

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Tutkintotyö

Jesse Laakso

VAIHTOTYÖKALUN SUUNNITTELU

Työn ohjaaja

Lehtori Harri Laaksonen

Työn teettäjä

Metso Powdermet Oy, valvojana TkT Arttu Laitinen

Elokuu 2005

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Laakso, Jesse

Vaihtotyökalu

Tutkintotyö

38 sivua ja 20 liitesivua

Työn valvoja

Harri Laaksonen

Työn teettäjä

Metso Powdermet Oy, ohjaaja Arttu Laitinen

Elokuu 2005

TIIVISTELMÄ

Tässä tutkintotyössä on selvitetty Metso Powdermet Oy:n toimittaman työkalun suunnittelua ja valmistusta. Työhön kuului paljon luottamuksellista tietoa, jota ei ole tässä tutkintotyössä esitelty. Työkalun käyttö tapahtuu syvässä vesialtaassa, jonka vesi ei saa kontaminoitua. Työkalun tuli olla korroosion kestävä, ympäristöä likaamaton, turvallinen sekä varma- ja nopeatoiminen.

Työssä suunniteltiin työkalu, jonka avulla tuotteiden kuluvien osien vaihto käy helposti, nopeasti ja varmatoimisesti. Suunnittelun pohjana toimi asiakkaan kanssa päätetty osien paikalleenlukitusmekanismi, jossa lukitseminen on toteutettu s-muotoisen uran avulla.

Metso Powdermet Oy, voitettuaan tarjouskilpailun tuotteiden valmistuksesta, tarjosi ratkaisuksi uutta suunnittelua. Uudessa suunnittelussa koko tuotteen sijaan vaihdettaisiin vain vaihtojen syy eli kuluvat osat. Näiden vaihtamiseen tuli suunnitella myös työkalu.

Työhön kuului työkalun suunnittelua, valmistuksen valvontaa sekä koekäyttöjen valmistelua ja suorittamista.

Tulevaisuudessa tullaan suunnittelemaan työkaluun liittyviä muita laitteita ja koekäyttämään sitä sen todellisessa käyttöympäristössä.

TAMPERE POLYTECHNIC

Mechanical engineering and product technology

Laakso, Jesse Interchange tool

Engineering Thesis 38 pages, 20 appendices

Thesis Supervisor Harri Laaksonen

Commissioning Company Metso Powdermet Oy, supervisor Arttu Laitinen

August 2005

ABSTRACT

The products, which need their wearing parts to be replaced every now and then, are classified information and therefore are not described in this thesis. New design of the products has replaceable parts at the upper end of the assemblies, which prevent them to pound against the roof of the container in which they are used. In this study, a tool has been designed that can replace those parts. 3D-assemblies and 2D-drawings were made with 'Solid Edge' MCAD-program which also assisted in many examinations needed in the design work. As a result drawings for the tool were created and a tool corresponding with the customers requirements was manufactured and delivered. With the tool, the parts can be changed safely, reliably and relatively fast. Design will be improved if future tests indicate such need.

Jesse Laakso

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	5
1.1 Yrityksen esittely	5
1.2 Työn taustaa	7
1.3 Työn tavoite.....	9
1.4 Työn kuvaus	9
2 SUUNNITTELU.....	10
2.1 Suunnittelun lähtökohdat	10
2.2 Toimintaperiaate ja yleinen rakenne.....	12
2.3 Kamera	14
2.4 Kameran näyttö	15
2.5 Kohdistuskeskiö.....	17
2.6 Operointitangot.....	19
2.6.1 Ulkoputki	22
2.6.2 Sisäputki.....	23
2.7 Runko	24
2.8 Kellutus	24
2.9 Proto.....	25
3 VALMISTUS JA KOEKÄYTTÖ.....	27
4 TULOKSET.....	36
LÄHDELUETTELO.....	38
LIITTEET	
1 Työkalun piirustukset	
2 Testaustelineen piirustukset	

1 JOHDANTO

1.1 Yrityksen esittely /9/

Metso Oyj on prosessiteollisuuden koneiden ja järjestelmien sekä asiantuntija- ja huoltopalvelujen maailmanlaajuinen toimittaja. Kuitu- ja paperiteknologia, kiven- ja mineraalienkäsittely sekä automaatio- ja säätöteknologia ovat Metso konsernin ydinliiketoimintoja. Liikevaihtoa konsernilla oli vuonna 2003 noin 4250 miljoonaa euroa, josta 46 % tuli Euroopasta, 23 % Pohjois-Amerikasta, 19 % Aasian ja Tyynenmeren alueilta ja 6 % Etelä-Amerikasta. Henkilöstömääräksi kirjattiin tällöin noin 26000 henkilöä.

Metso Paper, jonka osuus Metson vuoden 2003 liikevaihdosta oli 38 %, on paitsi paperinvalmistuslinjojen markkinajohtaja, myös johtavia massalinjojen ja kartonkikoneiden toimittaja. Metso Paper palvelee asiakkaitaan tuotevalikoimalla, joka kattaa koko tuotantoketjun massankäsittelystä rullanpakkaukseen. Voimakkaasti kasvavana osana liiketoimintaa on eri massan- ja paperinvalmitukseen liittyvien prosessien tehostaminen asiantuntija- ja jälkimarkkinapalveluilla.

Metso Minerals (37 % Metson liikevaihdosta vuonna 2003) toimii maailman johtavana mineraalienkäsittelyjärjestelmien ja kivenkäsittelyjärjestelmien toimittajana. Kaivosteollisuus, murskeentuottajat sekä maanrakennusteollisuus saavat Metso Mineralsilta alansa laajimman tuote ja huoltopalveluvalikoiman, joka sisältää kiven- ja mineraalien käsittelyn, lajittelun, kuljetuksen ja kierrätyksen ratkaisuja. Toimituksia tehdään myös porauslaitteiden, jyrien sekä kulutus-, varaosa-, ja huoltopalveluiden muodossa.

Metso Automation, jonka osuus Metson liikevaihdosta oli 12 %, on sellu- ja paperiteollisuuden automaatoratkaisujen maailman kolmanneksi suurin toimittaja, jonka asiakkaita on myös energia- ja prosessiteollisuuden sekä kiven- ja mineraalienkäsittelyn aloilla. Prosessiteollisuuden automaation ja tiedonhallinnan sovellusverkkojen ja järjestelmien, älykkäiden kenttä säätöratkaisujen sekä prosessien elinkaaren kattavien

Jesse Laakso

asiantuntija- ja huoltopalveluiden suunnittelu, kehittäminen ja toimittaminen kuuluvat Metso Automationin toimenkuvaan.

Yhdeksästä prosentista konsernin liikevaihdossa vastaa konsernin ydinliiketoiminta-alueiden kanssa synergiaetuja tuottavista liiketoimintoista sekä strategisen kehityksen alla olevista yksiköistä muodostuva Metso Ventures. Liiketoiminta-alueen palveluksessa toimii noin 2500 henkilöä. Metso Ventures koostuu kolmesta liiketoimintaryhmästä: Metso Panelboard, Metso Powdermet ja Valmet Automotive. Lisäksi Venturesiin kuuluu kolme valimoa.

Yksi maailman suurimmista levyteollisuuden laite- ja jälkimarkkinapalveluiden toimittajista, Metso Panelboard, suunnittelee ja toimittaa niin kokonaisia tuotantolinjoja kuin yksittäisiä laitteitakin levyteollisuudelle kuitu-, lastu- ja OSB-levyjen valmistukseen sekä näitä tukevia jälkimarkkinapalveluita. Sen tärkeimmät asiakastoimialat ovat rakennus- ja huonekaluteollisuus.

Sellu- ja paperiteollisuuden, mineraali- ja kaivosteollisuuden sekä prosessi- ja energiateollisuuden käyttökohteisiin materiaalitekniisiä ja komponenttiratkaisuja kehittää Metso Powdermet Oy.

Suomessa ja Ruotsissa sijaitsevat Metson valimot kuuluvat organisatorisesti Metso Ventures -liiketoiminta-alueeseen. Päätuotteina niillä ovat erilaiset komponentit ja valut, kuten telat ja sylinterit, laivojen moottoriblokit, rungot ja kulutusosat murskaimiin, tuulimyllyjen navat ja potkurien lavat. Palveltavia ovat niin Metson sisäiset kuin ulkoisetkin asiakkaat.

Yksi Euroopan merkittävimpiä avoautojen sopimusvalmistajia, Valmet Automotive, valmistaa nykyään Porsche Boxster -urheiluautoja saksalaiselle Porsche AG:lle. Automotive on keskittynyt vaativien erikoisautojen sopimusvalmistukseen ja kehitykseen.

Jesse Laakso

1.2 Työn taustaa /9; 11/

Metso Powdermet Oy on materiaaliteknologiayritys, joka kehittää, valmistuttaa ja toimittaa materiaaliteknologian ratkaisuja sellu- ja paperiteollisuudelle, kiven- ja mineraalienkäsittelyyn, kierrätysprosesseihin, öljy- ja kemianteollisuudelle, sähköntuotantoon sekä offshore-sovelluksiin. Lisäksi Powdermet Oy konsultoi Metso-konsernin liiketoimintoja materiaaliteknologisissa kysymyksissä.

Powdermet Oy:n tärkeimpiä tuotteita ovat seuraavat:

Dipolimagneettien päätykupolit (kuva 1) ovat maailman suurimpaan hiukkasfysiikan tutkimuskeskukseen, CERNiin (European Organization for Nuclear Research), rakennettavan hiukkaskiihdyttimen (LHC – Large Hadron Collider) yksi koko projektin haastavimmista osista. Kupolit ovat hyvin monimutkaisen muotoisia ja ohutseinämäisiä. Kupolin toisella puolella on lähes tyhjiö ja toisella



Kuva 1 Dipolimagneettien päätykupoli /11/

puolella lämpötila on lähellä absoluuttista nollapistettä. Lisäksi kupolien tulee olla tiiviitä ja hitsattavia. Kiinnostus CERNissä uutta teknologiaa kohtaan johti testiohjelmaan, jota varten tehdyt koetuoitteet toimitettiin 1998. Saadut tulokset täyttivät kaikki CERNin vaatimukset, ja ensimmäiset päätykupolien prototyypit toimitettiin pilotointia varten 1999.

Pilotoinnin ja testien perusteella pulverimetallurgia todettiin parhaimmaksi valmistusmenetelmäksi ja voitettuaan kansainvälisen tarjouskilpailun Powdermet Oy sai maaliskuussa 2001 kahdeksan miljoonan euron tilauksen noin 2500 päätykupolista. Täysin uudenlaisen teknologian käyttö noin vaativassa sovelluksessa, vieläpä vanhoja menetelmiä halvemmallalla, on nostanut pulverimetallurgian tunnettavuutta maailmalla ja täten auttanut Powdermet Oy:n asemaa kansainvälisessä kilpailussa.

Jesse Laakso



Kuva 2 Paperikoneen imutela

Paperikoneiden imutelat (kuva 2) ovat putkimaisia komponentteja (painoltaan 10-40 tonnia), jotka painetaan toista rullaa vasten, ja samalla välissä kulkevasta puukuitu/vesi-seoksesta imetään vesi pois imutelassa olevien reikien kautta. Imutelat toimivat korrosiivisissa ympäristöissä lämpötilan

ollessa yli 50 °C ja niihin kohdistuu käytöstä aiheutuvaa jännitystä. Käyttöolosuhteista johtuen nykyisillä valmistusvaihtoehdoilla (valaminen ja hitsaus) valmistetut imutelat saattavat vaurioitua säröilemällä.

Pulverimetallurgisesti valmistetut imutelat esiteltiin ratkaisuna näihin ongelmiin. Ne on valmistettu ruostumattomasta Duplok 27 -teräksestä, joka on varta vasten kehitetty tätä käyttötarkoitusta varten. Duplok 27:ssä yhdistyvät korkea lujuus ja hyvä korroosionkesto, jotka tekevät siitä ideaalisen materiaalin tämän tyyppiselle tuotteelle.

