

LAPPEENRANNAN TEKNILINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

Konetekniikan koulutusohjelma

BK10A0400 Kandidaatintyö

KANDIDAATINTYÖ

MAANSIIRTOVAUNUN PERÄLAUDAN SUUNNITTELU

TAIL BOARD DESIGN FOR DUMP WAGON

Ohjaaja: TkT Kimmo Kerkkänen

Lapinlahdella 20.1.2011

Jani Räihä 0294860

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	1
2 MAANSIIRTOVAUNUN PERÄLAUDAN KEHITTÄMINEN	2
2.1 Tuotteen kehittäminen.....	2
2.2 Tehtävän asettelu.....	3
2.3 Tarvittavien toimien erottaminen.....	6
2.4 Alustava ideointi	7
2.5 Ratkaisuvaihtoehtojen ideointi.....	8
2.5.1 Runko	8
2.5.2 Avausmekanismi.....	11
2.5.3 Lukitusmekanismi	14
3 SUUNNITTELU	18
3.1 Runko	18
3.2 Avaus- ja lukitusmekanismit.....	21
3.2.1 Hydraulisylinteri	21
3.2.2 Karamoottori	25
3.3 Lukitusmekanismit.....	27
3.3.1 Vastakappaleet	27
3.3.2 Sähkölukot	28
3.5 Kustannusarvio.....	29
4 RATKAISUJEN ANALYSOINTI	34
5 JOHTOPÄÄTÖKSET.....	35
LÄHTEET.....	37

LIITTEET

1 JOHDANTO

Tämän kandidaatin työn tarkoituksena on ideoida ja suunnitella maansiirtovaunun perälautaa, joka edesauttaa materiaalin siirtelyä. Työssä pyritään systemaattiseen koneensuunnitteluprosessiin ja suunnitelmat luodaan analyysien pohjalta. Työhön kuuluu perälaudan runkorakenteen sekä avaus- ja lukitusmekanismin suunnittelu. Kandidaattityö rajataan ainoastaan konstruktion toimintaperiaatteen ja rakenteen suunnitteluun. Toimilaitteiden yksityiskohtainen suunnittelu jätetään tämän työn ulkopuolelle. Työn suunnittelussa pyritään käyttämään standardiosia laitteen kehittämiseksi. Uuden perälautakonstruktion tarkoituksena on helpottaa materiaalin kuljetusta ja olla käyttäjäystävällinen.

Mekanismeista ja runkorakenteesta luonnosteltiin erilaisia vaihtoehtoja ja näitä yhdistelemällä saatiin aikaiseksi erilaisia kokonaisratkaisuvaihtoehtoja. Tarkoituksena oli tehdä konstruktiosta yksinkertainen ja toimiva, koska perälaudan toiminta on tärkeää maansiirtovaunun toiminnan kannalta.



Kuva 1. Maansiirtovaunu (Turunkonekeskus)

2 MAANSIIRTOVAUNUN PERÄLAUDAN KEHITTÄMINEN

Maansiirtovaunun perälaudasta on valmistettu useita erilaisia konstruktioita, mutta toimintaperiaatteiltaan ne ovat lähes identtisiä. Useimmiten maansiirtovaunut on valmistettu vanhoista kuorma-autoista, mikä näkyy perälaudan huonona kuntona ja vanhanaikaisena rakenteena. Perälaudassa olevat toimilaitteet ovat kärsineet useimmiten pahoja vaurioita, koska ne ovat ulottuneet vaunun kylkilinjan ulkopuolelle ja näin ollen vahingoittuneet helposti muun muassa kaivinkoneen kauhan iskuista. Tarkoituksena on kehittää perälauta, joka palvelee käyttäjää luotettavasti koko vaunun elinkaaren.

2.1 Tuotteen kehittäminen

Menestyneen tuotekehityksen tuloksena syntyy tuote, jota voidaan valmistaa ja myydä voitolla. Tavoite on yleensä hankala saavuttaa nopeasti ja johdonmukaisesti. Markkinatilanne voi syystä tai toisesta vaihtua ja asiakkaan tarpeet muuttua. Tämä edellyttää sitä, että tuotekehitysprosessi on hyvin suunniteltu ja johdettu (Ulrich & Eppinger 2000, s. 2–3).

Tuotekehityksen lähtökohtana on ymmärtää ongelma ja tarve, koska tähän asiaan tulee perehtyä ja selvittää mitä tuotteelta halutaan. Kun tiedetään mitä halutaan, voidaan alkaa selvittämään miten asia voidaan ratkaista. Tässä vaiheessa ei saa olla liian kriittinen ideoille (Rozenburg & Eekels 1995, s. 108–109).

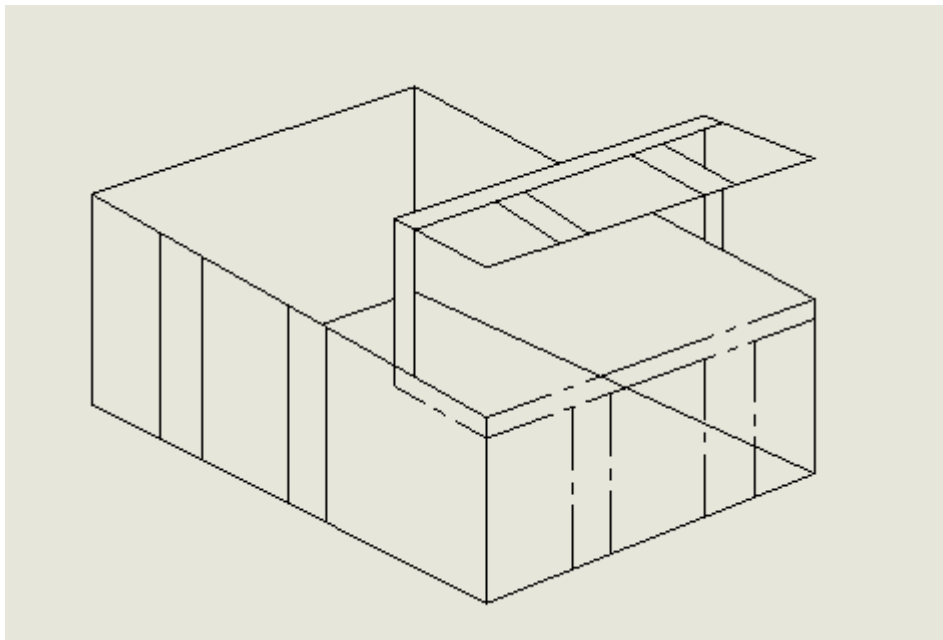
Syntyneistä ideoista voidaan alkaa miettimään alustavia ratkaisuvaihtoehtoja. Järkevää on jakaa tuotteen suunnittelu eri osiin, joita yhdistelemällä saadaan erilaisia ratkaisuja. Mahdollisten ratkaisujen määrä kasvaa helposti liian suureksi, joten hyvät ja huonot ideat tulee erottaa tavalla tai toisella toisistaan (Rozenburg & Eekels 1995, s. 109).

Suunnittelu voidaan aloittaa, kun hyviä ideoita on tarpeeksi. Tässä tilanteessa voi käydä vielä niin, että joitain vaihtoehtoja joudutaan rajaamaan ulos, kun niitä tarkastellaan lähemmin. Selvien suunnitelmien jälkeen ne dokumentoidaan hyvin, minkä jälkeen

tuotteen valmistusta voidaan alkaa tarkemmin miettimään (Rozenburg & Eekels 1995, s. 109–110)

2.2 Tehtävän asettelu

Maansiirtovaunu perälauta koostuu levyrakenteesta, joka on saranoitu vaunun lavaan kahdella samanpituisella tukivarrella. Perälaudan leveys on 2380 mm ja korkeus 750 mm. Tukivarsien etäisyys toisistaan on sama kuin lavan leveys. Perälautaan kohdistuu suurimmillaan 128 kN voima, joka aiheutuu, jos täydessä hiekkalastissa oleva lava kipataan 55 asteen kulmaan perälaudan ollessa suljettuna. Perälaudan pitää kestää koko vaunun käyttöä.



Kuva 2. Perälaudan rakenne.

Perälaudan avaaminen ja sulkeminen tapahtuu usein, yleensä jokaisen kuorman purkamisen yhteydessä. Parhaimmillaan perälautaa käytetään kymmeniä kertoja vuorokaudessa. Avausmekanismin tulisi olla yksinkertainen, toimintavarma ja edullinen valmistaa. Perälaudan avauma tulee olla riittävän suuri, jotta kuljetettava materiaali pääsee helposti purkautumaan pois lavaa kipattaessa. Myös perälaudan avaumaa pitää pystyä

säätämään siten, ettei se vaikuta lavan kippauskulmaan. Maansiirtovaunulla pitää pystyä kuljettamaan myös ylipitkiä kappaleita, joten perälaudan nopea poiskytkentä on oltava mahdollista.

Perälaudan lukitusmekanismin on oltava yksinkertainen ja kestävä, koska mekanismiin kohdistuu ajoittain suuria voimia. Ottaen huomioon konstruktion pitkän halutun käyttöiän, aiheutuu erityisesti rungolle ja lukitusmekanismille erityisvaatimuksia väsymisen suhteen. Hydrauliset toimilaitteet ovat toivottuja, koska traktorista saatavalla hydraulikalla voidaan toteuttaa avaus- ja lukitusmekanismeja.

Tuotteen haluttuja ja ei haluttuja ominaisuuksia voidaan määrittää vaatimuslistan avulla. Siinä tulee määritellä ovatko halutut ominaisuudet vaatimuksia vai toivomuksia. Tuotteen tulee täyttää ehdottomasti vaatimukset, minkä lisäksi niiden pitää olla määrällisiä ja hyvin yksiselitteisiä (Phal et al. 2007, s. 136–147).

Pääsääntöisesti tuotteen vaatimuslistan laatiminen voi olla vaikeaa. Kokemuksen jälkeen vaatimuslistan laatiminen tulee helpommaksi, koska voi käyttää aikaisempia listoja avuksi. Vaatimuslista on useimmiten asiakaslähtöinen, joten se pohjautuu asiakkaan antamiin asiakirjoihin ja tietoihin. Tuote on monesti suunnattu tietylle asiakkaalle, joten vaatimuksia mietitään tarkkaan asiakkaan kanssa. Jos tuote tulee suuntautumaan suurelle asiakasryhmälle, on suotavaa järjestää kysely halutuista vaatimuksista (Phal et al. 2007, s. 150).

Tekniset vaatimukset on helppo löytää, koska ne ovat hyvin yksiselitteisiä esim. koneen teho 15 kW. Yleisellä tasolla vaatimukset ovat epäsuoria, joita on hankala sijoittaa vaatimuslistaan. Tähän kategoriaan kuulu myös tuotteen ulkonäköön liittyvät asiat.

Taulukko 1. Vaatimuslista

V	
T	Vaatimukset
	<u>Toimilaitteet</u>
T	Hydrauliset toimilaitteet
V	Yksinkertainen toiminta
V	Kestettävä vaativia olosuhteita
	<u>Voimat</u>
V	Kestettävä vähintään kuljetettavan materiaalin aiheuttamat voimat 128 kN
V	Kestettävä avauksen ja sulkemisen aikaansaamat kuormat
	<u>Geometria</u>
V	Perälaudan koko 2380 x 750
T	Toimilaitteet sijaitsevat lavan ulkopuolella
	<u>Kunnossapito</u>
T	Osat helposti vaihdettavissa
V	Käyttöikä koko vaunun elinkaaren (10 vuotta)
T	Perälaudan nopea poiskytkentä
	<u>Kinematiikka</u>
T	Yksinkertainen avaus - ja lukitusmekanismi
V	Varmatoiminen
V	Kannen avauduttava vähintään 90 astetta
	<u>Valmistus</u>
T	Yksinkertainen valmistaa
	<u>Kustannukset</u>
T	Edullinen
	<u>Materiaali</u>
V	Muu kuin S355

2.3 Tarvittavien toimien erottaminen

Suunnitteluprosessin ongelma voidaan selvittää abstrahoinnilla, joka on tehtävän ydinolemus. Abstrahoinnin avulla voidaan käyttää vaatimuslistaa. Abstrahointi etenee seuraavalla tavalla:

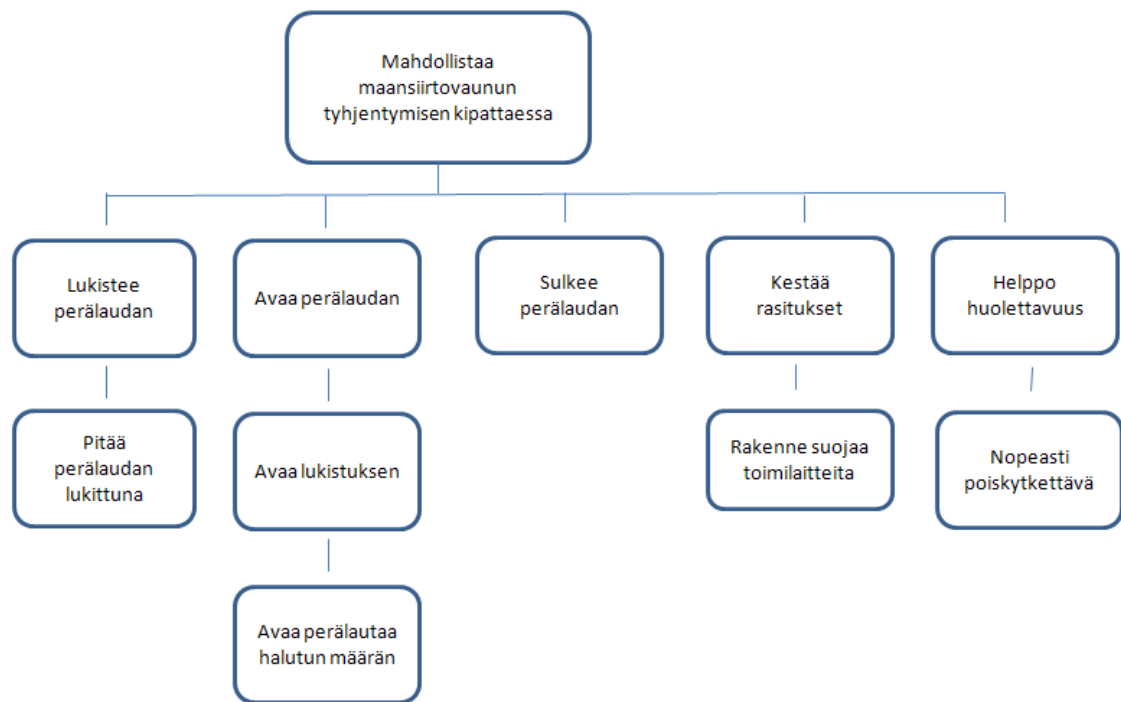
1. vaatimuslistan toivomukset poistetaan
2. vähemmän merkittävät vaatimukset poistetaan
3. määrälliset toteamukset muutetaan laadullisiksi
4. jäljelle jäänyt tieto muotoillaan neutraalisti siten, että siinä ei oteta kantaa erilaisiin ratkaisuvaihtoehtoihin.

Abstrahoinnin avulla tehtävälle saadaan yksinkertaistettu muoto:

Rakenteesta pyritään erottamaan kolme eri kokonaisuutta: runko, avausmekanismi ja lukitusmekanismi. Vaatimuslistan abstrahoinnin jälkeen saadaan kokonaistoiminnoksi ”mahdollistaa maansiirtovaunun tyhjentyksen kipattaessa”.

