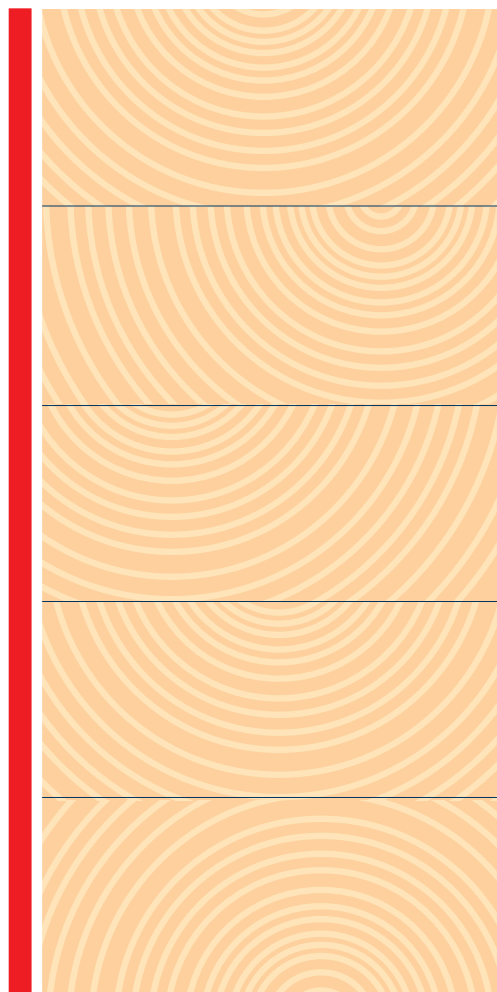


LIIMAPUU

KÄSIKIRJA



KIRJAILIJA

Olle Carling, Olle Carling Ingenjörbyrå AB

KÄÄNNÖS JA SUOMALAISEN KÄSIKIRJAN MUOKKAUS

Heimo Pystynen, Insinööritoimisto Puolanne Oy

TOIMITTAJA

Holger Gross, Gross Produktion AB

GRAAFINEN SUUNNITTELU

Cinna Gross, Gross Produktion AB

PIIRROKSET

Gross Produktion AB

Qvist design AB (rakennejärjestelmä -kappale)

PAINO

Print & Media Center i Sundsvall AB

© 2002 Svenskt Limträ AB

Box 5886, S-102 40 STOCKHOLM

Puh: +46-8-663 28 60

www.svenktlimtra.se

Wood Focus Oy/Suomen Liimapuuyhdistys ry

PL 284, FI-00171 HELSINKI

Puh: 09-6865 450

www.puuinfo.fi

ISBN 91-631-1455-0

Alkusanat

Tämä käsikirja on valmistunut yhteispohjoismaisen Nordic Wood -projektin tuloksena. Nordic Wood on vuosina 1993-2000 toteutettu puuteollisuuden tutkimus- ja kehityshankekokonaisuus, jonka tavoitteena oli puutuoteteollisuuden kilpailukyvyn parantaminen. Ohjelman käynnisti Nordisk Industriefond. Ohjelman hankkeita rahoittivat puutuoteteollisuus, Nordisk Industriefond sekä seuraavat kansalliset tutkimus- ja kehitysganisaatiot: Skog- och Naturstyrelsen Tanskasta, Tekes Suomesta, Forskningsråd Islannista, Forskningsråd Norjasta ja Nutek Ruotsista. Tähän käsikirjahankkeeseen puolet rahoituksesta saatiin Nordisk Industriefondilta sekä kansallisilta teknologian kehittämisorganisaatioilta ja puolet Suomen, Norjan ja Ruotsin liimapuuteollisuudelta.

Liimapuukäsikirjahankkeeseen (P 99024) osallistuivat seuraavat yritykset:

Suomesta: Suomen Liimapuuyhdistys ry, Vierumäen Teollisuus Oy, Late-Rakenteet Oy, Kuningaspalkki Oy, PRT-Wood Oy, Kestopalkki Oy ja Jetlink Oy; *Norjasta:* Moelven Limträ AS ja *Ruotsista:* Svenskt Limträ AB, Långshytte Limträ AB, Martinsons Trä AB ja Moelven Töreboda Limträ AB.

Tavoitteena oli tehdä liimapuukäsikirja, jota on helppo päivittää, jakaa ja käyttää. Kirja on saatavilla sekä painettuna että sähköisenä versiona neljällä eri kielellä, suomeksi, englanniksi, norjaksi ja ruotsiksi. Kukin kieliversio on mukautettu maan omiin puurakentamismääräyksiin ja osittain myös Eurocode-normin kansallisiin sovelluksiin. Kirjan mitoitusperiaatteet ja ohjeet on tarkoitettu Suomen Rakentamismääräyskokoelman (RakMK) osan B10 mukaiseen mitoitukseen, ellei muuta ole mainittu. Rakenteellisesti yhdessä toimivat rakenteet on mitoitettava pelkästään joko RakMK tai Eurocode-menettelyn mukaan. B10:n mitoituksen yhteydessä kuormitukset lasketaan RakMK osan B1 mukaan ja Eurocode 5 (EC 5) mitoituksen yhteydessä Eurocode 1:n mukaan. Näitä kahta vaihtoehtoa menetelmää ei saa käyttää ristiin. Eurocode-mitoituksen yhteydessä on lisäksi noudatettava kansallisia sovellusohjeita.

Projektin johtoryhmässä olivat:

Lennart Axelsson, Svenskt Limträ AB ja Moelven Töreboda Limträ AB; Petri Heino, Suomen Liimapuuyhdistys/Wood Focus Oy Puuinfo; ja Åge Holmestad, Moelven Limtre AS.

Projektin työryhmässä olivat:

Olle Carling, Olle Carling Ingenjörskontor AB; Holger Gross, Gross Produktion AB och Svensk Limträ AB; Veijo Lehtonen, LATE-Rakenteet Oy, Åge Holmestad, Moelven Limtre AS; Rune Karlsson, Långshytte Limträ AB; ja Tomas Sundström, Consultec Byggtjänst AB.

Käsikirja sisältää tietoja liimapuun laatuvaatimuksista sekä liimapuurakenteiden suunnitteluun ja käyttöön liittyviä esimerkkejä. Ruotsinkielisen käsikirjoituksen on laatinut Olle Carling. Käsikirjoitusta on kommentoinut työryhmä, jossa olivat Mika Leivo Suomesta, Sverre Wiborg Norjasta ja Dan Engström Ruotsista. Englannin kielelle kirjan on kääntänyt James Gordington, Transark. Suomen olosuhteisiin kirjan mukautti Heimo Pystynen Insinööritoimisto Puolanteesta sekä Jani Pitkänen. Norjassa vastaavan työn tekivät Åge Holmestad ja Harald Bjerke. Kirjan teknisen oikeellisuuden tarkistivat myös Juha Kurkela ja Ari Kevarinmäki VTT:ltä.

Kirjan sähköisen version teknisen järjestelmän teki Consultec Byggtjänst AB. Järjestelmä on tietokantapohjainen, joten eri kieliversioiden hallinta on helppoa.

Internet- ja sähköinen versio päivitetään muutaman vuoden sisällä.

Tukholmassa tammikuussa 2003

Holger Gross

PROJEKTIKOORDINAATTORI

Sisällysluettelo

1. Liimapuu rakennusmateriaalina 7

- 1.1 Johdanto 9
- 1.2 Liimapuun kiertokulku 9
- 1.3 Liimapuun valmistus 11
- 1.4 Liimapuuelementti. Mitat ja muodot 16
- 1.5 Ulkonäkö ja pintakäsittely 18
- 1.6 Kuljetus ja asennus 21
- 1.7 Tilauksen ja toimituksen perusteet 22

2. Rakennejärjestelmä 25

- 2.1 Palkki-pilarisysteemi 27
- 2.2 Jatkuvat palkit 28
- 2.3 Massiivivälipohjat 29
- 2.4 Ristikot 29
- 2.5 Kolminivelkattotuolit 30
- 2.6 Kaaret 31
- 2.7 Kehät 32
- 2.8 Ulokkeet 33
- 2.9 Arinat 34
- 2.10 Kuorirakenteet 35
- 2.11 Yhdistelmärakenteet 36
- 2.12 Liitoselimet ja liitosdetaljit 37
- 2.13 Yleiskatsaus, taulukko 38

3. Mitoitusmenetelmiä 41

- 3.1 Yleistä 43
- 3.2 Osavarmuuskerroinmenetelmä 43
- 3.3 Esikorotussuosituksia ja taipuman rajoituksia 47

4. Liimapuun mitoituksen erityispiirteet 51

- 4.1 Tilavuuden vaikutus 53
- 4.2 Kiepahdus 54
- 4.3 Kosketuspaine 57
- 4.4 Palkinpään lovet (lovetut palkinpäät) 59
- 4.5 Reiät 61
- 4.6 Liimapuun vinoon leikatut lamellit 64
- 4.7 Liimapuun kaarevat lamellit 64
- 4.8 Poikkitaivutuslujuus 65
- 4.9 Kosteusliikkeet 66

5. Pilarit ja vinotuet 69

- 5.1 Keskeinen puristus 71
- 5.2 Poikkitaivutusvoimittettu pilari 72
- 5.3 Kootut pilarit 73
- 5.4 Pilarijärjestelmät 74

6. Palkit 77

- 6.1 Poikkileikkaukseltaan tasakorkeat suorat palkit 79
- 6.2 Poikkileikkaukseltaan lineaarisesti vaihtuvakorkuiset suorat palkit 82
- 6.3 Kaarevat palkit (bumerangipalkit) 85
- 6.4 Mitoitustaulukoita 87

7. Ristikot 91

- 7.1 Geometria 93
- 7.2 Sauvavoimien laskenta 94
- 7.3 Sauvojen mitoitus 94
- 7.4 Solmukohdat 95
- 7.5 Taipuminen ja esikorotus 95

8. Kolminivelkattotuolit 97

- 8.1 Kolminivelkattotuoli, jossa on yksinkertaiset kattopalkit 99
- 8.2 Jäykistetyt kolminivelkattotuolit 102
- 8.3 Mitoitustaulukko 102

9. Kehät 105

- 9.1 Kolminivelkehän mitoitus 107
- 9.2 Kehän nurkkien muotoilu 109

10. Kaaret 115

- 10.1 Mitoitus 117
- 10.2 Mitoitusdiagrammi 119

11. Katon sekundääripalkit 123

- 11.1 Limitetyt orret 125
- 11.2 Gerber-kannattimet 125

12. Liimapuurungon jäykistys 129

- 12.1 Levyvaikutus 131
- 12.2 Tuuliristikot 131
- 12.3 Kattopalkkien sivutuenta 132
- 12.4 Jatkuva sortuminen 133

13. Liitosdetaljit 135

- 13.1 Niveellinen pilarijalka 137
- 13.2 Jäykästi kiinnitetty pilarijalka 148
- 13.3 Pilarin ja palkin nivelliitos 156
- 13.4 Niveellinen harjaliitos 163
- 13.5 Niveellinen palkkiliitos 167
- 13.6 Sekundääripalkin liitos 171
- 13.7 Vetotankoliitos 175
- 13.8 Kaksi- tai kolminivelkaaren tuki 178

14. Palotekninen mitoitus 183

- 14.1 Liimapuu ja tulipalo 185
- 14.2 Palovakuutus 185
- 14.3 Normien palotekniset vaatimukset 185
- 14.4 Kantavien puurakenteiden palotekninen mitoitus 187
- 14.5 Kiinnitysdetaljien ja liitosten palonkestävyys 190

15. Voimajohtopylväät 199

- 15.1 Rakennetyypit 201
- 15.2 Mitoitus 201
- 15.3 Perustaminen 202
- 15.4 Puunsuojaus 202

16. Liimapuusillat 205

- 16.1 Yleistä 207
- 16.2 Siltatyytit 207
- 16.3 Liimapuusiltojen suunnittelu 211

LIITTEET

Liite 1 Suorakaidepoikkileikkauksen poikkileikkaussuureet 214

Liite 2 Liimapuun L40 momentti- ja leikkausvoimakapasiteetit 216

Liite 3 Ympäristötietoa 218

HAKEMISTO 221

1. Liimapuu rakennusmateriaalina

1.1 Johdanto 9

1.2 Liimapuun kiertokulku 9

1.3 Liimapuun valmistus 11

1.3.1 Valmistusprosessi 13

1.3.2 L-puu, tuotekontrolloitu liimapuu 13

1.3.3 Liimattu rakennesahatavara 13

1.3.4 Lujuus ja jäykkyys 13

1.3.5 Lujuusluokat 14

1.3.6 Liimatyytit 15

1.3.7 Laadunvalvonta ja merkintä 15

1.4 Liimapuuelementti. Mitat ja muodot 16

1.4.1 Tuotantokoot-varastokoot 16

1.4.2 Suurimmat poikkileikkaukset 16

1.4.3 Suurin pituus 16

1.4.4 Asennus ja käsittely 17

1.4.5 Esikorotus 17

1.4.6 Toleranssit 17

1.5 Ulkonäkö ja pintakäsittely 18

1.5.1 Puutavara 18

1.5.2 Liimasaumat 18

1.5.3 Pinnat 18

1.5.4 Pintakäsittely 19

1.5.5 Puunsuojaus 20

1.5.6 Kuljetus-, varastointi- ja asennussuojaus 21

1.6 Kuljetus ja asennus 21

1.6.1 Kuljetus 21

1.6.2 Asennus 22

1.7 Tilauksen ja toimituksen perusteet 22

Keskusrautatieasema, Tukholma, Ruotsi. Odotushalli rakennettu 1925.
Eräs ensimmäisistä Törebodan liimapuutehtaan suurista toimituksista.
Arkkitehti: Folke Zettervall, SJ:n arkkitehtitoimisto, Tukholma

1. Liimapuu rakennusmateriaalina

Liimapuulla on monia muilta rakennusmateriaaleilta puuttuvia hyviä ominaisuuksia. Lisäksi liimapuu optimoi puumateriaalin hyvät ominaisuudet. Rakennusteknisille mahdollisuuksille se ei aseta rajoja. Se on uusiutuva rakennusmateriaali. Materiaalin käytön tehokkuus on erittäin korkea. Lamellit sormijatketaan antaen rajattoman pituuden ja liimataan toisiinsa halutun poikkileikkausdimension aikaansaamiseksi. Tällä tavoin on mahdollista valmistaa erittäin suuria rakennusosia. Liimapuun avulla voi rakennuttaja, suunnittelija tai rakentaja hyödyntää suurien puuelementtien vahvuutta ja monipuolisuutta.

Liimapuulla on paremmat lujuus- ja jäykkyysominaisuudet kuin samankokoisella sahatavarakappaleella. Suhteessa omaan painoonsa liimapuu on terästä vahvempaa. Tämä tarkoittaa sitä, että liimapuulla on mahdollista päästä pitkiin jänneväleihin ilman välitukia. Se tarkoittaa myös sitä, että arkkitehteillä ja rakennesuunnittelijoilla on käytännössä rajoittamattomat mahdollisuudet rakenteiden suunnitteluun liimapuusta, oli sitten kyseessä pientalon rakenne, tavaratalon katto tai maantiesilta.

Jos lähtökohdaksi asetetaan hyvin hoidetun raaka-aineresurssin optimoitu hyödyntäminen on liimapuu yksi parhaimmista tuotteista. Se on rakennusmateriaali, jota valmistetaan tyydyttämään erittäin korkeita rakenteellisen vaatimustason tarpeita. Liimapuu ei ole kuitenkaan uusi tuote. Ensimmäinen liimapuupatentti myönnettiin Saksassa noin vuonna 1900. Toinen saksalainen patentti vuodelta 1906 (Hetzer Binder) oli varsinainen modernin liimapuuvalmistuksen käynnistysajankohta. Ruotsin ensimmäisiä liimapuukonstruktioita ovat rautatieasemien odotushallit Tukholmassa, Göteborgissa ja Malmössä. Ne rakennettiin 1920 –luvulla. Suomen ensimmäiset liimapuurakenteet olivat sotakorvaustoimituksiin kuuluvien puulaivojen runkorakenteita.

Rakenteellista liimapuuta valmistavat ovat yleisen laadunvalvonnan piirissä. Suomessa on tällä hetkellä 9 kpl L-leimausoikeuden omaavaa liimapuutehdasta. Suomalainen liimapuu valmistetaan EN 386 -standardin mukaisesti, jossa mitat, toleranssit ja toiminnalliset ja tuotannolliset vaatimukset on asetettu. Suomen Liimapuuyhdistyksessä on kaiken kaikkiaan 12 jäsentä.

1.1 Johdanto

Liimapuutekniikan kehitys aloitettiin Saksassa 1800-luvun lopulla, ja Skandinaviaan tekniikka tuli Norjan kautta 1900-luvun alussa. Suomessa ensimmäinen liimapuurakenne valmistettiin Turussa Oy Laivateollisuus Ab:ssä 1940-luvulla. 1950-luvun puolivälistä lähtien liimapuuta on käytetty rakenteissa kantavina runkorakenteina.

Liimapuutuotanto oli melko vaatimatonta 1960-luvun alkuun asti. Sen jälkeen se on jatkuvasti lisääntynyt, ja nykyisin Pohjoismaissa tuotetaan liimapuuta vuodessa yli 200 000 m³, josta noin puolet menee vientiin. Suomessa liimapuuta käytettiin 1990-luvulla 20 000–30 000 m³ vuodessa.

Suurin osa Pohjoismaissa myytävästä liimapuusta käytetään talonrakentamiseen, varsinkin teollisuus- ja varastorakennuksiin, kouluihin, päiväkoteihin, liike- ja urheilurakennuksiin sekä asuntoihin. Näihin käytetään yhteensä noin 75 prosenttia liimapuusta. Liimapuu on kuitenkin hyvin käyttökelpoinen materiaali, jota on sovellettu mitä erilaisimpiin tarkoituksiin: muotti- ja telinerakenteista leikkipaikkarakenteisiin, venemastoista siltarakenteisiin, parkkitaloihin, hypyrimäkiin ja voimajohtopylväisiin.

Moderni liimaustekniikka yhdistettynä puumateriaalin hyviin lujuusominaisuuksiin tekee liimapuusta korkealuokkaisen rakennusmateriaalin, jolla on ainutlaatuisia ominaisuuksia:

- miellyttävä ulkonäkö antaa arvokkaan lisän sisä- ja ulkotiloissa
- korkea lujuus suhteessa omaan painoon mahdollistaa suuret jännevälit
- pienet valmistustoleranssit ja hyvä mittatarkkuus normaaleissa lämpö- ja kosteusvaihteiluissa
- hyvä palonkestävyys, mitä usein vaaditaan julkisissa rakennuksissa
- hyvät lämmöneristysominaisuudet, mikä vähentää kylmäsiltoja ja kondenssivaaraa
- pieni omapaino, mikä merkitsee pieniä kul-

jetus- ja asennuskustannuksia ja alentaa perustamiskustannuksia

- hyvä säilyvyys kemiallisesti aggressiivisessa ympäristössä
- joustava tuotanto, minkä ansiosta kaarevat rakenteet voidaan valmistaa muita materiaaleja halvemmalla

Liimapuurakenteiden esivalmistekokonaisuuksien asentaminen on nopeaa ja yksinkertaista. Vuodenajasta tai säästä riippumatta osat liitetään naula- tai ruuviliitoksilla, ja mahdolliset sovitukset voidaan tehdä yksinkertaisin työkaluin. Puurakentaminen on kuiva rakennustapa, ja liimapuurunko voi kantaa täyden kuorman heti asennuksen jälkeen.

Puu on luotettava materiaali, jolla on oikein käytettynä erittäin hyvä säilyvyys. Pohjoismaissa on puurakennuksia, jotka ovat yli tuhat vuotta vanhoja!

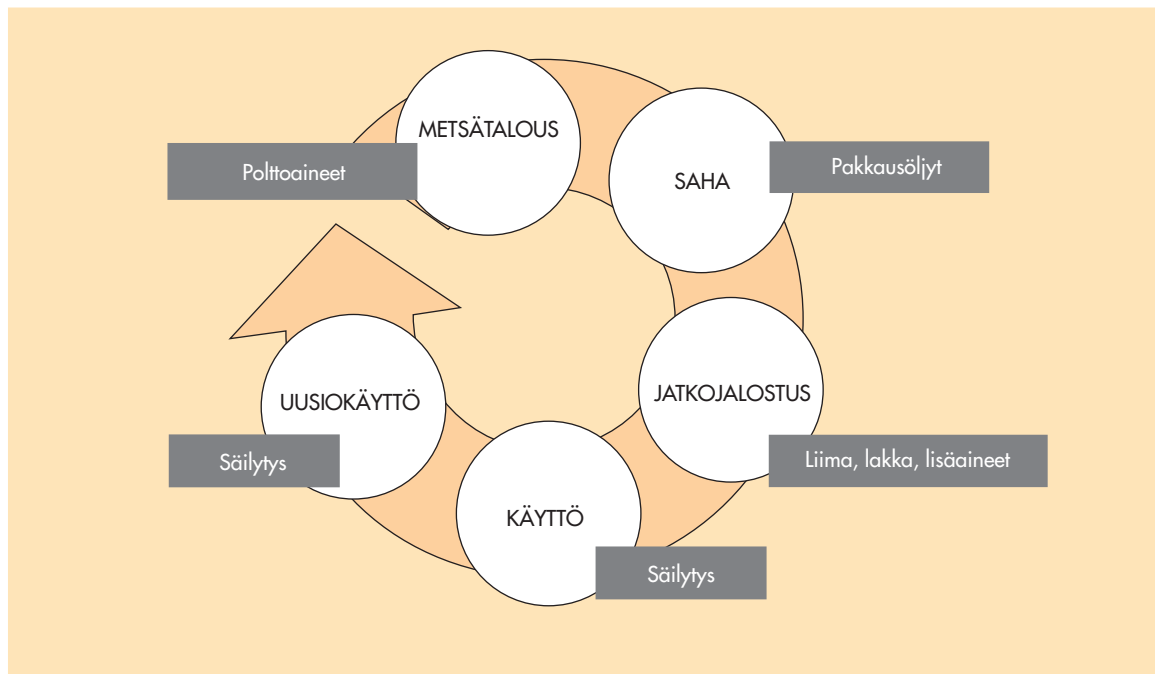
Liimapuun valmistus vaatii vähän energiaa. Raaka-aine on uusiutuvaa. Sitä saadaan luonnosta, ja se voidaan käytön jälkeen palauttaa luonnon kiertokulkuun ilman haitallisia ympäristövaikutuksia.

1.2 Liimapuun kiertokulku

Luonnosta saatuja hyödykkeitä voidaan ekologisten periaatteiden mukaisesti uusiokäyttää ja kierrättää, jolloin luonnonvaroja kulutetaan mahdollisimman vähän ja vaikutukset ympäristöön ovat pienet.

Liimapuu valmistetaan puulamelleista, jotka liimataan toisiinsa jatkuvan valvonnan alaisena. Liimapuu ei kuormita ympäristöä elinkaarensa aikana, ja se voidaan helposti käyttää uudelleen tai hyödyntää energiantuotannossa.

Liimapuun valmistus on energiaa säästävää prosessi. Raaka-aineena käytetään kotimaista havupuuta useimmiten kuusta ja synteettistä liimaa. Liimaa ei valmisteta uusiutuvista raaka-aineista, joten valmistus kuluttaa luonnonvaro-



Kuva 1.1
Puutuotteiden kiertokulku

ja jonkin verran. Liimamäärä liimapuutilavuusyksikköä kohti on kuitenkin niin pieni (vähemmän kuin yksi painoprosentti), joten sillä ei ole vaikutusta valmiin tuotteen ympäristöominaisuuksiin. Valmistusprosessin aikana syntyy tiettyjä ympäristölle haitallisia aineita: liimauskaluston pesuvettä, kovettunutta ylijäämäliimaa ja pieniä määriä kovetuksessa haihtuvia aineita.

Toimitettavien liimapuutuotteiden kosteus on 10-14 prosenttia. Kuivausprosessissa käytetään polttoaineena pääasiassa puulastua ja muita sivutuotteita. Näin sähkön käyttö vähenee.

Rakennuspaikalla ei synny haitallista rakennusjätettä, koska liimapuut yleensä räätälöidään kohteeseen sopivaksi. Pakkaussuojamateriaali voidaan kierrättää.

Liimapuulla ei ole käytön aikana haitallisia ympäristövaikutuksia, ja sitä voidaan huoltaa perinteisin menetelmin. Korjattavuus on hyvä, sillä liimapuuelementin osia voidaan tarvittaessa vaihtaa. Liimapuuta on mahdollista myöhemmin tarvittaessa työstää eri tavoin, esimerkiksi hiomalla. Lujuuslaskelmien mukaisesti voidaan tehdä tietty määrä yksittäisiä reikiä ja lovia.

Liimapuutuotteita voidaan uusiokäyttää, jos tunnetaan niiden lujuusluokat ja kuormituspaukset. Rakennesuunnittelijan on tarkistettava liimapuun kunto ja arvioitava uusiokäytön mahdollisuudet tapauskohtaisesti.

Liimapuun, kuten muunkin puun, on palavaa, ja se voidaan turmella biologisesti sopimattomassa käytössä tai virheellisellä rakenteellisella muotoilulla.

Liimapuulla ja sahatavaralla on sama energiasisältö.

Suurin osa Pohjoismaiden liimapuutehtaista on laatinut yhtenäiset ympäristöselvitykset. Ne sisältävät kuvauksen tuotteen ympäristövaikutuksista sen elinkaaren osalta, jota liimapuuvalmistaja voi kontrolloida, toisin sanoen materiaalin käytöstä siihen asti kunnes tuote lähtee tehtaalta. Ympäristöselvityksiä saa maksutta liimapuuvalmistajilta.

Suomalaiset liimapuuvalmistajat ovat laatimassa yhteistä liimapuun ympäristöselostetta tuotteen ympäristövaikutuksista koko elinkaaren ajalta. (Katso www.puuinfo.fi).

1.3 Liimapuun valmistus

Liimapuulla tarkoitetaan seuraavassa laudoista tai lankuista yhteenliimattua rakenne-elementiä, jossa syyn suunta on elementin pituussuunnassa ja liimapuusaumat ovat samansuuntaiset kuin poikkileikkauksen leveyssuunta (joka yleensä on pienempi sivu).

1.3.1 Valmistusprosessi

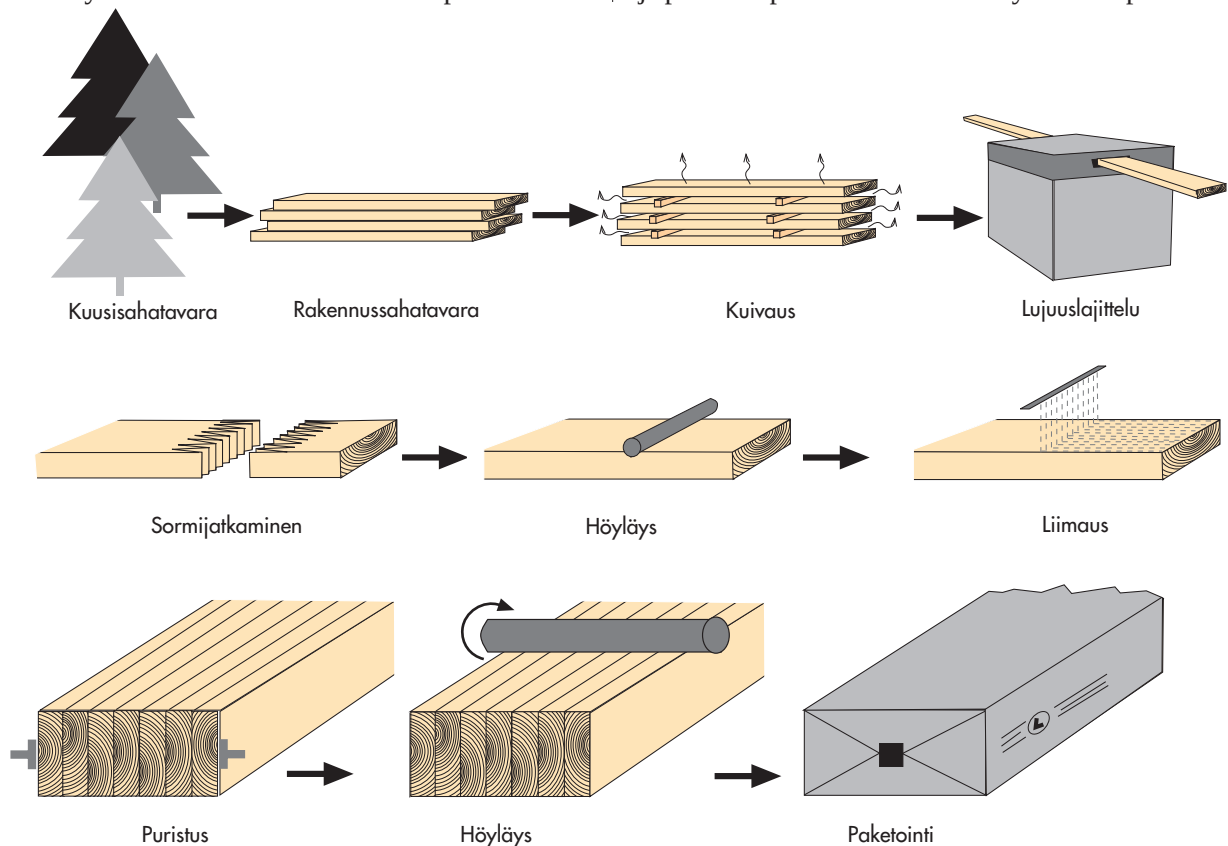
Liimapuu valmistetaan suurin piirtein samalla tavalla tehtaasta tai maasta riippumatta. Kuvassa 1.2 on kaavio valmistustavasta.

Raaka-aine on lujuusluokiteltua puutavaraa, pohjoismaissa tavallisesti kuusta. Rakenteissa, joita rasittaa pitkäaikainen kosteusvaikutus, käytetään myös painekyllästettyä mäntyä. Puutavara toimitetaan kuivattuna ja lujuusluokiteltuna suoraan tai sahalta. Yhteenliimattavan lamellipuutavaran kosteussisältö saa olla 8–15 prosenttia. Liittyvissä lamelleissa kosteus voi poiketa kor-

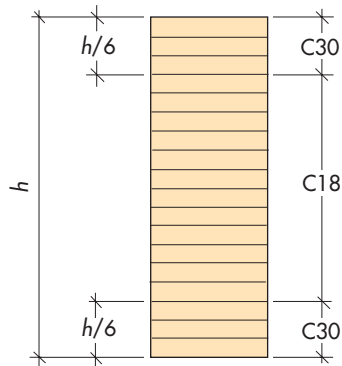
keintaan 4 prosenttia. Liimasauman lujuus on tällöin parempi ja kosteus riittävän lähellä tasapainoarvoa valmiissa rakenteessa, jotta halkeamamuodostus ei olisi häiritsevää. Puun tiettyä halkeamamuodostusta ei voi välttää. Sillä ei yleensä ole mitään vaikutusta rakenteen kantokykyyn.

Liimapuupoikkileikkaus voidaan valmistaa lamelleista, joilla on suurin piirtein sama lujuus. Tällöin kyseessä on homogeeninen liimapuu. Jotta puutavaran lujuutta voidaan hyödyntää paremmin, on syytä käyttää hyvälaatuista puutavaraa poikkileikkauksen uloimmilla sivuilla, joissa jännitykset normaalisti ovat suurimmat (niin sanottu yhdistetty liimapuu, katso kuva 1.3). Valmistuspaikalla tarvitaankin samanaikaisesti tilaa ainakin kahden erilaisen puutavaran lujuusluokan varastointia varten.

Sormijatkoksessa puutavara yhdistetään lamelleiksi. Lamellit katkaistaan halutun pituisiksi ja pinotaan päällekkäin. Yhdistetyssä liimapuus-



Kuva 1.2
Liimapuun valmistus.



Kuva 1.3
Yhdistetyn liimapuupoikkileikkauksen valmistus.

sa otetaan siten huomioon ulko- ja sisälamellien sisäinen järjestys. Sisäisten jännitysten vähentämiseksi lamellit käännetään siten, että sydänlaape on aina samaan suuntaan koko poikkileikkauksessa. Ulkolamellien sydänlaapeet käännetään pääsääntöisesti ulospäin.

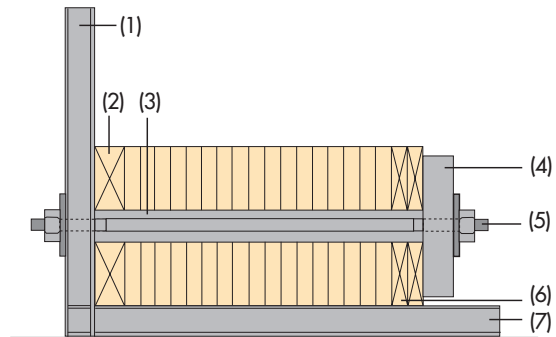
Sormijatkosten liimaus saa kovettua muutamia tunteja, ennen kuin lamellien leveät sivut höylätään. Sen jälkeen ne liimoitetaan.

Lamellipaketit nostetaan liimauspuristimiin, ja kytketään tarvittava puristuspaine (katso kuva 1.4). Tämä täytyy tehdä ennen kuin liima alkaa kovettua eli muutaman tunnin kuluessa. Tarkka kovettumisaika riippuu liimatyyppistä ja työskentelypaikan lämpötilasta. Puristamisen yhteydessä voidaan taivuttaa lamelleihin haluttu esikoroitus tai muu kaareva muoto. Liima saa sen jälkeen kovettua valvotuissa kosteus- ja lämpötilaolosuhteissa mahdollisen lämpösaaton kanssa. Suorat palkit voidaan vaihtoehtoisesti kovettaa jatkuvassa niin sanotussa suurtaajuuspuristimessa.

Kun liimasauvat ovat kovettuneet, puristuspaine poistetaan ja liimapuuelementit nostetaan penkeiltä tasohöylälle, jossa korkeat sivut viimeistellään.

Sen jälkeen voidaan tehdä lopullinen kulmien viimeistely työstö (katso kuva 1.5).

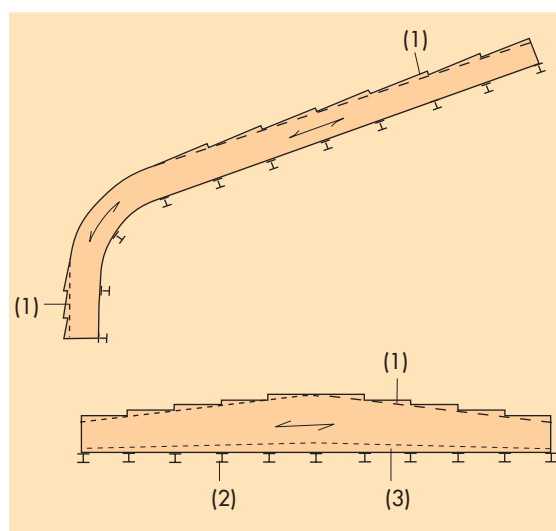
Elementit pintakäsitellään yleensä jo tehtaalla. Lopuksi elementit tarkastetaan, merkitään ja pakataan ennen ajoneuvoihin lastausta tai val-



Kuva 1.4
Kaaviomainen poikkileikkaus liimauspenkistä. (1) Pystytuki. (2) Painetta tasaava pohjakappale ja mahdollinen esikoroitusosa. (3) Välilevy. (4) Kiristysklossi. (5) Kiristysruuvi. (6) Painetta tasaavat laudat. (7) Vaakasuntainen tuki.

mistevarastoon siirtoa.

Yrityksen oma laadunvalvoja valvoo, dokumentoi ja kirjaa sellaiset olosuhteet, joilla on merkitystä tuotteen laadulle: muun muassa lamellipuutavaran kosteus, lämpötila ja hallin ilmankosteus, liimauksen aloittaminen ja lopettaminen. Myös sormijatkosten ja liimasaumojen lujuutta ja laatua valvotaan jatkuvasti. Sisäistä tarkastusta valvoo viranomaisten hyväksymä valvoja.



Kuva 1.5
Rakennaelementti, jossa muuttuva korkeus. (1) Oikaisusahaus. (2) Pystytuki. (3) Painetta tasaava pohjakappale ja mahdollinen esikoroitusosa

1.3.2 L-puu, tuotekontrolloitu liimapuu

L-puu (L-merkitty liimapuu) on Pohjoismaissa vakiintunut nimitys liimapuulle, jossa on vähintään neljä lamellia ja joka valmistetaan, valvotaan ja merkitään erityissäännösten mukaisesti. Säännökset ovat suurimmaksi osaksi samat kaikissa Pohjoismaissa, ja niitä koordinoidaan Pohjoismaisen liimapuutoimikunnan kautta.

Tuotekontrolloitu liimapuu merkitään kaikissa Pohjoismaissa L-merkillä (katso kuva 1.6). Katso myös luku 1.3.7 Laadunvalvonta ja merkintä.

Useimmilla pohjoismaisilla liimapuuvalmistajilla on ISO 9002 -sertifikaatti.

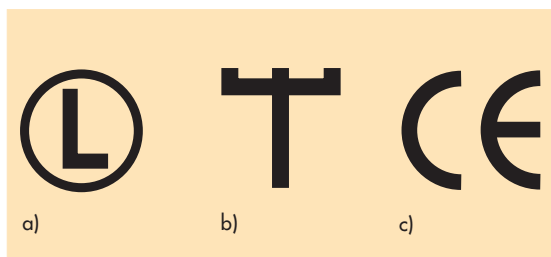
1.3.3 Liimattu rakennesahatavara

Liimapuuta, jossa on vähemmän kuin neljä lamellia ja joka muuten valmistetaan ja kontrolloidaan L-puun säännösten mukaisesti, nimitetään liimatuksi rakennepuutavaraksi. Liimatulla rakennepuutavaralla on samat ominaisuudet kuin L-puulla, mutta sen lujuus on jonkin verran heikompi.

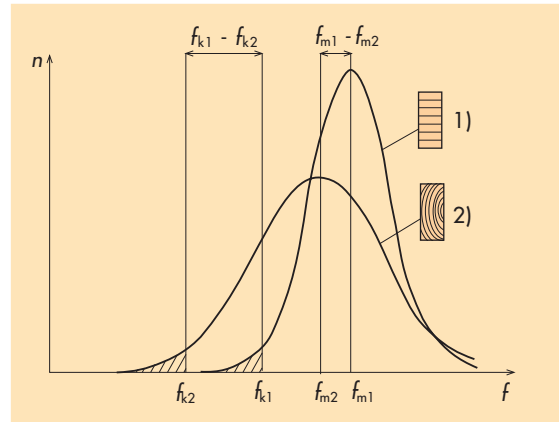
1.3.4 Lujuus ja jäykkyys

Liimapuulla on pääasiassa samat ominaisuudet kuin tavallisella rakennepuutavaralla:

- lujuus vaihtelee jännitys- ja syysuunnan kulmasta riippuen (anisotropia)



Kuva 1.6
L-merkkiä (a) käyttävät liimapuuvalmistajat osoittaakseen, että tuote on valmistuksessa kontrolloitu ja hyväksytty. Ruotsissa vaaditaan lisäksi Boverketin haarukamerkki (b). Tulevaisuudessa merkintä voidaan korvata tai täydentää CE-merkillä (c)



Kuva 1.7
Liimapuuelementillä on parempi keskimääräinen lujuus ja pienempi lujuusominaisuuksien hajonta kuin vastaavalla rakennepuutavaraelementillä.

- lujuus heikentyy kosteuden kasvaessa
- lujuus heikentyy kuormitusajan kasvaessa
- materiaaliominaisuuksien suuri vaihtelu sekä samassa elementissä että eri elementtien välillä (heterogeeninen)

Verrattuna vastaavaan rakennepuutavarasta tehtyyn elementtiin liimapuuelementillä on keskimäärin korkeampi lujuus ja pienempi lujuushajonta. Tämä niin sanottu lamellointiefekti selitetään yleensä seuraavasti.

Rakennepuutavaran lujuuden ratkaisee yksittäisen laudan heikoin kohta, tavallisesti oksakohta, sormijatkos tai vastaava. Siksi lautojen ero voi olla huomattava. Liimapuupalkissa kuitenkin lamellien heikoimmat kohdat hajaannutetaan palkin eri kohtiin, ja se pienentää riskiä, että useammassa lamellissa olisi karkeita virheitä samassa poikkileikkauksessa.

Liimapuupalkeille, jotka kuormitetaan laboratorio-olosuhteissa murtoon lyhytaikaiskuormituksella ja 12 prosentin kosteudessa, on luonteenomaista hyvin hauras murto. Se johtuu yleensä oksasta tai sormijatkoksesta, joka on lamellin uloimmalla sivulla vedetyllä reunalla. Puun tyssäntyminen palkin puristetulla sivulla voi joskus edeltää lopullista murtoa, mutta ei muuta sen haurasta luonnetta. Hauras murto

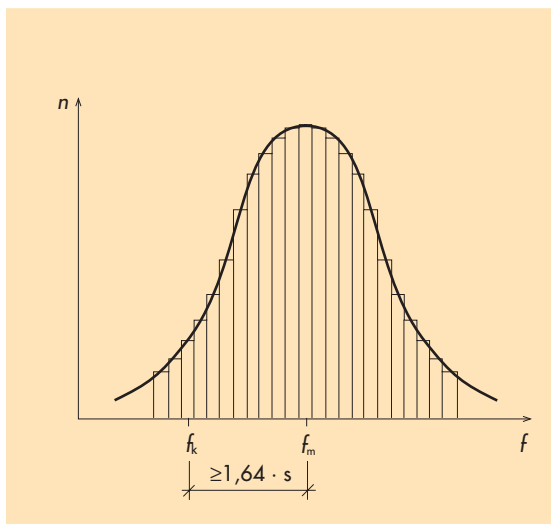
merkitsee esimerkiksi sitä, että mitään jännityksen siirtoja ei ehdi tapahtua, vaan kantokyky menetetään, kun jännitys ylittää kriittisen arvon.

Mitä suurempi on palkin tilavuus, sitä suurempi on todennäköisyys, että palkki sisältää murron aiheuttavan vian. Siksi suunnittelulujuus on suurilla palkeilla pienempi kuin pienillä palkeilla.

Tämä niin sanottu tilavuusefekti (suuruusefekti) on suhteellisen hyvin tutkittu ja dokumentoitu laboratorio-olosuhteissa lyhytaikaiskokeilla, kun taas pitkäaikaikuormituksen vaikutusta ei ole toistaiseksi täydellisesti tutkittu.

Liimapuu ja puurakenteiden mitoituksessa käytetään yleensä karakterisiä lujuus- ja jäykkyyssarvoja, jotka määritellään laboratorio-olosuhteissa riittävillä murtokokeilla.

Näiden kokeiden tuloksia voidaan havainnollistaa murtolujuuden frekvenssidiagrammien avulla (katso kuva 1.8). Tilastollista jakautumaa, tavallisesti normaalijakautumaa, voidaan hyväksyttävällä tarkkuudella soveltaa saatua frekvenssidiagrammiin – ainakin sen keskeisiltä osin.



Kuva 1.8
Esimerkki frekvenssidiagrammista, johon on sovitettu normaalijakautumiskäyrä.

Jos oletetaan, että murtolujuus on normaalijakautunut, voidaan laskea karakteristinen arvo f_k -kaavalla:

$$f_k = f_m - c \cdot s$$

jossa f_m tarkoittaa keskiarvoa ja s standardipoikkeamaa. c on vakio, jonka arvo riippuu siitä, kuinka karakteristinen arvo määritellään. Standardipoikkeama on tilastollinen mitta mittausarvojen jakautumisesta. Materiaalinen karakteristinen lujuus ei siten riipu ainoastaan keskiarvosta vaan suurimmaksi osaksi hajonnasta. Normaalisti lähtökohtana lujuusmitoituksessa on alempi 5 prosentin fraktiili, toisin sanoen se arvo, joka tilastollisesti alitetaan viidessä tapauksessa sadasta. Jos koearvojen lukumäärä on suuri, $c = 1,64$.

Karakteristinen jäykkyyssarvo (kimmomoduli, leikkausmoduuli) määritellään vastaavalla tavalla, mutta lähtökohtana keskiarvolle pidetään 5 prosentin fraktiilia.

1.3.5 Lujuusluokat

Liimapuu, joka valmistetaan kansallisten tai eurooppalaisten normien mukaisesti, kuuluu tiettyihin lujuusluokkiin. Lujuusluokitus määritellään poikkileikkauksessa käytetyn puutavaran lujuuden ja sijainnin mukaan. Eri lujuusluokkien lujuus- ja jäykkyyssarvot määritellään kyseessä olevassa normissa.

Pohjoismainen liimapuu valmistetaan yleensä lujuusluokkaan L40. Eurocode 5 esinormin (ENV 1995) kansallisen sovellusohjeen mukaan lujuusluokan L40 katsotaan Suomessa vastaavan lujuusluokkaa GL32. Liimapuuta, joka valmistetaan normien määräyksistä poikkeavalla tavalla (esimerkiksi eri poikkileikkauksella), saadaan käyttää kantavana rakenteena vain jos se on tyyppihyväksytty.

1.3.6 Liimatyytit

Liimapuun valmistuksessa käytetään liimaa, jolla on hyvät lujuus- ja säilyvyysominaisuudet pitkäaikaiskuormituksessa ja josta on pitkä käytännön kokemus. Muodolliset vaatimukset määritellään euronormissa EN 301, joka sisältää liimatyytit I ja II. Liimatyyppiä I saa käyttää kaikissa kosteusluokissa, kun taas liimatyyppin II käyttö on rajoitettu kosteusluokkiin 1–2. Hyväksytyjen liimojen luetteloa julkaisee Pohjoismaiden liimapuutoimikunta, joka on Pohjoismaiden liimapuuvalvojen yhteistyöelin.

Aikaisemmin liimapuun valmistuksessa käytettiin synteettisiä RF-kaksikomponenttiliimoja (resorsinoli-fenoli). Kaikki liimapuun valmistuksessa käytettävät PRF-liimat kuuluvat säänkestäviin liimoihin. Niiden käyttö on hyväksytty kaikissa kosteusluokissa sekä sisä- että ulkotiloissa. PRF-liimasaumat ovat tumman ruskeanpunaiset.

Melamiini-liimaa käytetään nykyään yhä enemmän. Melamiini-liimat kuuluvat nykyään myös säänkestäviin liimoihin. Melamiiniliimatut saumat ovat aluksi vaaleita, mutta saavat ajan myötä tummemman sävyn.

Lamellien sormijatkoksiin käytetään joko tummaa fenoli-resorsinoliliimaa tai vaaleata melamiini-liimaa. Sormijatkokset voivat tulla esiin tummina laikkuina tai ohuina juovina elementin pinnassa.

Liimapuuelementin merkinnästä on käytävä ilmi, mitä liimatyyppiä elementin valmistuksessa on käytetty. Liimat kehittyvät jatkuvasti, ja uusia liimatyypppejä tulee markkinoille. Tällä hetkellä on saatavilla yksikomponenttista polyuretaaniliimaa, joka sisältyy Pohjoismaiden liimapuutoimikunnan hyväksyntäluetteloon. Luettelossa se on merkitty kuuluvaksi säänkestämättömiin liimoihin (kosteusluokat 1 ja 2). Luetteloon hyväksymisen ehtona on, että liimaa on käytetty hyvällä menestyksellä tehtaalla normaaliuotannossa. Ennen hyväksymistä tehtaalla käytännön kokemus on dokumentoitava ja esitettävä Pohjoismaiden liimapuutoimikunnalle.

1.3.7 Laadunvalvonta ja merkintä

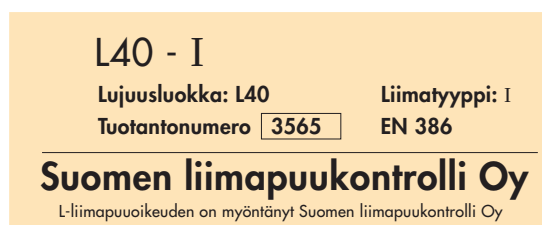
Liimapuun valmistus vaatii suurta tarkkuutta esimerkiksi sormijatkosten jyrksimisessä, liiman valmistuksessa ja levityksessä sekä puristuspaikkeen asettamisessa ja puristusajan mittauksessa. Jotta laatu pysyisi tasaisena ja korkeana, valmistajalla pitää olla dokumentoitu laadunvarmistusjärjestelmä ja jatkuva sisäinen laadunvalvonta, joka sisältää muun muassa säännöllisiä näytteidenottoja liimasaumojen lujuuden ja pysyvyyden varmistamiseksi.

Laatujärjestelmän täytyy olla erityisen sertifiointilaitoksen hyväksymä. Sisäisen laadunvalvonnan valvojana on oltava ulkoinen riippumaton tarkastaja, joka tekee liimapuutehtaalle tarkastuskäyntejä ilmoittamatta niistä etukäteen.

Valmistuksessa kontrolloitu liimapuu merkitään Pohjoismaissa L-merkillä (katso kuva 1.6). Sen lisäksi jokaiseen liimapuuelementtiin merkitään seuraavat tiedot:

- Valmistajan nimi tai muu tunniste
- Lujuusluokka
- Liimausluokka
- Valmistusviikko ja -vuosi tai muu vastaava tunniste
- Valmistusstandardi

Yleensä liimapuuelementit on merkitty leimalla, mutta myös naulattuja tai liimattuja merkkikilpiä käytetään. Kuvassa 1.9 on esimerkki merkintätavasta. Merkinnästä tai lähetysluettelosta on myös käytävä ilmi sertifikaatin numero ja merkintäoikeuden antanut sertifiointilaitos.



Kuva 1.9
Esimerkki merkintäkyltistä.

1.4 Liimapuuelementti. Mitat ja muodot.

Liimapuutekniikka mahdollistaa poikkileikkauksen, geometrian ja rakenne-elementin koon laajan vaihtelun. Rajoituksia asettavat käytännön olosuhteet, kuten tuotantotilojen koko, koneiden kapasiteetti ja kuljetusmahdollisuudet.

Suorakaidepoikkileikkaus on tavallisin, mutta myös muita poikkileikkausmuotoja voidaan valmistaa, kuten I-, T- ja L-poikkileikkauksia, suorakaiteellisia tai kaksitoistakulmaisia onttota poikkileikkauksia (katso kuva 1.10). Viimeksi mainittua valmistetaan patentoituna Ruotsissa ja sitä on eniten käytetty voimajohtopylväissä, mutta sitä voidaan hyvin käyttää myös rakennusten pilareina.

1.4.1 Tuotantokoot – varastokoot

Suorakaiteen muotoiset suorat liimapuuelementit valmistetaan enintään 45 mm paksuista lamelleista, leveydet vastaavat sahatavaran vakioleveyksiä. Valmiiden liimapuuelementtien leveydet pienenevät sivuhöyläyksen jälkeen muutamia millimetrejä lamelleja kapeammiksi. Tarkka mitta riippuu siitä, pitääkö sivujen olla kokonaan puhtaaksihöylättyjä vai voidaanko jättää yksittäisiä höyläämättömiä paikkoja. Taulukossa 1.1 on esitetty liimapuuelementtien vakio-poikkileikkauksia. Varastopoikkileikkaukset on lihavoitu ja niitä pitäisi käyttää varsinkin yksit-

täisissä palkeissa. Mittoja sovelletaan höylättyihin elementteihin (katso kohta 1.5.3) ja 12 prosentin kosteuspitoisuuteen.

Liitteessä 1 on suorakulmaisia poikkileikkauksia. Taivutetuissa rakenteissa lamellien paksuus riippuu taivutussäteestä ja maksimissaan lamellin paksuus voi olla 33,3 mm (katso kohta 4.7).

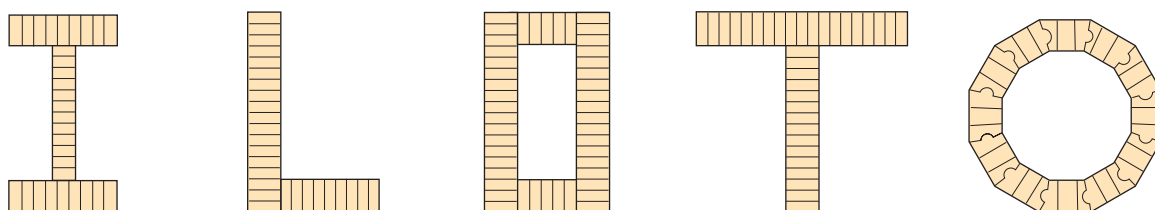
1.4.2 Suurimmat poikkileikkaukset

Suurin leveys (liimasaumatason suuntainen poikkimitta) rajoittuu sen takia, että 300 mm leveämpää sahatavaraa on vaikea saada. Höyläyksen jälkeen tämä vastaa 290 mm nimellistä leveyttä. Lamelleja syrjäliimaamalla tai liimaamalla sivusuunnassa yhteen useampia liimapuuelementtejä on valmistettu jopa 500 mm leveitä elementtejä.

Suurin korkeus (liimasaumatason kohtisuora poikkimitta) on höyläyskalustosta johtuen noin kaksi metriä. Erilaisilla keinoilla, kuten liimaamalla harjaosa harjapalkkiin höyläämisen jälkeen, voidaan tehdä suurempia palkkikorkeuksia. Tällä tavalla on valmistettu yli kolme metriä korkeita liimapuuelementtejä.

1.4.3 Suurin pituus

Pohjoismaissa on liimapuutehtaita, jotka voivat valmistaa jopa 60 metriä pitkiä elementtejä. Kuljetusmahdollisuudet kuitenkin rajoittavat pituutta (katso kohta 1.6).



Kuva 1.10
Esimerkki kootuista liimapuupoikkileikkauksista.

Taulukko 1.1

Suorien liimapuuelementtien poikkileikkauksia.

Nimellismitat vastaavat höylättyä pintaa. Varastokoot ovat valmistajakohtaisia.

Liimapuuta, jossa on vähemmän kuin neljä lamellia, kutsutaan liimatuksi rakennesahatavaraksi



Liimattu rakennepuutavara									
42x90	56x90	66x90	78x90	90x90	115x90	140x90	165x90	190x90	215x90
42x135	56x135	66x135	78x135	90x135	115x115	140x135	165x135	190x135	215x135
Liimapuu									
42x180	56x180	66x180	78x180	90x180	115x180	140x180	165x180	190x180	215x180
42x225	56x225	66x225	78x225	90x225	115x225	140x225	165x225	190x225	215x225
42x270	56x270	66x270	78x270	90x270	115x270	140x270	165x270	190x270	215x270
42x315	56x315	66x315	78x315	90x315	115x315	140x315	165x315	190x315	215x315
42x360	56x360	66x360	78x360	90x360	115x360	140x360	165x360	190x360	215x360
42x405	56x405	66x405	78x405	90x405	115x405	140x405	165x405	190x405	215x405
42x450	56x450	66x450	78x450	90x450	115x450	140x450	165x450	190x450	215x450
42x495	56x495	66x495	78x495	90x495	115x495	140x495	165x495	190x495	215x495
42x540	56x540	66x540	78x540	90x540	115x540	140x540	165x540	190x540	215x540
42x585	56x585	66x585	78x585	90x585	115x585	140x585	165x585	190x585	215x585
42x630	56x630	66x630	78x630	90x630	115x630	140x630	165x630	190x630	215x630
42x675	56x675	66x675	78x675	90x675	115x675	140x675	165x675	190x675	215x675
	56x720	66x720	78x720	90x720	115x720	140x720	165x720	190x720	215x720
	56x765	66x765	78x765	90x765	115x765	140x765	165x765	190x765	215x765
	56x810	66x810	78x810	90x810	115x810	140x810	165x810	190x810	215x810
		66x855	78x855	90x855	115x855	140x855	165x855	190x855	215x855
		66x900	78x900	90x900	115x900	140x900	165x900	190x900	215x900
		66x945	78x945	90x945	115x945	140x945	165x945	190x945	215x945
			78x990	90x990	115x990	140x990	165x990	190x990	215x990
			78x1035	90x1035	115x1035	140x1035	165x1035	190x1035	215x1035
			78x1080	90x1080	115x1080	140x1080	165x1080	190x1080	215x1080
				90x1125	115x1125	140x1125	165x1125	190x1125	215x1125
				90x1170	115x1170	140x1170	165x1170	190x1170	215x1170
				90x1225	115x1225	140x1225	165x1225	190x1225	215x1225
					115x1260	140x1260	165x1260	190x1260	215x1260
					115x1305	140x1305	165x1305	190x1305	215x1305
					115x1350	140x1350	165x1350	190x1350	215x1350
						140x1395	165x1395	190x1395	215x1395
						140x1440	165x1440	190x1440	215x1440
						140x1485	165x1485	190x1485	215x1485
						140x1530	165x1530	190x1530	215x1530
						140x1575	165x1575	190x1575	215x1575
						140x1620	165x1620	190x1620	215x1620

1.4.4 Asennus ja käsittely

Tehokas materiaalin hyväksikäyttö johtaa usein korkeisiin ja hoikkiin palkkeihin, joita voi olla hankala käsitellä rakennuspaikalla. Käytännön syistä liimapuuelementin leveys ei saisi olla vähemmän kuin 1/10 elementin korkeudesta.

1.4.5 Esikorotus

Vapaasti tuetuissa yksiaukkoisissa liimapuupalkkeissa saattaa olla mahdollisen taipumahaitan vähentämiseksi tarvetta esikorotukseen, jos jän-

neväli on suurempi kuin 6–8 metriä. Kohtuulliset esikorotukset voidaan valmistuksessa helposti tehdä aina noin 200 mm asti. Suositukset korotuksen suuruudesta ovat kohdassa 3.3.

1.4.6 Toleranssit

Liimapuuelementit valmistetaan samalla mittatarkkuudella kuin valssatut teräsprofiilit tai esivalmistetut betonielementit. Liimapuuelementtien sallitut mittapoikkeamat annetaan euronormissa EN 390.

1.5 Ulkonäkö ja pintakäsittely

Liimapuu on ensi sijassa rakennemateriaali, jonka tärkeimmät ominaisuudet ovat lujuus, jäykkyys ja kestävyys.

Liimapuuelementillä ei yleensä ole puusepäntuotteilta ja huonekaluilta vaadittavaa puutavaralaatua ja viimeistelypintaa. Useimmiten vakio tuotteet kuitenkin täyttävät normaalit ulkonäkövaatimukset, jos niitä käsitellään huolellisesti kuljetuksessa ja asennuksessa.

1.5.1 Puutavara

Liimapuu valmistetaan lujuusluokitellusta puutavarasta, joten puutavaran oksakoko on rajoitettu. Liimapuussa käytettävä puutavara ei kuitenkaan ole oksattontaa. Myös korkealujuuksinen puutavara voi sisältää melko suuria oksia, joten sisälamelleissa voidaan sallia lamellin paksuisia oksia.

1.5.2 Liimasaumat

Kantavien liimapuukurakenteiden valmistuksessa käytetään korkealujuuksisia ja kestäviä liimatyyppejä (katso kohta 1.3.6). Tavallisesti käytetään fenoli-resorsinoliliimaa, joka muodostaa tummia liimasaumoja, tai melamiinia, jolloin saumat ovat vaaleita. Myös melamiinilla liimatut saumat voivat jonkin verran tummua ajan myötä.

Lamellien sormijatkokset tulevat siten esiin tummina pilkkuina tai ohuina siksak-kuvioina liimapuuelementin sivuilla, varsinkin jos käytetään fenoli-resorsinoliliimaa.

Liimapuuelementit, joiden leveys on alle 90 mm, halkaistaan tavallisesti leveämmästä elementistä. Sahaus voi siten mennä avoimien tai liimasta täyttyneiden halkeamien kautta, mikä saattaa aiheuttaa säröilyä. Erityisesti fenoli-resorsinoliliimaa käytettäessä näkyviä liimaläiskä voi tulla halkaisusivulle. Tämä koskee kaikkia

pintoja. Jos molemmille sivupinnoille on asetettu korkeat ulkonäkövaatimukset, halkisahattuja elementtejä pitäisi välttää.

1.5.3 Pinnat

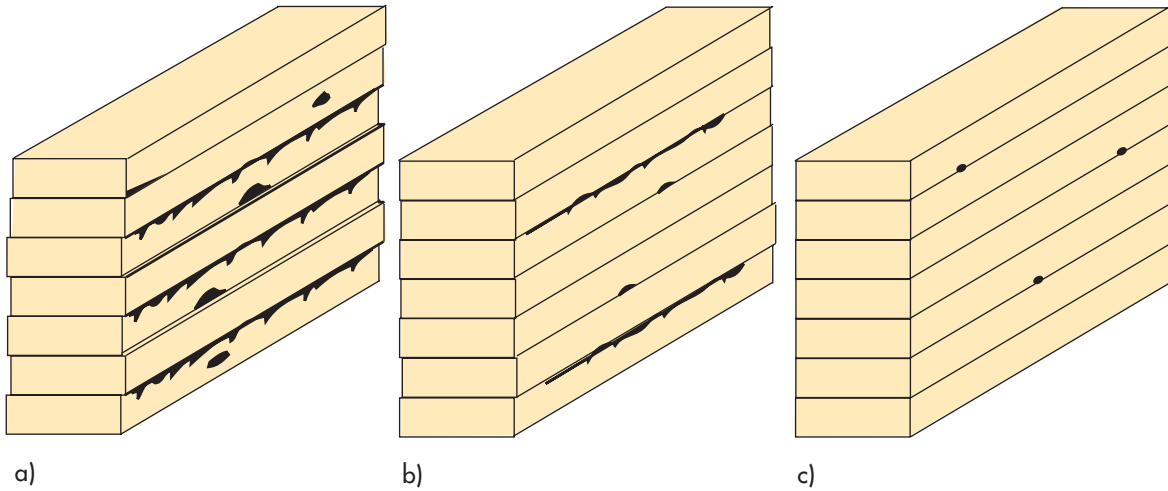
Kun liimapuuelementit irrotetaan liimapenkeistä, varsinkin syrjäisivut ovat epätasaisia ja liimasaumoista pursuavan ylijäämäliiman tahraamia. Käytännöllisistä ja esteettisistä syistä kaikki neljä sivua höylätään ennen toimitusta. Asiakkaan vaatimukset tuotteen ulkonäöstä ratkaisevat sen, kuinka paljon höylätään. Suomessa valmiin liimapuuelementin pinnat jaetaan neljään pintaluokkaan.

KARKEAHÖYLÄTTY PINTA: Lamelleissa voi olla vajaasärmäisyyttä ja pinnoissa työstämättömiä kohtia, liimatahroja sekä puun halkeamiin ja koloihin tunkeutunutta liimaa. Halkaisemalla valmistettujen liimapuuelementtien (leveys valmiina alle 90 mm) halkaisupinnat voivat olla sahapintaisia, ja niissä voi esiintyä avoimia tai liiman täyttämiä sydänhalkeamia.

Karkeahöylättyjä pintoja suositellaan näkyviksi pinnoiksi vain ulkonäöltään hyvin vaatimattomiin kohteisiin, esimerkiksi varastorakennuksiin.

HÖYLÄTYT PINNAT: Lamellit ovat täysisärmäisiä, ja pinnoissa voi esiintyä joitakin sahapintaisia lamelleja, pieniä liimatahroja sekä puun halkeamiin ja koloihin tunkeutunutta liimaa. Halkaisemalla valmistettujen liimapuuelementtien (leveys valmiina alle 90 mm) halkaisupinnassa voi olla avoimia tai liiman täyttämiä sydänhalkeamia.

Höylättyjä pintoja suositellaan näkyvään käyttöön tiloissa, joissa rakenteen toiminta ja kantokyky ovat tärkeimmät valintaperusteet, mutta joissa kuitenkin halutaan käyttää liimapuuta ympäristöä muodostavana elementtinä, esimerkiksi teollisuus- ja maatalousrakennuksissa.



Kuva 1.11

a) Karkeahöylätty pinta. b) Höylätty pinta. c) Puhtaaksihöylätty, kunnostettu pinta.

PUHTAAKSIHÖYLÄTYT KUNNOSTAMATTOMAT PINNAT: Lamellit ovat täysisärmäisiä, ja pinnoissa voi esiintyä joissakin kohdin puun halkeamiin ja koloihin tunkeutunutta liimaa. Halkaisemalla valmistettujen liimapuuelementtien (leveys alle 90 mm) halkaisupinnoissa voi olla avoimia tai liiman täyttämiä sydänhalkeamia.

Puhtaaksihöylätty, kunnostamattomat pinnat voivat jäädä näkyviin, jos ulkonäölle ei aseteta kovin korkeita vaatimuksia (esimerkiksi urheiluhallien ja myymälätilojen kattopalkit).

PUHTAAKSIHÖYLÄTYT, KUNNOSTETUT PINNAT: Korkeat sivut on käsitelty höylällä tai vastaavalla. Sivuilla, jotka jäävät näkyviin asennuksen jälkeen, ei ole säröjä, pihkaa, oksakuoppia, lovia tai liimatahroja. Näkyvät kulmat on viistetty.

Puhtaaksihöylättyjä, kunnostettuja pintoja suositellaan näkyväksi jäävään käyttöön, kun ulkonäölle asetetaan korkeat vaatimukset (esimerkiksi asunnot, koulut). Joissakin tapauksissa voi myös puhdistettu (hiottu) pinta olla sopiva, esimerkiksi jos liimapuu kuultokäsittellään.

Leveyssuuntaiset sivut on kaikissa neljässä pinta-alueessa oltava höylällä tai vastaavalla käsiteltyjä. Pieniä liimatahroja sallitaan.

Huom. Kohdassa 1.5.2 käsitellään liimapuuelementtiä, joka valmistetaan halkaisemalla leveydestä elementistä. Halkaistu palkki ei sovellu kohteisiin, joissa vaaditaan kunnostettua pintaa.

1.5.4 Pintakäsittely

Yleensä pintakäsittelyn tarkoituksena on antaa puupinnalle tietty ulkonäkö sekä suojata materiaalia nopealta kastumiselta ja kuivumiselta ja siten vähentää halkeamien muodostumista. Kalvon muodostava pintakäsittely, esim. peittomaali tai kirkas lakka, tekee puupinnasta helpommin puhdistettavan ja antaa suojan mekaanista vaurioitumista vastaan. Pintakäsittely voidaan myös tehdä palon leviämisen ja savunkehityksen vähentämiseksi tulipalon sattuessa.

Liimapuu voidaan myös pintakäsittää samoilla aineilla kuin tavallinen puutavara, esimerkiksi kuultokäsittellä, peittomaalata tai lakata. Tekniset, taloudelliset tai esteettiset lähtökohdat ratkaisevat valinnan. Huomaa kuitenkin, että tummissa kuultoväreissä haittana ovat sinänsä harmittomat kuivahalkeamat. Ne voivat muodostua valmiiksi käsittelyn jälkeen ja tulla tummaa pintaa vasten selvemmin esiin kuin vaaleaa.

Jos ulkonäölle ei aseteta suuria vaatimuksia, sisätiloissa liimapuu ei tarvitse mitään pintakäsittelyä. Rakenteet täytyy suojata rakennusaikana muulla tavoin, jotta haitallinen kastuminen

ja likaantuminen vältetään. Katetuissa ulkotiloissa riittää usein pohjustus värittömällä tai pigmentoidulla kuultokäsittelyllä, mahdollisesti yhdistettynä johonkin kemialliseen puunsuojaan sienikasvustojen aiheuttamien värivikojen estämiseksi. Korkealaatuiseen ulkonäköön vaaditaan kuitenkin yksi tai useampia lisäkäsittelyjä.