Paperileikkurin terät (kuva 3), joilla paperi leikataan tiettyyn leveyteen. Normaalit terät kärsivät kovasta kulutuksesta, ja keski-ikä niillä on noin 10 päivää materiaalin ollessa AISI D2. Uusi PM-materiaali on Ralloy WR6, joka yhdessä kuumaisostaattisen puristuksen kanssa takaa tasaisen laadun ja homogeenisen mikrorakenteen minimoiden näin käytön ja varastoinnin aikana aiheutuvat mittamuutokset.



Kuva 3 Paperileikkurin terät /11/

Lisäksi PM mahdollistaa pienten karbidien tasaisen jakautumisen pidentäen näin terän elinaikaa. Kun terät vielä ns. superviimeistelyhiotaan, saadaan niiden eliniäksi jopa 40 päivää.

Jesse Laakso

Offshoreteollisuuden tuotteita öljynporauslautoille ovat esimerkiksi Swivel (4-15 tonnia) ja merenalainen Y-kappale (1-2 tonnia). Myös erilaisia prosessiteollisuuden komponentteja, kuten krakkausyksiköiden nousuputkia valmistetaan.

1.3 Työn tavoite

Tuotteiden ja niihin vaihdettavien osien käyttötarkoitus ja tarkempi kuvaus on esitetty luottamuksellisessa työkalun suunnittelu- ja valmistusraportissa /4/. Näiden osien vaihtoon piti kehittää työkalu, jonka avulla tapit saataisiin nopeasti ja varmatoimisesti vaihdettua.

Raportissa /4/ esitetyistä käyttöympäristöön liittyvistä syistä tuli suunnittelussa ottaa huomioon monia eri seikkoja. Osien vaihto tapahtuu vesialtaassa 2 metrin syvyydessä, ja sen tulee olla silti hyvin seurattavissa. Osien irtoamisen tuotteesta ja kiinnittymisen työkaluun tulee olla täysin varmaa ja mahdollisten kiinnitarttumisten tuotteeseen hyvin todennettavissa. Työkalusta ei saa irrota veteen minkäänlaista materiaalia, ja täten sen tulee säilyä koko käyttöikänsä ajan ruostumattomana. Koska työkalu saattaa olla vuosia käyttämättä, tulee sen säilyä käyttökunnossa pitkistä säilytysajoista huolimatta. Käytön helppoutta ja turvallisuutta pidettiin tietenkin tärkeinä asioina työkalua suunnitellessa.

1.4 Työn kuvaus

Työ aloitettiin suunnittelemalla sen eri vaiheet. Aluksi päätettiin käydä tarkasti läpi kaikki työkalulle asetetut vaatimukset, työkalun käyttöympäristön asettamat rajoitukset sekä kirjata kaikki toimintaan vaikuttavat muut tekijät. Suunnittelun avuksi sekä ideoiden toimivuuden tarkistamiseen katsottiin pienen proton valmistaminen hyödylliseksi. Kun proto oli valmistettu, pidettiin tärkeänä edetä suunnittelussa ja valmistuksessa osakokonaisuus kerrallaan. Työkalua ei siis suunniteltu kokonaisuudessaan valmiiksi, vaan kun osakokonaisuus saatiin suunniteltua, sen valmistus aloitettiin heti. Suunnittelun lisäksi valmistuksessa päätettiin olla mukana mahdollisimman paljon ohjeistamassa ja valvomassa työtä, ja samalla oppimassa valmistukseen liittyvistä asioista. Projektin

Jesse Laakso

suunnittelun ja valmistuksen etenemistä päätettiin seurata kuukausittain pidettävän suunnittelukatselmuksen avulla.

2 SUUNNITTELU

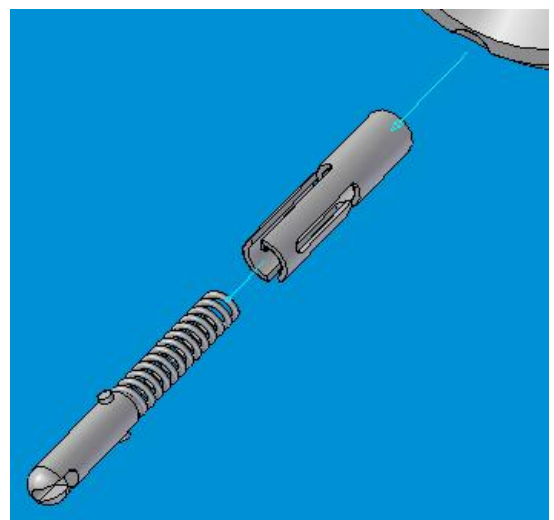
2.1 Suunnittelun lähtökohdat

Tuotteiden valmistusprojektin alkuvaiheessa asiakkaan kanssa neuvoteltiin neljästä eri vaihtoehdosta, joista valittaisiin paras versio valmistuksen aloittamiseksi. Aluksi esillä olivat hyvin vahvasti täysin pulverimetallurgisesti valmistettavat tuotteet, jotka mahdollisesti valmistettaisiin kokonaan yhtenäiseksi tai kolmesta kappaleesta ruuviliitoksin liitettynä. Esillä oli myös perinteisistä materiaaleista valsaamalla valmistettava tuote, sekä alkuperäisen kaltaisen designin mukaan valmistettu.

Pulverimetallurgisesti valmistettavien kappaleiden ehdotus hylättiin pian työkalun suunnittelu- ja valmistusraportissa /4/ esitetystä syystä. Niiden yhteydessä kuitenkin ehdotettiin mallia, jossa koko tuotteen yläpää kuluvine osineen vaihdettaisiin. Tässä versiossa kuuluva osa olisi ollut hitsattuna paikalleen kuten alkuperäisessä designissa. Koko yläpään vaihtamiseen olisi periaatteessa käynyt sama käsittelylaite, jolla koko tuotteet asennetaan paikoilleen. Tuotteen yläpäättä ei olisi voinut kiertää auki tuotteen ollessa vaihtoastiassaan omalla paikallaan.

Tämän lisäksi ei yläpään kiinnitykseen keksitty hyvää vaihtoehtoa, joten eteni idea vaihtoehtoon, jossa koko yläpään vaihtamisen sijaan vaihdettaisiin vain itse kuluvat osat.

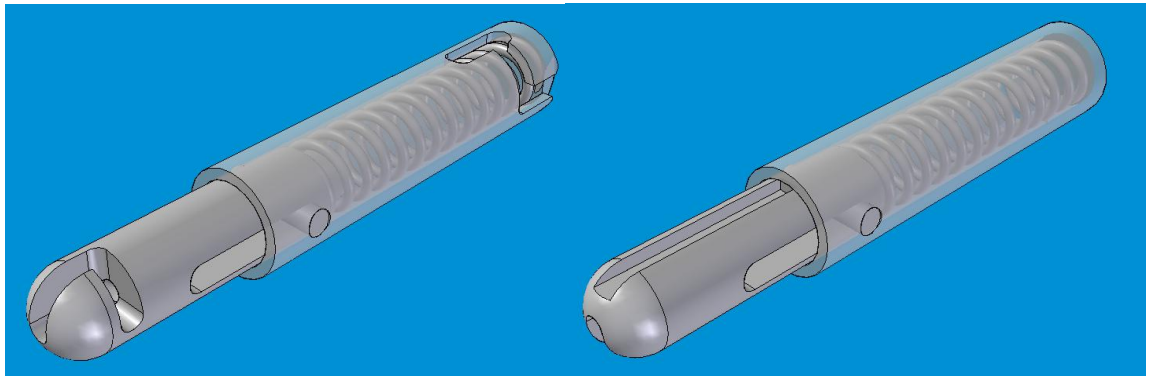
Vaihdettavissa osissakin tuli esille muutamia eri ratkaisuvaihtoehtoja, joissa yhdessä vaihdettiin vain tappi ja siihen kiinnitetty jousi (kuva 4). Tappin reunoilla



Kuva 4 Tuote vaihdettavalla tapilla ja jousella

Jesse Laakso

olevat ohjaintapit olisi työkalun avulla laskettu tuotteen yläpäähän upotetun ja kiinni hitsatun holkin uriin, kierretty 90 astetta vastapäivään ja nostettu uran loppuun. Jousen ohjaaminen holkin sisään todettiin niin hankalaksi, että ideasta luovuttiin. Tästä kuitenkin kehittyi lopullinen idea, jossa vaihdetaan osa (kuva 5), joka koostuisi tapista, jousesta ja ne sisäänsä sulkevasta putkimaisesta kotelosta. Tämä ratkaisu oli toimivin, ja koska ei ollut vielä varmuutta tuotteen valmistustavasta, tämä oli ratkaisu joka olisi käytettävissä tuotteen tyypistä riippumatta. Esillä oli myös vaihtoehto, jossa olisi samassa vaihdettava yläpää sekä vaihdettavat osat. Tällöin yläpää olisi irrotettu tuotteesta, puhdistettu ja osat irrotettu yläpästä käsin.



Kuva 5 Lopullinen osan rakenne

Lopulta tuote päätettiin valmistaa vanhan designin mukaisesti perinteisistä materiaaleista hitsaamalla. Yläpään rakennetta muutettiin kuitenkin siten, että pelkät osat voitaisiin vaihtaa. Osien kiinnitys toteutettiin "s-uralla", jonka avulla osa kiinnitettäisiin sitä varten tuotteen yläpäähän tehtyyn reikään. Reiässä osa lukittaisiin paikalleen kiertämällä sitä 90 astetta ja laskemalla vielä siitä jonkin matkaa alaspäin. Tällä varmistettaisiin se, että tuotteen liikkuaessa eivät osat pääsisi irtoamaan itsestään ja että ne säilyttäisivät halutun asennon vaihtamista silmällä pitäen. Asiakkaan toivomuksesta lopullisen aseman määrittelevän uran alapäähän lisättiin kulman alapuolelle ylettyvä syvennys varmistamaan, ettei osa pääse pyörähtämään väärään asentoon. Muina vaihtoehtoina esitettiin kiinnitykselle erilaisilla joustavilla kuulapainimilla tms. tapahtuvaa lukitusta, joissa osa vaihdettaisiin vain suorassa linjassa reikänsä painamalla ja sieltä pois vetämällä. Näiden vaihtoehtojen ei kuitenkaan katsottu olevan riittävän varmatoimisia.

Jesse Laakso

Käyttöympäristöstä johtuvien vaatimusten takia oli alusta alkaen selvää, että työkalu tulitisiin valmistamaan lähes täysin ruostumattomasta teräksestä, vaikka projektin alkaessa sen toivottiin olevan mahdollisimman kevyt käsitellä. Myös muiden materiaalien käyttöä mietittiin, mutta vähäinen kokemus muiden kuin teräksien osalta johti siihen, ettei niihin lähdetty tässä projektissa tutustumaan. Lujuuslaskentaa ei sisällytetty tutkintotyöhön.

2.2 Toimintaperiaate ja yleinen rakenne

Työkalun on tarkoitus vaihtaa kahden metrin syvyydessä olevien tuotteiden yläpäistä kuusi samanlaista kuluva osaa. Sen tulee tarttua osiin niin, ettei niiden putoaminen työkalusta ole mahdollista kun ne ovat irronneet tuotteesta. Kun työkalulla on irrotettu kaikki kuusi osaa, se siirretään lataustelineelle, jonka keräysastiaan osat pudotetaan. Lataustelineen latauspäästä otetaan työkaluun uudet osat samalla tavalla kuin ne irrotetaan tuotteesta. Tämän jälkeen tuotteeseen asennetaan työkalun avulla uudet osat. Työkalun tulee todentaa käyttäjälleen irrotuksen ja kiinnityksen onnistuminen. Toiminnan aikana työkalun täytyy kellua tietyllä korkeudella ja olla helposti siirrettävissä tuotteiden ja lataustelineen välillä.

