

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

LUT Metalli

BK10A0401 Kandidaatintyö ja seminaari

KALOTTIKENNORAKENTEISEN KATON KEHITTÄMINEN
DEVELOPMENT OF A NOVEL CELL STRUCTURED ROOF

Lappeenrannassa 2.7.2014

Jussi Marttinen

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	4
2	KONTIN RAKENNE	6
2.1	Kalottikennot.....	6
2.2	Tukiranka	8
2.3	Kalottikentöjen valmistus	10
2.4	Tukirangan valmistus	13
2.5	Lopullinen kontin rakenne	14
3	KATON RAKENNE	16
3.1	Materiaali ja aihiot.....	16
3.2	Muoto.....	16
3.3	Katon osat	17
3.4	Katon kuormat.....	19
4	KATON VALMISTAMINEN	22
4.1	Kalottikentölevyjen valmistaminen	22
4.2	Katon päätylevyjen valmistaminen	23
4.3	Jäykisteet.....	24
5	KOKOONPANO	26
5.1	Kalottikentöjen liittäminen tukirankaan	26
5.2	Kalottikentöjen liittäminen toisiinsa.....	28
5.3	Katon liittäminen konttiin.....	29
6	LOPULLINEN RAKENNE	31
6.1	Modulaarisuus	32
6.2	Kontin tiivistäminen	33
6.3	Kalottien määrä	34

7 YHTEENVETO	37
LÄHTEET.....	39
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Erilaisia kennorakenteita on tutkittu ja kehitetty teollisuuden tarpeisiin jo useita vuosia. Esimerkiksi ajoneuvo- ja rakennusteollisuuden aloilla pyritään vähentämään rakenteiden painoa erilaisilla komposiiteilla ja kennorakenteilla. Kennoratkaisuilla pyritään saavuttamaan jäykkä rakenne, jossa ei tarvita umpiainetta. Yksi tavallisista vaihtoehtoista on kalottikenno, jossa levyt yhdistetään painetuilla kartioilla eli kaloteilla. Tällä tavalla menetellen ei tarvita erillistä kennosydämen materiaalia. Rakenteesta tulee aaltopahvin tavoin painoonsa nähden erittäin jäykkä, ja rakenne voi olla jopa puolet kevyempi kuin umpirakenne.

Kilpailun koventuessa jatkuvasti metalliteollisuuden tuotteiden markkinoilla modulaarisuuden tuoma etu on yhä tärkeämpää. Jakamalla tuote moduuleihin eli pienempiin itsenäisiin osiin vähennetään osien riippuvuutta toisistaan, sillä osat ovat riippuvaisia ainoastaan rajapintojensa kautta. Modulaarisella rakenteella voidaan parantaa suunnittelu- ja valmistusprosesseja sekä antaa käyttäjälle enemmän vapautta luoda tuotteesta omiin tarpeisiinsa paremmin sopivia sovellettuja ratkaisuja.

Tämän kandidaatintyön tarkoituksena on kehittää kalottikennolevyistä ja teräsputkesta konttimainen rakenne sekä siihen sopiva katto. Tarkoituksena on saada aikaan kevyt ja kestävä rakenne, jonka valmistus ja kokoonpano ovat helppoa. Kehitettävän rakenteen kokonaisuudessa ei saa ylittää viittä sataa kilogrammaa, ja sen tulee olla liitettävissä kokoonpanovaiheessa mekaanisesti yksinkertaisilla työkaluilla, jotta se soveltuisi myös kehittyvien maiden olosuhteisiin. Kontin kokoa ei ole rajoitettu, mutta rakenteen tulee olla modulaarinen eli konttia tulee olla mahdollista jatkaa pidemmäksi tai korkeammaksi muuttamatta osien rakennetta. Tässä työssä kontti suunnitellaan toisesta päästä avoimeksi, mutta sen tulee olla tiivistettävissä niin, että sen sisään ei pääse satamaan vettä, ja hyönteiset eivät pääse kontin sisälle.

Suunnittelussa sovelletaan DFMA-lähestymistapaa (Design for Manufacture and Assembly) eli suunnittelussa kiinnitetään huomiota valmistukseen ja kokoonpanoon esimerkiksi standardisoituja ja modulaarisia ratkaisuja hyödyntämällä. Tässä työssä

pääpaino on rakenteen katossa ja sen valmistamisen suunnittelussa. Suunnittelussa ja simuloinnissa käytetään SolidWorks-mekaniikkasuunnitteluohjelmistoa.

Lopullisena tavoitteena on luoda rakenne, joka olisi parempi vaihtoehto erityisesti kehittyvissä maissa käytetyille raskaille ja epäkäytännöllisille suojarakenteille, esimerkiksi rahtikonteille, sähkönjakelun tai muun vastaavan infrastruktuurin suojaamisessa. Tämän takia kontin tulee olla helposti purettavissa, koottavissa ja siirrettävissä.

2 KONTIN RAKENNE

Kontti rakennetaan kalottikennelementeistä, jotka tuetaan teräsputkilla. Elementit koostuvat kalottilevystä, jonka reunat ovat kantattu sekä tasaisesta kalottilevyn sisään asetetusta kantatusta teräslevystä. Elementit kiinnitetään toisiinsa ruuveilla ja tukirakenteeseen ruuveilla sekä niiteillä. Kontin pohjalle tulee vanerilevy, joka toimii lattiana.

2.1 Kalottikennot

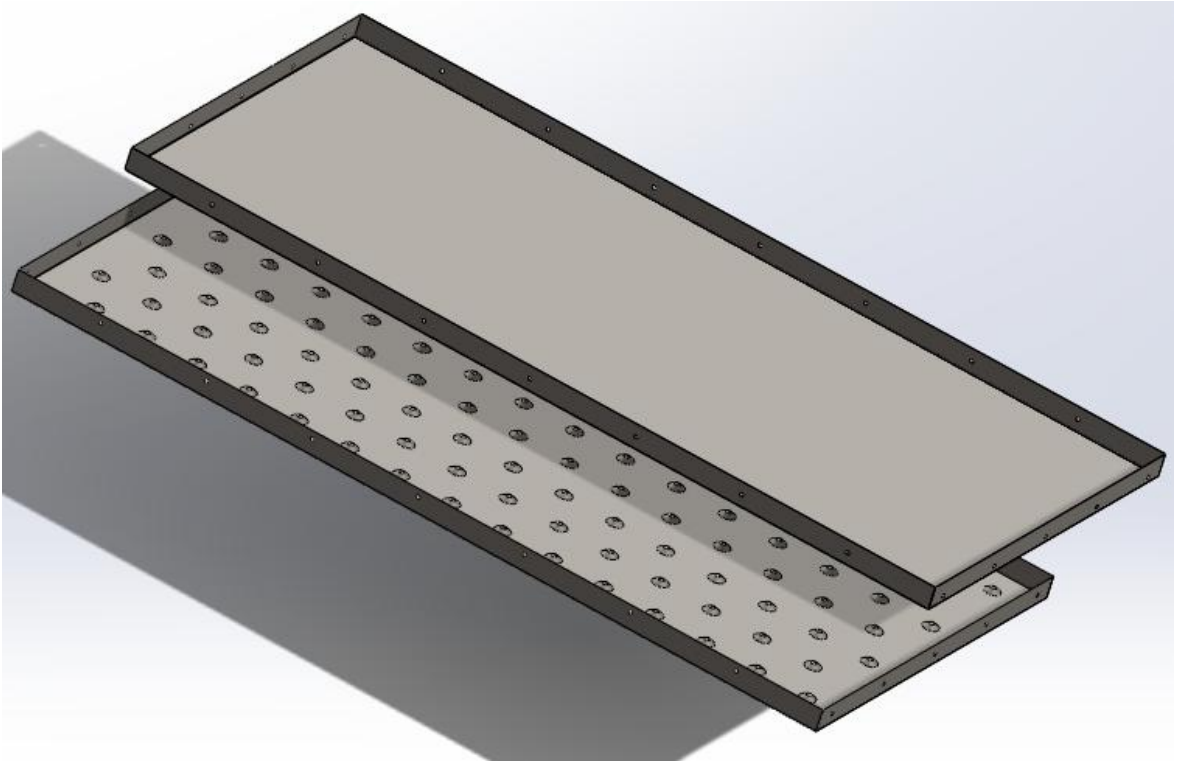
Kalottikennot tehdään teräsohutlevyistä sen edullisen hinnan, hyvän saatavuuden ja hyvien lujuusominaisuuksien vuoksi. Kylmävalssatuilla teräsohutlevyillä valinta perustuu usein muovattavuuteen, ja teräslevyille on asetettu SFS-EN 10130 -standardissa muovattavuuteen perustuvat luokat DC01-DC06. Tavallisimpia heikomman muovattavuuden luokkia ovat DC01, joka soveltuu lievään venytysmuovaukseen, taivutukseen ja rullamuovaukseen sekä DC03, joka on tarkoitettu syvävetoon ja vaativaan venytysmuovaukseen. Koska kylmävalssattujen ohutlevyteräksien myötölujuus laskee muovattavuuden kasvaessa, on DC01 parempi valinta kalottikenttien valmistamiseen. Myötörajaksi voidaan saada DC01-luokan ohutlevyillä parhaimmillaan 280 MPa, kun testaussuunta on poikittain valssaussuuntaan nähden. (Matilainen et al., 2011, s. 8-9.)

Pinnanlaaduksi on vaihtoehtoina A ja B, joista B:lle on taattu myötöjuovattomuus kolmeksi kuukaudeksi valmistusajankohdasta (Matilainen et al., 2011, s. 8-9). Koska kontin tavoitteena on olla edullinen ja yksinkertainen, riittää pinnanlaaduksi myös A.

Kontin käyttökohteesta riippuen levyille voidaan tehdä korroosionestomaalaus. Maalausjärjestelmä voidaan valita SFS 4596 -standardin mukaisesti, jolloin epäpuhtaaseen ulkoilmastoon kannattaa valita korroosiorasituksen luokaksi M3. Standardin SFS 4962 mukaisesti voidaan näin valita sopiva maalausjärjestelmä, johon sisältyy esikäsittelyt sekä käytettävät maalit. Maalien valmistajilta löytyy maalausohjeita, esimerkkejä ja maalausjärjestelmäseloste, josta löytyy tarkempia tietoja järjestelmän valinnasta ja menettelytavoista. (Ihalainen & Aaltonen & Aromäki & Sihvonen, 2000, s. 403-404.)

Kalottikennoelementit valmistetaan samankokoisista standardisoiduista levyarkeista valmistuksen helpottamiseksi. Yleisimmät saatavissa olevat arkkikoot ovat 1000×2000, 1250×2500, 1250×3000 ja 1500×3000 millimetriä. 3000 tai 2500 mm pitkistä arkeista tehdyt elementit olisivat kanttauksen jälkeenkin reilusti korkeampia kuin suurin osa ihmisistä, joten ne ovat tarkoitukseen tarpeettoman pitkiä. Paras arkkikoko konttia varten on siis 1000×2000. Yleisimmät levynpaksuudet DC01-arkeille ovat 0,75 mm, 1 mm, 1,25 mm, 1,5 mm, 2,5 mm ja 3 mm. Alle 1 mm paksuiset levyt eivät sovellu vaaditulle rakenteelle niiden heikon jäykkyyden ja lommahduksen riskin vuoksi. 1 mm paksuisella levyllä yhden arkin paino on noin 16 kg, 1,25 mm paksuisella 20 kg ja 1,5 paksuisella 24 kg. Koska rakenteelle on asetettu painoraja, valitaan paksuudeksi 1 mm, sillä paksummat levyt rajoittaisivat liikaa kontin kokoa. (Terästarvike Oy, 2010.)

Kuvassa 1 on esitetty kalottikennon rakenne. Kennoon tulee 7 riviä kalotteja, joissa on kaikissa 15 kalottia. Kalottien ja kalottirivien välinen etäisyys on 120 mm. Kalottilevyn reunoihin on tehty 50 mm kanttaukset 1 mm taivutussäteellä ja levyyn vastaavasti 51 mm kanttaukset. Kalottikennoelementin leveydeksi tulee siis 900 millimetriä. Sivujen kanttauksiin sekä päälle ja pohjaan on tehty reiät M8-kierteisiä ruuveja varten. Kalottikennot liitetään toisiinsa ruuviliitoksilla, katto liitetään kennoihin ruuviliitoksilla ja kennot liitetään pohjasta sekä sivuilta tukirankaan ruuveilla tai niiteillä. Kennon korkeudeksi tulee 1900 mm ja massaksi noin 31,5 kg.



Kuva 1. Kalottikennon rakenne.

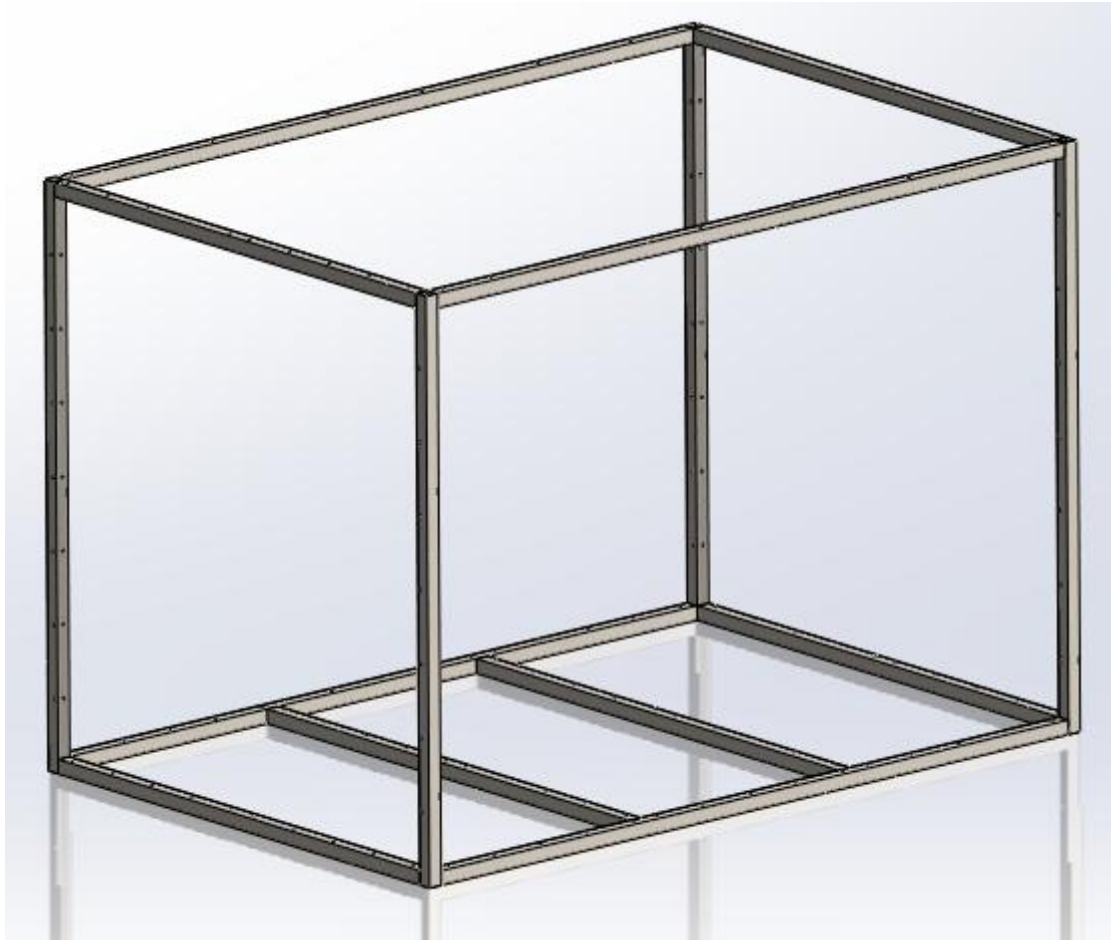
2.2 Tukiranka

Kalottilevyillä on melko alhainen puristuskestävyys, sillä kalotteja muovatessa levyyn syntyy jäännösjännitystila, joka aiheuttaa paikallista lommahtamista jo ilman kuormitustakin. Kalottilevyjä ei siis tulisi käyttää ensisijaisesti puristuskuormitetuissa kohteissa, elleivät muut syyt sitä vaadi. Kalottikennot tuetaan sen takia kontissa tukirangalla, jolloin niihin kohdistuvat kuormitukset vähentyvät. (Lepistö, 2003, s. 23.)

Kontin seinät ja lattia tuetaan teräsputkista valmistetulla tukirangalla. Tukirangan hitsaamisen ja siihen tehtävien reikien valmistamisen helpottamiseksi valitaan teräsputkien poikkileikkauksien profiiliksi neliö. Neliöputki myös soveltuu hyvin teräsrakenteisiin ja rakennuskohteisiin sen yksinkertaisen rakenteen ja hyvän lujuuden ansiosta. Sillä saadaan aikaan kestävä, edullinen ja kevyt rakenne. Sen takia neliöputki sopii hyvin rakennusten ja kuljetuskaluston runkorakenteisiin. Putken materiaaliksi voidaan valita S355-teräs sen hyvän saatavuuden ja edullisuuden vuoksi. (Ruukki, 2013a.)

Neliöputken koko määräytyy lopullisen rakenteen painon mukaan. Koska tukirangan tarkoitus on tukea lattiaa ja estää stabiiliteetin menetys kontin seinissä, valitaan profiili mahdollisimman suurella jäyhyydellä ja taivutusvastuksella. Vaihtoehtoiksi saadaan seinämänpaksuudeltaan 2 mm oleva 50×50-profiili ja seinämänpaksuudeltaan 2,5 mm oleva 40×40-profiili. 40×40-profiililla on hieman pienempi pituusmassa, mutta 50×50-profiililla on selvästi suurempi taivutusvastus ja vääntövastus, joten se sopii rakenteeseen paremmin. Lisäksi profiilin sisään jää enemmän tilaa liitoksia varten. (Ruukki, 2013b.)

