



Massiivipuu maatilarakentamisessa

Suunnitteluohje

Markku Kortesmaa & Ari Kevarinmäki
VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

ISBN 951-38-6576-2 (URL: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/>)
ISSN 1459-7683 (URL: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/>)

Copyright © VTT 2005

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 4374

VTT, Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 5, P.O. Box 2000, FI-02044 VTT, Finland
phone internat. +358 20 722 111, fax + 358 20 722 4374

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Betonimiehenkuja 3, PL 1803, 02044 VTT
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 7006

VTT Bygg och transport, Betongblandargränden 3, PB 1803, 02044 VTT
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 7006

VTT Building and Transport, Betonimiehenkuja 3, P.O.Box 1803, FI-02044 VTT, Finland
phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 7006

Tekijä(t) Kortesmaa, Markku & Kevarinmäki, Ari		
Nimeke Massiivipuu maatarakentamisessa Suunnitteluohje		
Tiivistelmä Nykymaaloudessa on tarve tehdä tuotantotiloja, jotka jo kokonsakin puolesta pitää luokitella vaativiksi puurakenteiksi. Kantaviin rakenteisiin tarvittava puu on mitoiltaan massiivista. Poikkileikkauksen leveys pitäisi monissa tapauksissa olla suuruusluokkaa 75–150 mm ja korkeus 200–300 mm sekä pituus mielellään koko lappeen pituus eli suuruusluokkaa 10 m. Hallimaisten maatalousrakennusten rakenteet pitää aina suunnitella vaativina puurakenteina. Tätä varten on kehitetty Excel-pohjaisia mitoitusohjelmia, joilla voidaan mitoittaa massiivipuusta tehtävä laivakehä, kolminivelkehä, A-kehä ja yhdistetty palkki. Kaikissa ohjelmissa voidaan mittoja muuntaa ja lopputuloksena saadaan rakenteisiin tarvittavien puuosien mitat, yksi liitosratkaisu, materiaalmäärät ja hinnat annetuilla yksikköhintoilla työmäärillä laskettuna. Hintoja ja työmääriä voidaan muuttaa, jos tiedossa on kohdekohtaisia arvoja. Lisäksi on esitetty suuren naulatun ristikon rakenneperiaate, jossa paarteet ja vertikaalit ovat puuta ja vinot diagonaalit teräsnauhaa. Tätä ristikkotyyppeä on kehitetty lähinnä lietelantaloiden kattamiseen. Puurakenteiden suunnittelu on käytännössä usein liitosten suunnittelua. Tätä varten on annettu liitosten hintatietoja, jotka on jaettu materiaalin hintaan ja työn hintaa. Suositeltavimmaksi liitostavaksi on saatu naulaliitos, jossa puuosat liitetään toisiinsa tehtaalla valmiiksi rei'itetyllä teräslevyllä ja 40–60 mm pitkällä erikoisnaulalla eli ankkurinaulalla. Liitoksen hintavertailussa tämä osoittautui taloudellisimmaksi. Edullisuuteen vaikuttaa myös se, että voidaan helposti tehdä suuria voimia kestäviä liitoksia, joissa on siis paljon nauvoja, ja että teräslevyssä on valmiina reiät ja siten myös naulojen paikat. Jälkimmäinen parantaa teknistä laatua siten, että nauvoja ei lyödä liian tiheään ja puun naulauksen aikainen halkeiluriski pienenee. Lietelantaloissa on metallien korroosion ja puun lahoamisen kannalta epäilyttävät olosuhteet. Näitä mitattiin tutkimuksen aikana ja mittaustulosten perusteella tehtiin laskennallinen arvio materiaalien säilymisestä kyseisissä olosuhteissa.		
Avainsanat timber frame systems, farm buildings, rural entrepreneurship, life cycle analysis, costs, building components, construction, construction materials, construction timber, competitiveness		
Toimintayksikkö VTT Rakennus- ja yhdyskuntateknikka, Betonimiehenkuja 3, PL 1803, 02044 VTT		
ISBN 951-38-6576-2 (URL: http://www.vtt.fi/inf/pdf/)		Projektinumero R2SU00538
Julkaisu-aika Maaliskuu 2005	Kieli suomi, engl. abstr.	Sivuja 76 s. + liitt. 6 s.
Avainnimeke ja ISSN VTT Working Papers 1459-7683 (URL: http://www.vtt.fi/inf/pdf/)	Julkaisija VTT Tietopalvelu PL 2000, 02044 VTT Puh. 020 722 4404 Faksi 020 722 4374	

Published by



Series title, number and
report code of publication

VTT Working Papers 21
VTT-WORK-21

Author(s) Korteesmaa, Markku & Kevarinmäki, Ari		
Title Solid timber structures of large farm buildings Design guidelines		
Abstract <p>For modern agriculture uses, there is a necessity to provide buildings for production facilities, which may be classified based on their size as demanding wooden structures. The sizes of the wood members needed for the load bearing structures are massive. In many cases the cross section width is 75–150 mm, the height is 200–300 mm and the length preferably in the order of 10 m. Such sizes, specially for the length, are big when compared to the sawing and handling technologies applied today.</p> <p>The hall-type buildings for agriculture should always be designed as demanding wood structures. For this purpose Excel-based design programs were developed, which may be used to dimension frames, 3-hinged frames, A-frames and composite beams. In the programs, the dimensions may be changed and these results in the required wood dimensions, a jointing solution, wood material quantities and prices based on a given work and material unit cost inputs. The costs and the work required may be changed, if more precise project based local values are known. In addition, a large scale nailed truss structure is presented, where the bottom and top chords as well as the vertical members are of wood and the diagonals of steel rim band. This truss type was developed mainly for the sheltering of manure pools.</p> <p>The efforts of designing wood structures are in practice mostly emphasised on the dimensioning of joints. Cost information is given for the joints, which are based on material and work costs. The recommended jointing method has been found to be a nailed joint, where the wood members are connected using a holed steel plate and specially designed 40–60 mm long nails, anchoring nails. This proved to be the most economical solution in a cost comparison of joints. With this solution, high loads may be transferred easily when using a high number of nails and the pre-holed steel plates easily show the placing of the nails. This improves the quality of the joints as nail spacing is controlled and the splitting risk of wood is minimised.</p> <p>The corrosion of metal parts as well as the durability of wood is an issue for structures covering manure pools due to the aggressive conditions. These aspects have been measured in this study and based on such measurements a calculated estimate was carried out on the endurance of the materials in these conditions.</p>		
Keywords timber frame systems, farm buildings, rural entrepreneurship, life cycle analysis, costs, building components, construction, construction materials, construction timber, competitiveness		
Activity unit VTT Building and Transport, Betonimiehenkuja 3, P.O.Box 1803, FI-02044 VTT, Finland		
ISBN 951-38-6576-2 (URL: http://www.vtt.fi/inf/pdf/)	Project number R2SU00538	
Date March 2005	Language Finnish, Engl. abstr.	Pages 76 p. + app. 6 p.
Series title and ISSN VTT Working Papers 1459-7683 (URL: http://www.vtt.fi/inf/pdf/)	Publisher VTT Information Service P.O. Box 2000, FI-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 20 722 4404 Fax +358 20 722 4374	

Alkusanat

Maa- ja metsätalousministeriö rahoitti vuosina 2002–2004 maatalouden kehittämishastosta (Makera) tutkimushankkeen "Maaseutuyrittäjyyteen perustuvat suurten maatalousrakennusten puurakennejärjestelmät". Tutkimuksessa kehitettiin massiivisen sahatavaran käyttöön perustuvia maatilatalouden tuotanto- ja varastorakennuksien runkorakennejärjestelmiä. Kehitystyö toteutettiin VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan ja ProAgria Keski-Suomi ry:n yhteistyönä.

Ohjeistuksen tasolle johdetut tutkimushankkeen tulokset on julkaistu sekä VTT:n että ProAgria Keski-Suomen julkaisuina yhteisellä otsikolla Massiivipuu maatilarakentamisessa. Massiivipuun käsittely- ja rakentamisohjeet esitetään rakennuttajille ja rakentajille suunnatussa ProAgrian julkaisussa, jonka alaotsikko on Rakentajan opas (Heinälä & Keski-Mattinen 2005). Tässä julkaisussa esitetään rakennesuunnittelijoille tarkoitettujen massiivipuurakenteiden suunnitteluohjeet. Julkaisu liittyy kiinteästi projektissa laadittuihin massiivipuurakenteiden mitoitusohjelmiin. Excel-pohjaiset mitoitusohjelmat ovat ladattavissa VTT:n kotisivuilta (<http://www.vtt.fi/rte/wmt/palvelut/puurakenteet.htm>).

Tutkimushankkeeseen kuului myös viiden massiivipuun koerakennuskohteen rakennesuunnittelu sekä työ- ja kustannusmenekkien seuranta. Koerakennuskohteen seurantalokset on raportoitu Rakentajan oppaassa. Hankkeessa on järjestetty massiivipuurakentajakurssi ja rakennesuunnittelijoiden koulutustilaisuus – molemmat keväällä 2004. Lisäksi tästä tutkimuksesta ja sen tuloksista on tiedotettu maatalousyrittäjille useilla lehtiartikkeleilla ja messuesittelyllä.

Tutkimuksen tavoite oli kehittää maaseutuyrittäjyyteen perustuvia elinkaarikustannuksiltaan ja ekotehokkuudeltaan kilpailukykyisiä suuriin maatalousrakennuksiin soveltuvia puurakennejärjestelmiä. Kehitettävien runkojärjestelmien materiaaliuutuudesta, esivalmistettujen komponenttien valmistamisesta ja itse rakennustyöstä on pyritty luomaan laaja maaseudun sivuelinkeinopotentiali.

Tutkimushankkeen ohjausryhmän puheenjohtaja oli ylitarkastaja Jorma Jantunen (MMM) ja jäseniä olivat rakennustarkastaja Erkki Kalmari (TE-keskus Jyväskylä), massiivipuuyrittäjä Matti Luotola, toimitusjohtaja Harry Rönndahl (SFS Intec Oy) ja tutkimusprofessori Alpo Ranta-Maunus (VTT). Ohjausryhmä kokoontui projektin aikana kymmenen kertaa. Kiitän ohjausryhmän jäseniä aktiivisesta osallistumisesta hankkeeseen.

Hankkeen projektiryhmään kuuluivat ProAgria Keski-Suomesta toimistopäällikkö Ville Keski-Mattinen ja rak.ins. Timo Heinälä sekä VTT:ltä dipl.ins. Markku Korttesmaa ja tekn.tri Ari Kevarinmäki, joka toimi projektin vastuullisena johtajana. Mitoitusohjelmat ja pääosan tämän julkaisun tekstistä on laatinut Markku Korttesmaa. Lisäksi tekn.yo Rainer Yli-Koski on osallistunut mitoitusohjelmien tarkastamiseen ja tämän julkaisun toimittamiseen.

Espoossa 21.2.2005

Ari Kevarinmäki

Sisällysluettelo

Alkusanat	5
1. Johdanto	8
2. Toiminnalliset pohjaratkaisumallit	10
2.1 Konehallien pohjaratkaisut	10
2.2 Sikaloiden pohjaratkaisut	11
2.3 Lypsykarjapihattojen pohjaratkaisut	13
3. Perusratkaisut	15
3.1 Yleiset periaatteet	15
3.2 Rakennesysteemi	15
3.3 Puuhallin jäykistys	16
4. Puutavara	20
4.1 Lujuusluokat	20
4.2 Mitat	20
4.2.1 Poikkileikkaukset	21
4.2.2 Pituudet	22
5. Rakenteet	23
5.1 Yleistä	23
5.2 Mitoitustaulukot	23
5.2.1 Sahatavarapalkit	23
5.2.2 Sahatavarapilarit	29
5.3 Liitokset	30
5.3.1 Liitosten mitoituksesta	30
5.3.2 Liitostekniikoiden tehokkuusvertailu	35
5.4 Laivakehä	36
5.5 Yhdistetty palkki	41
5.5.1 Yleistä	41
5.5.2 Yhdistettyjen palkkien rakenteet	41
5.5.3 Mekaaninen liitos	42
5.5.4 Laskentaohjelmalla saatavat tulokset	43
5.6 Kolminivelkehä	47
5.6.1 Yleistä	47
5.6.2 Laskettuja arvoja	48
5.7 Vetotankokannate	50
5.7.1 Yleistä	50

5.7.2	Laskettuja arvoja	50
5.8	Vitaposkikannate	53
5.9	Massiivipuuristikot	55
6.	Lietesäiliön kattorakenteiden käyttöikämitoitus	63
6.1	Olosuhteet	63
6.2	Lahoaminen	64
6.3	Ruostuminen	66
6.4	Käyttöikämitoitus	68
6.4.1	Kuormitukset	69
6.4.2	Materiaalien laskentaluudet	70
6.4.3	Käyttöiän todentaminen	70
7.	Yhteenveto	74
	Lähdeluettelo	76
	Liitteet	
	Liite A: Liitostekniikoiden tehokkuusvertailu	
	Liite B: Massiivipuuristikoiden menekki- ja kustannusvertailu	

1. Johdanto

Suomalaisen karjatalouden kehityskuva on johtanut karjakokojen jatkuvaan kasvuun. Nykyisestä 15–20 lehmän karjasta ollaan siirtymässä noin 50 lehmän karjoihin. Vaadittava lypsykarjarakennuksen koko on tällöin 1000–1500 m². Näitä uusia navettarakennuksia tarvitaan seuraavan kymmenen vuoden aikana Suomessa tuhansia. Sikaloissa kehitys on jo johtanut suurten yksiköiden yleistymiseen – lihasikaloissa 1000-paikkaiset rakennukset ovat arkipäivää.

Laajenevien kotieläintilojen rakennuksille on haettu optimikokoa ja muotoa. Toiminnallisille malleille on kehitetty teollisia runkorakennejärjestelmiä. Vallalla ovat betonielementtiseinä-rakenteet ja naulalevyristikkokannatet. Teräsrunkorakenteet ovat yleisiä kone- ja varastohalleissa. Teollisten puurakennejärjestelmien tuoteosatoimitukset ovat vasta tulossa markkinoille.

Suurten maatalousrakennusten rakentaminen ei ole enää mahdollista perinteisenä maatalouden omatoimirakentamisena. Sisäolosuhteiltaan ankarasti rasitetut ja runkosyvyydeltään yli 15 m rakennukset ovat erittäin vaativia rakennuskohteita, mm. päärunkorakenteiden jäykistämiseen on käytettävä erillisiä tätä varten mitoitettuja rakenteita. Perinteisesti käytetty puurakennetekniikka – rankarakenteiset kantavat seinät + kattoristikot – ei sellaisenaan sovellu suuriin maatalouden tuotantorakennuksiin.

Suurissakin maatalouden rakennuskohteissa kattoratkaisuna on käytetty pääasiallisesti naulalevyristikkoa. Tällöin ulkoseinät ovat kantavia ja välikatto rakennetaan ristikon alapuolelle. Tästä rakenneratkaisusta syntyy tilavuudeltaan muhkeita ullakkoontelotiloja, jotka suurissa rakennuksissa tulee paloteknisesti osastoida 400 m² osiin. Puutteellisesti tuuletettujen yläpohjien tai vuotavien höyrynsulkujen tapauksissa navetoissa ja sikaloissa on ilmennyt myös voimakasta naulalevyjen ruostumista. Laajat ullakkotilat aiheuttavat myös rakennuksen ulkonäköhaittoja. Leveärunkoisten tuotantorakennusten ullakkotilojen visuaalinen volyyymi muodostuu suuremmaksi kuin itse käyttötilan luoden arkkitehtonista epäsuhtaa.

Suurten maatalousrakennusten eri rakennusmateriaalien ja konstruktio mallien toiminnasta rasittavissa olosuhteissa koko elinkaaren ajalta ei ole varmaa tietoa. Kustannusvertailuja on tehty lähinnä vain rakennuskustannusten kannalta. Elinkaaren kustannusvaikutuksia voidaan arvioida rakenteiden käyttöikäsuunnittelun avulla. Maatalouden tuotantorakennusten ekologisuus tulisi ottaa myös suunnittelussa huomioon.

Maatalousväestön omatoimisen rakentamisosaamisen hyödyntäminen suurissa maatalousrakennuksissa edellyttää yhteistyötä ja erikoistumista. Vaativien kohteiden rakentaminen onnistuu sivutoimisiltakin kirvesmiesporukoilta, kun nokkamiehet on

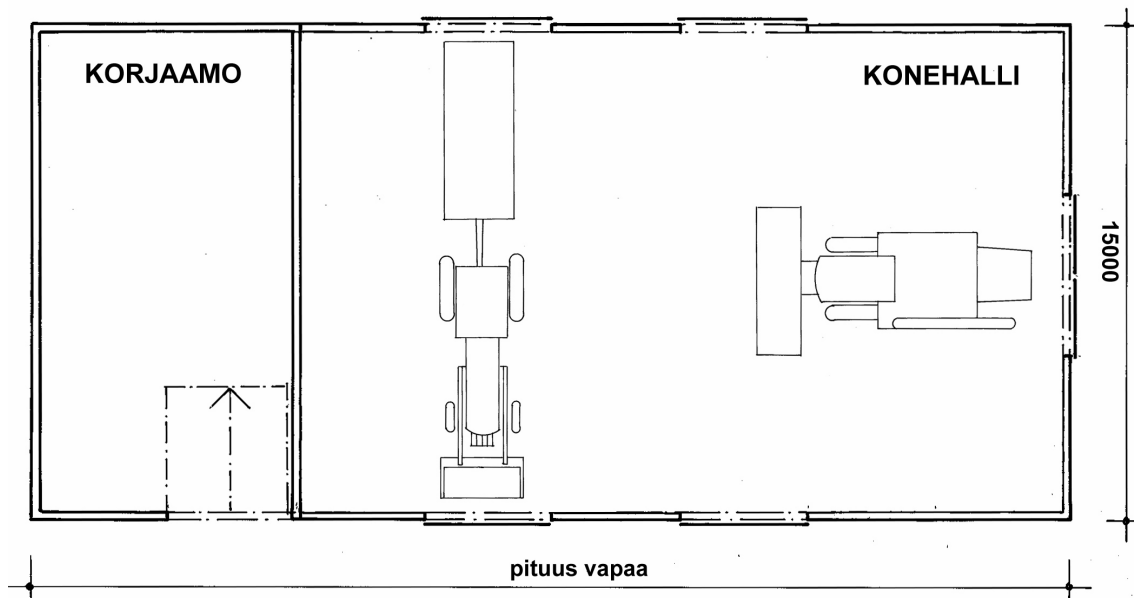
koulutettu asiaan. Maaseudun työllistämistä voidaan lisäksi parantaa kehittämällä maaseuturakentamiseen pienyritysten valmistukseen soveltuvia paikallisiin materiaaleihin perustuvia rakennuskomponentteja, jotka voidaan valmistaa ilman suuria laiteinvestointeja.

2. Toiminnalliset pohjaratkaisumallit

Tämän luvun pohjaratkaisut ovat lähteestä Kurkela ym. (2003).

2.1 Konehallien pohjaratkaisut

Konehallien uuden puurunkokonseptin lähtökohdaksi voidaan ottaa 15 m:n jännevälivaatimus. Sen mitoituksellisenä perusteena on suuri traktori ja siihen kytketty kauhakuormaaja sekä peräkärri, joiden tulee yhtäaikaaisesti mahtua halliin. Kuvassa 2.1 on periaatepiirustus konehallista. Ovien leveyden tulee olla 3,6–4 m sekä korkeuden vähintään 4 m. Päädyissä voidaan tarvita ovikokoa 5 x 5 m suurimpia leikkuupuimureita varten.



Kuva 2.1. Konehallin pohjaratkaisumalli.

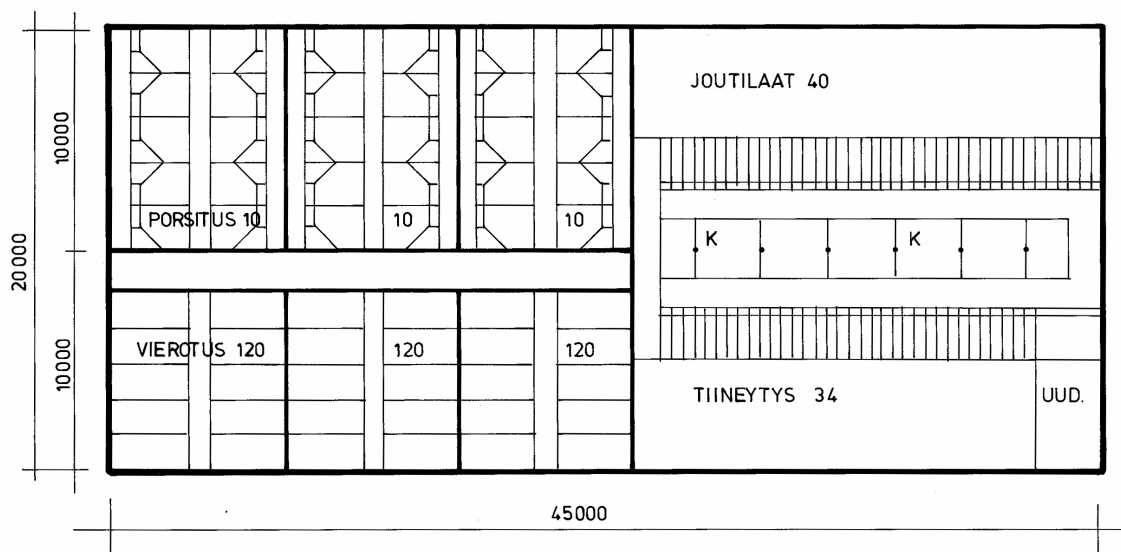
Konehallin toiminnallisuuden kannalta suunnittelussa pitää varautua siihen, että oviaukkoja voidaan tehdä vapaasti haluttuihin seinän kohtiin. Rakenteiden kantavuuden kannalta oviaukkojen tekeminen päätyihin on helpommin toteutettavissa kuin pitkille seinille. Ovien leveysvaatimuksesta johtuen pitkille seinille tehtävät oviaukot voivat olla työlämpiä. Tällöin joudutaan todennäköisesti tekemään ovipieliin vierekkäin kaksi tai jopa useampia katon pääkannattajia. Suuri pääkannatteiden väli kasvattaa myös katon sekundäräkannatteiden mittoja.

Rakennerratkaisuissa on varauduttava myös siihen, että osa hallista voidaan lämpöeristää esimerkiksi koneiden huolto- ja korjaustilaksi. Käyttötarpeiden muuttuessa on varauduttava myös koko hallin lämpöeristämiseen.

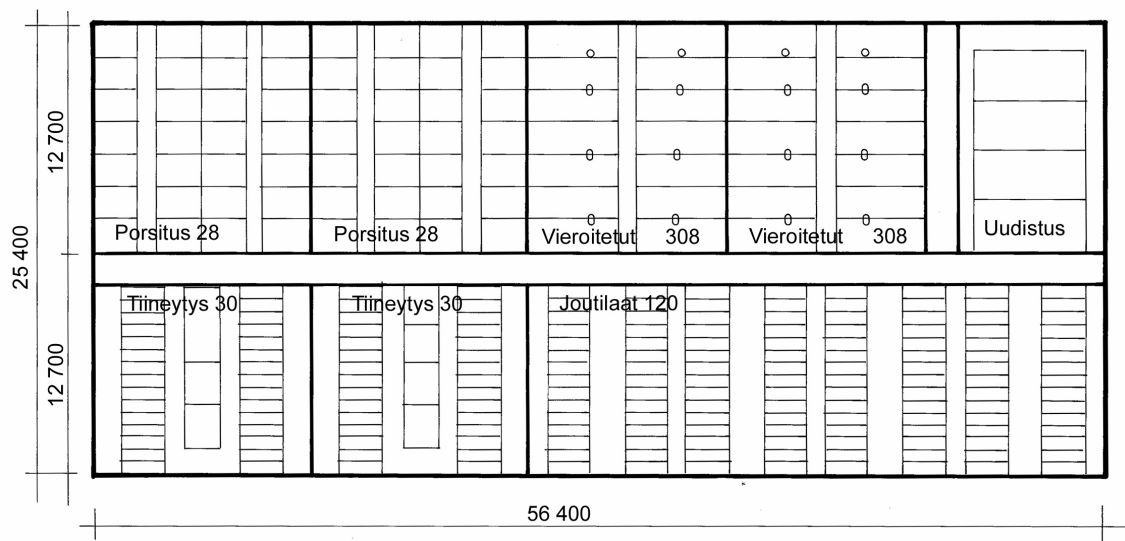
2.2 Sikaloiden pohjaratkaisut

Kuvissa 2.2 ja 2.3 esitetään 100- ja 200-paikkaisten emakkosikaloiden pohjaratkaisut sekä kantaville ja jäykistäville pystyrakenteille mahdolliset paikat. Kuvissa 2.4 ja 2.5 ovat vastaavat ratkaisut 1 000-paikkaisille lihasikaloille.

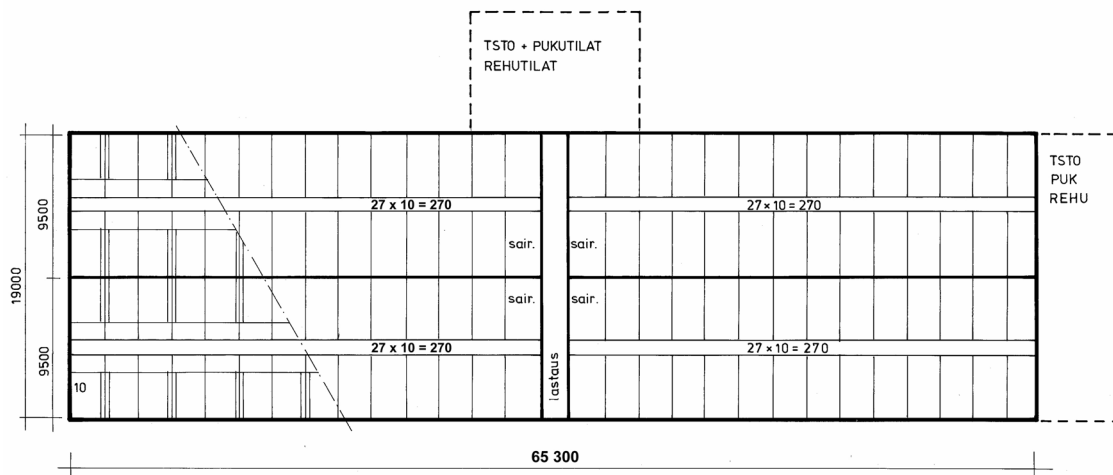
Kuvan 2.3 kiinteät väliseinät mahdollistavat esimerkiksi 3-nivelkehien käytön, jolloin tuelta lähtevä kolminivelkehän vino sauva voidaan sijoittaa kiinteään väliseinään eikä se häiritse tilan toiminnallista käyttöä.



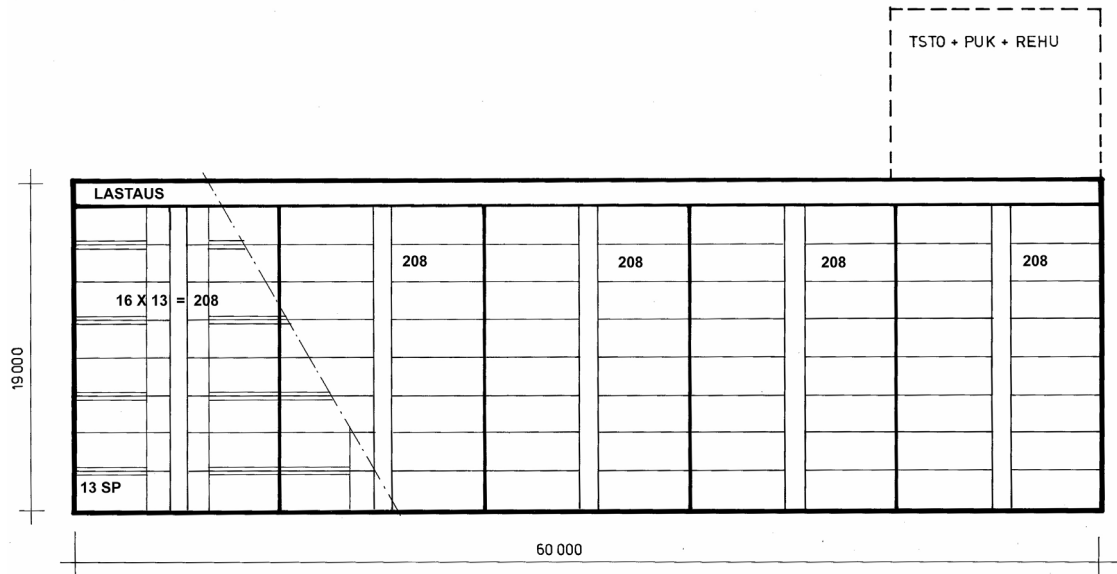
Kuva 2.2. 100-paikkainen emakkosikala; rakennuksen leveys on 20 m ja kerrosala 900 krs-m². Eläinryhmät on osastoitu kiintein väliseinin. Tässä mallissa joutilaat ja tiineytys on sijoitettu pihattoon, jonka rakenteena on kolminivelkehä (sisätila korkea). Sama rakenne voi jatkua porsitus- ja vieroitusosastolla, mutta jos sisäkatto halutaan tehdä vaakasuorana, on eriste sijoitettava lasketun katon tasoon.



Kuva 2.3. 200-paikkainen emakkosikala; rakennuksen leveys on 25,4 m ja kerrosala 1 432 krs-m². Eläinryhmät on osastoitu kiintein väliseinin. Rakennuksen pituussuuntainen keskiseinä voi olla kantava ja samalla palo-osastoiva REI 30 seinä (P3 paloluokan rakennus). Kantavana rakenteena käytetään välituellista kolminivelkehää, jossa välitukena on kantava seinä. Pelkästään toisen puolen sisäkaton ollessa kalteva voidaan käyttää palkki+ristikko-rakennetta.