Tämän jälkeen voitiin tehdä toimintorakennekaavio, jolla saadaan suunnittelu selkeämmäksi. Kaavio on esitetty kuvassa 2. Toimintorakenteen ylimmällä tasolla on kokonaistoiminto, seuraavalla tasolla ovat päätoiminnot ja sitä alemmilla tasoilla sivutoiminnot.

Monimutkainen suunnittelutehtävä jaetaan pienempiin ongelmiin toimintorakenteen avulla. Toimintorakenteesta löytyy mitä toiminnolta halutaan, mutta siihen ei oteta kantaa kuinka ratkaisuihin päästään. Laajemmissa suunnitteluprojekteissa tästä on vielä suurempi hyöty., kun eri toimintojen suunnittelu voidaan hajauttaa (Ulrich & Eppinger 2000, s. 112–114).



Kuva 3. Toimintorakenne; perälaudan sulkeminen tapahtuu samalla mekanismilla kuin aukaisukin.

2.4 Alustava ideointi

Ideointi pystyttiin aloittamaan, kun tehtävän asettelu oli selvillä. Kaikki perälaudan toimintoon liittyvät asiat koottiin yhteen taulukosta 2 löytyvään ideamatriisiin. Tämän pohjalta ryhdyttiin etsimään sopivia ratkaisuvaihtoehtoja.

Taulukko 2. Ideamatriisi

Ideamatriisi					
Toiminto	1	2	3	4	5
Avautuminen/sulkeminen	Hydrauliikka	Moottori/vaihde	Hammaskehä	Kuularuuvi	Ketjuveto
Lukituksen avaus/suljenta	Lukitusvarret	Vastakappale	Tanko-nokka	Sähkölukot	
Kestää räsitukset	Levy/jäykisteet	Kotelorakenne			

Ideamatriisin tulee sisältää kaikki tuotteen toiminnot. Toimintojen pitää olla riippumattomia toisistaan, jotta ne eivät sulkisi pois toistensa ratkaisuja. Ideamatriisin avulla on mahdollista saada aikaan ratkaisu, jota ei syystä tai toisesta voida toteuttaa. Tämä on syytä huomata ratkaisuvaihtoehtoa etsiessä (Roozenburg & Eekels 1995, s. 202–203).

Ideamatriisin oleellisemmat ongelmat on vaikea löytää. Työtä helpottaa jo edellä tehdyt vaatimuslista, abstrahointi ja toimintorakenne. Yhtenä ongelmana voi olla miten nämä toiminnot voidaan ratkaista. Ideamatriisista saatavien ratkaisujen määrä lähenee helposti ääretöntä, joten jokin keino hyvien ratkaisujen erottamiseen on löydettävä (Roozenburg & Eekels 1995, s. 110.)

Maansiirtovaunun suunnittelun alkuvaiheessa rajattiin vipumekanismit kokonaan pois, koska pelkästään vipumekanismeilla ei pystytä säätelemään perälaudan avaumaa ilman että muutettaisiin lavan kulmaa.

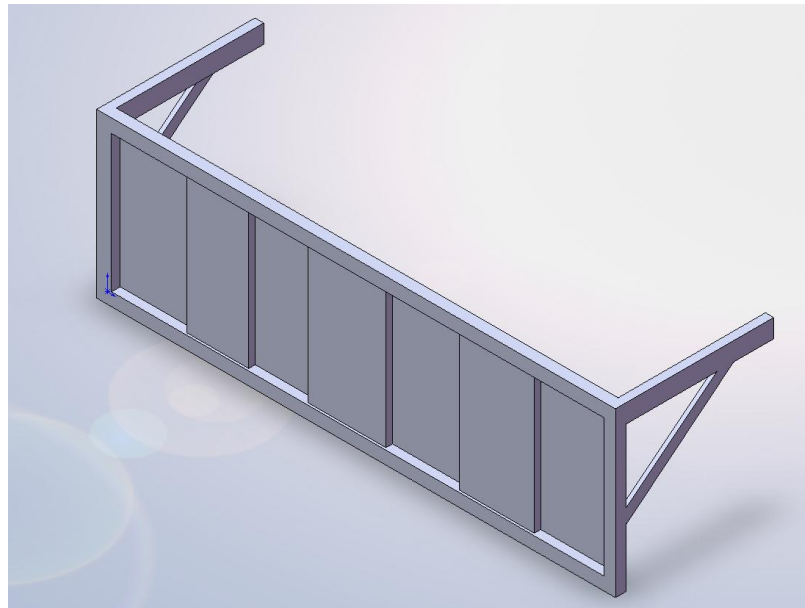
2.5 Ratkaisuvaihtoehtojen ideointi

Ratkaisuvaihtoehtoja pyrittiin ideoimaan mahdollisimman laajasti. Mahdollisia toimivia ideoita on käsitelty seuraavassa kappaleessa.

2.5.1 Runko

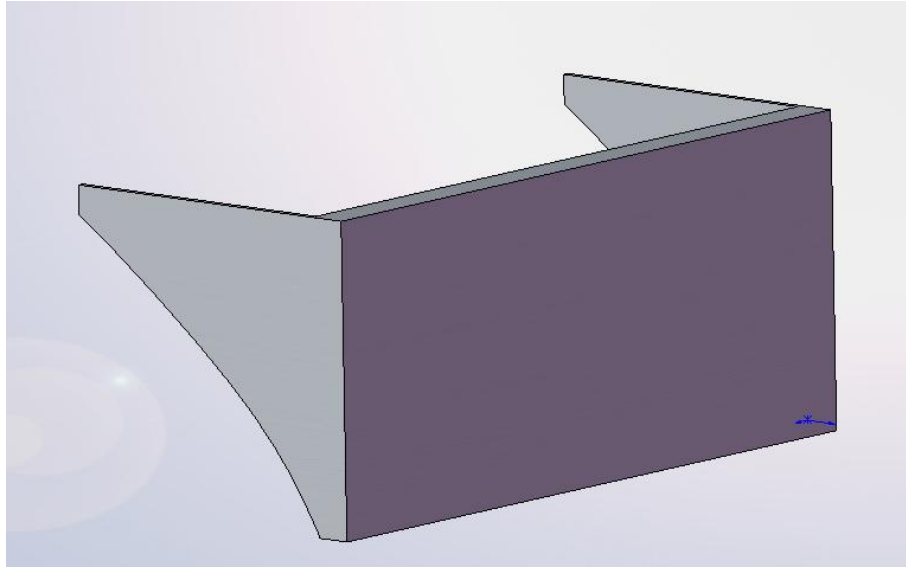
Perälaudan runko on rakenteeltaan hyvin yksinkertainen levyrakenne. Rungon ideoinnissa pääpaino on materiaalissa sekä toimilaitteiden, että rungon kiinnityspisteissä. Rungon elinikä tulee olemaan noin 10 vuotta, joten materiaalilta vaaditaan suurta kulutuskestävyyttä ja iskusitkeysominaisuuksia. Perälaudan nopea poiskytkeminen on otettava huomioon, koska kuljetettava materiaali voi olla mitoiltaan suurempi kuin lavan tilavuus.

Perälauta voidaan valmistaa yksinkertaisimmillaan levystä ja jäykisteistä. Levyn ympärille hitsataan jäykisteet tueksi, jolloin minimoidaan levyn taipuma kuorman vaikutuksesta. Jäykisteet kiertävät kehää, jonka sisälle on hitsattu pystyjäykisteet tasavälein. RHS-putkesta muodostuvat nostovarret hitsataan perälaudun yläkulmaan vaakatasoon, mihin lisätään pienet vinotuet rakenteen jäykistämiseksi. Materiaalina toimisi kulutusteräs ja rakenneteräs.



Kuva 4. Hahmotelma runkorakenteesta

Toisena vaihtoehtona on kotelorakenne. Perälauta valmistetaan kahdesta särmätystä vastakappaleesta, jotka hitsataan kiinni toisiinsa. Perälaudun nostovarret toteutettaisiin levyleikkeistä ja muotoon särmätystä profiilista. Levyleikkeen ansiosta toimilaitteet voitaisiin asentaa levyn alle suojaan, joka pidentäisi toimilaitteiden elinikää. Kotelorakenteen etuja olisivat parempi vääntöjäykkyys ja kevyempi rakenne, koska materiaalina toimisi suurlujuusteräs.



Kuva 5. Levyistä koostuva runkorakenne

Perälautojen runkorakenteista muodostettiin pistearviointi, joka on taulukossa 3. Pääpaino arvioinnissa annettiin toimintavarmuudelle ja yksinkertaisuudelle.

Taulukko 3. Rungon pistearviointi

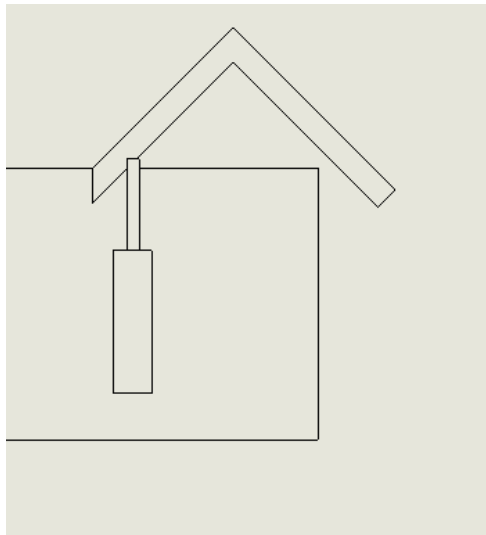
	Toimintavarmuus	Yksinkertaisuus	Valmistettavuus	Kustannustehokkuus	Soveltuvuus runkoon	
Kerroin	0,3	0,3	0,1	0,08	0,05	
Levy/jäykisteet	9	8	8	8	8	6,94
	2,7	2,4	0,8	0,64	0,4	
Kotelorakenne	9	8	9	8	8	7,04
	2,7	2,4	0,9	0,64	0,4	

Jatkokehitykseen valittiin kotelorakenne yhdessä suurlujuusteräksen kanssa, koska sekä materiaali ja rakenne poikkeavat suuresti tavanomaisesta perälaudan rakenteesta. Kevyemmän rakenteen ansiosta toimilaitteilta vaaditut voimat jäävät pienemmiksi.

2.5.2 Avausmekanismi

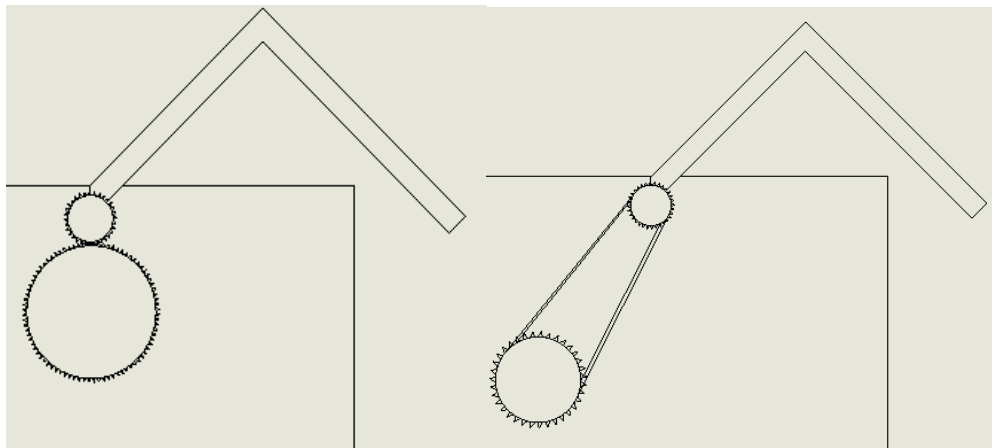
Avausmekanismin voidaan toteuttaa hyvinkin erilaisilla toimilaitteilla. Hydrauli- ja sähkötoimilaitteiden avulla perälaudan avausmekanismista saadaan luotettava ja turvallinen. Nykyaikaisissa maatalous- ja liikennetraktoreissa on monipuolinen ulkopuolinen hydrauliikka, joten hydrauliiikan käyttö perälaudan toiminnassa olisi järkevää. Tulevaisuudessa kuitenkin tullaan näkemään yhä enemmän sähköisiä toimilaitteita maatalouskoneissa, joten sähköiset toimilaitteet ovat varteenotettavia vaihtoehtoja.

Ensimmäiseksi mieleen tulee hydraulisyylinterit, koska pienen kokonsa ja hyvän tehotehdyden ansioista avausmekanismi olisi helppo toteuttaa. Sylintereiden vikasetokyky on korkea, joten Niiden käyttö vaativissa olosuhteissa lisäävät toimintavarmuutta. Sylintereiden avulla pystytään samalla toteuttamaan vähintään 90 asteen avauma ja säätämään perälaudan kulmaa portaattomasti.



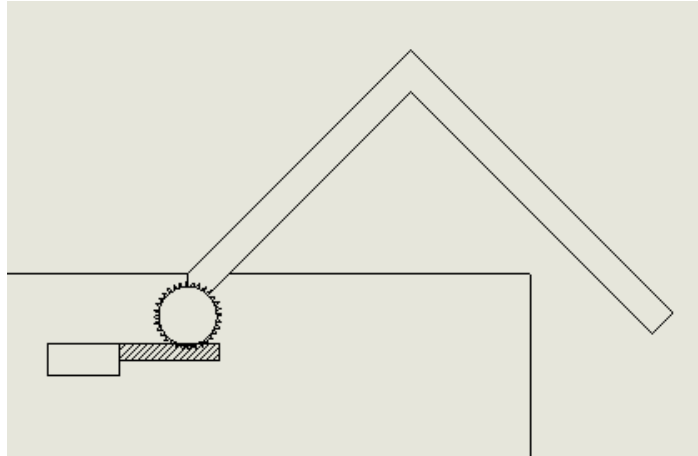
Kuva 6. Hydraulisyylintereillä toteutettu aukaisu- ja sulkemismekanismi

Perälautaa avautuu kääntämällä, niinpä ajatuksena tulee moottori, jolla avauksen voitaisiin toteuttaa. Raskaan rakenteen vuoksi mekanismeissa tulisi käyttää suurta moottoria tai vaihdetta, jotta se saisi aikaan halutun vääntömomentin. Yksinkertainen ratkaisu olisi kiinnittää hammaskehä perälaudan pyörähdysakselille, jota sähkömoottori pyörittäisi. Toinen vaihtoehto olisi käyttää ketjuvetoa. Molemmissa vaihtoehtoissa piilee ongelmana suuri tilan tarve ja vikaherkkyys vaativissa olosuhteissa. Ketjuveto saattaisi aiheuttaa ryntäystä ja kääntäminen saattaisi aiheutua liian suurella nopeudella, jolloin perälaudan avautuminen ei olisi hallittua. Tästä johtuen perälaudan avauman säätö olisi vaikeaa. Molemmissa tapauksissa perälaudan avauma tulisi estää vasteilla, jotta perälauta ei pääsisi kääntymään yli 90 astetta.



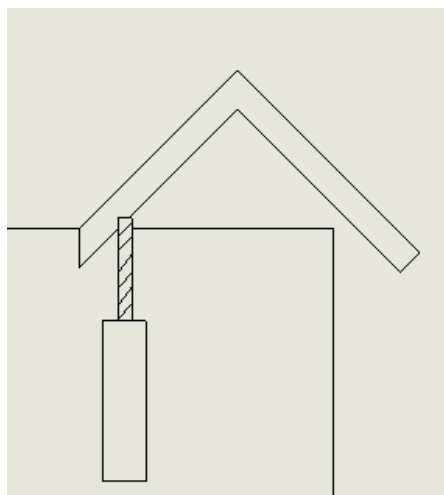
Kuva 7. Aukaisu- ja sulkeminen toteutettu hammaspyörän ja ketjuvedon avulla.

