

MIKKO RAJALA

SUULAKKEEN ULKOVAIPAN LEVYOSAN PAINOTYÖKALU

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
2014



SUULAKKEEN ULKOVAIPAN LEVYOSAN PAINOTYÖKALU

Rajala, Mikko
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
lokakuu 2014
Ohjaaja: Teinilä, Teuvo
Sivumäärä: 29

Asiasanat: Levytyö, Puristintyökalu, Potkurisuulake, Levyjen taivutus

Tämän opinnäytetyön aiheena suunnitella levynpuristustyökalu, jolla voidaan nopeuttaa suulakkeen ulkovaipan valmistusta ja tätä kautta alentaa kustannuksia. Opinnäytetyössä tutkittiin ja käsiteltiin yhtä tiettyä potkurisuulakemallia kohdeyrityksessä Kankaanpää Works OY:ssa.

Opinnäytetyö aloitettiin ensin teoreettisella osuudella, jossa käsiteltiin levynmuokkaukseen kuuluvia asioita, jotka liittyvät suurelta osin kohdeyrityksen toimintaan sekä erikoisosaamiseen. Lopussa keskityttiin tutkittavaan tuotteeseen, ja sille tehtävään levynmuokkaustyökaluun. Syntyviä ratkaisuja ja päätelmiä voidaan soveltaa myös muihin yrityksen valmistamiin potkurisuulakkeisiin.

Suunnittelutyön tuloksena syntyi yksittäinen puristintyökalu, joilla ulkovaipan muodostaminen saataisiin tehostettua. Puristintyökalun suunnittelu otettiin yrityksessä hyvin vastaan ja sen valmistus jäi odottamaan vastaavan suulakemallin tilausta.

PRESS TOOL FOR PROPELLER NOZZLE'S OUTER COVER PLATE

Rajala, Mikko

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied
Sciences

Degree Programme in Mechanical Engineering

October 2014

Supervisor: Teinilä, Teuvo

Number of pages: 29

Keywords: Sheet Metal, Press Tool, Propeller Nozzle, Sheet Metal
Bending

The purpose for this thesis was to design a tool for pressing sheets of metal into a desired shape. This would be done to reduce costs in the manufacturing process of a propeller nozzle. The company which requested for this thesis was Kankaanpää Works OY, located in Western Finland.

The thesis consists two main parts. First going through the basics of metal molding, and then focusing on the specific propeller nozzle. The results of the study can also be applied for other propeller nozzles within the product range.

As a result of this thesis a press mold was designed which would make the manufacturing process faster and more cost effective for the propeller nozzle. The Company was pleased with the results and is waiting for opportunity to use the information.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	5
2 KANKAANPÄÄ WORKS	6
3 TYÖN TAUSTAT.....	7
3.1 Yleistä potkurisuulakkeista.....	7
3.2 Tehtävän analysointi.....	9
3.3 Optimaalisen levykoon määrittäminen.....	10
4. SUUNNITTELU.....	10
4.1 SolidWorks mallinnusohjelma.....	11
4.2 Suulakkeen mallinnus.....	12
4.3 Puristimen valinta.....	15
4. LEVYJEN TAIVUTTAMISEN TEORIAA.....	17
5.1 Neutraalipinta.....	17
5.2 Takaisinjousto	18
5.3 Takaisinjousto kaarevalla kappaleella.....	19
6. PURISTINTYÖKALUN SUUNNITTELU.....	22
6.1 Takaisinjoustoarvojen määrittely	23
7. PURISTINTYÖKALUN VALMISTUSTEKNIIKAT	25
7.1 Aihion leikkaaminen levystä	25
7.2 Koneistus	25
8. PURISTINTYÖKALUN KÄYTTÖ	27
9. PURISTINTYÖKALUN KÄYTTÖÖNOTTO.....	28

1 JOHDANTO

Työn tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa puristintyökalu Kankaanpää Worksille, jolla voitaisiin suorittaa potkurisuulakkeen vaipan kuoripeltien muotoon painaminen suuremmista palasista kuin aikaisemmin. Puristintyökalun suunnittelun ensimmäisessä vaiheessa tehtiin analyysi, jossa selvitettiin työkalun ominaisuuksia eri näkökohdista. Seuraavaksi työkalusta kehitettiin useita ratkaisuvaihtoehtoja, joista parhaat valittiin käsiteltäviksi ja edelleen kehitettäviksi.

Työ on rajattu koskemaan lähinnä työkalun suunnitteluvaihetta. Työssä kuvaillaan suunnittelun etenemistä materiaalitekniseltä näkökannalta laajemmin, kuin työkalun valmistustapahtumia, koska ensimmäisenä mainitut ovat suunnitteluprosessin ja levyn kylmämuovauksen ymmärtämisen kannalta tärkeämpiä. Suunnittelun kannalta erityisen tärkeä asia on levyjen taivuttamisen teoria, joten sitä on perusteltu tarkemmin.

2 KANKAANPÄÄ WORKS

Kankaanpää Works on Hollming konserniin kuuluva Kankaanpäässä sijaitseva konepajateollisuuden sopimusvalmistaja. Hollming konserni on perustettu 1945 ja työllistää noin 1150 henkilöä. Kankaanpää Works on toiminut vuodesta 1969, ja sen liikevaihto on n.22 miljoonaa euroa. Työntekijöitä Kankaanpäässä on 120. Tällä hetkellä Kankaanpää Worksin tuotanto on keskittynyt ruoripotkurilaitteiden sekä peräsinten valmistukseen, joista Kankaanpäässä löytyy vahva kokemuspohja.

Kankaanpää Worksin erikoisosaamiseen kuuluvat suurikokoisten ja paksuudeltaan vahvojen kappaleiden muovaukset, sekä niihin liittyvien valmistustekniikoiden kehittäminen. Lopullisen tarpeen mukaan, kappaleen lujuusvaatimukset sekä materiaalivaatimukset huomioon ottaen, muovauksia tehdään sekä kylmä- että kuumamuovausteknologialla.

Kylmämuovausteknologialla saavutettavia etuja ovat valmiin kappaleen materiaaliäykyys sekä hitsaussaumojen väheneminen. Erityisesti vedenalaisten rakenteiden virtausvastus vähenee, kun osat muotoillaan hydrodynaamisemmiksi.