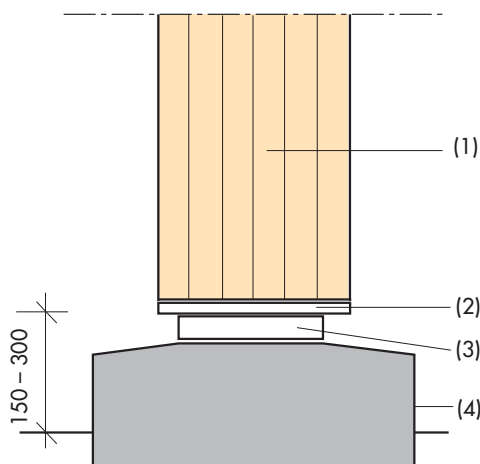
Ulkotilassa liimapuu joutuu suurten kosteusvaihtelujen alaiseksi, ja siksi se on pintakäsitteltävä halkeilun vähentämiseksi. Kosteussuoja voidaan myös yhdistää kemialliseen puunsuojaan. Mitään kestävää lahosuojaa pintakäsittelyllä ei saada aikaan. Liimapuusta tehtävät ulkotilarakenteet on pyrittävä suojaamaan kattorakenteella tai tuuletetulla katteella.

Ilman pintakäsittelyä materiaali vanhenee sään ja tuulen vaikutuksesta ja saa vähitellen sen sametinharmaan aurinkoisilla paikoilla tervanruskean pinnan, joka on tyypillinen vanhoille puutaloille. Käytettävissä ei ole sellaista pintakäsittelyä, joka ajan mittaan kohtuullisella huollolla säilyttäisi ulkotiloissa tuoreen puunvalkoisen ulkonäön. Jos ei haluta puun luonnollisen vanhenemisen näkyvän ulkotiloissa, on parempi valita pigmentoitu pintakäsittely.

Kaikkia ulkoisia pintakäsittelyitä pitää huoltaa. Huoltovälin pituus ja toimenpiteiden laajuus riippuu rakenteiden sijainnista ja valitusta pintakäsittelystä. Kuultovärit vaativat lyhyemmän huoltovälin kuin peittävät alkydi- tai lateksivärit, mutta toisaalta niitä on helpompi huoltaa. Jotta puun pinta ei tummenisi jokaisen sivelykerran jälkeen, voidaan kuultovärijätyt pinnat huoltaa värittömällä tai ainoastaan sävytetyllä kuultosuojalla.

1.5.5 Puunsuojaus

Puu on orgaaninen materiaali, jota sienet ja tuhohyönteiset voivat vioittaa. Yksittäistapauksessa tämä voi olla haitallista, mutta ekologiselta kannalta se on materiaalin suuri etu. Rakenne on suojattava rakennuksen käyttöajan näitä haittavaikutuksia vastaan. Tärkeintä on rakennus-



Kuva 1.12

Esimerkki rakenteellisesta puunsuojauksesta. (1) Liimapuupilari. (2) Kosteuseriste. (3) Välikapale, terästä, kyllästettyä puuta tai betonia. (4) Perustus.

tekninen muotoilu siten, että edellytykset lahon muodostumiselle estyvät.

Tämä niin sanottu rakenteellinen puunsuojaus tehdään pitämällä puu jatkuvasti kuivana (kosteus < 20 %). Jos tämä ei ole mahdollista, täytyy rakenne muotoilla siten, että puu voi kuivua kastumisen jälkeen. Kuiva puu ei lahoa.

Toinen tehokas tapa suojata puu lahoamiselta on puun painekyllästys sopivalla puunsuoja-aineella. Painekyllästys ei kuitenkaan korvaa rakenteellista puunsuojausta, vaan täydentää sitä, koska rakennekosteus on syynä myös muihin ongelmiin kuin lahoamiseen, esimerkiksi värin ja muodonmuutoksiin.

Rakennuttajan toiveet tehokkaasta lahonsuojauksesta ja tavoite myrkyttömästä ja terveellisestä ympäristöstä on otettava huomioon sekä puunsuojamenetelmän valinnassa että tunkeuman ja imeytymän vaatimuksissa. Kemiallisen puunsuojan käyttöä säädellään sekä lainsäädännöllä että erilaisilla normeilla.

Liimapuu voidaan valmistaa lamelleista, jotka painekyllästetään ennen höyläystä ja liimausta. Liimauksen jälkeen korkeat sivut voidaan jättää työstämättä tai höylätä tavalliseen tapaan

tehtaalla. Molemmissa tapauksissa suojausvaikutusta täytyy parantaa jälkikäsittelemällä sivut jollakin sopivalla sivelyaineella.

Liimapuuta voidaan myös kyllästyä liimauksen jälkeen, mutta kyllästyslaitoksen mitat rajoittavat elementin kokoa. Liimauksen jälkeinen kyllästys on tehtävä halkeiluriskin takia öljyliuokoisella kyllästysaineella tai kreosoottijäällä. Jälkimmäistä käytettäessä täytyy kuitenkin työsuojelusyistä noudattaa erityistä varovaisuutta.

1.5.6 Kuljetus-, varastointi- ja asennussuojaus

Liimapuuelementit toimitetaan tavallisesti muovikalvoon tai paperiin pakattuna yksittäin tai niputettuna. Näkyväksi jäävät liimapuuelementit suojataan näin sateelta sekä kuljetus-, varastointi- ja asennusaikaiselta likaantumiselta. Piiloon jääviä liimapuita ei normaalisti kääritä pakkauksiin.

Pakkaus ei ole mikään kosteussuoja. Tietyissä olosuhteissa kosteus voi pikemminkin tiivistyä pakkauksen sisäpintaan. Vesi täytyy silloin valuttaa pois leikkaamalla kääre auki alareunasta.

Liimapuuelementin varastoinnissa rakennuspaikalla on otettava huomioon seuraavat asiat:

- älä koskaan aseta liimapuuelementtiä suoraan maata vasten
- käytä puhdasta (!) alustaa, joka on vähintään 250 mm korkea ja mahdollistaa hyvän tuuletuksen
- alustan pitää olla kuiva ja tasainen, jotta liimapuuelementit eivät taivu tai väännä
- aseta puhtaat (!) välirimat liimapuuelementtien väliin luotisuoraan toistensa kohdalle
- ulkovarastoinnissa liimapuuelementit suojataan esimerkiksi peitteellä, joka asennetaan puhtaiden korotuspuiden päälle niin, että säilytyksen aikana tuuletus on hyvä
- pitkäaikaista varastointia rakennuspaikalla on vältettävä, erityisesti jos se tapahtuu ulkotiloissa

Liimapuuelementit voidaan tarvittaessa toimittaa kulmasuojauksin kuljetus- ja asennusvahinkojen vähentämiseksi. Nosturilla nostettaessa on käytettävä leveitä rakseja ja suojattava liimapuuelementtien kulmat teräskulmilla tai vastaavilla niin, että mitään nostojälkiä ei jää. Työkäsineissä, rakseissa ja muissa nostovälineissä ei saa olla irtolikaa. Älä kävele asennuksen jälkeen näkyviin jäävillä pinnoilla!

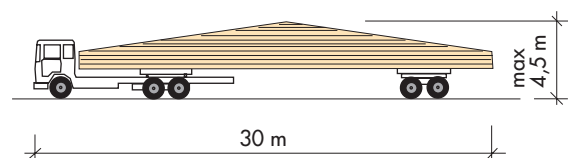
1.6 Kuljetus ja asennus

Liimapuusta rakennettaessa kuljetus ja asennus muodostavat viimeisen vaiheen, johon usein suhtaudutaan vähättelevästi. Tämä vaihe vaatii kuitenkin huolellisuutta, koska se ratkaisevalla tavalla voi vaikuttaa sekä rakenteen muotoon että hankkeen talouteen ja suunnitteluun.

1.6.1 Kuljetus

Tavallisesti liimapuuelementit kuljetetaan maanteitse. Kuorma-autolla voidaan kuljettaa 9–10 metriä pitkiä osia. Jos käytetään tavallisia kuljetusautoja, elementti saa olla korkeintaan 16 metriä pitkä. Sitä pidemmät elementit kuljetetaan jatkettavalla perävaunulavalla. Näin voidaan kuljettaa jopa 50 metriä pitkiä elementtejä. Pitkien palkkien pienten toimituserien kuljetuskustannukset ovat korkeat, ja siksi olisi hyvä jakaa palkit pienempiin yksiköihin, joita voidaan kuljettaa tavallisella kuorma-autolla.

Suomessa vaaditaan viranomaisten erikoiskuljetuslupa, jos yhteenlaskettu ajoneuvopituus ylittää 30 metriä. Edes 30 metriä pitkät elemen-



Kuva 1.13
Suurin sallittu ajoneuvopituus ilman erikoislupaa on 30 m.

tit eivät tuota tässä suhteessa yleensä mitään ongelmia. Erikoiskuljetuslupa vaaditaan aina, jos kuormaleveys ylittää 3,5 metriä tai kokonaiskorkeus 4,4 metriä, mikä on tavallista kehä- ja kaarirakenteissa. Jos vaihtoehtona on rautatie- tai merikuljetus, muut tekijät saattavat rajoittaa kuljetusta. Usein kuljetusongelma voidaan ratkaista jakamalla rakenne sopiviin kuljetusyksiköihin, jotka liitetään yhteen rakennuspaikalla.

1.6.2 Asennus

Liimapuurakenteiden asennuksessa tarvitaan yleensä nostolaitetta, tavallisesti mobiilinosturia.

Helpointa on, jos liimapuuelementit voidaan rakennustyömaalla nostaa paikalleen suoraan autosta. Tämä ei kuitenkaan usein ole mahdollista, ja yleensä täytyy varautua tiettyyn varastointiaikaan. Tällöin on otettava huomioon kohdan 1.5.6 ohjeet.

Toimituksen saapuessa tarkistetaan, että liimapuuelementtien ja kiinnitysosien lukumäärät vastaavat tilausta.

On tärkeää suunnitella asennus ennen kuin kuorma puretaan ajoneuvosta. Näin voidaan välttää aikaa vievät uudelleenlastaukset. Myös yksittäisten liimapuuelementtien ja kiinnitysosien selkeä ja järjestelmällinen merkintä on olennaista hyvin suunnitellussa asennuksessa.

Rungon rakennusaikainen stabiliteetti tuulta ja muita rasituksia vastaan täytyy tilapäisillä järjestelyillä varmistaa, kunnes rakennuksen jäykistyssysteemi on valmis. Kehä- ja kaarirakenteet varmistetaan parhaiten teräsvaijereilla, jotka kiristetään vanttiruuveilla tai käytetään kuormaliinoja. Vaijereita käytetään myös rakenteiden sitomiseen oikeaan asemaansa, kunnes tuuliristikot tai vastaavat on asennettu.

Muovikääreet viilletään auki alareunasta kosteuden välttämiseksi muovin sisäpinnalla. Muovikääreet voidaan jättää kokonaan pois, mutta silloin riskinä on, että näkyvät rakenteet likaantuvat rakennusaikana. Erityisen alttiina ovat kattorakenteet, joissa profiilipelti on suo-

raan kattopalkkien päällä. Liitoskohdista valut vuotovedet likaavat palkkien sivut ennen kuin eristykset ja kattohuovat ovat paikoillaan.

Kolminivelkehät ja -kaaret koostuvat kahdesta osasta, jotka liitetään betoniperustukseen tai pilariin ja kytketään yhteen liitoksella harjan kohdalla. Suuremmat rakenteet asennetaan yksinkertaisimmin ja varmimmin mobiilinosturilla ja harjan kohdalle asennetulla siirrettävällä asennustornilla. Asennus etenee siten, että kumpikin kehä- tai kaarenpuolikas nostetaan paikoilleen mobiilinosturilla. Kehänjalka kiinnitetään jalan kiinteytysosaan tai pilarinpäähän, ja harjaosa lasketaan asennustornin päälle ja kytketään yhteen. Jäykistämisen jälkeen torni siirretään seuraavalle linjalle.

1.7 Tilauksen ja toimituksen perusteet

1.7.1 Työselitys

Piirustuksissa ja työselityksissä ilmoitetaan Tunnistemerkinnät (litterat) (esim. LP1, LP3 jne).

- Rakenne-elementin tyyppi (esim. taulukko 2.1 tai viittaus piirustukseen)
- Nimellimitat (leveys x vasen tukikorkeus/suurin korkeus/oikea tukikorkeus x pituus mm). Tasakorkeissa palkeissa tai pilareissa ilmoitetaan vain korkeusmitta. Erikoiselementeissä, esim. epäsymmetrisissä satulapalkeissa, ilmoitetaan mitat piirustuksessa.
- Lujuusluokka
- Liimausluokat
- Pintaluokat (jos halutaan puhtaaksihöylättyjä pintoja, ilmoitetaan myös, mitkä pinnat tulevat näkyviin)
- Pintakäsittely (jos sellaista toivotaan)
- Esikorotus mm (tarvittaessa)
- Puulaji (jos halutaan muuta kuin kuusta, esim. painekyllästettyä mäntyä)
- Toleranssit

Esimerkki erittelystä:

4 kpl harjapalkkeja 165 x 680/1370/680 x 22000 mm

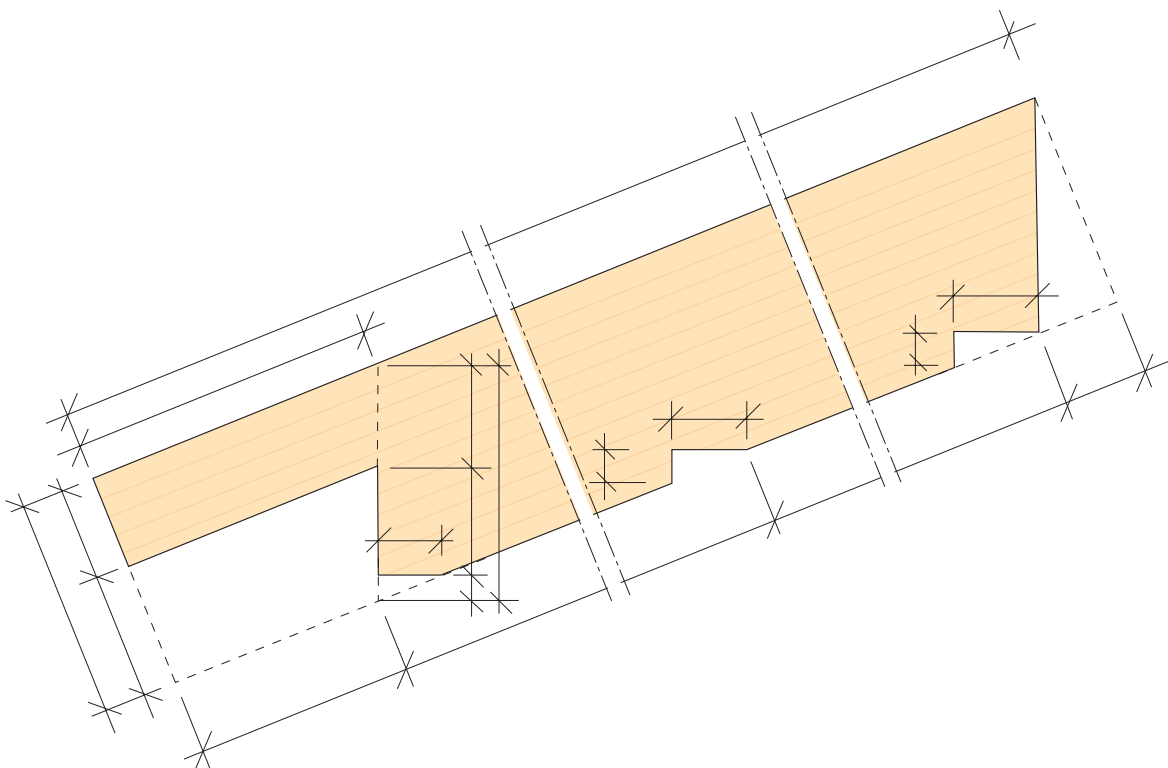
L40-U - Höylätyt pinnat - Esikorotus 120 mm.

Tarjouspyynnössä ja tilauksessa ilmoitetaan lisäksi:

- Samanlaisten yksiköiden lukumäärä (huomaa, että kolminivelkehä ja kolminivelkaari koostuvat kahdesta elementistä).
- Mahdollinen viittaus piirustuksiin (varauskollot jne.).
- Suojakalvoja koskevat erillistoivomukset (esim. suojaus kappaleittain, kulmasuojaukset).
- Toimitussuunnitelma.
- Kuorman purkutapa (nosturi tai kuormauskone).
- Kohteen nimi ja toimitusosoite.

1.7.2 Mitoitus

Elementin selkeä mitoitus varmistaa nopean käsittelyn ja vähentää virhemahdollisuuksia. Esimerkki mitoituksesta on esitetty kuvassa 1.14.



Kuva 1.14
Esimerkki mitoituksesta.

2. Rakennejärjestelmät

- 2.1 Pilari-palkkijärjestelmä 27
- 2.2 Jatkuvat palkit 28
- 2.3 Massiivivälipohjat 29
- 2.4 Ristikot 29
- 2.5 Kolminivelkattotuolit 30
- 2.6 Kaaret 31
- 2.7 Kehät 32
- 2.8 Ulokkeet 33
- 2.9 Arinat 34
- 2.10 Kuorirakenteet 35
- 2.11 Yhdistelmärakenteet 36
- 2.12 Liitoselimet ja liitosdetaljit 37
- 2.13 Yleiskatsaus, taulukko 38

Fredellin rakennustarvikekauppa, Nacka, Ruotsi.
Eräs Ruotsin suurimmista ympäristösertifioiduista rakennuksista.
Kuva: Mikael Hagéus, CR-studio.

2. Rakennejärjestelmät

Liimapuurakenteiden staattisessa systeemissä on paljon vaihtelumahdollisuuksia. Tässä osassa esitetään yleispiirteisesti erilaisia tapoja muodostaa hallirakennusten liimapuurunkoja aina yksinkertaisesta pilari-palkkijärjestelmästä kehä- ja kuorirakenteisiin, joissa eri tavoin hyödynnetään liimapuutekniikan mahdollisuuksia.

Rakennejärjestelmän valintaan vaikuttavat ennen kaikkea rakennuksen toiminta ja arkkitehtoniset näkökohdat. Tuotanto- tai kuljetustekniset rajoitukset voivat tietyissä tapauksissa olla ratkaisevia (katso kohta 1.4).

Taulukossa 2.1 esitetään tavallisimpia rakennejärjestelmiä.

Valinnan helpottamiseksi taulukossa annetaan suositellut jännevälialueet ja summittaiset rakennekorkeudet eri kannatintyypeille. Ne vastaavat normaaliolosuhteiden keskiarvoja. Pienet kuormat tai pieni keskiöväli merkitsee taulukossa esitettyä jonkin verran pienempää rakennekorkeutta.

2.1 Pilari-palkkijärjestelmä

Yksinkertaisin ja tavallisin liimapuurunko koostuu vapaasti pilareihin tuetuista kaksitukisista palkeista. Jos jänneväli on pieni, tasakorkeita palkkeja pidetään parempina. Suuremmissa jänneväleissä voi olla järkevintä antaa rakennekorkeuden vaihdella voimasuureiden mukaan.

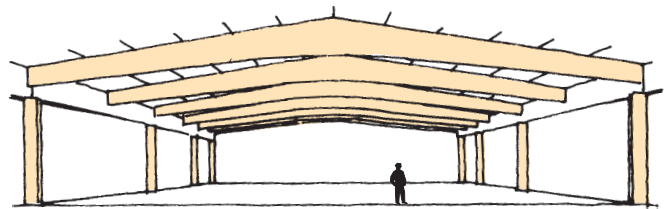
Esimerkkinä tästä on harjapalkki, jossa suurin rakennekorkeus on keskellä, missä myös taivutusmomentti on suurin.

Pienimmän rakennekorkeuden valinnassa tarvittava kantokyky ei useinkaan ole ratkaiseva, vaan muodonmuutosvaatimus, esimerkiksi suurin sallittu taipuma.

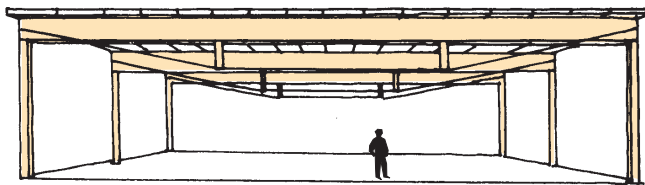
Liimapuupalkit muotoillaan alareunasta suoriaksi, mutta esteettisten tai toiminnallisten syiden takia palkit voidaan myös muotoilla korostetun kaareviksi. Silloin kyseessä on niin sanottu bumerangipalkki (harjapalkki, jossa on kaareva alareuna, katso kuva 2.1).

Installaatiot muodostavat keskeisen toiminnallisen osan, joka vaikuttaa huomattavasti arkkitehtoniseen ilmeeseen. Usein esiin nouseekin kysymys, voiko liimapuuelementtiin tehdä reikiä tai syvennyksiä. Tavallisessa palkissa koko poikkileikkaus osallistuu leikkausvoiman vastaanottamiseen. Nämä voimat ovat suurimmillaan tuella, ja siksi reikiä tai syvennyksiä ei yleensä voi sijoittaa aivan sen lähelle. Reiät on sijoitettava poikkileikkauksen keskiosaan, koska taivutusjännitykset ovat siellä pienimmät. Kuva 2.3 havainnollistaa, mille alueelle vapaasti tuetussa palkissa reikä kannattaa sijoittaa. Yksityiskohtaiset ohjeet reikien ja kolojen mitoittamiseen ja muotoilemiseen ovat kappaleessa 4. Liimapuun mitoituksen erityispiirteet.

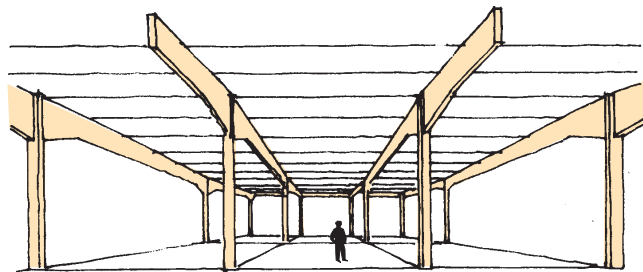
Liimapuupilarilla on tavallisesti hyvä kantokyky. Jäykästi kiinnitetyllä pilarilla, jota ei tueta vapaasta päästä, nurjahduspituus on noin kaksi kertaa pilarin pituus. Tavallisella pilarilla, joka on nivelellisesti kiinnitetty ylä- ja alapäästä,



Bumerangipalkki

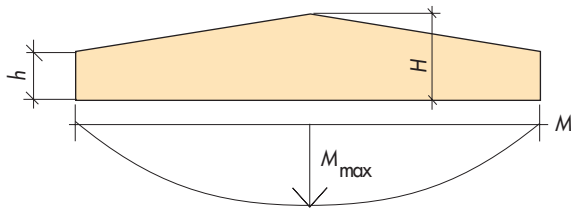


Jäykistetty palkki



Tuella vahvistetut palkit

Kuva 2.1
Pilari-palkkijärjestelmä



Kuva 2.2

Harjapalkki noudattaa hyvin momenttipintaa kaksitukisessa vapaasti tuetussa palkissa. Harjapalkki onkin materiaalin käytön kannalta taloudellisempi ratkaisu kuin tasakorkea palkki.

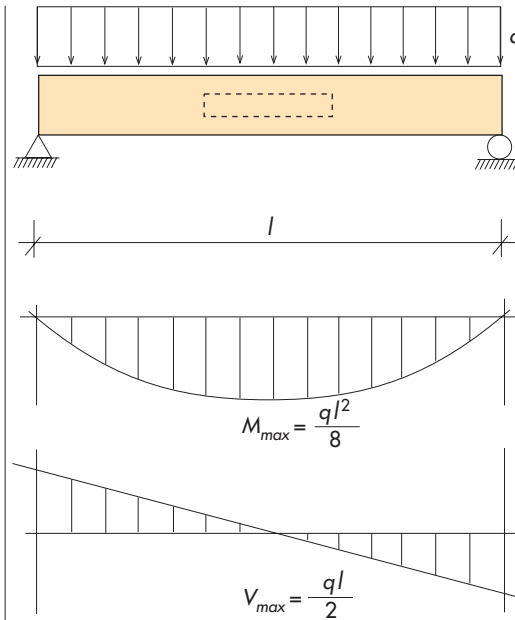
nurjahduspituus on sama kuin pilarin pituus.

Yleensä rakennuksen muotoilu mahdollistaa sen, että pilarin päät voidaan luonnollisella tavalla sitoa esimerkiksi liittyvään kattorakenteeseen. Matalissa (3–4 metriä korkeissa) rakennuksissa on parasta kiinnittää pilarit jäykästi perustuksiin stabiliteetin saavuttamiseksi. Perustukset täytyy silloin mitoittaa esiintyvälle momentille. Korkeammissa rakennuksissa on parempi käyttää ristiharustusta tai niin kutsuttua tuuliristikkoa (katso luku 12. Rungonjäykistys).

2.2 Jatkuvat palkit

Useampiaukkoiset palkit tai ulokepalkit mahdollistavat tehokkaamman materiaalinkäytön kuin yksiaukkoiset vapaasti tuetut palkit. Tehokkuusastetta voidaan lisätä myös sisätuen palkkikorkeutta lisäämällä (katso kuva 2.4).

Jatkuvat palkit toteutetaan parhaiten niin sano-

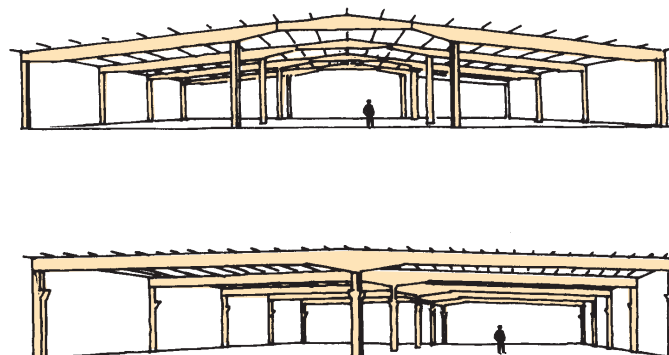


Kuva 2.3

Ulkoiset momentit ja leikkausvoimat yksiaukkoisessa vapaasti tuetussa palkissa kuormitettuna tasaisesti jakautuneella kuormalla.

tulla Gerber-systeemillä. Jatkokset muotoillaan silloin niveliksi (saranatyyppejä) ja sijoitetaan siten, että momentin jakauma on suotuisa ja kuljetuspituudet sopivat.

Jatkuvien palkkien järjestelmät ovat sopivia kattorakenteissa, esimerkiksi sekundääripalkeissa (katto-orret).

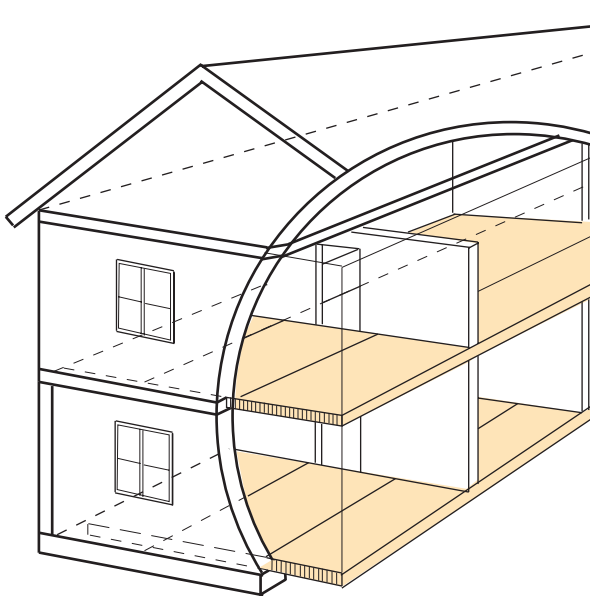


Kuva 2.4

Jatkuvia palkkeja.

2.3 Massiivivälipohjat

Liimapuuelementistä tehty massiivivälipohja on varsinkin puukerrostaloissa hyvä vaihtoehto betonivälipohjalle tai erilaisille kevytvälipohjille. Rakenne koostuu makuullaan olevista liimapuuelementeistä. Yksittäiset elementit voidaan kytkeä toisiinsa jälkijännitetyillä terästangoilla, jotka ovat kohtisuoraan lamelleja vastaan. Poikkitaikieristys antaa tietyn laattavaikutuksen, joka parantaa jäykkyyttä ja mahdollistaa välipohjan käytön runkoa jäykistävänä levynä. Lisäksi se vähentää poikkitaista kosteuselämistä sekä varmistaa välipohjan hyvät palo- ja ääni-eristysominaisuudet. Jos ääni-eristys on tärkeä asia pitää lisäksi asentaa myös pintalattia ja/tai alakatto.



Kuva 2.5
Massiivivälipohja.

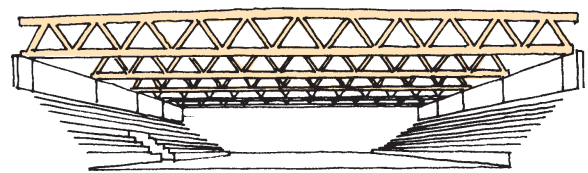
2.4 Ristikot

Suurissa jänneväleissä, joissa massiivipalkit ovat usein liian kömpelöitä ja vievät paljon materiaalia, voi tarkoituksenmukainen vaihtoehto olla ristikko. Tämä koskee varsinkin pieniä kattokulmia, joissa rakennekorkeus ei ole kovin rajoitettu.

Ristikon etuna on, että se voidaan valmistaa tehtaalla sopivina kuljetusyksikköinä, jotka kootaan rakennuspaikalla. Haittana voidaan pitää monimutkaisia nurkkapisteitä. Arkkitehdin on hyvä osallistua ristikon (erityisesti nurkkaliitoksien ja muiden detaljien) muotoiluun.

Piilotetut kiinnitysosat antavat hyvän palosuojan ja ovat lisäksi siroja ratkaisuja.

Installaatiot voidaan usein sijoittaa esimerkiksi lähelle yläpaarretta tai alapaarreen yläpuolelle, joten ne eivät ole näkyvä haitta huonetilassa. Huonetila voi seurata yläpaarretta ja sisäpinta lämpöeristettyä kattorakennetta. Puristetut sauvat on mahdollista tehdä liimapuusta, jossa koko poikkileikkaus hyödynnetään, kun taas vedetyt sauvat voivat olla terästä. Rakennekorkeus on tällöin ala- ja yläpaarreen systeemiväli. Näin arkkitehti saa vapaasti kokeilla rakennekorkeutta.



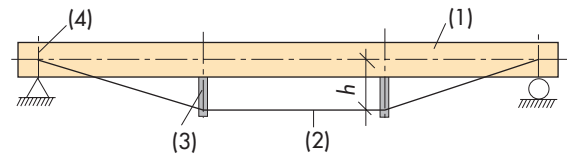
Kuva 2.6
Ristikko.

2.5 Kolminivelkattotuolit

Kolminivelkattotuolit tai jäykistetyt palkit voivat olla hyvä ratkaisu, kun jännevälivaatimus estää massiivipalkkien käytön ja kaaret tai keuhat eivät tule kysymykseen.

Yksinkertaisimmillaan kolminivelkattotuoli koostuu kahdesta palkista, jotka kallistuvat toisiaan vastaan ja ovat nivelellisesti harjalla kiinnitetty toisiinsa. Myös palkkien alapäävät ovat nivelellisesti tuetut tai kytketyt toisiinsa usein teräksisillä vetotangoilla (katso ylempi osakuva 2.7). Jälkimmäisessä tapauksessa kattotuolit asennetaan yleensä pilarien varaan, mutta vetotanko voidaan myös valaa kiinni lattia rakenteeseen. Palkit ovat tavallisesti suoria ja tasakorkeita, mutta niiden muoto voi vaihdella.

Jäykistettyä palkkia voi pitää massiivipalkin ja ristikon välimuotona. Nurkkapisteitä on kuitenkin vähemmän, ja ne ovat muodoltaan yksinkertaisempia kuin ristikossa. Monet yritykset kehittävät sopivia teräsdetaljeja, kuten veto-



Kuva 2.8

Esimerkki jäykistetyistä palkista.

(1) Palkki

(2) Vetotanko

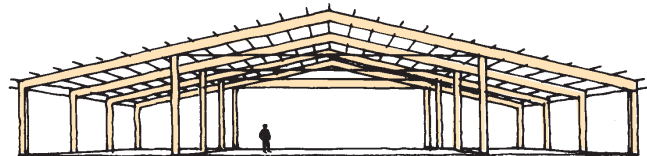
(3) Puristusparre

(4) Piilotetut tai pintaan sijoitetut kiinnitysosat

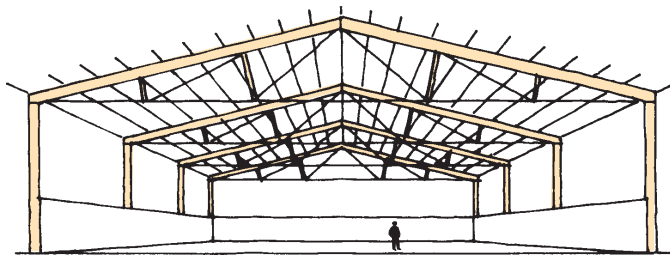
tankoja ja liitososia.

Usein erilaisia perusmuotoja yhdistellään. Keskimmäisessä osakuvassa 2.7 on esimerkki jäykistetyin palkin ja kolminivelkattotuolin yhdistelmästä.

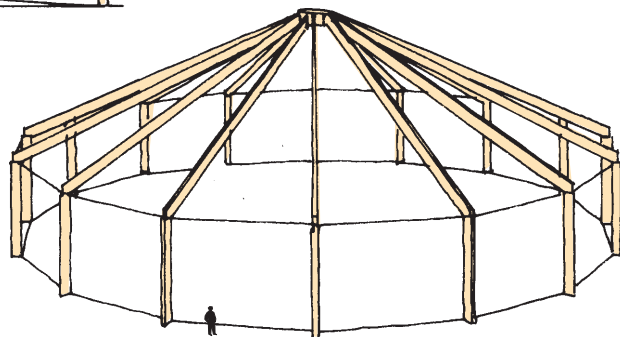
Kolminivelkattotuoleja voidaan muotoilla niin sanotuiksi avaruusrakenteiksi. Kattopalkit sijoitellaan säteittäin yhteisestä harjapisteestä, ja vetotanko korvataan monikulmaisella vetorenkalla, joka sitoo nurkkapisteet ulkoreunoistaan (alin kuva 2.7).



Kolminivelkattotuolit, joissa vetotanko keskiaukossa



Vetotangolliset kolminivelkattotuolit



Vetorenkalliset kolminivelkehät

Kuva 2.7
Kolminivelkattotuolit.

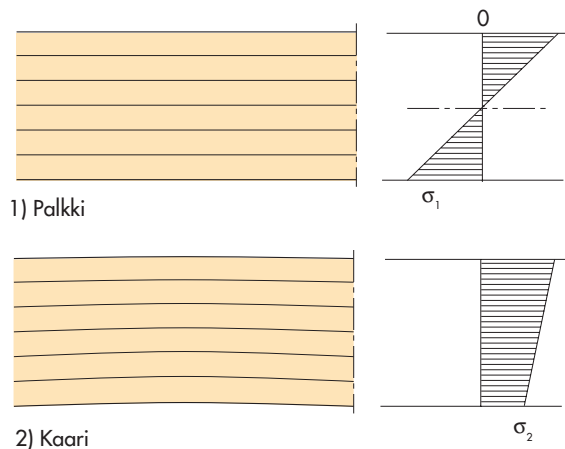
2.6 Kaaret

Liimapuu on monipuolinen rakennemateriaali. Siitä on helppo tehdä kaarevia rakenteita, esimerkiksi kaaria, kehiä tai kuoria. Jokaiselle kuormitustyyppille voidaan valita tarkoituksenmukaisin muoto, niin sanottu puristuslinja. Kaari, joka noudattaa puristuslinjaa ja jota kuormitaan vain pystysuorin kuormin, saa ainoastaan puristusrasituksia koko pituudeltaan. Tasaisesti jakautuneella kuormalla puristuslinjasta tulee paraabeli, pistekuormista monikulmio.

Koska kaarirakenteissa materiaalia voidaan tehokkaammin käyttää hyväksi, kaaren rakennekorkeudeksi tulee vain noin 1/3 h palkkiin tarvittavasta korkeudesta samalla jännevälillä ja kuormalla. Palkin ja kaaren toimintatapaero esitetään kuvassa 2.10.

Muotoilumahdollisuuksien ja korkean lujuuden takia liimapuurakenteet ovat erittäin käyttökelpoisia, jos jännevälit ovat suuria. Liimapuurakenteilla on toteutettu kaaria, joiden jänneväli on yli 100 metriä.

Ympyräkaari on tavallisin kaaren muoto. Suurissa jänneväleissä voi paraabelikaari kuitenkin olla parempi vaihtoehto. Vapaan korkeuden lisäämiseksi tuen lähellä ellipsi- tai muu kaari-muoto voi olla parempi. Tarvittava vapaa kor-



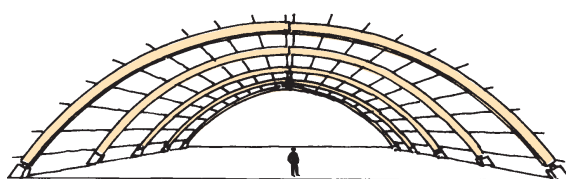
Kuva 2.10

Taivutetun palkin (1) taivutusjännitykset vaihtelevat palkkikorkeuden mukaan. Puristusta kehittyä yläreunaan ja vetoa alareunaan. Poikkileikkauksen keskellä jännitys = 0. Kaari (2) saa palkista poiketen puristusjännityksiä koko poikkileikkauksen pituudelta.

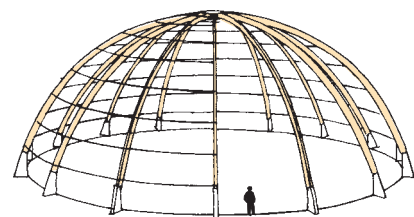
keus voidaan saavuttaa myös asentamalla kaari pilarien päälle.

Kaari vaatii kiinnitetyt tuet, jotka voidaan tehdä liittyvillä rakenteilla, perustuksilla tai erityisillä vetotangoilla. Vetotangot voidaan sijoittaa näkyville tai hallirakennuksissa lattiarakenteisiin.

Tuen avulla kaaret tehdään tavallisesti nivellisesti kiinnitettyinä, ja useimmiten myös har-



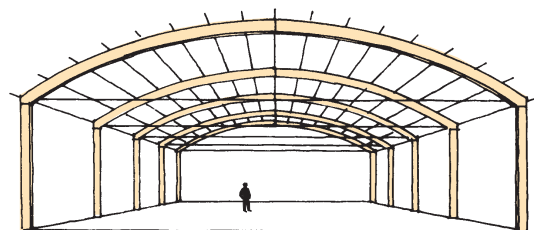
Kolminivelkaaret



Säteittäisesti sijoitetut kaaret



Paraabelikaaret



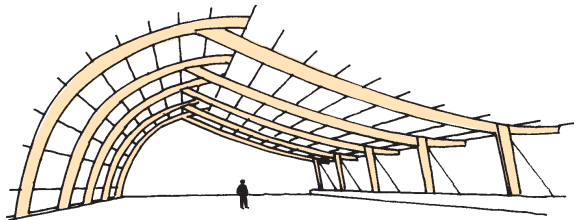
Vetotangolliset kaaret

Kuva 2.9
Kaaret

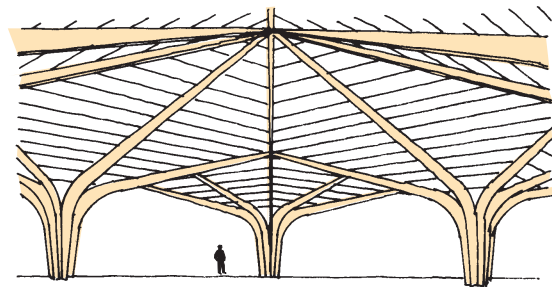
jalla nivelellisesti jatkettuina (kolminivelkaari). Suuremmissa jänneväleissä useammat jatkokset voivat kuljetussyistä olla parempia. Ne sijoitetaan silloin alueelle, jossa on pieni momentti, ja tehdään momenttijäykiksi.

Kolminivelkaaret ovat staattisesti määrättyjä, joten ne ovat yksinkertaisesti mitoitettuja ja tukien painumisen kannalta merkityksettömiä. Kaari on myös tasapainossa omassa tasossaan, joten se ei kehittä mitään kiinnitysmomenttia perustuksiin.

Jos kaaret on sijoitettu säteittäisesti ympyrälle, saadaan kupolia muistuttava rakennus. Aidosssa kupolissa hyödynnetään myös kuorivaikutusta, mikä vaatii kannattimelta erikoismuotoilua tangentin suunnassa. Suurissa jänneväleissä ja varsinkin, jos peitettävä pinta on laaja useammassa suunnassa, kupoli voi olla taloudellisesti järkevä ratkaisu. Tacomassa USA:ssa on liimapuusta tehty kupoli, jonka jänneväli on yli 160 metriä.



Kehien yhdistelmä, joissa on erilaiset kaarevuudet



Kolmidimensionaalisesti järjestetyt puolikaskehät

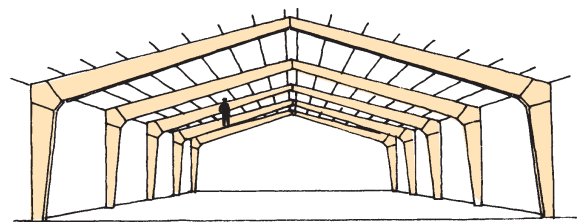
Kuva 2.11
Kehät

2.7 Kehät

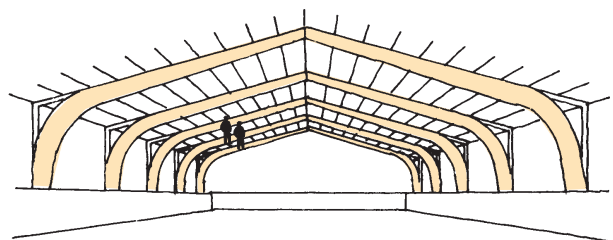
Toiminnallisista, esteettisistä tai muista syistä voidaan toisenlaista kaarimuotoa usein pitää parempana ratkaisuna kuin materiaalin käytön kannalta tehokasta paraabelikaarta tai ympyräkaarta. Jos koko rakennuksen alalla vaaditaan tiettyä vapaata korkeutta, valitaan usein liimapuulle ominainen kolminivelkehä kaarevine kehänurkineen. Rakennustilavuuden tehokas käyttö puolestaan edellyttää jyrkkää kehänurkkaa.

Rakennuksen toimintaa parannetaan molemmissa tapauksissa jonkin verran vähemmän materiaalin käytön kustannuksella. Kolminivelkehällä on yleensä samat edut kuin kolminivelkaarella: yksinkertainen mitoitus ja perustus. Se on erittäin sopiva, jos maaperä on huono, koska se ei kehittä kiinnitysmomenttia perustuksiin kunhan muistetaan ottaa huomioon kehärakenteesta syntyvät vaakavoimat.

Perinteinen muoto on symmetrinen. Mielenkiintoisia tilaratkaisuja voidaan kuitenkin saada muiden rakennuselementtien yhdistelmillä – tavutetuilla tai suorilla – tai puolikehien kolmiulotteisilla järjestelyillä.



Kehät, joissa on sormijatkettut kehänurkat

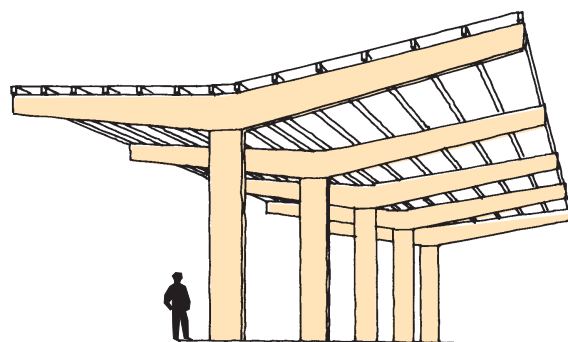


Kaarevat kehänurkat

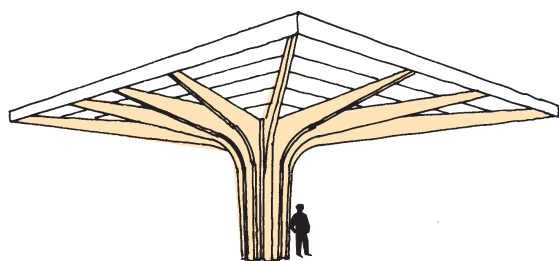
2.8 Ulkkeet

Usein rakennuksen toiminta vaatii, että toinen tai molemmat pitkät sivut ovat avoimia ja pilarittomia. Tällaisia rakennuksia ovat esimerkiksi ulkoilmanäyttämöt, asemalaiturien katot ja katsomolehterit.

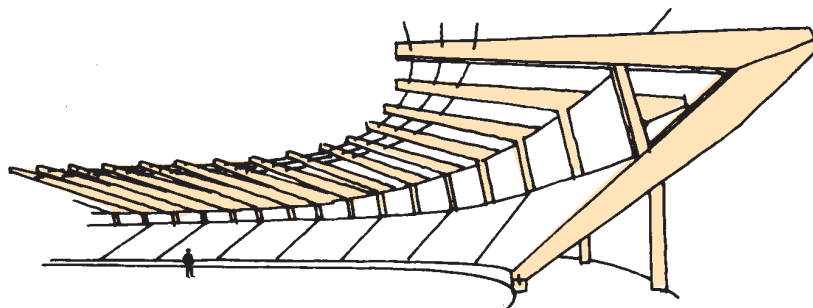
Liimapuuteknikka tarjoaa ratkaisuja, joissa käytetään ulokkeellisia suoria palkkeja tai taivutettuja ulokkeita (puolikehä). Molemmissa tapauksissa merkittävä kiinnitysmomentti täytyy viedä liittyviin rakenteisiin, joten momentti täytyy ottaa huomioon.



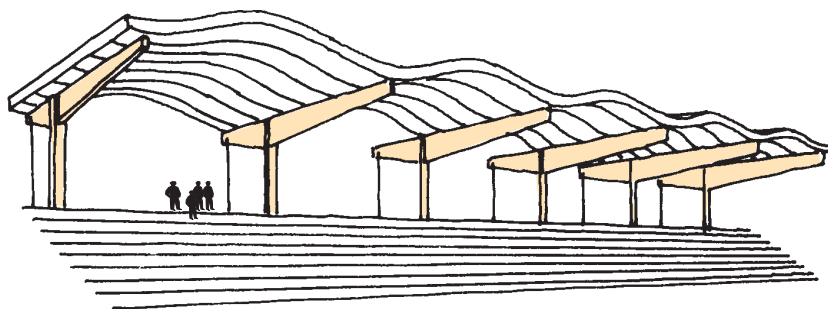
Katos kiinnitetyn pilarein



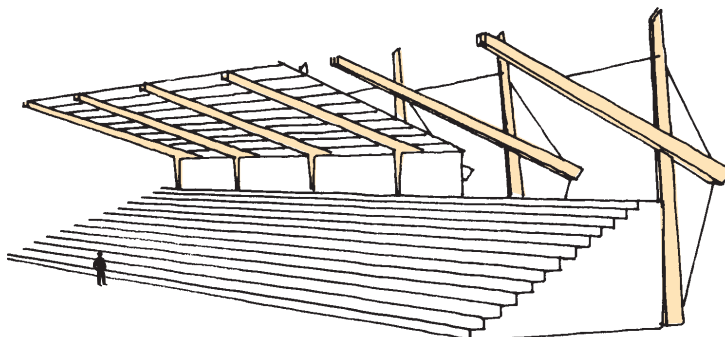
Katos ulokepilarein



Katsomo



Takaakiinnitetyt katsomokonsolit



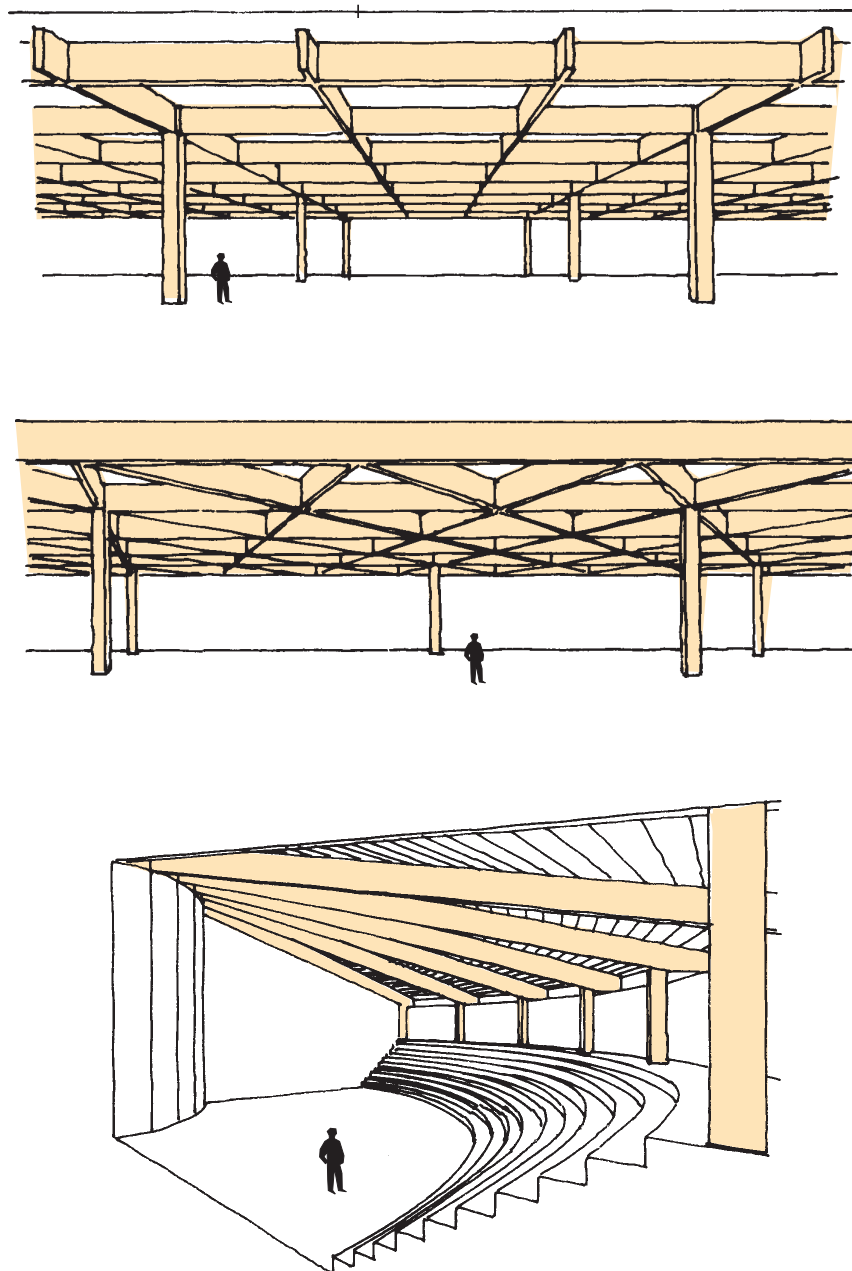
Takaakiinnitetyt katsomokonsolit

Kuva 2.12
Ulokkeet

2.9 Arinat

Palkit voidaan järjestellä säteittäin tai arinaksi. Jälkimmäinen rakennetyyppi kantaa useammas-
sa suunnassa ja mahdollistaa matalamman ra-
kennekorkeuden kuin perinteinen palkkisyste-
mi. Käyttökelpoisuuteen vaikuttavat kuitenkin

monet suhteellisen monimutkaiset liitokset. Par-
haiten systeemin etuja hyödynnetään, jos jän-
nevälit/pilarijaot valitaan yhtä suuriksi kaikissa
suunnissa.



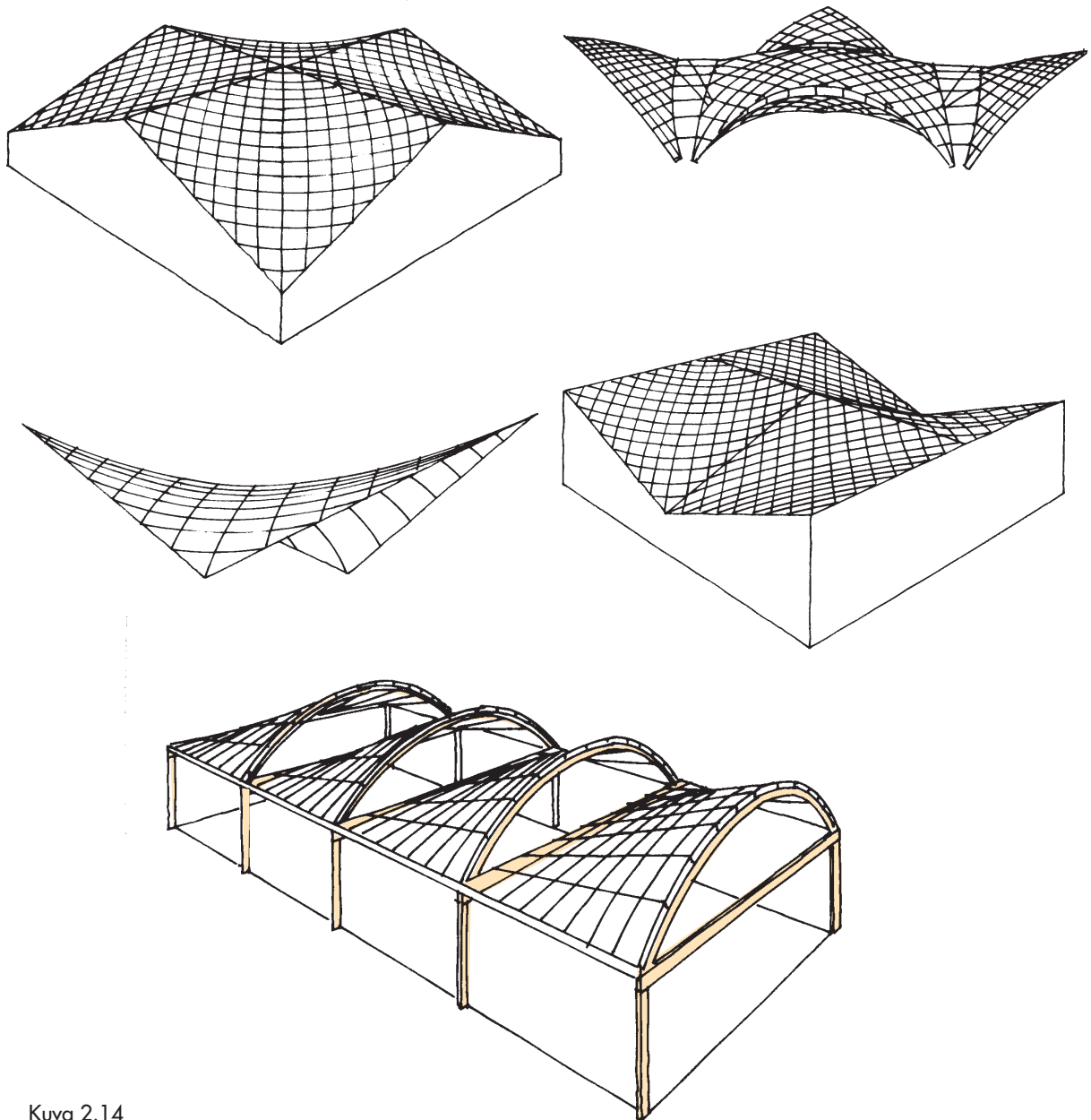
Kuva 2.13
Arina (ylin ja keskellä) ja säteittäisesti sijoitetut palkit (alin).

2.10 Kuorirakenteet

Kuorirakenteet mahdollistavat rohkean muotoilun ja suuret pilarittomat alueet. Useita kuori-elementtejä yhdistämällä voidaan saada valtava määrä erilaisia kattomuotoja.

Erilaisista kuorirakenteista kupoli mainittiin jo kaarien yhteydessä. Tavallisia tyyppejä ovat

myös konoidi- ja niin sanottu HP-kuori (hyperbolinen paraboloidi). Nämä voidaan tehdä suorista linjoista, ja ne on siksi helppo rakentaa yhdestä tai useammasta puupaneelikerroksesta tai profiilipelistä.



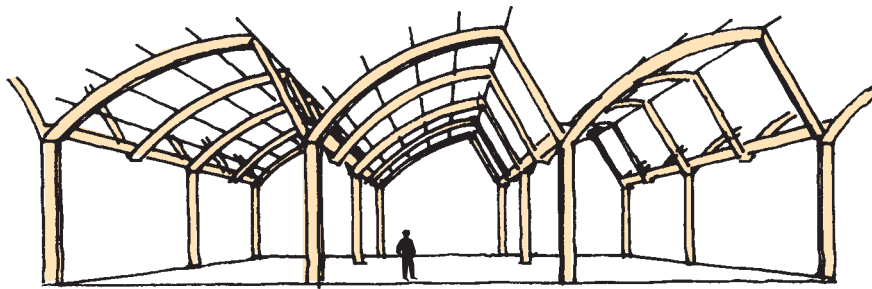
Kuva 2.14
Kuorirakenteita.

2.11 Yhdistelmärakenteet

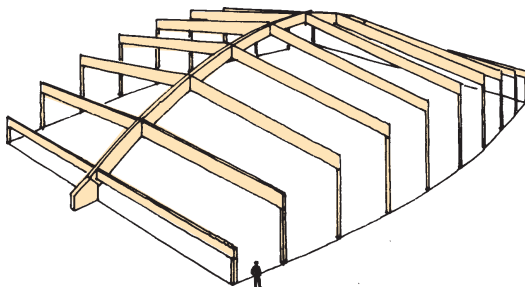
Erilaisten staattisten järjestelmien yhdistelmät tarjoavat usein tyylikkäitä ratkaisuja.

Runsaan päivänvalon toivomus voidaan täyttää sahakattorakenteella, joka koostuu jatkuvien palkkien varaan asennetuista kolminivelkattotuoleista.

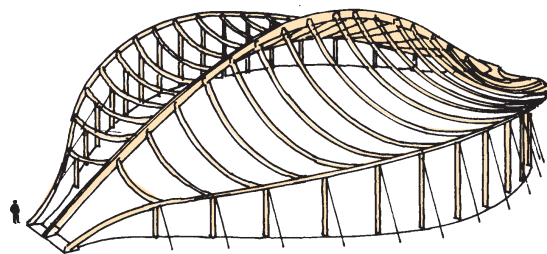
Hankalat perustamisolosuhteet voidaan hallita keskittämällä tukireaktiot harvoin pisteisiin, jotka vahvistetaan. Yhdistetyissä kaari-palkkirungoissa viedään pääosa kattokuormista alas kaaren alkupäähän.



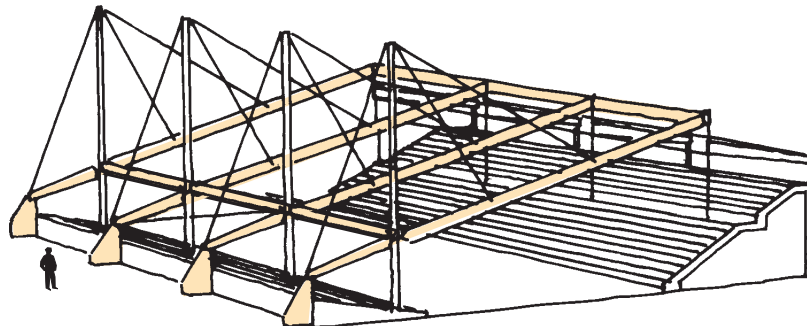
Sahakattorakenne



Kaari-palkkirunko



Kaari-palkkirunko



Riippurakenne

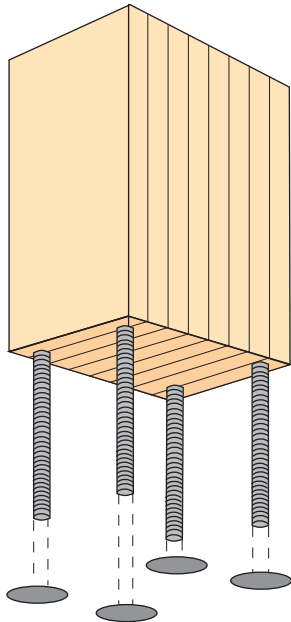
Kuva 2.15
Yhdistelmärakenteet.

2.12 Liitoselimet ja liitosdetaljit

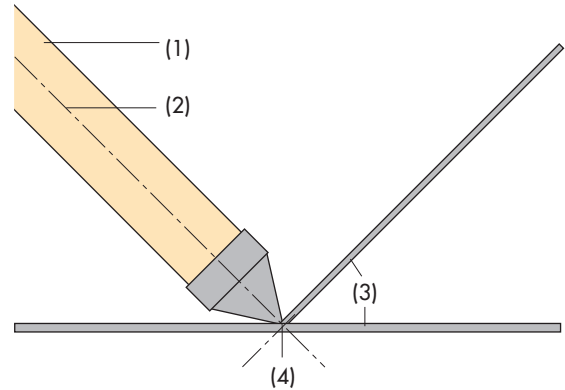
Liimapuurakenteet ovat usein näkyviä, ja siten oleellinen osa rakennuksen arkkitehtuuria. Tämä koskee varsinkin liitoselimiä ja -detaljeja. Arkkitehdin onkin kiinnitettävä näiden muotoiluun erityistä huomiota.

Aiemmin solmupisteet oli yleensä muotoiltu siirtämään puristusvoimia, ja ne saattoivat ainoastaan rajoitetusti siirtää vetovoimia. Liitokset ja nurkkapistet tehdään nykyään tavallisimmin naulaamalla, ruuvaamalla ja erityyppisillä teräsosilla, ja ne voivat siirtää sekä puristus- että vetovoimia.

Teräслиitos siirtää voimia keskitetyemmin ja määritellymmällä tavalla kuin vanhemmat puuliitostyytit. Nivel, kahden rakenne-elementin liitos ilman momentinottoa, voidaan todellisuudessa muotoilla niveleksi.



Kuva 2.16
Esimerkki sisäänliimatuilla teräksillä kiinnitetystä pilarista.



Kuva 2.17
Systeemilinjojen täytyy kohdata yhdessä pisteessä, muuten momentti kehittyy solmupisteeseen.

- (1) Puristussauva
- (2) Systeemilinja
- (3) Vetosauva
- (4) Teoreettinen solmupiste.

Solmupiste sijoitetaan yleensä systeemilinjojen risteyskohtaan (nivelpiste) siten, että vältetään ei-toivottu momentti solmupisteessä.

Teräksisten kiinnitysosien muotoilussa on usein rakenteellisia rajoituksia, kuten pintapaine teräksen ja liimapuun välillä.

Liitoselimet voidaan sijoittaa puun sisälle tai päälle, ja ne toimivat nivelenä tai momenttia ottavana. Liitosesimerkkejä ovat:

- perustusliitokset
- tukiliitokset, kuten pilari-palkki tai palkki-palkki
- solmupisteet eli liitokset ja samaan pisteeseen liittyvä liimapuuelementin tai vetotangon yhteenliittäminen.

Saatavilla on käyttökelpoisia vakioliitososia, kuten naulauslevyjä, kulmarautoja, palkkikenkiä ja sideteräksiä. Tavallisesti kuitenkin voimat ja liimapuupoikkileikkaukset ovat niin suuria, että teräслиitokset on parempi valmistaa konepajalla.

Teräsosien mahdolliset palosuojavaatimukset on otettava huomioon. Piilotetut teräслиitososat ovat yleensä paremmin palosuojattuja kuin pintaan asennetut (katso luvut 13 ja 14).

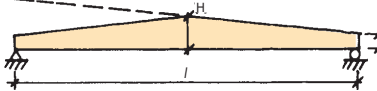
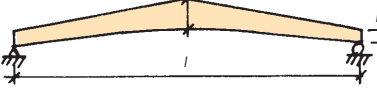
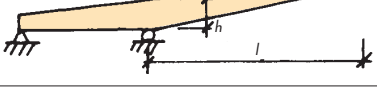
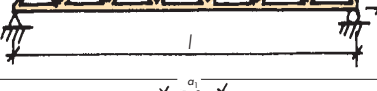
2.13 Yleiskatsaus, taulukko

Taulukon 2.1 yleiskatsaus käsittelee vain kaikkein tavallisimpia rakennejärjestelmätyyppejä. Suunnittelun helpottamiseksi on esitetty suosittavia jännevälialueita ja likimääräisiä rakennekorkeuksia eri kannatintyypeille. Ne vastaavat keskiarvoja tavallisissa olosuhteissa. Pienet

teltavia jännevälialueita ja likimääräisiä rakennekorkeuksia eri kannatintyypeille. Ne vastaavat keskiarvoja tavallisissa olosuhteissa. Pienet

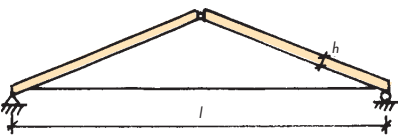
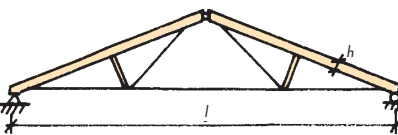
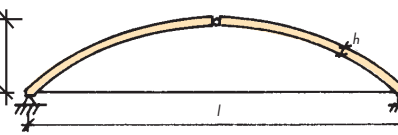
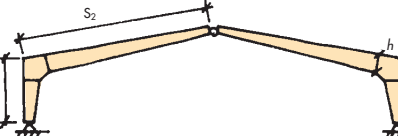
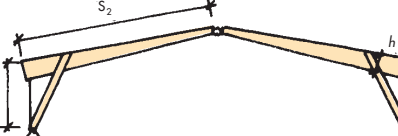
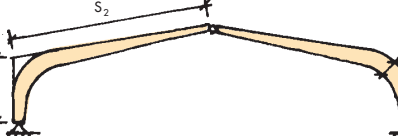
Taulukko 2.1

Liimapuurakennejärjestelmä. Suositellut kattokaltevuudet ja jännevälit. Likimääräinen poikkileikkauksen korkeus tavanomaisella kuormituksella.

Systemi	Kuvaus	Sopiva kattokaltevuus	Sopiva jänneväli (m)	Poikkileikkauksen korkeus
	Suora kaksitukinen palkki	$\geq 3^\circ$	< 30	$h \sim \frac{l}{17}$
	Suora alapuolelta jäykistetty kaksitukinen palkki	$3-30^\circ$	< 50	$h \sim \frac{l}{40}$ $H \sim \frac{l}{12}$
	Kaksitukinen harjapalkki (pulttipalkki)	$3-10^\circ$	$10-30$	$h \sim \frac{l}{30}$ $H \sim \frac{l}{16}$
	Kaksitukinen bumerangipalkki	$3-15^\circ$	$10-20$	$h \sim \frac{l}{30}$ $H \sim \frac{l}{16}$
	Suora jatkuva palkki	$\geq 3^\circ$	< 25	$h \sim \frac{l}{20}$
	Suora viisteellinen jatkuva palkki	$\geq 3^\circ$	< 25	$h \sim \frac{l}{24}$ $H \sim \frac{l}{16}$
	Kaksitukinen ulokepalkki	$< 10^\circ$	< 15	$h \sim \frac{l}{10}$
	Suora kaksitukinen ristikkopalkki	$\geq 3^\circ$	$30-85$	$h \sim \frac{l}{10}$
	Kohtisuora palkkiarina	$\geq 3^\circ$	$12-25$	$h \sim \frac{l}{20}$ ($a = 2,4 - 7,2$ m)

kuormat tai pieni keskeltä-keskelle väli yksiköiden välillä antaa jonkin verran pienemmän poikkileikkauskorkeuden kuin mitä taulukko esit-

tää ja samoin päinvastoin. Rakennejärjestelmän valintaan vaikuttavat usein erilaiset tuotanto- tai kuljetustekniset rajoitukset (katso kohta 1.4).

