

Saimaan ammattikorkeakoulu
Lappeenranta
Kone- ja tuotantotekniikka
Kone- ja tuotesuunnittelu

Jonne Härkänen

Tyhjennysaukon suojaluukkujen uudelleensuunnittelu

Opinnäytetyö 2012

Tiivistelmä

Jonne Härkänen

Tyhjennysaukon suojaluukkujen uudelleensuunnittelu, 30 sivua, 2 liitettä

Saimaan ammattikorkeakoulu

Tekniikka Lappeenranta

Kone- ja tuotantotekniikka

Kone- ja tuotesuunnittelu

Opinnäytetyö 2012

Ohjaajat: yliopettaja Seppo Toivanen, Saimaan ammattikorkeakoulu,
projektipäällikkö Petri Kallioinen, Etteplan Oyj

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä suunnittelutyö Etteplan Oyj:lle. Aiheena suunnittelutyössä oli tyhjennysaukon suojaluukkujen uudelleensuunnittelu. Työssä sovelsin Robert Nortonin suunnitteluprosessin teoriaa käytännön suunnitteluun. Suunnittelun tarkoituksena on mahdollistaa mutkaton koneen valmistus sekä minimoida koneen valmistuksesta aiheutuvat kulut.

Suojaluukut oli aikaisemmin suunniteltu kestämään vain koneesta valuva pesuvesi eikä huomioon ollut otettu mahdollista tuotoksen putoamista luukkujen päälle vikatilanteissa. Tilaaja halusi, että luukut suunnitellaan uudestaan kestämään tällainen tilanne. Suunnitteluprosessin aikana hyödynnettiin aikaisemmin tilaajan suunnittelemaa luukkujen rakenteita nykyiseen. Tehtiin tarvittavat lujuuslaskelmat rakenteen mutkattoman toiminnan varmistamiseksi. Työn lopuksi tehtiin tarkat valmistuskuvat koko rakenteesta sekä valittiin hydraulikomponentit.

Lopputuloksena saatiin valmistettavat luukut, jotka toimivat vaatimusten mukaan sekä turvallisesti että käytännöllisesti.

Asiasanat: Etteplan Oyj, suunnitteluprosessi, suojaluukut

Abstract

Jonne Härkänen

Redesign of the protective plates of a drain hole, 30 Pages, 2 Appendices

Saimaa University of Applied Sciences

Technology Lappeenranta

Mechanical Engineering

Machine Design

Bachelor's Thesis 2012

Instructor(s): Mr Seppo Toivanen, Senior Lecturer Saimaa University of Applied Sciences, Mr. Petri Kallioinen, Project Manager Etteplan Oyj

The aim of this thesis was to make a design work to Etteplan Oyj. Subject of this design work was to redesign projective plates of a drain hole. In this work I applied Robert Norton's theory of design process to custom design. The purpose of design work is to ensure simple manufacturing of the machine and to minimize manufacturing costs.

The projective plates were earlier designed just to sustain the washing water flowing down from the machine. Attention was not paid to possible incidents where the product drops onto the plates. The customer wished the plates to be redesigned to handle this kind of a situation. During the design process plate structures which were designed earlier by customer were used. Necessary strength calculations were made to ensure easy operation of the structure. Lastly, the manufacturing drawings of the whole structure and the selection of hydraulic components were made.

As a result the manufactured plates operates in the demanded way, safely and practically.

Keywords: Etteplan Ltd, design process, projective plates

Sisältö

1	Johdanto.....	5
2	Lähtötiedot.....	6
2.1	Vaatimukset.....	6
2.2	Edelliset luukut.....	7
2.3	Uudet luukut.....	11
3	Suunnitteluprosessi.....	11
4	Työn kulku.....	13
5	Rakenneosat.....	18
5.1	Tuoterakenne.....	18
5.2	Luukut.....	20
5.3	Laakerointi.....	21
5.4	Rajakytkimet.....	22
5.5	Koko rakenne.....	23
6	Luukkujen hydraulikka.....	24
6.1	Sylinterien valinta.....	24
6.2	Hydraulikaavio.....	25
7	Laskelmat.....	26
7.1	Hydraulisynterinin mitoitus.....	26
7.2	Kuormitukset laakereissa sekä luukuissa kun luukut avataan.....	27
8	Yhteenveto.....	29
	Lähteet.....	30
	Liitteet	
	Liite 1. Kokoonpanokuva vanhoista luukuista	
	Liite 2. Luukkujen päämitat	

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tilaajana toimii suunnittelu- ja asiantuntijatoimisto Etteplan Oyj. Yritys on perustettu 1983, ja vuonna 2011 siellä työskenteli noin 1600 henkilöä (Etteplan 2011, avaintiedot yrityksestä). Työ tehdään kolmannelle osapuolelle, joka toimii suunnittelutyön tilaajana Etteplan Oyj:lle. Työ tehdään yhtenä osana tuotekehitysprojektia, jossa on tarkoituksena parantaa jo olemassa olevaa konemallia.

Tämän työn tarkoituksena on suunnitella koneen tuotoksen purkuluukut uudelleen. Aikaisemmat luukut eivät toimineet luotettavasti. Luukuissa oli toimintahäiriöitä sekä ne olivat liian heikot rakenteeltaan. Asiakkaan vaatimuksien mukaan luukkujen tulee kestää täysi koneellinen tuotosta, mutta aikaisemmilla luukuilla tämä vaatimus ei toteutunut. Luukkuja käytetään kahteen pääasialliseen tarkoitukseen. Ne estävät sen ettei tuotos kastu sällävälän, kun koneen osia pestään ja toisaalta aukiasennossa ne ohjaavat tuotoksen alas kuljettimelle. Luukuille on esitetty lisävaatimuksia aikaisempiin verrattuna. Niiden täytyy kestää täysi koneellinen tuotosta mahdollisissa vikatilanteissa. Tämä aiheuttaa suunnitteluun tiettyjä reunaehtoja. Suunnittelun lähtökohtana käytetään tilaajan aikaisemmin suurempaan konemalliin suunnittelemlia luukkuja.

Työ aloitetaan määrittämällä luukkujen päämitat ja niille tuleva kuormitus. Projektin aloituspalaverissa päätettiin, että luukut avataan ja suljetaan hydraulisylinterien avulla, joten arvio sylinterien koosta täytyy tehdä jo alkuvaiheessa. Tutkitaan kuinka paljon vanhemman konemallin luukkujen mallia voidaan hyödyntää. Otetaan huomioon kaikkien osien valmistusteknilliset seikat sekä selvitetään kuinka paljon jo kerran suunniteltuja osia voidaan koneessa hyödyntää. Tilaaja on määrittänyt luukuille materiaalit (rakenneteräs sekä ruostumaton teräs) sekä pintakäsittelytavat, joten niitä ei tarvitse erikseen selvittää. Suoritetaan tarvittavat lujuuslaskut ja tehdään tarvittaessa FEM-mallit.

