

Mikko Vartio

ESISELVITYS TERÄSPROFIILIN KATKAISUROBOTIN
HANKINTAAN

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
2014



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

ESISELVITYS TERÄSPROFIILIN KATKAISUROBOTIN HANKINTAAN

Vartio, Mikko
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Toukokuu 2014
Ohjaaja: Kivi, Karri
Sivumäärä: 33
Liitteitä: 1

Asiasanat: Plasmaleikkaus, laserleikkaus, terminen leikkaus, vesileikkaus, automaatio, profiili, latta.

Tämän AMK-opinnäytetyön aiheena oli laatia esiselvitys lattateräksen katkaisuun soveltuvan polttoleikkausrobotin mahdollista hankintaa varten, sekä alustaa tulevaa hankintaprosessia. Tutkimus suoritettiin yrityksessä Technip Offshore Finland, jonka merkittävimpiin tuotteisiin kuuluu öljyntuotannossa käytettävä spar-lautan runko. Rungon valmistuksessa käytetään yli 9000 kappaletta lattateräsosia, ja ne leikataan kokonaan käsikäyttöisellä laitteistolla.

Laitteelle määriteltiin vaatimuslista, jonka perusteella pyydettiin erilaisista laitteistoista budjettihinnat. Koneiden suorituskyvyn perusteella pystyttiin laskemaan ero käsin leikkaamisen ja koneella suoritettun leikkaamisen välillä, ja laskemaan laitteen takaisinmaksuaika.

Laitteen todettiin olevan selkeästi käsin leikkaamista nopeampi, ja että se yksinkertaistaisi lattateräsosien valmistamista huomattavasti. Myös laitteen vaikutukset laatuun, läpimenoaikoihin ja työturvallisuuteen huomioitiin.

PREPARATORY STUDY FOR PROCUREMENT OF A STEEL PROFILE CUTTING ROBOT

Vartio, Mikko

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Mechanical and production engineering

May 2014

Supervisor: Kivi, Karri

Number of pages: 33

Appendices: 1

Keywords: Plasma cutting, laser cutting, thermal cutting, abrasive water cutting, automation, profile.

The purpose of this Bachelor's thesis is to do a preparatory research for forthcoming procurement process of an automated cutting robot for cutting of steel profile. This study was commissioned by Technip Offshore Finland, whose most significant product is a spar hull used in oil production. Over 9000 steel flat bar parts are used in manufacturing of the spar hull. Currently all the flat bar parts are cut with manual cutting tools.

A requirement specification list was constructed and several suppliers were contacted. Suppliers were asked for a non legally binding offers for budgeting of the machinery. With information about the performance and the price of the equipment, the payback period could be calculated.

Automated cutting was found out to be significantly faster than manual cutting, and that it would simplify the process in some ways. The effects on quality, turnaround time and safety were also taken into account.

Sisällysluettelo

1 Johdanto.....	5
2 Technip Offshore Finland.....	6
2.1 Historiaa.....	6
2.2 Nykytilanne.....	6
3 Technip Offshore Finland Osasto 21.....	8
3.1 Toiminta.....	8
3.2 Laitteisto	8
4 Muototerästen katkaisusta.....	11
4.1 Eri menetelmiä.....	11
4.1.1 Plasmaleikkaus	11
4.1.2 Polttoleikkaus.....	13
4.1.3 Laserleikkaus.....	14
4.1.4 Vesileikkaus.....	14
4.2 Menetelmien vertailua.....	14
5 Miksi laitteen hankintaa harkitaan.....	16
5.1 Mahdollisuudet työn nopeuttamiseksi.....	16
5.2 Reikien poraus ja kevennysten jyrshintä	16
5.3 Vertailussa koneella suoritettava leikkaaminen.....	17
5.3.1 Nopeus.....	17
5.3.2 Siirtelyn väheneminen.....	18
5.3.3 Sulatenumeron automaattinen merkkkaus.....	18
5.3.4 Osa- ja piirustusnumeroiden merkkkaus.....	18
6 Hankintasuunnitelma.....	20
6.1 Vaatimuslista.....	20
6.1.1 Vaatimukset	20
6.1.2 Toivomukset.....	21
6.2 Ilmenneet ongelmat.....	21
7 Koneen käyttöönottosuunnitelma.....	22
7.1 Asennus.....	22
7.2 Koulutukset.....	23
8 Kannattavuuslaskelma.....	24
8.1 Yleistä.....	24
8.2 Laskukaavat.....	24
8.2.1 Käsillä leikkaaminen.....	25
8.2.2 Koneella leikkaaminen.....	25
8.2.3 Menetelmien kustannusten vertailu	26
8.2.4 Takaisinmaksuaika.....	27
8.3 Saatu hyöty.....	28
8.3.1 Laatu.....	28
8.3.2 Turvallisuus.....	28

8.3.3 Läpimenoaika.....	30
8.3.4 Säästö	30
8.4 Leikkaus alihankintana.....	30
9 Yhteenveto.....	32
LÄHTEET.....	33
LIITTEET.....	34

1 JOHDANTO

Tämän työn tavoitteena on tehdä esiselvitys suorakaiteisen teräsprofiilin automatisoidun leikkauslaitteiston hankinnan budjetointia varten yrityksessä Technip Offshore Finland. Yrityksen merkittävin tuote on spar-tyyppisen öljyntuotantolautan runko, ja tässä tutkitaan siihen kuuluvien lattateräsosien valmistamista.

Lattateräsosien leikkaaminen suoritetaan nykytilanteessa kokonaan käsikäyttöisillä työkaluilla. Niiden muotoiluun liittyy huomattava määrä lastuavaa työstöä. Tyypillinen spar-runko sisältää noin 9000 kappaletta lattateräsosia. Tutkimus tarkastelee millaista hyötyä leikkaamisen automatisoinnista on. Todennäköisin tilanne, missä kyseinen investointi tehtäisiin, olisi uuden spar projektin alkaminen Technip Offshore Finlandilla.

Tavoitteena on kartoittaa markkinoilla toimivat laitetoimittajat, selvittää pystytäänkö vaatimuslistan mukainen laitteisto toimittamaan, valita sopivin leikkausmenetelmä sekä tutkia laitteiston tuotantotiloille ja henkilöstölle asettamat vaatimukset. Mahdollisilta laitetoimittajilta saatavat budjettihinnat mahdollistavat laitteiston takaisinmaksuajan ja hankkeen mielekkyyden laskemisen.

Tutkimuksen tärkein osa on Technip Offshore Finlandille tuotettava laskelma, joka sisältää yrityssalaisuuden piiriin kuuluvia lukuja, eikä sitä liitetä tähän tutkielmaan.

Tämän opinnäytetyön tekijä on ollut Technip Offshore Finlandin palveluksessa levyseppänä, ja myöhemmin insinööriopintoihin kuuluvan harjoittelun yhteydessä työnjohtoharjoittelijana. Työ lähti liikkeelle Technip Offshore Finlandin osasto 21:n tuotantoinsinöörin Jaakko Leivon esittämästä aiheesta.

2 TECHNIP OFFSHORE FINLAND

2.1 Historiaa

Technip Offshore Finlandin konepaja ja telakka sijaitsee Porin Mäntyluodossa. Paikalle perustettiin Rauma-Repolan konepaja vuonna 1972. Alunperin paikalle oli tarkoitus perustaa autotehdas, mutta sen sijainniksi tulikin Uusikaupunki. Sen jälkeen tarkoituksena oli valmistaa komponentteja nousevan ydinvoimatuotannon tarpeisiin. Näiden sinänsä hienojen suunnitelmien muututtua alettiin Mäntyluodossa valmistaa öljynporaukseen liittyviä rakenteita ja laitteita.