Systeemi	Kuvaus	Sopiva kattokaltevuus	Sopiva jänneväli (m)	Poikkileikkauskorkeus
	Kolminivelkattotuoli vetotangolla tai ilman	$\geq 14^\circ$	15 - 50	$h \sim \frac{l}{30}$
	Vetotangollinen kolminivelkattotuoli alapuolisin jäykistein	$\geq 14^\circ$	20 - 100	$h \sim \frac{l}{40}$
	Kolminivel- (kaksinivel-) kaari vetotangolla tai ilman	$\frac{f}{l} \geq 0,14$	20 - 100	$h \sim \frac{l}{50}$
	Kolminivelkehä sormijatketulla kehänurkalla	$\geq 14^\circ$	15 - 25	$h \sim \frac{s_1+s_2}{13}$
	Kolminivelkehä yhdistetyllä kehänurkalla	$\geq 14^\circ$	10 - 35	$h \sim \frac{s_1+s_2}{15}$
	Kolminivelkehä kaarevalla kehänurkalla	$\geq 14^\circ$	15 - 50	$h \sim \frac{s_1+s_2}{15}$
	Puolikehä nivelpilarilla	$\geq 20^\circ$	10 - 25	$h \sim \frac{l}{25}$
	Hyperpoloidinen paraboloidikuori (HP-kuori)	$\frac{f_1+f_2}{l_1+l_2} \geq 0,2$	$l_1 \sim l_2$ 15 - 60	$h \sim b \sim \frac{l}{70}$ (reunapalkit)

3. Mitoitusmenetelmiä

3.1 Yleistä 43

3.2 Osavarmuuskerroinmenetelmä 43

3.2.1 Kuormavaikutus 44

3.2.2 Varmuusluokat 44

3.2.3 Kuormatypit 44

3.2.4 Kosteusluokat 45

3.2.5 Murtorajatilamitoitus 45

3.2.6 Käyttörajatilamitoitus 46

3.3 Esikorotussuosituksia ja taipuman rajoituksia 47

3.3.1 Esikorotus 47

3.3.2 Taipuma 47

Universeum – tiedekeskus, Göteborg, Ruotsi.
Arkkitehti: Gert Wingårdh Arkitekter AB, Göteborg.
Rakennesuunnittelija: Flygfältsbyrån AB, Göteborg.

Kuva: Gösta Wendelius

3. Mitoitusmenetelmiä

Kantavien rakenteiden mitoitusohjeilla pyritään ensisijassa rajaamaan rakennemurtumien synnyttämiä riskejä, jotka voivat johtaa vakaviin henkilövahinkoihin. Rakennuksen käyttäjän täytyy tuntea olonsa turvalliseksi. Mitoitusohjeilla varmistetaan rakennuksen toimivuus normaalissa käytössä esimerkiksi asettamalla vaatimuksia palkkien jäykkyydelle.

Rakentamismääräyskokoelman B10 tai Eurocode 5:n (EC 5) vaatimuksia. Osavarmuuskertoimen menetelmää sovelletaan kantaviin rakenteisiin useimmissa Euroopan maissa. Menetelmä sisältää kaksi rajatilaa: murtorajatilaa ja käyttörajatilaa, joille rakenteet tarkistetaan. Murtorajatilassa tarkistetaan rakenteen riittävä varmuus murtoa vastaan. Käyttörajatilassa tarkistetaan rakenteen muodonmuutokset, niin että ne täyttävät niille asetetut toimintavaatimukset. Esimerkkinä muodonmuutoksesta on taipuma. Eurocode 5 edellyttää, että:

- pätevät ja kokeneet henkilöt suunnittelevat rakenteet
- tehtaat, työpajat ja rakennuspaikat ovat riittävän valmistuskontrollin alaisia
- rakennusmateriaaleja ja -tuotteita käytetään kuten EC 5:ssä tai vastaavissa materiaali- ja tuoteselosteissa on esitetty
- rakennusta huolletaan
- rakennusta käytetään kuten suunnittelussa on edellytetty

3.1 Yleistä

Koska rakenteen käyttäytyminen on usein erilaista normaalissa käytössä kuin murren tilassa, poikkeavat käyttörajatilan ja murtorajatilan mitoitus toisistaan. Rajatilalla tarkoitetaan tilaa, jossa rakenne tai rakenteen osa täyttää juuri ja juuri sille asetetut vaatimukset.

Murtorajatilan mitoituksessa vaaditaan, että rakenteella on riittävä varmuus murtoa vastaan niin kauan kuin rakennetta käytetään suunnittelussa tarkoituksessaan. Riittävä varmuus määritellään voimassa olevissa normeissa.

Käyttörajatilamitoitukselle asetetaan normeissa harvoin ehdottomia vaatimuksia. Usein tyydytään suosituksiin ja annetaan rakennuttajan tai hänen asiantuntijansa eli suunnittelijan lopullisesti päättää, mikä on hyväksyttävää. Näin voidaan välttää sidottujen vaatimusten mukaiset kohtuuttomat ja epätaloudelliset rakenteet.

Raja-arvon, esimerkiksi rakennemurtuman, saavuttamisen riski riippuu siitä, kuinka epävarmoja ovat ne tekijät, joiden pohjalta laskelmat on tehty:

- todennäköisyys, että oletettu kuorma ylittyy
- todennäköisyys, että laskettu kantokyky alittuu

Riski, että rakennemurtuma johtaa henkilövahinkoihin, riippuu puolestaan siitä todennäköisyydestä, onko rakennuksessa ihmisiä juuri murtumahetkellä.

Sekä kuorman ulkoisia vaikutuksia että rakenteen kykyä kestää näitä vaikutuksia voidaan tarkastella satunnaisina muuttujina. Kun tunnetaan näiden muuttujien jakautumisfunktiot, voidaan laskea murtumariski käyttämällä apuna todennäköisyysteoreettisia menetelmiä. Näiden jakautumisfunktioiden tuntemus on kuitenkin puutteellista; erityisesti tämä koskee ulointa osaa, jolla on ratkaiseva vaikutus lopputulokseen. Siksi usein käytetään erilaisia standardifunktioita, esimerkiksi normaalijakaumaa ja

Weibull-jakaumaa. Tällä tavoin laskettu murtumariski on täysin teoreettinen, ja siksi menetelmä ei nykytiedon mukaan ole mitoituksessa käyttökelpoinen. Tähän vaikuttaa paljon myös laskentatyön monimutkaisuus.

Vaikka todennäköisyysteoreettiset menetelmät eivät sellaisenaan ole mitoituksessa käyttökelpoisia, yksittäisissä tapauksissa niitä voi käyttää esimerkiksi eri materiaalien tai rakennetyyppien vertailuun. Todennäköisysteoria on kuitenkin hyvä työkalu, kun tarkistetaan muita yksinkertaistettuja menetelmiä, esimerkiksi osavarmuuserroinmenetelmää.

3.2 Osavarmuuserroinmenetelmä

Osavarmuuserroinmenetelmä on todentamistapana käyttökelpoisempi kuin ehdottomat todennäköisyysteoreettiset menetelmät. Osavarmuuserroinmenetelmä on rajoittava eli sen lähtökohtana on, että yksityiskohtaiset parametrit eivät ole satunnaisia vaan niille voidaan määrittää tietty arvo. Parametriarvot (esimerkiksi osavarmuuskertoimet, kuormitus- ja lujuusarvot) määritellään kuitenkin todennäköisysteorialaskelmien pohjalta. Osavarmuuserroinmenetelmä on nykyisin kansainvälisesti hyväksytty ja sitä käytetään pohjoismaisissa puunormeissa ja yleiseurooppalaisessa Eurocode 5:ssä (EC5): Design of timber structures -normissa.

Eri metodissa käytetään useita erilaisia varmuuskertoimia eli osavarmuuskertoimia, joista jokainen ottaa huomioon laskelmaan liittyvät erityyppisten epävarmuuksien vaikutukset, esimerkiksi:

- oletettu kuorma
- laskettu kantokyky
- murtuman seurausvaikutus

Normeissa annetaan mitoituksen lähtökohdaksi asetettavat osavarmuuskertoimet sekä kuormien

ominaisarvot ja materiaalilujuudet. Näistä oletuksista lasketaan mitoituskuorma S_d ja kantokyky R_d . Murtotilassa käytetään seuraavaa mitoitusehto:

$$R_d \geq S_d \quad (3.1)$$

Käyttörajoitilassa muotoillaan mitoitus ehdot usein siten, että lasketun taipuman, halkeama-levyyden tms. on oltava pienempi kuin absoluuttinen tai suhteellinen vaadittu arvo.

Osavarmuuserroinmenetelmän soveltaminen voi vaihdella maittain. Pohjoismaissa sitä sovelletaan melko yhtenäisesti, mutta EC 5:ssä on joitakin eroja, esimerkiksi varmuusluokissa.

3.2.1 Kuormavaikutus

Kuorman vaikutuksella tarkoitetaan esimerkiksi taipumaa, taivutusmomenttia tai muuta kuormavaikutusta. Mitoitava kuormavaikutus S_d määritellään kyseessä olevan kuorman mitoitusarvon perusteella aseteltuna epäsuotuisimpiin kuormapaikkoihin.

Kuorman mitoitusarvot ovat:

$$F_d = \gamma F_k \quad (3.2)$$

missä F_k on ominaiskuorman arvo, ja γ on kuorman osavarmuuserroin, jota kutsutaan myös kuormakertoimeksi.

Yleensä rakennetta ei mitoiteta yksittäiselle kuormalle, vaan eri kuormien yhdistelmille, esimerkiksi omapainolle ja lumikuormalle. Murtorajatilassa voidaan kuormiksi siten olettaa sekä ominais- että tavallinen arvo, kun taas käyttörajoitila-arvoja laskettaessa tarkastellaan usein vain tavallisten kuorma-arvojen yhdistelmiä.

3.2.2 Varmuusluokat

Rakennemurtumien aiheuttamien vakavien henkilövahinkojen riski vaihtelee erityyppisissä rakennuksissa, sillä rakennuksilla on erilaisia käyttötarkoituksia. Rakennneosien riski riippuu rakenteen tehtävästä.

Murtumat kattopalkeissa aiheuttavat suuremman henkilövahinkoihin liittyvän riskin kuin murtumat seinäorsissa. Vastaavasti urheiluhallin kattoa kannattavan palkin osalta riski on suurempi kuin puutavarahallin.

Pohjoismaisissa rakennusnormeissa otetaan nämä erot huomioon; kantavia rakenteita varten on eri varmuusluokat, jotka riippuvat siitä, millaiset seuraukset rakennemurtumalla voi olla. Varmuusluokat ohjaavat joko varmistuksen laajuuden tai osavarmuuskertoimen arvon murtorajatilamitoituksessa. Käyttörajoitilassa sitä vastoin ei tehdä eroa varmuusluokkien välillä.

Varmuusluokkien jakoa ei tällä hetkellä sovelleta Eurocodessa eikä B10:ssä.

3.2.3 Kuormatypit

Puurakenteiden jäykkyys ja kantokyky ovat enimmäkseen riippuvaisia kuorman kestoajoista, jotka vaikuttavat rakenteeseen. Mitoittamisessa erotetaan eri kuorman kestoajat, esimerkiksi pysyvä kuorma (kuten omapaino), ja vaihtelevan suuruiset kuormat rakennuksen elinkaaren aikana. Jälkimmäiset jaetaan tavallisesti pitkäaikaisiin, lyhytaikaisiin ja hetkellisiin kuormiin. Joskus esiintyy myös tilapäisiä kuormia, esimerkiksi törmäiskuormat.

Rakennusnormeissa annetaan erilaisia lujuus- ja jäykkyysarvoja, jotka riippuvat kuorman kestoajasta.

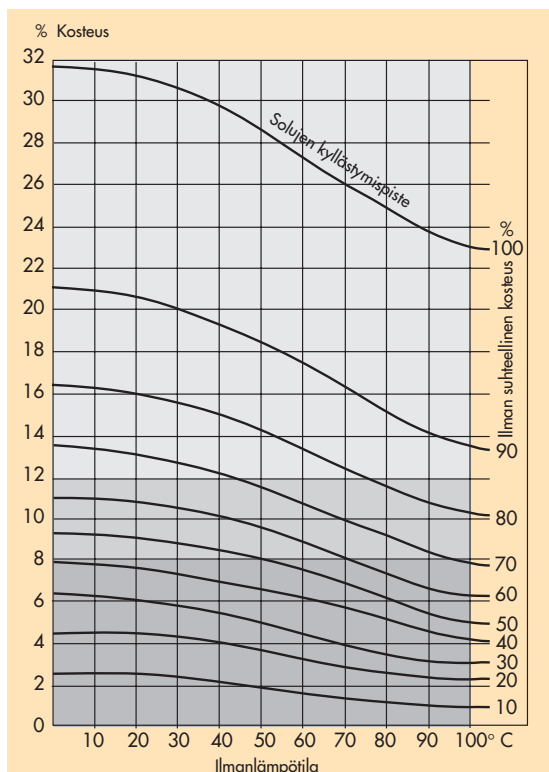
Kantokyky lasketaan ottamalla lähtökohdaksi ne materiaaliarvot, jotka koskevat kuormaa, jolla on lyhyin kesto kuormayhdistelmässä. Taipuma lasketaan sisältyvien kuormien taipumien

summana; jokainen lasketaan erikseen ottamalla huomioon yksittäisen kuorman kesto.

Kuorman kuuluminen tiettyyn aikaluokkaan tai kuormatyyppiin riippuu jossain määrin maantieteellisistä/ ilmastollisista ja kulttuurisista olosuhteista. Lumikuormaa pidetään esimerkiksi Suomessa lyhytaikaisena, Ruotsissa ja Norjassa pitkäaikaisena (tavallinen arvo) tai keskipitkinä (ominaisarvo).

3.2.4 Kosteusluokat

Puun kosteudella, kuten kuorman kestoajalla, on suuri vaikutus materiaalin lujuuteen ja jäykyyteen. Kuiva puu on sekä vahvempaa että jäykempää kuin kostea puu. Rakennusnormeissa määritellään kosteusluokat, joista jokainen liittyy rakenteille tyypilliseen kosteuden vaihteluun. Kosteusluokille annetaan eri lujuus- ja jäykkyysarvoja.



Kuva 3.1
Puun tasapainokosteus lämpötilan funktiona eri ilmankosteuksissa.

Suunnittelijan tehtävänä on selvittää jokaisessa tapauksessa erikseen, mihin ilmastoluokkaan tietty rakenne-elementti kuuluu. Rakennusnormeissa on ohjeet ja esimerkit tavallisista rakennosista. Kosteusluokkien jako on samankaltainen EC 5:ssä ja Pohjoismaiden kansallisissa normeissa.

Kosteusluokka 1: Kosteusluokkaan 1 kuuluu puurakenteen materiaali, joka on lämmitetyissä sisätiloissa tai vastaavissa kosteusolosuhteissa. Luokkaan kuuluvat myös lämmöneristyskerroksessa olevat rakenteet sekä palkit, joiden vetopuoli on lämmöneristeen sisässä.

Kosteusluokka 2: Kosteusluokkaan 2 kuuluu ulkoilmassa kuivana oleva puurakenteinen materiaali. Rakenteen on oltava katetussa tilassa sekä alta ja sivulta hyvin kosteudelta suojattu.

Kosteusluokka 3: Kosteusluokkaan 3 kuuluu kosteassa tilassa (esim. ulkona säälle alttiina) oleva puumateriaali.

Kosteusluokka 4: Kosteusluokkaan 4 kuuluu veden välittömän vaikutuksen alaisena oleva puumateriaali.

3.2.5 Murtorajatilamitoitus

Murtorajatilamitoittava kantokyky määritellään ottamalla lähtökohdaksi mitoittava lujuusarvo.

Tämä lasketaan jakamalla ominaisarvo f_k muunnetulla kuormatyyppiin ja kosteusluokan huomioon ottavalla osavarmuuskertoimella γ_m , materiaalin epävakaisuudella ja – eräiden normien mukaan – murtumaseuraamuksen osavarmuuskertoimella γ_n .

$$f_d = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_k}{\gamma_m \cdot (\gamma_n)} \quad (3.3)$$

Muuttuja k_{mod} määritellään lähtökohtana lyhytaikaisimman kuormatyyppin kesto mitoittavassa kuormitusyhdistelmässä.

Joidenkin normien mukaan taivutus- ja vetolujuus on korjattava ottamalla huomioon esiintyvät suuruusvaikutukset. Mitoitettaessa kaarevaa rakenne-elementtiä on lisäksi vähennettävä taivutuslujuutta ottamalla huomioon lamellien alkutaivutusjännitys.

Lujuuden ominaisarvot ja muuntotekijät on annettu voimassa olevissa normeissa.

Arvo γ_m riippuu muun muassa mitoittamisen ja valmistuksen valvonnan asteesta. L-merkitty liimapuu, joka on mitoitettu ja asennettu ammatillisesti, saa tavallisesti alemman γ_m arvon kuin puurakenteet yleensä.

Arvo γ_n riippuu siitä, mitä seurauksia murtuma voi aiheuttaa, ja se määritellään tapauskohtaisesti rakenne-elementtien varmuusluokasta.

3.2.6 Käyttörajatilamitoitus

Käyttörajatilassa rakenteilla täytyy olla riittävä jäykkyys, jotta ei tulisi haitallisia värähtelyitä tai sellaisia muodonmuutoksia (esimerkiksi katon kuivattamisen aiheuttamia), jotka heikentävät rakennuksen osan toimintaa. Useissa normeissa on erityisiä sääntöjä puupalkiston jäykkyyden varmistamiseksi.

Liimapuuelementin jäykkyyteen vaikuttavat geometrian lisäksi monet muut tekijät, kuten kuorman kesto, materiaalin kosteus määrä ja lämpötila. Etenkin kuorman, kosteus määrän ja lämpötilan vaihtelulla on suuri merkitys.

Kun muodonmuutoksia lasketaan, on jäykkyyteen vaikuttavat tekijät otettava huomioon siten, että normien jäykkyysarvo muutetaan ottamalla huomioon kuorman kesto ja kosteusluokka. Yleensä olennaisempaa on muodonmuutoksen oikea suuruus kuin arvo, joka tietyllä to-

dennäköisyydellä on varmalla puolella. Ominaisjäykkyysarvoihin, jotka normit antavat, liittyvät muodonmuutoslaskelmat vastaavat 50% fraktiilia, toisin sanoen keskilukua.

Kuormitustapauksissa, joissa on useampia ja vaikutusajaltaan erikestoisia kuormia, muodonmuutos lasketaan eri kuormaosien muodonmuutosten summana. Jokainen osa lasketaan sen materiaaliarvon mukaan, joka vastaa kyseessä olevan kuorman kestoaikaa.

Mitoittava materiaaliarvo käyttörajaatilassa saadaan, kun aluksi oikaistaan ominaisarvot, esimerkiksi kimmomoduuli, ottamalla huomioon kuormatyyppi ja kosteusluokka. Tämän jälkeen tulos jaetaan materiaalin epävarmuuden osavarmuuskertoimella γ_m , ja jos normit niin velvoittavat, myös murtumaseurausten osavarmuuskertoimella γ_n .

Yleensä asetetaan $\gamma_n = \gamma_m = 1,0$ käyttörajaatilamitoituksessa, ts:

$$E_d = k \cdot E_k \quad (3.4)$$

jossa k = muuntokerroin, joka ottaa huomioon kuormatyyppin ja kosteusluokan voimassa olevan normin mukaisesti

E_k = kimmomoduulin ominaisarvo muodonmuutosta laskettaessa

Muuntokerroin k lasketaan Eurocodessa muodossa:

$$k = \frac{1}{1 + k_{def}} \quad (3.5)$$

jossa hiipumaluvulle k_{def} annetaan eri arvoja eri kosteusluokissa.

3.3 Esikorotussuosituksia ja taipuman rajoituksia

Ulkonäkösyistä on aiheellista rajoittaa esimerkiksi kattopalkkien taipumat.

Taipumat, jotka ovat suuruusluokaltaan 1/300 jännevälistä, ovat näkyviä, erityisesti jos niillä on vaakasuoria vertailulinjoja. Erityyppisille tiloille on kuitenkin asetettava erilaisia ulkonäköön liittyviä vaatimuksia. Esimerkiksi varastotilojen ulkonäkövaatimukset ovat pienemmät kuin näyttelytilojen.

3.3.1 Esikorotus

Osan esiintyvistä taipumista voi poistaa valmistamalla rakenne tietyin esikorotuksin. Korotusten suuruus voidaan valita yhtä suureksi kuin laskeutu omapaino, ja vaihtuvaksi kuormaksi voidaan valita tavallinen arvo, jonka voi olettaa antavan vaakasuoran alapinnan käyttötilassa. Korotus on tarpeellinen ennen kaikkea vapaasti tuetuissa yksiaukkoisissa palkeissa, joissa jänneväli on yli 6–8 metriä. Jatkuvia palkkeja ei yleensä tarvitse esikoroittaa.

Loivissa katoissa korotus olisi aina määrättävä. Se pitäisi valita niin suureksi, että jopa täydellä lumikuormalla saadaan riittävä vietto katto-kaivoihin. Seisovat sulavedet, lumi ja jää voivat muutoin kasvattaa taipumaa ja kattopalkkien murtumariskiä. Lisäksi vuoto- ja vesivahinkoriskit ovat suuret. Pienin kattokaltevuus on 3 astetta.

3.3.2 Taipuma

Taulukossa 3.1 esitetään yleisesti suositeltavat taipumat suhteessa vapaaseen jänneväliin eri rakenne-elementeissä ja käyttöalueilla. Tietoja voidaan soveltuvien osien käyttöä myös kaariin, kehiin ja muihin rakenteisiin.

Rakenne-elementeissä, joissa ei ole esikorotusta, on lisäksi rajoitettava kokonaiskuormataipumaa, esimerkiksi 2/3 taulukkoarvoista.

Kantaviin väliseiniin liittymistä ei saa muotoilla siten, että palkisto voi vapaasti taipua ilman että se siirtää kuormia väliseiniin. Muussa tapauksessa voi seinä vaurioitua ja/tai ylikuormittaa alla olevaa palkistoa. Sekundäärirakenteet voidaan yleensä suunnitella pienemmin taipumavaatimuksin kuin primäärirakenteet. Tämä ei kuitenkaan saa johtaa esimerkiksi katemateriaalin murtumiin.

Mikäli taipumasta on haittaa yläpohjan kokonaistaipuma ei saa kuitenkaan ylittää arvoa L/200, väli- ja alapohjissa arvoa L/300 eikä asuinrakennusten lattioissa hyötykuorman aiheuttama taipuma arvoa 12 mm.

Taulukko 3.1.

Yleisesti suositeltavat taipumarajat suhteessa vapaaseen jänneväliin. Käyttörajatila

	Muuttuva kuorma	Kokonaiskuorma (tavallinen arvo)
Kattopalkit		
Teollisuus	1/200	1/150
Koulut, kaupat jne.	1/250	1/200
Lattiapalkit¹⁾		
Tavallisesti	1/500	1/300
Varastot ja muut tilat, joihin ei yleistä pääsyä	1/200	1/150
Ristikot		
Tarkka laskenta	1/250	1/200
Likimääräinen laskenta	1/500	1/400
Ulokkeet	1/250	1/200
Katto-orret		
Ilman sisäkattoa	1/250	1/200
Sisäkatoilla	1/150	1/100

¹⁾ Palkiston jäykkyys on tarkistettava myös värähtelylle.

Mälardalenin korkeakoulu, Västerås, Ruotsi.
Arkkitehti: Nyréns Arkitektkontor AB

Kuva: Max Plunger

4. Liimapuun mitoituksen erityispiirteet

4.1 Tilavuuden vaikutus 53

4.2 Kiepahdus 54

4.2.1 Suorat palkit 54

4.2.2 Kaarevat elementit 56

4.3 Kosketuspaine 57

4.4 Palkinpään lovet (lovetut palkinpäät) 59

4.4.1 Vahvistamattomat lovet 59

4.4.2 Vahvistetut lovet 60

4.4.2.1 Vanerilla vahvistaminen 60

4.4.2.2 Liimatuilla ruuveilla vahvistaminen 60

4.4.2.3 Lasikuituvahvistus 61

4.5 Reiät 60

4.5.1 Vahvistamattomat reiät 61

4.5.2 Vahvistetut reiät 62

4.5.2.1 Vanerivahvistus 62

4.5.2.2 Liimatuilla ruuveilla vahvistaminen 63

4.5.2.3 Lasikuidulla vahvistaminen 63

4.6 Liimapuun vinoon leikatut lamellit 64

4.7 Liimapuun kaarevat lamellit 64

4.8 Poikittaisvetolujuus 65

4.9 Kosteusliikkeet 66

4. Liimapuun mitoituksen erityispiirteet

Liimapuu eroaa muista rakennemateriaaleista muun muassa siten, että se elää sekä kosteuden vaihtelun että pitkäaikaisen kuormituksen mukaan. Sille on ominaista anisotrooppisuus, toisin sanoen sen materiaaliominaisuudet ovat hyvin erilaiset puun syiden suuntaan kuin poikittain syitä vastaan. Esimerkiksi vetolujuus on noin 50 kertaa suurempi puun syiden suunnassa kuin poikittain syitä vastaan. Siksi on kiinnitettävä huomiota varsinkin rakenteiden liitoskohtiin ja osiin, joissa voima muuttaa suuntaa (esimerkiksi tukipisteet ja kehänurkat).

Tässä luvussa käsitellään tekijöitä, jotka on otettava huomioon liimapuurakenteiden mitoituksessa.

4.1 Tilavuuden vaikutus

Suurten liimapuupalkkien taivutuslujuus on tietyissä olosuhteissa alhaisempi kuin pienten. Lyhytaikaisten kuormien tilavuus- tai suuruusvaikutus on melko hyvin dokumentoitu, ja Weibullin haurasmurtumateoriasta on tehty luotettavia selvityksiä.

Koska palkin pituuden ja korkeuden välinen suhde sekä palkin leveyden ja korkeuden välinen suhde vaihtelee erittäin vähän, voidaan taivutus- ja vetolujuuden tilavuuden vaikutusta puun syiden suunnassa käsitellä korkeus- ja/tai pituusefektinä. Esimerkiksi amerikkalaisissa normeissa liimapuun taivutuslujuudelle on jo useita vuosia ollut korkeudesta johtuvia korjauskertoimia. Uudemmissa amerikkalaisissa normeissa on kerroin, joka on palkkien pituuden, leveyden ja korkeuden funktio puulajien ja momenttikäyrän muodossa.

Tilavuusvaikutuksen koetulokset ja teoreettiset tutkimukset koskevat lyhytaikaista kuormitusta vakiokosteusolosuhteissa, jolloin puu käyttäytyy kimmoisena ja haurasmurto on korostunut. Toisaalta rakenteita rasittavat suuret kosteusvaihtelut. Rakenteet mitoitetaan yleensä useampien viikkojen tai kuukausien kuormille, esimerkiksi lumikuormille. Näissä todellisuutta vastaavissa olosuhteissa puumateriaalin hiipumisella on merkitystä, ja kriittisissä

palkkitilavuuksissa todennäköisesti tapahtuu tiettyjä jännitysjakautumisia. Kokeiden perusteella on toistaiseksi pystytty määrittelemään ainoastaan tilavuusvaikutusta koskevat keskiarvot.

Uusimmat tutkimukset kuitenkin osoittavat, että tilavuuden vaikutus on selvästi pienempi, jos verrataan keskiarvojen sijasta ominaisarvoja. Näihin tutkimuksiin vedoten tilavuuden vaikutus onkin osittain kyseenalaistettu.

Useimmat nykyiset normit, kuten EC 5 ja Suomen rakentamismääräyskokoelma B10, ovat ottaneet käyttöön liimapuun tilavuuden vaikutuksen. Esimerkiksi norjalaiset ja eräät muut normit eivät sitä ota huomioon.

Taivutuksessa otetaan huomioon tilavuuden ja korkeuden vaikutus kertomalla ominaislujuudet korjauskertoimella:

$$k_h = \left(\frac{h_0}{h} \right)^{\frac{1}{m}} \quad (4.1)$$

jossa h = palkin korkeus (mm)
 h_0 = 300 (mm), $m=9$

Tilavuuden vaikutus on otettava mitoituksessa huomioon eri tavoin vedon vaikuttaessa kohtisuoraan syitä vastaan kuin taivutettaessa ja vedettäessä syiden suuntaisesti (katso kohta 4.8 Poikittaisvetolujuus).

4.2 Kiepahdus

Korkeat ja hoikat rakenne-elementit, joita kuormitetaan taivutusmomentilla horisontaalisen pääakselin ympäri, voivat kiepahtaa tai kaatua kuormasta, jos niitä ei estetä kiertymästä tai taipumasta sivusuunnassa. Näin muodostuva kiepahduskuorma voi olla pienempi kuin taivutusmurtokuorma. Kiepahdusvarmuus voidaan tarkistaa osoittamalla, että

$$M_S \leq k_{crit} \cdot M_R \quad (4.2)$$

jossa M_S = murtorajatilan mitoittava taivutusmomentti

M_R = taivutuskapasiteetti, jossa on otettu huomioon lamellien käyryyden vaikutus (katso kohta 4.7)

$$k_{crit} = \begin{cases} 1,0 & \text{kun } \lambda_m \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75\lambda_m & \text{kun } 0,75 < \lambda_m < 1,40 \\ 1 / \lambda_m^2 & \text{kun } 1,40 \leq \lambda_m \end{cases} \quad (4.3)$$

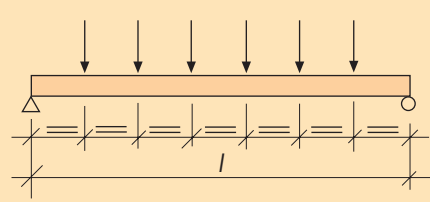
$$\lambda_m = \sqrt{\frac{f_b}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{bh^2 f_b}{6M_{crit}}} \quad (4.4)$$

f_b = laskentataivutuslujuus, jossa on otettu huomioon lamellien käyryyden vaikutus (katso kohta 4.7)

M_{crit} = kiepahdusmomentti, joka lasketaan kimmoteorian mukaan ja jossa on lujuuksien laskennassa käytettävät kimmo- ja liukumoduulit.

Taulukko 4.1

Efektiivinen palkin pituus l_e suhteessa palkin kokonaispituuteen. Vapaasti tuettu palkki, tuki sivusuuntaan vääntötuettu ja kuormitettu n kpl yhtäsuurilla pistekuormilla. Palkkien yläreunassa olevat pistekuormat estävät palkkia taipumasta sivulle kuormituskohdassa. $l_e = \lambda \frac{l}{(n+1)}$



n	1	2	3	4	5	6	≥ 7
λ	0,60	0,91	0,84	0,91	0,94	0,97	1,0

4.2.1 Suorat palkit

Vakiopoikkileikkauksellisen suoran vapaasti tuetun palkin, joka on kuormitettu vakiomomentilla ja jonka kiertyminen tuella on estetty, kriittinen momentti on:

$$M_{crit} = \frac{\pi}{l} \sqrt{EI_y \cdot GK_v} \quad (4.5)$$

jossa l = jänneväli

$$I_y = \frac{b^3 h}{12}$$

$$K_v = \frac{b^3 h}{3} (1 - 0,63b/h) \quad (4.6)$$

E, G = muodonmuutoksien laskennassa käytettävät arvot voimassa olevan normin mukaisesti.

Muissa tuenta- ja kuormitustapauksissa voidaan kriittinen momentti kirjoittaa muotoon:

$$M_{crit} = \frac{\pi}{l_e} \sqrt{EI_y \cdot GK_v} \quad (4.7)$$

jossa l_e = efektiivinen palkin pituus taulukon 4.1 tai 4.2 mukaan. Hoikkuusluvusta tulee kriittisellä momentilla ilmaistuna:

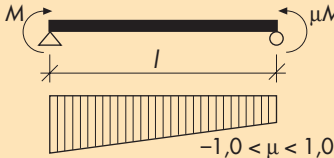
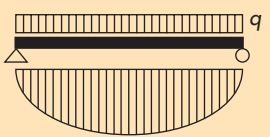
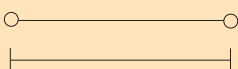
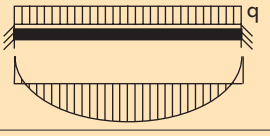
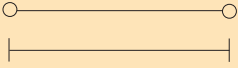
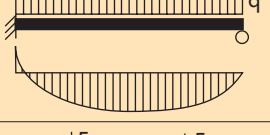
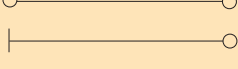
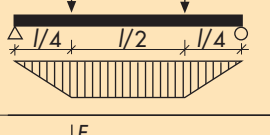
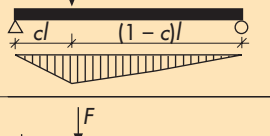
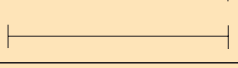
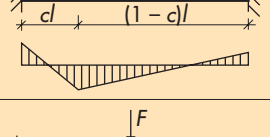
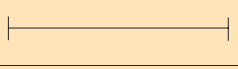
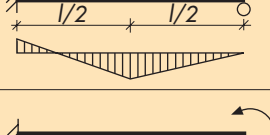
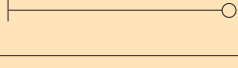
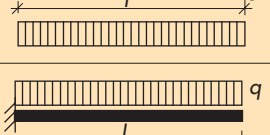
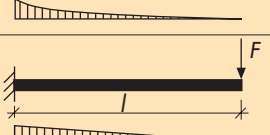
$$\lambda_m = 0,07 \frac{\sqrt{l_e h}}{b} \quad (4.8)$$

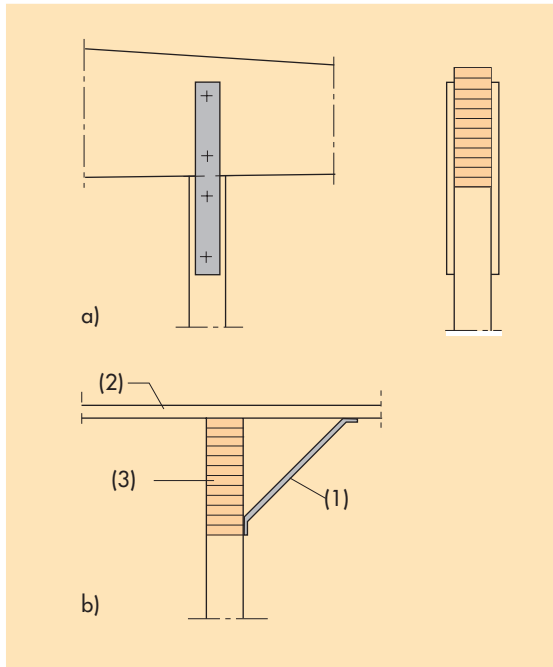
Taulukoiden 4.1 ja 4.2 kiepahduskerroin sekä kaavan 4.8 l_e poikkeaa hiukan B10:stä. Jos palkkien puristetut reunat on palkin koko pituudella tuettu sivusuunnassa esimerkiksi kattolevyllä tai profiilipellillä ja palkit on kiinnitetty tuella sivusuuntaista kiertymistä vastaan, voidaan olettaa, että $k_{crit} = 1,0$. Sivusuuntaan tukeutuvan rakenteen kiinnitys on mitoittettava tasaisesti jakautuneelle sivun suuntaiselle kuormalle kohdan 12.3 mukaisesti.

Kun palkkeja kuormitetaan sekundäripalkkeilla, jotka estävät palkin puristettua reunaa taipumasta sivulle, voidaan efektiivinen palkin pituus l_e edellä olevassa lausekkeessa λ_m laskennassa määrittää taulukon 4.2 mukaisesti. Sekundäripalkkien kiinnitykset on mitoittettava lisäkuormalle kohdan 12.3 mukaisesti.

Taulukko 4.2

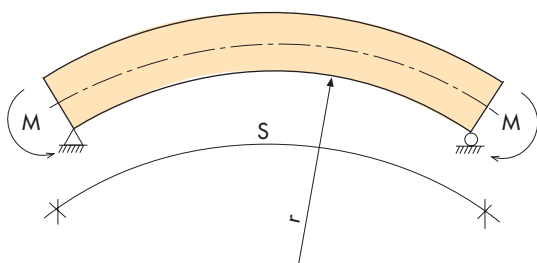
Efektiivinen palkin pituus l_e suhteessa palkin kokonaispituuteen l . Lähde: Norsk standard NS 3470.¹⁾ Jos kuorma on palkin yläreunassa, täytyy l_e kasvattaa kaksinkertaisella palkin korkeudella. Jos kuorma on palkin alareunassa, täytyy l_e vähentää puolella palkin korkeudella.

Staattinen malli	Sivusuuntaisen taivutuksen tuentatapa	l_e / l kuorman vaikuttaessa painopisteakselilla ¹⁾
		$0,60+0,40\mu > 0,40$ $0,60+0,40\mu > 0,20$
		$0,90$ $0,55$
		$0,80$ $0,70$
		$0,80$ $0,75$
		$1,00$ $0,55$
		$0,56+0,74c(1-c)$ $0,28+0,80c(1-c)$ $0,49+0,60c(1-1,42c) > 0,35$
		$0,47+0,50c(1-c)$ $0,39+0,58c(1-c)$ $0,47+0,41c(1-1,17c) > 0,35$
		$0,70$ $0,65$
		$2,00$
		$0,50$
		$0,80$



Kuva 4.1
Keskituen sivutuenta
a) U-teräksellä tai vahvalla puuliitoksella
b) vinotuella (1) orresta (2) palkin alareunaan (3).

Jatkuvat palkit voivat kiepahtaa välituilla, jos erityistä alareunan jäykistystä ei järjestetä. Jos yläreuna on jatkuvasti tuettu, voidaan hoikkuusluku λ_m laskea käyttämällä kaksinkertaista palkin korkeutta tehokkaana palkin pituutena l_e . Jos yläreuna on ainoastaan pisteittäin tuettu esimerkiksi sekundääripalkeilla, saadaan l_e :na käyttää pienempää seuraavista: joko etäisyyttä tuelta momentin nollakohtaan tai sekundääripalkkiväliä. Kun järjestetään erityinen palkin alareunan tuenta esimerkiksi kuvan 4.1 mukaisesti, saadaan l_e laskea 0,3-kertaiseksi etäisyydeksi tuelta jäykistykseen. Palkin oletetaan kaikissa tapauksissa olevan tuella estetty kiertymästä.



Kuva 4.2
Ympyräkaarellinen kaarielementti.

4.2.2 Kaarevat elementit

Kaarevat elementit voidaan käsitellä samoin kuin suorat palkit.

Yksiaukkoisen vapaasti tuetun ympyrän muotoisen kaarielementin, joka on kuormitettu jatkuvalla momentilla kuten kuvassa 4.2, kriittinen momentti voidaan laskea seuraavasti, jos sivusuuntainen kiertyminen tuella on estetty:

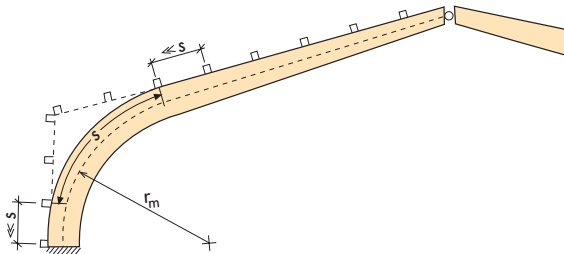
$$M_{crit} = \frac{\pi}{s} \sqrt{EI_y \cdot GK_v} \pm \frac{EI_y + GK_v}{2r} \quad (4.9)$$

$$\text{jossa } I_y = \frac{b^3 h}{12} \text{ ja } K_v = \frac{b^3 h}{3} (1 - 0,63b/h)$$

Yhtälön 4.9 plusmerkki on voimassa momentille, joka aiheuttaa vetoa kuperalle puolelle. Tietynlainen käyryys vähentää siten kiepahdusriskiä.

Kriittinen momentti ja vastaava hoikkuusluku voidaan laskea kaarevalle kehänurkalle kuvan 4.3 mukaisesti edellä olevilla kaavoilla, joissa s on väännöltä estetty kaaren pituus. Jos kaareen rajoittuvien tuentapisteiden väli on oleellisesti lyhyempi kuin kaaren pituus s (katso kuva 4.3), saadaan kiinnitysvaikutus, jonka avulla M_{crit} voidaan laskea jonkin verran redusoituna, efektiivisenä kaaren pituutena s_e .

Muulla momentinjakautumisella kuin vakio-momentilla saadaan edellä oleva kriittinen momentti kertomalla M_{crit} korjauskertoimella (suurennuskertoimella) k , joka määritellään taulukosta 4.2. Kerroin k vastaa siten suhdetta l/l_e eli käänteistä taulukkoarvoa.



Kuva 4.3
Kaarevan kehänurkan kiepahdus ja nurjahdus.

Kehänurkka on yleensä kuormitettu sekä puristusvoimalla että taivutusmomentilla. Mitoitusehdot ovat silloin:

$$\frac{\sigma_{c,0}}{k_c f_{c,0}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,x}}{k_{crit} k_r f_{m,x}} \leq 1 \quad (4.10)$$

jossa $\sigma_{c,0}$ = laskentakuormien aiheuttama puristusjännitys

k_c = nurjahduksen reduktiokerroin kohdan 5.1 mukaisesti

$f_{c,0}$ = laskentapuristuslujuus

$\sigma_{m,x}$ = laskentakuormien aiheuttama taivutusjännitys

k_{crit} = kiepahduksen reduktiokerroin

k_r = lamellikäyrityksen reduktiokerroin kohdan 4.7 mukaisesti

k_m = 0,7 suorakulmaisille poikkileikkauksille

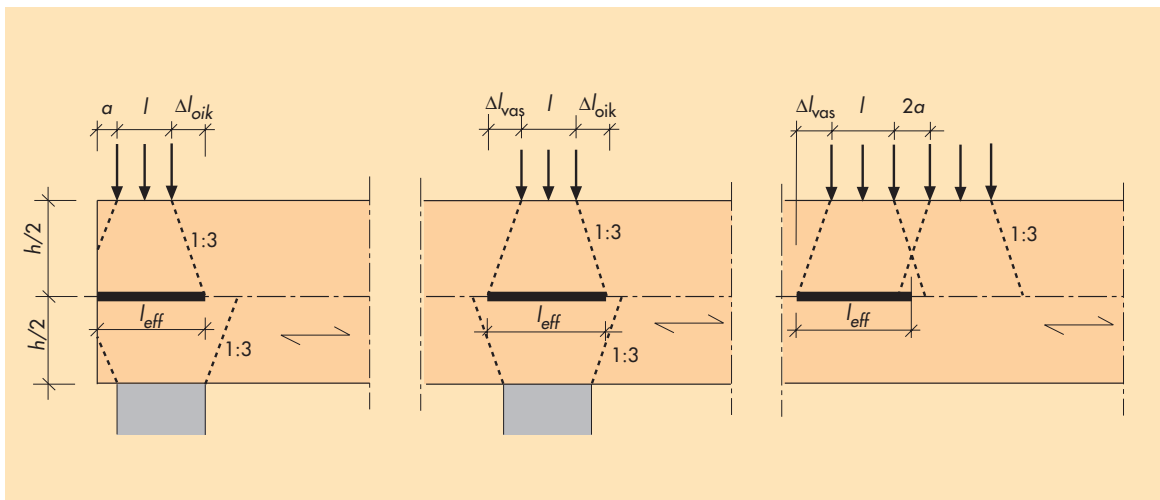
4.3 Kosketuspaine

Puristusvoimat siirretään usein suoralla kosketuksella. Yleensä koko puristuslujuutta $f_{c,0}$ voidaan käyttää, jos voiman suunta on sama kuin puunsyiden. Puristetut vastakkaiset puunpäät voivat kuitenkin tunkeutua toistensa sisään kuten kaksi juuriharjaa, joita puristetaan vastakkain. Tämän estämiseksi on hyvä lisätä liitokseen kova puukuitulevy, teräslevy tai vastaava väliosa. Muussa tapauksessa mitoitusarvo redusoidaan $0,6f_c$.

Kuormittamattomat osat estävät kuormittujen osien kokoonpuristumista kohtisuoraan puunsyitä vastaan paikallisessa puristuksessa. Jos kuormituspituus on lyhyt (syiden suunnassa mitattuna) voidaan tietyillä edellytyksillä käyttää, tehokasta kuormituspituutta l_{eff} joka on suurempi kuin todellinen kuormituspituus. RakMK B10:ssa tehollisen pituuden sijasta poikittaista puristuslujuutta korotetaan kertoimella

$$k = \begin{cases} 1 + \frac{150 - L}{150}, & \text{kun } a \geq 100 \text{ mm} \\ 1 + \frac{a}{100} \cdot \frac{150 - L}{150}, & \text{kun } a < 100 \text{ mm} \end{cases}$$

kun B10:n kuvan 5.2 edellytykset täyttyvät.



Kuva 4.4

Tehokas kuormituspituus, jossa kosketuspaine on kohtisuoraan syiden suuntaa vastaan.

Efekttiivinen pituus voidaan määritellä seuraavalla kaavalla:

$$l_{eff} = l + \Delta l_{vas} + \Delta l_{oik} \quad (4.11)$$

jossa l = todellinen kuormituspituus,
 Δl_{vas} , Δl_{oik} = kuormittamattoman osan lisäys
kuorman tai tuen vasemmalla ja
vastaavasti oikealla puolella.
Katso myös kuva 4.4.

Lisäykset Δl_{vas} ja Δl_{oik} lasketaan palkin keski-
korkeudella lähtemällä siitä, että kuorma jakau-
tuu lineaarisesti 1:3. Kuorman jakautumista ra-
joitetaan kuitenkin palkin päässä ja toisen
kuorman läheisyydessä.

$$\Delta l = \min \begin{cases} h/6 \\ a \\ l \end{cases} \quad (4.12)$$

jossa a = etäisyys palkin päähän tai puolet etäi-
syydestä seuraavaan kuormaan. Lauseke sopii
kuormituspituuteen, joka on puolet palkkikor-
keudesta.

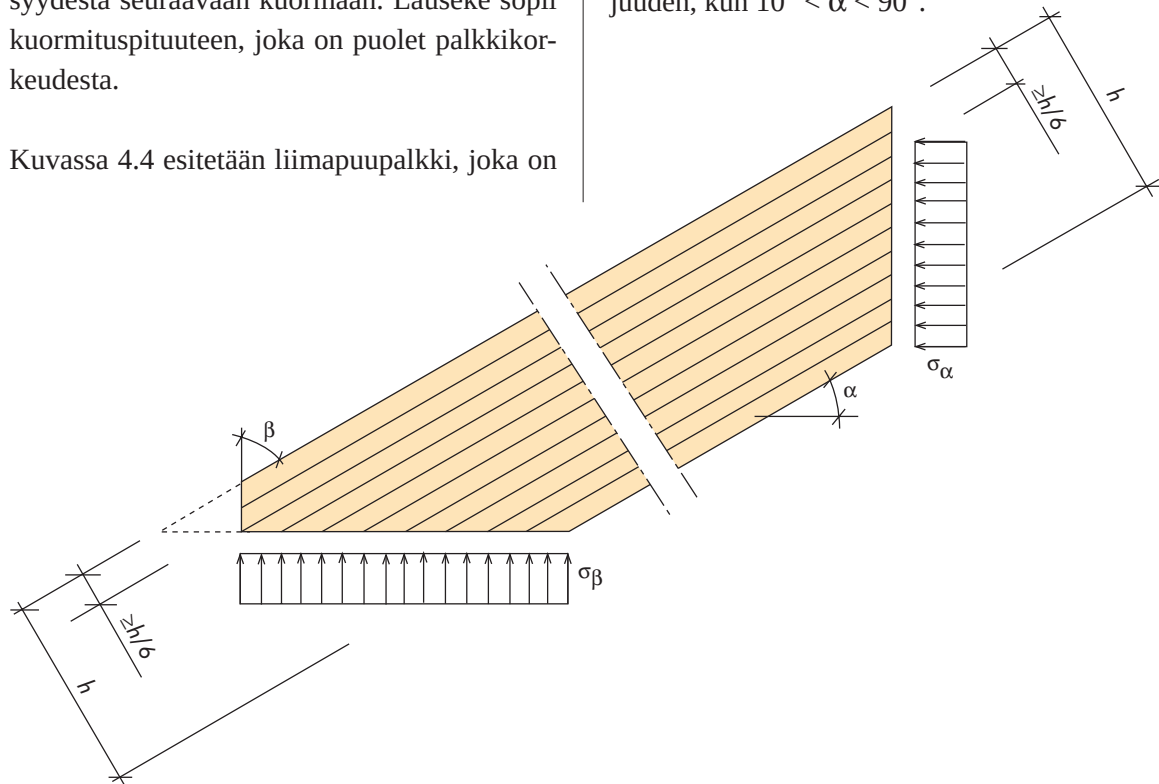
Kuvassa 4.4 esitetään liimapuupalkki, joka on

kuormitettu pistekuormilla, esimerkiksi sekun-
dääripalkeilla, jotka tukeutuvat palkin yläreu-
naan, osittain suoraan päätytuen kohdalla, osit-
tain keskituen kohdalla ja kahden tuen välissä.
Kahdessa ensimmäisessä tapauksessa oletetaan
kuorman ja tukireaktion olevan samaa suuruus-
luokkaa. Pienin kuormituspituus määrittelee
 l_{eff} :n pituuden. Jakautuneella kuormalla l_{eff} las-
ketaan todellisen tuen pituiseksi.

Jos kosketuspaine vaikuttaa vinossa kulmas-
sa puunsyitä vastaan, esimerkiksi kuvan 4.5 mu-
kaisesti, lujuus voidaan määritellä seuraavien
kaavojen avulla (niin sanottu Hankinsonin
kaava):

$$f_{c,\alpha} = \frac{f_{c,0}}{\frac{f_{c,0}}{f_{c,90}} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (4.13)$$

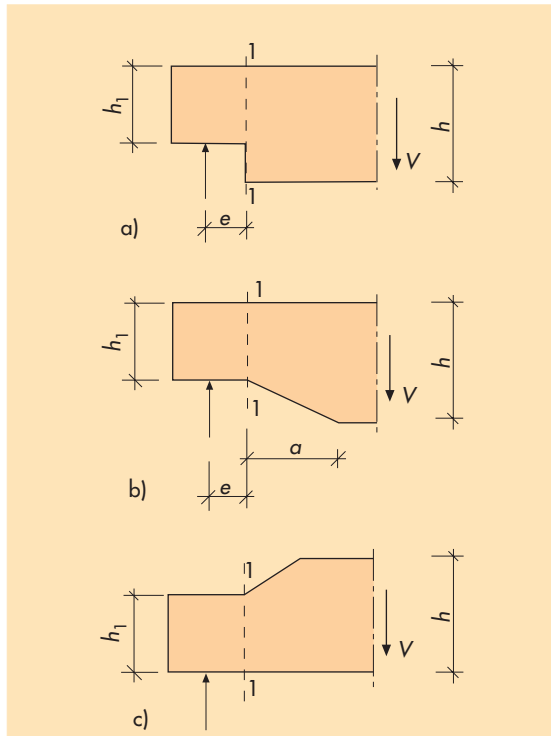
jossa α on voiman ja puunsyiden välinen kul-
ma. B10:n vinon puristuksen laskentakaava an-
taa hieman kaavaa 4.13 paremman puristuslu-
juuden, kun $10^\circ < \alpha < 90^\circ$.



Kuva 4.5
Jyrkkien kulmien kosketuspaine.

Lujuuksille $f_{c,0}$ ja $f_{c,90}$ käytettävien arvojen laskeminen riippuu poikkileikkauksen rakenteesta, toisin sanoen siitä, onko se homogeeninen vai yhdistetty (katso kohta 1.3.1). Jälkimmäisessä (ja yleisimmässä) tapauksessa vaikuttavat myöskin kosketuspinnan suuruus ja sijainti poikkileikkauksessa. Yhdistetyssä liimapuussa on käytettävä lähinnä alempia lujuusluokan materiaaliarvoja, jos kosketuspaine vaikuttaa pääasiassa poikkileikkauksen 2/3 sisällä, jossa puutavara on jonkin verran heikompi laatuista. Kahden päätypuupinnan suoran kosketuksen puunsyiden suuntaista puristuslujuutta redusoidaan kaavalla $0,6 f_{c,0}$ edellisen mukaisesti.

Kiinnitysosat ja tuet muotoillaan niin, että kuormitetut puunsyöt saavat tukea viereisistä kuormittamattomista puunsyistä. Erityisesti jyrkissä kulmissa (katso kuva 4.5) kuormituspainne ei saa vaikuttaa liian lähellä vapaata reunaa. Viistetyissä kulmissa on tarkistettava, että viiste sijaitsee riittävän kaukana ajatellusta jyrkästä nurkasta (katso kuva 4.5).



Kuva 4.6
Palkinpään kolot.

4.4 Palkinpään lovet (lovetut palkinpäät)

Palkinpäiden lovia on syytä välttää, koska pienetkin lovet aiheuttavat halkeamamuodostusta, mikä vähentää olennaisesti kantokykyä. Erityistä varovaisuutta on noudatettava rakenteissa, jotka saattavat joutua suuriin kosteusvaihteluihin (katso kohdat 4.8 Poikittaisvetolujuus ja 4.9 Kosteusliikkeet). Jos lovia ei voida välttää, ne on ainakin alapinnassa tehtävä vinosahattuna kuvion 4.6b mukaisesti. Lovien kaikki päätypuut täytyy pintakäsitellä. Suorakulmaiset lovet pyöristetään vähintään 25 mm pyöristyssäteellä. Suuremmat kuin $0,5h$ tai 500 mm kolot on vahvistettava.

4.4.1 Vahvistamattomat lovet

Vahvistamattomien kolojen kantokyky voidaan tarkistaa menetelmällä, joka perustuu sisänurkan loven murtomekaanisiin tutkimuksiin. Menetelmä on yksinkertaistettu koskemaan vain jäljelle jäävän poikkileikkauksen leikkausjännityksiä, vaikka ne ovatkin kantokyvyn kannalta ratkaisevia poikittaisvetojännityksiä:

$$\tau = \frac{1,5 \cdot V}{bh_1} \leq k_v f_v \quad (4.14)$$

Palkeille, joissa lovi on yläreunassa, $k_v = 1,0$.

Palkeille, joissa lovi on alareunassa:

$$k_v = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,0 \\ 6,5 \cdot \left(1 + \frac{1,1i^{1,5}}{\sqrt{h}} \right) \\ \sqrt{h} \left(\sqrt{\alpha - \alpha^2} + 0,8 \frac{e}{h} \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2} \right) \end{array} \right. \quad (4.15)$$

jossa h = palkin kokonaiskorkeus, mm

$$\alpha = h_1/h$$

$$i = a/(h-h_1)$$

muut merkinnät selviävät kuvasta 4.6.

4.4.2 Vahvistetut lovet

Vahvistettuja suorakulmaisia lovia sisältävien palkkien kantokyky voidaan tarkistaa edellisen kohdan mukaisesti. Jos vahvistus mitoitetaan alla olevien ohjeiden mukaan, kerroin $k_v = 1,0$.

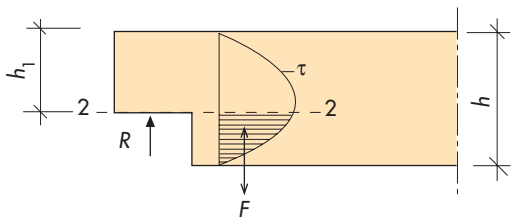
Vahvistus voidaan tehdä vanerista tai liimatuilla ruuveilla. Vahvistus mitoitetaan vetovaimalle F_s , joka vaikuttaa leikkauksessa 2-2 kuvan 4.7 mukaisesti:

$$F_s = R \left[3 \left(\frac{h - h_1}{h} \right)^2 - 2 \left(\frac{h - h_1}{h} \right)^3 \right] \quad (4.16)$$

jossa R = mitoittava tukireaktio.

4.4.2.1 Vanerilla vahvistaminen

Palkin molemmille puolille liimataan vähintään 10 mm:n paksuiset vanerilevyt kuvan 4.8 mukaisesti. Pintavanerin puunsiyiden suunnat asetetaan kohtisuoraan palkin pituussuuntaa vastaan. Liimaukseen tarvittava puristusaine saadaan joko kampanauloilla tai ruuveilla. Vaneri esiporataan molemmissa tapauksissa. Ankkurointipituus on oltava vähintään kaksi kertaa vanerin paksuus. Kiinnitysten täytyy jakautua tasaisesti koko vanerilevyille, ja niiden lukumäärän on oltava noin 1 naula/ruuvi 6000 mm² kohti. Kiinnikkeiden keskinäisen etäisyyden täytyy olla yhtä suuri sekä poikittain että yhdensuuntaisesti puunsiyihin nähden, ja niiden on oltava voimassa olevien normien mukaisia. Vahvistukset tekee liimapuuvalmistaja, ja liimausta tehdään rakenneliimausta koskevien määräysten mukaisesti.



Kuva 4.7
Palkin pään loven vahvistus.

Vanerin ja liimasauman kantokyky F_R lasketaan kaavan 4.17 mukaisesti. Normin lujuusarvoja f_t ja f_v vanerille on redusoitu 25 prosenttiin, koska liimasauman jännitysjakautuma on epätasainen:

$$F_R = \min \begin{cases} 2cd_{eff} \cdot 0,25 f_t \\ 2ch_1 \cdot 0,25 f_v \\ 2c(h - h_1) \cdot 0,25 f_v \end{cases} \quad (4.17)$$

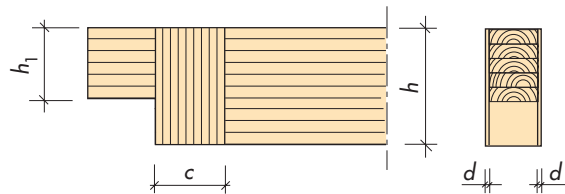
jossa $2d_{eff}$ = vanerin yhteenlaskettu paksuus palkin molemmiin puoliin. Huomioon on otettu palkkia vastaan kohtisuorassa olevat vaneriviilujen puunsiyöt. Muut merkinnät kuvan 4.8 mukaisesti.

$$\text{Mitoitusehto on: } F_s \leq F_R \quad (4.18)$$

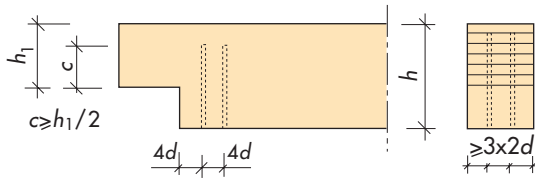
4.4.2.2 Liimatuilla ruuveilla vahvistaminen

Liimattua ruuvia voidaan käyttää ainoastaan sisärakenteissa kosteusluokkaa 1 vastaavissa olosuhteissa. Käyttöä pitää yleensä välttää kohteissa, joissa voi esiintyä suuria kosteusvaihteluita. Ruuvi tai ruuvit sijoitetaan niin lähelle loven reunaa kuin mahdollista noudattamalla kuitenkin määräysten mukaisia pienimpiä reuna- ja keskiöetäisyyksiä. Ruuvit ankkuroidaan vähintään puoleenväliin tukikorkeutta (katso kuva 4.9). Suositusten mukaan palkin pituussuunnassa ei pitäisi olla kahta ruuviriviä enempää.

Vetolujuuden ja ankkuroinnin määrittelemä ruuvin kantokyky F_R lasketaan voimassa olevien määräysten tai tyyppihyväksynnän mukaisesti.



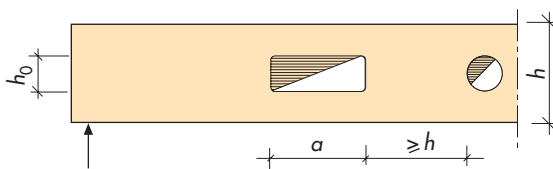
Kuva 4.8
Palkin pään lovi. Vanerivahvistus.



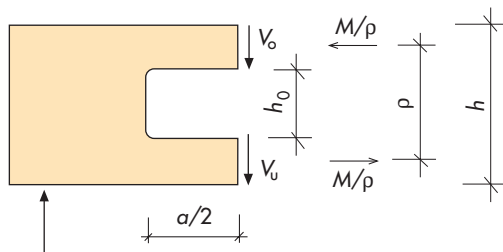
Kuva 4.9
Palkin pään lovi. Liimaruuvivahvistus.

4.4.2.3 Lasikuituvahvistus

Uusimmat tutkimukset ovat osoittaneet, että lasikuituvahvistetun epoksimuovi on käyttökelpoinen vahvistusmenetelmä. Lasikuituvahvistus toimii vanerilevyjen tavoin, mutta etuna on läpinäkyvyys, jolloin vahvistus muistuttaa paksua lakkakerrosta. Haittapuolena on se, että menetelmästä ei vielä ole riittävästi kokemuksia ja yleisesti hyväksytty mitoitusmenetelmä puuttuu. Epoksiliiman käyttöön voi myös liittyä terveysriskejä.



Kuva 4.10
Liimapuupalkissa olevia reikiä.



Kuva 4.11
Suorakulmaisessa reiässä otetaan huomioon ne lisämomentit, jotka leikkausvoima aiheuttaa.

4.5 Reiät

Suuremmat reiät muodostavat äkillisiä poikkileikkausmuutoksia, jotka häiritsevät rakenteen voimavuota. Reiän lähelle syntyy merkittäviä poikittaisveto- ja leikkausjännityksiä. Kuivahalkeamia syntyy luonnollisesti reiän sivuilla päätypuun paljastuessa, ja yhdessä poikittaisveto- ja leikkausjännitysten kanssa nämä lisäjännitykset voivat huomattavasti heikentää rakenteen kantokykyä. Erityistä varovaisuutta on noudatettava, jos kyseessä on sellaiset palkkityypit, kuten satula- ja pulpettipalkit, joissa geometrinen muoto sinänsä synnyttää poikittaisia vetojännityksiä. Kaarevissa rakenneosissa, esimerkiksi kehänurkissa tai bumerangipalkeissa, ei ylipäätään saa olla reikiä. Reikiä ei halkeamamuodostusvaaran takia saa olla myöskään ulkotilarakenteissa tai rakenteissa, jotka voivat joutua suuriin kosteusvaihteluihin.

Jos reikiä ei voi välttää, ne on sijoitettava keskeisesti neutraaliakselille (katso kuva 4.10). Siitä voidaan kuitenkin sallia korkeintaan $0,1h$ poikkeama. Reikää, jonka $h_0 \geq 0,5h$ tai $a \geq 3h_0$, ei sallita. Kahden reiän välisen reunaetäisyyden täytyy olla vähintään palkinkorkeus h . Suora-kaiteen muotoiseen reikään tehdään vähintään 25 mm nurkkapyöristys. Reikien sisäpinnat käsitellään kosteusvaihteluiden heikentämiseksi ja halkeamamuodostuksen vähentämiseksi. Lämpimät putket ja ilmastointikanavat, jotka vedetään reikiä kautta, on eristettävä.

4.5.1 Vahvistamattomat reiät

Jäännöspoikkileikkauksen kantokyky määritellään momentille ja leikkausvoimalle. Leikkausvoima voidaan siten jakaa reiän ylä- ja alapuoliseen osaan niiden jäykkyyksien suhteessa. Kantokyky leikkausvoimalle voidaan tarkistaa mitoitusohjeilla 4.14, joiden mukaan reiän ylä- ja alapuolinen osa tarkistetaan. Kaavassa 4.14 h_1 korvataan jäljelle jäävän poikkileikkauksen reiän yläpuolisella ja alapuolisella osalla h_y

ja h_a . Suorakulmaisessa reiässä otetaan huomioon ne lisämomentit, jotka leikkausvoima aiheuttaa ”ylä- ja alakehään” (katso kuva 4.11). Jos jäljelle jää vähemmän kuin neljä lamellia reiän ylä- ja alapuolelle, mitoittavaa taivutuslujuutta täytyy redusoida 25 prosenttia.

Mitoittavaa leikkauslujuutta redusoidaan ottamalla huomioon reiän koko ja palkin leveys, jossa pyöreiden reikien kokoa edustaa reiän halkaisija ja suorakaiteen muotoisissa rei’issä diagonaalimitta:

$$D = \sqrt{h_0^2 + a^2} \quad (4.19)$$

$$f_{v,red} = k_{reikä} \cdot k_{vol} \cdot f_v \quad (4.20)$$

jossa

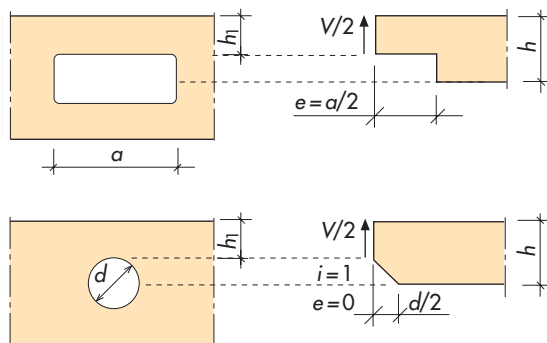
$$k_{reikä} = \begin{cases} 1 - 555(D/h)^3 & \text{kun } D/h \leq 0,1 \\ 1,62 & \text{kun } D/h > 0,1 \end{cases} \quad (4.21)$$

$$k_{vol} = \left(\frac{90}{b}\right)^{0,2} \quad (4.22)$$

Keroin k_{vol} ottaa huomioon lujuuden tilavuusvaikutuksen (vertaa kohta 4.1).

Alle 90 mm levyiset palkit valmistetaan tavallisesti kaksi kertaa leveämmästä palkista halkaisaamalla, mikä aiheuttaa halkaisupuolella vuosirenkaiden haitallisemman sijainnin.

Yllä olevat mitoitus säännöt perustuvat tutkimuksiin, jotka eivät koske niin sanottuja halkaisuja palkkeja, joiden leveys on pienempi kuin 90 mm.



Kuva 4.12
Reiän ja palkin päässä olevan loven vastaavuus.

Jännitystila reiän ympärillä muistuttaa paljon palkin päässä olevaa loven jännitystilaa (katso kuva 4.12).

Reiän ympäristön kantokyky voidaan laskea mitoittavasta leikkausvoimasta kaavojen 4.14 ja 4.15 avulla käyttämällä yllä olevaa vastaavuutta. Merkinnät ovat kuvan 4.12 mukaisia.

4.5.2 Vahvistetut reiät

4.5.2.1 Vanerivahvistus

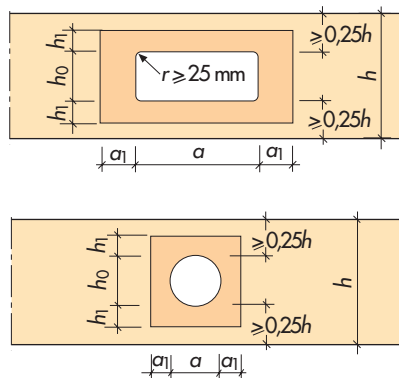
Vanerivahvistus voidaan tehdä saksalaisen puunormin DIN 1052 mukaisesti:

Koivu- tai pyökkivaneri, jonka vähimmäispaksuus $d = 10$ mm, liimataan palkin molemmiin puolin. Levymittojen täytyy täyttää alla olevat ehdot (katso myös kuva 4.13):

$$h_0 \leq 0,5h \quad h_1 \geq \begin{cases} 0,4h_0 \\ 0,1h \end{cases} \quad (4.23)$$

$$a \leq h \quad a_1 \geq \begin{cases} 0,25a \\ h_1 \end{cases} \quad (4.24)$$

Pintavanerin syysuunta asetetaan palkin pitiussuuntaan. Liimauspaine saadaan kampanauhojen tai ruuvien avulla. Molemmissa tapauksissa vanerin reiät esiporataan. Ankkurointipituuden on oltava vähintään kaksi kertaa levyn paksuus. Kiinnikkeiden täytyy jakautua tasaisesti koko vanerin alueelle, ja kappalemäärän on vastattava noin 1 naula/ruuvi 6000 mm^2 kohti (vastaa 75 mm naula-/ruuviväliä). Kiinnikkeiden keski-



Kuva 4.13
Reiän vanerivahvistus.

Taulukko 4.3
Vanerivahvistukseen tarvittava paksuus

Hyväksikäyttöaste μ	Levyn paksuus molemmilla sivuilla d
0	0,05 b
1/3	0,18 b
2/3	0,25 b
1	0,33 b

näisen etäisyyden täytyy olla yhtä suuri puunsyiden poikki- ja pituussuuntaan, ja niiden on oltava voimassa olevien normien mukaisia. Liimapuun valmistajan on tehtävä liimaus noudattamalla voimassa olevia rakenneliimausta koskevia määräyksiä.