Kuvassa 2 on kontin tukiranka. Tukiranka koostuu yhteen hitsatuista 50×50-profiilisista neliöputkista, joihin on tehty 8 mm:n kokoiset reiät ruuviliitoksia ja niittiliitoksia varten. Niihin tulee liitokset tukirangan ja kalottikennojen välille. Pohjavaneria varten ei välttämättä tarvita erillisiä liitoksia, mutta tukirangan pohjassakin on silti reiät liitoksia varten, jos halutaan varmistaa pohjan paikallaan pysyminen.



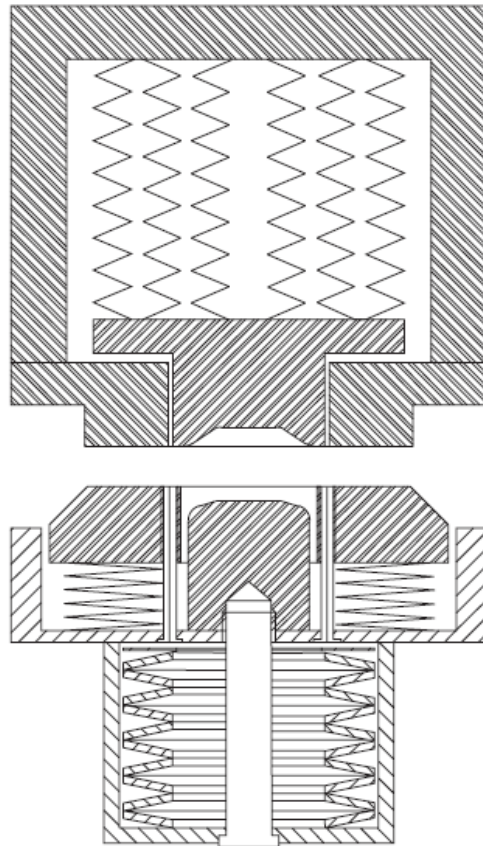
Kuva 2. Kontin tukiranka.

2.3 Kalottikentöjen valmistus

Kalottikentöt koostuvat kahdesta ohutlevystä, joista toiseen on muovattu kalotteja, ja levyt ovat sitten liitetty yhteen. Kalotit on kannattavinta muovata automatisoidusti levytyökeskuksella, jotta ne voidaan tehdä samassa prosessissa kokoonpanoa varten tehtävien niittien ja ruuvien reikien kanssa. Kalottien sijoittelussa täytyy huomioida pidätinrenkaan vaatima tila sekä jätettävä riittävästi tilaa kanttauksien särmäystä varten. Kalottien sijainnin suunnittelulla voidaan välttää kalotteja väistävien erikoisosien hankkiminen. (Juutilainen, 2012, s. 28–29.)

Kalotit voidaan valmistaa levyyn kaikilla yleisimmillä levytyökeskuksilla. Muovaus vaatii vain yhden muovaavan työkaluparin, joten räätälöidyt ja pienetkin erät ovat taloudellisia valmistaa. Kalotteja muovatessa tulee huomioida, että levy pyrkii käyristymään tai muuten muuttamaan muotoaan muovauksen ulkopuolelta. Muita huomioitavia kohtia valmistuksessa ovat, että kalotin korkeus on yli 4-5 mm kuten tässä

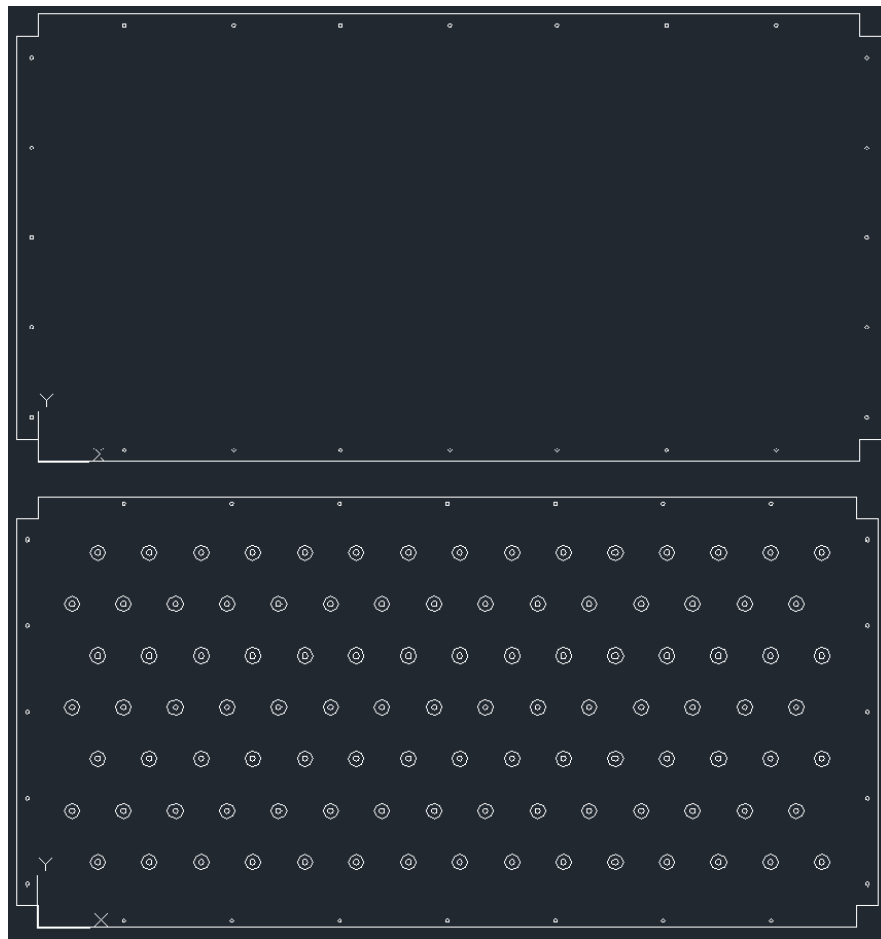
tapauksessa sekä materiaalin riittävä muodonmuutoskyky, minkä ei pitäisi olla suuri ongelma valitulla DC01-teräslevyllä. Lisäksi työkalun pidätysvoiman tulee olla riittävän suuri, jotta kalotti muovautuisi oikeasta kohdasta. Kuvassa 3 on esitetty muovaustyökaluparin periaate. (Lohtander & Varis & Karppi, 2002, s. 54.)



Kuva 3. Muovaustyökalupari (Lepistö, Varis & Lohtander, 2006, s. 761).

Kalotin korkeus määräytyy levytyökeskuksen ja materiaalin ominaisuuksien mukaan. Kaupallisilla levytyökeskuksilla päästään tavallisesti maksimissaan 20 mm korkeuteen, mutta joissain tapauksissa maksimikorkeus jää 12,5 millimetriin pöydän ja revolverin välisen vapaan tilan takia. Lisäksi kalotin korkeuden kasvaessa sen pää repeää helpommin valmistaessa, joten 8 mm korkeilla kaloteilla varmistetaan parempi soveltuvuus erilaisille levytyökeskuksille, ja pienennetään kalotin pään repeämisen riskiä. Kennon paksuudeksi tulee siis yhteensä 10 mm. (Lohtander et al., 2003, s. 18–21.)

Levyistä leikataan vain suoraviivaisia muotoja pois, joten leikkaukset voidaan tehdä levytyökeskuksen työkaluvalikoimasta riippuen myös kulmaleikkurilla tai nakertamalla (Aaltonen & Andersson & Kauppinen, 1997, s. 541). Kaikki levyissä olevat muodot voidaan kuitenkin tehdä myös laserilla. Kuvassa on 4 on levityskuvat levytyökeskuksella valmistettavista kennojen levyistä.



Kuva 4. Kennojen levyt.

Kalottikenno tehdään liittämällä kalottilevy toiseen levyyn kalottien kohdalta. Yleisesti käytetyt vaihtoehdot liittämiseksi ovat pistehitsaus, liimaus, niittaus ja muut mekaaniset liitokset. Liimatessa kalotit pitää liiman soveltua pulverimaalin uunitukseen, ja hitsattaessa aiheutuu lämpöjännityksiä, jotka palautuessaan vetävät levyä. Lisäksi liimaliitosten vanhenemisen ennustaminen on hankalaa, joten liittämiseksi on syytä suosia mekaanisia liitoksia. Puristusliittäminen on nopea liittämismenetelmä eikä se

vaadi esireikää, joten se on helppo ja käyttökelpoinen ratkaisu. (Juutilainen, 2012, s. 29-30; Lohtander et al., 2003, s. 20-21.)

Puristusliittäminen soveltuu hyvin käytännössä kaikille kylmämuovatuille materiaaleille. Siinä tulee kuitenkin huomioida, että liitoksen tulee olla molemmilta puolilta luoksepäästävä, ja jos käytetään liikaa tai liian vähän puristusvoimaa, liitos voi murtua tai levyt irrota toisistaan. (Matilainen et al., 2011, s. 342.)

Levyjen kanttaukset ovat helpointa tehdä särmäyspuristimella vapaataivutuksella, koska se on yksi eniten käytetyistä taivutusmenetelmistä, ja takaisinjousto on helppo kompensoida riittävällä ylitaivutuksella. Lisäksi työprosessi on helppo automatisoida, ja yksinkertaisten standardityökalujen saatavuus on hyvä. Taivuttaessa täytyy huomioida valssaussuunnan vaikutus takaisinjousto. (Ihalainen et al., 2000, s. 268–269.)

Taivutussäde riippuu vapaataivutuksessa v-aukon leveydestä ja painimen säteestä, ja sille ei ole mitään yleispätevää laskentatapaa. Kontissa tarkka taivutussäde ei kuitenkaan ole tärkeää toiminnan kannalta. Suuremmilla taivutussäteillä levyn ulkopinta venyy vähemmän, ja murtumisen riski on pienempi. (Matilainen et al., 2011, s. 248.)

Standardin SFS-EN 10268 mukaan esimerkiksi kylmävalssatuilla kylmämuovattavilla lujilla ohutlevyteräslajeilla HC380LA ja HC420LA suositeltava minimitaivutussäde on 0,5 kertaa aineenvahvuus, joten valitsemalla levyjen taivutussäteeksi 1 mm saadaan hyvä tulos ja helppo taivutustapahtuma ilman pelkoa murtumisesta (Matilainen et al., 2011, s. 9).

2.4 Tukirangan valmistus

Tukiranka koostuu neliöputkista, jotka ovat helpointa lyhentää määrämittaansa kaarisahalla sen edullisuuden, yksinkertaisuuden ja tarkkuuden vuoksi. Myös kontin pohjalle tuleva vaneri on helpointa lyhentää ja kaventaa muotoonsa sahaamalla. (Ihalainen et al., 2000, s. 195.)

Kalottikennelementtien kiinnittämistä varten tukirankaan täytyy tehdä reiät ruuvi- ja niittiliitoksille. Reikiä ei tule paljoa eikä niillä ole tarkkoja toleransseja, joten ne

voidaan hyvin tehdä tavallisilla penkkiporakoneilla tai pylväsporakoneilla. (Ihalainen et al., 2000, s. 176-177.)

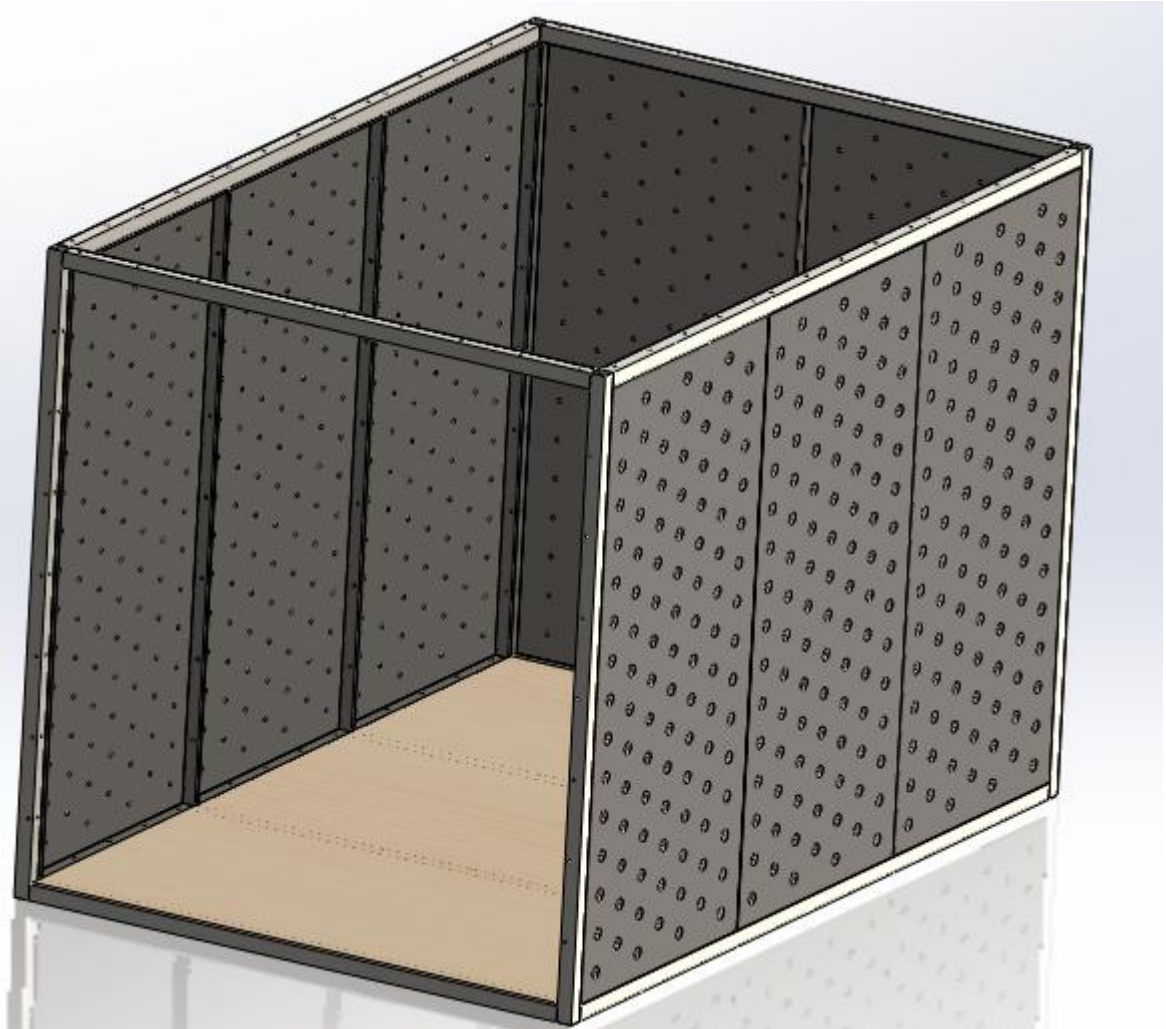
Putket ovat rakenneterästä, joka on hyvin hitsattavaa eli niiden liittämässä voidaan käyttää hyvin hitsausta. Ongelmaksi muodostuu kuitenkin pystyputkien ja vaakaputkien välisen pienen hitsin koko. Hitsille jää tilaa vain poikkileikkaukseltaan noin 1×1 mm kokoinen alue. Hitsien korkeus voi näin ollen olla maksimissaan vain noin 0,9 mm, jotta hitsit eivät aiheuttaisi tukirangan ja kalottikennojen välissä ahdistusta. Tällaisessa tilanteessa laserhitsaus on sopivin menetelmä, sillä se ei pienen lämmöntuontinsa vuoksi aiheuta juurikaan muodonmuutoksia, ja hitsausaumasta saadaan siisti (Kennotech, 2014). Vaihtoehtoisesti voidaan hitsata putket päittäisliitoksella vain sivuilta, jolloin kennot eivät ole kosketuksissa hitseihin. Tällöin hitsausmenetelmäksi sopii hyvin esimerkiksi MAG-hitsaus (Ihalainen et al., 2000, s. 301).

Tukirangan valmistamisessa tulee huomioida, että pystyputket tulevat oikein päin. Putket täytyy liittää konttiin siten, että putken läpireiät ovat kontin pidempien sivujen suuntaisesti. Myös poikittaisissa putkissa tulee huomioida, että reiät eivät ole keskellä putkea, vaan 15 mm toisesta reunasta ja 35 mm toisesta. Putket täytyy kiinnittää niin, että 15 mm reuna tulee ulospäin kontista, jotta katon päätylevyjen reiät osuvat putken reikien kanssa kohdilleen. Myöskään poikittaissuuntaisia kalottikennoelementtejä ei saa kiinnitettyä pohjaan, jos putket ovat väärinpäin. Kontin pohjalla keskellä olevat poikittaiset putket voidaan kuitenkin asetella vapaammin, mutta se täytyy huomioida pohjavanerissa, mikäli siihen halutaan tehdä valmiiksi reiät kiinnitystä varten. Tukirangan pisimmät putket ovat kuitenkin täysin symmetrisiä, joten niitä ei voi asettaa väärinpäin. Myös kalottikennojen reiät ovat aseteltu symmetrisesti, joten kennot voidaan asetella vapaasti ja miten päin tahansa pohjaan ja kattoon nähden.

2.5 Lopullinen kontin rakenne

Kontti koostuu kahdesta kalottikennoelementtien rivistä, joissa on molemmissa 3 kennoa. Rivien välissä on kaksi kennoa eli yhteensä konttiin tarvitaan 8 kalottikennoelementtiä. Kennot kiinnitetään tukirankaan, ja kontin pohjalle laitetaan vanerilevy. Kontin kokonaispituudeksi tulee 2810 mm, kokonaiskorkeudeksi 2000 mm ja massaksi noin 356 kg. Ilman kattoa ja pohjavaneria sekä huomioimatta kanttausten

väliin jääviä tiloja kontin sisätilan leveys on 1778 mm, korkeus 1950 mm ja pituus 2749 mm. Kuvassa 5 on esitetty kontin rakenne ilman kattoa.