2.2 Nykytilanne

Technip Offshore Finland on osa kansainvälistä Technip konsernia, jolla on noin 40000 työntekijää ja toimintaa lähes viidessäkymmenessä maassa. Technip Offshore Finland suunnittelee ja valmistaa spar-runkoja kelluviin öljyntuotantoyksiköihin, energiatuotantoon soveltuvia laitteistoja ja alustoja, teräsrakenteita energia- ja prosessiteollisuudelle sekä merenpohjaan asennettavia laitteita. Sen asiakkaita ovat kansainväliset öljy- ja energiayhtiöt sekä suuret urakoitsijat. (Technip 2014)

Näkyvin tuote on edellä mainittu spar-runko, jollaisen tekemisellä on suuri työllistävä vaikutus. Tällaista projektia tehdään Mäntyluodossa käytännössä täydellä, noin tuhannen hengen miehityksellä noin kaksi vuotta. Runkoja on tehty vuosien 1996 ja 2014 välillä Mäntyluodossa 14 kappaletta.

Spar-rungon koko vaihtelee hieman projektista riippuen. Esimerkiksi Perdido projektin rungon pituus oli noin 150 m, halkaisija noin 40 m ja massa noin 15000 tonnia. (Technip 2014)

Spar-lautta on monipuolinen öljyn- ja kaasuntuotantolaitos, joka ankkuroidaan merenpohjaan jopa yli kolmen kilometrin syvyyteen. Lautta kelluu veden pinnalla pystyasennossa, ja sitä voidaan eri ankkurilinjojen pituuksia vaihtelemalla liikuttaa

melko laajalla alueella, ja kytkeä siten eri esiintymiin. Varsinainen tuotantolaitos rakennetaan muualla, ja asennetaan Mäntyluodossa rakennettavan rungon päälle, kun runko on ensin asennuskohteessa käännetty pystyasentoon.

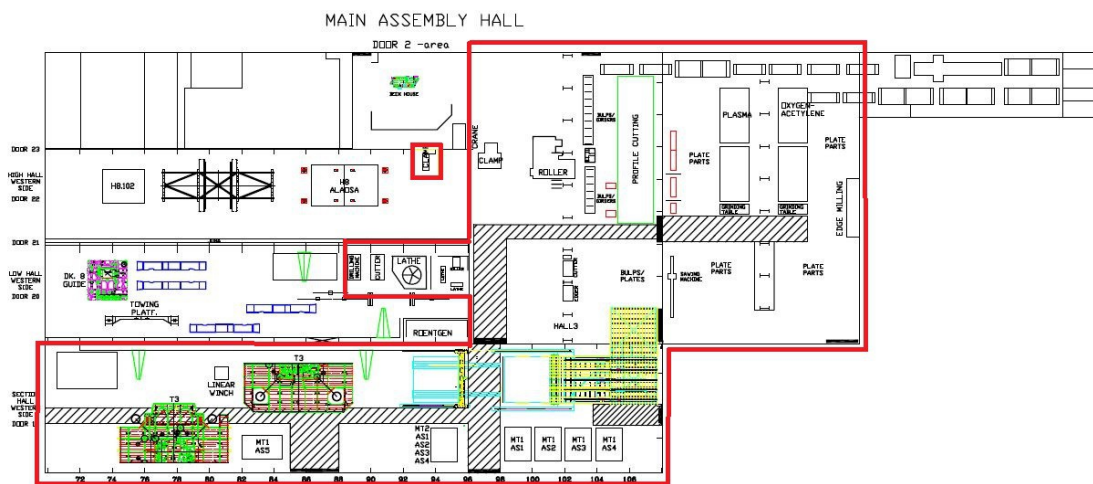


Kuva 1. Spar-runko valmiina toimitettavaksi asennuskohteeseensa Meksikonlahdella. Taustalla Technip Offshore Finlandin tuotantotilat. (Technip)

3 TECHNIP OFFSHORE FINLAND OSASTO 21

3.1 Toiminta

Tulevan muotorautarobotin sijoituspaikka on osasto 21, jonka toimintoja ovat osien polttoleikkaus, koneistus, taivutus ja osalohkojen esivalmistus. Kyseessä on siis varsin monipuolinen osasto.



Kuva 2. Osasto 21 toimintoja varten varattu alue päänhallin pohjapiirustuksessa.

3.2 Laitteisto

Tarkoituksena ei ole luetella kaikkia koneita mitä osastolla on, vaan ne, jotka voidaan jollain tavalla liittää tutkimuksen kohteena olevien lattaosien valmistamiseen.

Polttohallin laitteistoon kuuluu levyjen polttoon tarkoitettut suuret plasma- ja polttoleikkaukoneet. Nämä toimivat käytännössä täydellä kapasiteetilla. Näiden soveltuvuus profiilien polttoon olisi muutenkin kyseenalainen.

Koneistamossa käytössä on melko vanhat - vaikkakin toimivat – manuaaliset pylväsporakoneet ja aarpora, joilla reiät ja kevennykset tällä hetkellä tehdään.



Kuva 3. Aarpora

Polttohallissa jyrsitään levyjakanoiden reunoihin hitsausviisteitä suurella reunajyrsimellä. Tätä on jonkin verran sovellettu lattojen kevennysten työstämiseen.



Kuva 4. Reunajyrsin

Pemamek profiilinpolttokonetta käytetään pulbiprofiilien katkaisuun täydellä kapasiteetilla.



Kuva 5. Pemamek pulbiprofiilin katkaisulaitteisto.

4 MUOTOTERÄSTEN KATKAISUSTA

4.1 Eri menetelmiä

Terästuotteita voidaan leikata joko sahaamalla, termisellä leikkauksella, vesileikkauksella tai mekaanisesti. Mekaaninen leikkaus soveltuu suoraviivaisia muotoja sisältäville ohutlevykappaleille. Termisiä leikkausmenetelmiä ovat polttoleikkaus, jauheleikkaus, plasmaleikkaus, ja laserleikkaus. (Ihalainen ym. 2003, 261)

Jauheleikkaus on polttoleikkaamisen muoto, missä apuna käytetään leikkauskohtaan syötettävää jauhetta. Hyöty saadaan leikatessa ruostumattomia teräksiä, kun normaalisti korkean sulamislämpötilan omaavat oksidit saadaan sulamaan alhaisemmassa lämpötilassa. (The Welding Insitute 2014) Koska tässä työssä käsiteltävät osat eivät ole ruostumatonta terästä, ei jauheleikkausta käsitellä.

Käytettävät aineenvahvuudet ja muodot sulkevat pois mekaanisen leikkaamisen sekä sahaamisen, sillä kappaleisiin täytyy työstää mm. reikiä. Siksi näitä menetelmiä ei vertailla tässä tutkielmassa.

4.1.1 Plasmaleikkaus

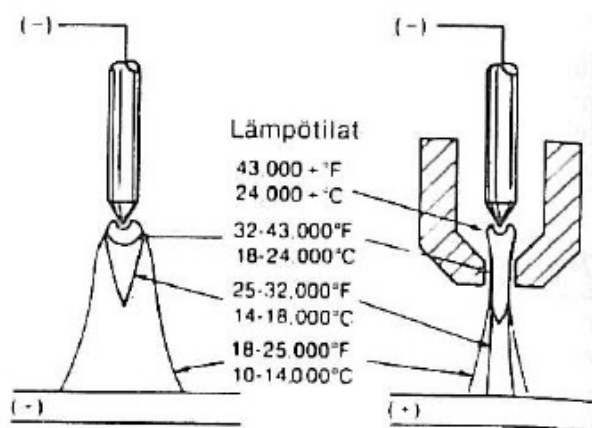
Plasmaleikkauksessa kuumen plasman lämpöenergiaa hyväksikäyttäen sulatetaan leikattavaan kappaleeseen railo. Plasmakaasun kineettinen energia puhaltaa sulan metallin pois. Fysikaalinen plasma on korkeaan lämpötilaan kuumennettua osaksi dissosioitunutta ja ionisoitunutta kaasua, joka koostuu erillisistä molekyyleistä, atomeista, ioneista ja elektroneista. Polttimessa olevan elektrodin ja työstettävän kappaleen välillä on valokaari jota kutsutaan plasmakaareksi. Plasmakaari kuristetaan suuttimen avulla, joilloin kaaresta saadaan keskittyneempi ja sen lämpötila korkeaksi. (Ihalainen ym. 2003, 263)