Tarvittava vanerin paksuus riippuu hyväksikäyttöasteesta μ , ja se voidaan määritellä taulukosta 4.3.

$$\mu = \frac{1,5V / (bh)}{f_v} \quad (4.25)$$

Hyväksikäyttöaste lasketaan palkin bruttopoikkileikkauksesta $b \times h$ ottamatta huomioon reiän poikkileikkauksen vähennystä ja

V = vaikuttava leikkausvoima
reiän keskellä

f_v = leikkausvoiman lujuusarvo
(ilman reikävaikutuksen vähennystä).

4.5.2.2 Liimatuilla ruuveilla vahvistaminen

Liimatuilla ruuveilla vahvistamista suositellaan silloin, kun reikäkoko on $a \leq 0,6h$ ja $h_o \leq 0,35h$. Koska ruuvi estää palkin vapaata kutistumista ja siten aiheuttaa poikittaisvetojännityksiä reiän

ympäristössä, ruuvia voi käyttää vain, jos sen pituus on korkeintaan 500 mm. Ruuvi (ruuvit) sijoitetaan niin lähelle reiän reunaa kuin mahdollista ottamalla huomioon pienimmät reunaja keskiöetäisyydet. Ruuvi viedään vähintään 40 mm reiän ohi (katso kuva 4.14). Palkin pituussuunnassa saisi olla korkeintaan kaksi reikäriiviä.

Ruuvi/ruuvit mitoitetaan voimalle F_S :

$$F_S = 0,5V \left[3 \left(\frac{h-h_o}{h} \right)^2 - 2 \left(\frac{h-h_o}{h} \right)^3 \right] \quad (4.26)$$

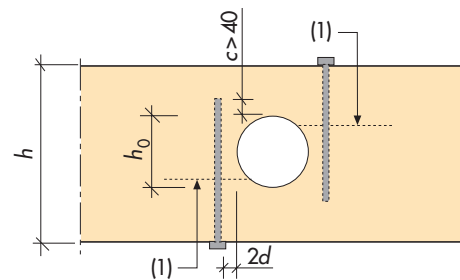
jossa V = mitoittava leikkausvoima reiän keskellä.

Ruuvien kantokyky F_R , jossa otetaan huomioon vetolujuus ja ankkurointi, lasketaan voimassa olevien määräysten tai tyyppihyväksynnän mukaan.

$$\text{Mitoitusehto on: } F_S \leq F_R \quad (4.27)$$

4.5.2.3 Lasikuidulla vahvistaminen

Lasikuidulla vahvistaminen on myös mahdollista, kuten lovien vahvistamisen yhteydessä on esitetty (katso kohta 4.4.2.3).



Kuva 4.14

Reiän vahvistaminen ruuveilla. Arvioitu halkeaman sijainti on merkitty (1).

4.6 Liimapuun vinoon leikatut lamellit

Liimapuurakenne-elementit tehdään usein korkeudeltaan muuttuviksi, esimerkiksi harjapalkeiksi, kehärakenteiksi tai jatkuviksi palkeiksi, joissa on viisteet keskituilla. Tavallisesti poikkileikkausvaihtelu saadaan katkaisemalla lamellit toista reunaa myöten, kun taas toisen reunan lamellit ovat samansuuntaiset reunan kanssa. Taivutuslujuutta vähennetään, koska katkaistun reunan taivutusjännitykset ovat yhdensuuntaiset reunan kanssa ja siten muodostavat kulman α puunsihiin nähden. Myös taivutusjännitysten jakautuminen muuttuu verrattuna poikkileikkaukseltaan tasakorkeaan palkkiin (katso esimerkiksi jäljempänä harja- ja bumerangipalkki). Lujuusvähennys vaihtelee sen mukaan, onko katkaisu puristetulla vai vedetyllä puolella. Laskentalujuus saadaan kertomalla puunsiiden suuntainen taivutuslujuus f_b vähennyskertoimella k_α :

$$k_\alpha = \frac{1}{\frac{f_b}{f_{90}} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (4.28)$$

jossa $f_{90} = f_{t,90}$, kun katkaisu on vedetyllä puolella ja
 $f_{90} = f_{c,90}$, kun katkaisu on puristetulla puolella.

B10:n vinon puristuksen laskentakaava antaa hieman kaavaa 4.28 paremman puristuslujuuden, kun $10^\circ \leq \alpha < 90^\circ$. Puristetulla puolella on välitettävä suurempaa vinoleikkausta kuin 15 astetta ja vedetyllä puolella suurempaa kuin 5 astetta. Peitelauta voidaan liimata ja naulata vinoleikkattuun pintaan halkeamamuodostuksen vähentämiseksi. Tätä suositellaan kaikkiin kosteusluokan 3 rakenteisiin ja 1- sekä 2- kosteusluokan rakenteisiin, jos leikkauskulma on suurempi kuin 7 astetta.

4.7 Liimapuun kaarevat lamellit

Yksi liimapuun parhaimmista ominaisuuksista on se, että siitä voidaan helposti valmistaa kaarevia rakennuselementtejä. Yksittäiset lamellit taivutetaan haluttuun muotoon ennen liimauksen kovettumista, jolloin materiaaliin muodostuu sisäisiä jännityksiä. Puun hiipumisominaisuudet kuitenkin tasaavat niistä suurimman osan liimauksen aikana kosteuden ja lämmön vaikutuksesta.

Yleensä materiaalin omia sisäisiä jännityksiä ei mitoituksessa oteta huomioon. Pienillä taivutussäteillä niiden vaikutus taivutuslujuuteen täytyy kuitenkin laskea. Vaikutus voidaan ottaa huomioon kertomalla taivutuslujuuden perusarvo vähennyskertoimella k_r :

$$k_r = \begin{cases} 1,0 & \text{kun } r_m / t \geq 240 \\ 0,76 + 0,001 \cdot r_m / t & \text{kun } 170 < r_m / t < 240 \\ 1 - 2000 \left(\frac{t}{r_m} \right)^2 & \text{kun } 100 \leq \frac{r_m}{t} \leq 170 \end{cases} \quad (4.29)$$

jossa t = lamellipaksuus

r_m = liimapuuelementin keskimääräinen taivutussäde

Kaarevien rakennuselementtien suurin sallittu lamellipaksuus (t) on EN 386:n mukaisesti:

$$\max t = \frac{r}{250} \left(1 + \frac{f_{m,k}}{80} \right) \quad (4.30)$$

jossa r = lamellien taivutussäde (mm)

$f_{m,k}$ = lamelliliitosten karakteristinen taivutuslujuus (N/mm²)

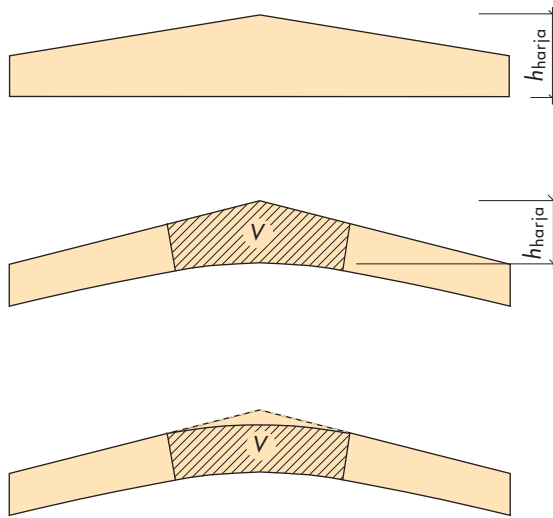
Suomessa liimapuu valmistetaan yleensä 45 mm lamelleista, mikä vastaa noin 7,5 metrin pienintä taivutussädettä lujuusluokassa L 40. Lamellipaksuutta täytyy vähentää pienemmillä taivutussäteillä, mikä lisää kustannuksia.

Kaarevissa rakenne-elementeissä on usein poikkittaisia vetojännityksiä. Puunsiyytä vastaan kohtisuoraa lujuutta käsitellään seuraavassa luvussa, ja jännitysten laskeminen esitetään bumerangi- ja kaarevia palkkeja koskevassa luvussa.

4.8 Poikittaisvetolujuus

Puulla on heikoin lujuus kohtisuoraan puunsyytä vastaan. Lujuuteen vaikuttavat halkeamat, oksat ja kasvuvaihtelut, erityisesti kevätpuu ja sen vaaleiden vuosirenkaiden pehmeät osat. Poikittaisvetolujuuksia käytetään vain alueella, jossa poikittaiset vetojännitykset esiintyvät sekundaaristen vaikutusten seurauksena, muun muassa rei'issä ja lovista, harjapalkin harjalla ja kaarevissa momentilla kuormitetuissa rakenne-elementeissä.

Tutkimuksissa on osoitettu, että poikittainen vetolujuus riippuu eniten kuormitetun puutilavuuden suuruudesta eli kuormitustyyppistä ja rakenneosan geometrisestä muodosta (katso myös



Kuva 4.15
Harjapalkki, bumerangipalkki ja kaareva palkki, jossa on vakiokorkeus.

kohta 4.1 Tilavuuden vaikutus). Määräyksissä annettua perusarvoa onkin siksi korjattava esimerkiksi käyttämällä korjauskerrointa k_{vol} :

$$k_{vol} = k_{dis} \left(\frac{V_0}{V} \right)^{\frac{1}{m}} \quad (4.31)$$

jossa m = vakio, joka määritellään

kokeellisesti, usein asetetaan $m=5$

V_0 = viitetilavuus, tavallisesti $V_0 = 0,01 \text{ m}^3$

V = karakteristinen tilavuus, joka määritellään rakenne-elementin geometrian mukaan

k_{dis} = vakio, joka ottaa huomioon jännitysjakauman palkissa.

Kuvan 4.15 mukaisille palkeille, jotka on tasaisesti kuormitettu, voidaan arvo k_{dis} ja V ottaa taulukosta 4.4. V :n ei tarvitse olla kuitenkaan suurempi kuin $2V_b/3$, jossa V_b on palkin kokonaistilavuus.

Poikittaisvetojännitysten laskennassa viitataan harja- ja bumerangipalkkeja koskevaan lukuun.

Taulukko 4.4

Palkkityyppi	k_{dis}	V
Harjapalkki	1,4	$b(h_{harja})^2$
Bumerangipalkki	1,7	Kaareva osa kuvan 4.15 mukaan
Kaareva palkki	1,4	Kaareva osa kuvan 4.15 mukaan

4.9 Kosteusliikkeet

Toimitettavien liimapuuelementtien kosteus on tavallisesti 12 prosenttia, mikä jokseenkin vastaa tasapainokosteutta kosteusluokassa 2. Muissa kosteusolosuhteissa kosteusmäärä vähitellen sopeutuu ympäristön suhteellisen kosteuden tasapainoon ja lämpötilaan. Liimapuurakenteiden kosteuden vuosikeskiarvot eri kosteusluokissa ovat noin:

8-12 % kosteusluokassa 1

14 % kosteusluokassa 2

18 % kosteusluokassa 3

Kosteusluokan 4 rakenteille ei voida antaa mitään keskiarvoa.

Puurakenteiden kosteus vaihtelee jatkuvasti ilmaston kausittaisten muutosten takia. Vaihtelu on 3–5 puun kosteuden prosenttiyksikköä sisätilarakenteissa ja ulkotilarakenteissa katoksen alla. Suojaamattomissa ulkotilarakenteissa vaihtelu on 8-10 prosenttiyksikköä. Sisätiloissa puu on kuivimmillaan yleensä talvella, ulkotilarakenteissa kesällä.

Liimapuu, kuten muukin puu, turpoaa kosteuden lisääntyessä ja kutistuu kosteuden vähentyessä. Liikkeet ovat monta kertaa suuremmat kohtisuoraan puunsyitä vastaan kuin niiden suunnassa: 0,2 prosenttia kohtisuoraan puunsyitä vastaan ja 0,01 prosenttia puunsyiden suunnassa jokaista kosteuden muutosprosenttia kohden. Kokemukseen perustuen voidaan laskea seuraavat liimapuun maksimaaliset kosteusliikkeet kosteusluokissa 2 ja 3:

- kohtisuoraan puunsyitä vastaan noin 10 mm/m
- puunsyiden suunnassa noin 0,5 mm/m.

Jos poikkisuuntaiset kosteusliikkeet estetään ulkoisilla tai sisäisillä pakkovoimilla, syysuun-

taan kohtisuora kapasiteetti voi ylittyä. Sen seurauksena puu puristuu kasaan tai halkeilee. Liitosdetaljit ja liittimet onkin muotoiltava siten, että normaaleja kosteusliikkeitä estetään niin vähän kuin mahdollista. Ruuviliitoksen jäykkyys ja kantokyky voivat heiketä, jos ruuviliitos ei ole kunnolla kiristetty. Ainakin elävät ruuviliitokset pitäisi voida kiristää puutavaran kuivumisen jälkeen.

Pituuden muutokset ovat yleensä niin pieniä, että niitä ei tarvitse ottaa huomioon muissa kuin hyvin suurissa rakenteissa. Erilaiset kosteusliikkeet kylmällä ja lämpimällä sivulla voivat kuitenkin aiheuttaa merkittäviä muodonmuutoksia rakenteissa, joissa kosteus on poikkileikkauksessa epätasaisesti jakautunut, esimerkiksi eristyskerroksessa olevissa palkeissa tai pilareissa. Talvella voi ilma palkin toisella puolella olla lämmin ja kuiva, ja samaan aikaan palkin toinen puoli on kosketuksissa ulkoilman kanssa, jonka suhteellinen kosteus on korkea. Ulkosivu tulee silloin pidemmäksi kuin sisäpivu, mikä on syynä siihen, että katot ja ulkoseinät pyrkivät talvella taipumaan ulospäin. Vapaasti tuetussa ja kosteusliikkeitä rajoittamattomassa tilassa voidaan epätasaisen kosteusvaikutuksen taipuma laskea seuraavasta lausekkeesta:

$$u = \frac{l \cdot \Delta l}{8h} \quad (4.32)$$

jossa l = jänneväli

Δl = palkin ulkopuolen ja sisäpuolen
pituuserotus turpoamisesta ja
toisaalta kutistumisesta

h = poikkileikkauksen korkeus.

5. Pilarit ja vinotuet

5.1 Keskeinen puristus 71

5.2 Poikittaiskuormitettu pilari 72

5.3 Kootut pilarit 73

5.3.1 Jatkuvasti yhdistetty pilari 73

5.4 Pilarijärjestelmät 74

5.4.1 Vinoudesta johtuvat vaakavoimat 74

5.4.2 Nurjautuminen 75

5. Pilarit ja vinotuet

Pilarit ja vinotuet ovat tavallisesti samanlaisia kuin suorat liimapuuelementit. Ne voivat olla joko erikoisvalmisteisia tai vakiopalkkeja, mikäli vakiopalkkikoot ovat sopivia. Pilari voidaan luonnollisesti valmistaa yläpäästään levitettynä, mikäli tukipaine sitä vaatii tai alapäästään suuremmalla poikkileikkauksella suurien kiinnitysmomenttien vastaanottamiseksi. Tavallisesti pilari mitoitetaan ns. pendelipilarina, jossa pilarin molemmissa päissä on nivel tai vaihtoehtoisesti alapäässä on jäykkä kiinnitys.

Pilari valmistetaan yleensä saman levyisenä kuin siihen tuettu palkki tai kaari. Pilari voi olla myös leveämpi tai voidaan käyttää kahden pilarin yhdistelmää.

5.1 Keskeinen puristus

Keskeisesti puristettujen liimapuuelementtien on täytettävä ehto:

$$\sigma_c = \frac{N}{A} \leq k_c f_c \quad (5.1)$$

jossa k_c = reduktiokerroin, joka ottaa huomioon tasossa tapahtuvan nurjahdamisen

f_c = laskentapuristuslujuus

A = pilarin bruttopinta-ala

Reduktiokerroin k_c määritetään ottamalla läh-
tökohdaksi pilarin tai tuen hoikkuus $\lambda = l_c / i$,
jossa l_c on pilarin nurjahduspituus ja $i = (I/A)^{1/2}$
sen nurjahduksen suuntainen jäyhyysäde.
Poikkileikkaukseltaan suorakulmaisille pilareil-
le ehto on:

$$\lambda = \frac{l_c \sqrt{12}}{d} \quad (5.2)$$

jossa l_c = pilarin nurjahduksen suuntainen
nurjahduspituus

d = pilarin nurjahduksen suuntainen
poikkileikkaus

Usein hoikkuus ilmaistaan käyttämällä suhteel-
lista hoikkuuslukua:

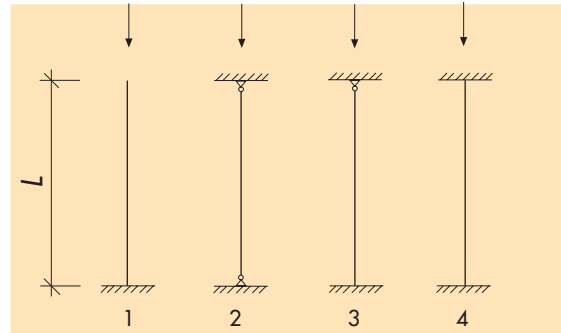
$$\lambda_{rel} = \sqrt{\frac{f_{c,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,k}}{E_{0,05}}} \quad (5.3)$$

jossa $f_{c,k}$ = syiden suuntaisen puristuslujuuden
karakteristinen lyhytaikaisarvo

$$\sigma_{c,crit} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05}}{\lambda^2} = \text{teoreettinen nurjahdusjännitys}$$

$E_{0,05}$ = syiden suuntaisen kimmomoduulin
karakteristinen lyhytaikaisarvo

Huomaa, että kimmomoduulille on asetettava
kantavuuden laskennassa käytettävä arvo, joka
yleensä poikkeaa muodonmuutosten laskennas-
sa käytettävästä arvosta.



Kuva 5.1
Nurjahduksen eri tuentatapaukset.

Taulukko 5.1
Teoreettiset ja käytännön nurjahduspituudet eri
tuentatapauksissa.

Tuentatapaukset	1	2	3	4
Teoreettinen nurjahduspituus	2,0	1,0	0,7	0,5
Käytännön nurjahduspituus	2,5	1,0	0,85	0,7

Hoikkuus on yleensä erisuuruinen eri suuntiin,
mikä johtuu siitä, että taivutusjäykkyys ja kiin-
nitykset ovat erilaisia. Poikkileikkaukseltaan
muuttumattomien pilarien osalta saadaan taulu-
kon 5.1 avulla teoreettisen nurjahduspituuden l_c
suhde todelliseen nurjahduspituuteen L eri tu-
entatapauksissa. Tuentatapaukset – Eulerin nel-
jä nurjahdustapausta – käyvät ilmi kuvasta 5.1.

Jäykkää kiinnitystä ei käytännössä koskaan
saavuteta, mikä johtuu teräskiinnikkeiden, pe-
rusruuvien yms. muodonmuutoksista. Jos liima-
puupilareiden jäykkä kiinnitys saadaan aikaan
mekaanisin puuliitoksiin, on käytettävä taulukon
5.1 alariviä.

Poikkileikkaukseltaan lineaarisesti muuttuvan
pilarin nurjahduspituus voidaan määrittää kuvan
5.2 avulla.

Julkisivussa oleva pilari pitäisi estää nurjah-
tamasta heikkoon suuntaansa (jolloin kuitenkin
täytyy tarkistaa seinän sekundäärien kiinnityk-
sissä ja muussa seinärakenteessa esiintyvät tu-
kivoimat; katso luku 12), kun taas sisäpilarit ovat
yleensä koko pituudeltaan vapaat.

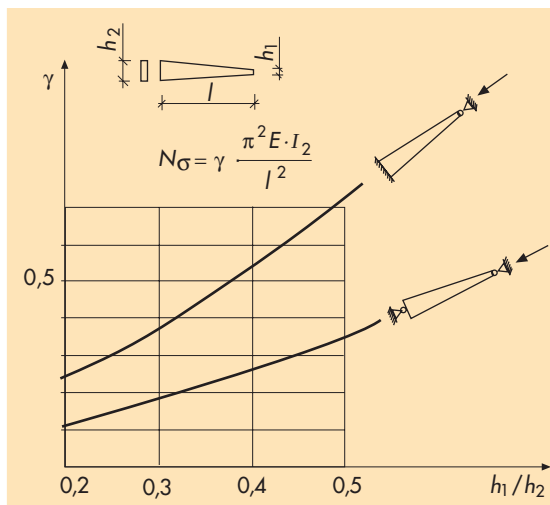
Pilarin juuressa, yläpäässä ja muissa poikki-
leikkauksissa, joissa esiintyy poikkileikkauksen

heikennyksiä ruuvirei'ityksen tai muun syyn takia, osoitetaan, että:

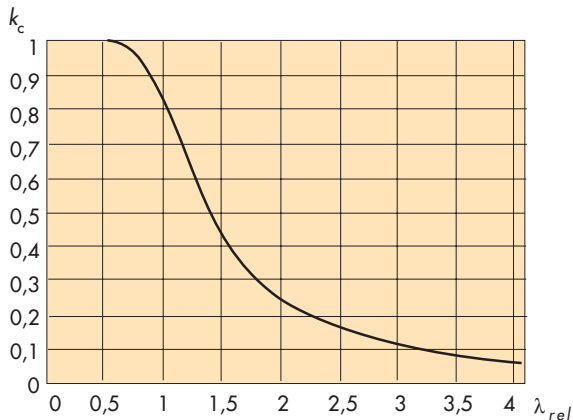
$$\sigma_c = \frac{N}{A_{net}} \leq f_c \quad (5.4)$$

jossa A_{net} = pilarin nettopinta-ala
Reduktiokerroimen k_c ja suhteellisen hoikkuusluvun λ_{rel} yhteys kerrotaan rakennemääräyksissä ja se eroaa eri normeissa. Esimerkiksi EC 5:n mukaan:

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{kun } \lambda_{rel} \leq 0,5 \\ \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} & \text{kun } \lambda_{rel} > 0,5 \end{cases} \quad (5.5)$$



Kuva 5.2.
Kaavio poikkileikkaukseltaan lineaarisesti muuttuvan pilarin nurjahduspituuden määrittämisestä.



Kuva 5.3
Reduktiokerroin k_c suhteellisen hoikkuusluvun funktiona EC 5:n mukaan.

$$\text{jossa } k = 0,5 \left(1 + 0,1(\lambda_{rel} - 0,5) + \lambda_{rel}^2 \right) \quad (5.6)$$

Yhteys EC 5:n mukaan selviää kuvasta 5.3.

B10:n mukainen nurjahduskerroin k_s on esitetty B10:n kuvassa 5.3.

5.2 Poikittaiskuormitettu pilari

Samanaikaisen puristuksen ja taivutuksen mitoitusehto saadaan yleensä niin sanotusta yhteisvaikutusehdosta, esim. EC 5:n mukaisesti:

$$\left(\frac{\sigma_c}{k_c f_c} \right)^n + \frac{\sigma_{m,y}}{f_{b,y}} + k_m \frac{\sigma_{m,z}}{f_{b,z}} \leq 1 \quad (5.7)$$

$$\left(\frac{\sigma_c}{k_c f_c} \right)^n + k_m \frac{\sigma_{m,y}}{f_{b,y}} + \frac{\sigma_{m,z}}{f_{b,z}} \leq 1 \quad (5.8)$$

jossa $n = 2$, jos nurjahdusriskiä ei ole ($\lambda_{rel} \leq 0,5$)
1, muissa tapauksissa ($\lambda_{rel} \geq 0,5$)

σ_c = keskeisen puristuksen normaali jännitys

$\sigma_{m,y}, \sigma_{m,z}$ = poikittaiskuormituksen y- ja z-suuntainen taivutusjännitys

$f_c, f_{b,y}, f_{b,z}$ = laskentapuristus- ja taivutuslujuus

k_c = reduktiokerroin, joka ottaa huomioon kohdan 5.1 mukaisen nurjahdusriskin

$k_m = 0,7$ suorakaiteisille poikkileikkauksille; 1,0 muille poikkileikkausmuodoille.

B10:n mukaisessa mitoituksessa eksponentti n ja kerroin k_m saavat kaikissa tapauksissa arvon 1,0. Reduktiokerroin k_c määritetään lähtemällä nurjahduksen hoikkuusluvusta epäedullisempaan suuntaan riippumatta momentin vaikutussuunnasta. Seinän sekundääreillä jäykistetyissä julkisivupilareissa tarkistetaan, onko sekundäärien välisen sivusuuntaisen nurjahduksen hoikkuus

suurempi kuin seinän suuntaan nähden kohtisuora hoikkuus.

Lisäksi normien mukaan yllä olevien kaavojen lujuusarvot on redusoitava ottamalla huomioon kiepahdus (katso luku 4.2).

5.3 Kootut pilarit

Koska yksittäisten liimapuuelementtien suurin saatavilla oleva leveys normaalisti on noin 200 mm, ylittää pilarin heikon suunnan hoikkuus usein $\lambda = 170$, mitä yleensä pidetään normaalin rakentamiskäytännön yläarvona. Pilari voidaan tällöin rakentaa useasta osasta (esim. kuvan 5.4 mukaisesti). Osat liitetään toisiinsa nauloilla, ruuveilla tai liimalla tai näiden yhdistelmällä.

Jos pilari on jatkuvasti yhteenliimattu, voidaan laskea, että osat toimivat täysin yhdessä, ja ne mitoitetaan edellisen kohdan mukaisesti. Muussa tapauksessa täytyy ottaa huomioon, että osat siirtyvät toisiinsa nähden, kun pilaria kuormitetaan. Puhtaat ruuviliitokset aiheuttavat tällaisessa tilanteessa liian suuria siirtymiä, joten niihin täytyy aina yhdistää puristettavia välilevyjä. Alla kuvataan, miten jatkuvasti ruuvattu pilari voidaan mitoittaa. Muunlaisten koottujen pilarien mitoitusäännöt löytyvät mm. normista EC 5.

5.3.1 Jatkuvasti yhdistetty pilari

Kuvan 5.4a mukaisille jatkuvasti ruuvaamalla kootuille pilareille suositellaan hammaslevyjen käyttöä (tyyppiä Bulldog tai vastaavaa). Mitoitus suoritetaan RIL 205-1997:n liitteen C2 mukaisesti (EC5).

5.3.2 Välikapuloin tai poikkisitein kootut kehäpilarit

Mitoitus suoritetaan RIL 205-1997:n liitteen C3 mukaisesti (EC5).

5.4 Pilarijärjestelmät

Yksikerroksiset hallirakennukset muotoillaan usein kuvan 5.5. mukaisesti yksinkertaisiksi pilari-palkkijärjestelmiksi, joissa yksi tai useampi pilari kiinnitetään jäykästi perustuksiin tukemaan muita, nivelellisesti kiinnitettyjä pilareita.

5.4.1 Vinoudesta johtuvat vaakavoimat

Kiinnitettyjen pilareiden vinoa asentoa voidaan pitää osana sitä alkukäyryyttä, joka on mukana alla esitettyssä nurjahduksen sisältävässä mitoituksessa ja jota ei tarvitse erikseen ottaa huomioon. Sen sijaan nivelkantaisten pilarien taho- ton vinous aiheuttaa järjestelmään vaakavoimia, jotka täytyy ottaa vastaan kiinnitettyjen pilarien kautta. Mitoittava vaakavoima lasketaan seuraavan kaavan avulla:

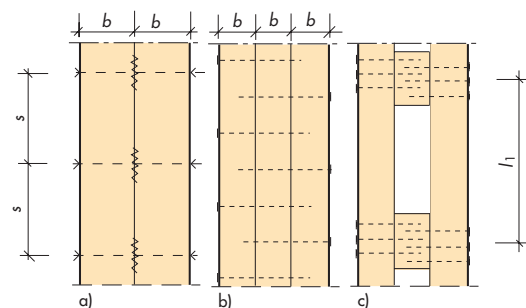
$$H = \alpha_d \sum N_i \quad (5.12)$$

jossa $\sum N_i$ = nivelpilareiden mitoittava kokonaispystykuormitus

$$\alpha_d = 0,003 + 0,012 / \sqrt{n}$$

n = yhteistoiminnassa vaikuttavien pilarien määrä (mukaan lukien nivelpilarit)

Vinoasennosta johtuva voima jakautuu ankuroituihin pilareihin niiden jäykkyyden suh-



Kuva 5.4

Koottujen pilarien poikkileikkaukset.

a) Jatkuvasti ruuvattu. b) Jatkuvasti naulattu.

c) Välipaloin koottu.

teessa. Voima oletetaan samankeskeiseksi kuin mitoittava pystykuormitus, ja se yhdistetään muihin vaakavoimiin, kuten tuulikuormaan, joka ankkuroitujen pilareiden täytyy ottaa vastaan.

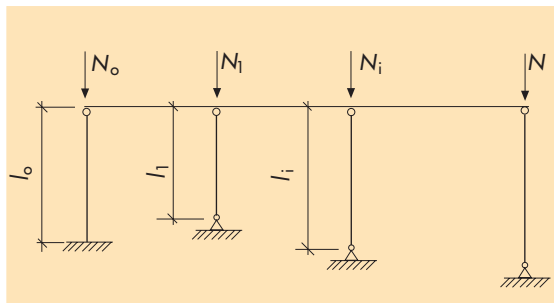
5.4.2 Nurjahtaminen

Täysin vapaisiin pilareihin verrattuna yllä kuvatus järjestelmän jäykästi kiinnitettyjen pilareiden nurjahduskuorma redusoidaan, koska näiden ei ainoastaan pidä kantaa omaa kuormaansa vaan toimia myös nivelpilareiden tukena.

Kuvan 5.5 mukaisessa järjestelmässä, jossa yksi tai useampi samanlainen jäykästi kiinnitetty pilari tukee samaa määrää nivelpilareita, voidaan nivelpilareiden vaikutus järjestelmän nurjahduskuormaan ottaa huomioon tarkistamalla jäykästi kiinnitettyjen pilareiden kantavuus, kun lähtökohdaksi otetaan hoikkuusluku:

$$\lambda_e = \lambda \sqrt{1 + \frac{\pi^2}{12} \cdot \frac{\sum (N_i / l_i)}{\sum (N_o / l_o)}} \quad (5.13)$$

jossa λ = ankkuroitujen pilareiden järjestelmän tasossa tapahtuvan nurjahduksen hoikkuusluku, kun nivelpilareiden vaikutusta ei oteta huomioon
 N_i , l_i = yksittäisen nivelpilarin pystysuuntainen kuormitus ja todellinen pituus
 N_o , l_o = jäykästi kiinnitettyjen pilareiden pystysuuntainen kuormitus ja todellinen pituus.



Kuva 5.5
Pilarijärjestelmä, jossa on yksi jäykästi kiinnitetty pilari.

ESIMERKKEJÄ

Laske kehätasossa tapahtuvan nurjahduksen kiinnitysmomentti ja hoikkuusluku kuva 5.6 runkojärjestelmän pilareille.

Pilarien vinoasennosta johtuva vaakavoima Kaavan 5.12 mukaan:

$$H = (0,003 + 0,012 / \sqrt{n}) \sum N_i = \\ = (0,003 + 0,012 / \sqrt{5}) \cdot 3 \cdot 150 = 3,8 \text{ kN}$$

Vaakavoima antaa jäykästi kiinnitettyjen pilareiden momentiksi:

$$M = 0,5 \times 3,8 \times 4 = 7,6 \text{ kNm.}$$

Tuulikuorman momentti

Oletetaan, etteivät pilarien yläpäät voi siirtyä. Siinä tapauksessa vasemman pilarin kiinnitysmomentiksi tulee:

$$M_0 = \frac{q_1 h^2}{8} = \frac{3 \cdot 4^2}{8} = 6,0 \text{ kN}$$

Vaakasuntainen tukireaktio pilarin yläpäässä:

$$R = \frac{3}{8} q_1 h + \frac{3}{8} q_2 h = \frac{3}{8} (3,0 + 0,6) 4 = 5,4 \text{ kN}$$

Pilarien yläpäät päästetään sen jälkeen vapaiksi, ja tukireaktio jakautuu pilareihin jäykkyyksien suhteessa, ts. kummankin julkisivupilarin kohdalla $0,5R = 2,7 \text{ kN}$. Tästä vaakavoimasta tulee kiinnitysmomentiksi:

$$M_R = 0,5R \cdot h = 0,5 \cdot 5,4 \cdot 4 = 10,8 \text{ kNm.}$$

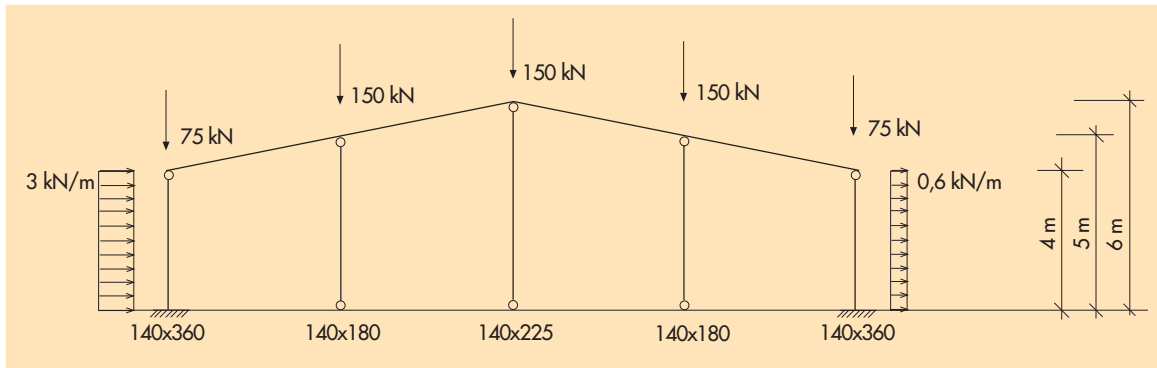
Vasemman pilarin kokonaiskiinnitysmomentti:
 $M = M_0 + M_R = 6,0 + 10,8 = 16,8 \text{ kNm.}$

Nurjahtaminen

Jäykästi kiinnitettyjen pilareiden hoikkuusluvuksi tulee, kun nivelpilareiden vaikutusta ei oteta huomioon, kuvan 5.1 mukaisesti:

$$\lambda = \beta \frac{h\sqrt{12}}{b} = 2,25 \frac{4000\sqrt{12}}{360} = 87$$

jossa h on pilarin pituus ja b on pilaripoikki-leikkauksen mitta nurjahdussuunnassa.



Kuva 5.6
Laskentaesimerkkien edellytykset

Kun otetaan huomioon nivelpilareiden vaikutus, teholliseksi hoikkuusluvaksi tulee kaavan 5.13 mukaisesti:

$$\lambda_e = \lambda \sqrt{1 + \frac{\pi^2}{12} \cdot \frac{\sum (N_i / l_i)}{\sum (N_o / l_o)}} =$$

$$= 87 \sqrt{1 + \frac{\pi^2}{12} \cdot \frac{2 \cdot 150 / 5 + 150 / 6}{2 \cdot 75 / 4}} = 147$$

Nivelpilareiden hoikkuusluku lasketaan tavanomaiseen tapaan:

$$\lambda = \frac{6000\sqrt{12}}{225} = 92$$

$$\lambda = \frac{5000\sqrt{12}}{180} = 96$$

6. Palkit

6.1 Poikkileikkaukseltaan tasakorkeat suorat palkit 79

- 6.1.1 Poikkileikkausvoimat 79
- 6.1.2 Leikkaus 80
- 6.1.3 Tukipaine 80
- 6.1.4 Taivutus ja kiepahdus 81
- 6.1.5 Taipuma 81

6.2 Poikkileikkaukseltaan lineaarisesti vaihtuvakorkuiset suorat palkit 82

- 6.2.1 Poikkileikkausvoimat 82
- 6.2.2 Leikkaus 82
- 6.2.3 Tukipaine 82
- 6.2.4 Taivutus 82
- 6.2.5 Harjakiepahdus 83
- 6.2.6 Poikittaisvetojännitykset 84
- 6.2.7 Taipuma 84

6.3 Kaarevat palkit (bumerangipalkit) 85

- 6.3.1 Taivutus 85
- 6.3.2 Kiepahdus 86
- 6.3.3 Poikittaisvetojännitykset 86
- 6.3.4 Muodonmuutokset 86

6.4 Mitoitustaulukoita 87

6. Palkit

Palkin mitoittavat voimat lasketaan käyttämällä tasapainoehtoja ja lineaarista kimmoteoriaa. Lähtökohtina ovat mitoittavat kuormitusarvot ja kuormitusyhdistelmät voimassa olevien määräysten mukaisesti.

Myös jännitykset ja muodonmuutokset lasketaan palkkien lineaarisen kimmoteorian mukaan. Poikkileikkaussuureet määritetään siten lähtökohtana nettopoikkileikkaus, ts. todelliset poikkileikkaukset, lovet, ohennukset sekä läpimitaltaan 6 mm ylittävät ruuvi- ja naulareiät otetaan huomioon. Jos toisin ei mainita, oletuksena on, että poikkileikkaukset ovat suorakaiteiset ja tasaleveät.

Suorat yksiaukkoiset vapaasti tuetut palkit voidaan mitoittaa taulukoissa 6.1 (kantavuus) ja 6.2 (jäykkyys) olevien kaavioiden avulla.

Kaavioiden lähtöarvot saadaan laskemalla kuormitus palkin juoksumetriä kohden (kN/m) ja jakamalla tämä arvo palkin leveydellä (m) ja mitoittavalla taivutuslujuudella (MPa, katso taulukko 6.1) tai taivutuskimmomoduulilla (taulukko 6.2). Mitoitettava taivutuslujuus ja kimmomoduuli määritetään ottamalla huomioon ne kosteus- ja aikaluokkaa koskevat määräykset, jotka ovat kyseisessä tapauksessa voimassa (katso esim. liite 2.). Kaaviossa 6.2. on käytettävä kimmomoduulin sitä mitoitusarvoa, joka koskee muodonmuutoksia. Yleensä tämä vastaa keskiarvoa.

6.1 Poikkileikkaukseltaan tasakorkeat suorat palkit

6.1.1 Poikkileikkausvoimat

Poikkileikkausvoimat ja tukireaktiot lasketaan helpoimmin tietokoneen avulla. Käsinelaskentaa varten muutamia tavanomaisia kuormitustapauksia on esitetty taulukoissa 6.1 ja 6.2.

Taulukkojen kerrointa k käytetään:

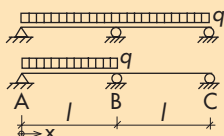
$$\text{Momentti} \quad M = k \cdot ql^2$$

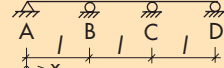
$$\text{Tukireaktio} \quad R = k \cdot ql$$

$$\text{Taipuma} \quad w = k \cdot ql^4/100EI ; x = k \cdot l$$

Taulukko 6.1

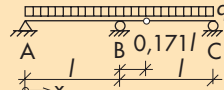
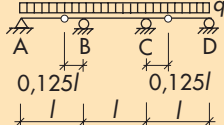
Kertoimet k momentille, tukireaktiolle ja taipumalle. Kertoimet koskevat jatkamatonta tasakorkuista palkkia, jolla on vakio poikkileikkaus.

	Momentti			Tukireaktio			Taipuma	
	M_{AB}	M_B	M_{BC}	R_A	R_B	R_C	w	x
	0,070	-0,125	0,070	0,375	1,250	0,375	0,540	0,42
	0,096	-0,063	-0,025	0,438	0,625	0,063	0,920	0,47

	M_{AB}	M_B	M_{BC}	M_C	M_{CD}	R_A	R_B	R_C	R_D	w	x
	0,080	-0,100	0,025	-0,100	0,080	0,400	0,100	1,100	0,400	0,690	0,45
	0,101	-0,050	-0,050	-0,050	0,101	-0,450	0,550	0,550	0,450	0,990	0,48
	-0,025	-0,050	0,075	-0,050	-0,025	-0,050	0,550	0,550	-0,050	0,677	1,50
	-0,072	-0,117	0,053	-0,033	-0,017	-0,383	1,200	0,450	-0,033	0,586	0,43

Taulukko 6.2

Kertoimet k momentille, tukireaktiolle ja taipumalle. Kertoimet koskevat tasakorkuisia Gerber-palkkeja, joilla on vakio poikkileikkaus.

	Momentti			Tukireaktio			Taipuma				
	M_{AB}	M_{BC}	M_B	R_A	R_B	R_C	w	x			
	0,086	0,086	-0,086	0,414	1,172	0,414	0,774	0,46			
	M_{AB}	M_B	M_{BC}	M_C	M_{CD}	R_A	R_B	R_C	R_D	w	x
	0,086	-0,086	0,039	-0,086	0,086	0,414	1,085	1,085	0,414	0,774	0,46
	0,096	-0,063	0,063	-0,063	0,096	0,438	1,062	1,062	0,438	0,714	0,49
										0,521	1,50

Jatkuville kaksiaukkoisille palkeille, joissa on eri jännevälit ja tasaisesti jakautunut kuormitus kuvan 6.1 mukaisesti, voidaan tukimomentti ja tukireaktiot laskea seuraavien kaavojen avulla:

$$M_B = -\frac{q_1 l_1^3 + q_2 l_2^3}{8(l_1 + l_2)} \quad (6.1)$$

$$R_A = \frac{q_1 l_1}{2} + \frac{M_B}{l_1} \quad \text{jossa } M_{AB} = \frac{R_A^2}{2q_1} \quad (6.2)$$

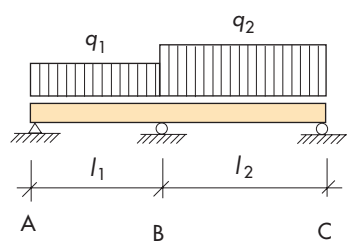
$$R_C = \frac{q_2 l_2}{2} + \frac{M_B}{l_2} \quad \text{jossa } M_{CD} = \frac{R_C^2}{2q_2} \quad (6.3)$$

Jatkuville kolmiaukkoisille palkeille, joissa on eri kenttäpituudet ja tasaisesti jakautunut kuormitus kuvan 6.2 mukaisesti, voidaan tukimomentit laskea seuraavien yhtälöiden avulla:

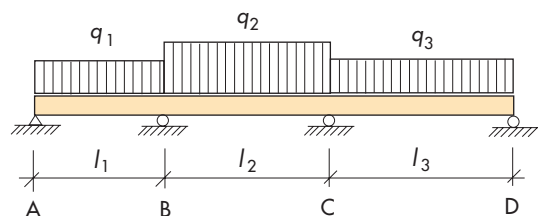
$$M_B = -2q_1 \frac{l_1^3(l_2 + l_3)}{L^2} - q_2 \frac{l_2^3(l_2 + 2l_3)}{L^2} + q_3 \frac{l_3^3 \cdot l_2}{L^2} \quad (6.4)$$

$$M_C = q_1 \frac{l_1^3 l_2}{L^2} - q_2 \frac{l_2^3(2l_1 + l_2)}{L^2} - q_3 \frac{l_3^3(l_1 + l_2)}{L^2} \quad (6.5)$$

jossa $L^2 = 16(l_1 + l_2)(l_2 + l_3) - 4l_2^2$



Kuva 6.1
Jatkuva kaksiaukkoinen palkki.



Kuva 6.2
Jatkuva kolmiaukkoinen palkki.

6.1.2 Leikkaus

Seuraavia mitoitussehtoja käytetään:

$$\tau = \frac{1,5V}{bh} \leq k_v f_v \quad (6.6)$$

jossa V = laskentaleikkausvoima

f_v = laskentaleikkauslujuus

k_v = alennuskertoimen, joka ottaa huomioon kohdan 4.4. mukaisen mahdollisen loven palkin päässä

Alareunastaan tuetulle ja yläreunastaan kuormitetulle palkille voidaan yleensä laskea leikkausvoima (mutta ei tukireaktiota) ottamatta huomioon sitä kuormituksen osuutta, joka vaikuttaa palkin korkeuden etäisyydellä teoreettisesta tukipisteestä. Tätä ohjetta voi soveltaa sekä vapaasti tuettuihin yksiaukkoisiin että jatkuviin kaksi- tai useampiaukkoisiin palkkeihin.

Ratkaisuksi voidaan myös asettaa palkin korkeus ja samalla otetaan huomioon leikkauskestävyys:

$$h_v = \frac{1,5V}{bk_v f_v} \quad (6.7)$$

Vapaasti tuetulle ja tasaisesti kuormitetulle yksiaukkoiselle palkille voidaan ehto määrittellä seuraavasti:

$$h_v = l \frac{0,75q / b}{k_v f_v + 1,5q / b} \quad (6.8)$$

6.1.3 Tukipaine

Seuraavia mitoitussehtoja käytetään:

$$\sigma_{c,90} = \frac{R}{bl_{eff}} \leq f_{c,90} \quad (6.9)$$

jossa l_{eff} = tehollinen tukipituus kohdan 4.3 mukaisesti

R = laskentatukireaktio

$f_{c,90}$ = puristuslujuus kohtisuoraan syyn suuntaa vastaan voimassa olevien normien mukaisesti.

6.1.4 Taivutus ja kiepahdus

Palkin jäykemmänsuuntaiseen kuormitukseen käytetään seuraavia mitoitussehtoja:

$$\sigma_m = \frac{6M}{bh^2} \leq k_{crit} f_m \quad (6.10)$$

jossa M = laskentamomentti

f_m = laskentataivutuslujuus

k_{crit} = kerroin, joka ottaa huomioon

kohdan 4.2 mukaisen kiepahtamisen

Jatkuvien palkkien osalta tukimomentti voidaan laskea olettaen, että tukireaktio jakautuu tasaisesti tukipituudelle. Kohdan 6.1 mukaan lasketut tukimomentit voidaan täten alentaa määrällä:

$$\Delta M = Ra / 8 \quad (6.11)$$

jossa R = mitoittava tukireaktio

a = tukipituus

Ratkaisuksi voidaan myös asettaa palkin korkeus, ja samalla otetaan huomioon taivutuskestävyys:

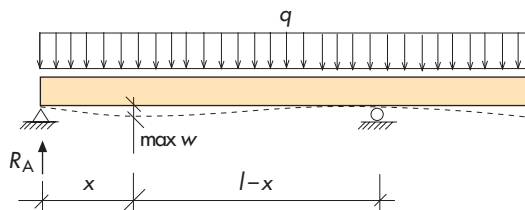
$$h_m = \sqrt{\frac{6M}{bk_{crit} f_m}} \quad (6.12)$$

Vapaasti tuetun ja tasaisesti kuormitetun yksiaukkoisen palkin kohdalla voidaan käyttää:

$$h_m = l \sqrt{\frac{0,75q/b}{k_{crit} f_m}} \quad (6.13)$$

Koska sekä k_{crit} että f_m normaalisti vaihtelevat palkin korkeuden mukaan, täytyy palkin korkeus h_m yleensä määrittää kokeilemalla.

Samanaikaiselle taivutukselle y- ja z-akselin ympäri sopivat mitoitus ehdot 5.7 ja 5.8. Nämä kaavat koskevat myös poikkileikkausta, jonka muoto on mielivaltainen.



Kuva 6.3
Reunakentän taipuma.

6.1.5 Taipuma

Mitoitussehto voidaan yleensä antaa muodossa:

$$w_s = k_1 \frac{Ml^2}{Eb h^3} + k_2 \frac{M}{Gb h} \leq w_R \quad (6.14)$$

jossa k_1 ja k_2 = vakiot, joiden arvot riippuvat kyseisistä tuentaehdoista ja kuormituksen lajista,

M = mitoittava momentti

E, G = mitoittavat materiaaliarvot

w_s = laskettu taipuma

w_R = maksimitaipuma esim. taulukon 3.1 mukaan

Jos jätetään leikkausmuodonmuutokset ottamatta huomioon, mikä on perusteltavissa palkeissa kun $l/h > 10$, voidaan korkeus mitoittaa, kun otetaan huomioon taipuminen:

$$h_w = \sqrt[3]{\frac{kMl^2}{Eb w_R}} \quad (6.15)$$

Vapaasti tuetun ja tasaisesti kuormitetun yksiaukkoisen palkin kohdalla pätee:

$$h_w = l \cdot \sqrt[3]{\frac{5}{32} \cdot \frac{q/b}{E} \cdot \frac{l}{w_R}} \quad (6.16)$$

Jatkuvien palkkien osalta taipuma ei normaalisti ole mitoittava tekijä. Maksitaipuma esiintyy yleisimmin reunakentissä. Jos leikkausmuodonmuutoksia ei oteta huomioon, voidaan taipuma laskea integroimalla taipumaviivan differentiaaliyhtälö:

$$w'' = -M/EI$$

Edellyttäen, että poikkileikkaus on vakio ja kuorma jakautuu tasaisesti, reunakentän maksimitaipuma on käyttämällä kuvan 6.3 nimityksiä:

$$w = \frac{x}{EI} \left[\frac{R_A}{6} (l^2 - x^2) - \frac{q}{24} (l^3 - x^3) \right] \quad (6.17)$$

$$x \approx l \cdot \sqrt{\frac{R_A - 0,25ql}{3R_A - 0,46ql}}$$

Huomaa, että taipuman mitoitus koskee yleensä käyttötilaa ja että mitoittava kuorma ja materiaaliarvot on määritettävä sen mukaisesti.

6.2 Poikkileikkaukseltaan lineaarisesti vaihtuvakorkuiset suorat palkit

Poikkileikkaukseltaan vaihtuvakorkuisia palkkeja ovat muun muassa symmetriset tai poikkeustapauksissa epäsymmetriset harjapalkit, pulpettipalkit sekä kehärakenteiden kattopalkit. Harja- ja pulpettipalkit ovat yleensä yksiaukkoisia ja vapaasti tuettuja.

Jatkossa oletetaan, että puun syyt ovat palkin alareunan suuntaiset.

6.2.1 Poikkileikkausvoimat

Staattisesti määräämättömien harja- tai pulpettikattojen poikkileikkausvoimia ei voida määrittää taulukon 6.1 mukaan, koska taulukko edellyttää, että poikkileikkauskorkeus on vakio. Laskennassa, joka tehdään helpoimmin tietokoneella, täytyy ottaa huomioon, että poikkileikkauskorkeuden vaihtelu vaikuttaa muodonmuutoskuvioon ja poikkileikkausvoimien jakautumiseen.

6.2.2 Leikkaus

Samoin kuin poikkileikkauskorkeudeltaan vakioiden palkkien kohdalla, pätee mitoitusehto:

$$\tau = \frac{1,5V}{bh} \leq k_v f_v \quad (6.18)$$

jossa V = laskentaleikkausvoima

f_v = laskentaleikkauslujuus

k_v = kerroin, joka ottaa huomioon kohdan 4.4 mukaisen mahdollisen loven palkin päässä

Leikkausvoima voidaan tässäkin tapauksessa laskea ottamatta huomioon sitä kuormituksen osuutta, joka vaikuttaa palkin yläreunaan palkkikorkeuden etäisyydellä teoreettisesta tukipisteestä. Oletuksena on, että palkki on tuettu alareunasta.

Kuten tasakorkeissakin palkeissa, ratkaisuksi voidaan myös asettaa palkin tukikorkeus, jolloin samalla otetaan huomioon leikkauskestävyys.

$$h_v = \frac{1,5V}{bk_v f_v} \quad (6.19)$$

Vapaasti tuetulle ja tasaisesti kuormitetulle yksiaukkoiselle palkille voidaan ehto kirjoittaa muotoon:

$$h_v = l \frac{0,75q / b}{k_v f_v + 1,5q / b} \quad (6.20)$$

6.2.3 Tukipaine

Kuten poikkileikkauskorkeudeltaan vakioiden palkkien kohdalla, voimassa ovat seuraavat mitoitus ehdot:

$$\sigma_{c,90} = \frac{R}{bl_{eff}} \leq f_{c,90} \quad (6.21)$$

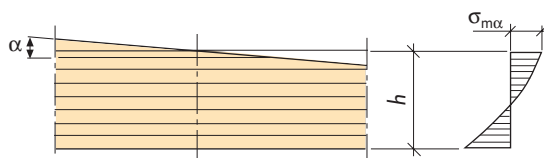
jossa l_{eff} = tehollinen tukipituus kohdan 4.3 mukaan

R = laskentatukireaktio

f_{c90} = puristuslujuus kohtisuoraan syyn suuntaa vastaan voimassa olevien normien mukaan.

6.2.4 Taivutus

Periaatteessa pätevät samat mitoitus ehdot kuin poikkileikkaukseltaan tasakorkuisillekin palkeille. Vaihtuva poikkileikkauskorkeus vaikuttaa kuitenkin taivutusjännitysten jakautumiseen poikkileikkauksessa (katso kuva 6.4). Lisäksi vinosti leikatun reunan taivutuslujuutta redusoidaan kohdan 4.6 mukaisesti.



Kuva 6.4

Taivutusjännitysten jakautuminen poikkileikkaukseltaan vaihtuvakorkuisissa palkissa.

Yhteenlaskettu vaikutus johtaa vapaasti tuettujen yksiaukkoisten palkkien osalta siihen, että jännitykset palkin (vinosti leikatussa) yläreunassa yleensä ovat mitoituksen kannalta määrääviä. Jatkuvia palkkeja mitoittaessa täytyy sekä yläettä alareuna tarkistaa tuen kohdalla:

$$\sigma_m = k_{\sigma,\alpha} \frac{6M}{bh^2} \leq k_{f,\alpha} f_m \quad (6.22)$$

jossa

$$k_{\sigma,\alpha} = \begin{cases} 1 - 4 \tan^2 \alpha, & \text{ylemmässä, vinoleikatussa reunassa} \\ 1 + 4 \tan^2 \alpha, & \text{alemmassa, suorassa reunassa} \end{cases}$$

M = laskentamomentti

f_m = laskentataivutuslujuus

$k_{f,\alpha}$ = redusointikerroin, joka ottaa huomioon lamellien päiden vinouden kohdan 4.6 mukaisesti

Koska sekä momentti että poikkileikkauskorkeus vaihtelevat palkin akselin pituussuunnassa, maksimitaivutusjännitys ei yleensä esiinny momentin maksimikohdassa vaan lähempänä tukipistettä olevassa poikkileikkauksessa. Leikkauksen sijainti voidaan määrittää analyyttisesti derivoimalla lauseke:

$$\sigma(x) = \frac{M(x)}{W(x)} \text{ ja asettamalla tulos nollassi.}$$

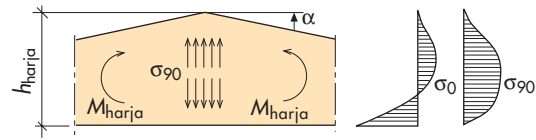
Vapaasti tuettujen ja tasaisesti kuormitettujen pulpettipalkkien tai symmetristen harjapalkkien osalta mitoittava leikkaus sijaitsee etäisyydellä:

$$x = \frac{h}{2h_m} l \quad (6.23)$$

tukipisteestä, jolloin h tarkoittaa palkin korkeutta tuella ja h_m palkin korkeutta jännevälän puolessa välissä.

Poikkileikkauksen maksimitaivutusjännitys on:

$$\sigma_m = k_{\sigma,\alpha} \frac{0,75ql^2}{bh(h + l \tan \alpha)} \quad (6.24)$$



Kuva 6.5

Taivutus- ja poikittaisten vetojännitysten jakautuminen harjapalkin harjaosassa.

Mitoitusehdoksi voidaan valita palkin keski- korkeus:

$$h_m = \frac{h_0^2 + h^2}{2h} \quad (6.25)$$

jossa

$$h_0 = \sqrt{\frac{0,75ql^2}{bf_m} \cdot \frac{k_{\sigma,\alpha}}{k_{f,\alpha}}} \quad (6.26)$$

Annetulle kattokulmalle yhtälö on seuraava:

$$h_m = \sqrt{h_0^2 + \left(\frac{l}{2} \tan \alpha\right)^2} \quad (6.27)$$

Kun mitoitetaan jatkuvia harjapalkkeja tai yksiaukkoisia harjapalkkeja, joissa on suuri kattokaltevuus, on myös harja-alue tarkistettava. Suurin taivutusjännitys esiintyy palkin alapinnassa (kuva 6.5), ja se voidaan määrittää seuraavasti:

$$\sigma_m = (1 + 1,4 \tan \alpha + 5,4 \tan^2 \alpha) \cdot \frac{6M_{harja}}{bh_{harja}^2} \quad (6.28)$$

jossa M_{harja} ja h_{harja} ovat harjakohdan laskentamomentti ja palkkikorkeus. Laskentataivutuslujuutta f_m ei tarvitse alentaa, koska tarkistus tässä tapauksessa koskee palkin alareunaa.

6.2.5 Kiepahdus

Kantavuus kiepahtamisen suhteen tarkistetaan kohdan 4.2 mukaan, jolloin voidaan käyttää seuraavaa mitoitusetta:

$$\sigma_m = \frac{6M}{bh^2} \leq k_{crit} f_m \quad (6.29)$$

jossa M = laskentamomentti

f_m = laskentataivutuslujuus
 k_{crit} = alennuskerroin, joka ottaa huomioon kiepahtamisen kohdan 4.2. mukaisesti

Harja- tai pulpettipalkeille, joita kuormittavat yläreunan sivuille taipumista estävät sekundääripalkit, voidaan kerroin k_{crit} määrittää lähtemällä hoikkuusluvusta, joka lasketaan taulukon 4.2. mukaisen palkin tehollisen pituuden l_e sekä palkkikorkeuden h mukaan mitoittavassa leikkauksessa.

6.2.6 Poikittaisvetojännitykset

Harjapalkeissa, joissa on alaspäin suuntautuva kuormitus, voivat harja-alueen poikittaisvetojännitykset muodostaa mitoittavan tekijän. Jos katon kaltevuus alittaa 10 astetta ja yläreuna on tuettu sivusuunnassa, voidaan käyttää seuraavaa mitoitusetta:

$$\sigma_{90} = 0,2 \tan \alpha \frac{6M_{harja}}{bh_{harja}^2} \leq k_{vol} f_{t,90} \quad (6.30)$$

jossa $f_{t,90}$ = vetolujuus kohtisuoraan syynsuuntaa vastaan

k_{vol} = alennuskerroin, joka ottaa huomioon poikittaisvetolujuuden tilavuusriippuvuuden kohdan 4.8 mukaisesti.

6.2.7 Taipuma

Harja- ja pulpettikattojen taipuma lasketaan helpoimmin tietokoneen avulla. Käsien laskeminen työyhtälöillä on hankalaa.

Tasaisesti kuormitetulle ja vapaasti tuetulle pulpettipalkille tai symmetriselle harjapalkille voidaan arvioida taipuma seuraavien kaavojen avulla:

$$w_q = \frac{5}{384} \cdot \frac{ql^4}{EI_e} + 0,35 \frac{ql^2}{Gb(h+h_{max})} \quad (6.31)$$

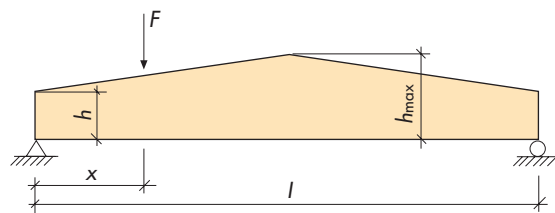
Taulukko 6.3
Taipumakerroin k_F

Harjapalkki

x/l	h/h_{max}				
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
0,1	0,0104	0,045	0,105	0,188	0,296
0,2	0,0190	0,080	0,194	0,356	0,568
0,3	0,0206	0,104	0,259	0,489	0,792
0,4	0,0224	0,117	0,299	0,574	0,944
0,5	0,0229	0,121	0,312	0,604	1,0

Pulpettipalkki

x/l	h/h_{max}				
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
0,1	0,0256	0,081	0,149	0,221	0,296
0,2	0,0430	0,147	0,278	0,421	0,568
0,3	0,0543	0,192	0,375	0,579	0,792
0,4	0,0548	0,213	0,430	0,663	0,944
0,5	0,0518	0,210	0,439	0,708	1,0
0,6	0,0446	0,187	0,399	0,657	0,944
0,7	0,0358	0,149	0,325	0,544	0,792
0,8	0,0238	0,103	0,228	0,385	0,568
0,9	0,0120	0,053	0,117	0,199	0,296



Kuva 6.6

Vapaasti tuettu, pistekuormitettu harjapalkki.

$$\text{jossa } I_e = \frac{bh_e^3}{12}$$

$$h_e = h + 0,33 \cdot l \cdot \tan \alpha \text{ harjapalkeille}$$

$$h_e = h + 0,45 \cdot l \cdot \tan \alpha \text{ pulpettipalkeille.}$$

Palkeille, joissa $2l/(h+h_{max}) > 15$, voidaan jättää pois yllä olevan yhtälön jälkimmäinen termi, joka vastaa leikkausmuodonmuutosten osuutta taipumasta.

Vapaasti tuetulle pulpettipalkille tai symmetriselle harjapalkille, jota kuormitetaan pistekuormalla F kuvan 6.6 mukaisesti, voidaan kentän keskipisteen taipuma laskea seuraavan kaavan mukaan:

$$w_F = k_F \frac{Fl^3}{48EI} \quad (6.32)$$

jossa k_F = suhteesta h/h_{max} ja kuorman sijaintikohdasta riippuva vakio, joka saadaan taulukosta 6.3.
 $I = bh^3/12$.

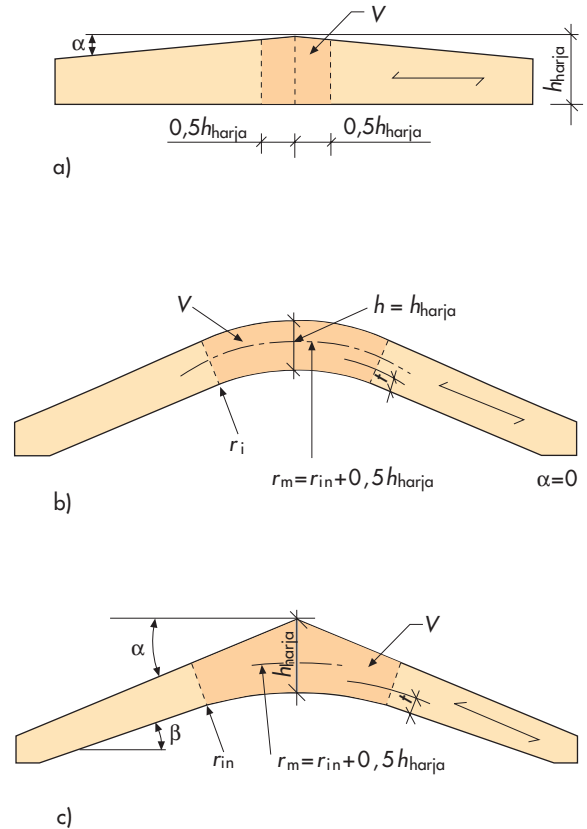
6.3 Kaarevat palkit (bumerangipalkit)

Liimapuupalkit tehdään usein kaareviksi. Kaarevan osan korkeus voi olla tasainen tai muuttuva (kuva 6.7). Jos korkeus on tasainen, voidaan haluttu harjakattomuoto saada aikaan erillisen harjaosan avulla, joka jälkeinpäin naulataan tai ruuvataan palkkiin.

Käytettäessä kaarevia palkkeja on huolehdittava erityisesti siitä, että vähintään yksi tukipisteistä sallii vaakaliikkeitä, koska rakenteen toiminta, ja siten mitoitus ehdot, muuten muuttuu huomattavasti.

Suurempaa kattokaltevuutta kuin 10 astetta on vältettävä.

Palkin suorilla osuuksilla pätevät samat mitoitus ehdot leikkausvoimalle, tukipaineelle ja taivutukselle kuin poikkileikkaukseltaan tasa- tai vaihtuvakorkuisille suorille palkeille (katso kohdat 6.1 ja 6.2). Kaarevalle palkin osalle tarkistetaan taivutusjännitykset ja poikittaiset vetojännitykset. Mitoitettavaa taivutuslujuutta tulee siten alentaa ottamalla huomioon lamellikaarevuus kohdan 4.6 mukaisesti.



Kuva 6.7

Kaarevat palkit, joissa tasainen tai vaihtuva korkeus. Karakteristinen tilavuus V on merkitty kuvaan.

6.3.1 Taivutus

Palkin kaariosuudella voidaan käyttää seuraavia mitoitus ehtoja:

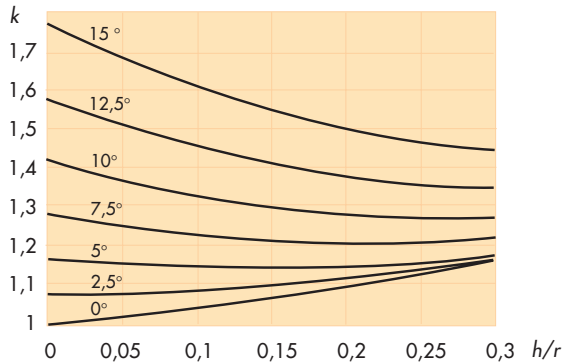
$$\sigma_m \leq k_r f_m \quad (6.33)$$

jossa k_r = kerroin, joka ottaa huomioon lamellikaarevuuden kohdan 4.7 mukaisesti.

Tasaisesti jakautuneella kuormalla jännevälän keskiosa on mitoittava. Maksitaivutusjännitys esiintyy palkin alareunassa:

$$\sigma_m = k_l \frac{6M}{bh_{harja}^2} \quad (6.34)$$

Kertoimen k_l arvo riippuu kaarevan osan säteestä ja palkin tyypistä eli siitä, onko palkin kaariosan korkeus vaihtuva vai tasainen. Eri normit



Kuva 6.8

Kerroin k_1 poikkileikkaukseltaan vaihtuvakorkuisille kaareville palkkeille eri kattokaltevuuksilla ja kaarevuuksilla.

johtavat hieman erilaisiin laskentakaavoihin, joista suurin osa perustuu elementtimenetelmään. EC 5 antaa seuraavat kaavat materiaaleille, joilla $E_0/E_{90} \approx 30$ $h_{harja}/r_m \leq 0,3$:

$$k_l = k_1 + k_2 \left(\frac{h_{harja}}{r_m} \right) + k_3 \left(\frac{h_{harja}}{r_m} \right)^2 + k_4 \left(\frac{h_{harja}}{r_m} \right)^3 \quad (6.35)$$

$$\begin{aligned} \text{jossa } k_1 &= 1 + 1,4 \tan \alpha + 5,4 \tan^2 \alpha \\ k_2 &= 0,35 - 8 \tan \alpha \\ k_3 &= 0,6 + 8,3 \tan \alpha - 7,8 \tan^2 \alpha \\ k_4 &= 6 \tan^2 \alpha \end{aligned}$$

Poikkileikkaukseltaan tasakorkuisten palkkien kaarevalla osuudella pätevät kaavoissa arvot $\alpha = 0$ ja $h_{harja} = h$. Kuva 6.8 osoittaa, kuinka k_l vaihtelee katon kaltevuuden ja kaarevuuden mukaan.

Poikkileikkaukseltaan vaihtuvakorkuisissa kaarevissa palkkeissa on tarkistettava myös tangenttipisteiden taivutusjännitykset. Nämä voidaan laskea käyttämällä kaavaa, jossa:

$$k_l = \max \begin{cases} 1,05 \\ 1 + 3,7 \tan^2(\alpha - \beta) \end{cases} \quad (6.36)$$

6.3.2 Kiepahdus

Kantavuus kiepahtamisen suhteen tarkistetaan kohdan 4.2 mukaisesti. Katso myös kohdan 6.2.5 vastaavia ohjeita, jotka koskevat suorita, poikkileikkaukseltaan vaihtuvakorkuisia palkkeja.