Osien irrottaminen ja kiinnittäminen tapahtuu kahden sisäkkäisen operointitangon avulla. Näitä tankopareja on yhteensä kuusi kappaletta 60 asteen välein työkalun rungon ympärillä. Sisempi tanko lukittautuu osaan estäen sen putoamisen sekä välittäen pystysuuntaisen irrotusvoiman. Ulompi tanko hoitaa osan pyörittämisen. Osassa toimintoja tangot toimivat itsenäisinä ja osassa toisiinsa kiinnitettyinä. Tankojen liikkeet on rajattu rungon yläpäähän kiinnitetyillä ja sisempään tankoon koneistetuilla urituksilla, jolloin tangot kohtaavat osat oikeassa asemassa kun ne lasketaan osiin kiinni. Samalla uritukset estävät virheellisen käytön, sallien vain tietyt liikkeet tietyssä vaiheessa vaihtotapahtumaa.

Työkalun runko antaa tuen tangoille, ja siihen on kiinnitettyä myös ulompien tankojen liikkeet rajaava uritus. Rungon alapäähän on kiinnitetty kohdistuskeskiö, jonka kärki tuottaa ja työkalua toisiinsa kiinnitettäessä hakeutuu tuotteen yläpäässä olevaan reikään.

Jesse Laakso

Tämän jälkeen kohdistuskeskiön avulla saadaan työkalu käännettyä oikeaan asentoon ja laskettua oikealle syvyydelle. Tähän se käyttää apunaan alun perin koko tuotteen nostamiseen tarkoitettuja nostotappeja, jotka sijaitsevat sen yläpäässä olevan keskiöreiän sisäpinnoilla.

Työkalun toimintaa seurataan kohdistuskeskiön sisälle asetetulla vedenalaisella kameralla, jonka avulla voidaan seurata sekä työkalun laskemista asemaansa että osien vaihtamista kameran pystyasemaa vaihtamalla.

Operointitankoja käytetään niiden yläpäässä olevien kahvojen ja tankojen lukitussokkien avulla. Vaikka automatisoitu toiminta olisi vähentänyt käytön inhimillisen virheen mahdollisuutta, ei sen soveltamiseen lähdetty. Tämä siksi, että haluttiin välttyä ylimääräisen sähkön käyttämiseltä vesiympäristössä ja sen välittömässä läheisyydessä turvallisuus- ja kustannusnäkökohtien takia. Manuaalista käyttöä puolusti myös se, että vaihdettavien osien käyttäytymisestä ympäristössään ei ole varmaa tietoa, ja ne saattavat juuttua kiinni tuotteessa oleviin reikiinsä. Kiinni juuttunutta osaa irrottavan käyttäjän on helppo havaita juuttuminen tangon välityksellä, keskeyttää kyseisen tangon operointi ja kokeilla vaihtoehtoisia irrotusmenetelmiä. Nämä irrotusmenetelmät tullaan päättämään myöhemmin.

Työkalun ympärillä olevat säädettävät kellukkeet pitävät työkalun vedessä halutulla korkeudella ja auttavat sen siirtämisessä tuotteelta osien lataustelineelle ja takaisin. Ne on myös suunniteltu työkalun runkoon nähden pyöriviksi, koska työkalun on mahdollista tuotteiden vedenalaisen säilytyskorin nostamiseen tarkoitetun nostotangon välittömään läheisyyteen.

Työkalun pituudeksi määriteltiin noin 3,5 metriä, josta kaksi metriä olisi vedenpinnan alapuolella suunnittelu- ja valmistusraportissa /4/ esitetyistä syistä ja 0,5 metriä käyttötason etäisyys vedenpinnasta. Jäljelle jäävä yksi metri arvioitiin sopivaksi käyttökahvojen operointikorkeudeksi seisovassa asennossa olevalle keskipituuiselle, noin 178 cm pitkälle suomalaismiehelle, jollainen työkalun käyttäjä todennäköisimmin tulee olemaan /3/. Asiakas hyväksyi ehdotuksemme työkalun pituudesta, vaikka myöhemmin

Jesse Laakso

selvisi, että heidän tiloissaan jo valmiina olevat työskentelytasot sijaitsivat metrin etäisyydellä vedenpinnasta.

2.3 Kamera

Asiakas ei esittänyt mitään erityisvaatimuksia työkalun toiminnan seuraamiseen.

Työkalun toiminnasta kahden metrin syvyydessä ja vaihdettavien osien pienestä koosta johtuen todettiin, että työkalun käyttäminen pelkästään pinnalta seuraamalla olisi lähes mahdotonta. Tämän johdosta päädyttiin siihen, että toimintaa valvottaisiin vedenalaisen kameran avulla.

Vaihtoehtoina esitettiin työkalun seuraamista joko työkalun ulkopuolelle kiinnitetyllä, täysin erillisellä tai työkalun kohdistuskeskiön sisälle asetetulla kameralla. Päädyttiin ratkaisuun, jossa kamera tulisi sijaitsemaan kohdistuskeskiön sisällä ja se pystyisi alasennessaan seuraamaan työkalun kiinnittämistä tuotteeseen kohdistuskeskiön kärjessä olevasta reiästä ja yläasennessaan osien vaihtoa kohdistuskeskiön rei'istä /5/.

Kameran valintaan käytettiin seuraavia kriteereitä:

- valon riittäminen suunnittelu- ja valmistusraportissa /4/ esitetystä käyttöympäristössä
- kameran mahtuminen kohdistuskeskiön sisään
- mahdollisuus käyttöön kahden metrin syvyydessä
- sähkölaitteiden saaminen riittävän etäälle vedestä
- kameran objektiivin luoman kuvakulman soveltuvuus ko. käyttöön.

Useista eri vaihtoehdoista valittiin vedenalainen kamera Tracer TS-506PSC (kuva 6), jonka 30 metriä pitkä kaapeli, vesitiiviys kolmen psi:n paineeseen saakka, 0,01 luksin minimi valontarve, pieni koko, usean eri linssikoon saatavuus eri sovelluskohteita varten ym. ominaisuudet kattoivat erittäin hyvin vaaditut kriteerit. Kamerasta oli tarjolla väri- ja mustavalkokuvaa tuottavat versiot. Koska mustavalkokameran valontarve oli pienempi ja koska värien näkymisellä ei käytön kannalta ollut merkitystä, valittiin mustavalkoversio.



Kuva 6 Vedenalaiseen kuvaukseen soveltuva kamerajärjestelmä Tracer TS-506PSC /2/

Kameralle rakennettu jalusta (liite 1/3) suunniteltiin siten, että se käyttää kahta kohdistuskeskiön kuvausreikää liuku-urana. Näiden avulla kameran asento saadaan pysymään paikallaan. Koska kamerasta saatava kuvasuhde on kuten videolaitteissa yleensä, eli kuvalla on enemmän leveyttä kuin korkeutta, päätettiin kohdistuskeskiön kohdistusurien ja kameran asento työkaluun nähden asettaa niin, että työkalun ollessa tuotteessa kiinni näkyy tuotteen yläpään kuusikulmaisen muodon levein kohta kuvassa vaakatasossa. Kameran kuva näyttää työkalusta tietenkin samoin päin olevan kuvan kuin mitä työkalun käyttäjä sitä operoidessaan katselee.

2.4 Kameran näyttö

Kameran kuvan seuranta mietittäessä lähdettiin liikkeelle ajatuksesta, että työkalun käyttäjällä roikkuisi kaulassaan pieni valvontamonitori. Valvontamonitorista käyttäjä voisi käytön aikana seurata kameran kuvaa. Myöhemmin ajatus kannettavasta valvontamonitorista hylättiin, koska valvontamonitorien suhteellisen pienistä näytöistä eivät vaihdon tapahtumat mahdollisesti näkyisi riittävän tarkasti ja monitori voisi olla käytön aikana työskentelyn tiellä. Tästä päädyttiin siihen, että kuva tuotaisiin kannettavan

Jesse Laakso

tietokoneen näytölle. Kannettavaa tietokonetta käyttämässä ja siltä ohjeita antamassa olisi toinen käyttäjä. Kameran kuvasignaalin muuntamisen tietokoneen ruudulla esitettävään muotoon tiedettiin onnistuvan tv-kortin avulla. Työkalun käyttöänsä aikana tv-kortti tullaan mitä todennäköisemmin kytkemään mitä erilaisimpiin tietokoneisiin. Tästä syystä tuli kortin olla ulkoinen, mahdollisimman uutta teknologiaa sekä mahdollisesti helposti korvattavissa kortin teknologian muuttuessa liian vanhaksi tai sen rikkoutuessa. Näiden kriteerien pohjalta valittiin Hauppaugen WinTV-PVR-usb2 tv-kortti, jonka avulla kamera on liitettävissä kaikkiin USB-liitäntäisiin tietokoneisiin. Lisäksi kyseinen tv-kortti toi mukanaan hyväksi katsotun ominaisuuden, vaihtotapahtumien dokumentoinnin nauhoittamalla ne videotiedostoiksi tietokoneen kovalevylle tv-kortin ohjelmiston avulla. Tietokoneen monitorissa näkyvästä kuvasta voi ohjelmistolla myös ottaa kuvakaappauksia ja tallettaa ne erillisiksi kuvatiedostoiksi. TV-kortille, kameran muuntajalle ja muille sen käyttöön liittyville tarvikkeille hankittiin alumiinisalkku välineiden siistin järjestyksen ylläpitämiseksi ja kuljetusta helpottamaan (kuva 7).



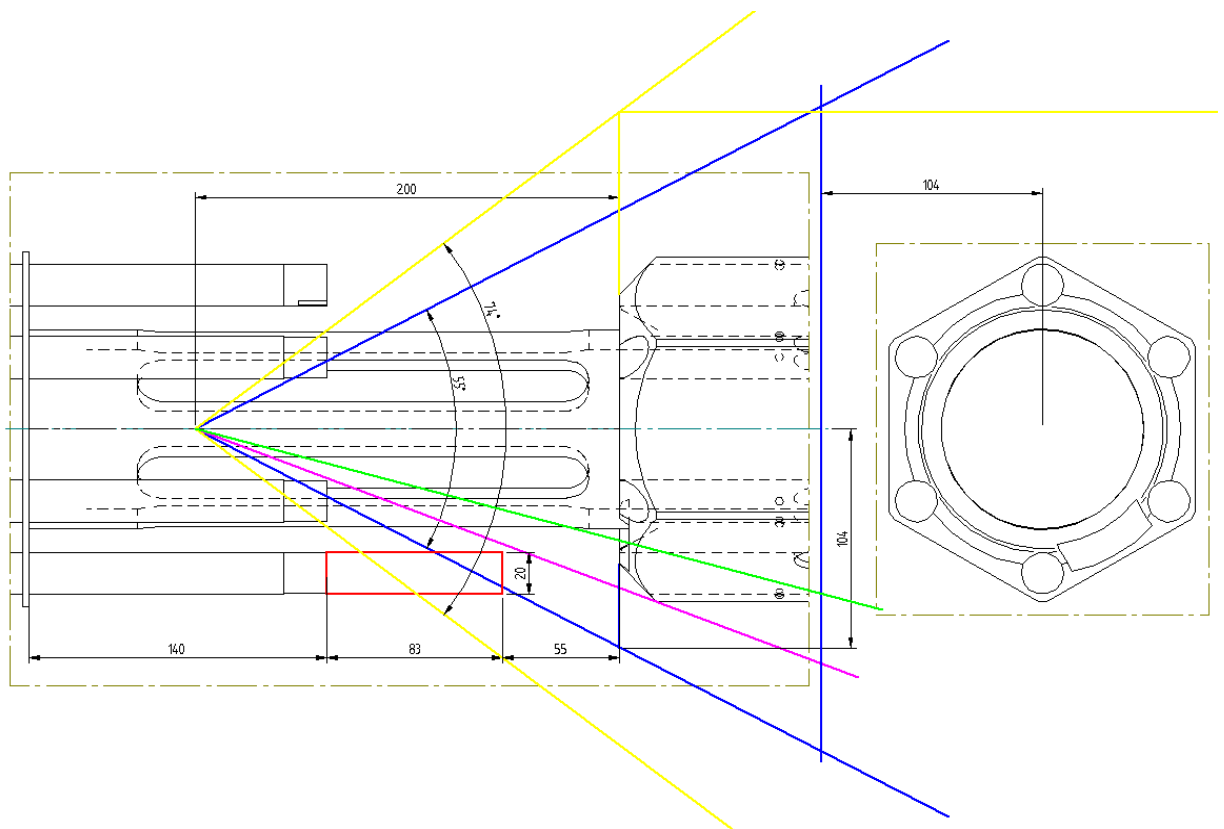
Kuva 7 Kamerajärjestelmä kuljetussalkkuineen käytössä

Jesse Laakso

2.5 Kohdistuskeskiö

Proton (kuva 12) hyväksi havaitun mallin ideaa ei lähdetty muuttamaan varsinaista kohdistuskeskiötä suunnitellessa, mutta monia asioita tultiin jalostamaan ja lisäämään.