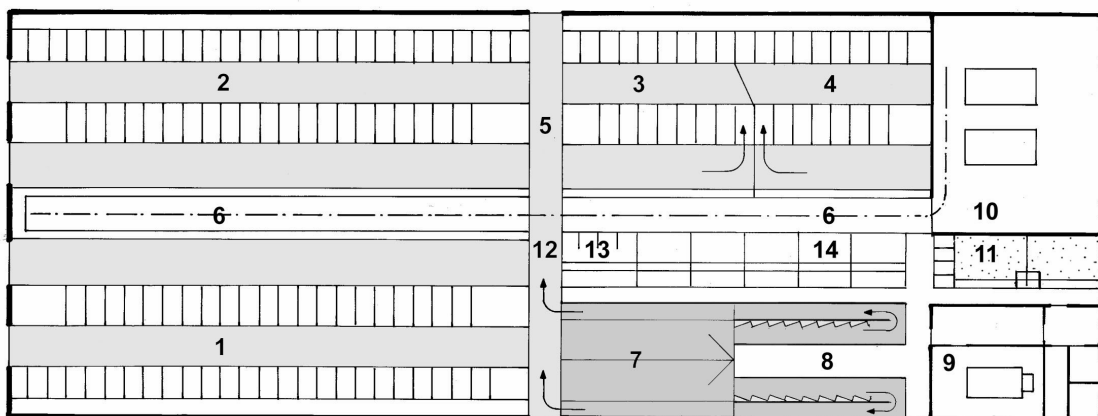
Kuva 2.4. 1080-paikkainen lihasikala ja kerrosala 1 240 krs-m². Toiminnallisuus perustuu keskikäytäväratkaisuuun, jolloin rakennuksen keskilinjan pituussuuntainen seinä voi toimia kantavana seinänä tai linjana. Poikittainen keskiseinä voi toimia palo-osastoivana seinänä (EI 30). Rakenteena voidaan käyttää välituellista kolminivelkehää joko korkeana sisätilana tai vaakasuoralla alakatolla. Toinen rakennukseen sopiva rakenne on ristikkokannatin tai puisella vetotangolla varustettu ansarakenne, jossa vaakasuora ja samalla eristetty katto syntyy luontevasti alapaarteena toimivan vetotangon tasoon. Lietelantaratkaisussa lietekanavat ovat rakennuksen pituussuunnassa, jolloin alapohjan raudoitus 2-tukisen kolminivelkehän perustusten vaakakuormia varten on hankala kanavien vuoksi.



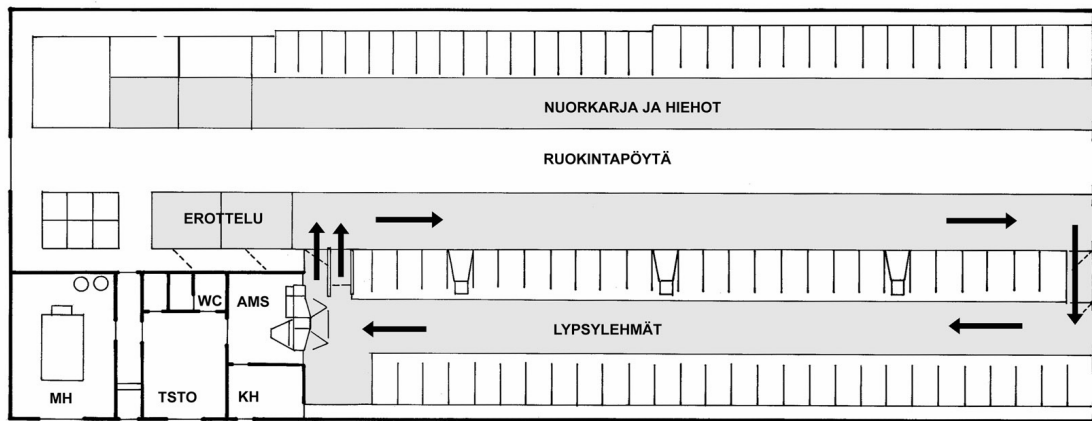
Kuva 2.5. 1 040-paikkainen lihasikala; rakennuksen leveys 19 m ja kerrosala 1 140 krs-m². Toiminnallisuus perustuu nk. sivukäytäväratkaisuun, jolloin rakennuksen keskilinjalla ei ole pituussuuntaista seinää. Kattokannattimina voidaan käyttää vetotankokannatinta tai ristikköä.

2.3 Lypsykarjapihattojen pohjaratkaisut

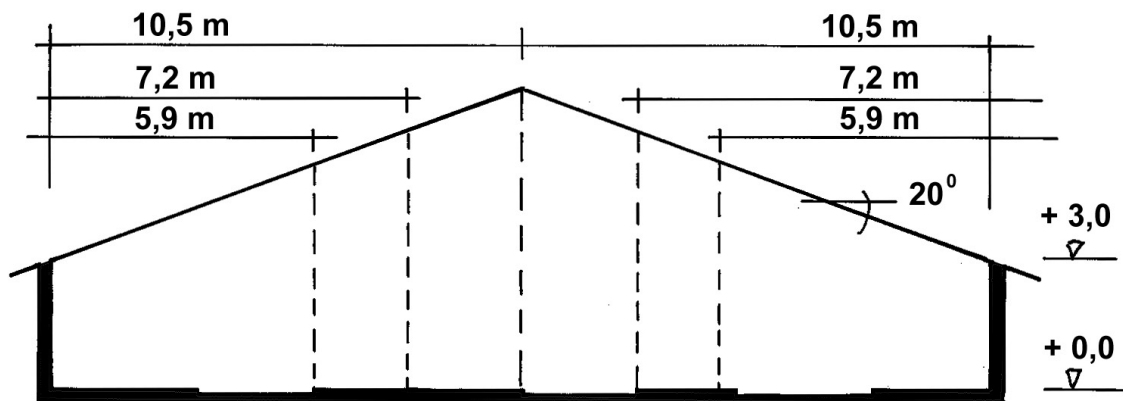
Kuvissa 2.6 ja 2.7 esitetään 2+2- ja 2+1-rivisten pihattojen pohjaratkaisut. Kantavana rakenteena voidaan käyttää kolminivelkehää, vetotankokannatinta tai laivakehää. Laivakehää käytettäessä välipilarit voidaan sijoittaa kuvan 2.8 mukaisiin kohtiin.



Kuva 2.6. 2+2-rivinen pihatto 84 lypsylehmälle sekä nuorkarjalle. Rakennuksen leveys on 21–23 m, kun ruokinta tapahtuu jakosukkulalla kapealle pöydälle.



Kuva 2.7. 2+1-rivinen pihatto 60 lypsylehmälle sekä nuorkarjalle. Rakennuksen leveys on 19 m, kun ruokinta tapahtuu apevaunulla leveälle ruokintapöydälle.



Kuva 2.8. Lypsykarjapihatossa pilareiden sijoitukselle on useita vaihtoehtoja kehän suunnassa. Rakennuksen pituussuuntainen moduuli on tyypillisesti 1,2 m:n kerrannainen.

3. Perusratkaisut

3.1 Yleiset periaatteet

Vallitsevan käsityksen mukaan jokainen suomalainen osaa rakentaa puutalon. Perinteisessä omakotitalossa tämä pitääkin paikkansa. Konstruktiivisesti tuloksena on yleensä luotettava lopputulos. Tämä johtuu muun muassa siitä, että perusratkaisut ovat rakentajalle tuttuja, kantavien rakenteiden mitat määräytyvät usein muista syistä kuin rakenteen kantavuuden perusteella, esimerkiksi seinätolppien dimensiot määräytyvät lämmöneristyspaksuuden perusteella ja siitä, että niihin voidaan kiinnittää verhouksmateriaalit. Myös rakenteiden jäykistys hoituu usein käytännössä rakennukseen tulevien väliseinien avulla riippumatta siitä, onko ne suunniteltu jäykistäväksi rakenneosaksi vai ei.

Kun siirrytään hallimaisiin rakennuksiin, jollaisia ovat massiivipuustakin tehtävät maatalouden tuotantorakennukset, on kaikki toisin. Jännevälit kasvavat, tilat avartuvat ja omakotitalon rakenteiden piilokapasiteettia ei ole enää käytössä. Tämä tarkoittaa, että kantavat rakenteet pitää tosiaan suunnitella ja myös toteuttaa suunnitelmien mukaan. Poikkeaminen suunnitelmasta voi olla kohtalokasta silloin, kun ei todella tiedetä, mitä poikkeaminen tarkoittaa. Maatalousrakennukset ovat suuria ja jänneväliltään pitkiä, ne ovat rakenteiden kantavuuden kannalta todella vaativia rakennuksia.

Pystykuormat osataan yleensä ottaa huomioon, koska esimerkiksi kattorakenteille tuleviin lumikuormiin on totuttu ja niistä aiheutuvista sortumistakin on ainakin lähipiirissä kokemuksia. Pystykuormia hankalampi ja oudompi asia ovat erityyppiset vaakakuormat. Tavallisin vaakakuorma on tuulikuorma ja rakennukset on mitoitettava tuulen aiheuttamille vaakakuormille. Vaakakuormia syntyy rakenteille pystykuormista myös silloin, kun rakenteet eivät ole pystysuorassa. Ne on voitu suunnitella jo alun perin vinoiksi, jolloin asiat ovat kunnossa, ellei vinous ole jäänyt ottamatta huomioon suunnittelijalta. Suunnittelemattomasti vaakakuormia syntyy silloin, kun alun perin pystysuuntaisiksi suunnitellut rakenteet tulevat esimerkiksi asennuksen takia vinoiksi. Lisäksi vaakakuormia pitää ottaa huomioon rakenteiden stabiilisuustukia mitoitettaessa. Esimerkiksi kattoristikoiden yläpaarteet ovat nurjahtaneet sivulle ja koko katto on sortunut, kun yläpaarteen nurjhdustuet ovat puuttuneet. Suuria vaakavoimia voi syntyä myös esimerkiksi erilaisten ylhäältä tuettujen nosturien tai vastaavien jarruvoimista.

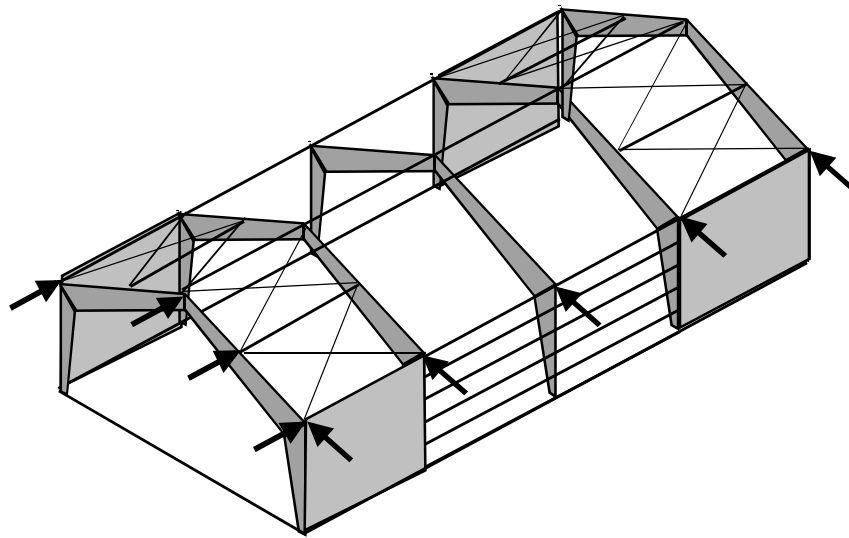
3.2 Rakennesysteemi

Perusratkaisussa on yleensä rakennuksen poikittaissuunnassa yhtenäisenä rakenteena toimiva konstruktio Tämä siirtää pystykuormat, joista tärkein on lumikuorma, ja esimerkiksi tuulesta tulevat vaakakuormat perustuksille pitkillä seinillä olevien pystyra-

kenteiden avulla. Rakennuksen sisällä voi olla myös pilareita, jos jännevälit ovat pitkät ja rakennuksen käyttö sallii sisäpilarit. Tällöin rakennuksen poikittaisessa suunnassa konstruktioita pitää usein pystyssä ulkoseinällä momenttijäykästi perustuksiin kiinnitetyt mastopilarit. Myös koko konstruktio voi olla kehärakenne, esimerkiksi kolminivelkehä. Pystypilarien tuenta rakennuksen pituussuunnassa on hoidettu erillisillä rakenteilla, esimerkiksi ulkoseinillä olevien nurjahdustukien ja jäykisteiden avulla. Näitä erillisiä rakenteita käsitellään seuraavassa hieman tarkemmin, koska niiden tärkeys voi jäädä ottamatta huomioon.

3.3 Puuhallin jäykistys

Kuten edellä mainittiin, maataloushalleissa on yleisesti suuri yhtenäinen avoin tila, jossa ei ole rakenteita, jotka luonnostaan jäykistäisivät hallia, joten ne on siis aina erikseen suunniteltava. Jäykistyksellä tarkoitetaan toimenpiteitä, joilla varmistetaan, että vaakasuuntaiset kuormat siirretään hallitusti perustuksille. Yksi jäykistysperiaate on esitetty kuvassa 3.1.

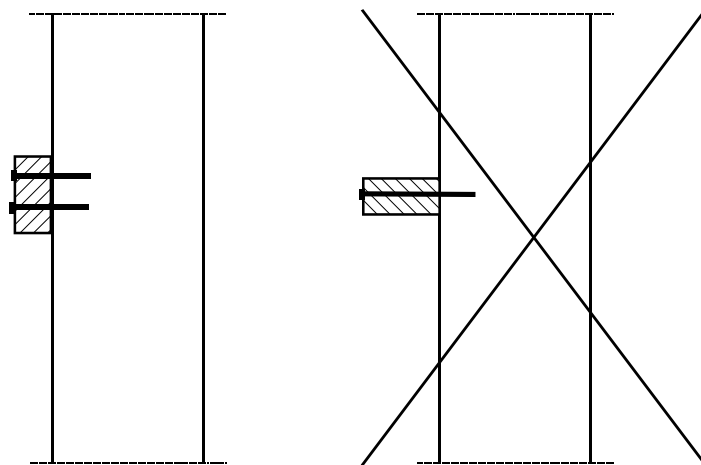


Kuva 3.1. Hallin jäykistävät osat. Pitkän seinän vaakajuoksut tukevat välillä olevat pääkannatteet päädyn jäykisteisiin. Samanlaiset voimia siirtävät juoksut tarvitaan tietenkin toiselle seinälle ja kattoon.

Kuvassa 3.1 hallin poikittaissuunnassa jäykistävänä rakenteena ovat kolminivelkehät, jotka siirtävät voimat perustuksille. Tavallisimmin rakennus jäykistetään niin sanottuna mastojäykistykseenä, jossa ulkoseinillä on perustuksiin toiseen suuntaan momenttijäykästi kiinnitetyt liimapuupilarit. Tämä jäykistys on yleensä kunnossa, mutta on ollut tapauksia, jossa tämäkin jäykistys on kokonaan puuttunut.

Rakennuksen pituussuunnassa jäykistyksen hoitavat nurkkien seinälevyt. Toinen tapa on jäykistää kyseiset pilarivälit esimerkiksi teräsristikoilla. On tärkeää, että jäykistettyjen nurkkien väliin jäävien kannatteiden nurjahdustuentaan tarvittavat voimat siirretään nurkkiin. Tämä voidaan tehdä esimerkiksi pääkannatteiden ulkoseinäpilareihin ja jäykistävään rakenteeseen kiinnitettyjen vaakajuoksujen avulla. Vaakajuoksuja tehtäessä on huolehdittava, että voimat siirtyvät myös jatkosten yli. Tarvittaessa voidaan käyttää esimerkiksi teräksistä jatkoslevyä, jos jatkamista ei voida tehdä porrastetusti eri pystyrakenteiden kohdalta.

Vaakajuoksu kannattaisi puun menekin kannalta kiinnittää siten, että sen suurempi poikkileikkausmitta on vaakasuuntaan. Tällöin pystykuormasta kuten seinärakenteen painosta tulee rasitus, joka pyrkii kääntämään juoksun ulkoreunaa alaspäin. Tältä kääntävältä voimalta vältytään, jos vaakajuoksu kiinnitetään siten, että poikkileikkauksen suurempi mitta tulee pystysuuntaan. Puun koko tällöin saattaa kasvaa, koska se on epäedullisessa suunnassa tuulikuorman nähden, mutta on edullisemmassa suunnassa kannattamaan ulkoverhousta.



Kuva 3.2. Ulkoseinän vaakajuoksun kiinnityisperiaate pääkannatteeseen. Vasemman puoleinen kiinnitys ei aiheuta pystykuormista merkittävää momenttirasitusta liitokseen. Oikean puoleinen aiheuttaa ja vaatii liitokseen erikoiskiinnikkeen, esimerkiksi kulma-raudan.

Periaatteessa rakennuksen pituussuunnankin jäykisteenä voisivat olla mastopilarit. Taloudellisista syistä puupilareita ei tässä suunnassa kuitenkaan tehdä kovin suuriksi, koska rakentamisen aikana on tärkeää saada heti kuntoon hallin poikittaissuuntainen jäykistys.

Pituussuuntaisten jäykisteiden tulee siirtää tuulesta aiheutuvat vaakakuormat sekä lisävaakavoimat, jotka aiheutuvat pystyrakenteiden mahdollisesta vinoudesta tai kuormituksen oletettua epäedullisemmasta vaikutussuunnasta. Jälkimmäiset voidaan laskea kaavasta

$$H_L = \frac{B P_d}{L 150} \geq \frac{P_d}{250}$$

missä

H_L on lisävaakavoima rakennuksen pitemmässä suunnassa,

P_d on pystykuorman laskenta-arvo,

B on rakennuksen leveys ja

L on rakennuksen pituus.

Päätyyn tulevat tuulikuormat ja kehien puristettujen yläpaarteiden nurjahdustuenta on hoidettu kummassakin päässä kahden kehän väliin niiden yläreunaan tehdyllä jäykistysristikolla. Kuvaan 3.1 piirrettyssä tapauksessa kehien väliset paksut viivat kuvaavat puista vertikaalisauvaa ja ohuet viivat vain vetoa ottavia teräsdiaagonaaleja, joista toiset toimivat rasiuksia kestävinä rakenteina, kun päätyyn tulee painetta ja toiset, kun päätyyn tulee imua.

Kuvan 3.1 katon tuuliristikko tai vastaava muu rakenne pitää olla riittävän luja ja myös riittävän jäykkä. Jäykkyysvaatimus tulee siitä, että liian joustava nurjahdustuki ei pysty estämään puristusvoimasta tulevaa nurjahdusvoimaa ja siirtymän seurauksena nurjahdusvoima tulee suuremmaksi kuin laskentakaavoja määritettäessä on oletettu.

Riittävän luja rakenne saadaan (vrt. kuva 3.3), kun jäykistävä rakenne mitoitetaan tasaiselle kuormalle, jonka suuruus on

$$q_d = \frac{nN_d}{50L}$$

missä

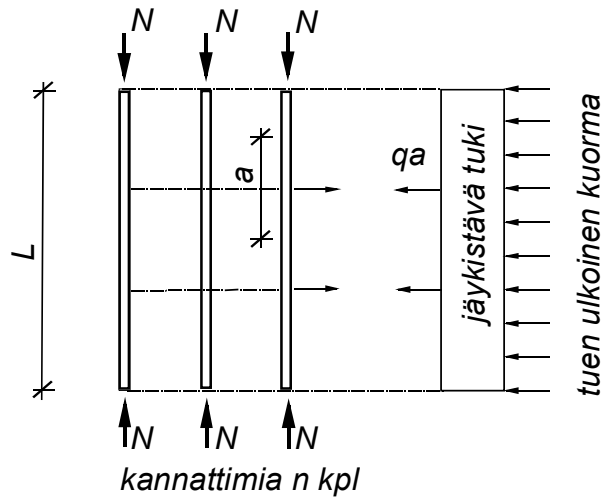
N_d on keskimääräinen puristusvoiman laskenta-arvo,

n on tuettavien kattorakenteiden lukumäärä ja

L on kattokannattajien jänneväli

Riittävä jäykkyys saadaan, kun jäykistävä rakenne mitoitetaan siten, että sen suurin taipuma edellä mainitusta kuormasta on korkeintaan $L/700$, ja kun lisäksi mukana on tuulikuorma, vaakasuuntainen kokonaistaipuma on enintään $L/500$.

Muut rakenteet kiinnitetään näihin jäykistäviin rakenteisiin. Jäykistäviä rakenteita olisi hyvä olla vähintään kaksi. Jos toinen jostain syystä vaurioituu, toinen toimii edelleen. Suurissa halleissa tuentaetäisyys tukevalta rakenteelta kaukaisimmalle tuettavalle rakenteelle voi käytännössä olla niin pitkä, että näiden välille tehty jäykistävä rakenne tulee helposti liian joustavaksi.



Kuva 3.3. Poikittaistuettu palkisto tai ristikkosysteemi.

Jos hallissa ei ole kuvan 3.1 mukaisia jäykistäviä kehiä tai mastoja, joudutaan pitkän sivun tuulikuormat viemään päädyille usein kattorakenteiden avulla. Tällöin päätyseini- en jäykistävät rakenteet tulevat helposti suuriksi ja ne on ankkuroitava tehokkaasti perustuksiin, koska päädyistä yleensä puuttuu pystykuormista tuleva vakauttava kuorma. Tällöin myös voi olla vaikeuksia saada rakennuksen päätyihin riittävän isoja ovia.

Toinen tapa katon jäykistämiseksi on tehdä kattoelementit jäykistäviksi rakenteiksi, jotka siirtävät tarvittavat voimat.

Jos pilari tai muu puristussauva nurjahtaa, niin se pitää sivusuunnassa tukea. Tämä tuki mitoitetaan massiivipuun yhteydessä voimalle

$$F_d = N_d / 50$$

missä

N_d on sauvan puristusvoima.

4. Puutavara

4.1 Lujuusluokat

Eurocode 5:n mukainen puun lujuusluokka C24 on suositeltavin massiiviselle sahatavaraalle. Kuoritun tukin tai tukin muotoa noudattaen kartiomaisesti sahatun puutavaran lujuusluokaksi voidaan yleensä olettaa C30 (T30).

Ympäristöministeriön rakennustarkastajille 3.4.2001 lähettämän ohjekirjeen D:no 4/6111/99 mukaan lujuusleimausvaatimuksesta voidaan joustaa ns. kotitarvepuuta käytettäessä eli tilanteessa, jossa rakennuttaja hankkii puutavaran tukkeina joko omasta tai vieraan metsästä, ja joko sahaa tai sahauttaa sen omaan käyttöönsä. Näin hankittua puutavaraa ei tarvitse lujuusleimata, jos se kuuluu lujuusluokkiin T24 tai T18 tai vastaaviin Insta-lujuusluokkiin T2 ja T1. Jos aiotaan käyttää korkeampaa lujuusluokkaa, niin sahatavara pitää olla lujuusleimattua.

Liimapuuta käytettäessä lujuusluokka valitaan liimapuun valmistajan ilmoittaman lujuusluokan mukaan. Liimapuun valmistus edellyttää ympäristöministeriön hyväksynnän mukaista laadunvalvontaa.

4.2 Mitat

Suurimpien poikkileikkausten tarve on palkeissa, jotka saavat pääasiassa taivutusrasituksia. Tällöin on tärkeätä, että palkin korkeus on mahdollisimman suuri, jos jänneväli on pitkä. Palkin leveys ei ole läheskään niin tärkeä, koska kapeita palkkeja voidaan tarvittaessa asentaa pienemmillä keskinäisillä väleillä. Jos palkin korkeuden ja leveyden suhde on suuri, palkki on tuettava hyvin kaatumisen estämiseksi. Ihanteellinen palkin pituus olisi sama kuin lappeen pituus eli suuruusluokkaa 10–12 m. Tällaisia massiivipuupalkkeja ei ole yleisesti kaupallisesti saatavissa.

Suuret dimensiot vaativat suuren tukkipoikkileikkauksen ja suuren pituuden eli kaiken kaikkiaan suuren puun. Tällaisen käsittely metsässä ja sahauksessa on totuttua työläämpää ja se koetaan hankalaksi. Pituus ei saisi olla suurempi kuin 8 metriä. Ihanteellista olisi, jos pärjättäisiin 6 metrin maksimipituudella. Tämä tarkoittaa sitä, että kattorakenteissa pitäisi selvittää lyhyemmällä tukiväleillä kuin kattolapteen pituus.

Pilareissa eli pystyrakenteissa puun poikkileikkauksen kummankin sivumitan tulisi olla suunnilleen sama, ellei pilariin tule esimerkiksi tuulikuormasta suuria taivutusrasituksia.

4.2.1 Poikkileikkaukset

Tavallisimmat ja suositeltavat sahatavaradimensiot on annettu taulukossa 4.1. Näitä dimensioita on yleensä saatavissa puutavariikkeistä. Suurien dimensioiden saanti voi olla joskus vaikeaa ja kuutiohintaa voi olla korkeampi kuin pienillä dimensioilla. Suurin mahdollinen dimensio on käytännössä 150x250 tai 100x300 mm². Näitä mittoja on käytetty esimerkkilaskelmissa suurimpana mahdollisena mittana.

Taulukko 4.1. Kyllästämättömän sahatavaran yleisimmät koot. Harvemmin varastoitavat koot on merkitty valkoisella ympyrällä.

Paksuus (mm)	Leveys (mm)							
	50	75	100	125	150	175	200	225
19 ¹			●	●	●			
22 ²	●*	●*	●	●	●	○		
25 ¹	●*		●	●	●	○		
32		○	●	●	○			
38			●	●	●			
44			○	○	○			
50	●*	●*	●	●	●	●	●	○
63					○		○	
75		○			○	○	●	●
100			●*		○		○	
125				●				
150					●			

* tehdään yleensä jälkihalkaisemalla, jolloin paksuus on 2 mm nimellismittaa pienempi.

¹ yleensä mäntyä

² yleensä kuusta

Taulukosta 4.1 huomataan, että suurin saatavissa oleva neliöpoikkileikkaus on 150x150 mm². Tämä olisi suurin pilarikoko. Suurin korkeus on 225 mm ja leveys 75 mm. Tämä olisi suurin palkkikoko. Tätä suurempia dimensioita saa ainoastaan tilauksesta sirkkeli-sahoilta. Tällöinkin toimitusajat tulevat pitkiksi johtuen järeän tukin vaikeasta saatavuudesta ja massiivisen poikkileikkauksen vaatimasta pitkästä kuivausajasta.

4.2.2 Pituudet

Yleisimmät saatavissa olevat sahatavaran pituudet ovat 1,8...6,0 m 0,3 m jaolla. Sormijatkettua lujuuslajiteltua normaalidimensioista sahatavaraa saa tilauksesta halutun mitaisena – jopa 15 m pitkänä. Sirkkelisahoilla on usein mahdollista sahata 8 m pitkää sahatavaraa. Erikoisjärjestelyin eräillä sirkkelisahoilla voidaan sahata jopa 11 m pitkiä parruja.

5. Rakenteet

5.1 Yleistä

Aluksi tässä luvussa annetaan tavanomaisille ja massiivisille sahatavaran poikkileikkauksille mitoitusaulukko, josta saadaan tarvittavat dimensiot, kun tunnetaan kuorma, palkeilla jänneväli ja palkkien k-väli. Pilareista annetaan puristuskapasiteetit tavallisimmille poikkileikkauksille, kun nurjahduspituus on 3–6 m. Rakenteista esitetään laivakehä, kolminivelkehä, vitaposkikehä, vetotankokannate ja mekaanisesti yhdistetty palkki. Mitoitusohjeiden lisäksi optimoidaan tyypillisiä rakenteita rajoitusten puitteissa. Optimoinnissa esitetään kustannukset tiedossa olevien perusteiden mukaan. Lisäksi esitetään yleisiä ohjeita rakenteiden valmistuksesta ja perustuksille tulevista vaatimuksista (momenttijäykkyä liitos, perustus, joka ottaa vaakavoimia jne.), puuosien välisten liitosten suositeltavia ratkaisuja (valmiiksi rei'itetyt naulauslevyt, yhdistettyjen palkkien ruuviliitokset), pystytysvinkkejä jne.

5.2 Mitoitusaulukot

5.2.1 Sahatavarapalkit

Taulukoissa 5.1–5.4 on esitetty omapainolla $0,6 \text{ kN/m}^2$ ja lumikuormalla 2 kN/m^2 rasi-tettuja C24 lujuusluokan sahatavarapalkkeja. Käytetty lumikuorma pätee suurilla alueilla keskisessä Suomessa (katolla olevan lumikuorman ominaisarvo Eurocode-mitoituksessa). Muilla alueilla täytyy lumikuormana käyttää paikkakunnan lumikuormaa. Mitoitusaulukoista 5.1–5.4 saadaan teoreettinen murtorajatilamitoituksen mukainen minimipalkkiväli annetuilla puutavaran dimensioilla eri jänneväleillä. Mikäli taipumasta on haittaa, taulukossa lihavoituna esitettyjä arvoja ei pitäisi käyttää (lopputaipuma $> L/200$).

Taulukkojen 5.1 ja 5.2 arvot pätevät palkeille, jotka ovat syrjällään eli varsinaisille palkeille. Taulukkojen 5.3 ja 5.4 arvot on annettu lappeellaan oleville palkeille, joita ovat esimerkiksi ruodelaudat.

Taulukossa 5.5 on annettu muuntokertoimet, joiden avulla saadaan muilla kuormilla sallittava suurin mahdollinen palkkiväli. Muuntokertoimella kerrotaan taulukoista 5.1–5.4 saatava peruspalkkiväli.

Taulukko 5.1. Syrjällään olevien palkkien eri poikkileikkausdimensioilla ja jänneväleillä murtorajatilassa sallittava palkkiväli (mm), kun kuormana on rakenteen omapaino 0,6 kN/m² ja lumikuorma 2 kN/m². Jännevälit on tarkistettu erikseen myös pistekuormalle 1,5 kN. Lopputaipuman L/200 ylittävät tapaukset on esitetty lihavoituna ja L/150 taipuman ylittävät arvot vielä lisäksi kursivilla. Puutavaran lujuusluokka on C24 ja käyttöluokka on 2.

<i>b</i> x <i>h</i> (mmxmm)	Jänneväli (mm)														
	1200	1500	1800	2100	2400	2700	3000	3300	3600	3900	4200	4500	4800	5100	5400
32x75	855														
32x100	1435	919	638												
32x125	2145	1373	953	700	536	424	343								
38x100	1704	1091	757	557	426										
38x125	2547	1630	1132	832	637	503	407	337	283						
38x150	3536	2263	1572	1155	884	698	566	468	393	335	289	251	221	196	
44x100	1973	1263	877	644	493	390									
44x125	2949	1887	1311	963	737	582	472	390	328	279	241				
44x150	4094	2620	1820	1337	1024	809	655	541	455	388	334	291	256	227	202
50x75	1336	855	594												
50x100	2242	1435	997	732	561	443	359								
50x125	3351	2145	1489	1094	838	662	536	443	372	317	274	238	209		
50x150	4653	2978	2068	1519	1163	919	744	615	517	440	380	331	291	258	230
50x175	6333	4053	2815	2068	1583	1251	1013	837	704	600	517	450	396	351	313
50x200	8271	5294	3676	2701	2068	1634	1323	1094	919	783	675	588	517	458	408
50x225	10468	6700	4653	3418	2617	2068	1675	1384	1163	991	855	744	654	580	517

Taulukko 5.2. Syrjällään olevien palkkien eri poikkileikkausdimensioilla ja jänneväleillä murtorajatilassa sallittava palkkiväli (mm), kun kuormana on rakenteen omapaino 0,6 kN/m² ja lumikuorma 2 kN/m². Jännevälit on tarkistettu erikseen myös pistekuormalle 1,5 kN. Lopputaipuman L/200 ylittävät tapaukset on esitetty lihavoituna ja L/150 taipuman ylittävät arvot vielä lisäksi kursivilla. Puutavaran lujuusluokka on C24 ja käyttöluokka on 2.