Sähkömoottoria voitaisiin hyödyntää myös siten, että se kiinnitettäisiin erilliseen vaihteistoon. Toimilaitteiden koko kasvaa liian suureksi, joten se haittaisi jo itse maansiirtovaunun käyttöä. Vaihteistot pystyttäisiin korvaamaan kierukkavaihteella varustetuilla kääntökehillä. Kierukkavaihteet eivät pääse ryntäämään, koska hammasratas ei pyöritä kierukkaa. Laitteilla saadaan aikaan myös suhteellisen suuri vääntömomentti. Laitteen kompaktin koon ansioista vaihteita voidaan asentaa perälaudan molemmille puolille.



Kuva 8. Kierukkavaihteella toteutettu mekanismi.

Hydrauliikan kanssa hyvin samanlaisiin arvoihin päästään karamoottorien avulla. Karamoottoreilla saadaan tuotettua yhtä suuret aksiaalivoimat kuin hydrauliikalla, mutta liikenopeudet ruuveissa ovat hitaampia, mikä osaltaan vaikuttaa perälaudan käytettävyyteen.



Kuva 9. Hahmotelma karamoottorilla toimivasta mekanismista.

Avaus- ja sulkemismekanismeille tehdään pistearviointi, josta valitaan eniten pisteitä saaneet toimilaitteet jatkokehitykseen. Pistearvioinnin maksimi pistemäärä on 10.

Taulukko 4. Avaus- ja sulkemismekanismin pistearviointi

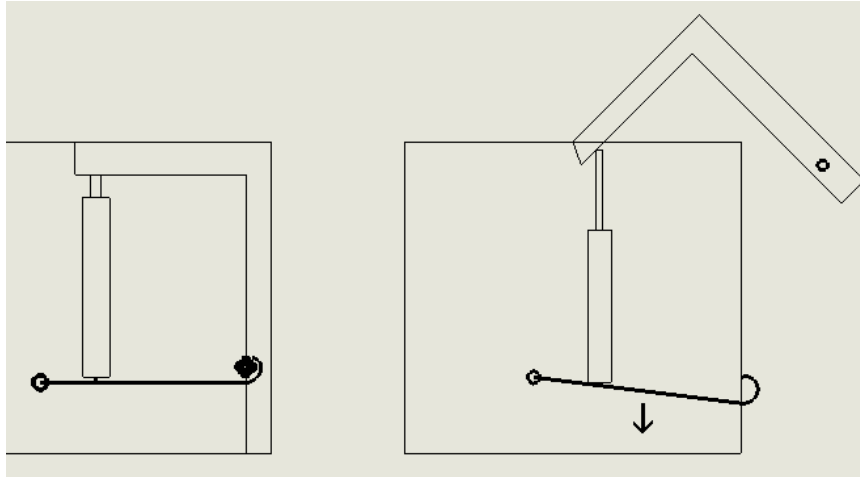
	Toimintavarmuus	Yksinkertaisuus	Valmistettavuus	Kustannustehokkuus	Soveltuvuus runkoon	
Kerroin	0,3	0,3	0,1	0,08	0,05	
Hydrauliikka	9	8	8	8	9	6,99
	2,7	2,4	0,8	0,64	0,45	
Moottori ja vaihde	8	7	6	5	6	5,8
	2,4	2,1	0,6	0,4	0,3	
Hammaskehä	8	8	8	7	6	6,46
	2,4	2,4	0,8	0,56	0,3	
Karamoottori	9	9	7	6	6	6,88
	2,7	2,7	0,7	0,48	0,3	
Ketjuveto	7	7	7	6	6	5,68
	2,1	2,1	0,7	0,48	0,3	

Jatkokehitykseen valittiin hydrauliikka ja karamoottori. Hydrauliikan valintaan päädyttiin, koska hydrauliikassa on suuri tehotehoisuus, toimilaitteiden helppo sijoitus ja kestävä rakenne. Karamoottorin hallittu liike ja suuret voimat helpottivat karamoottorin valintaan.

2.5.3 Lukitusmekanismi

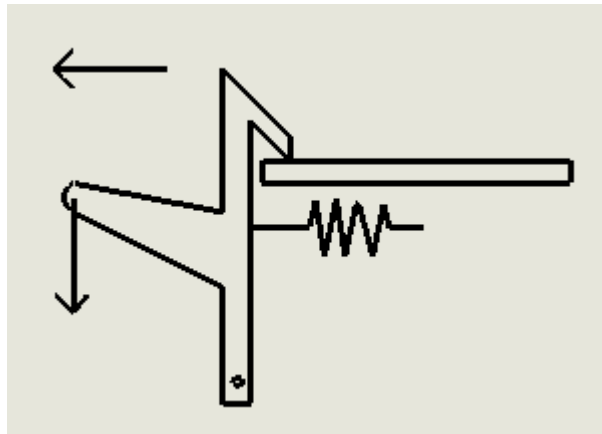
Lukitusmekanismin avulla saadaan perälauta pysymään kiinni kuljetuksen aikana. Lukituksen tulisi olla mahdollisimman varmatoiminen ja yksinkertainen käytön kannalta. Ideoinnin tavoitteena oli saada itsestään lukittuva lukitusmekanismi vaunun perälautaan. Samalla varmistettaisiin, että perälauta ei ainakaan jäisi lukitsematta.

Vaihtoehtona on toteuttaa lukitus erillisen mekanismin avulla, mikä voisi toimia hydraulisesti tai sähköisesti. Yleisesti käytettävissä olevat lukitusmekanismit toimivat hydraulisesti, jossa toiminta on yhdistetty lavan sulkemismekanismiin. Tällöin perälauta lukittuu automaattisesti sulkemisen loppuvaiheessa. Nostosylintereihin liitetyissä lukitusvarsissa on kynnet, jotka tarttuvat perälaudassa oleviin tartuntatappeihin.



Kuva 10. Periaate lukitusvarsista.

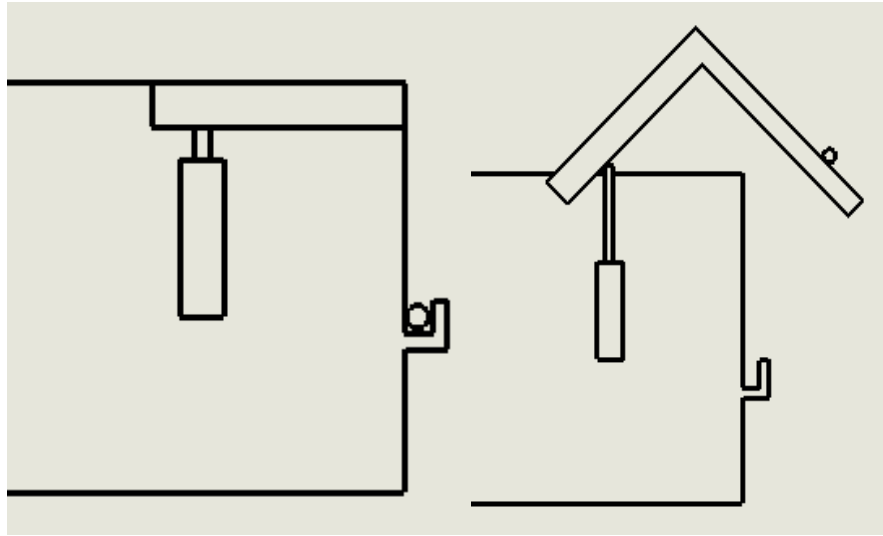
Vanhoissa kuorma-autoissa on käytetty lukitusmekanismina tankoa, jossa on viistetty nokka. Tangon toisessa päässä on voimakas jousi, joka pitää tangon lukittuneena perälautaan. Kun perälauta sulkeutuu tangon päälle, se poikkeuttaisi tankoa. Perälaudan lukituslevyn laskeuduttua nokan alapuolelle, jousi siirtää tangon lukitus asentoon. Lukitus vapautettaisiin joko vaijerista vetämällä tai ulkopuolisen toimilaitteen avulla.



Kuva 11. Tankolukitus mekanismi.

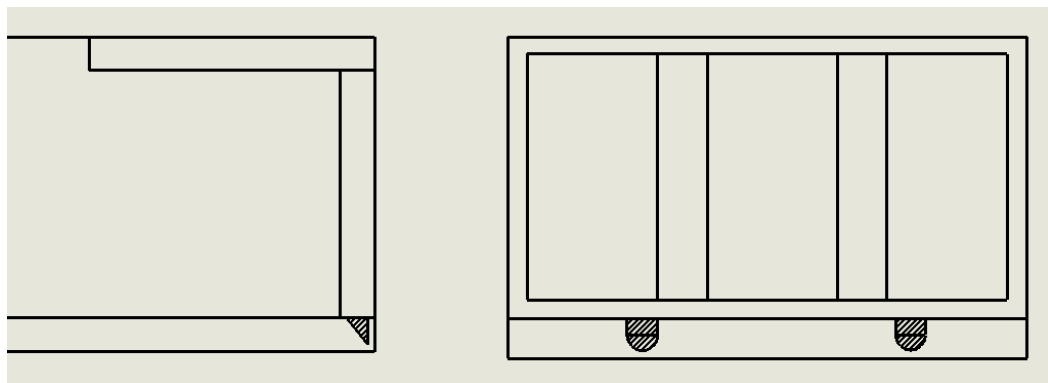
Kolmantena vaihtoehtona on lavaan ja perälautaan hitsatut vastakappaleet. Lukitus toteutettaisiin perälaudan aukaisu- ja lukitusmekanismin avulla. Avautuessaan perälauta

nousee suoraan ylöspäin, jolloin vastakappaleet irtoavat toisistaan. Tämän jälkeen perälauta avautuu normaalisti. Lava lukittuu päinvastaisessa järjestyksessä.



Kuva 12. Vastakappaleet

Lukitus on mahdollista toteuttaa myös sähköisesti ohjatun järjestelmän avulla. Kaksi erillistä sähkölukkoa avautuisi automaattisesti perälaudan aukaisun yhteydessä. Sulkemisvaiheessa perälauta poikkeuttaisi lukkojen viistoon leikattuja salpoja, jonka jälkeen salvat liukuisivat takaisin hahloonsa.



Kuva 13. Sähkölukot

Taulukossa 5. pisteytetään lukitusmekanismit ja valitaan jatkokehitykseen kaksi parasta vaihtoehtoa.

Taulukko 5. Lukitusmekanismin pistearviointi

	Toimintavarmuus	Yksinkertaisuus	Valmistettavuus	Kustannustehokkuus	Soveltuvuus runkoon	
Kerroin	0,3	0,3	0,1	0,08	0,05	
Tanko-nokka	9	8	7	8	9	6,99
	2,7	2,4	0,8	0,64	0,45	
Lukitusvarret	8	7	6	5	6	5,8
	2,4	2,1	0,6	0,4	0,3	
Vastakappaleet	8	8	8	7	6	6,46
	2,4	2,4	0,8	0,56	0,3	
Sähkölukot	9	9	7	6	6	6,88
	2,7	2,7	0,7	0,48	0,3	

Jatkokehitykseen valittiin kaksi parasta vaihtoehtoa vastakappaleet ja sähkölukot. Molemmilla vaihtoehdoilla on omat hyvät ja huonot puolensa. Vastakappaleet ovat toimintavarmoja ja edullisia toteuttaa. Niiden toiminnan edellyttämiseksi tarvitaan perälaudan aukaisu tai sulkemis- liike, koska erillisiä toimilaitteita ei konstruktio sisällä. Sähkölukot on sen sijaan helppo asentaa runkorakenteeseen, mikä antaa hyvin paljon erilaisia mahdollisuuksia konstruktion toteutukseen.

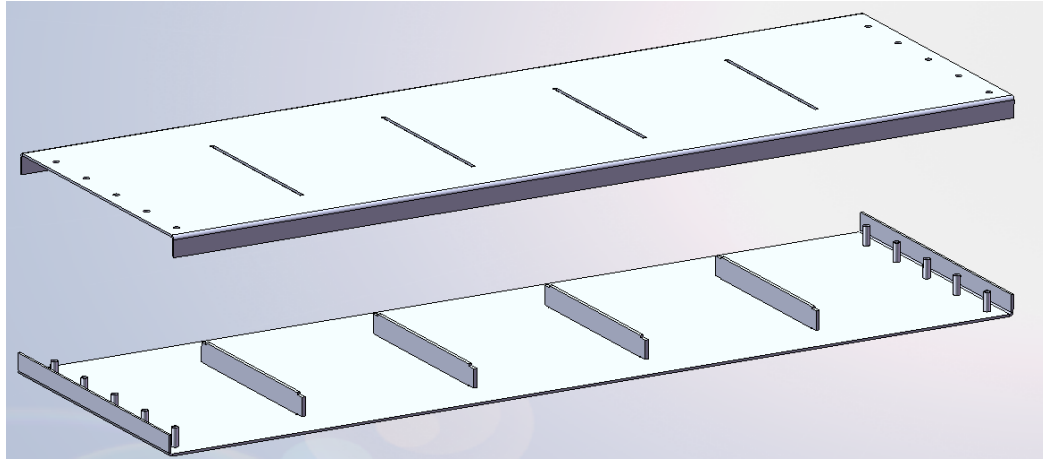
3 SUUNNITTELU

Perälaudalle oli asetettu toiminnallisissa vaatimuksissa tietyt ehdot, joten suunnittelun lähtökohtana oli varmistaa perälaudan kestävyys lujuuslaskuin. Laskelmat löytyvät liitteestä I.

3.1 Runko

Rungon suunnittelun lähtökohtana on kestävä ja jäykkä rakenne, joka luo toimilaitteiden kanssa konstruktioista käyttäjä- ja kunnossapitoystävällisen. Kuljetettava materiaali aiheuttaa perälautaan suurimmillaan 128 kN voiman, joka kohdistuu runkoon koko leveydelle ja nostovarsiin. Perälauta ei saa myötää suuren paineen vaikutuksesta, koska silloin perälaudan muoto muuttuu kaarevaksi ja näin ollen materiaali pääsee valumaan maansiirtovaunusta pois.

Runko muodostuu kahdesta särmätystä vastakappaleesta, jotka muodostavat kotelorakenteen. Kotelon sisään on sijoitettu neljä kappaletta vahvikelevyjä, jotka jäykistävät rakennetta. Vahvikelevyjen tehtävänä on estävää koteloa painumasta kasaan, koska perälautaan voi kohdistua myös pistekuormitusta esimerkiksi suurista kiven lohkeista. Perälauta koostuu itsessään kolmesta osasta, jotka ovat perälauta ja kaksi nostovartta. Perälauta ja nostovarret kiinnitetään toisiinsa ruuviliitoksin, mikä mahdollistaa perälaudan nopean poiskytkemisen. Myös tarvittavat korjaukset on helpompi suorittaa, koska perälauta voidaan irrottaa ja kuljettaa korjauspaikalle.