Valitun kamerasysteemin takia todettiin, että osien vaihdon seuraamiseksi täytyy kohdistuskeskiöön (liite 1/3) suunnitella reiät, joiden välistä kohdistuskeskiön sisällä oleva kamera välittää kuvaa vaihdosta /6/. Kuvausreikien leveys tehtiin hieman suuremmaksi kuin väleistä näkyvät operointitangot. Pituus laskettiin CAD:in avulla niin, että kameran 3,6 mm vakiolinssikoolla muodostuvat näkökulmat 74 ja 55 astetta otettiin huomioon /8/. Solid Edgen 2D-puolella suoritettussa laskelmassa (kuva 8) keltaiset viivat esittävät kameran näytössä näkyvän kuvan horisontaalia näkökulmaa (74°). Siniset viivat esittävät vertikaalia näkökulmaa (55°), jonka kuvan leveys siirrettiin yläprojektiioon mittaamalla leveys sivuprojektioista ja lisäämällä vastaava viiva yläprojektiioon. Vihreä viiva kuvaa sitä, kuinka kuvausreiän alareuna estää näkemästä tuotteen yläpäässä olevien



Kuva 8 Solid Edge-ohjelman avulla suoritettu kameran kuvakulman mallintaminen

Jesse Laakso

vaihdettavien osien reikiä ja violetti sitä, kuinka hyvin tuotteen yläpää reikineen näkyy ruudulla. Vaihdettava osa piirrettiin operointitangon päähän punaisella viivalla ja samalla määriteltiin, kuinka korkealle operointitankojen tulisi nousta niin, että osat näkyvät, mutta eivät ole kuvassa tiellä. Aluksi kameran linssi mallinnettiin 100 millimetrin päähän tuotteen yläpäästä. Pelkällä mitan muuttamisella saatiin CAD:issa linssi siirtymään ja samalla automaattisesti viivat päivittymään uusiin paikkoihin. Kun linssi oli siirretty 200 millimetrin päähän olivat kuvalta toivotut asiat kohdallaan. Vertikaalissa eli kapeammassa näkökulmassa saatiin näkymään koko tuotteen yläpää, operointitangon päässä kiinni oleva osa oli kuvassa ja yläpään osien reiät näkyivät kokonaan. Jo ennen mitoitusta arvioidut ja mittauskuvassakin käytetyt 190 millimetriä pitkät reiät olisivat riittäneet katseluun sellaisenaan. Koska kameran pituus oli 100 millimetriä ja sen kiinnitys kameran yläpäässä (tässä käyttöasennossa), ajateltiin kohdistuskeskiön katselurei'issä liukuvien kameran jalustan kiinnitysten tulevan huomattavasti korkeammalle kuin 200 millimetrin päähän tuotteen yläpäästä. Koska ei myöskään voitu täysin varmasti tietää, vastaako kameran kuva laskennallista mallia, päätettiin reiät pidentää 350 millimetriä pitkiksi. Näin varmistuttiin myös siitä, että jos linssikokoa olisi tarvetta suurentaa, voitaisiin kamera silti nostaa riittävän etäälle tuotteesta. Urituksen alareuna sijoitettiin lähelle tuotteen yläpäästä, jotta reuna ei estäisi näkemästä yläpäässä olevia osien reikiä.

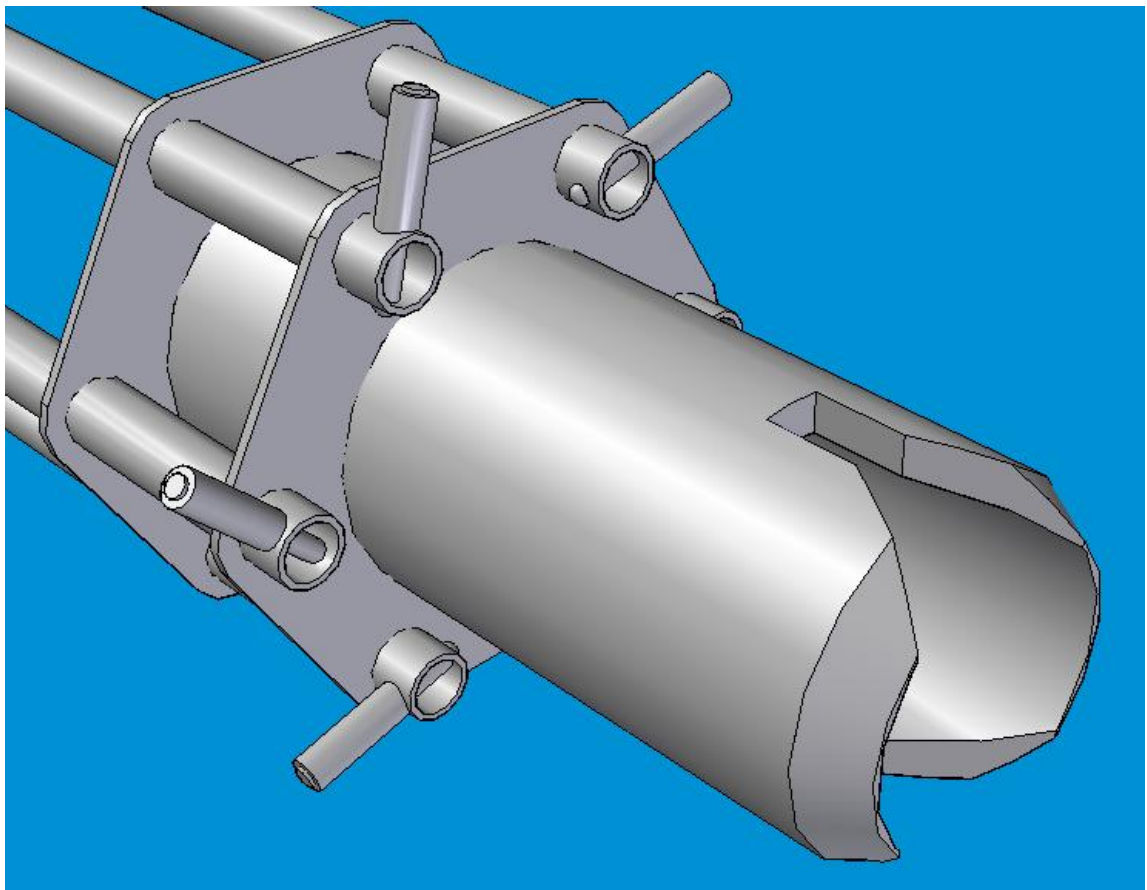
Kun kameran jalustasta kiinnityksineen oli alustavat 3D-mallit luotu, tarkistettiin vastaavalla tavalla myös sen ala-asennon kuva. Tämä tarkoittaa, että täysin ala-asentoonsa laskettuna kamera näyttäisi kohdistuskeskiön kärjen reiästä riittävän hyvin tuotteen, kun työkalua kiinnitetään siihen.

Kun reikien pituus oli tiedossa, korjattiin kohdistuskeskiön pituus rei'ille sopivaksi. Koska rei'itykset vähensivät melkoisesti materiaalia kohdistuskeskiöstä 350 millimetrin matkalta, muutettiin sen seinämävahvuudeksi 10 mm. Tankojen tukilevyn uudeksi paikaksi tuli kohdistuskeskiön yläpää. Samalla tukilevystä tehtiin laippa runkoon kiinnittämistä varten.

Jesse Laakso

2.6 Operointitangot

Operointitankojen suunnittelussa tuli ottaa huomioon, että työkalun käyttö olisi mahdollisimman helppoa, suhteellisen nopeaa ja vaihdettavien osien putoaminen vahingossa olisi erittäin epätodennäköistä. Tankojen toiminnan kannalta erittäin oleellinen seikka on myös se, että osien jouset kuoleentuvat tai voivat katketa vuosien saatossa. Niinpä osien tapit, joihin työkalulla tartutaan, voivat olla joustomatkansa millä tahansa korkeudella. Tankojen suunnittelu lähti liikkeelle siitä, miten osista voitaisiin ottaa kiinni ja vielä niin, että voitaisiin olla varmoja otteen pitävyydestä. Aluksi kaavailtiin putkea, jonka alapäässä olisi vaijerilla siirrettävä lukitustappi, joka menisi osan tapissa olevan reiän lävitse (kuva 9). Tämä kuitenkin hylättiin, koska putki olisi ollut tunnoton sille, millä korkeudella tappi sijaitsisi. Vaijerin välityksellä tapahtuvaan lukitustapin työntöliikkeen onnistumiseen ei myöskään luotettu. Muita ajateltuja keinoja olivat muun muassa edellä esitetyn lukitustapin korvaaminen indeksinupeilla, putken pyörittäminen tappiin kiinni kierteen avulla ja imuilman hyväksikäyttäminen tapin



Kuva 9 Esitys työkalusta, jossa tappien lukitus vaijerien (puuttuvat kuvasta) avulla

Jesse Laakso

nostamiseksi yläasentoonsa. Kaikki nämä ideat kuitenkin hylättiin, koska ne eivät antaneet riittävää varmuutta ja selkeää indikaatiota lukituksen onnistumisesta käyttäjälle tai olisivat olleet liian monimutkaisia ja/tai kalliita toteuttaa.

Ehdotetuista vaihtoehtoista vain tapin päästä L-muotoisella koukulla tapahtuva tarttuminen mahdollisti sen, että mahdollisesta osan jousen täysin kuoleentumisesta tai katkeamisesta johtuen syvällä tuotteen yläpintaan nähden olevaan tappiin päästiin tarttumaan. Koukulla ei kuitenkaan voitu välittää osan irrottamiseen tarvittavaa pyörittämisliikettä, koska koukku voisi vääntyä. Osaa ei myöskään olisi saatu kiinnitettyä pelkällä koukulla työkaluun niin, että sen kiinni pysyminen olisi ollut varmaa. Jotta sekä tarttuminen että pyöritys olisi mahdollista, päätettiin vaihtotyökalun operointitanko toteuttaa niin, että se muodostuisi kahdesta sisäkkäisestä tangosta. Koukku olisi sisemmän tangon (liite 1/4) päässä, ja ulommassa operointitangossa (liite 1/4) oleva kiila välittäisi väännön tapin reunassa kulkevan urituksen kautta. Kun lupa näiden muutosten tekemiseksi osan tappiin saatiin, tämä vaihtoehto valittiin työkalussa käytettäväksi.

Koska osien kiinnitystapa oli jo valmiiksi ratkaistu, täytyi tämän ratkaisun ympärille alkaa rakentaa työkalun operointivarsille liikeratoja, jotka ottaisivat huomioon kaikki niille asetetut ehdot.