Taivutusmuottien suunnittelu ja valmistus ovat Kankaanpää Worksin erikoisosaamista. Pitkäaikainen kokemus erilaisista muovauksista antaa suunnitteluvaiheessa tarvittavaa tietotaitoa mm. käsittelyn aikaisesta takaisinjoustosta sekä materiaaleissa tapahtuvista rakenne- ja lujuusmuutoksista.

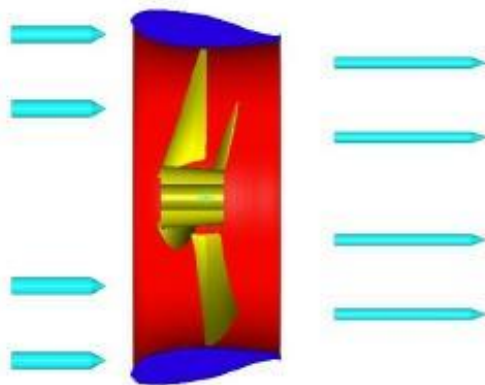
3 TYÖN TAUSTAT

3.1 Yleistä potkurisuulakkeista

Ruoripotkurilaitteiden etuna on niiden täydellinen 360 asteinen ohjattavuus, luoden mahdollisimman tarkan käsiteltävyyden tai paikallaan pysymisen ilman ankkurointia. Ruoripotkurilaitteita löytyy erityisesti öljyteollisuudessa käytettävistä aluksista, hinaajista sekä jäänmurtaajista. Potkurisuulakkeen halkaisija vaihtelee alle metristä lähelle kymmentä metriä, käyttö-tarkoituksesta riippuen. Tässä työssä käsitellään potkurin ympäröivällä suulakkeella varustettuja ruoripotkurilaitteita.

Parhaimman mahdollisimman työntövoiman saamiseksi, potkurin tulee liikuttaa mahdollisimman paljon vettä kerralla joka hetkellä. Potkurin ympärillä oleva suulake auttaa tässä erityisesti silloin, kun pienillä kulkunopeuksilla halutaan mahdollisimman hyvä työntövoima. Vedessä pyörivät potkurin lavat luovat kulkusuuntaansa nähden etupuolelle alipainetta ja taaksepäin ylipainetta. Tämä paine-ero luo potkurin työntövoiman paineen pyrkiessä tasautumaan. Osa potkurin pinnalla olevasta paineesta kuitenkin karkaa potkurin kärjen kautta lavan toiselle puolelle aiheuttaen häviöitä, jolloin osa potkurin pyörimisliikkeeseen käytetystä energiasta kuluu ympärillä olevan veden liikuttamiseen, eikä aluksen eteenpäin työntämiseen. Potkurin ympärillä oleva suulake estää veden karkaamisen lavan kärjen yli, täten parantaen hyötysuhdetta merkittävästi pienillä kulkunopeuksilla. Saman ilmiön torjuntaan lentokoneisiin on suunniteltu siipien kärkiin wingletit.

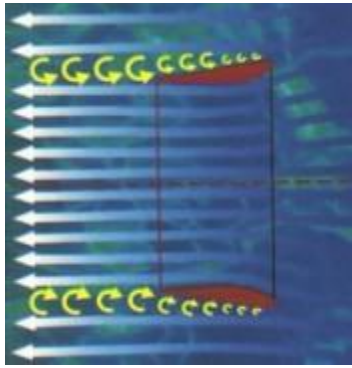
Potkurisuulakkeen etuosa on halkaisijaltaan suurempi kuin takaosa, sekä sisämuodoltaan trumpettimainen. Koska veden tiheys pysyy koko ajan samana, täytyy veden nopeuden kasvaa suulakkeen muodon vuoksi sen kulkiessa etuosasta takaosaan. Veden kohdatessa potkurin, sen nopeus on jo kasvanut suuremmaksi kuin tavanomaista potkurilaitetta käytettäessä. Edellä mainitun ilmiön ansiosta saadaan kerralla liikutettua suurempi määrä vettä, ja samalla moottoriteholla kyetään luomaan enemmän työntövoimaa. /5



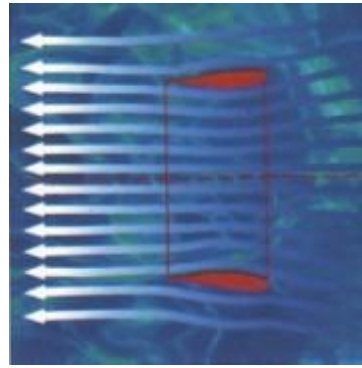
Kuva 1. Potkurisuulakkeen poikkileikkaus

Aluksen purjehdusnopeuden kasvaessa, potkurisuulake alkaa aiheuttaa vetovastusta, joka kasvaa aina nopeuden lisääntyessä loppuen lopuksi poistaen suulakkeen ansiosta saadun työntövoimaedun. Tämän vuoksi nopeammissa aluksissa käytetään yleisesti suulakkeettomia ruoripotkureita, tai tavanomaista potkuri ja peräsinyhdistelmää.

Suulakkeen ulkopinnalle muodostuvien pyörteiden ja niiden aiheuttaman vetovastuksen eliminointiin pyritään perehtymällä suulakkeen muotoilun hydrodynaamisiin ominaisuuksiin. Tässä työssä käsiteltävä suulakemalli on uudempaa muotoilua, jossa muodon poikkileikkauksen tarkastelussa huomataan sen muistuttavan lentokoneen siipeä. Muodolla on pyritty testauksen kautta saamaan paras mahdollinen etu työntövoimaan ja samalla vähiten vetovastusta. Kuvan 2 suulakkeen ulkovaippa on muodoltaan kartiomainen, ja sen pinnalle muodostuu pyörteitä, jotka aiheuttavat vetovastusta huomattavasti enemmän kuin hydrodynaamisemmin muotoiltu suulakemalli (Kuva 3.), jossa vesi ei pääse pinnan muodostaman paine-eron ansiosta karkaamaan pois virtauspinnalta.