Kuva 5. Kontti ilman kattoa.

3 KATON RAKENNE

Katon tarkoituksena on suojata kontin sisätilaa ja tehdä rakennetta jäykemmäksi. Kun kontin seinät ovat tuettuna toisiinsa katon välityksellä, vähenee niiden siirtymät kuormituksessa. Katon suunnittelussa painotetaan DFMA-näkökulmaa eli valmistuksen ja kokoonpanon helppoutta.

3.1 Materiaali ja aihiot

Katto tehdään kalottikennoista, ja niihin käytetään samaa terästä kuin konttiinkin. Kalottikennoissa käytetään myös 1000×2000 mm kokoisia aihioita, jotta saadaan tehtyä koko rakenne samoista aihioista. Seinistä poiketen katon kennoissa kalotit ovat ulospäin rakenteen sisätilaan nähden. Tällä tavalla kalotit jäävät sisäpuolelle eikä niihin kerry esimerkiksi vettä.

3.2 Muoto

Katon poikkileikkauksen muoto voi olla suora, kaareva tai kulmikas. Valmistettavuuden puolesta suora rakenne olisi vaihtoehdoista paras. Suoran katon suurin siirtymä pistekuormitettuna voidaan laskea kaavasta 1 ja suurin momentti kaavasta 2. (Valtanen, 2013, s. 324.)

$$f_m = \frac{Fl^3}{192EI} \quad (1)$$

$$M_F = \frac{Fl}{8} \quad (2)$$

Vastaavalla tavalla tuetun puoliympyränkaaren muotoisen katon suurin siirtymä saadaan kaavasta 3 ja suurin momentti kaavasta 4 (Valtanen, 2013, s. 332).

$$\delta_y = -0,0116 \frac{Fr^3}{EI} \quad (3)$$

$$M_c = -0,1515Fr \quad (4)$$

Siirtymiä verratessa huomataan, että jos merkitään puoliympyränkaaren muotoisen katon jäyhyyttä I_1 ja suoran katon I_2 sekä ympyränkaaren säteeksi $l/2$, saadaan jakamalla yhtälö 1 yhtälöllä 3 siirtymien suhteeksi $3,59195I_1/I_2$. Koska suoralla katolla jäyhyys on selvästi pienempi, nähdään että se kestää paljon heikommin kuormaa. Vastaavasti jakamalla yhtälö 2 yhtälöllä 4 saadaan momenttien suhteeksi $1,65017$ eli samalla kuormalla suoraan kattoon tulee huomattavasti suurempi momentin maksimi. Erilaiset kulmikkaat poikkileikkaukset ovat yksinkertaistettuna suoran ja kaarimaisen poikkileikkauksen välimuotoja, joten parhaat lujuusominaisuudet saadaan suunnittelemalla katto mahdollisimman lähelle puoliympyränkaaren muotoa.

Kalottikennoihin on myös mahdollista tehdä kaarevia muotoja joko niin, että kenno on tasapaksu, ja molemmat levyt ovat kaarevia tai toinen levy on kaareva ja toinen suora (Juutilainen, 2012, s. 30). Kalottilevyn pyöristäminen on kuitenkin vaikeaa, koska kalotit tekevät levystä paksun, ja sen poikkeavat lujuusominaisuudet tekevät parametrien asettamisesta pyöristyskoneeseen vaikeampaa. Levyt ovat kuitenkin ohuita, joten ne voidaan yksitellen taivuttaa käsin kaarevaksi kokoonpanovaiheessa ja nitoa kennoiksi vasta sitten. Tällä tavalla vältetään erillisen pyöristyskoneen käyttö. (Aaltonen et al., 1997, s. 65-67.)

3.3 Katon osat

Kattoon tehdään kaareva muoto kahdella puoliympyrän puolikkaan muotoisella kalottikennolla. Kaarilevyjen reunoihin tehdään 90 asteen taitokset, joihin tehdään reiät ruuveille katon konttiin kiinnittämistä sekä kennojen toisiinsa kiinnittämistä varten. Modulaarisuusehdon vuoksi katon levyjä ei voida asettaa symmetrisesti keskelle konttia, vaan ainakin katon toisen reunan tulee olla kontin reunan kanssa samalla tasalla. Tämän takia jouduttaisiin paikoittamaan ruuvien reiät eri kohtiin eri levyillä, joten

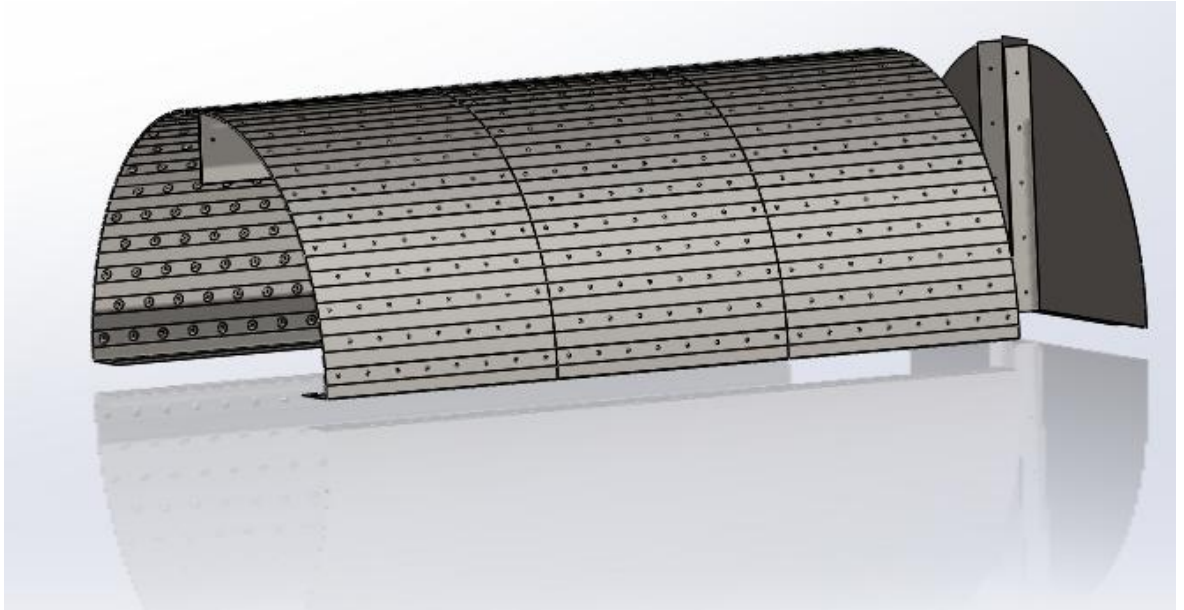
valmistuksen ja kokoonpanon helpottamiseksi tehdään katon levyihin pitkät 8 mm leveät aukot ruuviliitoksia varten. Tällä tavalla katon paikkaa voidaan säätää pituussuunnassa, jolloin katto voidaan asettaa symmetrisesti, mutta rakenne on silti modulaarinen. Katon päätyihin tehdään päätylevyt, jotka koostuvat suorakaiteen muotoisesta keskialasta ja kahdesta puolilympyränkaaren puolikkaasta. Päädyt tulevat kalottilevyjä vasten ulkopuolelta, joten niiden muodoille ei ole tarkkoja vaatimuksia, jolloin ne voidaan hyvin valmistaa myös nakertamalla (Aaltonen et al., 1997, s. 41).

Päätylevyissä joudutaan käyttämään lyhyempää taivutetun sivun pituutta, jotta ne voidaan tehdä samoista aihioista. Reikien minimietäisyys taivutuslinjasta voidaan laskea kaavalla 5. (Matilainen et al., 2011, s. 258.)

$$x_1 = \sqrt{d \times s} + 0,8R_i \times \sqrt{\frac{b}{d}} \quad (5)$$

Kaavassa x_1 on reiän minimietäisyys taivutuslinjasta, d on reiän halkaisija, s on levyn paksuus, R_i on taivutuksen sisäsäde ja b on taivutetun sivun pituus. Kun taivutussäde ja paksuus ovat 1 mm ja reikien halkaisija on 8 mm, tulee minimietäisyydestä pieni, joten lyhyempikään sivun pituus ei aiheuta ongelmia. (Matilainen et al., 2011, s. 258.)

Kuvassa 6 on esitetty katon osat. Katto koostuu kuudesta 1000×2000 mm kokoisesta aihioista kaarevaksi taivutetusta kalottilevystä, jotka ovat kavennettu 933,3 mm levyisiksi sekä samoista aihioista valmistetuista päätylevyistä. Myös katossa kalottien välinen etäisyys on 120 mm. Päätyyn tulee kolme päätylevyä, joka ovat taivutettu reunastaan ja liitetty toisiinsa. Päätylevyt saadaan kiinnitettyä ruuviliitoksilla oikealla kokoonpanojärjestyksellä. Kaikki katon liitokset voidaan tehdä kontin sisäpuolelta, ja ne ovat molemmilta puolilta luoksepäästäviä eli ne voidaan toteuttaa ruuviliitoksilla.



Kuva 6. Katon rakenne.

3.4 Katon kuormat

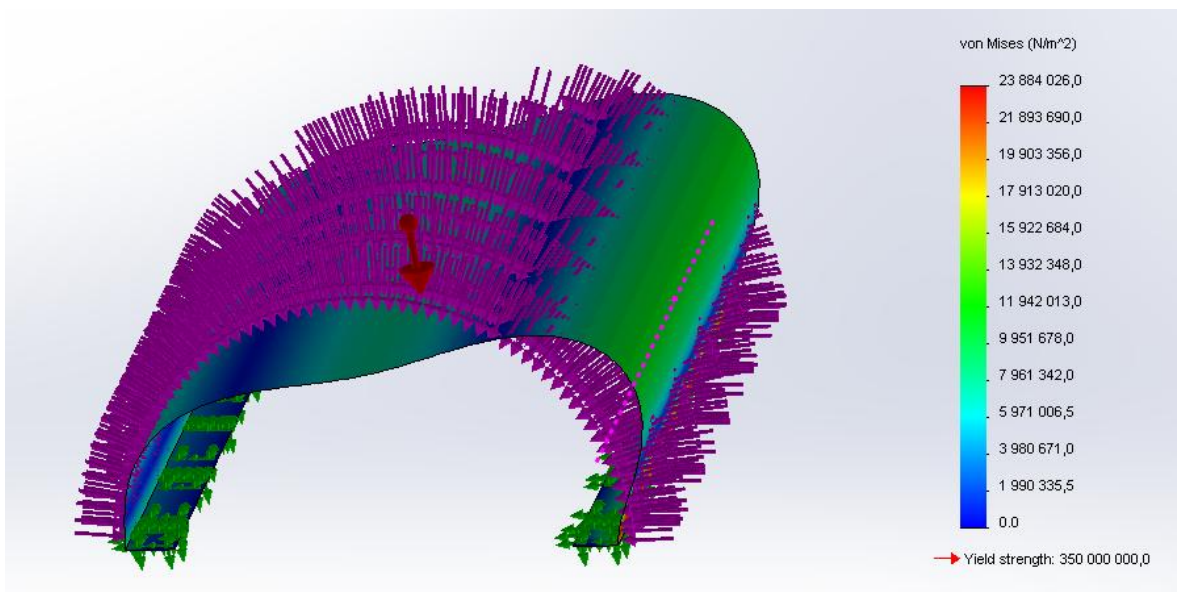
Katon lumikuorma voidaan määrittää yksinkertaistettuna lumikuorman muotokertoimen ja maassa olevan lumikuorman ominaisarvon kertomana. Suomessa suurin ominaislumikuorma maassa eli s_k on $3,5 \text{ kN/m}^2$. Jos oletetaan, että lumen liukumista katolta ei ole estetty, niin kaarevalla katolla muotokerroin μ voi enintään olla 2. Näin ollen katon lumikuorma voi maksimissaan olla Suomessa 7 kN/m^2 . (Suomen rakennusinsinöörien liitto, 1999, s.42–46.)

Suomessa tuulen perusnopeudelle käytetään arvoa $v_{\text{ref}}=21 \text{ m/s}$. Tämä arvo on saatu 50 vuoden toistumisajan 10 minuutin keskiarvosta, jos oletetaan, että tuulen nopeus mitataan 10 metrin korkeudelta maanpinnasta. Ilman tiheyden ollessa $1,25 \text{ kg/m}^3$ saadaan tuulen perusnopeuspaineeksi $0,276 \text{ kN/m}^2$. (Suomen rakennusinsinöörien liitto, 1999, s.62.)

Katon kalottikennojen lujuuksien laskeminen on haasteellista, koska katon muoto on kaareva ja kalotteja on levyissä paljon. Lujuuksia voidaan simuloida mallintamalla katon geometria ja kuormat. Suorilla ja yksinkertaisemmilla kalottikennoilla joudutaan tosin tekemään malleista karkeat laskenta-ajan lyhentämiseksi. Lisäksi joudutaan tekemään karkeita oletuksia rakenteen käyttäytymisestä. (Lepistö, 2003, s. 2.)

Kalottilevyjen simulointi FE-analyysin keinoin on hankalaa ja virhealtista. Puristuskokeiden ja FE-analyysin antamat tulokset voivat poiketa toisistaan valtavasti, ja niiden ero voi olla jopa 100 %. Jotta analyysistä voitaisiin saada luotettavia tuloksia, tulisi malliin saada myös alkumuoto ja muovauksen aiheuttamat jäännösjännitykset mukaan. Vähentämällä FE-analyysin tuloksista ennen mallin lommahduksen alkua saavuttama kuorma saadaan kuitenkin analyysillä saatu maksimikuorma vastaamaan suunnilleen kokeellisesti saatua maksimikuormaa. (Lepistö, 2003, s. 22-23.)

Katon muodonmuutoksia ja jännityksiä voidaan kuitenkin arvioida karkeasti tekemällä simulaatio SolidWorksilla. Laskentaan kuluvan ajan lyhentämiseksi voidaan katto yksinkertaistaa yhdeksi tasapaksuksi osaksi. Valitaan materiaaliksi kylmävalssattu AISI 1020 -teräs ja oletetaan sääolosuhteet äärimmäisiksi eli kattoon vaikuttaa samanaikaisesti joka puolelta sekä maksimaalinen lumikuorma että tuulikuorma. Jätetään myös pois päätylevyjien ja kaarevien kalottilevyjen välissä olevien taitosten jäykistävä vaikutus. Kuvassa 7 on esitetty vakio muodonvääristymisenergiähypoteesin mukaisen simulaation tulos 2 mm paksuudella. Suurempi nuoli esittää painovoiman suuntaa ja pienet nuolet katolle asetettua kuormaa. Muodonmuutoksia on kuvassa liioiteltu.



Kuva 7. Katon simulointi.

Simuloinnissa saadaan myötäämisen pienimmäksi varmuuskertoimeksi kappaleessa noin 14,7 ja suurimmaksi jännitykseksi noin 23,9 MPa. Suurin siirtymä on noin 8 mm. Simuloinnin tuloksista havaitaan, että jopa ilman kalotteja ja kennojen välisiä tukia katto kestää äärimmäisetkin sääolosuhteet myötäämättä. 1 mm paksuudellakin saadaan suurimmaksi jännitykseksi vain noin 52,4 MPa. Tuloksista voidaan siis päätellä, että kalottikennorakenteinen katto on riittävän kestävä Suomen sääolosuhteisiin.

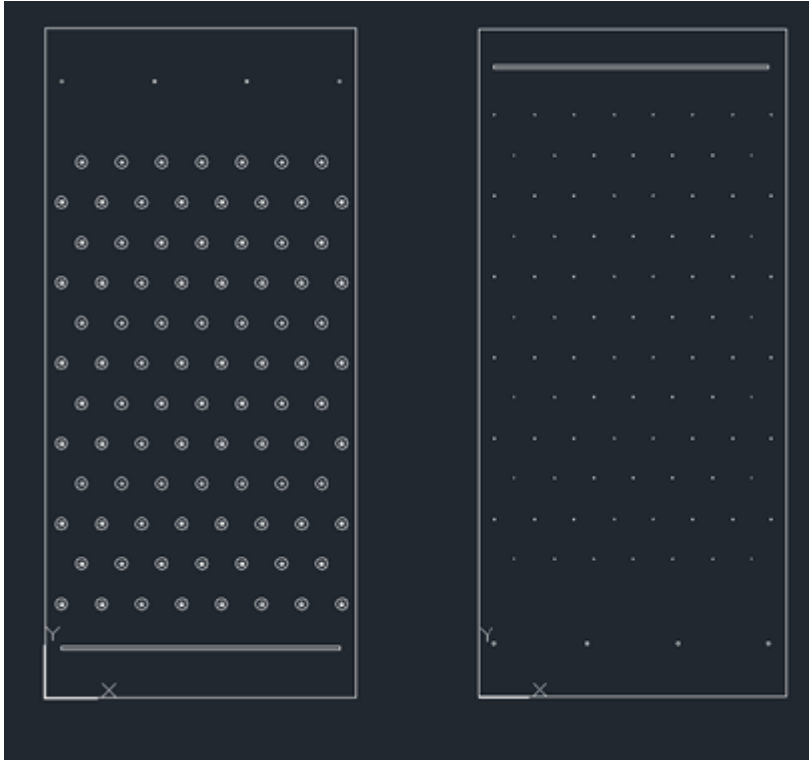
4 KATON VALMISTAMINEN

Katto valmistetaan samoista aihioista ja samoilla työkaluilla kuin kontin muutkin osat. Kaikki liitokset toteutetaan mekaanisilla liitoksilla. Valmistettujen osien on tarkoitus noudattaa DFMA:ta ja tehdä kokoonpano mahdollisimman helpoksi.