<i>b</i> x <i>h</i> (mmxmm)	Jänneväli (mm)														
	2400	2700	3000	3300	3600	3900	4200	4500	4800	5100	5400	5700	6000	6600	7200
63x125	1056	834	676	558	469	400	345	300	264	234	209	187	169		
63x150	1466	1158	938	775	651	555	479	417	366	325	289	260	234	194	163
63x175	1995	1576	1277	1055	887	755	651	567	499	442	394	354	319	264	222
63x200	2605	2059	1667	1378	1158	987	851	741	651	577	515	462	417	345	289
75x150	1745	1379	1117	923	775	661	570	496	436	386	345	309	279	231	194
75x200	3102	2451	1985	1641	1379	1175	1013	882	775	687	613	550	496	410	345
75x225	3926	3102	2512	2076	1745	1487	1282	1117	981	869	775	696	628	519	436
75 x 250	4846	3829	3102	2563	2154	1835	1583	1379	1212	1073	957	859	775	641	538
100x100	1121	886	718	593	498	425	366	319	280	248	221	199	179		
100x150	2326	1838	1489	1230	1034	881	760	662	582	515	460	412	372	308	258
100x200	4136	3268	2647	2187	1838	1566	1350	1176	1034	916	817	733	662	547	460
100x250	6462	5106	4136	3418	2872	2447	2110	1838	1615	1431	1276	1146	1034	854	718
100x300	9305	7352	5955	4922	4136	3524	3038	2647	2326	2061	1838	1650	1489	1230	1034
125x125	2094	1655	1340	1108	931	793	684	596	524	464	414	371	335	277	233
125x150	2908	2298	1861	1538	1292	1101	950	827	727	644	574	516	465	385	323
150x150	3489	2757	2233	1846	1551	1321	1139	993	872	773	689	619	558	461	388
150x200	6203	4902	3970	3281	2757	2349	2026	1765	1551	1374	1225	1100	993	820	689
150x250	9693	7659	6203	5127	4308	3671	3165	2757	2423	2147	1915	1718	1551	1282	1077

Taulukko 5.3. Lappeellaan olevien palkkien eri poikkileikkausdimensioilla ja jänneväleillä murtorajatilassa sallittava palkkiväli (mm), kun kuormana on rakenteen omapaino 0,6 kN/m² ja lumikuorma 2 kN/m². Jännevälit on tarkistettu erikseen myös pistekuormalle 1,5 kN. Sarakkeessa 1 on kullekin dimensiolle sallittava suurin jänneväli pistekuorman suhteen. Lopputaipuman L/200 ylittävät tapaukset on esitetty lihavoituna ja L/100 taipuman ylittävät arvot vielä lisäksi kursivilla. Puutavaran lujuusluokka on C24 ja käytöluokka on 2.

b x h (mm x mm)	F _k =1,5 kN	Jänneväli (mm)												
		600	900	1200	1500	1800	2100	2400	2700	3000	3300	3600	3900	4200
32x75	733 ^{*)}	1652												
32x100	977 ^{*)}	2202	979											
32x125	1207 ^{**)}	2753	1223	688										
38x100	1361 ^{**)}	3105	1380	776										
38x125	1702 ^{**)}	3882	1725	970	621									
38x150	1694	4658	2070	1165	745									
44x100	1794 ^{**)}	4093	1819	1023	655									
44x125	1861	5116	2274	1279	819	568								
44x150	2233	6139	2729	1535	982	682	501							
50x50	1129 ^{**)}	2576	1145											
50x75	1694 ^{**)}	3864	1717	966	618									
50x100	1874	5152	2290	1288	824	572								
50x125	2342	6440	2862	1610	1030	716	526							
50x150	2811	7728	3435	1932	1236	859	631	483	382					
50x175	3279	9016	4007	2254	1443	1002	736	563	445	361				
50x200	3748	10304	4579	2576	1649	1145	841	644	509	412	341	286		
50x225	4216	11592	5152	2898	1855	1288	946	724	572	464	383	322	274	237

^{*)} laskettu kolmiaukkoisena

^{**)} laskettu kaksiaukkoisena

Taulukko 5.4. Lappeellaan olevien palkkien eri poikkileikkausdimensioilla ja jänneväleillä murtorajatilassa sallittava palkkiväli (mm), kun kuormana on rakenteen omapaino 0,6 kN/m² ja lumikuorma 2 kN/m². Jännevälit on tarkistettu erikseen myös pistekuormalle 1,5 kN. Sarakkeessa 1 on kullekin dimensiolle sallittava suurin jänneväli pistekuorman suhteen. Lopputaipuman L/200 ylittävät tapaukset on esitetty lihavoituna ja L/100 taipuman ylittävät arvot vielä lisäksi kursiivilla. Puutavaran lujuusluokka on C24 ja käyttöluokka on 2.

bxh (mmxmm)	Jänneväli (mm)															
	$F_k=1,5$ kN	1200	1500	1800	2100	2400	2700	3000	3300	3600	3900	4200	4500	4800	5100	5400
63x125	3551	2441	1562	1085	<i>797</i>	<i>610</i>	<i>482</i>	<i>390</i>	<i>323</i>							
63x150	4261	2929	1874	1302	<i>956</i>	<i>732</i>	<i>578</i>	<i>469</i>	<i>387</i>	<i>325</i>	<i>277</i>	<i>239</i>				
63x175	4971	3417	2187	1519	<i>1116</i>	<i>854</i>	<i>675</i>	<i>547</i>	<i>452</i>	<i>380</i>	<i>323</i>	<i>279</i>	<i>243</i>	<i>214</i>		
63x200	5681	3905	2499	1735	<i>1275</i>	<i>976</i>	<i>771</i>	<i>625</i>	<i>516</i>	<i>434</i>	<i>370</i>	<i>319</i>	<i>278</i>	<i>244</i>	<i>216</i>	
75x75	2916	2004	1283	891	<i>654</i>	<i>501</i>										
75x150	5832	4008	2565	1781	1309	<i>1002</i>	<i>792</i>	<i>641</i>	<i>530</i>	<i>445</i>	<i>379</i>	<i>327</i>	<i>285</i>	<i>251</i>	<i>222</i>	<i>198</i>
75x200	7776	5344	3420	2375	1745	<i>1336</i>	<i>1056</i>	<i>855</i>	<i>707</i>	<i>594</i>	<i>506</i>	<i>436</i>	<i>380</i>	<i>334</i>	<i>296</i>	<i>264</i>
75x225	8748	6012	3848	2672	1963	<i>1503</i>	<i>1188</i>	<i>962</i>	<i>795</i>	<i>668</i>	<i>569</i>	<i>491</i>	<i>428</i>	<i>376</i>	<i>333</i>	<i>297</i>
100x150	9788	6727	4306	2990	2197	1682	1329	1076	<i>890</i>	<i>747</i>	<i>637</i>	<i>549</i>	<i>478</i>	<i>420</i>	<i>372</i>	<i>332</i>
100x200	13051	8970	5741	3987	2929	2242	1772	1435	<i>1186</i>	<i>997</i>	<i>849</i>	<i>732</i>	<i>638</i>	<i>561</i>	<i>497</i>	<i>443</i>
125x150	14626	10053	6434	4468	3283	2513	1986	1608	1329	1117	952	821	715	628	557	496
150x200	27077	18610	11911	8271	6077	4653	3676	2978	2461	2068	1762	1519	1323	1163	1030	919

Taulukko 5.5. Taulukkojen 5.1–5.4 muuntokertoimet, kun rakenteen omapaino on 0–1,0 kN/m² ja lumikuorma on 0–3,6 kN/m².

Lumi	Omapaino										
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,0		31,0	15,5	10,3	7,75	6,20	5,17	4,43	3,88	3,44	3,10
0,2	12,4	8,86	6,89	5,64	4,77	4,13	3,65	3,26	2,95	2,70	2,48
0,4	6,20	5,17	4,43	3,88	3,44	3,10	2,82	2,58	2,38	2,21	2,07
0,6	4,13	3,65	3,26	2,95	2,70	2,48	2,30	2,14	2,00	1,88	1,77
0,8	3,10	2,82	2,58	2,38	2,21	2,07	1,94	1,82	1,72	1,63	1,55
1,0	2,48	2,30	2,14	2,00	1,88	1,77	1,68	1,59	1,51	1,44	1,38
1,2	2,07	1,94	1,82	1,72	1,63	0,0	1,48	1,41	1,35	1,29	1,24
1,4	1,77	1,68	1,59	1,51	1,44	0,2	1,32	1,27	1,22	1,17	1,13
1,6	1,55	1,48	1,41	1,35	1,29	0,4	1,19	1,15	1,11	1,07	1,03
1,8	1,38	1,32	1,27	1,22	1,17	0,6	1,09	1,05	1,02	0,98	0,95
2,0	1,24	1,19	1,15	1,11	1,07	0,8	1,00	0,97	0,94	0,91	0,89
2,2	1,13	1,09	1,05	1,02	0,98	0,95	0,93	0,90	0,87	0,85	0,83
2,4	1,03	1,00	0,97	0,94	0,91	0,89	0,86	0,84	0,82	0,79	0,78
2,6	0,95	0,93	0,90	0,87	0,85	0,83	0,81	0,78	0,77	0,75	0,73
2,8	0,89	0,86	0,84	0,82	0,79	0,78	0,76	0,74	0,72	0,70	0,69
3,0	0,83	0,81	0,78	0,77	0,75	0,73	0,71	0,70	0,68	0,67	0,65
3,2	0,78	0,76	0,74	0,72	0,70	0,69	0,67	0,66	0,65	0,63	0,62
3,4	0,73	0,71	0,70	0,68	0,67	0,65	0,64	0,63	0,61	0,60	0,59
3,6	0,69	0,67	0,66	0,65	0,63	0,62	0,61	0,60	0,58	0,57	0,56

5.2.2 Sahatavarapilarit

Taulukossa 5.6 on annettu sahatavarapilarien kantavuuksia eri nurjahduspituuksille. Nurjahduspituudet vaihtelevat 300 mm välein 3000 mm:sta 6000 mm. Poikkileikkauksiksi on valittu yleisempiä dimensioita. Mukaan on otettu myös suorakaidepoikkileikkauksia, joissa lyhyempi mitta on paljon pienempi kuin pitempi mitta. Tällaiset poikkileikkaukset ovat epäedullisia silloin, kun pilari on tukematon kaikissa suunnissaan. Varsinkin ulkoseinällä oleva pilari voidaan tukea helposti esimerkiksi seinärakenteella heikommassa suunnassa. Tukiväli eli nurjahduspituus heikommassa suunnassa saadaan vahvemman suunnan nurjahduspituuden avulla kaavasta

$$L_{c,b} = \frac{b}{h} L_{c,h} \quad (5.1)$$

missä

- $L_{c,h}$ on nurjahduspituus vahvemmassa suunnassa,
- b on suorakaidepilarin pienempi sivumitta,
- h on suorakaidepilarin suurempi sivumitta,
- $L_{c,b}$ on n nurjahduspituus heikommassa suunnassa.

Taulukko 5.6. Sahatavarapilarien kantavuuksia (kN) eri nurjahduspituuksille, kun nurjahdus heikommassa suunnassa on estetty. Kantavuudet ovat Eurocode 5:n (RIL 205) mukaisen lyhytaikaisen aikaluokan mitoituskapasiteetteja lujuusluokassa C24 ja käyttöluokissa 1 ja 2.

$b \times h$	Nurjahduspituus L_C (mm)										
	3000	3300	3600	3900	4200	4500	4800	5100	5400	5700	6000
50x100	21,0	17,6	14,9	12,8	11,1	9,72	8,58	7,63	6,82	6,14	5,56
50x125	39,4	33,2	28,3	24,4	21,2	18,6	16,5	14,7	13,1	11,8	10,7
50x150	63,9	54,8	47,2	41,0	35,8	31,5	27,9	24,9	22,4	20,2	18,3
50x175	92,1	81,3	71,4	62,6	55,1	48,8	43,4	38,8	34,9	31,5	28,6
50x200	120	110	99,1	88,5	78,9	70,4	63,0	56,6	51,0	46,2	42,0
75x200	180	165	149	133	118	106	94,5	84,8	76,5	69,3	63,0
75x225	218	206	191	175	159	144	130	117	106	96,6	88,1
100x100	42,0	35,1	29,8	25,6	22,2	19,4	17,2	15,3	13,6	12,3	11,1
100x150	128	110	94,5	81,9	71,6	63,0	55,9	49,8	44,7	40,3	36,6
100x200	240	220	198	177	158	141	126	113	102	92,4	84,0
125x125	98,4	83,0	70,8	61,0	53,1	46,6	41,2	36,7	32,8	29,6	26,8
150x150	192	164	142	123	107	94,5	83,8	74,7	67,1	60,5	54,8

5.3 Liitokset

5.3.1 Liitosten mitoituksesta

Tässä käsitellään pääasiassa niin sanottuja leikkausliitoksia eli liitoksia, joissa voima tulee liitokseen kohtisuorasti liittimen pituussuuntaa vastaan. Tällaisia liitoksia kuten naulaliitoksia suunniteltaessa pyritään siihen, että liitos murtuu siten, että liitin taipuu ennen liitoksen pettämistä eli liitoksen murtotapa on sitkeä. Naulaliitoksissa näin on yleensä. Pulttiliitoksissa tai muissa vastaavissa voidaan joutua tilanteeseen, jossa liitos murtuu puusta liitosalueen ympäristöstä ja murtotapa on hauras. Sitkeä liitos sietää pieniä epätarkkuuksia työssä ja se varoittaa ennen murtumista, jos jotain on mennyt väärin rakenteessa.

Monesti tarvittavan liitoksen koko määrää rakenteissa tarvittavan puun koon. Naulaliitoksissa ja muissa vastaavissa liitoksissa on tästä syystä taloudellista saada liittimet riittävän pienelle alalle. Jos liittimet tulevat liian lähelle toisiaan, niin liittimien vaatimat reiät heikentävät liiaksi puuta. Jos liittimille ei porata reikiä, mikä on tyypillistä esimerkiksi tavanomaisissa naulaliitoksissa, niin naulausvaiheessa puu halkeaa, jos liittimet tulevat liian lähelle toisiaan.

Puurakenteiden suunnitteluohjeissa on annettu pienimmät sallitut etäisyydet liittimestä toiseen ja pienimmät sallittavat etäisyydet liittimestä puun reunaan ja puun päähän. Hyvä keino suurien liitosten tekemiseen on käyttää liitoksissa rei'itettyjä teräslevyjä. Niissä on nauvoja varten valmiit reiät, joten naulojen välisistä etäisyyksistä ei tarvitse huolehtia. Teräslevyjen kanssa käytettävien erikoisnaulojen (ankkurinaulojen) läpimitta on 4 mm ja pituus 40–60 mm. 60 mm pituisia nauvoja kannattaa käyttää, jos puun paksuus vain sallii sen. Eripuolilta löytyvät nauulat saavat tulla kohdakkoin, jos puun paksuus on suurempi kuin naulan tunkeuma puussa $+4d$, jossa d on naulan paksuus. 50 mm pituisia ankkurinauloja voidaan siis käyttää molemmin puolin naulattavien reikälevyjen yhteydessä, kun sahatavaran paksuus on vähintään 63 mm. Vastaavasti 60 mm pituisia nauvoja voidaan käyttää, kun puun paksuus on vähintään 75 mm.

Kun teräslevy liitetään puuhun, erotetaan kaksi tapausta riippuen siitä, onko teräslevy paksu vai ohut. Suunnitteluohjeiden mukaan teräslevy on ohut, kun teräslevyn paksuudelle t ja liittimen paksuudelle d pätee $t/d \leq 0,5$ ja teräslevy on paksu, kun suhde $t/d \geq 1$. Väliarvot saadaan interpoloida suoraviivaisesti. Rei'itettyä teräslevyä ja ankkurinaulaa käytettäessä jää suhde t/d yleensä aina pienemmäksi kuin 0,5, eli pitäisi käyttää ohuen teräslevyn kaavoja. Ankkurinauloilla tehdyissä kokeissa saadaan kuitenkin arvoja, jotka vastaavat paksun teräksen mitoituskaavoilla saatuja arvoja, mikä selittyy sillä, että naula toimii kartiomaisen kantaosansa vuoksi liitoksessa ikään kuin teräsosa olisi paksu. Tästä syystä voidaan suositella, että ankkurinauloilla kootussa teräs-puuliitoksessa voidaan käyttää aina paksulle teräslevylle tarkoitettuja mitoituskaavoja.

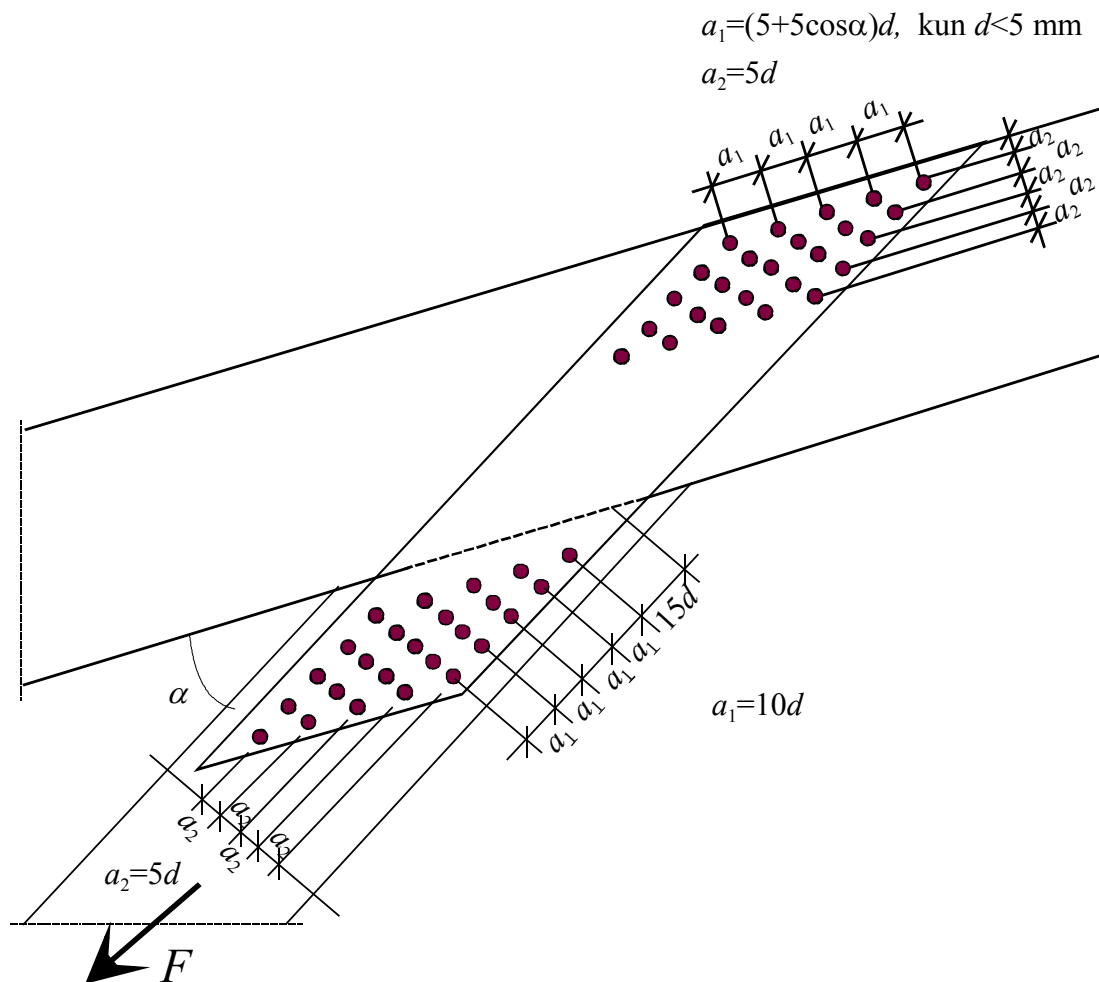
Naulojen etäisyyksistä puun reunoista ja päästä on aina huolehdittava. Pienimmät sallittavat etäisyydet ovat yleisesti jokin luku kertaa naulan paksuus d . Esimerkki liitinten sijoitusperiaatteesta on esitetty kuvassa 5.1.

Pienin sallittava etäisyys puun reunasta on $5d$ silloin, kun voima vaikuttaa puun pituussuuntaan. Pienin etäisyys puun päästä on $15d$, jos vetoliitos on puun päässä. Jos liitokseen tulee puristusta, mitta on vastaavasti $10d$. Liittimien väliset etäisyydet voidaan pienentää 70 %:iin, kun teräslevy liitetään puuhun. Tällöin on kuitenkin tehtävä lohkeamismurtotarkastelu eli tarkistettava, ettei liitos murru puusta liitosalueen ulkoreunoja pitkin.

Jos voima vaikuttaa kulmassa α puun pituussuuntaan nähden, pienin sallittava naulojen välinen etäisyys on puun syysuunnassa $(5 + 5|\cos \alpha|)d$. Pienimmillään tämä etäisyys on siis $5d$ silloin, kun voima vaikuttaa kohtisuorasti syiden suuntaa vastaa. Tämä etäisyys on niin pieni, että naulattaessa on huolehdittava siitä, että syiden suunnassa peräkkäin olevat naulat lyödään naulan paksuuden verran sivuun toisiinsa nähden, jolloin samaan syyhyyn tulevien naulojen etäisyys siis kaksinkertaistuu minimiarvoon verrattuna. Tämä menettely on hyvä kaikissa liitoksissa. Jos liitokseen tulee paljon nauloja sekä pituudesta poikittaissuuntaan, kannattaa naulaus tehdä siten, että naulat lyödään aluksi liitosryhmän ulkokehälle ja sieltä siirrytään sitten keskialueelle päin. Tällöin ulkokehän naulaus tukee sisäosaan jäävää puuta ja puun halkeiluvaara pienenee.

Yksi muistettava asia on se, etteivät liittimet tule vetoliitoksessa puun reunaan silloin kun liitoksesta tuleva rasitus aiheuttaa puussa vetoa syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa. Kuvassa 5.1 tämä näkyy siinä, että ylemmän vinon puun naularyhmä on sijoitettu puun yläreunaan eli puun poikittaissuunnassa mahdollisimman kauas. Jos naulat halutaan sijoittaa alareunan lähelle, pitää tarkistaa puun syitä vastaan kohtisuora vetorasitus. Tähän on suunnitteluohjeissa laskentakaavat.

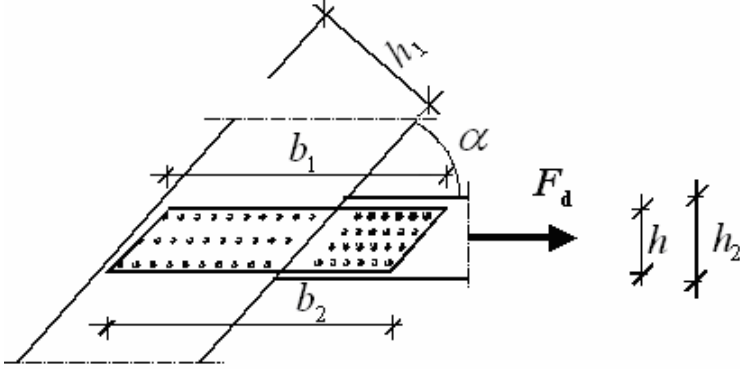
Suurissa liitoksissa on kiinnitettävä huomiota puun kuivumisesta aiheutuvaan halkeiluvaaraan liitosalueella, kun puu kutistuu syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa eikä tärkeinen liitososa anna periksi. Tästä syystä tuoreesta puutavarasta rakenteita valmistettaessa pitäisi aluksi kiinnittää vain osa liittimistä ja siten, että ne ovat vierekkäisissä riveissä lähellä toisiaan. Puun kuivuttua ja ennen rakenteen käyttöön ottoa kiinnitetään loput liittimet.



Kuva 5.1. Liittimien sijoittaminen liitokseen. Symboli d on naulan paksuus.

Taulukoissa 5.7 ja 5.8 on laskettu esimerkkejä liitokselle, kun vetosauva liitetään kulmassa olevaan toiseen sauvaan, esimerkiksi vinoon kattolappeeseen, molemmiin puolin puuta tulevilla rei'itetyillä teräslevyillä. Nauloina on käytetty edellä mainittuja ankkurinauloja. Lähtökohdana ovat olleet vetovoimien mitoitusarvot eli arvot, jotka on saatu kertomalla ominaiskuormat asianomaisilla kuorman osavarmuuskertoimilla. Puun on oletettu olevan lujuusluokkaa C24.

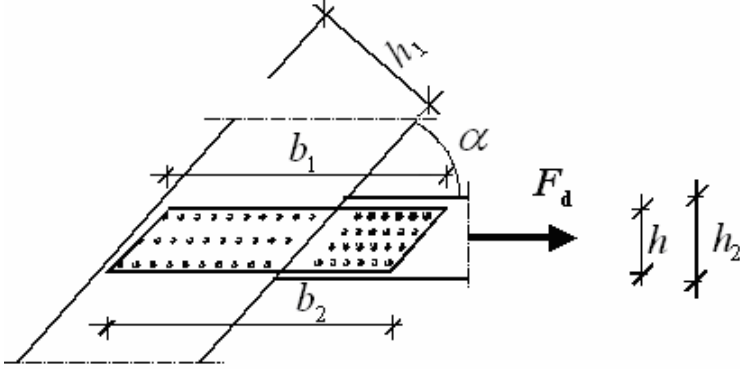
Taulukko 5.7. Esimerkkejä naulauslevyliitoksen mitoittamisesta vetovoimille 10–150 kN, kun lappeen kaltevuus on 1:2 (26,5°). n_x on nauhojen lukumäärä voiman suunnassa ja n_y voimaa vastaan kohtisuorassa suunnassa.



Voima F_d (kN)	10,00	20,00	40,00	60,00	80,00	100,00	150,00
Puut:							
Lujuusluokka	C24	C24	C24	C24	C24	C24	C24
Leveys b (mm)	150	150	150	150	150	150	150
Korkeus $h_{1,min}$ (mm)	60	80	100	120	160	180	240
Korkeus $h_{2,min}$ (mm)	120	120	160	160	160	163	160
Kulma α (°)	26,6	26,6	26,6	26,6	26,6	26,6	26,6
Nauloja vinopuuhun ¹⁾							
n_x (kpl)	1	2	3	4	6	7	10
n_y (kpl)	5	6	7	8	7	7	8
Nauloja vaakapuuhun ¹⁾							
n_x (kpl)	1	3	3	5	7	7	11
n_y (kpl)	5	4	7	7	6	7	7
Teräslevy:							
b_1 (mm)	210	335	379	504	673	718	1012
b_2 (mm)	210	335	379	504	673	718	1012
h (mm)	112	92	152	152	132	155	152
Liitoksen hinta (€)							
Materiaali	0,66	1,32	2,64	3,96	5,28	6,60	9,90
Työ	0,54	1,08	2,16	3,24	4,32	5,40	8,10
Yhteensä	1,20	2,4	4,8	7,20	9,60	12,00	18,00

¹⁾ nauloja yhteensä/puu – kummallekin puolelle tulee puolet tästä.

Taulukko 5.8. Esimerkkejä naulauslevyliitoksen mitoittamisesta vetovoimille 10–150 kN, kun lappeen kaltevuus on 1:3 (18,4°). n_x on peräkkäisten nauhojen lukumäärä voiman suunnassa ja n_y voimaa vastaan kohtisuorassa suunnassa.



Voima F_d (kN)	10,00	20,00	40,00	60,00	80,00	100,00	150,00
Puut:							
Lujuusluokka	C24	C24	C24	C24	C24	C24	C24
Leveys b (mm)	150	150	150	150	150	150	150
Korkeus $h_{1,min}$ (mm)	60	80	100	120	160	160	240
Korkeus $h_{2,min}$ (mm)	120	100	160	160	160	200	160
Kulma α (°)	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4
Nauvoja vinopuuhun	10	20	39	59	78	98	147
n_x (kpl)	1	2	3	4	6	6	10
n_y (kpl)	5	6	7	8	7	9	8
Nauvoja vaakapuuhun (kpl)	10	20	39	59	78	98	147
n_x (kpl)	1	3	3	5	6	6	11
n_y (kpl)	5	4	7	7	7	9	7
Teräslevy:							
b_1 (mm)	266	409	473	616	783	783	1236
b_2 (mm)	266	409	473	616	783	783	1236
h (mm)	112	92	152	152	152	192	152
Liitoksen hinta (€)							
Materiaali	0,66	1,32	2,64	3,96	5,28	6,60	9,90
Työ	0,54	1,08	2,16	3,24	4,32	5,40	8,10
Yhteensä	1,20	2,40	4,80	7,20	9,60	12,00	18,00

5.3.2 Liitostekniikoiden tehokkuusvertailu

Liitteessä A on esitetty massiivipuुरakentamiseen soveltuvien liitostekniikoiden kustannusvertailuja, joissa on otettu huomioon materiaali- ja työkustannukset vuoden 2004 hintatasolla. Eri liitostekniikoiden välistä kustannustehokkuutta on arvioitu tunnusluvulla, joka on saatu jakamalla liitoksen kokonaiskustannukset liitoksen voimansiirtokapasiteetilla (€/kN). Taulukossa 5.9 on esitetty yhteenveto eri liitostekniikoiden laskennallisista kustannustehokkuuksista.

Taulukko 5.9. Liitostekniikoiden kustannustehokkuudet ja materiaalikustannusten osuus liitoksen kokonaishinnasta. Tunnusluvut (€/kN) on laskettu C24 lujuusluokan vedetyille jatkosliitoksille RIL 205–2003 mukaisella mitoituksella lyhytaikaisessa aikaluokassa ja käyttöluokassa 2, kun sauvan paksuus on $t = 50–100$ mm. Yksikköhinnat sekä esimerkiksi liitosten materiaali- ja työmenekit on esitetty liitteessä A.