Plasmaleikkaus otettiin teolliseen käyttöön jo 50-luvulla, ja siitä lähtien menetelmä on kehittynyt. Uudet ratkaisut polttimissa ja kaasuisissa ovat parantaneet leikkausnopeutta ja pinnanlaatua. Ympäristölle aiheutuvaa haittaa on myös onnistuttu vähentämään. (Ihalainen ym. 2003, 264)

Kuten polttoleikkauksessa, myös plasmaleikkauksessa leikkauksen mittatarkkuuteen vaikuttavat leikkauskoneen rakenne ja sen ohjaus sekä leikattava materiaali. Työstettävän metallin puhtausaste ei vaikuta plasmalla niin voimakkaasti kuin polttoleikkauksessa. (Ihalainen ym. 2003, 265) Happi-asetyleenillä esimerkiksi nostokorvia käsilaitteistolla poltettaessa kappaleen ja siinä olevan leikattavan hitsin epäpuhtaudet näkyvät selvästi niiden aiheuttaessa polttojäljen epätasaisuutta.

Plasmaleikkaus ei aiheuta juurikaan muodonmuutoksia. Haittana on kuitenkin leikkausnopeuden voimakas putoaminen aineenvahvuuden kasvaessa. Tämän syy on se, että suuri osa plasman lämpöenergiasta siirtyy leikattavaan kappaleeseen anodipisteessä. (Ihalainen ym. 2003, 265)

Plasmaleikkauksen tärkeimmät edut ovat kyky leikata metalleja joita muilla termisillä menetelmillä ei voi leikata, suuri leikkausnopeus alle 30 mm aineilla sekä kapea lämpövaikutusalue ja sen kautta vähäiset muodonmuutokset. Huonoa on laitteiston kallis hinta varsinkin useamman polttimen laitteistoissa, sillä jokainen poltin tarvitsee oman virtalähteen. (Ihalainen ym. 2003, 265)



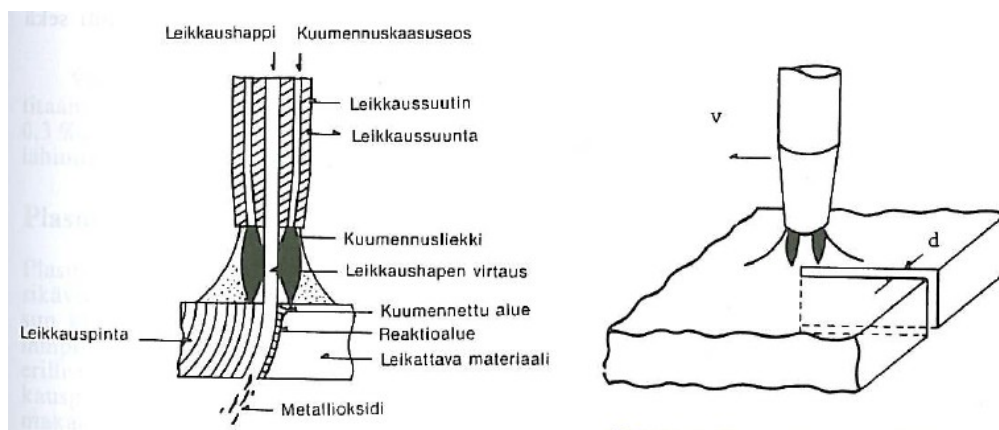
Kuva 6. Plasmaleikkauksen periaate sekä plasmakaaren kuristuksen vaikutus. (Ihalainen ym. 2003, 264)

4.1.2 Polttoleikkaus

Polttoleikkaus on terminen leikkausmenetelmä, jossa leikattava metalli kuumennetaan paikallisesti syttymislämpötilaansa ja poltetaan suuntaamalla siihen puhtaan hapon muodostama kaasusuihku. Sulassa tilassa oleva metallioksidi poistetaan leikkausrailosta hapon kineettisen energian avulla. (Ihalainen ym. 2003, 261)

Polttoleikkaussuuttimesta virtaavan poltтокаasun ja kuumennushapen seos palaa suuttimen päähän muodostuvassa liekissä ja syntyvät palokaasut kuumentavat leikattavan metallin. Kuumennuskaasuseoksen virtauskanavien keskellä on leikkaushapen virtauskanava, josta saadaan metallin hapettamiseen tarvittava happisuihku. Happisuihkun kineettinen energia puhaltaa muodostuvan sulan metallioksidin pois. Tällöin leikattavaan kappaleeseen syntyy haluttu leikkausrailo, kun suutinta samalla liikutetaan leikkaussuuntaan. (Ihalainen ym. 2003, 261)

Polttoleikkauksen eräs suurimmista eduista muihin termisiin leikkausmenetelmiin verrattuna on se, että sillä pystytään leikkaamaan erittäin suuria aineenvahvuuksia. Levyn paksuus voi olla jopa 1500 mm. Tämä johtuu siitä, että leikkausprosessissa tarvittava energia saadaan suurista aineenvahvuuksista leikatessa lähes kokonaan leikkausprosessista itsestään, koska metallin hapettuminen on eksotermisen reaktio. Muissa leikkausmenetelmissä pääosa leikkaukseen tarvittavasta energiasta saadaan leikkauksilaitteistosta, jolloin laitteen teho määrää, kuinka suuria aineenvahvuuksia voidaan leikata. (Ihalainen ym. 2003, 263)



Kuva 7. Polttoleikkauksen periaate. (Ihalainen ym. 2003, 261)

4.1.3 Laserleikkaus

Laserleikkauksessa lasersäteilyn energialla sulatetaan työstettävään kappaleeseen railo (lasersulatusleikkaus), kuumennetaan leikkauskohta syttymislämpötilaansa (laserpolttoleikkaus) tai että aine sublimoituu eli haihtuu (laserhöyrystysleikkaus). Leikkauskohtaan suunnataan kaasusuihku. Sulatusleikkausta käytettäessä se poistaa sulaneen metallin railosta, ja polttoleikatessa se suorittaa metallin hapettamisen ja syntyvän sulan metallioksidin poistamisen. (Ihalainen ym. 2003, 266)

Jotta voitaisiin leikata laserilla, täytyy joko liikuttaa lasersädettä tai työkappaletta. Tähän valintaan vaikuttavat laserin koko, työkappaleen koko ja muoto, mittatarkkuusvaatimukset sekä leikkauksen nopeus. Laserin etäisyys poltettavasta kappaleesta vaikuttaa voimakkaasti tarkkuuteen ja pinnanlaatuun, eikä se saa heittää kuin millimetrin kymmenesosia. Tämä asettaa ohjaukselle ja sen ohjelmoinnille suuret haasteet. (Ihalainen ym. 2003, 266)

4.1.4 Vesileikkaus

Vesileikkauksessa materiaalia leikataan korkeapaineisella vesisuihkulla. Pelkällä vedellä voidaan leikata esimerkiksi kumia ja muovia, mutta metallin leikkaamiseen tarvitaan veden sekaan hiova aine, joka on yleensä hiekka. (Prolaser)