Kuva 2. Pyörteiden muodostuminen



Kuva3. Muotoiltu ulkovaippa

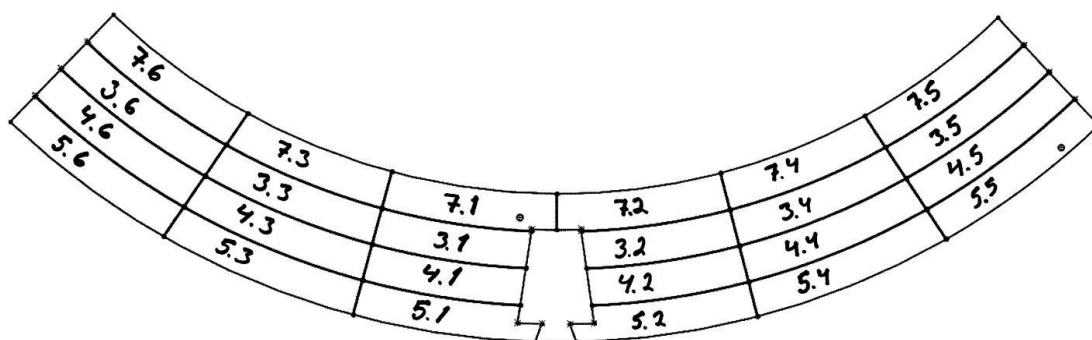
Vetovastuksen eliminointi on yksi tärkeimmistä tutkimuksen kohteista uusia suulakkeita suunniteltaessa. Tutkimusten kautta on voitu todeta, että parannetulla suulakkeen muotoilulla voidaan potkurisuulakesovelluksia käyttää yhä nopeampikulkuisissa aluksissa./7.

Suulakkeen hydrodynaamisuuden parantaminen parantaa laivan kulkuominaisuuksia, mutta asettaa haasteita suulakkeen valmistustekniikoille erilaisten muotojen lisääntyessä. Muotojen lisääntyminen vaikuttaa erityisesti sen mukanaan tuomiin kasvaviin valmistuskustannuksiin, joita kuitenkin osaltaan kompensoi pienenevät polttoainekustannukset. Menetelmiä suulakkeiden soveltamiseksi nopeammillekin aluksille tutkitaan jatkuvasti ja positiivisia tuloksia on saatu, joten voidaan olettaa että potkurisuulakkeiden käyttö yleistyy enenevässä määrin.

3.2 Tehtävän analysointi

Tällä hetkellä suulakkeen ulkopuolen vaippa kootaan poikittaissuuntaisista teräslevyistä, jotka painetaan haluttuun muotoon pieni matka kerrallaan painamalla. Painaminen tapahtuu prässillä jonka puristusvoima on 60 tonnia, ja kerralla saadaan tällä hetkellä painettua noin 30cm:n matka. Paras vaihtoehto uudelle työkalulle olisi siis malli, jolla pystyttäisiin merkittävästi vähentämään tarvittavien yksittäisien levyosien määrää. Säästöä syntyisi merkittävimmin työtunneissa polttokoneella, prässillä sekä asennusvaiheessa,

koska käsiteltävien levyosien ja prässäyskertojen määrä vähenisi huomattavasti nykyisestä menetelmästä, jossa ulkovaippa koostuu 24:stä eri levyosasta. (Kuva 4.). Muuttujia levymuokkauksen ja muun valmistusprosessin aikana kyetään hallitsemaan helpommin, koska käsiteltävien osien määrä tulisi merkittävästi vähenemään.



Kuva 4. Ulkovaipan levykartta (Hollming OY)

3.3 Optimaalisen levykoon määrittäminen

Aiempaan kokemukseen nähden todettiin että kuudesosan kerralla muotoon painamisessa saattaisi ilmetä ongelmia suurien, moneen suuntaan kaarevien muotojen vuoksi, joten työkalua päätettiin lähteä kehittämään yhden kahdeksasosan painamista varten.

Pienempään levykoon päätyminen helpottaa myös kylmämuovauksessa esiintyvän takaisinjouston määrittämistä. Kuitenkin pohdittiin myös tulevien painotyökalujen suurentamista isompien levyjen painamista varten, mikäli tässä työssä käsitelty malli toimisi halutulla tavalla. Jatkokehittelyä päätettiin miettiä tulevien kokemuksien pohjalta myös muille suulakemalleille.

4. SUUNNITTELU TYÖ

Aineistonkeruun tuloksena saatiin runsaasti käyttökelpoista materiaalia painotyökalun suunnittelutyön pohjaksi. Saatujen mitta- ja materiaalitietojen perusteella voitiin alkaa hahmottelemaan tulevaa levyosaa kehitystyön pohjaksi. Valitun kahdeksasosavaipan määritelmän mukaisesti voitiin seuraavaksi siirtyä suulakeosan mallinnusvaiheeseen.

4.1 SolidWorks mallinnusohjelma

Suulakkeen ja sen osien mallinnuksessa käytetty ohjelma on ranskalainen Dassault systemsin lentokonetehtaan suunnitteluosaston alun perin kehittämä 3D-pohjainen mallinnusohjelma SolidWorks 2011 Professional. Ensimmäinen versio julkaistiin 1995, jonka jälkeen uusia versioita on tullut vuosittain. Ohjelman mallinnustekniikka on nykypäivän cad-ohjelmille tyypillinen parametrinen piirremallinnus. Vastaavia ohjelmia markkinoilla ovat Pro/Engineer, Catia, Solid Edge ja Autodesk Inventor. Nämä ohjelmat ovat ominaisuuksiltaan ja mahdollisuuksiltaan hyvin lähellä SolidWorksia.

SolidWorksillä voidaan tehdä kolmenlaisia perustiedostoja; osia, kokoonpanoja sekä valmistuspiirroksia. Hyvä ominaisuus tässä ohjelmassa on se, että kappaleiden mittoja tai ominaisuuksia muutettaessa kokoonpanovaiheessa myös osatiedosto ja piirustus muuttuvat. Mittoja on myös mahdollista linkittää Excel- taulukkolaskentaohjelmaan. On myös mahdollista tehdä samasta osasta monta eri versiota, joilla voidaan helpottaa suunnittelutyötä.

