hinta = aihioissa käytettävien liittimien kappalehintaa

Liittimien määrä = aihoiden valmistukseen tarvittava liittimien määrä

Hitsauksen hinta = laserhitsauksen kustannukset tietyllä sarjakoolla

Kappaleiden hinta hitsauksen jälkeen = putken hinta \* putkien määrä + liittimien hinta \* liittimien määrä + hitsauksen hinta \* putkien määrä

Muovauksen hinta = suurpainemuovauksen päivähinta

Paino = muovattujen kappaleiden yhteispaino sarjakoosta riippuen

Rahti = muovattujen aihoiden kuljettamien Tornioista Lappeenrantaan painosta riippuen

Katkaisu = 0,50 € \* putkien määrä

Yhteensä = kappaleiden hinta hitsauksen jälkeen + muovauksen hinta + rahti + katkaisu

Kappalehintaa = yhteensä / sarjakoolla

## LIITE II

Sarjakoko (kpl)	Putken hinta (€)	Putkien määrä (kpl)	Liittimien hinta (€)	Liittimien määrä (kpl)	Hitsauksen hinta (€)	Kappaleiden hinta hitsauksen jälkeen (€)	Muovauksen hinta (€)	Paino (kg)	Rahti (€)	Katkaisu (€)	Yhteensä (€)	Kappalehintaa (€)
100	8	50	6	100	10	1500	2000	41	21,12	25	3550	35,50
200	8	100	6	200	8,5	2850	2000	82	25,8	50	4950	24,75

Sarjakoko = valmistuvien yhteiden määrä

Putken hinta = aihioon käytettävän putken hinta

Putkien määrä = sarjakokoon tarvittavien putkien määrä

Liittimien hinta = aihioissa käytettävien liittimien kappalehintaa

Liittimien määrä = aihioden valmistukseen tarvittava liittimien määrä

Hitsauksen hinta = laserhitsauksen kustannukset tietyllä sarjakoolla

Kappaleiden hinta hitsauksen jälkeen = putken hinta \* putkien määrä + liittimien hinta \* liittimien määrä + hitsauksen hinta \* putkien määrä

Muovauksen hinta = suurpainemuovauksen päivähinta

Paino = muovattujen kappaleiden yhteispaino sarjakoosta riippuen

Rahti = muovattujen aihioden kuljettamien Torniossa Lappeenrantaan painosta riippuen

Katkaisu = 0,50 € \* putkien määrä

Yhteensä = kappaleiden hinta hitsauksen jälkeen + muovauksen hinta + rahti + katkaisu

Kappalehintaa = yhteensä / sarjakoolla