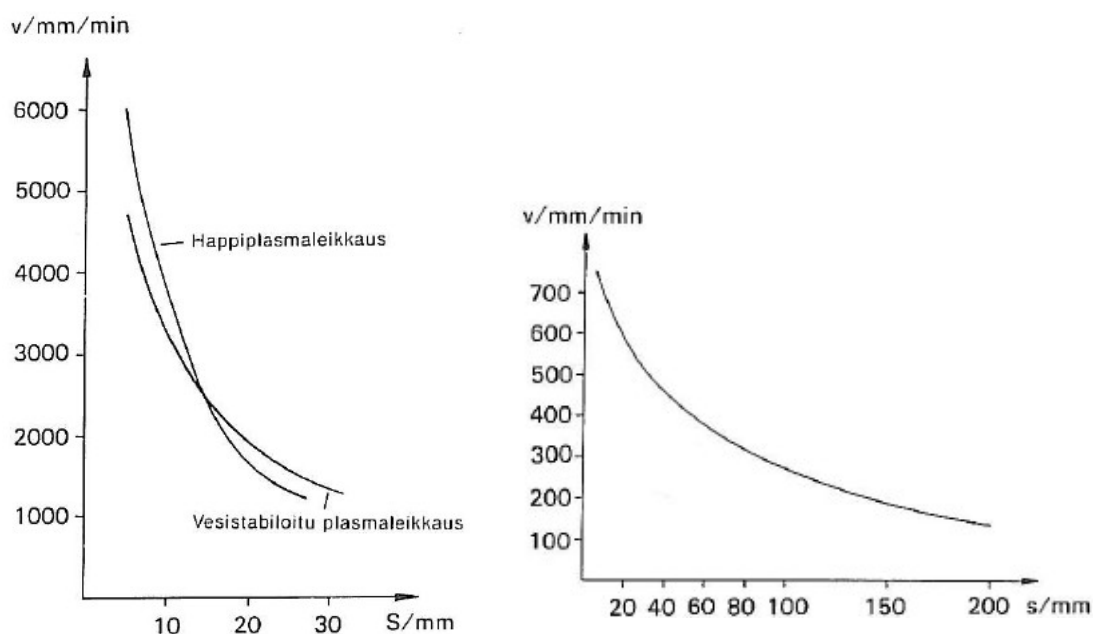
Vesileikkauksen suurin etu on olematon lämmöntuonti, joka vähentää ratkaisevasti muodonmuutoksia ja sitä kautta lisää mittatarkkuutta.

4.2 Menetelmien vertailua

Vesileikkaus ja laser soveltuvat parhaiten kohteisiin, joissa leikkaussuunta pysyy samassa tasossa. Tällainen on esimerkiksi levyjen leikkaaminen. Profiilia katkaistaessa pitkää kappaletta ei voida liikuttaa, vaan leikkauspään on liikuttava. Ongelmaksi vesi- ja laserleikkauksessa muodostuu laitteen suojaus, joka tulisi hyvin kalliiksi. Kääntyvä leikkauspää altistaisi ympäristön käytännössä joka suunnalla lasersäteelle tai leikkausnesteelle.

Laserlaitteet luokitellaan vaarallisuuden mukaan. Vaarallisimmassa luokassa 4 ovat kaikki yli 0,5 W laserit. Nämä ovat vaarallisia iholle ja silmille. Myös hajaheijastukset ovat vaarallisia, ja säde voi aiheuttaa palovaaran. Työstölaitteet kuuluvat tähän luokkaan elleivät ole täysin koteloituja. (Latokartano 2008)

Laser soveltuu parhaiten alle 20 mm aineenvahvuuksille, ja koska suuri osa leikattavasta profiilista ylittää tämän vahvuuden, voidaan laser sulkea pois vertailusta. Edellä mainittu laserlaitteiston suojaaminen on kallista ja haastavaa. CE-merkinnän saaminen edellyttää että suojaus varmistaa että laite voidaan luokitella 1 luokan laserlaitteeksi, eli se ei aiheuta vaaraa ympäristölle. (Latokartano 2008)



Kuva 7. Plasmaleikkauksen leikkausnopeuskaavio. (Ihalainen ym. 2003, 265)

Kuva 8. Polttoleikkauksen leikkausnopeuskaavio. (Ihalainen ym. 2003, 263)

Kun verrataan plasma- ja polttoleikkauksen leikkausnopeutta, todetaan että käytettävillä aineenvahvuuksilla (15 ... 50 mm) plasmaleikkaus on nopeampi. Polttoleikkauksen selkein etu on suuret aineenvahvuudet, mutta se on hidas.

Laitevalmistajat ja -toimittajat tarjoavat profiilinkatkaisurobotteihin menetelmäksi käytännössä vain plasma- tai polttoleikkausta. Tämä tutkimus ei tee ratkaisevia uusia löydöksiä paremmin sopivista leikkausmenetelmistä.

5 MIKSI LAITTEEN HANKINTAA HARKITAAN

5.1 Mahdollisuudet työn nopeuttamiseksi

Spar-runkoon tulee yli 9000 kpl erilaisia lattateräsosia, joissa on leikattavaa matkaa lähes 6000 metriä. Kaikki latat polttoleikataan tällä hetkellä käsikäyttöisellä happi-asetyleenilaitteistolla. Todellisuudessa polttoleikkausta on enemmän, sillä esimerkiksi hitsausviisteet tehdään erillisessä työvaiheessa, eli latan pää polttoleikataan usein kahteen kertaan. Käsityö on aina hidasta, ja siksi kallista. Potentiaalia työn nopeuttamiseksi on siis olemassa.

Työntekijät käyttävät polttimen lisälaitteena kuljetuksen vakautta lisääviä apurullia, mutta käsin polttaminen on aina epätarkempaa kuin koneellinen poltto. Polttojälki on aina viimeisteltävä käsikäyttöisellä kulmahiomakoneella.

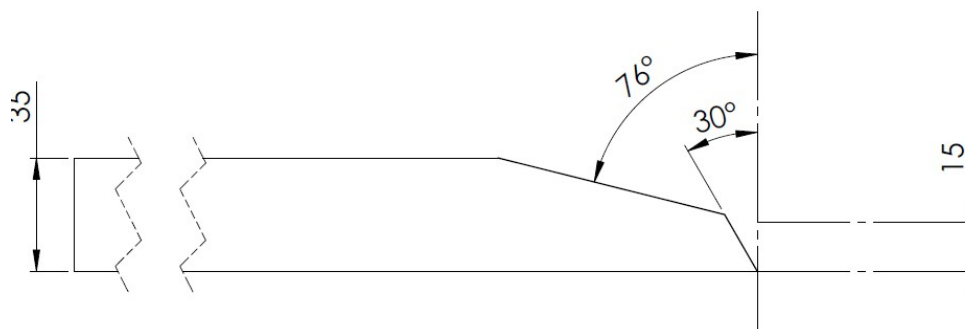
Käytössä on Pemamek pulbinkatkaisurobotti, mutta spar-rungon valmistuksen ollessa käynnissä se toimii jo täydellä kapasiteetilla.

5.2 Reikien poraus ja kevennysten jyrshintä

Lattoihin tehdään jonkin verran erilaisia kiinnitysreikiä. Kaikki reiät tehdään poraamalla, joka on erillinen työvaihe.

Rakenteessa on kohtia, joissa latan paksuus muuttuu paksummasta ohuempaan. Paksumpaan lattaan työstetään tällä hetkellä kevennys jyrsimellä. Kuten porauksessakin, tämä tarkoittaa latan toimittamista koneistamoon ja työlästä kappaleen kiinnittämistä.

Yleisesti voidaan sanoa, että siirto eri työvaiheeseen haaskaa aina enemmän aikaa ja resursseja kuin miltä se varsinaisesti näyttääkään. Tähän liittyy paljon lattojen kuljettamista, nostamista, kiinnittämistä ja yleistä tukitoimintaa joka ei vie työtä eteenpäin.



Kuva 9. Tyypillinen kahden erivahvuisen latan liitokseen jyrkittävä kevennys sekä hitsausviiste.