2 Lähtötiedot

Aikaisempien asiakasprojektien perusteella on huomattu, että edellisessä konemallissa olleet luukut ovat liian joustavat, koska ne aukeavat alaspäin ja on valmistettu jäykistämättömästä levyrakenteesta. Tämän vuoksi ne eivät pysty täysin toimimaan niille suunnitellussa tehtävässä (pitämään tuotoksen kuivana ja ohjaamaan tuotoksen alas kuljettimelle). Erinäisten vikatilanteiden takia kone joudutaan joskus tyhjentämään luukkujen päälle, jolloin luukuilta vaaditaan suurta jäykkyyttä. Tämän vuoksi asiakkaat joutuvat tekemään ylimääräisiä huoltoja ja omia korjauksia luukkuihin. Toisaalta koko koneen runko on myös liian joustava, ja myös tästä syystä tuotekehitysprojekti on lähtenyt käyntiin. Luukut ovat yksi osa tätä kokonaisuutta.

2.1 Vaatimukset

Vaatimukset ovat oleellinen osa suunnitteluprosessia. Ilman minkäänlaisia vaatimuksia suunnittelu olisi mahdotonta. Yleensä työn tilaaja määrittää vaatimukset ja asettaa toivomuksia, joihin suunnittelijan on pyrittävä. Joissain tapauksissa kaikkia vaatimuksia tai toivomuksia ei voida täyttää, joten täytyy tehdä kompromisseja, jotta tuotteesta saataisiin mahdollisimman paljon vaatimuksia vastaava. Yleensä tarkoituksena on suunnitella mahdollisimman hyvä tuote mahdollisimman edullisesti, jotta kilpailukyky säilyy. Tämä on kuitenkin erittäin haastavaa ja joissain tilanteissa mahdotonta.

Vaatimukset esitetään usein vaatimuslistana. Kyseisen työn vaatimuslista on seuraavanlainen:

- (v) Luukut aukeavat ylöspäin, jolloin luukkujen alapinta toimii tuotoksenohjaimena.
- (t) Luukut suunnitellaan kotelorakenteeksi ohutlevystä.
- (t) Rakenne moduloidaan mahdollisimman pitkälle. Pyritään käyttämään mahdollisimman paljon samanlaisia rakenteita.
- (v) Samoista rakenteista voidaan valmistaa erikokoisiin koneisiin luukut poistamalla tai lisäämällä keskimmäisiä luukkujen osia (moduuleja).
- (v) Rakenteesta halutaan saada mahdollisimman yksinkertainen.
- (v) Luukut avataan ja suljetaan hydraulisesti.
- (v) Luukkujen tulee kestää täysi koneellinen tuotosta (13000 kg).

Vaatimuslistassa (v) tarkoittaa vaatimusta ja (t) toivomusta.

Vaatimuslistan on laatinut suunnittelupäällikkö yhdessä asiakkaan kanssa.

2.2 Edelliset luukut

Alunperin tilaaja on suunnitellut luukut aukeamaan alaspäin tyhjennysaukkoon ja tuotokselle on omat ohjauslevyt joilla se ohjataan alas kuljettimelle. Tuotoksen mahdollista putoamista luukkujen päälle ei ole otettu huomioon. Tämän takia luukut ovat liian joustavat, jos tuotos joudutaan pudottamaan luukkujen päälle. Myös pesuvesiä varten oleva kallistus on alkuperäisissä luukuissa vain toiselle puolelle, ja tämän vuoksi luukkujen välinen sauma vuotaa helposti. Kuvissa 1 ja 2 on esitetty vanhojen luukkujen toimintaperiaate.



Kuva 1. Edelliset luukut kiinni asennossa.



Kuva 2. Edelliset luukut auki asennossa.

Vanhoista luukuista ei ole 3D-mallia. Tämä luukkumalli on eri konetyypistä, mutta periaate on sama kuin vanhoilla luukuilla. Kun luukut aukeavat alaspäin, tarvitaan tuotokselle erikseen ohjainlevyt (ohjainlevyjä ei ole kuvassa). Toisaalta tarvitaan myös suurempi aukko lattiaan, koska luukut vievät tilaa kääntyessään alas. Tämän takia vanhojen luukkujen runko on leveämpi kuin uusien.

Liitteessä 2 on kokoonpanokuva vanhoista luukuista. Kuvassa ei ole esitetty mittoja eikä osanumerointeja. Luukut avataan sylinterillä, joka on kiinnitetty differentiaalivipuvarsiin. Toisen luukun vipuvarsi on pidempi kuin toisen. Kun sylinteri avataan, se aiheuttaa vipuvarsien kautta luukkujen kiinnitysakseliin vääntömomenttia. Tämän takia luukku, jossa on pidempi vipuvarsi, aukeaa ensin, koska momenttivarsi on pidempi ja voimaa tarvitaan vähemmän. Koska sylinterillä ei ole kiinteää tukipistettä, on jouduttu suunnittelemaan mekaaniset rajat luukuille, jotta ne eivät aukea väärin. Mekaaniset rajat on suunniteltu hitsattavaksi kokoonpanopaikalla, mikä ei sovi tilaajan toimintaperiaatteisiin. Tilaajan ajatuksena on, ettei kokoonpanopaikalla käytetä mitään ainetta muokkaavia menetelmiä. Toisaalta hitsaamisesta johtuva lämpö saattaa aiheuttaa vetelyjä kappaleeseen, jolloin rajoista tulee epätarkat. Kuvassa näkyy myös vanhat tuotoksen ohjaimet, joita uudessa mallissa ei tarvita luukkujen muotoilun takia.

Tilaaja on suunnitellut isomman konemallin luukuista ylöspäin aukeavat (kuvat 3 ja 4). Luukkujen akseliväli on niin suuri (n. 2500 mm), etteivät vaakatasossa olevat luukut ilman välituentaa ole tarpeeksi kestävä. Kun luukut ovat kiinniasennossa ylöspäin vinossa, niiden päät toimivat tukipisteenä kiinniollessaan ja kuormitus laakereille pienenee. Näitä luukkuja käytettiin lähtökohtana suunnittelutyössä. Kuvat kiinni- ja aukiasennoissa on esitetty seuraavaksi.



Kuva 3. Isomman konemallin luukut kiinni asennossa.



Kuva 4. Isomman konemallin luukut auki asennossa.

Kuvissa esitettyjen luukkujen periaate on sama siltä osin, että luukut aukeavat ylöspäin sekä niiden sisäpinta toimii ohjainlevynä tuotokselle. Tilaaja halusi muuttaa luukkujen toimintaperiaatetta nykyisestä siten, että luukkuja avaavat ja sulkevat sylinterit eivät enää ole vipuvarren kanssa liitettynä tukiakseliin.

2.3 Uudet luukut

Uudet luukut ovat harjakaton malliset ja aukeavat ylöspäin, jolloin luukkujen alapinta toimii ohjauslevynä. Pesuvesi ohjautuu harjakaton ansiosta koneen molemmille puolille, eikä vesi valu keskisauman yli. Koneeseen on myös mahdollista saada lisävarusteena vesikaukalot, joihin pesuvesi voidaan ohjata. Harjakatto ja kotelorakenne parantavat luukkujen jäykkyyttä, mikä on yksi suunnittelukriteereistä. Vaatimusten mukaan luukkujen rakenne moduloitiin siten, että keskimmästen luukkujen lukumäärää muuttamalla saadaan luukut sopimaan erikokoisten koneiden alle.

Kuvat uusista luukuista on esitetty myöhemmin (kuvat 8-9, s.16-17).