Kuva 13. Perälaudan vastakappaleet

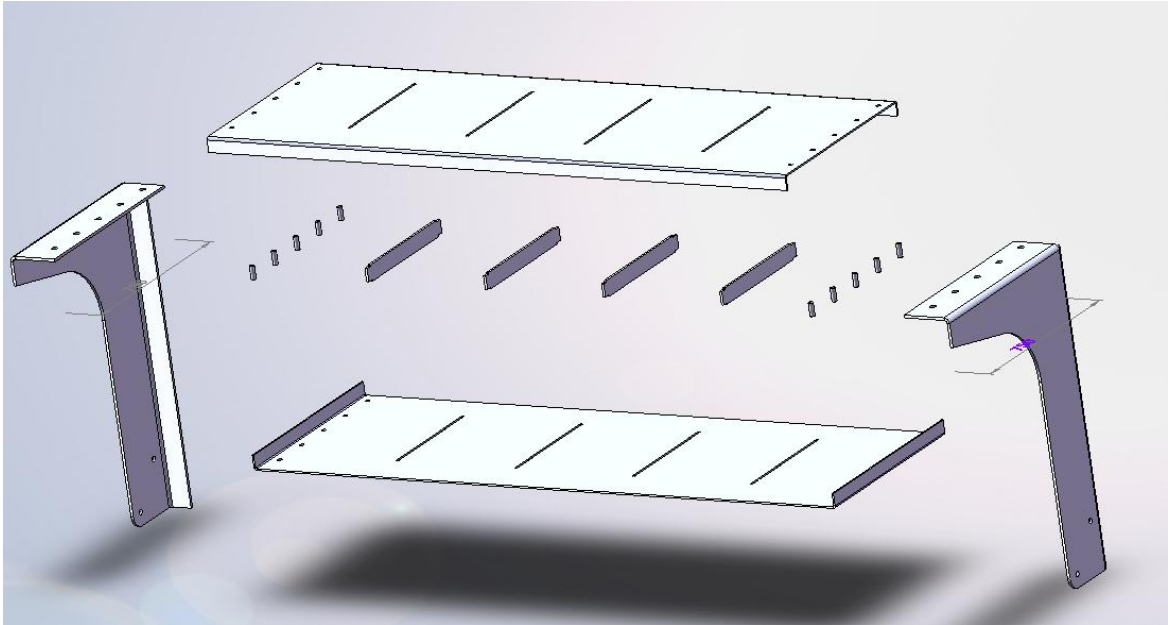
Rungon suunnittelussa on otettava huomioon toimilaitteiden sijoittelu, niinpä laitteet pyritään saamaan kylkilinjan sisäpuolelle. Toimilaitteet voivat vioittua helposti maansiirtokoneiden iskuista, niinpä laitteet on kyettävä suojaamaan. Nostovarret muodostavat suojan toimilaitteita varten. Suuret levyleikkeet suojaavat laitteita iskuilta ja lialta, koska ne voidaan sijoittaa levyjen alle piiloon. Näin ollen vaikeassakin maastossa liikuttaessa risut ja oksat eivät pääse tarttumaan laitteisiin ja vahingoittamaan niitä, koska levy antaa riittävän suojan. Toimilaitteiden sijoitteluun keskitytään tarkemmin kappaleessa 3.2.

Materiaalina käytetään suurlujuusterästä, jonka ansiosta konstruktiosta saadaan kevyempi rakenne ja samoihin lujuusarvoihin päästään pienemmällä materiaalipaksuudella kuin rakenneteräksenkin kanssa.

Runkoa lähdetään valmistamaan levyleikkeistä, joista yhteen liittämällä saadaan toimiva kokonaisuus. Valmistuksessa käytetään särmättyjä ja standardisoitujen osia, jotka helpottavat tuotteen valmistamista. Runko valmistetaan leikkeistä hitsaamalla, mikä asettaa tietyt vaatimukset esivalmisteluihin. Hitsatussa rakenteessa esiintyy aina muodonmuutoksia, jotka on syytä ottaa huomioon valmistuksen yhteydessä.

Valmistus aloitetaan kotelorakenteen hitsauksella, jossa toinen särmätyistä kappaleista silloitetaan tukevasti kaaripöytään kiinni. Huolellisella silloituksella saadaan perälaudasta suora, jolloin muodonmuutokset rakenteessa ovat minimaaliset. Leikkeen silloituksen jälkeen asetetaan vahvikelevyt niille tarkoitettuihin paikkoihin. Vahvikelevyt hitsataan rakenteen ulkopuolelta kiinni tulppahitseillä, jotka hiotaan lopuksi pinnan tasoon. Lisäksi kappaleeseen hitsataan ruuvien läpivientiholkit, jotka mahdollistavat ruuvikiinnityksen nostovarsiin. Tämän jälkeen toinen levyleike asetetaan vahvikkeiden päälle, mikä muodostaa rakenteesta kotelon. Kun kaikki kappaleet on silloitettu kiinni, voidaan rakenne hitsata kokoon.

Suurlujuusteräksen hitsauksessa on varmistettava, että hitsattavien kappaleiden pinnat ovat puhtaat ja huoneenlämpöisiä. Hitsauksessa käytetään alilujia hitsauslisäaineita. Alilujilla lisäaineilla on pienempi lujuus kuin tasalujilla lisäaineilla, mutta niillä voidaan saavuttaa hitseille parempi sitkeys. Jos hitsit ovat kohdissa, joissa esiintyy suuria jännityksiä, käytetään tasalujia lisäaineita. Suurlujuusteräksen hitsausohjeita on syytä noudattaa, jotta kappaleesta saadaan kestävä väsymiskestävyyden kannalta. Materiaalille on tuotettava lämpöä riittävästi, jotta hitsi täyttäisi sille asetetut laatuvaatimukset. Jotta välttyttäisi suurilta muodonmuutoksilta hitsauksen aikana, on syytä käyttää hyppivää hitsausjärjestystä. Perälaudan hitsaus aloitetaan keskeltä siirtyen reunaa kohden, näin ollen lämmöntonniasta aiheutuvaa muodonmuutosta saadaan ehkäistyä.



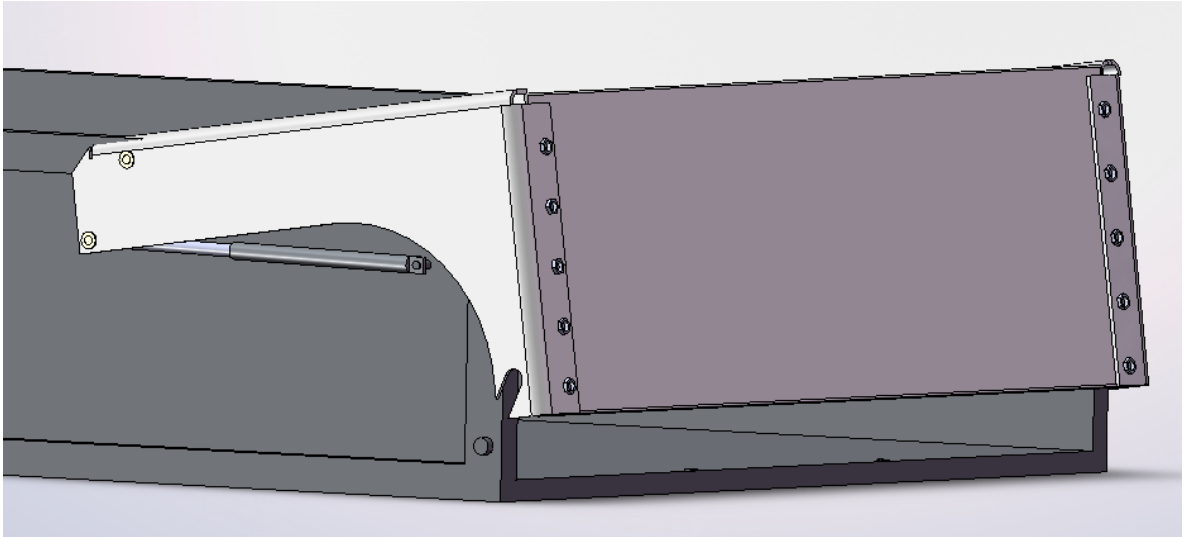
Kuva 14. Perälaudan räjäytyskuva

3.2 Avaus- ja lukitusmekanismit

Ratkaisuvaihtoehtojen lopullinen suunnittelu aloitettiin avaus- ja lukitusmekanismin asettamista vaatimuksista.

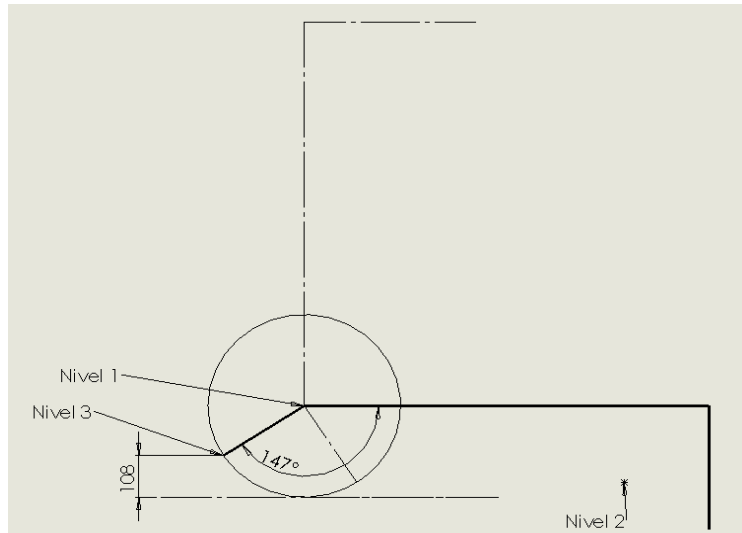
3.2.1 Hydraulisylinteri

Mekanismin toteutuksessa on ensimmäiseksi otettava huomioon kahden sylinterin sijainnit rungossa. Tarkoituksena on käyttää hyväksi rakenteen tarjoamaa suojaa, joten sylinterit tulevat sijoittumaan vakaatasoon runkoon nähden. Näin ollen nostovarsien levyleikkeet tarjoavat hyvän suojan sylintereille ja niiden komponenteille.



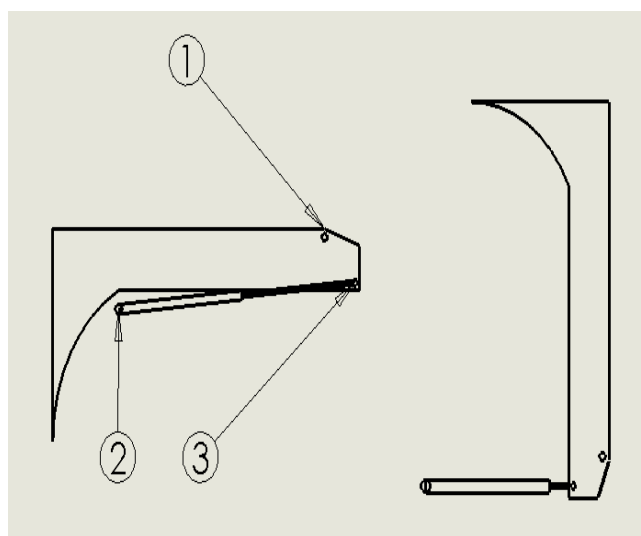
Kuva 15. Perälauta varustettuna hydraulisynterein

Mekanismin liikerata on hyvin hallittu sylintereiden ansioista, joten mietittäväksi jää ainoastaan sylintereiden nivelpisteet. Perälaudan toiminnan edellyttämiseksi mekanismissa on kolme nivelpistettä, jotka ovat tarkemmin perälaudan sarana ja kaksi sylinterin kiinnityspistettä. Männän puoleinen nivel asettuu hyvin lähelle maansiirtovaunun perää, kun taas varren puoleinen nivel asettuu 147 asteen kulmaan perälaudan vaakapalkkia nähden. Tämä mekanismi mahdollistaa perälaudan täyden 90 asteen avauman, kun sylinteri on vetäytynyt täysin sisään. Nivelessä 1 vaikuttaa 5 kNm vääntömomentti kun perälauta aukeaa, josta saadaan nivelen 2 ja 3 vaikuttavaksi voimaksi 38,46 kN.



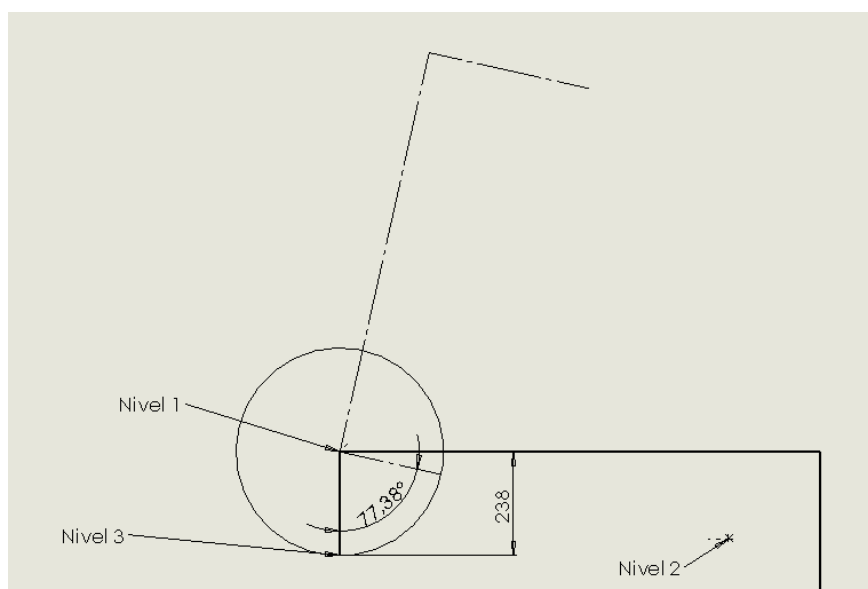
Kuva 15. Nivelten asemat ja avauma täydet 90 astetta. Katkoviivoilla kuvattu osa esittää avattua perälautaa.

Mekanismin toiminta havainnollistuu parhaiten kuvasta, jossa nivelpisteet on numeroitu. Perälaudan liike saadaan aikaiseksi sylinterillä, joka vetää nostovartta ja saa aikaan momentin, joka avaa perälaudan. Perälauta avautuu niin pitkään kunnes sylinteri on kokonaan vetäytynyt sisään. Perälaudan sulkeminen tapahtuu päinvastaisessa järjestyksessä.



Kuva 16. Nivelten sijainti.

Nivelen 3 etäisyys nivelestä 1 määrittää mekanismin tarvitseman voiman. Mitä suurempi etäisyys nivellä 1 ja 3 on, sitä vähemmän voimaa tarvitaan sylintereissä. Nivelten etäisyys ei kuitenkaan saa kasvaa liian suureksi, koska silloin jouduttaisiin konstruktion laittamaan iskupituudeltaan turhan pitkä sylinteri, joka lisäisi kustannuksia. Samalla nivelet 1, 2 ja 3 eivät saa asettua samalle linjalle, koska silloin perälauta ei toteuta vaadittua 90 asteen avaumaa.



Kuva 17. Nivelten asemat ja avauma 77,38 astetta. . Katkoviivoilla kuvattu osa esittää avattua perälautaa.

Perälaudan ollessa suljettu sylintereiden pituus on suurimmillaan eli varsi on työntynyt täysin ulos. Tähän ratkaisuun päädyttiin, koska näin ollen sylinterit vievät saman tilan vaunusta kuin nostovarret. Sylinterien päädyt kiinnitetään perälautaan akselitapein, joka mahdollistaa sylintereiden nopean poiskytkennän. Jokaisessa akselitapissa on rasvauskanavat, jotka pidentävät nivelten elinikää. Mekanismin ei näin ollen tarvitse erillistä laakerointia.