Usein työvaiheesta toiseen matkalla oleva osa välivarastoidaan paikkaan, jonka sijainti on pahimmillaan vain trukinkuljettajan tiedossa. Kun kappaleita tarvittaisiin, ei niiden sijaintia tiedetä. Tässä kohtaa yleensä järjestelijä tai työnjohtaja kuluttaa huomattavan määrän aikaa etsiessään tarvittavia osia. Usein osat löytyvät melko helposti, mutta joskus niitä joudutaan etsimään pidempään. Pahimmassa tapauksessa osa on kadonnut, ja sen tilalle valmistetaan uusi osa. Näin käy helpoimmin pienille kappaleille.

Lisäksi hallin lattioille kertyvät trukkilavat ovat merkittävä haaste yleiselle siisteydelle ja turvallisuudelle. Vaikka siisteyden eteen tehdään jatkuvaa työtä, ja hallissa tapahtuva väistämätön välivarastointi yritetään pitää minimissä, ympäröi varsinkin työstökoneita usein sekava trukkilavamuodostelma.

5.3 Vertailussa koneella suoritettava leikkaaminen

5.3.1 Nopeus

Plasmaleikkaus on polttoleikkausta selvästi nopeampi. Käsillä suoritettava leikkaaminen on paitsi hidasta, sisältää se myös useita työvaiheita. Koneella leikattaessa koneeseen syötetään useampia pitkiä teräsprofileja, ja kone syöttää niitä leikattavaksi piirustusten mukaan. Vaikka automatisoidun leikkaamisen ajankulutus koostuukin lähinnä kappaleen käsittelystä, on se huomattavasti nopeampi.

5.3.2 Siirtelyn väheneminen

Merkittävänä voidaan pitää koneistamoon siirtämisen tarpeen poistumista, kun kevennykset ja reiät leikattaisiin samassa työvaiheessa latan katkaisun kanssa. Tähän liittyvän välivarastoinnin ja osien etsimiseen kuluvan ajan väheneminen on merkittävä tekijä, vaikka sitä voi olla vaikeaa esittää luvuilla.

5.3.3 Sulatenumeron automaattinen merkkkaus

Mikäli kone varustettaisiin sulatenumeron merkkaavalla laitteistolla, jäisi työvaiheista pois myös panosnaulaimella ammuttava merkkkaus. Työturvallisuus asettaa panosnaulaimen käytölle omat vaatimuksensa, ja laitteen sisällä suojassa tapahtuva merkkkaus olisi turvallisempi. Vaikka panosnaulaimella merkatessa ei tapahdu juurikaan tapaturmia, voi suurella voimalla iskevä työkalu aiheuttaa esimerkiksi vaurioituessaan riskin erilaisille sinkoamisille.

Koneella tapahtuvan merkkauksen huono puoli on melu, jota tärinällä toimiva merkkain aiheuttaa. Panosnaulaimen ääni on jokaisella kappaleella kertaluontoinen, ja melko siedettävä.

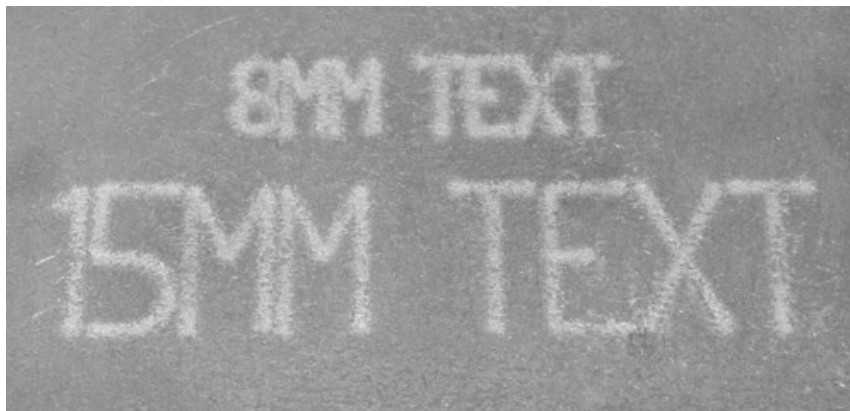


Kuva 10. Hilti panosnaulain varustettuna merkkausepäällä (Hilti)

5.3.4 Osa- ja piirustusnumeroiden merkkkaus

Sopivalla laitteistolla varustettuna kone voisi merkata osiin kaikki tuotannossa tarvittavat numerot ja tiedot. Näitä ovat projektin, piirustuksen ja osan numerot. Nykytilanteessa nämä merkataan käsin huopakynällä.

Sopiva merkkaustapa voisi olla mustesuihkumerkkaus tai plasmalla polttaminen. Plasmamerkkaus on jo käytössä levyalkanoiden merkkauksessa, ja se tiedetään toimivaksi.



Kuva 11. Plasmalla suoritettu merkkkaus (The Fabricator)

Mikäli päädytään käyttämään mustesuihkumerkkausta, on harkittava käytetäänkö erillisiä tarratulosteista vai suoraan profiilin pintaan suoritettavaa tulostusta. Tarratulostuksen etuna on selkeä luettavuus, mutta tarran kestävyys on heikko. Kappaleita pinotaan ja siirrellään niiden ollessa trukkilavoilla, ja tarrat voivat hankautua irti tai lukukelvottomaksi. Myös tarrojen poistaminen on ylimääräistä työtä, sillä liima on usein tiukasti kiinni kappaleessa. Tässä valossa suoraan kappaleeseen tehtävä tulostus olisi parempi.



Kuva 12. Mustesuihkumerkkaus teräsputkessa. (Pannier)

6 HANKINTASUUNNITELMA

6.1 Vaatimuslista

Polttokoneen ominaisuuksien määrittelemisen lähti liikkeelle osasto 21:n tuotantoinsinöörin Jaakko Leivon asettamista vaatimuksista.

Koneen tulee toimia niin, että toisesta päästä syötetään profiilia sisään, ja kone tekee valmiita osia piirustusten mukaan. Mitään katkaisumenetelmää ei lähtiessä asetettu ensimmäiseksi vaihtoehdoksi.

6.1.1 Vaatimukset

- Kone on tarkoitettu vain lattateräksen leikkaamiseen. Sillä ei leikata esimerkiksi pulbiprofiileja.
- Syöttöpäässä on rata, jolle nostetaan useampia profiileja kerrallaan, ja kone syöttää niistä profiilin kerrallaan poltettavaksi.
- Koneen on toimittava Technipin käyttämällä tiedostojärjestelmillä ja ohjelmistoilla. Käytössä on Nestix kappalegeometrioiden piirto-, levykappaleiden sijoittelu- ja NC-ohjelmointiohjelmisto.
Tätä kautta kappaleille määritellään pituudet, muodot, viisteet, reiät sekä kevennykset.
- Kyettävä leikkaamaan aineenvahvuuksia 15 x 150 mm ... 35 x 550 mm.
- Kone tulostaa kappaleisiin osanumerot, piirustusnumerot ja kaikki muut tiedot joita niiden myöhemmässä tuotannon käytössä tarvitaan.
- Kyettävä polttamaan kevennykset paksummasta latasta ohuempaan noin 76 asteen kulmassa.
Tämä laskettiin perustuen siihen tietoon, että suurin kahden latan aineenvahvuuden ero on 20 mm, ja että kevennys työstetään suhteella 1:4. Tässä tapauksessa aineenvahvuus kasvaa 82,5 millimetriin.
- Lattateräskangen maksimipituus 12 m.

- Lattateräskangen maksimipaino paksuimmalla latalla 1814 kg
(12 m * 0,55 m * 0,035 m * 7852 kg/m³)
- Mahdollisten haitallisten kaasujen poisto.
- Täytettävä turvallisuusvaatimukset.
- CE-hyväksytyt.
- Vaatimuksenmukaisuustodistus.
- Suomen kieliset käyttöohjeet.
- Varaosien saanti.

6.1.2 Toivomukset

- Sulatenumeron stanssaus.
Jokaisen osan sulatenumero on oltava tiedossa. Tällä tavoitellaan materiaalin jäljitettävyyttä.
- Automaattinen polttojäljen viimeistelyhionta.
- Melun minimoiminen.

