

Opinnäytetyö (AMK)

Rakennustekniikka

Talonrakennustekniikka

2013

Timo Vehmanen

KOLMINIVELKEHÄISEN LIIMAPUURUNGO SUUNNITTELU



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikan koulutusohjelma | Talonrakennustekniikka

2013 | 24+51

Ohjaaja Vesa Virtanen

Timo Vehmanen

KOLMINIVELKEHÄISEN LIIMAPUURUNGON SUUNNITTELU

Tämän opinnäytetyön aiheena on lypsykarjapihatton liimapuurungon suunnittelu. Runko koostuu kolminivelkehistä, räystäspilareista ja -palkeista sekä ruokintakatoksen puuosista. Työ tehtiin Late-Rakenteet Oy:lle, ja työn lähtökohtana olivat pääsuunnittelijalta saadut pääpiirustukset. Runko mitoitettiin Eurokoodi 5:n mukaan. Mitoitetuista liimapuista tehtiin työmaalle työkuvat sekä tehtaalle valmistuskuvat.

Pihatolla tarkoitetaan lypsykarjarakennusta, jossa nautaeläimet voivat liikkua vapaasti makuulle, syömään ja lypsylle. Pihatot ovat isoja rakennuksia, sillä vapaan liikkumisen lisäksi tarvitaan tilaa lypsyasemalle sekä erilaisille aputiloille.

Maataloustuotannon kannattavuuden takia tilakokoja on jouduttu suurentamaan radikaalisti. Uudet tuotantorakennukset ovat niin suuria, että maatalousrakentamista voidaan verrata teollisuushallirakentamiseen. Oman sahatavaran tilalle rakennusmateriaaliksi on tullut teollisesti valmistettuja ja nopeasti pystytettäviä puurunkoratkaisuja.

Kolminivelkehän etuja ovat yksinkertainen mitoitus ja perustukset. Kolminivelkehien käyttö mahdollistaa suuret, 30×40 metrin jännevälit. Kolminivelkehä on omassa tasossaan stabiili vaakavoimia vastaan sekä staattisesti määrätty. Siksi momenttien jakautumiseen eivät vaikuta alustan epätasainen painuminen tai jatkosten ja liitosten ennakoimattomat muodonmuutokset.

ASIASANAT:

Liimapuu, kolminivelkehä, pihatto

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Civil Engineering | Structural Engineering

2013 | 24+51

Vesa Virtanen, Principal Lecturer

Timo Vehmanen

DESIGNING A THREE-PIN PORTAL GLULAM FRAME

The objective of this thesis project was to design a glulam frame for farmer's cowshed. The frame consists of a three-pin portal, eaves beams and columns and also the woodwork of the feeding shed. The project was commissioned by Late-Rakenteet Oy. The layouts were made based on the layouts of the principal designer. The frame was designed in compliance with Eurocode 5. Layouts for the factory and the working drawings for the site were produced based on the calculations.

The cowshed is a place where the neat can more freely to eat, to be milked or to go and lie down. The need of space for free movement, for the milking machine and for different kind of auxiliary facilities results in cowsheds being of considerable size.

For reasons of profitability the size of farms has increased radically. Modern production facilities are so large that construction work can be compared to the production of industrial buildings. Prefabricates timber elements have replaced sawn timber as building material.

The benefits of a three-pin portal frame are simple design and foundation construction. Using a three-pin portal frame makes long 30-40 meter spans possible. A three-pin portal frame is stable against horizontal forces and it is also statically determined. Therefore, uneven base subsidence or unexpected deformations of joints do not affect the distribution of moments.

KEYWORDS:

glulam, three-pin portal, cowshed

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	6
2 LYPSYKARJAPIHATTO	7
3 KOLMINIVELKEHÄ	9
4 LIIMAPUURUNGON SUUNNITTELU	10
5 RAKENNESSUUNNITTELU	12
5.1 Kuormat	12
5.1.1 Pysyvä kuorma	12
5.1.2 Muuttuva kuorma	12
5.1.2.1 Tuulikuorma	12
5.1.2.2 Lumikuorma	13
5.2 Materiaalilujuudet	14
5.2.1 Liimapuu	14
5.2.2 Teräs	15
5.3 Liimapuurungon mitoitus	16
5.3.1 Kolminivelkehä	16
5.3.2 Rästäspalkki	16
5.3.3 Rästäspilari	17
5.3.4 Ruuviliitos	17
5.4 Teräsosat	18
5.4.1 Harjaristi	18
5.4.2 Kantanivelhela	18
5.5 Rungon jäykistys	19
6 LIIMAPUIDEN VALMISTUS	20
7 YHTEENVETO	23

LÄHTEET**234****LIITTEET**

Liite 1. Pohja- ja leikkauskuva

Liite 2. Tuuli pitkälle sivulle

Liite 3. Kolminivelkehien mitoitus

Liite 4. Rästäspilarin mitoitus

Liite 5. Rästäspalkin mitoitus

Liite 6. Teräsosien mitoitus ja konepajakuvat

Liite 7. Leikkauskuvat ja asennusdetaljit

Liite 8. Kehien valmistuskuvat

KUVAT

Kuva 1. Sisäkuva pihatosta.

8

Kuva 2. Ruokintatapa.

11

Kuva 3. Maanpinnan lumikuorman ominaisarvot s_k .

13

Kuva 4. Lamellien lujuusluokat GL30c –liimapuussa.

19

Kuva 5. Liimapuun valmistus.

20

TAULUKOTTaulukko 1. GL30c-liimapuun ominais- ja mitoitusarvot. Yksikkö N/mm².

15

Taulukko 2. Vetoruuviliitoksen mitoituskestävyyksiä yhtä ruuvia kohden liitospuiden ollessa vähintään GL28c-liimapuuta.

17

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena on liimapuurungon suunnittelu lypsykarjapihattoon. Kohteen tilasi Late-Rakenteet Oy:ltä Kalle Nikula, ja sen sijoituspaikka on Tarvasjoella. Kohteen pääsuunnittelijana toimii Arkkitehtitoimisto Jouni Pitkäranta Oy, jonka pääpiirustusten pohjalta liimapuurunko on suunniteltu. Pihattoon on tarkoitus tulla tilat 78 lypsävälle lehmälle sekä muita toiminnallisia tiloja kuten poikima- ja sairaskarsina sekä työntekijöiden sosiaalilat.

Pihatton liimapuurunko toteutetaan kolminivelkehillä. Rakennus on suorakaiteen muotoinen ja päämitat ovat 23,5 x 48,8 metriä. Kolminivelkehien kehäjako on 3,6 metriä ja katon kaltevuus 1:3. Kehien lisäksi runko sisältää päätypilarit, räystäspalkit ja -pilarit sekä ruokintakatoksen liimapuut.

Pihatton rungon mitoituksessa on käytetty Eurokoodi 5 -suunnittelustandardia sekä sen Suomen kansallisia liitteitä. Kuormina on käytetty Suomen rakennusinsinöörien Liitto RIL Oy:n normeissa annettuja lumi- ja tuulikuormia.

Kolminivelkehät on mitoitettu Late-Rakenteet Oy:n omalla mitoitushjelmalla. Räystäspalkit on mitoitettu Finnwood 2.3 SR1 -ohjelman avulla. Räystäspilari, teräsosat sekä tuuli- ja lumikuormat ovat laskettu käsin. Kuvat on piirretty AutoCAD 2008 It:n kanssa.

2 LYPYKARJAPIHATTO

Pihatolla tarkoitetaan lypsykarjarakennusta, jossa nautaeläimet voivat liikkua vapaasti makuulle, syömään ja lypsylle. Pihattojen mitat kasvavat helposti hyvin suureksi, sillä vapaan liikkumisen lisäksi tarvitaan tilaa lypsyasemalle sekä erilaisille aputiloille. (Maa- ja metsätalousministeriön asetus tuettavaa rakentamista koskevista lypsykarjarakennusten rakennusteknisistä ja toiminnallisista vaatimuksista 164/2012).

Pihatot ovat syrjäyttäneet vanhemman malliset parsinavetat, kun tilojen koko on kasvanut. Pihatoissa eläinten vaatima hoito on parsinavettaa pienempää. Lehmän kannalta pihatto on myös parempi ratkaisu, koska lehmä pystyy siellä toteuttamaan lajinmukaista käyttäytymistään sekä kehonhoitoaan. Laumaeläimenä lehmän on tärkeä päästä liikkumaan lauman mukana ja osallistua sen toimintaan. Toimivassa pihatossa tällainen käyttäytyminen on mahdollista. Seurauksena lajinmukaisesta käyttäytymisestä lehmä on stressittömämpi ja maidon tuotanto paranee. (Aho 2002.)

Maataloustuotannon kannattavuuden sekä EU:n säädösten takia tilakokoja on jouduttu suurentamaan radikaalisti. Uudet tuotantorakennukset ovat niin suuria, että maatalousrakentamista voidaan verrata teollisuushallirakentamiseen. Tämän kokoluokan rakennusten runkoja ei enää voida toteuttaa omasta sahatavaraista. Puu on perinteinen ja hyvät ominaisuudet omaava rakennusmateriaali, jota on käytetty maaseudun rakentamisessa aina, eikä siitä olla luopumassa. Oman sahatavaran tilalle rakennusmateriaaliksi on tullut teollisesti valmistettuja ja nopeasti pystytettäviä puurunkoratkaisuja. Valmiiden elementtien käytön yleistyessä omatoimirakentaminen on vähentynyt. (Lahtela 2004.)

Kolminivelkehäisen rungon käyttö pihatossa on todettu hyväksi ratkaisuksi. Kehien käyttö mahdollistaa suuret jännevälit sekä avoimen sisätilan (ks Kuva 1. s.8). Pihatton tilankäytön pystyy suunnittelemaan paljon tehokkaammaksi, kun ei tarvitse asentaa välipilareita. Kehien käyttö mahdollistaa elementtien käytön seinissä ja katossa, mikä nopeuttaa rakentamisvaihetta huomattavasti.



Kuva 1. Sisäkuva pihatosta (Puuinfo 2012).

Pihattojen suunnittelussa noudatetaan Suomen rakentamismääräskokoelman määräyksiä ja ohjeita, eläinsuojelulakia ja sen nojalla annettuja eläinsuojelusäädöksiä sekä ympäristöhallinnon ympäristösuojeluvaatimuksia. Pihattojen paloturvallisuuteen sovelletaan tuettavaa rakentamista koskevista paloteknisistä vaatimuksista annettua maa- ja metsätalousministeriön asetusta (456/2010). (Maa- ja metsätalousministeriön asetus tuettavaa rakentamista koskevista lypsykarjarakennusten rakennusteknisistä ja toiminnallisista vaatimuksista 8/2012).

3 KOLMINIVELKEHÄ

Kolminivelkehän etuna on yksinkertainen mitoitus sekä perustus. Kehänurkka tehdään taivuttamalla sormijatkettut lamellit. Kaarevat kehänurkat ovat suuriin jänneväleihin hyvin soveltuvia muotoja. Kolminivelkehillä päästään, jopa 30□40 metrin jänneväleihin. Harjan ja kehäjalan välinen etäisyys ei saa ylittää 24 metriä, eikä tämän linjan ja kehänurkan ulkoreunan välinen kohtisuora etäisyys saa ylittää 5 metriä. Harjaosan siirtymän takia kattokaltevuus ei saisi alittaa 14 astetta. (Carling 2003, 106).

Kolminivelkehä on omassa tasossaan stabiili vaakavoimia vastaan sekä staattisesti määrätty. Momenttien jakautumiseen eivät vaikuta alustan epätasainen painuminen tai jatkosten ja liitosten ennakoimattomat muodonmuutokset. Tästä syystä rakenne sopii hyvin huonoon maaperään. Lisäksi kolminivelkehä liittyy perustuksiin nivelellisesti, mikä yksinkertaistaa perustusrakennetta. Jos perustusolosuhteet ovat huonot, voidaan vaakavoimat tukien kohdalla ottaa vastaan käyttämällä perustusten välissä vetotankoja lattian tasossa tai sen alla. Näin alarakenteisiin kohdistuu pääasiassa pystykuormia. (Carling 2003, 107).

Kun kattokaltevuus on noin 15 astetta, mitoittava kuorma määräytyy omapainosta ja lumesta sekä mahdollisista pistekuormista, kuten nosturiradoista tms. Korkeaharjaisissa katoissa, kuten kirkoissa ja tietyntyyppisissä varastorakennuksissa, saattavat määrävänä olla tuulivoimia sisältävät kuormayhdistelmät. (Carling 2003, 107).

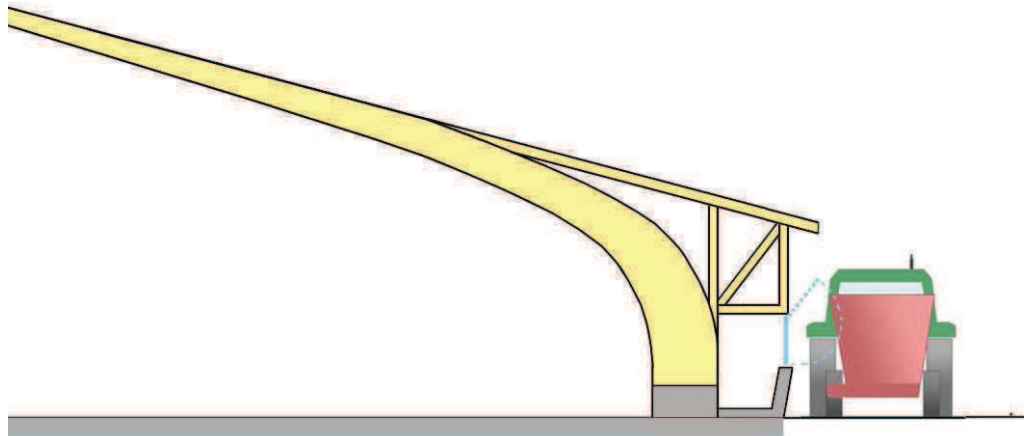
4 LIIMAPUURUNGON SUUNNITTELU

Rakennus on suorakaiteen muotoinen, ja päämitat ovat 23,5 x 48,8 metriä. Rungon ulkomitat ovat 21,4 x 46,9 metriä. Yhteistyössä pääsuunnittelijan kanssa runkoratkaisuksi valittiin kolminivelkehä, koska se mahdollistaa pitkän jännevälän, pilarivapaan sisätilan, yksinkertaiset perustukset sekä valmiiksi vinon sisäkaton ilmanvaihtoa ajatellen.

Liimapuurungon suunnittelun lähtökohtana oli kohteen pääsuunnittelijana toimivan Arkkitehtitoimisto Jouni Pitkäranta Oy:n tekemät pääpiirustukset. Päärakennesuunnittelijana kohteessa toimii Rakeiso Ky:n Erkki Isotalo. Pihaton liimapuurunkoon kuuluvat kolminivelkehät, räystäsnurkkien pilarit ja palkit sekä ruokintakatokkien liimapuuosat. Tilaukseen sisältyi myös teräsosien suunnittelu ja toimitus. Rungon pituussuuntaisen jäykistyksen suunnittelu ei kuulunut tilaukseen, vaan sen hoiti rakennesuunnittelija. Runko täyttää tarvittaessa 30 minuutin palonkestovaatimuksen.

Kehäjaoksi valittiin 3,6 metriä, ja näin kehien määräksi saatiin 14 kappaletta. Kehien mitoituksessa on oletettu, että katon sekundäärirakenne toimii kehien kiepahdustukena. Sekundäärirakenteen mahdollisesta moniaukkoisuudesta johtuvaa kuormien epätasaista jakautumista ei ole mitoituksessa otettu huomioon.

Eläinten ruokinta haluttiin hoidettavan rakennuksen ulkopuolelta koneellisesti (ks kuva 2, 11). Ruokintakaukaloa varten suunniteltiin ruokintakatos, jonka leveydeksi haluttiin 1 050 mm. Ruokintakaukalo ei jatku kokonaisuena pitkällä sivulla. Jos kehän kohdalla ei ole kaukaloa, ei kohdalle tehdä katosta, vaan ainoastaan vinotuki kannattamaan räystäspalkkia. Jokaisesta liitoksesta on tehty erilliset asennusdetaljit, jotka ovat merkitty leikkauskuviin (Liite 7.) Tässä työssä on mitoitettu yksi ruokintakatoksen liitoksista (ks. luku 4.3.5, 18).



Kuva 2. Ruokintatapa (Puuinfo 2012).

Puurakenteiselle rungolle tulee suunnitella turvalliset olosuhteet hometta ja lahoamista vastaan. Pihaton suhteellisen kosteuden tulisi pysyä suurimman osan vuodesta alle 80 % (Lahtela 2004.) Tähän päästään, kun ilmanvaihto on tehokasta. Ilmanvaihto kohteessa toteutetaan painovoimaisesti ja tällöin kattokaltevuu den tulee olla tarpeeksi jyrkkä, jotta ilma pääsee vaihtumaan mahdollisimman tehokkaasti. Kattokaltevuudeksi valittiin 1:3.

Rungon suunnittelussa tulee kiinnittää myös huomiota runkoon kohdistuvaan kosteusrasitukseen. Kolminivelkehien alapää t tulee nostaa lattiasta selvästi irti, jottei puu ole jatkuvasti alttiina kosteudelle. Näin rungon pitkäaikaiskestävyys paranee huomattavasti. Tässä kohteessa kolminivelkehien lähtötaso on 750 mm lattiapinnan yläpuolella. Kehien alapää t käsitellään lisäksi vielä epoksilla. Epoksi toimii kosteussulkuna, joka estää mahdollisen kapillaariveden nousun perustuksista liimapuuhun.

Runko suojataan kosteusrasitusta vastaan lakkaamalla puuosat. Harjaristit kuumasinkitään ja kantanivelhelat maalataan epoksilla korroosiota vastaan. Kaikki kiinnikkeet tulee olla myös korroosiosuojattuja eli kuumasinkittyjä. Rungon suojaamisesta eläimiltä, muuten kuin lakkaamalla, huolehtii rakennesuunnittelija.

5 RAKENNESSUUNNITTELU

Rakennelmia kuormittavat pääsääntöisesti tuuli, lumi sekä rakenteen omapaino. Rakennesuunnittelijan tehtävänä on suunnitella rakenteet siten, että ne pystyvät taloudellisesti mahdollisimman hyvin vastaanottamaan luonnon niihin kohdistamat rasitukset ja vastaamaan ihmisen sosiaalisiin vaatimuksiin. (Siikanen 2008.)

5.1 Kuormat

Kohteen kuormat ovat laskettu Rakennusinsinööriliiton 2008 julkaiseman Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat RIL 201-1-2008 mukaan. Rakenteita rasittavat kuormat jaetaan pysyviin ja muuttuviin kuormiin rasituksen keston mukaan. (Suomen Rakennusinsinööriliitto RIL Oy 2008.)

5.1.1 Pysyvä kuorma

Pysyvät kuormat koostuvat rakenteiden omaista painoista. Murtorajatilassa kuormat kerrotaan osavarmuuskertoimella 1,15. Kattorakenteen paino ilman liimapuiden omaa painoa ja sisältäen ripustuskuorman on $g_k = 0,4 \text{ kN/m}^2$. Liimapuun omaa painoa laskettaessa on käytetty tiheytenä $\rho_{\text{mean}} = 430 \text{ kg/m}^3$ (Suomen Liimapuuyhdistys 2013.)

5.1.2 Muuttuva kuorma

Muuttuvat kuormat koostuvat luonnon- sekä hyötykuormista. Luonnonkuormia ovat lumi- ja tuulikuorma. Muuttuvien kuormien kesto ja paikka voivat vaihdella. Murtorajatilassa muuttuvat kuormat kerrotaan osavarmuuskertoimella 1,5 (Suomen Rakennusinsinööriliitto RIL Oy 2008.)

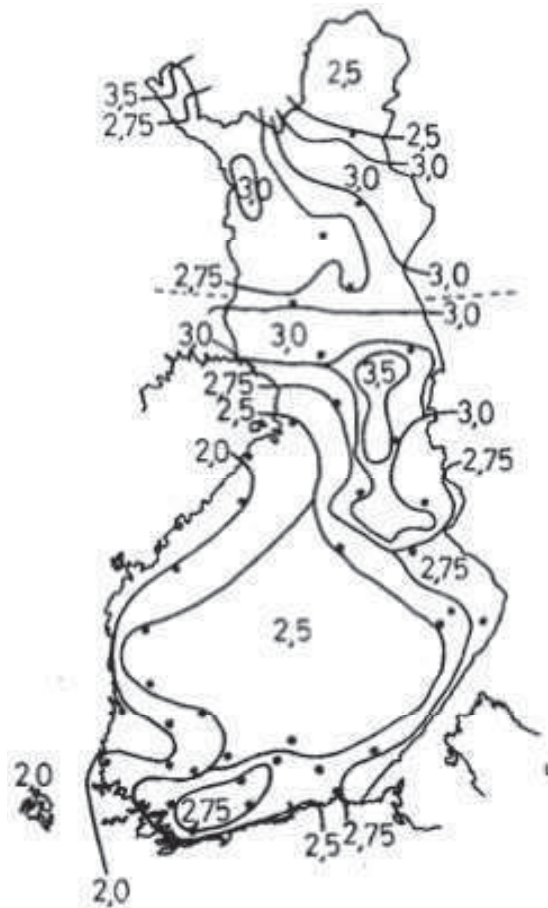
5.1.2.1 Tuulikuorma

Kohteen tuulikuorma on laskettu RIL 201-1-2008:n mukaan. Laskenta on suoritettu voimakerroinmenetelmällä, jossa tuulenpaineella on kaikissa rakennuksen korkeusasemilla harjalla vallitseva arvo. Kohde sijaitsee avoimella peltoalueella,

joten maastoluokka on III. Tuuli lasketaan tapauksessa, jossa tuuli osuu suoraan rakennuksen pitkälle sivulle. Tuulikuormaksi pitkälle sivulle saadaan $q_{w,k} = 0,58 \text{ kN/m}^2$ (Liite 2). (Suomen Rakennusinsinööriliitto RIL Oy 2008.)

5.1.2.2 Lumikuorma

Rakennuspaikka sijaitsee Tarvasjoella, jossa lumikuormaksi maassa saadaan $s_k = 2,6 \text{ kN/m}^2$. Maassa olevan lumikuorman ominaisarvo perustuu vuosittaisen ylittymisen keskimääräiseen todennäköisyyteen 0,02 (keskimäärin 50 vuoden toistumis- tai ylittymisaika). (Suomen Rakennusinsinööriliitto RIL Oy 2008.)



Kuva 3. Maanpinnan lumikuorman ominaisarvot s_k (Puuinfo 2009.)

Kohteen lumikuorma saadaan laskemalla RIL 201-1-2008:n mukaan.

$$s = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k$$

Katon muotokerroin, kun kaltevuus $\alpha = 18,4^\circ$

$$\alpha < 30^\circ \rightarrow \mu_1 = 0,8$$

Tuulensuojaisuuskerroin $c_e = 1,0$

Lämpökerroin $c_t = 1,0$

Lumikuormaksi s saadaan:

$$s = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 2,6 \text{ kN/m}^2 = 2,1 \text{ kN/m}^2$$

5.2 Materiaalilujuudet

5.2.1 Liimapuu

Kohteessa on käytetty liimapuuta lujuusluokaltaan GL30c. Liimapuun materiaalilujuudet on laskettu Suomen Liimapuuyhdistyksen tiedotteen Liimapuun lujuusluokat mukaan. Kuorman kesto ja puun kosteus vaikuttavat puun ja puurakenteosien lujuus- ja jäykkyysominaisuuksiin, ja ne tulee ottaa huomioon, kun suunnittelukriteereinä ovat mekaaninen kestävyys ja käyttökelpoisuus. (Puuinfo 2009, 10.)