Mallinnus aloitetaan yleensä piirtämällä kaksiulotteinen kuvanto kappaleesta X,Y-tasolle, jonka jälkeen syntyneestä piirroksista tehdään pyörähdyskappale tai se pursotetaan kolmanteen suuntaan. On myös mahdollista hahmotella kolmiulotteinen malli halutusta kappaleesta, jos tämä vaikuttaa järkevämmältä, esimerkiksi jos kyseessä on jokin taivutettu putkirakenne.

Olemassa on myös monia muita tapoja aloittaa mallintaminen, näille kaikille ominaista on kuitenkin että yhtä ainoaa oikeaa tapaa ei monesti ole olemassa, ja piirtäminen voidaan aloittaa tilanteeseen parhaiten soveltuvalla menetelmällä.

Kaksi erilaista kokoonpanojen suunnittelutapaa on kuitenkin selvästi eroteltavissa; ns. bottom-up ja top-down. Nimensä mukaisesti ensimmäisessä valmistetaan ensin laitteen osat ja näistä tehdään isompi kokonaisuus eli kokoonpano. Jälkimmäisessä mallinnetaan uusia osia jopa täysin tyhjiin kokoonpanoon. Menetelmää voi myös vaihtaa työn edetessä. /6/

4.2 Suulakkeen mallinnus

Piirtämisessä käytettiin Rolls-Roycen piirustuksissa annettuja mittoja, toleransseja, sekä näihin kokemuksen kautta saatuja pieniä korjausarvoja. suurena etuna kolmiulotteisessa mallinnuksessa on mahdollisuus hahmottaa erilaisia kokonaisuuksia kattavasti jo ennen valmistusprosessia, sekä kokeilla erilaisia vaihtoehtoja. SolidWorks tiedostot todettiin myös yhteensopiviksi yrityksessä käytettävän Surfcam koneistusohjelman kanssa, jolla koneistettava puristintyökalun malli luodaan työstöä varten.

Mallinnus suoritettiin osa kerrallaan, eli bottom-up menetelmää. Mallinnus aloitettiin ulko- ja sisävaipan kaarien mallinnuksella. Ulkovaipan muoto luotiin kaaritoiminnon avulla niin, että kaarelle annettiin piirustuksissa ulkovaipan mitoille määritellyjä pisteitä, jotka yhdistettiin tulevaan muotoon. Tämän jälkeen mallinnettiin vaippojen väliin tulevat osat eli runkojäykisteet. Suulakkeen sisällä kulkee runkojäykisteet pysty ja vaakasuuntaisesti. Pystysuuntaisia runkojäykisteitä on kolme ja vaakasuuntaisia kahdessa kerroksessa yhteensä kuusi. Ulko ja sisävaippa hitsataan kiinni näihin edellä mainittuihin jäykisteisiin. Osien mallinnuksessa ei esiintynyt suurempia ongelmia ja muoto saatiin hahmotettua tarkasti kaikille pinnoille. Mittatarkkuuden saavuttaminen tämän kaltaisissa osissa vie kuitenkin jonkun

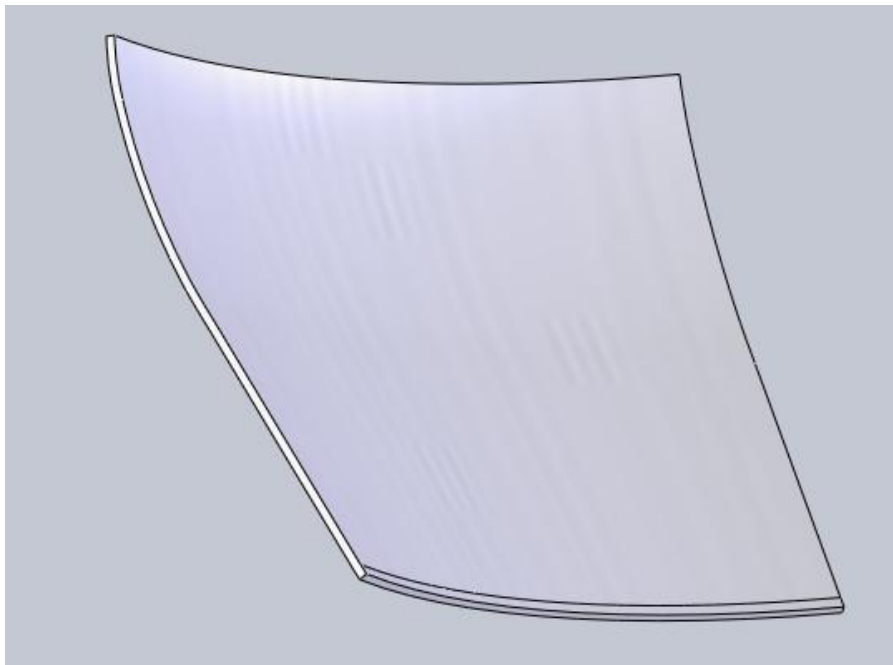
verran aikaa, kun muotoja, mittapisteitä ja kaaria käytetään runsaasti. Eri osien mallintamisen jälkeen, osat liitettiin yhteen oikeille paikoilleen SolidWorksin kokoonpanotoimintoa käyttäen. Ulkovaipan mallista irrotettiin halutun kokoinen sektori, jonka pohjalta tarvittavaa levynmuokkaustyökalua lähdettiin suunnittelemaan. Tämän sektorin muoto määrittelee puristintyökalun mitat.



Kuva 5. Suulake mallinnettuna (Hollming OY)



Kuva 6. Suulakkeen runkojäykisteet (Hollming OY)



Kuva 7. Ulkovaipan muotolevy mallinnettuna (Hollming OY)

4.3 Puristimen valinta

Uuden suunnitellun levyosan koon kasvaessa merkittävästi entisestä, päätettiin uusien levyjen painamisessa käyttää yrityksestä löytyvää suurempaa prässää, jonka voima on 1200 tonnia (n. 12 000kN). Yritys käyttää puristinta pääasiassa tuotteidensa levyosien muodon muokkaamiseen ja kuparikannujen tyssäämiseen.