Mekanismin kohdistuvat rasitukset ovat suurimmillaan perälaudan avaus- ja sulkemisvaiheissa. Kriittisemmät rasitukset kohdistuvat juuri avausvaiheeseen, koska silloin rakenteeseen kohdistuu materiaalin aiheuttama paine. Sylinterit varustetaan

lukkoventtiilillä, jotka estävät männänvarrenliikkeen, jos toimintapaine häviää. Näin ollen perälauta ei pääse liikkumaan epätasaisella alustalla ajaessa. Tarkemmat laskelmat löytyvät liitteestä I.

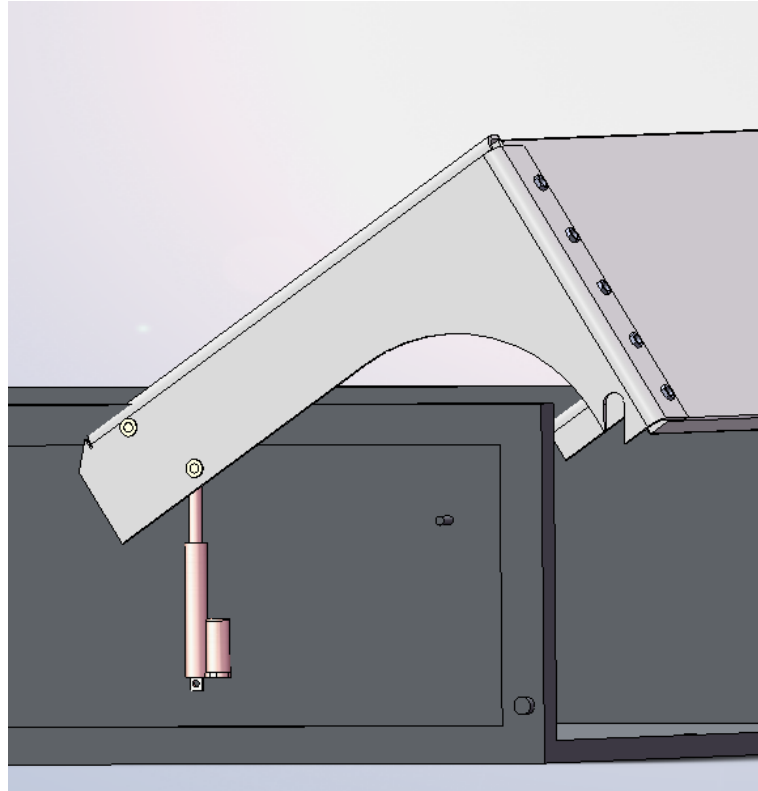
3.2.2 Karamoottori

Karamoottorilla toteutettu avaus- ja sulkemismekanismi on hyvin samanlainen kuin hydraulisylintereilläkin. Suurimmat erot toimilaitteiden välillä ovat koko ja käytettävä voimansiirtotapa. Karamoottorin etuja ovat hyvä hyötysuhde, vähäinen kitka, erinomainen paikoitustarkkuus ja pitkä käyttöikä. Negatiivisia puolia ovat toimilaitteiden kalleus ja hidas toiminta. Karamoottorien voimanlähteenä on 12 tai 24 V tasavirta vaihdemoottori, joka käyttää ruuvia. Männän liike syntyy trapetsiruuvien avulla, mikä muuttaa pyörivän liikkeen lineaariseksi.



Kuva 18. Karamoottori (Kontram)

Karamoottorit voidaan asentaa vaakatasoon, mutta huomioon otettava asia on karamoottorin suurempi koko. Vaihdemoottori lisää karamoottorin leveyttä, joka asettaa uusia vaatimuksia toimilaitteen sijoitukseen. Toimilaitteita ei saada tarpeeksi hyvin suojaan nostovarsien alle, joten karamoottorit sijoitetaan pystyasentoon.



Kuva 19. Karamoottori perälauta konstruktiossa

Pystyyn sijoituksella mekanismin nivelpisteiden paikat tulevat oleellisesti muuttumaan, koska karamoottoreiden välittämä lineaarivoima on pienempi kuin hydraulisynterillä, joten tällä ratkaisulla haetaan enemmän voimaa käyttöön perälaudan aukaisuun. Karamoottorit tulevat lähelle sarananiveltä, jotta vaadittava perälaudan avauma saataisiin toteutettua laitteen iskupituudella. Nivelten etäisyys on kuitenkin valittava niin, että momentti ei kasva liian suureksi, mikä asettaisi uusia vaatimuksia karamoottorille.

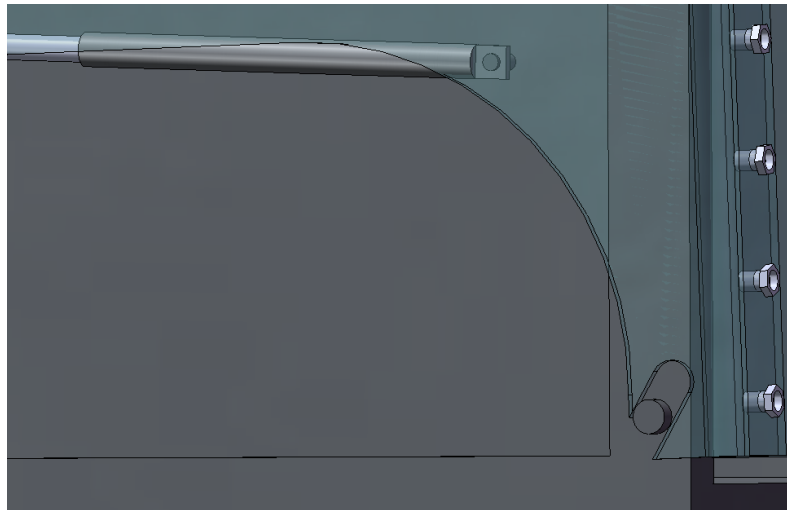
Runkoon on tehtävä suojakotelot toimilaitteille, koska ne ulkonevat maansiirtovaunun kylkilinjasta huomattavasti enemmän kuin sylinterit. Kotelolla estetään karamoottoreiden vahingoittuminen maansiirtovaunua käytettäessä.

3.3 Lukitusmekanismit

Lukitusmekanismien avulla perälauta saadaan pysymään kiinni kuljetuksen aikana ja samalla mekanismi jäykistää perälaudan rakennetta entisestään.

3.3.1 Vastakappaleet

Lavan alareunassa on tapit, jotka on kiinnitetty hitsaamalla. Perälaudan ollessa kiinni tapit asettuvat vastakappaleisiin, jotka ovat muodoltaan puoliympyrän muotoisia hahloja. Tapit ja hahlot muodostavat vastakappaleet, joiden tehtävänä on pitää perälauta tiukasti kiinni vaunun rungossa, jotta materiaalia ei pääsisi vahingossa valumaan pois. Periaate on kuvassa 19.



Kuva 20. Perälaudan vastakappaleet

Mekanismin toiminta perustuu perälaudan liikeratoihin. Erillisiä toimilaitteita mekanismille ei ole, vaan lukitus ja lukituksen poiskytkentä tapahtuvat perälaudan aukaisun ja

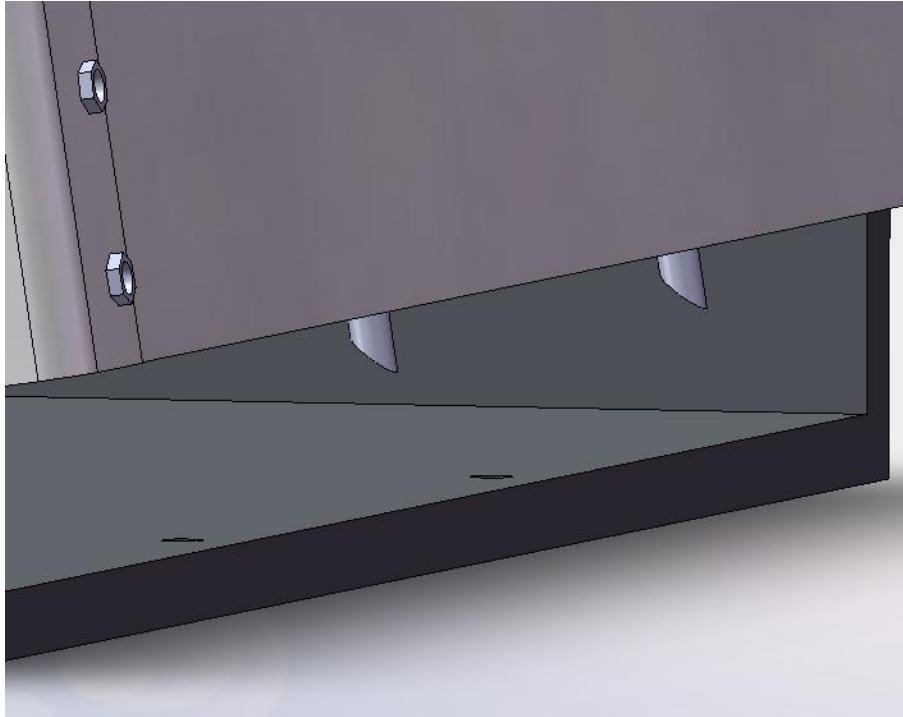
sulkemisen yhteydessä. Perälaudan sarananivel on hahlossa, minkä ansiosta koko perälauta liikkuu yläviistoon aukaisun yhteydessä. Näin ollen hahlot nousevat lukitustapeista pois ja perälauta avautuu.

Mekanismiin tarvittavat osat ovat hyvin yksinkertaisia, joten ensimmäiseksi määritetään tappien ja hahlojen mitat. Sekä tappeja, että hahloja tarvitaan kaksi kappaletta, joten rakenteeseen kohdistuvat voimat jaettiin kahdelle parille. Kriittisempinä kohtina tarkastellaan tappien ja hahlojen leikkausjännityksiä, jotka määrittivät materiaalivahvuudet tässä tapauksessa.

3.3.2 Sähkölukot

Sähköluukoilla toteutettu lukitusmekanismi on vaikeampi toteuttaa, koska perälaudan sisään joudutaan tekemään lukoille tarkoitetut kolot ja johtojen läpiviennit. Sähkölukot asetetaan perälaudan alareunaan valmistettuihin upotuksiin.

Perälauta pysyy lukittuna kahdella erillisellä tapilla, joiden kulmat ovat viistetty. Tapit liikkuvat pystysuunnassa induktiovirran ja jousien avulla, kun virta kytketään päälle sähkölukot vetävät tapit sisään, jolloin perälauta pääsee avautumaan. Tapit palautuvat alkuperäiseen asentoon jousien avulla. Näin ollen voimaa tuotetaan vain yhteen suuntaan, koska perälaudan sulkemisvaiheessa tapit poikkeavat itsestään ylöspäin viisteiden avulla.



Kuva 21. Sähkölukot

Vaunun lavaan joudutaan poraamaan reiät lukitusta varten. Reikien on tultava kokonaan lavasta läpi, jotta lukituksen väliin ei jäisi hiekkaa. Karkeampaa materiaalia kuljetettaessa vaarana ovat kivet, jotka voivat tukita reiät. Tämä estäisi perälaudan lukitsemisen. Reikien tukkeentuminen voidaan estää siten, että siirretään sekä lavan sähkölukot, että reiät lavan sivuille. Näin ollen materiaali ei tuki reikiä niin helposti.

3.5 Kustannusarvio

Perälaudan valmistuskustannuksia pyrittiin arvioimaan hyvin karkeasti. Kustannuslaskelmalle laskettiin lopulliselle tuotteelle omakustannushinta. Materiaalikustannuksia laskiessa käytettiin teräksen hintana 1,5 €/kg ja nuorrutusteräkselle 3,6 €/kg. Koneistettavien materiaalihinta laskettiin aihion painon mukaan materiaalikustannustaulukon yksikköhinta sarakkeeseen. Tarvittavat standardiosat on katsottu saatavilla olleista listahinnoista. Levyleikkeiden osien hinnat sisältävät materiaalit ja kappaleen valmistukseen kuluneen työn.

Taulukko 6. Materiaalikustannukset hydraulinen perälauta

Osa	Määrä	Yksikköhinta(€/kpl)	Hinta yhteensä(€)
Vastakpl 1 (Optim 650)	1	68,79	68,79
Vastakpl 2 (Optim 650)	1	68,84	68,84
Nostovarsi oik (Optim 650)	1	84,30	84,30
Nostovarsi vas (Optim 650)	1	84,30	84,30
Holkki	10	0,25	2,50
Tappi 14	2	1,41	2,82
Tappi 24	2	4,01	8,02
Mutteri M16	10	0,35	3,50
M16x70 8.8	10	1,02	10,20
Lukkoventtiili 3/8	2	15,24	30,48
Hydr.letku (PZ333 3-kudos)	4	22,78	91,12
Sisäkierre 90-mutka (koko 3/8)	8	10,94	59,60
Sylinteri 30/50- 500	2	77,89	9,10
Muut tarvikkeet		20,00	20,00
Yhteensä			543,57

Työkustannuksia laskettaessa arvioitiin hitsaukselle ja kokoonpanolle kuluva työaika. Työaikakustannukset saatiin, kun työaika kerrottiin yhden henkilön tuntipalkalla, joka on 45 €/h.

Taulukko 7. Työaikakustannukset hydraulinen perälauta

Osa	Aika (h)
Hitsattu teräsrakenne	
Hitsaus	5
Kokoonpano	1
Yhteensä	6

Työaikakustannukset (45€/h) 270

Hydraulisyhintereillä varustetun kokoonpanon materiaalikustannukseksi kertyi 513,09 €. Hitsaukseen ja kokoonpanoon kuluu aikaa 6 tuntia, josta työkustannukseksi saadaan 270 euroa. Omakustannushinnaksi muodostuu näin ollen 783,09 euroa.

Taulukko 8. Omakustannushinta hydraulinen perälauta

Materiaalikustannukset	543,57
Työaikakustannukset	270,00
Yhteensä	813,57

Sähköisillä toimilaitteilla varustetun perälaudun kustannukset materiaalien osalta nousevat korkeammaksi, kuin edellisellä kokoonpanolla. Hintaa nostivat perälaudassa käytettävät karamoottorit, sähkölukot ja sähköjärjestelmä.

Taulukko 9. Materiaalikustannukset sähkötoiminen perälauta

Osa	Määrä	Yksikköhinta(€/kpl)	Hinta yhteensä(€)
Vastakpl 1 (Optim 650)	1	68,79	68,79
Vastakpl 2 (Optim 650)	1	68,84	68,84
Nostovarsi oik (Optim 650)	1	84,30	84,30
Nostovarsi vas (Optim 650)	1	84,30	84,30
Holkki	10	0,25	2,50
Tappi 14	2	1,41	2,82
Tappi 24	2	4,01	8,02
Mutteri M16	10	0,35	3,50
M16x70 8.8	10	1,02	10,20
Karamoottori	2	179,00	352,00
Sähköjärjestelmä	1	241,00	241,00
Sähkölukko	2	48,00	96,00
Muut tarvikkeet		20,00	20,00
Yhteensä			1042,27

Työkustannukset nousivat 360 euroon, joka on 90 euroa enemmän kuin edellisessä kokoonpanossa. Hintaa nosti lisääntynyt työmäärä kokoonpanossa.

Taulukko 10. Työaikakustannukset sähkötoiminen perälauta

Osa	Aika (h)
Hitsattu teräs rakenne	
Hitsaus	5
Kokoonpano	3
Yhteensä	8

Työaikakustannukset (45€/h) 360

Materiaalikustannukseksi muodostuu 1042,27 euroa ja työkustannukseksi saadaan 360 euroa. Omakustannushinnaksi tulee näin ollen 1402,27 euroa, joka on 588,7 euroa kalliimpi kuin hydraulilla varustettu perälauta.

