



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

VARUSTELAATIKON AUKIPITO- JA LUKITUSMEKANISMIN KEHITYS LOKOTRACK-MURSKAINLAITOKSIIN

Seppo Lehtonen

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2018
Konetekniikka
Tuotekehitys



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikka
Tuotekehitys

LEHTONEN, SEPPO:

Varustelaatikon aukipito- ja lukitusmekanismin kehitys Lokotrack-murskainlaitoksiin

Opinnäytetyö 71 sivua, joista liitteitä 9 sivua
Huhtikuu 2018

Tampereen Lokomonkadulla toimiva Metso Minerals Oy on osa suomalaista teollisuusalan pörssiyritystä Metso Oyj:tä. Metso Minerals Oy suunnittelee sekä valmistaa laadukkaita kivenmurskauslaitoksia, joita käytetään ympäri maailman. Telaketjuilla kulkevissa murskainlaitoksissa, eli Lokotrackeissa, on runkoon kiinnitettynä varustelaatikko, joka sisältää muun muassa laitoksen ohjausyksikön. Tämän laatikon kannen aukipitomekanismi on usein yksitukinen pyörötanko, joka tukee kantta sen ollessa auki. Opinnäytetyön tehtävänä oli kehittää kyseistä aukipitomekanismia käyttäjäystävällisempään suuntaan. Lisäksi tutkitaan mahdollisuuksia käyttää kaupallista lukitusmekanismia kannen lukitukseen. Opinnäytetyö rajataan siten, että työssä käsitellään suunnittelu-, testaus- sekä jatkokehitysvaiheet vain teoreettisesti. Varsinainen tuotetestaus suoritetaan opinnäytetyön julkaisun jälkeen työn tutkimuksellisuuden sekä projektien priorisoinnin johdosta.

Nykyinen yksitukinen aukipitomekanismi on ratkaisuna toimiva, mutta sen käytön yhteydessä on silti huomattu kehityksen kohteita. Tavoite projektille oli siis kehittää PE-HD-muovista valmistetun kannen aukipitomekanismista mahdollisimman yksinkertainen niin käytön, asennuksen kuin valmistuksenkin näkökulmasta sen pysyessä kuitenkin pyörötankoa perustellumpana ratkaisuna. Toiveena oli myös tuennan muuttaminen yksitukisesta kaksitukiseen, jonka käyttöön ei kuitenkaan vaadita molempia käsiä. Lisäksi projektissa suunniteltiin varustelaatikon kannen lukitus kaupallisen lukitusmekanismin ympärille. Suunnitellut osat sekä kokoonpanot tilataan alihankkijoilta Metso Minerals Oy:n tuotantoon, jossa varustelaatikosta rakennetaan prototyyppi suunnitellun modifikaatiopiirustuksen avulla. Prototyyppi valmistuu opinnäytetyön julkaisun jälkeen keväällä 2018, jonka aikana alkaa varustelaatikon jatkokehitysprojekti prototyypistä valmiiksi, Lokotrackeihin implementoiduksi tuotteeksi.

Prototyyppi suunniteltiin Siemens NX10 -mallinnusohjelmalla. Suunnittelussa tuli huomioida ohutlevy tuotteiden suunnitteluperiaatteet, materiaalien kestävyudet sekä varustelaatikon korroosiolle altistava ympäristö. Suunnitteluun kuului myös turvallisuusriskiarviointi. Prototyypin valmistuttua se katselmoidaan; sen käytettävyyttä arvioidaan ja jatkokehityskohteet kartoitetaan. Jatkokehitystä vaatii varustelaatikon kansi, joka alihankkijan avustuksella suunnitellaan toimimaan uuden lukituksen sekä avausmekanismin kanssa saumattomasti yhteen. Käytettävyyden arviointiin sovelletaan muun muassa heuristisia arviointimenetelmiä, joilla avausmekanismin toiminnan intuitiivisuus sekä käytännöllisyys varmistetaan. Opinnäytetyön aikana valmistuneet tekniset piirustukset luovutetaan ainoastaan Metso Minerals Oy:n käyttöön.

Asiasanat: tuotekehitys, ohutlevysuunnittelu, käytettävyys

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering
Product Development

LEHTONEN, SEPPO:

Designing a New Support Method and a Locking Mechanism for the Equipment Box Cover in Lokotrack Rock Crushing Plants

Bachelor's thesis 71 pages, appendices 9 pages
April 2018

Metso Minerals Ltd. is a subsidiary of a Finnish industrial machinery company Metso that focuses on designing and manufacturing high quality rock crushing solutions for aggregates production around the world. Mobile rock crushing plants equipped with continuous tracks are called Lokotracks. Attached to the frame of a Lokotrack there is an equipment box which contains a control center among other things for operating the Lokotrack. The hinged cover of the equipment box is often held in place while open by a simple round bar supporting the cover. The objective of this thesis was to elaborate on the engineering, testing methods and further developments theoretically without taking into account actual testing of the prototype which will be carried out after the thesis is published. This arrangement was made due to the research nature of this thesis.

The task was to develop the cover support structure toward an even more functional direction. The current solution is fully functional albeit a few improvement needs were discovered recently. The objective was to design a simple support solution for the opening and closing of the PE-HD cover, especially when the usage, assembling and manufacturing is considered. Another objective was to change the support structure from one-point system to two-point system while keeping the structure operable by one hand. In addition, a locking mechanism of the equipment box cover was developed around a commercial product. The sheetmetal parts and welding assemblies designed for the prototype will be ordered from subcontractors to Metso Minerals Ltd.'s manufacturing site where the prototype of a new equipment box is assembled using a modification drawing created for the project. The prototype will be finished in the spring of 2018 after this thesis is published. During that time, a project for further development of the equipment box from a prototype to a final Lokotrack implemented product will be started.

The prototype was designed using Siemens NX10 CAD software. The sheetmetal design principles, the structural properties of the used materials and the corrosion accelerating environment on the rock crushing sites had to be taken into account when the mechanical structure of the prototype was designed. A risk analysis was also part of the project. Once the prototype is finished its functionality and performance will be reviewed. A review of performance will be carried out using heuristic evaluation methods to ensure the intuitive functioning of the equipment box. The technical drawings created as result of the thesis work are only provided to Metso Minerals Ltd.

Key words: product development, sheetmetal design, usability

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	8
2	METSO OYJ.....	9
2.1	Tuotteet.....	9
2.1.1	Lokotrack Compact.....	9
2.1.2	Lokotrack Large.....	12
2.2	Keskeiset talouden tunnusluvut sekä markkina-alueet.....	13
3	SUUNNITTELUPROSESSIN LÄHTÖKOHDAT.....	14
3.1	Nykyiset aukipitomekanismit.....	15
3.2	Pohjatiedot sekä kehityksen syyt.....	17
3.3	Laatu.....	20
4	RISKIEN HALLINTA SEKÄ RISKIARVIOINTI.....	22
4.1	Turvallisen vioittumisen periaate.....	24
4.2	Manuaalinen käyttö.....	24
4.3	Oletettava väärinkäyttö.....	26
4.4	Turvallisuusriskitaulukko.....	26
5	SUUNNITTELU.....	28
5.1	Prototyypin suunnittelupolku.....	28
5.2	Materiaalit.....	31
5.3	Ohutlevytuotteiden työstö.....	33
5.4	Rakenteen mitoitukset sekä lujuustarkastelut.....	34
5.4.1	Teräsosien mitoitus.....	35
5.4.2	Liitosten mitoitus.....	38
5.5	Osien pintakäsittely.....	42
5.5.1	Sähkösinkitys.....	44
5.5.2	Kuumasinkitys.....	45
5.6	Lukitus.....	47
6	PROTOTYYPPI.....	51
7	KÄYTTÄJÄYSTÄVÄLLISYYDEN ARVIOINTI.....	53
7.1	Heuristinen arviointi.....	53
7.2	Nielsenin säännöt.....	53
7.3	Hyötyanalyysi prototyypin valmistuttua.....	54
8	JATKOKEHITYS.....	56
9	POHDINTA.....	59
	LÄHTEET.....	61
	LIITTEET.....	63
	Liite 1. Lukituslevyn mitoitusta.....	63

Liite 2. Tukilevyn mitoitusta.....	64
Liite 3. Tukivarren mitoitusta.....	66
Liite 4. Pyörötangon mitoitusta.....	67
Liite 5. Pulttien mitoitusta.....	68
Liite 6. Uppokantapultin mitoitusta	70
Liite 7. Hitsisauman mitoitusta	71

LYHENTEET JA TERMIT

α	vääntökulma
α_v	pienennyskerroin
a_b	pienennyskerroin
A	pinta-ala, mm ²
A_s	ruuvien jännityspoikkipinta-ala, mm ²
β_w	pienennyskerroin
b	levyn paksuus sekä minimilaippakorkeus, mm
°C	celsiusaste
CAD	computer-aided design
d	halkaisija
d_0	halkaisija
E	kimmokerroin, GPa
e_1	reiän keskiön etäisyys levyn reunasta, mm
e_1	reiän keskiön etäisyys levyn reunasta, mm
F	voima, N
$F_{b,Rd}$	pultin reunapuristuskestävyys, N
$F_{t,Rd}$	pultin vetokestävyys, N
$F_{v,Rd}$	pultin leikkauskestävyys, N
f_u	perusaineen murtolujuus, MPa
f_{ub}	pultin vetomurtolujuus, MPa
G	liukkerroin
γ_{M2}	pultin sekä hitsin osavarmuusluku
h	aika, tunti
h	korkeus, mm
I_{min}	aksaalisen neliömomentin minimi, mm ⁴
k_1	pienennyskerroin
k_2	pienennyskerroin
kg	kilogramma
kk	kuukausi
l	pituus, mm
L	pituus, mm
L_n	nurjahduspituus, mm

LT	Lokotrack
MPa	megapascal
m	metri
μm	mikrometri
ml	millilitra
mm	millimetri
Mobiles	liikkuvat murskainlaitokset
M_y	myötömomentti, Nmm
N	newton
PE-HD	korkean tiheyden polyeteeni
P_n	nurjahdusvoima, N
P_2	reikien keskiöiden etäisyys toisistaan, mm
r_s	taivutuksen sisäsäde, mm
s	materiaalipaksuus
T	vääntömomentti, Nm
t	materiaalipaksuus
t	aika
v	vuosi
τ_{max}	vääntöjännityksen maksimi, MPa
W_v	vääntövastus, mm^3
x_1	reiän etäisyys taivutukseen, mm
x_2	loven etäisyys taivutukseen, mm

1 JOHDANTO

Metso Minerals Oy tuli paremmin omaan tietoisuuteeni kesällä 2017, jolloin pääsin harjoittelijaksi suunnitteluosastolle. Maailman taloustilanteen kohentuessa Metso Oyj:n intresseihin kuuluu investointi tuotekehitykseen pientenkin tuoteparannusten osalta, jotka tiukassa globaalissa kilpailussa kuitenkin ovat investoimisen arvoisia. Loppuvuodesta 2017 opinnäytetyön tullessa ajankohtaiseksi, osallistuin projektiin, jonka tarkoituksena oli tutkia mahdollisuuksia uuden aukipitomekanismin kehitykseen LT-laitosten runkoon kiinnitettyjen varustelaatikoiden osalta. Ohjeena oli kehittää mahdollisimman monta erilaista konseptia, joista arvioitujen hyötyjen mukaan valmistettaisiin prototyyppi. Projektin tavoitteena oli varustelaatikon käytön helpottaminen, mikä vaikuttaa suoraan LT-laitosten käytettävyyteen. Kehityskohteena oli aukipitomekanismin lisäksi laatikon lukitus, jonka Metso Minerals Oy:n suunnitteleman mallin rinnalle halutaan tarjota kaupallista versiota. Kaupallisia lukituksia on käytetty ennenkin, mutta täysin toimivaa ratkaisua ei ole kuitenkaan vielä löytynyt.

Projektin tavoite tulevaisuuden kannalta on myös perehtyä suunniteltujen ratkaisujen modulaarisuuteen, jolloin samaa aukipito- ja lukitusmekanismien ratkaisuja voitaisiin käyttää useissa eri varustelaatikkomalleissa, sekä muissakin kannellisissa kokoonpanoissa sähkökaapeista moottorimoduuliin asti. Opinnäytetyössä keskitytään kuitenkin vain yhden prototyypin kehittämiseen, sekä tuotetestauksen suunnitteluun. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että projektissa valmistuneet osat tilataan eri alihankkijoilta, ja lopullinen prototyyppi valmistuu opinnäytetyön julkaisun jälkeen Metso Minerals Oy:n tuotannossa, jossa se testataan. Prototyypin testauksen jälkeen alkaa tuotekehitysprojekti prototyypistä valmiiksi tuotteeksi, joka alkaa hyväksymisen jälkeen kesällä 2018. Prototyyppi on myös sijoitettavissa sellaisenaan asiakkaiden käyttöön. Tästä johtuen prototyypin tulee olla kehitysvaiheesta huolimatta toimiva ratkaisu modifioitavine osineen. Ensisijainen tavoite on silti vain prototyypin valmistuminen koekäyttöön.

Aikaa projektille varattiin noin kolme kuukautta, joka sisältää projektin vaiheet alkusuunnittelusta prototyypin testauksen suunnitteluun. Opinnäytetyön rajauksesta sekä projektien priorisoidusta aikataulusta johtuen valmisteilla olevan prototyypin testaus vain ohjeistetaan.

2 METSO OYJ

Metso Oyj kuuluu alallaan maailman johtaviin teollisuusyrityksiin, joka tuottaa palveluita muun muassa prosessi-, kaivos- sekä kivenmurskausteollisuuden tarpeisiin (Metso Vuosikatsaus 2017, 4). Metso Oyj:n tytäryhtiö Metso Minerals Oy palvelee näistä kivenmurskausalaa suunnittelemalla sekä valmistamalla kivenmurskauslaitoksia.

2.1 Tuotteet

Metso Minerals Oy:n tuotteisiin kuuluu Lokotrack-murskain- sekä seulalaitokset, joita Tampereen toimipisteessä suunnitellaan. Suunnittelua tehdään kaikkiin laitosratkaisuihin, mutta valmistukseen kuuluu vain LT-laitokset, joita uudella Speedline 2-tuotantolinjalla kootaan.

Lokotrack-kivenmurskainlaitokset jaotellaan kahteen ryhmään: Compact sekä Large. Näitä tuoteryhmiä käsitellään seuraavissa luvuissa.

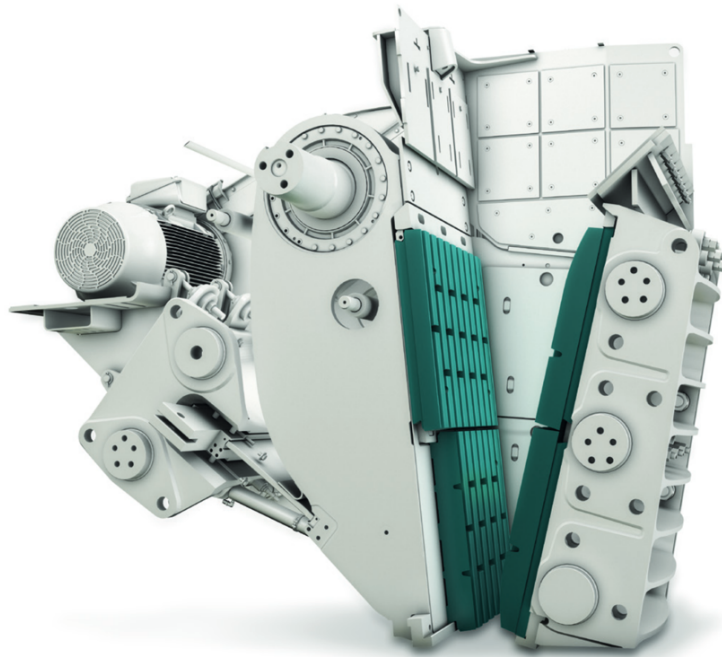
2.1.1 Lokotrack Compact

Compact-tuoteryhmä koostuu Lokotrack-laitosten pienimmistä malleista. Mallistoon kuuluu muun muassa LT106 (kuva 1).



KUVA 1. LT106 (Kuva: Metso Oyj 2013)

LT106-mallissa kivenmurskaus tapahtuu leukamurskaimella (kuva 2), jossa epäkeskoakseli liikuttaa toista leukapuoliskoä pyörivässä edestakaisessa liikkeessä.



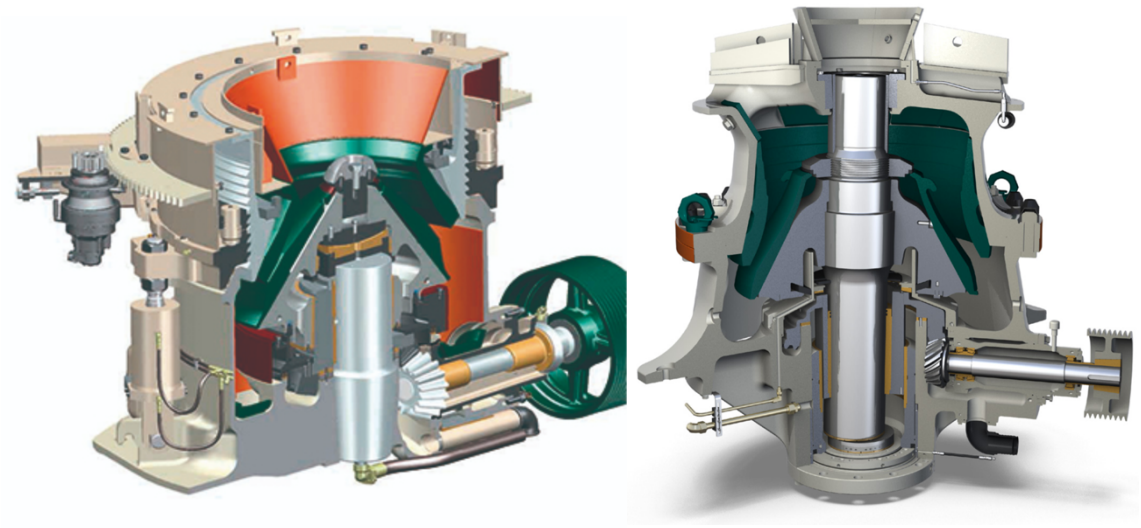
KUVA 2. C-murskain eli leukamurskain (Kuva: Metso Oyj 2014)

LT Compact-ryhmään kuuluu pienten leukamurskainten lisäksi muun muassa kartiomurskainlaitokset LT200HPS (kuva 3) sekä LT200GP.



KUVA 3. LT200HPS (Kuva: Metso Oyj 2014)

Kuvassa 4 näkyy vasemmalla HP-murskain ja oikealla GP-murskain. Molempien toimintaperiaate on hyvin samantapainen, sillä molemmissa kiviaines lasketaan murskaimen suppiloon, jossa epäkesko akseli pyörittää murskaavaa kartiota.



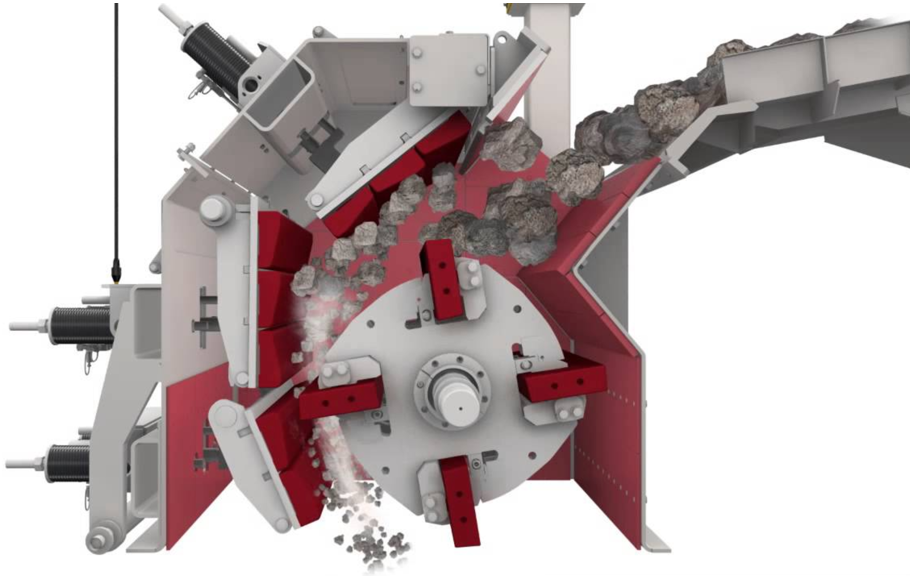
KUVA 4. HP- ja GP-murskaimet (Kuva: Metso Oyj 2014)

LT Compact- tuotteita ovat vielä pienet iskupalkkimurskaimet kuten LT1213S (kuva 5).



KUVA 5. LT1213S (Kuva: Metso Oyj 2014)

Iskupalkkimurskaimessa akseli pyörittää iskupalkkeja, jotka sinkoavat kiviaineksen kulutuslevyjä päin (kuva 6).



KUVA 6. NP-iskupalkkimurskain (Kuva: Metso Oyj 2014)

2.1.2 Lokotrack Large

Lokotrack Large-tuotteet ovat samoja kuin Compact-tuotteetkin, mutta erona on suurempi koko, johon viittaa nimityskin. LT Large-ryhmään kuuluu esimerkiksi leukamurskainlaitos LT120, kartiomurskainlaitokset LT300GP (kuva 7) ja LT300HP sekä vielä suurempi kartiomurskainlaitos LT330D.



KUVA 7. LT300GP (Kuva: Metso Oyj 2013)

Kuten kuvista 1-7 huomataan, Lokotrack-murskainlaitokset eivät eroa ulkonäöltään suuresti toisistaan murskaimen muuttuessa. Suurin muutos ulkonäössä johtuu laitoksiin asennetuista varusteista, kuten lisäkuljettimista.