3 Suunnitteluprosessi

Suunnitteluprosessilla (taulukko 1) tarkoitetaan suunnittelun eri vaiheita aina ideoinnista valmiiseen lopputuotteeseen saakka. Suunnitteluprosessi sisältää muun muassa ongelman luonteen analysointi- sekä ratkaisujen ideointivaiheen. Kun ongelma on hahmotettu, pyritään siihen löytämään ratkaisuvaihtoehtoja. Suunnittelijan täytyy pohtia, mitä tietoa prosessi vaatii, onko tieto jo olemassa vai onko sitä hankittava. Tuotesuunnitteluprosessin eri vaiheisiin on olemassa monenlaisia eri menetelmiä, joita voidaan käyttää suunnittelun tukena. Näitä menetelmiä ovat esimerkiksi aivoriihi, kysymyslista ja olemassa olevan tuotteen analyysi. Tässä työssä ei keskitytä syvemmin näihin menetelmiin. Ideointivaiheessa suunnittelija pyrkii ideoimaan erilaisia mahdollisuuksia ilman minkäänlaisia negatiivisia ajatuksia suunniteltavaa asiaa koskien. Suunnitelman arviointia tapahtuu koko prosessin ajan ja sitä voi suorittaa joko tekijä itse tai asiantuntijat. (Sopanen 2011.)

Suunnittelulla pyritään siihen, että tuote on mahdollisimman hyvä ja vastaamaan parhaiten annettuja vaatimuksia. Suunnittelussa on otettava huomioon niin valmistukseen kuin mahdollisesti tuotteen myyntiin vaikuttavat tekijät. Suunnittelija ei voi koskaan vain itse päättää, millainen tuote valmistetaan ja myöhemmin myydään. Suunnittelijan tulee olla tiiviissä yhteydessä asiakkaaseen ja valmistukseen, jotta lopputuote vastaisi asiakkaan

tarpeisiin. Hyvin harvoin suunnittelu on yksilösuorittamista. Usein tehdään töitä ryhmässä ja keskustellaan asioista ja ideoista avoimesti, jolloin saadaan minimoitua kaikki ns. huolimattomuus- tai ajattelemattomuusvirheet. Hyvin usein ideat kehittyvät suunniteltaviksi vasta kun niitä on käsitelty useiden henkilöiden kanssa. Näiden lisäksi tuotehistoriaa hyödynnetään mahdollisuuksien mukaan. Tämä on erittäin tehokasta suunnittelua, jolla saadaan aikaan hyviä tuloksia.

Robert Norton; Machine Design, An Integrated Approach
<u>1.Tarpeen tunnistaminen ja taustojen selvitys</u>
◦ Ongelman kuvaus ja ymmärtäminen
<u>2.Tavoitteen asettelu</u>
◦ Realistinen toteamus, mitä tarvitaan
◦ Vaatimuslista (taskspecification). Mitä toimintoja pitää pystyä tekemään (ei miten)
<u>3.Synteesi</u>
◦ ideointi miten toiminnot voidaan täyttää
◦ etsitään useita vaihtoehtoja
<u>4.Analyysi</u>
◦ vaihtoehtojen analysointi ja pisteytys
<u>5.Valinta</u>
◦ lupaavimmat ratkaisut valitaan tarkempaan analyysiin
<u>6.Detaljisuunnittelu</u>
◦ yksityiskohtat, valmistuspiirustukset ja –menetelmät
<u>7.Prototyypin rakentaminen ja testaus</u>
<u>8.Tuotanto</u>

Taulukko 1. Suunnitteluprosessin kuvaus. (Robert Norton 1996, Sinkon 2011 mukaan.)

Taulukossa 1 on esitetty suunnitteluprosessin kulku yksityiskohtaisesti. Ensin tunnistetaan suunniteltavan kohteen tarpeet, joko asiakkaan kanssa tai jos kyseessä on tuotekehitysprojekti, niin projektipalaverissa. Tavoite on erittäin

tärkeä osa suunnitteluprosessia. Tavoitteessa määritetään aikataulu ja vaatimukset sekä toivomukset valmiin tuotteen suhteen. Synteesillä tarkoitetaan tässä tapauksessa ideointivaihetta. Ideointivaiheessa kerätään ideoita mahdollisimman laajasti. Abstrahoidaan vaatimuslista, jotta reunaehdot ovat hyvin selkeät eivätkä ne aiheuta turhia rajoituksia ideoinnille. Ideoinnin jälkeen analysoidaan tulokset ja valitaan paras vaihtoehto/vaihtoehdot jatkokehitykseen. Suoritetaan detaljisuunnittelu, rakennetaan ja testataan mahdollinen prototyyppi. Lopuksi aloitetaan tuotanto. Tässä työssä käytettiin osia tästä suunnitteluprosessista.

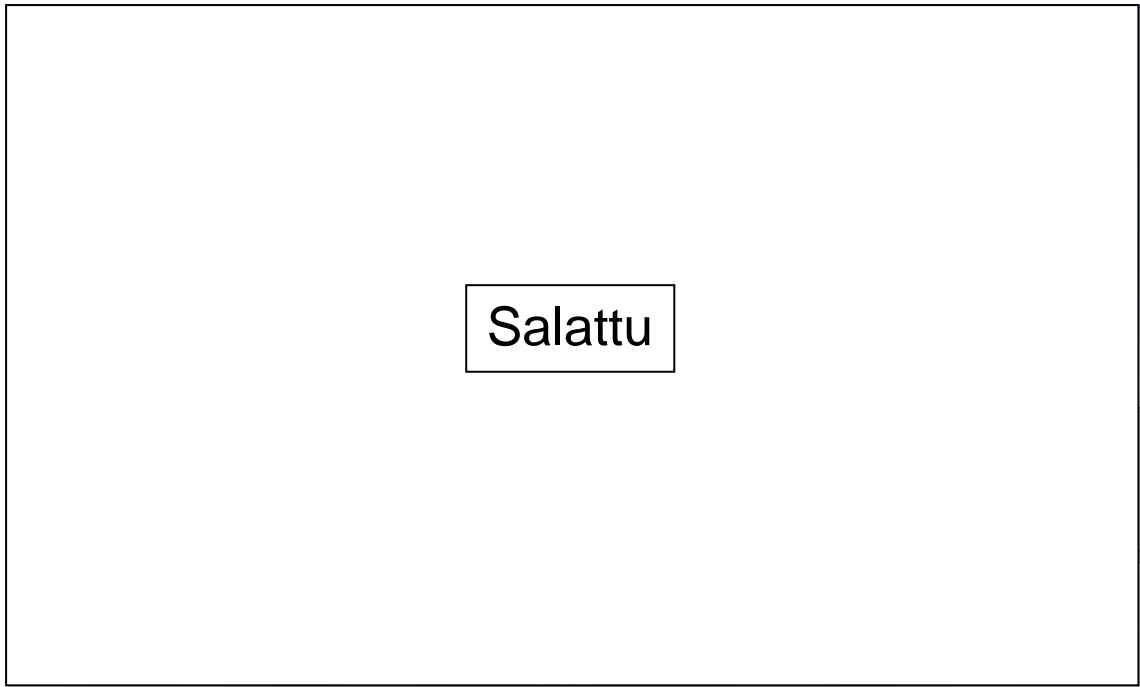
Uudelleen suunnittelun ja tuotekehityksen erot

Uudelleen suunnittelulla tarkoitetaan kokonaisuutta, jolla halutaan parantaa vanhaa jo olemassaolevaa konseptia tai mahdollisesti kehittää kokonaan uusi konsepti vanhojen pohjalta.