Taulukko 11. Omakustannushinta sähkötoiminen perälauta

Materiaalikustannukset	1042,27
Työaikakustannukset	630
Yhteensä	1402,27

4 RATKAISUJEN ANALYSOINTI

Lopullisiksi ratkaisuvaihtoehdoiksi muodostuivat hydraulinen ja sähkötoiminen konstruktio. Suurimmat erot konstruktioiden välillä ovat toimilaitteissa, joista toinen on toteutettu sähköisesti ja toinen hydraulisesti. Analysoinnin lähtökohtana noudatetaan aiemmin laadittua vaatimuslistaa, jonka avulla vertaillaan molempien tuotteiden hyviä ja huonoja ominaisuuksia.

Hydraulisella perälaudalla saavutetaan kaikki tähän työhön asettamat vaatimukset. Runkorakenteen kokonaispainoksi muodostui 300 kg, joka on keskimääräistä raskaampi kuin markkinoilla olevat. Nostovarret kasvattavat perälaudan massa huomattavasti, mutta rakenne tarjoaa paremman suojan toimilaitteille, mikä tuo huomattavaa etua lopulliseen ratkaisuun. Hydrauliiikan avulla maansiirtovaunu on kytkettävissä mihin tahansa traktoriin, jossa on ulkopuolinen hydrauliiikka. Perälaudan lukitus toteutettiin vastakappalein, jolloin erillisiä toimilaitteita ei tarvita lukitukseen. Tämä lisää konstruktion kestävyyttä, mutta myös käytettävyyttä.

Sähkötoiminen perälauta tulee tulevaisuudessa olemaan varteen otettava vaihtoehto hydrauliiikalle. Kuitenkin komponenttien kalleus luo suuremman esteen sähköisen järjestelmän käytölle. Maatalouskonevalmistajat ovat vasta heränneet kehittämään uusiutuvalla energialla toimivia laitteita, joten vielä markkinat ovat pienet sähköllä toimivalle perälaudalle.

Karamoottoreilla ei saada toteutettua yhtä nopeaa liikettä kuin hydrauliiikalla. Karamoottoreiden liikenopeus on vakio, kun taas hydrauliiikan nopeus riippuu järjestelmässä olevasta tilavuusvirrasta. Sähkölukot lukitsevat laudan, mutta myös lisäävät jäykkyyttä perälaudan alapinnassa, koska lukot on sijoitettu lähelle perälaudan keskilinjaa. Jäykkyyttä perälaudassa tarvitaan, jos joudutaan nostamaan kippiä, mutta perälauta pidetään suljettuna. Tällöin perälautaan kohdistuu suurempi paine ja vaarana on materiaalin valuminen perälaudan ja lavan välistä.

10 vuoden käyttöikää ajatellen perälaudan heikoin kohta tulee olemaan rungon vastakappale 1, joka on kuormatilan sisäpuolella. Perälautaan kohdistuu abrasiivista kulutusta, eli hankaava kulutusta. Näin ollen suurlujuusteräksestä valmistettu perälauta

voitaisiin valmistaa osittain kulutusteräksestä, joka takaisi pidemmän käyttöiän konstruktiolle.

Hydrauliikalla toimiva perälauta on käytännössä helpompi toteuttaa, kuin sähkötoiminen. Komponenttien määrä ja huoltokohteiden määrä on vähäisempi, joka parantaa oleellisesti laitteen kestävyyttä. Käyttäjän näkökulmasta katsottaessa hydrauliikalla toimiva perälauta on luotettavampi valinta kuin sähköllä toimiva. Urakoitsijoilla on enemmän kokemusta hydrauliikan korjauksesta ja huollosta, joten komponentit ovat jo ennestään tuttuja ja tarvittavat varaosat löytyvät helposti yleistarvikeliikkeistä. Monet vierastavat sähkölaitteita niiden huonon viansietokyvyn takia, mikä nykypäivänä on valitettavasti harhaan johtava käsite.

Kustannusarvio osoittaa, että hydraulisella perälaudalla päästään edullisempaan omakustannushintaan kuin vastaavalla sähkötoimisella. Sähkötoiminen perälauta on miltei kolme kertaa kalliimpi kuin kilpailijansa.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän kandidaatintyön tavoitteena oli suunnitella maansiirtovaunuun perälauta. Työ eteni järjestelmällisesti koneensuunnittelun periaatteita noudattaen ideoinnista suunnitteluun. Perälaudun suunnittelu osoittautui mielenkiintoiseksi haasteeksi, jossa pääsi toteuttamaan käytännössä saatuja kokemuksia. Kuitenkin suunnittelutyö voi helposti pitkittyä, jos suunnittelija lähtee hakemaan konstruktiosta riittävän hyvää, koska perälautaa voidaan kehittää pitkälle eteenpäin.

Konstruktion kehityskohteita ovat toimilaitteiden parempi suojaus. Toimilaitteet ovat hyvin suojassa rakenteen alla, mutta se ei takaa kuitenkaan täydellistä suojaa. Perälaudun ollessa suljettuna sylinterit ovat työntyneet täysin ulos, jolloin varret altistuvat korroosiolle, jos maansiirtovaunua ei käytetä pitkään aikaan. Sylinterin varren pinnassa on aina öljyä, joka suojaa vartta vallitsevilta olosuhteilta, mutta ei kuitenkaan tarpeeksi, jos laitetta ei käytetä.

Kandidaatintyön tekeminen antaa hyvät valmiudet perusteelliseen suunnittelutyöhön. Työn tekeminen on haastavaa, koska ideoinnin ja lopullisen ratkaisun saaminen on aikaa vievää.

Työtä hankaloittaa se, että työ tehdään yksin, jolloin ideat asettuvat helposti kapealle alueelle. Tämä tarkoittaa sitä, että tartutaan heti ensimmäisenä siihen, joka vaikuttaa lupaavalta idealta. Tähän ei pitäisi kuitenkaan sortua, koska myöhemmässä vaiheessa usein huomataan, että vastaan tulee muuttujia, jotka hankaloittavat työn etenemistä. Kokemuksen karttuessa niin teorian kuin käytännönkin osalta johtavat lopulta siihen, että perusteellisen suunnittelutyön tekeminen on myöhemmässä vaiheessa paljon helpompaa. Teknisen tiedon karttuminen edesauttaa poistamaan jo ideointivaiheessa ne ideat, jotka ovat suunnittelupöydällä mahdottomia toteuttaa.

LÄHTEET

Kontram Oy [www-tuotedokumentti] Viitattu 18.11.2010
Saatavissa: http://www.kontram.fi/index.php?option=com_content&view=article&id=108&Itemid=230&lang=fi

Pere, A. 1995. Koneenpiirustus 2. Helsinki, Cosmoprint Oy. 350 s.

Phal, G. & Beitz, W. & Feldhusen, J. & Grote K.H. 2007. Engineering Design. Kolmas painos. London. Springer-Verlag. 617 s.

Roozenburg, N. & Eekels, J. 1995. Product Design: Fundamentals and Methods. Chichester. John Wiley & Sons Ltd. 397 s.

Turunkonekeskus Oy [www-tuotedokumentti] Viitattu 15.12.2010
Saattavissa: <http://www.turunkonekeskus.fi/tuotteet/tuote/20/rysky-yleisperavaunut>

Ulrich, T. & Eppinger, D. 2000, Product Design and Development. Toinen painos. Boston Irwin McGraw-Hill. 358 s.

LASKENTA

LIITE I

Perälautaan kohdistuva maksimivoima

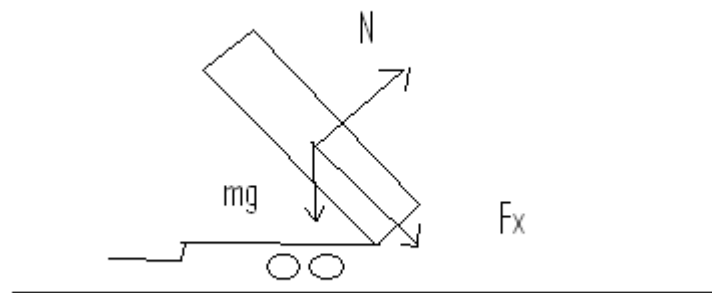
Paino: 16000 kg

Kippaus kulma: 55°

Perälaudan leveys: 2380 mm

Perälaudan korkeus: 750 mm

Perälaudan pinta-ala: $1,785 \text{ m}^2$



$$F_x = 16000 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}} * \sin 55^\circ = 128 \text{ kN}$$

Perälautaan kohdistuva paine

$$p = \frac{F}{A}$$

$$p = 0,072 \text{ N/mm}^2$$

Paine, joka kohdistuu perälaudan leveydelle

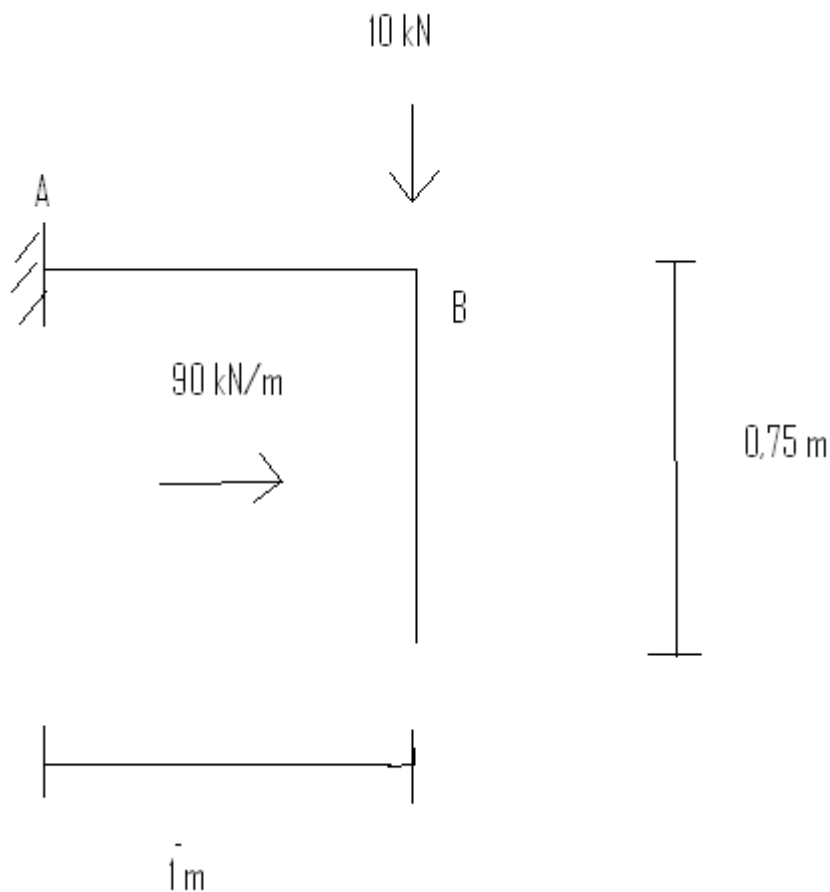
$$q = 0,072 * 2380 = 170 \text{ N/mm}$$

Paine, joka kohdistuu perälaudan korkeudelle

$$q = 0,072 * 750 = 54 \text{ N/mm}$$

VOIMAYHTÄLÖT

Kuorman aiheuttaman voiman lisäksi perälautaan kohdistuu myös y-suuntainen voima, joka on 10 kN.



$$M_A = M - 10 \text{ kN} * 1,0 \text{ m} + 90 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * 0,375 = 0$$

$$M = 23,75 \text{ kNm}$$

$$F_Y = 0 \rightarrow F_{AY} = -10 \text{ kN} \rightarrow 10 \text{ kN}$$

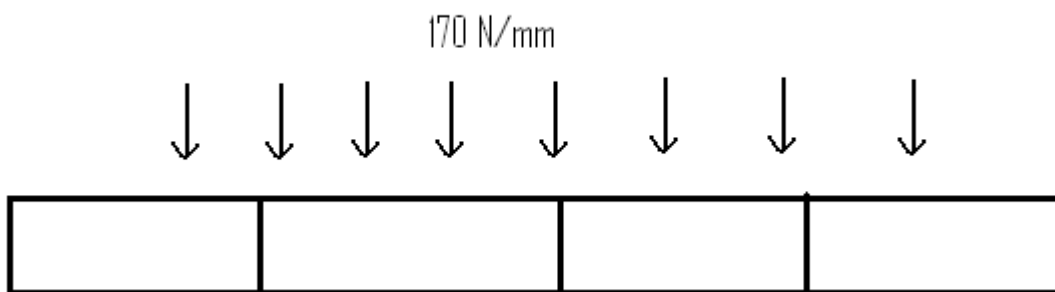
$$F_X = -90 \text{ kN}$$

$$M_B = -10 \text{ kN} * 1,0 \text{ m} + 90 \text{ kN} * 0,375 \text{ m} + M = 0$$

$$M_B = -23,75 \text{ kNm}$$

LUJUUSLASKENTA

Lasketaan perälaudan taipuma, kun vallitseva kuorma on 170 N/mm. Määritetään perälaudan rakenteen jäyhyysmomentit. Rakenteessa on kolme jäykistävää kehää.



Yhden kehän jäyhyysmomentti, missä $w = 750 \text{ mm}$ ja $t = 8 \text{ mm}$,

$$I_Y = w * t^3 / 12$$

Näin ollen $I_Y = 32000 \text{ mm}^4$

$$I = \frac{BH^3 - bh^3}{12}$$

Kotelon jäyhyysmomentti, missä $B = 2380$ mm, $H = 60$ mm. $b = 2360$ ja $h = 40$ mm

$$I = \frac{2380 * 60^3 - 2360 * 40^3}{12}$$

Saadaan $I = 30,253 * 10^6 \text{ mm}^4$, joten $I_{\text{kok}} = 30,349 * 10^6$

Perälaudan taipuma lasketaan kaavalla

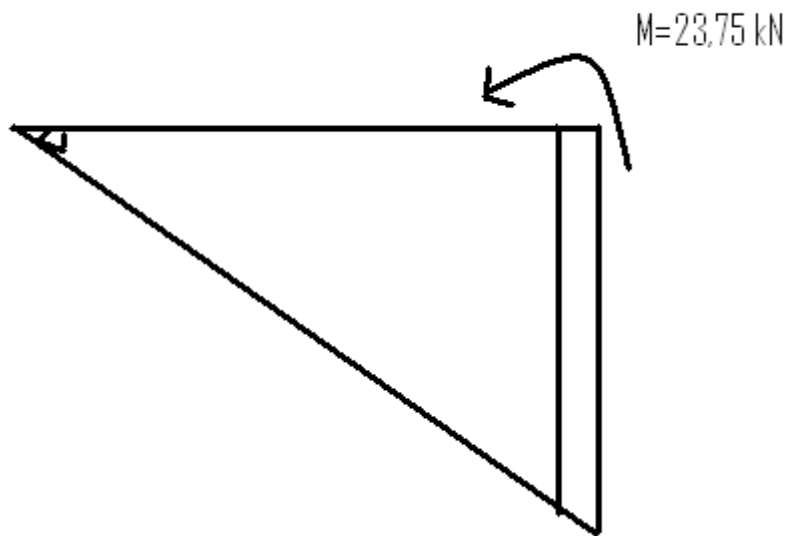
$$f = \frac{5 * q * l^4}{384EI}$$

missä $E = 210000$ MPa ja $l = 2380$, mistä saadaan

$$f = \frac{5 * 170 * 2380^4}{384 * 210000 * 30,349 * 10^6}$$

saadaan $f = 11,14$ mm.