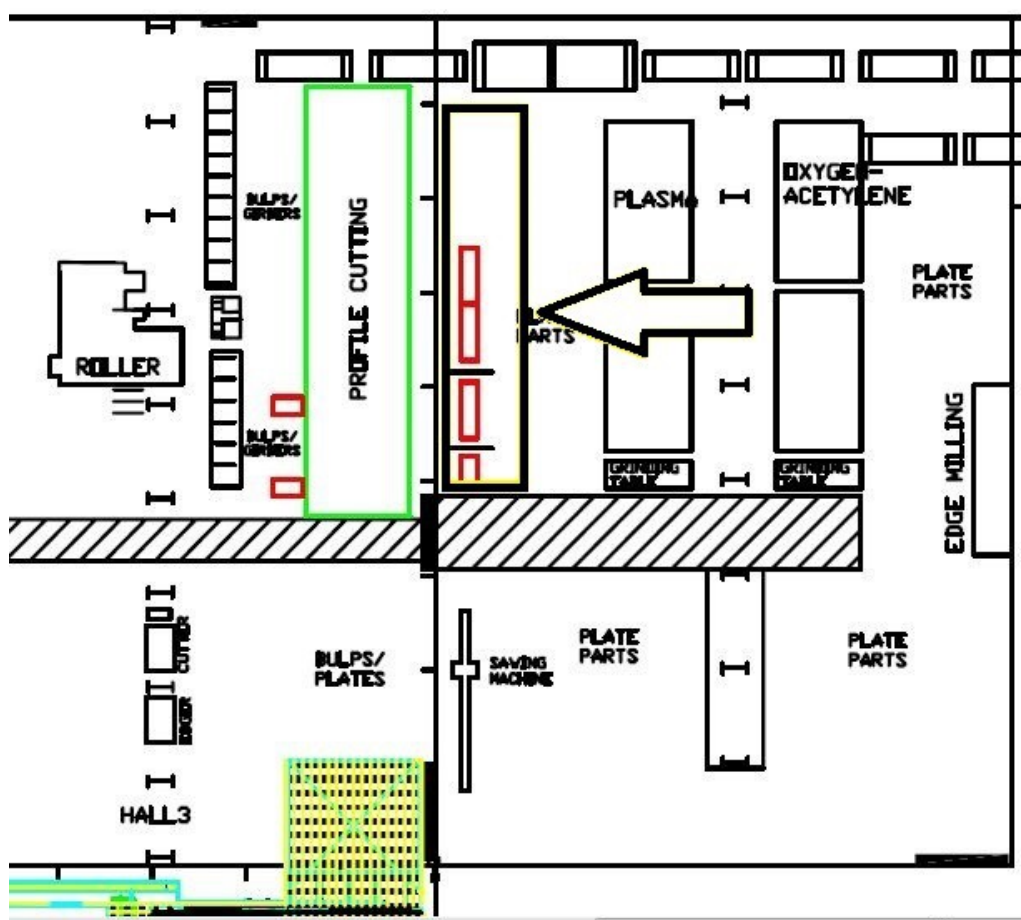
6.2 Ilmenneet ongelmat

Lähes jokainen toimittaja näki kevennyksen vaatiman 76 asteen polttokulman hankalaksi. Automaattista hiontaa pidettiin niin hitaana, että se minimoisi polton automatisoinnista saadun hyödyn.

7 KONEEN KÄYTTÖÖNOTTOSUUNNITELMA

7.1 Asennus

Koneelle sijoituspaikka on polttohelli 2, paikalla missä lattoja leikataan tällä hetkellä käsin. Koneelle on varattu tilaa oheisen kuvan mukaisesti.



Kuva 13. Leikkauslaitteiston sijoitukseen suunniteltu paikka merkattuna suorakaiteella nuolen osoittamassa paikassa.

Tavarantoimittajilta saadaan laitteiston paino, jonka avulla saadaan selvitettyä täytyykö perustuksiin kiinnittää erityistä huomiota.

Laitteiston teho sekä käytettävät kaasut ja niiden tarvittava määrä määrittelevät millaiset liitännät koneelle tulee vetää. Asennusaikataulun ja -budjetin määrittelyssä

konstultoidaan henkilöitä, joilla on tietoa olemassa olevan Pemamek-laitteiston asennuksen vaatimuksista.

7.2 Koulutukset

Osastolla on käytössä Pemamek-profiilinkatkaisurobotti, jonka operaattorit ovat saaneet käyttökoulutuksen. Koulutuksen kesto on noin kaksi viikkoa. Tämän koulutuksen kustannuksista voidaan päätellä tulevan koneen käyttöönottokoulutuksen vaikutuksia kustannuksiin. Operaattoreita koulutetaan niin paljon, että laitteisto voi pyöriä kolmessa vuorossa.

Kevennysten polttaminen saattaa vaatia muutoksia osien polttoratojen suunnitteluun, joten suunnittelijoita on informoitava tulevan koneen mahdollisista rajoituksista. Jotkut osat täytyy todennäköisesti sijoittaa polttokarttaan ylösalaisin, jotta kevennyksen leikkaamiseen vaadittava 76 asteen leikkauskulma on mahdollinen.

Osaston työnjohtajille on myös hyvä suunnitella kompakti tietopaketti joko koulutuksen tai oppimateriaalin muodossa. Käytännössä tämä voi olla niinkin yksinkertainen asia kuin sähköpostiviesti.

8 KANNATTAVUUSLASKELMA

8.1 Yleistä

Yrityssalaisuuden takia tähän raporttiin ei kirjattu minkäänlaisia euromääräisiä kustannuksia.

Laitteistosta pyydettiin vaatimuslistan mukainen alustava tarjouspyyntö viideltä toimittajalta, joista kaksi tarjosi samaa laitetta. Laitteista ei pyydetty sitovaa tarjousta, vaan budjettihinta. Lisäksi selvitettiin laitteiden suorituskyky, jotta voitaisiin laskea kappeleiden leikkausnopeus. Näiden lukujen avulla päästiin käsiksi takaisinmaksuajan laskentaan.

Työtä varten laadittiin erillinen Excel-laskentalomake, joka luovutetaan työn tilaajalle.

8.2 Laskukaavat

Vertaillaan kahta eri leikkaustapaa: Käsin leikkaamista ja koneella leikkaamista. Selvitetään eri leikkaustapojen kustannukset ja lasketaan missä ajassa kahden esimerkkinä olevan lohkon lattaosien leikkaus tapahtuu.

Tiedossa on kahden osalohkon lattaosien käsin katkaisuun budejetoitujen tuntien määrä. Näiden kahden lohkon lattaosien määrä on yhteensä 13,5 % kokonaisen projektin lattaosien määrästä. Tällä prosenttiosuudella voidaan olettaa päästävän tarpeeksi suureen tarkkuuteen laskettaessa kokonaisuuteen vaikuttavia keskiarvoja.

Työvoiman ja laitteiston kulut yhteen laskemalla päästään käsiksi työn tuntihintaan.