Tällä hetkellä yksi tärkeimmistä puristimen käyttökohteista, on suulakkeen sisävaipan puristaminen trumpettimaiseen muotoonsa muotin avulla. (Kuvat 5 sekä 9.) Puristin on merkittävästi Fjellmann, ja modernisoitu ruotsissa vuonna 1997. Puristinta käytetään käyttöpaneelilla, johon voi syöttää eri töille soveltuvia numeerisia arvoja, kuten voiman määrän, painamisnopeuden sekä painosyvyyden. (Kuva 8.)



Kuva 8. Puristimen käyttöpaneeli

Tässä työssä käsiteltävä työkalu suunnitellaan toimimaan työkohteessa ilman erityisiä toimenpiteitä, ja testaus voidaan aloittaa heti sen valmistuttua.

Nostureilla on työkohteeseen tuotantotilassa hyvä ulottuvuus. Kappale lasketaan sivuun siirrettynä olevalle liikkuvalla puristustasolle ja tästä se siirretään puristimen työalueelle. (Kuva 9.) Puristimella työskentelevillä henkilöillä on myös vahva kokemus tämän kaltaisista töistä, eikä uuden työkalun käyttöönoton pitäisi vaatia erityistä koulutusta tai ohjeistusta laitteen operointiin liittyen. Laitteen käyttöhenkilöiden kanssa keskusteltiin tulevan työkalun ominaisuuksista suunnitteluvaiheessa.



Kuva 9. Työssä käsiteltävä puristin (Hollming OY)

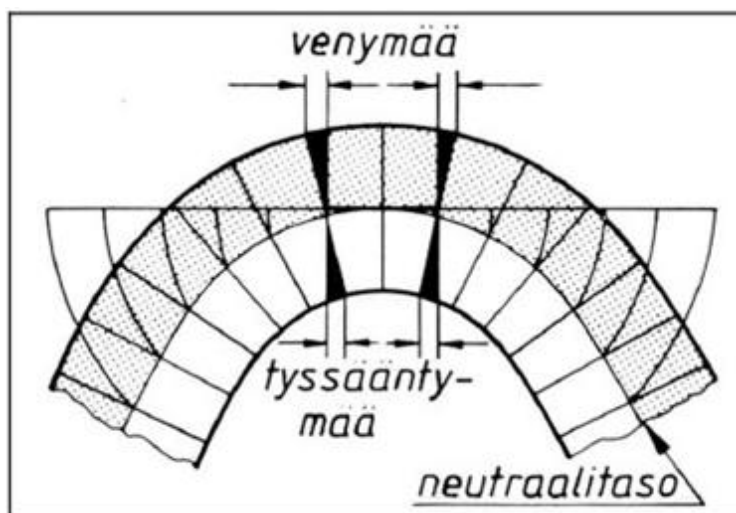
Uudenmallisen puristintyökalun suunnittelussa tarkasteltiin myös työturvallisuusasioita. Todettiin että työkalun käyttö ei luo uudenlaisia riskejä, ja syntyvät riskitekijät on huomioitu jo ennalta. Keskeisessä roolissa henkilövahinkojen riskien minimoinnissa ovat henkilökohtaiset suojarusteet kuten työhansikkaat ja turvakengät, joiden käyttö työkohteella on jo ennestään pakollista.

4. LEVYJEN TAIVUTTAMISEN TEORIAA

5.1 Neutraalipinta

Tässä osiossa käsiteltävät teoriat ja määritelmät koskevat erityisesti levyjen kylmämuovaamista, jossa materiaalin muokkautumiseen vaikutetaan ilman ulkoista lämmöntuontia.

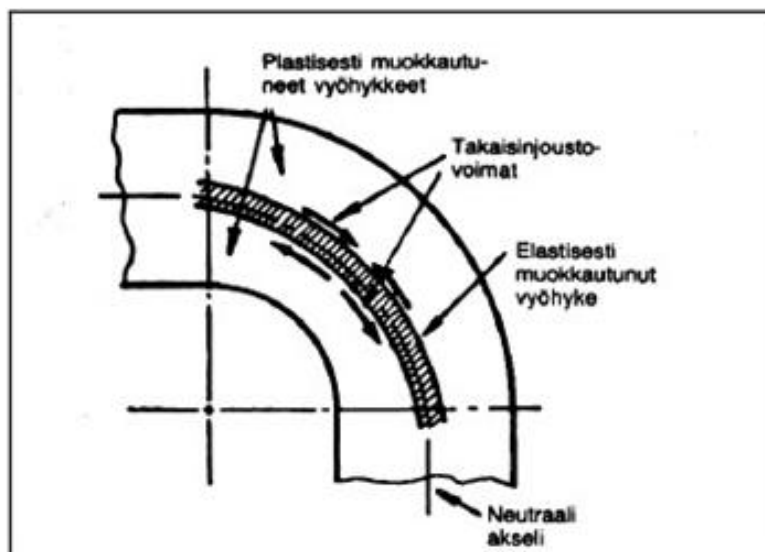
Neutraalipinnaksi, neutraalikerrokseksi tai poikkileikkauksessa neutraaliakseliksi kutsutaan taivutettavan levyn ylä- ja alapinnan välillä olevaa kuvitteellista pintaa, joka taivutettaessa ei veny eikä kutistu (kuva 10). Neutraalipinta on rajalla, missä vetojännitys muuttuu puristusjännitykseksi. Levyn paksuuteen nähden suuremmilla taivutussäteillä neutraalipinta sijaitsee levyn keskellä, mutta pienemmillä taivutussäteillä neutraalipinta siirtyy lähemmäksi pyöristyksen sisäpintaa /4 s.25



Kuva 10. Neutraalipinnan sijainti 1/s.57

5.2 Takaisinjousto

Taivutettaessa levyn ylä- ja alapintojen jännitykset ylittävät materiaalin myötörajan, mutta neutraalipinnan ympärille muodostuu vyöhyke, jossa tapahtuu vain elastista muodonmuutosta. Taivutuksen jälkeen elastisen vyöhykkeen jännitykset pyrkivät palauttamaan levyn takaisin alkuperäiseen muotoonsa, mutta tätä voimaa vastustavat ylä- ja alapinnan plastisesti muovautuneet vyöhykkeet (kuva 11). Sisäinen voimatasapaino saavutetaan, kun muoto on päässyt palautumaan hieman takaisinpäin. Tätä palautumista kutsutaan takaisinjoustoksi.