2.2 Keskeiset talouden tunnusluvut sekä markkina-alueet

Metso Oyj:n liikevaihto vuonna 2017 oli 2 706 miljoonaa euroa. Liikevoittoa (EBIT) tästä kertyi 218 miljoonaa euroa. Nousua edellisvuoteen tuli 5 prosenttia ja saadut tilaukset kasvoivat 9 prosenttia. Kivenmurskausteollisuuden osuus liikevaihdosta, johon Metso Minerals Oy kuuluu, oli 920 miljoonan euron osuudellaan 34 prosenttia. (Metso Vuosikatsaus 2017, 3, 6, 26.)

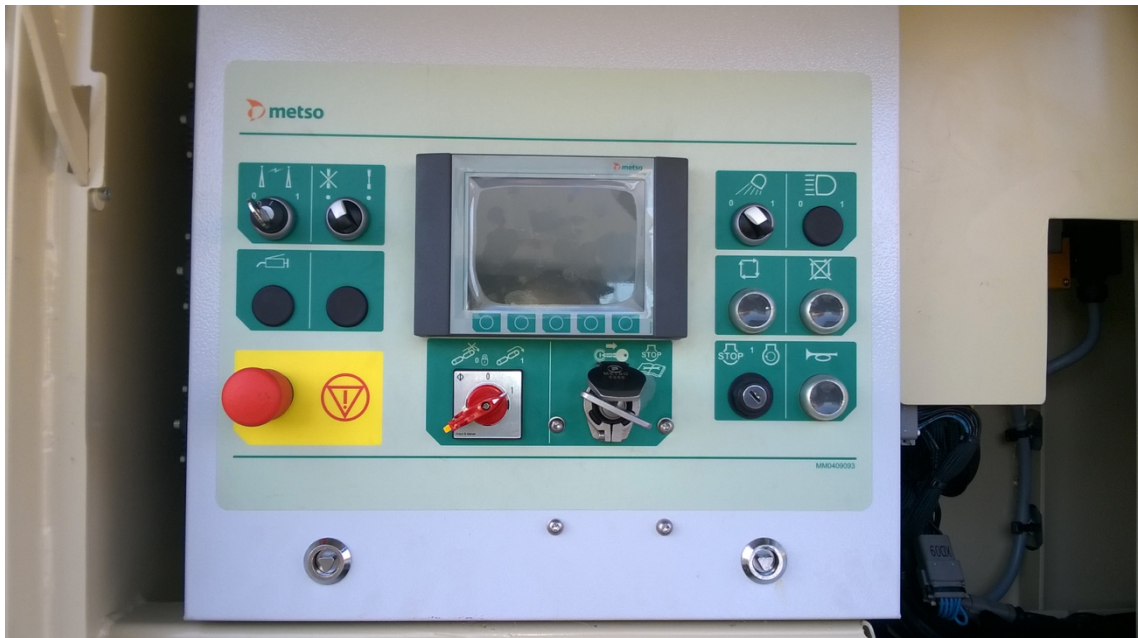
Suurimmat markkina-alueet sijaitsevat Euroopassa sekä Aasiassa. Euroopan liikevaihto oli 685 miljoonaa euroa, Aasiassa hieman vähemmän. Myös Pohjois- ja Etelä-Amerikan markkinat ovat verrattain suuret noin 550 miljoonan euron liikevaihdoillaan. (Metso Vuosikatsaus 2017, 5). Kuvista 1 nähdään Metso Oyj:n liikevaihdon kehitys vuodesta 2016 markkina-alueittain.



KUVIO 1. Metso Oyj:n liikevaihto markkina-alueittain (Metso Vuosikatsaus 2017, 24)

3 SUUNNITTELUPROSESSIN LÄHTÖKOHDAT

Projektin tavoitteena on parantaa varustelaatikon käytettävyyttä. Tästä syystä suunnittelun perustana tulee olla nimenomaan käyttäjäkeskeinen lähestymistapa, jossa pyritään suunnittelemaan tuote loppukäyttäjän näkökulmasta. Näin loppukäyttäjä saa tehokkaamman käyttäjäkokemuksen. Parhaassa tapauksessa käyttäjä ei tule kiinnittämään mitään huomiota varustelaatikon kannen lukituksen avaamiseen tai sulkemiseen, saati itse kannen avaamiseen ja sulkemiseen, sillä ne ovat vain pakollisia välivaiheita itse päämäärän edellä, joka on luonnollisesti pääsy laatikon sisältöön, eli usein LT:n käyttöön tarvittavan IC-ohjausyksikköön (kuva 8) tai sen suojaamiseen ympäristöltä.



KUVA 8. LT1110 IC-yksikkö (Kuva: Metso Oyj 2017)

Nykyiset avaus- ja lukitusmekanismit, joita on käytössä Lokotrack-laitoksissa useita erilaisia, toimivat kuitenkin vaativissakin olosuhteissa moitteettomasti. Nämä ratkaisut esitellään tarkemmin luvussa 3.1. Siksi on ensiarvoisen tärkeää olla muuttamatta mekanismin rakennetta niin radikaalisti, ettei se enää toimikaan oletetusti, vaan tuotteesta tulee itse asiassa hankalampi käyttää. Tuotekehitystä voi siis esiintyä myös huonompaan suuntaan, vaikka tavoitteena on aina toiminnan ehostaminen. Suunnittelun alkuun on siis hyvä määrittää, mistä varustelaatikon toiminnassa on pohjimmiltaan kyse, miten ratkaisut on toteutettu ennen ja miksi niiden rakenne on sellainen kuin on (Saariluoma 2004, 157).

Siten ongelmaa voidaan lähestyä siltä kannalta, miten toiminta saataisiin todellisesti paremmaksi, eikä vain korjata tai kopioida nykyisiä (vanhoja) ideoita. Projektin aikaansaannos voi mahdollisuuksien mukaan myös toimia universaalina mekanismina, jolloin useita eri versioita avaus- ja lukitusmekanismeista ei enää tarvita.

Vaikka kannen avauksen mekaniikka on suunnittelun näkökulmasta suhteellisen yksinkertainen, on suunnittelussa huolehdittava muun muassa siitä, että kannen jääminen auki asentoon on käyttäjän kannalta looginen. Kannen avaamiseen, jättämiseen auki sekä sulkemiseen ei voida käyttäjältä vaatia erillisten manuaalien tai varo-ohjeiden lukemista, joita ihmiset usein vielä laiminlyövät (Saariluoma 2004, 14). Tästä syystä muotoilun tulee olla mahdollisimman yksinkertainen ja intuitiivinen käyttää. Lisäksi on huolehdittava sekä valmistuksen rajoitteista että asennuksen ja huollon helppoudesta. Tuotehinta on myös erittäin iso kysymys tuotekehitysprojekteissa, sillä mahdollinen yksikköhinnan kasvu nykyisiin malleihin verrattuna tulee olla perusteltua.

3.1 Nykyiset aukipitomekanismit

Nykyisissä Lokotrack-murskainlaitoksissa on käytössä erilaisia kannen avaus- ja lukituskoonpanoja muun muassa varustelaatikoiden yhteydessä, kuten edellisessä luvussa mainittiin. Tuotekehitysprojekti kohdistuu näistä kuvan 9 malliin, mutta on tulevaisuudessa tarpeen tullen mukautettavissa kolmeen muuhunkin.



KUVA 9. LT120:n varustelaatikko (Kuva: Metso Oyj 2015, muokattu)

Syy usealle ratkaisulle on yksinkertainen: varustelaatikot eivät kaikki ole samanlaisia, vaan ääriimitat sekä muu muotoilu vaihtelevat mallista toiseen lähinnä varustelaatikon fyysisen sijainnin ja sisällön takia.

Esimerkit näistä kolmesta erilaisesta varustelaatikosta ja niiden avausmekanismeista näkyy kuvissa 10-12. Kuvan 10 aukipitomekanismi on kaksitukinen malli kaareutuvilla tukivarsilla. Kuvaan 10 on lisätty kannen aukipitomekanismin piirustus selkeyden vuoksi.



KUVA 10. LT1110S:n varustelaatikko (Kuva: Metso Oyj 2005, muokattu)

Kuvan 11 malli on samanlainen kuvan 10 kannen keskeltä yksitukisesti tuetun mallin kanssa, mutta lisäksi on kaasujouset kannen molemmilla laidoilla.



KUVA 11. LT1215UG:n varustelaatikko (Kuva: Metso Oyj 2008)

Viimeisenä mekanismina käsitellään kuvan 12 malli, jossa kannen avauksessa ja aukipidossa käytetään vain kaasujousia.



KUVA 12. LT1215UG:n varustelaatikko (Kuva: Metso Oyj 2008)

3.2 Pohjatiedot sekä kehityksen syyt

Prototyyppi suunnitellaan ensisijaisesti kuvan 9 varustelaatikon pohjalta, koska se on ainoa laatikkomalli, jonka kannen aukipitoon käytetään yhden tukipisteen ratkaisua. Siinä kansi tuetaan teräksisen pyörötangon varaan. Se on silti täysin toimiva, halpa ja helppokäyttöinen tapa pitää kantta auki: samaa ideaa on käytetty esimerkiksi autojen konepellin aukipitoon.

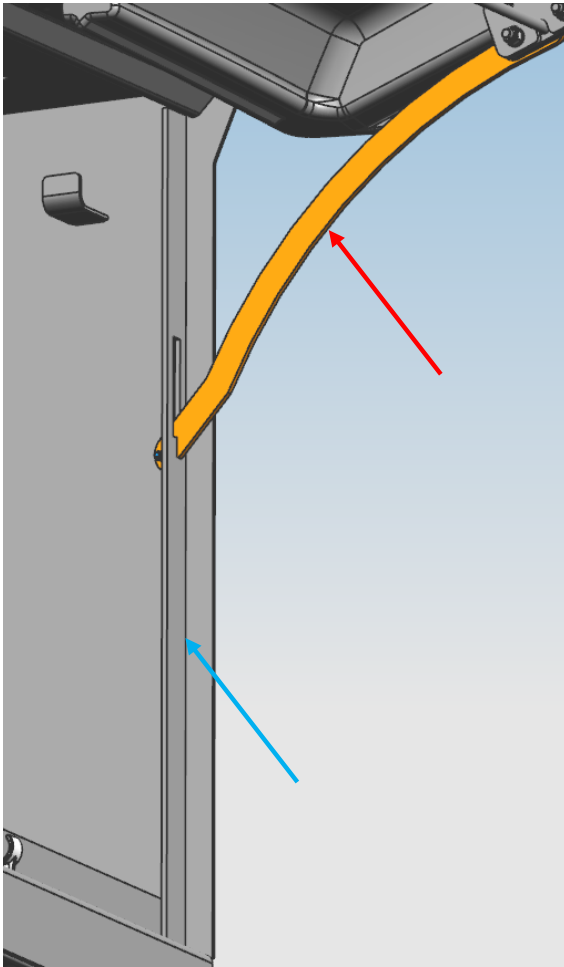
Yksitukinen rakenne on käytössä useimmissa Lokotrack-malleissa, mutta esimerkiksi LT1100-laitoksessa on käytössä kuvan 10 mukainen kaksitukinen ratkaisu. Kehityksen tarve johtuu kuitenkin esimerkiksi LT106:n varustelaatikon muovikannesta, joka saattaa vääntyä ajansaatossa, jos tuenta tapahtuu vain yhdestä pisteestä. Tulevaisuutta ajatellen kehitystyö on tärkeää, sillä myös kaasujousissa on Metso Oyj:n tiedon mukaan havaittu olevan toiminnan heikkenemisen mahdollisuus varsinkin äärimmäisissä käyttöolosuhteissa, oli kyseessä pakkanen tai lika. Tästä johtuen myös muissakin varustelaatikkomalleissa on kehitykselle tarvetta. Kriittistä ja akuuttia tarvetta muutokselle ei silti ole, mutta on hyvä kartoittaa mahdollisia toiminnan parannuksia jo ennen ongelmien syntymistä. Kaasujousien varassa aukipidettäviä kansiä löytyy myöskin Metso Oyj:n kilpailijoiden tuotteista, kuten Powerscreen Pegson XA750-leukamurskainlaitoksesta (kuva 13), joka

viittaa nykyisten ratkaisujen toimivuuteen. Silti kaasujousitoiminen rakenne ei välttämättä ole aina kustannustehokkain jokaiseen laatikkomalliin, joten universaaliksi ratkaisuksi ei sitäkään voi suunnitella tällä hetkellä. Kaasujouset saattavat myös kuoleentua pitkäkestoisen käytön jälkeen, vaikkei ympäristön jousiin kohdistama rasitus olisikaan suurta. Opinnäytetyössä keskitytään siten parannusehdotusten laatimiseen ja prototyypin kehittämiseen juuri kaasujousittomista malleista.



KUVA 13. Pegson XA750-laitoksen varustelaatikon kaasujouset (Kuva: Metso Oyj 2016)

Kuvan 10 kaksitukinen, ilman kaasujousia käytettävä varustelaatikon malli ei ole myöskään käytännöllinen kaikissa LT-murskainlaitoksissa, koska tilaa varustelaatikoissa saattaa olla varusteista riippuen erittäin vähän. Kuvan 10 rakenteen ongelma onkin juuri suhteellisen suuri tilantarve, kun tukivarret liukuvat laatikon sisälle kannen sulkeutuessa. Tukivarret saattavat silloin takertua sähkökaapeleihin, jolloin kannen liikkeestä tulee takeltelevä. Tukivarret ovat nivellettyjä vain kannenpuoleisesta päästä ja näin ollen tukivarret hankaavat tukilevyn ohjurihahloa vasten (kuva 8), josta aiheutuu tukivarsien laahaamista ja liikettä haittaavaa kitkaa. Tukivarren toimintaperiaatetta kuvataan kuvassa 14, jossa punaisella nuolella osoitetaan tukivartta ja sinisellä tukilevyä. Kuva 14 ei vastaa mittasuhteiltaan käytössä olevaa rakennetta, mutta tukivarren sekä –levyn muotoilu vastaa.



KUVA 14. Tukivarren toimintaperiaate

Kaksitukisissa malleissa on usein poikittainen pyörötanko, joka yhdistää kaksi tukivartta toisiinsa, jotta jompaakumpaa tukivartta työntämällä varren lovet nousisivat tukilevyjen hahloista ja kansi saataisiin kiinni. Tätä varret yhdistävää pyörötankoa halutaan myös muuttaa halkaisijaltaan isommaksi nykyisestä 10mm:stä, jotta välttyttäisiin suurilta tangon vääntökulmilta; tangon pituus tulee prototyypissä olemaan noin 1500mm, johon voi kohdistua suuriakin vääntömomenteja varustelaatikon käytön yhteydessä. Tanko on kuitenkin tärkeä, koska edellä kuvatut kaksitukiset kansimallit halutaan jatkossakin suljettaviksi niin, että toisen käden tukiessa kantta, toisen ei tarvitse liikuttaa molempia tukivarsia erikseen. Tukivarsien täytyy siis olla jotenkin yhdistettyinä toisiinsa, jotta haluttu toiminto onnistuisi.

Tukivarsien kiinnitys itse kanteen on myös suunnittelun kohteena, sillä prototyypin muovikannen sisäpinta ei ole muotoilunsa ansiosta yhtä suora kuin kuvien 10 ja 12 teräksissä malleissa, joissa on käytetty joko kaupallisia pulttikiinnitteisiä putkenkiinnittimiä

tai hitsattuja korvakkeita. Kuvan 9 muovikannen sisäpinnan kaarevasta muotoilusta johdun putkenkiinnittimien käyttö voi olla hankalaa. On hyvä kuitenkin muistaa, että myös kansi tulee prototyypin valmistumisen jälkeen muuttumaan sopivaksi projektissa valmistunutta avausmekanismia varten valmistajan päivittäessä kannen valumuottia.

3.3 Laatu

Käsitteenä laatu on hieman hankala, sillä sitä on usein vaikea määritellä, vaikkakin laadusta on jokaisella ihmisellä jonkinlainen mielipide. Laatu koetaan epämääräiseksi, mutta positiiviseksi asiaksi (Ruuska 2008, 234). Juuri laadun subjektiivisen luonteen vuoksi laatua on sinänsä vaikea määritellä projektin tavoitteena, sillä Ruuskan (2008, 234) mukaan laatu voidaan usein ymmärtää myös väärin: esimerkiksi laadulla ja tuotteen hinnalla ei ole suoranaista tekemistä toistensa kanssa. Hyvänä laadun mittarina voidaankin käyttää sitä, kuinka hyvin saatu lopputulos vastaa asetettuja tavoitteita (Ruuska 2008, 234).

Laatua ei siis voida mitata tai kehittää yksittäisenä, kontekstista irrallisena asiana. Laatu koostuu pienistä asioista, joita saadaan aikaa niin täsmällisellä suunnittelulla kuin tarkalla valmistuksellakin. Suunnitteluvaiheessa on mahdollisuus juuttua kehittämään sinänsä tärkeitä osia tai kokonaisuuksia liian pitkäksi aikaa, mikä aikataulun venymisellä sekä sitä kautta kustannusten kasvulla vaikuttaa negatiivisesti laatuun. (Ruuska 2008, 236.) Suunnitteluun juuttuminen on tiedostettu jo projektin alettua, ja siinä auttavat usein kokeneet vanhemmat suunnittelijat, jotka kokemuksellaan tietävät, milloin tuotekehitys ajautuu niin sanotusti ylisuunnitteluksi. Projektille on asetettu myös selkeät tavoitteet, joiden täytyttyä hyväksyttävissä määrin voidaan olettaa tuotteen olevan laadukas, ja asiakkaalle hyödyksi.

Kyseinen projekti ei ole suuri tuotemuutosprojekti, jonka läpiviennissä käytetään laatustandardeja, vaan suunnittelussa keskitytään ensisijaisesti suunnittelun virheettömyyteen sekä valmistusohjeiden selkeyteen. Tähän pyritään muun muassa sillä, että suunnittelun edetessä järjestetään erityisiä katselmointeja, joihin osallistuu useampi asiantuntija Mobiles-tuotteiden (joihin Lokotrack kuuluu) parista. Katselmointien tarkoituksena on käynnistää aivoriihi, jonka tuloksena voi kollektiivisesti syntyä parempia ideoita verrattuna yhden suunnittelijan tuotoksiin. Näin vältetään myös useimmilta suunnitteluvirheiltä, joiden korjaaminen myöhemmin, varsinkin prototyypin valmistuttua, on kallista ja hankalaa

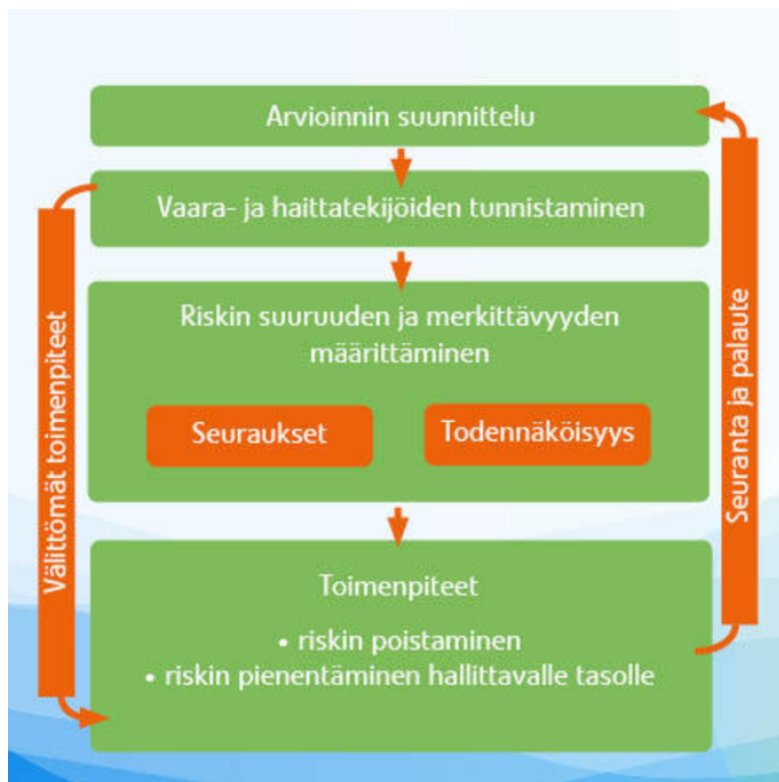
(Ruuska 2008, 245). On kuitenkin muistettava, että valmistunut prototyyppi ei välttämättä vastaa millin tarkkuudella CAD-malleja, eikä kaikkia tuotemodifikaatioista johtuvia mahdollisia suunnittelu- tai valmistusvirheitä voida aina poistaa. Siksi projektin tarkoituksena on ensisijaisesti tuottaa prototyyppi, jonka perinpohjaisen testauksen jälkeen se voidaan joko liittää osaksi nykyisiä tuotteita tai palauttaa jatkosuunnitteluun. Muutostarpeet eivät kuitenkaan aina johdu suunnittelu- tai valmistusvirheistä, vaan ne ovat osa tuotekehitysprojekteja, joissa on alkuvaiheessa mahdotonta ottaa kaikkia eteen tulevia tilanteita huomioon (Ruuska 2008, 245).

Laatuun liittyy olennaisesti myös riskien hallinta, jonka tarkoituksena on vähentää projektin epävarmuustekijöitä (Ruuska 2008, 248). Ruuskan (2008, 248) mukaan riskien hallinta on varautumista odottamattomiin tilanteisiin, joissa pieniltä ja projektin kannalta mitättömiltäkin tuntuvat potentiaaliset ongelmat saattavat eskaloitua lisäkustannuksiin sekä aikataulun pitämättömyyteen. Riskitekijöitä sekä niiden tunnistamista käsitellään laajemmin seuraavassa luvussa.