Runko sijaitsee kosteassa sisätilassa, joten sen käyttöluokka on 2. Kun runkoa kuormittava tekijä on lumi, kuorma on aikaluokaltaan keskipitkä, ja tällöin aika- ja käyttöluokasta saadaan muunnoskerroin $k_{mod} = 0,8$. Kun kuormittavana on tuuli, aikaluokka on hetkellinen, ja tällöin saadaan muunnoskerroimeksi $k_{mod} = 1,1$. Liimapuun osavarmuuskerroin $\gamma_m = 1,2$. Mitoitusarvot ovat laskettu taulukoon 1 ominaisarvosta seuraavasti:

$$X_d = k_{mod} \cdot \frac{X_k}{\gamma_m}$$

Taulukko 1. GL30c-liimapuun ominais- ja mitoitusarvot. Yksikkö N/mm². (Suomen Liimapuuyhdistys 2013.)

	lujuusluokka GL30c		
	ominaisarvo $f_{x,k}$	mitoitusarvo, $k_{mod} = 0,8$	mitoitusarvo, $k_{mod} = 1,1$
taivutus $f_{m,d}$	30,0	20,0	27,5
veto $f_{t,90,d}$	0,5	0,33	0,46
puristus $f_{c,0,d}$	25,0	16,7	22,9
puristus $f_{c,90,d}$	3,0	2,0	2,8
leikkaus $f_{v,d}$	3,5	2,3	3,2

Kertoimen k_r avulla otetaan huomioon kaarevan liimapuun valmistuksessa tapahtuvasta lamellien taivutuksesta aiheutuva lujuuden pienentyminen (Suomen Rakennusinsinööriliitto RIL Oy 2007).

$$k_r \begin{cases} 1 & \text{kun } \frac{r_{in}}{t} \geq 240 \\ 0,76 + 0,001 \cdot \frac{r_{in}}{t} & \text{kun } \frac{r_{in}}{t} < 240 \end{cases}$$

$$k_r = 0,76 + 0,001 \cdot \frac{5600}{33,3} = 0,93$$

$$\sigma_{m,d} \leq k_r * f_{m,d}$$

Poikittaisia puristuksia laskettaessa on käytetty kerrointa k_{90} , jonka avulla otetaan huomioon kuorman sijainti, puun halkeamismahdollisuus ja puristuman suuruus.

$k_{c,90} = 1,5$ havupuisella liimapuulla (Puuinfo 2009.)

5.2.2 Teräs

Teräsosissa on käytetty S355-terästä, joka on rakentamisessa yleisteräs nykyään. Teräksen S355 myötöraja $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$. Teräksen osavarmuuskerroin $\gamma_m = 1,0$. (Kaitila 2010.)

5.3 Liimapuurungon mitoitus

5.3.1 Kolminivelkehä

Navetan pääkannattajana toimii kolminivelkehä jaolla K3600. Kolminivelkehän mitoitus on suoritettu Late-Rakenteet Oy:n mitoitusohjelmalla sekä Excelillä. Pysyvänä kuormana mitoituksessa käytetään katon painoa $g_k = 0,5 \text{ kN/m}^2$ sisältäen liimapuun oman painon, lumikuormana $q_{sk} = 2,6 \text{ kN/m}^2$ sekä tuulikuormana $q_{wk} = 0,6 \text{ kN/m}^2$.

Kehät mitoitettiin neljässä kuormitustapauksessa. Tapauksessa 1 lasketaan pysyvä kuorma sekä tasainen 100 % lumi. Tapauksessa 2 lasketaan pysyvä kuorma sekä toisella lappeella lunta 100 % ja toisella lappeella lunta 50 %. Tapaus 3 on sama kuin tapaus 2 lisättynä 60 % tuulella. Tapaus 4 on mitoitettu R30 palokuormille, jolloin kuormina ovat omapaino 100 % sekä 40% tasainen lumi.

Kehä jaetaan 29 pisteeseen, joiden koordinaatit syötetään ohjelmaan kehän poikkileikkauksen keskikohdasta mitattuna. Ohjelma laskee jokaiselle pisteelle oman metrikuorman. Kuormista ohjelma laskee jokaiselle kuormitustapaukselle mitoittavan pisteen sekä jännitykset pisteessä. Excel-pohjaiseen mitoitusohjelmaan syötetään saadut arvot halutun poikkileikkauksen lisäksi. Excel laskee halutulle profiilille käyttöasteet mitoittavassa pisteessä.

Mitoittavaksi kuormitustapaukseksi saatiin tapaus 2 pisteessä 13 eli lähellä harjaa. Kehän tarvittavaksi leveydeksi saatiin 140 mm sekä korkeudeksi alapäässä 666 mm, kriittisessä pisteessä 450 mm ja harjalla 350 mm. Käyttöasteeksi saatiin 93 % (Liite 3).

5.3.2 Rästäspalkki

Rästäspalkit on mitoitettu Finnwood 2.3 SR1(2.4.017) -ohjelmalla. Palkki on mitoitettu kaksiaukkoisena ulokkeellisena palkkina. Pysyvänä kuormana on käytetty katon omaa painoa $g_k = 0,4 \text{ kN/m}^2$ ja lumikuormana $q_s = 2,08 \text{ kN/m}^2$. Palkin oman painon ohjelma ottaa huomioon mitoituksessa. Sallittuna taipumana on

käytetty L/300. Palkin leveydeksi valitaan 140 mm eli sama kuin kehällä toteutusteknisistä syistä (Liite 5).

5.3.3 Rästäspilari

Rästäspilari on mitoitettu käsin. Pilari mitoitettiin molemmista päistä nivelellisenä pilarina. Nurjahduspituuksia laskettaessa oletetaan, että y-suunnassa välipuut NL2A tai NL2B toimivat nurjahdustukena. Pilarin leveydeksi valitaan 140 mm eli sama kuin kehällä toteutusteknisistä syistä (Liite 4).

5.3.4 Ruuviliitos

Mitotetaan vinotuen NP1B ja rästäspilarin NP1A liitos, joka on tarkemmin kuvattuna asennusdetaljissa DET5 (liite 7). Kiinnikkeinä liitoksessa käytetään WT-T-puuruuveja, jotka soveltuvat hyvin puuosien kiinnityksiin.

NP1B:n normaalivoima saadaan rästäspalkin NL1 tuen 1 tukivoimasta.

$$F_{NP1B} = 17,13kN \cdot \cos 28^\circ = 15,1kN$$

Taulukko 2. Vetoruuviliitoksen mitoituskestävyyksiä yhtä ruuvia kohden liitospuiden ollessa vähintään GL28c-liimapuuta (VTT Expert services Oy 2012.)

Vetoruuvi	R_d (kN) / ruuvi					
	Aikaluokka keskipitkä			Aikaluokka hetkellinen		
	$\alpha = 30^\circ$	$\alpha = 45^\circ$	$\alpha = 60^\circ$	$\alpha = 30^\circ$	$\alpha = 45^\circ$	$\alpha = 60^\circ$
WT-T-6,5x65	1,2	1,1	0,9	1,7	1,5	1,2
WT-T-6,5x90	1,9	1,7	1,4	2,7	2,4	1,9
WT-T-6,5x130	1,9	1,7	1,4	2,7	2,4	1,9
WT-T-6,5x160	3,4	3,0	2,5	4,7	4,2	3,4
WT-T-6,5x190	4,3	3,8	3,1	5,9	5,2	4,3
WT-T-6,5x220	5,1	4,6	3,7	7,1	6,3	5,1
WT-T-8,2x160	4,2	3,7	3,0	5,7	5,1	4,2
WT-T-8,2x190	5,3	4,7	3,8	7,2	6,5	5,3
WT-T-8,2x220	6,4	5,7	4,6	8,7	7,8	6,4
WT-T-8,2x245	7,2	6,5	5,3	9,9	8,9	7,2
WT-T-8,2x275	7,2	6,5	5,3	9,9	8,9	7,2
WT-T-8,2x300	9,3	8,3	6,8	12,8	11,4	9,3
WT-T-8,2x330	9,3	8,3	6,8	12,8	11,4	9,3

Taulukko 2:sta saadaan keskipitkässä aikaluokassa sekä ruuvin ja pilarin NP1A välisen kulman ollessa 45° ruuville WT-T-8,2x220 $R_d = 5,7 \text{ kN}$

Laitetaan liitokseen 3 kappaletta WT-T-8,2x220-ruuveja

$$R_d = 3 \cdot 5,7 \text{ kN} = 17,1 \text{ kN} > 15,1 \text{ kN OK!}$$

5.4 Teräsosat

5.4.1 Harjaristi

Kehän harjalla oleva teräsosa TR1 on mitoitettu ottamaan vastaan harjalla esiintyvät leikkausvoimat. Harjaristi kuumasinkittää korroosiota vastaan. Teräsosista tehdään konepajakuvat, joiden perusteella konepaja valmistaa teräsosat (Liite 6.)

5.4.2 Kantanivelhela

Kantanivelhela TH1 siirtää kehältä tulevat voimat peruspulttien kautta perustuksille. Helan mitat määräytyvät tarvittavien tukipintatarpeiden mukaan. Kantanivelhelat kiinnitetään valettuihin ja vaaitettuihin peruspultteihin, jonka jälkeen kehä nostetaan paikoilleen. Kehä pultataan helaan työmaalla. Kantanivelhela maalataan epoksilla (Liite 6.)

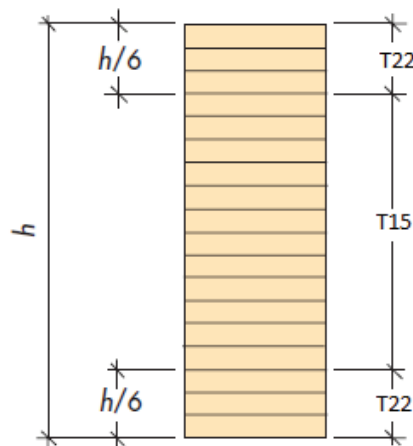
5.5 Rungon jäykistys

Kolminivelkehä on leveyssuunnassa jäykkä rakenne, joten runko tarvitsee jäykistää ainoastaan pituussuuntaan. Yleensä runko jäykistetään pituussuunnassa alapäästään momenttijäykillä tuulipilareilla, teräksisillä tuuliristikoilla tai molemmilla. Samoilla metodeilla otetaan vastaan myös kolminivelkehien kiepahdusvoimat. Tässä kohteessa jäykistys ei sisällynyt tilaukseen, joten sen hoitaa rakennesuunnittelija parhaalla katsomallaan tavalla.

6 LIIMAPUIDEN VALMISTUS

Liimapuut valmistetaan lujuusluokitellusta kuusisahatavarasta. Sahatavara kuivataan niin, että lamellien kosteusprosentti on 8 ± 15 %. Vierekkäisten lamellien osalta poikkeama saa olla korkeintaan 4 %. Näin varmistetaan että saadaan lujempi liimasauma ja vältetään suuremmilta kuivumishalkeamilta. (Carling 2003).

Poikkileikkauksen uloimmilla sivuilla on hyvä käyttää paremmin lujuusluokiteltua puutavaraa, koska jännitykset ovat yleensä suurempia (Carling 2003). Näin saadaan hyödynnettyä paremmin puutavaran lujuutta ja saadaan säästettyä lujempaa ja kalliimpaa puutavaraa. Jos liimapuussa on käytetty eri lujuusluokiteltua puutavaraa (ks kuva 4. s 20), merkitään se tunnuksella c eli combined, esimerkiksi GL30c. Samaa lujuusluokkaa käytettäessä tunnus on h eli homogenous.

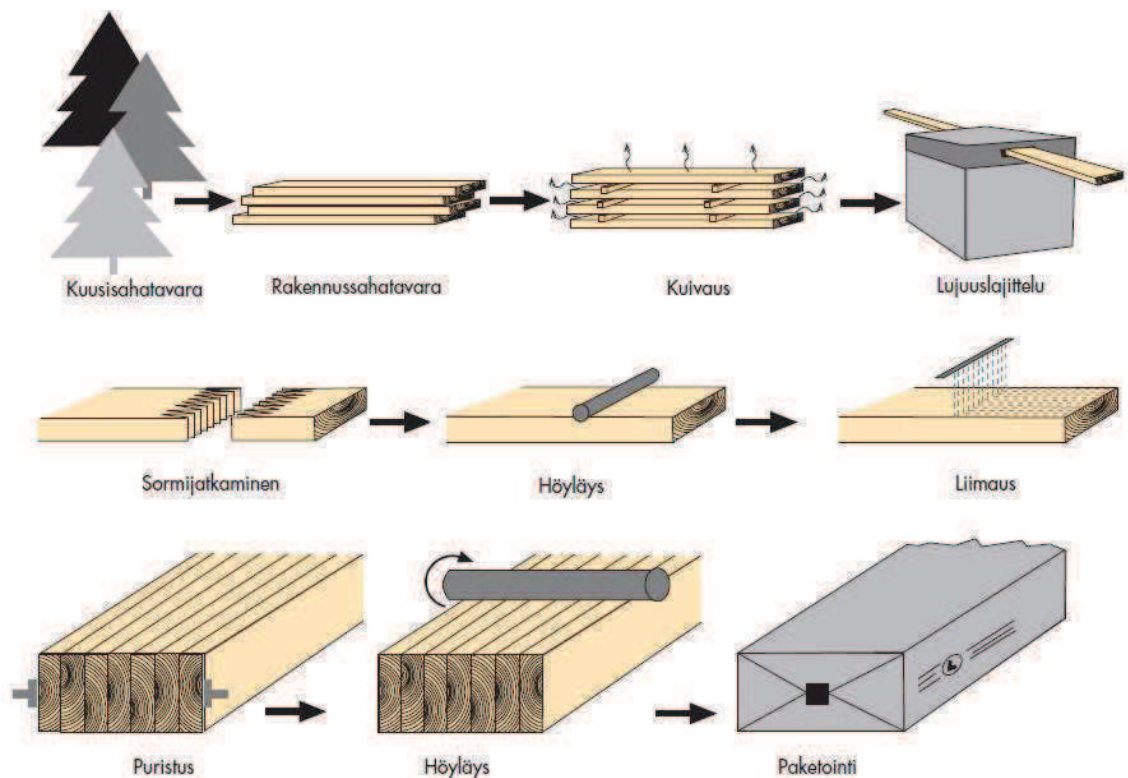


Kuva 4. Lamellien lujuusluokat GL30c -liimapuussa

Kehät valmistetaan 33,3 mm:n paksuisista sormijatketuista lamelleista. Lamellipaksuus saadaan karkeasti seuraavasti, kun taivutussäde on yli 2 metriä:

$$\text{Lamellin paksuus, } t = \frac{\text{taivutussäde, } r}{168} = \frac{5600\text{mm}}{168} = 33,3\text{mm}$$

Sormijatketut lamellit höylätään, katkaistaan määrämittäiseksi, liimataan ja pinotaan päällekkäin. Lamellit pinotaan siten, että sydänpuolet ovat aina samaan suuntaan, paitsi ulkolamelleissa sydänpuoli on ulospäin. Liimatut lamellit asetetaan valmiiksi muotoiltuun liimauspenkkiin, puristetaan tarvittavalla paineella ja annetaan kuivua (ks kuva 5, 21) (Carling 2003.)



Kuva 5. Liimapuun valmistus (Carling 2003,11).

Kehien valmistuksessa liimatusta ja höylätystä liimapuuelementistä sahataan valmistuskuvien (liite 8) mukainen kehän puolikas. Kehän alapää sahataan muotoonsa detaljin DETA (liite 7) mukaisesti. Teräskenkään sijoittuvaan kulmaan tehdään pieni viiste, jotta rakenteen mahdollisesti painuessa nurkkaan ei kohdistuisi kohtuutonta rasitusta. Alapään teräskenkään kiinnitettävä osa viistetään reunoista 5 mm, jotta kengän asennus helpottuu, eikä liimapuu lähde halkeilemaan asennettaessa. Kehän alapää sivellään epoksilla, jotta estetään mahdollisen kosteuden nousu perustuksista liimapuuhun. Kantanivehelan pultti-kiinnityksen reikä porataan vasta työmaalla asennuksen yhteydessä.

Jokaisesta erilaisesta liimapuuelementistä tehdään tehtaalle valmistuskuva, jonka mukaan liimattu ja höylätty puu viimeistellään. Kuvista ilmenee liimapuuelementin päämitat, lovien ja kolojen mitat, kulmat sekä elementteihin kiinnitettävät osat. Kehien valmistuskuvissa on myös ristimita sekä muita mittoja, joiden avulla tarkistetaan kehän olevan oikean muotoinen. Kuljetuspituus ja kuljetusleveys merkataan myös valmistuskuviin logistisista syistä (Liite 8.)

7 YHTEENVETO

Insinööriyössä mitoitettiin pihattoon liimapuurunko. Haastavaa, mutta myös mielenkiintoista työstä teki se, että en ollut aikaisemmin ollut tekemisissä kolminivelkehien tai pihattorakentamisen kanssa. Liimapuusuunnittelusta minulla oli hieman kokemusta detaljien osalta. Mitoittamisesta ei ollut kokemusta entistään opiskelutehtäviä lukuun ottamatta. Haasteeksi muodostui myös aikataulu, koska insinööriyön aiheeksi sopivan kohteen löytäminen venyi pitkälle kevääseen.

Työssä pyrin hieman avaamaan sitä, mitä pihattorakentaminen rungolta vaatii. On tärkeää tietää rakennettavan rakennuksen erikoispiirteitä ennen kuin lähdetään suunnittelemaan.

Kolminivelkehien mitoittaminen Eurokoodeilla tuotti hieman ongelmia, koska malliesimerkkejä oli niukasti saatavilla. Suomen Rakentamismääräyskokoelman osan B10 mukaan mitoitetaan vieläkin paljon maatalousrakennuksia. Mitoitusohjelman käytön ja omien laskujen myötä ymmärrys rakenteiden suunnittelusta lisääntyi huomattavasti.

LÄHTEET

Aho,P; Ala-Risku, V; Holmström, M-H; Jälkö, T & Kaukonen, S... 2009. Nauta- ja sikatilan olosuhdeopas, ProAgria Maaseutukeskusten Liitto ry.

Carling, O. 2003. Liimapuukäsikirja, Heimo Pystynen, Insinööritoimisto Puolanne Oy Helsinki: Wood Focus/Suomen Liimapuuyhdistys ry.

Kaitila, O. 2010. Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus Eurocode 3. Helsinki; Teräsrakenneyhdistys Ry.

Kinnunen, J; Saarinen, E; Tiira, S; Ulvinen,S; Väänänen, E. 2001. Teräsrakenteiden suunnittelu, Rakennustieto Oy.

Lahtela, T. 2004. Puu maatilarakentamisessa, tuotanto- ja varastorakennusten suunnitteluohje. Woodfocus Oy.

Maa- ja metsätalousministeriön asetus tuettavaa rakentamista koskevista lypsykarjarakennusten rakennusteknisistä ja toiminnallisista vaatimuksista. 10.4.2012/164.

Puuinfo. 2009. RIL 205-1-2009b Puurakenteiden suunnittelu lyhennetty suunnitteluohje, kolmas painos. Puuinfo.

Siikanen, U. 2008. Puurakentaminen. Helsinki; Rakennustieto Oy.

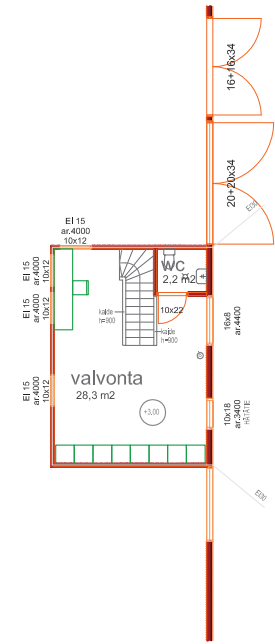
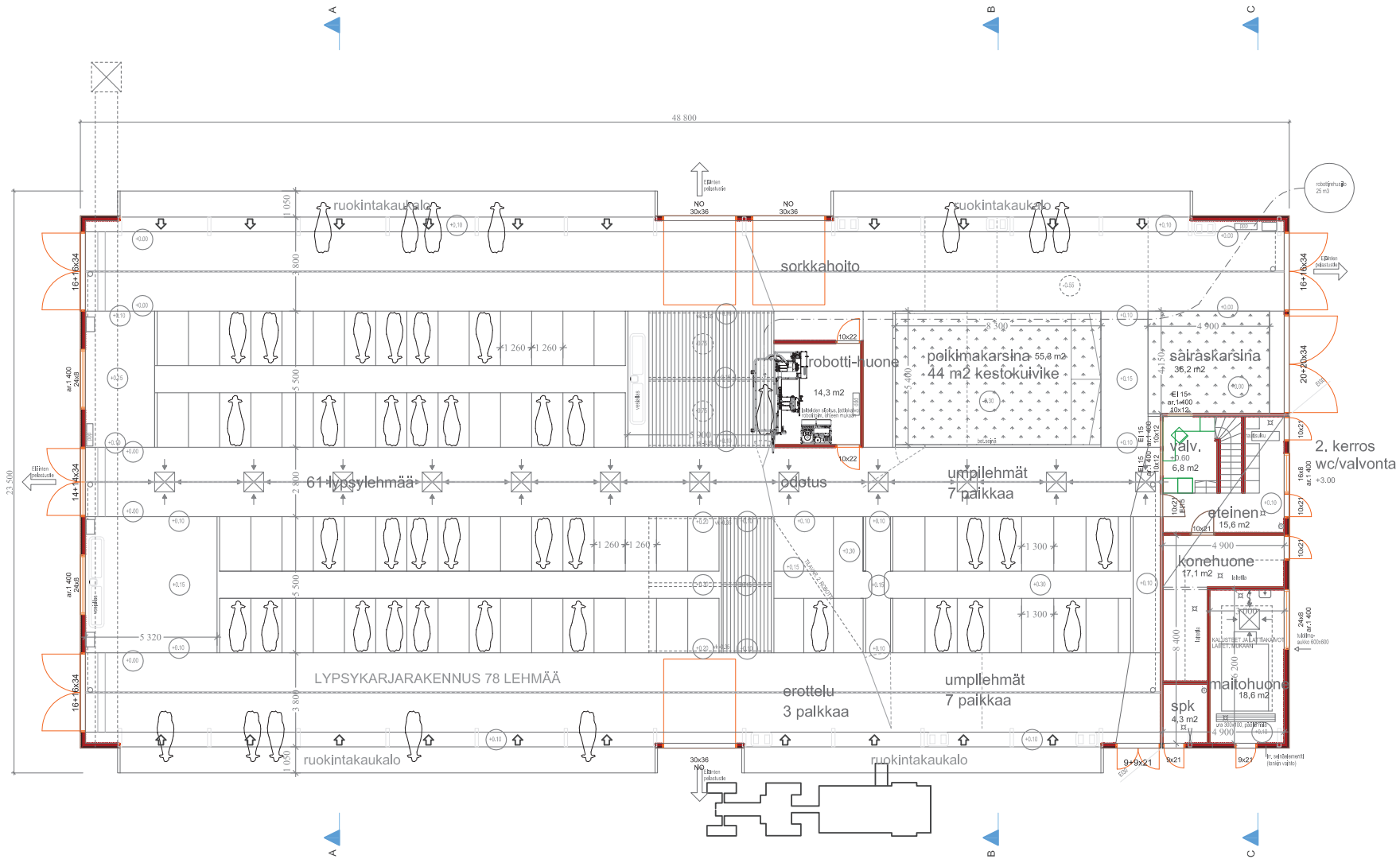
Suomen Liimapuuyhdistys Ry. 2013. Liimapuun lujuusluokat. Viitattu 15.5.2013 http://liimapuuteollisuus.fi/liimapuu/?__EVIA_WYSIWYG_FILE=28672&name=file.