Tuotekehityksellä tarkoitetaan suunnittelua lähes nolllapisteestä. Halutaan kokonaan uudenlainen konsepti, ei anneta minkään rajojen vaikuttaa alustaviin suunnitelmiin. Tuotetta ei välttämättä saada valmiiksi tuotekehitysprojektin päätteeksi. (Sopanen 2011.)

4 Työn kulku

Työ aloitettiin suunnitteluprosessista poiketen ideointivaiheesta, koska tilaaja oli selvittänyt tarpeet ja taustat sekä laatinut vaatimuslistan valmiiksi. Aluksi ideoin mahdollisia vaihtoehtoja käsin paperille sekä 2D-ohjelmistolla (Auto-CAD). Tämän jälkeen ideointia jatkettiin muiden projektiin osallistuneiden suunnittelijoiden kanssa. Ideoinnissa käytettiin mahdollisuuksien mukaan hyväksi aikasempien konemallien rakenteita. Määrittelimme projektin pääsuunnittelijan kanssa koneen päämitat (esitetty liitteessä 2) ja muut kriittiset mitat. Lopuksi ideoista valittiin paras vaihtoehto. Sitä jatkokehitettiin ja tehtiin ensimmäinen 3D-malli luukkujen rakenteesta (kuva 5).



Kuva 5. Ensimmäinen 3D-malli luukuista.

Aluksi luukkujen lukumääräksi valittiin 4 kappaletta. Myöhemmin kuitenkin todettiin, että keskimoduleista tulee liian suuret (pituus n. 4 m ja leveys n. 2 m). Silmämääräisesti laakeripisteiden väli on niin pitkä, että päätettiin puolittaa keskimmäiset moduulit pituussuunnassa, jolloin luukkujen määräksi tulee 12 kappaletta ja laakeripisteiden etäisyys puolittuu.

Ideontivaiheen jälkeen tehtiin asiakkaalle perustuskuva, jossa on esitetty koneen tuentapisteet, tärkeimmät mitat sekä massat ja tarvittava aukko lattiassa tuotoksen pudotukselle.

Detaljisuunnittelu aloitettiin ideoidun mallin perusteella. Tärkeimpiä yksityiskohtia koneessa ovat laakerit, luukkumoduulit, niiden rajakytkimet sekä hydrauliiikka. Näistä on yksityiskohtaisempi selvitys myöhemmin (luku 5, s. 18-23).

Detaljisuunnittelu suoritettiin 3D-ohjelmistolla (Solid Works). Mallinnuksen aikana tuli vastaan paljon periaatteellisia suunnitteluvirheitä, joita ei ideointivaiheessa osattu ottaa huomioon ja joita on vaikea havaita ilman 3D-mallia. Esimerkkinä tästä on luukkumoduulien välissä oleva akseli, josta luukat on laakeroitu. Akseli (kuva 6) suunniteltiin ensin yhtenäiseksi kappaleeksi, kunnes huomattiin, ettei sitä saa irroitettua ilman, että laakeri irroitetaan kokonaisuudessaan.



Kuva 6. Akseli.

Akselin laipoissa on molemmissa päissä pienet olakkeet, jotta luukkujen kuorma ei ole pelkästään pulttien varassa. Jotta akseli saadaan irroitettua ilman laakerin irroitusta, suunniteltiin akseli, jonka toinen laippa on irrallinen. Tämä mahdollistaa akselin irroituksen ilman laakerin irrottamista.

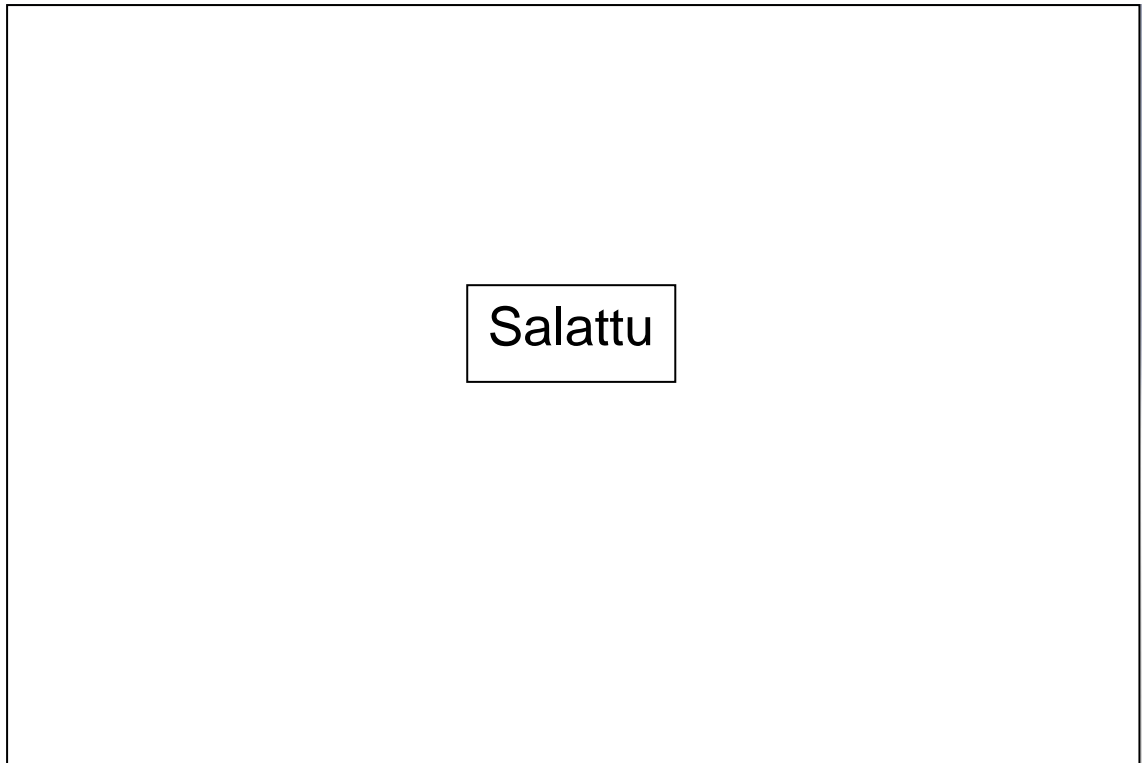
Luukkujen päätytuki muutettiin detaljisuunnittelun aikana aluksi suunnitellusta I-palkista neliöputkipalkkiin. Hydraulisyliinterien kiinnitys neliöputkipalkkiin oli helpommin toteutettavissa profiilin muodon takia. Myös luukkujen laakerituet (kuva 7) muutettiin yksittäisistä tuista koneen poikkittaissuunnassa vastakkaisten laakeripisteiden yhtenäisiksi tuiksi. Tämän ansiosta poikkittaissuuntainen jäykkyys koneen rungossa kasvaa sekä perustuksiin aiheutuvat horisontaaliset kuormat pienenevät. Koneeseen saadaan myös integroitua tuotoksen särkejä, joka aikaisemmissa malleissa oli erillinen osakokonaisuus.