Vaihtotapahtumassa tarvittavien sisä- ja ulkoputkien liikkeiden ymmärtämisen helpottamiseksi laadittiin lista (taulukko 1), joka loi jatkoa ajatellen hyvän pohjan suunnittelulle.

Jesse Laakso

Taulukko 1 Putkien liikkeiden määrittelyä

Vaihe	Sisäputki	Ulkoputki
1	↓ 50mm	
2	± 5°	
3	↓ 20mm	
4	↓ 11mm	Ei liikettä
5	↓ 23mm	Ei liikettä
6	↻ 90°	Ei liikettä
7	↑ 23mm	Ei liikettä
8	↑ 10mm	
9	↻ 90°	
10	↑ 15mm	

Vaiheessa 1 sisä- ja ulkoputki kulkevat yhdessä alas vapaan matkan 50 mm. Vaiheessa 2 on putkien kohdatessa tapin yläpään on noin ± 5° mahdollisuus kohdistaa ulkoputken kiila ja tapin uritus. Kiilan ja uran kohdatessa lasketaan ulkoputken reuna osan holkin reunan päälle (vaihe 3). Vaiheen 4 11 mm:n matka on tapin päässä olevan urituksen pituus, jonka verran sisäputkea on minimissään laskettava sen päässä olevan koukun laskemiseksi uraan. Koska jousi saattaa olla kuoleentunut, päätettiin, että sisäputken lukitseminen toteutettaisiin niin, että tapin joustomatka painettaisiin pohjaan (23 mm) ja koukku käännettäisiin lukitusasentoon vasta tappi pohjassa (vaiheet 5 ja 6). Jotta pohjassa oleva tapin jousi ei ponnauttaisi osaa ulkoputkesta irti, sen jousto palautetaan vaiheessa 7 takaisin ylös. Kun osa on näin sisäputken avulla lukittu, tarvitsee sitä sen irrottamiseksi vielä nostaa 10 mm, kääntää vastapäivään 90 astetta ja nostaa 15 mm (vaiheet 8-10).

Tämän pohjalta alettiin suunnitella eri vaihtoehtoja, kuinka määritellyt liikeradat voitaisiin toteuttaa niin, että käytölle asetetut vaatimukset saataisiin toteutettua. Koska kyseessä oli suoraviivaisten liikeratojen luominen, päädyttiin siihen, että ne määritellään urituksien avulla. Koska ulko- ja sisäputki olivat molemmat ohutseinämäistä putkea, ei niihin voitu vaadittavan kaltaisia urituksia tehdä. Ainoaksi toimivaksi ideaksi todettiin ratkaisu, jossa ulkoputken liikkeiden rajoittaminen oli tehty rungon yläpään kiinnitettyllä ulkopuolisella uritetulla putkella (liite 1/9) ja sisäputken yläpään

Jesse Laakso

kiinnitettyllä tangolla (liite 1/7), johon uritus oli koneistettu. Sisäputken urituksena ajateltiin aluksi myös ulkoputken urituksen yläpuolelle asetettavaa ulkoista uritusta. Koska käyttö kuitenkin vaati ympyrän muotoisen urituksen toteuttamisen, keksittiin käyttää tankoa, johon se saataisiin koneistettua.

Koska oltiin varmoja siitä, että koneistus- ja valmistustarkkuudet eivät olisi riittävän hyviä varmasti toimivien operointivarsien rakentamiseksi, päätettiin, että ulkoputken uritus olisi säädettävissä. Koska sisäputken uritusta ei voitu tehdä säädettäväksi, todettiin, että sen alapään koukku tulisi mittauksen avulla kiinnittää viimeisenä tankojen valmistusvaiheena oikeaan asentoon ja korkeusasemaan.

2.6.1 Ulkoputki

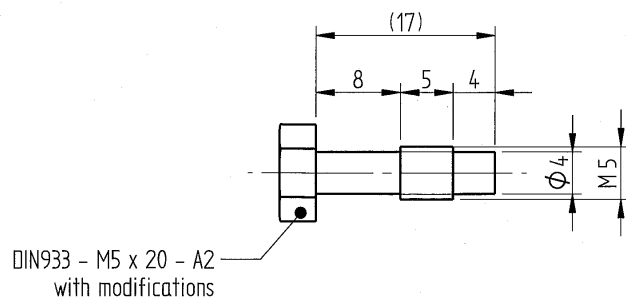
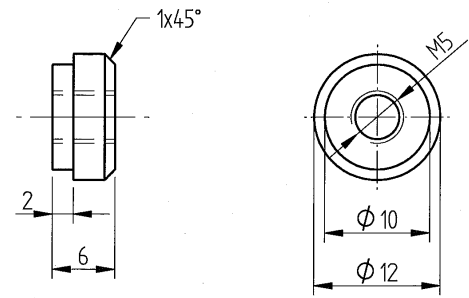
Ulkoputken ulkohalkaisijaksi valittiin sama kuin tuotteen vaihdettavien osien reikien halkaisija. Alapäähän lisättiin kiila pyörimisliikkeen välittämiseksi.

Aluksi ajateltiin, että ulkoputkelle suunnitellun käyttökahvan varren kärki liikkuisi sisäputken urituksessa ja sen varsi ulkoputkea varten tehdyssä urituksessa.

Kuusikulmaisten välilevyjen kulmissa olevien ulkoputken urituksien haluttiin osoittavan kulmasta ulospäin, jotta käyttökahva pystyisi kääntymään vaadittavan määrän. Kuitenkin todettiin, että käyttäjistä katsoen työkalun toisella puolella olevat kahvat olisivat olleet hankalia käyttää. Siksi päätettiin, että käyttökahvat tulaisiin laittamaan ulkoputken yläpäähän. Huomattiin myös, että liian pitkät, eri vaiheissa olevat käyttökahvat olisivat toistensa tiellä. Tästä syystä päädyttiin lyhyisiin nappipäisiin kahvoihin. Kiinnittämisen helpottamiseksi nämä liitettiin holkkeihin, jotka sitten hitsattiin putkiin kiinni. Niitä vaihdon vaiheita varten, joissa sisä- ja ulkoputken tuli liikkua yhdessä, päätettiin toisiinsa kytkeminen toteuttaa yksinkertaisesti sokan avulla. Sokkia varten ulkoputken päähän porattiin reiät.

Jesse Laakso

Koska käyttökahvoja ei sijoitettu urissa liikkuviksi, ne korvattiin ruuveilla, joiden kanta kulkisi ulkoputken urituksissa. Saman ruuvin kärki kulkisi sisäputken urituksissa. Ruuvin kiinnittämiseksi putkeen tehtiin reikä, johon kiinnitettiin pyöreä kiinnitysalka, ja jonka keskelle koneistettiin ruuville kierrereikä (kuva 10).



Kuva 10 Ohjausurituksessa liikkuva ruuvi ja sen kiinnitysalka

2.6.2 Sisäputki

Sisäputki suunniteltiin koostuvaksi kolmesta osasta, yläpäähän tangosta jossa uritus, putkesta sekä sen alapäähän kiinnitettävästä koukusta.

Tankoon tehty uritus tehtiin riittävän syväksi, jotta siinä kulkeva ruuvin pää varmasti pysyisi urituksessa huolimatta sisäputken väljyydestä ulkoputkeen nähden. Syvyyttä rajoitti kuitenkin se, ettei ympyräosion keskellä oleva pala leikkautuisi koneistettaessa irti. Tangon yläpäähän lisättiin kierrereikä sen käyttökahvaa varten. Molempia asentoja varten, joissa sisäputken tulee kulkea ulkoputken kanssa yhteinäisesti, tehtiin tankoon reiät sokkien läpimenoa varten.

Alapäähän koukku taivutettiin langasta ja sen kiinnitysosa tehtiin riittävän pitkä, jotta mahdollisista koneistus- ja valmistusepäätarkkuuksista johtuvat tankojen pituusvaihtelut saataisiin korjattua kokoonpanossa. Pituudella myös varmistettiin se, että koukku tulisi riittävän tarkasti samansuuntaiseksi putken kanssa.

Jesse Laakso

2.7 Runko

Rungon (liite 1/2) tehtävänä työkalussa on toimia kiinnityksenä sen ympärillä liikkuville kuudelle operointivarrelle, olla yläpäässä ulommaisten tankojen liikkeitä rajoittavien uritettujen putkien kiinnityksenä sekä antaa työkalulle riittävä pituus yksinkertaisella ja kevyellä rakenteella. Runko ajateltiin aluksi tehdä vesitiiviksi ja näin osaksi kellutusta, mutta sen kellutuskyvyn huomattiin olevan erittäin huono. Tästä syystä kameran johto ja sen nosto- ja laskumekanismi päätettiin sijoittaa kulkemaan rungon sisälle aikaisemmin ajatellun ulkopuolisen toteutuksen sijaan. Rungoksi valittiin halkaisijaltaan 76,1 mm:n vakiokoon putkea 1,5 mm seinämällä.

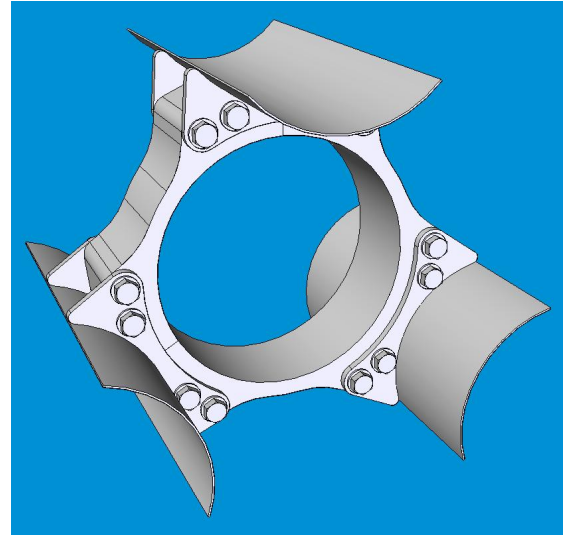
Yläpään suunniteltiin kaksi levyä, joiden tarkoituksena on toimia ulkoputken urituksen kiinnityksinä. Ylempään levyyn tehtiin vain reiät uritettuja putkia varten sekä M4 kierrereiät lukitusruuveja varten. Alemmassa levyssä on Ø21 ohjainreiät operointivarsia varten sekä pitkä upotus uritetuille putkille, jotta niiden säätäminen mahdollisten mittaheittojen johdosta olisi mahdollista.

2.8 Kellutus

Kun työkalun 3D-malli alkoi olla hahmoteltuna, Solid Edgestä sen massa tarkistamalla todettiin, ettei toivottua kevyttä rakennetta ollut valitulla materiaalilla mahdollista toteuttaa. Oli selvää, että työkalu vaatisi jonkinlaisen kellutuksen, koska käyttökohteessa ei tulisi olemaan nosturia tms. käytettävissä. Nosturin puuttuessa johtuen kellutuksen tulisi myös auttaa työkalua tuotteeseen kiinni ja siitä irti nostettaessa. Tästä syystä pelkästään pinnan läheisyydessä olevia kellukkeita ei voitu ajatella. Ongelma päätettiin ratkaista syvyysuunnassa pitkällä kellukkeilla, jotka antaisivat mahdollisimman paljon apua työkalua käsin laskettaessa ja nostettaessa. Kellutusvaihtoehtoja etsittäessä todettiin, ettei valmista ratkaisua löydy. Lisäksi koska muovihitsauksella tehdyt olisivat maksaneet liian paljon, päätettiin kelluke toteuttaa PVC-putkesta, jonka päihin liimattaisiin PVC-päätyhatut (liite 1/14).