4 RISKIEN HALLINTA SEKÄ RISKIARVIOINTI

Suunnittelijan toimenkuvaan kuuluu myös riskien hallinta suunnittelutyön aikana. Koneturvallisuuteen liittyvien riskien arvioinnissa käytetään kuitenkin yksityiskohtaisempaa arviointia kuin mitä tämän opinnäytetyön prototyypin suunnittelun aluksi tehdään. Koneturvallisuuteen liittyviä asioita sivutaan projektiaiheen puitteissa kuitenkin luvussa 4.1. ja 4.2, joissa käsitellään niin sanottua Fail Safe-periaatetta eli turvallisen vioittumisen periaatetta sekä tuotteen manuaalista käyttöä. Tämä johtuu siitä, että varustelaatikon kohdalla riskejä ei oleteta kohtuuttomasti ilmenevän, mutta oleellimmat niistä on kerätty turvallisuusriskitaulukkoon, jota käsitellään tarkasti luvussa 4.4.

Turvallisuusriskiarvioinnin läpiviemisessä voidaan käyttää kuvan 15 kaltaista vuokaaviota, jossa saadaan johdonmukaisesti käsiteltyä tarvittavat turvallisuuskysymykset. Näin kartoitetaan muun muassa mahdolliset vaarat ja riskit, joita ei saada poistettua kokonaan. (Työturvallisuus- ja työterveysriskien tunnistaminen ja arviointi n.d.) Klassinen projektihallinnan teoria perustuu juuri siihen, että yksityiskohtainen suunnittelu ja huolellinen valvonta sekä tuotetestaus takaavat onnistuneen lopputuloksen (Ruuska 2008, 248).



KUVA 15. Riskienhallintaprosessin vuokaavio (Kuva: Työturvallisuuskeskus n.d.)

Riskiarvioinnin suunnittelun ja vaaranpaikkojen tunnistamisen jälkeen voidaan arvioida löydettyjen riskien merkitys ja suuruus käyttäjän terveydelle sekä turvallisuudelle, kuten kuvan 15 vuokaaviossa ohjataan. Vaaranpaikat tunnistetaan helpoimmin selvittämällä tuotteen käyttötapoja, havainnoimalla itse käyttöä sekä haastatteleamalla tuotteen käyttäjää. Seuraavaksi toteutetaan ne toimenpiteet, joilla riski saadaan parhaimmassa tapauksessa poistettua, mutta vähintään sitä tulee pienentää siedettävälle tasolle. Riskien suuruus muodostuu vaaran toteutumisen todennäköisyydestä sekä siitä aiheutuvista terveys- ja turvallisuushaitoista. (Työturvallisuus- ja työterveysriskien tunnistaminen ja arviointi n.d.) Riskien syy- ja seuraussuhteita voidaan määrittellä seuraavien Työturvallisuuskeskuksen määrittämien kysymysten perusteella:

- Haitan luonne ja vakavuus
- Seurausten laajuus
- Haitan palautuvuus/palautumattomuus
- Haitallisten vaikutusten kesto
- Haitallisen tapahtuman esiintymistiheys
- Haitallisen tapahtuman kesto
- Mahdollisuudet ennakoita haitallisen tapahtuman esiintyminen
- Mahdollisuudet ehkäistä haitallinen tapahtuma

Riskien merkittävyyttä määritettäessä arvioidaan, onko riski siedettävällä tasolla. Merkittävyyden määrittämisessä myös priorisoidaan riskien hallitsemiseen tarvittavat toimenpiteet. (Työturvallisuus- ja työterveysriskien tunnistaminen ja arviointi n.d.) Tällaisella arvioinnilla pyritään etsimään ne tekijät, jotka voivat vaikeuttaa projektin lopputuloksen saavuttamista. Tarkoitus ei ole kuitenkaan lähteä eristämään jokaista mahdollista riskiä, joka käsittää myös 'jossittelun' (Ruuska 2008, 250-251). Riskit tulee siis kvantifioida eli tässä tapauksessa asettaa tärkeys- tai kriittisyysjärjestykseen. Kvantifiointi tapahtuu kertomalla riskin vaikutus sen prosentuaalisella todennäköisyydellä (koneturvallisuusstandardin SFS-EN 1005-2+A1 riskien arviointitaulukoihin perustuvaa laskentaa ei käsitellä erikseen).

Riskin aiheuttama rahallinen vahinko on usein hyvin vaikea arvioitava. Riskiarviointiin on kuitenkin myös muita subjektiivisempia keinoja, kuten aiheutuneen haitan kiusallisuus, vähäisyys tai vakavuus. (Ruuska 2008, 251.) Tärkeintä on kuitenkin se, että riskien suuruusluokka voidaan jollain tavalla arvioida ja että riskit voidaan suhteuttaa toisiinsa.

Projektissa tulee keskittyä niistä suurimpien riskien hallintaan. (Ruuska 2008, 252.) Opin-
näytetyössä keskitytään kuitenkin vain turvallisuusriskien käsittelyyn.

4.1 Turvallisen vioittumisen periaate

Turvallisen vioittumisen mukainen suunnittelu lähtee liikkeelle siitä olettamuksesta, että rakenne voi vaurioitua jo suunnitellun käyttöikänsä aikana. Rakenne suunnitellaan kestä-
mään tietty aika tietyssä kuormituksessa, mutta inhimillisestä virheestä suunnittelussa,
valmistuksessa tai käytössä johtuen hajoaminen voi tapahtua jo aikaisemminkin. (Björk,
Hautala, Huhtala, Kivioja, Kleimola, Lavi, Martikka, Miettinen, Ranta, Rinkinen & Sa-
lonen 2014, 29.) Siksi vaurion tapahtuessa kuormituksella tulisi olla vaihtoehtoisia pol-
kuja rakenteessa, jotta välttyttäisiin totaaliselta vauriolta. Tällainen rakenne on juuri kak-
situkinen varustelaatikon kannen tuki, jonka esimerkiksi toisen tukivarren hajotessa toi-
nen varsista (pyörötangon lisäksi) pitää kantaa auki estäen hallitsemattoman kannen sul-
keutumisen ja puristumisvaaran aiheutumisen. Rakenteen tulee siten kantaa kuorma vä-
hintäänkin tyydyttävästi. Tällä perustellaan lisäksi pelkän yksitukisen pyörötangon käyt-
tämisestä luopumista ja tuotekehitysprojektin aloittamista.

4.2 Manuaalinen käyttö

Varustelaatikon sekä muiden laatikoiden kansien avaus ja sulkeminen tapahtuu luonnol-
lisesti käsin. Siksi suunnittelussa on tärkeää kiinnittää huomioita turvallisuusriskienhal-
linnan lisäksi myös ergonomisiin tekijöihin eli siihen, miten ihmisen ja koneen vuorovai-
kutusta organisoidaan (Saariluoma 2004, 10). Hyvän ergonomian varmistamiseksi apuna
käytetään koneen ja sen osien manuaalisen käsittelyn standardia SFS-EN 1005-2+A1.
Kaikkia kyseisen standardin kohtia ei kuitenkaan käsitellä, koska ne eivät ole kaikki so-
vellettavissa kannen avaukseen, sillä standardi käsittää myös esimerkiksi kehon kierty-
misen tai maasta nostamisen huomioimisen, mitä ei kannen avauksessa ja sulkemisessa
tapahdu.

Tärkein huomioonotettava tekijä projektin kannalta on koneenkäyttäjän kannattelema
massa manuaalisen käytön aikana. Maksimimassamäärä ammattikäytössä on 25kg (SFS-
EN 1005-2+A1 2009, 18). Laatikon kansi on PE-HD muovia, eikä massaa näin ole kuin

20kg. Kansi on vielä saranoitu laatikkoon, jolloin kannen koko massa ei kohdistu käyttäjän käteen, vaan itse laatikko ottaa kuormaa vastaan. Laskenta on suoritettu jo aikaisempien kansimallien suunnittelun aikana, joten sitä ei enää tarvitse tehdä. On kuitenkin valvottava, ettei uuden prototyypin avausmekanismin tuoma lisäpaino aiheuta 25kg:n kokonaispainorajan ylittämistä.

Ergonomian ja käyttöturvallisuuden yhdistelmä muodostaa lopulta käytettävyyden. Käytettävyydellä tarkoitetaan sitä, kuinka helppoa, miellyttävää ja hyödyllistä käyttö on (Saariluoma 2004, 11). Käytettävyys tarkoittaa myös käyttösuorituksen tehokkuuteen sekä virheettömyyteen ohjaamista, jolloin ihminen tekee vähemmän virheitä käytön aikana (Saariluoma 2004, 10). Kannen avaus, sulkeminen sekä lukituksen käyttö tulee olla niin yksinkertaista ja vaivatonta, että kaikkiin työvaiheisiin pystyy ihminen taidoista tai fyysisistä ominaisuuksista riippumatta. Käytettävyttä suunniteltaessa on siis hyvä huomioida, että ihmisten motoriikassa, lihasvoimassa sekä fyysisessä koossa on huomattavia eroja. Lisäksi tulee välttää rakenteita, joiden käyttö vaatii erillisiä varo-ohjeita, joita ihmiset usein laiminlyövät (Saariluoma 2004, 66). Tämä johtaa muun muassa siihen, ettei kannen etureunan tule nousta liian korkealle auki-asentoon lukitusta varten, jota lyhyemmän ihmisen voisi olla vaikea saavuttaa. Kuvassa 16 näkyy varustelaatikon sijainti LT106-mallissa.



KUVA 16. LT106:n varustelaatikon sijainti suhteessa käyttäjään

LT106 on pienimmästä päästä LT-laitoksia, ja silti varustelaatikon kansi nousee suhteellisen korkealle. Tästä johtuen pyörötangon pään kiinnittäminen kannen lovetukseen voi olla kurottelun takia hankalaa. Kaksitukisessa versiossa tätä ongelmaa ei ole, sillä tukivarret riippuvat kiinnityksensä ansiosta kannesta, jolloin auki-asentoon lukitus tapahtuu suunnilleen koneenkäyttäjän hartialinjan kohdalla (varustelaatikon puolessavälissä).

4.3 Oletettava väärinkäyttö

Kunnolliseen koneturvallisuuden suunnittelutyöhön kuuluu myös tiettyjen olettamusten tekeminen, kun on kyse turvalaitteista tai –mekanismeista. Tässä projektissa yksi oleellisimmista on se, että varustelaatikon kansi tulee olla kiinni Loktrackin käytön aikana heti käynnistyksen jälkeen, koska murskaimen aiheuttama resonanssi rungossa (vaimennuksista huolimatta) voi vaikuttaa aukipitomekanismin stabiiliuuteen negatiivisesti. Ei voida kuitenkaan olettaa, että niin aina toimitaan, joten kannen aukipitomekanismi suunnitellaan tämän tyyppinen 'väärinkäyttö' mielessä. Erilaiset turvalaitteet, kuten valoportit, magneettitunnistimet yms. laitteet, jotka estäisivät esimerkiksi Loktrackin liikuttamisen kansi avonaisena, ovat varustelaatikon riskitekijöihin sekä järkevään suunnitteluun nähdessä tarpeettoman kalliita. Jos kantta pidetään jatkuvasti auki, voi laajalti käytössä oleva yksitukinen aukipitomekanismi (kuva 9) aiheuttaa kannen hallitsemattoman sulkeutumisen, jos tukitankoon tulee syystä tai toisesta isku, joka kaataa tai irrottaa sen kannen kiinnikkeestä. Mahdollista on myös kannen tukeminen toisella kädellä toisen operoidessa ohjausyksikköä, jolloin otteen livetessä kannesta se tipahtaa käyttäjän päälle. Kannen avausmekanismin tulee siten olla niin käyttäjäystävällinen, ettei käyttäjälle tule tarvetta jättää kantta tukematta kunnolla 'ylimääräisen työvaiheen' takia, joka yksitukisen mekanismin kohdalla tarkoittaa tuen nostamista paikoilleen.

4.4 Turvallisuusriskitaulukko

Turvallisuusriskiarvioinneista saatu tieto yhdistetään taulukon 1 avulla, jota tilanteen mukaan muokataan vastaamaan kysymyksiin riippuen varustelaatikon toimintaan liittyvistä riskeistä sekä vaaratilanteista aiheutuvista vammoista ja haitoista.

TAULUKKO 1. Tapaturmariskien suuruuden määrittäminen (Murtonen 2015, muokattu)

Riskitaulukko	Seuraukset		
	Vähäiset Ohimenevät lievät vaikutukset, nyrjähdykset, mustelmat	Haitalliset Pitkäkestoiset vakavat vaikutukset, pysyvät lievät haitat, murtumat	Vakavat Pysyvät vakavat vaikutukset, työkyvyttömyys, kuolema
Epätodennäköinen Satunnainen vaaratilanne, esiintyy harvoin	1 Merkityksetön riski	2 Vähäinen riski	3 Kohtalainen riski
Mahdollinen Vaaratilanteet päivittäisiä, Läheltä-piti-tapauksia ilmennyt	2 Vähäinen riski	3 Kohtalainen riski	4 Merkittävä riski
Suuri Vaaratilanteita esiintyy usein ja säännöllisesti. Tapaturmia on sattunut	3 Kohtalainen riski	4 Merkittävä riski	5 Sietämätön riski

Tulokset kriittisimmistä riskeistä nähdään taulukosta 2, josta huomataan varustelaatikon aukipitomekanismiin liittyvien ensisijaisten riskien olevan suhteellisen merkityksettömiä.

TAULUKKO 2. Turvallisuusriskiarvioinnin tulokset

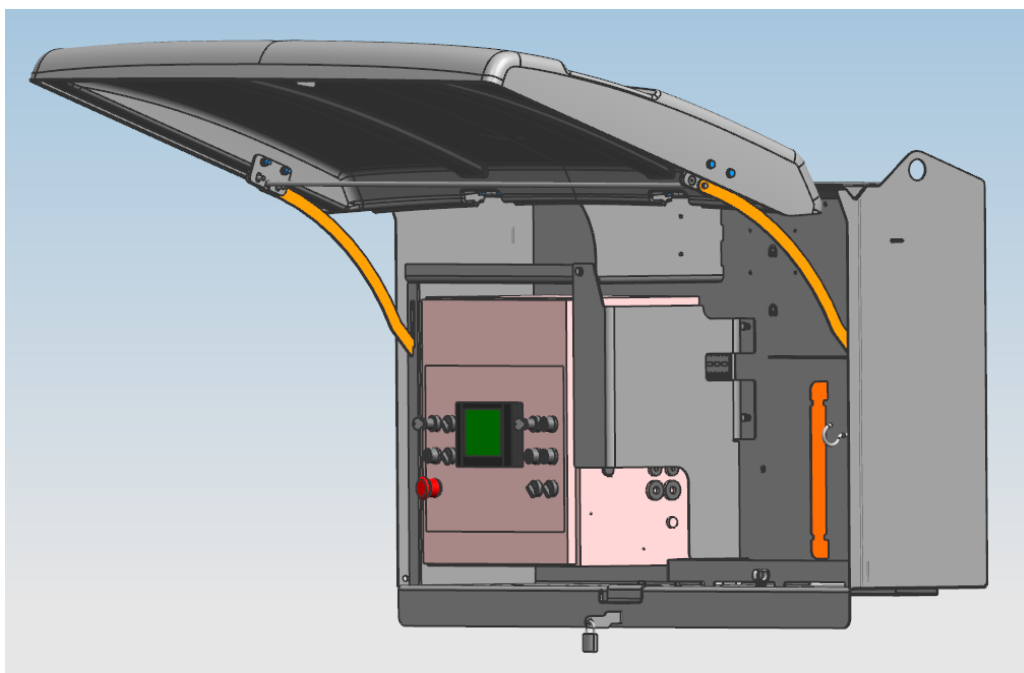
Vikatilanne	Seuraus	Värikoodi
Tukivarsi hajoaa	Kansi menee hallitsemattomasti ja äkillisesti kiinni	
Kaasujousi jumiutuu	Kansi ei toimi ilman voimakeinoja, joka johtaa mm. lihasrevähdykseen	
Lukitus jumiutuu	Kansi ei toimi ilman voimakeinoja, joka johtaa mm. lihasrevähdykseen	
Pulttikiinnikkeet murtuvat	Kansi menee hallitsemattomasti ja äkillisesti kiinni	
Kantta pidetään auki kädellä, ja ote lipeää	Kansi menee hallitsemattomasti ja äkillisesti kiinni	
Aukipitomekanismi irtoaa kannesta	Kansi menee hallitsemattomasti ja äkillisesti kiinni	
Aukipitomekanismi irtoaa tukilevykokoontapanosta	Kansi menee hallitsemattomasti ja äkillisesti kiinni	

5 SUUNNITTELU

5.1 Prototyypin suunnittelupolku

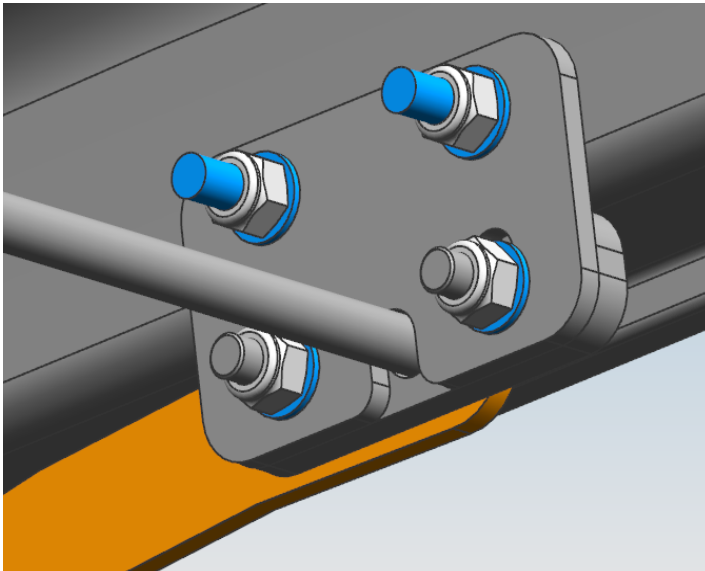
Suunnittelussa lähdettiin liikkeelle nykyisten kaksitukisten kannen aukipitomekanismien pohjalta. Tarkoituksena oli kehittää konsepteja, joista saataisiin selville eri toimintaperiaatteet. Kuitenkin vain lopullisen, valmistuvaksi prototyypiksi valitun konseptin rakenteet mitoitetaan ajan säästämiseksi.

Ensimmäisenä ratkaisuna pohdittiin kuvan 10 mukaista ratkaisua. Tämä konsepti esitetään kuvassa 17.



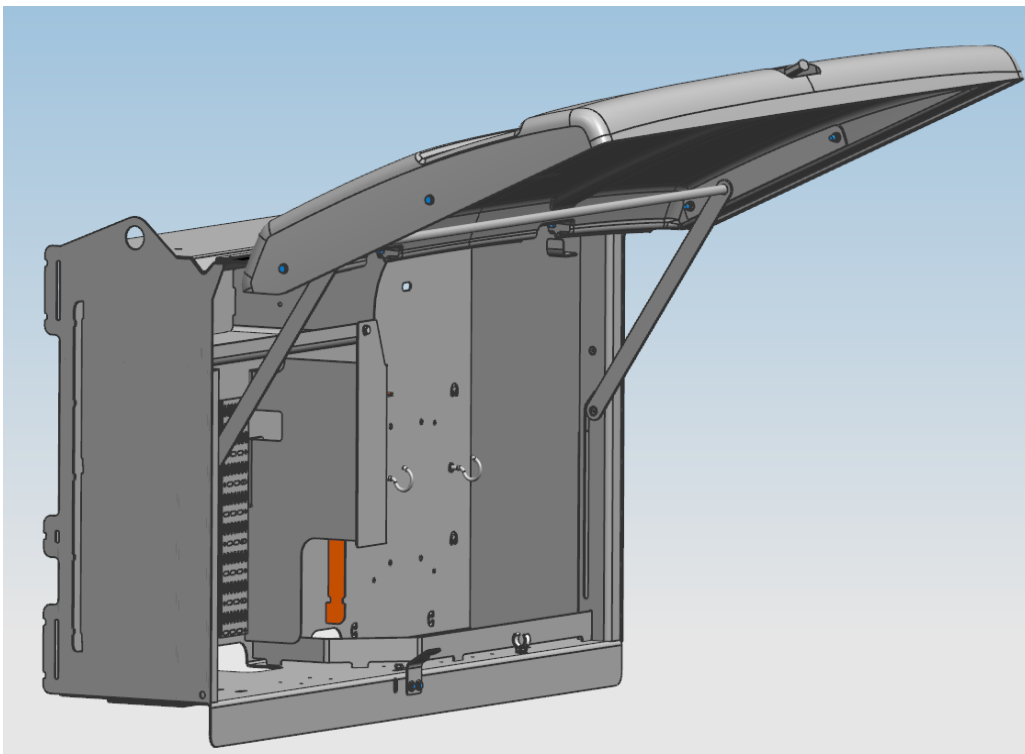
KUVA 17. Ensimmäinen varustelaatikon konsepti

Kuvan 17 ratkaisussa kopioitiin tukivarsien muotoilu nykyisestä versiosta. Muutoksena oli vain kiinnitysmenetelmä kanteen, sekä tulilevyjen pidentäminen. Konseptista kuitenkin luovuttiin, koska avausmekanismin toiminnasta ei saatu tarpeeksi varmaa: kannen saaminen oikeaan asentoon vaati tukivarsilta toimimatonta muotoa sekä tukipisteiden sijaintia. Lisäksi kannenkiinnitys oli prototyyppiinkin suunniteltuna liian kömpelö kaksine kiinnityslevyineen ja ruuvirivistöineen, jotka nähdään kuvasta 18.