4.1 Kalottikennolevyjen valmistaminen

Katon kaarevat kalottikennolevyt voidaan tehdä myös DC01-teräksestä pinnanlaadulla A. Aihiona on 1 mm paksuinen 1000×2000-levy, ja taivutussäteet ovat kaikissa osissa myös 1 mm. Levyihin tehdään kalotit vastaavalla tavalla levytyökeskuksella, mutta ensin lävistetään kalottien kohdille reiät vetokaraniittejä varten. Saatavuuden ja halkaisijan perusteella paras valinta on 3 mm kokoinen vetokaraniitti. Suositeltu reiän koko 3 mm kokoisille niiteille on 3,1 mm. Levyt liitetään kennoiksi vasta kokoonpanovaiheessa. (Colly Company, 2009.)

Levyihin täytyy lisäksi tehdä 8 mm leveä ura konttiin kiinnittämistä varten. Parhaiten sen tekeminen onnistuu levytyökeskuksella nakertamalla. Tällöin suorakaiteen tai neliön muotoinen ja 8 mm leveä pistin iskee nopeasti leikkausviivan suuntaisen uran. Urasta tulee näin pistimen levyinen. Levyn toiseen päähän ruuviliitosten reiät voidaan tehdä normaalisti pistämällä. Levyt voidaan kaventaa suuntaisleikkurilla tai levytyökeskuksella. Kuvassa 8 on esitetty katon kalottikenttien levyjen levityskuvat levytyökeskusta varten. (Kauppinen, 1989, s. 104.)



Kuva 8. Katon kalottikenttien osat.

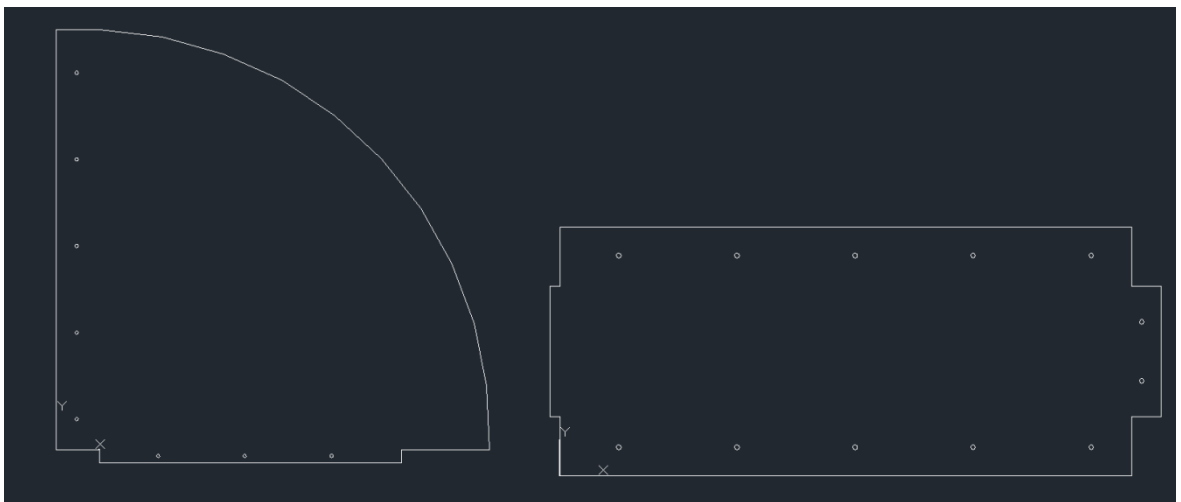
Kaarevan muodon takia kennolevyjä ei kantata sivuilta. Levyihin kuitenkin tehdään 90 asteen taitokset kumpaankin päähän, joista levyt voidaan kiinnittää kattoon ja toisiinsa. Taitoksista tulee rakenteen kannalta tarpeettoman pitkiä, mutta ne tekevät rakenteesta tukevamman, ja niiden lyhentäminen aiheuttaisi ylimääräisen työvaiheen. Taivutukset tehdään särmäyspuristimella, ja taivutukseen tarvittava voima voidaan laskea kaavasta 6, missä R_m on levyn murtolujuus, s on levyn paksuus, C on vakio (1,2–1,5), b on taivutettava pituus ja V on V-aukon leveys (Matilainen et al., 2011, s. 252).

$$F = C \times \frac{R_m \times b \times s^2}{V} \quad (6)$$

4.2 Katon päätylevyjen valmistaminen

Katon päätylevyt ovat mitoitettu siten, että nekin voidaan valmistaa samoista aihioista. Kaikki reiät ovat halkaisijaltaan 8 mm, ja kaikkien osien reunat voidaan leikata nakertamalla. Suorakaiteen muotoiseen palaan tehdään reunoihin 100 mm taitos, johon tulee viisi reikää. Kaareviin päätylevyihin tehdään reunaan vastaavanlaiset taitokset,

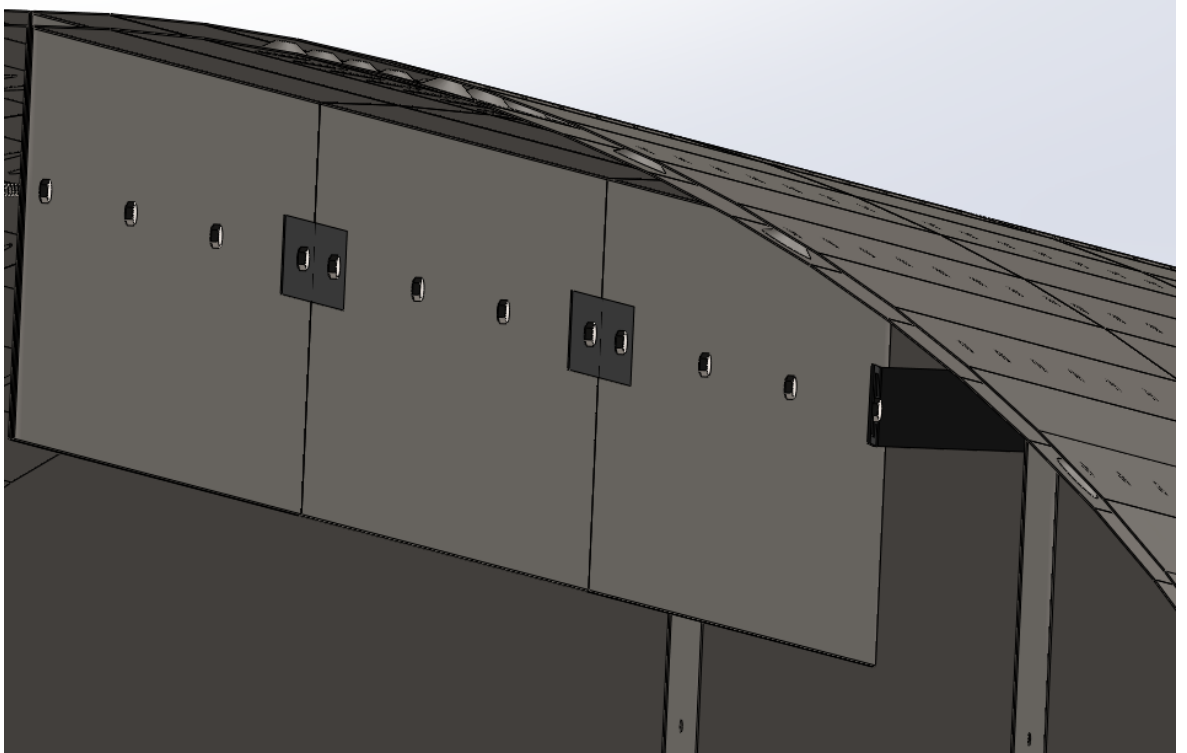
joilla päädyn osat saadaan liitettyä toisiinsa ruuviliitoksilla. Suorakaiteen muotoiseen osaan tulee konttiin kiinnittämistä varten alas 50 mm taitos kahdella reiällä ja kaareviin 30 mm taitos kolmella reiällä. Kaarevat levyt ovat keskenään samanlaisia, mutta toistensa peilikuvia. Taitokset ja reiät tehdään vastaavalla tavalla kuin muihinkin katon osiin. Päätyä lukuun ottamatta kontin levyosat ovat suunniteltu niin, että jokaista osaa varten tarvitaan yksi 1000×2000-levyarkki. Päädyn osat ovat kuitenkin pienempiä, joten niitä mahtuu arkille useampia. Jos halutaan tehdä päädyn osat samankokoisista arkeista, niin kolmeen osaan niitä tarvitaan kaksi. Suurempia sarjoja valmistaessa voidaan esimerkiksi asetella kaarevat levyt samalle arkille ja useita suorakaiteen muotoisia osia omalle arkilleen. Kuvassa 9 on katon päädyn osat. Kaarevat osat ovat toistensa peilikuvia eli ne taitetaan muotoonsa samanlaisista osista.



Kuva 9. Katon päätylevyn osat.

4.3 Jäykisteet

Katon osat voidaan liittää toisiinsa erilaisten jäykisteiden kanssa. Jäykisteet voidaan valmistaa erikseen, mutta niiden sijaan on mahdollista käyttää valmiita kulmalevyjä ja naulauslevyjä. Kaarevat osat voidaan liittää toisiinsa suoralla naulauslevyllä, jossa on kaksi reikää 100 mm etäisyydellä toisistaan. Päätylevyt voidaan liittää kaarevien kennojen taitokseen kiinni esimerkiksi taitetulla naulauslevyllä tai kahdella kulmalevyllä. Kuvassa 10 on esimerkki katon jäykistämisestä. (Pistora, 2004.)



Kuva 10. Esimerkki katon jäykistämisestä levyillä.

5 KOKOONPANO

Kontti on suunniteltu siten, että se on purettavissa, ja sen kokoamiseen ei tarvita muita työkaluja kuin momenttiavain ja niittaustyökalu. Tukirangan ja kalottikennojen väliset niittiliitokset joudutaan kuitenkin rikkomaan, jos rakenne halutaan purkaa. Katon kokoamiseen tarvitaan niittaustyökalu, mutta se on niittaamisen jälkeen kiinnitettävissä ja irrotettavissa jakoavaimella tai momenttiavaimella. Avoimella päädyllä kontti koostuu yhteensä 17 liitettävästä osasta, tukirangasta ja pohjan vanerilevystä. Liitokset ovat niittiliitoksia ja ruuviliitoksia muttereilla, joissa kaikissa on M8-kierteet.

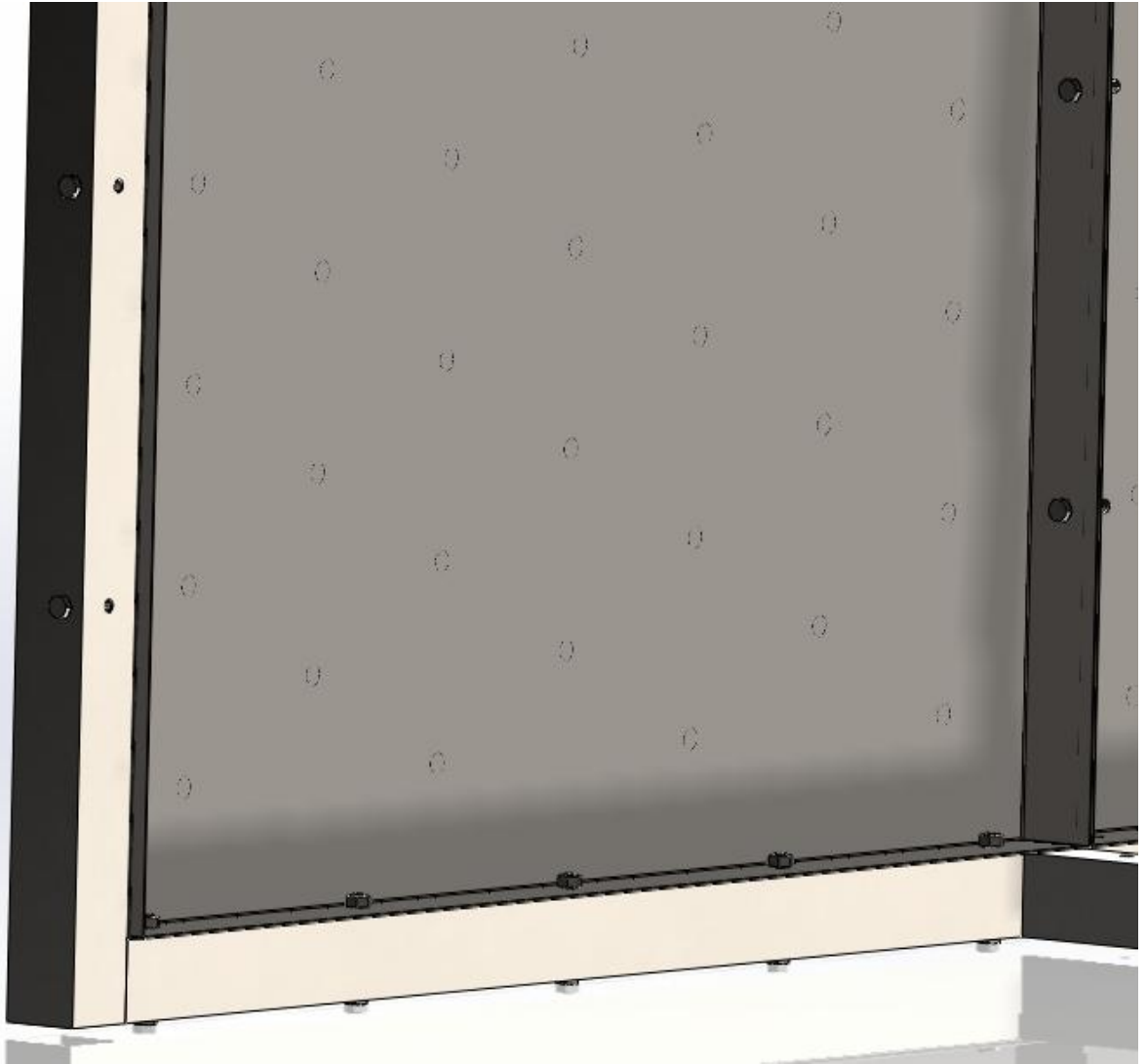
5.1 Kalottikennojen liittäminen tukirankaan

Neliöputkien ja kalottilevyjen väliset liitokset ovat molemmilta puolilta luoksepäästäviä lukuun ottamatta rakenteeseen nähden poikittain olevia kennoja. Ne ovat vain yhdeltä puolelta luoksepäästäviä, joten niissä ei voida käyttää tavallista ruuviliitosta. Yhdeltä puolelta tavoitettavissa liitoksissa helpoin ratkaisu on riittävän suurikokoinen vetoniitti. Mikäli tarpeeksi suuria vetoniittejä ei ole saatavilla, voidaan levyt liittää runkoon myös niittimuttereilla. Jos kennot liitetään pohjaan ruuviliitoksilla, jää kontti seisomaan ruuvien kantojen päälle. Ulkokäytössä sillä ei ole suurta merkitystä, mutta jos esimerkiksi sisäkäytössä siitä on haittaa, voidaan kennot liittää tukirangan pohjaan myös niiteillä tai niittimuttereilla. (Colly Company, 2009.)

Niittimutteri soveltuu tavallisesti parhaiten alle 6 mm ainepaksuuksille, joten se on 2 mm paksulle neliöputkelle käyttökelpoinen vaihtoehto. Lisäksi se soveltuu sekä meistetyille että poratuille rei'ille, ja se voidaan asentaa käsityökalun lisäksi automaateilla. (Würth Elektronik, 2009.)

Kuvassa 11 on esitetty tukirangan ja kennojen välisiä ruuviliitoksia. Tukirangan yläputkessa liitokset ovat samanlaisia, mutta samoihin liitoksiin tulee lisäksi katto kiinni. Kun konttia halutaan jatkaa pidemmäksi tai korkeammaksi, liitokset noudattavat samaa periaatetta, mutta tukirankojen yhdistämisessä joudutaan käyttämään pidempiä ruuveja tai sopivan pituiseksi leikattua kierretankoa. Niittiliitoksen kannalle jää

pystyputken sisälle 9 mm tilaa, mikä tulee huomioida valittaessa liitoksissa käytettäviä niittejä.



Kuva 11. Tukirangan ja kennojen väliset ruuviliitokset.

Työsuojeluhallinnon tarkastuslistassa käsin tehtäviä nostoja varten taakan painaessa alle 25 kg tilanne on hyväksyttävä, taakan painaessa 25-35 kg tilanne edellyttää tarkempaa analysointia ja mahdollisia apuvälineitä sekä taakan ollessa yli 35 kg tilanne edellyttää toimenpiteitä vaarojen vähentämiseksi, ja taakkoja ei pitäisi nostaa käsin. Yksi kalottikenno painaa noin 31,6 kg, joten se ei ole liian painava käsin nostettavaksi kokoonpanossa. Kuitenkin jatkuvassa työssä tilanteen mukaan voi olla tarpeellista käyttää apuvälineitä nostamisessa. (Työsuojeluhallinto, 2005.)

5.2 Kalottikennojen liittäminen toisiinsa

Kalottikennojen väliset liitokset ovat molemmilta puolilta luoksepäästäviä, joten niissä ei tarvita niittiliitosta, vaan pelkät ruuvit ja mutterit riittävät. Kalottikennojen väliin tulee 7 ruuviliitosta. Mutterit voitaisiin hitsata levyyn kiinni kokoonpanon helpottamiseksi ja tukevamman kiinnityksen vuoksi, mutta siitä tulisi ylimääräisiä työvaiheita valmistuksessa, joten se ei ole kannattavaa (Aaltonen et al., 1997, s. 80).

Kalottikennoihin ruuviliitoksia varten tehdyt reiät ovat paikoitettu sivujen keskeltä alkaen tasavälein eli ne ovat täysin symmetrisiä. Mikä tahansa kalottikenno voidaan siis asettaa mihin kohtaan tukirankaa tahansa, ja se voi olla kummin päin tahansa. Tällä tavalla osia ei tarvitse merkitä millään tavalla eikä kokoamiseen tarvitse laatia tarkkaa ohjetta. Kontin käyttäjä voi myös vapaasti jättää joitain elementtejä pois tai vaihtaa niiden paikkaa tarvittaessa.