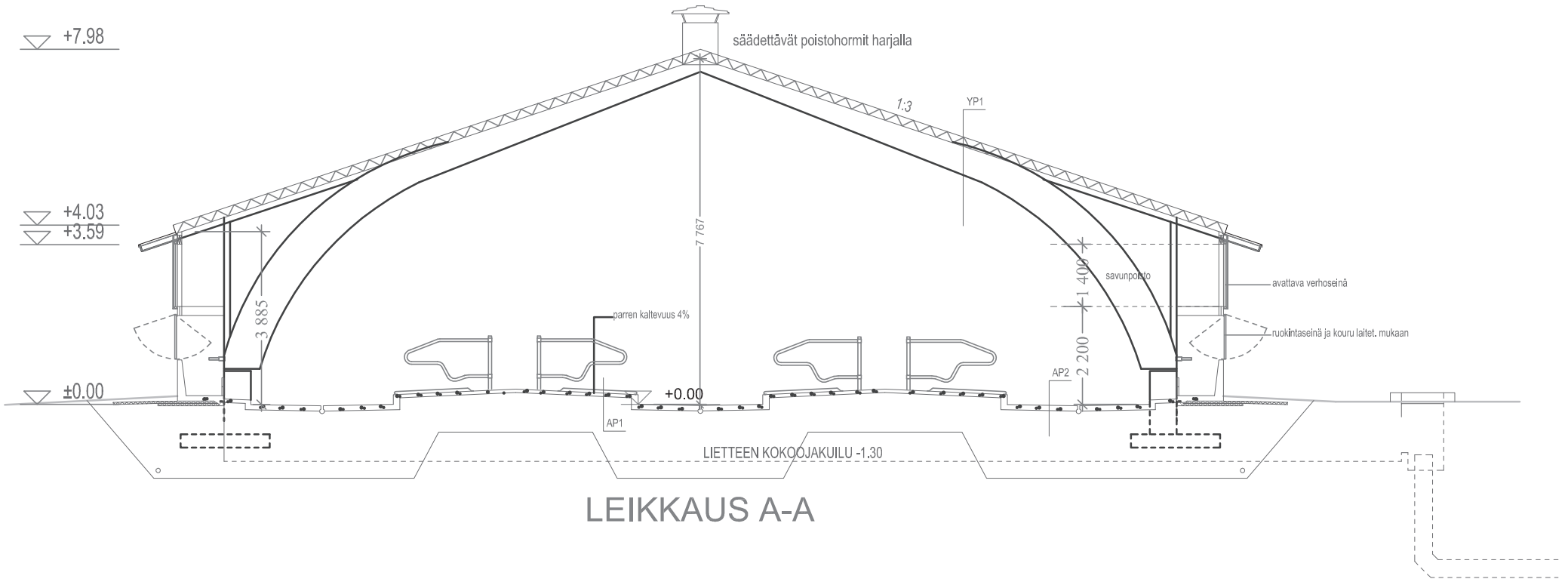
Suomen Rakennusinsinööriliitto RIL Oy. 2007. RIL 205-1-2007 Puurakenteiden suunnitteluohje, Helsinki; Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL Oy.

Suomen Rakennusinsinööriliitto RIL Oy. 2008. RIL 201-1-2008 Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat, Helsinki; Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL Oy.

VTT Expert services Oy. 2012. SFS WT-T 8,2xL ja 6,5xL vinoruuviliitosten suunnitteluohje.

Liite 1. Pohja- ja leikkauskuva





Liite 2. Tuuli pitkälle sivulle

Tuulen nopeuspaineen ominaisarvo saadaan RIL 201-1-2008 taulukosta 4.2s. s.133, kun rakennuksen korkeus $h=7,7\text{m}$ ja maastoluokka III

$$q_{p,0}(z) = 0,43 \text{ kN/m}^2$$

rakennekerroin, kun $h < 15\text{m}$

$$c_s c_d = 1,0$$

tehollinen hoikkuus, kun $h < 15\text{m}$

$$\lambda = \frac{2 \cdot h}{b} = \frac{2 \cdot 7,7\text{m}}{48,5\text{m}} = 0,32 < 1$$

sivusuhte

$$\frac{d}{b} = \frac{22\text{m}}{48,5\text{m}} = 0,45$$

saadaan taulukosta 5.2s RIL 201-1-2008 s.137

$$c_f = 1,35$$

kokonaistuulikuorma saadaan kaavasta

$$q_{w,k} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_{p,0}(z)$$

$$q_{w,k} = 1,0 \cdot 1,35 \cdot 0,43 \text{ kN/m}^2 = 0,58 \text{ kN/m}^2$$

Liite 3. Kolminivelkehien mitoitus

PHASE 2, ACTIONS ON NODE POINTS				LATE-RAKENTEET OY		17.4.2013		K1			
CALCULATION ACCORDING TO EC5 STANDARD				FIN SFS EN		Project: NAVETTA NIKULA TARVASJOKI		Design: TIMO		version 4.1	
BASIC DATA:				DESIGN STRENGTH VALUES FOR GLULAM:				GL30c			
Curved roof, 1=yes, 0=no				0							
Type, 1=with pull bars., 2=concrete basement				2							
Span L =				20,832 m				$f_{vd} = k_{mod} \times f_{vk} / \gamma_M = 2333 \text{ kN/m}^2$			
Apex point from pull bars				f = 6,776 m				$f_{c,0,d} = k_{mod} \times f_{c,0,k} / \gamma_M = 16667 \text{ kN/m}^2$			
Spacing c/c =				3,600 m				$f_{c,d} = k_{mod} \times f_{c,1,k} \times k_{c,90} / \gamma_M = 3225 \text{ kN/m}^2$			
Inner radius Ri = 1.5708				5,600 m				$T_{c1\alpha d} = k_{mod} \times f_{c1\alpha k} / \gamma_M = 3912 \text{ kN/m}^2$			
Slope of the roof =				18,4 °				$T_{c2\alpha d} = k_{mod} \times f_{c2\alpha k} / \gamma_M = 12424 \text{ kN/m}^2$			
Angle of position =				0,0 °				$f_{m,d} = k_{mod} \times f_{m,k} / k_r \gamma_M = 21548 \text{ kN/m}^2$			
Number of node points=				29 no				$f_{t,d} = k_{mod} \times f_{t,k} / \gamma_M = 333 \text{ kN/m}^2$			
Roof construction + installation gk =				0,500 kN/m ²				Coefficients for material			
Snow on the ground sk =				2,600 kN/m ²				Surface treatment (0 or 2L) 1L			
Wind pressure wk =				0,600 kN/m ²				medium-term $k_{mod} = 0,80$			
Bracing in b-direction, c/c				a = 4,200 m				Service class (1, 2 or 3) 2			
Lamination thickness =				~ 0,033 m				Consequence class (1, 2 or 3) 2			
								$\gamma_M = 1,20$			
								$k_r = 0,93$			
								$k_{c,\perp} = 1,61$			
								$k_{c,90} = 1,50$			
								Movable load type 1			
								(1 = snow, 2 = other)			
VERTICAL ACTIONS :								PARTIAL FACTORS FOR ACTIONS AND MATERIAL			
LC1											
gd = 3,600 m x g _k K _{FI} γ _d ξ γ _G = 2,07 kN/m								ξ γ _G = 1,15			
qd = 3,600 m x s _k μ ₁ K _{FI} γ _d γ _Q = 11,23 kN/m								γ _Q = 1,50 (snow load)			
pa = gd + qd = 13,30 kN/m								γ _w = 1,50			
								γ _A = 1,00			
								γ _M = 1,20			
LC2								γ _{M,A} = 1,00			
gd = 3,600 m x g _k K _{FI} γ _d ξ γ _G = 2,07 kN/m								K _{FI} = 1,00			
qd1 = 3,600 m x s _k μ ₁ K _{FI} γ _d γ _Q = 14,04 kN/m x μ								γ _d = 1,00			
								μ ₁ = 0,80			
VERTICAL ACTION ON NODE POINTS:								Factor for whole load			
								Spacing for node point [m]			
								Snow shape μ-coefficient			
								LC2			
LC1				LC2				Pd			
Dead + uniformly distributed snow				Dead + shape snow							
1	3	0,000	0 0	1	3	0,000	0 0	0	2,299	0,800	
2	3	0,000	0 0	2	3	0,000	0 0	0	0,383	0,800	
3	3	0,000	0 0	3	3	0,000	0 0	0	0,500	0,800	
4	3	0,000	0 0	4	3	0,000	0 0	0	0,500	0,800	
5	3	0,000	0 0	5	3	0,000	0 0	0	0,500	0,800	
6	3	0,000	0 0	6	3	0,000	0 0	0	0,500	0,800	
7	3	-23,138	0 0	7	3	-23,138	0 0	3,48	0,500	0,800	
8	3	-6,981	0 0	8	3	-6,981	0 0	1	0,525	0,800	
9	3	-10,970	0 0	9	3	-10,970	0 0	1	0,825	0,800	
10	3	-14,627	0 0	10	3	-14,627	0 0	1	1,100	0,800	
11	3	-14,627	0 0	11	3	-14,627	0 0	1	1,100	0,800	
12	3	-14,627	0 0	12	3	-14,627	0 0	1	1,100	0,800	
13	3	-14,627	0 0	13	3	-14,627	0 0	1	1,100	0,800	
14	3	-14,627	0 0	14	3	-14,627	0 0	1	1,100	0,800	
15	3	-14,627	0 0	15	3	-11,538	0 0	1	1,100	0,600	
16	3	-14,627	0 0	16	3	-8,450	0 0	1	1,100	0,400	
17	3	-14,627	0 0	17	3	-8,450	0 0	1	1,100	0,400	
18	3	-14,627	0 0	18	3	-8,450	0 0	1	1,100	0,400	
19	3	-14,627	0 0	19	3	-8,450	0 0	1	1,100	0,400	
20	3	-14,627	0 0	20	3	-8,450	0 0	1	1,100	0,400	
21	3	-10,970	0 0	21	3	-6,337	0 0	1	0,825	0,400	
22	3	-6,981	0 0	22	3	-4,033	0 0	1	0,525	0,400	
23	3	-23,138	0 0	23	3	-13,366	0 0	3,48	0,500	0,400	
24	3	0,000	0 0	24	3	0,000	0 0	0	0,500	0,400	
25	3	0,000	0 0	25	3	0,000	0 0	0	0,500	0,400	
26	3	0,000	0 0	26	3	0,000	0 0	0	0,500	0,400	
27	3	0,000	0 0	27	3	0,000	0 0	0	0,500	0,400	
28	3	0,000	0 0	28	3	0,000	0 0	0	0,383	0,400	
29	3	0,000	0 0	29	3	0,000	0 0	0	2,299	0,400	
0	0	0,000	0 0	0	0	0,000	0 0	0			
0	0	0,000	0 0	0	0	0,000	0 0	0			

PHASE 2, ACTIONS ON NODE POINTS				LATE-RAKENTEET OY		17.4.2013		K1	
CALCULATION ACCORDING TO EC5 STANDARD FIN SFS EN				Project: NAVETTA NIKULA TARVASJOKI		Design: TIMO		version 4.1	
BASIC DATA: Curved roof, 1=yes, 0=no				0		DESIGN STRENGTH VALUES FOR GLULAM: GL30c			
Type, 1=with pull bars., 2=concrete basement	2			$f_{vd} = k_{mod} \times f_{vk} / \gamma_M =$		3208		kN/m ²	
Span L =	20,832 m			$f_{c,0,d} = k_{mod} \times f_{c,0,k} / \gamma_M =$		22917		kN/m ²	
Apex point from pull bars	f = 6,776 m			$f_{c1\alpha,d} = k_{mod} \times f_{c1\alpha,k} / \gamma_M =$		30150		kN/m ²	
Spacing c/c =	3,600 m			$f_{c2\alpha,d} = k_{mod} \times f_{c2\alpha,k} / \gamma_M =$		15683		kN/m ²	
Inner radius Ri =	5,600 m			$f_{m,d} = k_{mod} \times f_{m,k} / k_r \gamma_M =$		29628		kN/m ²	
Slope of the roof =	0,321 18,4 °			$f_{tL,d} = k_{mod} \times f_{tL,k} / \gamma_M =$		458		kN/m ²	
Angle of position =	0,0 °			Coefficients for material Surface treatment (0 or 2L) 1L					
Number of node points=	29 no			$k_{mod} = a \text{ mod } 1,10$		$\psi_{0,Q1} =$		0,70	
Roof construction + installation gk =	0,500 kN/m ²			instantaneous		$\psi_{0,w} =$		0,60	
Imposed load sk =	0,000 2,600 kN/m ²			$\gamma_M = \text{the partiz } 1,20$		$k_{cr} =$			
Wind pressure wk =	0,600 kN/m ²			$k_r = a \text{ reductio } 0,93$		1,00			
Bracing in b-direction, c/c	a = 4,200 m			PARTIAL FACTORS FOR ACTIONS AND MATERIAL					
Lamination thickness =	~ 0,033 m			$\xi \gamma_G =$		1,15			
Pressure side factor $\mu_p =$	1,00			$\gamma_Q =$		1,50		(snow load)	
Suction side factor $\mu_s =$	0,00			$\gamma_W =$		1,50			
VERTICAL ACTIONS :				$\gamma_A =$		1,00			
gd = 3,600 m x g _k k _{FI} γ _d ξ γ _G =	2,07 kN/m			$\gamma_M =$		1,20			
qd = 3,600 m x s _k ψ _{0,Q1} μ k _{FI} γ _d γ _Q =	14,04 kN/m x μ			$\gamma_{M,A} =$		1,00			
pd = gd + (qd x μ)				$K_{FI} =$		1,00			
HORISONTAALISETAALISSET METRIKUORMAT KEHÄLLE:				$\gamma_d =$		1,00			
q _{wd1} = 3,600 m x w _k ψ _{0,w} μ _p k _{FI} γ _d γ _w =	1,94 kN/m			$\mu_1 = 0,80$					
q _{wd2} = 3,600 m x w _k ψ _{0,w} μ _s k _{FI} γ _d γ _w =	0,00 kN/m			Factor for whole load					
VERTICAL ACTION ON NODE POINTS:				Spacing for node point					
HORIZONTAL ACTION ON NODE POINTS:									
LC3 Dead load + snow drifted 100 %				LC3 Wind, horizontal 60 %					
1 3 0,000 0 0				1 1 0,000 0 0				Pd	
2 3 0,000 0 0				2 1 0,000 0 0				0 0,930 m	
3 3 0,000 0 0				3 1 0,000 0 0				0 1,579 m	
4 3 0,000 0 0				4 1 0,000 0 0				0 1,049 m	
5 3 0,000 0 0				5 1 0,000 0 0				0 0,698 m	
6 3 0,000 0 0				6 1 0,000 0 0				0 0,532 m	
7 3 -23,138 0 0				7 1 0,000 0 0				0 0,423 m	
8 3 -6,981 0 0				8 1 0,000 0 0				0 0,341 m	
9 3 -10,970 0 0				9 1 5,906 0 0				0 0,274 m	
10 3 -14,627 0 0				10 1 0,764 0 0				14 0,217 m	
11 3 -14,627 0 0				11 1 1,159 0 0				1 0,393 m	
12 3 -14,627 0 0				12 1 1,159 0 0				1 0,596 m	
13 3 -14,627 0 0				13 1 1,159 0 0				1 0,596 m	
14 3 -14,627 0 0				14 1 1,159 0 0				1 0,596 m	
15 3 -11,538 0 0				15 1 0,637 0 0				1 0,596 m	
16 3 -8,450 0 0				16 1 0,000 0 0				1 1,080 m	
17 3 -8,450 0 0				17 1 0,000 0 0				1 0,596 m	
18 3 -8,450 0 0				18 1 0,000 0 0				1 0,596 m	
19 3 -8,450 0 0				19 1 0,000 0 0				1 0,596 m	
20 3 -8,450 0 0				20 1 0,000 0 0				1 0,596 m	
21 3 -6,337 0 0				21 1 0,000 0 0				1 0,596 m	
22 3 -4,033 0 0				22 1 0,000 0 0				1 0,393 m	
23 3 -13,366 0 0				23 1 0,000 0 0				1 0,217 m	
24 3 0,000 0 0				24 1 0,000 0 0				1 0,274 m	
25 3 0,000 0 0				25 1 0,000 0 0				1 0,341 m	
26 3 0,000 0 0				26 1 0,000 0 0				1 0,423 m	
27 3 0,000 0 0				27 1 0,000 0 0				1 0,532 m	
28 3 0,000 0 0				28 1 0,000 0 0				1 0,698 m	
29 3 0,000 0 0				29 1 0,000 0 0				1 1,049 m	
0 0 0,000 0 0				0 0 0,000 0 0				1 1,579 m	
0 0 0,000 0 0				0 0 0,000 0 0				1 0,930 m	

1 NODE POINTS:

1	-10.416	.000
2	-10.150	0.915
3	-9.650	1.933
4	-9.150	2.631
5	-8.650	3.164
6	-8.150	3.587
7	-7.650	3.927
8	-7.150	4.200
9	-6.600	4.409
10	-5.500	4.803
11	-4.400	5.197
12	-3.300	5.591
13	-2.200	5.985
14	-1.100	6.379
15	.000	6.776
16	1.100	6.379
17	2.200	5.985
18	3.300	5.591
19	4.400	5.197
20	5.500	4.803
21	6.600	4.409
22	7.150	4.200
23	7.650	3.927
24	8.150	3.587
25	8.650	3.164
26	9.150	2.631
27	9.650	1.933
28	10.150	0.915
29	10.416	.000

2 ACTIONS (Pd) ON THE NODE POINTS:

LC1

7	3	-23.138	0	0
8	3	-6.981	0	0
9	3	-10.970	0	0
10	3	-14.627	20	0
21	3	-10.970	0	0
22	3	-6.981	0	0
23	3	-23.138	0	0

LC2

7	3	-23.138	0	0
8	3	-6.981	0	0
9	3	-10.970	0	0
10	3	-14.627	14	0
15	3	-11.538	0	0
16	3	-8.450	20	0
21	3	-6.337	0	0
22	3	-4.033	0	0
23	3	-13.366	0	0

LC3

7	3	-23.138	0	0
8	3	-6.981	0	0
9	3	-10.970	0	0
10	3	-14.627	14	0
15	3	-11.538	0	0
16	3	-8.450	20	0
21	3	-6.337	0	0
22	3	-4.033	0	0
23	3	-13.336	0	0
9	1	5.906	0	0
10	1	0.764	0	0
11	1	1.159	14	0
15	1	0.637	0	0

LC4

7	3	-8.717	0	0
8	3	-2.630	0	0
9	3	-4.133	0	0
10	3	-5.511	20	0
21	3	-4.133	0	0
22	3	-2.630	0	0
23	3	-8.717	0	0

3 DESIGN STRENGTH VALUES FOR GLULAM

Medium-term, $k_{mod} = 0,80$:

Shear = 2333 kN/m²

Compression = 16667 kN/m²

Bending = 21548 kN/m²

Instantaneous, $k_{mod} = 1,10$:

Shear = 3208 kN/m²

Compression = 22917 kN/m²

Bending = 29628 kN/m²

Fire case, $k_{fi} = 1,15$:

Shear = 4025 kN/m²

Compression = 28750 kN/m²

Bending = 34500 kN/m²

4 RESULTS:

LOAD COMBINATION:LC1

B (<1.) OR H/B (>1.):0,140

NODE	HEIGHT	WIDTH	Lc	RATIO	SHEAR	COMPR	BEND	COMP+BEND
1	.320	.140	6.643	.543	2305.	3272.	0.	.362
2	.420	.140	6.643	.727	1756.	2658.	15939.	.959
3	.520	.140	6.643	.826	875.	2213.	18036.	.998
4	.550	.140	6.643	.845	316.	2102.	18097.	.989
5	.540	.140	6.643	.839	469.	2141.	18227.	.999
6	.510	.140	6.643	.819	847.	2244.	17881.	.994
7	.460	.140	6.643	.780	939.	2436.	17042.	.978
8	.410	.140	6.643	.713	1240.	2458.	16359.	.966
9	.330	.140	6.643	.563	1540.	2869.	14268.	.968
10	.240	.140	6.097	.406	1770.	3806.	7489.	.910
11	.330	.140	6.097	.626	840.	2662.	15858.	.991
12	.370	.140	6.097	.702	350.	2279.	17042.	.986
13	.370	.140	6.097	.702	447.	2183.	16432.	.949
14	.310	.140	6.097	.581	1018.	2492.	15363.	.971
15	.190	.140	6.097	.265	1661.	3878.	0.	.877
16	.310	.140	6.097	.581	1018.	2492.	15363.	.971
17	.370	.140	6.097	.702	447.	2183.	16432.	.949
18	.370	.140	6.097	.702	350.	2279.	17042.	.986
19	.330	.140	6.097	.626	840.	2662.	15858.	.991
20	.240	.140	6.097	.406	1770.	3806.	7489.	.910
21	.330	.140	6.643	.563	1540.	2869.	14268.	.968
22	.410	.140	6.643	.713	1240.	2458.	16359.	.966
23	.460	.140	6.643	.780	939.	2436.	17042.	.978
24	.510	.140	6.643	.819	847.	2244.	17881.	.994
25	.540	.140	6.643	.839	469.	2141.	18227.	.999
26	.550	.140	6.643	.845	316.	2102.	18097.	.989
27	.520	.140	6.643	.826	875.	2213.	18036.	.998
28	.420	.140	6.643	.727	1756.	2658.	15939.	.959
29	.320	.140	6.643	.543	2305.	3272.	0.	.362

LOAD COMBINATION:LC2

B (<1.) OR H/B (>1.):0,140

NODE	HEIGHT	WIDTH	Lc	RATIO	SHEAR	COMPR	BEND	COMP+BEND
1	.240	.140	5.679	.454	2288.	3755.	0.	.496
2	.360	.140	5.679	.729	1526.	2641.	16152.	.967
3	.440	.140	5.679	.822	699.	2208.	18016.	.997
4	.460	.140	5.679	.838	268.	2112.	17602.	.968
5	.440	.140	5.679	.822	658.	2203.	17376.	.967
6	.390	.140	5.679	.775	1123.	2444.	17130.	.984
7	.320	.140	5.679	.654	1368.	2900.	15103.	.967
8	.250	.140	5.679	.482	1788.	3263.	11856.	.957
9	.230	.140	7.186	.279	1944.	3298.	5880.	.982
10	.350	.140	7.186	.550	1023.	2075.	16203.	.978
11	.410	.140	7.186	.662	514.	1685.	17663.	.972
12	.420	.140	7.186	.678	201.	1561.	18503.	.997
13	.400	.140	7.186	.645	580.	1551.	17932.	.976
14	.330	.140	7.186	.511	1156.	1773.	16389.	.969
15	.170	.140	4.242	.418	2244.	3607.	0.	.517
16	.200	.140	4.242	.529	582.	3169.	13612.	.991
17	.220	.140	4.242	.595	256.	2973.	14046.	.952
18	.190	.140	4.242	.494	745.	3550.	11543.	.967
19	.240	.140	8.355	.228	945.	2895.	4249.	.960
20	.320	.140	8.355	.387	975.	2235.	12740.	.938
21	.410	.140	8.355	.555	865.	1793.	16435.	.957
22	.450	.140	8.355	.623	788.	1720.	17767.	.990
23	.480	.140	8.355	.667	508.	1749.	17982.	.992
24	.510	.140	8.355	.706	478.	1671.	18194.	.986
25	.520	.140	8.355	.718	212.	1644.	18570.	.999
26	.520	.140	8.355	.718	395.	1644.	18167.	.981
27	.490	.140	8.355	.680	838.	1723.	17519.	.965
28	.390	.140	8.355	.522	1576.	2078.	15402.	.954
29	.270	.140	8.355	.284	2276.	2781.	0.	.587