KUVA 18. Tukivarsirakenteen kiinnityskonsepti

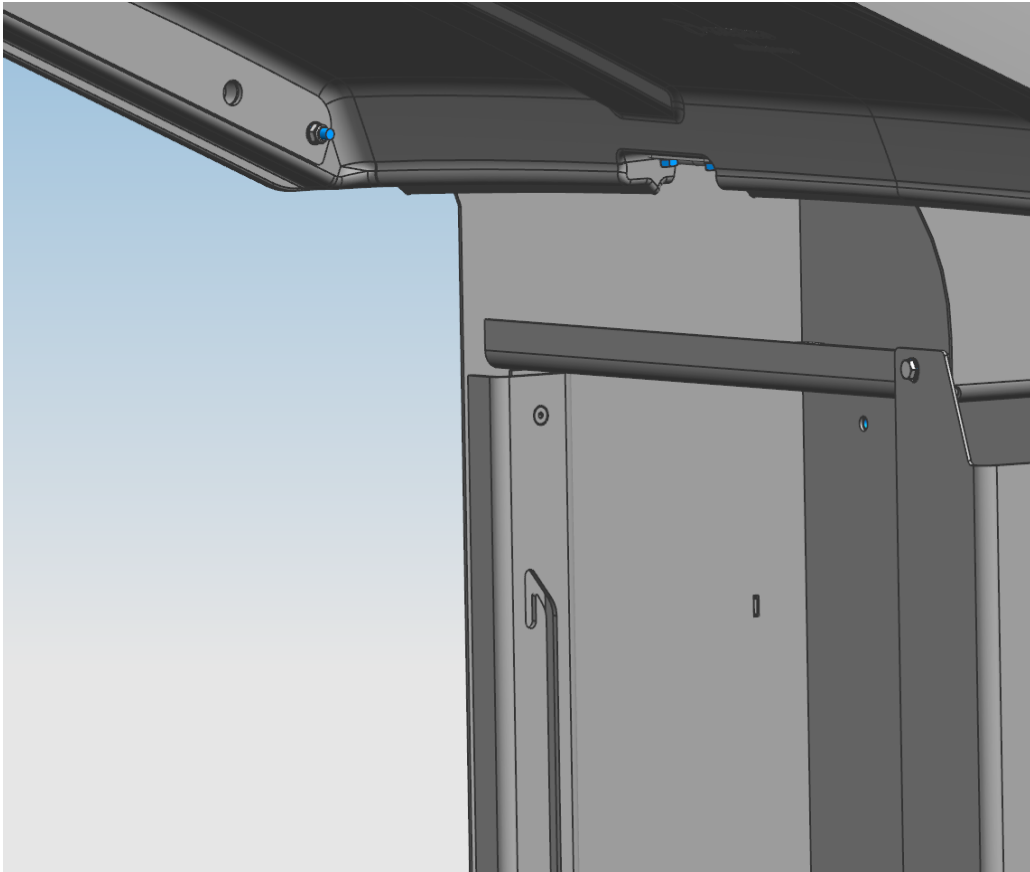
Seuraavassa varustelaatikon konseptissa päädyttiin muuttamaan koko aukipitomekanismin rakennetta, kuten nähdään kuvasta 19.



KUVA 19. Toinen varustelaatikon konsepti

Kuvan 19 konseptissa tukivarsien muoto muutettiin yksinkertaisemmaksi, niiden kiinnityspisteet kanteen siirrettiin leveämmälle ja tukilevyt muutettiin ohutlevystä taivutetuiksi

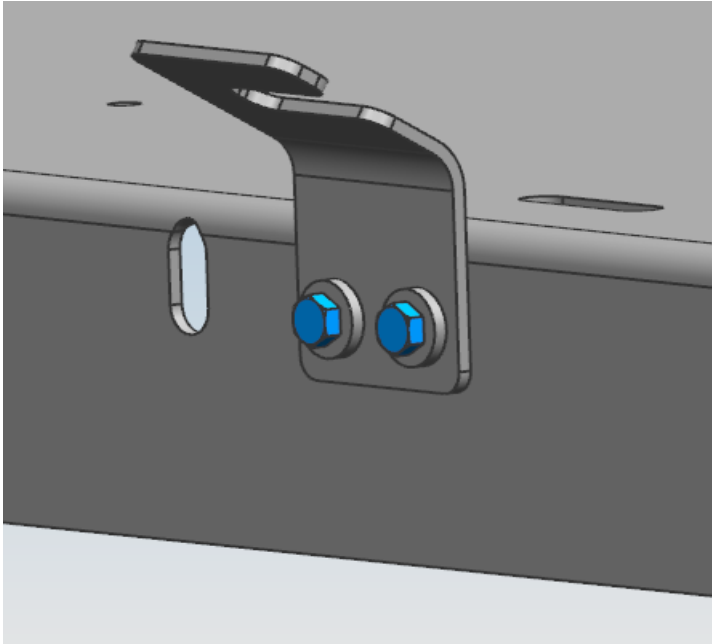
C-malliseksi rakenteiksi. Kuvan 19 kannenkiinnittimet siirrettiin myös kannen sisäpuolelle, jotta tilaa muun muassa LT:n ohjausyksikölle jäisi riittävästi kannen ollessa kiinni. Tukilevymuotoilu näkyy kuvasta 20, jossa tukilevyt kiinnitetään uppokantapulteilla laatikon hyllyyn sekä laatikon pohjalevyyn hitsattuihin korvakkeisiin.



KUVA 20. Toisen varustelaatikon konseptin tukilevykokoonpano

Tukilevyjen lovituksen muotoilussa keskityttiin kanteen osuvan voimakkaan tuulenpuuskan aiheuttaman kannen hallitsemattoman sulkeutumisen estämiseen. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että tukivarsien pultit asettuvat Maan painovoiman vaikutuksesta lovituksen pohjalle kannen ollessa auki. Jos tuuli nostaa kantta, tukivarsien pultit liikkuvat suoraan ylös lovituksen huippukohtaan. Kun tuuli laantuu, tukivarsien pultit laskeutuvat suoraan alaspäin lovituksessa alkuperäiseen paikkaansa, jolloin kansi ei sulkeudu kokonaan, vaan se palaa normaaliin auki-tilaan. Kun kansi halutaan sulkea, kantta nostetaan, mutta tukivarret tulee lovituksen huippukohdassa työntää varustelaatikkoon päin, jolloin tukivarret jatkavat matkaa lovituksen pitkää uraa pitkin kannen sulkeutumiseen asti. Lovituksen muotoilussa keskityttiin myös siihen, ettei käyttäjä pitäisi kantta auki pelkästään kädellään, vaan mekanismin suunniteltu turvallinen käyttö ei tuntuisi vaivalloisemmalta kuin väärinkäyttö. Lisäksi suunnittelua tehtiin lukituksen mahdollistamiseksi, jolloin

ideana oli yksinkertainen haittalevy (kuva 21), johon luvussa 5.6 esiteltävän kaupallisen lukon kieli lukittuu.



KUVA 21. Lukituslevy

Tämä jälkimmäinen varustelaatikon konsepti valittiin prototyypin ahioksi, jonka pohjalta suunnittelua jatkettiin lisämuotoilun sekä mitoituslaskennan parissa, joita käsitellään luvussa 5.4. Valmistunut prototyypin suunnitelma sekä toiminta esitetään luvussa 6.

5.2 Materiaalit

Kaikki projektissa valmistuneet ohutlevyosat valmistetaan S355-teräksestä. Teräs valittiin ennen varsinaisia lujuuslaskentaan perustuvia mitoituksia siitä johtuen, että tämän projektin yhteydessä ole tarpeen valita muuta terästä kuin mitä varustelaatikossa jo pääsääntöisesti käytetään. Lujuustarkastelut käsitellään luvussa 5.4. Rakenteen kestävyys kannalta keskitytään siis osien mitoitukseen, eikä esimerkiksi matalamman myötölujuuden omaavan teräksen käyttöön, jolla mahdollisesti saataisiin optimoituja rakenteen dimensioita, painoa sekä hintaa. Tämä työvaihe suoritetaan tarpeen vaatiessa prototyyppiä kehitettäessä massatuotantoon, jolloin pienikin yksikköhinnan lasku tuo pitkällä aikavälillä huomattavia säästöjä. On kuitenkin muistettava, että lujien rakenneterästen myötölu-

juuteen suhteutettu hinta on huomattavan edullinen verrattuna heikompiin rakenneteräksiin. Tästä johtuen staattisen kuormituksen rakenteissa (varustelaatikon kannen aukipitomekanismi) on edullista käyttää juuri lujaa rakenneterästä. (Björk ym. 2014, 94.)

Aukipitomekanismin tukivarsia yhdistää pyörötanko, jonka materiaalina käytetään rakenneterästä S355J0. Liitososat eli pultit, mutterit sekä aluslevyt valittiin valmiiksi sinkittyinä galvaanisen korroosion välttämiseksi luvun 5.5 mukaan, poissulkien hitsimutterit, jotka sinkitään hitsauskokoontanossa. Osien galvanointiin viittaa taulukon 3 osien standarditiedon perässä oleva liite A3A. Taulukon 3 materiaalivalinnat tehtiin siis jo ennen varsinaista lujuuslaskentaa, mutta komponenttien dimensiot määräytyvät luvuissa 5.4.1 ja 5.4.2 käsiteltävän laskennan perusteella.

Taulukosta 3 nähdään vielä valittu rakenneteräsmateriaali ohutlevyjen valmistukseen, tangon materiaali sekä liitososien standardiviitteet. Taulukossa 3 näkyy myös muovikannen materiaali PE-HD. Kansi valmistetaan kuitenkin alihankkijalla, joten materiaalivalintaa ei erikseen käsitellä.

TAULUKKO 3. Materiaalitaulukko

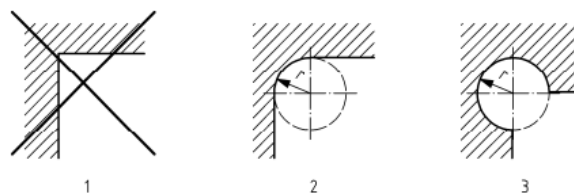
Materiaalitiedot	
Pultit	ISO4017-M6X25-8.8-A3A ISO4017-M6X20-8.8-A3A ISO4014-M8X80-8.8-A3A ISO10642-M6X30-8.8-A3A
Mutterit	ISO7040-M6-8-A3A ISO7040-M8-8-A3A DIN929-M6-ST-UNPLTD
Aluslevyt	DIN125-A6.4-140HV-A3A DIN125-A8.4-140HV-A3A DIN6340-6.4-300HV-A3A
Tanko	EN10060-16-EN10025-S355J0
Ohutlevyteräs	EN10025-2-S355JR
Muovi	PE-HD

5.3 Ohutlevytuotteiden työ

Ohutlevytuotteita suunniteltaessa on otettava huomioon niiden varsinainen valmistaminen. Käytännössä se tarkoittaa halutun geometrian irrottamista isommasta metallilevystä, ohutlevyn taivuttamista sekä mahdollisten aukkojen tekemistä.

Metso Minerals Oy:n tuotteissa ohutlevygeometria leikataan alihankkijan toimesta joko polttoleikkauksella tai laserleikkauksella. Menetelmän valinta riippuu leikattavan geometrian halutun mittatarkkuuden lisäksi työstettävästä materiaalista, sillä kaikilla leikkausmenetelmillä ei voida leikata kaikkia materiaaleja (Matilainen, Parviainen, Havas, Hiitelmä & Hultin 2011, 142). Polttoleikkaus sopii parhaiten 5-250mm paksujen levyjen leikkaamiseen varsinkin silloin, kun ei tarvita suurta tarkkuutta. Polttoleikkauksessa tapahtuu suurta lämmöntuontia leikattavaan kappaleeseen, joka voi ohutlevyillä aiheuttaa muodonmuutoksia. Lisäksi polttoleikkaus ei ole menetelmänä niin tarkka kuin esimerkiksi laserleikkaus. (Matilainen ym. 2011, 143.) Näin ollen leikkausmenetelmäksi valitun juuri laserleikkaus, varsinkin kun projektin aikana valmistuvat osat ovat mitä todennäköisimmin maksimissaan 5mm paksuja. Laserleikkauksen tarkkuus on noin 0,1mm leikattavan materiaali-paksuuden ollessa alle 10mm (Matilainen ym. 2011, 162). Tämä on huomattavasti parempi kuin polttoleikkauksen 1,5-3,0mm (Matilainen ym. 2011, 201). Lisäksi laserleikkauksessa leikattava geometria voi olla monimutkaisempi kuin esimerkiksi polttoleikatessa, mikä antaa lisävapautta suunnittelulle, kun voidaan muun muassa suunnitella pieniä olakkeita, ulokkeita tai koloja helpottamaan asemointia hitsaus- ja kokoonpanovaiheessa (Matilainen ym. 2011, 164).

Leikkausmetodien automatisoinnin takia standardin SFS-EN 1090-2+A1 (2012, 39) mukaan levyihin ei saa jäädä teräviä kulmia, joihin leikkuri pysähtyy hetkeksi ennen kääntymistä, jolloin leikkaava liike ei ole jouhevaa, ja leikkausjäljestä tulee huono. Nurkakohtiin tulee siis tehdä joko pyöristys tai päästö kuvan 22 mukaan.



Selite

- 1 Ei sallittu
- 2 Muoto A (suositeltava täysin mekanisoidulle tai automaattiselle leikkaukselle)
- 3 Muoto B (sallittu)

KUVA 22. Nurkan muotoilu (SFS-EN 1090-2+A1 2012)

Suunnittelussa huomioidaan myös leikattavan materiaalin väsymislujuuden lasku, sillä leikkausmenetelmät ovat termisiä prosesseja ja aiheuttavat kappaleen leikkausreunassa karkenemista. Lievä karkeneminen (0,5mm) ei kuitenkaan tässä tapauksessa haittaa, sillä kyseessä on kulumiselle alttiita osia. (Matilainen ym. 2011, 163.) Lämmöntuonnista johtuvat rakennemuutokset jäävät kuitenkin käytännössä merkityksettömän pieniksi (Matilainen ym. 2011, 203). Lämmöntuotto aiheuttaa teräksessä väsymislujuuden laskun lisäksi myös myötölujuuden laskua (Niemi & Kemppe 1993, 66). Tätä ilmiötä käsitellään myös luvussa 5.5.2.

Ohutlevyjen leikkauksen lisäksi tulee suunnitella niiden taivutus: liian isolla taivutussäteellä ohutlevystä tulee tarpeettoman suuri, mutta liian pientä taivutussädettä käytettäessä levy voi murtua taivutuksen ulkopinnan kohdalta taivutuksesta aiheutuvan venymän johdosta (Matilainen ym. 2011, 248). Suunnittelussa ei kuitenkaan oteta kantaa itse taivutusmetodeihin kuten särmäys, rullamuovaus tai syväveto. Työssä ei myöskään määritetä tähän muokkaukseen tarvittavaa voimaa, mutta levyjen mitoitus suunnitellaan niin että minimilaippakorkeuden, taivutussäteen ja reikien sekä lovien paikkojen minimivaatimukset toteutuvat taivutuksiin ja levyn reunoihin nähden. Varsinaista laskentaa käsitellään luvussa 5.4.1.

5.4 Rakenteen mitoitukset sekä lujuustarkastelut

Rakennesuunnittelu etenee käsi kädessä toiminnallisuussuunnittelun kanssa, sillä haluttu toiminto vaatii rakenteelta tiettyjä ominaisuuksia, mutta samalla tavalla materiaalien ominaisuudet sanelevat tiettyjä reunaehtoja rakenteen toiminnalle ja mitoitukselle. Tästä syystä aukipito- ja lukitusmekanismin toimintaa ei voida täysin mitoittaa ennen mekanismin osien valmistukseen sekä lujuusominaisuuksiin perehtymistä ja niihin pohjautuvan mitoituslaskennan suorittamista. Luvuissa 5.4.1 sekä 5.4.2 käsitellään rakenteen mitoitusta, johon perustuen luvussa 6 esiteltävä rakenteen toimintaperiaate saa lopullisen muotonsa.

5.4.1 Teräsosien mitoitus

Teräsosia mitoitettaessa ensimmäisenä tulee selvittää käytettävän ohutlevymateriaalin ominaisuudet. Ohutlevymateriaalina käytetään taulukon 3 mukaisesti S355JR-terästä, josta valtaosa prototyyppeihin suunnitelluista komponenteista koostuu. Tukivarsia yhdistävä pyörötanko valmistetaan kuitenkin S355J0-teräskestä (taulukko 3). Terästen erona on iskusitkeyden testauslämpötila (taulukko 4). Taulukosta 4 selviää myös muutamien eri teräslaatuojen myötö- ja murtolujuusalueet, joiden minimiarvoja käytetään komponenttien mitoituskalkulaatioissa. Opinnäytetyön raportissa ei käsitellä kaikkien osien mitoitusta, sillä ne ovat pääpiirteissään samanlaisia. Suurin syy on kuitenkin teknisten piirustusten rajoitettu julkaistavuus.

TAULUKKO 4. Terästen materiaaliominaisuuksia (Pellosniemi & Kalamies n.d.)

Myötö- lujuus	Murto- lujuus	Isku- sitkeys	EN	EN	SFS	DIN	SS	BS	NF	GOST	GOST	
R_{m} N/mm ²	R_m N/mm ²	KV J	t °C	10025 1993	10025 1991	200 1986	17100 1980	14 xx xx 1987	4360 1986	A35-501 1981	380 1988	19281 1989
235	360-510	27	20	S235JR	Fe360 B		St 37-2	13 11-00		E 24-2		
235	360-510	27	20	S235JRG2	Fe360 B FN	Fe 37 B	RSt 37-2	13 12-00	40 B		St3ps;sp CT3Πc;cΠ	
235	360-510	27	0	S235JO	Fe360 C		St 37-3 U		40 C	E 24-3		
235	360-510	27	-20	S235JRG3	Fe360 D1	Fe 37 D	St 37-3 N		40 D	E 24-4	St3kp;ps;s p CT3KΠ;Π c;cΠ	
235	360-510	27	-20	S235JRG4	Fe360 D2		St44-2					
275	430-580	27	20	S275JR	Fe 430 B	Fe44 B	St44-3 U	14 12-00	43 B	E 28-2	St4ps;sp CT4Πc;cΠ	
275	430-580	27	0	S275JO	Fe 430 C		St44-3 N		43 C	E 28-3		
275	430-580	27	-20	S275J2G3	Fe 430 D1	Fe44 D		14 14-00	43 D	E 28-4		
275	430-580	27	-20	S275J2G4	Fe 430 D2			14 12-01				
355	510-680	27	20	S355JR	Fe 510 B			(21 72-00)	50 B	E-36 2		
355	510-680	27	0	S355JO	Fe 510 C	Fe52 C	St52-3 U		50 C	E-36 3		
355	510-680	27	-20	S355J2G3	Fe 510 D1	Fe52 D	St52-3 N	(21 74-01)	50 D			17GS;17G1S 17ΓC;17Γ1C
355	510-680	27	-20	S355J2G4	Fe 510 D2							
355	510-680	40	-20	S355K2G3	Fe 510 DD1					E-36 4		
355	510-680	40	-20	S355K2G4	Fe 510 DD2							

Materiaalitietojen lisäksi tulee selvittää, kuinka pieniä taivutussäteitä voidaan tietynpaksuisen ohutlevyn taivutuksessa käyttää. Taivutussäteen valinta vaikuttaa myös taivutetun levynosan minimilaippakorkeuteen, joka on tärkeä mitoitusehto muun muassa taivutus työkalun keston kannalta. Minimilaippakorkeus tarkoittaa tietylle levynpaksuudelle määrättyä pienintä mahdollista taivutettavan levynosan reunan korkeutta (Matilainen ym. 2011, 249).

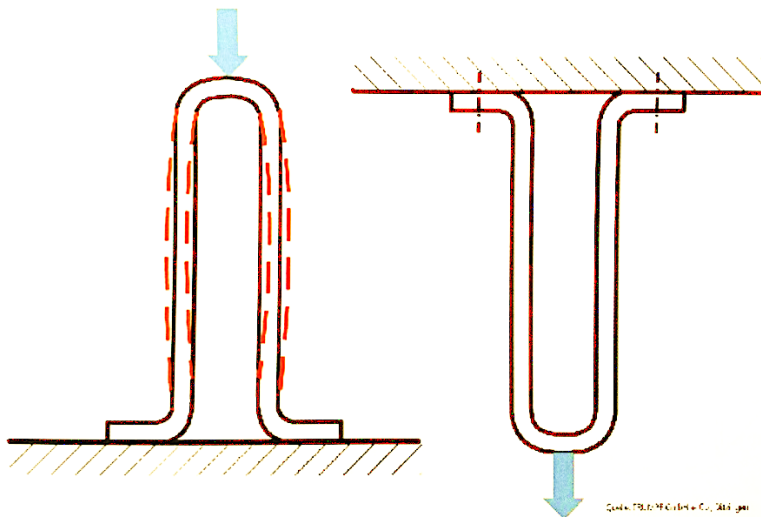
Minimilaippakorkeuden likiarvon laskemiseen voidaan Matilainen ym. (2011, 249) mukaan käyttää kaavaa

$$b = r_s + 2s, \quad (1)$$

jonka perusteella taivutussäteen ja aukon väliin tulisi jäädä vähintään kaksinkertainen materiaalivahvuuden arvo. Esimerkiksi liitteen 1 lukituslevyn minimilaippakorkeudeksi saadaan kaavaa 1 käyttämällä

$$b = 16\text{mm}$$

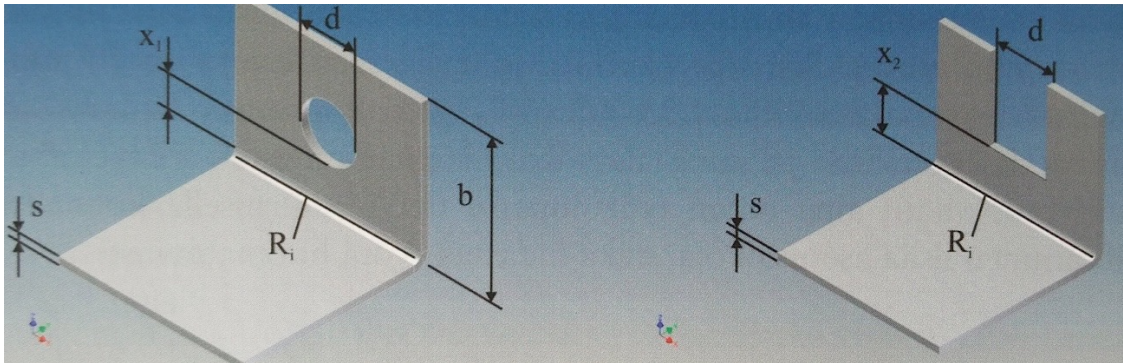
Minimilaippakorkeuden laskentaa käsitellään myös liitteessä 2, joissa mitoitetaan aukkipitomekanismin tukilevyjen laippakorkeutta. Tukilevyjen minimilaippakorkeuden määrittäminen on tärkeää varustelaatikon vähäisen vapaan tilan lisäksi lujuusopillisista syistä, sillä pitkälle C-muotoiselle rakenteelle voidaan sallia vetoa, muttei puristusta nurjahdusvaaran takia (kuva 23). Lisäksi C-muodon valintaan johti stabiiliuden parannus (Matilainen ym. 2011, 132).