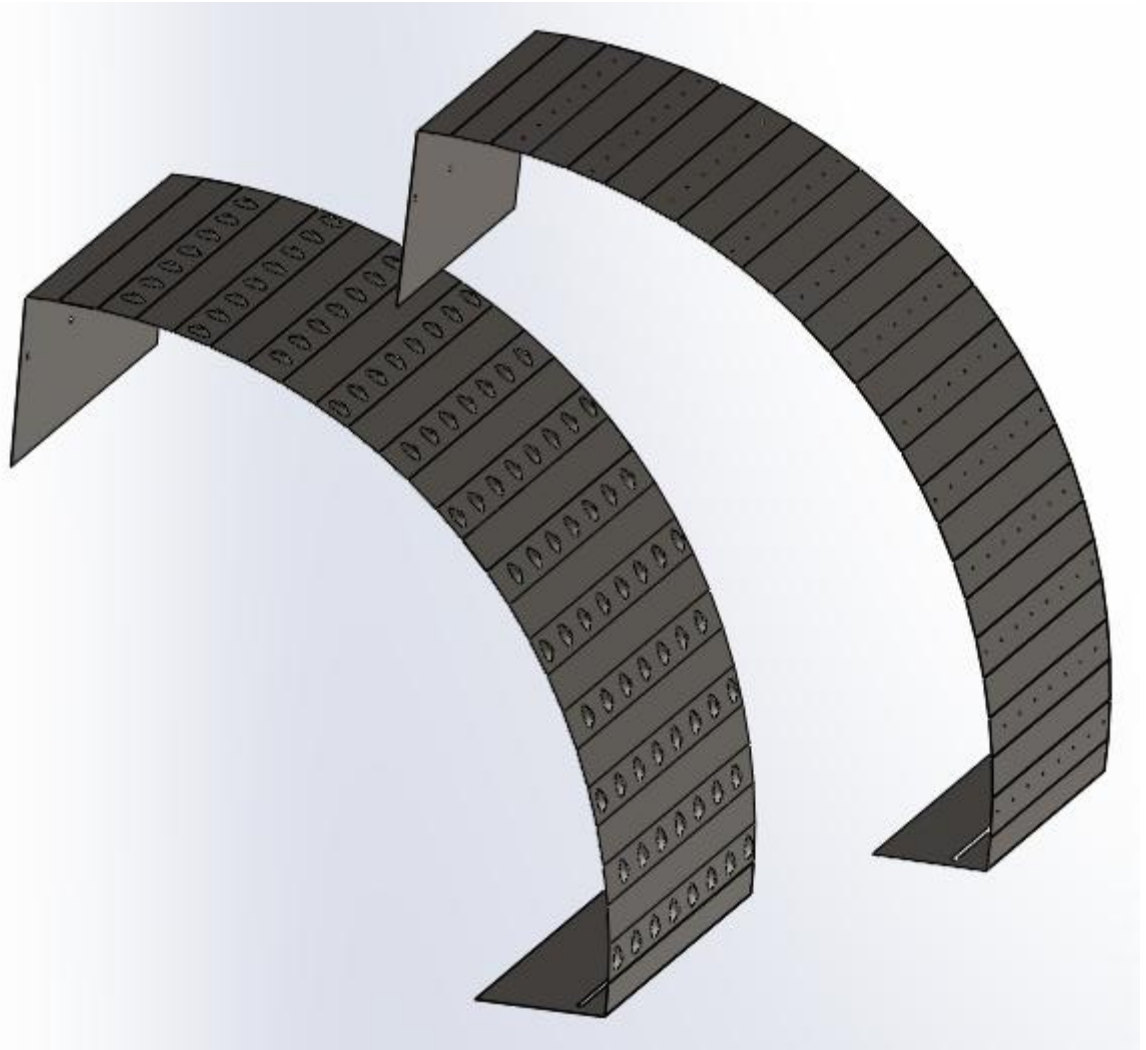
Ruuviliitokset eivät ole suuren rasituksen alaisia, joten lujuusluokan 8.8 ruuvit riittävät hyvin. Tällöin ruuvien vetomurtolujuus on 800 MPa ja vetomyötölujuus 640 MPa. M8-ISO-vakiokierteisillä ruuveilla jännityspinta-ala on $36,6 \text{ mm}^2$, joten vetomurtovoimaksi saadaan kertomalla jännityspinta-ala vetomurtolujuudella, mistä saadaan vetomurtovoimaksi 29280 N. Vetomyötövoimaksi saadaan vastaavalla tavalla 23424 N. Kun kalottikennojen välissä on 7 ruuviliitosta, kestävät ne siis myötäämättä yhdessä 163968 N voiman. Mutteri voidaan valita lujuusluokaltaan standardin SFS-EN 20898-2 mukaisesti vastaamaan 8.8-luokan ruuvia, jolloin mutterin lujuusluokaksi tulee 8, joka tarkoittaa 800 MPa vetojännityksen kestämistä ruuvien jännityspoikkipinnassa. Liitososien tulee puristua kauttaaltaan vastakkain, joten tarvittaessa voidaan käyttää aluslaattoja tehostamaan tätä. (Blom et al., 2001, s. 42-54.)

Ruuviliitosten kiristysmomentti on tärkeä tekijä ruuviliitoksen laadussa. Oikea kiristysmomentti saadaan, kun esijännitys on vetojännityksen ja kiertojännityksen summa sekä pienempi kuin ruuvien myötöraja. Ruuvi kiinnittyy näin kitkan avulla, joka säilyy ruuvien jousivoiman takia. Ruostumattomat ruuvit tulisi aina voidella, sillä kitkan merkitys korostuu. Kiristysvoimat voidaan määrittää valmistajien tai toimittajien taulukoiden ja kaavojen avulla. (Würth Elektronik, 2006.)

5.3 Katon liittäminen konttiin

Katon päätylevyt kiinnitetään konttiin ruuviliitoksilla. Jos päätylevyt kiinnitetään ennen kaarevia kalottilevyjä, niiden liitokset ovat molemmilta puolilta luoksepäästäviä eli niittejä ei tarvita. Katto ja kalottikennot kiinnittyvät tukirangan yläpalkkiin samoilla ruuveilla.

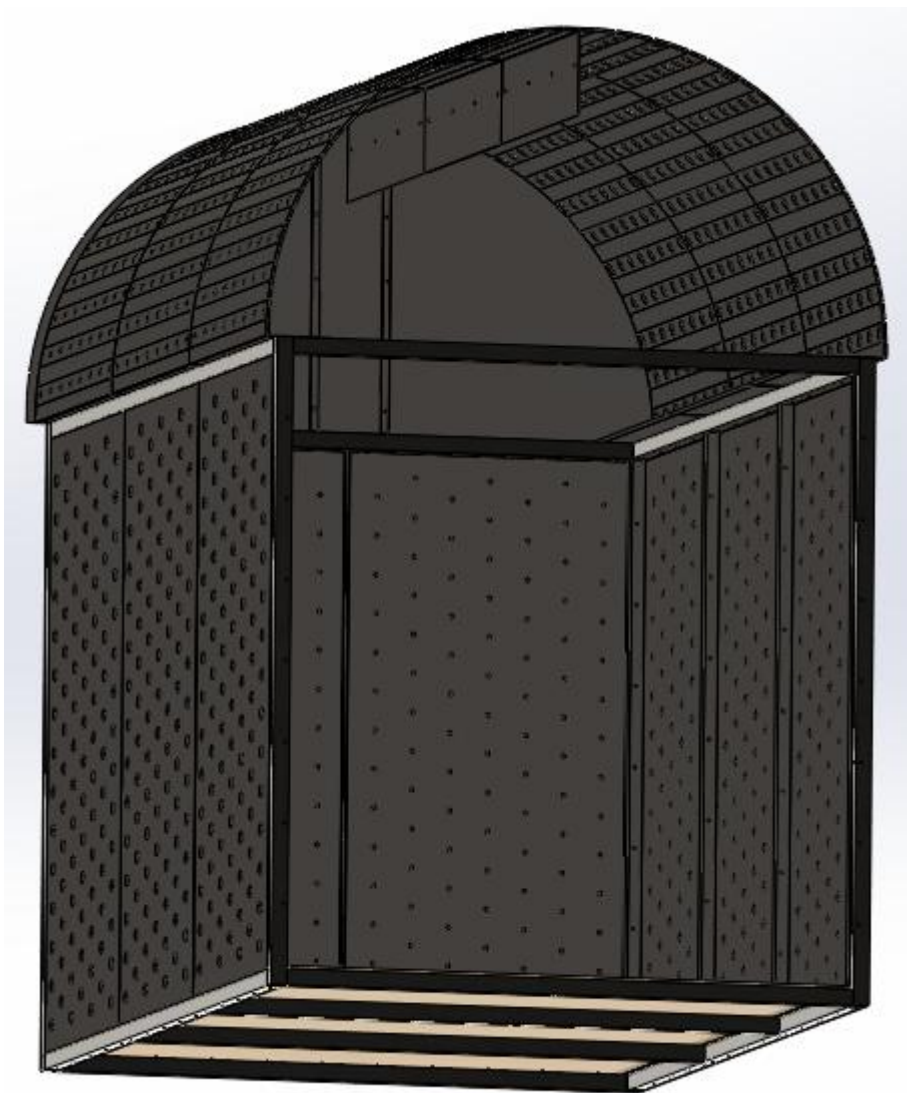
Katon kalottilevyihin tehdään 8 mm leveä ja 900 mm pitkä reikä. Näin vältetään useiden samanlaisten levyjen valmistaminen, joissa ruuvien reiät olisivat eri paikoissa. Katon pituussuuntaisesta asettamisesta riippuen yhteen kennoon tulee 4 tai 5 ruuviliitosta konttiin kiinnittämistä varten. Ruuveja valitessa tulee ottaa huomioon, että niissä on riittävän suuri kanta tai käyttää aluslevyjä, jotta katon kalottikenttien ja ruuvien välillä olisi riittävästi kitkaa pitämässä kennoja paikoillaan. Lisäksi vastakkaiset kennot liitetään toisiinsa 4 ruuviliitoksella. Kalotit kiinnitetään levyyn niittiliitoksilla, joita varten niiden päässä on 3,1 mm leveä reikä 3 mm niittejä varten. Kalottilevyn päälle tulevassa levyssä on myös 3,1 mm leveät reiät kalotteja vastaavissa kohdissa. Katto on helpointa kasata liittämällä aluksi levyt päällekkäin konttiin kiinni ja nitomalla rivi kerrallaan kalottilevy levyyn kiinni. Levyistä tulee näin kenno, ja se muotoutuu kaarevaksi rivien edetessä. Kun myös toiselle puolelle on kiinnitetty levyt ja nidottu ne kiinni, voidaan katon puolikkaat liittää keskenään kiinni. Kuvassa 12 on niittiliitoksilla kiinnitettävät levyt.



Kuva 12. Katon kalottikenno.

6 LOPULLINEN RAKENNE

Kontin massaksi avoimella päädyllä ilman pohjavaneria, päätylevyjä ja ruuveja tulee noin 517,6 kg. Kontin vaatimuksena oli, että sen kokonaismassan tulee olla alle 500kg, mutta lopullisen kontin massa on riittävän lähellä sitä. Massaa voidaan pienentää kuitenkin tarvittaessa ottamalla tukirangasta poikittaisjäykisteitä pois. Kontin korkeudeksi tulee korkeimmillaan 2989 mm. Kuvassa 13 on kontin lopullinen rakenne.



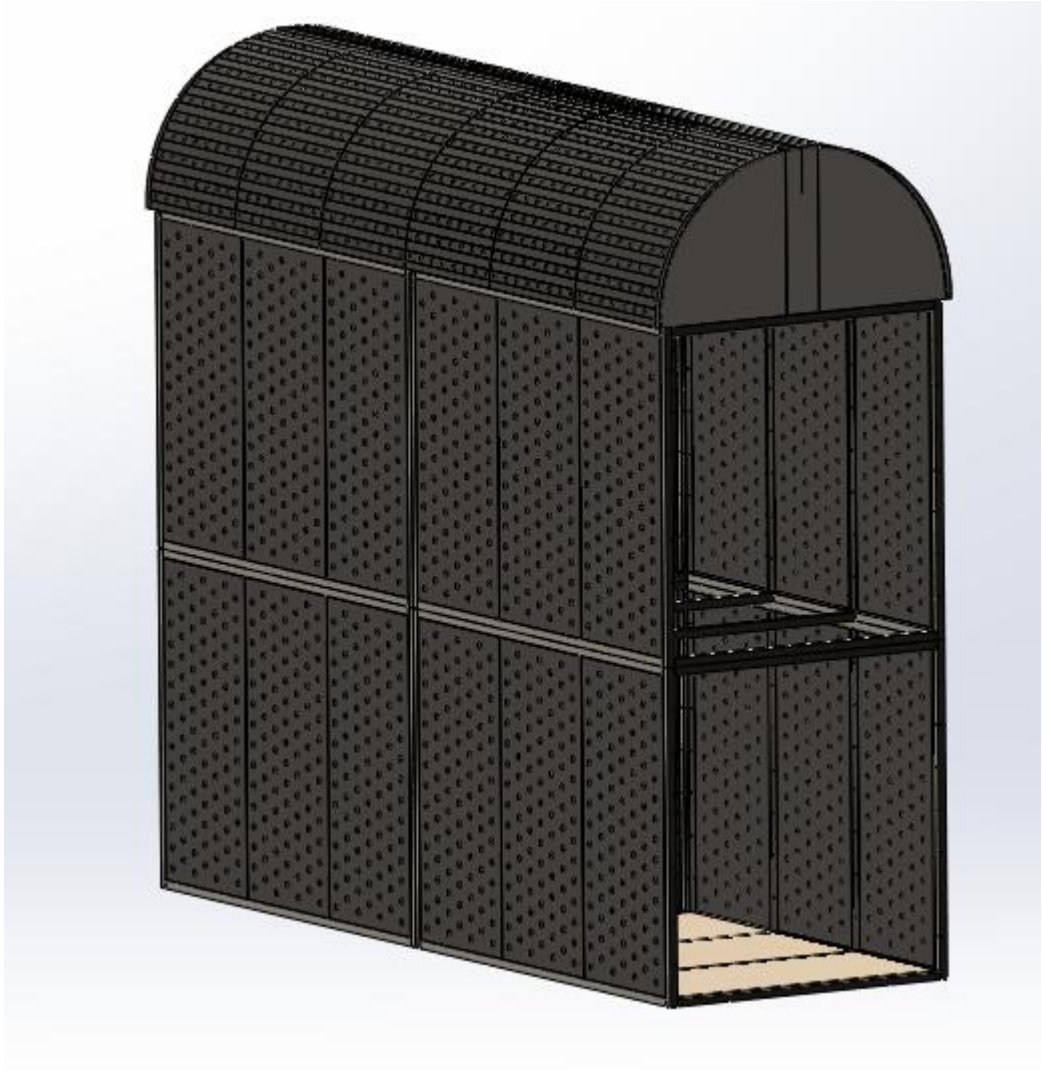
Kuva 13. Kontin lopullinen rakenne.

6.1 Modulaarisuus

Kontin rakenteen on tarkoitus olla MFD-periaatteen eli Modular Function Developmentin mukainen. MFD:n etuna on suunnitteluprosessin muokkaantuminen siten, että ratkaisuista tulee järkeviä sekä kokoonpano- ja valmistusystävällisiä. Käyttäjällä on myös enemmän mahdollisuuksia kehittää sovelluksia, jolloin valmistaja ja suunnittelija voivat saada paremmin palautetta tuotteen toimivuudesta eri olosuhteissa. Lisäksi modulaariset tuotteet ovat markkinoilla kilpailukykyisempiä, sillä ne poikkeavat systemaattisesti asiakkaan vaatimusten mukaan tuotetuista tuotteista monipuolisuudellaan. MFD:n avulla voidaan saada parempia ratkaisuja ja uusia ideoita, mutta se ei voi kuitenkaan korvata eikä poistaa DFMA:ta, vaan toimia sen apuna. (Erixon, 1998, s. III-IV.)

Kontti on tehty modulaariseksi niin, että siihen voidaan lisätä kerroksia ylöspäin sekä pituussuunnassa ilman rakenteellisia muutoksia. Toisen kerroksen voi lisätä asettamalla tukirangan pystyputken yläpäihin 48×48-kokoisesta neliöputkesta tehdyt holkit ja asettamalla toisen kerroksen niiden päälle. Holkkia ei välttämättä tarvitse kiinnittää putkiin, sillä alemman kerroksen ruuviliitos estää sitä putoamasta kerrosten välistä. Vaihtoehtoisesti tai holkkien lisäksi tukirangat ovat liitettävissä toisiinsa ruuviliitoksilla. Tällöin tarvitaan pidemmät ruuvit tai sopivan pituinen kierretanko. Alemmasta kerroksesta poiketen ylemmän kerroksen tukirankaan ei välttämättä tarvitse poikittaisia neliöputkia päätyjä lukuun ottamatta. Niillä kuitenkin saadaan konttia tukevammaksi ja tehtyä toinen mahdollinen lattiataso.