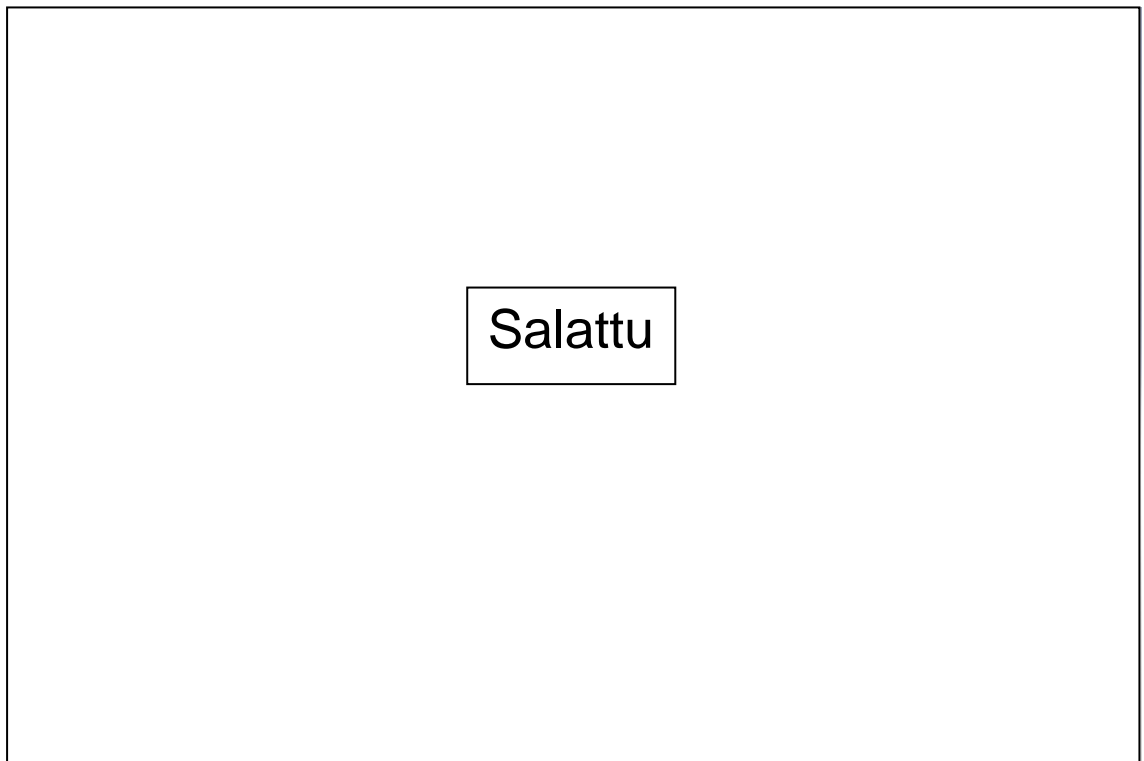
Salattu

Kuva 7. Luukkujen laakerituki.

Päätyihin aluksi valitut kuulalaakerit vaihdettiin samanlaisiin liukulaakereihin kuin muissakin tukipisteissä. Liukulaakerit kestävät käytössä syntyneitä aksiaalikuormia paremmin sekä ne selkeyttävät tuoterakennetta. Liukulaakereilla on paremmat korroosionkesto-ominaisuudet, ne vähentävät voitelun tarvetta sekä helpottavat huoltoa. Kuvassa 8 näkyy valmis luukkukokoonpano kiinniasennossa ja kuvassa 9 aukiasennossa.



Kuva 8. Valmis luukkujen malli kiinniasennossa.



Kuva 9. Valmis luukkujen malli auki asennossa.

Kuvassa 10 on koneen pääkokoontapano.



Kuva 10. Pääkokoontapano, nuoli osoittaa luukkujen sijainnin koneessa.

Kun malli valmistui, hyväksyttiin se projektin suunnittelupäälliköllä jonka jälkeen aloitettiin valmistuskuvien teko. Kuvien valmistuttua ne lähetettiin tuotantoon, jossa tuotannon ammattilaiset tarkistivat kuvat ja valmistus alkoi.

5 Rakenneosat

Rakenneosien osalta tässä työssä keskitytään itse luukkuihin sekä niiden laakerointiin, tuentaan ja rajakytkimiin. Yksittäisiin osiin ei tässä työssä oteta kantaa.

5.1 Tuoterakenne

Tuoterakenne (taulukko 2) on valmistettavan kappaleen osaluettelo. Siitä löytyvät kaikki valmistettavan tuotteen osa- ja piirustusnumerot sekä muut tarvittavat tiedot. Tuoterakennetta käytetään hyödyksi niin ostossa kuin myynnissä tuotantoa ja suunnittelua unohtamatta ja siitä löytyvät varaosatiedot huoltoa varten.

	REV. A	SWIVEL PLATE COMPLETE			
STR_PARTNO	ITEM_CODE	ITEM_VER	ITEM_DESC1	ITEM_DESC2	STR_QTY
Top level	F651299	A	SWIVEL PLATE COMPLETE		1
1	F652582	A	FRAME BEAM	MACHINING	2
2	F651951	A	SWIVEL PLATE	MACHINING	1
3	F651453	A	SWIVEL PLATE	MACHINING	1
4	F651452	A	SWIVEL PLATE	MACHINING	1
5	F651952	A	SWIVEL PLATE	MACHINING	1
6	F651456	A	SWIVEL PLATE	MACHINING	4
7	F651955	A	SWIVEL PLATE	MACHINING	4
8	F652579	A	CAKE BREAKER	MACHINING	5
9	F651297	A	CAKE BREAKER		4
10	F651293	A	CAKE BREAKER		8
11	F651279	A	SHAFT		4
12	F652363	A	SHAFT		10
13	F651234	A	BEARING	SWIVEL PLATE	14
14	F651585	A	BEARING COVER	SWIVEL PLATE	10
15	F651632	A	BEARING COVER	SWIVEL PLATE	2
16	F651945	A	BEARING COVER	SWIVEL PLATE	2
17	L63887	A	HYDRAULIC CYLINDER		4
18	F651639	A	PLATE		4
19	F652329	A	PLATE		8
20	F652818	A	PLATE		2
21	F652802	A	PLATE		2
22	F652259	A	SPLASH GUARD	SWIVEL PLATE	2
23	F652332	A	BEARING COVER	SWIVEL PLATE	13
24	F652840	A	FASTENING SLEEVE		8
25	F653682	A	LIMIT SWITCH BRACKET		1
26	F653525	A	LIMIT SWITCH BRACKET		1
27	L62229	A	INDUCTIVE SENSOR		5
28	F653507	A	IMPULSE PLATE		3
29	2444		9 HEX SOCKET SCREW		1
30	3953		9 SOCKET SET SCREW		1
31	1550		9 HEX SCREW		4
32	1560		9 HEX SCREW		84
33	3281		9 HEX SCREW		8
34	1573		9 HEX SCREW		144
35	1576		9 HEX SCREW		136
36	1583		9 HEX SCREW		24
37	1585		9 HEX SCREW		56
38	H44081		0 HEX SCREW		60
39	PA24946	A	WASHER		188
40	L29780	A	WASHER		401
41	F629743-16/5	A	WASHER		56
42	2644		9 WASHER		144
43	1609		9 HEX NUT		92
44	1611		9 HEX NUT		120
45	7114		9 HEX NUT		60

Taulukko 2. Tuoterakenne ylimmän tason osista.