KUVA 23. Pitkän rakenteen kuormitus (Matilainen ym. 2011, 132)

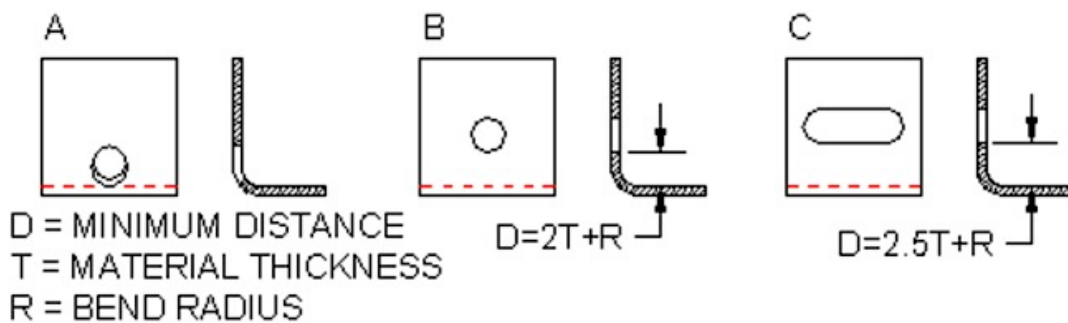
Minimilaippakorkeuden lisäksi ohutlevyjä suunniteltaessa tulee huomioida aukkojen, kuten reikien ja lovien sijainti ohutlevyn reunoista sekä taivutuksista. Aukkojen sijaintia

taivutuksesta määritettäessä voidaan käyttää liitteen 2 mukaista kaavaa, jonka arvot saadaan kuvan 24 mukaisesti riippuen aukon geometriasta.



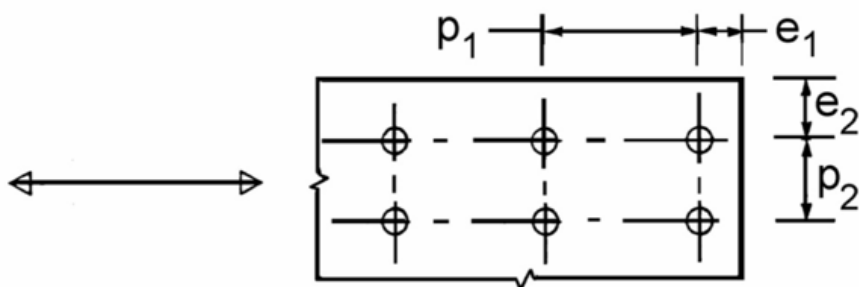
KUVA 24. Aukkojen sijainti taivutuksesta (Matilainen ym. 2011, 258)

Aukkojen sijaintia taivutuksesta määritettäessä voidaan myös käyttää liitteessä 2 käsitellyä kaavaa, jossa aukon minimietäisyys taivutuksesta lasketaan kuvan 25 mukaisesti.



KUVA 25. Aukkojen etäisyys taivutuksesta (Quality Tool 2008)

Kun määritetään aukkojen sijaintia ohutlevyn reunoista, voidaan myös käyttää muutamaa eri kaavaa. Standardissa SFS-EN 1993-1-8 (2005, 25) pulttiliitoksissa käytettävien ohutlevyjen reikien sijainti määritetään kuvan 26 mukaan.



KUVA 26. Reikien sijainti levyn reunoista (SFS-EN 1993-1-8 2005)

Laskenta esitellään muun muassa liitteessä 1, jossa lasketaan lukituslevyn reikien sijainti. Reikien etäisyyden määrittämiseen voidaan käyttää myös Jauhaisen (2011, 24) mukaan nyrkkisääntöä, jossa aukon etäisyys levyn reunasta tulisi olla suurempi kuin puolitoista kertaa ohutlevyn materiaalipaksuus (Bralla 1999, 3.27). Kuitenkin kaavan 1 perusteella voidaan arvioida, että etäisyyden tulisi olla suurempi kuin kaksi kertaa materiaalipaksuus. Tätä sääntöä on käytetty liitteen 3 laskussa.

Minimilaippakorkeuden sekä aukkojen sijainnin määrittämisen lisäksi tulee mitoittaa auki-pitomekanismin tukivarsien nurjahduskestävyys (liite 3). Tukivarsi on tasapaksu palkki, joka on jäykästi tuettu molemmista päistä: toisessa päässä muovikanteen kiinnitetty, tukivarteen hitsattu pyörötanko ja toisessa hitsattu uppokantapultti, joka pitää tukivarren tukilevyn lovituksessa. Laskennassa hyödynnetään Tekniikan kaavaston (Mäkelä, Soininen, Tuomola & Öistämö 2014, 141, 144) mukaisia kaavoja.

Pyörötangon laskentaa käsitellään liitteessä 4, jossa määritetään tankoon mahdollisesti kohdistuvan väännön aiheuttamaa vääntökulmaa Tekniikan kaavaston (Mäkelä ym. 2014, 141) kaavojen perusteella. Vääntökulma voi aiheuttaa toisen tukivarren jäämistä tukilevyn loveen toista tukivartta liikuttaessa, jolloin kannen yhden käden toimintavaatimus ei täyty. Laskennassa vääntömomenttina on käytetty arvoa 100Nm, jonka arvellaan olevan maksimaalinen vääntö, jonka avausmekanismiin voi tuottaa; 100Nm vastaa noin 20kg:n massaa Maan putoamiskiihtyvyydessä tukivarren ollessa noin 500mm pitkä (Mäkelä ym. 2014, 91, 92).

5.4.2 Liitosten mitoitus

Liitoksia eli pultti- ja hitsiliitoksia mitoittaessa tulee rajata käytetyt kaupalliset nimikkeet mahdollisimman suppeaksi, jotta yksikköhinnat pysyisivät matalana eikä tuotantoon tarvitse kerätä montaa erilaista osaa (Piironen 2013, 8). Hitsausliitoksia tulisi olla mahdollisimman vähän, sillä hitsaus aiheuttaa lämmöntononin takia rakenteeseen jännityksiä, jotka pyrkivät aiheuttamaan muodonmuutoksia. Jokainen hitsausseama on lisäksi lisäkustannus. (Piironen 2013, 40.) Hitsin kustannukset kasvavat suuresti, jos pienahitsin a-mitta muutetaan arvosta a5 arvoon a7, kustannukset kaksinkertaistuvat vaadittujen hitsipalkkojen määrän noustessa. Hyvä nyrkkisääntö on, että a-mitan kaksinkertaistaminen kol-

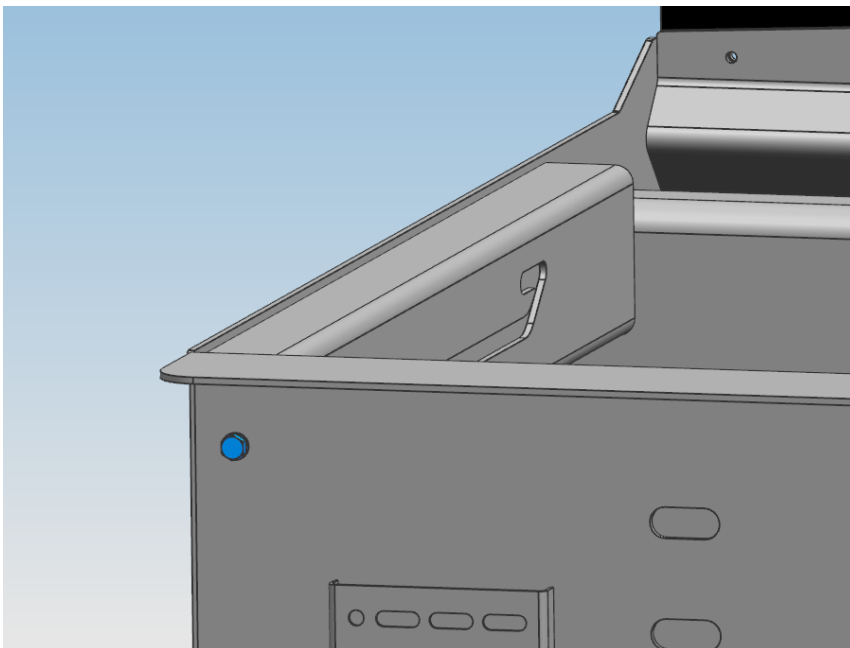
minkertaistaa hitsin hinnan. Hitsiä ei siis kannata ylimitoitaa, vaan a-mitta valitaan hitseen kohdistuvien rasitusten mukaan. On kuitenkin huomioitava, että pienahitsin pienin mitoituskoko on $a3$. (Piironen 2013, 42.) Lisäksi standardi SFS-EN 1993-1-8 (2005, 44) määrittää pienahitsin pituuden alarajaksi suuremman arvoista

$$l \geq 6a$$

ja

$$l \geq 30\text{mm}$$

Hitsausliitos on kuitenkin vain yksi liitosmetodi. Liitos metodi tulee valita tapauskohtaisesti, joka johtaa prototyypin suunnittelussa myös pulttiliitosten käyttöön, vaikkakin se on hitsaukseen verrattuna kalliimpaa. (Piironen 2013, 47.) Pulttiliitosten käyttö johtuu siitä, että prototyypin asennuksessa on oletettavissa hankaluuksia, kun esimerkiksi laatikon muovikanteen joudutaan poraamaan reiät aukipitomekanismin kiinnityslevyjä varten. Pulttikiinnitteisiä rakenteita on helpompi siirtää tarpeen vaatiessa verrattuna hitsattuun rakenteeseen, joka vaatisi hitsisauman poistamista. Asennusta helpottamaan tukilevyihin hitsataan levyt, joihin puolestaan hitsataan hitsimutterit, jotta asennus helpottuisi (kuvat 27 ja 28).



KUVA 27. Tukilevykokoonpanon kiinnitys varustelaatikkoon

Pulttiliitoksia mitoitettaessa ensimmäinen kriteeri oli liittimien pintakäsittely, jotta galvaanista korroosiota ei tapahtuisi. Tämä johti pulttitarjonnan muodostuvan M6- ja M8-

pulteista, sillä rakenteeseen aiheutuvat rasitukset eivät vaadi suurempia pulttikokoja. M6-koko valittiin pienimmäksi käytettäväksi kooksi riittävän kulumisen keston kannalta.

Lukituslevyn pulttiliitokseen ei käytännössä kohdistu muuta merkittävää rasitusta kuin veto- ja leikkausjännitystä, varsinkin jos kantta riuhkaistaan lukon ollessa kiinni. Lukituslevyn tulee siis kestää mahdollinen väkivaltainen kannen avaus lukon ollessa kiinni. Lukituslevyn pulttiliitoksen mitoitus käsitellään liitteessä 5, jonka laskut perustuvat standardiin SFS-EN 1993-1-8 (2005, 28). Lisäksi liitteessä 5 määritetään pultin reunapuristuskestävyyden arvo sekä viitteellinen myötömomentin arvo standardin SFS-EN 1995-1-1 mukaisesti (Metsä Wood 2012, 3).

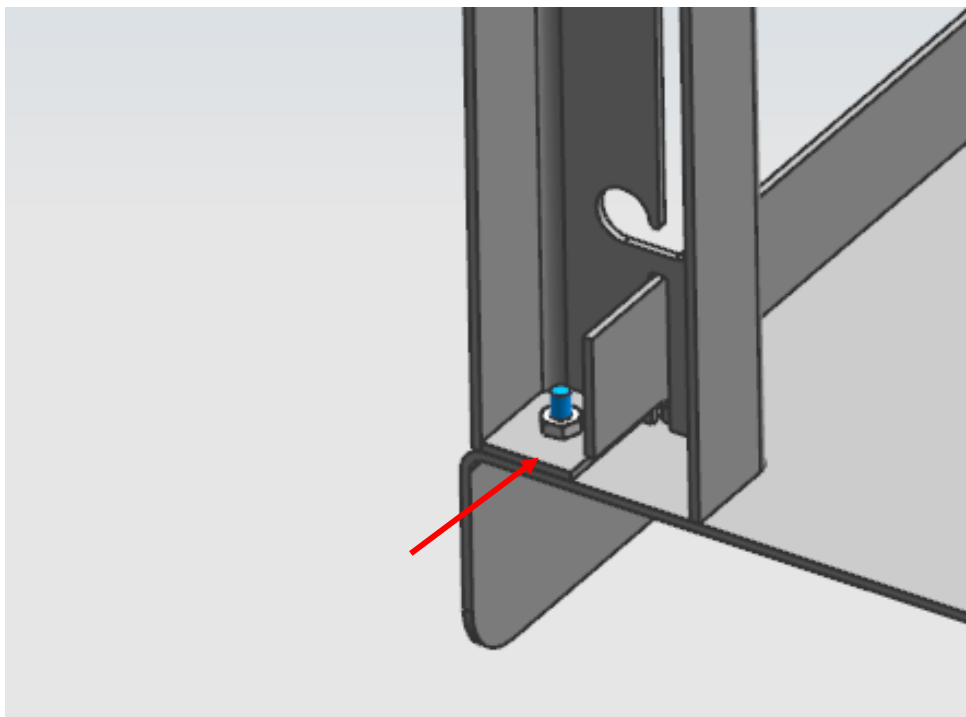
Pulttien mitoituslaskennassa (liite 5) vaaditaan pultin kierteettömän osan pinta-alaa eli nimellistä jännityspoikkipinta-alaa, koska pultin kierteet ovat leikkaustasossa (SFS-EN 1993-1-8 2005, 28). Pulttien nimelliset jännityspoikkipinta-alat nähdään taulukosta 5.

TAULUKKO 5. Pulttien jännityspoikkipinta-alat (SFS-EN ISO 898-1 2013, 26)

Kierre ^{a)} <i>d</i>	Nimellinen jännitys- poikkipinta- ala $A_{s,nom}$ ^{b)} mm ²	Lujuusluokka								
		4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	9.8	10.9	12.9/ 12.9
		Vähimmäisvetokuorma $F_{m,min} (A_{s,nom} \times R_{m,min}), N$								
M3	5,03	2 010	2 110	2 510	2 620	3 020	4 020	4 530	5 230	6 140
M3,5	6,78	2 710	2 850	3 390	3 530	4 070	5 420	6 100	7 050	8 270
M4	8,78	3 510	3 690	4 390	4 570	5 270	7 020	7 900	9 130	10 700
M5	14,2	5 680	5 960	7 100	7 380	8 520	11 350	12 800	14 800	17 300
M6	20,1	8 040	8 440	10 000	10 400	12 100	16 100	18 100	20 900	24 500

Avausmekanismin tukivarsiin hitsattujen uppokantapulttien mitoituslaskennassa ei kuitenkaan tarvita nimellistä jännityspoikkipinta-alaa, sillä pultin varressa on kierteetön osa, joka liikuu tukilevyjen lovituksissa. Tästä syystä laskennassa voidaan käyttää pultin ulkohalkaisijan mukaista pinta-alan arvoa (SFS-EN 1993-1-8 2005, 28). Laskenta käsitellään liitteessä 6.

Pulttiliitosten lisäksi hitsisaumat tulee mitoittaa. Prototyypin rakenteissa hitsisaumoja käytetään tukilevyjen kokoonpanossa muun muassa hitsimutterit kiinnittävän levyn liitoksessa (kuva 28).



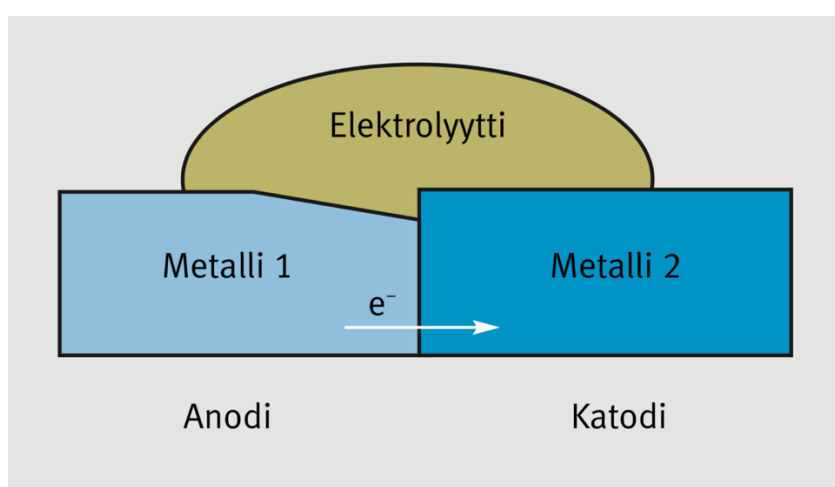
KUVA 28. Tukilevykokoonpanon hitsimutteri ja -levy

Tämän tyyppisessä hitsisaumassa tulee huomioida, että ohutlevyn kylmämuovattulla alueella (taivutuskohta) tai viisi kertaa materiaalipaksuuden etäisyydellä siitä, hitsaus on sallittua, jos kylmämuovattut alueet normalisoidaan ennen hitsausta (SFS-EN 1993-1-8 2005, 52).

Hitsausta vaaditaan myös pyörötangon liittämiseksi tukivarsiin. Rakenteen käyttötavasta johtuen hitsisaumaan kohdistuvat rasitukset tulee huomioida. Laskennassa oletetaan hitsiin kohdistuvan jännityksen olevan sille mahdollisimman epäedullinen leikkausjännitys. Tämän nimellisen jännityksen ratkaisussa oletetaan voiman suunnan olevan merkityksellön. (Björk ym. 2014, 173.) Voiman määräksi arvioidaan 500N, joka aiheutuisi kannen massan vaikutuksen lisäksi iskusta, joka puolestaan aiheutuu rajusta kannen käsittelystä. Laskenta käsitellään liitteessä 7. Laskusta huomataan, ettei hitsisaumaan aiheudu suuria jännityksiä, jolloin hitsin a-mitaksi valitaan pienahitsin minimi a3 (Piironen 2013, 42). Tukivarsien uppokantapultit hitsataan tukivarteen tulppahitsillä.

5.5 Osien pintakäsittely

Pintakäsittelynä ei tulla tekemään maalausta, sillä se ei ole projektin onnistumisen kannalta oleellista. Yksittäiset osat sekä hitsauskokoontimet tulee kuitenkin sinkittää galvaanisen korroosion vaikutusten minimoimiseksi. Galvaaninen korrosio on mahdollista, koska metalleilla on erilaiset korroosipotentiaalit, metallit ovat sähköisesti yhteydessä toisiinsa ja kun elektrolyytti koskettaa molempia metalleja (Euro Inox 2011, 3). Nämä perusehdot kuvataan kuvassa 29. Galvaanisen korroosion tapauksessa metalleista jalompi (katodi) suojautuu korroosiolta ja anodi puolestaan syöpyy (uhrautuu) elektronien siirtyessä anodilta katodille (Euro Inox 2011, 3).



KUVA 29. Galvaanisen korroosion perusedellytykset (Euro Inox 2011, 3)

Tähän anodin uhrautumiseen perustuu teräsosien sinkitys, jolloin terästä epäjalompana metallina sinkki syöpyy korroosiotilanteessa teräksen sijasta (Matilainen ym. 2011, 353).

Galvaanisen korroosion välttämiseksi aukipitomekanismi valmistetaan kauttaaltaan samasta materiaalista saman korroosipotentiaalilin ylläpitämiseksi, eikä esimerkiksi alumiinia käytetä tai päästetä kosketuksiin teräsosien kanssa, jolloin hapettavissa olosuhteissa alumiini syöpyy (Matilainen ym. 2011, 71). Myös kiinnittimet, kuten pultit ja mutterit, valittiin luvussa 5.2 valmiiksi sinkityiksi, jottei korrosio olisi voimakasta.

Pinnoitteen antama korroosionsuoja on suoraan verrannollinen pinnoitepaksuuteen. Sinkkikerroksen massa vaikuttaa kuitenkin hitsattavuuteen. (Matilainen ym. 2011, 13.) Tästä syystä Metso Oyj:n suunnitteluohjeistuksen mukaan osat hitsataan ensin ja vasta hitsauskokoontimet sinkataan.