Kuva 11. Takaisinjouston syntyminen (2 s. 14)

Takaisinjouston arvioimiseen ei ole mitään yleispätevää kaavaa, vaan yleisesti käytetään kokemuksiin perustuvia ennakkotietoja ja testausta. Takaisinjousto kasvaa materiaalin myötölujuuden kasvaessa, taivutussäteen ja levynpaksuuden välisen suhteen kasvaessa ja kimmokertoimen pienentyessä. Lisäksi levyn valssaussuunta särmään nähden voi vaikuttaa huomattavasti takaisinjouston suuruuteen /3 s. 21/

5.3 Takaisinjousto kaarevalla kappaleella

Takaisinjoustoja lähdettiin määrittelemään käyttäen lujuusopin plastisen muodonmuutoksen peruskaavoja.

$$\begin{aligned}\delta &= E \cdot e, \\ R_e &= E \cdot e, \\ \text{josta } e &= R_e / e\end{aligned}$$

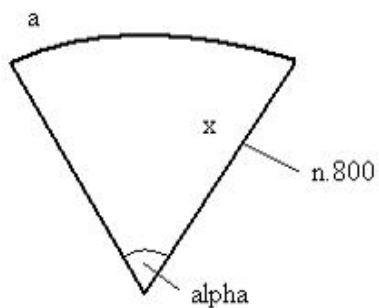
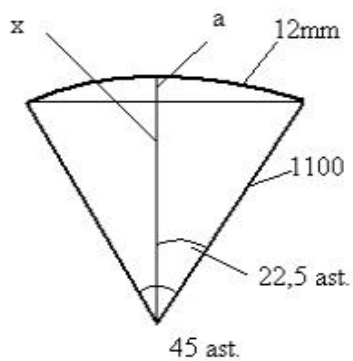
missä,

R_e on myötölujuus
 E on materiaalin kimmokerroin
 δ on normaalijännitys
 e on kappaleen murtovenymä

Työssä laadittavalla levyosalla on kaarevuutta kahteen suuntaan, jolloin takaisinjouston tarkasta määräyksestä tulee erityisen monimutkaista. Takaisinjousto tullaan määrittämään kokemuksiin ja testauksiin perustuen, mutta saadun arvion tueksi lasketaan takaisinjousto saman paksuiselle ja levyiselle yhteen suuntaan kaarevalle kappaleelle.

Kaari kuvaa taivutettavaa kappaletta

$$d(1+e) = 1,001a$$



Yhdenmuotoisuus:

$$\frac{a^1}{a} = \frac{1106}{1100}$$

Venynyt n.1 %

$$\frac{1,001 * a}{a} = \frac{x+6}{x}$$

$$a^1 = a * \frac{1106}{1100}$$

$$1,001 * \left(\frac{1106}{1100}\right) * \frac{a}{a} = \frac{x+6}{x}$$

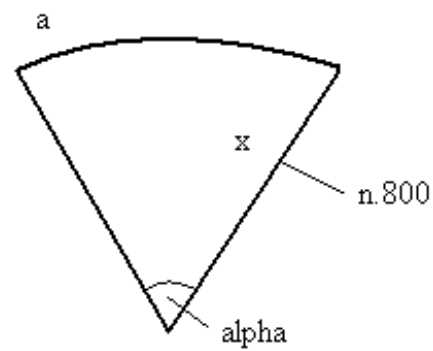
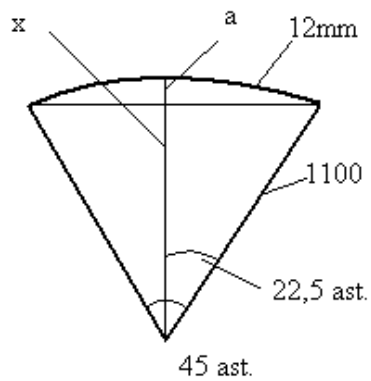
$$x * (1,001 * 1,006) = x + 6$$

$$x(1,001 * 1,006 - 1) = 6$$

$$x = \frac{6}{0,007} \approx 800$$

Kaaren pit.

$$\frac{1}{8} * \pi * 2200 = n. 840$$



$$\frac{x}{1100} = \cos 22,5^\circ$$

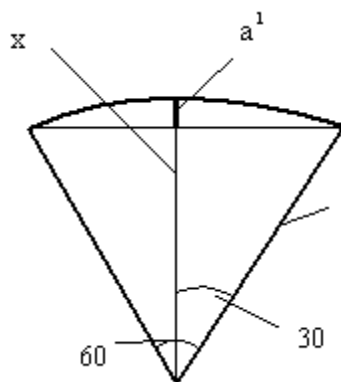
$$\alpha = \frac{840}{800} \text{ rad} \sim 1.05 \text{ rad}$$

Voi laskea:

$$1.05 \text{ rad} * \left(\frac{57^\circ}{1 \text{ rad}} \right) \sim 60^\circ$$

$$x = 1016,3$$

$$\Rightarrow a = 84$$



$$\frac{x^1}{800} = \cos 30^\circ$$

$$x^1 = \cos 30^\circ * 800 = 693$$

⇒ .

$$a^1 = 800 - 693 = 107$$

eli,

$$a^1 = a + 23$$

Vaaditun ylipainamisen määräksi saatiin 23mm. Tämä arvo soveltuisi käytettäväksi ainoastaan yhteen suuntaan kaareville saman paksuisille kappaleille, joten tässä työssä arvo soveltuu suuntaa antavaksi arviointityökaluksi, jolla oikea ylipainoarvo voidaan käytännössä määrittää.