8.2.1 Käsien leikkaaminen

Käsien leikkaamisen kulut [€ / h] =

(Työvoiman kulut + Käsikäyttöisen laitteiston kulut) [€ / h]

Käsien leikkaamiseen budjetoitu aika [h / kpl] =

Työkorttiin budjetoitu tuntimäärä [h] / Työkortissa olevien lattaosien määrä [kpl]

Yhden lattaosan leikkaamisen kulut [€ / kpl] =

Käsien leikkaamiseen budjetoitu aika [h / kpl] * Käsien leikkaamisen kulut [€ / h]

Leikattujen lattaosien määrä päivässä [kpl / d] =

Työtuntien määrä [h / d] / Käsien leikkaamiseen budjetoitu aika [h / kpl]

Yhden lohkon lattaosien leikkaamisen kulut [€ / lohko] =

Lohkon lattaosien määrä [kpl / lohko] * Yhden lattaosan leikkaamisen kulut [€ / kpl]

Lasketaan keskiarvot edellä mainituista luvuista:

- Yhden lattaosan leikkaamisen kulut [€ / kpl]
- Yhden lohkon lattaosien leikkaamisen kulut [€ / lohko]

Koko projektin lattaosien leikkaamisen kulut [€ / projekti] =

Projektin lattaosien määrä [kpl] * Lattaosien leikkaamisen kulujen keskiarvo [€ / kpl]

Lohkon lattaosien leikkaamisen kulut [€ / kpl] =

Yhden lattaosan leikkaamisen kulut [€ / kpl] * Lohkon lattaosien määrä [kpl]

8.2.2 Koneella leikkaaminen

Ratkaisevat luvut ovat:

- käyttökulut
- koneen nopeus leikkaamisessa ja kappaleenkäsittelyssä

Käyttö- ja huoltokulut lasketaan useimmiten vuositasolla budjetoiduilla kiinteillä summilla. Nämä on jaettava tuntihinnoiksi seuraavilla kaavoilla:

Työtunnit vuodessa [h / a] =

Työpäivät vuodessa [d / a] * Työtunnit päivässä [h / d]

Laskelmissa on käytetty teknologiateollisuuden työaikaa 214,5 [d / a] ja suunniteltu tuleva laitteisto olemaan käytössä kolmessa vuorossa eli 24 [h / d].

Käyttökulut tunnissa [€ / h] =

Käyttökulut vuodessa [€ / a] / Työtunnit vuodessa [h / a] + Työvoimakulut [€ / h]

Koneen leikkausnopeus on laitteiston toimittajan ilmoittama aika. Nopeimmillaan ollaan päästy noin 100 sekunnin kappaleenkäsittelynopeuteen. Tähän saatuun arvoon lisättiin realismin vuoksi varmuuttaa kertoimella 2. Lukema muutettiin muotoon [h /kpl].

Yhden lattaosan leikkaamisen kulut [€ / kpl] =

Leikkausnopeus [h / kpl] * Käyttökulut tunnissa [€ / h]

Lohkon lattaosien leikkaamisen kulut [€ / kpl] =

Yhden lattaosan leikkaamisen kulut [€ / kpl] * Lohkon lattaosien määrä [kpl]

8.2.3 Menetelmien kustannusten vertailu

Kiinnostavin asia on eri tavoilla tutkittu ja tulkittu säästö.

Säästö [€ / kpl] =

(Kulut käsin leikkaamalla – Kulut koneella leikkaamalla) [€ / kpl]

Säästö [h / kpl] =

(Käsin leikkaamiseen budjetoidun ajan keskiarvo – Koneen leikkausaika) [h / kpl]

Ajan säästö [h / projekti] =

(Käsin leikkaamiseen budjetoitu aika – Koneen leikkausaika) [h] / Esimerkkinä käytetyn otannan osuus kokonaisuudesta

Rahan säästö esimerkkinä käytetyssä kahdessa lohkoissa [€ / 2 lohkoa] =

(Käsin leikkaaminen – Koneella leikkaaminen) [€ / 2 lohkoa]

Koska esimerkkinä käytetyn kahden lohkon osien määrä vastaa 13,52 prosenttia koko projektista, koko projektin säästö saadaan jakamalla edellä mainittu lukema luvulla 0,1352.

8.2.4 Takaisinmaksuaika

Tärkein tieto on koneen hankintahinta lisäkuluineen, joita ovat asennus- ja koulutuskustannukset. Asennuskustannuksiin kuuluvat vaatimukset jotka kone asettaa perustuksille ja hallin tekniikalle. Nämä otetaan huomioon kustannuslaskelmassa. Muut tiedot on laskettu edellä.

Takaisinmaksuaika projekteissa [projektia] =

Hankintahinta [€] / Säästö [€ / projekti]

Takaisinmaksuaika leikattavien lattojen määrässä [kpl] =

Hankintahinta [€] / Säästö [€ / kpl]

Takaisinmaksuaika työtunneissa [h] =

Takaisinmaksuaika leikattavien lattojen määrässä [kpl] * Leikkausaika [h / kpl]

Seuraavat laskelmat olettavat, että leikkattavaa riittäisi täydellä kapasiteetilla koko ajan. Todellisuudessa näin ei ole, vaan kone voi odottaa seuraavaa projektia.

Takaisinmaksuaika 3-vuorossa vuosina [a] =

Takaisinmaksuaika työtunneissa [h] / Työtunteja 3-vuorossa vuodessa [h / a]

Takaisinmaksuaika 3-vuorossa päivinä [d] =

Takaisinmaksuaika 3-vuorossa vuosina [a] * 365 [d / a]

8.2.5 Kaaviot

Taulukkolaskentaohjelmaan laaditaan seuraavat kaaviot:

Laitteiston takaisinmaksuaika projekteissa laitteiston hinnan funktiona:

$f(\text{Hankintahinta}) = \text{Hankintahinta [€]} / \text{Säästö [€ / projekti]}$

Laitteiston takaisinmaksuaika vuosissa laitteiston kuormituksen funktiona:

$f(\text{Kuormitus}) = \text{Takaisinmaksuaika 3-vuorossa vuosina [a]} / (\text{Kuormitus [%]} * 100)$

8.3 Saatu hyöty

Tutkittaessa investoinnista saatua hyötyä, on eriteltävä millä osa-alueella se saavutetaan. Osa-alueita ovat mm. laadun parantuminen, työturvallisuuden parantuminen tai läpimenoaikojen lyheneminen. Näiden kautta voidaan laskea taloudelliset säästöt.

8.3.1 Laatu

Toimiessaan oikein laitteisto leikkaa mittatarkempia osia kuin käsin leikatessa. Lattaosien kohdalla mittatarkkuus ei ole välttämättä kriittinen spar-projektissa, sillä suurin osa kappaleiden huonosta yhteensopivuudesta ilmenee valmistuksen edetessä yhteensovitettaessa hitsattuja esivalmisteita yhteen. Hitsauksen lämmöntonin aiheuttamat muodonmuutokset vaikeuttavat rakenteiden yhteensovittamista, jolloin voidaan joutua muokkaamaan eri kappaleita asennuskohteessa käsikäyttöisellä leikkauslaitteistolla. Spar-projektissa lattaosat kuitenkin sovitetaan useimmiten paikalleen vaiheessa, jossa muodonmuutoksia ei ole niin paljoa tapahtunut. Siksi mittatarkkuus ei ole lattaosien kohdalla erityisen ratkaiseva tekijä. Käsin leikatut lattaosat sopivat paikalleen riittävän hyvin, joten merkittävää laadun parannusta ei spar-projektissa saavuteta.

Mikäli laitteistoa sovelletaan muihin käyttötarkoituksiin, kuten subsea-moduleihin, voi mittatarkkuuden merkitys korostua.

8.3.2 Turvallisuus

Lattaosien käsin leikkaaminen ei ole erityisen riskialtis työtapauhtuma. Työntekijä saa leikata profiilia pöydän päällä, jossa polttojäte suihkuu yleensä pöydän alla olevaan laatikkoon. Taitava työntekijä välttää roiskeiden aiheutumisen kohti itseään, eikä ihollekaan roiskuva polttojäte ole kovin vakava asia, sillä se harvoin aiheuttaa minkäänlaisia palovammoja. Myös työergonomia vyötärön korkuisella työpöydällä on yleisiin telakka- ja konepajaolosuhteisiin verrattuna hyvä.

Sulatenumeron merkkamiseen käytettävä panosnaulain on työkalu, joka vaatii huomiota ja käyttäjältään noin puolen päivän mittaisen koulutuksen. Sulatteen merkkaminen automaattisesti vähentäisi panosnaulaimen käyttökoulutustarvetta ainakin uusilla työntekijöillä.