6.3.3 Poikittaisvetojännitykset

Pystysuora, alaspäin suuntautuva kuormitus aiheuttaa poikittaisvetojännityksiä palkin kaarevaan osaan. Mitoitusehto on seuraava:

$$\sigma_{90} \leq k_{vol} f_{t,90} \quad (6.37)$$

jossa $f_{t,90}$ = vetolujuus kohtisuoraan syitä vastaan

k_{vol} = alennuskerroin, joka ottaa huomioon poikittaisvetojännityksen tilavuusriippuvuuden kohdan 4.8 mukaisesti

Mitoittava poikittaisvetojännitys, joka esiintyy yleensä jännevälin keskellä, voidaan laskea seuraavasti:

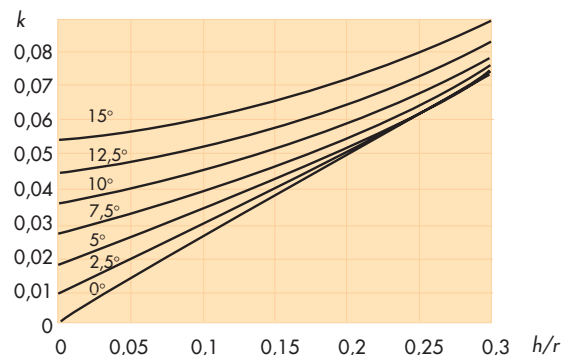
$$\sigma_m = k_p \frac{6M}{bh_{harja}^2} \quad (6.38)$$

Kertoimen k_p arvo (samoin kuin yllä olevan kertoimen k_l arvo) riippuu kaarisäteestä ja palkin tyypistä, eli siitä, onko poikkileikkauksen korkeus vakio vai vaihtuva.

EC 5:ssä esitetään seuraavat kaavat materiaaleille, joiden $E_0/E_{90} \approx 30$ ja $h_{harja}/r_m \leq 0,3$:

$$k_p = k_5 + k_6 \left(\frac{h_{harja}}{r_m} \right) + k_7 \left(\frac{h_{harja}}{r_m} \right)^2 \quad (6.39)$$

$$\begin{aligned} \text{jossa } k_5 &= 0,2 \tan \alpha \\ k_6 &= 0,25 - 1,5 \tan \alpha + 2,6 \tan^2 \alpha \\ k_7 &= 2,1 \tan \alpha - 4 \tan^2 \alpha \end{aligned}$$



Kuva 6.9

Kerroin k_p kaarevalle, poikkileikkaukseltaan vaihtuvakorkuiselle palkille eri kattokaltevuuksilla ja kaarevuuksilla.

Poikkileikkaukseltaan tasakorkuisten palkkien kaarevalla osuudella $\alpha = 0$ ja $h_{\text{harja}} = h$. Kuvasta 6.9 näkyy, kuinka k_p vaihtelee kattokaltevuu-den ja kaarevuuden mukaan.

6.3.4 Muodonmuutokset

Pystysuuntainen taipuma kentän keskellä voidaan arvioida seuraavan kaavan avulla:

$$w = \frac{w_0}{\cos \frac{\alpha + \beta}{2}} \quad (6.40)$$

jossa w_0 = arvioitu taipuma kohdan 6.2.7 mukaan; koskee symmetristä harjapalkkia, jossa on samankokoiset jännevälit sekä samat poikkileikkausmitat tuella ja kentässä

Liikkuvan tukipisteen vaakasuora siirtymä voidaan arvioida käyttäen kaavaa:

$$w_h = w \cdot \frac{f + 0,8h}{l / 4} \quad (6.41)$$

jossa f = neutraaliakselin pystysuora etäisyys tukipisteen ja harjan välillä
 h = palkin korkeus tuen kohdalla
 l = jänneväli
 w = pystysuuntainen taipuma kentän keskellä

6.4 Mitoitusdiagrammi

Yksiaukkoisten suorien palkkien mitoitus voidaan tehdä kuvien 6.10 (kestävyys) ja 6.11 (jäykkyys) diagrammin avulla.

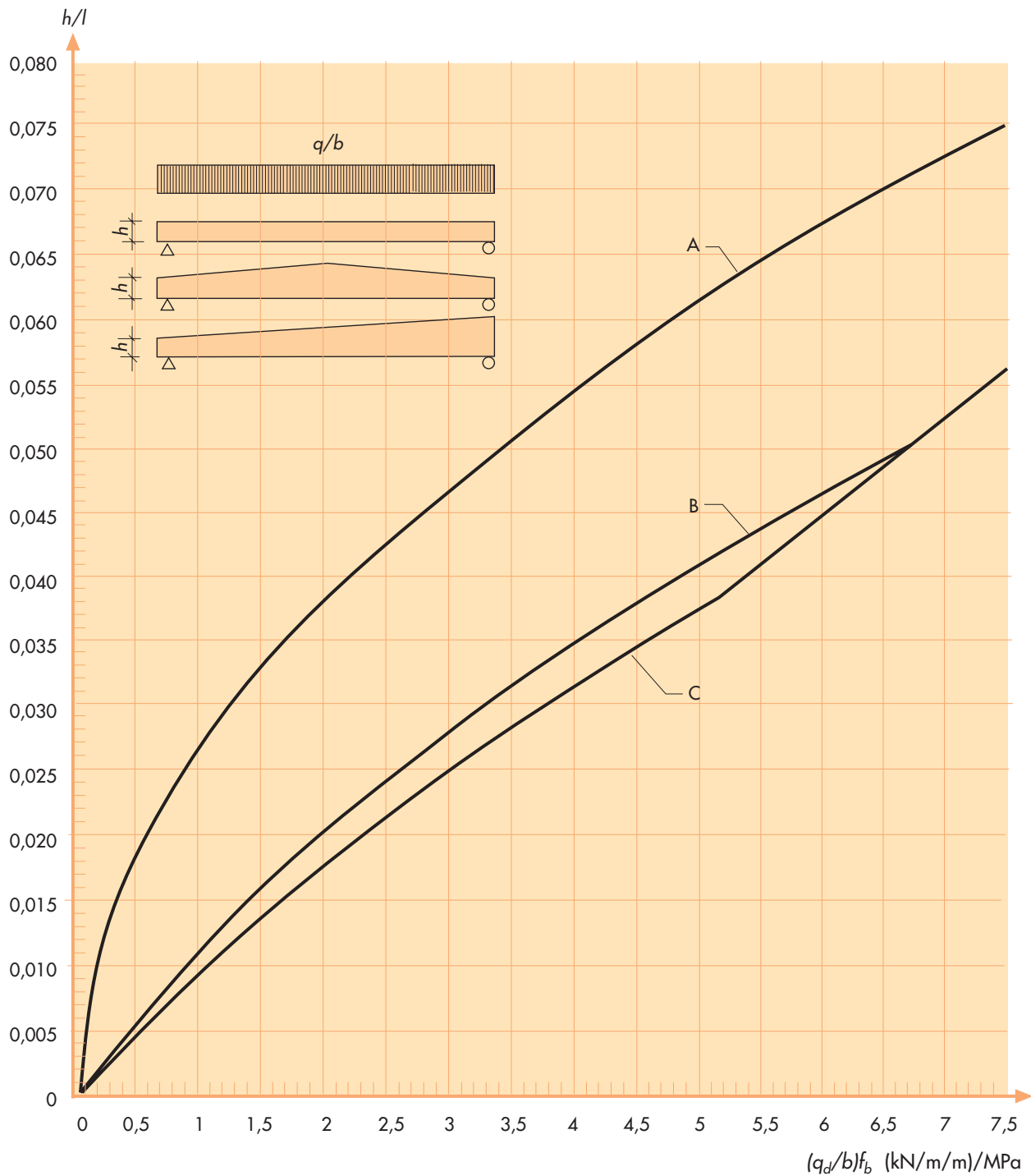
Diagrammin lähtöarvo saadaan laskemalla palkin laskentajuoksumetrikuorma (kN/m) ja jakamalla tämä arvo palkin leveydellä (m) ja laskentataivutuslujuudella (MPa) (kuva 6.10) vastaavasti kimmomoduulilla taipumaa laskettaessa (kuva 6.11). Taivutuslujuuden ja kimmo-

moduulin laskenta-arvo määritellään ottamalla huomioon tapauskohtaisesti kosteusluokka ja aikaluokka normien mukaan. Kuvassa 6.11 käytetään kimmomoduulin laskenta-arvoa, jota sovelletaan muodonmuutoksen laskentaan. Yleensä se vastaa kimmomoduulin keskiarvoa.

Seuraavalla sivulla olevan diagrammin käyttöohje

1. Määrittele kuormitusyhdistelmä ja kuorman laskenta-arvo (q_d)
2. Määrittele jänneväli.
3. Valitse palkkityyppi (suora palkki, harja- tai pulpettipalkki).
4. Arvioi palkin korkeus ja leveys, jotka vaikuttavat sopivilta esim. taulukon 2.1 avulla.
5. Määrittele laskentataivutuslujuus (f_b) valitulle palkin korkeudelle, kosteusluokka ja aikaluokka kuormitusyhdistelmän lyhyimmän osakuorman mukaan.
6. Laske lähtöarvo $q_d/b/f_b$ ottamalla huomioon yksiköt kN/m/m/MPa ja sijoita arvo diagrammin 6.10 vaaka-akselille.
7. Vedä pystyviiva edellisen arvon kohdalta ja merkitse missä viiva leikkaa valitun palkkityypin käyrän (A, B tai C).
8. Vedä vaakaviiva käyrän leikkauspisteestä ja lue osamäärän h/l arvo, jossa viiva leikkaa pysty-akselin.
9. Laske palkkikorkeus h ja vertaa sitä oletettuun palkkikorkeuteen.
10. Korjaa tarvittaessa lähtöarvoa kohdan 5 mukaisesti ja toista kohdat kuudesta yhdeksään kunnes oletettu ja laskettu palkkikorkeus ovat samansuuruisia.
11. Määrittele vastaavalla tavalla tarvittava palkkikorkeus ottaen huomioon taipumarajoitukset. Käyrä (6.11) perustuu palkin keskiosan enimmäistaipumaan, joka on jännevälän $l/200$ -osa.

Lähtöarvo $q/b/E$ lasketaan käyttörajatilan kuormitusyhdistelmällä ja kimmomoduulilla (E).

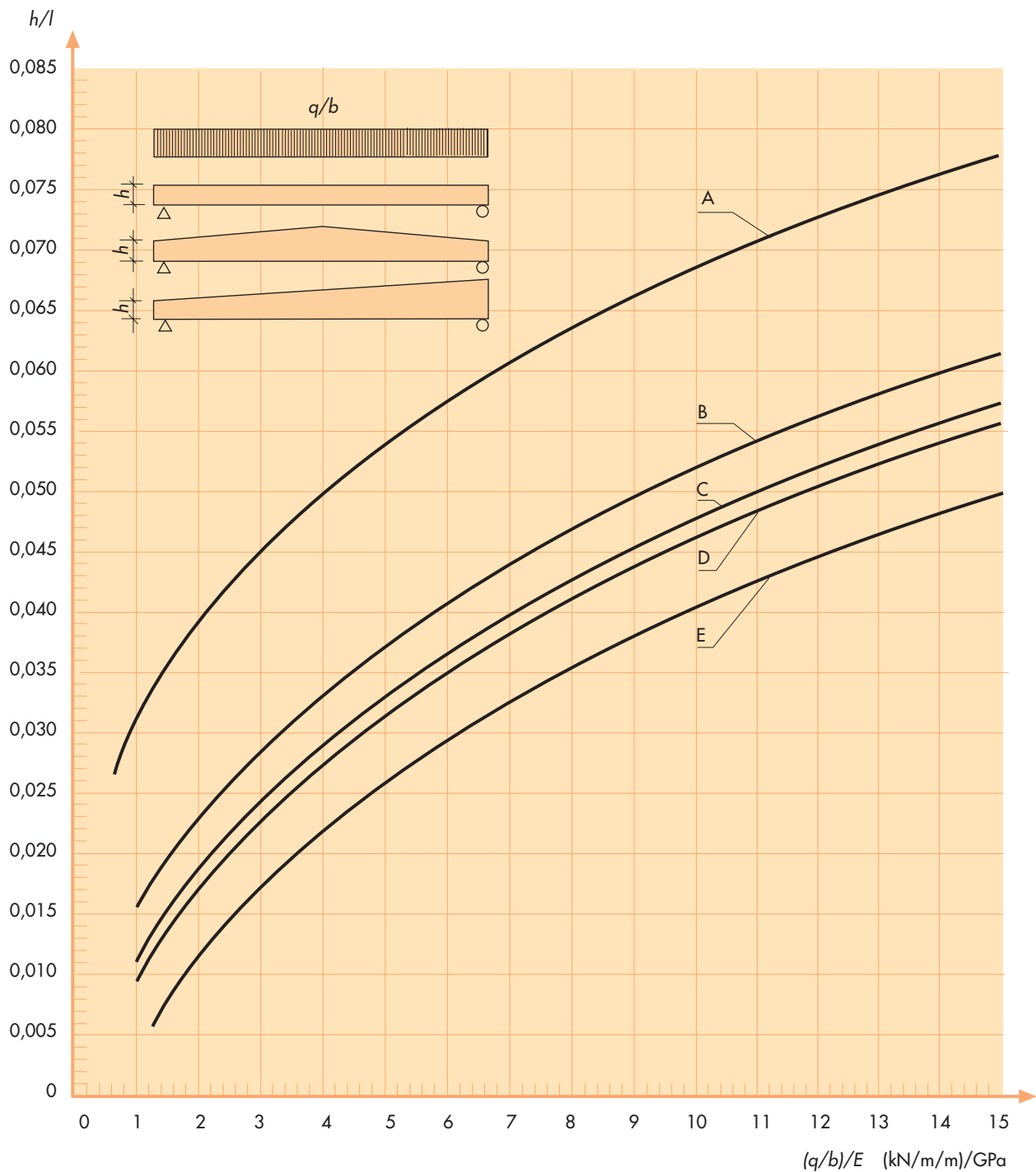


Kuva 6.10

Yksiaukkoisen vapaastuetun liimapuupalkin mitoitus kestävyydelle. Suorat palkit, harja- ja pulpettipalkit. Kiepahdus- ja nurjahdusmahdollisuus oletetaan olevan estetty.

Käyrä A = Suora palkki. Käyrä B = Harja- ja pulpettipalkki 1:20. Käyrä C = Harja ja pulpettipalkki 1:16. Mitoitusnomogrammi EC5 mukainen.

Laskentakuorma q_d lasketaan varmuuskertoimilla.



Kuva 6.11

Yksiaukkoisen vapaastuetun liimapuupalkin mitoitus käyttörajan taipumalle.

Suorat palkit, harja- ja pulpettipalkit.

Kiepahdus- ja nurjahdusmahdollisuus oletetaan olevan estetty.

Mitoitusehdot: $\max w \leq l/200$. Muille ehdoille, esim. $w \leq l/n$ kuorma q kerrotaan suhteella $n/200$.

Käyrä A = Suora palkki. Käyrä B = Harjapalkki 1:20. Käyrä C = Harjapalkki 1:16. Käyrä D = pulpettipalkki 1:20.

Käyrä E = Pulpettipalkki 1:16.

Lähtöarvo $q/b/E$ lasketaan käyttörajan kuormitusyhdistelmällä ja kimmomoduulilla (E).

7. Ristikot

- 7.1 Geometria 93
- 7.2 Sauvavoimien laskenta 94
- 7.3 Sauvojen mitoitus 94
- 7.4 Solmukohdat 95
- 7.5 Taipuminen ja esikorotus 95

Sibeliustalo, metsähalli, Lahti.
Arkkitehti: Arkkitehtiyöhuone Artto Palo Rossi Tikka Oy/
Hannu Tikka ja Kimmo Lintula.
Rakennesuunnittelu: Turun Juva Oy
Kuva: Mikko Junninen/Wood Focus Oy PUUINFO

7. Ristikot

Ristikko on järjestelmä suoria sauvoja, jotka on yhdistetty solmukohdistaan toisiinsa kantavaksi rakenteeksi. Tasoristikossa kaikki tangot ovat samassa tasossa, muulloin kyseessä on avaruusristikko.

Puuristikot, joita tässä tekstissä käsitellään, ovat useimmiten tasoristikkoita, ja niitä käytetään normaalisti kuten vapaasti tuettuja yksiaukkoisia palkkeja. Rakennuksen jäykistämiseen tarkoitettuja ristikkoita käsitellään kohdassa 12.2 Tuuliristikot.

Massiivirakenteisiin verrattuna ristikkorakenteella on useita etuja:

- Materiaalin tehokas käyttö vaikuttaa taloudellisuuteen
- Suuri muodon vapaus
- Ristikko voidaan helposti jakaa pienempiin kuljetusosiin
- Alhainen omapaino helpottaa käsittelyä tehtaalla ja työmaalla sekä alentaa kuljetuskustannuksia.

7.1 Geometria

Pienten jännevälien puuristikot ovat yleensä kolmion muotoisia. Sauvat on tehty rakennepuutarasta ja solmukohdat naulauslevystä. Kun jänneväli on suurempi, yleinen materiaali on liimapuu.

Tavallinen yksinkertaisen ristikon muodostava liimapuurakenne on kolminivelkattotuoli. Sitä käsitellään erikseen luvussa 8. Muuten liimapuuristikot ovat yleensä suoria ristikoita, tosin muutkin muodot ovat mahdollisia, esim. trapetsi- tai kaariristikko (kuva 7.1).

Yläpaarre mukailee yleensä katon muotoa, kun taas alapaarteen muoto määräytyy mm. tarvittavista vapaasta korkeudesta ja rakennekorkeudesta, arkkitehdin toivomuksista ja jossain määrin mahdollisen sisäkaton muotoilusta.

Ylä- ja alapaarteiden väliin sijoitettavien (pystysuorien ja/tai vinojen) uumasauvojen avulla luodaan suljettujen kolmioiden järjestelmä. Ristikosta tulee näin geometrisesti stabiili. Lisäksi se on staattisesti määrätty eli sauvavoimat voidaan laskea tasapainoyhtälöillä, jos sauvojen määrä (n) täyttää ehdon:

$$n = 2m - r \quad (7.1)$$

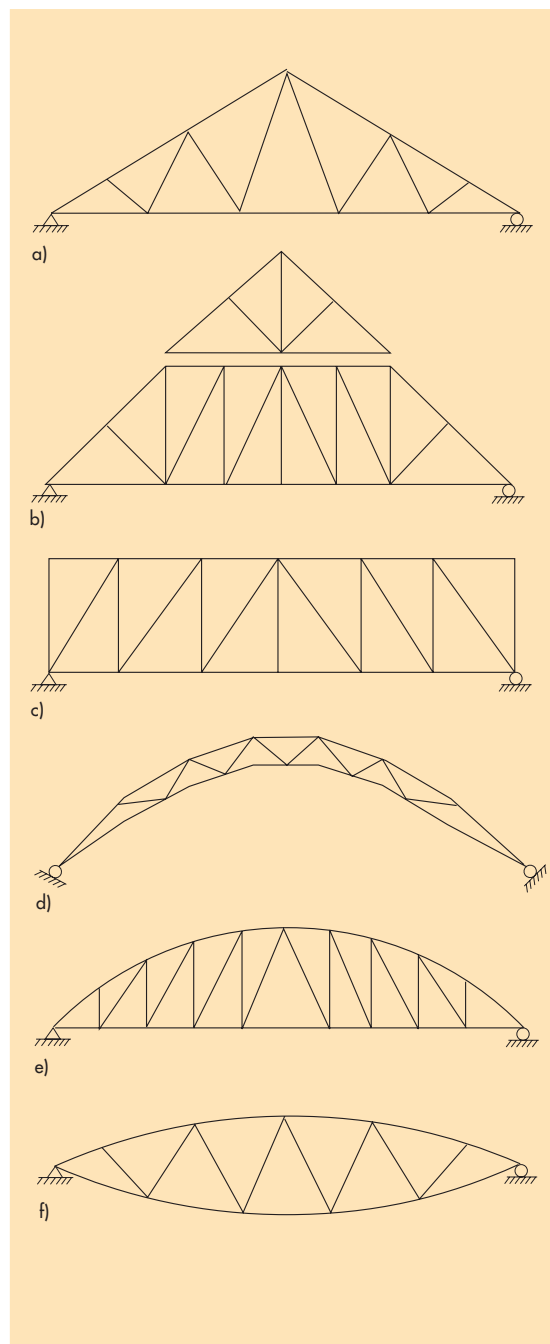
jossa m = solmupisteiden määrä

r = tukireaktioiden määrä

Yksiaukkoiselle vapaasti tuetulle palkille, jota kuormittavat pysty- ja vaakasuuntaiset kuormat, $r=3$, joten ehto saa muodon

$$n = 2m - 3$$

Jos sauvojen määrä on suurempi, ristikko on staattisesti määräämätön. Silloin sauvavoimat täytyy laskea ottamalla huomioon sekä tasapaino- että muodonmuutosehdot. Jos sauvojen määrä on pienempi, ristikko on epävaka ja kannattavana rakenteena käyttökelvoton.



Kuva 7.1

Erilaisia ristikoita

a) Harjaristikko

b) Ym. jaettuna kuljetettaviin kappaleisiin

c) Suora ristikko

d) Kaksinivelkaari

e) Paraabeliristikko

f) Veneen muotoinen ristikko

Uumasauvat sijoitetaan yleensä siten, että:

- solmukohdat (jos se on mahdollista) yhtyvät ulkoisten voimien kohdistuspisteisiin, jolloin voidaan välttää yläpaarteiden momentteja
- asennukset, kuten ilmastointikanavat, voivat kulkea ristikon sauvojen välistä
- ristikon muoto on harmoninen (esim. symmetrinen, vinosauvojen kaltevuus on sama)
- puristussauvat ovat mahdollisimman lyhyet, jolloin voidaan välttää nurjahdustuennoilta
- ristikko voidaan jakaa sopiviin osiin kuljetusta varten.

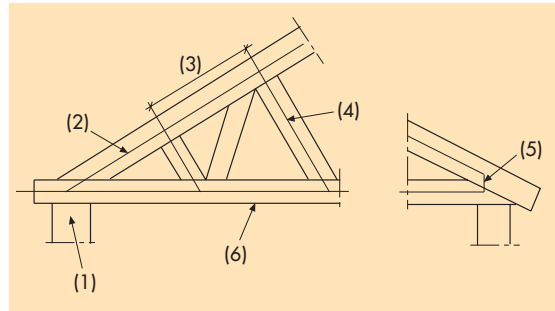
Rakenne ei saa olla liian matala. Noin 1/12 jännevälistä on suorille ristikoille sopiva, jotta sauvavoimista ei tulisi hankalan suuria.

7.2 Sauvavoimien laskenta

Puuristikot voidaan laskea kimmoisina kehärakenteina. Sauvojen ja siteiden jäykkyydet ja muodonmuutokset on otettava huomioon, samoin epäkeskeisyyksien vaikutus solmukohdissa ja tukien kohdalla. Laskentaa varten on markkinoilla runsaasti erilaisia tietokonesovelluksia.

Laskentamallin valinnan olisi perustuttava seuraaviin ohjeisiin:

- Ellei yleispätevämpää mallia käytetä, on ristikko laskettava systeemilinjoja pitkin sijoitettujen ja solmukohdista yhteen liitettyjen palkkielementtien järjestelmänä (kuva 7.2)
- Systeemilinjojen on kaikilta osin sijaittava sauvojen poikkileikkauksen sisäpuolella. Ulommissa sauvoissa, yleensä ylä- ja alapaarresauvoissa, systeemilinjojen täytyy yhtyä tankojen painopistelinjoihin.
- Kuvitteellisia sauvoja saa käyttää epäkeskeisten liitosten ja tukien mallintamiseen (kuva 7.2). Sauvan suunnan on niin pitkälle kuin mahdollista yhdyttävä voiman suuntaan. Kuvitteellisilla sauvoilla oletetaan olevan sama jäykkyys kuin liittyvillä sauvoilla.



Kuva 7.2

Esimerkki ristikon staattisesta mallista: (1) Tuki; (2) Systeemilinja; (3) Sauvan pituus; (4) Uumasauva; (5) Kuvitteellinen sauva; (6) Paarresauva;

- Laskennassa ei tarvitse ottaa huomioon ei-lineaarisesti käyttäytyviä puristettuja sauvoja (nurjahdus), jos ne on otettu huomioon yksittäisten sauvojen mitoituksessa.

7.3 Sauvojen mitoitus

Jos ristikkkoa kuormitetaan vain solmukohdista, esim. katto-orsien kohdalla, voidaan sauvat yleensä mitoittaa ottamalla huomioon normaallivoimat ja mahdolliset epäkeskeisyydestä syntyvät momentit. Paarresauvat, joita kuormitetaan solmukohtien välillä, mitoitetetaan ottamalla huomioon myös momentit.

Ristikkosauvat voidaan toteuttaa yksinkertaisina tai yhdistettyinä. Kaksinkertaiset ylä- ja alaparteet yhdistetään usein yksinkertaisiin diagonaleihin. Liimapuiset puristussauvat yhdistetään joskus teräksisiin vetotankoihin (ks. esim. kohta 8.2).

Vetotankoja mitoittaessa on otettava huomioon ruuvireikien ym. aiheuttamat poikkileikkausheikennykset. Yleensä ristikon puuliitosten vaatima tila on sauvan mitoituksessa määräävä tekijä.

Puristussauvat mitoitetetaan luvun 5 mukaisesti ottamalla huomioon nurjahdus sekä ristikon tasossa että tasoa vastaan kohtisuorassa suunnassa. Yleensä nurjahduspituus asetetaan samaksi kuin kahden vierekkäisen käännepisteen väli. Jos tankojen solmukohdat ovat nivelelliset

tai jatkuviin sauvoihin ei kohdistu poikittaista kuormitusta, nurjahduspituudeksi valitaan ko. solmukohtien etäisyys. Nurjahduspituuden lyhentämiseksi voidaan tarvittaessa tukea sauvat ristikon tasossa tai kohtisuoraan sitä vastaan. Yläpaarteet saavat usein luonnollisen sivusuuntaisen tuennan esim. katon sekundääripalkeista tai kattolaudoituksesta.

7.4 Solmukohdat

Solmukohdat toteutetaan yleensä aluslevyllisinä ruuviliitoksina, mutta myös liimatut nurkka-liitokset ovat mahdollisia. Jos jännevälit ovat pitkiä, sauvavoimat voivat olla niin suuria, että voiman siirto solmukohtiin on parasta tehdä teräksisten liitososien avulla. Kuvassa 7.3 on esimerkki solmukohdasta, jossa on puuhun leikatut teräslevyt ja -tapit. Tätä menetelmää on käytetty onnistuneesti Norjassa, esim. Hamarin ja Lillehammerin olympiahalleissa sekä Oslon Gardermoenin lentoasemalla. Myös Suomessa menetelmää käytetään sovelletuna runsaasti.

7.5 Taipuminen ja esikorotus

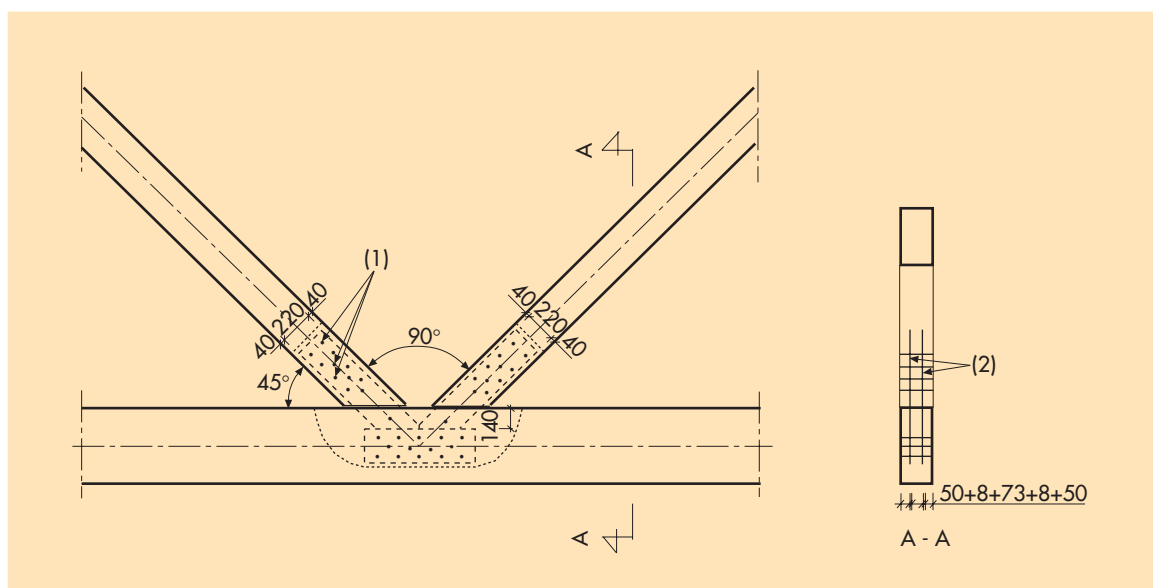
Liitosten siirtymisistä seuraa, että ristikoiden taipumat ovat melko suuria verrattuina massiivirakenteisiin. Siksi ne on aina valmistettava esikorotettuina, suunnilleen $l/150$ kun $l/h = 12$ ja $l/200$ kun $l/h = 10$. Tämä koskee sekä ylä- että alapaarteita.

Jos ei oteta huomioon liitosten muodonmuutoksia, suoran ristikon taipuma voidaan arvioida laskemalla massiivipalkin taipuma, jonka hitausmomentti on:

$$I = \sum A_i \cdot a_i^2 \quad (7.2)$$

jossa A_i = parresauvojen poikkipinta-ala
 a_i = ylä- ja alapaarresauvan painopisteiden etäisyys koko rakenteen painopisteestä.

Todellinen taipuma on kuitenkin merkittävästi suurempi. Tarkka laskelma voidaan tehdä esim. työyhtälöiden ja tietokoneen avulla.



Kuva 7.3

Esimerkki suurijännevälisen ristikon solmukohdan muotoilusta: (1) 12 mm terästapit; (2) Puuhun leikatut teräslevyt.

8. Kolminivelkattotuolit

8.1 Kolminivelkattotuoli, jossa on yksinkertaiset kattopalkit 99

8.1.1 Poikkileikkausvoimat ja tukireaktiot 99

8.1.2 Muodonmuutokset 100

8.1.3 Nostovarmuus 100

8.2 Jäykistetyt kolminivelkattotuolit 102

8.3 Mitoitustaulukko 102

Navetta, Rödåsel, Ruotsi.

Rakennesuunnittelu: Martinsons Trä AB.

Kuva: Gösta Wendelius

8. Kolminivelkattotuolit

Kolminivelkattotuolit tehdään tavallisesti nk. jännepalkkina, jossa yläpaarteen muodostaa suora liimapuuelementti ja vetosauvan liimapuu tai teräs. Niitä käytetään jännevälialueella, jossa tavanomainen puutavara ei riitä. Kattorakenne voidaan tehdä orsi-kattona, jossa kattotuolien k/k-väli on tavallisesti 6-8 metriä. Yläpaarteet voidaan tehdä alaosastaan jännitettyinä materiaalin käytön hyödyntämiseksi. Kolminivelkattotuolien kattokaltevuuksien on oltava 14–30 astetta ja jännevälien 15–40 metriä. Jäykistetyillä kattotuoleilla päästään jopa 50 metriin tai suurempiin jänneväleihin.

8.1 Kolminivelkattotuoli, jossa on yksinkertaiset kattopalkit

Rakenne muodostuu kahdesta suorasta liimapuupalkista, jotka nojaavat liitettynä toisiinsa harjan kohdalla. Alapää on liitetty toisiinsa vetotangoin tai ne on nivelellisesti kiinnitetty siirtymättömiin perustuksiin. Kattokaltevuus ei saa alittaa 14:ää astetta vaakavoimien sekä harjassa että tukien kohdalla esiintyvien siirtymien takia.

Liimapuupalkit mitoitetetaan kuten vinotuet, joihin kohdistuu puristus ja taivutus kohdan 5.2 mukaisesti, jolloin nurjahdus ja/tai kiepahdus otetaan huomioon. Yleensä kiepahtaminen ja nurjahtaminen katon tasossa on estetty katon sekundääripalkkien, kattopaneelien ja muiden sekundäärirakenteiden avulla, jotka siinä tapauksessa on mitoitettava syntyviä tukivoimia vastaan (ks. luku 12). Kattotasoon nähden kohtisuoran nurjahduksen nurjahduspituus on $l_c = 0,5 l / \cos \alpha$.

Harjan ja tukien kohdalla tarkistetaan leikkausjännitykset ja paikalliset paineet, jolloin otetaan huomioon, että voima vaikuttaa syihin nähden vinossa kulmassa (ks. kohta 4.3).

Vetotanko voidaan aina 25 metrin jänneväliin saakka valmistaa liimapuusta, mutta yleensä se valmistetaan teräksestä. Lämmitetyissä tiloissa (yli +5 °C) voidaan käyttää korkealujuusterästä (esim. Dywidag). Korkean lujuuden hyödyntämistä voivat rajoittaa vetotangon venymisestä johtuvat muodonmuutokset.

Liimapuupalkkeihin liittämiseksi otetaan huomioon voima, joka kohdistuu syihin nähden vinossa kulmassa.

Harjaliitos muotoillaan niveleksi ja mitoiteetaan maksimi vaakasuuntaisen puristusvoiman mukaan. Tämä on yhtä suuri kuin vetotangon voima, mutta vastakkaissuuntainen.

Kuormitusyhdistelmissä, joissa ulkoinen kuorma lappeilla on erisuuruinen, harjalla esiintyy myös leikkausvoima. Useimpien kuormi-

tusnormien mukaan näin tapahtuu vain kattokaltevuuden ylittäessä 15 astetta. On silti aina suositeltavaa mitoittaa harjaliitos siten, että leikkausvoimia pystyy jossain määrin siirtämään, esim. vastaamaan puolta toispuolista lumikuormaa. Tällainen tilanne voi esiintyä lumenpoiston yhteydessä.

8.1.1 Poikkileikkausvoimat ja tukireaktiot

Käyttämällä kuvan 8.2 merkintöjä voidaan tasaisesti jakautuvalla alaspäin suuntautuvalla kuormituksella laskea esiintyvät tuki- ja poikkileikkausvoimat seuraavan kaavan avulla:

$$\text{Pystysuuntainen tukireaktio} \quad R_1 = \frac{(3q_1 + q_2) \cdot l}{8} \quad (8.1)$$

$$R_2 = \frac{(q_1 + 3q_2) \cdot l}{8} \quad (8.2)$$

$$\text{Vetotangon voima} \quad H = \frac{(q_1 + q_2) \cdot l^2}{16 f} \quad (8.3)$$

$$\text{Kattopalkin maksimimomentti} \quad M = \frac{q_1 l^2}{32} \quad (8.4)$$

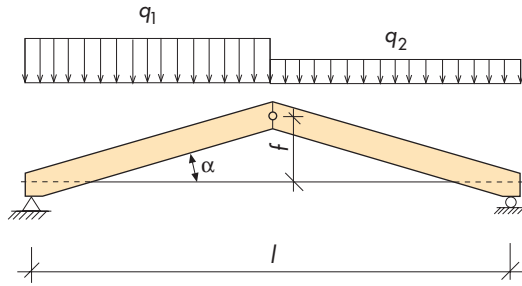
$$\text{Vastaava normaalivoima} \quad N_1 = -\frac{(q_1 + q_2) \cdot l}{8 \sin \alpha} \quad (8.5)$$

$$\text{Palkin maksimi normaalivoima} \quad N_2 = N_1 = \frac{q_1 l}{4} \sin \alpha \quad (8.6)$$

$$\text{Palkin maksimi leikkausvoima} \quad V_1 = \frac{q_1 l}{4} \cos \alpha \quad (8.7)$$

$$\text{Pystysuuntainen harjan leikkausvoima} \quad V_2 = -\frac{(q_1 - q_2) \cdot l}{8} \quad (8.8)$$

Kun kyseessä on tasaisesti jakautuva ylöspäin suuntautuva kuorma, jonka intensiteetti on lappeissa erilainen (kuva 8.3), esim. tuulen imu-



Kuva 8.2

Kolminivelkattotuoli, jossa yksinkertaiset kattopalkit ja vetotanko. Alaspäin suuntautuva kuormitus.

kuorma, voidaan tukireaktiot ja poikkileikkausvoimat laskea seuraavan kaavan avulla:

$$R_1 = \frac{(3w_1 + w_2) \cdot l}{8} - \frac{(w_1 - w_2) \cdot l}{8} \tan^2 \alpha \quad (8.9)$$

Pystysuuntainen (alaspäin suuntautuva) tukireaktio:

$$R_2 = \frac{(w_1 + 3w_2) \cdot l}{8} + \frac{(w_1 - w_2) \cdot l}{8} \tan^2 \alpha \quad (8.10)$$

Vaakasuntainen tukireaktio jaetaan yhtä suureksi kummallekin tuelle:

$$H_1 = H_2 = \frac{(w_1 - w_2) \cdot f}{2} \quad (8.11)$$

Vetotangon (puristus)voima on tällöin:

$$H = \frac{w_1 + w_2}{2} \cdot \frac{l^2}{8f} (1 - \tan^2 \alpha) \quad (8.12)$$

Kattopalkin maksimimomentti:

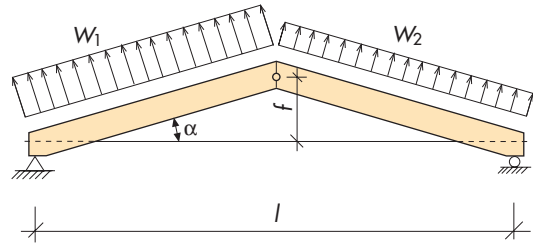
$$M = -\frac{w_1 l^2}{32 \cos^2 \alpha} \quad (8.13)$$

Kattopalkin normaalivoima:

$$N = R_1 \sin \alpha + (H - H_1) \cos \alpha \quad (8.14)$$

Kattopalkin maksimi leikkausvoima:

$$V = R_1 \cos \alpha - (H - H_1) \sin \alpha \quad (8.15)$$



Kuva 8.3

Kolminivelkattotuoli, jossa yksinkertaiset kattopalkit ja vetotanko. Ylöspäin suuntautuva kuormitus.

8.1.2 Muodonmuutokset

Kuvan 8.2 mukaiselle tasaisesti jakautuvalle alaspäin suuntautuvalle kuormalle voidaan laskea harjan taipuma seuraavan kaavan avulla:

$$w = \frac{(q_1 + q_2) \cdot l^2}{16 \tan^2 \alpha (E \cdot A)_{palkki}} \left(\frac{1}{\cos^3 \alpha} + \frac{(E \cdot A)_{palkki}}{(E \cdot A)_{tuki}} \right) \quad (8.16)$$

Jos tuet ovat siirtymättömät, suluissa olevan kaavan toisen termin arvoksi tulee nolla.

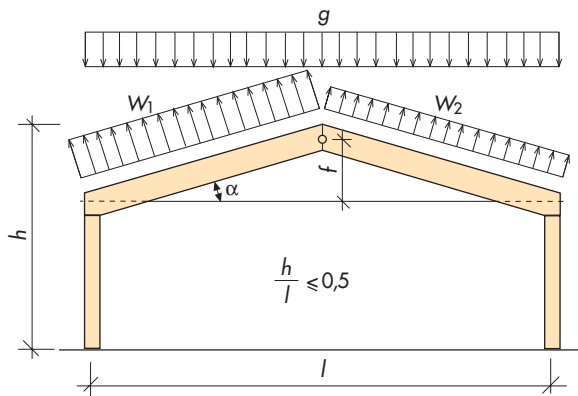
8.1.3 Nostovarmuus

Vetotangoilla varustetut kolminivelkattotuolit on tarkistettava, jotta ei synny nostoa esim. tuulen imukuorman vaikutuksesta. Koska vetotanko yleensä ei pysty ottamaan vastaan puristusvoimia, rakenne toimii tarkoitetulla tavalla ainoastaan niillä kuormitusyhdistelmillä, jotka aiheuttavat siihen vetoa, ts.

$$\Sigma H \geq 0$$

Jos yllä oleva ehto ei täyty, on (sisäänpäin suuntautuva) vaakasuntainen tukireaktio otettava vastaan jollain muulla tavalla, esim. käyttämällä tuuliristikkoa, kattolevyä tms. Jäykästi kiinnitetty pilarit eivät yleensä riitä tähän tarkoitukseen.

Vaihtoehtoisesti ainakin puusta tehty vetotanko voidaan jäykistää sivusuunnassa niin, että



Kuva 8.4
Laskentaesimerkki; merkinnät

esiintyvät puristusvoimat pystytään ottamaan vastaan. Jäykistäminen voidaan yhdistää esimerkiksi sisäkattoon, jos sellainen on.

Kattotuolin harja voidaan myös tehdä momenttijäykäksi esim. sijoittamalla poikkipalkki harjalle. Tällöin rakenteesta tulee staattisesti määräämätön, eivätkä yllä esitetyt poikki-leikkausvoimien ja tukireaktioiden laskentakaavat päde.

Esimerkki 8.1

Ehtoa $\Sigma H \geq 0$ kehittämällä voidaan johtaa yleinen ratkaisu vetotangoilla varustettujen kolminivelkattotuolien vaadittavalle omapainolle eri tuulikuormilla.

Kuormitusyhdistelmä omapaino ja tuulen imu kuvan 8.3 mukaisesti tutkitaan, jolloin osavarmuuskertoimina merkitään:

$\gamma_{f,g}$ omalle painolle

$\gamma_{f,w}$ tuulikuormalle

Vetotangon voiman laskenta-arvo on tällöin kaavoja 8.3 ja 8.12 käyttäen, jossa g = rakenteen omapaino:

$$\Sigma H = \gamma_{f,g} \frac{g \cdot l^2}{8f} - \gamma_{f,w} \frac{w_1 + w_2}{2} \cdot \frac{l^2}{8f} (1 - \tan^2 \alpha)$$

Yllä olevan mukaisesti tulee ehdon $\Sigma H \geq 0$ täyttyä, jossa:

$$g \geq \frac{\gamma_{f,w}}{\gamma_{f,g}} \cdot \frac{w_1 + w_2}{2} \cdot (1 - \tan^2 \alpha) \quad (8.17)$$

Esimerkki 8.2

Määritä edellisessä esimerkissä johdettua kaavaa 8.17 käyttäen vaadittava omapaino vetotangoilla varustettujen kattotuoleihin perustuvalla kattorakenteelle seuraavilla lähtötiedoilla:

- Kattokaltevuus 14°
- Tuulikuorman karakteristinen nopeuspaine $q_k = 0,6 \text{ kN/m}^2$
- Osavarmuuskertointen arvot ovat $0,85$ ($\gamma_{f,g}$) ja $1,3$ ($\gamma_{f,w}$)
- Katon ulkoisen tuulikuorman muotokertoimet ovat $-0,4$ (tuulenpuoli, imu) ja $-0,2$ (suojuopuoli, imu).
- Katon sisäisen tuulikuorman muotokerroin on $0,2$ (paine) sekä tuuli- että suojuopuolella.
- Reunavaikutuksia räystäällä ja harjalla ei tarvitse tässä yhteydessä ottaa huomioon.

Lappeiden tuulikuormat ovat tällöin:

$$w_1 = (\mu_{inv} + \mu_{utv}) q_k = (0,2 + 0,4) 0,6 = 0,36 \text{ kN/m}^2$$

$$w_2 = (\mu_{inv} + \mu_{utv}) q_k = (0,2 + 0,2) 0,6 = 0,24 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{w_1 + w_2}{2} = \frac{0,36 + 0,24}{2} = 0,30 \text{ kN / m}^2$$

Ehdosta (8.17) saadaan silloin:

$$g \geq \frac{1,3}{0,85} \cdot 0,30 \cdot (1 - \tan^2 \alpha) = 0,43 \text{ kN / m}^2$$

Vertailun vuoksi mainittakoon, että lämpöeristetyin peltikaton omapaino liimapuursilla on $0,35 \dots 0,45 \text{ kN/m}^2$.

8.2 Jäykistetyt kolminivelkattotuolit

Pitkillä jänneväleillä (>30 m) on suositeltavaa, että kolminivelkattotuolin kattopalkit on jäykistetty kuvan 8.5 mukaisesti. Kattopalkkien momentteja pienentää tällöin yksi tai useampi joustava välituki, kun taas normaalivoimat kasvavat vastaavassa määrin. Rakenteen voi, toisin kuin yksinkertaisella kolminivelkattotuolilla, toteuttaa pienemmillä kattokaltevuuksilla kuin 14 astetta, kunhan vetotangon ja kattopalkin välinen kulma α tuella ylittää 14 astetta (kuva 8.5).

Kattotuolin poikkileikkausvoimat lasketaan tavallisen ristikon tapaan (ks. luku 7). Tällöin otetaan huomioon kuormasta ja lämpötilasta johtuva vetotankojen pituusmuutos sekä muodonmuutokset solmukohdissa. Laskenta tehdään normaalisti tietokoneen avulla.

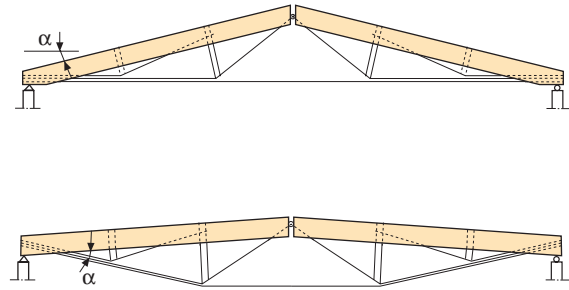
Palkit mitoitetaan samanaikaiselle puristukselle ja taivutukselle. Pysty- tai sivusuuntainen kiepahdus- ja nurjahdus otetaan huomioon kohdan 5.2 mukaisesti.

Vinotuet mitoitetaan kohdan 5.1 mukaan.

Sivusuuntaiseen nurjahdukseen on kiinnitettävä erityistä huomiota. Siksi kattopalkin kiinnityksestä tehdään momenttijäykkä. Alemmat solmukohdat tuetaan sivusuuntaan, jos se on mahdollista.

Vetotangot järjestetään siten, että solmukohdan muoto on yksinkertainen ja tarkoituksenmukainen. Siten voidaan valita esimerkiksi sopiva määrä pyörötankoja ja tukea jokaisen puristustuen kohdalla yksi tai useampi sauva seuraavaan yläpaarteen solmukohtaan. Joissain tapauksissa voidaan käyttää korkealujuusterästä.

Harjan taipuma voidaan laskea likimääräisesti



Kuva 8.5
Jäykistetyt kolminivelkattotuolit.

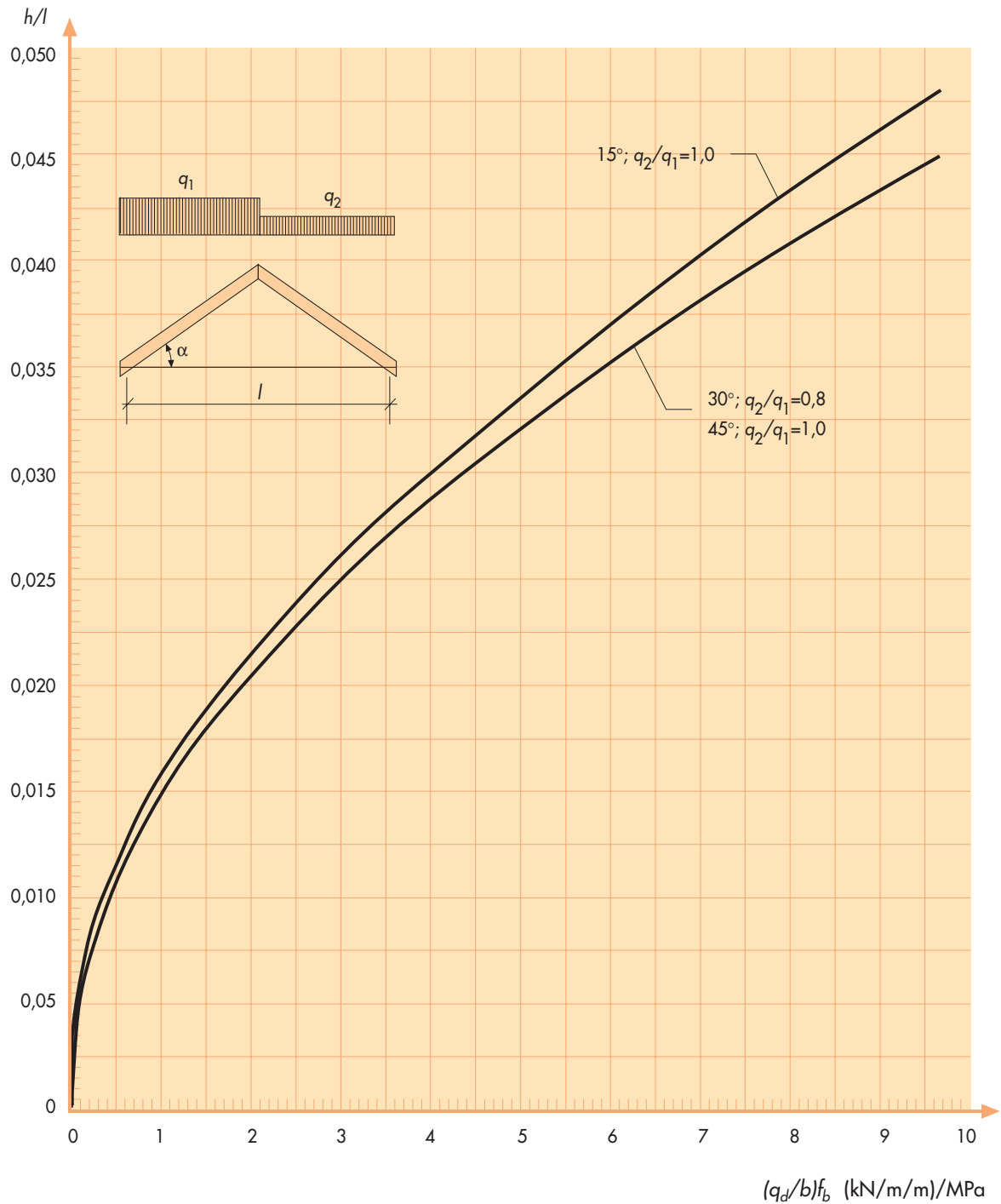
käyttämällä edellisen kohdan kolminivelkattotuolin kaavaa, jossa on yksinkertaiset kattopalkit. Pinta-alaksi merkitään tukipisteitä yhdistävän vetotangon pinta-ala.

8.3 Mitoitustaulukko

Kolminivelkattotuolin mitoitus voidaan tehdä kuvassa 8.1 olevan mitoituskäyrästä avulla.

Mitoitusdiagrammin lähtöarvo $(q_d/b)/f_b$ saadaan laskemalla kuorma palkin juoksumetriä kohden (kN/m) ja jakamalla tämä arvo palkin leveydellä (m) ja kyseisen kuormitustapauksen taivutuslujuuden laskenta-arvolla (MPa). Jälkimmäinen määritetään ottamalla huomioon kosteus- ja aikaluokkaa koskevat määräykset.

Kaavio perustuu oletukseen, että taivutuslujuuden laskenta-arvon ja syiden suuntaisen puristuslujuuden laskenta-arvon suhde on 1,1 ja laskentakimmomoduulin sekä syiden suuntaisen laskentapuristuslujuuden suhde 370. Valitut ehdot ovat yhtäpitäviä normien Eurocode 5 ja prEN 1194 kanssa.



Kuva 8.5

Kolminivelkattotuolin mitoitus kestävyydelle. Kiepahdus- ja nurjahdusmahdollisuus oletetaan olevan estetty sivusuunnassa.

Oletus: $f_b/f_c = 1,1$ ja $E/f_c = 370$.

Mitoitusnomogrammi EC5 mukainen.

Laskentakuorma q_d lasketaan varmuuskertoimilla.

9. Kehät

9.1 Kolminivelkehän mitoitus 107

9.1.1 Poikkileikkausvoimat ja tukireaktiot 108

9.1.2 Alustava mitoitus 108

9.1.3 Stabiiliteetin tarkistus 109

9.1.4 Muodonmuutokset 109

9.2 Kehän nurkkien muotoilu 110

9.2.1 Kaareva kehänurkka 110

9.2.2 Sormijatkettu kehänurkka 110

9.2.3 Ruuvattu kehänurkka 111

9.2.4 Koottujen kehien nurkat 112

9. Kehät

Puiset kehärakenteet tehdään nykyisin lähes poikkeuksetta liimapuusta. Kehänurkka voidaan tällöin tehdä joko kaarevana läpimenevin lamellein sormijatkettuna, ruuvattuna, teräsvaarnojen ja halkaistuun puuhun upotettujen teräslevyjen avulla tai yhdistelmärakenteena (kuva 9.1). Kehän muodon täytyy seurata pääasiallisen kuorman puristuslinjaa toiminnallisten ja esteettisten vaatimusten sallimissa rajoissa. Kaarevat tai yhdistetyt kehänurkat täyttävät yleensä nämä ehdot. Siksi ne ovat suuriin jänneväleihin parhaiten soveltuvia muotoja. Harjaosan siirtymän takia kattokaltevuus ei saisi alittaa 14 astetta.

Kolminivelkehä soveltuu korkeintaan 30–40 metrin jänneväleihin. Pidempien jännevälien kohdalla kehänpuolikkaista tulee liian isoja kuljetettaviksi yhtenä kappaleena. Harjan ja kehäjalan välinen etäisyys ei siis saa ylittää 24 metriä, eikä tämän linjan ja kehänurkan ulkoreunan välinen kohtisuora etäisyys saa ylittää 5 metriä.

Kaksinivelkehä muodostaa jäykemmän rakenteen, jos kehä valmistetaan ja kuljetaan kolmena tai useampana palana, jotka liitetään työmaalla toisiinsa momenttijäykästi. Liitokset sijoitetaan rakenteessa mieluiten kohtiin, joissa momentit ovat pienet. Momenttijäykät liitokset ovat tekotavaltaan vaativampia kuin nivelet ja tulevat siksi kalliimmaksi. Ne eivät myöskään ole kovin miellyttävän näköisiä. Toisaalta kehän osat ovat pienemmät kuin vastaavassa kolminivelkehässä, ja niitä on siksi helpompi kuljettaa.

Puusta tehtyä niveletöntä tai yksinivelkehää ei yleensä käytetä kantavana rakenteena.

9.1 Kolminivelkehän mitoitus

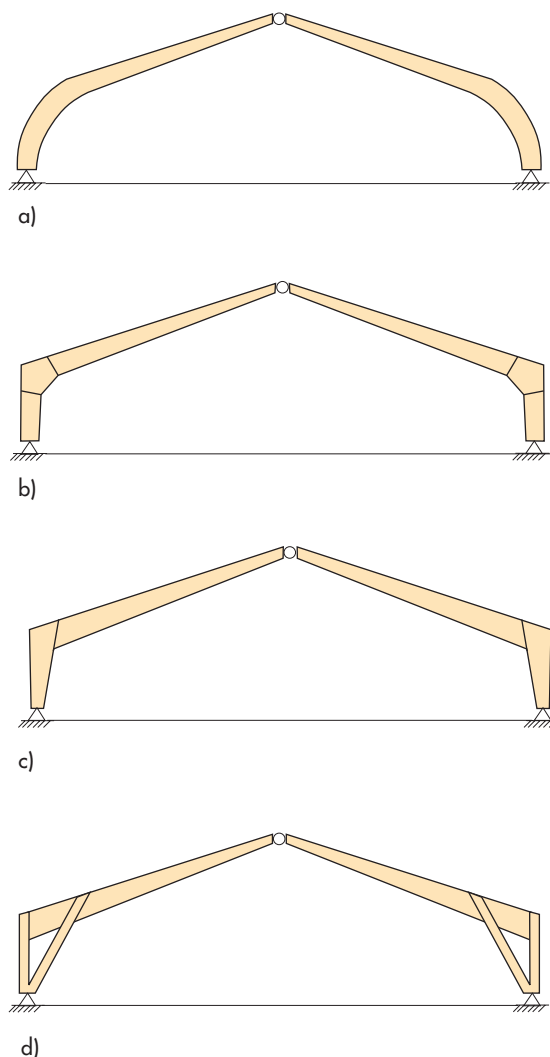
Kolminivelkehä on yleisin kehätyyppi. Se on omassa tasossaan stabiili vaakavoimia vastaan sekä staattisesti määrätty. Siksi momenttien jakautumiseen eivät vaikuta alustan epätasainen painuminen tai jatkosten ja liitosten ennakoimattomat muodonmuutokset.

Lisäksi kolminivelkehä liittyy perustuksiin nivelellisesti, mikä yksinkertaistaa perustusrakennetta. Jos perustusolosuhteet ovat huonot, voidaan vaakavoimat tukien kohdalla ottaa vastaan käyttämällä perustusten välissä vetotankoja (lattian tasossa tai sen alla). Näin alarakentei-

siin kohdistuu pääasiassa pystykuormia.

Normaalitapauksissa (eli kun kattokaltevuus on noin 15 astetta) mitoittava kuorma määräytyy omapainosta ja lumesta sekä mahdollisista pistekuormista, kuten nosturiradoista tms. Korkeaharjaisissa katoissa, esim. kirkkoissa ja tietäntyyppisissä varastorakennuksissa, saattavat määrävänä olla tuulivoimia sisältävät kuormayhdistelmät.

Laskenta on helpointa tehdä tietokoneella käyttämällä jotakin markkinoilla olevaa puurakenteiden laskentaohjelmaa.



Kuva 9.1
Kolminivelkehien muotoiluesimerkkejä. a) Kaarevanurkkainen kehä. b) Sormijatkettu kehänurkka.
c) Ruuvattu kehänurkka. d) Yhdistelmäkehä

9.1.1 Poikkileikkausvoimat ja tukireaktiot

Kolminivelkehä on staattisesti määrätty, joten poikkileikkausvoimat voidaan laskea tasapainoyhtälöiden avulla. Geometrisen muodon vuoksi laskenta on kuitenkin melko työlästä, ja laskennassa kannattaakin käyttää tietokonetta.

Tasaisesti jakautuneella toispuoleisella kuormalla voidaan kolminivelkehässä esiintyvät kuvan 9.2 mukaiset tuki- ja poikkileikkausvoimat laskea seuraavien kaavojen avulla (vrt. kaavat 8.1.–8.3):

$$\text{Pystysuuntainen tukireaktio} \quad R_A = \frac{(3q_1 + q_2) \cdot l}{8} \quad (9.1)$$

$$R_C = \frac{(q_1 + 3q_2) \cdot l}{8} \quad (9.2)$$

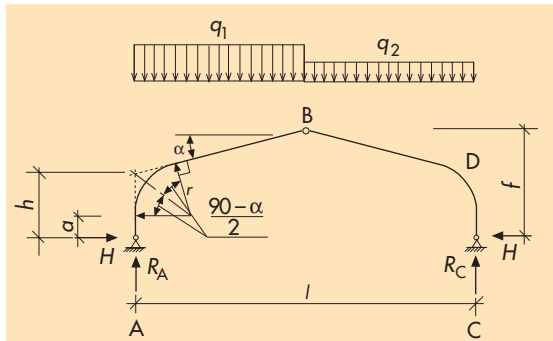
$$\text{Vaakasuuntainen tukireaktio} \quad H = \frac{(q_1 + q_2) \cdot l^2}{16f} \quad (9.3)$$

Maksimimomentti kehän nurkassa

$$M_D = H \cdot a + (N - R_C) \cdot r + \frac{q_2 r^2}{2} \left(1 - \frac{R_C}{N}\right)^2 \quad (9.4)$$

$$\text{Vastaava normaalivoima} \quad N \approx \sqrt{R_C^2 + H^2} \quad (9.5)$$

$$\text{Leikkausvoima harjan kohdalla (pystysuuntainen)} \quad V_B = -\frac{(q_1 - q_2) \cdot l}{8} \quad (9.6)$$



Kuva 9.2
Kaarevanurkkainen kolminivelkehä. Merkintöjä.

9.1.2 Alustava mitoitus

Alustava, likimääräinen mitoitus voidaan määrittää seuraavasti:

1. Määritä kehän päämitat sekä kyseeseen tulevien kuormien ja kosteusolosuhteiden perusteella määritetyt mitoitusarvot.

2. Luonnostele kehän likimääräinen keskilinja käyttämällä seuraavia kokemukseräisiä tietoja:

- kehän nurkan poikkileikkauskorkeus $h_r \approx h/15 + l/30$
- kehäjalan poikkileikkauskorkeus $h_f \approx 0,7 h_r$
- poikkileikkauskorkeus harjan kohdalla $h_n \approx 0,3 h_r \geq 250 \text{ mm}$
- kehänurkan kaaren säde $r_m \geq 170 t$ jossa t on lamellin paksuus.

3. Laske poikkileikkausvoimat jalan tukipisteen ja harjan kohdalla eri kuormitusyhdistelmille.

4. Määritä vaadittava jalan tukipisteen poikkileikkaus ottamalla huomioon maksimi normaaliavoima tai maksimi leikkausvoima.

5. Määritä vaadittava poikkileikkaus harjan kohdalla samoilla kriteereillä kuin jalan osalta. Harjaliitoksen muotoilu saattaa myös vaikuttaa poikkileikkausmittoihin.

6. Korjaa kohdan 2. luonnos ja määritä kehän nurkan poikkileikkausvoimat eri kuormitusyhdistelmille.

7. Määritä vaadittavat poikkileikkausmitat kehän nurkassa ottamalla huomioon rakenteen stabiiliteetti ja yksityiskohtien muotoilu alla olevien ohjeiden mukaisesti.

8. Tarkista kehäpalkki puristukselle ja samanlaiselle taivutukselle kohdan 5.2 mukaisesti. Normaalisti poikkileikkauskorkeus muuttuu suoraviivaisesti harjasta kehän kulmaan, joten mitoittava poikkileikkaus ei yhdy maksimi kenttämomentin poikkileikkaukseen. Yleensä riittää, jos tarkistaa poikkileikkauksen parista valitusta kohdasta.

9.1.3 Stabiliateetin tarkistus

Kehän tasonurjahdus tai kiepahdus otetaan huomioon vastaavalla tavalla kuin poikkitaikuormitetun pilarin kohdalla on esitetty (ks. kohta 5.2).

Mitoitusehto saa muodon:

$$\frac{\sigma_c}{k_c f_c} + \frac{\sigma_m}{k_{crit} f_m} \leq k_r \quad (9.7)$$

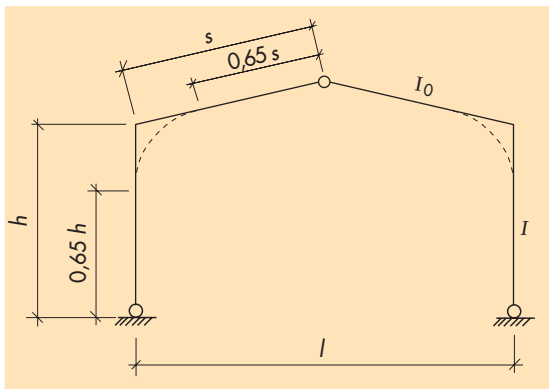
jossa reduktiokerroin k_c määritetään ottamalla huomioon nurjahdus tason suuntaan tai kohtisuoraan sitä vastaan, riippuen siitä, kumpi on mitoittava. k_{crit} määritetään ottamalla huomioon kohdan 4.2 mukainen kiepahdus ja k_r ottamalla huomioon lamellikaarevuus kohdan 4.7 mukaisesti.

Kehän tasossa tapahtuvan nurjahduksen kohdalla voidaan reduktiokerroin k_c määrittää kuten keskeisesti puristettu sauva kohdan 4.1 mukaisesti, jolloin hoikkuusluku voidaan normaalioloissa riittävällä tarkkuudella laskea lähtökohdasta arvioitu nurjahduspituus:

$$l_c = h \sqrt{4 + 1,6 \cdot c} \quad (9.8)$$

$$\text{jossa } c = \frac{I}{I_0} \cdot \frac{2s}{h}$$

Hitausmomentit I ja I_0 määritetään etäisyydelle $0,65h$ ja $0,65s$ laskettuna jalan alapäästä ja vastaavasti harjasta (kuva 9.3). Tätä lauseketta, jota käytetään mm. saksalaisessa puunormissa, voidaan soveltaa myös kaksinivelkehiin.



Kuva 9.3
Kehien arvioitut nurjahduspituudet. Merkintöjä.

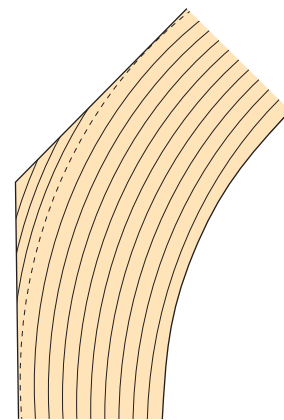
9.2 Kehän nurkkien muotoilu

9.2.1 Kaareva kehänurkka

Kaarevat kehän nurkat muotoillaan yleensä va-kiopoikkileikkauksella sekä ulkonurkan lisäpalojen avulla (kuva 9.1a). Jos kehänurkan ulkonäkö on erittäin tärkeä (esim. kirkoissa), käytetään myös kokonaan liimattuja nurkkaosia kuvan 9.4 mukaisesti. Nurkkakiila (kuvassa katkoviivan ulkopuolinen osa) saattaa siis joko toimia staattisesti yhdessä muun poikkileikkauksen kanssa tai olla päälleaulattu lisäpala. Säteittäiset (poikkitaiveto-) jännitykset tarkistetaan niissä kuormitustapauksissa, joissa kehänurkassa esiintyy positiivisia momentteja (veto sisäreunassa) – yleensä tämä tarkoittaa tuulikuormia sisältäviä kuormitusyhdistelmiä. Esiintyvät jännitykset lasketaan ja tarkistetaan kohdan 6.3 ohjeiden mukaisesti, jolloin liimaamalla tehtyä kehänurkkaa voidaan käsitellä bumerangipalkin tavoin.

9.2.2 Sormijatkettu kehänurkka

Sormijatkettut kehänurkat muotoillaan yleensä välikappaleen avulla kuvan 9.5 mukaisesti. Voiman- ja syysuunnan välinen kulma jatkoksessa saadaan näin rajoitettua, mikä parantaa kehänurkan kantavuutta. Lamellien on oltava kehän ulkoreunan suuntaiset.



Kuva 9.4
Kaareva kehänurkka, jossa on kokonaan liimattu kulmaosa.

Jatkospoikkileikkaukset tarkistetaan seuraavalla kokemuseräisellä menetelmällä:

- Momentti M_{jatkos} ja normaalivoima N_{jatkos} kohdistuoraan jatkospoikkileikkausta vastaan lasketaan jokaisen jatkoksen keskiöstä.

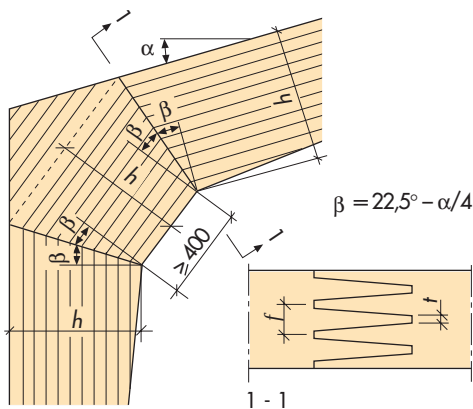
- Tehollinen poikkipinta-ala ja tehollinen taivutusvastus lasketaan liitospoikkileikkauksessa. Kuvan mukaisin merkinnöin kaava on seuraava:

$$A_{jatkos} = \frac{bh}{\cos \beta} \left(1 - \frac{t}{f} \right) \quad (9.9)$$

$$W_{jatkos} = \frac{bh^2}{\cos^2 \beta} \cdot \left(1 - \frac{t}{f} \right) \quad (9.10)$$

jossa t = jatkosprofiilin kärjen leveys
 f = jatkosprofiilin sormijako

- Puristuslujuuden laskenta-arvo $f_{c,\alpha}$ määritetään ottamalla huomioon normaalivoiman ja syiden suunnan välinen kulma α kohdan 4.3 mukaisesti sekä ottamalla lähtöarvoiksi ne arvot, jotka koskevat ulkolamellien puutavaraa ilman päätypuiden välisten kontaktipaineiden reduktiota. Mitoitusarvoja ei redusoida nurjahdus- ja kiepahdustarkasteluilla.



Kuva 9.5
Välikappaleen avulla sormijatkettu kehänurkka.