LOAD COMBINATION:LC3

B (<1.) OR H/B (>1.):0,140

NODE	HEIGHT	WIDTH	Lc	RATIO	SHEAR	COMPR	BEND	COMP+BEND
1	.160	.140	5.200	.260	3008.	5414.	0.	.910
2	.290	.140	5.200	.647	1659.	3133.	21811.	.948
3	.350	.140	5.200	.764	713.	2639.	24215.	.968
4	.350	.140	5.200	.764	457.	2639.	24838.	.989
5	.330	.140	5.200	.730	961.	2780.	23642.	.964
6	.280	.140	5.200	.622	1631.	3211.	22240.	.976
7	.210	.140	5.200	.424	2175.	4153.	14484.	.916
8	.210	.140	7.730	.200	2124.	3615.	4341.	.935
9	.270	.140	7.730	.326	1652.	2625.	17028.	.926
10	.350	.140	7.730	.501	955.	2025.	22887.	.949
11	.380	.140	7.730	.556	484.	1786.	25370.	.996
12	.390	.140	7.730	.575	306.	1670.	25076.	.973
13	.360	.140	7.730	.521	753.	1733.	25121.	.993
14	.300	.140	7.730	.396	1417.	1988.	22090.	.965
15	.150	.140	3.879	.393	2833.	4336.	0.	.481
16	.170	.140	3.879	.479	607.	3947.	16711.	.924
17	.180	.140	3.879	.518	387.	3840.	17165.	.903
18	.150	.140	3.879	.393	1032.	4744.	10263.	.873
19	.240	.140	8.697	.208	1000.	3050.	8553.	.929
20	.300	.140	8.697	.318	1084.	2508.	17940.	.950
21	.370	.140	8.697	.459	992.	2088.	22899.	.972
22	.410	.140	8.697	.529	895.	1981.	23788.	.966
23	.430	.140	8.697	.559	567.	2041.	24630.	.991
24	.460	.140	8.697	.610	527.	1935.	24292.	.958
25	.470	.140	8.697	.625	219.	1898.	24490.	.959
26	.460	.140	8.697	.610	492.	1939.	24861.	.978
27	.430	.140	8.697	.559	1024.	2046.	24243.	.978
28	.340	.140	8.697	.401	1918.	2479.	21500.	.995
29	.220	.140	8.697	.169	2964.	3543.	0.	.914

LOAD COMBINATION: LC4

B (<1.) OR H/B (>1.): 0,140

NODE	HEIGHT	WIDTH	Lc	RATIO	SHEAR	COMPR	BEND	COMP+BEND
1	.160	.090	6.643	.152	2702.	3835.	0.	.876
2	.260	.090	6.643	.402	1663.	2516.	24377.	.924
3	.320	.090	6.643	.543	834.	2108.	27913.	.944
4	.330	.090	6.643	.563	309.	2053.	29463.	.981
5	.330	.090	6.643	.563	450.	2053.	28604.	.956
6	.310	.090	6.643	.522	817.	2164.	28365.	.966
7	.280	.090	6.643	.453	904.	2345.	26959.	.962
8	.250	.090	6.643	.376	1191.	2363.	25788.	.966
9	.210	.090	6.643	.272	1418.	2642.	20652.	.936
10	.160	.090	6.097	.184	1556.	3346.	9873.	.919
11	.210	.090	6.097	.317	774.	2451.	22950.	.934
12	.230	.090	6.097	.377	330.	2148.	25847.	.947
13	.230	.090	6.097	.377	421.	2059.	24922.	.912
14	.200	.090	6.097	.292	925.	2264.	21632.	.897
15	.130	.090	6.097	.118	1423.	3322.	0.	.983
16	.200	.090	6.097	.292	925.	2264.	21632.	.897
17	.230	.090	6.097	.377	421.	2059.	24922.	.912
18	.230	.090	6.097	.377	330.	2148.	25847.	.947
19	.210	.090	6.097	.317	774.	2451.	22950.	.934
20	.160	.090	6.097	.184	1556.	3346.	9873.	.919
21	.210	.090	6.643	.272	1418.	2642.	20652.	.936
22	.250	.090	6.643	.376	1191.	2363.	25788.	.966
23	.280	.090	6.643	.453	904.	2345.	26959.	.962
24	.310	.090	6.643	.522	817.	2164.	28365.	.966
25	.330	.090	6.643	.563	450.	2053.	28604.	.956
26	.330	.090	6.643	.563	309.	2053.	29462.	.981
27	.320	.090	6.643	.543	834.	2108.	27913.	.944
28	.260	.090	6.643	.402	1663.	2516.	24377.	.924
29	.160	.090	6.643	.152	2702.	3835.	0.	.876

LOAD CASE	LC1
------------------	------------

EXTRACT FROM RESULTS: ce = computer execution

See bending, most determinative row:

NODE:	4
b _{ce} =	0,140 m
h _{ce} =	0,550 m
L _{ce} =	6,643 m
σ _{bd,ce} =	18097 kN/m ²
σ _{cd,ce} =	2102 kN/m ²

See values at the foot and at the apex:

h _{foot,ce} =	0,320 m
σ _{vd,foot,ce} =	2305 kN/m ²
σ _{cd,foot,ce} =	3272 kN/m ³
h _{apex,ce} =	0,190 m
σ _{vd,apex,ce} =	1661 kN/m ²

THE SELECTION OF THE FINAL DIMENSION:

b =	0,140 m	Slenderness
h _{near apex} / h _{foot} =	0,450	ratio
h _{apex} =	0,350 m	4,8

UTILIZATION RATES FOR GLULAM:

Compression and bending (buckling)

$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \times f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d} \times k_h}$	= 0,707	h-direction	OK

$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \times f_{c,0,d}} + \frac{k_m \times \sigma_{m,y,d}}{f_{m,d} \times k_h}$	= 0,899	b-direction	OK
, where k _h = 1,00 and k _m = 0,7			

Compression and bending (swing)

$\left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d} \times k_{crit}}\right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \times f_{c,0,d}}$	= 0,908	b-direction	OK
, where k _{crit} = 0,92			
, when bracing c/c = 4,200 m			

Shear:

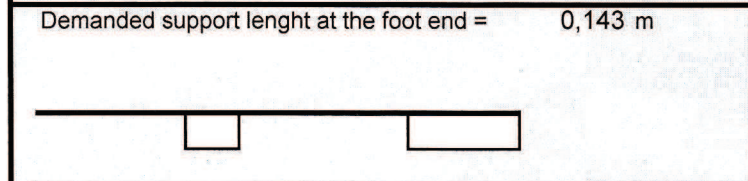
$\frac{\sigma_{vd}}{f_{vd} \times k_{cr}}$	= 0,475	h-direction	OK
--	---------	-------------	-----------

Tension perpendicular to the grain due to the bending moment

Doesn't appear	<input checked="" type="checkbox"/>	$\frac{\sigma_{\perp,d}}{k_{dis} \times k_{vol} \times f_{\perp,d}}$	= 0,000	h-direction	OK
----------------	-------------------------------------	--	---------	-------------	-----------

SUPPORT REACTIONS:

Horizontal:	Vertical dir.
H _{pd,i} = 106 kN	F _{yd} = 167 kN
H _{gd,i} = 17 kN	F _{y,gd} = 26 kN
H _{qd,i} = 90 kN	F _{y,qd} = 141 kN
H _{wd,o} = 24 kN horizontal	



FOR ADDITIONAL CALCULATION:

σ _{m,d} = (M _{d,max} / W) × k _L =	1,05	12960 kN/m ²
σ _{c,0,d} = N _d / (b × h) =		1736 kN/m ²
σ _{v,max,d} = 1,5 × V _d / (b × h) =		1108 kN/m ²
σ _{⊥,d} = k _p · (6 M _{d,max}) / (b · h ²) =		0 kN/m ²
V _{apex,d} = σ _{vd,apex,ce} × b _{ce} × h _{apex,ce} / 1,5 =		29 kN
V _{foot,d} = σ _{vd,foot,ce} × b _{ce} × h _{foot,ce} / 1,5 =		69 kN
W = (b × h ²) / 6 =		0,0103 m ³
W _{h, near apex} = (b × h ²) / 6 =		0,0047 m ³
M _{d,max} = σ _{bd,ce} × W _{ce} =	W _{ce} = 0,01	128 kNm
N _d = σ _{cd,ce} × b _{ce} × h _{ce} =		162 kN
N _{foot,d} = σ _{cd,foot,ce} × b _{ce} × h _{foot,ce} =		147 kN
Support lenght at the foot		0,200 m

FURTHER EXAMINATION

L _c = L _{ce} × 1,25 =	8,304 m
L _{ef,y} = L _c × 0,9 =	7,473 m
L _{ef,z} = a + 2h = 4,200 + 2h =	5,532 m
λ _v = L _{ef,v} / (0,289 × h) =	39 h-direction
λ _z = L _{ef,z} / (0,289 × h) =	137 b-direction
λ _{rel,y} = √(f _{c,0,k} / σ _{c,crit,y}) =	0,59 h-direction
where σ _{c,crit,v} = (π ² × E _{0,05}) / λ _v ² =	70702 kN/m ²
λ _{rel,z} = √(f _{c,0,k} / σ _{c,crit,z}) =	2,09 b-direction
where σ _{c,crit,z} = (π ² × E _{0,05}) / λ _z ² =	5702 kN/m ²
k _{c,y} = 1 / (k _y + √(k _y ² - λ _{rel,y} ²)) =	0,99 h-direction
where k _y = 0,5 × (1 + β _c × (λ _{rel,y} - 0,5) + λ _{rel,y} ²) =	0,68
k _{c,z} = 1 / (k _z + √(k _z ² - λ _{rel,z} ²)) =	0,22 b-direction
where k _z = 0,5 × (1 + β _c × (λ _{rel,z} - 0,5) + λ _{rel,z} ²) =	2,77
, where β _c = 0,1	
λ _{rel,m} = √(f _{m,k} / σ _{m,crit}) =	0,86
where σ _{m,crit} = (c × b ² × E _{0,05}) / h × L _{ef,y} =	40793 kN/m ²
λ _{rel,m} = √(f _{m,k} / σ _{m,crit}) =	1,00
where σ _{m,crit} = (c × D × E _{0,05}) / n × L _{ef,y} =	30196 kN/m ²
, where c = 0,71	
N _{gd,sw} = (1 - k _{crit}) × M _{gd} / h =	6 kN
N _{qd,sw} = (1 - k _{crit}) × M _{qd} / h =	30 kN
, where k _{crit} = 0,81	
N _{gd} =	25 kN
N _{qd} =	137 kN

CHARACTERISTIC STRENGTH VALUES FOR GLUED LAMINATED TIMBER GL30c

f _{vk} =	3500	kN/m ²
f _{c,0,k} =	25000	kN/m ²
f _{c,⊥,k} =	3000	kN/m ²
f _{m,k} =	30000	kN/m ²
f _{⊥,k} =	500	kN/m ²
E _{0,05} =	10800000	kN/m ²

ACTIONS ON ACCOMPANYING CONSTRUCTIONS

For bracing in z-direction / junction

F _{gd} = k (N _{gd,tot}) / 80 =	0,4 kN
F _{qd} = k (N _{qd,tot}) / 80 =	2,1 kN
, where k = 1,00 --> F _{pd} = 2,5 kN	

For stabilization construction(s) / arch

g _{d,tot} = k _L (N _{gd,tot}) / 50 L =	0,03 kN/m
q _{d,tot} = k _L (N _{qd,tot}) / 50 L =	0,14 kN/m
where k _L = min: 1; √(15 / L) = 0,85	

LOAD CASE		LC2
EXTRACT FROM RESULTS: ce = computer execution		
See bending, most determinative row:		
NODE:	13	
b _{ce} =	0,140	m
h _{ce} =	0,400	m
L _{ce} =	7,186	m
σ _{bd,ce} =	17932	kN/m ²
σ _{cd,ce} =	1551	kN/m ²
See values at the foot and at the apex:		
h _{foot,ce} =	0,270	m
σ _{vd,foot,ce} =	2276	kN/m ²
σ _{cd,foot,ce} =	2781	kN/m ²
h _{apex,ce} =	0,170	m
σ _{vd,apex,ce} =	2244	kN/m ²

THE SELECTION OF THE FINAL DIMENSION:		
b =	0,140	m Slenderness
h _{near apex} / h _{foot} =	0,450	0,666 ratio
h _{apex} =	0,350	m 4,8

UTILIZATION RATES FOR GLULAM:

Compression and bending (buckling) near apex		
$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \times f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d} \times k_h}$	= 0,763	h-direction OK

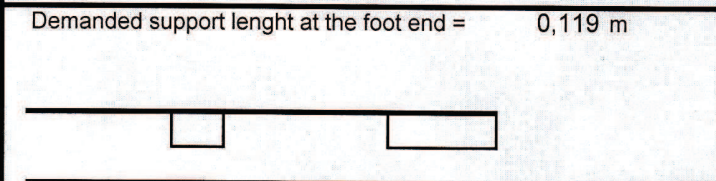
$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \times f_{c,0,d}} + \frac{k_m \times \sigma_{m,y,d}}{f_{m,d} \times k_h}$	= 0,855	b-direction OK
, where kh= 1,00 and km= 0,7		

Compression and bending (swing) near apex		
$\left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d} \times k_{crit}}\right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \times f_{c,0,d}}$	= 0,927	b-direction OK
, where k _{crit} = 0,92		
, when bracing c/c = 4,200 m		

Shear:		
At apex <input checked="" type="checkbox"/>	$\frac{\sigma_{vd}}{f_{vd} \times k_{cr}}$	= 0,467 h-direction OK

Tension perpendicular to the grain due to the bending moment		
Doesn't appear <input checked="" type="checkbox"/>	$\frac{\sigma_{tLd}}{k_{dis} \times k_{vol} \times f_{tLd}}$	= 0,000 h-direction OK

SUPPORT REACTIONS:		
Horizontal:	Vertical dir.	
Hpd,i = 106 kN	Fyd =	167 kN
Hgd,i = 17 kN	Fy,gd =	26 kN
Hqd,i = 90 kN	Fy,qd =	141 kN
Hwd,o = 24 kN horizontal		



FOR ADDITIONAL CALCULATION:		
σ _{m,d} = (M _{d,max} / W) × k _L =	k _L = 1,032	14622 kN/m ²
σ _{c,0,d} = N _d / (b × h) =		1379 kN/m ²
σ _{v,max,d} = 1,5 × V _d / (b × h) =		1090 kN/m ²
σ _{tLd} = k _p × (6 M _{d,max}) / (b × h ²) =		0 kN/m ²
V _{apex,d} = σ _{vd,apex,ce} × b _{ce} × h _{apex,ce} / 1,5 =		36 kN
V _{foot,d} = σ _{vd,foot,ce} × b _{ce} × h _{foot,ce} / 1,5 =		57 kN
W _h = (b × h ²) / 6 =		0,0103 m ³
W _{h, near apex} = (b × h ²) / 6 =		0,0047 m ³
M _{d,max} = σ _{bd,ce} × W _{ce} =	W _{ce} = 0,00	67 kNm
N _d = σ _{cd,ce} × b _{ce} × h _{ce} =		87 kN
N _{foot,d} = σ _{cd,foot,ce} × b _{ce} × h _{foot,ce} =		105 kN
Support length at the foot	0,200	

FURTHER EXAMINATION		
L _c = L _{ce} × 1,25 =		8,983 m
L _{ef,y} = L _c × 0,9 =		8,084 m
L _{ef,z} = a + 2h = 4,200 + 2h =		5,532 m
λ _v = L _{ef,y} / (0,289 × h) =		42 h-direction
λ _z = L _{ef,z} / (0,289 × h) =		137 b-direction
λ _{rel,y} = √(f _{c,0,k} / σ _{c,crit,y}) =		0,64 h-direction
where σ _{c,crit,y} = (π ² × E _{0,05}) / λ _v ² =		60421 kN/m ²
λ _{rel,z} = √(f _{c,0,k} / σ _{c,crit,z}) =		2,09 b-direction
where σ _{c,crit,z} = (π ² × E _{0,05}) / λ _z ² =		5702 kN/m ²
k _{c,y} = 1 / (k _y + √(k _y ² - λ _{rel,y} ²)) =		0,98 h-direction
where k _y = 0,5 × (1 + β _c × (λ _{rel,y} - 0,5) + λ _{rel,y} ²) =		0,71
k _{c,z} = 1 / (k _z + √(k _z ² - λ _{rel,z} ²)) =		0,22 b-direction
where k _z = 0,5 × (1 + β _c × (λ _{rel,z} - 0,5) + λ _{rel,z} ²) =		2,77
, where β _c = 0,1		
λ _{rel,m} = √(f _{m,k} / σ _{m,crit}) =		0,86
where σ _{m,crit} = (c × b × E _{0,05}) / h × L _{ef,z} =		40793 kN/m ²
λ _{rel,m} = √(f _{m,k} / σ _{m,crit}) =		1,04
where σ _{m,crit} = (c × D × E _{0,05}) / n × L _{ef,y} =		27914 kN/m ²
, where c = 0,71		
N _{gd,sw} = (1 - k _{crit}) × M _{gd} / h =		3 kN
N _{qd,sw} = (1 - k _{crit}) × M _{qd} / h =		18 kN
, where k _{crit} = 0,78		
N _{gd} =		13 kN
N _{qd} =		73 kN

CHARACTERISTIC STRENGTH VALUES FOR GLUED LAMINATED TIMBER GL30c		
f _{vk} =	3500	kN/m ²
f _{c,0,k} =	25000	kN/m ²
f _{c⊥,k} =	3000	kN/m ²
f _{m,k} =	30000	kN/m ²
f _{tLk} =	500	kN/m ²
E _{0,05} =	10800000	kN/m ²

ACTIONS ON ACCOMPANYING CONSTRUCTIONS		
For bracing in z-direction / junction		
F _{gd} = k (N _{gd,tot}) / 80 =		0,2 kN
F _{qd} = k (N _{qd,tot}) / 80 =		1,1 kN
, where k = 1,00 --> F _{pd} = 1,4 kN		
For stabilization construction(s) / arch		
g _{d,tot} = k _L (N _{gd,tot}) / 50 L =		0,01 kN/m
q _{d,tot} = k _L (N _{qd,tot}) / 50 L =		0,07 kN/m
where k _L = min: 1; √(15 / L) = 0,85		

LOAD CASE LC3

EXTRACT FROM RESULTS: ce = computer execution

See bending, most determinative row:

NODE:	25
b _{ce} =	0,140 m
h _{ce} =	0,470 m
L _{ce} =	8,697 m
σ _{bd ce} =	24490 kN/m ²
σ _{cd ce} =	1898 kN/m ²

See values at the foot and at the apex:

h _{foot,ce} =	0,220 m
σ _{vd,foot,ce} =	2964 kN/m ²
σ _{cd,foot,ce} =	3543 kN/m ²
h _{apex,ce} =	0,150 m
σ _{vd,apex,ce} =	2833 kN/m ²

THE SELECTION OF THE FINAL DIMENSION:

b =	0,140 m	Slenderness ratio
h _{near apex} / h _{foot} =	0,450	0,666
h _{apex} =	0,350 m	4,8

UTILIZATION RATES FOR GLULAM:

Compression and bending (buckling)

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \times f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d} \times k_h} = 0,495 \quad \text{h-direction OK}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \times f_{c,0,d}} + \frac{k_m \times \sigma_{m,y,d}}{f_{m,d} \times k_h} = 0,571 \quad \text{b-direction OK}$$

, where kh= 1,00 and km= 0,7

Compression and bending (swing)

$$\left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d} \times k_{crit}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \times f_{c,0,d}} = 0,490 \quad \text{b-direction OK}$$

, where k_{crit}= 0,92
 , when bracing c/c = 4,200 m

Shear:

$$\frac{\sigma_{vd}}{f_{vd} \times k_{cr}} = 0,378 \quad \text{h-direction OK}$$

Tension perpendicular to the grain due to the bending moment

Doesn't appear $\frac{\sigma_{\perp,d}}{k_{dis} \times k_{vol} \times f_{\perp,d}} = 0,000 \quad \text{h-direction OK}$

SUPPORT REACTIONS:

Horizontal:	Vertical dir.
H _{pd,i} = 79 kN	F _{yd} = 125 kN
H _{gd,i} = 17 kN	F _{y,gd} = 26 kN
H _{qd,i} = 63 kN	F _{y,qd} = 177 kN
H _{wd,o} = 14 kN horizontal	

FOR ADDITIONAL CALCULATION:

$$\sigma_{m,d} = (M_{d,max} / W) \times k_L = 12808 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{c,0,d} = N_d / (b \times h) = 1339 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{v,max,d} = 1,5 \times V_d / (b \times h) = 1214 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{\perp,d} = k_p \cdot (6 M_{d,max}) / (b \cdot h^2) = 0 \text{ kN/m}^2$$

$$V_{apex,d} = \sigma_{vd,apex,ce} \times b_{ce} \times h_{apex,ce} / 1,5 = 40 \text{ kN}$$

$$V_{foot,d} = \sigma_{vd,foot,ce} \times b_{ce} \times h_{foot,ce} / 1,5 = 61 \text{ kN}$$

$$W_h = (b \times h^2) / 6 = 0,0103 \text{ m}^3$$

$$W_{h,near\ apex} = (b \times h^2) / 6 = 0,0047 \text{ m}^3$$

$$M_{d,max} = \sigma_{bd,ce} \times W_{ce} = 126 \text{ kNm}$$

$$N_d = \sigma_{cd,ce} \times b_{ce} \times h_{ce} = 125 \text{ kN}$$

$$N_{foot,d} = \sigma_{cd,foot,ce} \times b_{ce} \times h_{foot,ce} = 109 \text{ kN}$$

FURTHER EXAMINATION

$$L_c = L_{c,ce} \times 1,25 = 10,871 \text{ m}$$

$$L_{ef,y} = L_c \times 0,9 = 9,784 \text{ m}$$

$$L_{ef,z} = a + 2h = 4,200 + 2h = 5,532 \text{ m}$$

$$\lambda_v = L_{ef,v} / (0,289 \times h) = 51 \text{ h-direction}$$

$$\lambda_z = L_{ef,z} / (0,289 \times h) = 137 \text{ b-direction}$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit,y}} = 0,78 \text{ h-direction}$$

where $\sigma_{c,crit,v} = (\pi^2 \times E_{0,05}) / \lambda_v^2 = 41250 \text{ kN/m}^2$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit,z}} = 2,09 \text{ b-direction}$$

where $\sigma_{c,crit,z} = (\pi^2 \times E_{0,05}) / \lambda_z^2 = 5702 \text{ kN/m}^2$

$$k_{c,y} = 1 / (k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}) = 0,94 \text{ h-direction}$$

where $k_y = 0,5 \times (1 + \beta_c \times (\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2) = 0,82$

$$k_{c,z} = 1 / (k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}) = 0,22 \text{ b-direction}$$

where $k_z = 0,5 \times (1 + \beta_c \times (\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2) = 2,77$

, where $\beta_c = 0,1$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{f_{m,k} / \sigma_{m,crit}} = 0,86$$

where $\sigma_{m,crit} = (c \cdot b^2 \cdot E_{0,05}) / h \cdot L_{ef,z} = 40793 \text{ kN/m}^2$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{f_{m,k} / \sigma_{m,crit}} = 1,14$$

where $\sigma_{m,crit} = (c \cdot b^2 \cdot E_{0,05}) / h \cdot L_{ef,y} = 23064 \text{ kN/m}^2$

, where c = 0,71

$$N_{gd,sw} = (1 - k_{crit}) \times M_{gd} / h = 9 \text{ kN}$$

$$N_{qd,sw} = (1 - k_{crit}) \times M_{qd} / h = 47 \text{ kN}$$

, where k_{crit}= 0,70

$$N_{gd} = 19 \text{ kN}$$

$$N_{qd} = 105 \text{ kN}$$

In resultant dir.	CHARACTERISTIC STRENGTH VALUES FOR GLUED LAMINATED TIMBER GL30c
F _d = 132 kN	f _{vk} = 3500 kN/m ²
F _{gd} = 27 kN	f _{c,0,k} = 25000 kN/m ²
F _{qd} = 161 kN	f _{c,⊥,k} = 3000 kN/m ²
Angle = 37,1 °	f _{m,k} = 30000 kN/m ²
	f _{t,⊥,k} = 500 kN/m ²
	E _{0,05} = 10800000 kN/m ²