Liitostekniikka	tehokkuus €/kN	materiaali- kustannus	Huom.
1. Naulauslevyliitos, $t \geq 75$ mm $t < 75$ mm	0,06 0,07	55 % 44 %	optimaalisella ankkurinaulan (4 mm) pituudella ja reikälevyn paksuudella
2. Kaksileikkeinen naulaliitos	0,08	33...53 %	$t \leq 75$ mm
3. Pulttiliitos, 2-leikk. teräslevyillä	0,10	65...78 %	kun $t/d = 7,5$. Jos $t/d = 5, \geq 0,14$ €/kN
4. Tappivaarnat. 2-leikk. puu-puu	0,12	58 %	optimi vaarnalla: $d = 10$ mm, S355
5. Itseporautuvat WS-T tappivaarnat	0,13	76 %	teräslevyt, 4-leikkeinen. $t = 3 \times 75$ mm
6. Naulattu vaneriliitos, 1-leikkeinen	0,15	18...25 %	$t \leq 75$ mm
7. 1-leikkeinen naulaliitos mol. puol.	0,16	20...32 %	
8. Kansiruuvit, 1-leikk. teräslevyillä	0,17	39...47 %	optimikoko $d = 6...10$ mm
9. Hammasvaarnat, $t \geq 75$ mm $t = 63$ mm $t = 50$ mm	0,18 0,20 0,22	64 % 62 % 62 %	Pultit mukana. Hydraulinen puristus.

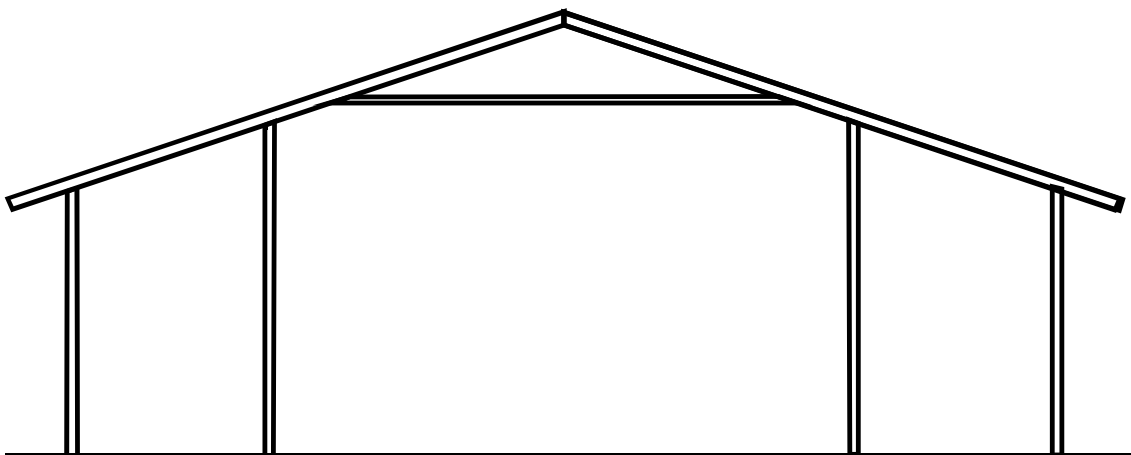
Paikalla rakentamiseen soveltuvista liitostekniikoista ankkurinauloilla kiinnitettävät naulauslevyt ovat taloudellisin vaihtoehto, kun sahatavaran paksuus on 50–100 mm. Kuumasinkittyjä naulauslevyjä ei voida kuitenkaan käyttää käyttöluokassa 3 (kosteusluokissa 3 tai 4). Suojaamattomia naulauslevyliitoksia ei voida myöskään käyttää rakenteissa, joilta vaaditaan yli 15 min palonkestävyyttä.

Yleensä kannattaa käyttää 2-leikkeisiä liitoksia, joissa liittimien lukumäärä on noin puolet vastaavista yksileikkeisistä liitoksista. Teräslevylliset liitokset ovat yleensä edullisempia kuin sahatavarapalikoilla tai vanerilevyillä yhdistetyt liitokset, joissa joudutaan käyttämään pidempiä liittimiä ja suurempia liitinvälejä. Hammasvaarvoja ei kannata käyttää kuin paksun sahatavaran yhteydessä monileikkeisissä liitoksissa, joissa yhdellä pultilla voidaan sitoa useiden leikkeiden vaarnalevyt.

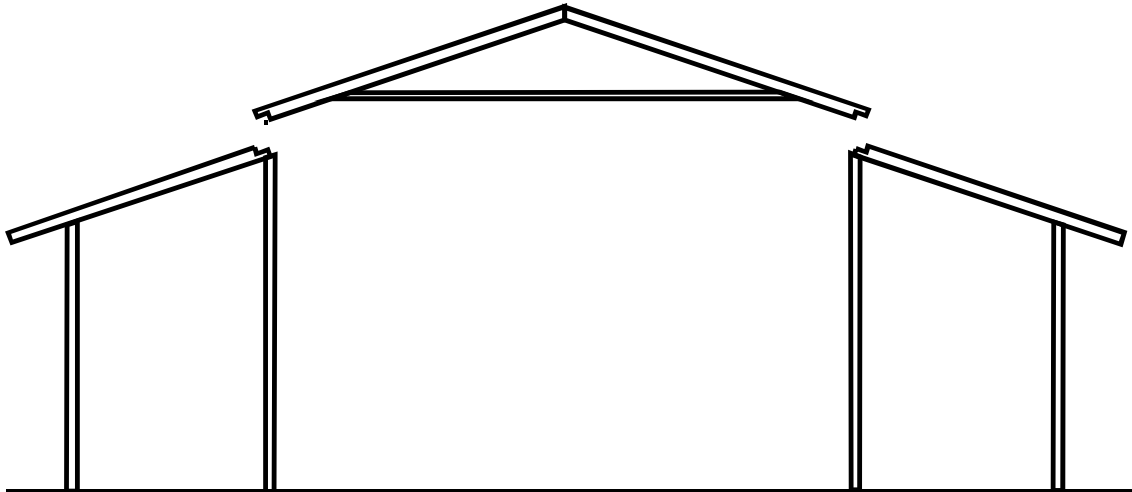
5.4 Laivakehä

Laivakehällä tarkoitetaan kuvan 5.2 mukaista rakennetta. Siinä on ulkoseinille tulevat pilarit kiinnitetty momenttijäykästi perustuksiin. Tämä momenttijäykkä liitos pitää rakennuksen pystyssä sen poikkisuunnassa ottamalla vastaan sivuseiniin ja vinoon kattoon kohdistuvat tuulikuormat. Sisällä olevat pystypilarit ovat kiinni vinoissa kattopalkissa ja perustuksissa ja ottavat vastaan vain pystykuormia. Ylhäällä keskellä oleva vaakapalkki helpottaa asennustyötä silloin kun rakenne kootaan maassa ja nostetaan valmiina pystyyn. Vaakapalkki pienentää myös rasituksia vinoissa kattopalkkeissa. Suurilla jänneväleillä vinot kattopalkit tulevat helposti niin suuriksi, että pitää todennäköisesti harkita sitä, kannattaako sijoittaa kaksi kannatetta kiinni toisiinsa, jolloin kattopalkit jää pienemmiksi vai haetaanko suuria puita kattopalkkeiksi, jolloin selvittää yhdellä kannatteella.

Koska puutavaran pituus ei saisi olla suurempi kuin 6–8 metriä, niin laivakehä kannattaa toteuttaa kolmena osana: kahtena pääosana ja yhtenä keskiosana. Tällöin kattopalkissa on jatkos sisäpilarin kohdalla. Kuvassa 5.2 on esitetty periaateratkaisu, kun lappeet on tehty lappeen mittaisesta puusta ja kuvassa 5.3 periaateratkaisu, kun lappeen puut on jatkettu sisäpilarin kohdalta. Vaakapuun avulla keskiaukon jänneväliä saadaan pidennettyä.

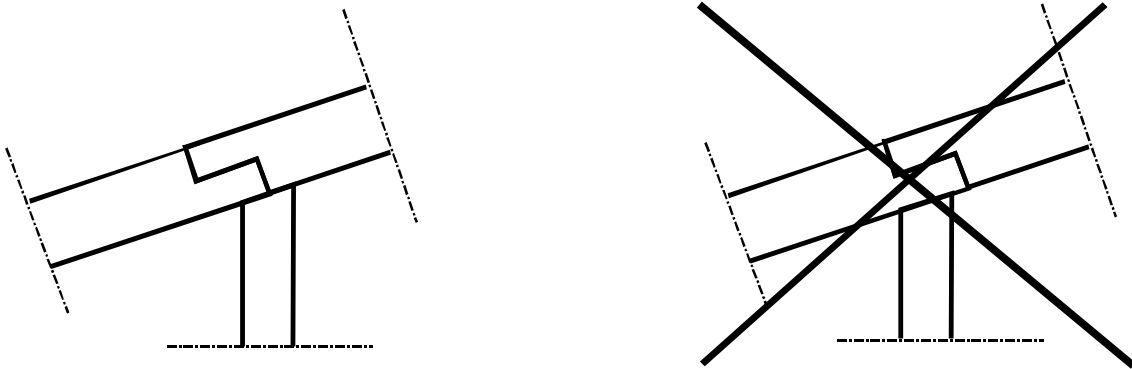


Kuva 5.2. Periaatekuva rakenteesta.



Kuva 5.3. Periaatekuva rakenteesta, kun lapepalkki on katkaistu sisäpilarin kohdalta. Kuvassa keskiosa on selvyiden vuoksi irrotettu.

Oleellista on kattopalkkiin sisäpilarin kohdalla tehtävän jatkoksen loveus. Loveus pitäisi tehdä kuvassa 5.4 esitetyn periaatteen mukaisesti. Samassa kuvassa on esitetty myös huono vaihtoehto, jossa ylemmän palkin loveukseen syntyy vetorasitus syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa. Palkkia katkaisevat leikkaukset pitäisi olla syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa, koska on tärkeätä, että kehän kolmiomaisen keskiosan päät tukeutuvat puskulla päätyosien vastaavaan loveukseen.



Kuva 5.4 Kattopalkin oikea ja väärä jatkaminen sisäpilarin kohdalla. Väärän ratkaisun yli on vedetty rasti.

Sisäpilarien paikka määräytyy luonnollisesti normaalissa käytössä tarvittavan tilan perusteella. Tarvittavan puumäärän kannalta olisi parasta, jos sisäpilarit voitaisiin sijoittaa suunnilleen jännevälän kolmannespisteisiin.

Kuvan 5.3 kehän keskiosan kantavuuteen voidaan vaikuttaa vaakapuun sijoituksella. Yksiselitteistä parasta paikkaa rakenteen kantavuuden kannalta ei helposti voida antaa. Oleellisesti paikkaan vaikuttaa se, kuinka jäykät päätykehät ovat.

Jos päätyosat ovat hyvin joustavat, ei keskiosan tukien päihin tule lainkaan vaakavoimia, jos vaakasuuntaiset kuormat jätetään ottamatta huomioon. Tällöin keskiosan vaakapuun optimaalinen paikka on etäisyydellä $0,145L$ tuelta, kun L on jänneväli eli esimerkiksi etäisyydellä 1450 mm, kun keskilaivan jänneväli on 10 m.

Jos tuet eivät salli ollenkaan liikettä, niin saadaan toinen raja-arvo. Tällöin tasapainon saavuttamiseksi ei vaakapuuta tarvittaisi ollenkaan, ja se siis voi tasapainon kannalta olla missä tahansa. Se kannattaa sijoittaa etäisyydelle $0,25L$ tuelta. Tällöin se toimii vinon kattopalkin keskitukena ja jännevälit ovat samansuuruiset. Todellisuudessa optimaaliset paikat ovat näiden kahden ääritapauksen välissä.

Taulukkoon 5.10 on laskettu esimerkkejä VTT:n laatimalla mitoitusohjelmalla (ladattavissa osoitteesta <http://www.vtt.fi/rte/wmt/palvelut/puurakenteet.htm>). Esimerkit on laskettu tapaukselle, että kattopalkin pituus on koko lappeen pituus. Taulukon 5.10 tulokset on saatu Excel-laskentapohjan välilehdeltä ”Tuloksia” siten, että erilaisilla rakenteiden geometrioilla ja poikkileikkausvaihtoehdoilla lasketut tapaukset on kopioitu rinnakkain.

Seuraavassa kerrotaan ohjelman ”Tuloksia” -välilehdeltä saatavat tiedot (vrt. Taulukko 5.10).

Kohdassa **kuormat** on annettu rakenteelle tulevat kuormat, joita ovat

- rakenteen oma paino, joka on kaikissa lasketuissa tapauksissa $0,6 \text{ kN/m}^2$,
- lumikuorma, joka on kummallakin lappeella 2 kN/m^2 ,
- tuulikuorma koko rakenteelle, joka on + -merkkinen, jos siitä tulee painetta rakennetta vastaan ja – -merkkinen, jos siitä tulee imua.

Puun lujuusluokka Eurocode 5:n mukainen lujuusluokka C24, mikä on suositeltavin.

Symmetrisen **rakenteen geometriasta** annetaan

- jänneväli,
- kannattajien keskinäinen väli ja
- mitta ulkopilarista sisäpilariin.

Kattopalkeista annetaan

- vaakasuuntainen pituus harjalta ulkoseinän keskilinjalle,
- suorakaidepoikkileikkauksen leveys ja korkeus sekä
- kattokaltevuus ja kuormitusaste, joka ei saa olla suurempi kuin 100 %.

Kattopalkin vahvistus tarkoittaa, että sisäpilarien kohdalle kattopalkin ja sisäpilarin väliin on lisätty vahvistus, joka parantaa kattopalkin kantavuutta ja josta on annettu pituus esim. 1200 mm, korkeus ja leveys. Tällä ei ole käytännössä merkitystä silloin, kun kattopalkki jatketaan tuen kohdalla, koska kattopalkin vahvistuksen idea on pienentää taivutusrasituksia palkin pituussuunnassa nopeasti muuttuvan tukimomentin alueella.

Ulkopilarit toimivat mastoina. Niistä annetaan pituus, leveys ja korkeus sekä kuormitusaste. Korkeudella tarkoitetaan mittaa rakenteen alapäästä pilarin ja kattopalkin keskilinjalle. Ulkopilareista annetaan pituus, leveys ja korkeus sekä kuormitusaste.

Sisäpilarit tukeutuvat nivelellisesti alapäästään perustuksiin ja yläpäästään kattokannatteeseen. Sisäpilareista annetaan pituus, leveys ja korkeus sekä kuormitusaste.

Vaakapuu sitoo kattokannatteita toisiinsa. Siitä annetaan pituus, leveys ja korkeus sekä kuormitusaste.

Orret tulevat pääkannattajien päälle sekundaarikannatteiksi. Niiden mittoihin vaikuttaa kuormituksen lisäksi pääkannatteiden keskinäinen väli ja sekundaarikannatteiden keskinäinen väli. Laskelma on tehty siten, että tietylle orren leveydelle ja korkeudelle on laskettu orsiväli, jota suurempi se ei saa olla.

Kohdassa puu on laskettu tarvittava puumäärä ja puun hinta yhtä kannatetta kohti sekä puun hinta yhtä katon neliometriä kohti. Laskelmassa ovat orret mukana. Puun hintana laskelmissa on käytetty 200 €/m³. Laskentaohjelmassa voidaan antaa myös oma puun hinta.

Kohdassa **kokonaishinta** on laskettu yhden kannatteen hinta ja kannatteen hinta neliometriä kohti. Arvioitu työmäärä on ollut 16 tuntia kannatetta kohti ja tuntihinta 15 €. Laskentaohjelmassa voidaan antaa oma tuntimäärä ja tuntihinta, jolloin työn hinta luonnollisesti muuttuu.

Taulukko 5.10. Esimerkkejä lasketuista tapauksista, kun kattopalkin pituus on koko lappeen pituus.

Kuormat (kN/m²)					
Omapaino ilman palkkia	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Lumikuorma lape 1	2	2	2	2	2
Lumikuorma lape 2	2	2	2	2	2
Tuulikuorma oikealla (paine +)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Tuulikuorma vasemmalla	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12
Puun lujuusluokka	C24	C24	C24	C24	C24
Geometria					
Leveys	20000	20000	15000	15000	15000
k-väli	2400	1200	2400	2400	1200
Ulkopilarista sisäpilariin	5800	5800	4200	4200	4200
Kattopalkki					
Pituus (yksi lape)	11356	11356	8728	9315	9315
Leveys	150	125	150	150	100
Korkeus	300	225	225	225	200
Kattokaltevuus (°)	18	18	18	27	27
Kuormitusaste	96	100	96	97	92
Kattopalkin vahvistus					
Pituus	1200	1200	1200	1200	1200
Leveys	150	125	150	150	100
Korkeus	150	150	150	150	150
Ulkopilarit (mastot)					
Pituus	5000	5000	5000	5000	5000
Leveys	150	125	150	150	100
Korkeus	200	175	200	225	225
Kuormitusaste	97	80	77	84	75
Sisäpilarit					
Pituus	6885	6885	6366	7139	7139
Leveys	150	125	150	150	125
Korkeus	175	175	150	150	125
Kuormitusaste	99	85	75	93	96
Vaakapuu					
Pituus	6600	6600	5000	5000	5000
Leveys	150	125	150	150	100
Korkeus	100	100	100	100	100
Kuormitusaste	54	32	41	43	32
Orret					
Leveys	50	100	50	50	100
Korkeus	100	32	125	125	32
k-väli	283	553	427	427	558
Puu					
Määrä (m ³)	1,82	1,25	1,28	1,40	0,87
Hinta/kpl (€)	365	249	257	279	175
Hinta/m ² (€)	7,59	10,38	7,13	7,76	9,71
Yhden kannattimen kokonaishinta					
Hinta/kpl (€)	605	489	497	519	415
Hinta/m ² (€)	12,59	20,38	13,79	14,43	23,05

5.5 Yhdistetty palkki

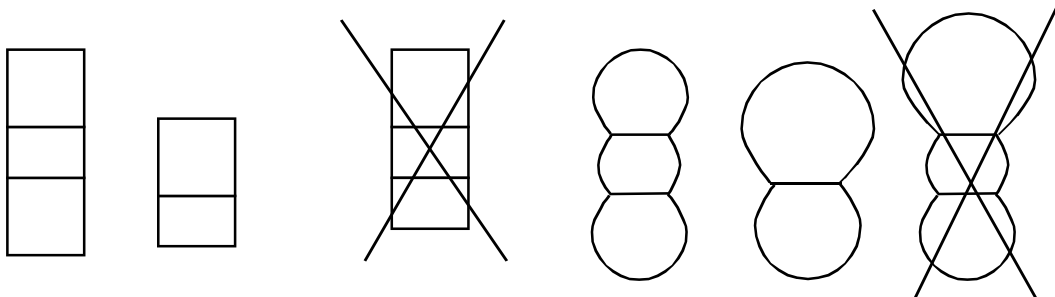
5.5.1 Yleistä

Yhdistetty palkki koostuu kahdesta tai kolmesta päällekkäisestä osasta, jotka on liitetty toisiinsa mekaanisilla liittimillä. Tällä ratkaisulla saadaan aikaan suurempia ja enemmän kuormaa kantavia palkkeja. Palkki jää kuitenkin heikommaksi kuin samankokoinen palkki, jossa ei ole mekaanista liitosta. Tämä johtuu siitä, että mekaanisen liitoksen syntyy aina siirtymiä, kun liittimiin syntyy voimia, mistä seuraa se, että osat liukuvat saumastaan toistensa suhteen. Mekaanisilla liittimillä koottu palkki on aina jäykempi ja kantavampi kuin ilman liitosta olevat vastaavat päällekkäiset palkit. Missä kohtaa näiden kahden ääritapauksen välillä ollaan, riippuu mekaanisen liitoksen jäykkyydestä ja lujuudesta.

5.5.2 Yhdistettyjen palkkien rakenteet

VTT:n laatiman mitoitusohjelman (<http://www.vtt.fi/rte/wmt/palvelut/puurakenteet.htm>) mukainen laskennallinen tarkastelu soveltuu palkeille, jotka on koottu joko kahdesta tai kolmesta päällekkäisestä osasta. Laskentatapa edellyttää, että osien poikkileikkausten painopisteet täytyy taipuneessa tilassa osua samalle suoralle. Tämä tarkoittaa sitä, että kolmesta osasta koottu palkki pitää olla symmetrinen koko palkin painopisteen suhteen. Jos palkissa on kaksi osaa, niin osien painopisteet ovat siis aina samalla suoralla ja osat voivat olla erilaiset. Palkin päällekkäiset osat voivat olla joko suorakaiteita tai pyöreitä puita, joissa kosketuspinnat on työstetty tasoiksi (kuva 5.5).

Puun materiaaliarvot annetaan lujuusluokkina. Sallittuja vastaavia T-lujuusluokkia korvaavia Eurocode 5:n lujuusluokkia ovat C18, C24 ja C30. Suositeltavin massiivipuun lujuusluokka on C24.



Kuva 5.5. Yhdistetyn palkin poikkileikkauksia, joista neljä voidaan mitoittaa VTT:n mitoitusohjelmalla.

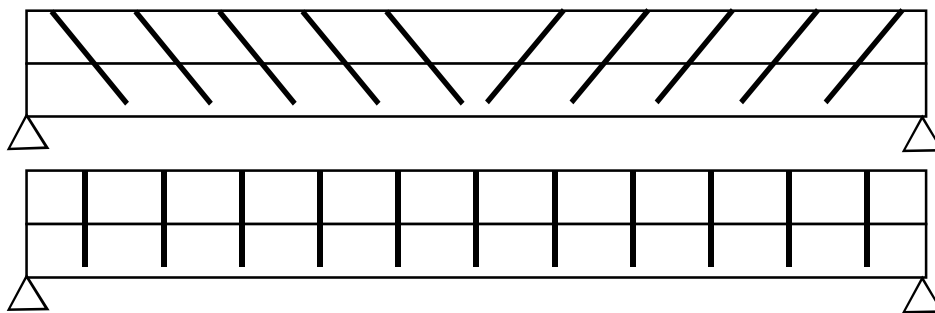
Palkki voi olla joko yksi- tai kaksiaukkoinen. Kuormituksena on joko tasainen kuorma koko palkilla ja yksi pistekuorma missä tahansa kohtaa palkkia.

Laskentaohjelmalla saadaan tulokset aina kahdelle tapaukselle: osat on liitetty mekaanisilla liittimillä toisiinsa ja osat toimivat täydellisesti yhdessä (liimaliitos). Tuloksina saadaan jännitysten osalta kuormitusasteet prosentteina, jolloin siis yli 100 % arvot eivät ole sallittuja. Tulostettavia arvoja ovat:

- kapasiteettien käyttöasteet taivutusrasitusten suhteen kunkin päällekkäisen osan alaja yläreunassa,
- kapasiteetin käyttöaste leikkausrasituksen suhteen sauman kohdalla ja yksittäisen puun sisällä,
- mekaanisen liittimen liitinvoima ja
- palkin taipumat kummassakin tapauksessa.

5.5.3 Mekaaninen liitos

Osia yhdistävä mekaaninen liitos pitää kolmiosaisessa poikkileikkauksessa olla samanlainen kummassakin osia yhdistävässä liitoksessa. Puurakenteiden suunnitteluohjeiden mukainen liitos tehdään pulteilla tai vastaavilla, jotka sijoitetaan tasavälein syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa. Edellistä tehokkaampia liittimiä ovat liitospintaan nähden vinoesti kiinnitettävät pitkät ruuvit tai liimatut terästangot. Eräillä tällaisilla liittimien valmistajilla on kokeisiin perustuvia arvoja. Vinoruuvien yhteydessä on kuitenkin muistettava, että puu on kuivattava lopullista käyttötilaa vastaavaan kosteuspiitoisuuteen ennen ruuvien asennusta – muutoin osien välillä tapahtuu palkin taipumaa lisäävää liukumaa ennen kuin vinoruuviliitokset alkavat toimia.



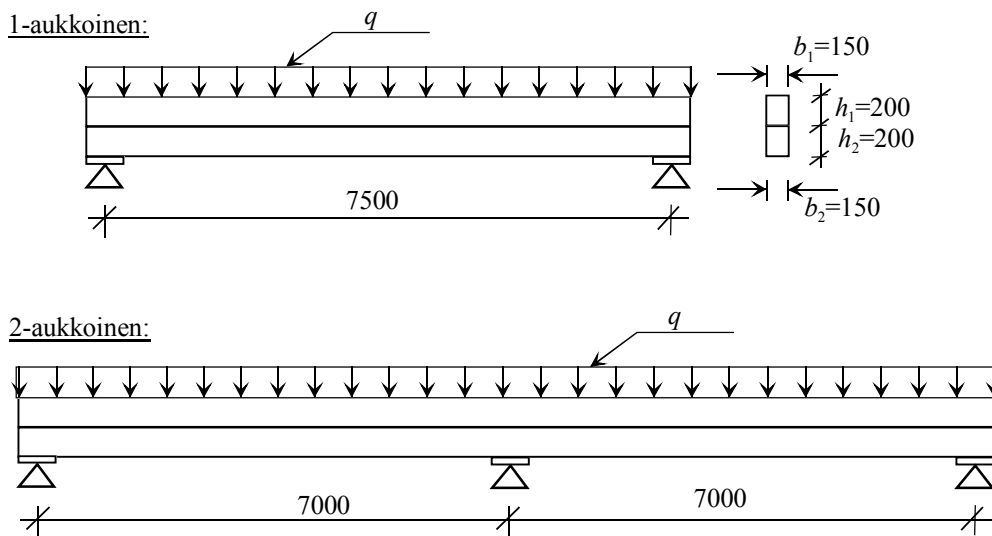
Kuva 5.6. Liittimien sijoitusperiaate joko ruuvit tai liimatangot vinoesti palkin pituus-suuntaan nähden tai pultit, naulat tai tappivaarnat kohtisuorasti liitospintaa vastaan. Edellisessä tapauksessa saadaan liittimiin vetovoima ja siirtymät jäävät pienemmiksi kuin jälkimmäisessä tapauksessa.

5.5.4 Laskentaohjelmalla saatavat tulokset

Kaksiaukkoisen palkin tukireaktiot riippuvat osapalkkien välisestä liitosjäykkyudesta. Kimmoisen kiinnityksen tapauksessa saadaan keskituelle hieman pienempi tukireaktio kuin siinä tapauksessa, että osat toimivat täysin yhdessä.

Tukireaktioiden lisäksi laskentaohjelman tulosteesta saadaan puun taivutusjännitykset kunkin osan ylä- ja alareunassa erikseen sekä a) kimmoisen liitoksen että b) täydellisen jäykästi yhdistetyn palkin tapaukseen. Samoin saadaan puun leikkausjännitykset myös sauman kohdalla ja liitintä rasittava suurin leikkausvoima. Myös palkin suurin taipuma tulostetaan kummassakin tapauksessa. Edellä mainituissa laskelmissa tulostuu siis aina lasketut arvot kahdessa tapauksessa: osien välillä on kimmoisen liitos tai osat toimivat täysin yhdessä. Tämä on tehty siksi, että laskettaessa nähdään koko ajan, miten muutokset liitoksessa vaikuttavat mekaanisesti kootulla palkilla ja mihin on ylipäänsä mahdollista päästä kokeiltavilla palkkidimensioilla.

Taulukossa 5.11 on annettu esimerkkejä laskentatuloksista. Kuvassa 5.7 on laskennassa käytetty palkki mittoineen ja merkintöineen. Kuvissa 5.8 ja 5.9 on esitetty tarvittava liitimien teräsmäärä pystyakselilla ja rakenteen jäykkyys kahdessa tapauksessa.



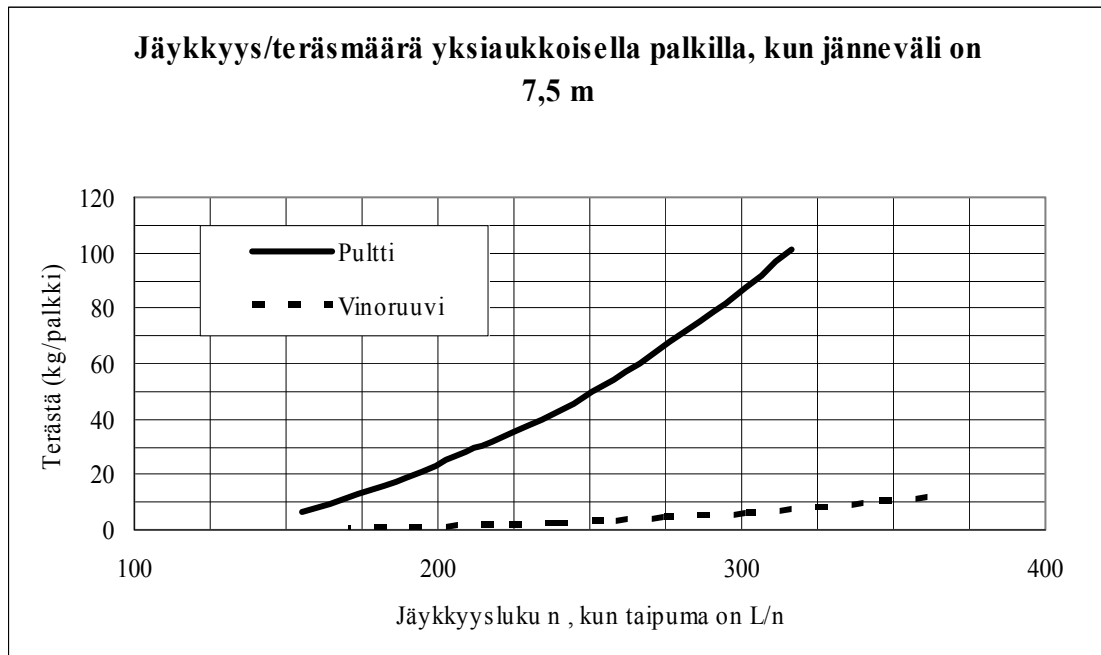
Kuva 5.7. Taulukon 5.11 merkintöjä.

Taulukko 5.11. Laskettuja tuloksia.