Tuoterakenteessa on esitetty ylimmän tason osat ja osakokoonpanot. Ensimmäinen sarake kertoo osan numeron piirustuksessa. Toisessa sarakkeessa on osan koodi PDM-järjestelmässä. Kolmas sarake esittää

nimikkeen revision. Neljäs ja viides sarake kertovat osan nimen ja lisätietoja osasta esimerkiksi "Frame Beam" on osan nimi ja "Machining" tarkoittaa, että kyseessä on koneistusmalli ja -kuva osasta. Viimeisessä sarakkeessa on osien lukumäärä kokoonpanossa.

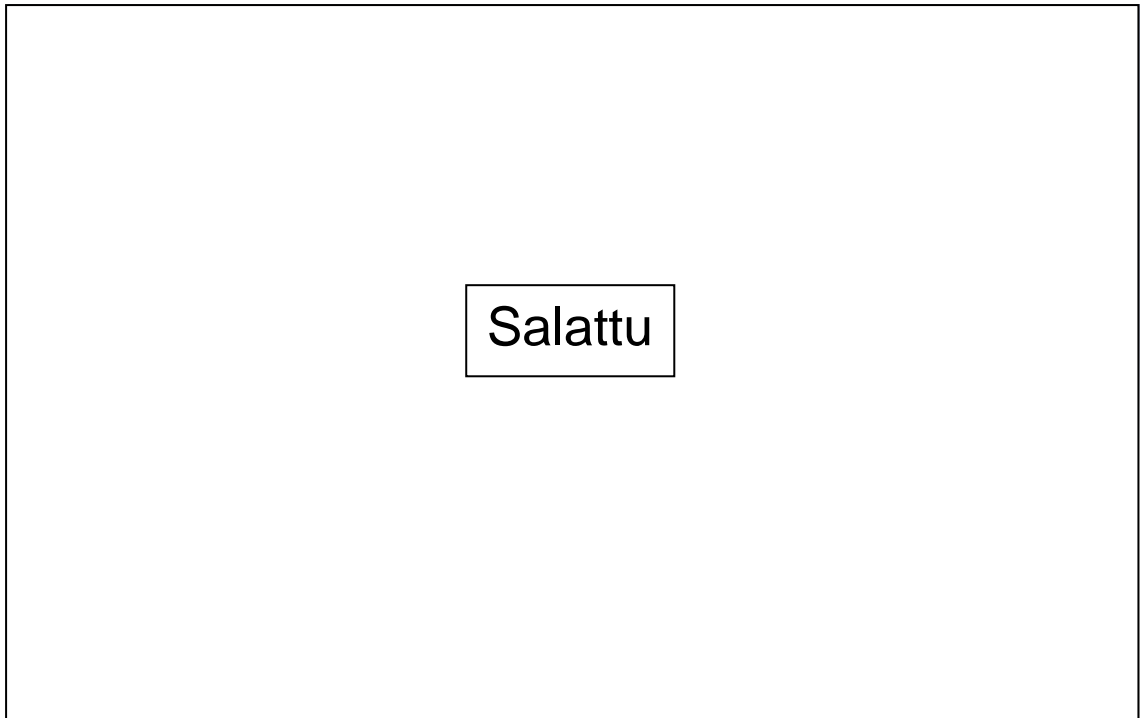
5.2 Luukut

Vaatimuslistan mukaan luukuista suunniteltiin hitsattu kotelorakenne, koska se on kevyt mutta samalla jäykkä. Koska luukut aukeavat päissä olevien hydraulisyliinterien avulla, jäykkyys on yksi merkittävä kriteeri luukkujen suunnittelulle.

Luukkujen haluttiin kestävän 130 kN tasainen kuorma, joka putoaa noin 500 mm korkeudesta. Laskelmat on esitetty myöhemmin (luku 7).

Luukuissa on jäykistelevyt kotelon sisällä, jotta rakenteesta saadaan tarpeeksi jäykkä. Luukut valmistetaan tavallisesta rakenneteräksestä (S235) lukuun ottamatta luukkujen alapintaa, joka asiakkaan vaatimuksen mukaan pitää valmistaa ruostumattomasta teräksestä (EN 1.4301/AISI 304). Muissa osissa S235 terästä käytettiin S355:n sijasta sen vakaamman saatavuuden takia koneen valmistusmaassa.

Luukut ohjaavat koneen pesuveden alas lisävarusteena saataviin vesikouruihin tai vaihtoehtoisesti lattialle. Kuvassa 11 näkyy luukun päätymoduuli.



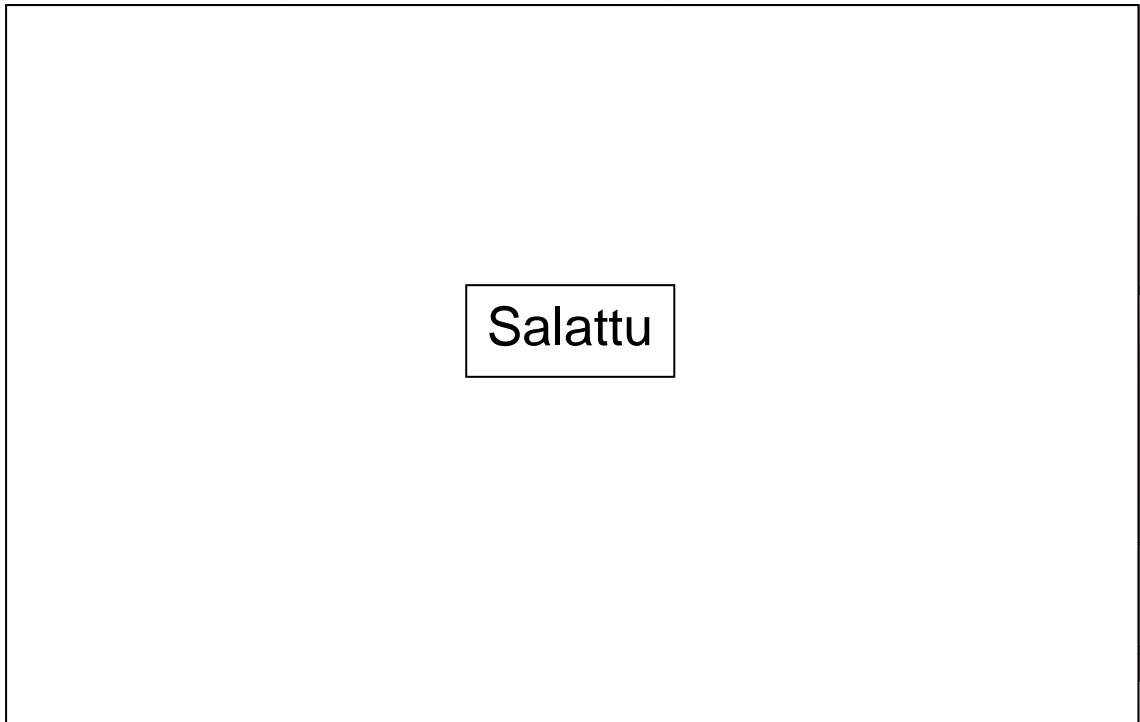
Kuva 11. Luukun päätymoduuli.