- Kuormitusyhdistelmillä, joista seuraa puristusjännityksiä kehänurkan sisäsivulla, noudatetaan seuraavaa mitoitussehtoa:

$$\frac{N_{jatkos}}{A_{jatkos}} + \frac{M_{jatkos}}{W_{jatkos}} \leq f_{c,\alpha} \quad (9.11)$$

- Kuormitusyhdistelmillä, joista seuraa vetojännityksiä kehänurkan sisäsivulla (nämä yhdistelmät sisältävät yleensä tuulikuormia) noudatetaan seuraavaa mitoitussehtoa:

$$\frac{N_{jatkos}}{A_{jatkos}} + \frac{M_{jatkos}}{W_{jatkos}} \leq k_{\alpha} \cdot f_{c,\alpha} \quad (9.12)$$

jossa kerroin k_{α} riippuu sauman poikkileikkauksessa normaalivoiman ja syysuunnan välisestä kulmasta β .

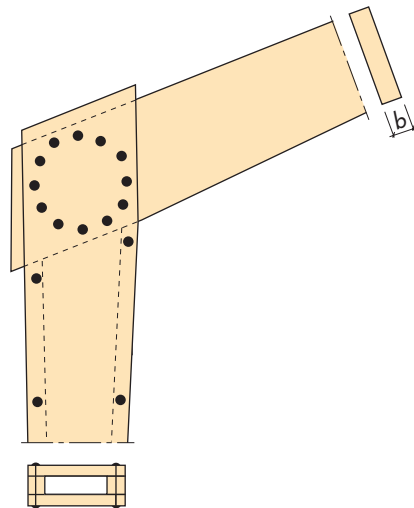
Arvolle $\beta \leq 11,25^{\circ}$ on $k_{\alpha} = 0,333$

$11,25^{\circ} < \beta < 18,75^{\circ}$ $k_{\alpha} = 0,533 - 0,0178\beta$

$18,75^{\circ} \leq \beta \leq 22,5^{\circ}$ $k_{\alpha} = 0,200$

9.2.3 Ruuvattu kehänurkka

Ruuvatut kehänurkat tehdään normaalisti kaksinkertaisin kehäjaloin kuvan 9.6 mukaisesti. Tällä tavoin kiepahdusriski voidaan eliminoida. Vaihtoehtoisesti voidaan kehänurkka tehdä yksinkertaisten kehäjalkojen ja päälle asennettu-



Kuva 9.6
Ruuvattu kehänurkka.

jen nurkkaterästen avulla. Tässä tapauksessa on kiepahdus tarkistettava. On suositeltavaa tehdä kehäjalat ja kehäpalkki samankorkuisina ja siten, että kehäjalan kummankin puoliskon leveys on 0,6–0,7 kertaa kehäpalkin leveys.

Ruueja sijoitettaessa on otettava huomioon voimassa olevat määräykset niiden keskinäisestä vähimmäisetäisyydestä. Kehänurkan jäykkyyden ja kantavuuden lisäämiseksi voidaan ruuvien kanssa käyttää välilevyjä.

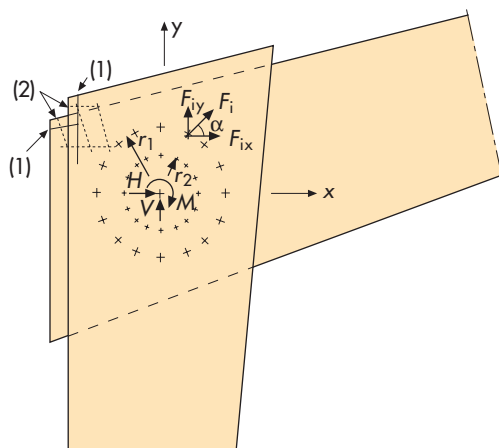
Välilevyttömien ruuvien sijasta voidaan käyttää teräsvaarvoja, jotka ovat halvempia ja helpompia asentaa. Liitokseen täytyy kuitenkin aina sisältyä neljä ruuvia.

Kantavuus lasketaan olettaen, että kaikkien liitososien jäykkyys on sama. Liitoksen keskiön poikkileikkausvoimat lasketaan ja jaetaan seuraavan kaavan avulla (ks. kuva 9.7)

$$F_{i,x} = \frac{H}{n} + \frac{M}{I} y_i \quad (9.13)$$

$$F_{i,y} = \frac{V}{n} + \frac{M}{I} x_i \quad (9.14)$$

jossa $I = \Sigma(x_i^2 + y_i^2)$ on liitososien polaarin hitausmomentti liitoksen keskiön suhteen.



Kuva 9.7
Ruuvattu kehänurkka. Merkintöjä.
(1) Halkeama; (2) Naula- tai puuruuvivahviste.

Resultoiva voima ruuvissa on vastaavasti:

$$F_i = \sqrt{F_{i,x}^2 + F_{i,y}^2} \quad (9.15)$$

ja sen suunta $\alpha = \arctan(F_{i,y}/F_{i,x})$.

Yksittäisen ruuvin kantavuus määrätään ottamalla huomioon voiman ja syiden välinen kulma.

On suositeltavaa sijoittaa ruuvit samankeskiöisille ympyrän kehille kuvan 9.6 mukaan. Enempää kuin kahta ympyrää ei kuitenkaan suositella. Sisemmän ympyrän ruuvien mitoitusarvoa on redusoitava 15 %:lla.

Tehdyt kokeet osoittavat, että kehänurkan leikkausjännitykset ovat usein kantavuuden kannalta mitoittavat. Tarkistukset voidaan rajoittaa sen todentamiseen, että:

$$\tau = \frac{1,5V}{A} \leq f_v \quad (9.16)$$

jossa

$$V = \frac{M}{\pi} \cdot \frac{n_1 r_1 + n_2 r_2}{n_1 r_1^2 + n_2 r_2^2} - \frac{V_{palkki}}{2} \quad (9.17)$$

$$V = \frac{M}{\pi} \cdot \frac{n_1 r_1 + n_2 r_2}{n_1 r_1^2 + n_2 r_2^2} - \frac{V_{jalka}}{2} \quad (9.18)$$

A = kehäpalkin ja kehäjalcojen (huom.

kaksinkertaiset jalat) poikkipinta-ala

ruuviliitoksen painopisteen

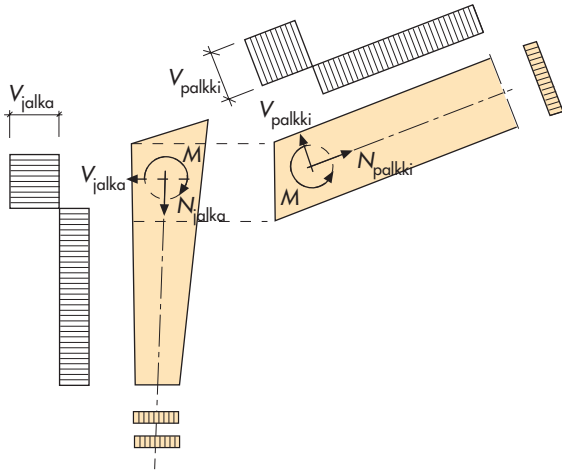
poikkileikkauksessa

n_1, n_2 = ruuvien lukumäärä ulko- ja sisäympyrässä

r_1, r_2 = ulko- ja sisäympyrän säde

V_{palkki} ja V_{jalka} merkitsevät sitä leikkausvoimaa, joka vaikuttaa kehäpalkkiin tai -jalkaan ruuviliitoksen painopisteen poikkileikkauksessa (kuva 9.8).

Eräs tavallinen murtumien syy positiivisella momentilla (erityisesti kehänurkassa, jonka ruuvit ovat kahdessa ympyrässä) on leikkaus- tai halkeilumurtuma kehäpalkin ulommissa osissa ja kehäjalan päädyissä (kuva 9.7). Siksi suosi-



Kuva 9.8
Kehäjalan ja -palkin poikkileikkausvoimat ja leikkausvoimakuviot (periaate).

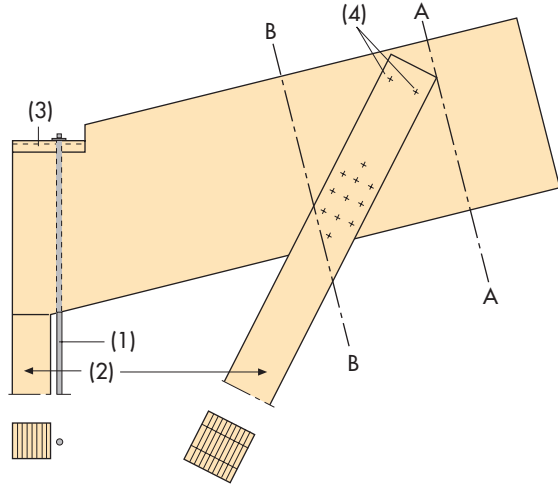
tellaan, että ulkolamellien nurkat vahvistetaan naulojen tai ruuvien avulla kuvan 9.7 mukaisesti. Kehäpalkin ja -jalan vahvistus mitoitetaan voimalle F_{nurkka} seuraavasti:

$$F_{nurkka} = \frac{M}{12} \cdot \frac{n_1 r_1}{n_1 r_1^2 + n_2 r_2^2} \quad (9.19)$$

9.2.4 Koottujen kehien nurkat

Koottuja kehänurkkia voidaan muotoilla eri tavoilla. Käytettäessä kuvan 9.9 mukaista muotoa tarkistetaan poikkileikkaus A kohdan 5.2 mukaiselle yhtäaikaiselle puristukselle ja taivutukselle, jolloin puristus- ja taivutuslujuuden laskenta-arvot redusoidaan ottamalla huomioon kehätasossa tapahtuva nurjahtaminen sekä kiepahtaminen. Lisäksi tarkistetaan poikkileikkauksessa B esiintyvät leikkausjännitykset.

Ulompi kehäjalka mitoitetaan normaalivoimalle sekä mahdollisesti yhtä aikaa esiintyvälle tuulesta aiheutuvalle momentille. Yleensä kehäjälässä esiintyy suuria vetovoimia. Nämä voidaan johtaa perustukseen käyttämällä teräksistä vetotankoa kuvan 9.9 mukaisesti, kun taas esiintyvät momentit ja puristusvoimat otetaan vastaan käyttämällä yksinkertaista puusauvaa. Hal-



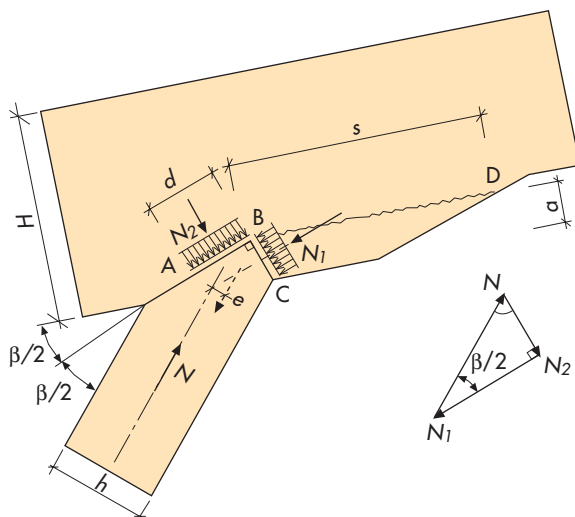
Kuva 9.9
Koottu kehänurkka ruuvatulla sisemmän kehäjalan kiinnityksellä.
(1) Teräksinen vetotanko
(2) Puinen puristussauva
(3) U-teräsprofiili
(4) Soikeat ruuvireiät

keamisriskin vähentämiseksi on vetotanko kiinnitettävä kehäpalkin yläreunaan.

Sisemmät kehäjalat mitoitetaan kuten pilarit, joihin kohdistuu puristus ja taivutus. Taivutusmomentti voi johtua tuulikuormasta tai epäkeskeisestä normaalivoimasta (ks. esim. kuva 9.10). Kehäpalkin ja -jalan liitos muotoillaan siten, että puristusvoimien siirto tapahtuu pääasiassa kehäpalkin alareunassa, mieluiten pintapuristuksella. Vinot kehäjalat voidaan liittää käyttämällä loveamista kuvan 9.10 mukaisesti. Voimien jakautuminen ei tässä liitostyyppissä ole aivan selvää, mutta jännitykset voidaan vanhan käytännön mukaan tarkistaa seuraavalla tavalla:

- Puristusvoima N jaetaan komponentteihin N_1 ja N_2 , jotka ovat kohtisuorassa kosketuspintoja vastaan.
- Oletetaan, että N_1 jakautuu tasaisesti pinnalle BC. Tuen syvyys määritetään niin, että:

$$\sigma_{c,\alpha,1} = \frac{N_1}{ba} \cos(\beta / 2) \leq f_{c,\alpha,1} \quad (9.20)$$



Kuva 9.10
Puristussauvan loviliitos. Voimajakautuma ja merkinnät.

jossa $f_{c,\alpha,1}$ määritetään kohdan 3.3 mukaisesti ottamalla huomioon voimasuunnan ja syysuunnan välinen kulma $\alpha = \beta/2$ Suorakulmaiselle kololle $a = h/2$.

- Oletetaan, että N_2 jakautuu tasaisesti pinnalle AB, jonka alan määrää ehto:

$$\sigma_{c,\alpha,2} = \frac{N_2}{bd} = f_{c,\alpha,2} \quad (9.21)$$

jossa $f_{c,\alpha,2}$ määritetään kohdan 4.3 mukaisesti ottamalla huomioon voimasuunnan ja syysuunnan välinen kulma $\alpha = 90^\circ - \beta/2$

- Lisäksi tarkistetaan, että:

$$\tau = \frac{N_1 \cos(\beta/2)}{bs} \leq f_v \quad (9.22)$$

jossa arvon s täytyy olla vähintään 200 mm.
Suurempaa pituutta kuin $s = 8a$ ei saa käyttää.

- Kaltevuuksilla $\beta \geq 60^\circ$ rajoitetaan kolon syvyys:

$$a \leq \frac{H}{6} \quad (9.23)$$

- Tuen poikkileikkausmitat tarkistetaan:

$$h \geq [a \cdot \tan(\beta/2) + d \cdot \cos(\beta/2)] \cdot \sin \beta \quad (9.24)$$

10. Kaaret

10.1 Mitoitus 117

10.1.1 Poikkileikkausvoimat ja tukireaktiot 117

10.1.2 Stabiiliteetin tarkistus 118

10.1.3 Poikittaiset vetojännitykset 119

10.1.4 Kaaren pituus 119

10.2 Mitoitusdiagrammi 119

Liimapuutehtaan sisätilaa, Moelv, Norja.
Tynset –sillan ristikkokaarien valmistus.

Kuva:Egil Bjerke

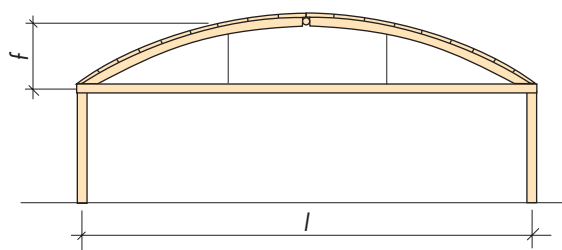
10. Kaaret

Kaarirakenteiden materiaaliksi liimapuu soveltuu hyvin. Siitä voidaan ilman suuria kustannuksia tuottaa kaarevia muotoja ja muuttuvia poikkileikkauskorkeuksia. Yleensä käytetään tasakorkeita massiivisia poikkileikkauksia, mutta varsinkin suuremmilla jänneväleillä on käytetty myös koottuja I- tai laatikkomuotoisia poikkileikkauksia.

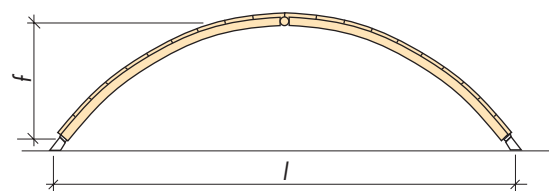
Kaaren muoto valitaan siten, että momenteista tulee mahdollisimman pieniä. Yleensä tämä tarkoittaa sitä, että kaaren muoto myötäilee hallitsevan kuormitusyhdistelmän puristuslinjaa. Momenteja ei kuitenkaan voi kokonaan välttää, koska on otettava huomioon useita kuormitusyhdistelmiä, joista jokaisella on erilainen puristuslinjansa. Kompromissiksi valitaan usein paraabelimuoto tai pienillä jänneväleillä ympyrämuoto. Toiminnallisista syistä, esim. vapaan korkeuden lisäämiseksi tukien läheisyydessä, saattaa elliptinen tai muu kaarimuoto olla sopivampi. Kaari- ja kehärakenteen ero on näissä tapauksissa häilyvä. Sama lopputulos saadaan myös, jos kaari nostetaan pilarien päälle, kuten kuvassa 10.1.

Usein kaarivaikutuksen aiheuttamat vaakasuuntaiset tukireaktiot joudutaan ottamaan vastaan tukipisteiden välille sijoitettavilla vetotangoilla. Kun kaari tukeutuu suoraan perustuksiin (esim. kuvan 10.2 mukaisesti), voidaan perustuksilla ottaa vaakavoimat vastaan, jos pohjaolosuhteet sen sallivat. Toinen vaihtoehto on käyttää vetotankoja lattian alla tai sen sisään valettuina. Vaakasuuntaisten tukireaktioiden rajoittamiseksi nuolikorkeus on valittava suuremmaksi kuin 0,14 kertaa kaaren jänneväli. Paraabelikaaren osalta tämä vastaa 30 asteen kulmaa tuen kohdalla.

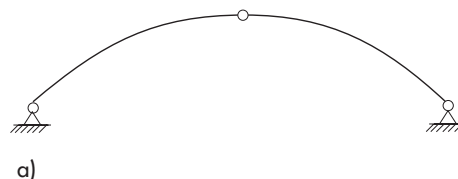
Valinta kaksi- tai kolminivelkaaren välillä tehdään samoin perustein kuin kehärakenteiden osalta (ks. luku 9). Kolminivelkaari on siis suositeltavampi 60–70 metrin jänneväleihin asti. Pidemmät jännevälit taas yleensä vaativat, että kaari valmistetaan ja kuljetetaan kolmena tai useampana osana, jotka rakennuspaikalla liitetään toisiinsa momenttijäykästi. Nivelet ja momenttijäykät jatkokset sijoitetaan kuvan 10.3 mukaisesti.



Kuva 10.1
Vetotangolla varustettu pilarien varaan tuettu kaari.



Kuva 10.2
Perustuksiin tuettu kaari.



a)



b)

Kuva 10.3
Kaarirakenteiden jatkosten sopiva sijoitus.
a) Niveljatkos
b) Momenttijäykkä jatkos

10.1 Mitoitus

Kaksi- ja kolminivelkaarien mitoitus voidaan tehdä saman laskentamenettelyn avulla, jota käytetään kolminivelkehillä kohdassa 9.1.2. Tällöin alakohdat 7 ja 8 korvataan seuraavasti: *Kaari mitoitetaan ottamalla huomioon puristus ja taivutus kohdan 5.2 sekä alla olevien ohjeiden mukaisesti.*

Nuolikorkeuden ollessa $f/l = 0,144$ voidaan kolminiveliset paraabelikaaret mitoittaa diagrammin 10.6 mukaisesti. Samaa diagrammia voidaan käyttää myös kolminivelisten ympyräkaarien likimääräiseen mitoittamiseen.

10.1.1 Poikkileikkausvoimat ja tukireaktiot

Useimpien kuormitusnormien mukaan on tutkittava eri lumijakautumia esimerkiksi kuvan 10.4 mukaisesti. Tämä koskee ainakin sellaisia normeja, joita sovelletaan alueilla, joissa lumi-kuorma usein on mitoittava.

Kun kuorma jakautuu tasaisesti ja omapaino sisältyy suuremmista virheistä samaan laskelmaan, voidaan kolminivelisen paraabelikaaren reaktio- ja poikkileikkausvoimat laskea alla olevan yhtälön mukaan:

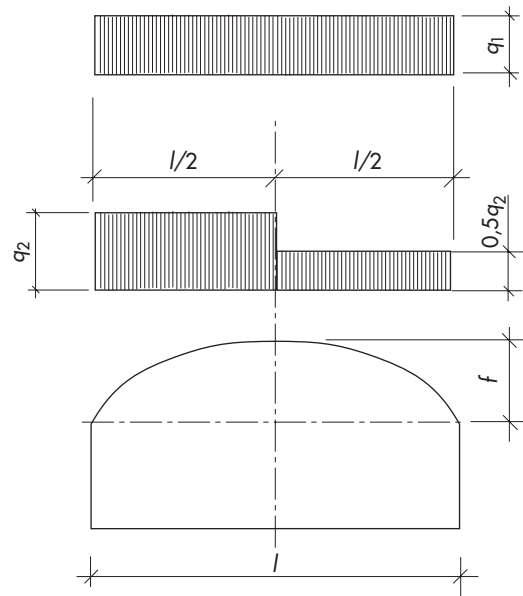
$$\text{Pystysuuntainen tukireaktio} \quad R = \frac{q_1 \cdot l}{2} \quad (10.1)$$

$$\text{Vaakasuuntainen tukireaktio} \quad H = \frac{q_1 l^2}{8f} \quad (10.2)$$

$$\text{Maksimi normaalivoima} \quad N = \sqrt{R^2 + H^2} \quad (10.3)$$

$$\text{Mielivaltaisen poikkileikkauksen normaalivoima} \quad N = \sqrt{(R - q_1 x)^2 + H^2} \quad (10.4)$$

$$\text{Mielivaltaisen poikkileikkauksen momentti} \quad M_{(x)} = 0 \quad (10.5)$$



Kuva 10.4
Esimerkkejä lumikuorman vaihtoehtoisista jakautumisista kaarikatolle.

Mielivaltaisen poikkileikkauksen leikkausvoima

$$V_{(x)} = 0 \quad (10.6)$$

Kolminivelisille ympyräkaarille, joissa $0,14 < f/l < 0,20$, on voimassa likimääräisesti

$$\text{Maksimimomentti} \quad M \approx \frac{q_1 \cdot f^2}{11} \quad (10.7)$$

Muilta osin voidaan kolminivelisten paraabelikaarien kaavoja käyttää likimääräiseen laskentaan.

Kuormituksen jakautuessa epätasaisesti kuvan 10.4 mukaisesti (kuormitustapaus 2) voidaan kolminivelisen paraabelikaaren reaktio- ja poikkileikkausvoimat laskea alla olevan kaavan mukaan:

$$\text{Pystysuuntainen tukireaktio} \quad R_A = \frac{7}{16} \cdot q_2 l \quad (10.8)$$

$$R_B = \frac{5}{16} \cdot q_2 l \quad (10.9)$$

$$\text{Vaakasuuntainen tukireaktio} \quad H = \frac{3q_2 l^2}{32f} \quad (10.10)$$

Maksimimomentti
(kun $x=0,25l$)

$$M = \frac{q_2 l^2}{128} \quad (10.11)$$

Vastaava
normaalivoima

$$N = H \sqrt{1 + \left(\frac{2f}{l} \right)^2} \quad (10.12)$$

Maksimi leikkausvoima
(harjassa)

$$V = \frac{1}{16} \cdot q_2 l \quad (10.13)$$

Kolminivelisissä ympyräkaarissa, joissa $0,14 < f/l < 0,20$, voidaan yllä olevaa kaavaa käyttää likimääräiseen laskentaan.

Kaksiniivelkaarien reaktio- ja poikkileikkausvoimat on helpointa laskea tietokoneen avulla.

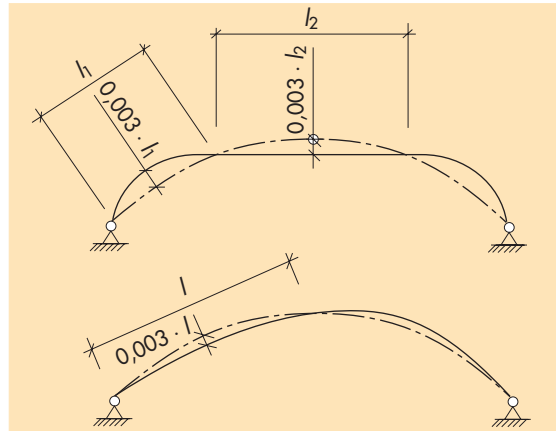
10.1.2 Stabiiliteetin tarkistus

Kaaret ovat yleensä hoikkia rakenteita. Siksi mitoituksessa on tarkemmin kuin kehärakenteiden kohdalla otettava huomioon ne lisävoimat, jotka kaaren alkumuodonmuutos ja kuormituksen muodonmuutos aiheuttavat. Nämä lasketaan toisen kertaluvun teorian mukaan sekä lisätään aikaisemmin saatuihin poikkileikkausvoimiin, minkä jälkeen mitoitus tehdään tavalliseen tapaan redusoimatta laskentapuristuslujuutta nurjahduksesta.

Alkumuodonmuutos oletetaan samanmuotoiseksi kuin kuormituksen aiheuttama muodonmuutos, ja se voidaan kuvan 10.5 mukaisesti olettaa sini-muotoiseksi nuolikorkeudella $0,003 \cdot l$. Vaativaan laskentatyöhön tarvitaan yleensä tietokonetta.

Kaarta voidaan vaihtoehtoisesti tarkastella staattisena, siirtymättömänä systeeminä (ensimmäisen kertaluvun teoria), ja ottaa huomioon lisävoimien vaikutus redusoimalla mitoittavat lujuusarvot kertoimella, joka riippuu hoikkuedesta ja joka määritetään samalla tavalla kuin puristetun ja taivutetun sauvan tapauksessa (ks. luku 5.2). Mitoitusehto on sama kun kehille (ks. yhtälö 9.7):

$$\frac{\sigma_c}{k_c f_c} + \frac{\sigma_m}{k_{crit} f_b} \leq k_r \quad (10.14)$$



Kuva 10.5

Esimerkkejä oletetusta alkumuodonmuutoksesta symmetrisessä ja epäsymmetrisessä kuormitustapauksessa EC 5 mukaisesti.

jossa reduktiokerroin k_c määritetään ottamalla huomioon tasossa tai kohtisuoraan sitä vastaan tapahtuva nurjahdus, riippuen siitä kumpi on mitoittava. k_{crit} määritetään ottamalla huomioon kiepahdus luvun 4.2. mukaisesti, ja k_r määritetään ottamalla huomioon lamellikäyrityminen luvun 4.7 mukaisesti. Pienillä käyrityssäteillä otetaan huomioon taivutusjännitysten epälineaarinen jakautuminen poikkileikkauksessa asettamalla kohdan 6.3.1 mukaisesti:

$$\sigma_m = k_p \frac{6M}{bh^2} \quad (10.15)$$

Kerroin k_p määritetään yhtälön 6.39 mukaan asettamalla kulmaksi $\alpha = 0$.

Nurjautaminen kaaren tasossa

Nurjahduskerroin k_c määritetään kuten puristus-sauvoille (ks. kohta 5.1). Hoikkuusluku laske-taan siten, että otetaan lähtökohdaksi arvioitu nurjahduspituus l_c . Poikkileikkaukseltaan vaki-olle kolminiveliselle paraabelikaarelle pätevät seuraavat kaavat likimääräisesti:

$$l_c = \begin{cases} 0,58 \cdot l \cdot \sqrt{1 + 6 \left(\frac{f}{l} \right)^2} & \text{jos } \frac{f}{l} \leq 0,3 \\ 0,50 \cdot l \cdot \sqrt{1 + 11,6 \left(\frac{f}{l} \right)^2} & \text{jos } \frac{f}{l} > 0,3 \end{cases} \quad (10.16)$$

merkinnät f ja l selviää kuvasta 10.2.

Alempaa yhtälöä käytetään kaksinivelisille paraabelikaarille riippumatta nuolikorkeuden ja jännevälin suhteesta f/l .

Puristusjännitys σ_c lasketaan ottamalla lähökohdaksi normaalivoima kaaren lakipisteessä.

Kaavoja voidaan soveltaa myös kaksi- ja kolminivelisiin ympyräkaariin, joiden nuolikorkeus on pieni ($f/l < 0,2$). Jos nuolikorkeus on tätä suurempi, yhtälö antaa epävarmempia arvoja.

Nurjahtaminen kohtisuoraan kaaren tasoa vastaan Kattorakenne tai sekundääripalkisto, esimerkiksi orret, estävät normaalisti kaaren nurjahtamisen sivusuunnassa. Reduktiokerroin k_c määritetään kuten puristussauvalle, jolloin nurjahduspituudeksi voidaan asettaa sivunurjahduksen estävien pisteiden välinen kaarenpituus.

Kiepahdus

Reduktiokerroin k_{crit} , joka ottaa huomioon kiepahduksen, määritetään kohdan 4.1 mukaisesti, jolloin käyristyssäteeksi voidaan asettaa:

$$r = \begin{cases} \frac{l^2}{8f} & \text{parabelikaarille} \\ \frac{l^2}{8f} + \frac{f}{2} & \text{ympyräkaarille} \end{cases} \quad (10.17)$$

Suurten negatiivisten momenttien alueella voi olla tarpeen järjestää puristetun sisäreunan vino-tuenta (ks. esim. kuva 4.1).

10.1.3 Poikittaiset vetojännitykset

Säteittäiset (poikittaisveto-) jännitykset tarkistetaan niissä kuormitustapauksissa, jotka tuottavat kaareen positiivisia momentteja (veto sisäreunassa). Yleensä nämä ovat tuulikuorman ja epätasaisesti jakautuvan lumikuorman yhdistelmiä. Esiintyvät jännitykset lasketaan ja tarkistetaan kohdan 6.3 ohjeiden mukaan.

Erityistä varovaisuutta on noudatettava kohdissa, joissa poikittaisvetojännitykset kaaren muodon takia lisääntyvät paikallisilla jännityksillä esimerkiksi ruuviliitosten johdosta.

10.1.4 Kaaren pituus

Symmetriselle paraabelikaarelle, jonka jänneväli on l ja nuolikorkeus f , voidaan kaarenpituus s laskea seuraavan kaavan avulla:

$$s = 2f \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{l}{4f}\right)^2} + 2f \cdot \left(\frac{l}{4f}\right)^2 \ln \left[\frac{4f}{l} \left(1 + \sqrt{1 + \left(\frac{l}{4f}\right)^2} \right) \right] \quad (10.18)$$

Kun $l = 0,144$ $s = 1,0528 \cdot l$

Ympyräkaarelle, jonka jänneväli on l ja nuolikorkeus f , voidaan kaarenpituus s laskea seuraavan kaavan avulla:

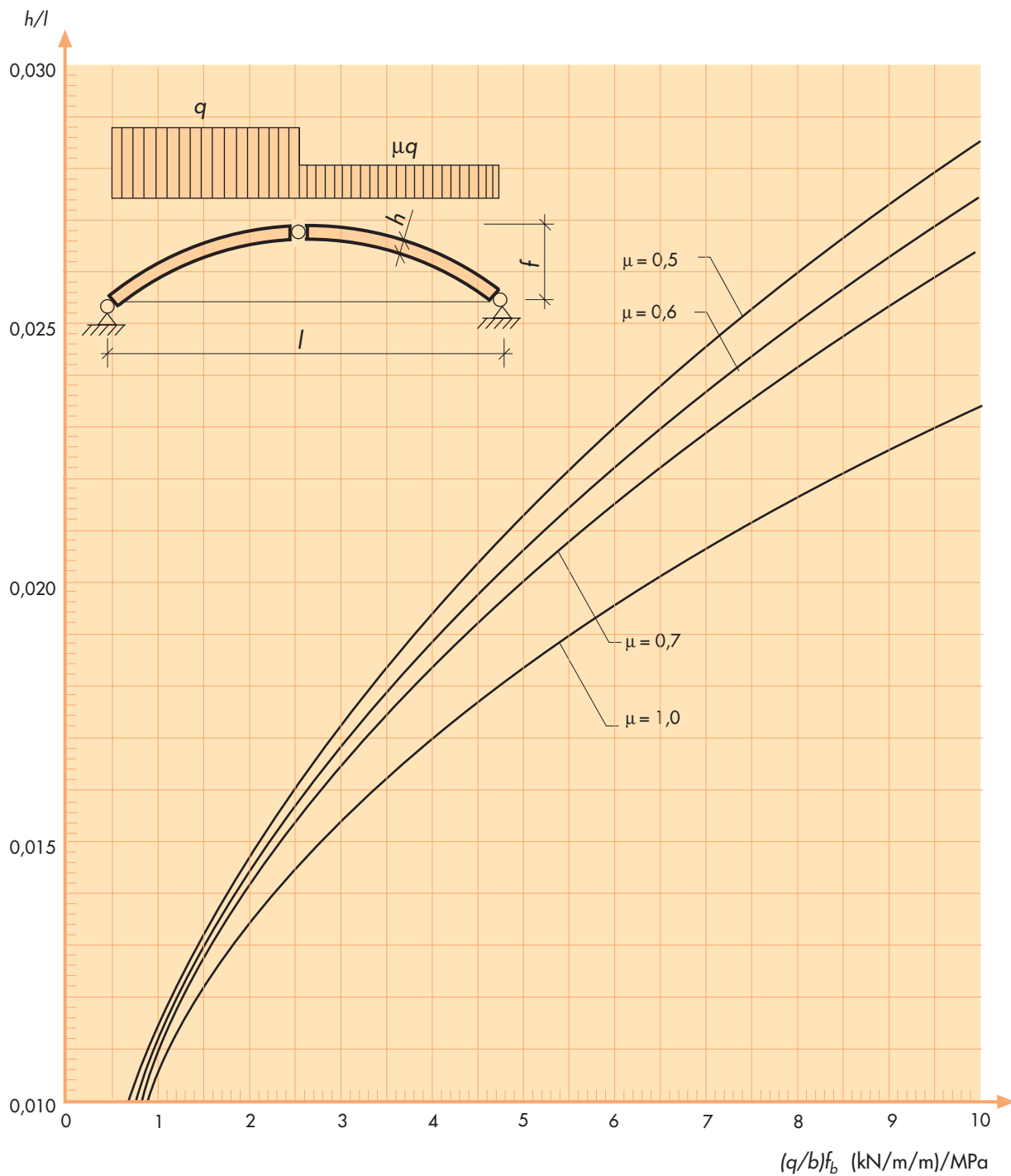
$$s = 2f \cdot \left(1 + \left(\frac{l}{2f}\right)^2 \right) \frac{\pi}{360} \arcsin \left(\frac{\frac{l}{f}}{1 + \left(\frac{l}{2f}\right)^2} \right) \quad (10.19)$$

Kun $f/l = 0,144$ $s = 1,0544 \cdot l$

10.2 Mitoitusdiagrammi

Mitoituksen lähtöarvo $(q/b)/f_b$ saadaan laskemalla kuorma juoksumetriä kohden ja jakamalla tämä kaaren leveydellä (m) ja kyseisen kuormitustapauksen laskentataivutuslujuudella (MPa). Jälkimmäinen määritetään ottamalla huomioon voimassa olevien normien mukainen kosteusluokka ja aikaluokka.

Diagrammissa oletetaan, että syynsuuntaisen taivutus- ja puristuslujuuden laskenta-arvojen suhde on 1,1 ja että syynsuuntaisen taivutuskimmomoduulin ja puristuslujuuden laskenta-arvojen suhde on 370. Valitut oletukset ovat samat kuin normeissa Eurocode 5 ja EN 1194.



Kuva 10.6

Kolminivelisen paraabelin mitoitus. Oletuksena kaaren kiepahdus tai nurjahdus on estetty sivusuuntaan. Kaaren nuolikorkeuden suhde jänneväliin $f/l = 0,14$.

Mitoitusnomogrammi EC 5 mukainen.

Liimapuutehtaan sisätillaa, Moelv, Norja.
Tynset –sillan ristikkokaarien valmistus.

Kuva: Egil Bjerke

11. Katon sekundääripalkit

11.1 Limitetyt orret 125

11.2 Gerber-kannattimet 125

Pellettivarasto, Skelleftehamn, Ruotsi.
Rakennesuunnittelu: J&W.
Kuva: MIJAC Foto
Kuva: MIJAC Foto

11. Katon sekundääripalkit

Katon sekundääripalkit tehdään yleensä poikkileikkaukseltaan tasakorkuisina suorina palkkeina. Ne voivat olla vapaasti tuettuina, jolloin ne yleensä tuetaan primääripalkkien väliin, tai useamman tuen varaan tuettuina jatkuvina palkkeina, jolloin ne tavallisesti asetetaan primäärikannattimien päälle. Jatkuvat sekundääripalkit puolestaan voidaan tehdä jatkoksettomina orsina kahden tai useamman aukon yli momenttijäykin liitoksin, yleensä limittäen tukien päältä tai nivelellisesti jatkettuna ns. Gerber-kannattimena.

11.1 Limitetyt orret

Limitettyjen sekundääripalkkien etuna on kantavuuden kaksinkertaistuminen niiden tukien kohdalla, joissa momentti on suurin. Samalla vähennee myös sekundäärien taipuma. Sekundääripalkit limitetään niin pitkältä matkalta, että kunkin sekundäärien tukimomentti alenee puoleen, jolloin kenttämomentista tulee mitoittava. Momentit, tukireaktiot ja maksimitaipuma (w) voidaan laskea kuten jatkuvalle palkille, jonka hitausmomentti on vakio. Jäykkyuden vaihtelu tosin vaikuttaa edullisesti momenttien jakautumiseen, mutta liitosten väistämättömät muodonmuutokset lieventävät vaikutusta. Kun yhtä suuria kenttiä on enemmän kuin kaksi, käytetään kuvan 11.1 mukaisia limityspituuksia

$$\bullet \text{ ulkokenttä } M_{dim} = 0,080ql^2 \quad (11.1)$$

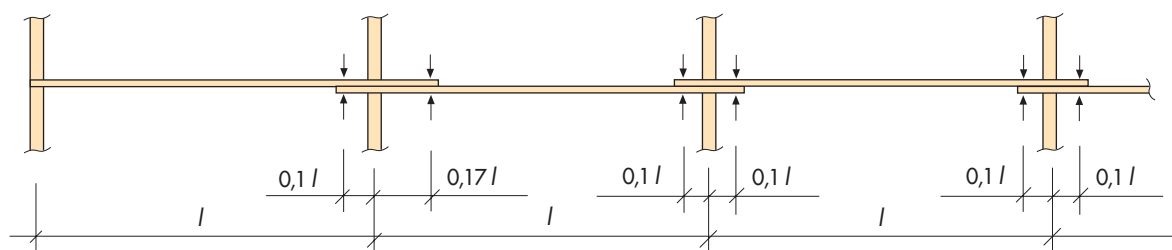
$$w = 0,69ql^4 / 100EI \quad (11.2)$$

$$\bullet \text{ sisäkenttä } M_{dim} = 0,046ql^2 \quad (11.3)$$

$$w = 0,32ql^4 / 100EI \quad (11.4)$$

Jatkosliitokset mitoitetaan arvolle $F = 0,42 ql$

Jatkamattomat kaksi- tai kolmiaukkoiset sekundääripalkit voidaan mitoittaa ottamalla huomioon, että kattopalkit ovat painuvilla tuilla. Tukimomentti voidaan silloin redusoida 10 %:lla taulukon 6.1 mukaisesti. Samasta syystä voidaan redusoida sisätukien tukireaktiot. Kaksiaukkoisia ja samassa linjassa jatkettuja sekundääripalkkeja käytettäessä voidaan tällöin pääpalkit mitoittaa kuormalle $1,10 \cdot ql$ (kuorman $1,25 \cdot ql$ sijasta).



Kuva 11.1
Jatkuva sekundääripalkisto limitysliitoksien.

11.2 Gerber-kannattimet

Gerber-kannattimet muotoillaan siten, että kenttä- ja tukimomenteista tulee yhtä suuret. Jotta estettäisiin jatkuva sortuminen yhden kentän romahtaessa, on järjestelmä muotoiltava siten, että joka toinen kenttä on niveletön. Jos kenttiä on kaksi tai kolme, voidaan poikkileikkausvoimat ja maksimitaipuma (w) laskea taulukon 6.2 avulla. Kun kenttiä on enemmän kuin kolme, liitokset sijoitetaan kuvan 11.2 vaihtoehdon 1 mukaisesti:

$$\bullet \text{ ulkokenttä } M_{dim} = 0,096ql^2 \quad (11.5)$$

$$V_{dim} = V_{jatkos} = 0,44ql \quad (11.6)$$

$$w = 0,72ql^4 / 100EI \quad (11.7)$$

$$\bullet \text{ sisäkenttä } M_{dim} = 0,063ql^2 \quad (11.8)$$

$$V_{dim} = 0,056ql \quad (11.9)$$

$$V_{jatkos} = 0,35ql \quad (11.10)$$

$$w = 0,52ql^4 / 100EI \quad (11.11)$$

Jos jatkokset sijaitsevat kuvan 11.2 vaihtoehdon 2 mukaisesti, käytetään sisäkentälle yllä olevaa kaavaa, mutta ulkokentillä yhtälö saa muodon:

$$\bullet \text{ ulkokenttä } M_{dim} = 0,086ql^2 \quad (11.12)$$

$$V_{dim} = 0,59ql \quad (11.13)$$

$$w = 0,77ql^4 / 100EI \quad (11.14)$$

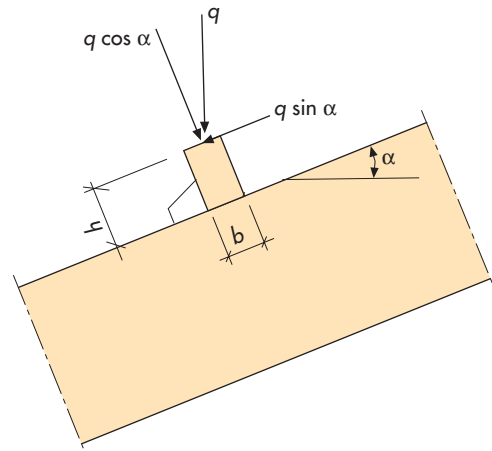
On yleensä käytännöllisintä valita sama rakennekorkeus ulko- ja sisäkenttien orsille, ja tarvittaessa kasvattaa mieluummin ulkokenttien orsien leveyttä.

Sekundääripalkkien kallistus on otettava huo-

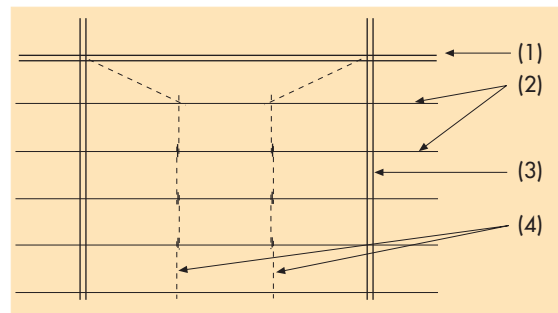
mioon kattokaltevuuden ylittäessä 1:10. Pystysuuntainen kuorma, yleensä lumi ja omapaino, jaetaan kuvan 11.3 mukaisesti kahteen komponenttiin, joista toinen on kohtisuoraan kattopintaa vastaan $q \cos \alpha$ ja toinen kattopinnan suuntainen $q \sin \alpha$.

Yleensä katto on niin jäykkä, että katon suuntainen komponentti voidaan ottaa vastaan levyvaikutuksen avulla. Tätä ei yleensä tarkisteta. Jos kattokaltevuus on suuri tai jollei voida laskea levyvaikutuksen varaan, täytyy sekundääripalkit kuitenkin tarkistaa samanaikaiselle jäykän ja heikon suunnan taivutukselle (ks. esim. kohdan 5.2 kaavat 5.7 ja 5.8). Epävarmoissa tapauksissa voi olla perusteltua vähentää heikomman suunnan jänneväliä ”ripustamalla” sekundäärit harjaorteen kuvan 11.4 mukaisesti. Silloin kattorakenne täytyy tarkistaa sille lisäkuormitukselle, jonka ripustustangot aiheuttavat.

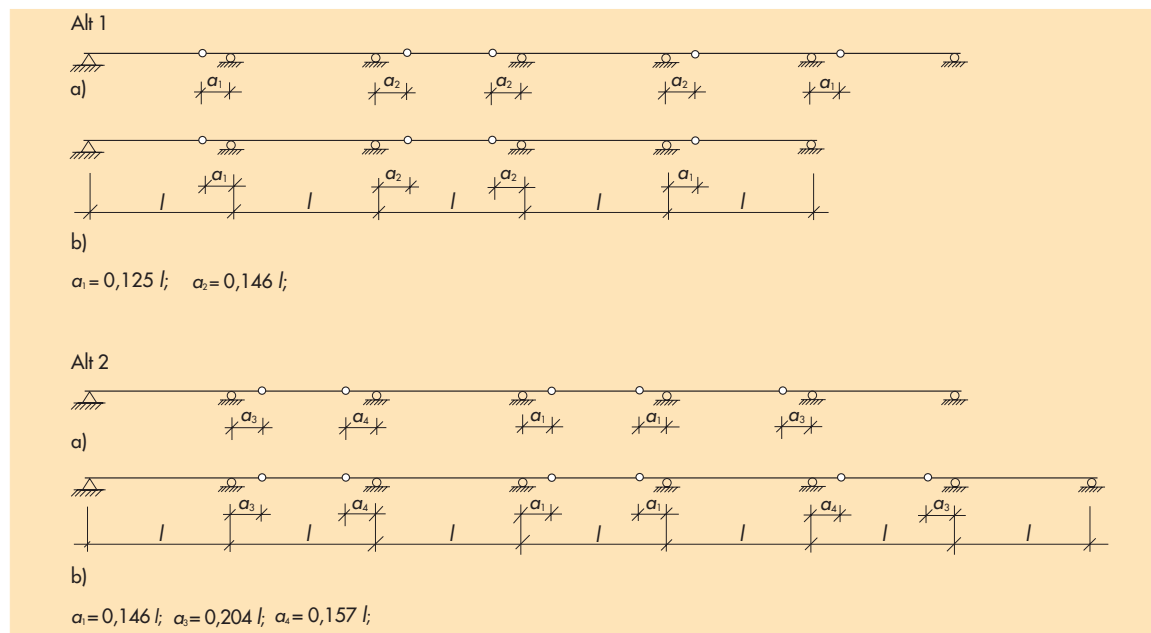
Jos sekundääripalkkeja käytetään primääripalkkien jäykistämiseen tai veto- tai puristusvoimien siirtämiseen tuuliseiteisiin, kantavuus on tarkistettava myös samanaikaiselle puristukselle ja taivutukselle kohdan 5.2 mukaisesti. Liitokset ja kiinnitykset kattopalkkeihin tarkistetaan myös näille voimille (ks. edelleen kohta 12.3).



Kuva 11.3
Kallistetun sekundääripalkin pystykuorman jakaminen komponentteihin.



Kuva 11.4
Suurilla kattokaltevuuksilla voidaan muut sekundääripalkit ripustaa harjaorteen. (1) Harjaorsi. (2) Muut orret. (3) Kattopalkit. (4) Ankurointitanko.



Kuva 11.2

Erilaisia Gerber-järjestelmiä. Vaihtoehto 1: Liitos ulkokentässä. a) parillinen määrä kenttiä. b) pariton määrä kenttiä.

Vaihtoehto 2: Liitokset ulkokentässä. a) parillinen määrä kenttiä. b) pariton määrä kenttiä.

12. Liimapuurungon jäykistys

12.1 Levyvaikutus 131

12.2 Tuuliristikot 131

12.2.1 Pitkien sivujen vastainen tuuli 131

12.2.2 Päätyjen vastainen tuuli 131

12.3 Kattopalkkien sivutuenta 132

12.4 Jatkuva sortuminen 133

Jäykistys tuuliristikolla.

Kuva: MIJAC Foto

12. Liimapuurunjon jäykistys

Kokonaissabiliteetin tarkistus on tärkeä osa rakennusrunjon mitoittamista. Jotta runko voi ottaa vastaan vaakakuormia (esimerkiksi tuulikuormia) omassa tasossaan, se jäykistetään käyttämällä jotakin seuraavista menetelmistä:

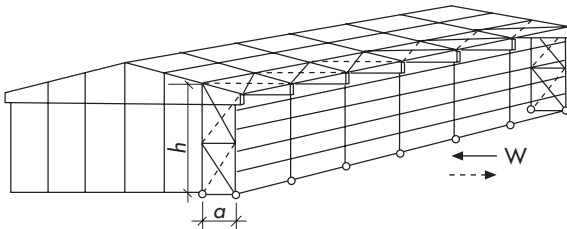
- Kattolevy siirtää pilarin vaakakuormat seinälevyihin, jotka yleensä sijoitetaan päätyihin.
- Katon tuuliristikot siirtävät pilarin vaakakuormat tuulipukeille, jotka yleensä sijoitetaan kuvan 12.1 mukaisesti päätyihin.
- Toinen tai molemmat pilarit kiinnitetään momenttijäykästi perustusrakenteeseen kuvan 12.2a mukaisesti
- Toinen tai molemmat pilarit kiinnitetään momenttijäykästi palkkiin kuvan 12.2b mukaisesti. Näin saadaan aikaan kolmi- tai kaksinivelkehä.
- Rakenne täydennetään vinotuilla kuvan 12.2c mukaisesti. Toiminnallisista syistä tämä on yleensä mahdollista vain päädyn rakenteissa.
- Rakenne liitetään omassa tasossa olevaan seinälevyyn.

12.1 Levyvaikutus

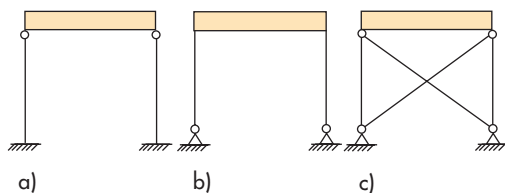
Profiilipeltisten tasakattojen levyvaikutusta voidaan seuraavin edellytyksin hyödyntää puurunkojen jäykistämisessä:

- Kattoon sisältyvät osapellit liitetään toisiinsa siten, että esiintyvät leikkausvoimat voidaan siirtää.
- Kattolevy jäykistetään reunoistaan reunapalkkein, jotka kiinnitetään ja mitoitetaan esiintyville voimille. Kohtisuoraan profilointia vastaan olevat reunapalkit voidaan tällöin tehdä puusta, kun taas profiloinnin suuntaiset reunapalkit on helpointa tehdä teräksestä.
- Keskitetyt kuormat (esim. tuulipilareista) viedään jakaville sauvoille, jotka kiinnitetään ja mitoitetaan esiintyville voimille. Kohtisuoraan profilointia vastaan oleva sauva voidaan tällöin tehdä puusta ja profiloinnin suuntaisen sauva teräksestä.

Kattolevyn mitoitus ja kiinnitykset puurunkoon voidaan tehdä samoilla periaatteilla kuin teräsrungolla.



Kuva 12.1
Liimapuurunkon jäykistys tuuliristikoilla ja tuulipukeilla.



Kuva 12.2
Esimerkkejä rakenteista, jotka ovat stabiileja omassa tasossaan.
a) Jäykästi kiinnitetty pilarijalka; nivelellinen pilarin ja palkin liitos.
b) Nivelellinen pilarijalka; jäykkä pilarin ja palkin liitos.
c) Nivelellinen pilarin ala- ja yläpää; ristijäykistys teräksestä tai puusta.

12.2 Tuuliristikot

12.2.1 Pitkien sivujen vastainen tuuli

Kehät ja kaaret ovat omassa tasossaan stabiileja samoin kuin sellaiset palkki-pilarijärjestelmät, jotka on jäykästi kiinnitetty perustuksiin. Sen sijaan rungon nivelpilarit täytyy jäykistää kattolevyllä tai kattotasossa olevilla tuuliristikoilla. Tuulijäykistämisen periaate käytettäessä ristikoita rakennuksen pitkällä sivulla on esitetty kuvassa 12.1. Usein kattopalkkeja käytetään ristikon vertikaaleina ja sekundääripalkkeja pariteina. Tällöin jälkimmäiset eivät saa olla Gerber-palkkeja. Ainoastaan lisättäviä jäykistäviä osia ovat tässä tapauksessa vinotuet, jotka usein tehdään ristissä olevista pyöröteräksistä tai puristusta ottavista puudiagonaaleista. Tuuliristikon eri sauvojen väliset liitokset on mitoittava esiintyville voimille ja epäkeskeisyyksille. Useinhan paarteet ja vertikaalit ovat eri tasossa.

12.2.2 Päätyjen vastainen tuuli

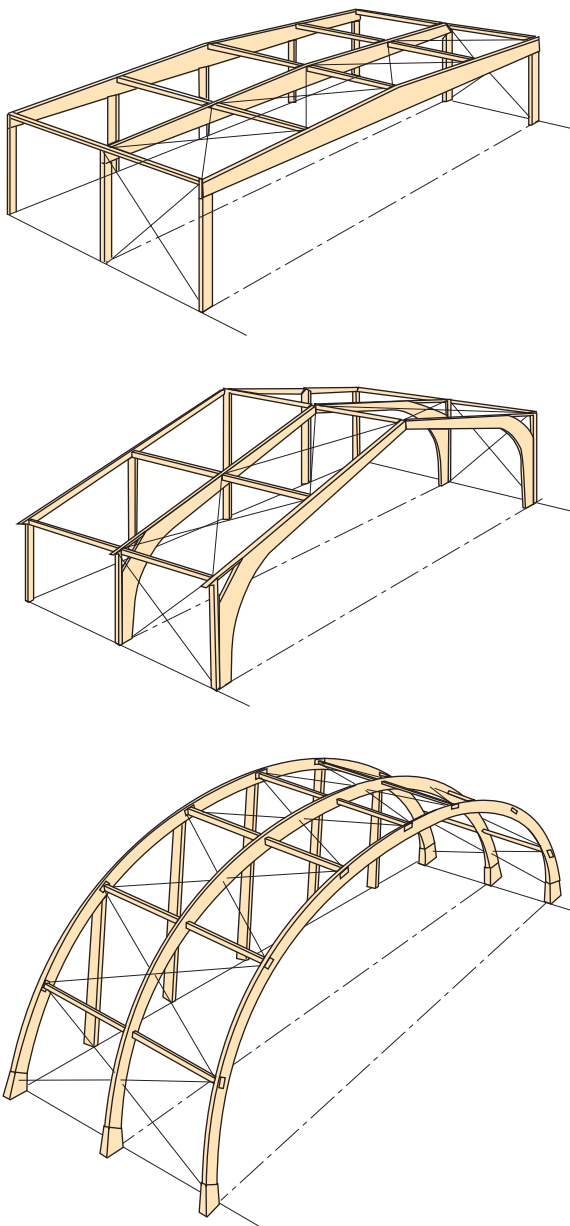
Päätyihin kohdistuvia tuulia vastaan on suositeltavaa jäykistää runko tuuliristikoin kuvan 12.3 mukaisesti. Tällöin primäärikannattajia hyödynnetään parresauvoina. Sekundääripalkit voivat toimia vertikaaleina, mutta yleensä ristikko muotoillaan siten, että sillä on omat vertikaalinsa, koska näin saadaan kaikki rakenteen osat samaan tasoon ja vältetään solmukohtien epäkeskeisyyksistä johtuvista hankaluuksista. Tavallisesti tuuliristikko muotoillaan niin, että sitä voi hyödyntää myös rungon pystytyksen aikaiseen jäykistykseen.

Pienemmissä rakennuksissa yleensä riittää, että toisessa päädyssä on tuuliristikko. Sekundääripalkkien tai kattolevyn täytyy tällöin kyetä siirtämään sekä puristus- että vetovoimia toisesta päädyssä. Sen sijaan pitkänomaisissa rakennuksissa saattaa myös rungon pystytyksen aikaisen jäykistykseen kannalta olla parempi sijoittaa tuuliristikoita yhteen tai useampaan rakennuksen sisäkenttään.

Päädyissä tuuliristikko sijoitetaan mieluiten

toiseen kenttään päädyistä laskien. Tällöin solmukohtien muotoiluun ei vaikuta päätyrakenne, joka yleensä poikkeaa muusta rungosta.

Mitoitettaessa on otettava huomioon, että ristikko on harvoin vaakatasossa. Solmukohdissa, joissa ristikon paariesauvat vaihtavat suuntaa (esimerkiksi harjakaton harjassa), muodostuu kattopintaa vastaan kohtisuorassa suunnassa voimakomponentteja, jotka primäärirunko joutuu ottamaan vastaan.



Kuva 12.3
Tuulijäykistys kehä- ja kaarirakenteilla.

12.3 Kattopalkkien sivutuenta

Kattolevyä tai tuuliristikkoa käytetään usein kattopalkkien sivutuentaan. Levy tai ristikko on tällöin muiden vaakavoimien, kuten tuulivoiman (q_w), lisäksi mitoitettava tasaisesti jakautuvalle vaakavoimalle:

$$q_{tuki} = \frac{n \cdot M}{50 \cdot l \cdot h} (1 - k_{crit}) \quad (12.1)$$

jossa M = palkin maksimimomentti

h = palkin korkeus

l = kattolevyn tai tuuliristikon jänneväli

n = sivutuettujen palkkien lukumäärä

k_{crit} = kerroin, joka kohdan 4.2 mukaisesti ottaa huomioon tukemattoman palkin kiepahduksen

Sekundääripalkkien tai kattopellin kiinnitys kattopalkkiin mitoitetaan voimalle:

$$F_1 = q_{tuki} \cdot a / n \quad (12.2)$$

jossa a = orsiväli tai jos pelti on kiinnitetty suoraan kattopalkkeihin, ruuviväli.

Useita palkkeja tukeva katon sekundääripalkki, samoin kuin tämän kiinnitys sivutuenta anta-
vaan rakenteeseen, mitoitetaan voimalle:

$$F_2 = n \cdot F_1 \quad (12.3)$$

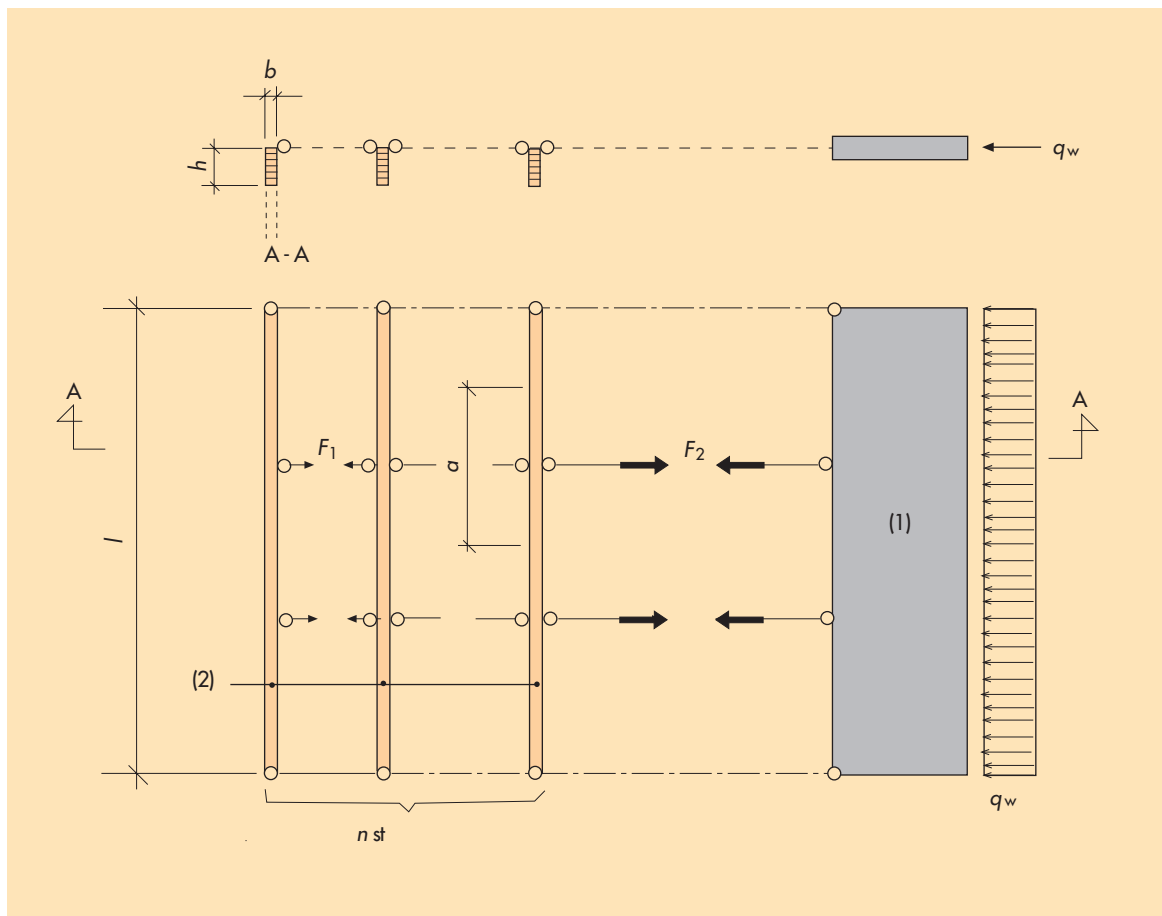
12.4 Jatkuva sortuminen

Jos kysymyksessä on halli, jonka jänneväli on suuri (≥ 15 m) ja jonka tiloihin kokoontuu huomattavia henkilömääriä (esimerkiksi urheiluhalli, näyttelytila tai suurmyymälä), runko on suunniteltava siten, että onnettomuuskuormasta johtuva jatkuvan sortumisen riski on hyväksyttävän alhainen.

Onnettomuuskuorma voi muodostua esim. pilariin törmäävästä autosta tai rakennuksessa tapahtuvasta kaasuräjähdyksestä. Hallirakennuksissa ei yleensä mitoiteta yksittäistä rakenneosaa kestäämään tällaisia kuormia. Sen sijaan runkojärjestelmä on suunniteltava siten, että primää-

rakenneosaa (esim. pääpalkki tai pilari) voi romahtaa ilman, että rakennus kokonaisuudessaan sortuu. Onnettomuuskuormia sisältävien kuormitusyhdistelmien osalta voidaan kuitenkin olettaa, että muiden kuormien arvoina yleensä käytetään ominaiskuormia eikä laskentakuormia.

Yleensä riittää, kun rakennusten jäljellä olevien osien vaakasuuntainen stabiliteetti tarkistetaan likimääräisesti kun esim. yksi pääpalkki puuttuu. Ruotsin normien mukaan tulee tarkistaa lisäksi, että kokoustiloja sisältävien rakennusten osalta vahingoittunut kenttä voidaan katata vaihtoehtoisella rakenteella, esim. sekundäripalkkien ja katteen köysi- ja kalvovaikutusta hyödyntäen.



Kuva 12.4
Kattopalkkien sivutuenta. (1) Sivutuentarakenne. (2) Sivutuetut kattopalkit.

13. Liitosdetaljit

13.1 Niveellinen pilarijalka 137

- 13.1.1 Naulauslevy- tai lattateräskiinnitykset 137
- 13.1.2 Kulmateräskiinnitys 140
- 13.1.3 Pilarikengät 142
- 13.1.4 Liimattu ruuvi 145

13.2 Jäykästi kiinnitetty pilarijalka 148

- 13.2.1 Naulauslevy- tai lattateräskiinnitys 148
- 13.2.2 Liimattu ruuvi 152

13.3 Pilarin ja palkin nivelliitos 156

- 13.3.1 Naulauslevy- tai lattateräskiinnitykset 156
- 13.3.2 Liimattu ruuvi 159
- 13.3.3 Lovettu pilari 160
- 13.3.4 Pilarin yläpään sivutuenta 162
- 13.3.5 Jatkuvan palkin sivutuenta 163

13.4 Niveellinen harjaliitos 163

- 13.4.1 Naulauslevykiinnitykset 163
- 13.4.2 Naulauslevyliitokset ja leikkausvoimia siirtävät vaarnat 165
- 13.4.3 Harjaliitosteräs BMF 167

13.5 Niveellinen palkkiliitos 167

- 13.5.1 Naulauslevyliitos 167
- 13.5.2 Hitsattu Gerber-liitos 168
- 13.5.3 Gerber-liitosteräs BMF-W 170

13.6 Sekundääripalkin liitos 171

- 13.6.1 Katto-orren kiinnitys 171
- 13.6.2 Hitsattu palkkikenkä 171

13.7 Vetotankoliitos 175

- 13.7.1 Teräsvetotanko 175
- 13.7.2 Puset vetotangot 176

13.8 Kaksi- tai kolminivelkaaren tuki 178

- 13.8.1 Naulauslevy- tai lattateräskiinnitykset 178
- 13.8.2 Hitsattu jalkaliitos, jossa on kiertolaakeri 178

13. Liitosdetaljit

Puurakennustekniikassa on tärkeää liittää puukappale toiseen puukappaleeseen oikealla tavalla. Materiaalin ominaisuuksia voidaan hyödyntää parhaiten miettimällä ja toteuttamalla liitosdetaljit tarkasti. Hyvään suunnitteluun kuuluu, että

- voimien kulku liitoksen läpi on lyhyt ja hyvin hallittu
- syiden suuntaan nähden kohtisuorat voimat siirretään niin suurelle pinnalle, että lujuutta ei ylitetä (katso tarkemmin kohta 4.8)
- kosteusliikkeet eivät aiheuta halkeamia tai muita vahinkoja (katso tarkemmin kohta 4.9)
- vettä ja likaa kerääviä taskuja vältetään.

Tämän luvun mitoitusäännöt on pääosin muokattu Limträhandboken 1995 -kirjan vastavasta luvusta. Esitystapaa on kuitenkin muutettu oleellisesti: kaavoissa ja kaavioissa H , V , N ja M merkitsevät aina koko voimaa tai momenttia, jolla liittyvä rakenne-elementti vaikuttaa liitokseen (pilarin jalka, pilarin yläpää, harjaliitos jne.).

13.1 Nivelellinen pilarijalka

Nivelellinen pilarijalka siirtää sekä vaaka- että pystyvoimia. Periaatteessa sillä ei voi siirtää momentteja. On kuitenkin hyvä, jos liitos- ja kiinnitysosilla on riittävästi momenttikapasiteettia pilarin asennusaikaiseen tukemiseen. Liitosmuotoillaan siten, että se ei estä pilarin kulmamutosta, koska mahdolliset syysuuntaan nähden kohtisuorat pakkovoimat saattavat aiheuttaa halkeamia.

Kiinnitysosina käytetään useimmiten pintaan asennettavia liittimiä, jotka naulataan tai ruuvataan kiinni pilariin. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää pilarikenkiä estämään suora kontakti perustuksen ja pilarin välillä. Liimattu ruuvi voi olla sopiva vaihtoehto, jos esteettisistä tai paloteknisistä syistä halutaan käyttää piilokiinnitystä.

Perustusliitos voidaan suunnitella eri tavoin. Teräsosat voidaan valaa betonirakenteeseen joko suoraan tai käyttämällä varauskoloja. Kiinnitysosat on mahdollista myös hitsata perustuksissa oleviin teräslevyihin. Kolmas vaihtoehto on ruuvata kiinnitysosat perustuksiin käyttämällä paisuntaruuveja tai kemiallisia ankkureita.

Jos pilari liittyy suoraan betoniin, muurattuun tai muuhun kosteutta imevään rakenteeseen, pilarin pää on varustettava kosteussululla. Tällöin voidaan käyttää esimerkiksi 3,2 mm kovaa öljykäsiteltyä puukuitulevyä tai kumimattoa, joka liimataan ja naulataan pilarin päähän. Jos pilari on ulkona tai tilassa, jossa on yleensä vettä (esimerkiksi uimahallissa), perustusliitos suunnitellaan siten, että pilarin pää on suojattu kosteudelta ja että se pääsee kuivumaan nopeasti. Kiinnitysosat toimitetaan irtonaisina, lukuun ottamatta liimattuja ruuveja sisältäviä kiinnitysosia, jotka aina liimataan tehtaalla. Ruuviliitoksen reiät porataan pilariin mieluiten asennuksen yhteydessä. Näin vältetään sovituserongelmilta

erityisesti valettujen kiinnitysosien kohdalla.