ACTIONS ON ACCOMPANYING CONSTRUCTIONS

For bracing in z-direction / junction

$$F_{gd} = k (N_{gd,tot}) / 80 = 0,3 \text{ kN}$$

$$F_{qd} = k (N_{qd,tot}) / 80 = 1,4 \text{ kN}$$

, where k = 0,74 --> F_{pd} = 1,7 kN

For stabilization construction(s) / arch

$$g_{d,tot} = k_L (N_{gd,tot}) / 50 L = 0,02 \text{ kN/m}$$

$$q_{d,tot} = k_L (N_{qd,tot}) / 50 L = 0,12 \text{ kN/m}$$

where k_L = min: 1; $\sqrt{15 / L} = 0,85$

LOAD CASE	LC4	R 30	
EXTRACT FROM RESULTS: ce = computer execution			
See bending, most determinative row:			
NODE _i	4		
b _{ce} =	0,090	m	
h _{ce} =	0,330	m	
L _{ce} =	6,643	m	
σ _{bd,ce} =	29463	kN/m ²	
σ _{cd,ce} =	2053	kN/m ²	

See values at the foot and at the apex:

h _{foot,ce} =	0,160	m
σ _{vd,foot,ce} =	2702	kN/m ²
σ _{cd,foot,ce} =	3835	kN/m ²
h _{apex,ce} =	0,130	m
σ _{vd,apex,ce} =	1423	kN/m ²

THE SELECTION OF THE FINAL DIMENSION:

b _{fi} =	0,084	m
h _{near apex} / h _{foot} =	0,394	0,610
h _{apex,fi} =	0,294	m

>> Slenderness ratio = 7,3

UTILIZATION RATES FOR GLULAM:

Compression and bending (buckling)

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_{c,y,fi} \times f_{c,0,d,fi}} + \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{f_{m,d,fi} \times Kh} = 0,322 \quad \text{h-direction} \quad \text{OK}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_{c,z,fi} \times f_{c,0,d,fi}} + \frac{k_m \times \sigma_{m,y,d,fi}}{f_{m,d,fi} \times Kh} = 0,693 \quad \text{b-direction} \quad \text{OK}$$

, where Kh= 1,00 and km= 0,7

Compression and bending (swing)

$$\left(\frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{f_{m,d,fi} \times k_{crit}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_{c,z,fi} \times f_{c,0,d,fi}} = 0,575 \quad \text{h-direction} \quad \text{OK}$$

, where k_{crit}= 1,00
 , when bracing c/c = 4,200 m

Tension perpendicular to the grain due to the bending moment

$$\frac{\sigma_{\perp,d,fi}}{k_{dis} \times k_{vol} \times f_{\perp,d,fi}} = 0,000 \quad \text{h-direction} \quad \text{OK}$$

FOR ADDITIONAL CALCULATION:

$$\sigma_{m,d,fi} = (M_{d,max} / W) \times k_L = k_L = 1,045 \quad 9657 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{c,0,d,fi} = N_d / (b \times h_{fi}) = 1190 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{vd,max,fi} = 1,5 \times V_{d,fi} / (b_{fi} \times h_{fi}) = 759 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{\perp,d,fi} = k_p \times (6 M_{d,max} / (b_{fi} \times h_{fi}^2)) = 0 \text{ kN/m}^2$$

$$V_{apex,d,fi} = \sigma_{vd,apex,ce} \times b_{ce} \times h_{apex,ce} / 1,5 = 11 \text{ kN}$$

$$V_{foot,d,fi} = \sigma_{vd,foot,ce} \times b_{ce} \times h_{foot,ce} / 1,5 = 26 \text{ kN}$$

$$W_{h,fi} = (b_{fi} \times h_{fi}^2) / 6 = 0,0052 \text{ m}^3$$

$$W_{h,near\ apex,fi} = (b \times h^2) / 6 = 0,0022 \text{ m}^3$$

$$M_{d,max,fi} = \sigma_{bd,ce} \times W_{ce} = W_{ce} = 0,00 \quad 48 \text{ kNm}$$

$$N_{d,fi} = \sigma_{cd,ce} \times b_{ce} \times h_{ce} = 61 \text{ kN}$$

$$N_{foot,d} = \sigma_{cd,foot,ce} \times b_{ce} \times h_{foot,ce} = 55 \text{ kN}$$

FURTHER EXAMINATION

$$L_c = L_{ce} \times 1,25 = 8,304 \text{ m}$$

$$L_{ef,y} = L_c \times 0,9 = 7,473 \text{ m}$$

$$L_{ef,z} = a + 2h_{fi} = 4,200 + 2h = 5,420 \text{ m}$$

$$\lambda_y = L_{ef,y} / (0,289 \times h_{fi}) = 42 \text{ h-direction}$$

$$\lambda_z = L_{ef,z} / (0,289 \times h_{fi}) = 223 \text{ b-direction}$$

$$\lambda_{rel,y,fi} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit,y}} = 0,65 \text{ h-direction}$$

where $\sigma_{c,crit,y} = (\pi^2 \times E_{0,05}) / \lambda_{y,fi}^2 = 59312 \text{ kN/m}^2$

$$\lambda_{rel,z,fi} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit,z}} = 3,42 \text{ b-direction}$$

where $\sigma_{c,crit,z} = (\pi^2 \times E_{0,05}) / \lambda_{z,fi}^2 = 2138 \text{ kN/m}^2$

$$k_{c,y,fi} = 1 / (k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y,fi}^2}) = 0,98 \text{ h-direction}$$

where $k_y = 0,5 \times (1 + \beta_c \times (\lambda_{rel,y,fi} - 0,5) + \lambda_{rel,y,fi}^2) = 0,72$

$$k_{c,z,fi} = 1 / (k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z,fi}^2}) = 0,08 \text{ b-direction}$$

where $k_z = 0,5 \times (1 + \beta_c \times (\lambda_{rel,z,fi} - 0,5) + \lambda_{rel,z,fi}^2) = 6,49$
 , where $\beta_c = 0,1$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{f_{m,k} / \sigma_{m,crit}} = 1,35$$

where $\sigma_{m,crit} = (c \times b^2 \times E_{0,05}) / h_{fi} \times L_{ef,z} = 16365 \text{ kN/m}^2$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{f_{m,k} / \sigma_{m,crit}} = 1,59$$

where $\sigma_{m,crit} = (c \times b^2 \times E_{0,05}) / h_{fi} \times L_{ef,y} = 11868 \text{ kN/m}^2$
 , where $c = 0,71$

$$N_{gd,sw,fi} = (1 - k_{crit}) \times M_{gd,fi} / h_{fi} = 9 \text{ kN}$$

$$N_{qd,sw,fi} = (1 - k_{crit}) \times M_{qd,fi} / h_{fi} = 38 \text{ kN}$$

, where k_{crit}= 0,40

$$N_{gd,fi} = 12 \text{ kN}$$

$$N_{qd,fi} = 49 \text{ kN}$$

ACTIONS ON ACCOMPANYING CONSTRUCTIONS

For bracing in z-direction / junction

$$F_{p,fi} = k (N_{pd,tot,fi}) / 80 = 1,1 \text{ kN}$$

, where k = 0,78 0,776987 0,777

For stabilization construction(s) / arch

$$g_{d,tot,fi} = k_L (N_{gd,tot,fi}) / 50 L = 0,02 \text{ kN/m}$$

$$q_{d,tot,fi} = k_L (N_{qd,tot,fi}) / 50 L = 0,07 \text{ kN/m}$$

where $k_L = \min(1; 15 / \sqrt{L}) = 0,85$

Liite 4. Räystäspilarin mitoitus

Normaalivoima

$$N_d = (1,5 \cdot 2,1 \text{ kN/m}^2 + 1,15 \cdot 0,5 \text{ kN/m}^2) \cdot 1,9\text{m} \cdot 3,6\text{m} = 25,5\text{kN}$$

Tuulesta aiheutuva momentti

$$p_{wd} = 1,5 \cdot 0,58 \text{ kN/m}^2 \cdot 3,6\text{m} = 3,1 \text{ kN/m}$$

$$M_{wd} = \frac{3,1 \text{ kN/m} \cdot (3,3\text{m})^2}{8} = 4,2\text{kNm}$$

Mitoittavat jännitykset

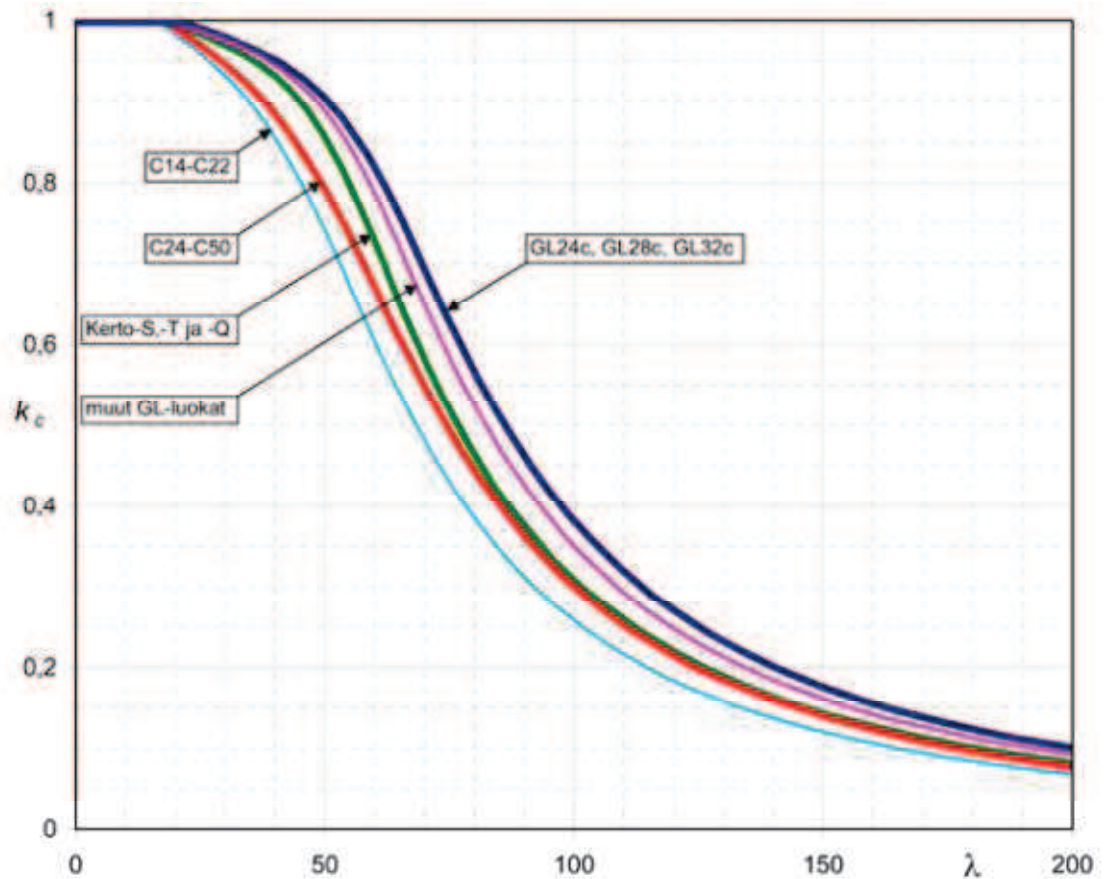
$$\sigma_{m,y,d} = \frac{4,2 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{\frac{140\text{mm} \cdot (135\text{mm})^2}{6}} = 9,9 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{25,5 \cdot 10^3 \text{ N}}{140\text{mm} \cdot 135\text{mm}} = 1,3 \text{ N/mm}^2$$

Nurjahduskertoimet

$$\lambda_y = \frac{L_{c,y}}{L_y} = \frac{1,0 \cdot 1900\text{mm}}{0,289 \cdot 135\text{mm}} = 49$$

$$\lambda_z = \frac{L_{c,z}}{L_z} = \frac{1,0 \cdot 3300\text{mm}}{0,289 \cdot 140\text{mm}} = 82$$



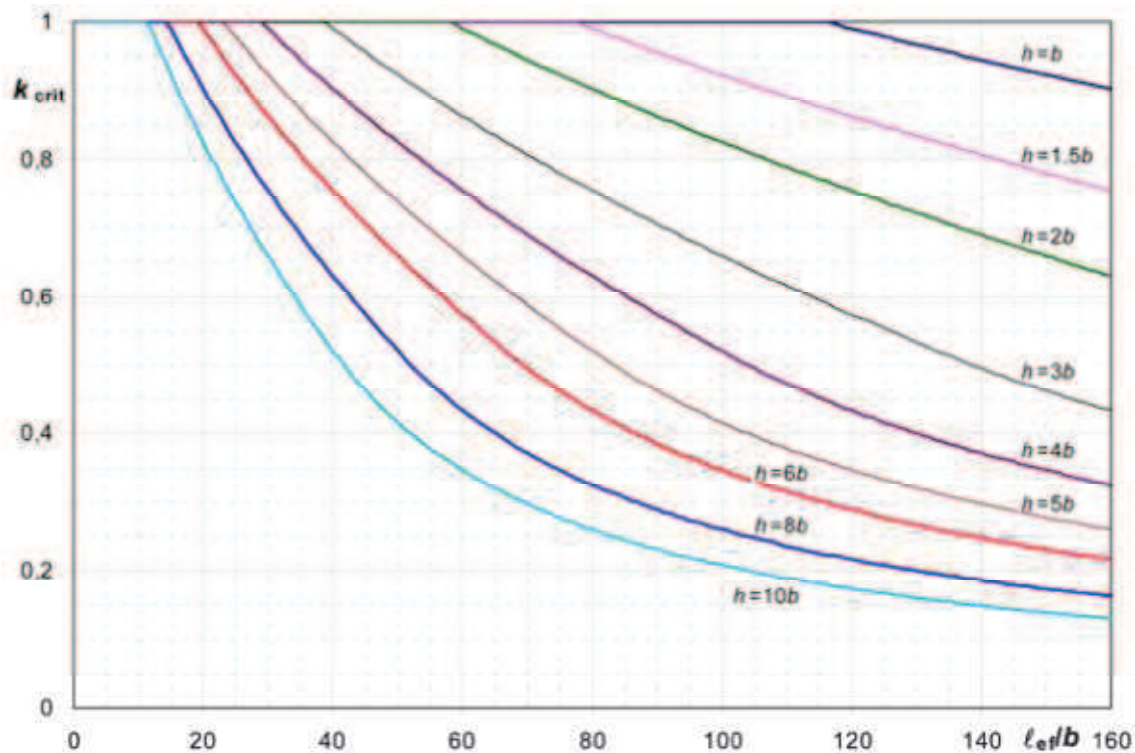
taulukosta $\rightarrow k_{c,y} = 0,90, k_{c,z} = 0,55$

Kiepahduskerroin

$$l_{ef} = a + 2h = 1900 + 2 \cdot 135 = 2170$$

$$\frac{h}{b} = \frac{135\text{mm}}{140\text{mm}} \approx 1$$

$$\frac{l_{ef}}{b} = \frac{2170\text{mm}}{140\text{mm}} = 16$$



taulukosta $\rightarrow k_{crit} = 1$

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{c,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,d}} = \left(\frac{9,9 \text{ N/mm}^2}{1 \cdot 27,5 \text{ N/mm}^2}\right)^2 + \frac{1,3 \text{ N/mm}^2}{0,55 \cdot 22,9 \text{ N/mm}^2} = 0,23$$

$$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{c,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,d}} = \frac{9,9 \text{ N/mm}^2}{27,5 \text{ N/mm}^2} + \frac{1,3 \text{ N/mm}^2}{0,90 \cdot 22,9 \text{ N/mm}^2} = 0,42$$

$$k_m \cdot \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{c,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,d}} = 0,7 \cdot \frac{9,9 \text{ N/mm}^2}{27,5 \text{ N/mm}^2} + \frac{1,3 \text{ N/mm}^2}{0,55 \cdot 22,9 \text{ N/mm}^2} = 0,36$$

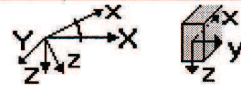
käyttöaste 42%

Liite 5. Rästaspalkin mitoitus

Timo Vehmanen

Laskelmat on tehty alla olevilla lähtötiedoilla vain kyseiselle rakenneosalle. Laskelmissa esitetty rakenneosan pituus ei ole tilausmitta. Tilausmitassa on otettava huomioon esim. tuennan vaatima lisäpituus.

Finnwood 2.3 SR1 (2.4.017)
RIL 205-1-2009 SR1 (02.07.2012)



PROJEKTITIEDOT:

Suunnittelija: Timo Vehmanen
Projekti: Pihatto
Asiakas: Kalle Nikula
Nimi:

RAKENNETIEDOT:

Rakennetyyppi: Kattopalkki/laatta
Materiaali: GL30c
Poikkileikkaus: 140x180
(B=140 mm, H=180 mm, A=25200 mm², I_y=68040000 mm⁴, W_y=756000 mm³)
Käyttöluokka: 2
Seuraamusluokka: CC2 (KFI=1.0)
Kulma: 18.4 astetta
Jako/kuormituslev.: 3600 mm (pintakuormille)

Uloke-/jännevälipituudet:

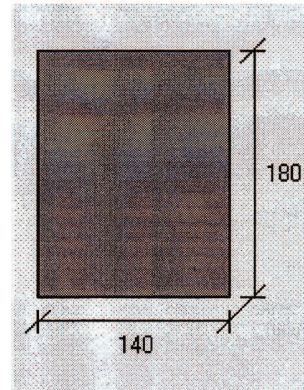
Uloke/jänneväli:	Vaakamitta [mm]:	Pystymitta [mm]:	Aksiaalinen [mm]:
Vasen uloke	1000.0	332.7	1053.9
Jänneväli 1	920.0	306.0	969.6
Jänneväli 2	2700.0	898.2	2845.5
Yhteensä:	4620.0	1536.9	4868.9

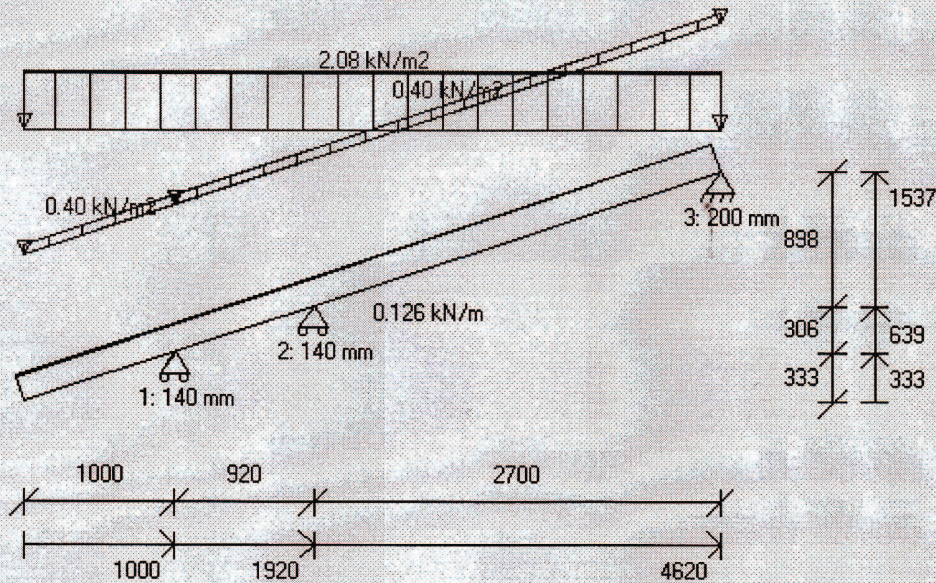
Tuki:	Sijainti x [mm]:	Leveys [mm]:	Tyyppi:
1:	1054	140	Liukutuki (Z)
2:	2023	140	Liukutuki (Z)
3:	4869	200	Kiinteä niveltuki (X,Z)

f _{m,k} (M _y):	33.00 N/mm ²
f _{m,k} (M _z):	30.00 N/mm ²
f _{c,0,k} :	25.00 N/mm ²
f _{c,90,k} :	3.00 N/mm ²
f _{t,0,k} :	22.00 N/mm ²
f _{v,k} (V _z):	3.50 N/mm ²
f _{v,k} (V _y):	3.50 N/mm ²
E _{mean} :	13000 N/mm ²
G _{mean} :	650 N/mm ²
E 0.05:	10800 N/mm ²
G 0.05:	540 N/mm ²
Tilavuuspaino:	5.00 kN/m ³ (omapainon laskentaa varten)

Osavarmuusluku:	1.20
Aikaluokka:	kmod:
Pysyvä:	0.600
Pitkäaikainen:	0.700
Keskipitkä:	0.800
Lyhytaikainen:	0.900
Hetkellinen:	1.100

kdef:	0.800
-------	-------





KUORMITUSTIEDOT:

Omapaino (Omapaino, Pysyvä):		
Rakenneseosan paino:	QZ = 0.126 kN/m	x = 0 - 4869 mm
Pintakuorma: 1:	QZ = 0.400 kN/m²	x = 0 - 1054 mm
Pintakuorma: 2:	QZ = 0.400 kN/m²	x = 1054 - 4869 mm
Lumikuorma (Lumikuorma Sk<2.75 kN/m², Keskipitkä):		
Pintakuorma: 1:	QZ = 2.080 kN/m²	x = 0 - 4869 mm

KUORMITUSYHDISTELMÄT:

Yhdistelmä 1 (MRT, Pysyvä)
1.00*1.35*Omapaino
Yhdistelmä 2 (MRT, Keskipitkä)
1.00*1.15*Omapaino + 1.00*1.50*Lumikuorma
Yhdistelmä 4 (MRT, Keskipitkä)
1.00*1.15*Omapaino + 1.00*1.50*0.70*Lumikuorma
Yhdistelmä 7 (MRT, Pysyvä)
1.00*1.15*Omapaino
Yhdistelmä 9 (MRT, Pysyvä)
0.90*Omapaino
Yhdistelmä 12 (KRT)
1.00*Omapaino
Yhdistelmä 13 (KRT)
1.00*Omapaino + 1.00*Lumikuorma
Yhdistelmä 15 (KRT)
1.00*Omapaino + 1.00*0.70*Lumikuorma

MITOITUS:

Mitoitusstandardi:	EN 1995-1-1:2004 + A1:2008 + RIL 205-1-2009
Kokonaiskäyttöaste:	79.1 %

MITOITUSPARAMETRIT:	
Taipumaraja Winst:	L/400
Taipumaraja Wnet,fin:	L/300

Timo Vehmanen

Korotuskerroin, vasen uloke: 2.00
 Korotuskerroin, oikea uloke: 2.00
 Nurjahdus on estetty molempiin suuntiin (y ja z)
 Kiepahdus taivutuksesta My (y-askelin suhteen):
 Rakenne on täysin sivuttaistuettu yläpuolelta
 Kiepahdustukiväli rakenteen alapuolella: Lk2 = Päätukien välimatka
 Lef1 = Lk1 ja Lef2 = Lk2 (Esim. kuormitus neutraaliakselilla/kiepahdustukien kautta)
 HUOM! Lk1:ta käytetään, kun My>0 ja Lk2:ta, kun My<0

MITOITUKSEN ÄÄRIARVOT:

Tarkastelu:	Mitoitusarvo:	Raja-arvo:	Käyttöaste *):	Sijainti x:	
Leikkaus (z):	19.79 kN	39.20 kN	50.5 %	2023 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
Veto:	4.61 kN	369.60 kN	1.2 %	4869 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
Puristus:	6.58 kN	420.00 kN	1.6 %	2023 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
Taivutus (My):	8.44 kNm	16.63 kNm	50.8 %	2023 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
(ilman kiepahdusta):	8.44 kNm	16.63 kNm	50.8 %	2023 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
Taivutus+veto:	0.51	1.00	51.4 %	2023 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
(My=8.44 kNm, Mz=0.00 kNm, Nx=2.55 kN)					
Taivutus+puristus:	0.51	1.00	50.8 %	2023 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
(My=8.44 kNm, Mz=0.00 kNm, Nx=6.58 kN)					
Tukipaine, tuki 1:	16.25 kN	84.00 kN	19.4 %	1054 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
Tukipainekerroin = 2.14					
Tukipaine, tuki 2:	27.45 kN	84.00 kN	32.7 %	2023 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
Tukipainekerroin = 2.14					
Tukipaine, tuki 3:	13.85 kN	96.60 kN	14.3 %	4869 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
Tukipainekerroin = 1.73					
Vasen uloke, Winst:	4.2 mm	5.3 mm	79.1 %	0 mm	Yhdistelmä 13/1
Vasen uloke, Wnet,fin:	5.3 mm	7.0 mm	75.6 %	0 mm	Yhdistelmä 13/1
jänneväli 1, Winst:	-0.5 mm	2.4 mm	20.7 %	1582 mm	Yhdistelmä 13/1
jänneväli 1, Wnet,fin:	-0.6 mm	3.2 mm	19.8 %	1582 mm	Yhdistelmä 13/1
jänneväli 2, Winst:	5.3 mm	7.1 mm	74.8 %	3530 mm	Yhdistelmä 13/1
jänneväli 2, Wnet,fin:	6.8 mm	9.5 mm	71.6 %	3530 mm	Yhdistelmä 13/1

ÄÄRIARVOJEN KUORMITUSYHDISTELMÄT

Yhdistelmä 2/1 (Keskipitkä):
 1.15*Omapaino + 1.50*Lumikuorma
 Yhdistelmä 13/1 :
 1.00*Omapaino + 1.00*Lumikuorma

VOIMASUUREIDEN ÄÄRIARVOT:

Tulos:	Maksimiarvo:	Sijainti x:
Nx,max	6.58 kN	2023 mm
Vz,max	19.79 kN	2023 mm
My,max	8.44 kNm	2023 mm

TUKIREAKTIOT:

Tuki:	MRTmax:	MRTmin:	KRTmax:	KRTmin:
1:	17.13 kN	1.94 kN	11.92 kN	2.15 kN
2:	28.93 kN	3.27 kN	20.14 kN	3.64 kN
3:	14.60 kN	1.65 kN	10.16 kN	1.84 kN

- KRT tukireaktiot ovat vain vertailua varten

TUKIREAKTIOT KUORMITUSTAPAUKSITTAIN (OMINAISARVOT):

Kuormitustapaus:	Omapaino
Tuki:	FZ [kN]:
1:	2.15
2:	3.64
3:	1.84

Kuormitustapaus:	Lumikuorma
Tuki:	FZ [kN]:
1:	9.77
2:	16.50
3:	8.33

HUOMIOT:

- EN 1995-1-1-standardin, sen täydennysosan A1:2008 ja Suomen kansallisten liitteiden sekä RIL 205-1-2009 -suunnitteluohjeen mukainen laskenta
- VTT on tehnyt kolmannen osapuolen tarkistuksen ohjelmalle (VTT-S-03937-12)
- MRT = Murtorajatilä, KRT = Käyttörajalä
- *) Yhteisvaikutustarkasteluissa %-luku tarkoittaa mitoitusarvon ja raja-arvon suhdetta, ei todellista käyttöastetta
- Liittyvän alapuolisen rakenteen tukipainekestävyys tulee tarkistaa erikseen
- Mitoituksessa ei huomioida ulokkeiden alle 20 mm taipumaa ylöspäin
- Värähtely- ja taipumatarkastelua ei tehdä alle 200 mm pituisille ulokkeille
- Leikkausmuodonmuutos on mukana käyttörajalämitoituksessa
- Leikkausmuodonmuutos ei ole mukana voimasuureiden laskennassa

-
- Rakenneosan koon vaikutus lujuteen on otettu huomioon ominaisarvoissa kertoimilla kh ja kl
 - Suunnittelijan tulee kiinnittää huomiota myös rakennedetaljeihin ja varmistaa, ettei rakenteisiin muodostu vesitaskuja
 - Kuormitustiedoissa esitetään lumikuorman ominaisarvo katolla.
- Tämä on saatu kertomalla maassa oleva ominaislumikuorma katon muotokertoimella
-

Laskelmissa ei ole huomioitu rakennusaikaisia kuormia eikä kosteusolosuhteita. Mahdolliset rakennusaikaiset lisätuennat on mitoitettava erikseen. Rakennuksen kokonaisjäykistystä ja siitä johtuvia vaakavoimia ei ole huomioitu. Rakenneosan (palkki, pilari, laatta) soveltuvuus kokonaisuuteen on päärakennesuunnittelijan tarkistettava erikseen.

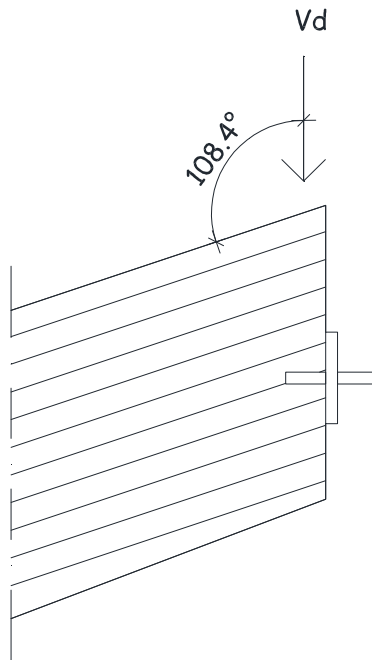
Finnwood-ohjelmistolla tehdyt laskelmat ja tulosteet ovat voimassa vain ohjelmistoon tallennettujen Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Woodin tuotteiden kanssa. Nämä tuotteet on tarvittaessa osoitettava rakennuspaikalla hankkeen osapuolille sekä viranomaisille. Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood tai sen tytäryhtiöt eivät vastaa käyttäjälle tai kolmannelle osapuolelle muiden valmistajien tuotteista tai niiden käytöstä Finnwood-ohjelmistossa, ohjelmiston perusteella näin tehdyistä laskelmista ja tulosteista tai kolmansien valmistajien tuotteista tai niiden käytöstä aiheutuneista virheistä, menetyksistä tai vahingoista. Näitä ehtoja ei saa poistaa tulosteesta.

Liite 6. Teräsosien mitoitus ja konepajakuvat

leikkausvoima harjalla

$$V_d = \frac{0,5 \cdot q_{sd} \cdot L}{8} = \frac{0,5 \cdot 1,5 \cdot 2,1 \text{ kN/m}^2 \cdot 3,6\text{m} \cdot 21,4\text{m}}{8} = 15,2\text{kN}$$

puristusjännitys vinosti syysuuntaan



$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

$$= \frac{16,7 \text{ N/mm}^2}{\frac{16,7 \text{ N/mm}^2}{1,5 \cdot 2 \text{ N/mm}^2} \cdot (\sin 108,4)^2 + (\cos 108,4)^2} = 3,3 \text{ N/mm}^2$$

Tukipintatarve

$$l = \frac{V_d}{\sigma_{c,\alpha,d} \cdot b} = \frac{15200N}{3,3N/mm^2 \cdot 140mm} = 32,9mm \rightarrow 50mm$$

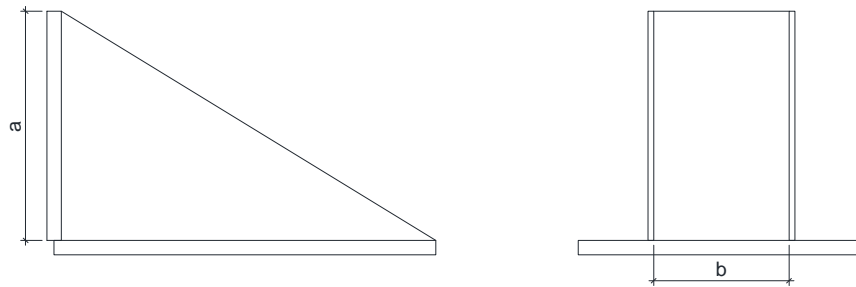
levyn paksuus

$$p_{d,TR} = \frac{V_d}{l} = \frac{15,2kN}{0,05m} = 304kN/m$$

$$M_d = \frac{p_{d,TR} \cdot l^2}{2} = \frac{304kN/m \cdot 0,05^2}{2} = 0,38kNm$$

$$h = \sqrt{\frac{6 \cdot M_d}{b \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 0,38 \cdot 10^6 Nmm}{140mm \cdot 355N/mm^2}} = 6,8mm \rightarrow 10mm$$

Kantanivelhela



Kehän tukivoima

$$L = 21,4m$$

$$h = 7,0m$$

$$p_d = (1,15 \cdot 0,5kN/m^2 + 1,5 \cdot 2,1kN/m^2) \cdot 3,6m = 13,4kN/m$$

$$H = \frac{p_d \cdot L^2}{8 \cdot h} = \frac{13,4kN/m \cdot (21,4m)^2}{8 \cdot 7,0m} = 109,6kN$$

Tukipintatarve

$$A = \frac{H}{f_{c,90,d} \cdot k_{c,90}} = \frac{109,6 \cdot 10^3 N}{2N/mm^2 \cdot 1,5} = 36533,3mm^2$$

$$a = \frac{A}{b} = \frac{36533,3mm^2}{140mm} = 261,0mm \Rightarrow b = 300mm$$

Levyn paksuus

$$p_{d,TH} = \frac{H}{l} = \frac{109,6kN}{0,140m} = 782,9 \text{ kN/m}$$

$$M_d = \frac{p_{d,TH} \cdot l^2}{8} = \frac{782,9 \text{ kN/m} \cdot (0,140m)^2}{8} = 1,92kNm$$

$$W = \frac{M_d}{\sigma} = \frac{1,92 \cdot 10^6 Nmm}{355N/mm^2} = 5408,5mm^3$$

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} \Rightarrow h = \sqrt{\frac{6 \cdot W}{l}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 3661,9mm^3}{140mm}} = 15mm$$

LATE-RAKENTEET OY

PL1 20101 TURKU
PUH. 020 755 1344
FAX 358 (0)2 240 2946
EMAIL sales@late.net



Teräsosa

TR1

14 kpl

Tekijä

TVe

Päiväys

18.4.13

Mittakaava

1:5

Revisiointit



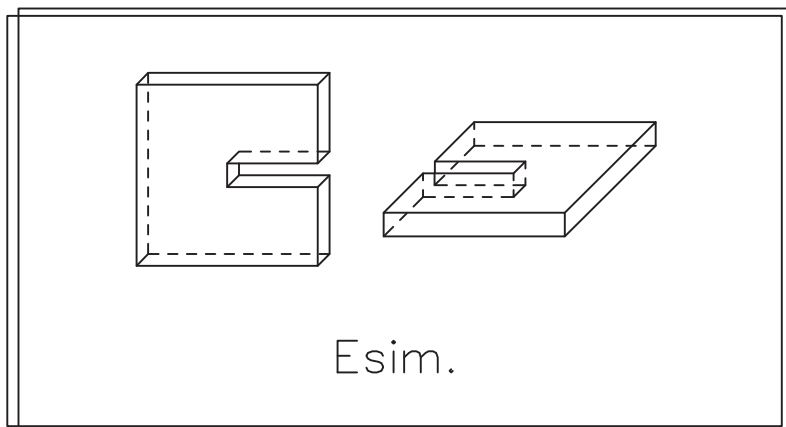
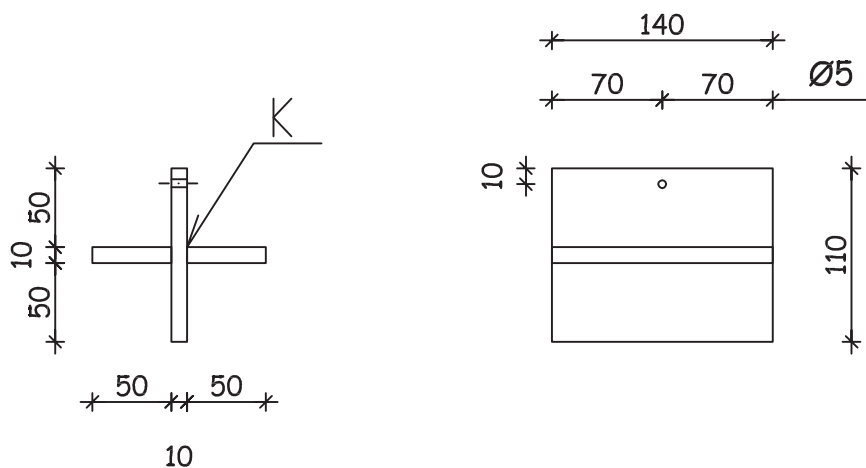
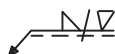
PINTAKÄSITTELY: KUUMASINKITTY

VÄRISÄVY: -

TERÄS : S355

HITSAUSLUOKKA: WC

HITSIT:



LATE-RAKENTEET OY

PL1 20101 TURKU
 PUH. 020 755 1344
 FAX 358 (0)2 240 2946
 EMAIL sales@late.net



Teräsosa
TH1

28 kpl

Tekijä TVe
 Päiväys 18.4.13

Mittakaava
 1:5

Revisiointit



PINTAKÄSITTELY: Sa2,5 + E200/2

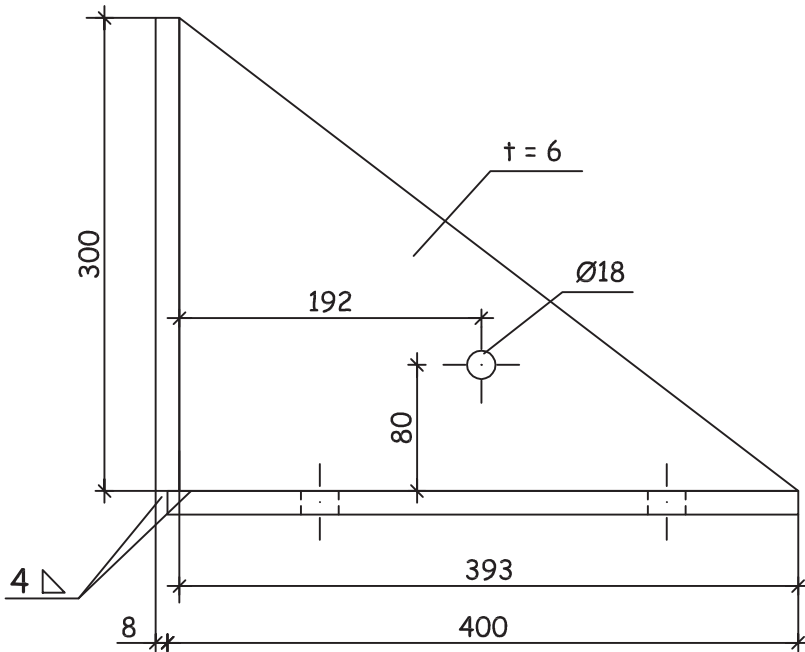
VÄRISÄVY: RR21

TERÄS : S355

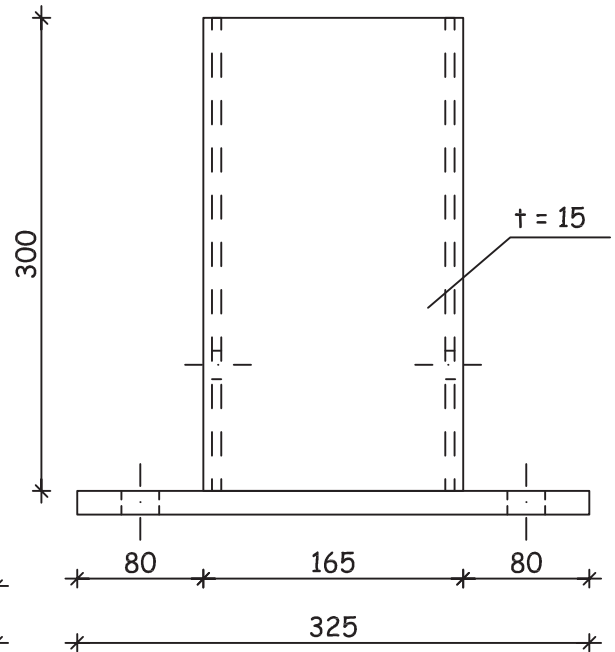
HITSAUSLUOKKA: WC

HITSIT: $\frac{3}{\sqrt{a}}$ ellei toisin mainittu

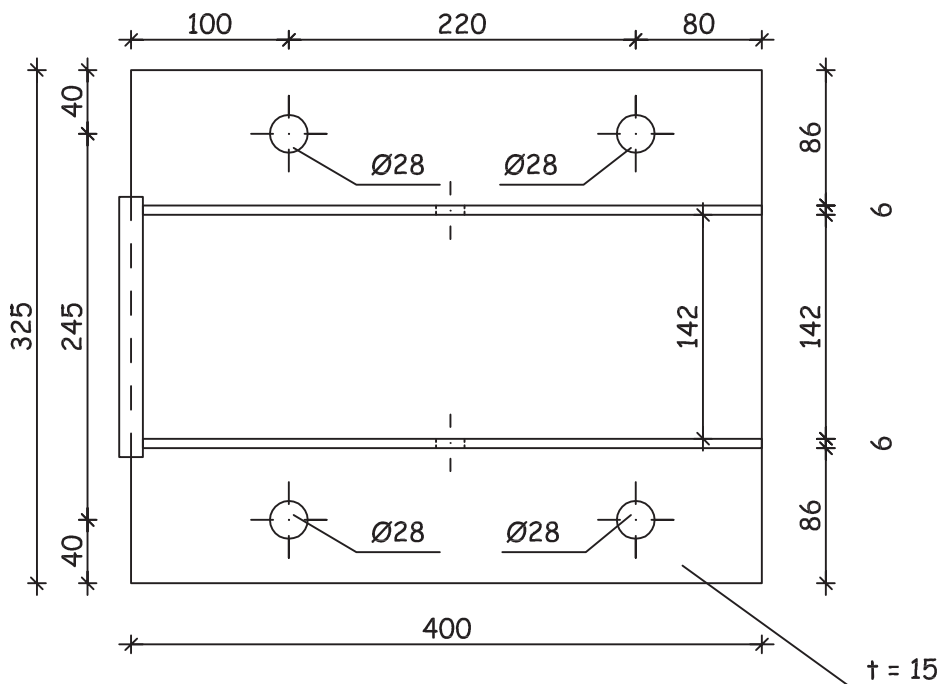
15
 "KOLMIO" 2kpl / osa



"PÄÄTYLEVY" 1kpl / osa



"POHJALEVY" 1kpl / osa



PIIR. N:O 4

TYÖ N:O 51377

Liite 7. Leikkauskuvat ja asennusdetaljit

Kuormitustiedot ja
mitoituserusteet:Rakenteen paino ilman liimapuita + ripustus: $g_k=0,400\text{kN/m}^2$ Lumikuorma: $q_{sk}=2,600\text{kN/m}^2$ Tuulikuorma, maastoluokka III: $q_{wk}=0,580\text{kN/m}^2$ Kehäjäko: k_{3600}

Sekundäärirakenteen mahdollisesta moniaukkoisuudesta aiheutuvaa kuormien epätasaista jakautumista ei ole mitoituksessa huomioitu.

Rakennuksen jäykistys leveysuunnassa 3-nivelkehärakenteena, pituus suunnassa rakennesuunnitelijan mukaan.

Teräshelat:

Konepajasaos: teräs S355

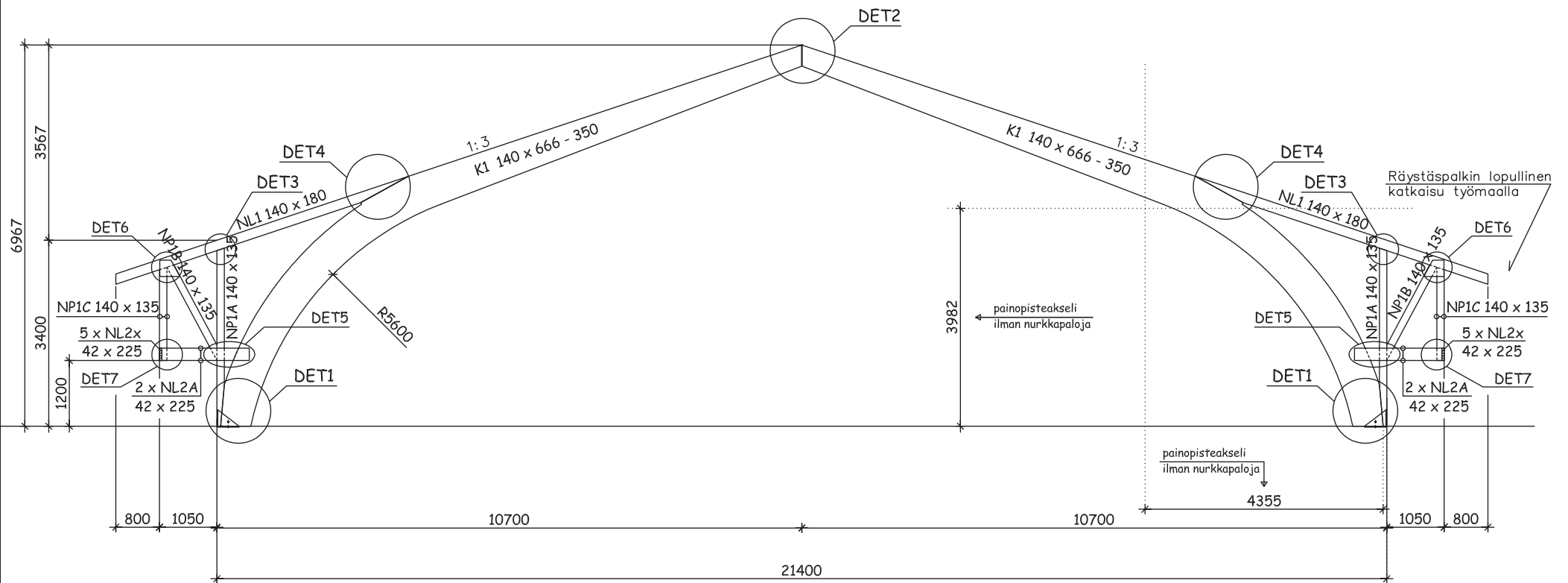
Pintakäsittelyt:

Liimapuu: 1 x Lakkaus
(vesiohenteinen, kirkas)

Kantahelat: Sa2,5 + E200/2

Yläliitoshelat: kuumasinkitty

Ruuvit ja naulat: sähkösinkitys tai vastaava



Kuormitustiedot ja
mitoituserusteet:Rakenteen paino ilman liimapuita + ripustus: $g_k=0,400\text{kN/m}^2$ Lumikuorma: $q_{sk}=2,600\text{kN/m}^2$ Tuulikuorma, maastoluokka III: $q_{wk}=0,580\text{kN/m}^2$ Kehäjako: k_{3600}

Sekundäärirakenteen mahdollisesta moniaukkoisuudesta aiheutuvaa kuormien epätasaista jakautumista ei ole mitoituksessa huomioitu.