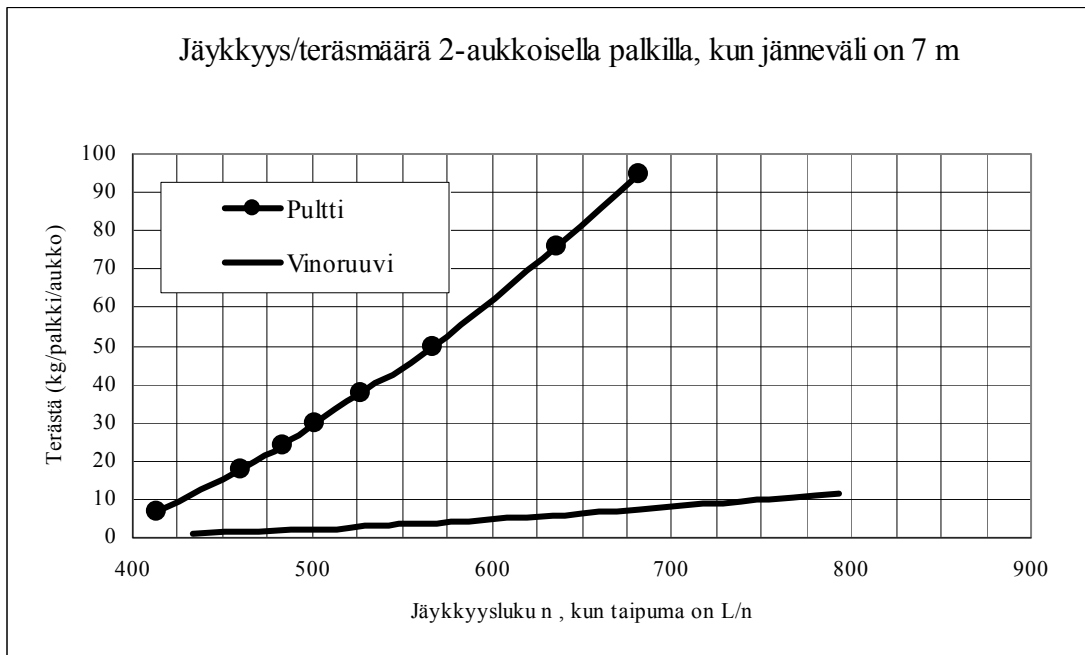
	Palkin mittoja (mm)		Palkin		Liitinmittoja (mm)		Kuormitusasteet		n , kun $w=L/n$	Liitintyyppi	Teräs- määrä (kg)
	Jänneväli L	k-jako B	leveys b_1 (ja b_2)	korkeus h_1 (ja h_2)	Väli s	Halkaisija d	Taivutus $\sigma_{m,d}/f_{m,d}$	Leikkaus $\tau_{d,l}/f_{v,d}$			
1-aukkoinen	7500	1200	150	200	Kiinni		0,47	0,24	0,00	Pultti	513
1-aukkoinen	7500	1200	150	200	80	20	0,56	0,16	0,13	Pultti	316
1-aukkoinen	7500	1200	150	200	100	20	0,58	0,15	0,15	Pultti	295
1-aukkoinen	7500	1200	150	200	150	20	0,62	0,14	0,20	Pultti	258
1-aukkoinen	7500	1200	150	200	200	20	0,65	0,12	0,24	Pultti	234
1-aukkoinen	7500	1200	150	200	250	20	0,68	0,11	0,28	Pultti	218
1-aukkoinen	7500	1200	150	200	300	20	0,70	0,10	0,30	Pultti	206
1-aukkoinen	7500	1200	150	200	400	20	0,74	0,09	0,35	Pultti	190
1-aukkoinen	7500	1200	150	200	1000	20	0,83	0,05	0,46	Pultti	155
1-aukkoinen	7500	1200	150	200	Irti		0,94	0,00		Pultti	129
1-aukkoinen	7500	1200	150	200	Kiinni		0,47	0,24	-	Vinoruuvi	513
1-aukkoinen	7500	1200	150	200	80	7	0,53	0,18	-	Vinoruuvi	361
1-aukkoinen	7500	1200	150	200	100	7	0,55	0,17	-	Vinoruuvi	340
1-aukkoinen	7500	1200	150	200	150	7	0,58	0,16	-	Vinoruuvi	301
1-aukkoinen	7500	1200	150	200	200	7	0,60	0,14	-	Vinoruuvi	274
1-aukkoinen	7500	1200	150	200	250	7	0,63	0,13	-	Vinoruuvi	255
1-aukkoinen	7500	1200	150	200	300	7	0,65	0,12	-	Vinoruuvi	240
1-aukkoinen	7500	1200	150	200	400	7	0,68	0,11	-	Vinoruuvi	218
1-aukkoinen	7500	1200	150	200	1000	7	0,79	0,07	-	Vinoruuvi	170
1-aukkoinen	7500	1200	150	200	Irti		0,92	0,01	-	Vinoruuvi	133

Taulukko 5.11. jatkuu

	Palkin mittoja (mm)		Palkin mittoja (mm)		Liitinnitot (mm)		Kuormitusasteet		n , kun $w=L/n$	Liitintyyppi	Teräs- määrä (kg)
	Jänneväli L	k-jako B	Palkin leveys b_1 (ja b_2)	Palkin korkeus h_1 (ja h_2)	Väli s	Halkaisija d	Taivutus $\sigma_{m,d}/f_{m,d}$	Leikkaus $\tau_d/f_{v,d}$			
2-aukkoinen	7000	1200	150	200	Kiinni		0,23	0,26	1514	Pultti	
2-aukkoinen	7000	1200	150	200	80	20	0,32	0,10	682	Pultti	94,8
2-aukkoinen	7000	1200	150	200	100	20	0,34	0,09	637	Pultti	76,1
2-aukkoinen	7000	1200	150	200	150	20	0,36	0,07	567	Pultti	49,6
2-aukkoinen	7000	1200	150	200	200	20	0,38	0,06	527	Pultti	37,5
2-aukkoinen	7000	1200	150	200	250	20	0,39	0,06	502	Pultti	29,8
2-aukkoinen	7000	1200	150	200	300	20	0,40	0,05	484	Pultti	24,3
2-aukkoinen	7000	1200	150	200	400	20	0,41	0,04	460	Pultti	17,6
2-aukkoinen	7000	1200	150	200	1000	20	0,44	0,02	414	Pultti	6,6
2-aukkoinen	7000	1200	150	200	Irti		0,46	0,00	380	Pultti	
2-aukkoinen	7000	1200	150	200	Kiinni		0,23	0,27	1515	Vinoruuvi	
2-aukkoinen	7000	1200	150	200	80	7	0,30	0,12	793	Vinoruuvi	11,6
2-aukkoinen	7000	1200	150	200	100	7	0,31	0,11	738	Vinoruuvi	9,3
2-aukkoinen	7000	1200	150	200	150	7	0,33	0,09	650	Vinoruuvi	6,1
2-aukkoinen	7000	1200	150	200	200	7	0,35	0,08	597	Vinoruuvi	4,6
2-aukkoinen	7000	1200	150	200	250	7	0,36	0,07	561	Vinoruuvi	3,6
2-aukkoinen	7000	1200	150	200	300	7	0,37	0,06	536	Vinoruuvi	3,0
2-aukkoinen	7000	1200	150	200	400	7	0,39	0,06	502	Vinoruuvi	2,2
2-aukkoinen	7000	1200	150	200	1000	7	0,43	0,03	433	Vinoruuvi	0,8



Kuva 5.8. Palkin jäykkyyden suhde teräsmäärään yksiaukkoisella palkilla, kun jänneväli on 7,5 m.



Kuva 5.9. Palkin jäykkyyden suhde teräsmäärään kaksiaukkoisella palkilla, kun jänneväli on 7 m.

5.6 Kolminivelkehä

5.6.1 Yleistä

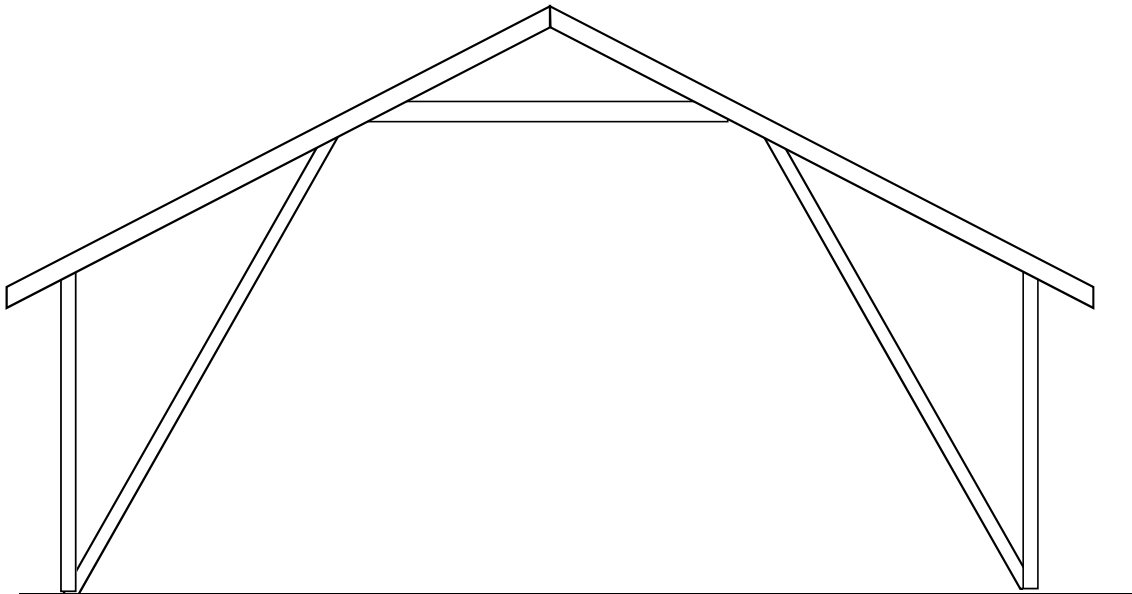
Kuvan 5.10 mukainen massiivipuusta valmistettu kolminivelkehä koostuu

- ulkoseinillä olevaista pystypilareista,
- räystäällisistä kattolappeista
- ulkoseiniltä lähtevistä vinoista pilareista, joiden yläpää on liitetty kattopalkkiin,
- kattolappeet yhdistävästä vaakapalkista.

VTT:n laatimassa kolminivelkehän laskentaohjelman lähtötiedoissa rakenteiden mitat ja kattolappeiden kaltevuudet voidaan valita vapaasti. Osien poikkileikkaus on suorakaide (kuva 5.10). (<http://www.vtt.fi/rte/wmt/palvelut/puurakenteet.htm>)

Palkkia rasittaa omanpainon lisäksi pystykuorma, joka voi vaihdellaan lapeittain ja kummallekin puolelle voi olla tuulikuorma.

Mitoituksessa voidaan käyttää puun lujuusluokkia C18, C24 ja C30, jotka ovat Eurocode 5:n lujuusluokkia. Rakenne suositellaan tehtäväksi lujuusluokan C24 (T24) puutavarasta.



Kuva 5.10. Massiivipuinen kolminivelkehä.

5.6.2 Laskettuja arvoja

Taulukkoon 5.12 on laskettu esimerkkejä, kun puuosat ovat massiivipuuta. Kuormat ovat :

- omapaino $0,6 \text{ kN/m}^2$ + kannatteen paino
- lumikuorma $2,0 \text{ kN/m}^2$ joko koko katolla tai toisella lappeella täysi ja toisella puolet
- vaakasuuntainen tuulikuorma $0,6 \text{ kN/m}^2$.

Tuulikuormasta ja lumikuormasta on laskettu yhdistelmät, jossa samanaikaisesti on joko lumikuorma ja puolet tuulikuormasta tai koko tuulikuorma ja 70 % lumikuormasta.

Jänneväli vaihtelee välillä 12–15 m ja kannatinväli välillä 1,2–2 m. Katon kaltevuus oli joko 18° tai 40° ja vinopuun yläpään etäisyys pystypilarista 3–5 m. Esimerkkilaskelmissa puutavaran lujuusluokka oli C24.

Kohdassa **kokonaishinta** on laskettu yhden kannatteen hinta ja kannatteen hinta neliometriä kohti. Arvioitu työmäärä on ollut 16 tuntia kannatetta kohti ja tuntihinta 15 €. Laskentaohjelmassa voidaan antaa oma tuntimäärä ja tuntihinta, jolloin työn hinta luonnollisesti muuttuu.

Taulukko 5.12. Esimerkkejä kolminivelkehien mitoituksista.

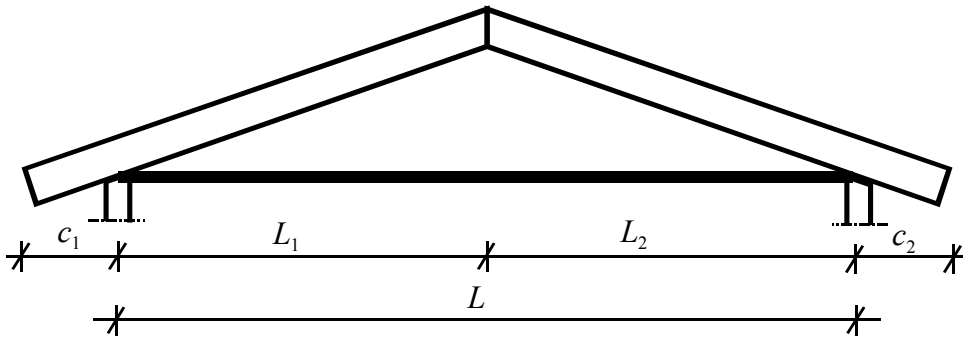
Kuormat (kN/m²)					
Omapaino ilman kehää	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Lumikuorma lape 1	1,75	2	2	2	2
Lumikuorma lape 2	1,5	2	2	2	2
Tuulikuorma oikealla (paine +)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Tuulikuorma vasemmalla	-0,12	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6
Puun lujuusluokka	C24	C24	C24	C24	C24
Geometria					
Jänneväli	13000	15000	15000	12000	12000
k-väli	2000	2000	2000	1200	1200
Pystypilarista vinopilarin yläpäähän	3500	5100	4000	3000	4000
Kattopalkit					
Pituus (yksi lape)	9766	11096	11096	7360	7360
Leveys	150	175	175	125	125
Korkeus	200	225	250	175	175
Kattokaltevuus (°)	40	40	40	18	18
Kuormitusaste	93	106	94	96	82
Kattopalkin vahvistus					
Pituus	1200	1200	1200	1200	1200
Leveys	150	175	175	125	125
Korkeus	100	100	100	100	100
Ulkopilarit					
Pituus	3500	5000	5000	5000	5000
Leveys	150	175	175	125	125
Korkeus	150	175	175	100	100
Kuormitusaste (%)	24	32	32	92	99
Sisäpilarit					
Pituus	5951	9279	8356	5975	6300
Leveys	150	175	175	125	125
Korkeus	150	175	175	125	125
Kuormitusaste (%)	63	79	71	77	76
Vaakapuu					
Pituus	4953	2800	5000	2000	2000
Leveys	150	175	175	125	125
Korkeus	100	100	100	50	50
Kuormitusaste (%)	46	17	21	20	54
Orret					
Leveys	100	100	100	100	100
Korkeus	72	72	72	32	32
k-väli	594	624	621	428	428
Puutavara					
Määrä (m ³)	1,515	2,309	2,391	0,778	0,788
Hinta/kpl (€)	303	462	478	156	158
Hinta/m ² (€) katto-orsineen	11,66	15,40	15,94	10,81	10,95
Kehän kokonaishinta					
Hinta/kpl (€)	463	622	638	316	318
Hinta/m ² (€)	17,81	20,73	21,28	21,92	22,06

5.7 Vetotankokannate

5.7.1 Yleistä

Vetotankokannatteella tarkoitetaan kuvan 5.11 mukaista kannatetta, jossa massiivipuiset lapeosat on yhdistetty alapäistään teräksisellä vetotangolla. Puuosiin syntyy tavanomaisista kuormituksista yhdistetty taivutus- ja puristusrasitus sekä leikkausrasitus. Teräkseen vetotankoon syntyy vain vetorasitus.

Staattisen mallin mukaan puuosa koostuu kahdesta palkista, joissa on harjan kohdalla nivel. Puuosat ovat massiivipuuta tai mekaanisesti kahdesta puusta yhdistettyjä palkkeja. Yhdistetyn palkin taivutuskapasiteetti riippuu liitettyjen kappaleiden välisen liitoksen jäykkyudesta.



Kuva 5.11. Vetotankokannate merkintöineen.

5.7.2 Laskettuja arvoja

Taulukkoon 5.13 on esitetty VTT:n vetotankokannatteiden mitoitusohjelmalla laskettuja esimerkkejä (<http://www.vtt.fi/rte/wmt/palvelut/puurakenteet.htm>). Esimerkeissä puuosat ovat massiivipuuta. Kuormat ovat:

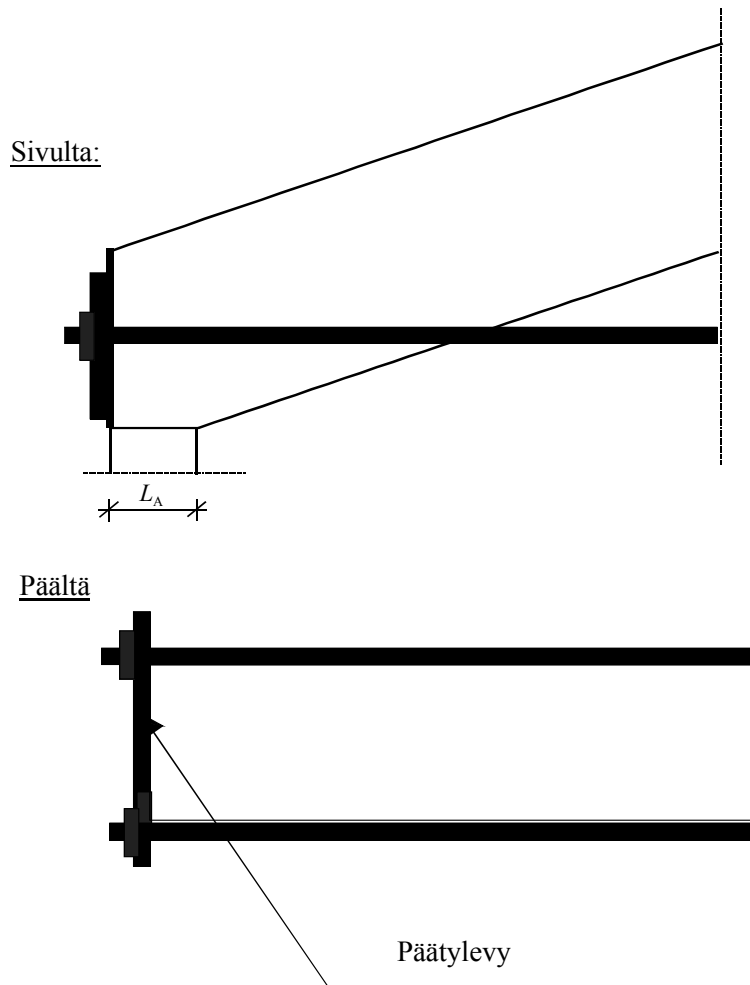
- omapaino $0,6 \text{ kN/m}^2$ + kannatteen paino
- lumikuorma $2,0 \text{ kN/m}^2$ joko koko katolla tai toisella lappeella täysi ja toisella puolet
- vaakasuuntainen tuulikuorma $0,6 \text{ kN/m}^2$.

Tuulikuormasta ja lumikuormasta on laskettu yhdistelmät, jossa samanaikaisesti on joko lumikuorma ja puolet tuulikuormasta tai koko tuulikuorma ja 70 % lumikuormasta.

Rakennetasossa kannatteen nurjahduspituus on tuen ja harjan välinen etäisyys ja poikittaissuunnassa puolet em. etäisyydestä. Jälkimmäinen mitta on saatu siten, että on oletettu lappeen puoliväliin nurjahdustuki.

Jänneväli oli aluksi 12 m ja kannatinväli oli 2,4 m (sarakkeet 1-3). Katon kaltevuus oli 20°, 25° ja 30°. Toisessa esimerkkitapauksessa jänneväli oli 15 m ja kannatinväli 1,2 m. Puutavaran lujuusluokka oli kaikissa tapauksissa C30.

Terästanko on ajateltu tuetuksi puukannattimeen kuvan 5.12 mukaisella tuennalla. Päätylevyn alla puukannate on viistetty pystysuuntaiseksi. Puuhun tukeutuva teräslatta on mitoitettu taivutukselle ja puun puristuslujuudelle. Lasketuissa tapauksissa terästangot menevät puuosan kummaltakin puolelta.



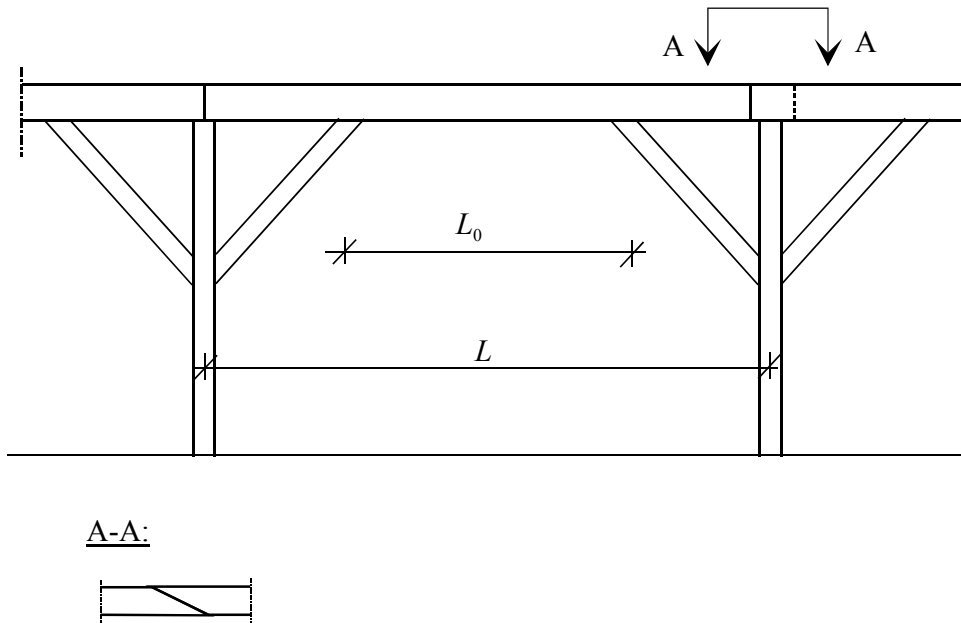
Kuva 5.12. Terästankojen liitos puuosaan.

Taulukko 5.13. Laskettuja esimerkkejä kuvan 5.11 kannatteelle.

Lujuusluokka	C30	C30	C30	C30
Rakenne:				
Jänneväli L (m)	12,0	12,0	12,0	15,0
Kannatinväli B (m)	2,4	2,4	2,4	1,2
L_1 (m)	6,0	6,0	6,0	7,5
Kaltevuus α_1 (°)	20	25	30	30
Räystä c_1 (m)	1,0	1,0	1,0	1,0
L_2 (m)	6,0	6,0	6,0	7,5
Kaltevuus α_2 (°)	20	25	30	30
Räystä c_2 (m)	1,0	1,0	1,0	1,0
Palkki:				
Leveys b (mm)	150	150	150	150
Korkeus h (mm)	325	325	325	325
Tilavuus (m ³)	0,623	0,645	0,675	0,844
Nurjahduspituus sivusuunnassa (mm)	3193	3310	3464	4330
Nurjahduspituus korkeussuunnassa (mm)	6385	6620	6928	8660
Tukireaktio A (kN)	65	65	65	41
Tukireaktio B (kN)	65	65	66	41
Käyttöasteet (%):				
Taivutus ja normaalivoima	97	98	100	88
Normaalivoima suunnassa b :	43	44	46	49
Leikkaus:	67	52	42	28
Tukipituus: L_A (mm)	93	93	93	59
Vetotanko (lujuusluokka S235):				
Voima (kN)	74	58	47	31
Halkaisija (mm)	15	13	12	9
Päätylappu (lujuusluokka S235):				
Paksuus (mm):	27	28	28	28
Korkeus (mm):	114	85	64	42
Leveys (mm):	238	228	220	206

5.8 Vitaposkikannate

Vitaposkikannatteen periaate on esitetty kuvassa 5.13.



Kuva 5.13. Vitaposkikannatteen periaate.

Vitaposkikannatteessa pilarien päällä olevaa palkkia on tuettu alapäästään pilareihin tukeutuvilla vinotuilla. Tällä tavalla voidaan pienentää palkin jänneväliä. Tämä pienentäminen on tarpeen, jotta voidaan selvittää sahatavarapalkeilla pitkäköillä jänneväleillä. Vinotukien tuominen alas saakka olisi rakenteiden kantavuuden kannalta paras vaihtoehto. Tällöin kuitenkin tilan käytölle tulisi näistä vinotuista rajoituksia.

Kuvan 5.13 rakenne toimii hyvin silloin, kun jännevälit ovat samansuuruiset ja kuorma on sama koko rakenteella, jossa siis voi olla useampia aukkoja kuin kuvaan on piirretty näkyviin. Jos esimerkiksi ainoastaan kuvaan piirrettyä palkkia rasittaa pystysuora kuorma ja vierekkäisillä palkeilla ei ole kuormaa, niin kuormitetun alueen tukiin tulee puristusrasitus pystykuormista ja nämä tuet aiheuttavat pilareihin poikittaiskuorman ja siis taivutusmomentin. Jos vinotukien alapää tukeutuvat pilariin eri kohdalla korkeussuunnassa, syntyy pilariin taaskin taivutusmomentti.

Vinotukien kiinnitys pilariin ja palkkiin on tehty perinteisesti loviliitoksien eli kirvesmiesliitoksien. Tällöin puun poikkileikkausta heikennetään pilarissa suurimman taivutusmomentin kohdalta, ja palkeissa myös silloin, kun vinotuen yläpää on suhteellisen kaukana pystypilarista.

Palkki pyrkii nousemaan pystypilarien kohdalta, ellei sitä ole kiinnitetty pilarin yläpäähän vetovoimaa ottavalla liitoksella. Voiman suuruuteen vaikuttaa kuorman suuruuden

lisäksi vinotuen yläpään etäisyys pilarin yläpäästä. Jos etäisyys on kovin pieni, niin voimat ovat suuret ja päinvastoin.

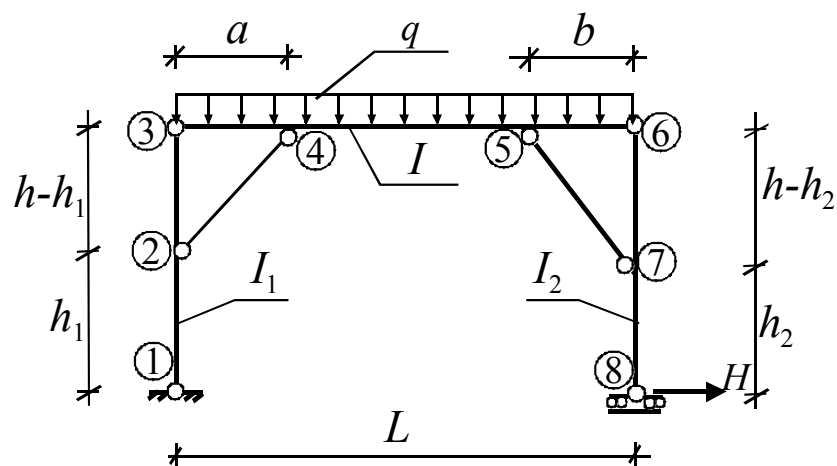
Palkin mitoitus yksinkertaisessa tapauksessa voidaan tehdä siten, että jänneväliksi otetaan (vrt. kuva 5.13)

$$L_{\text{laskenta}} = \frac{L + L_0}{2} \quad (5.2)$$

Todellisuudessa koko kannate pitäisi laskea kehänä, jolloin saataisiin kuorman epäkeskisyys ja pilarien joustavuudesta aiheutuvat vaikutukset voimajakautumaan.

Palkki voi jatkua yhtenäisenä korkeintaan kahden aukon yli, koska tätä pitemmän puun hankinta ja käsittely on työlästä ja jopa mahdotonta. Tämän vuoksi palkkiin pitää tehdä liitos ja sen paras paikka on pilarin kohdalla. Liitoksen tekemiseen on periaatteessa kaksi järkevää tapaa, jotka ovat palkin jatkaminen pilarin keskeltä suoralla katkaisuliitoksella tai jatkaminen vinosti siten, että vino leikkaus on pystysuunnassa. Edellinen on helpompi tehdä, mutta jälkimmäisellä voidaan helpommin siirtää palkin pituussuuntaisia kuormia.

Kuvan 5.14 vitaposkikannatteelle voidaan laskea taulukon 5.14 mukaiset voimasuureet, kun kannatetta rasittaa siis tasainen kuorma.



Kuva 5.14. Taulukon 5.14 merkintöjä.

Taulukko 5.14. Kuvan 5.14 voimasuureet.

Vaakavoima H			
$H = -\frac{q}{8} \frac{2L^3 - 2L(a^2 + b^2) + a^3 + b^3}{(3L - 2a - 2b)h + \frac{I}{I_1}a^2 + \frac{I}{I_2}b^2}$			
	Taivutusmomentti M	Leikkausvoima Q	Normaalivoima N
Pilari 1	$M_{12} = Hy$ $M_{23} = \frac{h_1}{h-h_1} H(h-y)$	$Q_{12} = H$ $Q_{23} = -\frac{h_1}{h-h_1} H$	$N_{12} = \frac{qL}{2}$ $N_{23} = -\frac{qL}{2} - H\frac{h}{a}$
Vitaposki 1	$M_{24} = 0$	$Q_{24} = 0$	$N_{24} = \frac{h}{(h-h_1)} \frac{\sqrt{h_1^2 + a^2}}{a} H$
Palkki	$M_{34} = \frac{q}{2}x(L-x) + H\frac{h}{a}x$ $M_{45} = \frac{q}{2}x(L-x) + Hh$ $M_{56} = \frac{q}{2_1}x(L-x) + H\frac{h}{b}(L-x)$	$Q_{34} = \frac{q}{2}(L-2x) + H\frac{h}{a}$ $Q_{45} = \frac{q}{2}(L-2x)$ $Q_{56} = \frac{q}{2}(L-2x) - H\frac{h}{b}$	$N_{34} = -\frac{h_1}{h-h_1} H$ $N_{45} = H$ $N_{56} = -\frac{h_2}{h-h_2} H$
Vitaposki 2	$M_{67} = 0$	$Q_{67} = 0$	$N_{67} = \frac{h}{(h-h_2)} \frac{\sqrt{h_2^2 + b^2}}{b} H$
Pilari 2	$M_{76} = \frac{h_2}{h-h_2} H(h-y)$ $M_{87} = Hy$	$Q_{76} = -\frac{h_2}{h-h_2} H$ $Q_{87} = H$	$N_{76} = -\frac{qL}{2} - H\frac{h}{b}$ $N_{87} = \frac{qL}{2}$

5.9 Massiivipuuristikot

Naulalevyrakenteet ovat syrjäyttäneet käytännössä kokonaan paikalla rakennettavat puuristikot. Naulalevyteknologian ylivoimainen kilpailukyky perustuu edullisiin ja teollisesti nopeasti asennettaviin liittimiin, joilla on niin suuri lujuus, että eivät mitoitaa puusauvan kokoa.