Jesse Laakso

Työkalun on mahdollista tuotteiden vaihtoastian keskellä halkaisijaltaan 212 mm olevan nostotangon välittömään läheisyyteen. Kellukkeet täytyi suunnitella työkalun ympärillä vapaasti pyöriviksi, koska tuotteiden asento vaihtoastiaan nähden ei ole mitenkään määritetty ja koska työkalun voi laskea tuotteeseen kiinni vain kahdessa eri asennossa. Kiinnitys toteutettiin PE-1000-muovista valmistetuilla renkailla, joihin pulttiliitoksella liitettiin teräksiset kellukkeiden tukipalat (kuva 11). Kellukkeiden kiinnittäminen tukipaloihin (liite 1/11) toteutettiin kellukkeen halkaisijalle tarkoitetuilla putkikiristimillä. PE-1000-muovi valittiin sen pienen kitkakertoimen ja koneistettavuuden vuoksi.



Kuva 11 Työkalun rungon ympärillä vapaasti pyörivä kellukkeiden kiinnitys

Tukipintana, jota vasten kellukkeiden kiinnitys pyörii, toimivat operointitankojen keskimmäiset tukilevyt (liite 1/2). Myöhäisessä vaiheessa tapahtuneesta suunnittelusta johtuen kiinnitykset toteutettiin kahdesta muoviosasta koottavaksi, koska niiden sijoittaminen työkalun ympärille ei muuten olisi onnistunut.

2.9 Proto

Kun toimintaperiaate oli valittu, lähdettiin idean toimivuutta kokeilemaan valmistamalla proto. Työn kiireellisyyden takia kunnollisia piirustuksia protosta ei tehty, vaan valmistus tehtiin luonnosten ja paikan päällä tapahtuneen ohjeistuksen avulla. Proto koostui lyhyestä rungosta ja yhdestä operointitangosta, joka koostui kahdesta sisäkkäisestä putkesta ilman minkäänlaisia käyttökahvoja tai ohjainurituksia (kuva 12). Jotta alustava testaus olisi mahdollisimman hyvin todellisuutta kuvastava, valmistettiin tuotteen yläpäästä hieman yksinkertaistettu versio sen piirustuksia apuna käyttäen (kuva 13).

Jesse Laakso

Proton avulla todettiin, että valittu toimintamalli oli toimiva. Samalla huomattiin, että alimmainen tuotteen yläpäästä vasten tuleva, pystysuuntaisen aseman määrittelevä tukilevy ei ollut tarpeellinen.

Pystysuuntaisen aseman, kuten myös pyöritysaseman (pituusakselin ympäri), todettiin olevan hoidettavissa työkalun kärjen kahdella uralla. Urat ottaisivat ohjauksen tuotteen yläpään nostotapeista. Myös toiseksi alimman tukilevyn huomattiin olevan liian alhaalla. Kun operointitanko nosti osan pois kolostaan, nousi tanko sen verran korkealle, että se poistui tukilevyn reiästä.

Ulkoputkesta huomattiin, että sen alapäähän täytyi tehdä pieni kevennys paremman yläpäätykappaleeseen istumisen saavuttamiseksi. Työkalun kohdistuskeskiön ulkoreunan viistettä päätettiin huomattavasti suurentaa päädyn sisälle laskemista helpottamaan ja kahden uran suun viisteitä myös kasvatettiin auttamaan pyörimissuuntaisen aseman löytymistä. Samalla voitiin myös hyvin todeta, että jonkinlaiset ohjaukset käyttäjän toimintaa helpottamaan olisivat käytön kannalta tarpeelliset.

Tästä eteenpäin katsottiin parhaaksi jatkaa niin, että suunniteltaisiin täysimittainen proto, jonka valmistus aloitettaisiin eri suunnittelun osien valmistuessa. Näin syntyvän proton osia oli sitten tarkoitus käyttää mahdollisimman paljon lopullisessa työkalussa. Käytännössä työ eteni kuitenkin niin, että samaan aikaan kun työkalua suunniteltiin, valmistettiin valmiiksi saatujen piirustusten osalta komponentteja ja saatiin hyvää palautetta valmistuksen puolelta. Täysimittaista protoa ei myöskään koskaan valmistunut, vaan näin aloitettu projekti muodostui valmiin työkalun suunnitteluksi ja valmistukseksi. Monet vaiheista toteutettiinkin niin, että ei välttämättä ollut olemassa mitään piirustuksia, vaan asioita ideoitettiin valmistuksen



Kuva 12 Proto kiinnitettynä testikappaleeseen

Jesse Laakso

yhteydessä. Tämän tyylinen valmistustapa oli erittäin opettavaista, mutta samalla kallista ja aikaa vievää.



Kuva 13 Tuotteen yläpäästä mukaileva testikappale, jossa osat asennettuna. Keskireiässä näkyy toinen nostotapeista.

3 VALMISTUS JA KOEKÄYTTÖ

Valmistuksen yhteydessä päästiin myös kokeilemaan eri osien toimintaa, ja muutamia suunnitelmia korjattiin valmistajan avustuksella. Näistä selkeimmät olivat yläpäässä yläpään liikkeidenrajoitin urituksessa kulkeneen käyttöön sopivaksi koneistetun ruuvin ja sen istukan korvaaminen työkalun piirustuksissa esitetyllä ratkaisulla (liite 1), joka vaati myös urituksen leventämistä kauttaaltaan. Tämä muutos hitsauksien aukaisuineen ja uudelleen hitsaamisineen aiheutti operointivarsien ulkoputkissa niin paljon muodonmuutoksia, että sisemmät putket eivät enää liikkuneet kunnolla niiden sisällä.

Jesse Laakso

Tämän ongelman korjaaminen aiheutti huomattavaa lisätyötä valmistuksessa. Sisemmän operointitangon alapäässä olevan koukun katsottiin myös olevan liian ohut kestämään siihen kohdistuvat voimat, ja tästä syystä se korvattiin paksummalla. Uusi koukku oli kuitenkin vain sen verran paksumpi, että itse osaan ei tarvinnut tehdä muutoksia.

Kun työkalu saavutti vaiheen, jossa se oli operoitavissa, se nostettiin pystyyn ja suoritettiin ensimmäinen koekäyttö. Tulokset olivat erittäin lupaavia, ja työkalu toimi kuten piti. Säädetävää ja korjattavaa kuitenkin riitti. Operointitangot, joita valmistuksen yhteydessä oli käytetty vain vaakatasossa, osoittautuivat raskaiksi käytettäväksi pystyasentoon nostettuna. Tämän korjaamiseksi Excel taulukkolaskentaohjelmaan ohjelmoitiin yksinkertainen jousilaskuri (taulukko 2). Jousen kierrehalkaisija tehtiin hieman suuremmaksi kuin operointivarren ulkoputken halkaisija vaati. Jousivoima määriteltiin niin, että yhden operointiputken paino tarkistettiin CADin avulla. Tämän jälkeen arvioitiin 30-45 Newtonin jousivoima riittäväksi. Loput vaadittavat arvot säädettiin niin, että saatiin sopivan pituinen, mutta vain pienen joustomatkalla esiintyvän jousivoiman muutoksen omaava jousi. Jousien alapään vastinlevyksi valittiin rungon alin tukilaippa ja niiden yläpään kiinnityksestä tehtiin liikuteltava, jotta jousten pituus oli säädettävissä.

Jesse Laakso

Taulukko 2. Jousilaskuri

Jousilaskuri		
Puristuskierrejousi		
Kierrehalkaisija D_m (mm)	24,8	
Ulkohalkaisija D_o (mm)	26,6	
Sisähalkaisija D_i (mm)	23,0	
Jousivoima F_1 (N)	30	
Jousivoima F_2 (N)	45	
Avautumismatka välillä F_1 - F_2 l (mm)	170,0	
Langan halkaisija d (mm)	1,8	
*alustava	1,8	
Reunajännityksen korjauskerroin k_G	1,09	sivu 209 /1/
Liukukerroin G (MPa)	71600	sivu 197 /1/
Murtolujuus R_m (MPa)	1700	sivu 199 /1/
Sallittu leikkausjännitys τ_{sall} (MPa)	850	sivu 200 /1/
Toimivien kierrosten lukumäärä n_f	70	
*alustava	69,8	
Kierrosten kokonaismäärä n_t	71,5	sivu 210 /1/
Vähimmäisvälitys kerroin x	0,4	sivu 211 /1/
Yhteen puristetun jousen pituus L_{B1} (mm)	128,7	
Jousen vapaa pituus L_0 (mm)	690,5	
Leikkausjännitys τ_t (MPa)	531,1	OK
Yhden jousikierroksen puristuma voimalla F_1 s_y (mm)	4,9	
Yhden jousikierroksen puristuma voimalla F_2 s_y (mm)	7,3	
Joustopatka s (mm)	511,4	
Jousivakio k (N/mm)	0,088	
Vähimmäisvälitys S_a (mm)	50,4	
Jousen pituus täydellä kuomalla L_2 (mm)	179,1	

Sisempien operointitankojen käyttöväntimet halkesivat monesta eri tangosta, joten ne päätettiin korvata tukevampaa tekoa olevilla kuulanupeilla. Kuulanupitkaan eivät olleet täysin kestäviä, vaan niiden päissä olevat muovilaput eivät jossain nupeissa pysyneet kiinni. Ne päätettiin ottaa kaikista pois, ja alta paljastuneen reiän reunat hiottiin pyöreiksi.

Vaikka operointitangot ja niiden käyttökahvat oli suunniteltu niin, etteivät ne ottaisi toisiinsa kiinni käytön yhteydessä, putkien pienistä käyryyksistä ym. valmistuksen epätarkkuuksista johtuen näin ei kuitenkaan ollut. Ulompien operointitankojen käyttökahvojen rungosta jouduttiin koneistamaan kahvan vastakkaiselta puolelta materiaalia pois, jotta tilaa olisi enemmän. Tässä vaiheessa tuli myös selväksi, että työkalun käyttö tuli ohjeistaa niin, että jokaista operointitankoa käytettäisiin vain yhden

Jesse Laakso

vaiheen verran kiertävässä järjestyksessä. Eli ei niin, että yhdellä operointitangolla tehtäisiin kaikki vaiheet ja sitten vasta siirryttäisiin käyttämään seuraavaa tankoa. Tämä siksi, että täysin eri vaiheissa olevien tankojen todettiin olevan toistensa tiellä.

Korjaaminen työkalua muuttamalla olisi ollut liian kallista ja aikaavievää.

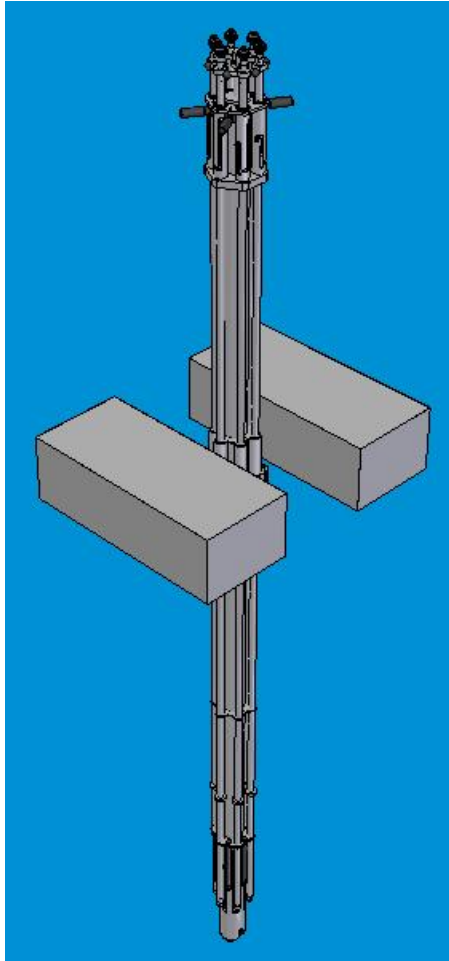
Kellukkeita kokoonpantaessa huomattiin, että niiden päätyhatut olivat niin tiiviitä, ettei toista päätä pystytty asentamaan ilman siihen lisättävää ilmareikää. Tämä toteutettiin koneistamalla päätyhatun päähän M5-kierreikä, joka päätyhatun liimauksen jälkeen tulpattiin pultilla ja EPDM-tiivisteisellä aluslaatalla.