Rakennuksen jäykitys leveysuunnassa 3-nivelkehärakenteena, pituus suunnassa rakennesuunnittelijan mukaan

Teräshelat:

Konepajaosat: teräs S355

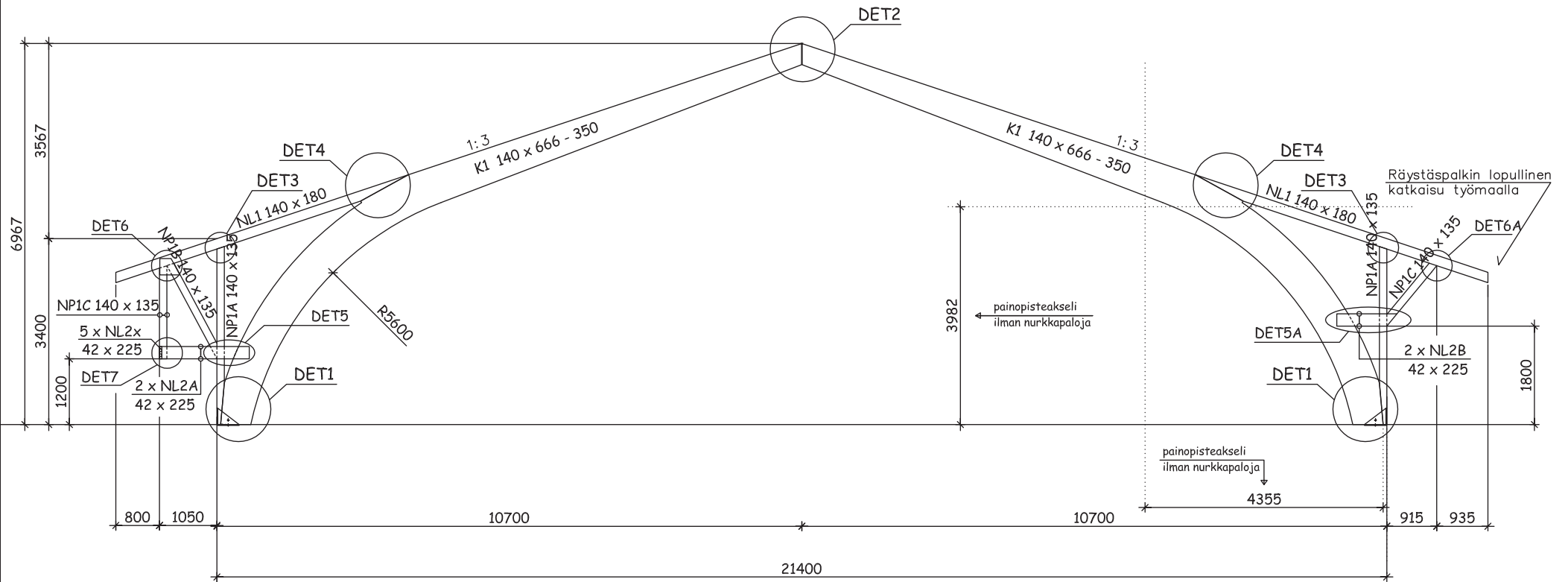
Pintakäsittelyt:

Liimapuu: 1 x Lakkas
(vesiohenteinen, kirkas)

Kantahelat: Sa2,5 + E200/2

Yläliitoshelat: kuumasinkitty

Ruuvit ja naulat: sähkösinkitys tai vastaava



Kohde
LYPSYKARJARAKENNUS
KALLE NIKULA

Sisältö
LIIMAPUUKEHÄ 1 kpl
LINJA 13

LATE-RAKENTEET OY

PL1 20101 TURKU
PUH. 020 755 1344
FAX 358 (0)2 240 2946
EMAIL sales@late.net



Revisiointit

Päiväys 18.4.13

Tekijä TVe

Mittakaava 1:75



Kuormitustiedot ja
mitoitusterusteet:

Rakenteen paino ilman liimapuita + ripustus: $g_k=0,400\text{kN/m}^2$

Lumikuorma: $q_{sk}=2,600\text{kN/m}^2$

Tuulikuorma, maastoluokka III: $q_{wk}=0,580\text{kN/m}^2$

Kehäjäkä: k_{3600}

Sekundäärirakenteen mahdollisesta moniaukkoisuudesta aiheutuva kuormien epätasaista jakautumista ei ole mitoituksessa huomioitu.

Rakennuksen jäykistys leveysuunnassa 3-nivelkehärakenteena, pituus suunnassa rakennesuunnittelijan mukaan.

Teräshelat:

Konepajasaos: teräs S355

Pintakäsittelyt:

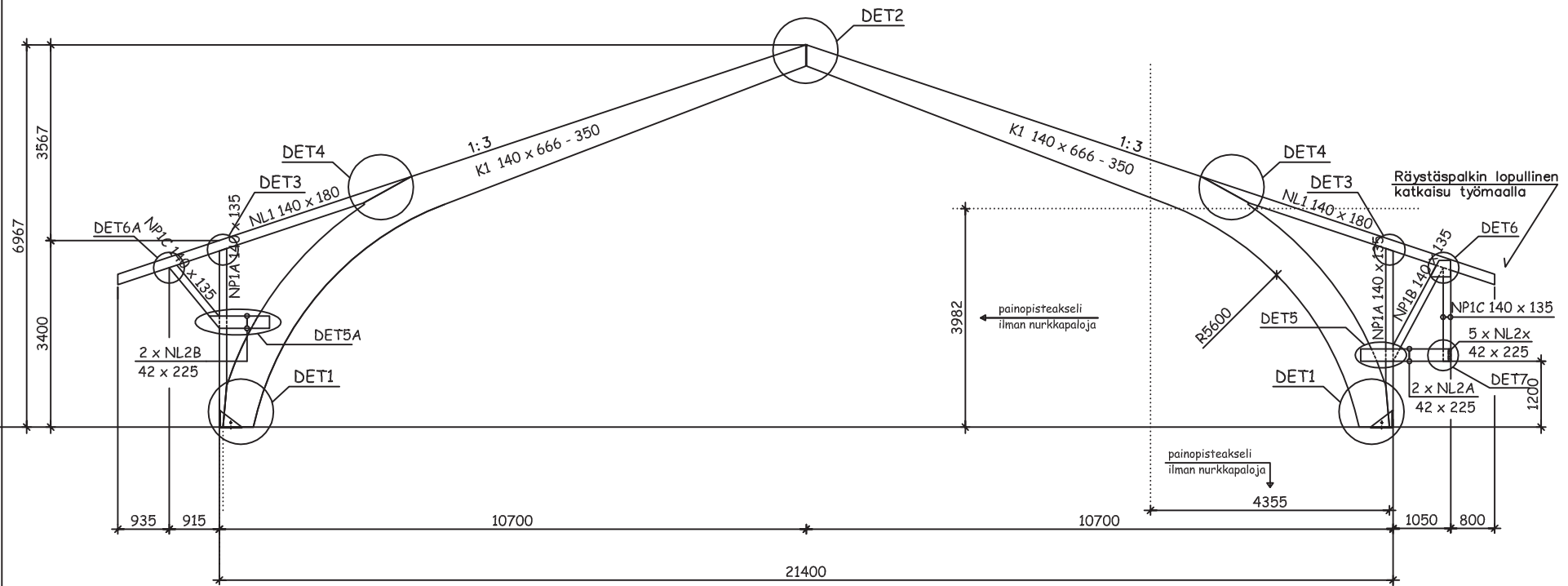
Liimapuu: 1 x Lakkaus

(vesiohenteinen, kirkas)

Kantohelat: Sa2,5 + E200/2

Yläiitoshelat: kuumasinkitty

Ruuvit ja naulat: sähkösinkitys tai vastaava



PIIR. N:O 1

TYÖ N:O 51377

Kohde

LYPSYKARJARAKENNUS
KALLE NIKULA

Sisältö

LIIMAPUUKEHÄ 1 kpl
LINJA 14

LATE-RAKENTEET OY

PL1 20101 TURKU
PUH. 020 755 1344
FAX 358 (0)2 240 2946
EMAIL sales@late.net



Revisiointit

Päiväys

18.4.13

Tekijä

TVe

Mittakaava

1:75



Kuormitustiedot ja
mitoituserusteet:

Rakenteen paino ilman liimapuita + ripustus: $g_k=0,400\text{kN/m}^2$

Lumikuorma: $q_{sk}=2,600\text{kN/m}^2$

Tuulikuorma, maastoluokka III: $q_{wk}=0,580\text{kN/m}^2$

Kehäjako: k_{3600}

Sekundäärirakenteen mahdollisesta moniaukkoisuudesta aiheutuvaa kuormien epätasaista jakautumista ei ole mitoituksessa huomioitu.

Rakennuksen jäykitys leveyssuunnassa 3-nivelkehärakenteena, pituussuunnassa rakennesuunnittelijan mukaan.

Teräshelat:

Konepajaosat: teräs S355

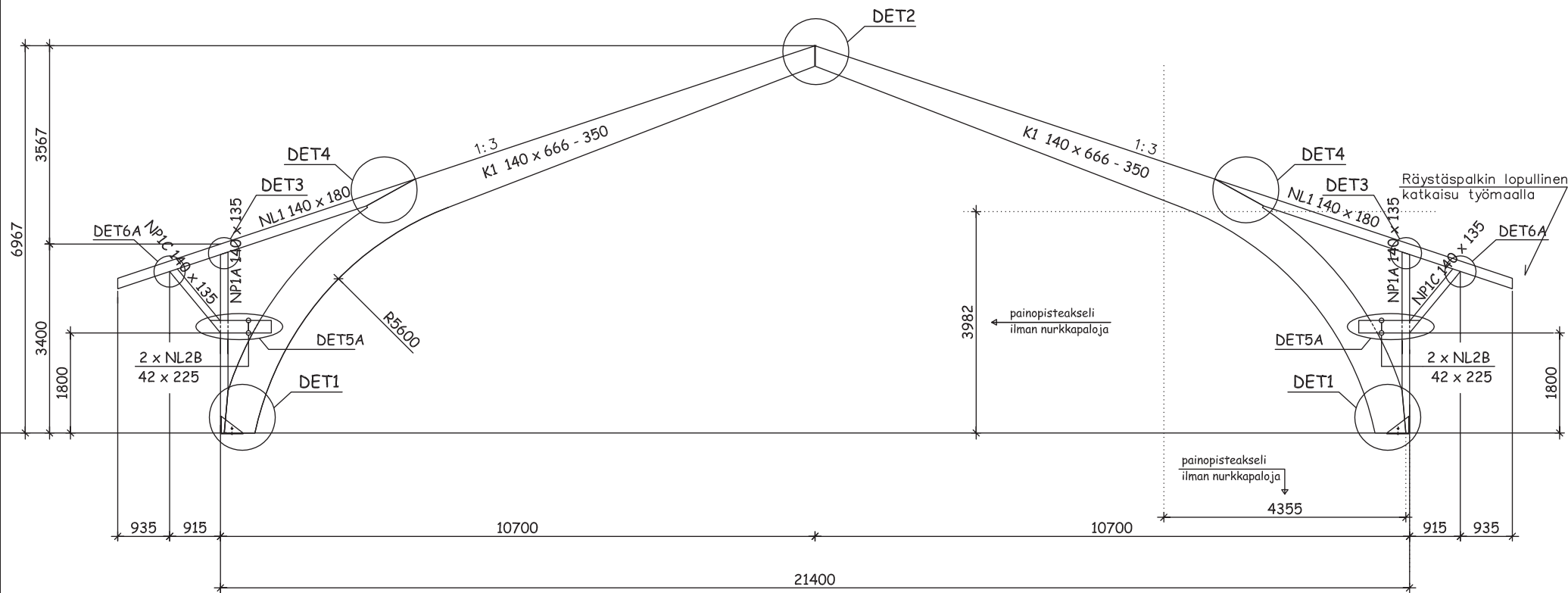
Pintakäsittelyt:

Liimapuu: 1 x Lakkas
(vesiohenteinen, kirkas)

Kantahelat: Sa2,5 + E200/2

Yläliitoshelat: kuumasinkitty

Ruuvit ja naulat: sähkösinkitys tai vastaava



PIIR. N:O 1

TYÖ N:O 51377



Sisältö
DET1

28 kpl

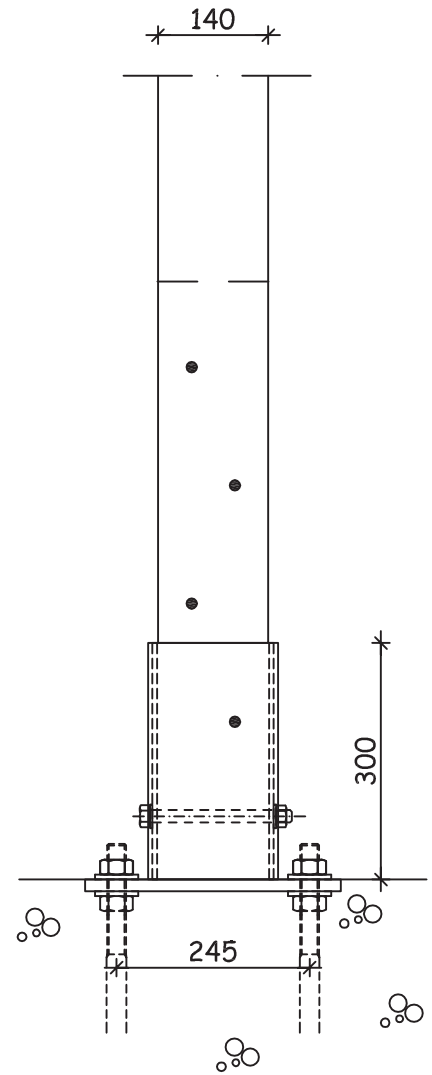
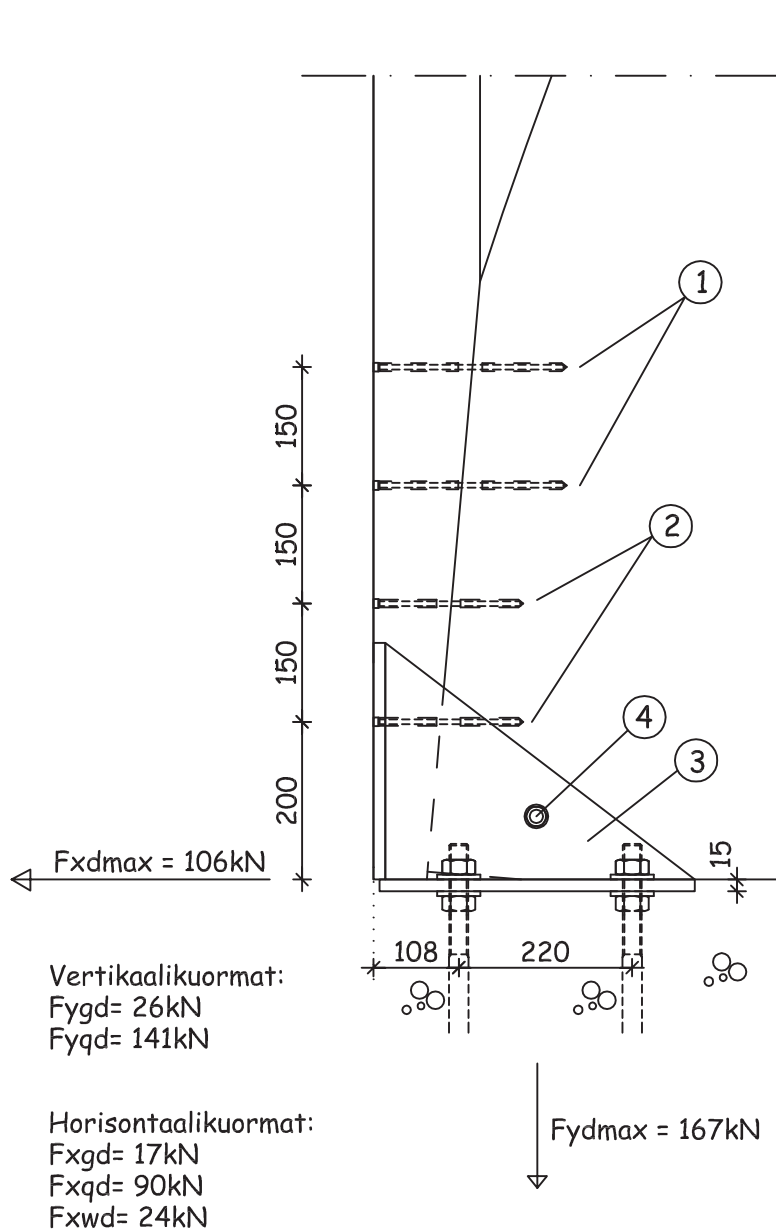
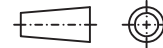
Tekijä
 TVe

Päiväys
 18.4.13

Mittakaava

1:10

Revisiointit



PERUSPULTIT M24, helan reikä Ø28

1. PORARUUVI WT-T-8,2x245, 2kpl/LIITOS
2. PORARUUVI WT-T-8,2x190, 1kpl/LIITOS
3. TERÄSKENKÄ TH1
4. KUUSIORUUVI M16x180 + MUTTERI + 2x ALUSLEVY Ø30x3



Sisältö
DET2

14 kpl

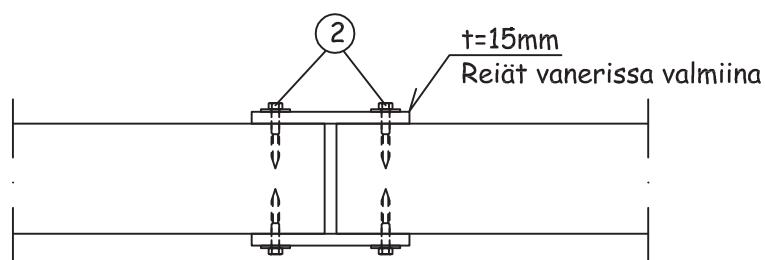
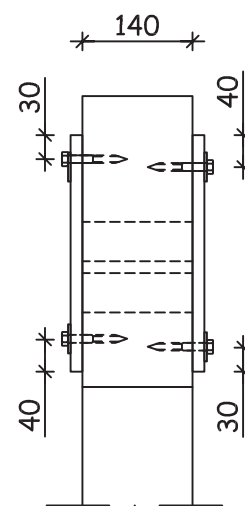
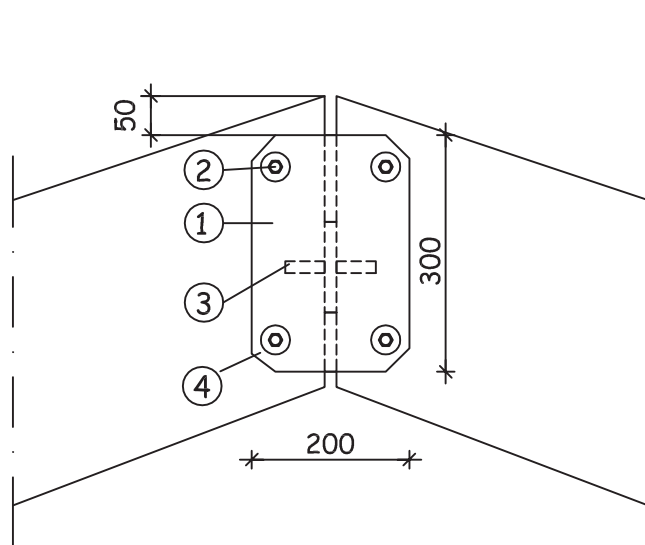
Tekijä
TVe

Päiväys
18.4.13

Mittakaava

1:10

Revisioinnit



1. VANERI 15x200x300 (V1), 2 kpl/liitos
2. KANSIKIERRERUUVI Ø10x75, 8 kpl/liitos
3. TERÄSOSA (TR1), 1 kpl/liitos
4. KORIALUSLEVY M12, Ø37x3, 8 kpl/liitos

LATE-RAKENTEET OY

PL1 20101 TURKU
PUH. 020 755 1344
FAX 358 (0)2 240 2946
EMAIL sales@late.net



Sisältö
DET3

28 kpl

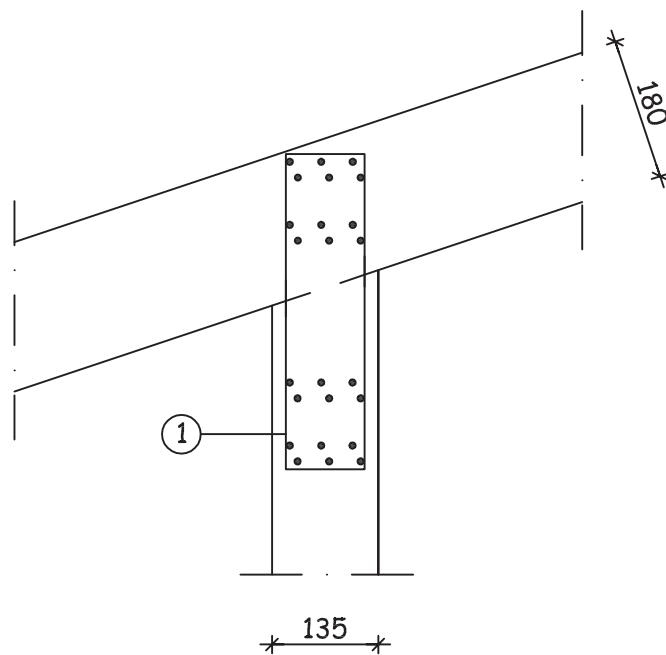
Tekijä
TVe

Päiväys
18.4.13

Mittakaava

1:10

Revisiointit



1. SUORA NAULOUSLEVY 100x400x2, 1kpl mol. puolin
- NAULAUUS: ANKKURINAULAT 4x50, 24kpl/HELA

Sisältö

DET4

28 kpl

LATE-RAKENTEET OY

PL1 20101 TURKU
 PUH. 020 755 1344
 FAX 358 (0)2 240 2946
 EMAIL sales@late.net



Revisiointit

Päiväys

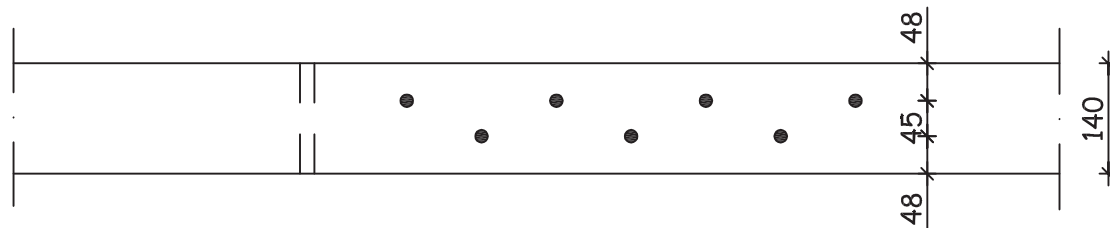
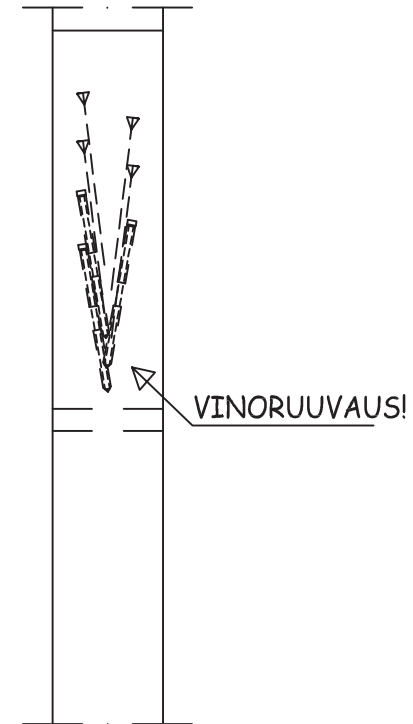
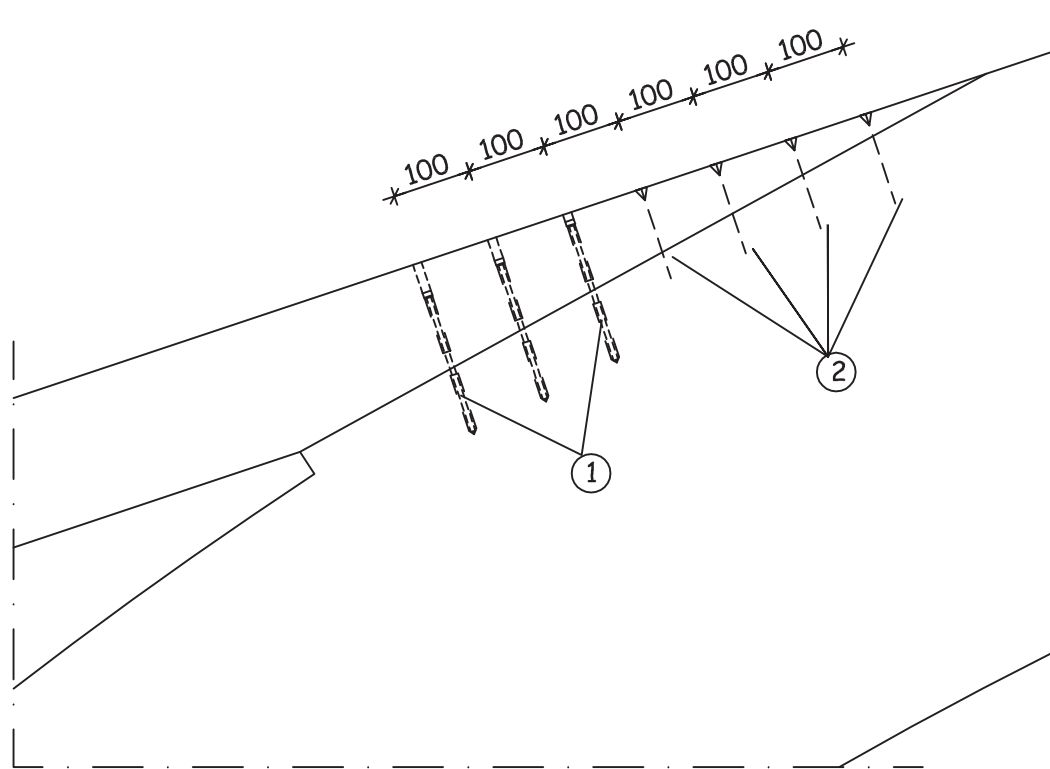
18.4.13