Paikalla valmistettavat massiivipuuristikot ovat kilpailukykyinen vaihtoehto yleensä vain, jos ko. kohteessa jokin seuraavista seikoista rajoittaa naulalevyristikoiden käyttöä.

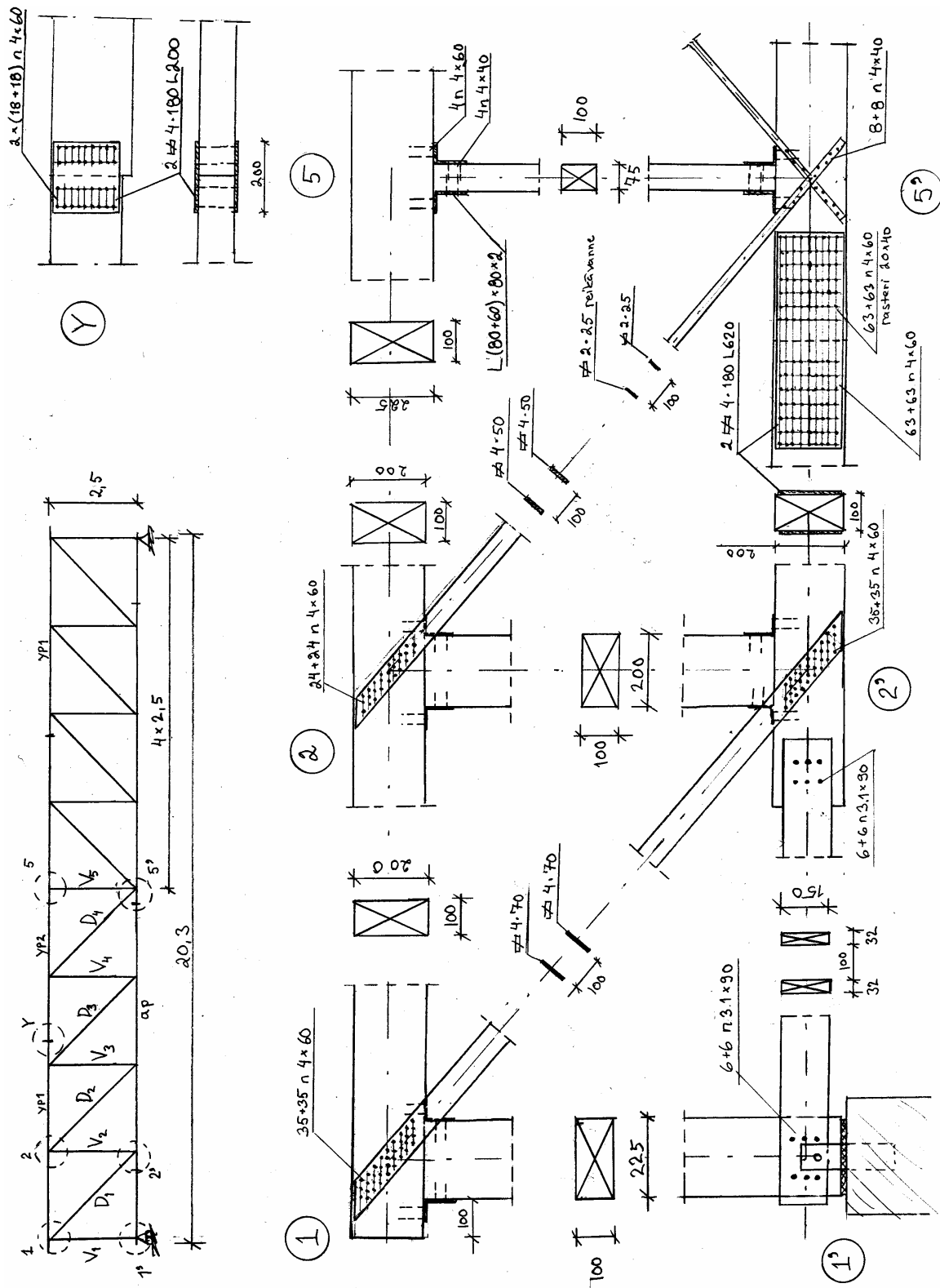
- Yksittäisen tai muutaman NR-ristikon tilaaminen on kallista – suunnittelu, valmistuspöydän asetetyömenekki ja kuljetuskustannus eivät riipu sarjan suuruudesta.
- Naulalevyristikot ovat varsin ohuita (42...48mm), minkä vuoksi puristettuja sisäsauvoja joudutaan usein tukemaan sivusuunnassa.
- Suojaamattomilla naulalevyristikoilla ei ole palonkestävyyttä.

- Tavallisia naulalevyristikoita ei voida käyttää kosteissa olosuhteissa. Käyttöluokkaa 3 varten on kehitetty ruostumattomiin naulalevyihin ja painekylästettyyn puutavaraan perustuvia ratkaisuja, mutta niiden materiaalikustannukset ovat noin 2,5-kertaisia tavalliseen naulalevyristikkoon verrattuna.

Massiivipuuristikossa tulee pyrkiä minimoimaan liitoskustannukset. Se edellyttää parrejatkosten välttämistä (pitkiä puita), puuosien välisen kontaktin hyödyntämistä puristusliitoksissa ja kustannustehokkaan liitostekniikan käyttämistä (ks. luku 5.3.2). Tässä kustannustehokkaalla liitostekniikalla tarkoitetaan erityisesti liitoksia, jotka eivät mitoitaisauvojen kokoa.

Puuosien välistä kontaktia voidaan hyödyntää maksimaalisesti ns. N-tyyppin ristikossa, jossa vertikaalit ovat puristettuja ja diagonaalisauvat vedettyjä (ks. kuva 5.15). Vertikaalien käyttö on perusteltua myös lyhyillä nurjahduspituuksilla ja hankalien viistesauvojen minimoimisella. Massiivipuuristikon paksuus kannattaa yleensä valita niin suureksi, että vertikaaleja ei tarvitse nurjahdustukea sivusuunnassa. Vertikaalien leveysdimensio määräytyy yleensä paarteelle kohdistuvan kiskopainemitoituksen mukaan.

Diagonaalisauvoitusten ja niiden liitosten suunnittelussa on oleellista, että diagonaalien ja vertikaalien keskilinjat yhtyvät paarteen keskilinjoilla (solmupiste) ja että liitokset ovat sauvojen keskilinjojen suhteen symmetrisiä. Tällöin sauvojen normaalivoimat voidaan laskea ristikkoteorialla ja paarteiden momenttipinnat voidaan määrittää jatkuvan palkin laskennalla esim. moniaukkoisille palkeille taulukoitujen kertoimien avulla. Puristussauvojen nurjahduspituudeksi oletetaan solmuväli ja paarteiden teholliset nurjahduspituudet voidaan määrittää Eurocode 5:n yksinkertaistetun ristikkotarkastelun mukaisilla kertoimilla (ks. RIL 205-2003:n kuva 5.4.1.4). Ristikon tasoa vastaan kohtisuorassa suunnassa sauvojen nurjahduspituutena käytetään poikittaista tukiväliä.



Kuva 5.15. Esimerkki N-tyyppin tasakorkeasta sekaristikosta, jossa vedetyt sisäsäuvät ovat lattaterästä.

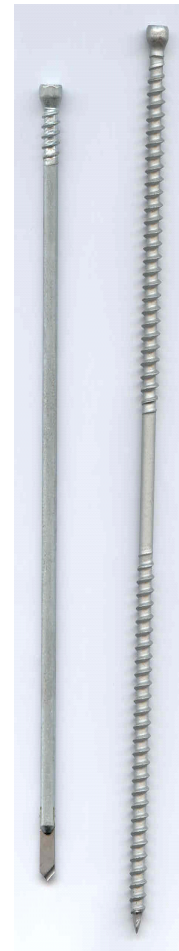
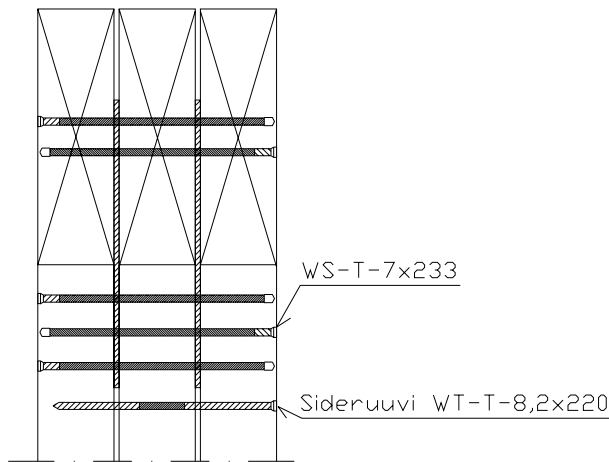
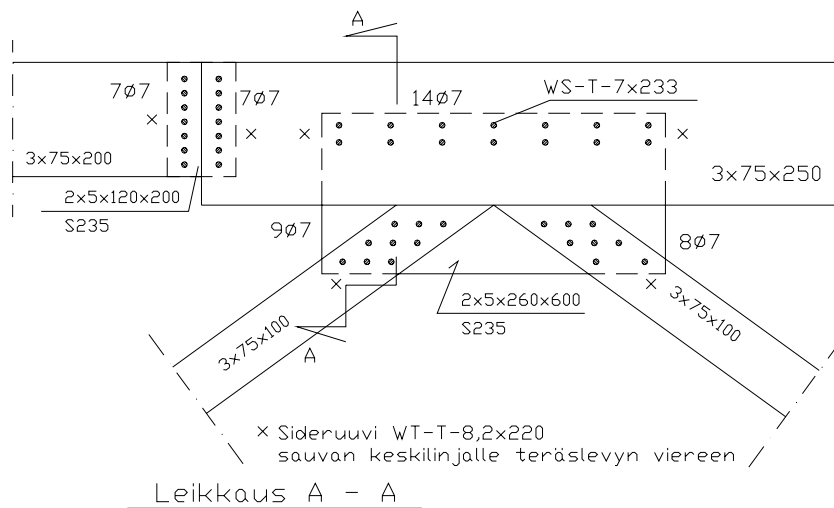
Tasakorkeilla N-tyyppin ristikkopalkeilla tehdyissä laskennallisissa optimoinneissa paikalla rakentamiseen soveltuviksi taloudellisiksi massiivipuuristikotyypeiksi ovat osoittautuneet:

- 1) Sekaristikot, joissa lattateräksiset diagonaalit naulataan suoraan paarteisiin ristikon molemmin puolin (kuva 5.15),
- 2) Naulauslevyristikot, jotka ovat kuten naulalevyristikot, mutta liitokset toteutetaan ankkurinauloilla kiinnitetyillä reikälevyillä ja puun paksuus voi olla 50..100 mm ja
- 3) Monileikkeiset tappivaarnaristikot, joissa 2 tai 3 puuosan välissä käytetään 5–8 mm paksuja teräslevyjä ja liittiminä käytetään itseporautuvia tappivaarnoja (kuva 5.16).

Näistä seka- ja naulausristikot eivät sovellu käytettäväksi kohteissa, joissa vaaditaan R30 palonkestävyyttä. Tappivaarnaristikolla saavutetaan R30 palonkestävyys yleensä ilman normaalilämpötilan ylimitoitusta, kun teräslevyt leikataan siten, että ne eivät jää näkyviin puusauvojen alta ja kun puuosien (ristikkolamellien) väliset raot listoitetaan umpeen.

Tappivaarna- ja naulauslevyristikoissa voidaan käyttää muitakin kuin N-tyyppin sauvoituksia ja niissä voi olla myös sauvoja, jotka voivat saada eri kuormitustapauksista johtuen sekä vetoa että puristusta. Epäsymmetrinen lumikuorma aiheuttaa usein N-ristikon keskikohdalla diagonaaliin puristusta. Sekaristikossa sen vaikutus voidaan eliminoida käyttämällä keskimmaisissa aukoissa ristiin sauvoituksia – veto tulee kuormitustapauksesta johtuen ristin toiselle diagonaalille toisen pysyessä nollasauvana. Yleensä tällä kohdin voimat ovat niin pieniä, että ristiin sauvoitus voidaan toteuttaa yksinkertaisesti ohuilla vanneteräksillä.

Kaikki edellä mainitut ristikkotyypit voidaan mitoitaa myös käyttöluokkaan 3. Kosteusrasitus on kuitenkin otettava huomioon puuosien lahonsuojauksessa ja teräsosien korroosiosuojauksessa. Käyttöluokassa 3 alle 3 mm paksujen teräslevyjen (naulauslevyt ja sekaristikoiden vanneteräkset) on oltava ruostumatonta terästä (rst) ja niiden yhteydessä on käytettävä rst-ankkurinauloja. Yli 3 mm paksujen teräslevyjen on oltava kuumasinkittyjä vähintään luokassa Z350 ja niiden yhteydessä on käytettävä kuumasinkittyjä tai vähintään Fe/Zn 25c luokan sähkösinkittyjä liittimiä. Eläinsuojissa ja lantaloissa vapautuvat ammoniakki- ja rikkivetykaasut kiihdyttävät ruostumista. Näissä tiloissa tulee käyttää vielä edellä esitettyä tehokkaampia ruostesuojauksia, jos kosteusrasitus vastaa käyttöluokkaa 3 ja rakennuksella tavoitellaan pitkää 30–50 vuoden käyttöikää. Luvussa 6 on esitetty lähemmin lietesäiliön kattorakenteiden käyttöikämitoitusta.



Kuva 5.16. Esimerkki 4-leikkeisen tappivaarnaristikon yläpaarten liitoksista. Kuvassa oikealla WS-T tappivaarna ja WT-T sideruuvi. Itseporautuvien WS-T-7x233 tappivaarnojen vetomurtolujuus $f_{u,k} = 600 \text{ N/mm}^2$.

Liitteessä B on esitetty järeiden tasakorkeiden ristikkopalkkien materiaalimenekki- ja kustannusvertailu. Vertailu on tehty 20 m pitkillä ristikoilla, jotka ottavat kuormitusta noin 5 m leveältä katon alueelta. Tällöin käyttökohteena tulee kyseeseen mastopilarirunkoinen halli (yhteen suuntaan kaatava loiva katto) tai 20 m pitkä halli, jossa rakennuksen pituussuuntaisia ristikoita käytetään harjakaton kattopalkkien kannatteina. Jälkimmäisen sovellutuksena on kehitetty kuvan 5.17 mukainen lietesäiliön kattamismalli.

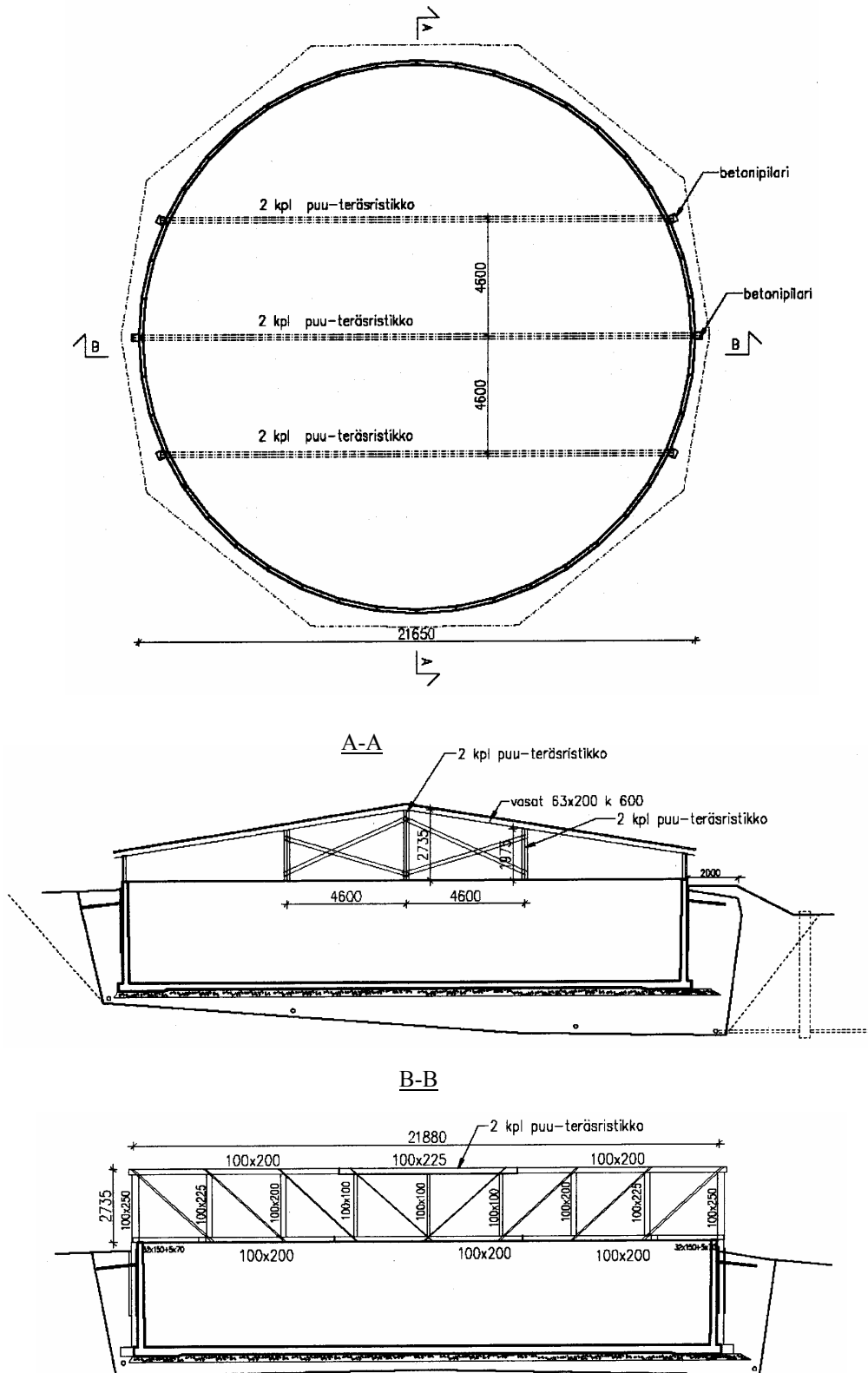
Kustannusvertailun mukaan kuvan 5.15 mukainen sekaristikko on taloudellisin massiivipuuhun perustuva ristikkotyyppeihin. Tämän tekniikan, jossa diagonaalit ottavat vain vetoa, soveltaminen erilaisiin ristikkotyyppeihin eri kuormitus- ja tuentatilanteissa on kuitenkin hyvin rajoitettua. Vaikeimpiin tapauksiin soveltuu hyvin naulauslevyliitokselliset massiivipuuristikot. Seka- ja naulauslevyristikkoita voidaan ajatella jossain tapauksissa NR-ristikoita korvaavina tuotteina – yksittäisten 75 tai 100 mm paksujen massiivipuuristikoiden järkevä k-väli on 1,2–2,4 m.

Monileikkeiset tappivaarnaristikot tulevat kyseeseen vain, kun kannattajien välinen etäisyys on suuri, vähintään noin 3,6 m. Yksittäisten lamellinen paksuudeksi joudutaan yleensä valitsemaan 75 tai 100 mm sisäsauvojen poikittaisen nurjahdustuennan välttämiseksi. Tällöin kyseeseen tulee 2-osainen 156 mm (75+6+75) tai 208 mm (100+8+100) tai 3-osainen 235 mm (75+5+75+5+75) paksu ristikko, jossa käytetään 7 mm paksuja itseporautuvia tappivaarnoja. Tappivaarnat mitoitetaan RIL 205–2003 ohjeiden mukaan vähentämällä porakärjen pituus pois tehollisesta liitinpituudesta. Käyttöluokassa 3 tappivaarnaristikko tulee naulauslevyristikkoa taloudellisemmaksi. Se on kilpailukykyinen vaihtoehto myös käyttökohteissa, joissa kannattimelta vaaditaan R30-luokan palonkestävyyttä.

Massiivipuuristikon valmistustekniikka, nostot ja asennus tulee aina ottaa huomioon suunnittelussa. Seka- ja naulauslevyristikot naulataan molemmilta puolilta. Pitkien ristikoiden kääntäminen on niin hankalaa, että ne on yleensä järkevintä valmistaa pystyasennossa.

Monileikkeiset tappivaarnaristikot kannattaa kuitenkin valmistaa vaaka-asennossa – se helpottaa oleellisesti tappivaarnojen poraamista. Kaikki tappivaarnat voidaan porata samalta puolelta. Suositeltavaa on kuitenkin porata puolet vaarnoista liitoksen toiselta puolelta, koska itseporautuvien tappivaarnojen kärjen puolella tapin tehollinen pituus jää vähintään 15 mm puun pinnasta vajaaksi. Erillisistä lamelleista kootut sauvat joudutaan myös sitomaan yhteen. Sidonta tulisi tehdä aina liitoksen vieressä erikseen kullekin sauvalle. Se voidaan toteuttaa kierretangoilla tai pitkillä täyskierteisillä puuruuveilla. Tarkoitukseen soveltuu hyvin tuotemerkiltään WT-T -ruuvit, joissa on porakärki ja eri nousukulmaiset kierteet kärjen ja kannan puolella niin, että ruuvatessa osat kiristyvät tiukasti yhteen. Sidonta tehdään sen jälkeen, kun liitoksen teräslevyt on asennettu paikoilleen ennen kuin tappivaarnoja aletaan porata.

Sekaristikoille tulee tehdä aina erillinen nostosuunnitelma. Nostopisteet valitaan siten, että vertikaaleille ei tule vetoa, diagonaaleille puristusta, eikä yläparre pääse nurjahtamaan sivullepäin. Tämä johtaa yleensä siihen, että nostoissa tarvitaan erillistä nostopalkkia ja nostopisteet sijoitetaan alapaarteen alle melko lähelle ristikon päätä. Lisäksi pitkissä ristikoissa saatetaan joutua jäykistämään yläparretta sen sivuille kiristyslii-noilla sidottavilla parruilla ja mahdollisesti myös joitakin vertikaalisauvoja vetoa ottaviksi (sidontaliinat tai naulatut teräsvanteet). Nostettavuuden vuoksi joitakin ristikkoaukkoja voidaan joutua myös jäykistämään ristiin naulattavilla teräsvanteilla.



Kuva 5.17. Esimerkki sekaristikoiden käytöstä lietesäiliön pääkannattimina. Puun lahoaminen ja teräksen ruostuminen tulee ottaa huomioon lietesäiliön olosuhteissa esimerkiksi luvussa 6 esitetyn lietesäiliön kattorakenteiden käyttöikämitoituksen mukaan.

Ristikön asennus- ja tuentasuunnitelmassa tulee antaa sallittavat asennustoleranssit ja esittää ohjeet asennusaikaisen tuennan toteutukseen sekä piirustukset ristikön tukikiinnityksen, ristiköiden nurjahdustuentojen ja ristikkokentän jäykistyksen toteutukseen. Asennuksen jälkeen massiivipuuristikön suurin poikkeama pystyasennosta saa olla korkeintaan $10 + 5 \cdot (H - 1000)$ mm, kun H on ristikön korkeus (mm), ja yläpaarten suurin sallittava lenkous sivusuuntaan saa olla korkeintaan $L/300$, kun L on yläpaarten pituus.

Ristiköiden tukikiinnityksessä tulee ottaa huomioon tuulen aiheuttama vaaka- ja imu-kuorma. Vaadittavan tukipituuden täytyminen tulee tarkistaa myös alapuolisen rakenteen kannalta. Sivuttaista nurjahdustuentaa vaativille sisäsaivoille tulee esittää selkeä tuenta-piirustus, jossa ilmenee myös tuennan sidonta jäykistävälle ylä- tai alapaarretasolle.

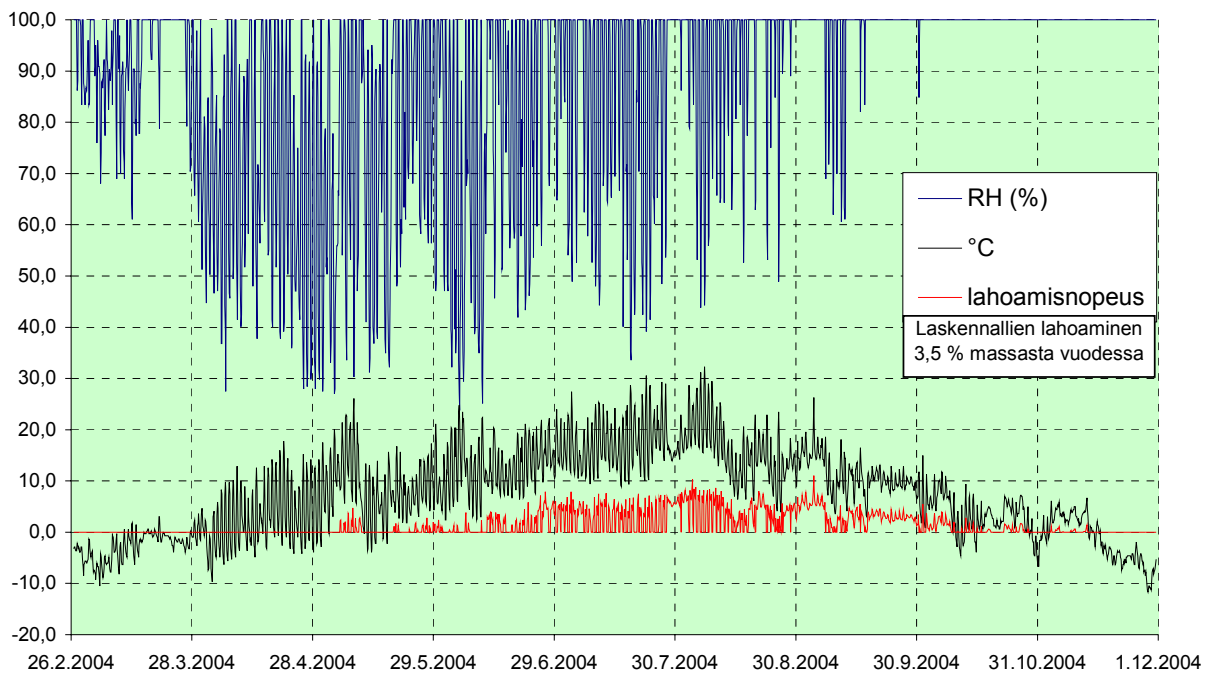
Yläpaarten nurjahdustuentavälin (ruodeväli) lisäksi tulee esittää myös ruoteiden kiinnitykset, jotka mitoitetaan 2 %:lle yläpaarten voimasta silloin, kun ruodeväli vastaa nurjahduksen kannalta suurinta sallittavaa tuentaväliä. Tiheämpien ruodevälien yhteydessä mitoituksessa käytettävää kiinnitysvoimaa voidaan pienentää tästä lineaarisesti. Katon jäykistävät rakenteet tulee suunnitella tuulikuorman lisäksi RIL 205–2003 kohdan 5.4.5.3 mukaiselle ristikköjen yläpaarteiden jäykistämisestä aiheutuvalle kuormitukselle. Kattotason jäykistyskuormat johdetaan jäykistävien pystyrakentein perustuksille saakka.

6. Lietesäiliön kattorakenteiden käyttöikämitoitus

6.1 Olosuhteet

Kuvassa 6.1 on esitetty Uraisissa (lähellä Jyväskylää) sijaitsevan lietalantalan kattorakenteista mitatut lämpötilat ja ilman suhteelliset kosteuspitoisuudet 9 kk ajanjaksolta. Pyöreässä lietesäiliössä oli harjamallinen peltikatto, ja mittauspiste sijaitsi kattotuolipalkissa lähellä harjalinjaa. Kattorakenne oli hyvin tuuletettu räystääslinjoilta ja päädyistä (ks. kuva 6.2).

Kuvan 6.1 mittaustuloksista voidaan todeta, että suurista tuuletusaukoista huolimatta katetun lietesäiliön ilman suhteellinen kosteus on hyvin korkea. Kattorakenne oli kondenssissa noin 70 % vuotuisesta ajanjaksosta. Syksy- ja talvikaudella ilman suhteellinen kosteus RH on lietesäiliössä käytännössä kokoajan 100 %. Puolivuotiskaudella 15.4.–14.10.2004 lietesäiliön ilman vuorokautinen keskilämpötila oli vähintään noin 5 °C, ja kattokattorakenne oli tänä aikana kondenssissa 57 % kokonaisajasta.



Kuva 6.1. Uraisissa sijaitsevassa katetussa lietesäiliössä 3 tunnin välein mitatut ilman lämpötilat ja suhteelliset kosteuspitoisuudet. Lahoamisnopeus on kaavalla 6.1 laskettu lahoamisprosentti, kun ko. olosuhteen vaikutusajaksi oletetaan 1,8 kk.



Kuva 6.2. Mittauskohteena käytetty katettu lietelantala. Huomaa tuuletusaukot päädyssä.

6.2 Lahoaminen

Männyn ja kuusen pintapuun lahoaminen edellyttää pitkäaikaista ilman suhteellista kosteutta $RH = 95 \%$, kun lämpötila $t = 5 \text{ °C}$ tai vähintään ilman suhteellista kosteutta $RH = 90 \%$, kun lämpötila $t = 20 \text{ °C}$ (Kokko ym. 1999). Vaikka lietesäiliön kattorakenteiden olosuhteissa voi tapahtua vuorokausitasolla suuria vaihteluja (auringon paiste), ilman suhteellisen kosteuden vuorokausikeskiarvo on suurimman osan vuotta yli $RH 95 \%$. Tällaisissa olosuhteissa puun lahoaminen on todennäköistä ja se tulee ottaa huomioon kattorakenteiden suunnitteluissa. Lahoamiseen voidaan varautua käyttämällä painekyllästettyä puuta tai ottamalla lahoamisvara huomioon puuosien käyttöikämitoituksessa.