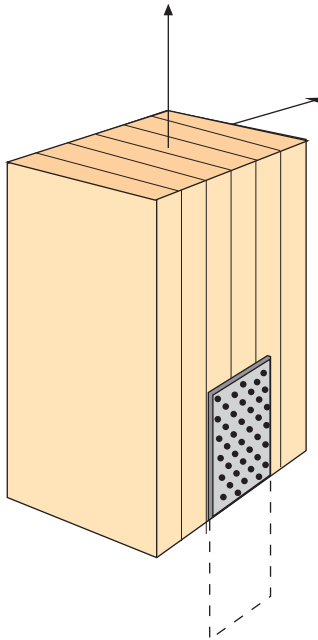
Seuraavissa kappaleissa esitetään neljän vaihtoehtoisen liitosratkaisun mitoitusperiaatteet: naulauslevy- tai lattateräs, kulmateräs, pilarikentä ja liimattu ruuvi. Ohjeet koskevat pääasiassa puu- ja teräsosien mitoitusta. Liittyvien betonosien olosuhteet vaihtelevat yksittäistapauksissa niin paljon, että yleisiä mitoitusohjeita ei voida tässä yhteydessä esittää, vaan sen sijaan viitataan voimassa oleviin betoninormeihin.

13.1.1 Naulauslevy- tai lattateräskiinnitykset

Liimapuupilarin kylkeen tehtävä nivelellinen naulauslevy- tai lattateräskiinnitys on helppo ja tarkoituksenmukainen kiinnitystapa, joka soveltuu sekä pienille että suurille vaakavoimille (kuva 13.1.).

Kiinnitysosa voidaan valaa betonirakenteeseen tai hitsata betonissa olevaan kiinnitysluuyyn. Voimien siirto betonin ja kiinnitysteräksen välillä voidaan tehdä joko kiinnitysteräksen ja betonin välisellä tartunnalla tai ulospäin taivutetulla kulmateräksellä, ruuvilla tai raudoitusteräksellä, joka pujotetaan kiinnitysteräksessä olevan reiän läpi. Mitoitettaessa oletetaan, että tartunta ja pintapuristus eivät vaikuta samanlaisesti, vaan koko voima otetaan vastaan joko tartunnan tai pintapuristuksen kautta.

Liitosteräksen ja liimapuupilarin välinen voimien siirto tapahtuu naulan, pultin tai ruuvien avulla. Kiinnitystarvikkeen valintaan vaikuttavat esteettiset, taloudelliset ja asennustekniset näkökohdat sekä lujuus- tai jäykkyysvaatimukset. Ruuviliitosten kapasiteettia ja jäykkyyttä voi parantaa käyttämällä välilevyjä, esimerkiksi Bulldog-levyjä. Ne asennetaan tehtaalla, koska upotus vaatii erikoistyökaluja. Välilevyjä on siis vältettävä valuun tulevien kiinnitysteräksien



Kuva 13.1
Pilarialan nivelkiinnitys naulauslevyillä.

kanssa. Välilevyjen painaminen paikoilleen läpimenevää ruuvia käyttämällä ei ole suositeltavaa, koska ruuvien kiertet sekä mahdollinen sinkitys voivat vahingoittaa.

Sinkitystä teräksestä tehdyt esiporatut naulauslevyt eivät sovellu hitsaamiseen, koska sinkikerroksen kuumennus aiheuttaa myrkkyykäsua. Niitä käytetään ainoastaan silloin, kun kiinnitysteräksset ankkuroidaan betoniperustuksiin.

Tietynpaksuisia tai tietyllä tavalla reikäkuviuituja tai pintakäsiteltyjä naulauslevyjä voi tilata erityisiltä rei'itettyjen peltien valmistajilta. Reikien stanssaaminen on yleensä halvinta, jos peltin paksuus ei ole suurempi kuin reiän halkaisija. Reikien on oltava noin 1 mm naulan poikkimittaa suurempia.

Ruuviliitoksen kiinnitysosat valmistetaan yleensä lattateräksestä. Teräksen paksuus valitaan vakiomittasarjasta 6, 8, 10, 12, 15 ja 20 mm, ja sen täytyy olla vähintään 0,3 kertaa ruuvien halkaisija (0,4 kertaa käytettäessä aluslevyä). Reiät porataan 1 mm isommiksi kuin ruuvien halkaisija.

MITOITUS

Mitoitettaessa kiinnitysosaa sitä pidetään perustuksiin kiinnitettynä konsolina, jota kuormittaa vaakavoima sekä tietyissä tapauksissa nosta-va pystyvoima, jotka molemmat kohdistuvat ruuvi- tai naularyhmän keskiöön (katso kuva 13.2).

Alaspäin suuntautuvien pystykuormien oletetaan yleensä siirtyvän pilarilta perustukseen kosketuksen kautta. Jos kosketusta ei pystytä hyödyntämään, myös pystykuormat on otettava kiinnitysteräksen mitoituksessa huomioon.

Yksittäisen kiinnitysteräksen pilariliitoksen mitoitusehto on:

$$\sqrt{F_x^2 + F_y^2} \leq R_{vd} \quad (13.1)$$

jossa $F_x = 0,5 \cdot V_d / n$

$F_y = 0,5 \cdot H_d / n$

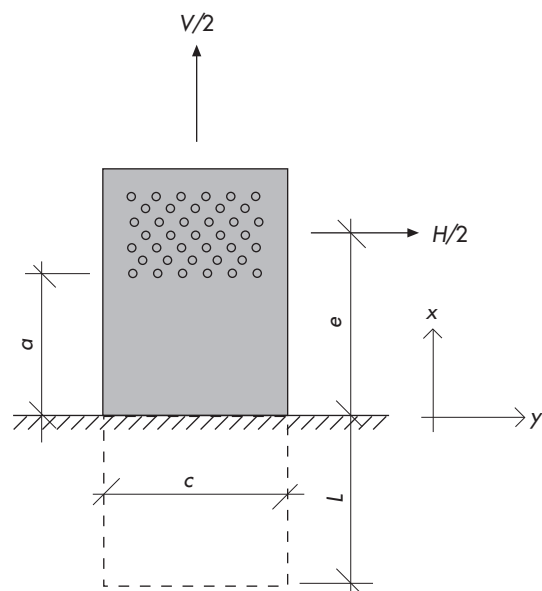
n = kiinnikkeiden lukumäärä per liitos

R_{vd} = naulan tai ruuvien

leikkauskestävyys

H_d = pilarin laskentavaakavoima

V_d = pilarin laskentanostovoima



Kuva 13.2
Naulauslevy, joka on jäykästi kiinnitetty uloke.

Yksittäisen kiinnitysteräksen mitoitusehto on:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq f_{yd} \quad (13.2)$$

jossa f_{yd} = teräksen laskentalujuus

σ = normaalijännitys

τ = leikkausjännitys

laskettuna kiinnitysteräksen samassa pisteessä. Jos σ ja τ lasketaan kimmoteorian mukaan kaksiakselisessa jännitystilassa, voidaan kaavan 13.2 termi f_{yd} korvata termillä $1,1 f_{yd}$.

Maksimi normaalijännitys σ_{max} esiintyy kiinnitysteräksen vedetyssä reunassa ja se voidaan laskea kaavalla:

$$\sigma_{max} = \frac{0,5H_d \cdot e}{W} + \frac{0,5V_d}{A} \quad (13.3)$$

jossa A ja W ovat kiinnitysteräksen poikkipinta-ala ja taivutusvastus. Kiinnityspisteen ja naulatai ruuviryhmän keskiön etäisyys on e . Samassa poikkileikkauksen reunapisteessä leikkausjännitys τ on nolla.

Ruuvi- tai naulareikien vaikutus kiinnitysteräksen kapasiteettiin voidaan ottaa huomioon siten, että kaavan 13.2 termi f_{yd} vaihdetaan termiksi f_{ud} ja lasketaan jännitykset σ ja τ ottamalla lähtökohdiksi poikkileikkauksen nettosuureet A_{net} ja W_{net} .

Materiaalin sallitaan siis plastisoitua reikien ympärillä.

Maksimi leikkausjännitys τ_{max} esiintyy neutraaliakselilla z-akselin ympäri taivutettaessa ja se voidaan laskea kaavalla:

$$\tau_{max} = 1,5 \frac{0,5H_d}{A} \quad (13.4)$$

Jos pystyvoima siirretään kosketuksen kautta, normaalijännityksen σ arvo on nolla. Muussa

tapauksessa normaalijännitys σ lasketaan kaavalla:

$$\sigma = \frac{0,5V_d}{A} \quad (13.5)$$

Ohuiden kiinnitysterästen puristetun reunan lommahdusmahdollisuus tarkistetaan.

Tarkistus voidaan tehdä esimerkiksi noudattamalla teräsrakennepohjeen B7 lukua 4.6. Kiinnitysteräksen hoikkuusparametri λ_b , voidaan laskea kaavalla:

$$\lambda_b = 0,76 \frac{\sqrt{c \cdot e}}{t} \sqrt{\frac{f_{yk}}{E_k}} \quad (13.6)$$

jossa

f_{yk} = teräksen myötörajan ominaisarvo

E_k = kimmomoduulin ominaisarvo

t = kiinnitysteräksen paksuus

c = kiinnitysteräksen leveys

Muut merkinnät kuvan 13.2 mukaisesti.

Teräksen, jonka $f_{yk} \leq 270$ Mpa, lommahdusta ei tarvitse tarkistaa, jos kiinnitysteräksen paksuus täyttää ehdon:

$$t \geq 0,07 \sqrt{c \cdot e} \quad (13.7)$$

Naulauslevyillä kaavoissa 13.6 ja 13.7 etäisyys e voidaan korvata vapaan reunan pituudella a laskettuna kiinnityspisteestä ensimmäiseen naulariviin (katso kuva 13.2).

Yksittäisen kiinnitysteräksen mitoitusehto, kun ankkuroidaan tartunnan avulla perustuksiin:

$$\left(\frac{V}{V_d} \right)^2 + \left(\frac{H}{H_d} \right)^2 \leq 1,0 \quad (13.8)$$

jossa $V_d = 2s \cdot L \cdot f_{cv}$

$$H_d = \frac{4c \cdot L \cdot f_{cv}}{1 + 1,2 \cdot L / c + 2,4 \cdot e / c}$$

$s = 2(c+t)$
 t = levyn paksuus
 f_{cv} = tartuntalujuuden laskenta-arvo

Muut merkinnät kuvan 13.2 mukaisesti

Lujuusluokan K25 betonille voidaan tartuntalujuuden ominaisarvona käyttää:

$f_{cvk} = 1,2$ MPa lattateräkselle ja 3,5 MPa reikälevylle.

Ympäröivä betonirakenne mitoitetaan voimassa olevien betoninormien mukaisesti.

Jos perustusliitos tehdään hitsaamalla valussa olevaan tartuntalevyyn, työ on suunniteltava hyvin. Yleensä ei ole mahdollista hitsata kiinnityslevyn molemmilta puolilta. Jos kiinnityslevy viistetään ja päittäishitsataan kauttaaltaan, hitsin kestävyyttä ei tarvitse tarkistaa. Jos sen sijaan kiinnityslevy pienahitsataan tartuntalevyyn, hitsauksen lujuus on tarkistettava voimassa olevien normien mukaisesti. Pienahitsin a-mittan täytyy olla vähintään 3 mm. Jos a-mitta on alle 5 mm, hitsi voidaan tehdä yhtenä palkona.

Jos kiinnitysosan ja tartuntalevyn välisen hitsausliitoksen käyttöaste on yli 70 prosenttia, hitsi tarkistetaan käyttämällä häiriötöntä testausta, esimerkiksi röntgeniä. Kun käyttöaste ylittää 50 prosenttia, lamellirepeytymisen välttämiseksi tartuntalevy on tehtävä materiaalista, jonka paksuussuuntaiset ominaisuudet on tutkittu, tai levy tarkistetaan ultraäänikuvauksen avulla. Siksi onkin tarkoituksenmukaista tehdä kiinnityslevy tarkistetusta (ultraäänikuvatus) materiaalista sekä rajoittaa kiinnityslevyn käyttöaste kaavan 13.2 mukaisesti 70 prosenttiin. Samalla hitsi mitoitetaan niin, että siitä tulee yhtä kestävä kuin kiinnityslevy.

Tartuntalevyn leveys ja pituus määräytyvät yleensä liimapuupilarin mittojen sekä kiinnitys-

osan ja kiinnittämisen vaatiman tilan mukaan. Tarvittavat rakennustoleranssit otetaan huomioon. Tartuntalevyn paksuus määritetään siten, ettei levyn taivutusjännitys ylitä laskentalujuutta.

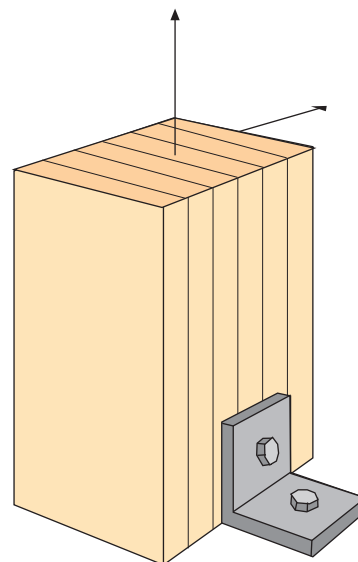
13.1.2 Kulmateräskiinnitys

Kulmateräkset voidaan kiinnittää ruuvaamalla pilarin sivuihin. Tämä on yksinkertainen ja kätevä nivelkiinnitystapa, joka soveltuu pienille vaakavoimille (katso kuva 13.3).

Kiinnitysosat ruuvataan perustuksiin kiila- tai kemiallisten ankkurien avulla, mikä mahdollistaa tarkan sijoittelun. Kulmateräs sijoitetaan pilarin molemmin puolin symmetrisesti.

Kulmaraudan ja liimapuupilarin väliseen voimansiirtoon käytetään läpimenevää pulttia tai puuruuvia, johon tarvittaessa yhdistetään välilevyjä. Välilevyt asennetaan tehtaalla.

Erilaisia kulmarautoja, jotka liitetään kiilapulttien avulla betonirakenteeseen, saa eri valmistajilta. Niitä voi myös valmistaa taivutetusta levystä tai valssatuista profiileista.



Kuva 13.3
Pilarialan nivelkiinnitys kulmateräksillä.

MITOITUS

Kulmaraudan pystyosuutta mitoitettaessa sitä tarkastellaan perustuksiin jäykästi kiinnitettynä konsolina, jota rasittaa vaakavoima sekä joissakin tapauksissa nostava pystyvoima. Kumpikin voima kohdistetaan ruuviryhmän keskiöön (katso kuva 13.4). Pilarista alaspäin suuntautuvat pystyvoimat siirtyvät kosketuksen kautta suoraan perustuksiin.

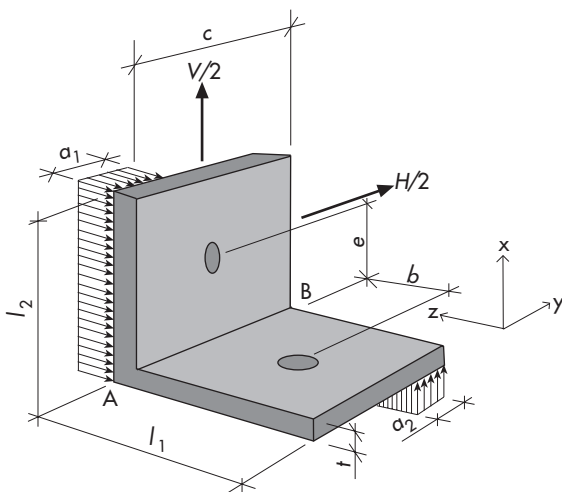
Pilariin kiinnitys ja kulmaprofiilin pystysuuntainen osa tarkistetaan kuten naulauslevy ja lattatateräs kohdan 13.1.1 mukaisesti.

Kulmateräksen vaakaosan mitoitusehto on:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq f_{yd} \quad (13.9)$$

jossa f_{yd} = teräksen laskentalujuus
 σ = normaaliännitys
 τ = leikkausännitys laskettuna samassa pisteessä.

Jos σ ja τ lasketaan kimmoteorian mukaan kaksiaksiaalisessa jännitystilassa, voidaan kaavan 13.9 termi f_{yd} korvata arvolla $1,1f_{yd}$.



Kuva 13.4
Kiinnitysosa kulmateräksestä.

Maksimi normaaliännitys σ_{max} esiintyy pisteissä A ja B, ja se lasketaan kaavalla:

$$\sigma_{max} = \frac{0,5H_d \cdot b}{W_x} + \frac{0,5V_d \cdot b}{W_y} \quad (13.10)$$

jossa H_d ja V_d ovat pilarista tulevat koko laskentavaakavoima ja nostava laskentapystyvoima W_x ja W_y ovat kulmateräslaipan taivutusvastukset ja b ilmenee kuvasta 13.4.

Leikkausännitys τ saa pisteissä A ja B arvon nolla.

Jos nostava pystyvoima on pieni, maksimi leikkausännitys τ_{max} esiintyy pisteiden A ja B puolella välissä ja lasketaan kaavalla:

$$\tau_{max} = 1,5 \frac{0,5H_d}{A} + \frac{0,5H_d \cdot e}{W_v} \quad (13.11)$$

jossa A = laipan poikkipinta-ala
 W_v = laipan vääntövastus ($=A(t/3)$) ja e käy ilmi kuvasta 13.4.

Normaaliännitys poikkileikkauksen samassa pisteessä lasketaan kaavalla:

$$\sigma_{max} = \frac{0,5V_d \cdot b}{W_y} \quad (13.12)$$

Jos kulmateräksen laipassa käytetään ainoastaan yhtä kiila-ankkuria, pilari ottaa vastaan epäkeskeisyydestä aiheutuvan momentin $0,5H_d b$. Pilarin pintapaineen ja kulmaraudan laipan välinen mitoitusehto saa tällöin muodon:

$$0,5H_d \cdot b \leq f_{c90d} \cdot a_1 \cdot l_2 \left(\frac{c - a_1}{2} \right) \quad (13.13)$$

jossa f_{c90d} = liimapuun puristuslujuuden laskenta-arvo kohtisuoraan syyn suuntaa vastaan.
 a_1 = puristusvyöhykkeen leveys.

Muut merkinnät kuvan 13.4 mukaisesti.

Puristusvyöhykkeen leveys a_1 voidaan laskea kaavalla:

$$\frac{c}{2} \geq a_1 = t \cdot \sqrt{\frac{f_{yd}}{2 f_{c90d}}} \quad (13.14)$$

jossa f_{yd} = teräksen laskentalujuus
 t = laipan paksuus.

Kulmaraudan laipan kiinnitys perustuksiin saa mitoitus ehdon:

$$\left(\frac{F_v}{R_{vd}} \right)^2 + \left(\frac{F_t}{R_{td}} \right)^2 \leq 1 \quad (13.15)$$

jossa $F_v = 0,5 \cdot H_d / n$ ja
 $F_t = (0,5 \cdot V_d + F) / n$
 R_{vd} = kiila-ankkurin leikkausvoimakestävyys
 R_{td} = kiila-ankkurin ulosvetokestävyys
 n = kiila-ankkurien lukumäärä per laippa
 F = vaakavoiman epäkeskeisyydestä aiheutuva ulosvetovoima $H_d \cdot e$.

Kuvan 13.4 merkintöjen mukaan voidaan F laskea kaavalla:

$$F = \frac{0,5 H_d \cdot e}{(c - a_2) / 2} \quad (13.16)$$

Vaakasuuntaisen puristusvyöhykkeen leveys a_2 lasketaan kaavalla:

$$\frac{c}{2} \geq a_2 = t \cdot \sqrt{\frac{f_{yd}}{2 f_{cc}}} \quad (13.17)$$

jossa f_{cc} = betonin puristuslujuuden laskentiarvo.

Betonin pintapaineen ja kulmaraudan laipan välinen mitoitus ehto on:

$$0,5 H_d \cdot e \leq f_{cc} \cdot a_2 \cdot l_1 \cdot \left(\frac{c - a_2}{2} \right) \quad (13.18)$$

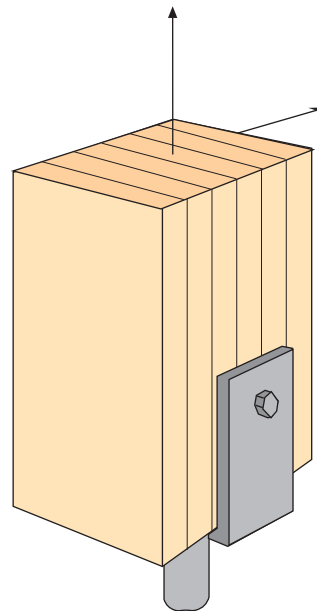
Lujuusluokan K25 betonille voidaan, ellei reunaetäisyys tai jokin muu tekijä rajoita lujuutta, käyttää ominaispuristuslujuuden arvona $f_{cck} = 30$ MPa.

Ympäröivä betonirakenne mitoitetaan voimassa olevien betoninormien mukaan.

13.1.3 Pilarikengät

Nivelellinen pilarikengä on käyttökelpoinen vaihtoehto tiloissa, joissa vettä esiintyy vapaana (esimerkiksi ulkona), koska siinä veden imeytyminen estyy pilarin päätympinnan kautta (kuva 13.5.). Pilarikengään tehdään vedenpoistoreiät niin, ettei vesi voi jäädä siihen seisomaan.

Kiinnitysosa muodostuu U-profiilista ja ankurointitangosta. Yleensä osa ankkuritankoa valetaan suoraan betonirakenteeseen tai varauskoloon, mutta tanko voidaan myös hitsata kiinnityslevyyn, joka on valettu perustuksiin. Jos



Kuva 13.5
Teräksestä tehty nivelellinen pilarikengä.

pilarivoimat ovat pienet, ankkurointitanko voi olla esimerkiksi betoniterästä. Usein kuitenkin käytetään pyöreitä tai suorakaiteen muotoisia putkiprofiileja. Monella kiinnitysosien valmistajalla on myös pilarikenkiä vakiotuotannossa.

Betonin ja ankkuritangon välinen voima siirretään joko tangon ja betonin välisenä tartuntana tai kosketuksen kautta aluslevyä ja mutteria vasten tangon valetussa päässä. Mitoitettaessa koko voima siirretään joko tartunnan tai kosketuksen kautta, molempia ei käytetä samanaikaisesti.

U-profiilin ja liimapuupilarin välinen voiman siirto tapahtuu naulojen tai ruuvien välityksellä. Jälkimmäiset voidaan tarvittaessa yhdistää välilevyillä, jotka asennetaan tehtaalla (katso kohta 13.1.1).

MITOITUS

Pilarikenkä mitoitetaan siten, että pystyosaa tarkastellaan jäykästi kiinnitettynä konsolina, jota kuormittaa vaakavoima ja mahdollisesti nostava pystyvoima. Molemmat voimat kohdistuvat naula- tai ruuviryhmän keskiöön. Alaspäin suuntautuvat pystyvoimat siirtyvät pilarista kosketuksen kautta pilarikenkään ja siitä edelleen ankkuritangon kautta perustuksiin. Ankkurointitanko mitoitetaan nurjahdukselle ja vaakavoiman aiheuttamalle taivutusmomentille.

Pilarin ja U-profiilin laippojen liitos tarkistetaan samalla tavalla kuin naulauslevy- ja latta-teräslitokset (katso kohta 13.1.1).

Jos U-teräkseen kohdistuu vaakavoimia ja nostavia pystyvoimia, U-teräksen uuma tarkistetaan kuten kulmateräs kohdassa 13.1.2. Alaspäin suuntaaville pystyvoimille teräsuoman kestävyys tarkistetaan seuraavan ehdon mukaisesti:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq f_{yd} \quad (13.19)$$

jossa f_{yd} = U-teräksen laskentalujuus
 σ = normaaliännitys
 τ = leikkausännitys laskettuna
 U-teräksen samassa pisteessä

Jos σ ja τ lasketaan kimmoteorian mukaan kaksiaksiaalisessa jännitystilassa, voidaan kaavan 13.19 termi f_{yd} korvata termillä $1,1 \cdot f_{yd}$.

Maksimi normaaliännitys $\sigma_{\max}$ esiintyy kiinnitysteräksen reunassa poikkileikkauksessa A-A, ja se lasketaan kaavalla:

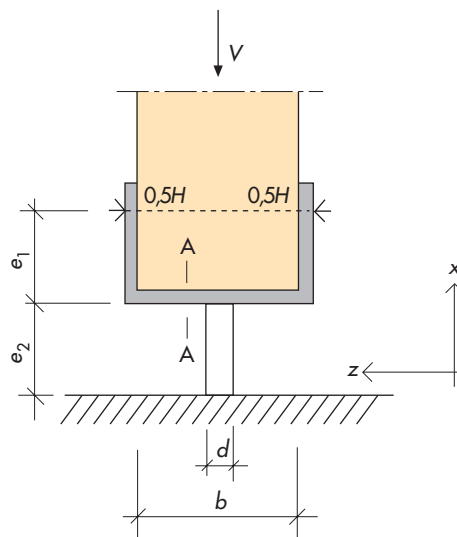
$$\sigma_{\max} = \frac{0,5H_d \cdot \left(\frac{b-d}{2}\right)}{W_x} + \frac{0,5V_d \left(\frac{b-d}{2}\right)^2}{W_y} \quad (13.20)$$

jossa

H_d ja V_d ovat laskentavaakavoima ja alaspäin suuntautuva laskentapystyvoima pilaria kohden, ja

W_x ja W_y ovat U-teräksen uuman taivutusvastukset

Muut merkinnät ilmenevät kuvasta 13.6. Saman pisteen leikkausännitys τ on nolla.



Kuva 13.6
U-teräs pilarikenkä.

Maksimi leikkausjännitys $\tau_{\max}$ esiintyy neutraaliakselilla y-akselin ympäri taivutettaessa. Se lasketaan kaavalla:

$$\tau_{\max} = 1,5 \frac{0,5V_d}{A} \left(\frac{b-d}{b} \right) \quad (13.21)$$

jossa A = U-teräksen uuman pinta-ala.

Uuman ylä- ja alareunan normaalijännitys σ laskettuna ankkurointitangon tasossa olevassa poikkileikkauksessa on:

$$\sigma = \frac{1}{2} \cdot \frac{0,5V_d}{b} \left(\frac{b-d}{2} \right) \frac{1}{W_y} \quad (13.22)$$

Saman pisteen leikkausjännityksen τ arvo on:

$$\tau = 1,5 \frac{0,5H_d}{A} + \frac{0,5H_d \cdot e_1}{W_v} \quad (13.23)$$

jossa W_v on U-teräksen uuman vääntövastus ($=A \cdot t/3$).

Etäisyys e_1 ilmenee kuvasta 13.6.

Pilarin ja U-teräksen välisen pintapuristuksen mitoitusehto on:

$$V_d \leq f_{cd} \cdot b \cdot c \quad (13.24)$$

jossa f_{cd} = liimapuupilarin syiden suuntainen laskentapuristuslujuus

c = U-teräksen pituus

b = pilarin leveys

U-profiilin läpileikkautuminen tarkistetaan kaavan 13.19 avulla. Normaalijännityksen arvoksi asetetaan nolla, ja leikkausjännitys lasketaan kaavalla:

$$\tau = \frac{V_d - f_{cd} \cdot d^2}{s \cdot t} \quad (13.25)$$

jossa s = ankkurointitangon piiri

t = U-teräksen uuman paksuus

U-teräksen ja ankkurointitangon välinen hitsi tehdään päittäishitsinä, jolloin saadaan tasaluja hitsi ja lujuutta ei tarvitse tarkistaa. Jos hitsisauuman käyttöaste rajoitetaan 70 prosenttiin, saumaa ei tarvitse myöskään tarkistaa ultraäänen tai muun menetelmän avulla.

Ankkurointitangon kestävyys tarkistetaan mitoitusehdon 13.19 avulla. Maksimi normaali-jännitys esiintyy kiinnityskohdassa tangon ulkoreunoilla, ja se lasketaan seuraavan kaavan avulla:

$$\sigma_{\max} = \frac{H_d(e_1 + e_2)}{W_z} + \frac{V_d}{A} \quad (13.26)$$

jossa A = ankkurointitangon poikkipinta-ala

W_z = ankkurointitangon taivutusvastus

e_1 ja e_2 ilmenevät kuvasta 13.6.

Saman pisteen leikkausjännitys on nolla.

Maksimi leikkausjännitys esiintyy neutraaliakselilla, ja se lasketaan kaavalla:

$$\tau_{\max} = k_{\tau} \frac{H_d}{A} \quad (13.27)$$

jossa A = poikkipinta-ala

$k_{\tau} = 1,5$ massiiviselle neliötangolle,

1,3 massiiviselle pyörötangolle,

2,0 ympyräputkelle ja

2,5 neliöputkelle.

Saman pisteen normaalijännitys on nolla.

Ankkurointitangon nurjahdustarkastelussa käytetään voimassa olevia teräsnormeja. Ankkurointitangon hoikkuus λ_c voidaan laskea kaavalla:

$$\lambda_c = 0,67 \frac{e_2}{i} \cdot \sqrt{\frac{f_{yk}}{E_k}} \quad (13.28)$$

jossa f_{yk} = teräksen myötöraja

E_k = kimmokerroin

i = jäyhyyssäde

Teräkselle, jonka $f_{yk} \leq 270$ MPa, nurjahdustarkastelua ei tarvitse tehdä, jos tangon vapaa pituus e_2 täyttää ehdon:

$$e_2 \leq 8,3 \cdot i \quad (13.29)$$

Tartuntakiinnitystä käyttäen perustuksiin valetavan ankkurointitangon mitoitusehto on:

$$\left(\frac{V}{V_d}\right)^2 + \left(\frac{H}{H_d}\right)^2 \leq 1,0 \quad (13.30)$$

jossa $V_d = f_{cv} \cdot s \cdot L$

s = ankkurointitangon piiri

L = upotussyvyys valuun

f_{cv} = tartuntalujuuden laskenta-arvo.

$H_d = 1,75d \cdot$

$$\cdot f_c \left(\sqrt{(e_1 + e_2)^2 + \frac{2W_{pl} \cdot f_{st}}{d \cdot f_{cc}}} - e_1 - e_2 \right)$$

W_{pl} = tangon plastinen taivutusvastus

d = tangon halkaisija

f_{cc} = betonin puristuslujuuden laskenta-arvo

f_{st} = teräksen taivutuslujuuden laskenta-arvo

Muut merkinnät käyvät ilmi kuvasta 13.6.

Lujuusluokan K25 betonille voidaan, jos reunaetäisyydet ovat riittävät, käyttää seuraavia tartuntalujuuden ja puristuslujuuden ominaisarvoja:

$f_{cvk} = 1,2$ MPa ankkuroimattomille
sileille tangoille (putket tai umpitangot)

$f_{cvk} = 4,2$ MPa harjatangoille.

$f_{cck} = 30$ MPa

Ympäröivä betonirakenne mitoitetaan voimassa olevien betoninormien mukaisesti.

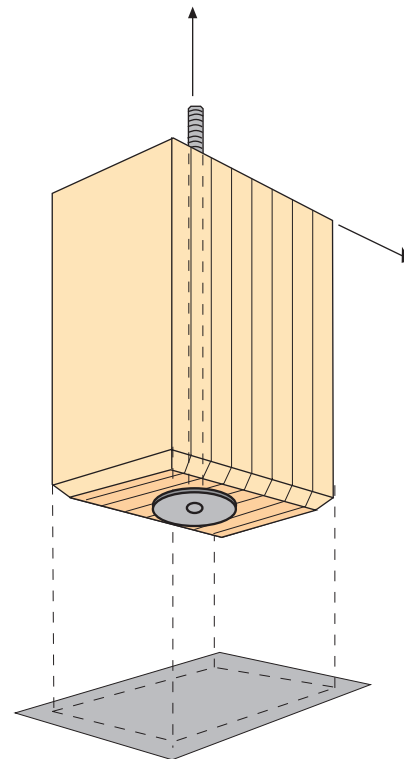
Jos perustusliitos tehdään valuun upotettuun kiinnitysteräkseen hitsaamalla, tarkistetaan hitsauma ja valussa oleva kiinnitysteräs samalla tavalla kuin naulauslevy- ja lattateräskiinnitys kohdassa 13.1.1.

13.1.4 Liimattu ruuvi

Liimatun ruuvin nivelliitoksessa kiinnitys on täysin piilossa, mikä voi olla tarpeellista esimerkiksi esteettisistä tai paloteknisistä syistä (katso kuva 13.7).

Liimattua ruuvia ei saa käyttää kosteusluokissa 3 ja 4 tai rakenteissa, joihin kohdistuu dynaamista tai väsytytkuormitusta. Liimaustyö tehdään aina tehdasmaisissa olosuhteissa ulkoisen laadunvalvonnan alaisuudessa.

Perustusliitos suunnitellaan yleensä niin, että pilarin päässä oleva teräksinen päätylevy hitsataan perustuksessa olevaan kiinnityslevyyn. Päätylevyyn tehdään kierteet liimattavaa ruuvia varten. Jos pilarin päähän tarvitaan useita ruuveja, päätylevy kannattaa hitsata niihin kiinni. Jos liitos tehdään ulkonevin ruuvein, jotka valetaan varauskoloon, ruuvit täytyy suojata kuljetuksen ja asennuksen aikaisilta iskuilta. Pilari tuetaan, kunnes betoni on kovettunut.



Kuva 13.7
Pilarijalan nivelliinnitys liimatulla ruuvilla.

Normaalisti yhden ruuvin liitoksella ei voida ottaa vastaan momenttia, ja siksi se edellyttää pilarin tuentaa, kunnes runko on jäykistetty.

Jos pilaria kohden tarvitaan enemmän kuin yksi liimattu ruuvi, ne sijoitetaan mahdollisimman lähelle toisiaan ottamalla huomioon pienimmät sallitut etäisyydet.

MITOITUS

Ruuvien määrä, dimensiot ja liimauspituudet määritetään ottamalla huomioon esiintyvät vaakavoimat ja mahdolliset nostavat pystyvoimat. Alaspäin suuntautuvat pystyvoimat voidaan siirtää perustuksiin pintapuristuksen kautta.

Pilariin liimatun ruuvin mitoitussehto on:

$$\left(\frac{F_v}{R_{vd}}\right)^2 + \left(\frac{F_t}{R_{td}}\right)^2 \leq 1,0 \quad (13.31)$$

jossa $F_v = H_d/n$

$F_t = V_d/n$

H_d = vaakavoiman laskenta-arvo pilaria kohden

V_d = (nostava) pystyvoiman laskenta-arvo pilaria kohden

n = liimattujen ruuvien lukumäärä pilaria kohden

R_{vd} = ruuvin leikkauskestävyys laskettuna voimassa olevien normien mukaisesti

R_{td} = ruuvin vetokestävyys voimassa olevien normien mukaan

Ominaisleikkauskestävyys R_{vk} ja ominaisvetokestävyys R_{td} lasketaan RIL 120:n mukaisesti.

Liimaussyvyyden täytyy olla niin suuri, että ruuvi plastisoituu ennen kuin liimaus pettää. Kun teräksen myötöraja on 350 MPa, liimauspituuden on oltava vähintään $19d$. Reunaetäisyyden ja ruuvien keskinäisen etäisyyden tulee olla vähintään RIL 120:n mukaisia.

Mitoitusehto betonin ja liimatun ruuvin kestävyydelle ilman ankkurikappaletta voidaan kirjoittaa muotoon:

$$\left(\frac{F_v}{R_{vd}}\right)^2 + \left(\frac{F_t}{R_{td}}\right)^2 \leq 1,0 \quad (13.34)$$

jossa $R_{td} = f_{cv} \cdot s \cdot L$

$$R_{vd} = 2,5 \sqrt{W_{pl} \cdot d \cdot f_{cc} \cdot f_{st}}$$

s = ruuvin piiri, kuitenkin enintään 100 mm

L = valu-upotuksen syvyys

f_{cv} = tartuntalujuuden laskenta-arvo

$W_{pl} = d \cdot 3/6$ = ruuvin plastinen taivutusvastus

d = tangon halkaisija

f_{cc} = betonin puristuslujuuden laskenta-arvo

f_d = tangon taivutuslujuuden laskenta-arvo

Kierretangon tartuntalujuuden laskenta-arvoksi f_{cvk} voidaan asettaa 3,5 MPa, jos se valetaan lujuusluokan K25 betoniin. Tällöin etäisyyden reunaan täytyy olla vähintään $2,5d$ ja ruuvien keskinäisen etäisyyden vähintään $5d$. Jos etäisyydet ovat pienempiä, redusoidaan tartuntalujuutta, mistä yleensä aiheutuu epäkäytännöllisiä, suuria valusyvyyksiä. Jos kiinnitysteräksessä käytetään useampaa kuin yhtä liimattua ruuvia, ne kannattaa yleensä varustaa erityisellä päätyankkurilla, joka mitoitetetaan koko ulosvetovaimalle.

Ympäröivä betonirakenne mitoitetetaan voimassa olevien betoninormien mukaan.

Jos perustusliitos tehdään ruuviin kierteistettyä, ympyrän muotoista päätylevyä käyttämällä, joka hitsataan kuvan 13.8. mukaisesti teräksiseen tartuntalevyyn, liitos on suunniteltava siten, että työ on mahdollista tehdä hyvin. Päätylevyn halkaisija saa siten olla enintään 20-50 mm pienempi kuin pilarin pienin sivumitta, ja päätylevyn paksuus täytyy olla vähintään 15 mm.

Päätylevyn ja tartuntalevyn välisen pienahitsin mitoitusehto on:

$$\left(\frac{H_d}{F_{R//}}\right)^2 + \left(\frac{V_d}{F_{R\alpha}}\right)^2 \leq 1 \quad (13.35)$$

jossa $F_{R//}$ ja $F_{R\alpha}$ ovat hitsin kestävyyspituuks- ja poikkisuunnassa. Hitsiliitoksen ominaiskestävyyspituuks- ja poikkisuuntaan voidaan laskea seuraavilla kaavoilla:

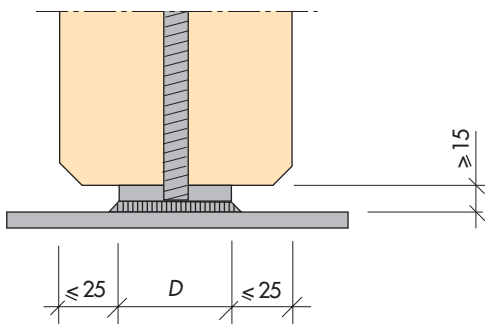
$$F_{R//} = 0,3 \cdot a \cdot \pi \cdot D \cdot f_{wd} \quad (13.36)$$

$$F_{R\alpha} = \frac{a \cdot \pi \cdot D \cdot f_{wd}}{\sqrt{2}} \quad (13.37)$$

jossa f_{wd} = hitsin laskentalujuus
 a = hitsin a-mitta
 D = päätylevyn halkaisija

Tartuntalevyn lamellirepeytymisen ja erillisen hitsausliitoksen tarkastustarpeen takia kaavan 13.35 mukainen käyttöaste ei saa olla suurempi kuin 70 prosenttia; mieluummin se on rajoitettava 50 prosenttiin. Yleensä päätylevyn ja tartuntalevyn hitsiliitoksesta ei muodostu mitoittavaa, joten a-mitaksi valitaan yleensä 3 mm.

Betonivaluun kiinnitetty tartuntalevy tarkistetaan kuten naulauslevy- tai lattateräskiinnitys (katso kohta 13.1.1).



Kuva 13.8
Päätylevykiinnitys, joka hitsataan perustuksiin valettuun tartuntalevyyn.

13.2 Jäykästi kiinnitetty pilarijalka

Jäykästi kiinnitetty pilarijalka siirtää vaaka- ja pystyvoimien lisäksi myös momentteja. Jäykästi kiinnitettyä pilarijalkaa voidaan käyttää rakennusrungon jäykistämiseen vaakavoimia kuten tuulikuormia tai nosturien aiheuttamia jarruvoimia vastaan.

Jos liimapuupilarit kiinnitetään jäykästi perustuksiin, puumateriaalin kosteusominaisuudet sekä sen taivutuslujuuteen verrattuna alhainen lujuus syiden poikkisuuntaan vaativat huolellista yksityiskohtien suunnittelua, jotta saataisiin hyvin toimiva kiinnitys. Liitoksessa voidaan käyttää ulkopuolisia kiinnitysteräksiä, jotka naulataan tai ruuvataan pilariin. Jos ulkonäkö- tai paloteknisistä syistä halutaan piilokiinnitys, liimattu ruuvi on sopiva vaihtoehto. Se soveltuu kuitenkin vain suhteellisen pienille kiinnitysmomenteille. Jos kiinnitysmomentit ovat suuria, käytetään ruuvattuja tai naulattuja kiinnitysteräksiä.

Perustusliitos voidaan tehdä monella tavalla. Kiinnitysteräksin varustettu pilari voidaan asentaa perustukseen kiinnitettyihin ruuveihin. Kiinnitysteräksset voidaan myös hitsata betonivalussa oleviin tartuntalevyihin. Vaihtoehtoisesti kiinnitysosat, esimerkiksi liimatut ruuvit, on mahdollista sijoittaa perustuksiin tehtyihin varauksilohiin, jotka betonoidaan.

Pilarin pää, joka liittyy suoraan betoniin, muurattuun rakenteeseen tai muuhun kosteutta imevään rakenteeseen, on varustettava kosteussululla, esimerkiksi 3,2 mm kovalla öljykäsittelyllä puukuitulevyllä tai kumimatolla, joka liimataan ja naulataan pilarin päähän. Jos pilari on ulkona tai tilassa, jossa vettä esiintyy säännöllisesti (esimerkiksi uimahallissa), perustusliitos täytyy suunnitella siten, että pilarin pää on suojattu kosteudelta ja että se pääsee kuivumaan nopeasti.

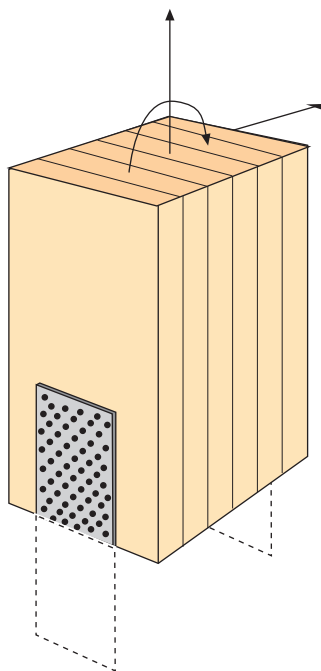
Kiinnitysteräket täytyy kiinnittää liimapuupilariin ennen pilarin asennusta. Normaalisti tämä tehdään tehtaalla, mutta kuljetusteknisistä tai muista syistä kiinnitysteräket voidaan myös toimittaa erillisinä rakennuspaikalle ja kiinnittää siellä pilariin ennen asennusta. Liimattavat ruuvit asennetaan aina tehtaalla.

Seuraavaksi käydään läpi kahden tavallisen ratkaisun mitoitusperiaatteet: naulauslevy- tai lattateräskiinnitys ja liimattu ruuvi.

13.2.1 Naulauslevy- tai lattateräskiinnitys

Naulauslevy- tai lattateräskiinnitys on yksinkertainen ja halpa menetelmä, joka soveltuu suuriläkin kiinnitysmomenteille. Toisin kuin nivelellisen pilarijalan kohdalla, kiinnitysteräket sijoitetaan pilaripoikkileikkauksen kapeille sivuille (kuva 13.9).

Kiinnitys voidaan toteuttaa joko pohjalevyllä, johon on kiinnitetty tartuntaruuvit, tai ilman pohjalevyä, jolloin kiinnitysteräket hitsataan



Kuva 13.9
Naulauslevyllä jäykästi kiinnitetty pilarijalka.

betonivalussa olevaan tartuntalevyyn. Pohjalevykiinnitys on parasta tehdä siten, että kullakin kiinnitysteräksellä on oma erillinen kiinnityslevy. Tällöin samaa kiinnitysterästä voidaan käyttää poikkileikkaukseltaan erikokoisiin pilareihin.

Kiinnitysteräket voidaan myös suunnitella siten, että ne valetaan suoraan perustuksiin tai niihin tehtyihin varauskoloihin. Toleranssiongelmien välttämiseksi tähän menetelmään täytyy yhdistää naula- tai puuruuvi kiinnitys.

Kiinnitysteräksen ja liimapuupilarin väliset voimat siirretään naulan, pultin tai ruuvin välityksellä. Kantavuuden ja jäykkyyden lisäämiseksi on suositeltavaa käyttää pultin tai ruuvin kanssa välilevyjä. Ne on syytä asentaa tehtaalla, koska niiden upottaminen vaatii erikoistyökaluja. Naulausliitos on vaihtoehtoista jäykin ja se antaa tehokkaimman voimien siirron pinta-alayksikköä kohden. Toisaalta halkeamisriski on suuri, jos annettuja naulaetäisyyksiä ei noudateta. Ruuviliitoksessa täytyy käyttää pulttia, jos pilaripoikkileikkaus (h) alittaa 500 mm. Tätä paksummille pilareille puuruuvi on suositeltavampi.

Sinkitystä teräksestä tehdyt naulauslevyt eivät sovellu hitsaamiseen, koska hitsattaessa syntyy myrkyllisiä kaasuja. Niitä voi siis käyttää ainoastaan silloin, kun kiinnitysteräket valetaan perustuksiin. Tietynpaksuisia ja tietyllä tavalla reikäkuvioituja tai pintakäsiteltyjä naulauslevyjä voi tilata erityisiltä rei'itettyjen levyjen valmistajilta. Reikien stanssaaminen on yleensä halvinta, jos levyn paksuus ei ole suurempi kuin reiän halkaisija. Reikien täytyy olla noin 1 mm naulan halkaisijaa isompia.

Ruuviliitoksen kiinnitysosat valmistetaan yleensä latta- tai U-teräksestä. Teräksen paksuus valitaan vakiomittasarjasta 6, 8, 10, 12, 15 tai 20 mm, ja sen täytyy olla vähintään 0,3 kertaa ruuvin halkaisija (0,4 kertaa käytettäessä aluslevyä). Reiät porataan 1 mm isommiksi kuin ruuvin halkaisija.

Kun käytetään kaavoja 13.39 ja 13.40, normaallivoimasta johtuvien normaalijännitysten täytyy olla oleellisesti pienemmät kuin kiinnitysmomentista johtuvat taivutusjännitykset. Muussa tapauksessa pilarin alla oleva pintapuristus ei keskity pilarin reunaan, kuten kaavojen johtamisessa on edellytetty.

Kuorman puoleisen kiinnitysteräksen mitoitusehto on:

$$F \leq A \cdot f_{yd} \quad (13.41)$$

jossa f_{yd} = kiinnitysteräksen myötöraja
 A = kiinnitysteräksen poikkipinta-ala.

Ruuvi- tai naulareikien mahdollinen vaikutus kapasiteettiin otetaan huomioon siten, että kaavassa 13.41 vaihdetaan termin A tilalle A_{net} sekä f_{yd} tilalle f_{ud} . Tällöin kiinnitysteräksen sallitaan plastisoitua ruuvireikien ympärillä.

Suojapuolen kiinnitysteräksen mitoitusehto on:

$$H_d \leq f_{c90d} \cdot c \cdot x \quad (13.42)$$

jossa H_d = vaakavoiman laskenta-arvo pilaria kohden

f_{c90d} = liimapuupilarin puristuslujuuden laskenta-arvo kohtisuoraan syitä vastaan

c = kiinnitysteräksen leveys.

Puristuslohkon korkeus x määritetään plastisuusteorian mukaan olettamalla, että kiinnitysteräksen muodostuu kaksi myötöniveltä. Mitoitusehto on tällöin:

$$x = t \cdot \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{c90d}}} \quad (13.43)$$

jossa t = kiinnitysteräksen paksuus.

Jos kiinnitysteräs hitsataan pienahitsillä molemmilta puolilta kiinnitysterästä pohjalevyyn, kiin-

nitysteräksen ja pohjalevyn kuorman puoleisen hitsausauman on täytettävä ehto:

$$F \leq F_{R\alpha} \quad (13.44)$$

jossa $F_{R\alpha}$ = hitsisauman kestävyys laskenta-arvo poikkisuuntaan
 $F_{R\alpha}$ voidaan laskea kaavalla:

$$F_{R\alpha} = \frac{2a \cdot c \cdot f_{wd}}{\sqrt{2}} \quad (13.45)$$

jossa f_{wd} = hitsin laskentalujuus

a = hitsin a-mitta, vähintään 3 mm.

Jos a-mitta on enintään 5 mm, hitsaus voidaan tehdä yhdellä kertaa.

c = kiinnitysteräksen leveys.

Jos kiinnitysteräksen ja pohjalevyn hitsiliitoksen käyttöaste on yli 70 prosenttia, jotkin normit vaativat, että hitsi tarkistetaan häiriintymättömällä testausmenetelmällä, esimerkiksi röntgenillä. Jos liitoksen käyttöaste on yli 50 prosenttia, pohjalevy on tehtävä materiaalista, jolla on taatut ja tutkitut paksuuden suuntaiset ominaisuudet, tai pohjalevy on tarkistettava ultraäänien avulla pohjalevyn lamellirepeytymisen välttämiseksi. Siksi yleensä onkin tarkoituksenmukaista tehdä pohjalevy materiaalista, joka on tarkistettu (ultraäänien avulla) valmistusvaiheessa, ja rajata kiinnitysosien käyttöaste kaavalla 13.41 laskettuna 70 prosenttiin. Lisäksi hitsisauuma on mitoittettava siten, että siitä tulee yhtä vahva kuin kiinnitysteräs.

Pohjalevyn leveys ja pituus määräytyy yleensä tartuntaruuvien tilantarpeen ja reunaetäisyyden mukaan. Paksuus valitaan siten, että perusruuvi vetovoiman aiheuttama taivutusjännitys ei ylitä pohjalevyn taivutuslujuutta. Kuvan 13.10 mukaiselle pohjalevyille on voimassa mitoitusehto:

$$0,5F \cdot e_f \leq f_{yd} \cdot W_p \quad (13.46)$$

jossa e_f = vipuvarsi, joka määritellään kuvassa 13.10.

$$f_{yd} = \text{pohjalevyn myötöraja}$$

$$W_p = \text{pohjalevyn plastinen taivutusvastus}$$

$$(W_p = b_f \cdot t_f^2 / 4).$$

Perustusruuvin ja betonin kestävyys voidaan tarkistaa seuraavan ehdon avulla:

$$\left(\frac{F_v}{R_{vd}} \right)^2 + \left(\frac{F_t}{R_{td}} \right)^2 \leq 1,0 \quad (13.47)$$

jossa $F_v = 2H_d/n$

$$F_t = 2F/n$$

H_d = vaakavoiman laskenta-arvo pilaria kohden

F = ruuviryhmän vetovoiman laskenta-arvo kaavan 13.39 mukaisesti

n = liimattujen ruuvien lukumäärä pilaria kohden.

Ruuvien kestävyys voidaan laskea betoniin valetun ja liimatun ruuvin tavoin kohdan 13.2.4 mukaisesti:

$$R_{td} = f_{cv} \cdot s \cdot L$$

$$R_{vd} = 2,5 \cdot \sqrt{W_{pl} \cdot d \cdot f_{cc} \cdot f_{st}}$$

s = ruuvien piiri, kuitenkin enintään 100 mm

L = betoniin upotussyvyys

f_{cv} = tartuntalujuuden laskenta-arvo

$W_{pl} = d^3/6$ = ruuvien plastinen taivutusvastus

d = tangon halkaisija

f_{cc} = betonin puristuslujuuden laskenta-arvo paikallisessa puristuksessa

f_{st} = tankomateriaalin taivutuslujuuden laskenta-arvo.

Kierretangon tartuntalujuuden ominaisarvoksi f_{cvk} voidaan valita 3,5 MPa, jos käytetään lujuusluokan K25 betonia. Puristuslujuuden ominaisarvona f_{cek} voidaan käyttää 30 MPa.

Jos kiinnitysteräksset valetaan suoraan perustuksiin, vaakavoimat siirtyvät pintapuristuksen välityksellä suojapuolen kiinnitysteräkseen. Kestävyyttä voidaan pitää riittävänä, jos ehto 13.42 täyttyy.

Jos vetokuormitus on vähäinen, voidaan hyödyntää betonin ja teräksen välistä tartuntaa. Isommille vetovoimille sekä kiinnitysteräksset että tartuntaruuvit on varustettava jonkinlaisella päätyankkurilla, jolloin tartuntaa ei oteta huomioon ja päätyankkuri mitoitetaan koko vetovoimalle.

Perustuksiin valetun kiinnitysteräksen kuorman puoleisen ankuroinnin mitoitusehto (ilman päätyankkurointia) on seuraava:

$$F \leq f_{cv} \cdot s \cdot L \quad (13.48)$$

jossa s = kiinnitysteräksen piiri, kuitenkin enintään 100 mm

L = valupituus

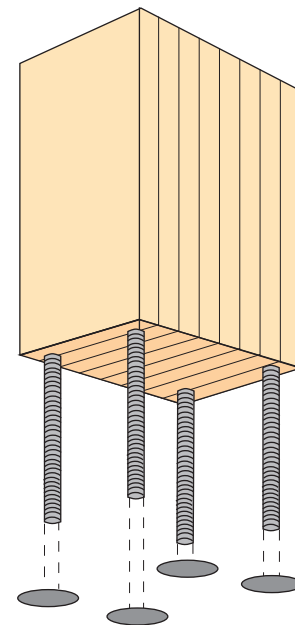
f_{cvk} = tartuntalujuuden laskenta-arvo.

Lujuusluokan K25 betonille voidaan käyttää:

$f_{cvk} = 1,2$ MPa lattateräkselle ja 3,5 MPa reikälevylle.

13.2.2 Liimattu ruuvi

Kun pilarijalka kiinnitetään liimatulla ruuvilla, liitos jää kokonaan piiloon (katso kuva 13.12), mikä voi olla esimerkiksi ulkonäkö- tai palotek-



Kuva 13.12
Pilarijalan jäykkä kiinnitys liimatuilla ruuveilla.

nisesti suotavaa. Ruuville vaadittavat reuna- ja keskinäiset etäisyydet aiheuttavat kuitenkin sen, että liimapuupilarin momenttikapasiteettia ei hyödynnetä riittävästi. Liimatun ruuvin käyttö jääkkään kiinnitykseen soveltuukin vain suhteellisen pienille kiinnitysmomenteille.

Liimattua ruuvia ei saa käyttää kosteusluokissa 3 ja 4 eikä rakenteissa, joihin kohdistuu dynaamista tai väsytykuormitusta ellei tyyppi- hyväksynnällä muuta osoiteta. Liimaustyö tehdään aina tehdasmaisissa olosuhteissa ulkoisen laadunvalvonnan alaisuudessa.

Perustuskiinnitys voidaan suunnitella joko siten, että perustusruuvit valetaan suoraan betonirakenteeseen tehtyihin varauskoloihin, tai käytetään teräsjalustaa, joka hitsataan valussa olevaan tartuntalevyyn. Jos liitoksessa käytetään pilarissa kiinni olevia valun tulevia ruuveja, ne on suojattava kuljetuksen ja asennuksen aikaisilta iskuilta. Pilari tuetaan, kunnes betoni on kovettunut.

MITOITUS

Ruuvien määrä, mitat ja liimauspituudet määritetään kiinnitysmomenttien, vaakavoimien sekä mahdollisten nostavien pystyvoimien mukaan. Pilarista alaspäin suuntautuvat pystyvoimat siirtyvät suoraan perustuksiin pintapuristuksen kautta.

Yksittäisen liimatun ruuvin mitoitusehto on:

$$\left(\frac{F_v}{R_{vd}}\right)^2 + \left(\frac{F_t}{R_{td}}\right)^2 \leq 1 \quad (13.49)$$

jossa $F_v = H_d/n$

$F_t = 2F/n$

H_d = vaakavoiman laskenta-arvo pilaria kohden

F = ruuviryhmän vetovoiman laskenta-arvo

n = liimattujen ruuvien lukumäärä

R_{vd} = ruuvien leikkauskestävyys

R_{td} = ruuvien vetokestävyys.

R_{vd} ja R_{td} voidaan laskea kaavojen 13.32 ja 13.33 avulla.

Jos pilari tukeutuu suoraan betonirakenteeseen, voidaan F_d laskea kaavasta:

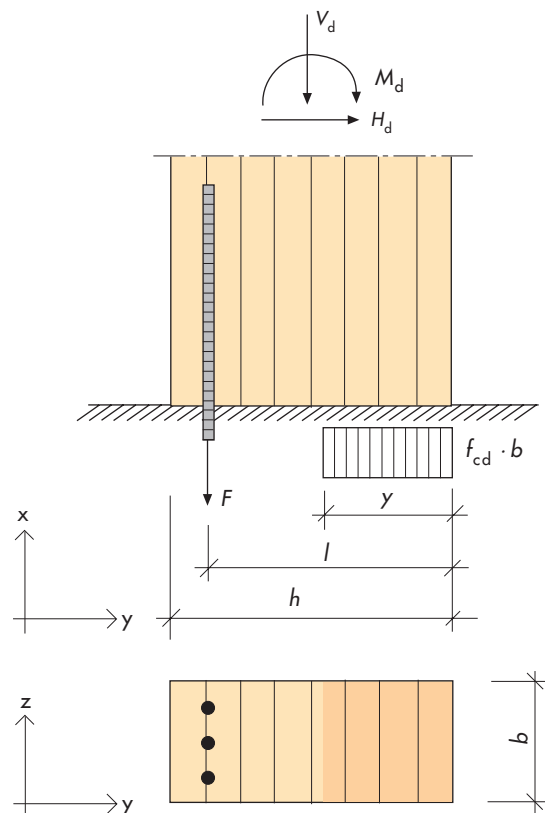
$$F = f_{cd} \cdot b \cdot y - V_d \quad (13.50)$$

jossa V_d = pystyvoiman laskenta-arvo pilaria kohden. V_d merkitään puristusvoimille positiiviseksi ja vetovoimille negatiiviseksi

f_{cd} = liimapuupilarin syiden suuntainen laskentapuristuslujuus, kuitenkin enintään betonin vastaava lujuus f_{cc} paikalliselle puristukselle.

Muut merkinnät kuvan 13.13 mukaisesti.

Lujuusluokan K25 betonille voidaan käyttää arvoa $f_{ck} = 30$ MPa.



Kuva 13.13
Liimatulla ruuvilla jäykästi kiinnitetty pilarijalka.
Laskentamalli.

Puristuspinnan pituus y lasketaan momenttitasapainoehdosta pilarin päätyypinnan suhteen, ja se voidaan kirjoittaa muotoon:

$$y = l \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2M_d + V_d(2l - h)}{f_{cd} \cdot b \cdot l^2}} \right) \quad (13.51)$$

jossa M_d = kiinnitysmomentin laskenta-arvo.

Jos liimapuupilari ei liity suoraan betonirakenteeseen vaan teräsjalustaan, pintapuristus keskittyy teräsjalustan sivulevyjen jäykistämiin reunoihin. Tässä tapauksessa F voidaan laskea kaavasta:

$$F = f_{cd}(2c \cdot y + b \cdot c - 2c^2) - V_d \quad (13.52)$$

jossa f_{cd} = liimapuupilarin syiden suuntainen laskentapuristuslujuus.

Muut merkinnät kuvan 13.14. mukaisesti.

Puristuspinnan pituus y määritetään käyttämällä momenttitasapainoehtoa pilarin päätyypinnan suhteen, joka tässä tapauksessa saa muodon:

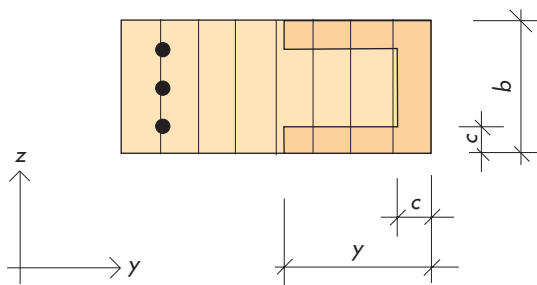
$$y = l \cdot \left(1 - \sqrt{1 + A - \frac{2M_d + V_d(2l - h)}{f_{cd} \cdot 2c \cdot l^2}} \right) \quad (13.53)$$

jossa

$$A = \frac{(b - 2c)(2l - c)}{2l^2} \quad (13.54)$$

$$c = t \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{f_{yd}}{2f_{cd}}} \right) \quad (13.55)$$

t = teräsjalustan pohjalevyn paksuus.



Kuva 13.14

Jäykästi kiinnitetty pilarijalka, jossa liimatut ruuvit ja teräsjalusta. Laskentamalli.

Kaavojen 13.50 – 13.55 käytön edellytys on, että normaalivoimasta johtuvat normaalijännitykset ovat pieniä verrattuna kiinnitysmomentin aiheuttamiin taivutusjännityksiin, jotka aiheuttavat puristusta kosketuspintaan. Pienillä momenteilla pilarin pintapuristus ei keskity puristettuun reunaan, kuten kaavojen johtamisessa on edellytetty.

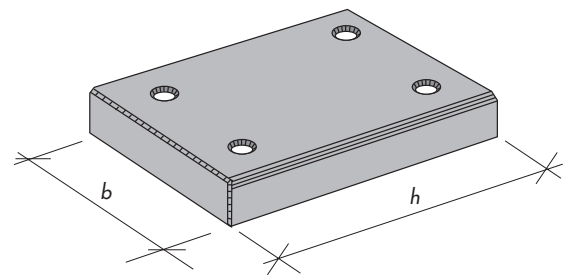
Jos ruuvit valetaan suoraan betonirakenteeseen tehtyihin varauskoloihin, liitoksen kestävyys voidaan tarkistaa edellisen kohdan 13.3.1 mukaan käyttämällä mitoitusetta 13.47 siihen kuuluvine kaavoineen.

Tällöin oletetaan, että tankojen etäisyys reunasta on vähintään $2,5d$ sekä niiden vapaa etäisyys toisistaan vähintään $5d$. Jos etäisyydet ovat pienempiä, tartuntalujuus alenee, mikä yleensä johtaa epäkäytännöllisen suuriin valusyvyyksiin. Kun liitoksessa on enemmän kuin yksi ruuvi, ruuvit kannattaa varustaa erityisellä päätyankuroinnilla, joka mitoitetaan koko vetovoimalle. Ympäröivä betonirakenne mitoitetaan voimassa olevien betoninormien mukaan.

Jos perustusliitos tehdään teräsjalustalla, se voidaan valmistaa suorakaideputkien puolikaista, joita on saatavissa erimittaisina ja-paksuisina (katso kuva 13.15).

Ruuvien vetovoima aiheuttaa teräsjalustaan taivutusmomentin. Taivutuskestävyyden on täytettävä ehto:

$$m_p \leq f_{yd} \cdot W_p \quad (13.56)$$



Kuva 13.15

Jäykästi kiinnitetyn pilarin teräsjalusta liimatuilla ruuveilla.

jossa f_{yd} = teräsjalustan taivutuslujuuden laskenta-arvo

W_p = sokkelin plastinen taivutusvastus ($W_p = t^2/4$)

m_p = sokkelin taivutusmomentti leveysyksikköä kohti.

Taivutusmomentti m_p lasketaan plastisuusteorian avulla (katso kuva 13.16.), jonka mukaan:

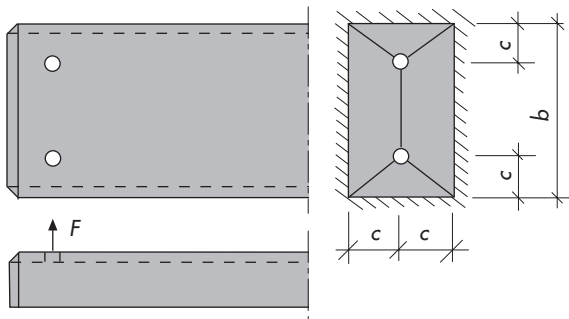
$$m_p = \frac{F \cdot c}{8c + 4b - n \cdot d} \quad (13.57)$$

jossa F = kaavan 13.52 mukainen vetovoiman laskenta-arvo

d = reiän halkaisija

c ja b kuvan 13.16 mukaan.

Teräsjalusta ja betonivalussa oleva tartuntalevy voidaan liittää hitsaamalla vain ulkopuolelta. Jos teräsjalusta viistetään ja päittäishitsataan, hitsin kestävyyttä ei tarvitse tarkistaa. Jos teräsjalusta sen sijaan pienahitsataan betonivalussa olevaan tartuntalevyyn, hitsin jännitykset täytyy tarkistaa. Tällöin voidaan olettaa, että veto- ja puristusvoimat siirtyvät laippahitsien kautta ja leikkausvoimat uumahitsien kautta.



Kuva 13.16
Teräsjalusta. Laskentamalli.

Laipan ja tartuntalevyn välisen hitsin mitoitus-ehto on:

$$\frac{M_d}{h} + 0,5V_d \leq F_{R\alpha} \quad (13.58)$$

jossa $F_{R\alpha}$ = hitsin poikkisuuntainen kestävyys.

$F_{R\alpha}$ voidaan laskea kaavasta:

$$F_{R\alpha} = \frac{a \cdot b \cdot f_{wd}}{\sqrt{2}} \quad (13.59)$$

jossa f_{wd} = hitsin laskentalujuus.

a = hitsin a-mitta.

Uuman ja tartuntalevyn välisen hitsin mitoitus-ehto on:

$$0,5H_d \leq F_{R//} \quad (13.60)$$

jossa $F_{R//}$ = hitsin pituussuuntainen kestävyys.

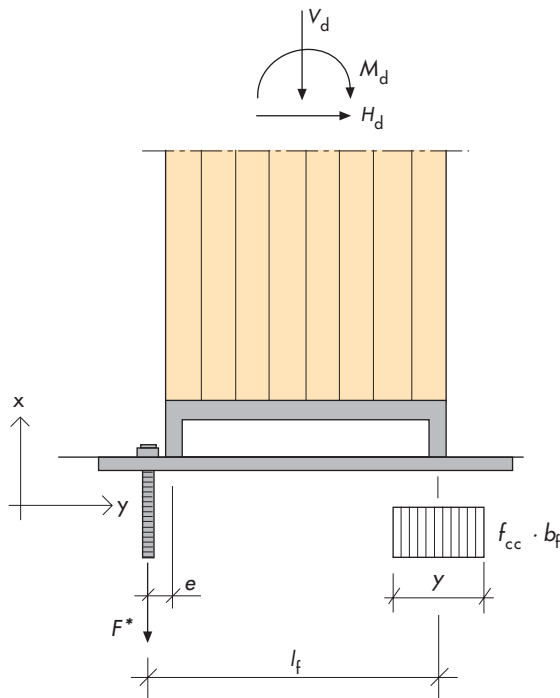
$F_{R//}$ voidaan laskea kaavalla:

$$F_{R//} = 0,6a \cdot h \cdot f_{wd} \quad (13.61)$$

jossa a = hitsin a-mitta.

Jos kaavojen 13.60 ja 13.58 käyttöasteeksi tulee yli 70 prosenttia, jotkin normit vaativat, että hitsi tarkistetaan häiriintymättömällä testausmenetelmällä, esimerkiksi röntgenillä. Jos käyttöaste on yli 50 prosenttia, tartuntalevy täytyy tehdä materiaalista, jolla on tutkitut ominaisuudet, tai tartuntalevy testataan ultraäänellä lamelli-repeytymisen välttämiseksi. Siksi on yleensä tarkoituksenmukaista tehdä tartuntalevy materiaalista, joka on valmistusvaiheessa testattu (ultraäänen avulla) ja rajata hitsin käyttöaste 50 prosenttiin. Yleensä teräsjalustan ja tartuntalevyn hitsiliitos ei ole mitoittava, jolloin a-mitaksi valitaan 3 mm.