Tekijä

TVe

Mittakaava

1:10



1. PORARUUVI WT-T-8,2x190, 3kpl/LIITOS
2. PORARUUVI 6x120, 4kpl/LIITOS

PIIR. N:O 2

TYÖ N:O 51377

Sisältö

DET5A

4 kpl

LATE-RAKENTEET OY

PL1 20101 TURKU
 PUH. 020 755 1344
 FAX 358 (0)2 240 2946
 EMAIL sales@late.net



Revisiointit

Päiväys

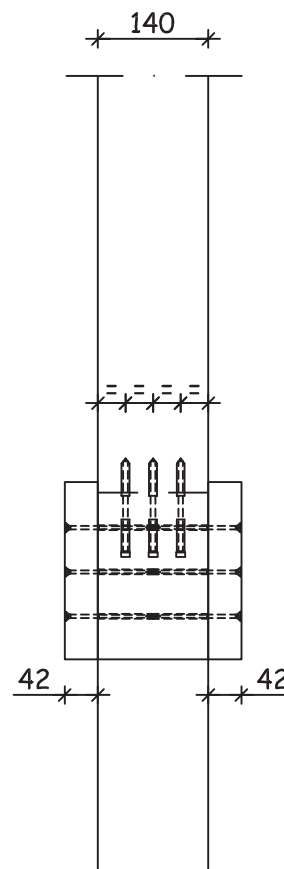
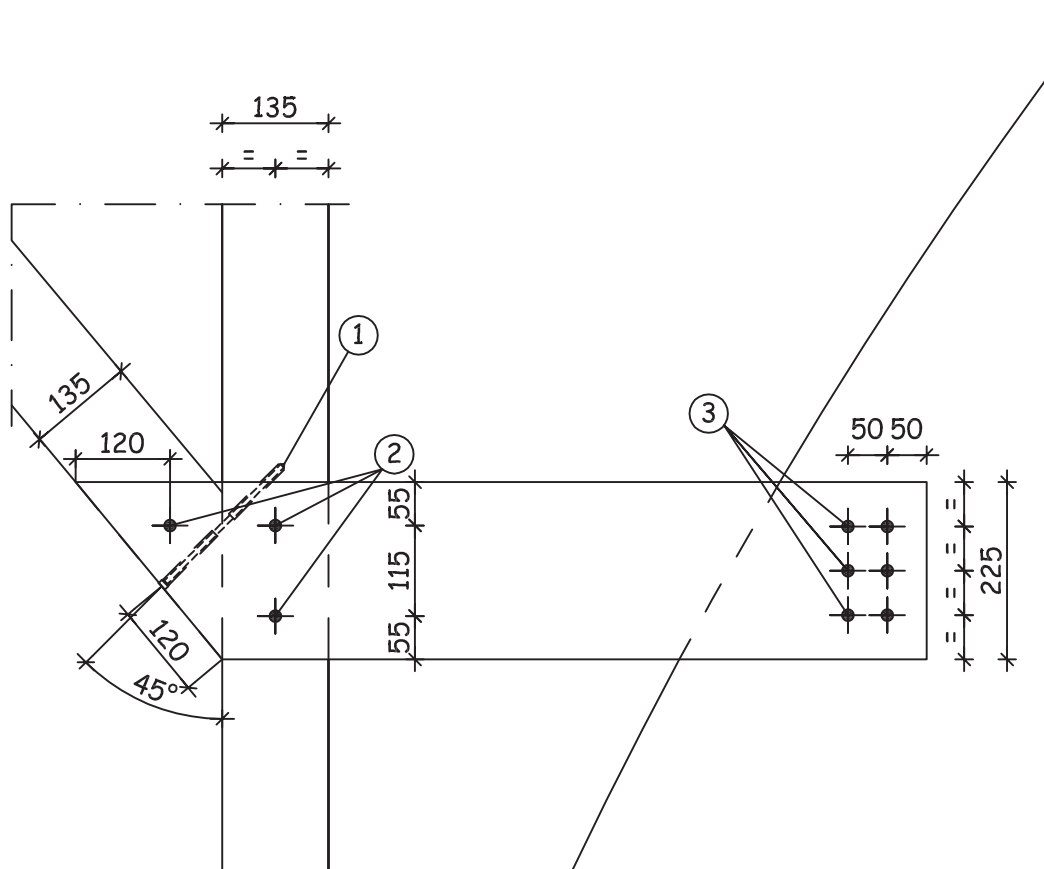
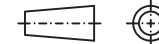
18.4.13

Tekijä

TVe

Mittakaava

1:10



1. PORARUUVI WT-T-8,2x220, 3kpl
 - porauskulma 45°
 - ruuvin kanta T40
2. PORARUUVI 6x120, 3 kpl / puoli
3. PORARUUVI 6x120, 6 kpl / puoli

PIIR. N:O 2

TYÖ N:O 51377

LATE-RAKENTEET OY

PL1 20101 TURKU
PUH. 020 755 1344
FAX 358 (0)2 240 2946
EMAIL sales@late.net



Sisältö
DET6

24 kpl

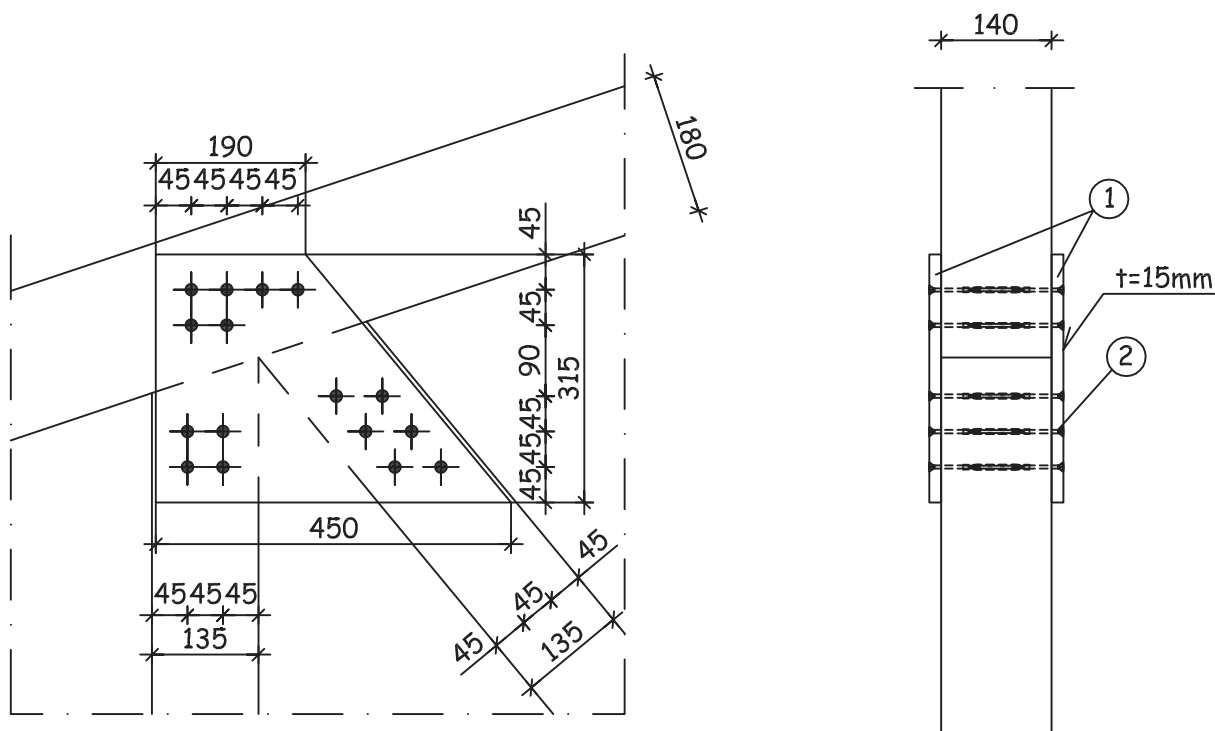
Tekijä
TVe

Päiväys
18.4.13

Mittakaava

1:10

Revisioinnit



1. VANERI , t=15mm, (V2), 2 kpl/liitos
2. PORARUUVI 6x120, 16 kpl / V2

LATE-RAKENTEET OY

PL1 20101 TURKU
PUH. 020 755 1344
FAX 358 (0)2 240 2946
EMAIL sales@late.net



Sisältö
DET6A

4 kpl

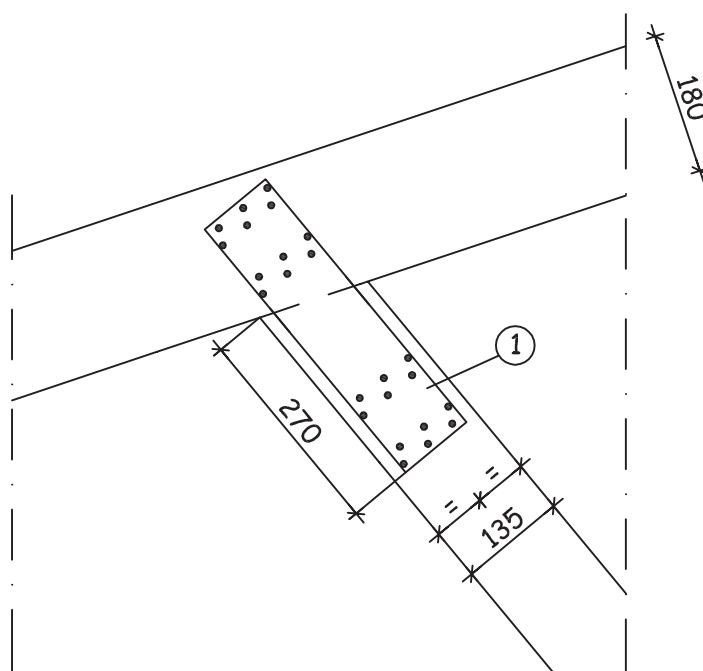
Tekijä
Tve

Päiväys
18.4.13

Mittakaava

1:10

Revisiointit



1. SUORA NAULOUSLEVY 100x400x2, 1kpl mol. puolin
- NAULAUUS: ANKKURINAULAT 4x50, 24kpl/HELA



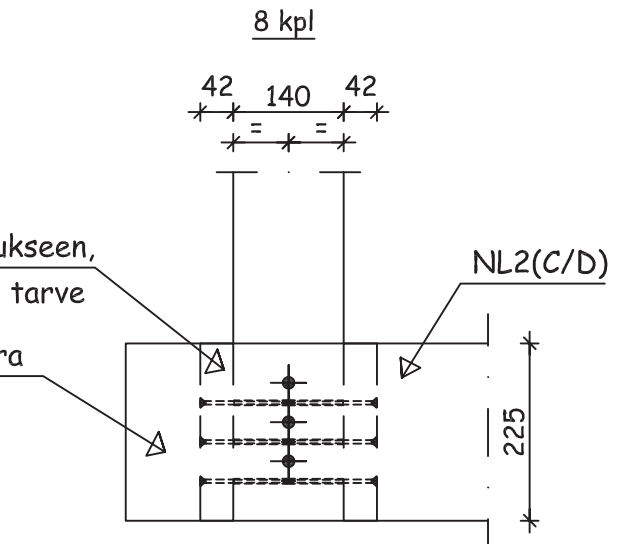
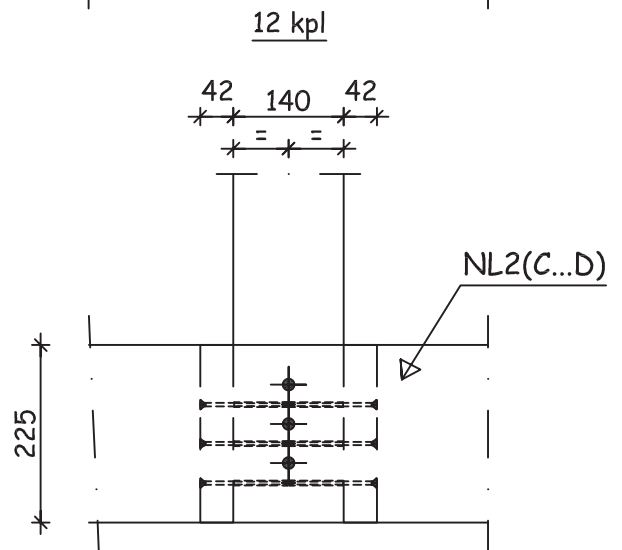
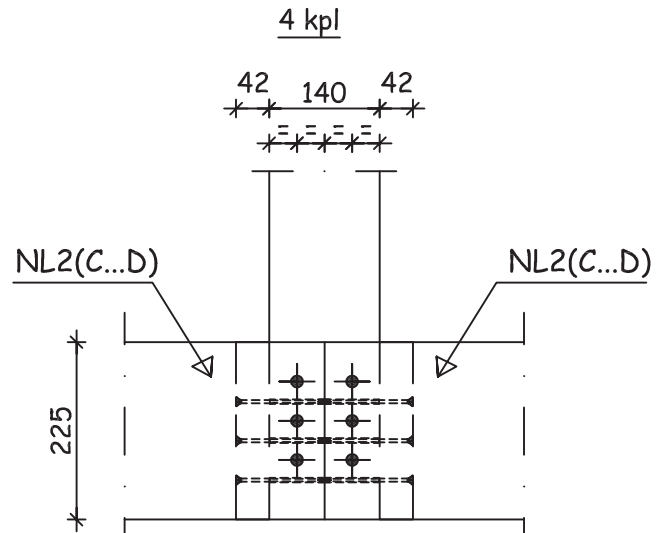
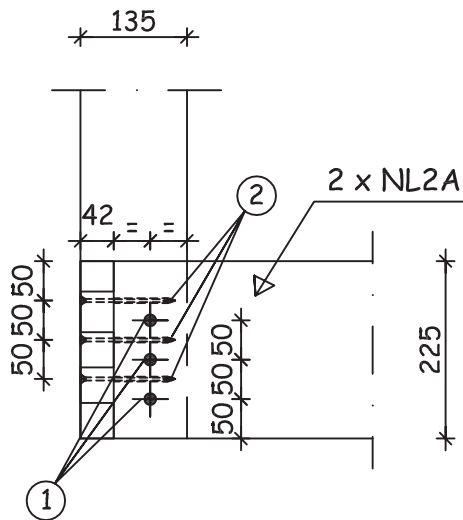
Sisältö
DET7

24 kpl

Tekijä TVe
 Päiväys 18.4.13

Mittakaava
 1:10

Revisiointit



1. PORARUUVI 6x120, 3 kpl / NL2A
2. PORARUUVI 6x120, 3...6 kpl

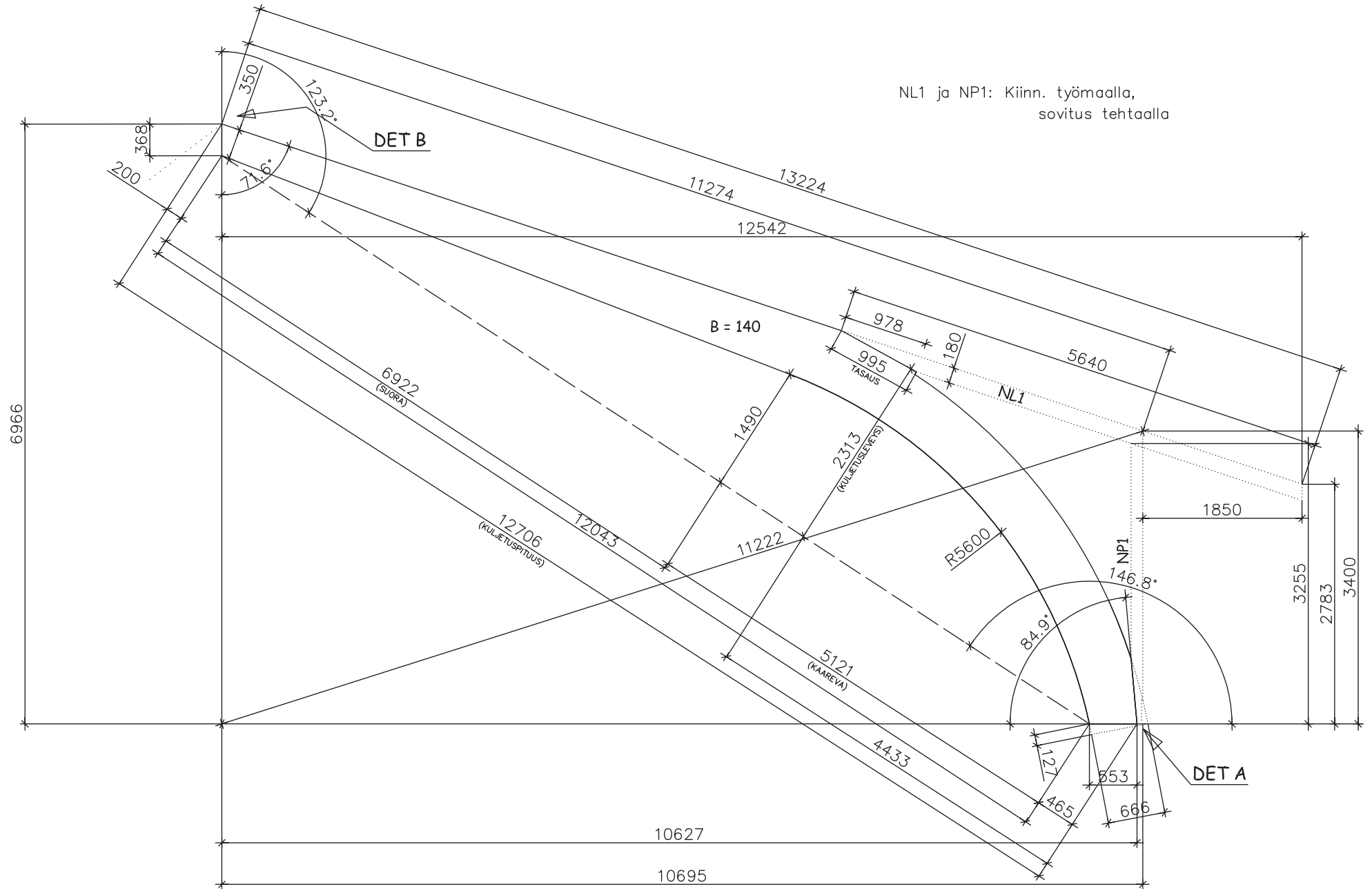
Sisältyy toimitukseen,
 kiinnitetään jos tarve

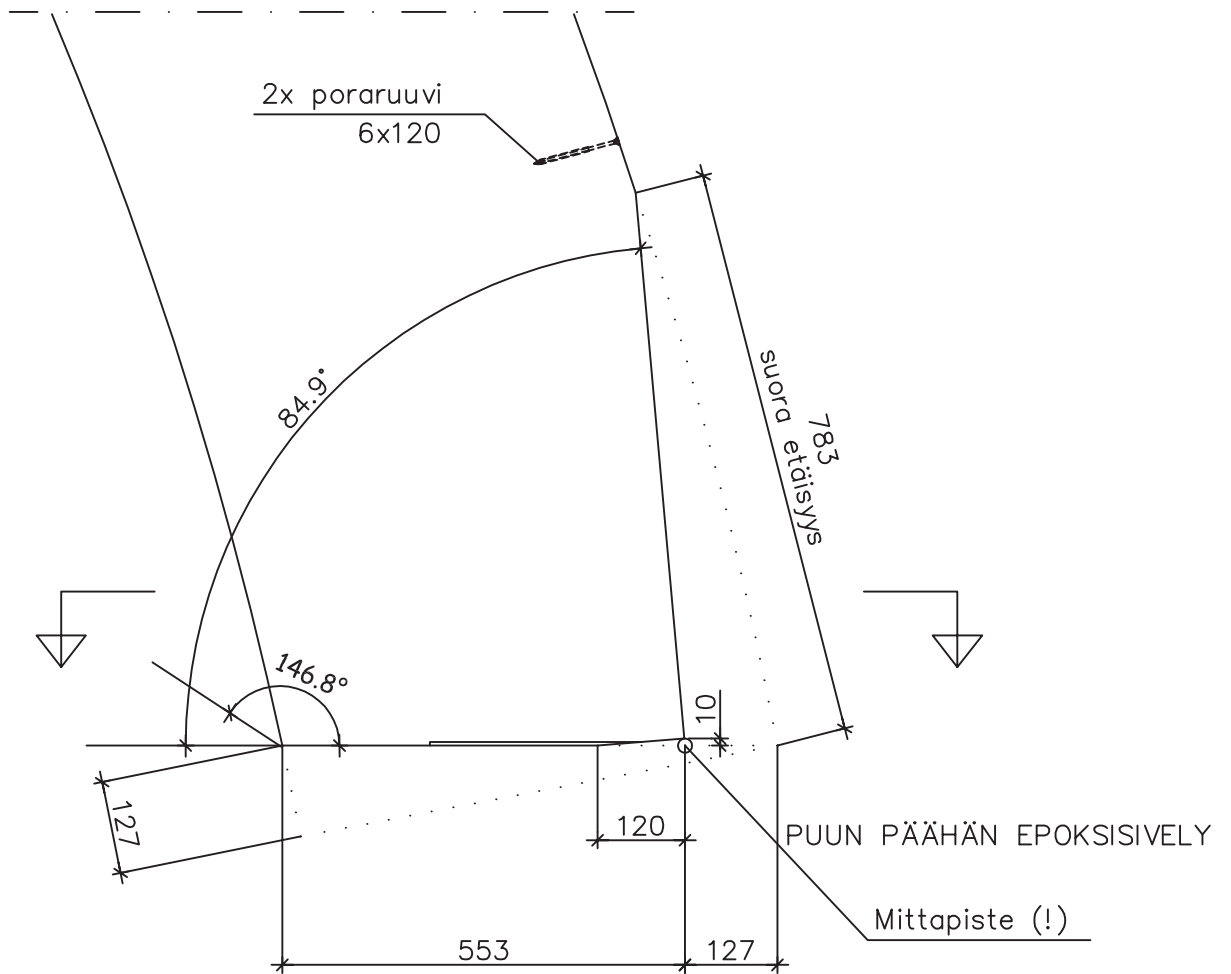
Katkaisuvara

Liite 8. Kehien valmistuskuvat



NL1 ja NP1: Kiinn. työmaalla,
sovitus tehtaalla





ALAREUNOIHIN VIISTE 5mm, L~300