Korroosionsuoja on tarpeellinen siitä syystä, että Metson tuotteilta vaaditaan korroosio-vaikutusluokka C3-vaatimusten täyttöö (Järvinen 2015, 2), jotka määritellään standardissa SFS-EN ISO 12944-2:2017 (taulukko 6). Tyypillinen ympäristö on C3 kohtalainen- luokituksen mukaan ulkona kaupunki- ja teollisuusilmatila-alueilla, joissa ilmenee kohtalaista rikkidioksidikuormitusta. Lisäksi mukaan luetaan rannikkoalueet, joissa on alhainen suolapitoisuus. (SFS-EN ISO 12944-2 2017, 10.)

TAULUKKO 6. Korroosiovaikutusluokat (SFS-EN ISO 12944-2 2017, 10)

Korroosio-vaikutusluokka	Painohäviö pinta-alayksikköä kohden/paksuushäviö (ensimmäisen altistusvuoden jälkeen)				Esimerkkejä tyypillisistä ympäristöistä (vain opastava)	
	Matalahiilinen teräs		Sinkki		Ulkona	Sisällä
	Painohäviö g/m ²	Paksuushäviö µm	Painohäviö g/m ²	Paksuushäviö µm		
C1 hyvin lievä	≤ 10	≤ 1,3	≤ 0,7	≤ 0,1	-	Lämmitetyt rakennukset, joissa puhtaat ilmatilat, esim. toimistot, kaupat, koulut, hotellit
C2 lievä	> 10...200	> 1,3...25	> 0,7...5	> 0,1...0,7	Ilmatilat, joissa epäpuhtauksien määrä alhainen: enimmäkseen maaseutualueita	Lämmittämättömät rakennukset, joissa voi esiintyä kondensoitumista, esim. varastot, urheiluhallit
C3 kohtalainen	> 200...400	> 25...50	> 5...15	> 0,7...2,1	Kaupunki- ja teollisuusilmatilat, joissa kohtalainen rikkidioksidikuormitus, rannikkoalueet, joilla alhainen suolapitoisuus	Tuotantotilat, joissa on korkea kosteus ja hieman epäpuhtauksia ilmassa, esim. elintarviketehtaat, pesulat, panimot, meijerit
C4 ankara	> 400...650	> 50...80	> 15...30	> 2,1...4,2	Teollisuusalueet ja rannikkoalueet, joilla suolapitoisuus on kohtalainen	Kemialliset tehtaat, uima-altaat, rannikolla sijaitsevat telakat ja veneveistämöt
C5 hyvin ankara	> 650... 1 500	> 80...200	> 30...60	> 4,2...8,4	Teollisuusalueet, joilla kosteus korkea ja ilmatila syövyttävä sekä rannikkoalueet, joilla suolapitoisuus korkea	Rakennukset tai alueet, joilla lähes jatkuvaa kondensoitumista ja saasteiden määrä korkea
CX äärimmäinen	> 1 500... 5 500	> 200... 700	> 60...180	> 8,4...25	Offshore-alueet, joilla suolapitoisuus korkea ja teollisuusalueet, joilla kosteus on äärimmäinen ja ilmatila syövyttävä sekä subtrooppiset ja trooppiset ilmastot	Teollisuusalueet, joilla kosteus äärimmäinen ja ilmatila syövyttävä

HUOM. Korroosiovaikutusluokissa käytetyt häviöarvot ovat yhtäpitävät standardin ISO 9223 arvojen kanssa.

C3 kohtalainen tarkoittaa 240 tunnin neutraalin suolasumun kestoa sekä 120 tunnin veden kondensoitumisen kestoa (Järvinen 2015, 2). Nämä vaatimukset nähdään taulukosta 7.

TAULUKKO 7. C3-rasitusluokan vaatimukset (Järvinen 2015, 2)

Rasitusluokat standardin ISO 12944-2 mukaisesti määriteltynä	Kestävyyssuokat	ISO 2812-1 ¹⁾ (kemiallinen kestävyys)	ISO 2812-2 (vesiupotus)	ISO 6270 (veden kondensoituminen)	ISO 7253 (neutraali suolasumu)
		h	h	h	h
C2	Alhainen	–	–	48	–
	Kohtalainen	–	–	48	–
	Korkea	–	–	120	–
C3	Alhainen	–	–	48	120
	Kohtalainen	–	–	120	240
	Korkea	–	–	240	480

Sinkitysmenetelminä Metso Minerals Oy:n tuotteissa voidaan käyttää joko sähkö- tai kuumasinkitystä. Luvuissa 5.5.1 sekä 5.5.2 näitä menetelmiä vertaillaan projektin kannalta parhaan menetelmän löytämiseksi.

5.5.1 Sähkösinkitys

Sähkösinkityksessä pinnoite tehdään elektrolyttisesti käyttäen sähkövirtaa sekä neste-
mäistä sinkki-suolaseosta (Matilainen ym. 2011, 20). Pinnoitettava kappale upotetaan
liuokseen, joka sisältää sinkki-suolaseoksen lisäksi erilaisia happoja, kompleksinmuo-
dostajia sekä muita lisäaineita (Matilainen ym. 2011, 356). Koska sinkkipinnoitteen
massa sekä paksuus ovat verrattain pieniä, ei menetelmä sovi ulkokäyttöön ilman erilli-
siä jatkokäsittelyitä (Matilainen ym. 2011, 20). Tämä voidaan vielä todeta rasitusluokat-
standardiin SFS-EN ISO 12944-2:2017 perustuvasta taulukosta 8

TAULUKKO 8. Sinkkipinnoitteen vuosittainen paksuushäviö Järvinen 2015, 4)

Rasitusluokka	Painohäviö pinta-alayksikköä kohden/paksuushäviö (ensimmäinen koestusvuosi)				Esimerkkejä tyypillisistä ympäristöistä lauhkeassa ilmastossa (vain opastava)	
	Niukkahiilinen teräs		Sinkki		Ulkona	Sisällä
	Painohäviö g/m ²	Paksuushäviö µm	Painohäviö g/m ²	Paksuushäviö µm		
C3 kohtalainen	> 200...400	> 25...50	> 5...15	> 0,7...2,1	Kaupunki- ja teollisuusilmatilat, joissa kohtalainen rikkidioksidikuormitus. Rannikkoalueet, joilla alhainen suolapitoisuus.	Tuotantotilat, joissa korkea kosteuspitoisuus ja jossain määrin epäpuhtauksia ilmassa, esim. elintarviketehtaat, pesulat, panimot, meijerit.

Kuumasinkityksen kerrospaksuus

Tuote ja sen nimellispaksuus	Paikallinen kerrospaksuus (vähintään) ^a µm	Keskimääräinen kerrospaksuus (vähintään) ^b µm
Teräs, ≥ 6 mm	70	85
Teräs, ≥ 3, < 6 mm	55	70
Teräs, ≥ 1,5, < 3 mm	45	55
Teräs, < 1,5 mm	35	45

Sähkösinkitys, käyttöluokka 2.

(Osittainen) merkintä	Käyttöluokka	Neutraalin suolasumukokeen koeaika (h)
Zn8/C	2	120
Zn8/D		
Zn12/A		
Zn12/F		

josta huomataan sinkin paksuushäviön olevan jo ensimmäisen koestusvuoden jälkeen maksimissaan 2,1 mikrometriä (Järvinen 2015, 4). Sähkösinkityksen kerrospaksuudeksi tulee 2,5-25 mikrometriä (Matilainen ym. 2011, 357), jolloin voidaan laskea pinnoitteen kestoikä ensimmäiseen kunnossapitointiin asti. Pinnoite kuluu siis käyttökelvottomaksi jo alle 12 vuodessa (kaava 2), kun:

$$t(v) = \frac{25,0\mu\text{m}}{2,1\mu\text{m}} \quad (2)$$

$$t(v) = 11,9$$

5.5.2 Kuumasinkitys

Kuumasinkityksessä eli galvanoinnissa kappale upotetaan sähkösinkityksen tapaan liuokseen, mutta kuumasinkityksessä liuos on sulaa sinkkiä. Näin käsitellyn kappaleen korroosiokestävyydestä tulee erinomainen, ja lisäksi pintakerroksesta tulee kestävä. Pinnoite tarttuu puhdistettuun metalliin diffuusion ja adheesioavulla, koska sinkillä on terästä alhaisempi sulamislämpötila. Ennen kuumasinkityksen valintaa pinnoitusmenetelmäksi

on kuitenkin huomioitava, ettei pinnoitettavan rakenteen geometria ole liian monimutkainen, sillä sulan sinkin on päästävä valumaan pois kappaleen sisä- ja ulkopinnoilta. (Matilainen ym. 2011, 358.)

Taulukon 8 sekä kaavan 2 mukaan kuumasinkin kestävyudeksi saadaan vuosina

$$t(v) = 26,2$$

kun tunnetaan standardiin SFS-EN ISO 1461 (2009, 18) perustuva Metso Minerals Oy:n vaatimus kuumasinkityksen minimikerrospaksuudeksi 55 mikrometriä esimerkiksi 5mm:n teräsainevahvuuksilla (taulukko 9).

TAULUKKO 9. Galvanoinnin minimikerrospaksuudet (SFS-EN ISO 1461 2009, 18)

Tuote ja sen paksuus	Paikallinen kerrospaksuus (vähintään) ^a	Paikallinen pinnoitemassa (vähintään) ^b	Keskimääräinen kerrospaksuus (vähintään) ^c	Keskimääräinen pinnoitemassa (vähintään) ^d
	µm	g/m ²	µm	g/m ²
Teräs > 6 mm	70	505	85	610
Teräs > 3 mm...≤ 6 mm	55	395	70	505
Teräs ≥ 1,5 mm...≤ 3 mm	45	325	55	395
Teräs < 1,5 mm	35	250	45	325
Valut ≥ 6 mm	70	505	80	575
Valut < 6 mm	60	430	70	505

Kuumasinkitystä käytettäessä teräksen lämpötila kasvaa, joka aiheuttaa myötölujuuden laskua. Korkeassa lämpötilassa kuormituksen alaisena teräksessä alkaa ilmetä virumista ajan saatossa. (Niemi & Kemppi 1993, 66.) Tämä aiheuttaa jännityksiä esimerkiksi rakenteen hitsisaumoihin osien venyessä. Virumislujuuden määrittämisessä usein käytetään parametreina kappaleen yhden prosentin kokonaisvenymää virumisajan ollessa 10 000 h ja lämpötilan 400 °C (Niemi & Kemppi 1993, 68). Korkea lämpötila on galvanoinnissa huomattavasti lyhytkestoisempi, mutta viruminen tulee ottaa huomioon jo huoneenlämmössä esimerkiksi silloin, kun terästä kuormitetaan noin 50 prosentin jännityksellä sen murtolujuudesta (Niemi & Kemppi 1993, 83). Tällaista ilmiötä ei kuitenkaan esiinny aukkipitomekanismeissa, sillä kannateltavat kuormat ovat pieniä. Käytännössä siis teräksen muokkauslujuuttuminen pysäyttää virumisen kokonaan, kun lämpötila pysyy alle 400 °C (Niemi & Kemppi 1993, 68). Galvanoinnista aiheutuva viruminen ei täten ole oleellinen.

Kuumasinkitys valitaan menetelmäksi yksinkertaisesti siitä syystä, että varustelaatikon kannen avausmekanismi sijaitsee Lokotrackin rungossa alttiina ulkoilmalle, joten sähkösinkki ei ole hyväksyttävä vaihtoehto.

5.6 Lukitus

Nykyisten varustelaatikkojen lukitukseen on käytetty useaa eri ratkaisua samalla tavalla kuin avausmekanismejakin. Lukituksia on Metso Oyj:lla suunnitelluista ratkaisuista aina kaupallisiin malleihin. Kuvasta 30 sekä 31 nähdään juuri Metsolla kehitetty ohutlevystä muotoiltu lukkolevy sekä kahva.



KUVA 30. LT120:n lukkolevy (Kuva: Metso Oyj 2015)

Kuvan 30 lukituslevyä käytetään usein varustelaatikon kannen yksitukisen pyörötankorakenteen ohella. Pyörötanko näkyy myöskin kuvassa 30 tangon ollessa kannen lukitusta varten vaakatasossa.

Lukituslevyn (kuva 30) päässä olevasta reiästä pujotetaan riippulukko kannen ollessa kiinni. Lukituslevy tulee osittain kannen läpi, jotta riippulukko saataisiin kiinnitettyä. Lukituslevyssä on myös pieni hahlo, johon kahvan korvake lukittuu. Kuvasta 31 nähdään kahva sekä lukituslevyn pää, joka sijaitsee kahvan vasemmalla puolella.



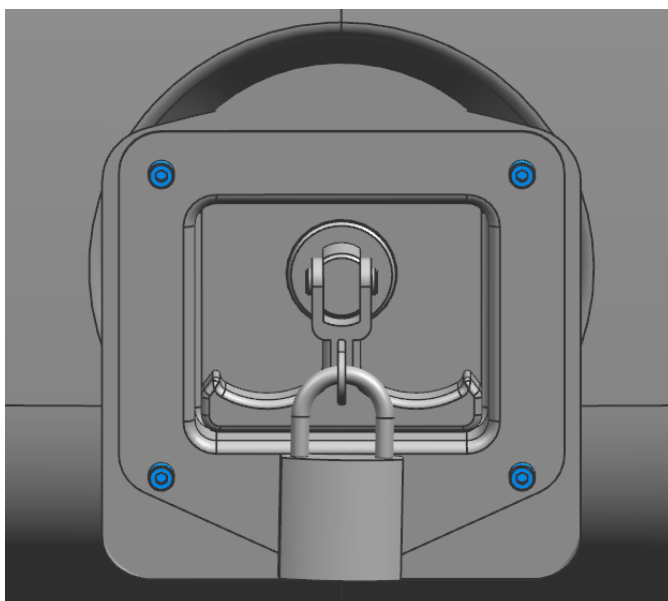
KUVA 31. LT120:n varustelaatikon kahva (Kuva: Metso Oyj 2015)

Lukitusmekanismi on kahvan sekä lukituslevyn osalta toimiva ratkaisu: se on yksinkertainen, käytännöllinen ja kustannustehokas. Kehityksen alaisena on kuitenkin kahvan muoto, joka tuntuu hieman kulmikkaalta käteen. Lisäksi kahva työntyy kannesta ulos, mikä ei haittaa toiminnallisuutta, mutta se on esteettisesti vaatimaton ja lisää laatikon syvyys suunnan äärimittaa. Kahvan asettuminen lukituslevyn päälle hankaloittaa myös riippulukon käyttöä, sillä tilaa ei ole kädelle paljoa. Tästä syystä laatikon lukituksen kokeillaan kaupallista mallia, joka pienentäisi laatikon syvyysäärimittaa sekä ratkaisisi riippulukon käytön ongelman. Uudeksi lukitusmekanismiksi ehdotettu malli näkyy kuvassa 32.



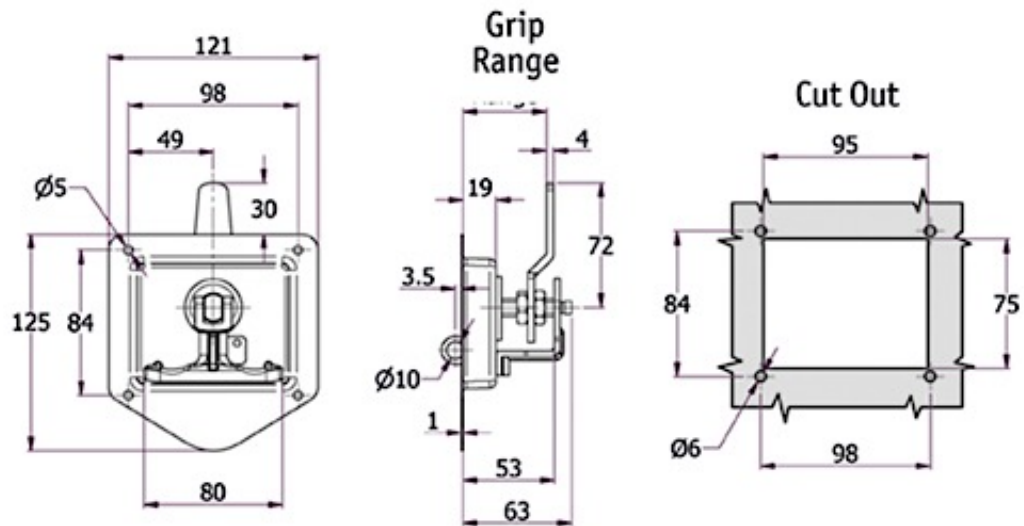
KUVA 32. Ehdotettu kaupallinen lukko (Kuva: Tommi Sipiläinen 2018)

Ehdotettu kaupallinen lukitusmekanismi toimii siten, että lukitusasennossa lukituskieli on ylöspäin. Lukituskieltä ei voi kääntää lukituksessa sivulle, mikä olisi tavanomaisempaa, sillä mutterikiristyksestä huolimatta lukituskieli ei pääse pyörimään vapaasti kierretangon ympäri, sillä lukituskielen keskellä oleva aukko on suorakaiteen muotoinen, ja akselina toimivan kierretangon sivut ovat hiottu tasaisiksi. Lukituskieltä ei voi siis kääntää 90 astetta, mutta 180 astetta voi. Se ei silti vaikuta käytettävyyteen, vaan kyseessä on lukituskielen vastakappaleen suunnitteluun liittyvä huomio. Kahva puolestaan taitetaan lukituksen jälkeen alas, jolloin lukkolevy osuu kahvan keskellä olevaan hahloon, ja näin riippulukko voidaan kiinnittää helpommin kuin edellä kuvatuissa lukitusmekanismeissa (kuva 33). Lisähyötynä nykyisiin malleihin on myös lukitusmekanismin kompaktit äärimitat, jotka pienenevät entisestään kahvan taittuessa alas. Kahva on myös ergonomisesti muotoiltu.



KUVA 33. Riippulukon käyttö kaupallisessa lukituksessa

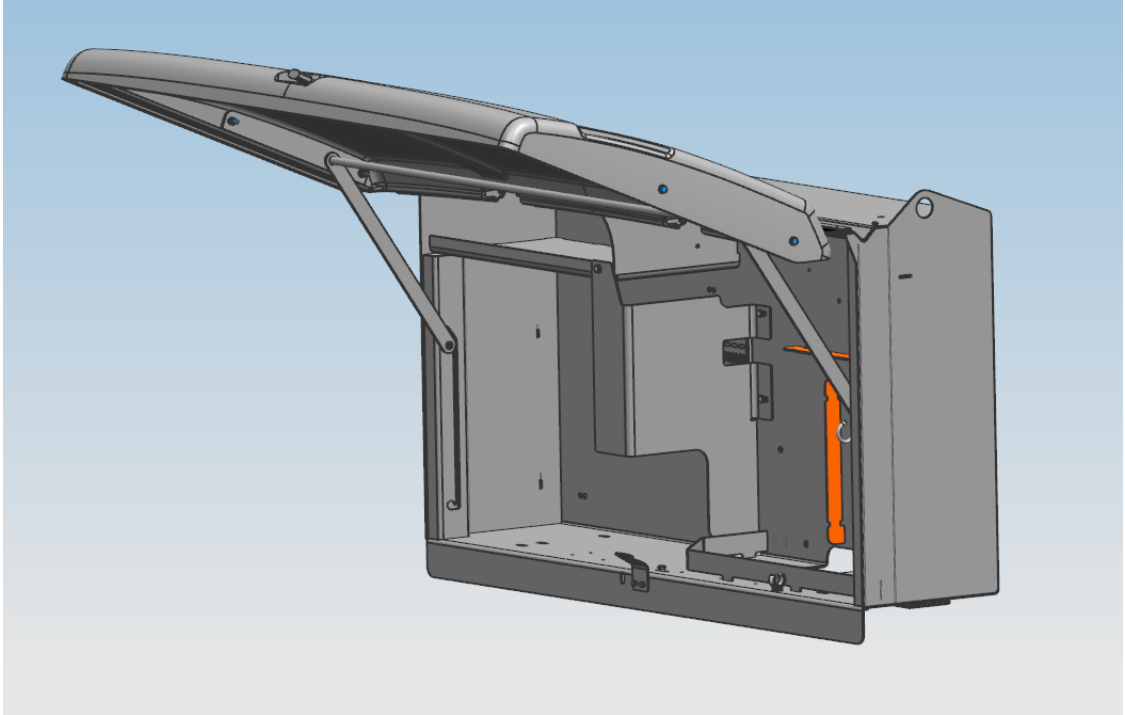
Lukitusmekanismin mitat näkyvät kuvassa 34, jonka tarkoituksena on ensisijaisesti havainnollistaa lukituksen äärisyvyysmitan pienuuden lukitusasennossa. Tämä tarkoittaa sitä, että lukitusmekanismin oletetaan mahtuvan kokonaan kannen sisään ollen huomattomampi edelliseen kuvan 31 malliin verrattuna. Tämä voidaan käytännössä todeta prototyypin valmistuttua. Mittoihin tai CAD-malleihin ei kannata luottaa täysin varauksetta.