5.3 Laakerointi

Laakereita tarvitaan luukkujen liitoskohdissa, joista luukkujen alapää on tuettu. Laakeri ja akselitappi toimivat tukipisteenä voimalle, jonka hydraulisylinteri aiheuttaa luukkuja avattaessa. Tähän pisteeseen vaikuttavat voimat kiinnostavat myös rakenteen kestävyuden kannalta. Voimat ovat esitetty kuvissa 15 ja 16.

Laakerointiin käytettiin aikaisemmin suunniteltuja liukulaakereita, laakerit tosin muokattiin tähän tarkoitukseen sopiviksi. Laakeripesä on valmistettu teräksestä (S235) ja itse laakeri nailonista (PA 6.6).

Laakerin voitelu on toteutettu rasvavoiteluna rasvanippojen kautta. Laakerissa on rasvaura sekä reiät, joista rasva tunkeutuu laakerin ja akselin väliin. Kuvassa 12 on nähtävissä laakeri ja akseli luukkujen välissä.



Kuva 12. Laakeri ja akseli luukkujen välissä.

5.4 Rajakytkimet

Luukuille suunniteltiin rajakytkimet auki- ja kiinniasentoihin, jotta syliterien liike saadaan pysäytettyä oikeaan aikaan. Toiseen luukkuun suunniteltiin myös odotusasento, jolloin toinen luukku menee kiinni aikaisemmin kuin toinen. Tämä on tärkeää siksi, että tarpeen vaatiessa luukkujen saumapintaan tulee vedenestolevy. Kuvassa 13 näkyy auki- ja kiinniasennon rajat sekä erillinen odotusraja.



Salattu

Kuva 13. Rajakytkimet sekä vastinlevyt.

Rajakytkimet ovat induktiivisia. Vastinlevyt ovat valmistettu tavallisesta rakenneteräksestä (S235), jolloin heräte-etäisyys on mahdollisimman iso. Vastinlevyjä sekä kytkimiä voidaan säätää tarpeen mukaan, jotta luukkujen kulmat saadaan oikeaksi sekä kiinni- että aukiasennossa.

5.5 Koko rakenne

Rakenteesta haluttiin saada mahdollisimman kestävä, yksinkertainen ja edullinen. Luukut liitettiin päittäin toisiinsa pulteilla ylä- ja alapinnasta, jotta jäykkyys säilyisi läpi rakenteen. Aikaisemmissa luukuissa kiinnitys oli vain yläpinnassa, jolloin rakenne ei ollut tarpeeksi jäykkä. Rakenteen toiminnan kannalta jäykkyydellä on suuri merkitys. Kun luukut avataan, täytyy sen säilyttää muotonsa mahdollisimman hyvin, jotta luukkujen reunat eivät aiheuta ongelmia. Jos luukku taipuu paljon, reunat ottavat tällöin kiinni toisiinsa ja avaaminen hankaloituu.

6 Luukkujen hydrauliiikka

Hydrauliikka on tärkeä osa tätä työtä vaikka, komponentteja ei ole kovinkaan paljon. Luukut avataan ja suljetaan hydraulisesti. Koneessa käytetään muutenkin paljon hydrauliiikkaa, joten luukkujen avaus on luonnollista hoitaa hydraulisesti. Toisaalta vaihtoehtona hydrauliiikka on yksinkertaisin ja edullisin, joten sekin puoltaa valintaa.

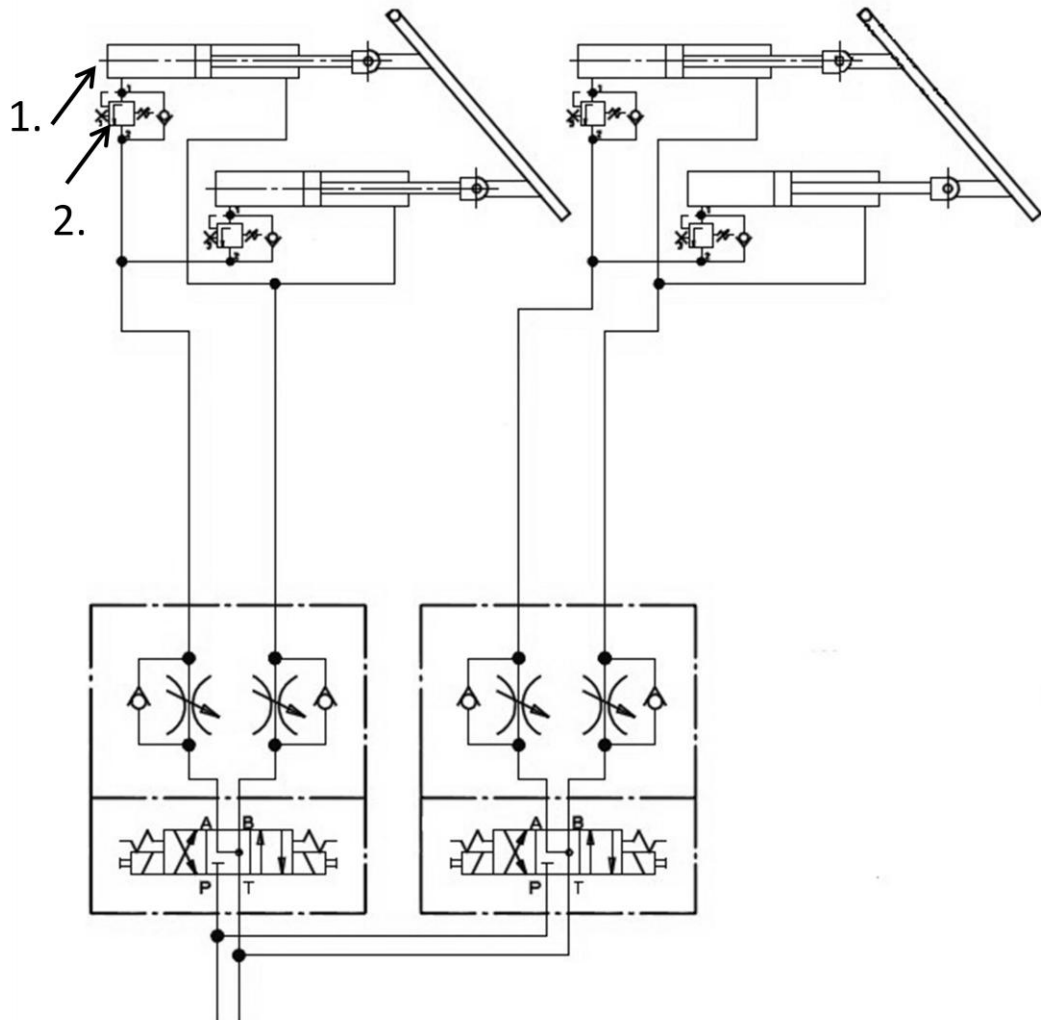
Luukkujen molemmissa päissä on hydraulisylinterit (yhteensä 4 kpl). Näillä sylintereillä avataan sekä suljetaan luukut. Sylinterit ovat kaksitoimisia ja niitä ohjataan 4/3-suuntaventtiileillä. Sylinterien ohjausventtiilit on integroitu muun laitteen hydrauliiikan yhteyteen. Luukkujen laakerointiakseliin suunniteltiin asennettavaksi raja-anturit, jotka ilmaisevat auki ja kiinni asennot.