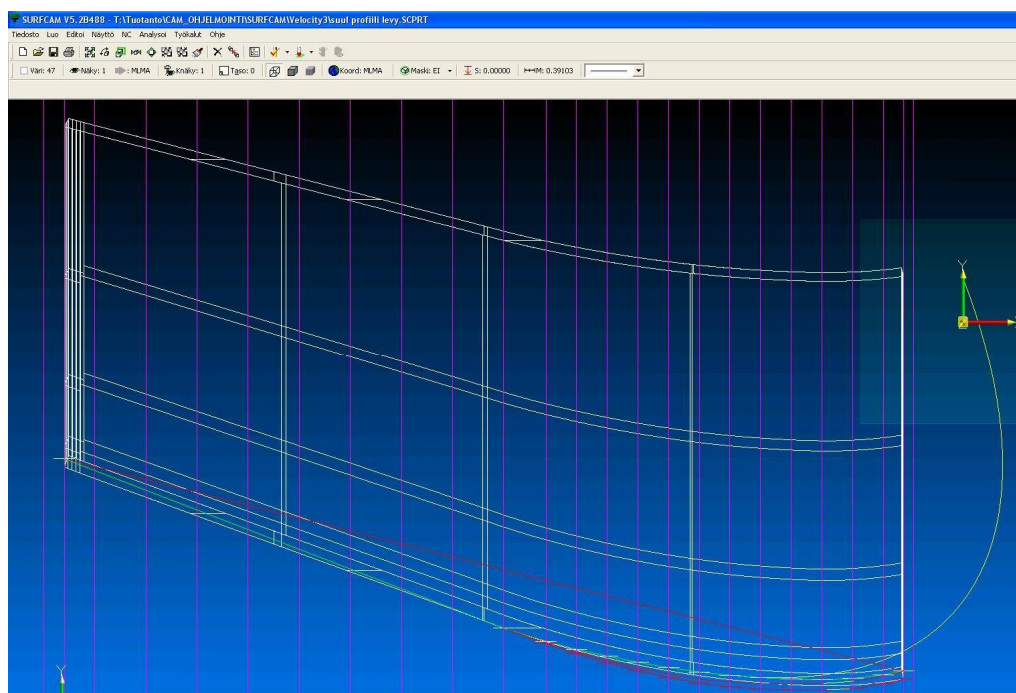
6. PURISTINTYÖKALUN SUUNNITTELU

Aiemmin suunnitellun ja 3D-mallinetun levypalan perusteella siirryttiin suunnittelemaan kappaleelle sopivaa painotyökalua. Työkalun suunnittelussa ja mallinnuksessa käytettiin SolidWorks ohjelmaa, ja siitä löytyvää muottityökalun mallinnussovellusta. Muottityökalu on alun perin suunniteltu käytettäväksi muovimuottien suunnitteluun, mutta sen katsottiin soveltuvan hyvin myös tämän insinööriyön käyttötarkoitukseen. Näin voitiin menetellä, siirtämällä muotin tasojen rajapinta kulkemaan levyn muodon mukaisesti, ja

jatkamalla muotin profiili reunoille asti. Sovelluksen avulla kyettiin mallinnetun levyn avulla mallintamaan muotin ylä- ja alatyökalut mittatarkkuutta noudattaen. Toiminnon avulla pyrittiin myös minimoimaan muottiin tarvittava teräksen määrä määrittämällä työkalun ulkomitat mahdollisimman optimaalisiksi levyosan kokoon nähden.

6.1 Takaisinjoustoarvojen määrittely

Koska kyseessä on kuitenkin kahteen suuntaan kaareutuva kappale, tarvittavan ylipainamisen määrä on merkittävästi pienempi vastaisen suunnan kaarevuuden jäykistäessä kappaletta lisää. Tämä koskee erityisesti suulakkeen etu- eli imupuolta, jossa muotoprofiilia on merkittävästi enemmän. Aiemmalla kokemukseen perustuvalla tiedolla päätettiin noin puolittaa laskemalla saatu ylipainamisen määrä.



Kuva 12. Levyn muoto SurfCam ohjelmassa

Kuten kuvasta kaksitoista huomataan, ensimmäisen viidenkymmenen senttimetrin matkalta (kuvassa vasemmalta oikealle) taivutusta esiintyy

ainoastaan yhteen suuntaan, täytyy ylipainamisen määrää kasvattaa. Soveltamalla laskemalla saatua takaisinjoustoarvoa ennalta saatuihin kokemuksiin, päätettiin kyseiselle matkalle asettaa takaisinjoustoennakkoa 10-20mm jäykästä keskikohdasta kasvaen suulakkeen takaosaa kohti. Takaisinjoustoennakolla tarkoitetaan levyn ylitavuttamista, jotta lopullinen muoto asettuu haluttuun kohtaan.

Levyn loppuosan noin kolmenkymmenen senttimetrin matkan takaisinjouston teoreettinen arvioiminen on huomattavasti haasteellisempaa yksinkertaisten laskukaavojen puuttuessa. Levyssä on tuolla matkalla muotoa kahteen suuntaan ja takaisinjoustoennakossa turvauduttiin pääasiassa arviointiin, käyttämällä apuna aiemmista töistä saatuja kokemuksia ja hyväksi todettuja arvoja. Arvojen määrittämisen tueksi haastateltiin myös puristimella työskentelevää henkilökuntaa, joiden kommentit tukivat tässä työssä määriteltyjä arvioita oikean lopullisen muodon saavuttamiseksi.

Aikaisemmissa töissä erästä pienempää kahteen suuntaan kaarevaa, sekä saman paksuista osaa painettaessa, on takaisinjoustoarvona on käytetty kolmen millimetrin ennakkoa kolmenkymmenen senttimetrin pituudelle. Tämä ennakko on kuitenkin osoittautunut hieman liian pieneksi ja oikeaksi arvoksi on arvioitu 3,5mm. Tätä tietoa voidaan soveltaa uudelle tässä työssä käsitellylle työkalulle kaksoiskaarevan taivutuksen takaisinjouston arvioimiseksi. Tiedetään, että kaarevien muotojen lisääntyessä, takaisinjousto vähenee ja näin ollen ennakkoa voidaan edelleen pienentää lasketusta arvosta. Kun otetaan huomioon aikaisemmin pienemmälle osalle käytetty ennakko ja yhteen suuntaan kaarevalle osalle laskettu arvo, sekä suhteutetaan nämä tässä työssä käsitellyn levyosan mitoille, tullaan suulakkeen etuosan takaisinjoustoarvona käyttämään noin 20 millimetrin puristusennakkoa.