Kuusen pintapuun lahoamisesta johtuva suhteellinen massahävikki (mass loss) voidaan laskea vakio-olosuhteissa Viitasen (1997) kehittämällä kaavalla:

$$ML = -41,224 \cdot t - 2,731 \cdot T - 0,0251 \cdot RH + 0,1724 \cdot T \cdot t + 0,0291 \cdot T \cdot RH + 0,416 \cdot RH \cdot t \geq 0 \quad (6.1)$$

jossa

ML on massahävikki prosentteina puun painosta (%),

t on aika kuukausina (kk),

T on lämpötila ($> 0 \text{ °C}$) ja

RH on ilman suhteellinen kosteus (90–100 %).

Kaava (6.1) on tarkoitettu vakio-olosuhteisiin. Nopeasti muuttuvissa kosteus- ja lämpötilaoiloissa lahoaminen on huomattavasti hitaampaa. Lietesäiliölle tyypillisissä olosuhteissa lahoaminen pysähtyy kokonaan talviaikana ja lahoamisprosessi käynnistyy uudelleen kesä-heinäkuussa. Kuvan 6.1 mukaisissa Keski-Suomessa mitatuissa lietesäiliön

olosuhteissa lahoaminen jatkuu ainakin syyskuun loppuun saakka. Lahoamisvaiheen aikana vuorokausitasolla tapahtuvat suuret olosuhdemuutokset hidastavat lahoamisen etenemistä. Vuosittain tapahtuva lietesäiliön kattorakenteiden lahoaminen voidaan arvioida karkeasti kaavalla (6.1) käyttäen tarkasteltavana aikana t puolta sen ajan summasta, jona lahoamisen edellytykset vuositason tasolla täyttyvät.

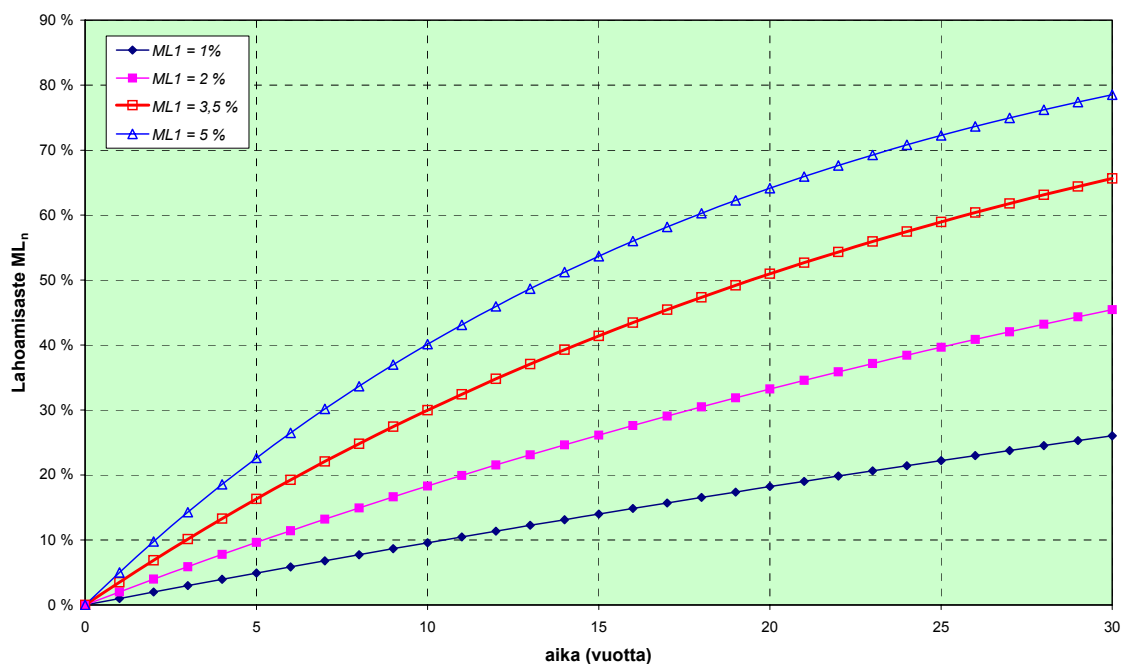
Kuvassa 6.1 on esitetty hetkellisiä olosuhdetietoja vastaavat lahoamisnopeudet (massahävikki -prosentti vuodessa), kun kyseisen hetkellisen lämpötilan ja ilman suhteellisen kosteuden oletetaan vaikuttavan $t = 1,8$ kk pituisen ajanjakson. Tässä kohteessa kaavan (6.1) mukaan lasketut lahoamisen edellytykset täyttyivät yhteensä 3,6 kk pituisella ajanjaksolla (niiden 3 h ajanjaksojen summa, joissa $ML > 0$, kun laskennallinen $t = 1,8$ kk). Näin laskettujen hetkellisten massahävikkiarvojen ML keskiarvo on 3,5 %. Laskennallinen arvio yhdessä vuodessa lahoavan puun määrästä on siis tässä kohteessa $ML_1 = 3,5$ %.

Olettaen, että olosuhteet toistuvat vuosittain samanlaisina voidaan n vuoden kuluttua rakenteen käyttönotosta vallitseva puurakenteen lahoamisastearvio laskea kaavalla

$$ML_n = \left(1 - \left(1 - \frac{ML_1}{100\%} \right)^n \right) \cdot 100\% \quad (6.2)$$

Kuvassa 6.3 on esitetty kaavan (6.2) mukaan laskettuja esimerkkejä lahoamisen kehittymistä. Tuuletuksen lisäksi lietesäiliön kattorakenteiden lahoaminen riippuu merkittävästi maantieteellisistä ilmasto-olosuhteista. Alhaisemman lämpötilan vuoksi lahoamiselle kriittisen olosuhteen kesto aika on Pohjois-Suomessa merkittävästi Etelä-Suomea lyhyempi. Ulkotilassa olevan puun lahoaminen on tämän vuoksi Pohjois-Suomessa hitaampaa (Kokko ym. 1999). Taulukossa 6.1 on esitetty karkeita arvioita lietesäiliön kattorakenteiden vuotuisesta lahoamisesta ML_1 . Taulukon 6.1 arvot on tarkoitettu harjaketille, jossa on räystästuuletuksen lisäksi suuret tuuletusaukot molemmissa päädyissä.

Virtsa-säiliössä kosteusrasitus on todennäköisesti vielä huomattavasti lietesäiliötä rankempi. Ellei asiaa erikseen selvitetä, on suositeltavaa, että virtsa-säiliön kattorakenteet tehdään painekyllästetystä puutavarasta.



Kuva 6.3. Laskennallisen lahoamisasteen kehittyminen, kun vuotuisten olosuhteiden oletetaan toistuvan samanlaisina. $ML_1 = 3,5 \%$ vastaa kuvassa 6.1 esitettyjä mittaustuloksia.

Taulukko 6.1. Esimerkkejä tuuletetun harjakattomallisen lietesäiliön kattorakenteiden vuotuisesta lahoamisnopeudesta ML_1 . Tehokkaalla tuuletuksella tarkoitetaan maastoluokan I tai II (ks. RIL 144 tai RIL 201) maasto-olosuhteissa sijaitsevaa lietesäiliötä, jonka katon harjan suunta on pääasiallisen tuulen suuntainen.

	Etelä-Suomi (Turku-Hki-Kotka)	Keski-Suomi (~Jyväskylä)	Pohjois-Suomi (~Rovaniemi)
Hyvä tuuletus	5 %	3,5 %	2 %
Tehokas tuuletus	3,5 %	2 %	1 %

6.3 Ruostuminen

Lietesäiliön olosuhteet vastaavat Eurocode 5:n käyttöluokkaa 3, jossa puun kosteuspi-toisuus on suurimman osan vuotta yli 20 %. Eurocode 5:n ohjeiden mukaisesti käyttöluokassa 3 puurakenteiden liitososat ja liittimet tulee suojata vähintään Fe/Zn 25c sähkösinkityksellä (ISO 2081) tai Z350 kuumasinkityksellä (EN 10147). Tällöin lähtökoh-tana on 50 vuoden käyttöikätaavoite. Taulukossa 6.2 on esitetty yhteenvetona suositelta-via korroosiosuojauksia.

Metallipinnan ei tarvitse olla silminnähdn märkä, jotta korroosiota tapahtuisi. Riittää, kun ympäristön suhteellinen kosteus ylittää 85–90 % arvon. Puun kosteuspitoisuuden kasvu nopeuttaa metallisten liittimien korroosioprosessia ja lisää puusta haihtuvien aineiden määrää. Suurissa kosteuspitoisuuksissa tapahtuva sienten kasvu puussa voi edelleen lisätä korroosioriskiä. Korroosiotuotteet saattavat myös edesauttaa puun vaurioitumista ja kiihdyttää sienten kasvua (Kubler 1992).

Paitsi kosteudesta ja metallin laadusta, syöpymisnopeus ja syöpyminen riippuvat myös ilman kaasupitoisuuksista, puutuotteen PH:sta, puusta haihtuvista hapoista ja formaldehydistä sekä puunsuoja-aineiden sisältämistä suoloista. Lietesäiliöissä esiintyvistä kaasuista teräksille korroosiota aiheuttavia ovat mm. ammoniakki (NH₃) ja sen yhdisteet ja rikkivety (H₂S). Kosteissa olosuhteissa ammoniakki ja rikkivety voivat kiihdyttää paljaan teräksen syöpymisnopeuden moninkertaiseksi. Myös sinkin korroosio nopeutuu aggressiivisissa olosuhteissa. Austeniittiset ruostumattomat teräslaadut, kuten EN 1.4301 (AISI 304) ja EN 1.4401 (AISI 316), kestävät hyvin ammoniakkia ja rikkivetyä (Yli-Koski & Kevarinmäki 2005).

Puunsuoja-aineiden, kuten suolapitoisten kyllästysaineiden ja palosuoja-aineiden, vaikutuksesta puussa olevien metalliliittimien korroosioriski kasvaa kosteissa olosuhteissa (Suomi-Lindberg ym. 1999). CCA- ja ACA -kyllästeiden vaikutuksesta sinkittyjen liittimien korroosio kasvaa kosteissa olosuhteissa pitkäaikaisessa käytössä liian suureksi (Barker 1992). Boorisuoloja sisältävät suoja-aineet ovat korroosion kannalta vähemmän aggressiivisiä (Suomi-Lindberg ym. 1999). Ruostumattomien terästen peruslaatuja AISI 304 (EN 1.4301) ja AISI 316 (EN 1.4401) on todettu kestävän erittäin hyvin vesiliukoisia suolakyllästeitä ja puusta haihtuvia aineita vastaan (Yli-Koski & Kevarinmäki 2005).

Sinkki, vaikka onkin epäjalommetalli, syöpyy ulkoilmassa huomattavasti hitaammin kuin teräs. Sinkin hyvä korroosiokestävyys ilmastollisessa rasituksessa perustuu metallin pinnalle korroosiotuotteena muodostuvaan emäksiseen sinkkikarbonaattikerrokseen, joka hidastaa sinkin syöpymisnopeutta noin kymmenesosaan tavallisen teräksen syöpymisnopeudesta samoissa olosuhteissa. Syöpyminen tapahtuu lähes tasaisella nopeudella, joten sinkkipinnoitteen ikä on yleensä suoraan verrannollinen pinnoitteen paksuuteen. Teräksen ruostuminen alkaa yleensä vasta, kun huomattava osa sinkkipinnoitteesta on kulunut pois. Varsinaisen kaupunkialueen ulkopuolella kuumasinkityn teräksen sinkkikerroksen keskimääräinen syöpymisnopeus on Suomen ilmastossa noin 1 µm / vuosi. Rikkidioksidipitoisessa kaupunki- tai teollisuusilmastossa syöpymisnopeus voi olla 2 µm / vuosi. (Suomi-Lindberg ym. 1999)

Metallisten liitoslevyjen tai sauvojen kiinnityksissä tulisi käyttää samaa metallilaatua olevia liittimiä. Eri metallilaatujen kontaktista johtuva galvaaninen korroosio voi kosteissa olosuhteissa kiihdyttää merkittävästi epäjalomman materiaalin korroosiota. Kuu-

masinkityn perusaineen yhteydessä tulisi siis käyttää sinkittyjä liittimiä ja ruostumattomien terästen yhteydessä ruostumattomasta teräksestä valmistettuja liittimiä.

Taulukko 6.2. Lietesäiliön kattorakenteissa käytettävien liittimien ja metallisten liitoslevyjen tai sauvojen suositeltavia korroosiosuojauksia. Virtsasäiliön kattorakenteiden liittimiin ja metalliosiin suositellaan ruostumatonta terästä, jonka edullisin laatu on EN 1.4301 (AISI 304).

Metalliosa tai liitin	Painekyllästetty puutavara	Hyvä tuuletus räystäältä ja päädyistä	Tehokas tuuletus, maastoluokka I tai II
Liitoslevyt tai sauvat ja niiden liittimet	rst: EN 1.4301 (AISI 304) EN 1.4401 (AISI 316)	kuumasinkitty Z450 + käyttöikämitoitus	kuumasinkitty Z350 + käyttöikämitoitus
Naulat, ruuvit, pultit ja tappivaarnat puu-puu liitoksissa	ruostumaton teräs: EN 1.4301 (AISI 304) EN 1.4401 (AISI 316)	sähkösinkitys Fe/Zn 40c tai kuumasinkitty Z450 + käyttöikämitoitus	sähkösinkitys Fe/Zn 25c tai kuumasinkitty Z350 + käyttöikämitoitus
Naula- ja naulauslevyt sekä vanteet 3 mm paksuuteen saakka	ruostumaton teräs: EN 1.4301 (AISI 304) EN 1.4401 (AISI 316)	ruostumaton teräs: EN 1.4301 (AISI 304) EN 1.4401 (AISI 316)	ruostumaton teräs: EN 1.4301 (AISI 304) EN 1.4401 (AISI 316)

6.4 Käyttöikämitoitus

Lietesäiliön kattorakenteille ei aseteta normaalisti kantavilta rakenteilta vaadittavia turvallisuusvaatimuksia, koska rakennuksen ei voida katsoa olevan edes tilapäisesti miehitetty. Eurocode 5:n mukaan alennettuja osavarmuuskertoimia voidaan käyttää yksikerroksisille vain tilapäisesti miehitetyille rakennuksille (RIL 205–2003, kohta 2.3.3.1(4)). Lietesäiliönkin kattorakenne tulee kuitenkin suunnitella ja rakentaa siten, että rakenne kestää sortumatta hyväksyttävällä todennäköisyydellä ja hyväksyttävillä huoltokustannuksilla koko suunnitellun käyttöiän.

Lähtökohtana voidaan yleensä pitää sitä, että lietesäiliön kattokannattimien käytön-aikainen huoltaminen tai korjaaminen johtaisi niin kohtuuttomiin kustannuksiin, että ne tulee suunnitella huoltovapaiksi koko rakennuksen suunnitellulle käyttöiälle. Peltikatteen ja ruoteiden uusiminen on kuitenkin yleensä niin yksinkertaista, että niitä ei kannata merkittävästi ylimitoitaa ruostumisen tai lahoamisen varalle.

Lietesäiliön kattokannattimien murtorajatilamitoitus ja siihen liittyvä painekyllästämättömien puuosien sekä sinkittyjen liitoslevyjen tai sauvojen käyttöikämitoitus voidaan tehdä soveltaen Eurocode 5:ttä (RIL 205) seuraavassa esitettyjen periaatteiden mukaan. Taipumatarkastelu tehdään vain, jos katon ulkonäölle asetetaan esteettisiä vaatimuksia. Ulkonäköä haittaava katon harjan liiallinen taipuma voidaan yleensä eliminoida riittäväällä ennakkokorotuksella.

6.4.1 Kuormitukset

Lietesäiliön kattorakenteiden murtorajatilamitoitus voidaan tehdä kuormitusyhdistelmälle:

$$q_d = g_k + 1,3q_{l,k} \quad (6.3)$$

jossa

g_k on rakenteiden omapaino ja

$q_{l,k}$ on rakenteen käyttöiällä korjattu lumikuorman ominaisarvo katolla.

Tuulikuorma otetaan huomioon jäykistävien rakenteiden mitoituksessa ja rakenteiden ankkuroinnissa. Mikäli katon kaltevuus on suurempi kuin 1:3, tulee tuulikuorma ottaa huomioon myös kannattimien mitoituksessa yhdistelykertoimella $\psi_0 = 0,5$. Tuulikuorman osavarmuuskertoimeksi voidaan olettaa $\gamma_F = 1,3$.

Pienennetty luonnonkuormien osavarmuuskerroin $\gamma_F = 1,3$ vastaa likimain 10^{-3} todennäköisyyttä laskentakuorman ylitykselle olettaessa Gumbel -jakautuneelle kuormalle 40 %:n variaatio. Tämä tarkoittaa sitä, että tuhannesta katetusta lantalasta yhdessä ylittään vuosittain mitoituksessa käytetty kuormitus. Materiaalivarmuuksien vuoksi ylikuormituksen aiheuttamaa sortumaa ei voida kuitenkaan pitää todennäköisenä kuin niissä tapauksissa, joissa rakennus on jo lähes saavuttanut tai ylittänyt suunnitellun käyttöiän. Suunnittelukuorman ylityksestä johtuva lantalan katon sortuminen – ennen kuin tavoiteltu noin 25 vuoden käyttöikä saavutetaan – kohtaisi näin arvioiden yhtä lantalaa 200:sta. Näissäkin tapauksissa olisi jo ylitetty 80 % suunnitellusta käyttöiästä (20 vuotta). Tätä voidaan pitää kustannusten optimoinnin kannalta hyväksyttävä riskitasona.

Käyttöiällä (< 50 v) korjattu harjakattoisen lietesäiliön lumikuorman ominaisarvo voidaan laskea kaavalla

$$q_{l,k} = \mu_1 \cdot \left(0,75 + \frac{n}{50} \cdot 0,25 \right) \cdot s_k \quad (6.4)$$

jossa

n on kattorakenteen suunniteltu käyttöikä vuosina,

s_k on maassa olevan lumikuorman ominaisarvo (ks. RIL 201) ja

μ_1 on muotokerroin, joka riippuu räystäskorkeudesta seuraavasti

$$\mu_1 = 1 - 0,1 \cdot h \geq 0,8 \quad (6.5)$$

jossa h on katon alareunan korkeus maanpinnasta metreinä.

Harjakaton mitoituksessa tulee tarkistaa myös RIL 201:n mukainen epäsymmetrinen kuormitustapaus, jossa toisella kattolapella vaikuttaa vain puolet täydestä lumikuor-

masta. Harjan suuntaisten kannatteiden mitoituksessa tarkastetaan lisäksi järjestely, jossa puolet lumikuormasta vaikuttaa kannattimen pituuden toisella puolikkaalla.

6.4.2 Materiaalien laskentalujuudet

Kun rakenteen luotettavuusvaatimus perustuu pelkästään kokonaiskustannusten minimointiin, on käyttöiältään enintään 30 vuoden rakenteen murtorajatilamitoituksessa luontevaa käyttää suoraan kosteus- ja aikavaikutuskertoimilla korjattuja ominaislujuuksia. Suunnittelumenetelmien ja rakenteen toiminnan mallituksesta johtuvien epätarkkuuksien vuoksi kaikille materiaaleille tulee kuitenkin käyttää osavarmuuskertoimena arvoa $\gamma_M = 1,1$. Karkeita suunnittelu- tai valmistusvirheitä vastaan varmuuskertoimilla ei voida taistella. Tapauskohtaisesti tulee kuitenkin tarkistaa onko rakenteessa esim. sellaisia hauraasti toimivia liitoksia, joiden murtuminen johtaa koko rakenteen sortumiseen ilman minkäänasteista voimasuureiden uudelleenjakaantumista. Tämän vuoksi esimerkiksi vedettyjen liitosten lohkeamismurron mitoituksessa pitäisi puumateriaalille käyttää suurempaa osavarmuuserrointa $\gamma_M = 1,3$.

Lietesäiliön kattorakenteiden olosuhteet vastaavat käyttöluokkaa 3 ja täyden lumikuorman aikaluokka on lyhytaikainen. Tällöin massiivipuun ja sahatavaran lujuuksia pienennetään kertoimella $k_{\text{mod}} = 0,7$. Puumateriaalin laskentalujuutena voidaan siis lietesäiliön kattorakenteiden mitoituksessa yleensä käyttää arvoa

$$f_d = \frac{0,7 \cdot f_k}{1,1} \approx 0,64 f_k \quad (6.6)$$

Vastaavasti liittimien ja metallisten liitososien tai sauvojen mitoituksessa

$$f_d = \frac{f_k}{1,1} \approx 0,91 f_k \quad (6.7)$$

Ruostumattomasta teräksestä valmistettujen liittimien myötömomenttien ja vetosauvojen kapasiteettien laskennassa voidaan käyttää materiaalin vetomurtolujuutta alhaisen 0,2-ajan sijasta (peruslaaduilla $f_u = 520 \dots 750 \text{ N/mm}^2$, kun $f_{0,2} = 210 \dots 240 \text{ N/mm}^2$) (ks. Yli-Koski ym. 2005).

6.4.3 Käyttöiän todentaminen

Paineekyllästämättömien puuosien ja sinkittyjen teräsosien mitoituksessa tulee ottaa huomioon lahoamisen ja mahdollisen ruostumisen vaikutukset poikkileikkausten heikentymiseen. Käyttöikä tarkastelussa voidaan käyttää materiaalien keskiarvolujuuksia,

koska käyttöiän päättyessä rakenteelta ei enää vaadita varmuutta sortumista vastaan. Mitoituksessa käytettyyn kuormitusotaksumaan sisältyvän varmuuden vuoksi käyttöiän päättymisajankohdalla vallitseva sortumistodennäköisyys on kuitenkin huomattavasti materiaalilujuuksiin perustuvaa 50 %:n todennäköisyyttä pienempi.

Vaadittavan käyttöiän, n , päättyessä vallitseva lahoamisaste ML_n voidaan arvioida kaavalla (6.2) käyttäen vuosittaisena lahoamisnopeutena ML_1 taulukossa 6.1 esitettyjä arvoja tai niiden väliltä interpoloituja nopeuksia. Vaadittavan käyttöiän saavuttaminen voidaan todentaa rajoittamalla lahoamiselle altistuvan puuosan murtorajatilamitoituksen kapasiteettien käyttöasteita seuraavasti:

$$ka_p = \frac{E_d}{R_d} \leq k_{fi} \left(1 - \frac{ML_n}{100\%} \right) \leq 1 \quad (6.8)$$

jossa

E_d on kohdan 6.4.1 mukaisten mitoituskuormien aiheuttama raskaus,

R_d on vastaava mitoituskapasiteetti, joka on laskettu kohdan 6.4.2 mukaisilla materiaalilujuuksilla,

k_{fi} on kerroin, jolla muunnetaan ominaisarvot keskiarvoiksi. Massiivipuulla ja sahatavaralla $k_{fi} = 1,25$.

Kaavan (6.8) mukaisesti lahoaminen rajoittaa mitoituksessa hyväksyttävää massiivipuun tai sahatavaran lujuuden käyttöastetta, jos käyttöiän lahoamisastearvio ML_n on suurempi kuin 20 %. Korostettakoon vielä, että kaavaa (6.8) saa soveltaa vain sellaisille rakenteille, joilta ei edellytetä rakenteellista turvallisuutta. Lujuuden alentuminen saattaa olla merkittävästikin lahoamisen massahävikkiä suurempi, varsinkin vetolujuuden osalta.

Sinkittyjen teräsosien käyttömitoituksessa lasketaan ensin sinkityksen syöpymiseen kuluva aika n_z . Hyvin tuulettuvassa lietesäiliössä sinkityksen syöpymisnopeudeksi voidaan olettaa 3 $\mu\text{m}/\text{vuosi}$ ja tehokkaasti tuulettuvassa lietesäiliössä 2 $\mu\text{m}/\text{vuosi}$. Tuuletusta voidaan pitää tehokkaana, jos harjakattoinen lietesäiliö sijaitsee maastoluokan I tai II olosuhteissa (ks. RIL 201), harja on pääasiallisen tuulen suuntainen ja räystästuuletuksen lisäksi rakennuksen molemmissa päädyissä on suuret tuuletusaukot. Taulukossa 6.3 on esitetty valmiiksi laskettuja sinkitysten syöpymisaikoja.

Taulukko 6.3. Sinkitysten syöpymisaika-arvioita, n_z , lietesäiliön kattorakenteissa.

kuumasinkitys (EN 10147)	Z275 ¹⁾	Z350 ²⁾	Z450 ³⁾	Z600
sinkkikerroksen paksuus	20 μm	25 μm	32 μm	43 μm
syöpymisaika, hyvä tuuletus	7 v	9 v	11 v	15 v
syöpymisaika, tehokas tuuletus	10 v	13 v	16 v	22 v

¹⁾ vastaa puikkoliittimen sähkösinkitystä Fe/Zn 12c

²⁾ vastaa puikkoliittimen sähkösinkitystä Fe/Zn 25c

³⁾ vastaa puikkoliittimen sähkösinkitystä Fe/Zn 40c

Mikäli sinkityksen syöpymisaika-arvio on pienempi kuin kattorakenteen käyttöikävaatimus, $n_z < n$, lasketaan aikavälillä $n_z \dots n$ tapahtuva ruostuminen. Rakenneteräksen yksipuoliseksi syöpymisnopeudeksi voidaan olettaa $SL_1 = 0,1$ mm/vuosi hyvin tuuletetussa lietesäiliössä ja $SL_1 = 0,07$ mm/vuosi tehokkaasti tuuletetussa lietesäiliössä. Käyttöiän päättymisajankohtaa, n , vastaavan poikkileikkauksen tehollinen pinta-ala, A_{ef} , lasketaan vähentämällä jokaiselta pinnalta syöpymismitta

$$t_s = SL_1 \cdot (n - n_z) \quad (6.9)$$

Pinnoittamattomalla teräksellä ruostumisvaraa pitäisi näin ollen lisätä lietesäiliön olosuhteissa noin 2,5 mm, jos suunniteltu käyttöikä on 30 vuotta. Vastaavasti 50 vuoden käyttöiällä ruostumisvaraa pitäisi olla kaikilla pinnoilla noin 4 mm.

Teräsosien käyttöikävaatimuksen toteutuminen voidaan tarkistaa karkeasti toteamalla, että teräsosien syöpymättömyyden laskentamitoilla tehdyn murtorajatilamitoituksen kapasiteettien käyttöasteet ($ka_s \leq 1$) toteuttavat ehdon

$$ka_s = \frac{E_d}{R_d} \leq 1,1 \cdot \frac{A_{ef}}{A_s} \quad (6.10)$$

missä A_s on alkuperäisen syöpymättömän poikkileikkauksen laskentapinta-ala ja kertoimella 1,1 otetaan huomioon tavanomainen teräksen todellisen lujuuden ja ominaisarvon välinen suhde. Puristettujen ja lommahdusalttiiden poikkileikkausten kestävyys tulee tarkistaa syöpyneellä poikkileikkauksella tehdyllä murtorajatilamitoituksella, jossa voidaan hyväksyä kapasiteetin käyttöasteeksi 110 %.

Puikkoliitosten liittimien leikkausvoimakapasiteetin käyttöikämitoituksessa tarkistetaan, että liitinkapasiteetin murtorajatilamitoituksen käyttöaste ($ka_l \leq 1$) toteuttaa ehdon

$$ka_l = \frac{F_d}{R_d} \leq \min \left\{ \begin{array}{l} 1,25 \cdot \left(1 - \frac{ML_n}{100\%}\right) \cdot \left(\frac{d_{ef}}{d}\right) \\ 1,17 \cdot \left(\frac{d_{ef}}{d}\right)^2 \cdot \sqrt{1 - \frac{ML_n}{100\%}} \end{array} \right. \quad (6.11)$$

missä F_d on kohdan 6.4.1 mukaisten mitoitukskuormien aiheuttama liittimen leikkausvoima, R_d sitä vastaava laskentakapasiteetti, d on liittimen halkaisija (nimellismitta), ML_n on kaavan (6.2) mukainen lahoamisastearvio ja ruostuneen liittimen tehollinen halkaisija

$$d_{ef} = d - 2 \cdot t_s \quad (6.12)$$

Ehdon (6.11) toteutuminen tulee tarkistaa myös ruostumattomasta teräksestä valmistettujen liittimien yhteydessä, jos puu on painekyllästämätöntä.

7. Yhteenveto

Koska tarvittavien maatalousrakennusten mitat ovat suuria, niin tarvittavien massiivipuidenkin mitat tulevat väistämättä isoiksi. Tarvittavien puuosien korkeudet ovat mieluummin lähempänä 300 mm kuin 200 mm ja leveydet mieluummin yli 100 mm kuin alle. Pituusmittojen pitäisi olla 8–14 m. Tämä pituuden alaraja on sellainen, että sitä juuri ja juuri voidaan käsitellä nykyisillä puunkäsittelylaitteilla. Yläraja 14 m puolestaan on sellainen, että suurenkin rakennuksen kattopalkki voi ulottua jatkamattomana harjalta räystäälle. Tällöin voitaisiin kattopalkit mitoittaa jatkuvina palkkeina, jolloin poikkeileikkausdimensiot vastaavasti pienenevät. Tätä kokovaikeutta voidaan helpottaa sijoittamalla tarvittaessa kaksi kannatetta vierekkäin. Tällöin kantavat rakenteet häiritsevät vähemmän sisätilojen varsinaista toimintaa, mutta toisaalta katon sekundaarien koko kasvaa niiden jännevälien kasvaessa.

Suomalaisten kotieläintilojen kasvu on aiheuttanut rakennusten koon kasvua ja rakenteiden muutostarvetta. Suuriin yksiköihin soveltuvien hyvien ja tutkittujen rakenneratkaisujen puute aiheuttaa epävarmuutta rakenneratkaisujen valinnassa. Tutkimuksen tavoitteena oli kehittää maatalusrakennusten uusiin toiminnallisiin pohjaratkaisuihin sopivia massiivipuuhun perustuvia rakenneratkaisuja ja tyyppirakenteita ja laatia niiden mitoittamista helpottavat laskentaohjelmat.

Puosien väliset liitokset ovat myös isoja. Yksi hyvä keino liitoksien tekemiseen ovat valmiiksi rei'itetyt teräslevyt, jotka naulataan puuhun ankkurinauloilla. Tällöin liittimiä saadaan sopimaan liitokseen enemmän kuin kahden puun liitoksessa ja tarvittava naulapituus jää myös pieneksi. Eri liitostekniikoiden kustannustehokkuutta vertailtiin laskemalla massiivipuulle soveltuvien liitosten voimansiirtokapasiteetin yksikköhintoja (€/kN). Näitä tunnuslukuja voidaan käyttää liitostekniikoiden arviointiin.