Kun työkalu oli saatu täysin toimintakuntoiseksi, päätettiin sitä koekäyttää todellista käyttöä vastaavassa ympäristössä. Sopivaksi paikaksi keksittiin Tampereen uintikeskus Kalevassa, jonka kaksi metriä syväksi oletettu altaan keskikohta näytti sopivalta kokeeseen. Tässä vaiheessa työkalulle suunniteltiin ja tilattiin myös kuljetuslaatikko, jonka oli tarkoitus toimia myös kuljetuksessa asiakkaalle. Hyvänä asiana kokeesta voitiin todeta, että valittu kamerajärjestelmä toimi toivotulla tavalla. Muuten tulokset olivat melkoinen pettymys. Koko projektin suurin virhe paljastui, kun todettiin, että työkalu ei vapaasti kelluessaan pysynyt riittävän vakaasti pystyasennossa. Suunnittelun aikana oli virheellisesti totuttauduttu siihen ajatukseen, että koska työkalun pituudesta noin 60 prosenttia on veden alla ja aivan työkalun alapäässä kohdistuskeskiö vielä tuomassa alapäähän lisäpainoa, se olisi riittävä pitämään kelluvan työkalun pystyasennossa. Jo pelkästään käytettävän CAD-ohjelman, Solid Edgen, avulla leikkaamalla työkalun 3D-malli vedenpinnan ylä- ja alapuolisiksi kappaleiksi saatiin helposti selville työkalun painon jakautuvan todellisuudessa niin, että vain noin 52 prosenttia työkalun painosta oli vedenpinnan alapuolella. Ja koska kellukkeet kaiken lisäksi ulottuivat noin 1,4 metrin syvyyteen, oli päivän selvää, ettei vakaa kelluminen voinut olla mahdollista. Altaan todellinen syvyys myös osoittautui hieman oletettua matalammaksi ja mitattu noin 1,8 metrin syvyys olisi myös estänyt koekäytön.

Ongelman ratkaisemiseksi mietittiin ensiksi mahdollisuutta keventää työkalua yläpäästään. Koska se olisi työmäärältään ollut liian suuritöinen urakka, ajatuksesta luovuttiin. Mietittiin myös lähellä vedenpintaa olevien kellukelautojen käyttämistä, joita olisi ollut saatavissa valmiina alumiinista valmistettuina säiliöinä. CADin avulla

Jesse Laakso

tapahtuneen laskennan avulla huomattiin, että niiden vaatima pinta-ala tulisi olemaan liian suuri, huolimatta siitä kuinka ne työkalun ympärille mitoittiin.



Kuva 14 Alumiinista valmistetut kellukkeet

Oli selvää, että niin paljon tilaa työkalun ympäriltä vievät kellukkeet (kuva 14) tulisivat haittaamaan käyttöä. Koska työkalun oli päästävä vaihtoastian nostotangon välittömään läheisyyteen, ei alkuperäisiä kellukkeita voitu korvata suurempi halkaisijaisilla. Parhaaksi ratkaisuksi nähtiin lisäpainojen lisääminen työkalun alapäähän, alkuperäisten kellukkeiden lyhentäminen ja niiden rinnalle hieman suurempihalkaisijaisten ja uutta pituutta vastaavien lisäkellukkeiden lisääminen. Lisäkellukkeiden liittämiseksi alkuperäisiin kellukkeisiin suunniteltiin välipalat (liite 1/13). Välipalat ja niihin liitettävät lisäkellukkeet kiinnitettiin pannoilla kuten alkuperäiset kellukkeetkin. Näin saatiin työkalun alapäähän toivottua painoa ja kellutusta lähemmäksi pintaa, kuitenkin niin, ettei se liiaksi haittaa työkalun käyttöä. Lisäpaino (liite 1/16) toteutettiin usealla eri painolla, jotka kiinnitettiin kohdistuskeskiön ympärille. Useampaan eri osaan jakamisen taustalla oli paitsi materiaalin saatavuus, myös ajatus mahdollisesta koekäytön aikana tapahtuvasta painojen määrän optimoinnista. Toiveena oli, että päästäisiin lisäpainoissa lähelle rajaa, jossa työkalu muuttuisi jälleen epästabiiliksi.

Painojen vähentämisestä johtuvaa työkalun ylöspäin nousemista olisi ollut mahdollista kompensoida kellukkeiden kiinnityskohtaa siirtämällä. Kellutuksen stabiilisuutta mietittäessä todettiin, että koska kellukkeet eivät ulotu kovinkaan etäälle työkalun keskilinjasta, pidettiin työkalun kallistuessa tapahtuvaa tasapainon säilymiseen vaikuttavaa nostekeskiön siirtymistä hyvin pienenä. Siksi ainoa tapa varmistua kellutuksen vakaudesta oli varmistaa se, että painopiste tulisi sijaitsemaan nostekeskiön

Jesse Laakso

alapuolella /10/. Tähän valintaan vaikutti myös se, ettei voitu täysin olla varmoja Solid Edgen mallin ja todellisuuden massojen, tilavuuksien ja muiden tekijöiden eroista. Lisäpainot tietenkin tarvitsevat vastaavasti lisää kellutuskykyä, ja Solid Edgessä hahmoteltiin ja tarkasteltiin erilaisia yhdistelmiä. Tarkasteluiden apuna käytettiin laskentaa, josta tässä esitettynä käytetty laskukaava ja viimeinen laskenta, jonka avulla päästiin haluttuun lopputulokseen.

$$N = G \Rightarrow \rho V g = m g \Rightarrow \rho V = m \quad /7/$$

$$(v_1 + 3 \cdot v_{22} + 6 \cdot v_{32} + x) \cdot \rho = m_1 + 3 \cdot (m_{21} + 2 \cdot m_{22}) + 6 \cdot (m_{31} + 2 \cdot m_{32}) + x \cdot \left(\frac{3 \cdot m_{21} + 6 \cdot m_{31}}{3 \cdot v_{21} + 6 \cdot v_{31}} \right)$$

jossa

v_1 on työkalun, poislukien kellukkeet ja päätyhatut, syrjäyttämän veden tilavuus

v_{21} on yhden Ø140 kellukkeen vedenpinnan yläpuolisen osuuden tilavuus

v_{31} on yhden Ø160 kellukkeen vedenpinnan yläpuolisen osuuden tilavuus

v_{22} on yhden Ø140 kellukkeen päätyhatun tilavuus

v_{32} on yhden Ø160 kellukkeen päätyhatun tilavuus

m_1 on työkalun, poislukien kellukkeet ja päätyhatut, massa

m_{21} on yhden Ø140 kellukkeen vedenpinnan yläpuolisen osuuden massa

m_{31} on yhden Ø160 kellukkeen vedenpinnan yläpuolisen osuuden massa

m_{22} on yhden Ø140 kellukkeen päätyhatun massa

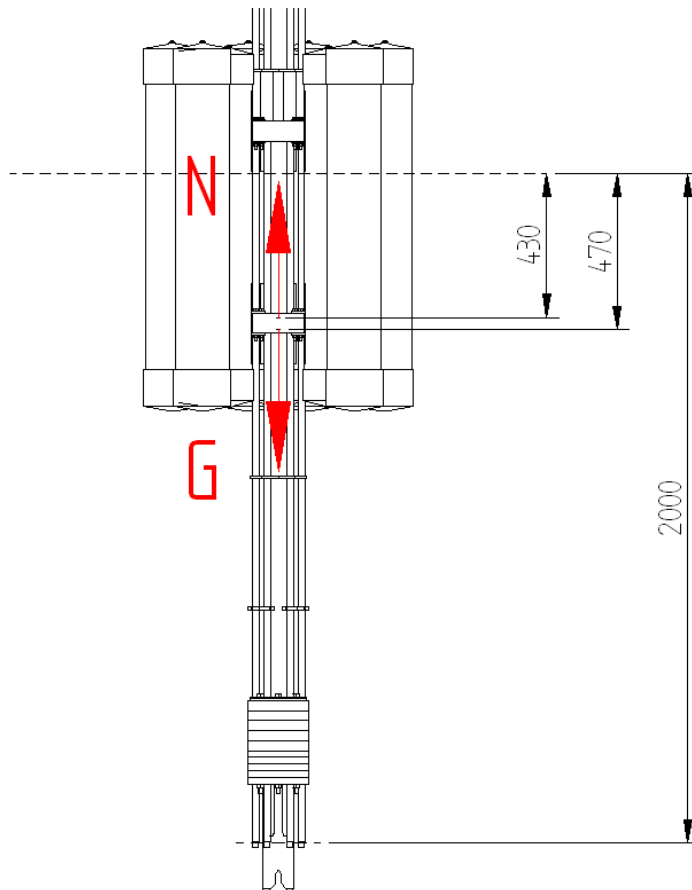
m_{32} on yhden Ø160 kellukkeen päätyhatun massa

$$\begin{aligned} & (9315 \text{cm}^3 + 3 \cdot 450,3 \text{cm}^3 + 6 \cdot 590,1 \text{cm}^3 + x) \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 110,25 \text{kg} + 3 \cdot (0,39 \text{kg} + 2 \cdot 0,63 \text{kg}) \\ & + 6 \cdot (0,79 \text{kg} + 2 \cdot 0,83 \text{kg}) + x \cdot \left(\frac{3 \cdot 0,39 \text{kg} + 6 \cdot 0,79 \text{kg}}{3 \cdot 5419,7 \text{cm}^3 + 6 \cdot 7384,9 \text{cm}^3} \right) \end{aligned}$$

$$x = 0,128 \text{m}^3$$

Jesse Laakso

Kellukkeiden vedenpinnan alapuolinen tilavuus kasvatettiin tulosta vastaavaksi $\text{Ø}140$ ja $\text{Ø}160$ kellukkeiden pituutta lisäämällä, pitäen kaikki kellukkeet saman pituisina. Tämän jälkeen tarkastettiin Solid Edgen avulla, että painopiste sijaitsee varmasti nostepisteen alapuolella (kuva 15).



Kuva 15 Solid Edgessä tehty tarkastelu nostepisteen ja painopisteen sijainnista

Lisäkellukkeet päätettiin sijoittaa mahdollisimman lähelle alkuperäisiä kellukkeita. Tästä syystä sisä- ja ulkokellukkeiden päätyhattujen halkaisijaa pienennettiin niin, että päätyhattujen seinämänpaksuus oheni puoleen. Ulkokellukkeiden kiinnittämiseksi sisäkellukkeisiin suunniteltiin tukipalat, jotka kiinnitettäisiin kellukkeisiin putkikiristimillä.

Kun muutokset oli tehty, tuli jälleen pohdittavaksi, mistä löytyisi riittävän syvä paikka työkalun testaamiseen. Koekäytön tuli olla tehtävissä mielellään niin, että testipään (kuva

Jesse Laakso

13) syvyyssasemaa saataisiin tarvittaessa säätää. Kalevan uimahallilla käytiin kuitenkin vielä tutustumassa ja paikkoja mittailemassa, jos sopiva koekäyttökohta olisi sieltä löydettävissä. Oli selvää, että altaan pohjalle ei voitu testipäätä asentaa. Siksi jonkinlaisen telineen käyttö tulisi olemaan välttämätöntä. Sopivia paikkoja telineelle altaalta löytyi kaksi kappaletta. Altaan syvemmän pään reunalla sijaitsevat metallirappuset olivat mahdollinen kiinnityspaikka, ja toisena aikaisemmasta kerrasta poiketen altaan puoliksi jakava taso oli nostettu pohjasta ylös. Uimahallin henkilökunnalta tiedustelemalla selvisi, että se olisi ylhäälle nostettuna vielä suunniteltuna koekäyttöajankohtana. Molemmista kohdista tehtiin mittaukset, ja niiden pohjalta paremman työskentelytilan ja telineen kiinnitettävyyden johdosta valittiin altaan halkova taso kiinnityskohdaksi.