7. PURISTINTYÖKALUN VALMISTUSTEKNIIKAT

Tässä luvussa tarkastellaan, miten puristustyökalu saa lopullisen muotonsa, ja miten sen osat liitetään yhteen. Koska tarkoitus on tässä vaiheessa valmistaa ainoastaan yksi tämän kaltainen prototyypiluontoinen työkalu, on huomioon otettu ainoastaan ne tekniikat, jotka ovat kustannuksiltaan ja työmääriltään järkeviä tämän tyyppiseen projektiin. Koska ainoa varteenotettava työssä käytettävä materiaali hinnaltaan, työstettävyydeltään ja lujuusominaisuuksiltaan on teräs, voidaan jo valmiiksi sivuuttaa muita materiaaleja koskevat menetelmät, valmistustekniikat sekä niiden tarkempi analysointi.

7.1 Aihion leikkaaminen levystä

Työssä käsiteltävä teräs, josta aihio ja taustalevyt valmistetaan ovat paksuudeltaan niin vahvoja että paras tapa niiden muotoonsa saattamiseen on polttaa ne isommista levyistä kaasuleikkauskoneella. Yrityksestä löytyy Esabin valmistama numeerisesti ohjattu kaasuleikkauskone, jolla työ voidaan suorittaa.

Osien leikkaamisen jälkeen on varmistuttava siitä että puristimen kiinnityspintoihin kosketuksiin tulevat pinnat ovat tasaisia, jotta mittatarkkuus sekä hyvä ja turvallinen työkalun kiinnitys koneeseen on mahdollista. Kaasuleikkauksessa syntyneet epätasaisuudet poistetaan käsin hiomalla leikkuutyön jälkeen.

7.2 Koneistus

Puristintyökalun pinta koneistetaan haluttuun muotoon. Koneistus suoritetaan yrityksestä löytyvällä NC-ohjatulla aarporalla, jonka valmistaja on italialainen Innocenti. Kone on valmistettu 1957, mutta modernisoitu

myöhemmin tämän jälkeen. Koneistusajaksi työkalulle arvioidaan noin viisi työpäivää.



Kuva 13. Innocenti aarpora

Koneistuksessa käytetään SurfCam-ohjelmalla luotua mallia, joka saatiin kääntämällä SolidWorksillä piirretty profiili SurfCamille soveltuvaan muotoon. Tämä osa työstä oli yksinkertainen, koska SurfCam on suoraan yhteensopiva yleisimpien 3D-ohjelmien kanssa. Kun koneistettava profiili SurfCamiin on luotu, voidaan takaisinjouston määrää lisätä tai vähentää helposti haluttuun suuntaan levyosan kaaren mittapisteitä siirtämällä. Näin myös painotyökalun muodon hienosäätö tai korjaus jälkikäteen käy nopeasti.

8. PURISTINTYÖKALUN KÄYTTÖ

Työkalun puristimeen kiinnittämistä varten, ylä- ja alatyökalun muotopuolen vastakkaiselle puolelle kiinnitetään hitsaamalla metallilevy, joka ylittää työkalun reunat noin viisi senttimetriä. Alatyökalun kiinnitys puristimeen tapahtuu pulteilla kiristettävillä korvakkeilla (kuva 14) ja ylätyökalun kiinnitys pulttaamalla (kuva 15). Pulttiliitosta varten ylätyökaluun polttoleikataan urat.

Kiinnityslevyn paksuus tulee olemaan noin 35 millimetriä, jotta rakenne on tarpeeksi vankka raskaaseen käyttötarkoitukseensa, sekä antaa tukevan kiinnityksen. Levyn paksuuden etuna on myös se, että mikäli pinnanmuotoa jouduttaisiin muuttamaan suuremman taivutuksen aikaansaamiseksi koneistamalla sitä lisää, painotyökalun työstövara ei lopu niin helposti kesken.



Kuva 14. Alatyökalun kiinnitys



Kuva 15. Ylätyökalun kiinnitys

9. PURISTINTYÖKALUN KÄYTTÖÖNOTTO

Tiedusteltuani puristintyökalun käyttöönotosta opinnäytetyön tilanneelta yritykseltä he ilmoittivat että kyseistä mallia olevia potkurisuulakkeita ei ole tällä hetkellä näköpiirissä toisin kuin aikaisemmin arvioitiin, joten työkalun valmistus ja käyttöönotto on lykkäytynyt.

Puristintyökalusovellus on kuitenkin mahdollista toteuttaa tässä työssä tehtyjä päätelmiä soveltamalla myös muille potkurisuulakemalleille. Erityisesti huomioitavaa on takaisinjoustoarvojen uudelleen määrittäminen ja levykoon valinta, jotta levy osuu hyvin kohdalleen suulakkeen jäykisteiden kanssa.

LÄHTEET

Painetut lähteet

1. Katainen, Harri – Mäkinen, Armas, Kone- ja metallitekniikka
Levytyötekniikka 1. Tekijät ja WSOY, WSOY:n graafiset laitokset. Porvoo
1983. 162 s.
2. Karppinen, Antti, Ohutlevyjen taivutus.
Metalliteollisuuden keskusliitto,
Tekninen tiedotus 23/86. Metalliteollisuuden Kustannus Oy, Helsinki. 1986.
48 s.
3. Erkkilä, Timo, Takaisinjousto särmäyksessä.
Metalliteollisuuden keskusliitto, Tekninen tiedotus 27/85. Metalliteollisuuden Kustannus Oy, Helsinki. 1985. 49 s.
4. Hyryläinen, Janne, Särmättävien ohutlevyosien valmistustarkkuuteen vaikuttavat tekijät ja niiden määrittäminen. Diplomityö. Oulun yliopisto. Konetekniikan osasto. Oulu 2004.
6. Hietikko E., 2007. SolidWorks – Tietokoneavusteinen suunnittelu, toinen painos, Mikkeli, Savonia-ammattikorkeakoulu
7. Chris Martin, 2003 Work Boat magazine - Evolving nozzle designs provide more thrust at higher speeds

Internet lähteet:

5. Potkuritekniikan tietosivut,
http://www.propellerpages.com/?c=nozzles&f=How_Nozzles_Work, viitattu 22.9.2011