KUVA 34. Kaupallisen lukon mitat

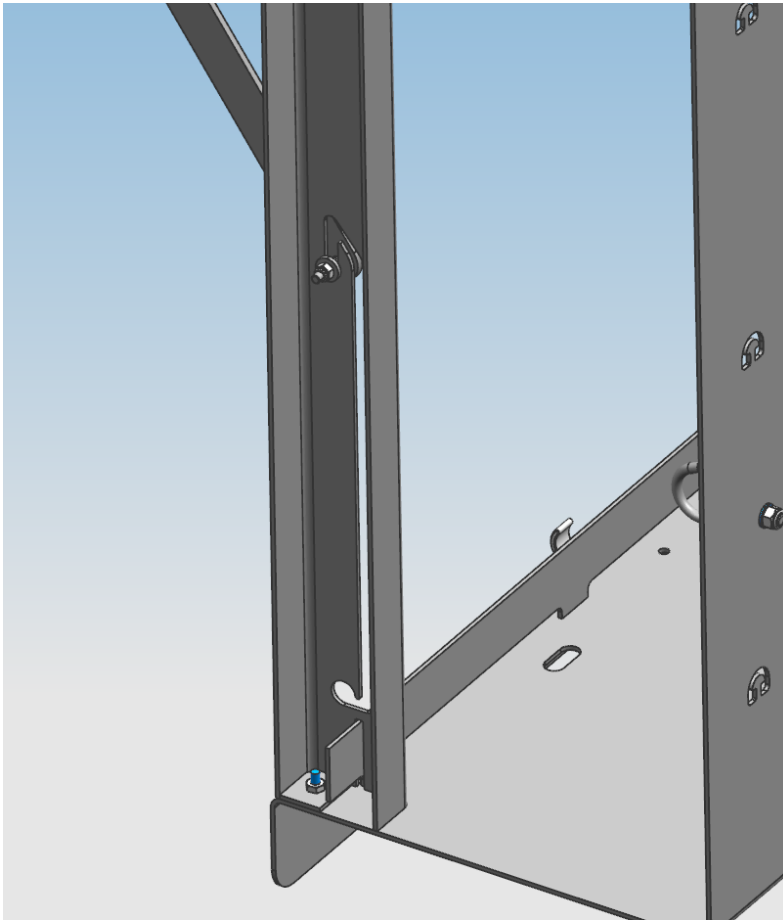
6 PROTOTYYPPI

Viimeisimpään varustelaatikon konseptiin tuli vain muutama muutos luvussa 5.1 esiteltyyn konseptiin. Valmis varustelaatikon prototyypin CAD-malli näkyy kuvassa 35.



KUVA 35. Valmistunut prototyypin CAD-malli

Muutoksina edelliseen konseptiin ovat tukilevykokoonpanojen ruuviliitosten siirtyminen levyn kyljestä sen päihin erikseen hitsattavien hitsilevyjen ansiosta. Ratkaisuun päädyttiin, koska siten itse varustelaatikkoon ei tarvitse hitsata erillisiä korvakkeita tukilevyjen kiinnitystä varten, vaan pelkkä reikien poraus pultteja varten riittää. Lisäksi tukilevyjen lovetukseen muotoiltiin pyöreä aukko tukivarsikokoonpanon asennusta helpottamaan, sillä tukilevyjen liikettä rajoitetaan uppokantapultteihin kiinnitetyillä aluslevyillä ja muttereilla. Asennusta varten tehtyjen aukkojen ansiosta tukivarsikokoonpano voidaan asentaa aluslevyineen paikoilleen tukilevykokoonpanoihin. Tukivarsien liike ei kuitenkaan kanteen kiinnitettynä yllä asennusaukkojen tasolle, joten vaara tukivarsien irtoamiselle tukilevyistä poistuu. Aukipitomekanismin toimintaperiaatetta esitellään kuvassa 36.



KUVA 36. Tukivarren liike tukilevyn lovituksessa (varustelaatikon sivuseinä piilotettu)

Prototyypin osat tilataan alihankkijoilta eli esimerkiksi ohutlevyosat valmistetaan ja pintakäsitellään Metso Minerals Oy:n tontin ulkopuolella. Tämä saattaa hidastaa prototyypin valmistusta, sillä nopeita muutoksia tilaukseen ei voida tehdä verrattuna siihen jos valmistus tapahtuisi samassa yrityksessä kuin suunnittelukin.

Prototyyppi kootaan siten, että alihankkijoilta tilataan yksi käytössä oleva varustelaatikon versio (teräslaatikko sekä muovikansi), joka tuotannossa muutetaan suunnitellun modifiikaatiopiirustuksen ja sen ohessa valmistettujen osien mukaan malliksi, jonka avulla suunniteltu avaus- ja lukitusmekanismin toimivuus voidaan todentaa ja/tai jatkokehityskohteet paikantaa. Prototyypistä ei ole tarkoitus tehdä pahvi- tai pienoismalleja, sillä niistä ei oleteta saatavan tässä tapauksessa käytännön hyötyä. Tuotannossa joudutaan kuitenkin leikkaamaan muovikanteen tila uudelle lukitukselle sekä sen kiinnityslevylle. Lisäksi tulee porata reiät kanteen tukivarsien kiinnityslevyjen pultteja varten, sekä laatikkoon tukivarsien tukilevykokoonpanon kiinnityspultteja varten. Reikiä tulee porata myös ohjausyksikön kiinnitystä varten varustelaatikon takaseinään, sillä sitä siirretään 15 mm sivuun lisätilan saamiseksi tukilevykokoonpanolle.

7 KÄYTTÄJÄYSTÄVÄLLISYYDEN ARVIOINTI

Prototyypin valmistuttua se katselmoidaan, jotta voidaan todeta jatkokehityksen tarve tai tuotannon aloittaminen, joka perustuu muun muassa käyttäjäystävällisyyden toteutumiseen. Opinnäytetyön julkaisun hetkellä varustelaatikon prototyyppi ei ole vielä valmistunut. Tästä syystä käyttäjäystävällisyyden toteutumiseen liittyvät työvaiheet- ja menetelmät vasta esitellään jatkokäyttöä varten.

7.1 Heuristinen arviointi

Heuristinen arviointi on kokemukseen perustuva arviointi, jonka tarkoituksena on löytää tuotteen käytettävyysongelmia yksinkertaisesti käyttämällä sitä ja kiinnittämällä huomiota ilmenneisiin ongelmiin (Käyttötuotteen heuristinen arviointi n.d). Tärkeää arvioinnissa on kuitenkin se, ettei tuotteen suunnittelija osallistu varsinaiseen arviointiin, sillä luonnollisesti hänellä on kuva tuotteen toiminnasta ja näin saatu data käytöstä vääristyy. Hyvä tapa tuotteen käytettävyyden intuitiivisuudesta saadaan, kun sitä käyttää tuotteesta ennestään tietämätön käyttäjä.

Heuristinen arviointi koostuu työryhmästä, joka käy itsenäisesti tuotteen käyttöä läpi useaan kertaan. Lopuksi saadut tiedot jokaiselta arvioijalta yhdistetään, ja löytyneet ongelmat käydään läpi, jonka jälkeen havaituista ongelmista muodostetaan vakavuusluokitukset. Yhteenvedona tehdään vielä johtopäätökset sekä suositukset, joiden pohjalta prototyypin tulevaisuudesta päätetään. (Majaranta 2015, 39-41.) Majarannan mukaan heuristiseen arviointiin kuuluu paljon muutakin, mutta tässä projektissa ei vaadita laajempaa käsittelyä prototyypin yksinkertaisuuden takia. Arvioinnin tekemiseen riittää Nielsenin säännöt, jotka esitellään luvussa 7.2.

7.2 Nielsenin säännöt

Valmistuvan prototyypin käytettävyyden arvioimiseen Jacob Nielsenin kymmenen kohdan kysymyslistaa voidaan käyttää soveltaen, sillä kysymykset kattavat tarpeeksi laajan

alan käytettävyyteen vaikuttavista asioista (Nielsen 2018). Nielsenin säännöistä sovellettu tarkastuslista näkyy taulukosta 10.

TAULUKKO 10. Nielsenin sääntöihin pohjautuva tarkastuslista (Nielsen 2018)

Tarkastuskysymykset	Vaatimukset
Laitteen tila	Huomaa selvästi, jos kansi on lukittu
Sopiminen käyttöympäristöön	Lukitus ja avausmekanismi toimii ympäristöstä/käyttäjistä huolimatta
Käyttäjän kontrolli	Lukitun laatikon sisältöön ei pääse asiattomat käsiksi
Suunnittelun johdonmukaisuus	Suunnittelu tehty voimassaolevien standardien mukaan
Käyttövirheiden estäminen	Tuotteen turvallinen käyttö sekä oletettu väärinkäyttö huomioitu
Käyttövaiheiden muistaminen/tunnistaminen	Rakenne on yksinkertainen, jonka käyttö ei vaadi ohjeita
Tehokas käyttö	Toiminta intuitiivista
Suunniteltujen ratkaisujen esteettisyys	Suunnitellut ratkaisut vähintään yhtä huomaamattomia ja enintään yhtä tilaa vieviä kuin nykyisetkin
Käyttövirheiden tunnistaminen	Rakenne ei ilmoita tai tunnista virheiden syytä
Ohjeet	Loppukäyttäjä ei tarvitse erillisiä ohjeita

7.3 Hyötyanalyysi prototyypin valmistuttua

Prototyypin valmistuttua tehdään vielä hyötyanalyysi, jossa nykyisiä varustelaatikoita sekä niiden aukipito- ja lukitusmekanismeja verrataan keskenään, jotta saadaan selkeä käsitys siitä, kannattaako prototyypiprojektia jatkokehittää valmiiksi tuotteeksi asti.

Hyötyanalyysissä huomioidaan muun muassa prototyypin

- Käytettävyys
- Turvallisuus
- Valmistettavuus
- Valmistuskustannukset
- Saavutettu lisäarvo

joiden perusteella lopullinen ratkaisu tehdään. Hyötyanalyysissä voidaan käyttää luvun 4.4 riskianalyysitaulukon tapaan hyötyanalyysitaulukkoa (taulukko 11), jolla kartoitetaan tuotteen hyötypotentiaalia. Erona värikoodeissa on nyt riskien sijaan hyödyt, joissa vihreällä merkitään suurinta saavutettua hyötyä. Analyysiä ei kuitenkaan esitetä ennen prototyypin valmistumista. Analyysi valmistuu Metso Minerals Oy:n teollisten muotoilijoiden sekä myyntihenkilöstön avustuksella prototyypin testauksen jälkeen, jolloin saadaan täydellinen kuva suunnitellun rakenteen toiminnasta ja potentiaalisesta hyödystä.

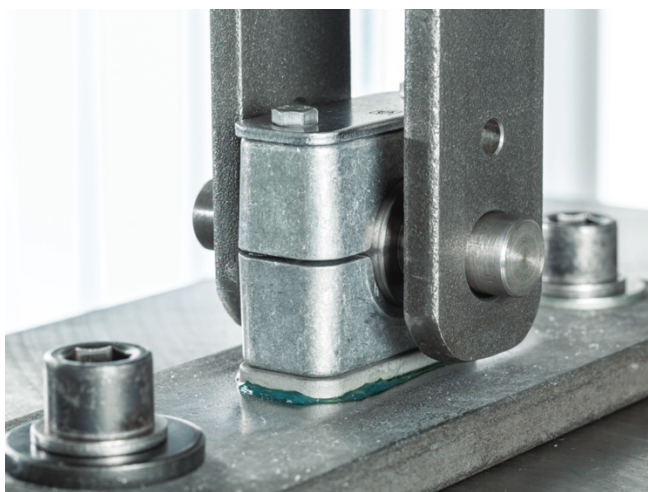
TAULUKKO 11. Hyötyanalyysitaulukko (Murtonen 2015, muokattu)

Hyötypotentiaali	Seuraukset		
	Vähäiset Ei merkittävää hyötyä	Keskimääräiset Jonkin verran hyötyä	Suuret Selkeä hyöty
Epätodennäköinen	1 Olematon hyöty	2 Vähäinen hyöty	3 Kohtalainen hyöty
Mahdollinen	2 Vähäinen hyöty	3 Kohtalainen hyöty	4 Merkittävä hyöty
Suuri	3 Kohtalainen hyöty	4 Merkittävä hyöty	5 Suuri hyöty

8 JATKOKEHITYS

Prototyypin hyötyanalyysin valmistuttua päätetään varustelaatikon jatkokehityksestä ja mahdollisesta implementoinnista seuraaviin LT-murskainlaitoksiin. Jos prototyyppi osoittautuu jatkokehityksen arvoiseksi, silloin muutetaan koko laatikon ja kannen rakennetta niin, ettei asennus vaadi työstöä. Päätöksessä hyödynnetään hyötyanalyysin lisäksi taulukon 10 vaatimuksia, jotka ovat avainasemassa tuotteen viimeistelyssä. Tosin vaatimuslista on vain esimerkki eikä tyhjentävä kuvaus.

Kannen valmistaja tulee myös päivittämään kannen muottia, jotta tukivarret saadaan järkevästi kiinnitettyä ilman erillistä reikien porausta. Kiinnitykseen voidaan mahdollisuuksien mukaan käyttää kaupallisia Stauff-putkenkiinnittimiä, jotka liimataan Click Bond CB420-50 –liimalla (STAUFF Clamps 2017, 100) tai ruuvataan kanteen kiinni. Esimerkki Stauff-putkenkiinnittimestä liimakiinnityksellä näkyy kuvassa 37.



KUVA 37. STAUFF-putkenkiinnike (STAUFF Clamps 2017, 98)

Putkenkiinnittimiä käytettäessä on kuitenkin huomioitava kiinnityksen sään ja mekaanisen rasituksen kestävyys varsinkin liimaliitoksessa. CB420E-liimalla on kuitenkin erinomainen sään ja kemikaalien kestävyys (Click Bond, Inc. 2018). Materiaalitiedot näkyvät myös taulukosta 12, jossa selviää liiman maksimileikkausjännityksen arvoksi 21 MPa ja käyttölämpötilaksi -40 °C - 121 °C. Lisäksi liimaus vie vain 4-6 minuuttia eli merkittävää hidastumista asennuksessa ei ilmene verrattuna pulttikiinnitykseen. Tosin liiman lopullista kuivumista tulee odottaa taulukon 12 mukaan 24 tuntia.

TAULUKKO 12. Click Bond CB420-50- liiman tiedot (Click Bond, Inc. 2018)

Part Number	Adhesive Type	Features	Working Time	Handling Strength	Full Cure	Strength		Service Temp Range
						Shear (ASTM D1002)	Peel (ASTM D1876)	
CB200	Acrylic Structural Adhesive	<ul style="list-style-type: none"> Bonds a wide variety of metals, engineering plastics, and composites Cures quickly at room temperature. Bonds irregular shapes and inaccessible surfaces Excellent environmental and chemical resistance Water resistant 	5 min	30 min	24 hrs	4400 psi (30.3 MPa)	21 pli (3.7 kN/m)	-67°F - 250°F (-55°C - 121°C)
CB250	Acrylic Structural Adhesive	<ul style="list-style-type: none"> Bonds ABS, PVC, acrylic, styrene, metals, wood, and ceramics High shear, peel, and impact strength Cures quickly at room temperature Bonds gaps from 0.003 - 0.125 inches Excellent environmental resistance 	5 min	30 min	24 hrs	3500 psi (24.1 MPa)	37 pli (6.5 kN/m)	-67°F - 250°F (-55°C - 121°C)
CB300	Epoxy Structural Adhesive	<ul style="list-style-type: none"> Bonds to most substrates including metal, wood, concrete, ceramics and many plastics Recommended for fast patching, fixturing, and other repairs requiring quick handling strength Excellent fast-setting general purpose adhesive 	3 min	15 - 30 min	60 min	3000 psi (20.7 MPa)	1.8 pli (0.3 kN/m)	-40°F - 180°F (-40°C - 82°C)
CB301	Epoxy Structural Adhesive	<ul style="list-style-type: none"> Bonds a wide variety of metals Good peel and shear strength 	5 min	24 hrs	7 days	4500 psi (31.0 MPa)	50 pli (8.8 kN/m)	-67°F - 250°F (-55°C - 121°C)
CB309	Epoxy Structural Adhesive	<ul style="list-style-type: none"> Bonds metals, FRP, wood, rubber, and other materials Excellent environmental and chemical resistance Ideal for gap filling and use on vertical surfaces 	90 - 120min	8 - 16 hrs	24 - 48 hrs	1550 psi (10.7 MPa)	2.2 pli (0.4 kN/m)	-30°F - 250°F (-34°C - 121°C)
CB359	Epoxy Structural Adhesive	<ul style="list-style-type: none"> Bonds a wide variety of metals, thermoplastics, wood, concrete and composites High peel, tensile, and lap shear strength Low outgassing Excellent resistance to water, salt spray, and organic fluids 	60 min	24 hrs	5 - 7 days or 1 hr at 180°F (82°C)	4500 psi (31.0 MPa)	60 pli (10.5 kN/m)	-67°F - 200°F (-55°C to 93°C)
CB394	High Temperature Epoxy Structural Adhesive	<ul style="list-style-type: none"> Bonds metals, many thermoplastics, and thermoset composites Excellent strength to 350°F / 177°C and higher Low outgassing Ideal for potting, filling, and liquid shim applications 	90 min	24 hrs	3 - 5 days or 1 hr at 150°F (65°C)	4200 psi (30.0 MPa)	5 pli (0.9 kN/m)	-67°F - 350°F
CB420 CB420E*	Acrylic Structural Adhesive	<ul style="list-style-type: none"> Bonds ABS, acrylics, aluminum, FRP, PVC, carbon steel, and stainless steel Cures quickly at room temperature High strength, excellent fatigue endurance, outstanding impact resistance, and superior toughness Excellent environmental and chemical resistance 	4 - 6 min	15 - 18 min	24 hrs	3050 psi (21.0 MPa)	28 pli (4.9 kN/m)	-40°F - 250°F (-40°C - 121°C)

Liimauksesta johtuen asennus tulee kuitenkin tehdä kerralla oikein, mikä lisää epäonnistumisen riskiä muun muassa liimaliitokseen jäävien epäpuhtauksien johdosta. Näin voi käydä varsinkin asiakkaan korjatessa rikkoutunutta kiinnikettä työmaalla. Pulttikiinnitys on siinä mielessä liimaa käyttövarmempi vaihtoehto. Liimalla on lisäksi tuotantoon liittyvä huono puoli, joka on säilytysaika: liima säilyy hyllyssä vähintään 9kk, jos liimatuubin korkki on kiinni (STAUFF Clamps 2017, 100). Eli, varustelaatikon kannen kaksi kiinnikettä käytännössä liimataan yhdellä liimatuubilla ja silloin menee liimaa mahdollisesti hukkaan. Liimaa tosin myydään esimerkiksi 35ml tuubeissa (Click Bond, Inc. 2018), mutta ennen ratkaisun valitsemista tulee selvittää paljonko liima maksaa ja paljonko sitä tarvitaan verrattuna muihin kiinnitystapoihin.

Liimauksella on kuitenkin paljon hyötyjä, varsinkin galvaanisen parin estämisessä, jossa se toimii metallien eristäjänä kuvan 29 tapauksessa, jolloin galvaanista korroosiota ei tapahdu (Euro Inox 2011, 4). Selvitystä vaatii kuitenkin se, että saako liimattavan tai pultattavan putkenkiinnittimien läpi menevän tangon pyörimään lähes vapaasti, vai kiivistäkö kiinnike tangon liian tiukasti paikalleen asennusvirheen tai liian johdosta, jolloin avausmekanismi ei toimisi kunnolla. Putkenkiinnittimiä on kuitenkin käytössä muun muassa kuvan 10 mekanismissa, joten ratkaisun oletetaan olevan toimiva.

Kiinnitystapojen lisäksi pohditaan mahdollisuutta toisen lukitusmekanismin kehityksestä, joka ei olisi kaupallinen malli, mutta toimivampi nykyisiin verrattuna. Varsinkin ruostuminen voi olla kaupallisten lukkojen tapauksessa ongelmallista hienorakenteisemmän mekanismin takia.

9 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella mahdollisimman käyttäjäystävällinen kaksitukinen varustelaatikon kannen aukipitomekanismi Metso Minerals Oy:n toimesta. Lisäksi tuli suunnitella kaupallisen lukituksen sovittaminen nykyiseen varustelaatikon kannen malliin. Projektin tarkoituksena oli suunnitella korvaava rakenne yksitukisen pyörötankotuen korvaajaksi, jotta välttyttäisiin muovikannen vääntymiseltä. Luonnollisesti työssä keskityttiin myös varustelaatikon käyttöturvallisuuden kohennusmahdollisuuksien selvittämiseen. Varsinaista vaaraa nykyisistä kannen avausmekanismeista ei käyttäjälle kuitenkaan aiheudu, mutta kaksitukiseen rakenteeseen siirtymällä saavutetaan muun muassa turvalliseen vioittumiseen perustuvan rakenteen johdosta entistäkin käyttövarmempi tuote.

Suunnittelussa lähdettiin liikkeelle nykyisten kaksitukisten mallien pohjalta. Lopullista ratkaisua ei kuitenkaan niistä löytynyt, joten projektissa päädyttiin uuteen malliin, mikä oli oikeastaan tarkoituskin. Suunnittelussa täytyi ottaa huomioon materiaalivalintojen lisäksi komponenttien rakenteellinen kestävyys sekä valmistuksen ja asennuksen vaivattomuus. Koska kyseessä oli nykyisen tuotteen modifikaatio, oli suunnittelussa huomioitava myös muokkaustyön vaativuus.

Prototyypiksi valittu malli oli kolmas versio alkuperäisestä ideasta. Valinnan perusteena oli rakenteen yksinkertaisuus, joka CAD-mallien perusteella täyttäisi projektille asetetut ehdot tilankäytöstä turvallisuuteen ja käytettävyyteen. Prototyyppiä ei kuitenkaan ollut tarkoitus valmistaa aikaisin keväällä, vaikka suunnittelu oli valmis, sillä opinnäytetyössä keskityttiin konseptien luontiin sekä prototyypin modifikaatiopiirustuksen (mukaan lukien osapiirustusten) tekemiseen myöhempää käyttöä varten. Vasta varsinaisen varustelaatikon saapuessa tuotantoon, aukipito- sekä lukitusmekanismista modifioidaan ensimmäinen testikappale tuotetestausta varten.