Kalevassa suoritettu toinen testi sujui huomattavasti paremmin, ja kelluminen oli vakaata ja erittäin lähellä laskettua korkeutta. Syväälle ulottuvat kellukkeet antoivat melko hyvin apua työkalun tuotteen pään yläpuolelle vientiin ja sen sisältä pois nostamiseen. Apu ei kuitenkaan ollut riittävä siihen, että työkalun nostamista voitaisiin ajatella tehtävän

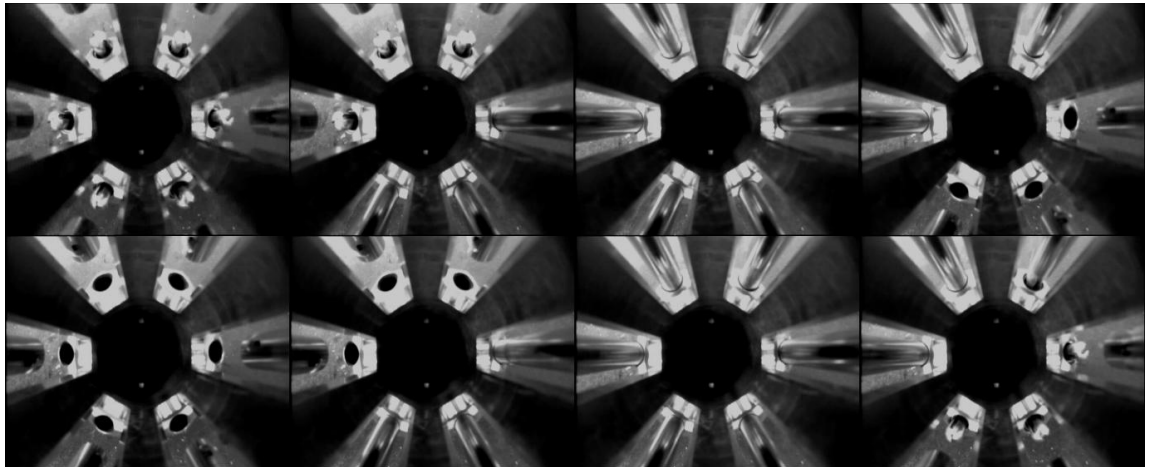


Kuva 16 Testausta Tampereen
Uintikeskuksessa hankaloitti työkalun
etäisyys altaan reunasta

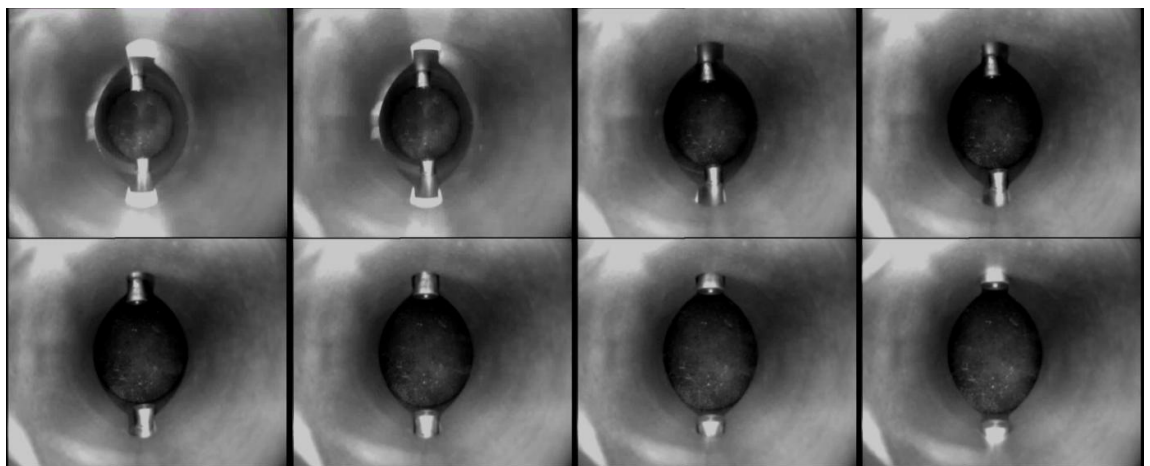
Jesse Laakso

pelkästään lihasvoimin. Työkaluun suunnitellut, tarvittaessa runkoa vasten pois tieltä taittavat lieriökahvat hankaloittivat nostelua entisestään, koska niiden aukiasentoon lukittuminen oli erittäin heikkoa. Niiden tilalle päätettiin heti asentaa uudet kiinteät nostokahvat (liite 1/16). Telineen (liite 2) alataso, johon testiyläpäätykappale kiinnitettiin, mitoitettiin hieman liian pitkäksi. Tämän johdosta työkalun käyttöä hankaloitti entisestään sen etäisyys altaan reunasta (kuva 16). Ajateltua lisäpainojen vähentämisen vaikutusta ei päästy kokeilemaan ajan puutteen vuoksi.

Koekäytön yhteydessä talletettiin tietokoneelle videokuvaa niin osien irrottamisesta ja kiinnittämisestä kuin myös työkalun laskemisesta tuotteen yläpään sisään. Kuten videosta otetuista kuvasarjoista (kuvat 17 ja 18) näkee, onnistui kamera tallentamaan molemmat tapahtumat juuri toivotulla tavalla.



Kuva 17 Kuvasarja kameralla kuvatusta videosta, jossa suoritetaan osien vaihtaminen



Kuva 18 Kuvasarja videosta, jossa työkalu lasketaan kiinni testausyläpäähän

Jesse Laakso

Koska testi osoitti työkalun toimivaksi, se toimitettiin asiakkaalle. Työkalu esiteltiin asiakkaan tiloissa ja opetettiin alustavasti tulevia työkalun käyttäjiä sen operoinnissa. Esittely kuitenkin tapahtui vielä kuivalla maalla. Todellista käyttöä vastaava koekäyttö päätettiin toteuttaa, kun työkalun toimintaan liittyvät muut laitteet on suunniteltu ja toimitettu asiakkaalle. Asiakkaan taholta oltiin erittäin tyytyväisiä työkalun varmaan toimintaan ja helppokäyttöisyyteen.

Tulevaisuudessa työtä työkaluun liittyen jatketaan laatimalla työkalulle käyttöohjeet, suunnittelemalla osien lataus- ja keräysteline sekä toteuttamalla mahdollisia muutoksia, joiden tarvetta todellisessa käyttöympäristössä tapahtuvassa testissä saattaa tulla esiin.

4 TULOKSET

Tavoitteena oli suunnitella varmatoiminen ja helppokäyttöinen työkalu tuotteiden kuluvien osien vaihtamiseen ja tässä onnistuttiin.

Työ vaihtotyökalun parissa jatkuu, ja seuraavaksi on tarkoituksena suunnitella teline, josta työkaluun ladataan uudet osat ja johon käytetyt pudotetaan. Lisäksi työkalun käyttöohjeen kirjoittaminen on kesken. Viranomaisvaatimukset, kuten CE-merkintä, käytiin läpi ja ne otettiin huomioon työkalun suunnittelussa. Niitä tullaan noudattamaan myös käyttöohjeistusta suunniteltaessa.

Tuloksena saatiin työkalusta ja sen testaustelineestä piirustukset, joiden avulla työkalun valmistus ilman ohjeistusta ei kuitenkaan ole mahdollista. Piirustuksissa ei myöskään esitetty kaikkia siihen suunniteltuja osia ja ratkaisuja, kuten kameran johdon läpiviennit ja sen pystyaseman säätövaijeri.

Työkalun valmistuksessa oltiin mukana ohjeistamassa työtä ja ottamassa oppia valmistukseen liittyvistä asioista. Työn parasta antia olivatkin juuri valmistuksessa mukana olemisen kautta opitut asiat. Tästä on varmasti suuri hyöty tulevaisuudessa eri tuotteita suunnitellessa.

Jesse Laakso

Työkalusta syntyi asiakkaan vaatimukset täyttävä ratkaisu, ja asiakkaalle työkalua esiteltäessä todettiin, että työkalun yksinkertainen rakenne ja varmatoimisuus oli onnistuneesti ratkaistu. Vaikka työkalun käyttö ei sitä aiemmin käyttämättömälle ollut täysin ongelmitta sujuvaa, todettiin sen kuitenkin olevan erittäin helposti opittavissa.

5 YHTEENVETO

Vaihtotyökalun tarkoituksena on toimia työkalun suunnittelu- ja valmistusraportissa /4/ esiteltyjen tuotteiden kuluvien osien vaihtamisvälineenä.

Työkalun ansiosta voidaan tuotteiden osat vaihtaa nopeasti, varmatoimisesti sekä helposti.

Tässä työssä suunniteltiin työkalu. Sen toiminta perustuu käyttäjän toimesta operointitankojen välityksellä tapahtuvien manuaalisten rajattujen liikeratojen avulla tapahtuviin toimintoihin. Työkalu koostuu alapään kohdistuskeskiöstä, jonka avulla työkalu saadaan oikeaan asemaan tuotteeseen nähden; rungosta joka toimii tukena siihen kiinnitettäville osille; operointivarsista, joilla varsinainen toiminta tapahtuu; kellukkeista, jotka pitävät työkalun vedessä oikealla korkeudella ja stabiilisti pystysuorassa sekä kamerasta, jolla työkalun toimintaa voidaan seurata.

Laite on turvallinen käyttää, koska itse työkalussa ei ole käyttäjälle vaaraa aiheuttavia tekijöitä ja sen käyttöympäristö tullaan suunnittelemaan asiakkaan toimesta mahdollisimman turvalliseksi. Lujuuslaskentaa, käyttöohjeen laatimista eikä kustannuslaskelmia sisällytetty tutkintotyöhön.

Tehdyt testit osoittavat, että työkalu on kykenevä sille tarkoitettuun työhön.

LÄHDELUETTELO

- 1 Airila, Mauri - Ekman, Kalevi - Hautala, Pekka, Koneenosien suunnittelu. WSOY 2003. 796 s.
- 2 Kamera kolorowa do pracy pod woda z uchwytem TS-602PSC [www-sivu]. [luettu 13.9.2004] <http://www.dipol.com.pl/sklep/m10501.htm>
- 3 Kansojen keskipituuksien eroilla monia syitä. Tieteen Kuvalehti 11/2004, s. 9.
- 4 Laakso, Jesse-Juhani, Raportti vaihtotyökälän suunnittelusta ja valmistuksesta. 2005. 44 s.
- 5 Laitinen, Arttu, Suunnittelukatselmus. [muistio.] 17.10.2003.
- 6 Laitinen, Arttu, Suunnittelukatselmus. [muistio.] 31.10.2003.
- 7 Laitinen, Esko — Mikko Mäkelä — Lauri Soininen — Seppo Tuomola, Kaavasto. Tammertekniikka. Tampere 2001. 207 s.
- 8 Lens Calculator - Choose the right size CCTV lens for your application [www-sivu]. Honeywell Video Systems. [luettu 4.11.2003] Saatavissa: <http://www.silentwitness.com/support/lens/lenses.php>
- 9 Metso-konserni [www-sivu]. [luettu 14.5.2004] Saatavissa: <http://www.metso.com>
- 10 Ship Hydrostatics Transverse Stability: Basics [www-sivu]. Naval Postgraduate School. [luettu 8.9.2004] Saatavissa: <http://web.nps.navy.mil/~me/tsse/NavArchWeb/1/module7/basics.htm>
- 11 Vaativat metallituotteet vaikeita? Aloita pulverista. Esite. Metso Powdermet Oy.