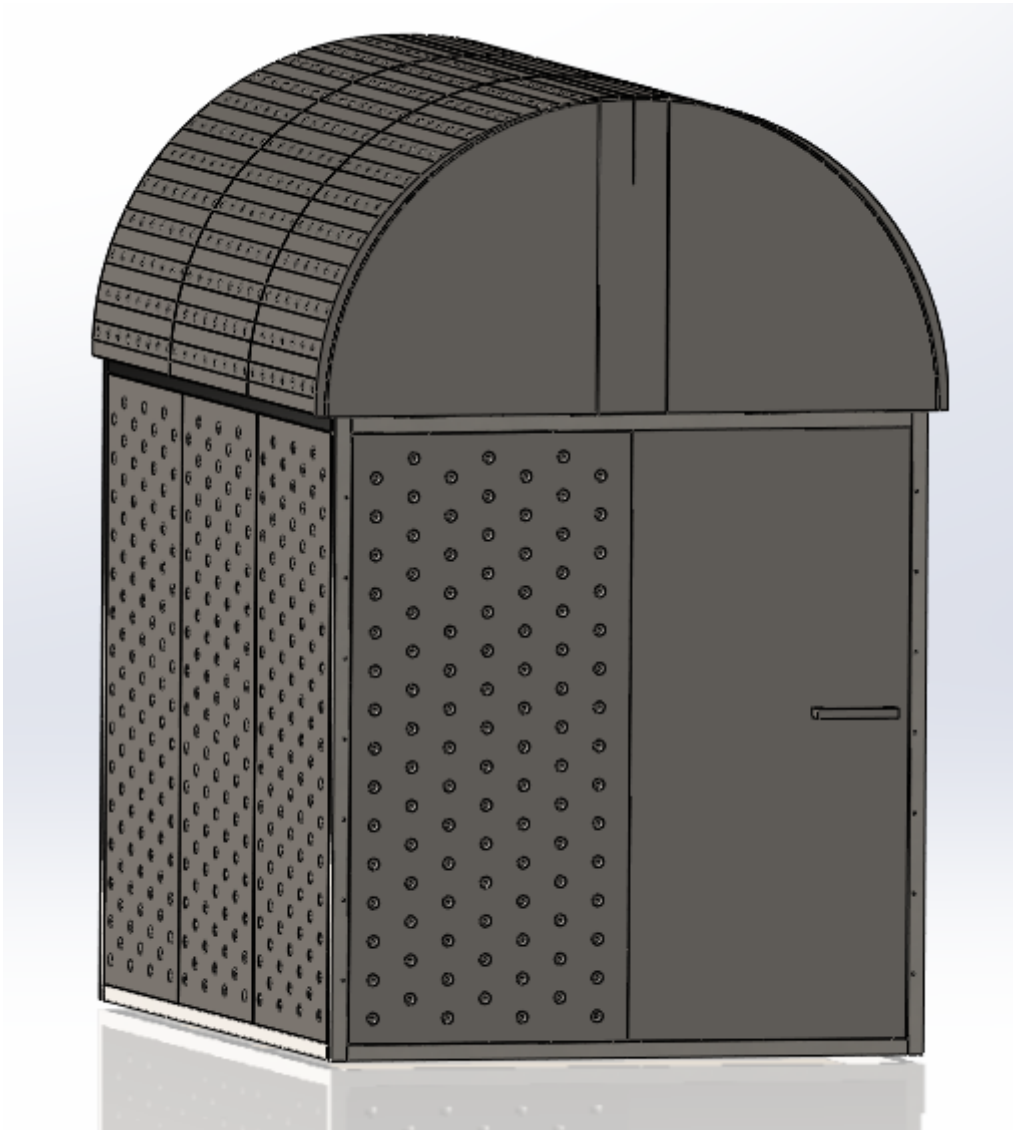
Konttiin on myös mahdollista liittää toinen kontti pituussuunnassa. Tällöin konttien väliin ei liitetä kahta poikittaissuuntaista kalottikennoelementtiä. Väliin tulee kaksi tukirangan pystypalkkia vastakkain, joten ne voidaan liittää toisiinsa yhdellä pidemmällä ruuviliitoksella. Kennot ovat silloin samassa ruuviliitoksessa. Kuvassa 14 konttia on jatkettu kerran pystysuunnassa ja pituussuunnassa. Kuvan mukaisia rakenteita voidaan liittää lisää pitkittäin ja päällekkäin, jolloin saadaan vielä isompia rakenteita.



Kuva 14. Kontin modulaarisuus.

6.2 Kontin tiivistäminen

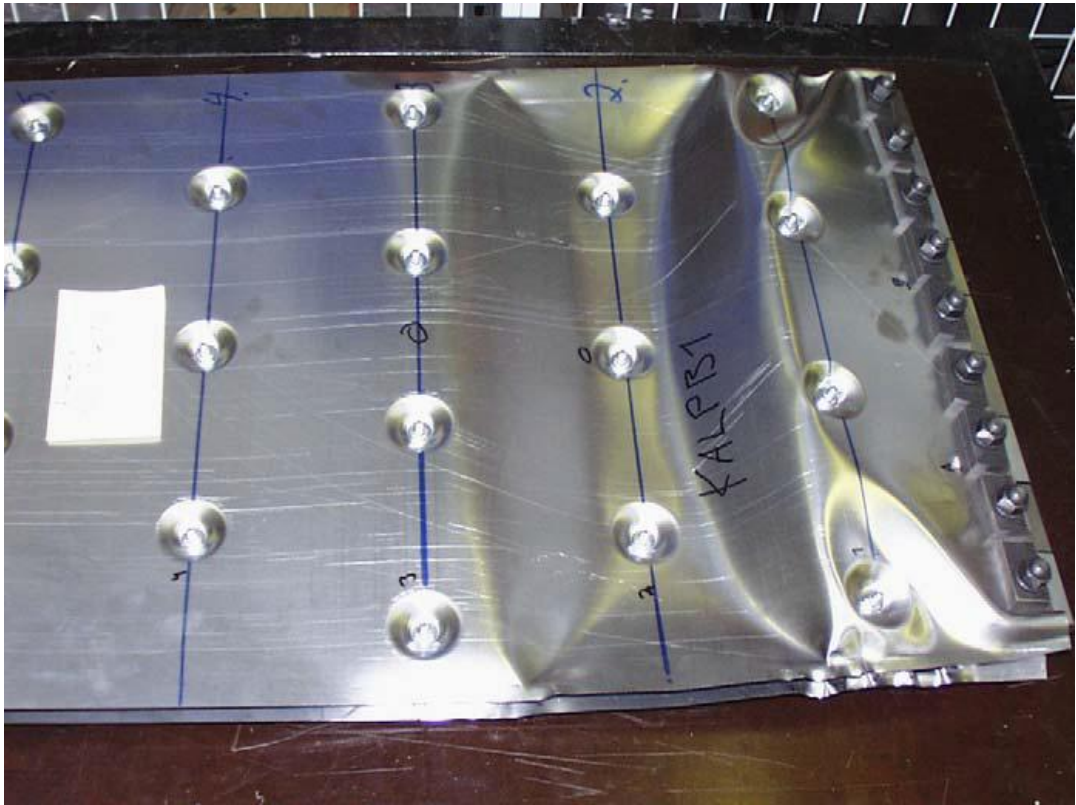
Kontti on suunniteltu toisesta päästään avoimeksi, mutta siitä on myös mahdollista tehdä suljettu ja tiivis. Tukiranka on symmetrinen, joten toisen päädyn voi täyttää samoilla kalottikennoelementeillä. Oviaukko konttiin saadaan jättämällä yksi tai useampi kalottikennoelementti pois, jolloin sen tai niiden tilalle voidaan asentaa ovi. Tällä tavalla oviaukko saadaan mihin kohtaan konttia tahansa, ja se voi olla yhden tai useamman elementin kokoinen. Kuvassa 15 on yksi esimerkki suljetusta kontista.



Kuva 15. Ovella varustettu suljettu kontti.

6.3 Kalottien määrä

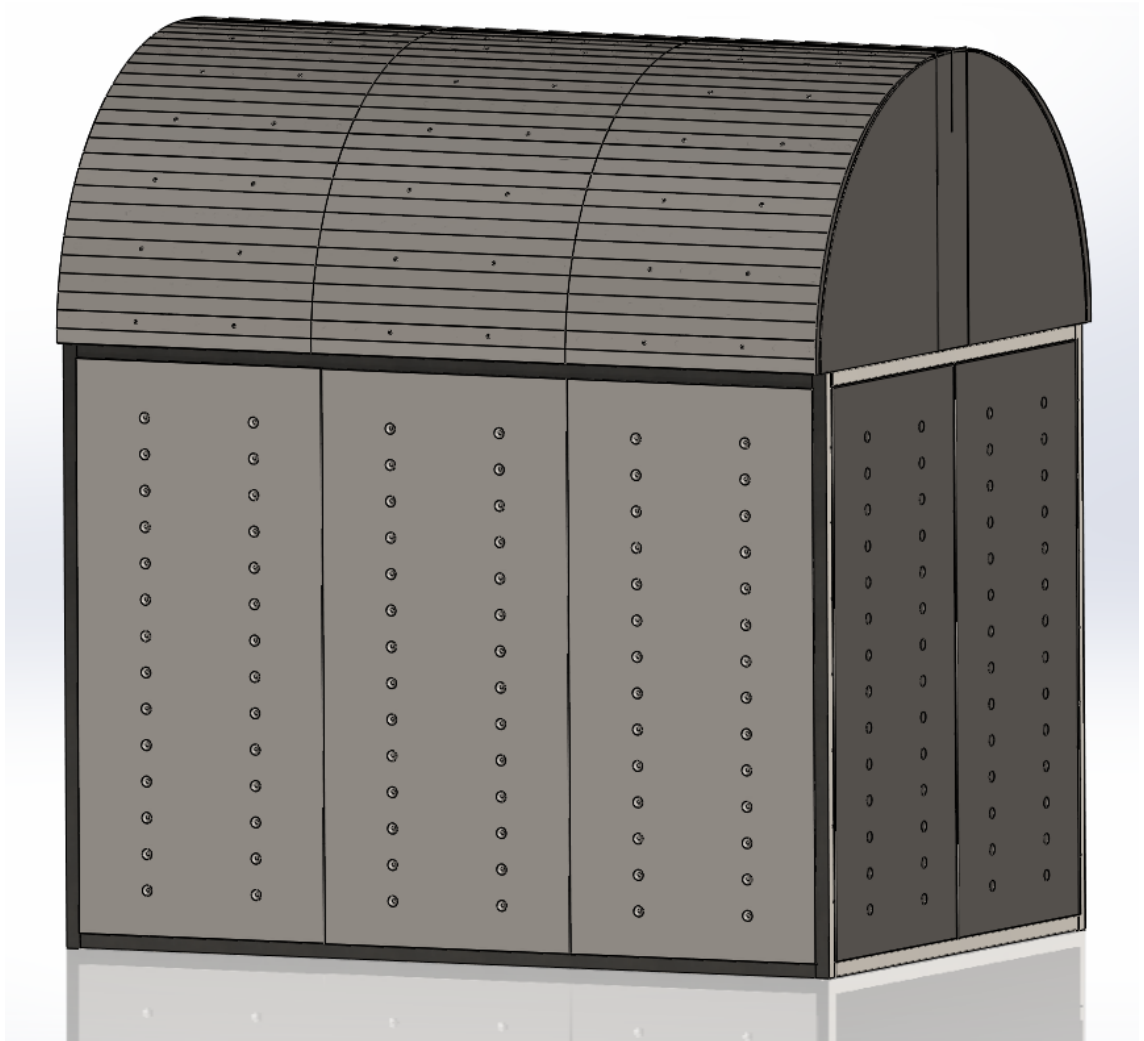
Aiemmin esitetty kalottikenno, jossa levy on täytetty kalottiriveillä, on vain yksi esimerkki mahdollisista ratkaisuista. Kalotteja voidaan asettaa levyille lähes vapaasti, ja pienempikin määrä niitä voi riittää. Pienempi määrä kalotteja tekee kennosta heikomman, sillä se kestää vähemmän kuormaa ja on alttiimpi muodonmuutoksille, joista tyypillisin on lommahdus. Kuvassa 16 on esitetty tyypillinen kalottikennon peltämismekanismi. (Lepistö et al., 2006, s. 760-767.)



Kuva 16. Tyypillinen kalottikennon pettämissmekanismi (Lepistö et al., 2006, s. 767).

Kalottikenoille tehdyissä lujuuskokeissa ja FE-analyseissa on havaittu, että kuormankantokyvyn menetys ei riipu siitä, että ovatko peräkkäiset kalotit toisiinsa nähden limittäin vai ei, joten kalotit voidaan asettaa levyille myös suoriksi jonoiksi. Vaurio tapahtuu joka tapauksessa niin, että yksi rivi kalotteja ikään kuin nurjahtaa sivulle. (Lepistö, 2003, s. 21.)

Vähentämällä kalottien määrää saadaan kuitenkin pienennettyä valmistusaikaa ja sitä kautta valmistuskustannuksia, joten se voi olla joissain tapauksissa hyödyllistä. Kuvassa 17 on sama kontti kuin aikaisemmin, mutta kalottikenoissa on vain kaksi riviä kalotteja.



Kuva 17. Sama kontti pienemmällä määrällä kalotteja.

7 YHTEENVETO

Kalottikennolevyillä voidaan saavuttaa levyrakenteissa huomattavia materiaalisäästöjä kuitenkin nostamatta kustannuksia kohtuuttomasti, sillä kalottikennot mahdollistavat räätälöidyn piensarjatuotannon. Symmetrisesti asteltuna kaloteilla saadaan tasaisesti joka suuntaan jäykkä rakenne. Levyjen välistä tyhjää tilaa voi myös hyödyntää esimerkiksi lämmöneristyksessä ja äänenvaimennuksessa.

Käyttämällä kalottikennolevyjä kantavissa rakenteissa voidaan vähentää rungon merkitystä, sillä kennot itsessään muodostavat jäykän ja kantavan rakenteen. Kalottikennolevyjen etuna on myös, että rakenne voidaan kuljettaa elementteinä ja koota vasta paikan päällä. Tällä tavalla voidaan saada merkittäviä säästöjä kuljetus- ja varastointikustannuksissa.

Mekaanisia liitoksia hyödyntämällä saadaan tehtyä kontista helposti kasattava ja purettava, jolloin se sopii myös kehittyviin maihin ja vaikeampiin olosuhteisiin. Helpon kokoonpanon ansiosta voidaan kontista tehdä modulaarinen, jolloin käyttäjä voi helposti tehdä kontista paremmin omiin tarkoituksiinsa sopivan muuttamatta rakenteita. Kun osat samanlaisia ja symmetrisiä, kokoonpanossa ei ole väliä, mikä elementti tulee mihinkin kohtaan, mikä nopeuttaa ja helpottaa kontin kasaamista. Osat ovat riittävän kevyitä, jotta kontti voitaisiin kasata ja purkaa pelkästään käsin.

Kalottikennolevyistä on mahdollista valmistaa myös kaarevia kattoja. Kaarevalla katolla saadaan aikaan luja rakenne, joka kestää hyvin sääolosuhteita eikä siihen kerry vettä tai lunta. Taivuttamalla katto muotoonsa käsin kokoonpanovaiheessa vältetään ylimääräiset työvaiheet, joita katon muodon tekeminen koneellisesti vaatisi. Samalla voidaan vielä tehdä käsivaraista säätöä, jos esimerkiksi reikien osumisessa kohdilleen tulee ongelmia.

Liittämällä katto konttiin pitkillä suorakaiteen muotoilla aukoilla tarkkaan paikoitettujen reikien sijaan voidaan kattoa tarvittaessa säätää, mikä on välttämätön ominaisuus, jotta kontille voitaisiin jatkaa rajattomasti lisää pituutta. Myöskään korkeussuunnassa jatkamiselle ei ole esteitä, joten useita kontteja liittämällä voidaan tehdä suuriakin

rakenteita tarvittaessa, vaikka konttia ei sellaiseen ole alun perin tarkoitettu. Kontista on myös mahdollista tehdä täysin tiivis, joten se sopii esimerkiksi sähköjakelun suojaamiseen.

Haittapuolena kalottikenttien käyttämisessä on kalottien suuri määrä. Käytännössä valmistaessa tulee siis käyttää levytyökeskusta, jotta valmistaminen olisi kannattavaa. Lisäksi kalottikenttien lujussimuloinnit ovat haastavia eikä niillä saada kovin tarkkoja tuloksia kalottien muovauksen yhteydessä syntyvien jännitysten takia. Kalotin pää leikkautuu herkästi liian suurilla korkeuksilla, joten materiaaliokohtaiset maksimikorkeudet joudutaan usein määrittämään kokeellisesti.

LÄHTEET

Aaltonen, K & Andersson, P & Kauppinen, V. 1997. Levytyö- ja työvälinetekniikat. Porvoo. Werner Söderström Osakeyhtiö. 264 s.

Blom, S. & Lahtinen, P. & Nuutio, E. & Pekkola, K. & Pyy, S. & Rautiainen, H. & Sampo, A. & Seppänen, P. & Suosara, E. 2001. Koneenelimet ja mekanismit. Helsinki. Edita. 328 s.

Colly Company. 2009. Gesipa-vetoniitit ja niittimutterit. [Viitattu 6.1.2014]. Saatavissa: http://www.colly.fi/files/colly/pdf/kiinnitys/Gesipa_niitit%20_ja_niittimutterit.pdf

Erixon, G. 1998. Modular Function Deployment – A Method for Product Modularisation. Stockholm. KTH Högskoletryckeriet. 178 s.

Ihalainen, E. & Aaltonen, K. & Aromäki, M. & Sihvonen, P. 2000. Valmistustekniikka. Helsinki. Otatieto Oy. 490 s.

Juutilainen, T. 2012. Kennotekniikan sovellukset - kalottikenno. Ohutlevy, Nro. 2, s. 28-30.

Kauppinen, V. 1989. Konepajojen nykyaikaiset koneet ja konejärjestelmät. Helsinki. Kyyrinki Oy. 133 s.

Kennotech. 2014. Laserhitsaus on hyvä kennon valmistustapa. [Viitattu 29.1.2014]. Saatavissa: <http://www.kennotech.fi/index.php?k=10023>

Lepistö, J. 2003. Kalottilevyn puristuskestävyys. Lappeenranta. LTY digipaino. 24 s.

Lepistö, J & Varis, J & Lohtander, M. 2006. The behaviour of a modern cell structure subjected to compressive load. Thin Walled Structures, Issue 44, p. 759-772.

Lohtander, M & Varis, J & Karppi. 2002. Kalottikennolevyjen valmistuksen kehittäminen automaattisen työstön tarpeisiin. Ohutlevy, Nro. 1, s. 54-56.