Prototyyppi suunniteltiin Metso Minerals Oy:n toimistolla Tampereella käyttäen Siemens NX10-mallinnusohjelmaa, joka oli jo tuttu aikaisemman työharjoittelun ajalta. Itse ohjelman käytön opetteluun ei siten kulunut ylimääristä aikaa. Opinnäytetyön aikana kartoitettiin myös jatkokehityskohteita sekä tuotetestaukseen liittyviä ohjeita muun muassa

heuristisen arviointimenetelmän sekä hyötypotentiaalityökalun avulla. Jatkokehityskohdeena tulee olemaan ainakin varustelaatikon kansi, joka alihankkijan toimesta muutetaan sopimaan uuteen aukipitomekanismiin. Tämä merkitsee sitä, että alihankkija pystyy päivittämään valumuottia, mutta myös mekaniikkasuunnitteluun tulee vapauksia, kun mekanismien toimintaa ei rajoita nykyisen varustelaatikon muotoilu. Lisäksi on tarkoitus vähentää ruuviliitosten määrää, joka aikaansaadaan järkevällä muotoilulla.

LÄHTEET

Björk, T., Hautala, P., Huhtala, K., Kivioja, S., Kleimola, M., Lavi, M., Martikka, H., Miettinen, J., Ranta, A., Rinkinen, J. & Salonen, P. 2014. Koneenosien suunnittelu. Helsinki: Sanoma Pro Oy.

Click Bond, Inc. 2018. CB420-50 - CB420 35ml Acrylic Adhesive Cartridge. Luettu 19.2.2018. <http://www.clickbond.com/product-detail/adhesives/cb420-35ml-acrylic-adhesive-cartridge-01>

Euro Inox. 2011. Ruostumattomat teräkset kosketuksissa muiden metallisten materiaalien kanssa. Materiaalit ja niiden käyttösovellukset –sarja. Bryssel: Euro Inox.

Jauhiainen, J. 2011. DFMA erikoisajoneuvon varustelun suunnittelussa. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Savonia-ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Järvinen, A. 2015. Pintakäsittelykoulutus Engineering. Tampere: Metso Oyj.

Käyttötuotteen heuristinen arviointi. N.d. Luettu 21.3.2018. http://mlab.uiah.fi/polut/Design/tyokalu_heuristinen_arvio.html

Majaranta, P. 2015. Heuristinen arviointi. Luettu 21.3.2018. https://kurssit.it.jyu.fi/TJTA104/kalvot/tjta104_majaranta_heuristinen_evaluointi.pdf

Matilainen, J., Parviainen, M., Havas, T., Hiitelä, E. & Hultin, S. 2011. Ohutlevy tuotteiden suunnittelija käsikirja. Tampere: Tammerprint Oy.

Metso Oyj. 2018. Metso Vuosikatsaus 2017. Julkaistu 23.02.2018. Luettu 12.3.2018. <https://www.metso.com/fi/uutiset/2018/2/metson-vuoden-2017-vuosikertomus-seka-selvitys-hallinto--ja-ohjausjarjestelmasta-julkaistu/>

Metsä Wood. 2012. Kerto-käsikirja. Pulttiliitosten mitoitus. Luettu 2.1.2018. <https://www.metsawood.com/global/Tools/MaterialArchive/MaterialArchive/Kerto-kasikirja-lvl-Pulttiliitokset.pdf>

Murtonen, M. 2015. Riskien arviointi työpaikalla-työkirja. Helsinki: Sosiaali- ja terveysministeriö, Työsuojeluosasto, Työturvallisuuskeskus.

Mäkelä, M., Soininen, L., Tuomola, S. & Öistämö, J. 2014. Tekniikan kaavasto. Matematiikan, fysiikan, kemian ja lujuusopin peruskaavoja sekä SI-järjestelmä. Porvoo: Bookwell Oy.

Nielsen, J. 2018. 10 Usability Heuristics for User Interface Design. Luettu 21.3.2018. <https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/>

Niemi, E. & Kemppe, J. 1993. Hitsatun rakenteen suunnittelun perusteet. Helsinki: Painatuskeskus Oy.

Pellosniemi, J. & Kalamies, U. N.d. Teräsrakennetuotteet ja suositeltavat teräslajit. Luettu 22.3.2018. <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK010406.pdf>

Piironen, T. 2013. Teräsrakenteiden suunnitteluohjeita parempaan valmistettavuuteen. Onnistuneen suunnittelun periaatteita-DFMA. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu, HitNet.

Quality Tool. 2008. Sheet Metal Design Handbook. Luettu 5.2.2018.
<http://www.qualitytool.com/resources.html>

Ruuska, K. 2008. Pidä projekti hallinnassa. Helsinki: Gummerus.

Saariluoma, P. 2004. Käyttäjäpsykologia. Ihmisen ja koneen vuorovaikutuksen uusi ajattelutapa. Helsinki: WSOY.

SFS-EN 1993-1-8. 2005. Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-8: Liitosten suunnittelu. Helsinki: Suomen Standarditoimistoliitto SFS. Luettu 5.2.2018.
Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/in-dex.html.stx>

SFS-EN ISO 898-1. 2013. Kiinnittimien lujuusominaisuudet. Seostamattomat ja seostetut raketit. Osa 1: Ruuvien ja vaarnaruuvien lujuusluokat. Vakiokierre ja taajakierre. Helsinki: Suomen Standarditoimistoliitto SFS. Luettu 5.2.2018. Vaatii käyttöoikeuden.
<https://online.sfs.fi/fi/in-dex.html.stx>

SFS-EN ISO 1005-2 + A1. 2009. Koneturvallisuus. Ihmisen fyysinen suorituskyky. Osa 2: Koneen ja sen osien manuaalinen käsittely. Helsinki: Suomen Standarditoimistoliitto SFS. Luettu 17.3.2018. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/in-dex.html.stx>

SFS-EN ISO 12944-2. 2017. Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suoja-
maaliyhdistelmillä. Osa 2: Ympäristöolosuhteiden luokittelu. Helsinki: Suomen Standarditoimistoliitto SFS. Luettu 17.3.2018. Vaatii käyttöoikeuden.
<https://online.sfs.fi/fi/in-dex.html.stx>

SFS-EN 1090-2+A1. 2012. Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa 2: Teräsrakenteita koskevat tekniset vaatimukset. Helsinki: Suomen Standarditoimistoliitto SFS. Luettu 26.3.2018. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/in-dex.html.stx>

SFS-EN ISO 1461. 2009. Valurauta- ja teräskappaleiden kuumasinkkipinnoitteet. Spesifikaatiot ja testausmenetelmät. Helsinki: Suomen Standarditoimistoliitto SFS. Luettu 5.2.2018. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/in-dex.html.stx>

Työturvallisuuskeskus. N.d. Työturvallisuus- ja työterveysriskien tunnistaminen ja arviointi. Luettu 24.3.2018. https://ttk.fi/tyoturvallisuus_ja_tyosuojelu/toiminta_tyopakilla/vastuut_ja_velvoitteet/tyon_vaarojen_selvittaminen_ja_arviointi

Walter Stauffenberg GmbH & Co. KG. 2017. Catalogue 1. STAUFF Clamps. Luettu 19.2.2018. www.stauff.com/1/en/STAUFF-Catalogue-1-STAUFF-Clamps-English.pdf

LIITTEET

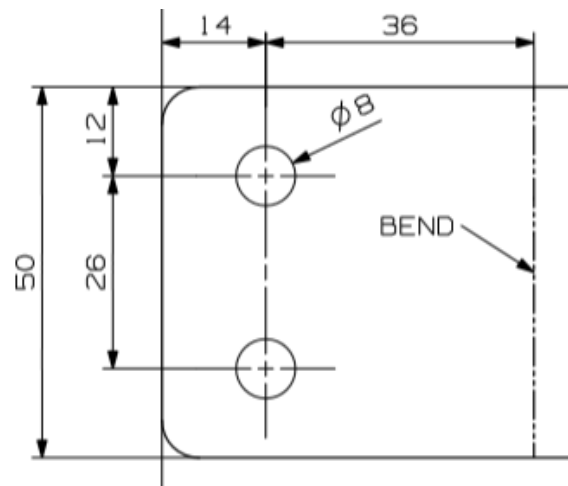
Liite 1. Lukituslevyn mitoitusta

Lukituslevy

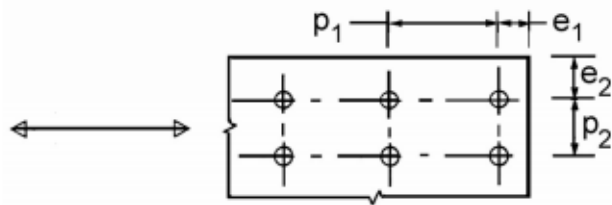
Etäisyys taivutuksesta

$$d := 8\text{mm} \quad s := 3\text{mm} \quad r_s := 10\text{mm} \quad b := 50\text{mm}$$

$$x_1 := \sqrt{d \cdot s} + 0.8 \cdot r_s \cdot \sqrt{\frac{b}{d}} = 24.899\text{mm}$$



Reikien etäisyys levyn reunaan



$$d_0 := 8\text{mm}$$

$$e_1 := 1.2 \cdot d_0 = 9.6\text{mm} \quad e_2 := 1.2 \cdot d_0 = 9.6\text{mm} \quad p_2 := 2.4 \cdot d_0 = 19.2\text{mm}$$

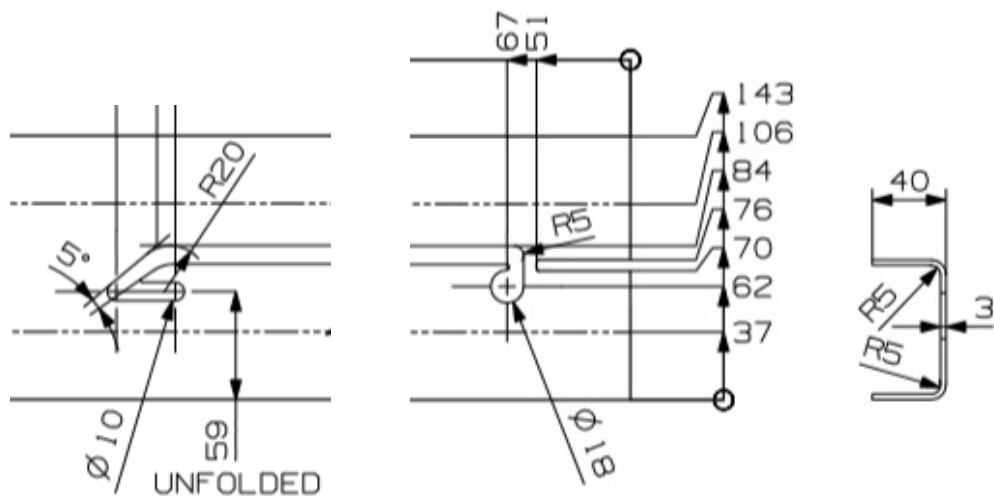
Liite 2. Tukilevyn mitoitusta

1 (2)

Tukilevy EN10025-2-S355JR**Minimilaippakorkeus**

$$r_s := 5 \text{ mm} \quad s := 3 \text{ mm}$$

$$b := r_s + 2 \cdot s = 11 \text{ mm}$$

Aukkojen etäisyys taivutukseen

$$d := 18 \text{ mm} \quad b_1 := 106 \text{ mm} - 37 \text{ mm} = 69 \text{ mm}$$

$$x_1 := \sqrt{d \cdot s} + 0.8 \cdot r_s \cdot \sqrt{\frac{b_1}{d}} = 15.18 \text{ mm}$$

$$d_1 := 10 \text{ mm}$$

$$x_2 := 1.1 \sqrt{d \cdot s} + 0.8 \cdot r_s \cdot \sqrt{\frac{b_1}{d_1}} = 18.59 \text{ mm}$$

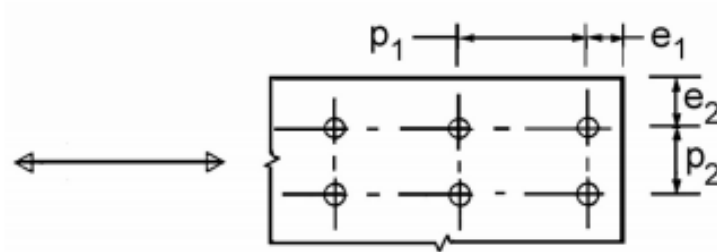
TAI

$$x_2 := 2.5 \cdot s + r_s = 12.5 \text{ mm}$$

(jatkuu)

2 (2)

Aukkojen etäisyys levyn reunaan



$d_0 := 18\text{mm}$ (reikä)

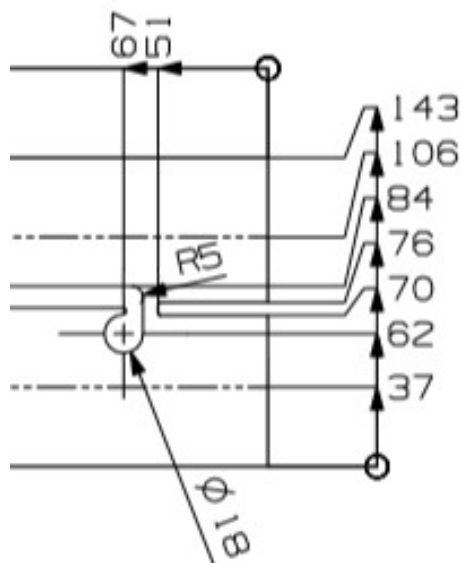
$e_1 := 1.2 \cdot d_0 = 21.6\text{ mm}$ $e_2 := 1.2 \cdot d_0 = 21.6\text{ mm}$

$d_0 := 10\text{mm}$ (lovi)

$e_{1v} := 1.2 \cdot d_0 = 12\text{ mm}$ $e_{2v} := 1.2 \cdot d_0 = 12\text{ mm}$

Reiän etäisyys loveen

Etäisyys > $2 \cdot s = 6\text{ mm}$



Liite 3. Tukivarren mitoitusta

Tukivarsi EN10025-2-S355JR**Suoran ja tasapaksun sauvan nurjahdus**

$$L_{\text{wv}} := 508\text{mm} \quad L_n := 0.5 \cdot L \quad (\text{tukivarsi jäykästi tuettu molemmista päistä})$$

$$E := 210\text{GPa} \quad h := 32\text{mm} \quad b := 5\text{mm}$$

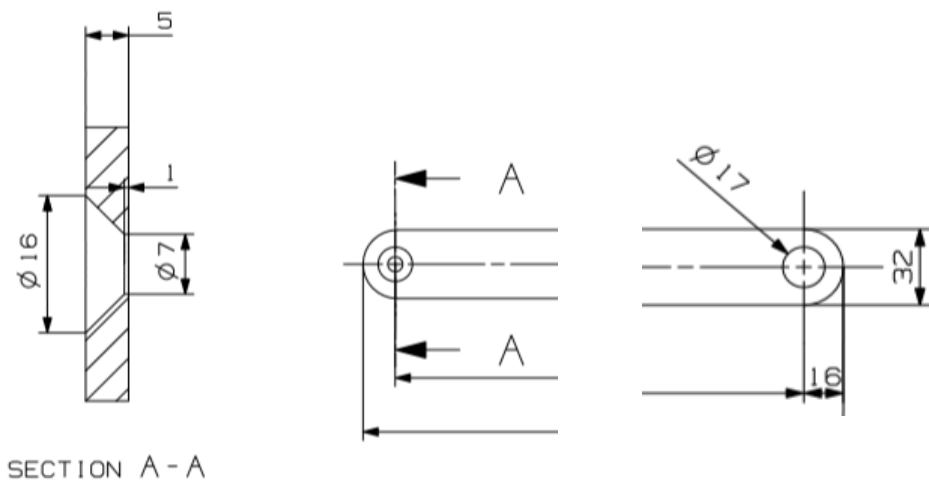
$$I_{\text{min}} := \frac{h \cdot b^3}{12}$$

$$P_n := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{\text{min}}}{L_n^2} = 10.709\text{ kN}$$

Reikien sijoittelu

Etäisyys levyn reunasta

$$t := 5\text{mm} \quad d_0 := 7\text{mm} \quad (\text{uppokantapultin reikä})$$



$$e_1 := 1.2 \cdot d_0 = 8.4\text{mm}$$

$$e_{\text{wv}} := 2 \cdot t = 10\text{mm} \quad (\text{nyrkkisääntö minimilappakorkeuden kaavasta})$$

Liite 4. Pyörötangon mitoitusta

EN10060-16-EN10025-S355J0

$$d := 16\text{mm}$$

Pyöreän akselin vääntö

Vääntöjännityksen maksimi ulkokehällä

$$\overset{\text{MW}}{T} := 100\text{N} \cdot \text{m} \quad (\text{arvioitu teoreettinen maksimaalinen vääntömomentti, kun momenttivarsi on 500mm})$$

$$\tau_{\text{vmax}} := \frac{T}{W_v} = 124.34\text{MPa} \quad W_v := \frac{\pi \cdot d^3}{16}$$

Väännön aiheuttama vääntökulma asteina

$$\overset{\text{MW}}{l} := 1.424\text{m} \quad \overset{\text{MW}}{G} := 85\text{GPa} \quad (\text{teräksen liukukerroin})$$

$$\alpha := \left(\frac{2 \cdot l \cdot \tau_{\text{vmax}}}{G \cdot d} \right) \cdot \left(\frac{180}{\pi} \right) = 14.919$$

Liite 5. Pulttien mitoitusta

1 (2)

ISO4017-M6X20-8.8-A3A sekä ISO4017-M6X25-8.8-A3A***Pultin leikkauskestävyys (yksileikkeinen)***

$$\gamma_{M2} := 1.25$$

$$A_s := 20.1 \text{mm}^2 \quad (\text{SFS-EN ISO 898-1})$$

$$\alpha_v := 0.6$$

$$F_{vRd} := \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 7.718 \cdot \text{kN}$$

Pultin reunapuristuskestävyys

jossa f_u on heikomman liitettävän osan vetomurtolujuuden nimellisarvo

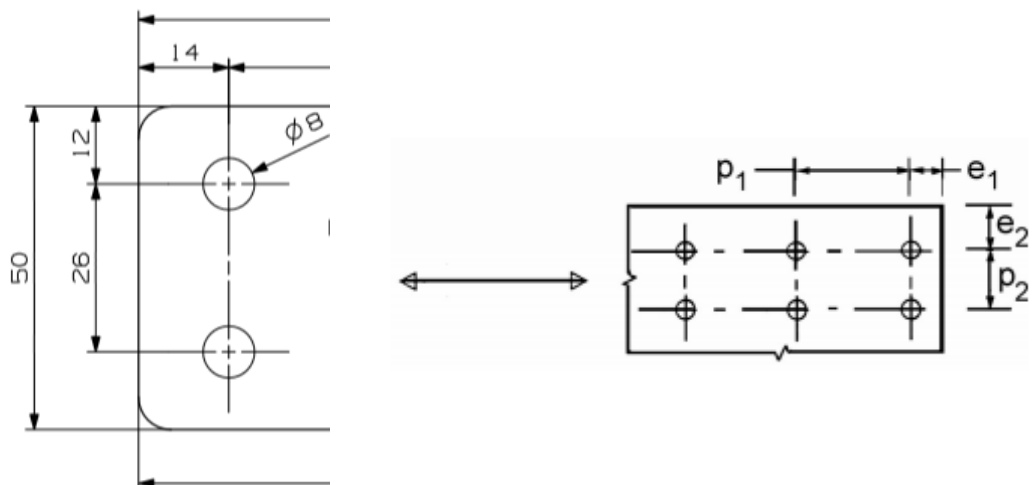
$$\text{Teräs} \quad f_u := 510 \text{MPa}$$

a_b on pienin arvoista:

$$a_b := \frac{f_u}{f_{ub}} = 0.638 \quad \text{ja} \quad a_b = 1,$$

sekä siirrettävän voiman suunnassa levyn pään ruuville:

(Lukituslevyn piirustuksesta)



(jatkuu)

2 (2)

$$d_0 := 8\text{mm} \quad e_1 := 14\text{mm}$$

$$a_b := \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = 0.583$$

Kohtisuorassa suunnassa siirrettävään voimaan nähden k_1 on pienin arvoista:

$$e_2 := 12\text{mm} \quad t := 3\text{mm} \quad d := 6\text{mm}$$

$$k_1 := 2.8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1.7 = 2.5 \quad \text{ja} \quad 2.5$$

$$F_{bRd} := \frac{k_1 \cdot a_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = 10.71 \cdot \text{kN}$$

Vetokestävyys

$$\text{Ruuvit:} \quad k_2 := 0.9$$

$$F_{tRd} := \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 11.578 \text{ kN}$$

Myötömomentti (SFS-EN 1995-1-1):

$$d_w := \frac{2 \cdot \sqrt{A_m}}{\sqrt{\pi}} \quad A_m := 20.1 \quad (A_m = A_s) \quad f_{ub1} := 800 \quad (f_{ub1} = f_{ub})$$

$$M_y := 0.3 \cdot f_{ub1} \cdot d^{2.6} = 16246.106 \text{ Nmm}$$

Liite 6. Uppokantapultin mitoitus

ISO10642-M6X30-8.8-A3A

Pultin leikkauskestävyys (yksileikkeinen)

$$\gamma_{M2} := 1.25$$

$$d := 6\text{mm}$$

$$\alpha_v := 0.6 \quad A := \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad f_{ub} := 800\text{MPa}$$

$$F_{vRd} := \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 10.857 \cdot \text{kN}$$

Myötömomentti (SFS-EN 1995-1-1):

$$d := 6 \quad f_{ub} := 800$$

$$M_y := 0.3 \cdot f_{ub} \cdot d^{2.6} = 25316.548 \quad \text{Nmm}$$

Hitsisaumat

Tukivarren ja pyörötangon sauma

$$\gamma_{M2} := 1.25 \quad \beta_w := 0.9 \quad \underline{F} := 500\text{N} \quad \underline{l} := 53\text{mm} \quad f_u := 510\text{MPa}$$

$$a := \frac{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M2} \cdot \beta_w}{1 \cdot f_u} \cdot F = 0.036 \text{ mm}$$

Pienahitsin minimi a-mitta on 3mm