Määritetään nostovarren materiaalipaksuus, materiaalina on suurlujuusteräs, jonka myötäraja on 650 MPa.



$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

ratkaistaan kaavasta I

$$I = \frac{23750 \text{ N} * 375 \text{ mm}}{650 \text{ Mpa}}$$

$$I = 13701,92 \text{ mm}^4$$

Jäyhyysmomentin avulla määritetään levyn paksuus, kun tiedetään, että levyn korkeus $b=750 \text{ mm}$.

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

näin ollen,

$$h = \sqrt[3]{I * \frac{12}{b}}$$

$$h = 6,02 \text{ mm}$$

Levyn paksuus kerrotaan varmuuskertoimella 1.5, jolloin paksuudeksi saadaan 9 mm, valitaan valmistuksellisista syistä 10 mm.

TAPPIEN MITOITUS

Perälaudassa käytettävät tapit ovat valmistettu nuorutusteräksestä.

Suurin leikkausvoima, joka kohdistuu perälaudan sarananiveleen (nivel 1) on 120 kN. Sallittu jännitys nuorutusteräksellä on $\sigma = 600 \text{ MPa}$.

$$\sigma = \frac{F}{\pi r^2}$$

ratkaistaan r

$$r = \sqrt{\frac{120000}{\pi} * 600} = 7,9788$$

tapin halkaisija $d = 15,9 \text{ mm}$, varmuuskerroin 1,5, joten tapin halkaisijaksi valitaan 24 mm.

Tarkastellaan sylinterin tappien mitoitusta. Sylinteri tuottaa vähintään 38,46 kN voiman. Ratkaistaan r

$$r = \sqrt{\frac{38640}{\pi} * 600} = 4,527$$

tapin halkaisija $d = 9,0 \text{ mm}$, varmuuskerroin 1,5, joten tapin halkaisijaksi valitaan 14 mm.

REIKIEN REUNAETÄISYYDET

Tarkastellaan nivelen 3 riittävää reunaetäisyyttä, joka on kriittisin rakenteessa. Leikkausjännitys on nivelen alueella 38,46 MPa.

Lasketaan riittääkö nivelen 50 mm reunaetäisyys. Levyn leikkauspinnan ala on

$$A = 50 \text{ mm} * 15 \text{ mm} = 750 \text{ mm}^2$$

ja pinnan keskimääräinen leikkausjännitys

$$\tau = \frac{F}{A} = 38,46 \frac{\text{kN}}{750} * 4 = 12,82 \text{ MPa}$$

Varmuusluku tukilevyn leikkautumisen suhteen on

$$n = \frac{38,46}{12,82} = 3$$

Varmuusluku on 3 OK!

HITSAUSLIITOKSET

Kriittisin hitsausliitos kohdistuu vastakappaleen tappiin. Määritetään tarvittava a-mitta.

$$\sigma = 650 \text{ MPa}$$

$$\tau = \frac{F}{A}$$

saadaan jännitykseksi $\tau = 286,47 \text{ MPa}$. Tarvittava a-mitta saadaan kaavalla

$$a > 1 * \frac{t}{2} * \sigma - \sqrt{3 * \tau^2}$$

missä, $t = 20 \text{ mm}$

$$a > 1 * \frac{20}{2} * 650 - \sqrt{3 * 286,47^2} = 7,63 \text{ mm}$$

Valitaan a-mitaksi 8 mm.

SYLINTERIN MITOITUS

$$F = 38,46 \text{ kN}$$

$$p = 190 \text{ bar}$$

$$n = 0,9$$

Määritetään varren paksuus d

$$d = 2 \sqrt{\frac{38460}{190} * 10^5 \pi * 0,9}$$

$d = 0,02675 \text{ m}$ eli männän varsi $26,75 \text{ mm}$.

Nurjahdustarkastelu 4

$$F_n = \frac{\pi^2 EI}{nl}$$

missä $E = 210000 \text{ MPa}$, $I = 25134,1987 \text{ mm}^4$, $n = 4$ ja $l = 500 \text{ mm}$

$$F_n = \pi^2 * 210000 * \frac{25134,1987}{500^2} = 52093,56 \text{ N}$$

$52093,56 \text{ N} > 38460 \text{ N}$ OK

Valitaan männän varreksi 30 mm ja männäksi 50 mm . Iskupituus on 500 mm .

PERÄLAUDAN RUUVILIITOS

Lasketaan kestäkö perälaudan ruuviliitos siihen kohdistuvaa kuormaa. Ruuvina käytetään M16 x1,5. Määritetään ensin yhteen ruuvin kohdistuva voima F_A

$$F_A = \frac{F}{z}$$

missä F on koko rakenteeseen kohdistuva voima ja z on ruuvien lukumäärä.

$$F_A = \frac{128000}{10} = 12800 \text{ N}$$

Yhden ruuvin täytyy kestää 12800 N vetoa.

Ruuvien myötölujuus on 720 MPa ja murtolujuus 860 MPa.

Kierteen peruskolmion korkeus

$$H = \frac{p}{2} * \tan 30$$

missä p on kierteen nousu. Näin ollen H=1,29 mm.

Teoreettinen sydänhalkaisija

$$d_1 = d - \frac{5}{4} * H$$

missä d on ruuvien halkaisija. $d_1=14,3875 \text{ mm}$

Kylkihalkaisija

$$d_2 = d - \frac{3}{4} * H$$

$$d_2 = 15,0325 \text{ mm}$$

Jännitysten laskentapinta-ala

$$A = \frac{\pi(d_1 + d_2)^2}{16}$$

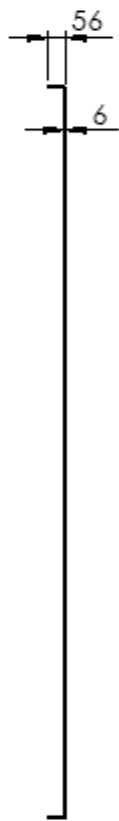
$$\text{mistä saadaan } A = 169,947 \text{ mm}^2$$

Pelkkä vetokyky ennen myötämistä

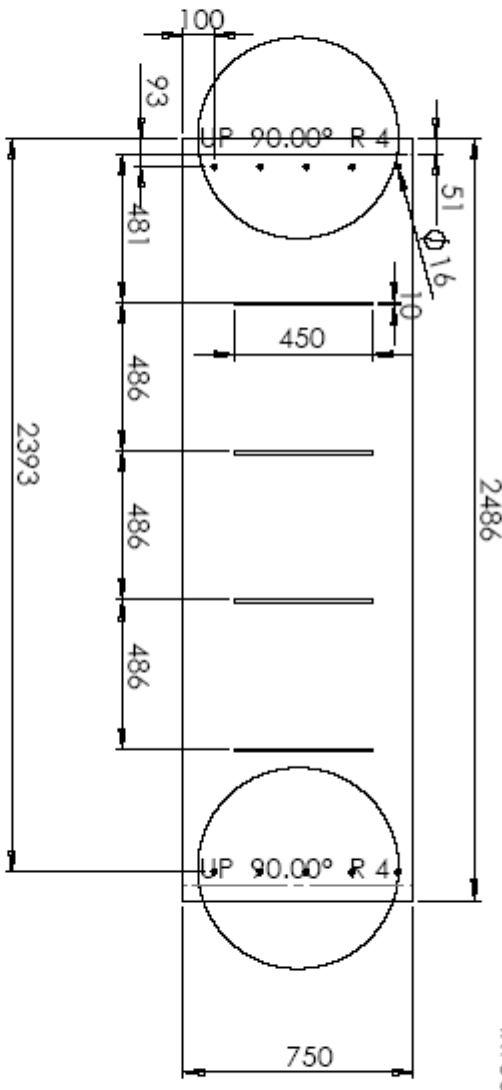
$$F_c = R_{p0,2} * A \rightarrow 720 * 169,947 \approx 122 \text{ kN}$$

Yksi ruuvi kestää vetoa 122 kN

$$122 \text{ kN} * 10 = 1220 \text{ kN} > 128 \text{ kN} \quad \text{OK!}$$

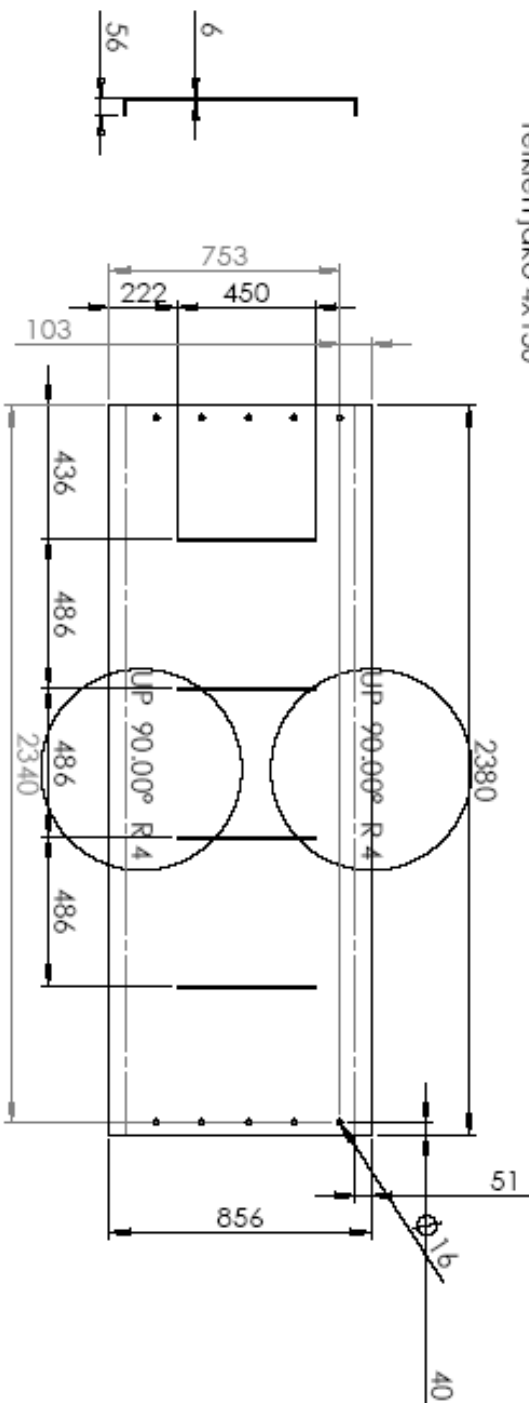


REKIEN JAKO
4x150 mm

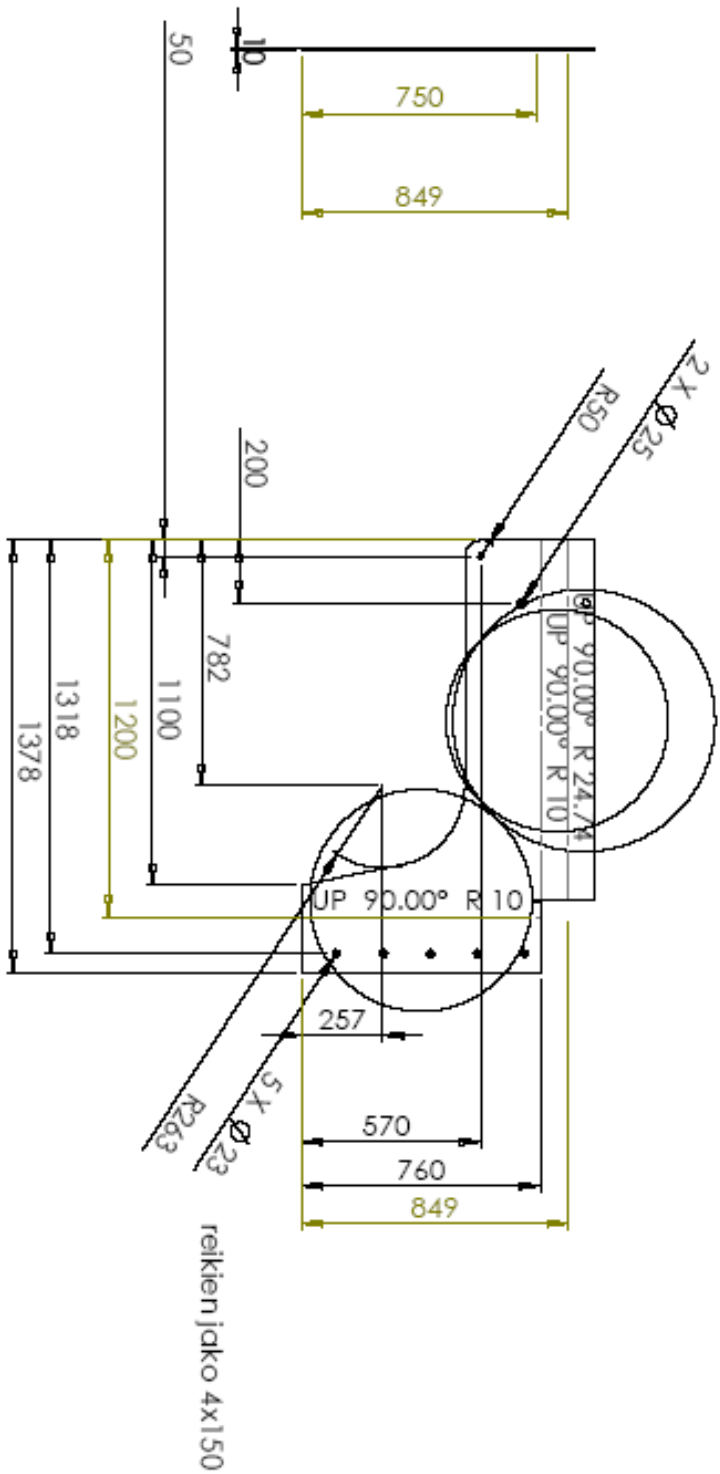


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		FINISH		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		SURFACE FINISH		DO NOT SCALE DRAWING	
TOLERANCES:		LINEAR		REVISION	
ANGULAR:		ANGULAR:			
DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE	TITLE	
CHK'D					
APP'VD					
MSG					
Q.A.					
MATERIAL:			DWG NO.		
2486x750x6			vastakp11		
WEIGHT:			SCALE:1:30		
			SHEET 1 OF 1		
			A4		

reikensjako 4x150



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		MESH		DESK AND BREAD SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DESIGNED	NAME	SIGNATURE	DATE			TITLE			
CHECK'D									
APPROV'D									
DATE									
MATERIAL:				DWG. NO. vastakpl2					
2380X856X6				SCALE: 1:50					
WEIGHT				SHEET 1 OF 1					
				A4					