Panosnaulain on melko yksinkertainen työkalu, joka vaatii vain vähän huoltoa. Automatisoitu tärinämerkkain puolestaan vaatii huoltoa ja suojausta plasmaleikkauksen savulta. Toisaalta huollon suorittamiseen ei välttämättä tarvita käyttökoulutusta.

Valmiiden osien siirtäminen lavoille tapahtuu automatisoidulla laitteistoilla käytännössä samalla tavalla kuin käsinkin poltettaessa, joten siinä ei tapahdu muutosta.

Polttojäljen viimeistely hiomalla pysyy periaatteessa samana, vaikka plasmapolttimen tarkempi polttojälki aiheuttaa jonkin verran vähemmän tarvetta hiomiselle. Hiominen on pölyistä työtä, eikä voida väheksyä myöskään pitkäaikaisen altistamisen aiheuttamaa riskiä rannekanavien ahtauman aiheuttamalle ammattitaudille. Tässä kohtaa kaikki saatu hyöty vähenevän hiomisen myötä on nähtävä työturvallisuutta edistävänä asiana.

Lattojen koneistaminen on erillinen työvaihe, jonka pois jääminen vähentää tarvetta kuljetuksiin ja nostoihin. Nostot sisältävät aina riskejä, varsinkin kun kappaleita nostetaan työstökoneiden läheisyyteen. Koneistamo sijaitsee niin kutsutussa matalassa hallissa, jossa on hyvin ahtaalla alueella useita työpisteitä. Pitkä lattaosa ulottuu aarporalla ollessaan käytävän puolelle, johon latta tuetaan erilaisilla pukeilla ja väliaikaisilla tuilla. Ympäristön ja työpisteen soveltuvuus työhön on siis lähtökohtaisesti kyseenalainen.



Kuva 14. Kevennysten työstämiseksi latat on nostettava ahtaan käytävän läpi.

8.3.3 Läpimenoaika

On tutkittava, onko lattaosien leikkaaminen projektin kannalta kriittisellä polulla, eli vaikuttaako sen hitaampi tai nopeampi eteneminen koko projektin pituuteen. Lattojen leikkaaminen on kriittinen työvaihe, ja niiden leikkaamiseen kuluva aika viivyyttää muita töitä. Leikkaamisen automatisoinnilla on nopeuttava vaikutus muihin töihin.

8.3.4 Säästö

Laskelmassa todetaan, että automaatin leikkausnopeus on ratkaisevasti suurempi kuin manuaalinen leikkaus. Automaattinen laitteisto ja siihen liittyvät muut kustannukset ovat huomattavat, mutta leikkausaika putoaa murto-osaan. Tätä kautta syntyy merkittävä ajallinen, ja sitä kautta rahallinen säästö.

8.4 Leikkaus alihankintana

Lattateräksen leikkaaminen on melko yksinkertaista. Vaikka lähiseudun muista konepajoista löytyisi mahdollisuuksia suorittaa työ alihankintana, eivät muut yritykset ole halukkaita tarjoamaan tätä palvelua. Syynä on korkea käsityön osuus, sillä automatisoitua leikkauslaitteistoa ei ole. On myös kokemusta siitä, että osat toimitetaan alihankinnasta sellaisissa erissä, että osien lajittelu olisi hankalaa.

Mikäli automaattinen laitteisto hankittaisiin, voitaisiin lattateräksen leikkausta tarjota muille yrityksille. Tällä voitaisiin tasoittaa omaa kuormitusta.

9 YHTEENVETO

Laskelma tuotettiin Technip Offshore Finlandille, ja jatkotoimenpiteet jäävät yrityksen omaan harkintaan.

Markkinoilla toimivat laitetoimittajat löytyivät melko helposti. Osaksi tieto saatiin jo työn tilaajalta, mutta yksi potentiaalinen toimija saatiin mukaan hitsausmessuilla tehdyn kontaktin perusteella. Vaatimuslistan mukainen laitteisto pystytään toimittamaan. Sopivimmaksi leikkausmenetelmäksi osoittautui ennako-odotusten mukaisesti plasmaleikkaus. Laitteiston käyttöönottoon liittyvät seikat selvisivät Technip Offshore Finlandin sisäisen tietotaidon perusteella.

Suuri haaste oli aukottoman vaatimuslistan laatiminen ja yhteydenpito laitetoimittajiin. Monen toimittajan kanssa käytiin pitkä ja aikaavievä vuoropuhelu ennen tarvittavien tietojen saamista.

Uudella laitteistolla työ nopeutuisi selkeästi, ja saavutettaisiin merkittävä säästö. Sen lisäksi näkymätöntä hukkaa pystyttäisiin poistamaan huomattavasti. Näitä ovat konepajan sisäisen logistiikan paraneminen ja siitä muodostuva ajan ja resurssien säästö.

Huomion arvoista on myös koneistuslaitteiden kapasiteetin vapautuminen sekä positiivinen vaikutus siisteyteen, kun tavaraa ei tarvitse niin paljon varastoida hallin käytävien reunoille seuraavaa työvaihetta odottamaan. Siisteydellä on suuri vaikutus työturvallisuuteen, ja se luo positiivista yrityskuvaa.

Haluan kiittää opinnäytetyön ohjaajaa Karri Kiveä, opinnäytetyön tilaajaa Jaakko Leivoa sekä Technip Offshore Finlandin polttoleikkaushallin työnjohtajia Seppo Perämäkeä ja Ari Alanderia.

LÄHTEET

Hilti www-sivut. 2014. Viitattu 20.5.2014. <https://www.hilti.fi/>

Ihalainen Erkki, Aaltonen Kalevi, Aromäki Mauri ja Sihvonen Pentti (2003),
Valmistustekniikka, Otatieto. Oy Yliopistokustannus University Press Finland Ltd.
HYY-yhtymä. Hakapaino Oy Helsinki

Latokartano, J. 2008. Laserturvallisuus, Tampereen teknillinen yliopisto. Viitattu
9.5.2014. <http://www.laserco.fi/lasertiedostot/Laserturvallisuus.pdf>

Technip www-sivut. 2014. Viitattu 9.5.2014. <http://www.technip.com/>

The Fabricator www-sivut. 2014. Viitattu 20.5.2014. <http://www.thefabricator.com/>

The Welding Institute www-sivut. 2014. Viitattu 13.5.2014. <http://www.twi-global.com/>

Pannier www-sivut. 2014. Viitattu 20.5.2014. <http://www.pannier.com/>

ProLaser Oy www-sivut. 2014. Viitattu 9.5.2014. <http://www.prolaser.fi>

LIITTEET

Tähän työhön kehitetty laskentalomake.

Comparison of cutting methods

← Indicates a user supplied value

Amount of flat bars	
[pieces / project]	←
H6 [pieces / section]	←
H7 [pieces / section]	←

Manual cutting

Automated cutting

Cutting time			
H6 [h / piece]			
H7 [h / piece]			
AVG [h / piece]			
H6 [h / section]			
H7 [h / section]			
Ratio			

Expenses per hour			
worker [€ / h]			
equipment maintenance [€ / h]			
other expenses [€ / h]			
total [€ / h]			

Expenses per unit			
H6 [€ / piece]			
H7 [€ / piece]			
AVG [€ / piece]			
H6 [€ / section]			
H7 [€ / section]			
Project total [€ / project]			
Ratio			

Output			
H6 in 3 shifts [pieces/d]			
H7 in 3 shifts [pieces/d]			
AVG in 3 shifts [pieces/d]			
AVG in 1 shift [pieces/d]			
Ratio			

Savings and payback period

INITIAL EXPENSES OF THE HARDWARE	
hardware price [€]	
installation [€]	
employee training [€]	
other expenses [€]	
total [€]	

PAYBACK PERIOD	
projects [projects]	
amount of parts [pieces]	
hours [h]	
days in 3 shifts [d]	
years in 3 shifts [a]	

SAVINGS		
	time [h]	financial [€]
ONE PART		
H6 AND H7		
PROJECT		