Lohtander, M & Varis, J & Karppi, R & Siren, M & Kosonen, T & Larkiola, J. 2003. Kalottikennorakenne – etuna joustava piensarjavalmistus. Ohutlevy, Nro. 1, s. 18-21.

Matilainen, J. & Parviainen, M. & Havas, T. & Hiitelä, E. & Hultin, S. 2011. Ohutlevytuotteiden suunnittelijan käsikirja. Tampere. Teknologiainfo Teknova Oy. 377 s.

Pistora. 2004. Naulauslevyt. [Viitattu 7.1.2014]. Saatavissa: http://www.pistora.com/timber_fixings/naulauslevyt.pdf

Ruukki. 2013a. Rakenneputket HS S355J2H ja S235JRH (neliö). [Viitattu 29.10.2013]. Saatavissa: [http://www.ruukki.fi/Tuotteet-ja-ratkaisut/Rakentamisen-ratkaisut/Terasrunkorakenteet/Rakenneputket-teraserunkorakenteisiin/Rakenneputket-HS-S355J2H-ja-S235JRH-\(nelio\)](http://www.ruukki.fi/Tuotteet-ja-ratkaisut/Rakentamisen-ratkaisut/Terasrunkorakenteet/Rakenneputket-teraserunkorakenteisiin/Rakenneputket-HS-S355J2H-ja-S235JRH-(nelio))

Ruukki. 2013b. Rakenneputkien poikkileikkausarvot. [Viitattu 29.10.2013]. Saatavissa: <http://www.ruukki.fi/~media/Finland/Files/Terastuotteet/Putket%20ja%20profiilit%20data%20sheets/Ruukki-Rakenneputkien-poikkileikkausarvot.ashx>

Suomen rakennusinsinöörien liitto. 1999. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Helsinki. Tummavuoren kirjapaino Oy DARK. 101 s.

Terästarvike Oy. 2010. Teräsluettelo 2010. [Viitattu 29.10.2013]. Saatavissa: <http://www.terastarvike.fi/public/files/Terastarvike-Terasluettelo-032010.pdf>

Työsuojeluhallinto. 2005. Käsien tehtävän nostotyön tarkastuslista. [Viitattu 9.1.2014]. <http://www.tyosuojelu.fi/upload/51w64t20.pdf>

Valtanen, E. 2013. Tekniikan taulukkokirja. Mikkeli. Genesis-Kirjat Oy. 1194 s.

Würth Elektronik. 2006. Ruuviliitoksen suunnittelu. Viimeksi päivitetty 5.9.2008. [viitattu 19.11.2013]. Saatavissa: <http://www.wurthelektronik.fi/site/media/pdf/we/kuvasto/suunnitteluopas06.pdf>

Würth Elektronik. 2009. Ohutlevykiinnikkeet. Viimeksi päivitetty 11.5.2009. [viitattu 19.11.2013]. Saatavissa: http://www.wurthelektronik.fi/site/media/pdf/we/kuvasto/Puristetutuoteluettelo_ohutlevyille.pdf

VALMISTUSOHJEET

Tässä liitteessä on mainittu valmistukseen liittyviä ohjeita ja huomioitavia asioita. Valmistuspiirustukset löytyvät liitteistä II, III, IV, V, VI, VII ja VIII.

Kontin kalottikennot

Kalottilevyä särmättäessä on huomioitava, että kalotit ovat muovattu samaan suuntaan särmien kanssa. Kennon levy on symmetrinen, joten se voidaan särmätä kummin päin tahansa. Kalottilevyjä ja levyjä valmistetaan konttiin kumpaakin yhteensä 8 kpl.

Katon kalottikennot

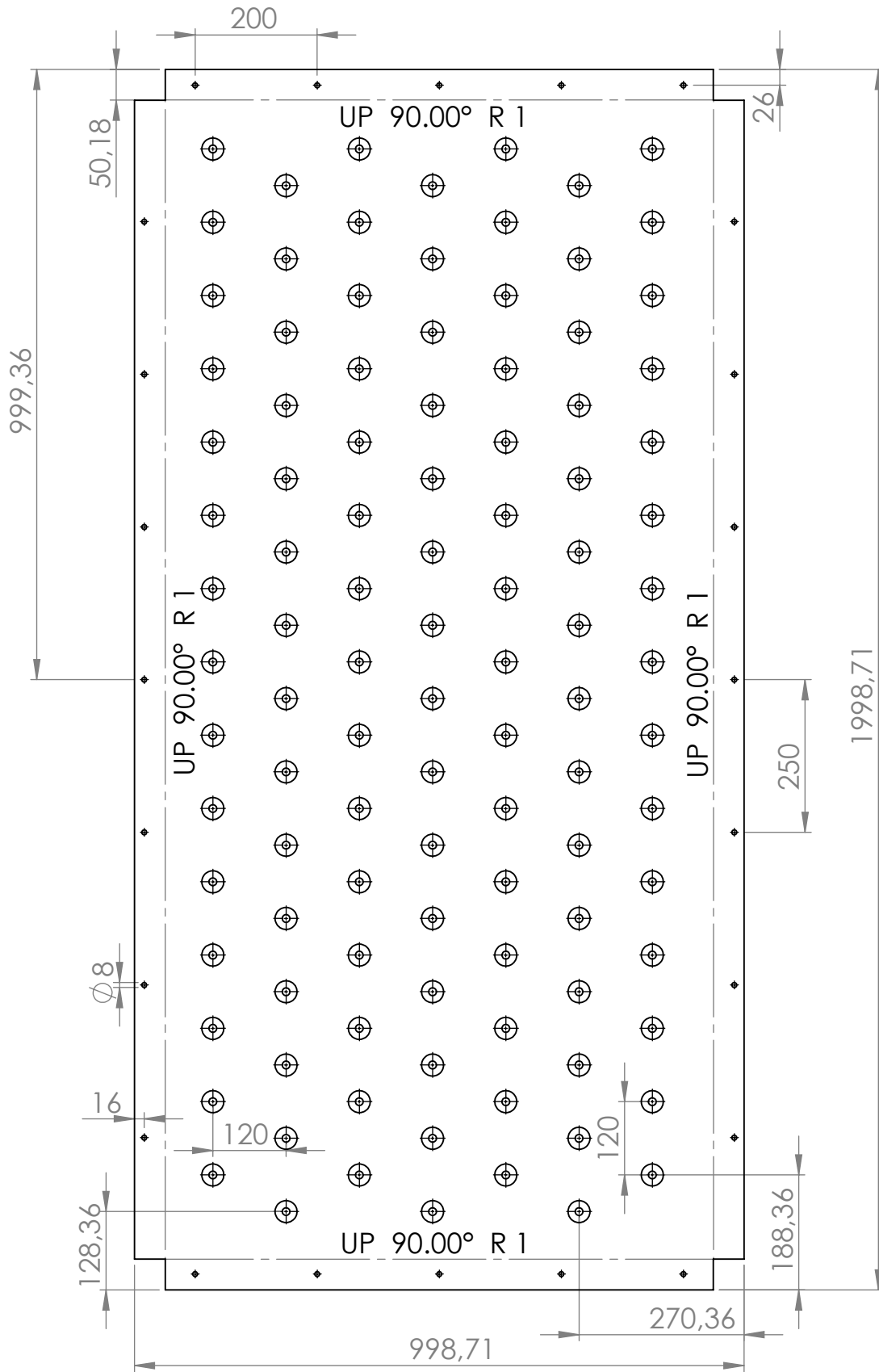
Kalottilevy täytyy särmätä niin, että kalotit tulevat särmää vastakkaiseen suuntaan, jotta kalotit olisivat ulospäin konttiin nähden. Kalotit ja niitä vastaavat reiät toisessa levyssä eivät ole symmetrisesti, joten piirustuksiin merkittyjä taivutussuuntia tulee noudattaa. Kalotit ovat toisesta reunasta 50 mm ja toisesta 43,3 mm, joten väärin särmätty levy on samannäköinen, mutta reiät eivät osu kohdilleen. Kaarevan muodon takia reikärivien etäisyys poikkeaa levyssä hieman toisistaan. Kalottilevyjä ja levyjä valmistetaan kumpaakin yhteensä 6 kpl. Kalottien korkeus on kaikissa kalottilevyissä 8 mm.

Katon päädyn levyt

Päädyn kaarevat osat valmistetaan samanlaisesta levitetystä aihioista. Piirustuksessa on sisältä katsoen oikean puolen levy. Särmäämällä taitokset vastakkaiseen suuntaan saadaan vasemman puolen levy. Kumpaakin valmistetaan 1 kpl. Päädyn keskipala on symmetrinen, joten se voidaan särmätä kumpaan suuntaan tahansa. Keskipaloja valmistetaan 1 kpl. Päädyn kaikki kolme osaa saadaan tehtyä kahdesta aihioista.

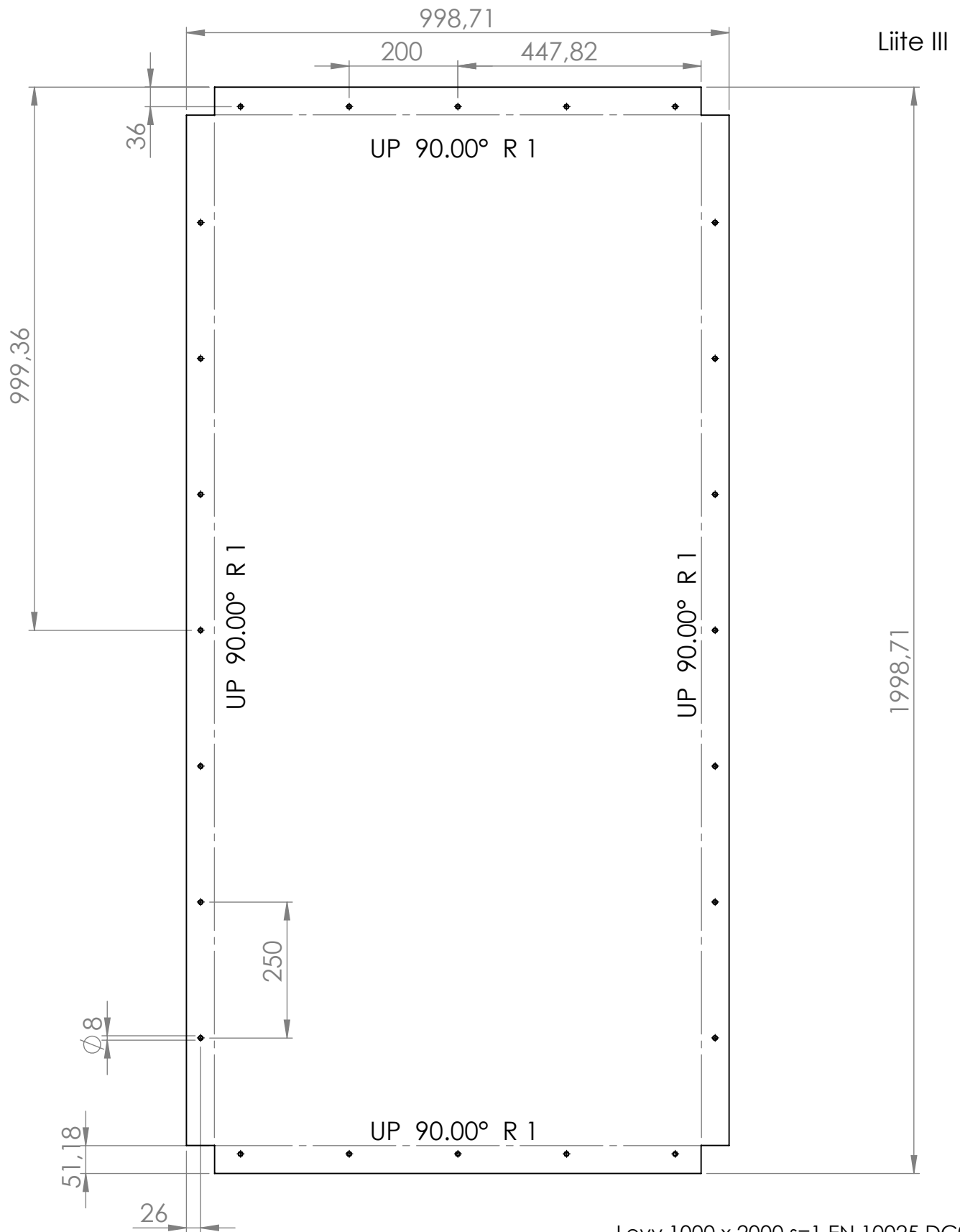
Tukiranka

Pitkän sivun putki ja poikittaisputki ovat symmetrisiä, joten reiät voidaan mitoittaa kummasta päästä tahansa. Reiät ovat läpireikiä. Pystyputkessa on reikiä kolmella sivulla. Piirustuksessa ylemmän projektion reiät eivät mene koko putken läpi, mutta alemman projektion reiät menevät. Poikittaisia putkia valmistetaan 6 kpl, pystyputkia 4 kpl ja pitkän sivun putkia 4 kpl. Pohjan alle tulevat 2 poikittaisputkea voidaan asetella vapaasti. Ensisijaisesti ne kannattaa kiinnittää kalottikennojen liitosten kohdalle.



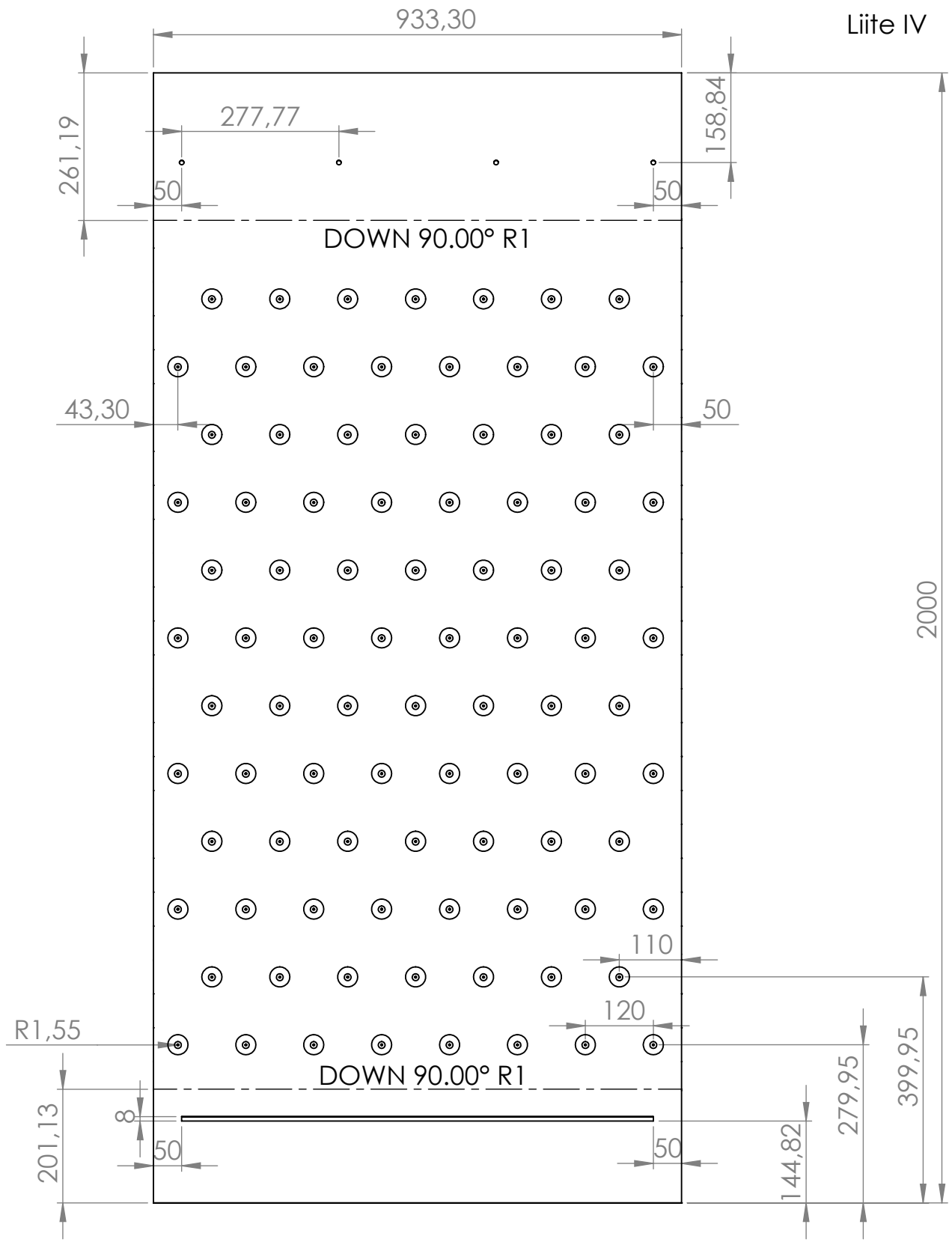
Levy 1000 x 2000 s=1 EN 10025 DC01

YLEISTOLERANSSIT: ISO 2768 ISO 5803 ISO 9013		FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
						LUT			
NAME		SIGNATURE		DATE		TITLE:			
DRAWN Jussi Marttinen						Kennon kalottilevy			
CHK'D									
APPV'D									
MFG									
Q.A				MATERIAL:		DWG NO.		KONTTI-1	
								A4	
				WEIGHT: 15,8 kg		SCALE:1:10		SHEET 1 OF 1	