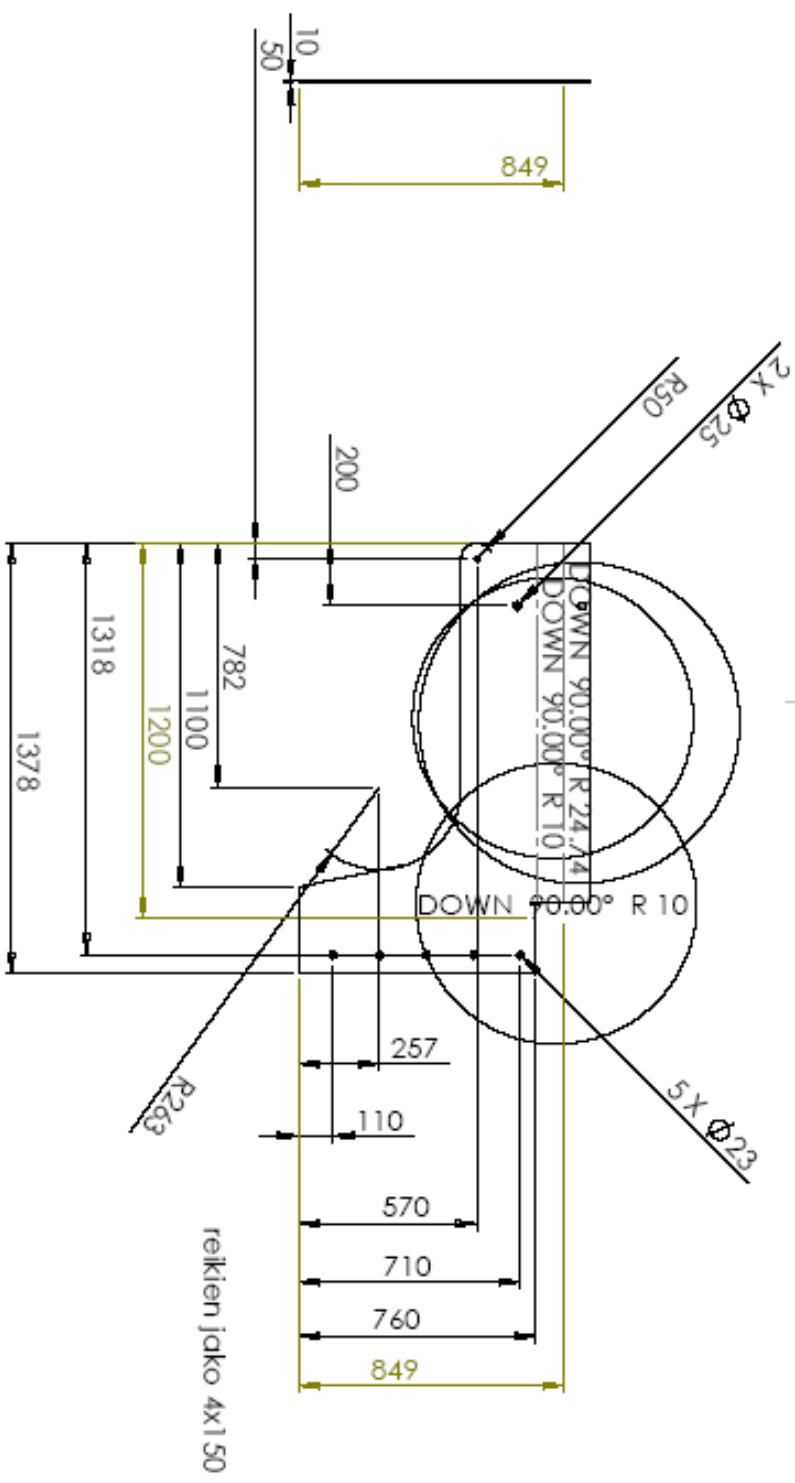
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

DO NOT SCALE DRAWING
 REVISION

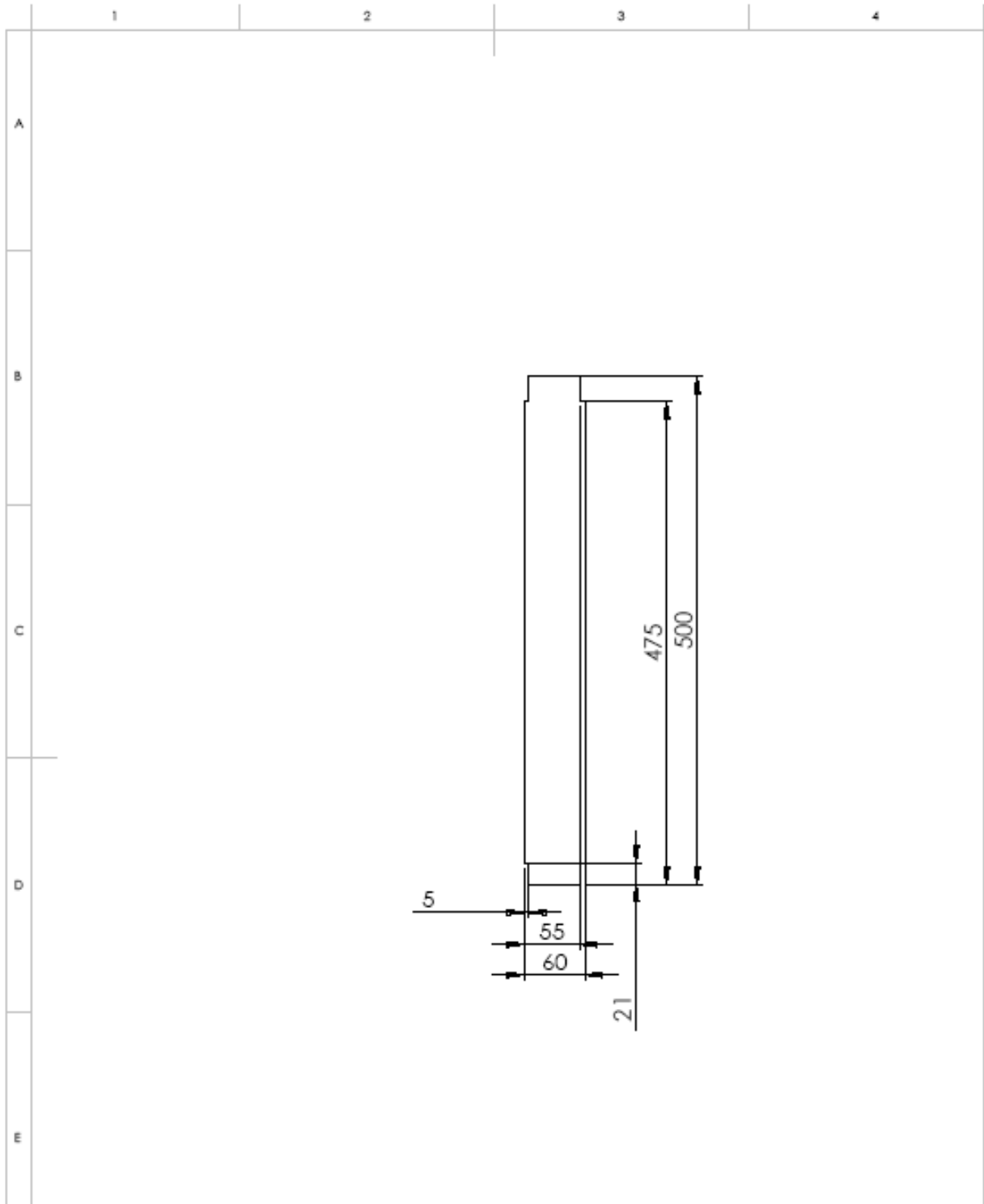
NAME	SIGNATURE	DATE	TITLE
DRAWN			
CHECKED			
APPROVED			
MFG			
QA			

MATERIAL:	DWG NO.
1378x849x10	nostovarsi.oik
WEIGHT	SCALE: 1:20
	SHEET 1 OF 1

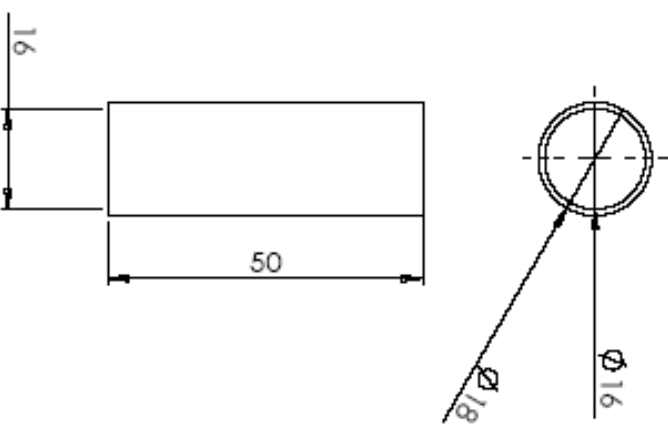
A4



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		FINISH		DRILL AND BORE AND BORE SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS									
SURFACE FINISH:									
TOLERANCES:									
LINEAR:									
ANGULAR:									
DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE	TITLE					
CHECK'D									
APPROV'D									
MFG									
QA									
MATERIAL:				DWG NO.					
1378x849x10				nostovarski.vas					
WEIGHT				SCALE: 1:20		SHEET 1 OF 1		A4	

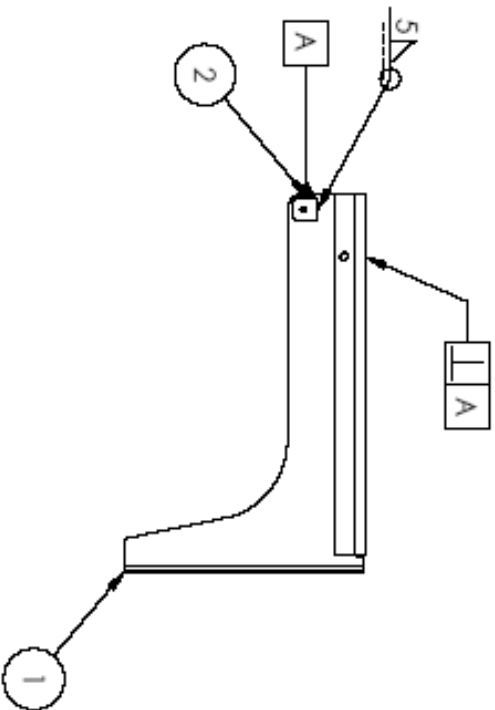


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN		NAME		SIGNATURE		DATE		TITLE:	
CHECKED									
APPROVED									
MFG									
Q.A.						MATERIAL: 500x60x10		DWG NO. tuki	
						WEIGHT:		SCALE: 1:2	
								SHEET 1 OF 1	
								A4	



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURF AC FINISH: TOLERANCES: LINEAR ANGULAR		INSTR:		DESK AND BENCH MARK DIMENSIONS		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE			TITLE			
CHK'D									
APP'D									
MFG									
Q/A									
MATERIAL: d18x2 50						DWG NO.:		hoikki	
WEIGHT:						SCALE:		SHEET 1 OF 1	
						A4			

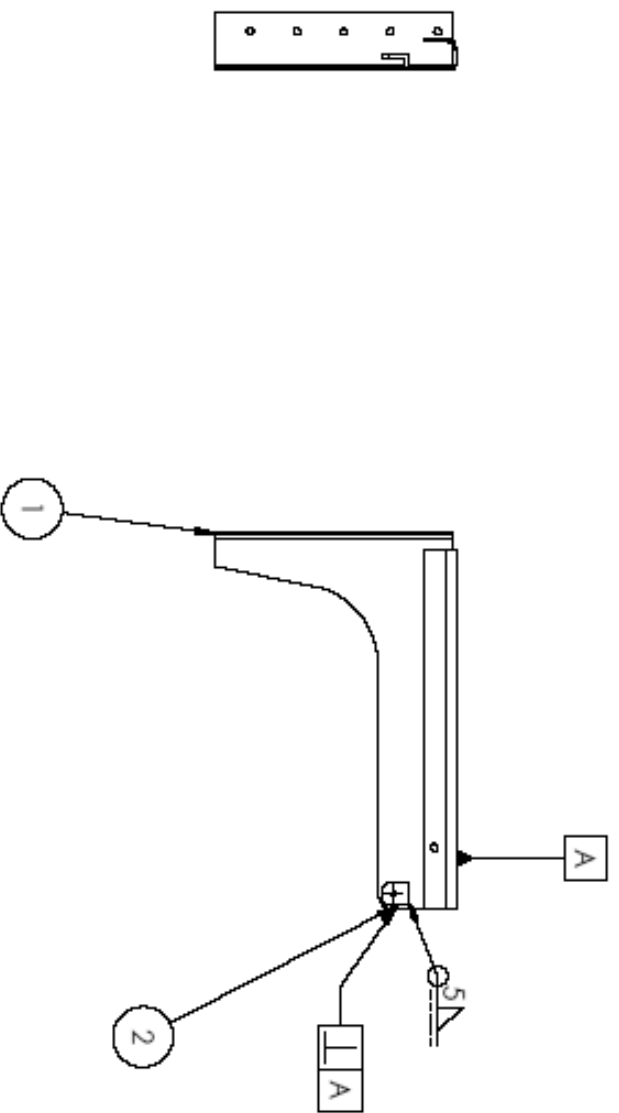
ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	nostovarsi.oik		1
2	kovakko		1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		INSE:	DEBR AND BEGAL SHAP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REASON
DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE	TITLE	
CHECKD					
APPVND					
ANG					
QA					
MATERIAL:					
WEIGHT:					
SCALE: 1:20					
SHEET 1 OF 1					

DWG. NO. **nostovarsi.oik.koon.td4**

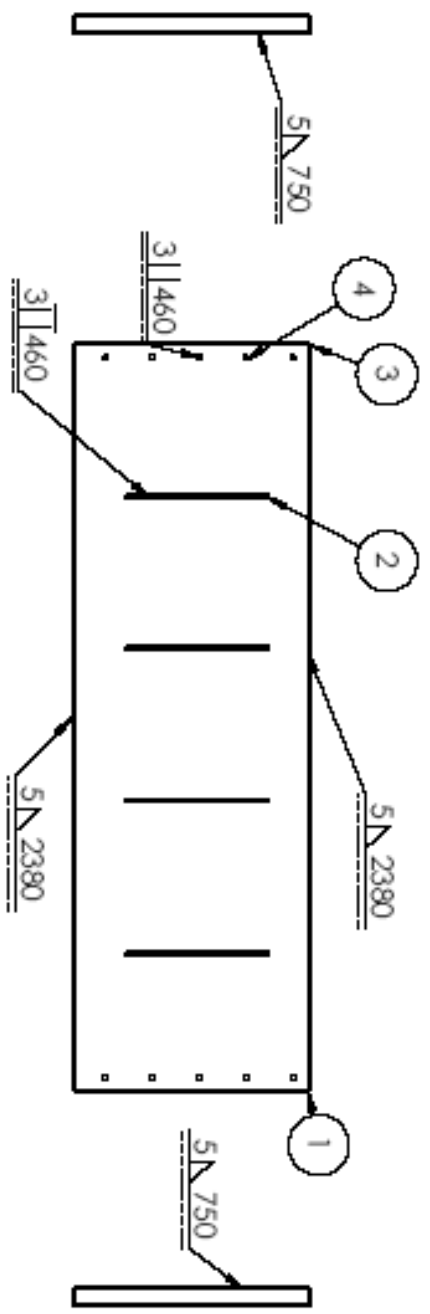
ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	nostovarsi vas		1
2	kovakko		1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH TOLERANCES LINEART ANGULAR		FINISH	DRILL AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE	TITLE	
CHK'D					
APP'D					
MFG					
QA					

DRAWING NO.		SCALE		SHEET	
nostovarsi vas koonn		SCALE: 1:20		SHEET 1 OF 1	

ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	vastakpilt		1
2	cõlli		4
3	vastakpilt		1
4	holki		10
5	nostovarsi.vas		1
6	holki		10



ÜLES OLEMARE SEICRIB: DIMENSIONAARENIMULDUS SUURKÕRNIKID TÕLRAVÄRDE ÜHINE ANGLEINE		RISK	OMBE AND ERVALE SHAP EOODS	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
NAME SKIINUSE DATE	TITLE	DRAWN CHECK APPROV INQ	MATERIAL	DIMENSION SCALE: 1:1	SHEET 1 OF 1
NAME SKIINUSE DATE	TITLE	DRAWN CHECK APPROV INQ	MATERIAL	DIMENSION SCALE: 1:1	SHEET 1 OF 1

perälauta

A4