Tutkimuksessa kehitettiin laskentamenetelmiä ja Excel-pohjaisia taulukkolaskentaohjelmia, joilla voidaan mitoittaa tyypillisiä rakenteita, kun ne tehdään massiivipuusta. Ohjelmien avulla voidaan mitoittaa:

- Laivakehä, jossa on perustuksiin jäykästi kiinnitetyt pääty pilarit ja kaksi välipilaria,
- Kolminivelkehä, jossa kehä muodostuu pystysuorista pääty pilareista, kattolappeista ja kattolappeeseen pääty pilarin alapäästä tulevasta vinopilarista,
- Yhdistetty palkki, jossa on kaksi tai kolme toisiinsa pulteilla tai vinoruuveilla toisiinsa liitettyä päällekkäistä palkkia,
- Vetotankokannate, jossa lappeen mittaiset kattopalkit on yhdistetty räystäältä räystäälle ulottuvalla teräksisellä vetotangolla ja
- Vitaposkikannate, jossa palkin kantavuutta parannetaan pilariin tukeutuvalla vino-sauvalla.

Ohjelmien avulla voidaan mitoittaa kyseiset rakenteet ja tuloksina saadaan myös arviot tarvittavasta puumäärästä ja hinnasta edellyttäen, että otetaan huomioon kulloinenkin hintatilanne ja osataan arvioida työhön tarvittava aika.

Lantaloiden ja varastorakennusten kattamisen soveltuu järeä massiivipuuristikko, jossa paarteet ja pystyosat eli vertikaalit ovat puuta ja vino-osat eli diagonaalit paarteisiin naulattavia lattateräksiä. Ristikko sauvoitetaan siten, että diagonaalit toimivat pelkästään vedettyinä sauvoina ja vertikaalit puristettuina. Näin kaikki puristusvoimat välittyvät puuosien välisen kontaktin kautta ja vedetyt liitokset voidaan tehdä ilman erillisiä liitososia edullisella naulauslevytekniikalla. Tämä puu-teräs sekaristikko ei sovellu kuitenkaan kohteisiin, joissa edellytetään kantavan rakenteen palonkestävyyttä.

Lietelantaloiden kattorakenteita varten kehitettiin mitoitusmenetelmä, jonka mukaan rakenne voidaan mitoittaa elinkaariajattelulla. Käyttöikään perustuvassa mitoitusmenetelmässä käytetään tavanomaista pienempiä varmuuskertoimia, koska lietesäiliön kattorakenteen sortuminen ei aiheuta turvallisuusriskiä – se aiheuttaa vain kattorakenteen uusimiskulut. Käyttöiän aikana tapahtuva puun lahoaminen sekä sinkityksen syöpyminen ja teräksen ruostuminen otetaan mitoituksessa huomioon. Tutkimuksessa arvioitiin lietelantaloiden erityisolosuhteista aiheutuvia riskejä rakenteiden säilymiselle lähes vuoden kestäneiden jatkuvatoimisten lietelantalalan kosteus- ja lämpötilamittaustulosten perusteella.

Lähdeluettelo

Barker, A. J. 1992. Corrosion of nails in CCA- and ACA-treated wood in two environments. *Forest Products Journal*, Vol. 42, No. 9, s. 39–41.

Heinälä, T. & Keski-Mattinen, V. 2005. Massiivipuu maatilarakentamisessa – Rakentajan opas. ProAgria Keski-Suomi ry. Jyväskylä.

Kokko, E., Ojanen, T., Salonvaara, M. Hukka, A. & Viitanen, H. 1999. Puurakenteiden kosteustekninen toiminta. VTT Tiedotteita 1991. Espoo. 160 s. ISBN 951-38-5499-X.
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1999/T1991.pdf>

Kubler, H. 1992. Corrosion of nails in wood construction interfaces. *Forest Products Journal*, Vol. 42, nro 1, s. 47–49.

Kurkela, J., Kivinen, T., Westman, V.-M. & Kevarinmäki, A. 2003. Suurten maatalousrakennusten puurunkoratkaisut. Esivalmistetut rakennejärjestelmät. VTT Tiedotteita 2194. Espoo. 116 s. + liitteet 39 s. ISBN 951-38-6137-6; 951-38-6138-4.
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2003/T2194.pdf>

RIL 201-1999. 2001. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat – Euronormi, osat 1, 2-1, 2-3 ja 2-4. Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL r.y. Helsinki 2001. 101 s.

RIL 205-2003. 2003. Puurakenteiden suunnittelu – Euronormi. Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL r.y. Helsinki 2003. 165 s.

Suomi-Lindberg, L., Viitaniemi, P., Häkkä-Rönholm, E. & Ritschkoff, A.-C. 1999. Metalliliittimien korrosio puurakenteissa – biokorrosio. VTT Julkaisuja 839. Espoo. 50 s. + 9 s. ISBN 951-38-5016-1

Viitanen, H. 1997. Modelling the time factor in the development of brown rot delay in pine and spruce sapwood – the effect of critical humidity and temperature conditions. *Holzforschung*, Vol. 51, No. 2, s. 99–106.

Yli-Koski, R. & Kevarinmäki, A. 2005. Ruostumattomien terästen mitoitusperusteet puurakenteiden liitoksissa. VTT Tiedotteita 2279. Espoo. 102 s. + 29 s. ISBN 951-38-6528-2
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2005/T2279.pdf>

Liite A: Liitostekniikoiden tehokkuusvertailu

Tässä liitteessä on esitetty massiivipuorakentamiseen soveltuvien liitostekniikoiden kustannusvertailuja, joissa on otettu huomioon materiaali- ja työkustannukset vuoden 2004 hintatasolla. Eri liitostekniikoiden välistä kustannustehokkuutta on arvioitu tunnusluvulla, joka on saatu jakamalla liitoksen kokonaiskustannukset liitoksen voimansiirtokapasiteetilla (€/kN).

Liitostekniikoiden tehokkuusvertailu. Mitoitus ENV 1995-1-1 + Suomen NAD mukaan (RIL 205-2003)

Lyhytaikainen aikaluokka. Kosteusluokka 2. Lohkeamismurto ja peräkkäisten liittimien reduktio on otettu huomioon. Ei palonkestävyyskriteerejä.

Tarkasteltu C24 sauvanpään vetoliitosta (esim. alapaarrejatkos), jota rasittava voima on 70 % sauvan vetokapasiteetista.

Vertailussa käytetyt yksikköhinnat (alv 0 %):

sahatavara	200.00	EUR/m ³	
konenaulat	4.00	EUR/kg	kuumasinkitty CN-konenaula tai sähkösinkitty ankkurinaula
teräslevy	1.40	EUR/kg	suorakaideleikattu S235, sinkitty, t = 5 mm
teräslevy	2.00	EUR/kg	toimitettu porattuna ja leikattuna S235, sinkitty, t = 3 - 5 mm
naulauslevy	1.60	EUR/kg	kuumasinkitty S280 reikälevy, t = 1 - 2 mm
havuvaneri	400.00	EUR/m ³	
tappivaama	4.00	EUR/kg	sinkitty S355
Pultit	3.00	EUR/kg	8.8 pultit, mutterit ja aluslevyt, tappivaamaliitoksissa sidepulteina
kansiruuvit	3.00	EUR/kg	sinkitty, lujuusluokka 5.8
WS-T-7	1.38	EUR/kpl	itseporautuva tappivaama, L = 233 mm
työ	17.00	EUR/h	sisältää työnantajan henkilösivukulut, ei yleiskuluja
bulldog 62	0.82	EUR/kpl	kaksipuoleinen hammassaama
bulldog 75	1.07	EUR/kpl	
bulldog 95	1.95	EUR/kpl	
bulldog 117	3.05	EUR/kpl	

Työmenekit:

naulaus	0.1	min/naula	
puuporaus	0.5	min/100 mm reikä	
merkintä	0.1	min/liitin	naulojen tai porattavien reikien paikkojen merkintä
jatkospuut	1	min/kpl	sahaus (samaa käytetty naulauslevyn katkaisulle)
ulkovanerit	1.5	min/kpl	sahaus
tapitus	0.3	min/kpl	
WS-T-tapit	1.5	min/kpl	
vaarointus	3	min/kpl	bulldog vaarojen asennus ja puristus hydraulipuristimella
pulttaus	1	min/kpl	
ruuvaus	0.5	min/kpl	

Yksileikkeinen naulaliitos molemmin puolin:

t ₂ (mm)	t ₁ (mm)	h (mm)	F _d (kN)	naula d	naula L	R _d (N)	n	limitys (m ²)	EUR	EUR/kN	materiaali-kustannus
50	25	150	51	2.8	60	473	108	0.061	7.94	0.16	20 %
63	32	200	85	2.8	75	485	176	0.094	13.44	0.16	24 %
75	38	250	127	3.1	90	574	222	0.141	18.65	0.15	31 %
100	50	300	204	3.1	90	574	355	0.212	30.08	0.15	32 %

Kaksileikkeinen naulaliitos:

t ₂ (mm)	t ₁ (mm)	h (mm)	F _d (kN)	naula d	naula L	R _d (N)	n	limitys (m ²)	EUR	EUR/kN	materiaali-kustannus
50	25	150	51	3.1	100	529	48	0.067	4.49	0.09	33 %
63	32	200	85	3.4	130	668	64	0.104	6.96	0.08	44 %
75	38	300	127	3.8	145	762	83	0.163	10.58	0.08	53 %

Yksileikkeinen havuvanerinaulaliitos molemmin puolin:

t ₂ (mm)	t ₁ (mm)	h (mm)	F _d (kN)	naula d	naula L	R _d (N)	n	limitys (m ²)	EUR	EUR/kN	materiaali-kustannus
50	18	150	51	3	50	500	102	0.052	7.55	0.15	18 %
63	24	200	85	3	60	534	160	0.078	12.11	0.14	22 %
75	27	250	127	3	75	534	238	0.113	18.61	0.15	25 %

Naulauslevyliitos 1-leikkeen molemmin puolin (valmistetaan katkottavasta reikälewystä).

t ₂ (mm)	t ₁ (mm)	h (mm)	F _d (kN)	naula d	naula L	R _d (N)	n	limitys (m ²)	EUR	EUR/kN	materiaali-kustannus
50	1.0	150	51	4	35	755	67	0.046	3.71	0.07	41 %
63	1.3	200	85	4	40	812	105	0.066	6.01	0.07	46 %
75	1.5	250	127	4	60	1070	119	0.075	7.88	0.06	54 %
100	2.0	300	204	4	60	1070	190	0.109	12.93	0.06	56 %

Tappivaarnaliitos, 2-leik. puu-puu. Kustannukset sisältää 15 % sidepultteja (ei yhteistoimintaa).

t ₂ (mm)	t ₁ (mm)	h (mm)	F _d (kN)	d (mm)	L (mm)	R _d (N)	n	limitys (m ²)	EUR	EUR/kN	materiaali-kustannus
50	50	150	51	8	154	1669	16	0.104	11.63	0.23	47 %
50	38	150	51	10	130	2020	14	0.174	11.30	0.22	57 %
50	32	150	51	12	118	2623	11	0.347	11.36	0.22	67 %
50	25	150	51	16	104	3338	9	0.396	12.08	0.24	75 %
63	50	200	85	8	167	1669	26	0.130	19.49	0.23	47 %
63	50	200	85	10	167	2261	20	0.166	18.90	0.22	58 %
63	44	200	85	12	155	2835	16	0.235	18.78	0.22	66 %
63	32	200	85	16	131	4206	12	0.652	19.65	0.23	78 %
75	50	250	127	8	179	1669	38	0.176	30.26	0.24	47 %
75	63	250	127	10	205	2574	25	0.179	28.21	0.22	59 %
75	63	250	127	12	205	3280	20	0.226	29.08	0.23	67 %
75	50	250	127	16	179	4711	15	0.431	30.31	0.24	79 %
75	38	250	127	20	155	5961	13	1.079	35.23	0.28	86 %
100	50	300	204	8	204	1669	61	0.259	53.27	0.26	47 %
100	63	300	204	10	230	2574	40	0.255	48.98	0.24	59 %
100	63	300	204	12	230	3280	31	0.293	48.56	0.24	68 %
100	75	300	204	16	254	5340	20	0.430	53.65	0.26	80 %
100	75	300	204	20	254	7455	15	0.723	62.13	0.31	87 %
100	50	300	204	24	204	9061	13	1.591	64.86	0.32	91 %

WS-T-7 L 233 itseporautuvat tappivaarnat 4-leikkeisesti. Kustannukset sisältää 15 % sidepultteja.

t ₂ (mm)	t ₁ (mm)	h (mm)	F _d (kN)	d (mm)	L (mm)	R _d (N)	n	limitys (m ²)	EUR	EUR/kN	materiaali-kustannus
75	5	250	382	7	233	4100	23	0.081	49.75	0.13	76 %

Hammasvaarnaliitos. Kaksileikkeisessä liitoksessa kaksipuoliset hammasvaarnat (vaarnojen lkm = 2n)

sisäpuu		ulkopuut		bulldog		pultti						
t ₂ (mm)	t ₁ (mm)	h (mm)	F _d (kN)	dc (mm)	d (mm)	R _d (N)	n	limitys (m ²)	EUR	EUR/kN	materiaali-kustannus	
50	25	150	25	62	12	11329	3	0.083	14.66	0.29	51 %	
50	32	150	33	75	16	14770	2	0.092	13.07	0.26	62 %	
63	32	200	43	62	12	12620	4	0.105	19.92	0.23	52 %	
63	32	200	43	75	16	16506	3	0.123	19.47	0.23	62 %	
63	38	200	52	95	20	21553	2	0.147	20.02	0.23	75 %	
75	38	250	64	62	12	12695	5	0.128	25.43	0.20	53 %	
75	38	250	64	75	16	18108	4	0.155	26.49	0.21	63 %	
75	38	250	64	95	20	23461	3	0.198	30.12	0.24	75 %	
75	44	250	75	117	24	29362	3	0.293	44.18	0.35	83 %	
100	50	300	102	62	12	13003	8	0.182	42.13	0.21	54 %	
100	50	300	102	75	16	19538	6	0.210	41.61	0.20	65 %	
100	50	300	102	95	20	27434	4	0.246	42.16	0.21	76 %	
100	50	300	102	117	24	33892	3	0.298	45.97	0.23	83 %	

Pulttiliitos. 2-leikkeinen ulkopuolisin teräslevyin.

t_2 (mm)	t_1 (mm)	h (mm)	F_d (kN)	pultti d	pultti L	R_d (N)	n	limitys (m^2)	EUR	EUR/kN	materiaali-kustannus
50	3	150	51	8	80	3656	7	0.041	5.71	0.11	55 %
50	3	150	51	10	85	4471	6	0.059	6.89	0.14	68 %
50	3	150	51	12	90	5245	6	0.125	10.60	0.21	81 %
50	3	150	51	16	100	6676	5	0.133	12.98	0.26	87 %
63	3	200	85	8	95	4192	10	0.056	8.36	0.10	55 %
63	3	200	85	10	100	5633	8	0.062	8.43	0.10	65 %
63	3	200	85	12	100	6609	7	0.077	9.85	0.12	74 %
63	3	200	85	16	110	8412	6	0.235	19.90	0.23	89 %
75	4	250	127	8	110	4192	15	0.079	13.99	0.11	58 %
75	4	250	127	10	110	6478	10	0.076	12.06	0.09	68 %
75	4	250	127	12	120	7868	8	0.089	13.64	0.11	76 %
75	4	250	127	16	130	10014	7	0.151	20.83	0.16	87 %
75	4	250	127	20	140	11922	6	0.390	40.77	0.32	94 %
100	5	300	204	8	140	4192	24	0.117	25.37	0.12	59 %
100	5	300	204	10	150	6478	16	0.114	22.33	0.11	70 %
100	5	300	204	12	150	9224	11	0.114	20.85	0.10	78 %
100	5	300	204	16	160	13352	8	0.150	25.82	0.13	87 %
100	5	300	204	20	170	15895	7	0.252	39.78	0.20	93 %
100	5	300	204	24	170	18121	6	0.574	72.52	0.36	96 %

Kansiruuviliitos ulkopuolisin teräslevyin. 1-leikkeinen molemmin puolin.

t_2 (mm)	t_1 (mm)	h (mm)	F_d (kN)	ruuvi d	ruuvi L	R_d (N)	n	limitys (m^2)	EUR	EUR/kN	materiaali-kustannus
50	3	150	51	6	50	1979	26	0.058	9.04	0.18	40 %
50	3	150	51	8	50	2496	20	0.080	9.30	0.18	53 %
50	3	150	51	10	50	3059	17	0.101	9.83	0.19	64 %
50	3	150	51	12	50	3599	14	0.127	10.88	0.21	72 %
63	3	200	85	6	50	1979	43	0.094	15.06	0.18	39 %
63	3	200	85	8	60	2696	32	0.120	15.10	0.18	52 %
63	3	200	85	10	60	3710	23	0.133	14.03	0.16	63 %
63	3	200	85	12	60	4364	20	0.164	15.30	0.18	71 %
75	4	250	127	6	70	2559	50	0.107	21.01	0.17	43 %
75	4	250	127	8	60	2696	47	0.176	25.10	0.20	57 %
75	4	250	127	10	70	4171	30	0.171	22.04	0.17	67 %
75	4	250	127	12	70	5053	25	0.203	23.50	0.18	74 %
100	5	300	204	6	70	2819	72	0.154	32.82	0.16	47 %
100	5	300	204	8	90	3615	56	0.207	37.42	0.18	60 %
100	5	300	204	10	70	4171	49	0.275	39.65	0.19	70 %
100	5	300	204	12	90	5947	34	0.272	38.83	0.19	76 %

t_2 vetosauvan paksuus (sisäpuu)

t_1 ulkopuolisen puun tai liitoslevyn paksuus

h vetosauvan korkeus

F_d sauvan vetorasituksen mitoitusarvo

d liittimen nimellispaksuus

L liittimen nimellispituus

R_d leikkausvoimakapasiteetin laskenta-arvo yhtä liittintä ja leikettä kohden

n liimien lukumäärä

limitys liitoslevyjien tai liitospuiden pinta-ala sauvanpäätä kohden (sis. molemmat puolet)

EUR liitostustannus, sisältää liittimet, liitoslevyt/puut ja työkustannukset ilman kalusto- ja yleiskuluja

EUR/kN voimansiirron kustannustehokkuus = liitostustannus / liitoskapasiteetin laskenta-arvo

Liite B: Massiivipuuristikoiden menekki- ja kustannusvertailu

Tasakorkea harjan kannatusristikko, jv. 20 m.			
Massiivipuuristikot (+ sahatavara kattopalkit ja ruoteet), peltikate 1:5.			
Lumikuorma katolla $q_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$. Kuormitusleveys noin 5 m.			
1. WS-Tappivaarnaristikko b = 235 mm. Sauvoitus kuvan B.1 mukainen:			
- Sahatavara 3 x 75 x 100..250			
- Liitoslevyt 5 mm kuumasinkityt suorakaideteräslevyt S235, 2 kpl/liitos			
- Itseporautuvat tappivaarnat SFS-WS-T-7x233 nelileikkeisesti			
- Sideruuvit WT-T-8,2x220, sauvan keskiliinjalle aina teräslevyn viereen			
2. Naulauslevyristikot 3x75 mm (kolme erillistä ristikkoa rinnakkain):			
- Sahatavara 75 x 100..250. Sama sauvoitus kuin WS-ristikossa (ks. kuva B.1).			
- Naulauslevyt 2,0 mm molemmin puolin naulattuna 4x60 mm ankkurinauloilla			
a) kuumasinkitty naulauslevy S280 Z275 ja sähkösinkityt kampanaulat			
b) haponkestävät AISI 316 naulauslevyt ja ankkurinaulat (käyttöluokka 3)			
3. Sekaristikot 2 x 100 mm (kaksi erillistä rinnakkain):			
Kuvan 5.9.1 mukainen sekaristikko:			
sauva	dimensio	materiaali	luokka
YP1	100x200	sahatavara	C24
YP2	100x225	sahatavara	C24
AP	100x200	sahatavara	C24
V1	100x225	sahatavara	C24
V2	100x200	sahatavara	C24
V3	100x125	sahatavara	C24
V4	100x75	sahatavara	C24
V5	100x75	sahatavara	C24
D1	2 □ 4x70	teräslatta	S275 + Z350
D2	2 □ 4x50	teräslatta	S275 + Z350
D3	2 □ 4x35	teräslatta	S275 + Z350
D4	2 □ 2x25	reikävanne	S280+Z350
Teräslatoissa 5 mm reiät, joista kiinnitetään ankkurinauloilla 4x60.			
Paarejatkokset ulkopuolisin 4 mm teräslevyin + ankkurinaulat 4x60			
Vertikaalit kiinnitetään kulmalevyin 2 kpl/liitos x $\{L(80+60)x60x2 + 4n4x40 + 4x4x60\}$			
Alapaarteen 1.solmuväli 2x32x150 laudoilla, kiinnitys 3,1x90 nautoilla (nollasauva)			

Yksikköhinnat (alv 0%):				
- Sahatavara C24:		200	€/m ³	
- Lattateräs S275+Z350, t = 4 mm		1,30	€/kg	
- Teräslevy, suorakaideleikattu S235+Z350, t = 5mm		1,40	€/kg	
- Tappivaarna WS-T-7x233:		1,38	€/kpl	
- Sideruuvi WT-T-8,2x220:		1,27	€/kpl	
- naulauslevy S280+Z275, t = 2,0 mm, arkkeina 1,25x3 m		1,50	€/kg	
- naulauslevy AISI 316, t = 2,0 mm, arkkeina 1,25 x 3,0 m		4,00	€/kg	
- reikävanne 2 x 25, S280 kuumasinkitty		2,50	€/kg	
- ankkurinaulat 4x60, kuumasinkitty		4,00	€/kg	
- haponkestävät ankkurinaulat 4x60		13,00	€/kg	
- kulmalevyt, kuumasinkitty		3,00	€/kg	
- työ		17,00	€/h	
Työmenekit:				
- sauvojen mittaus ja pätkintä		3	min/kpl	
- sauvojen paikoilleen nosto sekaristikoissa (pystyssä)		5	min/puusauva	
- sauvojen sijoitus WS- ja naulausristikoissa (vaakassa)		2	min/kpl	
- liitoslevyjien ja teräslattojen paikoilleen sijoitus		0,5	min/kpl	
- WS-tappien paikkojen merkintä		0,1	min/liitin	
- sideruuvien asennus		1	min/ruuvi	
- WS-tappien asennus		1,5	min/kpl	
- naulaus- ja WS-ristikoiden kääntäminen (WS 1,5 kert.)		60	min/naulauslevyristikko	
- naulauslevyjien leikkaus reikälevyarkista		1	min/kpl	
- naulaus		0,1	min/naula	
- sekaristikoiden valmist.aik. tuenta (pystyssä)		90	min/ristikko	
- naulareikien mittaus ja poraus lattiin		0,33	min/kpl	

1. WS-Tappivaarnaristikko

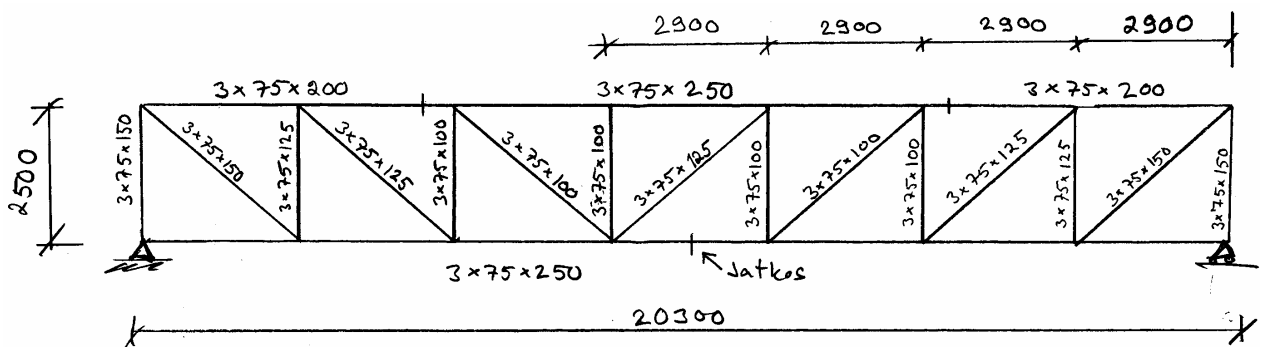
Materiaalimenekit (puutavaramenekkiin sisältyy 10 %:n hukka):

	puu (m ³)	teräslevy (kg)	tapit (kpl)	ruuvit (kpl)
/ ristikko	3,53	160	414	64
menekki/m ²	0,0353	1,60	4,14	0,64

Materiaalikustannukset (alv 0 %):

ristikko	puu (€)	teräslevy (€)	tapit (€)	ruuvit (€)	yht. (€)
/ ristikko	706	224	571	81	1583
/m ²	7,06	2,24	5,71	0,81	15,83

/m² = materiaalikustannukset kannatettavan katon pinta-alayksikköä kohden (A = 100 m²)



Kuva B.1. WS- ja naulauslevyristikoiden sauvotus.

2. Naulauslevyristikot (3 x 75 mm)					
Ristikoiden menekit (puutavaramenekkiin sisältyy 10 %:n hukka):					
	puu (m ³)	naulauslevy (kg)	naulat (kpl)	naulat (kg)	
/ ristikko	1,18	45,8	1550	9,765	
/ nippu	3,53	137	4650	29,3	
menekki/m ²	0,0353	1,37	47	0,29	
2 a) Sinkityt liitokset. Materiaalikustannukset (alv 0 %):					
ristikko	puu (€)	naulauslevy (€)	naulat (€)	yht. (€)	
/ ristikko	235	69	39	343	
/ nippu	706	206	117	1029	
/m ²	7,06	2,06	1,17	10,29	
2 b) RST-liitokset. Materiaalikustannukset (alv 0 %):					
ristikko	puu (€)	naulauslevy (€)	naulat (€)	yht. (€)	
/ ristikko	235	183	127	545	
/ nippu	706	549	381	1636	
/m ²	7,06	5,49	3,81	16,36	
3. Sekaristikot (2 x 100 mm)					
Materiaalimenekit (puutavaramenekkiin sisältyy 10 %:n hukka):					
ristikot	puu (m ³)	terässauvat (kg)	kulmat (kpl)	naulat (kpl)	naulat (kg)
/ ristikko	1,20	90	32	1388	8,74
/ nippu	2,40	180	64	2776	17,5
menekki/m ²	0,0240	1,80	0,64	28	0,28
Sekaristikot. Materiaalikustannukset (alv 0 %):					
ristikot	puu (€)	terässauvat (€)	kulmat (€)	naulat (€)	yht. (€)
/ ristikko	240	90	13	35	412
/ nippu	480	247	25	70	823
/m ²	4,80	2,47	0,25	0,70	8,23
Ristikoiden hintavertailu					
	materiaali €	työ €	yht. €	€/m ²	
1. WS-tapp	1583	322	1904	19,04	
2.a) naulaus	1029	316	1345	13,45	
2 b) rst	1636	316	1952	19,52	
3. sekarist.	823	421	1244	12,44	
Huom. 1 :	Työmenekit eivät sisällä ristikkosarjan kiinteitä työmenekkejä (kuten suunnittelu, hankinnat ja valmistusalueen teko) eikä ristikoiden käsittelyä valmistuspöydältä eteenpäin				
Huom. 2:	1. ja 2 b) ratkaisut sopivat myös käyttöluokkaan 3 - ei kuitenkaan olosuhteisiin, joissa puu lahoaa (huonelämpötilassa RH 90 % kosteuspitoisuus saa ylittyä vuotuisesti korkeintaan muutaman viikon ajan). Käyttöluokassa 3 ristikoiden kantokyky on heikompi: esimerkkiristikoiden lumikuorma saisi olla enintään $q_k = 1,5 \text{ kN/m}^2$.				
Huom. 3:	Käyttöluokan 3 sekaristikossa kaikki diagonaalit on tehtävä 4 mm paksusta kuumasinkitystä lattateräksestä ja 2 mm paksujen kulmalevyjen on oltava ruostumatonta teräksestä valmistettuja ja niiden yhteydessä on käytettävä rst-nauloja. Tällöin sekaristikko -vaihtoehdon vertailuhinta olisi 1352 € eli 13,52 €/m² .				

VTT WORKING PAPERS

VTT RAKENNUS- JA YHDYSKUNTATEKNIikka – VTT BYGG OCH TRANSPORT – VTT BUILDING AND TRANSPORT

- 4 Hietaniemi, Jukka, Hostikka, Simo & Vaari, Jukka. FDS simulation of fire spread – comparison of model results with experimental data. 2004. 46 p. + app. 6 p.
- 6 Viitanen, Hannu. Betonin ja siihen liittyvien materiaalien homehtumisen kriittiset olosuhteet – betonin homeenkesto. 2004. 25 s.
- 7 Gerlander, Riitta & Koivu, Tapio. Asiantuntijapalvelu yritysten innovaatiojohtamisen kehittämiseksi Piilaakson osaamiseen tukeutuen. IMIT SV -hankkeen loppuraportti. 2004. 25 s. + liitt. 11 s.
- 11 Lakka, Antti. Rakennustyömaan tuottavuus. 2004. 26 s. + liitt. 15 s.
- 14 Koivu, Tapio, Tukiainen, Sampo, Nummelin, Johanna, Atkin, Brian & Tainio, Risto. Institutional complexity affecting the outcomes of global projects. 2004. 59 p. + app. 2 p.
- 15 Rönty, Vesa, Keski-Rahkonen, Olavi & Hassinen, Jukka-Pekka. Reliability of sprinkler systems. Exploration and analysis of data from nuclear and non-nuclear installations. 2004. 89 p. + app. 9 p.
- 18 Nyysönen, Teemu, Rajakko, Jaana & Keski-Rahkonen, Olavi. On the reliability of fire detection and alarm systems. Exploration and analysis of data from nuclear and non-nuclear installations. 2005. 62 p. + app. 6 p.
- 19 Tillander, Kati, Korhonen, Timo & Keski-Rahkonen, Olavi. Pelastustoimen määräiset seurantamittarit. 2005. 122 s. + liitt. 5 s.
- 20 Simo Hostikka & Johan Mangs. MASIFIRE – Map Based Simulation of Fires in Forest-Urban Interface. Reference and user's guide for version 1.0. 2005. 52 p. + app. 2 p.
- 21 Korttesmaa, Markku & Kevarinmäki, Ari. Massiivipuu maatilarakentamisessa. Suunnitteluohje. 2005. 76 s. + liitt. 6 s.
- 22 Ojanen, Tuomo & Ahonen, Jarkko. Moisture performance properties of exterior sheathing products made of spruce plywood or OSB. 2005. 52 p. + app. 12 p.