6.1 Sylinterien valinta

Sylinterit valittiin toimittajan katalogista mitoituslaskujen ja toimintojen perusteella. Sylintereihin integroitiin itse suunnittelemamme ja yhdessä toimittajan kanssa toteutettu letkurikkoventtiili, joka estää luukkuja putoamasta kiinni vaikka systeemiin tulisi painevajetta esimerkiksi letkun hajotessa.

6.2 Hydraulikaavio

Hydraulikaaviossa (kuva 14) on esitetty luukkuja avaavat sylinterit niiden ohjaus-, nopeuden säätö- sekä letkurikkoventtiilit.



Kuva 14. Hydraulikaavio (1. sylinteri, 2. letkurikkoventtiili)

Sylinterit ja letkurikkoventtiilit, jotka on osoitettu nuolilla, ovat työhön liittyviä ja siten itseni valitsemia. Hydraulikaavio on kokonaisuudessaan toisen suunnittelijan laatima. Luukkujen kaavio liittyy yhtenä osana koko koneen hydraulikaavioon.

7 Laskelmat

7.1 Hydraulisylinterin mitoitus

Sylinterin nostovoima on sylinteriin tuotettu paine kertaa sylinterin männän pinta-ala. Tätä teoriaa hyödyntäen laskettiin tarvittava sylinterin koko. (Valtanen 2009.)

Luukun massa (yksi puoli) = 1770 kg, tämä massa jaetaan kahdelle sylinterille jotka ovat 30 asteen kulmassa maahan nähden. Tästä saadaan yhdelle sylinterille voimaksi:

$$F = \frac{\frac{1770 \text{ kg}}{2} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{\sin 30^\circ} = 17364 \text{ N}$$

Käytetään laskenta-arvona 18000 N.

Laskentapaine = 120 bar = 12 MPa

Tarvittava sylinterin pinta-ala:

$$A = \frac{18000 \text{ N}}{12 \text{ MPa}} = 1500 \text{ mm}^2$$

Tästä saadaan tarvittava sylinterin halkaisija:

$$D = \sqrt{\frac{1500 \text{ mm}^2 * 4}{\pi}} = 47,3 \text{ mm}$$

Käytetään sylinterin männän halkaisijana 50 mm.

7.2 Kuormitukset laakereissa sekä luukuissa kun luukut avataan

Etteplanin lujuuslaskuosasto teki FE-analyysin, jolla tarkastettiin luukkujen pystysuuntainen taipuma sillä hetkellä, kun niiden avaus aloitetaan. Koska luukut tukeutuvat tuotoksen särkijään kiinni ollessaan, suurin taipuma saadaan silloin, kun luukkujen avaus aloitetaan. Tulokset näkyvät alla olevassa kuvassa 15.

Koska luukkujen taipuma (esitetty väripalkissa) jäi pieneksi, ei lisäjäykistystä tarvita. Taipumalle ei ollut asetettu tarkkaa kriteeriä, mutta kun tuloksena saatiin 3,78 mm maksimitaipuma, todettiin sen olevan tarpeeksi alhainen. Oletuksena oli, että kun luukkuja avataan, niin taipuma aiheuttaa luukkujen yläpäiden törmäyksen. FE-analyysin perusteella tältä kuitenkin vältytään.



Kuva 15. FE-malli luukuista kiinniasennossa.

	Kiinni				Auki			
	A [kN]	B [kN]	C [kN]	D [kN]	A [kN]	B [kN]	C [kN]	D [kN]
X	-11.5	-0.02	0.2	0.3	0.718	0	0	0.019
Y	-2.96	2.1	1.1	3.3	0.0923	2.2	1.1	3.2
Z	-1.3	-0.7	-0.04	-0.8	-0.16	0.05	0.07	0.22

Taulukko 3. FE-analyysistä saadut voimat laakeripisteissä.

Edellä olevan taulukon maksimiarvoista x- ja y-suunnassa laskettu resultantti on 11,87 kN.

$$F_r = \sqrt{11,5^2 + 2,96^2} = 11,87 \text{ kN}$$

FE-analyysistä saatujen voimien perusteella voidaan laskea laakeriin kohdistuva pintapaine, jonka tulee olla alle sallitun. Laakeri on muovia PA 6.6, jonka suurin sallittu pintapaine on 10 MPa. Pintapaineen laskussa käytetään laakeriin kohdistuvaa voimaa vastaan kohtisuoraa projektiopinta-alaa. Kuvassa 16 on esitetty luukkujen FE-malli aukiasennossa. (Pyy, Blom, Rautiainen, Lahtinen, Sampo, Nuutio, Seppänen, Pekkola, Suosara 1995.)

$$\sigma = \frac{11870 \text{ N}}{111 \text{ mm} * 70 \text{ mm}} = 1,53 \text{ MPa}$$



Kuva 16. FE-malli luukuista auki asennossa.

8 Yhteenveto

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli suunnitella luukut vaatimusten mukaan niille haluttuun käyttötarkoitukseen. Suunnittelu aloitettiin elokuussa ja saatiin päätökseen vuoden 2011 loppuun mennessä, joka oli vaadittu aikataulu.

Suunnittelun tuloksena saatiin valmistuskuvat koko laitteesta sekä 3D-malli, jota voidaan hyödyntää koneen muissa suunnittelun vaiheissa sekä tarvittaessa myöhemmissä projekteissa. Luukut valmistettiin kotelorakenteiksi ja niiden kestävyys varmistettiin FEM-malleilla. Luukut avataan hydraulisylintereillä, jotka valittiin tarkoituksen mukaan.

Suunnitteluprojekti eteni suunnitelmien mukaan. Projektin aikana olin tiiviissä yhteydessä muihin suunnittelijoihin sekä suunnittelupäällikköön. Ideoita valmisteltiin aina mahdollisuuksien mukaan useamman hengen voimin.

Tulevaisuudessa luukkuja kehitetään tarpeen mukaan. Koska prototyyppiä ei valmisteta, vaan luukut siirtyvät valmistettaviksi ensimmäisen toimitettavan laitteen osana, saadaan varmat tulokset luukkujen toimivuudesta ensimmäisten luukkujen valmistuttua.

Insinööriyölle asetetut tavoitteet saavutettiin hyvin.

Lähteet

Etteplan 2011. Avaintiedot yrityksestä.

http://etteplan.com/about-etteplan/key-facts.aspx?sc_lang=fi-FI (luettu 19.1.2012)

Sinkko, Simo 2011. Koneensuunnittelu 1. Luentomateriaali. Saimaan Ammattikorkeakoulu. Tekniikka.

Sopanen, Jussi 2011. Tuotekehitys ja 3D-suunnittelu. Luentomateriaali. Saimaan Ammattikorkeakoulu. Tekniikka.

Pyy, Seppo & Blom, Seppo & Rautiainen, Hannu & Lahtinen, Pekka & Sampo, Arto & Nuutio, Erkki & Seppänen, Pekka & Pekkola, Kari & Suosara, Eero 1995. Koneen elimet ja mekanismit. Helsinki. Painatuskeskus Oy

Valtanen, Esko. 2009. Koneenrakentajan taulukkokirja. Genesis-Kirjat.