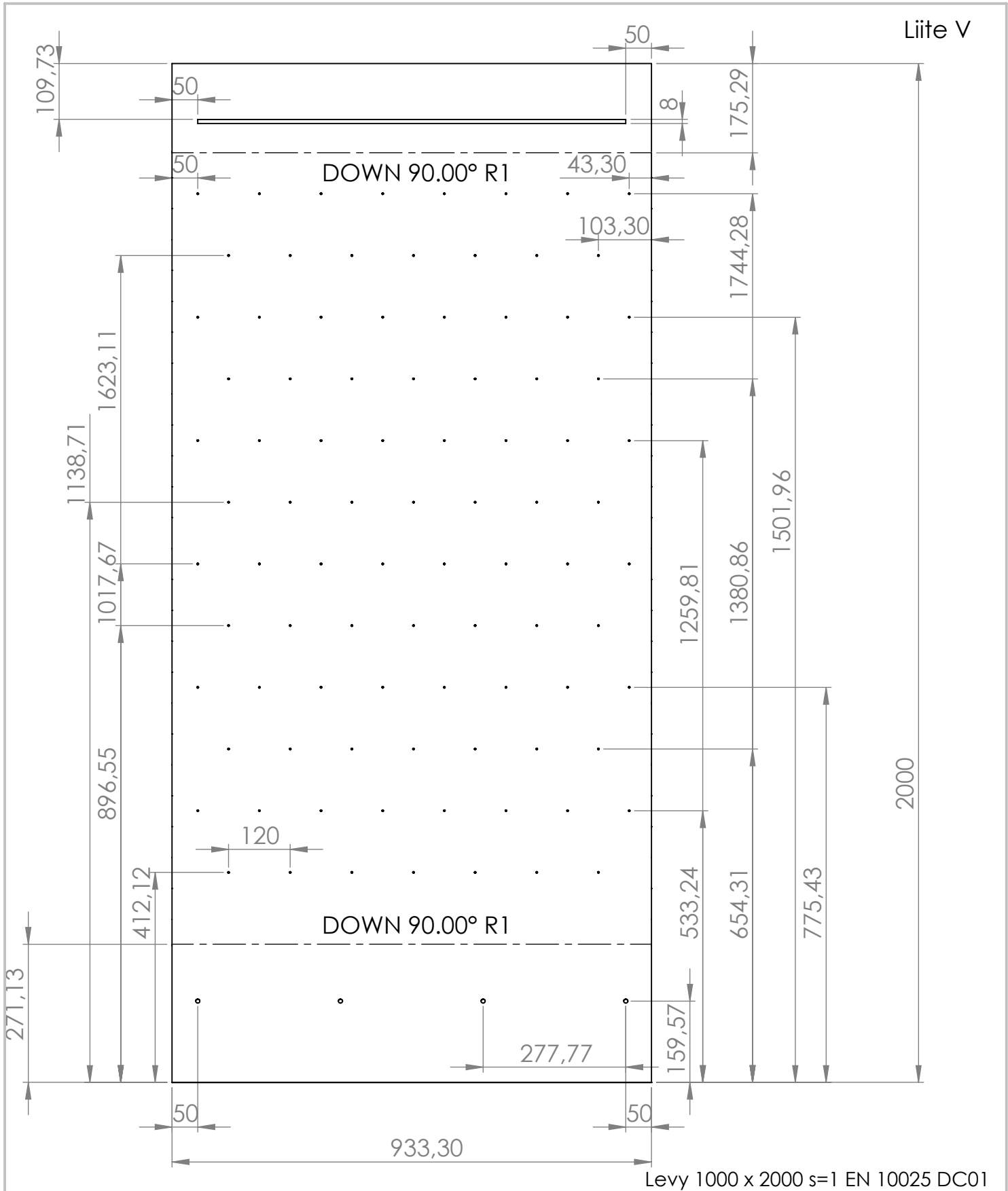
Levy 1000 x 2000 s=1 EN 10025 DC01

YLEISTOLERANSSIT: ISO 2768 ISO 5803 ISO 9013		FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
						LUT			
NAME		SIGNATURE		DATE		TITLE:			
DRAWN Jussi Marttinen						Kennon levy			
CHK'D									
APPV'D									
MFG									
Q.A									
MATERIAL:						DWG NO.		KONTTI-2	
WEIGHT: 15,6 kg						SCALE 1:10		A4 SHEET 1 OF 1	



Levy 1000 x 2000 s=1 EN 10025 DC01

YLEISTOLERANSSIT: ISO 2768 ISO 5803 ISO 9013		FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
						LUT			
NAME DRAWN Jussi Marttinen		SIGNATURE		DATE		TITLE: <h2 style="text-align: center;">Katon kalottilevy</h2>			
CHK'D		APPV'D		MFG		DWG NO.		<h2 style="text-align: center;">KATTO-1</h2>	
Q.A.		MATERIAL:		WEIGHT: 14,8 kg		SCALE: 1:20		A4 SHEET 1 OF 1	



Levy 1000 x 2000 s=1 EN 10025 DC01

YLEISTOLERANSSIT:
ISO 2768
ISO 5803
ISO 9013

FINISH:

DEBUR AND
BREAK SHARP
EDGES

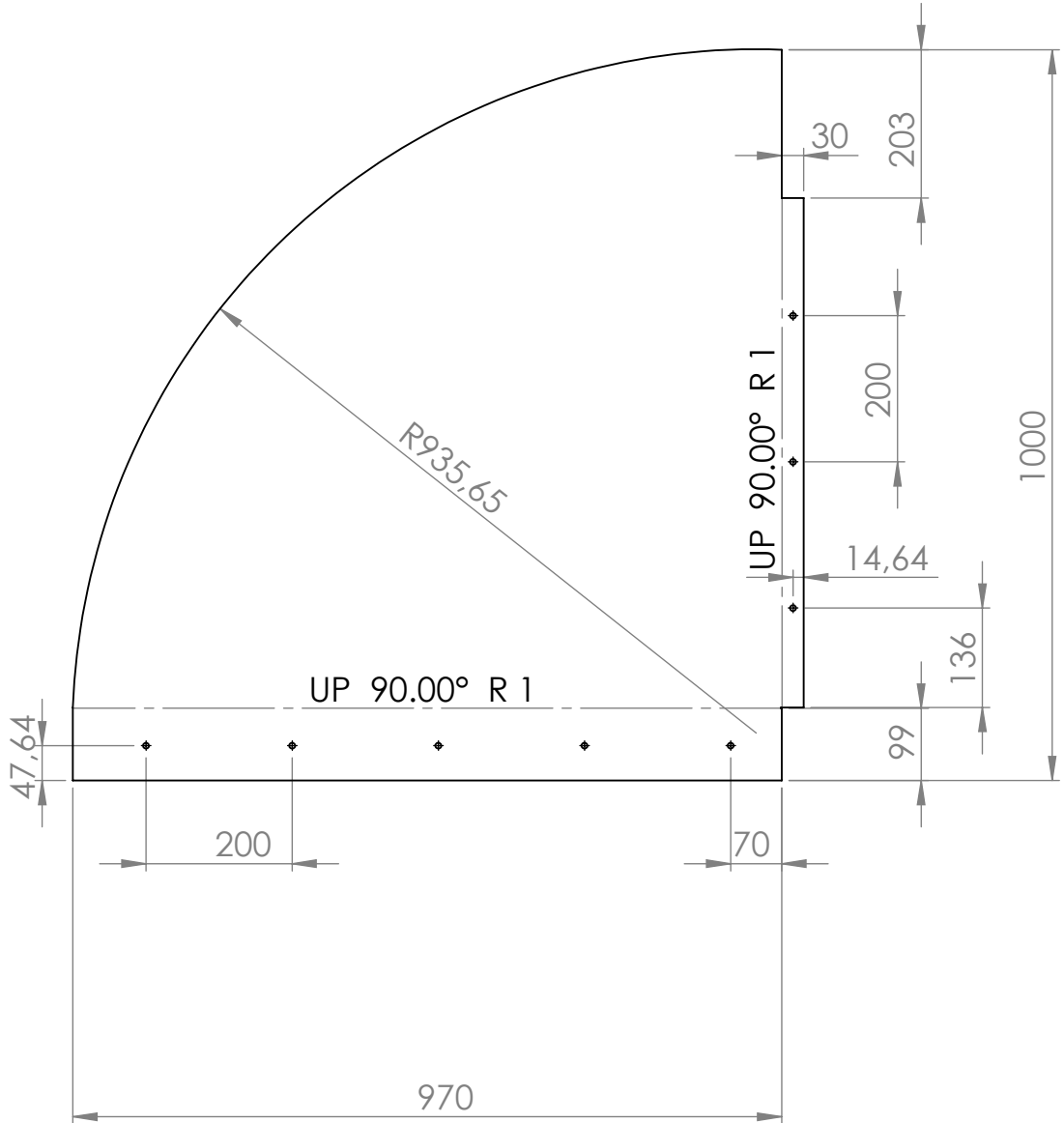
DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

LUT

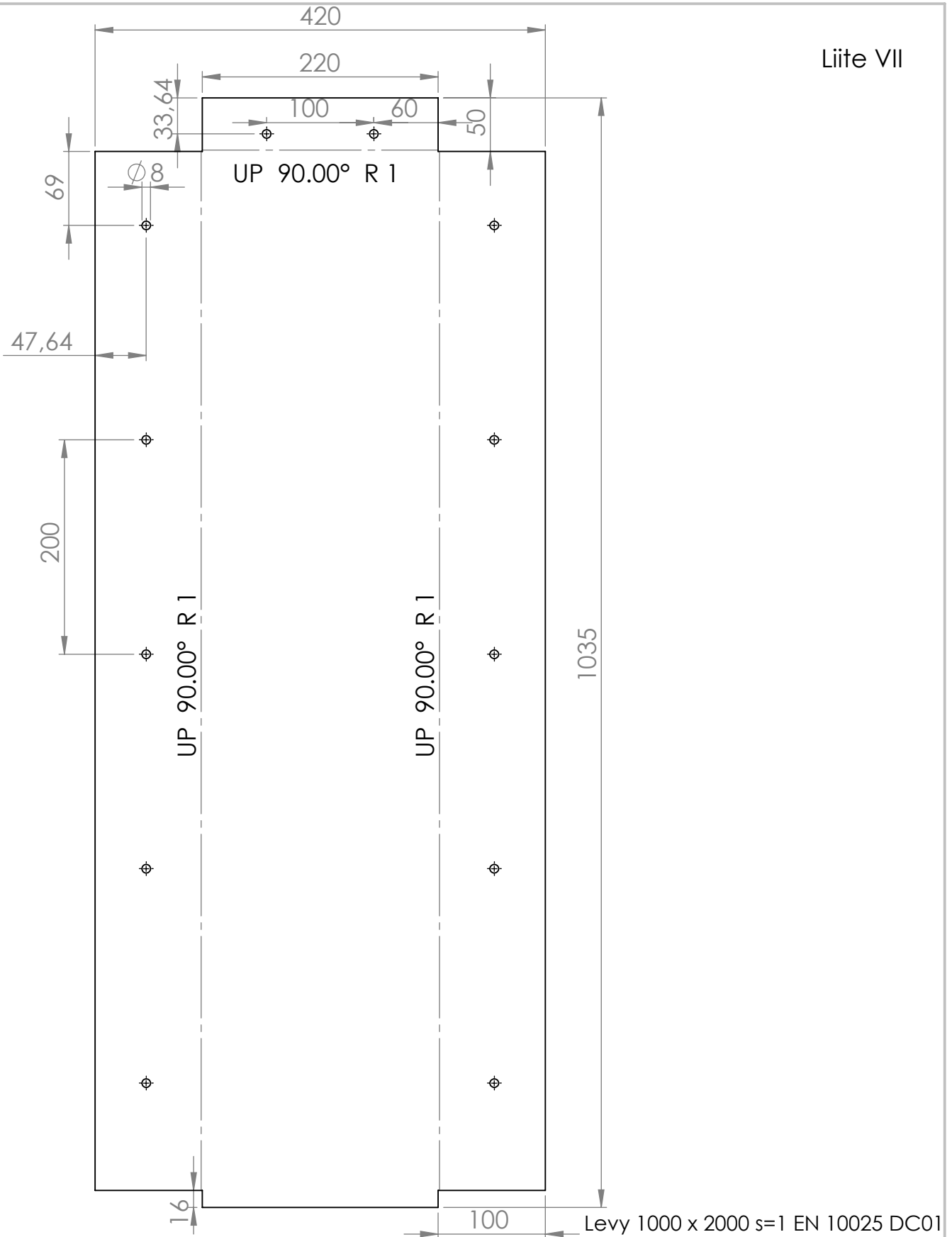
NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN Jussi Marttinen		
CHK'D		
APPV'D		
MFG		
Q.A		
MATERIAL:		
WEIGHT:14,6kg		

TITLE:	Katon levy
DWG NO.	KATTO-2
SCALE:1:10	SHEET 1 OF 1
	A4



Levy 1000 x 2000 s=1 EN 10025 DC01

YLEISTOLERANSSIT: ISO 2768 ISO 5803 ISO 9013		FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
						LUT			
NAME Jussi Marttinen		SIGNATURE		DATE		TITLE: Päädyn kaarevat osat			
DRAWN		APPV'D		MFG		DWG NO.		KATTO-3	
Q.A.		MATERIAL:		WEIGHT: 6.3kg		SCALE: 1:10		SHEET 1 OF 1	
						A4			



YLEISTOLERANSSIT:
 ISO 2768
 ISO 5803
 ISO 9013

FINISH:

DEBUR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

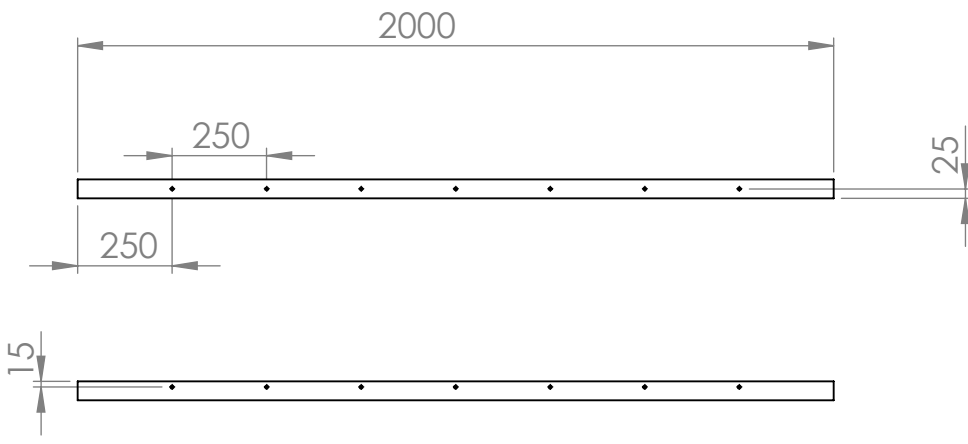
DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

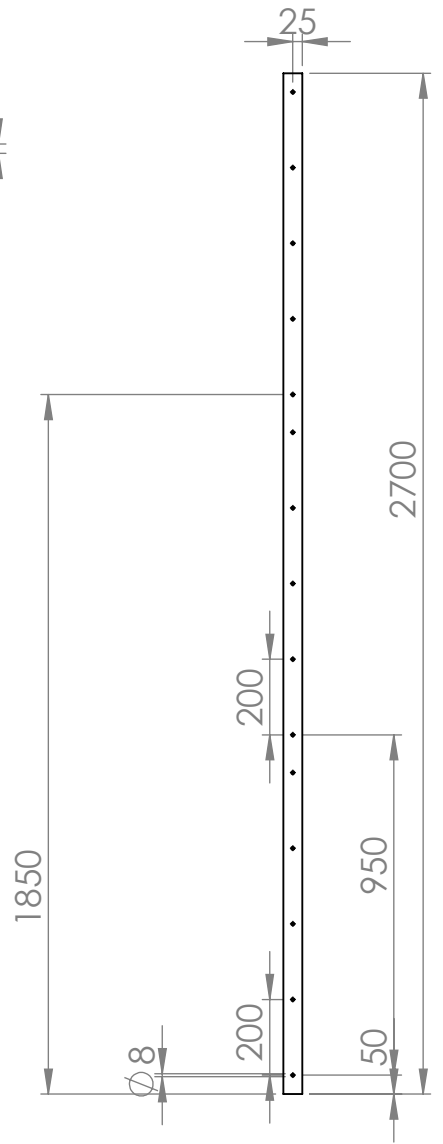
LUT

	NAME	SIGNATURE	DATE	
DRAWN	Jussi Marttinen			
CHK'D				
APPV'D				
MFG				
Q.A				

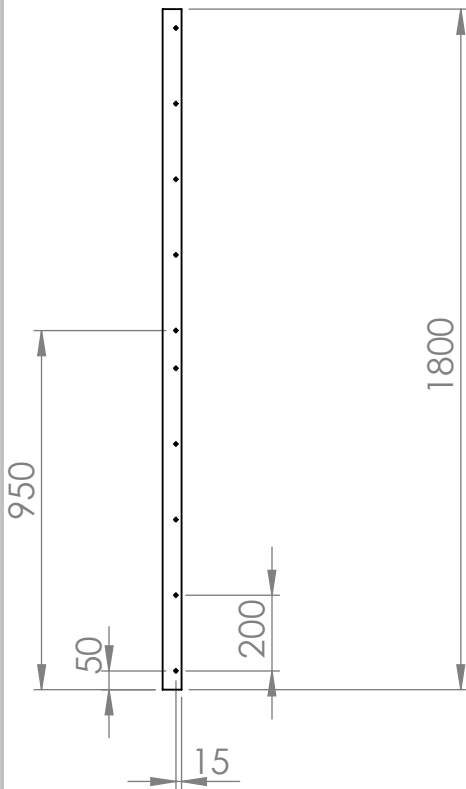
TITLE:	Päädyn keskipala	
DWG NO.	KATTO-4	A4
WEIGHT:3,3kg	SCALE:1:5	SHEET 1 OF 1



Pystyputki



Pitkän sivun putki



Poikittaisputki

YLEISTOLERANSSIT:
ISO 2768

FINISH:

DEBUR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

LUT

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN	Jussi Marttinen				
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A				MATERIAL:	
				WEIGHT:	

TITLE:		Tukirangan osat	
DWG NO.	RANKA-1		A4
SCALE:1:20	SHEET 1 OF 1		