Tartuntalevyn leveys ja pituus määräytyvät tavallisesti liimapuupilarin mitoista sekä kiinni-



Kuva 13.17

Jäykästi kiinnitetty pilariijalka, jossa liimattu ruuvi sekä teräsjalusta. Laskentamalli.

tysteräksen ja sen liitoksen vaatimasta tilasta ja tarvittavista rakentamistoleransseista. Yksinker-
taistaen voidaan olettaa, että voimajakautuma
tartuntalevyn alla vastaa suorakaiteen muotois-
ta puristusvyöhykettä, joka keskittyy jalustan
puristuksen puoleiseen reunaan, ja että vetovoima
kohdistuu ankkurointitankoihin. Tartuntale-
vyn paksuus valitaan siten, ettei vetovoiman ai-
heuttama taivutusjännitys ylitä tartuntalevyn ai-
nelujuuden laskenta-arvoa. Kuvan 13.17
merkintöjä käyttämällä voidaan ehto kirjoittaa
muotoon:

$$F^* \cdot e \leq f_{yd} W_p \quad (13.62)$$

jossa f_{yd} = tartuntalevyn myötöraja

$W_p = b_f \cdot t_f^2 / 4$ = tartuntalevyn plastinen
taivutusvastus

F^* = ankkurointitankojen keskiössä
vaikuttava vetovoiman laskenta-
arvo.

F^* voidaan laskea kaavasta:

$$F^* = f_{cc} \cdot b_f \cdot y - V_d \quad (13.63)$$

jossa f_{cc} = betonin laskentalujuus, kun otetaan
huomioon paikallinen puristus

b_f = tartuntalevyn leveys

Lujuusluokan K25 betonin osalta voidaan
käyttää arvoa:

$$f_{cck} = 30 \text{ MPa.}$$

Puristusvyöhykkeen pituus y lasketaan moment-
titasapainoehdosta ja käyttämällä kuvan 13.17
merkintöjä, ja se voidaan kirjoittaa muotoon:

$$y = \frac{M_d + 0,5V_d(2l_f - h)}{f_{cc} \cdot b_f \cdot l_f} \quad (13.64)$$

Puristusvyöhykkeen on kokonaisuudessaan si-
jaittava tartuntalevyn reunojen sisäpuolella.
Muussa tapauksessa tartuntalevyn ja betonira-
kenteen pintapuristuksesta tulee mitoittava, jol-
loin tartuntalevyn mittoja joudutaan kasvatta-
maan.

Ympäröivät betonirakenteet mitoitetaan voi-
massa olevien betoninormien mukaisesti.

Perustusruuvi ja betonin kestävyys voidaan
tarkistaa samoin kuin jäykkä kiinnitysteräs (kat-
so kohta 13.2.1).

Mitoitusehto 13.47 ja siihen liittyvät kaavat
ovat voimassa, jos termin F tilalle asetetaan F^* .

13.3 Pilarin ja palkin nivelliitos

Pilarin ja palkin nivelliitos siirtää vaaka- ja pystyvoimia. Momentit siirtyvät vain rajoitetusti, eikä niitä yleensä oteta huomioon mitoituksessa. Liitos on suunniteltava siten, ettei palkin kulmanmuutosta estetä. Mikäli kulma ei voi muuttua vapaasti, muodostuu ylimääräisiä jännityksiä, joiden seurauksena liimapuupilariin tai -palkkiin voi syntyä ennakoimattomia vaurioita.

Liitoksessa käytetään yleensä pilarin ja palkin pintaan naulaamalla tai ruuvaamalla kiinnitettäviä teräksiä. Liimattu ruuvi on sopiva vaihtoehto, jos halutaan ulkonäkö- tai paloteknisistä syistä piilokiinnitys. Tämä soveltuu kuitenkin vain sisätilojen rakenteisiin ja suhteellisen pieniin vaakakuormiin. Ulkopuoliset kiinnitysteräksset estävät jossain määrin palkkia kiepahtamasta, kun taas liimattu ruuvi vaatii palkin yläreunan erillistä tuentaa. Päätypilareissa käytetään usein pilarilovea vaakavoimien siirtämiseksi palkkiin.

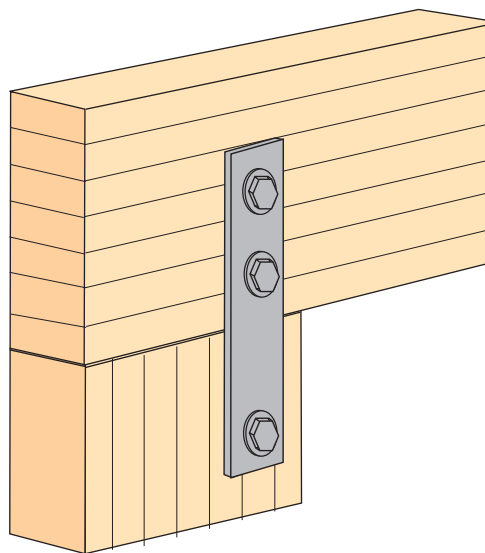
Kiinnitysteräksset voidaan toimittaa irrallisina, jolloin ne asennetaan rakennuspaikalla, tai valmiiksi kiinnitettyinä pilariin tai palkkiin. Liimattava ruuvi liimataan aina tehtaalla.

Seuraavaksi esitetään kolmen vaihtoehdon mitoitusperiaatteet: naulauslevy- tai lattateräskiinnitys, liimattu ruuvi sekä pilariin lovettu palkki.

13.3.1 Naulauslevy- tai lattateräskiinnitykset

Nivelliitos, jossa käytetään pilarin sivuihin kiinnitettyjä naulauslevyjä tai lattateräksiä, on yksinkertainen ja käyttökelpoinen menetelmä, joka soveltuu sekä suurille että pienille voimille (katso kuva 13.18).

Voimien siirto kiinnitysteräksestä liimapuupilariin tai palkkiin tapahtuu naulan, pultin tai



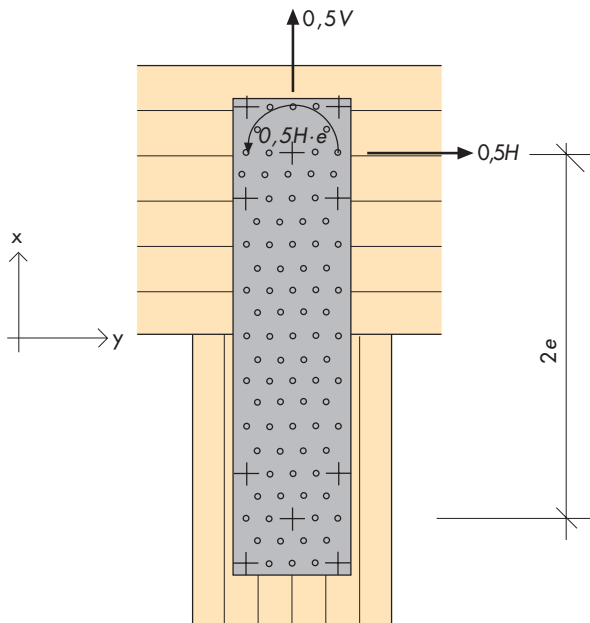
Kuva 13.18
Palkin ja pilarin nivellinen lattateräskiinnitys.

ruuvin välityksellä. Kiinniketyypin valinnan ratkaisevat ulkonäköön liittyvät, taloudelliset, asennustekniset ja lujuudelliset vaatimukset.

Kiinnitysteräksset sijoitetaan mahdollisimman lähelle pilarin sisäreunaa niin, että ne eivät estä palkin kulmanmuutoksia. Jos liitos siirtää vaakavoimia, sopiva reunaetäisyys pilarin sisäreunan ja ruuvien keskiön välillä on $4d$, ja jos liitos siirtää vain pystyvoimia, sopiva etäisyys on $2d$. Naulauslevyjä käytettäessä vastaavat etäisyydet ovat $10d$ ja $5d$.

Esiporattu, sinkitystä teräksestä tehty 1,5–5,0 mm vahvuinen naulauslevy on halpa vaihtoehto pienehköille voimille. Naulauslevyjä voi tilata alan valmistajilta halutulla tavalla rei'itettynä ja pintakäsittelynä. Edullisin vaihtoehto on reikien stanssaaminen, mikä edellyttää, että pellin paksuus ei ole suurempi kuin reiän halkaisija. Reikä tehdään mieluiten 1 mm naulan poikkimittaa suuremmaksi.

Ruuvattavat kiinnitysteräksset valmistetaan yleensä latta- tai U-teräksestä. Ainevahvuus valitaan vakiomitoista 6, 8, 10, 12, 15 tai 20 mm,



Kuva 13.19

Kiinnitysteräsä tarkastellaan molemmista päistä jäykästi kiinnitettynä palkkina.

ja sen täytyy olla vähintään 0,3 kertaa ruuvien halkaisija. Reiät porataan 1 mm ruuvien halkaisijaa suuremmaksi.

MITOITUS

Kiinnitysteräs mitoitetaan siten, että sitä tarkastellaan kummastakin päästä jäykästi kiinnitettynä palkkina, jota kuormittaa vaakavoima sekä joissakin tapauksissa myös nostava pystyvoima. Voimien oletetaan kohdistuvan ruuvi- tai naularyhmän keskiöön (katso kuva 13.19).

Mitoituksessa otetaan huomioon epäkeskisyydestä aiheutuva momentti $0,5H \cdot e$. Alaspäin suuntautuvat pystyvoimat siirtyvät pilariin pin-tapuristuksen kautta, joten ne eivät rasita kiinnitysterästä.

Palkkiliitoksen yksittäisen kiinnitysteräksen mitoitusehto on:

$$\sqrt{F_x^2 + F_y^2} \leq R_{vd} \quad (13.65)$$

jossa R_{vd} = yhden leikkausvoimakuormitetun naulan tai ruuvien kestävyys.

Yksittäisen kiinnikkeen kestävyyydessä otetaan huomioon voiman ja syysuunnan välinen kulma.

F_x ja F_y lasketaan kaavoilla:

$$F_x = \frac{0,5V_d}{n} + \frac{0,5H_d \cdot e \cdot r_y}{I_p} \quad (13.66)$$

$$F_y = \frac{0,5H_d}{n} + \frac{0,5H_d \cdot e \cdot r_x}{I_p} \quad (13.67)$$

jossa H_d = palkin laskentavaakavoima

V_d = palkin (nostava) laskentapystyvoima

n = niiden kiinnikkeiden lukumäärä, joilla yksittäinen kiinnitysteräs on kiinnitetty palkkiin

$2e$ = naula- tai ruuviryhmien painopisteiden etäisyys kuvan 13.19 mukaisesti

r_y, r_x = naula- tai ruuviryhmän painopisteen ja yksittäisen naulan/ruuvien etäisyys y- ja x-suunnassa

I_p = naula- tai ruuviryhmän polaarinen hitausmomentti.

Polaarinen hitausmomentti lasketaan kaavalla:

$$I_p = \sum (r_x^2 + r_y^2) \quad (13.68)$$

Yksittäisen kiinnitysteräksen mitoitusehto on:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq f_{yd} \quad (13.69)$$

jossa f_{yd} = kiinnitysteräksen laskentalujuus

σ = kiinnitysteräksen normaalijännitys

τ = saman pisteen leikkausjännitys

Jos σ ja τ lasketaan kimmoteorian mukaan kaksiakiaalisessa jännitystilassa, voidaan kaavan 13.69 termi f_{yd} korvata termillä $1,1 \cdot f_{yd}$.

Maksimi normaalijännitys $\sigma_{\max}$ esiintyy kiinnitysteräksen vedetyssä reunassa, ja varmemmal-la puolella oleva arvo voidaan laskea kaavalla:

$$\sigma_{\max} = \frac{0,5H_d \cdot e}{W} + \frac{0,5V_d}{A} \quad (13.70)$$

jossa A = kiinnitysteräksen poikkipinta-ala
 W = kiinnitysteräksen taivutusvastus.

Taivutusjännityksen maksimipisteessä saa leikkausjännitys τ arvon nolla.

Maksimi leikkausjännitys $\tau_{\max}$ esiintyy neutraaliakselilla z-akselin ympäri taivutettaessa, ja se voidaan laskea kaavalla:

$$\tau_{\max} = 1,5 \frac{0,5H_d}{A} \quad (13.71)$$

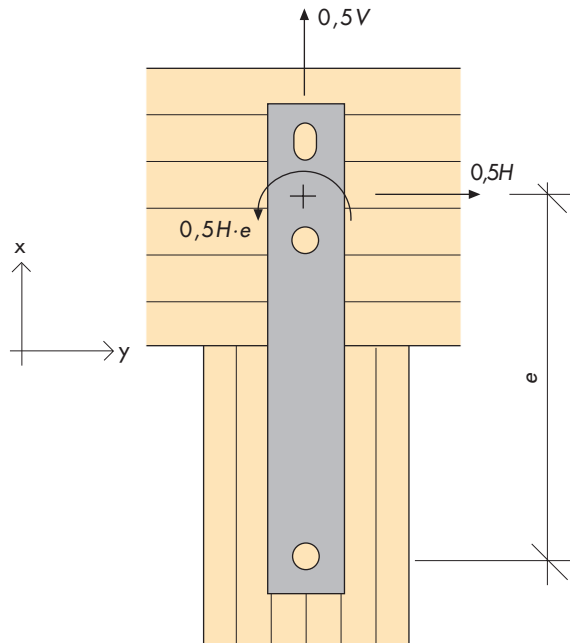
Poikkileikkauksen saman pisteen normaalijännitys σ lasketaan kaavalla:

$$\sigma = \frac{0,5V_d}{A} \quad (13.72)$$

Naula- tai ruuvireikien vaikutus kiinnitysteräksen kestävytyteen voidaan määrittää siten, että kaavassa 13.69 käytetään jännityksiä, jotka on laskettu nettoikkileikkauksen mukaan, toisin sanoen käytetään arvoja A_{net} ja W_{net} . Lisäksi laskentalujuus f_{yd} korvataan murtolujuuden arvolla f_{ud} . Tämä merkitsee sitä, että kiinnitysteräksen sallitaan plastisoitua reikien ympärillä.

Ohuiden kiinnitysterästen osalta tarkistetaan myös levyn puristetun reunan lommahdus voimassa olevien teräsrakennennormien mukaan. Hoikkuusparametri λ_b voidaan tällöin laskea kohdan 13.1.1 mukaisesti.

Yksittäisen kiinnitysteräksen kiinnitys pilaariin tarkistetaan samalla tavalla kuin kiinnitys palkkiin, mutta ottamalla huomioon, että syysuunta on palkissa eri kuin pilarissa.



Kuva 13.20

Kiinnitysteräs toisesta päästä jäykästi kiinnitettynä ja toisesta päästä vapaasti tuettuna palkkina.

Palkin ja pilarin pintapuristuksen mitoitusehto on:

$$V_d \leq f_{c90d} \cdot b \cdot h \quad (13.73)$$

jossa V_d = (alaspäin suuntautunut)
 laskentapystyvoima

f_{c90d} = liimapuupalkin laskentapuristus-
 lujuus kohtisuoraan syyn suuntaa
 vastaan

b = pilaripoikkileikkauksen leveys

h = pilaripoikkileikkauksen korkeus
 (syvyys).

Mitoitettaessa oletetaan, että kuvan 13.20 kiinnitysteräs on kiinnitetty palkkiin jäykästi ja pilaariin nivelellisesti. Epäkeskeisyydestä aiheutuva momentti otetaan huomioon palkkiikiinnityksen mitoituksessa. Palkin ylimmästä ruuvireiästä on hyvä tehdä korkeussuuntaan pitkänomainen, jolloin se jossain määrin sallii palkin kosteuselämistä ja kulmamutosta. Mitoitettaessa on otettava huomioon, ettei tämä ruuvi voi osallistua pystyvoimien vastaanottamiseen.

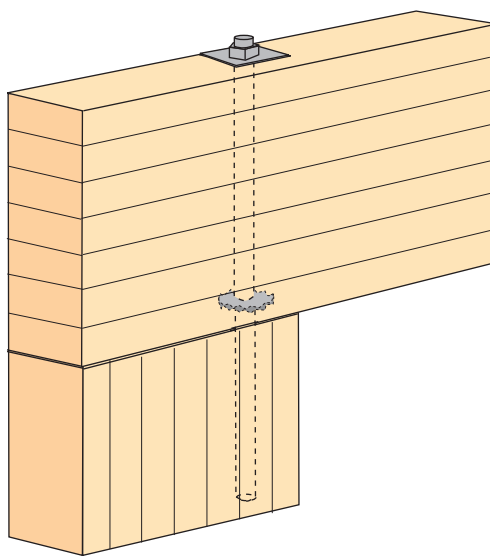
13.3.2 Liimattu ruuvi

Kun nivelkiinnityksessä käytetään liimattua ruuvia, liitos on täysin piilossa. Tämä voi olla toivottavaa esimerkiksi ulkonäkö- tai paloteknisiin syistä (katso kuva 13.21). Mutteri ja aluslevy voidaan upottaa palkin yläpintaan ja peittää puutulpalla, mikä antaa tehokkaan palosuojan.

Liimaus tehdään aina tehdasmaisissa olosuhteissa ulkoisen laadunvalvonnan alaisuudessa, joten pilari toimitetaan työmaalle pilarista ulos työntyvin ruuvein. Ruuvit on kuljetuksen ja asennuksen ajaksi suojattava kolhuilta ja muulta mekaaniselta rasitukselta.

Liimattua ruuvia ei saa käyttää kosteusluokissa 3 ja 4 tai rakenteissa, joihin kohdistuu dynaamista tai väsytyskuormitusta. Palkin kosteusliikkeiden takia liimattua ruuvia pitäisi käyttää vain palkeissa, joiden korkeus on enintään 500 mm.

Liimatun ruuvin antama sivutuenta on riittämätön, joten palkin yläreuna täytyy tukea erityismenetelmin. Liimattu ruuvi täytyy sijoittaa mahdollisimman lähelle pilarin sisäreunaa, jolloin palkin kulmamuuтокset eivät esty. Jos lii-



Kuva 13.21
Palkin ja pilarin nivelliitos liimatulla ruuvilla.

tos välittää vaakavoimia, pilarin sisäreunan ja ruuvin keskipisteen sopiva etäisyys on $4d$, ja jos se välittää vain pystyvoimia, sopiva etäisyys on $2d$. Jos liitos vaatii enemmän kuin yhden liimatun ruuvin, ne on samasta syystä sijoitettava vierekkäin.

MITOITUS

Ruuvien lukumäärä, koko ja liimauspituudet määritellään esiintyvistä vaakavoimista ja mahdollisista nostavista pystyvoimista. Alaspäin suuntautuvat pystyvoimat siirtyvät pilariin pintapuristuksen kautta.

Pilariin liimatun ruuvin mitoitusehto on:

$$\left(\frac{F_v}{R_{vd}}\right)^2 + \left(\frac{F_t}{R_{td}}\right)^2 \leq 1 \quad (13.74)$$

jossa $F_v = H_d/n$

$F_t = V_d/n$

H_d = pilarin laskentavaakavoima

V_d = pilarin (nostava) laskentapystyvoima

n = pilariin liimattujen ruuvien lukumäärä

R_{vd} = ruuvien leikkausvoimakestävyys

R_{td} = ruuvien ulosvetokestävyys

Termien R_{vd} ja R_{td} ominaisarvot lasketaan kaavoilla 13.32 ja 13.33.

Leikkausvoimakestävyyden parantamiseksi pilarin päätyypintaan voidaan asentaa yksipuolisesti hammastettuja vaarnoja, esimerkiksi Bulldog-tyyppisiä. Asennus tehdään aina tehtaalla ruuvien liimauksen yhteydessä. Tällöin liimatun ruuvien leikkausvoimakestävyyttä voidaan kasvattaa vaarnojen leikkausvoimakestävyyden määrällä voimassa olevien määräysten mukaan.

Palkin yläreunan aluslevyn koko valitaan siten, että nostavat voimat eivät ylitä aluslevyn ja palkin yläpinnan pintapuristuskestävyyttä.

Mitoitusehto on:

$$F_t \leq \kappa_c \cdot f_{c90d} \cdot A_b \quad (13.75)$$

jossa f_{c90d} = liimapuupalkin laskentapuristuslujuus kohtisuoraan syyn suuntaa vastaan

A_b = aluslevyn pinta-ala vähennettynä reiän pinta-alalla

Termin f_{c90d} arvoa voidaan kasvattaa kertoimella κ_c paikallisen puristuksen takia. Tämä kerroin voidaan joko johtaa kohdan 4.3 avulla tai laskea kaavalla:

$$\kappa_c = \sqrt[4]{\frac{150}{D}} \leq 1,8 \quad (13.76)$$

jossa D = aluslevyn sivun mitta (mm).

Aluslevyn paksuus t_b määritetään niin, että levyn taivutusjännitys ei ylitä materiaalin laskenta-arvoa. Neliön muotoisen aluslevyn, jonka sivu on a , mitoitussehto on:

$$t_b \geq D \cdot \sqrt{\frac{D}{D-d}} \cdot \sqrt{\frac{f_{c90d}}{2f_{yd}}} \quad (13.77)$$

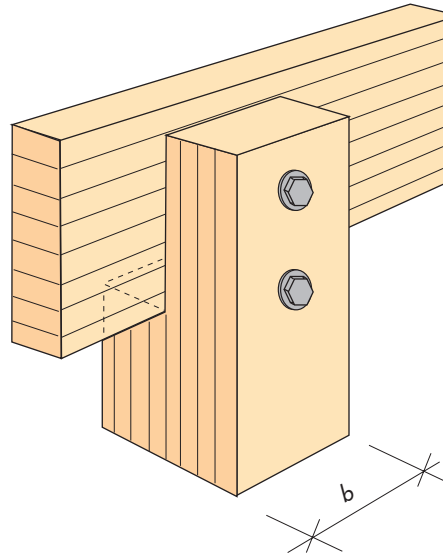
jossa f_{yd} = aluslevyn laskentalujuus.

Pilarin ja palkin pintapuristus tarkistetaan kuten naulauslevy- ja lattateräskiinnitys kaavan 13.73 avulla.

13.3.3 Lovettu pilari

Lovettua pilaria käytetään usein päätypilareissa vaakavoimien siirtoon päätypalkille. Esteettisistä ja asennusteknisistä syistä lovi tehdään pilariin palkin levyisenä.

Voimien siirto palkin ja pilarin välillä tapahtuu yleensä ruuvien välityksellä kuvan 13.22 mukaisesti. Myös kulmateräksiä voidaan käyttää, jos vaakavoimat ovat pieniä (katso kuva 13.23).



Kuva 13.22

Pilarin ja palkin nivelliitos. Palkki on kiinnitetty pilarin yläpään tehtyyn loveen.

MITOITUS

Ruuvit tai kulmateräokset mitoitetaan nostaville pystyvoimille sekä sellaisille vaakavoimille, jotka pyrkivät siirtämään palkkia pilarin päältä. Alaspäin suuntautuvat pystyvoimat sekä ne vaakavoimat, jotka puristavat pilaria palkkia vasten, siirtyvät pilarille pintapuristuksena. Pilarin lovi mitoitetaan kohdan 4.4 ohjeiden mukaan. Palkin pystyvoima kohdistuu pilariin epäkeskeisesti, ja tästä johtuva lisämomentti on otettava huomioon pilaria mitoitettaessa.

Seuraavissa ohjeissa oletetaan, että liitoksessa käytetään läpimeneviä pultteja ja että mahdolliset palkin suuntaiset vaakavoimat eivät rasita niitä.

Palkin pilarikiinnityksen mitoitussehto on:

$$\left(\frac{F_v}{R_{vd}}\right)^2 + \left(\frac{F_t}{R_{td}}\right)^2 \leq 1 \quad (13.78)$$

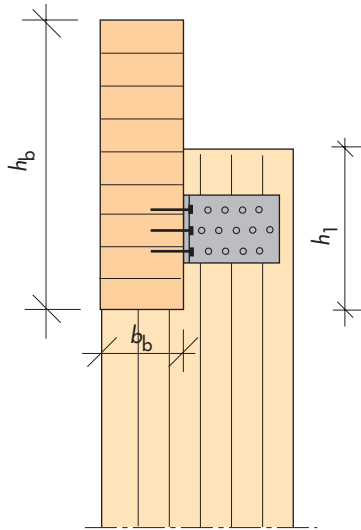
jossa $F_v = V_d/n$

$F_t = H_d/n$

V_d = (nostava) laskentapystyvoima

H_d = laskentavaakavoima, joka siirtää palkkia pois pilarin päältä

R_{vd} = ruuvien leikkauskestävyys



Kuva 13.23
Lovettu pilari, johon palkki on kiinnitetty kulma-
teräksin.

R_{td} = ruuvien vetokestävyys
 n = liitoksen ruuvien lukumäärä

Pilarin takasivun aluslevyn koko ja paksuus tarkistetaan kuten liimattu ruuvi kaavoilla 13.75 – 13.77.

Pilarin ja palkin välisen pintapuristuksen mitoitusehdot ovat:

$$V_d \leq f_{c90d} \cdot b \cdot b_b \quad (13.79)$$

$$H_d \leq f_{c90d} \cdot b \cdot h_1 \quad (13.80)$$

jossa V_d = (alaspäin suuntautuva) laskentapystyvoima

H_d = vaakavoiman laskenta-arvo, joka puristaa pilaria palkkia vasten

b = pilarin leveys

b_b = palkin leveys

h_b = palkin korkeus

$h_1 \leq h_b$

Alaspäin suuntautuvan pystyvoiman kapasiteettia (katso kaava 13.79) voidaan lisätä kasvatta-

malla tukipintaa paksulla lattateräksellä, jonka paksuus on t_p ja joka sijoitetaan palkin ja pilarin väliin. Jos lattateräksen uloke pilarin molemmiin puolin on $4t_p$, voidaan kaavassa 13.79 b korvata arvolla $b+8t_p$. Lattateräksen kestävyyttä ei tarvitse tarkistaa, jos uloke on enintään $4t_p$.

Pilarin yläpään loven mitoitusehto on:

$$1,5 \frac{H_d}{b(h - b_b)} \leq \kappa_v \cdot f_{vd} \quad (13.81)$$

jossa H_d = vaakavoiman laskenta-arvo, joka puristaa pilaria palkkia kohti

f_{vd} = liimapuupilarin laskentaleikkauksen lujuus

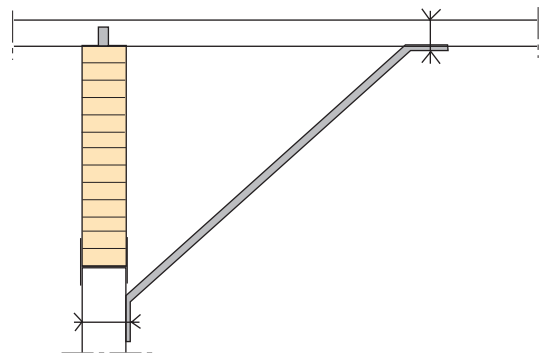
h = pilaripoikkileikkauksen korkeus

κ_v = reduktiokerroin, joka ottaa huomioon loven vaikutuksen kestävyteen ja joka määritetään kohdan 4.4 mukaisesti.

Loven koko rajoitetaan arvoon $0,5h$, kuitenkin siten, että se on enintään 500 mm. Lovea voidaan vahvistaa esimerkiksi vanerilla tai liimatuilla ruuveilla (katso kohta 4.4).

13.3.4 Pilarin yläpään sivutuenta

Hallirakennuksissa pilarin ja palkin liitos tehdään usein kuvan 13.18 mukaisena eli palkki tukeutuu pilarin päähän. Silloin rungon vaakasuuntainen jäykistys esimerkiksi tuuliristikko tai kattolevy on yleensä palkin yläreunan tasossa.



Kuva 13.24
Pilarin yläpään sivutuenta.

Tällaisessa tapauksessa tarvitaan erityistoimenpiteitä pilarin yläpään sivusuuntaisen siirtymisen estämiseksi. Julkisivua voidaan useimmiten hyödyntää tähän tarkoitukseen, mutta sisäpilarit vaativat yleensä sivutuennan esimerkiksi kuvan 13.24 mukaisesti.

Tuenta mitoitetaan vaakavoimalle, jonka suuruus määräytyy sekä pystysuuntaisesta tukireaktiosta että palkin momentista:

$$H_d = H_{pilari} + H_{palkki} \quad (13.82)$$

$$H_{pilari} = N_d / 100 \quad (13.83)$$

$$H_{palkki} = \frac{M_d}{h \cdot \beta_T} \quad (13.84)$$

N_d = pilarin normaalivoima

M_d = palkin maksimikenttämomentti

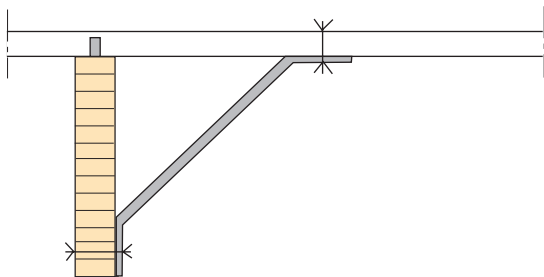
β_T = vakio, joka riippuu muun muassa palkin geometriasta ja sivutuennasta.

Vapaasti tuetulle palkille, jonka yläreunaan kohdistuu tasaisesti jakautuva kuorma, voidaan vakio β_T arvioida seuraavien kaavojen avulla:

$\beta_T = 100$, jos palkkia ei tueta sivusuunnassa päätukien välillä

$\beta_T = 80 + 9h/b + 0,6(h/b)^2$, jos palkin yläreuna tuetaan palkin koko pituudella

Sisäpilareille lasketaan molempien kenttien palkki yhteen. Jatkuvalle palkille voidaan varmemmalle puolelle tuenta mitoittaa kuten kaksi vapaasti tuettua palkkia.



Kuva 13.25
Jatkuvan palkin tuenta.

13.3.5 Jatkuvan palkin sivutuenta

Jatkuvan palkin kiepahduskuormaa voidaan korottaa siten, että palkin alareuna tuetaan keskituen läheltä esimerkiksi kuvan 13.25 osoittamalla tavalla (katso kohta 4.2). Tuenta mitoitetaan vaakavoimalle:

$$H_d = \frac{M_d}{70h} \quad (13.85)$$

jossa M_d on tukimomentti.

13.4 Nivelellinen harjaliitos

Nivelellinen harjaliitos siirtää sekä vaak- että pystyvoimia. Momentit siirtyvät vain rajoitetusti, eikä niitä oteta huomioon mitoituksessa. Kiinnitys on suunniteltava sellaiseksi, että se ei estä palkkien kulmamuuutoksia. Jos palkit eivät voi kiertyä harjaliitoksessa vapaasti, lisäjännitykset saattavat aiheuttaa arvaamattomia vahinkoja rakenteeseen.

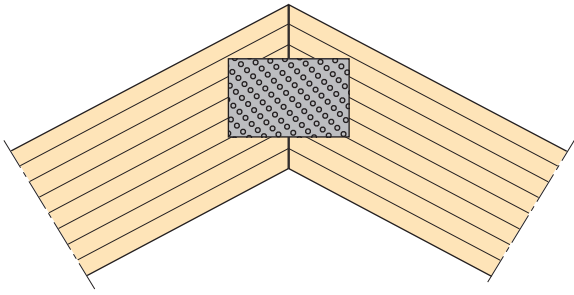
Liitos tehdään tavallisesti palkin pintaan kiinnitettävillä naulauslevyillä. Jos leikkausvoimat ovat suuria, naulauslevyjä käytetään yhdessä upotettujen teräsvaarnojen kanssa. Lattateräs-, puu- tai vaneriliitoksia voidaan myös käyttää yhdessä leikkausvoimia siirtävien vaarnojen kanssa.

Seuraavaksi esitetään kahden ensin mainitun vaihtoehdon mitoitusperiaatteet.

13.4.1 Naulauslevykiinnitykset

Nivelellinen naulauslevyistä tehty harjaliitos on yksinkertainen ja tarkoituksenmukainen, ja se sopii pienille voimille (katso kuva 13.26).

Naulauslevyn ja liimapuupalkin väliset voimat siirretään kampanauloilla. Naulauslevyt sijoitetaan mahdollisimman lähelle palkin alareunaa niin, että ne eivät estä palkin kulmamuu- toksia. Palkin alareunan ja ensimmäisen naulari- vin sopiva etäisyys on $10d$.

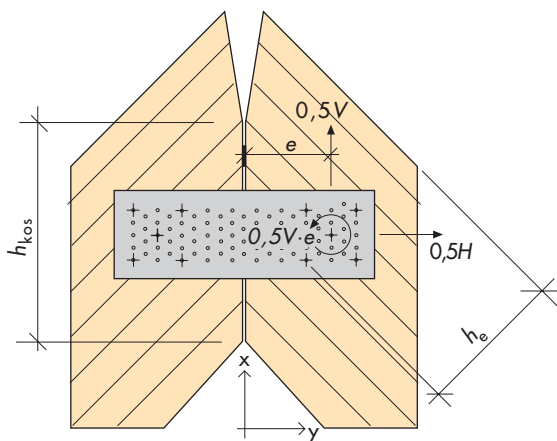


Kuva 13.26
Nivelellinen naulauslevyistä tehty harjaliitos.

Erityyppisiä sinkitystä 1,5–5,0 mm teräslevystä valmistettuja esiporattuja naulauslevyjä saa varastotavarana. Eri tavalla rei'itettyjä ja eripaksuisia naulauslevyjä voi lisäksi tilata alan valmistajilta. Reiät on hyvä stanssata, mikä edellyttää, että levyn paksuus ei ole suurempi kuin reiän halkaisija. Reikien on oltava 1 mm naulan läpimittaa suurempia.

MITOITUS

Naulauslevy mitoitetaan molemmista päistä jäykästi kiinnitettynä palkkina, johon kohdistuvat pysty- ja vaakavoimat kohdistetaan naularyhmän keskiöön (katso kuva 13.27). Kiinnitysmomentti otetaan huomioon naulauslevyn ja naulaliitoksen mitoituksessa.



Kuva 13.27
Nivelellinen naulauslevyllä tehty harjaliitos.

Puristavista vaakavoimista 2/3 siirretään palkkien välisenä pintapuristuksena. Halkeilun vähentämiseksi harjaliitos suunnitellaan siten, että pintapuristusta ei kohdistu palkin ylimpään kuudesosaan. Tämä voidaan tehdä esimerkiksi vino-sahauksen tai välilevyn avulla.

Naulauslevyn kiinnityksen mitoitusehto on:

$$\sqrt{F_x^2 + F_y^2} \leq R_{vd} \quad (13.86)$$

jossa R_{vd} = yhden naulan leikkauslujuus

$$F_x = \frac{0,5V_d}{n} + \frac{0,5V_d \cdot e \cdot r_y}{I_p} \quad (13.87)$$

$$F_y = \frac{0,5H_d}{n} + \frac{0,5V_d \cdot e \cdot r_x}{I_p} \quad (13.88)$$

V_d = laskentapystyvoima palkkia kohden

H_d = laskentavaakaveto voima palkkia kohden (puristusvoimalle käytetään arvoa $H_d / 3$)

n = kiinnikkeiden määrä palkkia ja naulauslevyä kohden

e = kuvassa 13.27 esitetty etäisyys

r_y, r_x = naularyhmän painopisteen ja yksittäisen naulan välinen y- ja x-suuntainen etäisyys

I_p = naularyhmän polaarinen hitausmomentti.

Naularyhmän polaarinen hitausmomentti lasketaan kaavalla:

$$I_p = \sum (r_x^2 + r_y^2) \quad (13.89)$$

Yksittäisen naulauslevyn mitoitusehto on:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq f_{yd} \quad (13.90)$$

jossa f_{yd} = naulauslevyn laskentalujuus
 σ = naulauslevyn normaalijännitys
 τ = saman pisteen leikkausjännitys.

Jos σ ja τ lasketaan kimmoteorian mukaan kaksiakselisessa jännitystilassa, voidaan kaavan 13.90 termi f_{yd} korvata termillä $1,1 \cdot f_{yd}$.

Jos vaakavoima on vetovoima, maksimi normaalijännitys $\sigma_{t,max}$ esiintyy naulauslevyn vedetyssä reunassa. Varmemmalla puolella oleva arvo voidaan laskea kaavalla:

$$\sigma_{t,max} = \frac{0,5V_d \cdot e}{W} + \frac{0,5H_d}{A} \quad (13.91)$$

jossa A = naulauslevyn poikkipinta-ala
 W = naulauslevyn taivutusvastus.

Jos sen sijaan vaakavoima on puristusvoima, se siirtyy osittain pintapuristuksen kautta, jolloin maksimi normaalijännitys $\sigma_{c,max}$ lasketaan kaavalla:

$$\sigma_{c,max} = \frac{0,5V_d \cdot e}{W} + \frac{1}{3} \cdot \frac{0,5H_d}{A} \quad (13.92)$$

jossa termit V_d ja H_d ovat niiden itseisarvoja. Leikkausjännitys τ on nolla taivutusjännityksen maksimikohdassa.

Maksimi leikkausjännitys τ_{max} esiintyy neutraaliakselilla z-akselin ympäri taivutettaessa, ja se lasketaan kaavalla:

$$\tau_{max} = 1,5 \frac{0,5V_d}{A} \quad (13.93)$$

Vedettäessä saman pisteen normaalijännitys σ on:

$$\sigma_t = \frac{0,5H_d}{A} \quad (13.94)$$

ja jos vaakavoima sen sijaan on puristusvoima:

$$\sigma_c = \frac{1}{3} \cdot \frac{0,5H_d}{A} \quad (13.95)$$

Ruuvireikien vaikutus naulauslevyn kestävyys-teen voidaan määrittää siten, että kaavassa 13.90 käytetään jännityksiä, jotka on laskettu netto-poikkileikkauksen mukaan, toisin sanoen käytetään arvoja A_{net} ja W_{net} . Lisäksi laskentalujuus f_{yd} korvataan murtolujuuden arvolla f_{ud} . Tämä merkitsee sitä, että naulauslevyn sallitaan plastisoitua reikien ympärillä.

Palkkien välisen pintapuristuksen mitoitusehto on:

$$\frac{2}{3} \cdot H_d \leq f_{cod} \cdot A_{kos} \quad (13.96)$$

jossa H_d = puristavan vaakavoiman laskentaluuarvo

f_{cod} = liimapuupalkin laskentapuristuslujuus vinosti syiden suhteen (katso kohta 4.3). Huomaa, että lujuutta on redusoitava, jos välilevyä ei käytetä.

A_{kos} = kosketuspinta, jossa otetaan huomioon palkin yläreunan mahdollinen viiste.

Pintapuristus saattaa suurilla kattokaltevuuksilla aiheuttaa palkkeihin halkeamia. Halkeamisen huomioon ottava mitoitusehto on:

$$H \sin \alpha + V \cos \alpha \leq \frac{2}{3} \cdot b \cdot h_e \cdot f_{vd} \quad (13.97)$$

jossa α = kattokaltevuus

b = palkin leveys

h_e = tehollinen palkin korkeus kuvan 13.27 mukaisesti

f_{vd} = laskentaleikkaukslujuus.

13.4.2 Naulauslevyliitokset ja leikkausvoimia siirtävät vaarnat

Kun leikkausvoima on niin suuri, että epäkeskisydestä aiheutuva momentti $V \times e$ muodostuu haitalliseksi, leikkausvoima voidaan siirtää käyttämällä saumaan upotettua vaarnaa. Vaarna voidaan muotoilla monin eri tavoin, esimerkiksi käyttämällä I-palkkia.

Seuraavissa esimerkeissä käytetään kuitenkin oletuksena kuvan 13.28 mukaista vaarnaa. Tällöin oletetaan, että koko leikkausvoima siirtyy vaarnan kautta ja että naulauslevyt mitoitetaan pelkästään vetäville vaakavoimille. Naulauslevyt vaikuttavat kuitenkin siihen, että leikkausvoima jakautuu palkin koko korkeudelle ja vähentää halkeamisvaaraa vaarnan kohdalla. Puristavat vaakavoimat siirtyvät palkin pään ja vaarnan pystylaippojen välisenä pintapuristuksena.

MITOITUS

Naulauslevyt ja -liitokset mitoitetaan edellisen kohdan mukaisesti antamalla $V_d : n$ arvoksi 0.

Palkin pään ja vaarnan välisen pintapuristuksen mitoitusehto on:

$$\frac{H_d}{b(2h)} + \frac{V_d(l+t_2)}{b \cdot h(h+t_1)} \leq f_{cod} \quad (13.98)$$

jossa V_d = laskentaleikkausvoima harjan kohdalla

H_d = vastaava (puristava) vaakavoima

b = vaarnan pituus $\approx$ palkin leveys

f_{cod} = liimapuupalkin laskentapuristuslujuus vinosti syiden suhteen kohdan 4.3 mukaisesti.

Vaarnan mittojen merkinnät esitetään kuvassa 13.28.

Vaarnan lujuuden mitoitusehto on:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq f_{yd} \quad (13.99)$$

jossa f_{yd} = teräksen laskentalujuus

σ = vaarnan normaalijännitys

τ = saman pisteen leikkausjännitys.

Jos σ ja τ lasketaan kimmoteorian mukaan kaksiaksiaalisessa jännitystilassa, voidaan kaavan 13.99 termi f_{yd} korvata termillä $1,1 \cdot f_{yd}$.

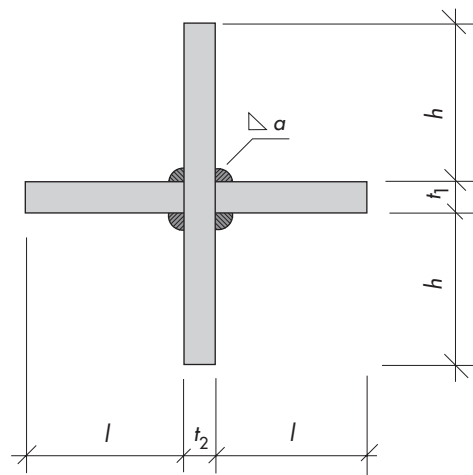
Maksimi taivutus- ja leikkausjännitys lasketaan seuraavien kaavojen avulla:

$$\sigma_{\max} = \frac{V_d \cdot l / 2}{b \cdot t_1^2 / 6} \quad (13.100)$$

$$\tau_{\max} = 1,5 \frac{V_d}{b \cdot t_1} \quad (13.101)$$

Huomaa, että maksimi taivutusjännitys ei esiinny samassa pisteessä kuin maksimi leikkausjännitys.

Yllä olevat mitoitus ehdot 13.99 sopivat myös vaaka- ja pystylaippojen välisille hitseille.



Kuva 13.28

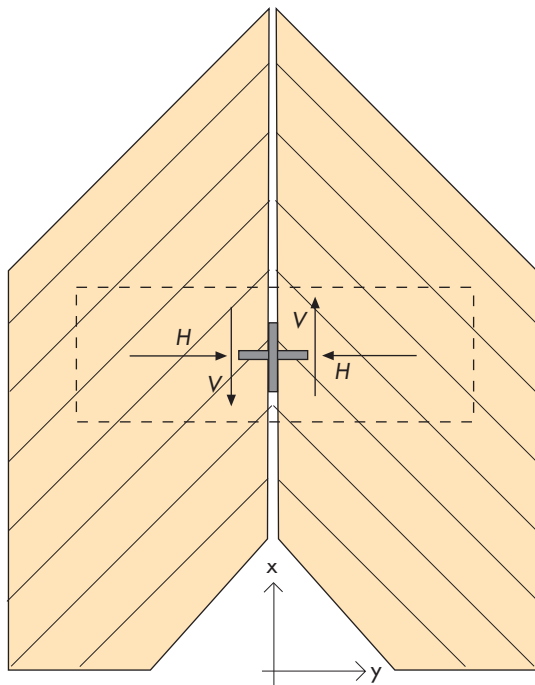
Lattateräksistä hitsattu vaarna leikkausvoimien siirtämiseen.

Jos vaarnan saumat tehdään pienahitsillä, hitsien taivutus- ja leikkausjännitykset voidaan laskea seuraavilla kaavoilla:

$$\sigma = \frac{V_d \cdot l / 2}{b \cdot t_1 \cdot a \sqrt{2}} + \frac{V_d}{b \cdot a \sqrt{2}} \quad (13.102)$$

$$\tau = \frac{V_d \cdot l / 2}{b \cdot t_1 \cdot a \sqrt{2}} - \frac{V_d}{b \cdot a \sqrt{2}} \quad (13.103)$$

Jos käyttöasteeksi tulee yli 70 prosenttia, jotkut normit vaativat, että hitsi tarkistetaan häiriintymättömällä testausmenetelmällä, esimerkiksi röntgenillä. Jos käyttöaste on enemmän kuin 50 prosenttia, pystylevy on tehtävä materiaalista, jolla on tutkitut ja todistetut ominaisuudet tai se testataan ultraäänellä lamellirepeytymisen välttämiseksi. Siksi on yleensä taloudellisinta rajata käyttöaste 50 prosenttiin.



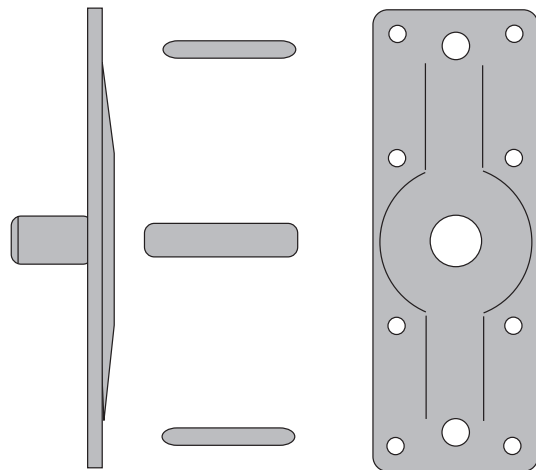
Kuva 13.29
Lattateräksistä hitsattu vaarna.

13.4.3 Harjaliitosteräs BMF

Pakotetusta teräslevystä valmistetut harjaliitosteräket ovat varastotavaraa, ja niitä voi käyttää, kun leikkausvoimat ovat kohtuullisia. Kiinnitysteräksessä on kaksi keskenään samanlaista levyä, joissa on pakotetut urat ja hitsattu putkenkappale sekä yksi iso ja kaksi pientä teräsvaarnaa (kuvan 13.30 mukaisesti). Harjaliitosteräksiä valmistetaan neljää eri kokoa, joiden korkeus x leveys on 175 x 65 x 350 x 90 mm.

Leikkausvoimat siirretään päätypuuhun lyötävillä kampanauloilla yhdessä järeämmän keskivaarnan kanssa, kun taas pienemmät vaarnat ottavat vastaan mahdollisia vääntömomenteja. Pakotettujen urien välinen pintapuristus ottaa vastaan puristavat vaakavoimat. Tällaista kiinnitysterästä käytetään yhdessä naulauslevyjen kanssa, jotka sijoitetaan palkin sivuihin tai ulkonäkösyistä palkin yläpuolelle.

Leikkausvoimakestävyys vaihtelee koon mukaan. Valmistajan ilmoittama pienimmän kiinnitysteräksen leikkauskestävyys on noin 6 kN ja isoimman noin 10 kN. Tarkemmat tiedot saa valmistajalta.



Kuva 13.30
BMF-tyyppinen harjaliitosteräs.

13.5 Nivelellinen palkkijatkos

Nivelellinen palkkijatkos siirtää vaaka- ja pystyvoimia. Se siirtää vain rajoitetusti momentteja, joita ei siten oteta huomioon mitoittaessa. Kiinnitys suunnitellaan sellaiseksi, että se ei estä palkkien kulmamutoksia. Jos palkit eivät pääse kiertämään vapaasti, lisäjännitykset saattavat aiheuttaa arvaamattomia vaurioita rakenteelle.

Pienille voimille voidaan kiinnitys tehdä ulkopuolisin kiinnitysteräksin, jotka naulataan tai ruuvataan palkkeihin. Suurien voimien siirtämiseen sopivat erityisesti Gerber-liitokset.

Seuraavaksi käsitellään naulauslevy- ja Gerber-liitoksen mitoitusperiaatteet.

13.5.1 Naulauslevyliitos

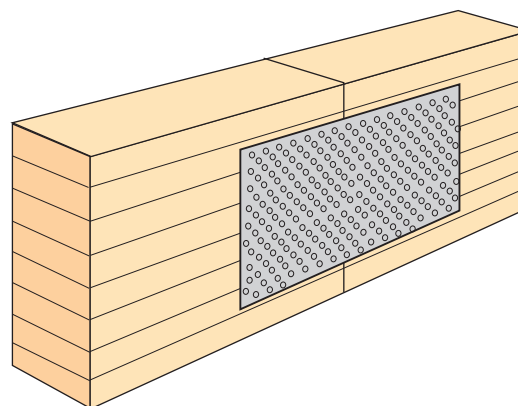
Naulauslevyillä tehty nivelellinen palkkijatkos on yksinkertainen ja tarkoituksenmukainen liitos, joka soveltuu pienille voimille (katso kuva 13.31).

Naulauslevyt sijoitetaan liimapuupalkin liitokseen keskeisesti. Naulauslevyn ja liimapuupalkin väliset voimat siirretään kampanauloilla.

Sinkitystä 1,5 x 5,0 mm teräslevystä valmistettavat esiporatut naulauslevyt ovat varastotavaraa. Pienemmille voimille ne ovat halpoja kiinnitysteräksiä. Valmistajilta voidaan tilata eripaksuisia ja eri tavalla rei'itettyjä naulauslevyjä (katso kohta 13.1.1).

MITOITUS

Naulauslevy mitoitetaan molemmista päistä jäykästi kiinnitettynä palkkina, johon kohdistuvat pystyvoima ja vaakavoima. Voimien oletetaan kohdistuvan naularyhmän keskiöön. Puristavista vaakavoimista 2/3 siirtyy palkkien välisenä pintapuristuksena. Kiinnitysmomentti otetaan huomioon naulauslevyä ja naulaliitosta mitoitettaessa.



Kuva 13.31
Naulauslevyillä toteutettu palkin niveljatkos.

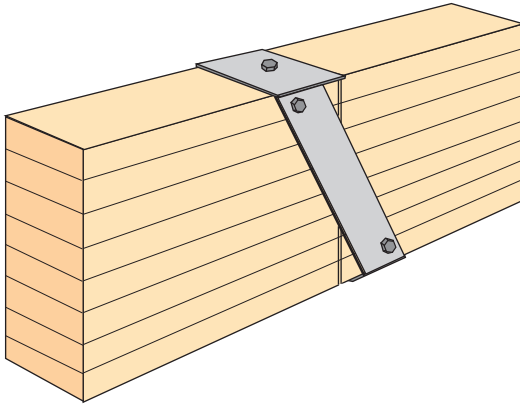
Naulauslevyn kiinnitys palkkiin, naulauslevy sekä palkkien välinen pintapuristus tarkistetaan kuten naulauslevyillä tehtävät harjaliitokset (katso kohta 13.4.1).

13.5.2 Hitsattu Gerber-liitos

Nivelellinen palkkijatkos on suositeltavinta tehdä Gerber-liitoksella, jos siirretään suuria leikkausvoimia ja jos voimalla on aina sama suunta. Pienemmät vastakkaissuuntaiset leikkausvoimat voidaan siirtää pystylevyjen ja ruuviliitosten välityksellä. Jos Gerber-liitoksen lisäksi siirretään vetovoimia, sitä täydennetään hitsatuilla lattateräksillä. Hitsattava Gerber-liitos suunnitellaan yleensä kuvan 13.32 mukaiseksi, mutta muutkin tavat ovat mahdollisia. Kahden ulkopuolelle sijoitetun pystylevyn sijasta voidaan esimerkiksi käyttää yhtä pystylevyä, joka on upotettu keskelle. Tämä voi olla tarpeellista ulkonäkö- tai paloteknisistä syistä.

Jotta palkkien kulmamutokset eivät estyisi, sivuruuvit sijoitetaan mahdollisimman lähelle ylä- ja alalevyä. Sopiva etäisyys reunasta on $2d$, jos ruuvi siirtää vain vaakavoimia ja $4d$, jos se siirtää myös pystyvoimia.

Pienille leikkausvoimille voidaan hyvin käyttää tehdasvalmisteisia Gerber-liitosteräksiä (katso kohta 13.5.3).



Kuva 13.32
Nivelellinen palkkijatkos Gerber-liitoksella.

MITOITUS

Mitoitettaessa oletetaan, että leikkausvoima siirtyy pintapuristuksen kautta Gerber-liitosteräksen ylä- ja alalevyihin.

Gerber-liitosteräksen ja palkin välisen pintapuristuksen mitoitusehto on:

$$V_d \leq f_{c90d} \cdot \beta \cdot b \cdot L \quad (13.104)$$

jossa V_d = koko palkille laskettu laskentaleikkausvoima

f_{c90d} = liimapuupalkin laskentapuristuslujuus kohtisuoraan syyn suuntaa vastaan

b = palkin leveys

L = ylä- tai alalevyn pituus (kuva 13.33).

Pintapuristuksen voidaan olettaa vaikuttavan vain osaan $\beta \cdot b$, Gerber-liitosteräksen leveydestä:

$$\beta \cdot b = 2t_f \sqrt{\frac{f_{yd}}{2f_{c90d}}} \quad (13.105)$$

jossa f_{yd} = ylä- tai alalevyn laskentalujuus
 t_f = ylä- tai alalevyn paksuus.

Leikkausvoimien epäkeskisyys aiheuttaa momentin, joka alareunassa siirtyy päätylevyn ja

palkin pään välisenä pintapuristuksena ja yläreunassa sivulevyjen pulttien kautta. Tarvittaessa voidaan sivulevyn pulttien lisäksi käyttää ylälevyn läpi ruuvattavia puuruuveja.

Sivulevyn pultin mitoitusehto on (edellyttäen, ettei yläreunassa ole puuruuveja):

$$F \leq R_{vd} \quad (13.106)$$

jossa R_{vd} = pultin leikkauskestävyys leikettävä kohden.

F lasketaan kaavalla:

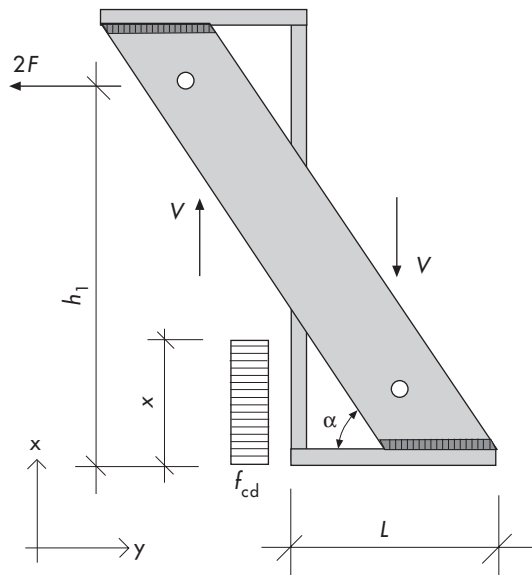
$$2F = f_{cd} \cdot b \cdot x \quad (13.107)$$

jossa f_c = liimapuupalkin laskentapuristuslujuus syysuuntaan.

Etäisyys x määritetään momenttitasapainoehdosta kaavalla:

$$x = h_1 \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2V_d L}{f_{cd} \cdot b \cdot h_1^2}} \right) \quad (13.108)$$

jossa etäisyys h_1 ilmenee kuvasta 13.33.



Kuva 13.33
Hitsattu Gerber-liitosteräs.

Gerber-liitosteräksen sivulevyjen mitoitusehto on:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq f_{yd} \quad (13.109)$$

jossa f_{yd} = sivulevyjen laskentalujuus

σ = sivulevyn normaalijännitys

τ = saman pisteen leikkausjännitys.

Jos σ ja τ lasketaan kimmoteorian mukaan kaksiakselisessa jännitystilassa, voidaan kaavan 13.109 termi f_{yd} korvata termillä $1,1f_{yd}$.

Maksimi normaalijännitys $\sigma_{\max}$ lasketaan kaavalla:

$$\sigma_{\max} = \frac{F \cdot 0,5x}{W} + \frac{0,5V_d \sin \alpha + F \cos \alpha}{A} \quad (13.110)$$

jossa A = yhden sivulevyn poikkipinta-ala

W = yhden sivulevyn taivutusvastus.

Muut merkinnät ilmenevät kuvasta 13.33.

Jos ruuvien ja pohjalevyn etäisyys on suurempi kuin $0,5x$, korvataan tämä etäisyys kaavassa 13.110 ruuvien reunaetäisyydellä.

Leikkausjännitys τ on nolla levyn reunassa.

Maksimi leikkausjännitys $\tau_{\max}$ esiintyy neutraaliakselilla z-akselin ympäri taivutettaessa ja se lasketaan kaavalla:

$$\tau_{\max} = 1,5 \cdot \frac{F \sin \alpha - 0,5V_d \cos \alpha}{A} \quad (13.111)$$

Saman pisteen normaalijännitys σ lasketaan kaavalla:

$$\sigma = \frac{0,5V_d \sin \alpha + F \cos \alpha}{A} \quad (13.112)$$

Ruuvireikien vaikutus Gerber-liitosteräksen kestävyysasteen voidaan määrittää siten, että kaavassa 13.109 käytetään jännityksiä, jotka on laskettu nettopoikkileikkauksen mukaan, toisin sanoen käytetään arvoja A_{net} ja W_{net} . Lisäksi laskentalujuus f_{yd} korvataan murtolujuuden arvolla f_{ud} . Tämä merkitsee sitä, että liitosteräksen sallitaan plastisoitua ruuvireikien ympärillä.

Gerber-liitosteräksen sivulevyjen ja ylä- tai alalevyn välisten pienahitsien mitoitusehto on:

$$\left(\frac{F}{F_{R//}} \right)^2 + \left(\frac{0,5V_d}{F_{R\perp}} \right)^2 \leq 1 \quad (13.113)$$

jossa $F_{R//}$ = hitsin pituussuuntainen kestävyys

$F_{R\perp}$ = hitsin poikittaissuuntainen kestävyys.

$F_{R//}$ ja $F_{R\perp}$ lasketaan kaavoilla:

$$F_{R//} = 0,6a \cdot l_s \cdot f_{wd} \quad (13.114)$$

$$F_{R\perp} = \frac{a \cdot l_s \cdot f_{wd}}{\sqrt{2}} \quad (13.115)$$

joissa f_{wd} = hitsin laskentalujuus

l_s = hitsisauman pituus

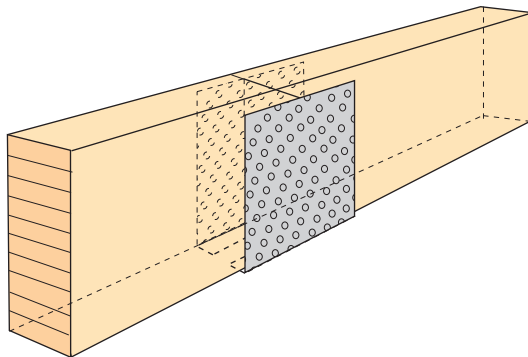
a = hitsin a-mitta, joksi valitaan vähintään 3 mm.

Usein on edullista rajata kaavan 13.109 mukainen käyttöaste 70 prosenttiin ja mitoittaa hitsi niin, että siitä tulee yhtä kestävä kuin sivulevystä (katso vastaava kommentti kohdassa 13.1.1).

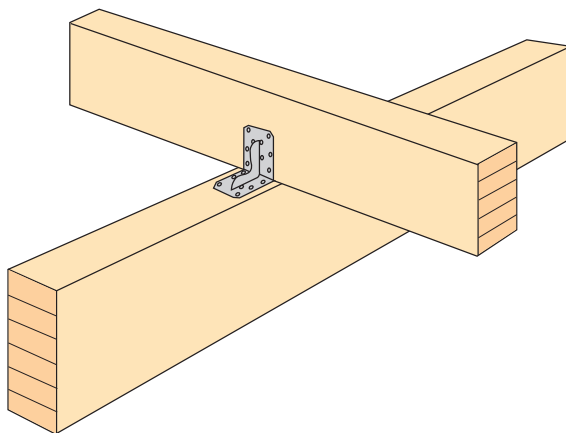
13.5.3 Gerber-liitosteräs BMF-W

Pienille leikkausvoimille voidaan käyttää sinkitystä teräksestä tehtyjä tehdasvalmisteisia liitosteräksiä. Niitä tekevät monet valmistajat, muun muassa BMF ja JOMA.

Tehdasvalmisteiset Gerber-kiinnitysteräksset voivat olla yksi- tai moniosaisia. Yksiosaiset sopivat vain tietyille palkkipoikkileikkauksille, kun taas useampiosaiset yleensä ovat riippumattomia palkin poikkileikkauksesta. Voimat siirretään pääasiassa kampanaulojen kautta. Tarkemmat tekniset tiedot löytyvät valmistajien tuoteluetteloista. Kuvan 13.34 tapaisten kaksinkertaisten kulmaterästen käytössä on kiinnitettävä erityistä huomiota halkeamisriskiin.



Kuva 13.34
Gerber-liitosteräs BMF-W.



Kuva 13.35
Katon orsiliitos, jossa on käytetty jäykistettyä kylmämuokattua kulmaterästä.

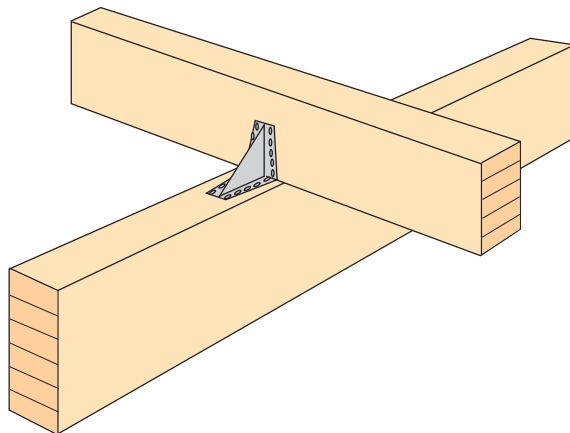
13.6 Sekundääripalkin liitos

Sekundääripalkki, joka on tuettu primääripalkin päältä, siirtää pystyvoimia sekä pieniä primääripalkin suuntaisia vaakavoimia. Sekundääripalkki, joka on kiinnitetty primääripalkin sivuun, siirtää myös sekundääripalkin suuntaisia vaakavoimia. Tarvittaessa liitos voidaan tehdä sellaiseksi, että se siirtää myös momentteja.

Primääri- ja sekundääripalkkien liittämiseen voidaan käyttää erilaisia tehdasvalmisteisia kiinnitysteräksiä, jotka usein sopivat sellaisenaan. Kestävyystiedot ja kiinnitysohjeet ovat valmistajien tuoteluetteloissa.

13.6.1 Katto-orren kiinnitys

Katto-orsien kiinnitys primääripalkkeihin tehdään yleensä kylmämuokatuilla, sinkityillä tehdasvalmisteisilla liitosteräksillä. Ne voivat olla kuvan 13.35 mukaisia jäykisteuritettuja tai sileitä kulmateräksiä tai kuvan 13.36 mukaisia niin sanottuja kulmajäykistettyjä liitosteräksiä. Voimat siirretään pääasiassa pintapuristuksen ja kampanaulojen avulla. Näitä kiinnitysteräksiä valmistavat ja markkinoivat monet yritykset, esimerkiksi BMF ja JOMA. Tarkempia teknisiä tietoja on valmistajien tuoteluetteloissa. Kaltevien katto-orsien sivutuenta on käsitelty luvussa 12.3.



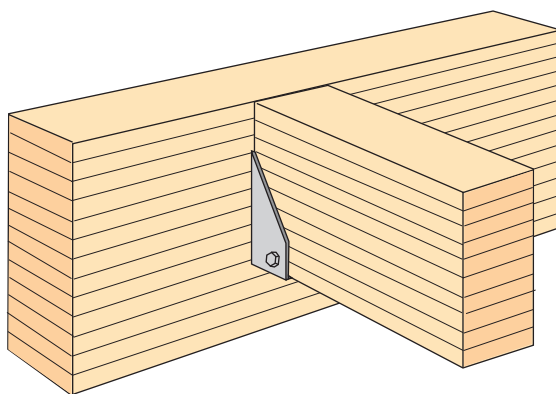
Kuva 13.36
Katon orsiliitos, jossa on käytetty kulmavahvistuksella jäykistettyä kulmaterästä.

13.6.2 Hitsattu palkkikenkä

Orren kiinnitys palkkikengällä on yksinkertainen ja tarkoituksenmukainen liitos ennen kaikkea silloin, kun palkkien yläpintojen on oltava samassa tasossa (katso kuva 13.37).

Pienehköjä voimia varten voidaan käyttää kylmämuokatusta sinkitystä teräslevystä valmistettuja palkkikenkkiä, joita valmistavat ja markkinoivat esimerkiksi BMF ja JOMA. Liimapuu-poikkileikkauksiin soveltuvien palkkikenkien tarjonta on kovin rajoitettua. Valmistajat voivat kuitenkin tehdä tilaajan mittojen mukaisia palkkikenkkiä. Voimat siirretään pääasiassa pintapuristuksen ja kampanaulojen kautta. Tarkemmat tekniset tiedot selviävät valmistajien tuoteluetoista.

Suurten tukireaktioiden siirtäminen sekundääripalkilta vaatii yleensä hitsattuja palkkikenkkiä, jotka valmistetaan kuumavalssatusta teräslevystä (latta/U-teräs). Sekundääripalkin ja palkkikengän väliset voimat siirretään pääasiassa pintapuristuksella, kun taas palkkikengästä primääripalkkiin voimat siirretään naulojen, pulttien tai ruuvien välityksellä. Liitoksen kestävyyttä voi merkittävästi lisätä vaarnoilla palkkikengän ja



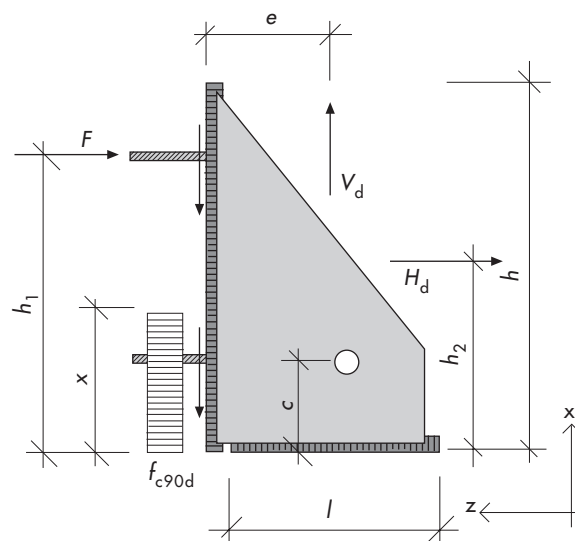
Kuva 13.37
Sekundääri- ja primääripalkin nivelkiinnitys, jossa on käytetty hitsattua palkkikenkää.

primääripalkin välissä. Tässä tapauksessa vaarat asennetaan primääripalkkiin tehtaalla.

Toispuolisesti kiinnitetty sekundääripalkki aiheuttaa primääripalkkiin vääntömomentin, joka on otettava mitoitettaessa huomioon. Halkeamiskeskitys on sitä suurempi, mitä alemmas palkkikenkä on kiinnitetty primääripalkkiin.

Sekundääripalkin sivutuenta voidaan kiepahdusta vastaan parantaa sitomalla yläreuna sivusuunnassa esimerkiksi kulmaterästen avulla.

Ulkonäkö- ja muut vaatimukset voidaan ottaa huomioon palkkikengän muotoilussa. Jos päätylevy ei ylety sivulevyjen ulkopuolelle, kiinnitys primääripalkkiin on suojassa suoralta palovaikutukselta. Toisaalta levitettyyn päätylevyyn mahtuu useampi rivi kiinnikkeitä, jolloin liitos kestää paremmin kuormia. Molemmiin puoliin sekundääripalkkia olevat sivulevyt voidaan korvata upotetulla teräslevyllä, jolloin liitoksesta tulee näkymätön ja suoralta palovaikutukselta suojattu. Tämä ratkaisu ei suoraan vaikuta liitoksen kestävyYTEEN, mutta se on jonkin verran edellistä ratkaisua kalliimpi.



Kuva 13.38
Hitsattu palkkikenkä.

MITOITUS

Mitoitettaessa oletetaan alaspäin suuntautuvien pystyvoimien siirtyvän palkkikengään pohjalevyyn kohdistuvana pintapuristuksena. Nostavat pystyvoimat sekä ne vaakavoimat, jotka vetävät sekundääripalkkia pois primääripalkilta, siirretään ruuvien kautta sivulevyyn. Vaakavoimat, jotka puristavat sekundääripalkkia primääripalkkiin, siirretään päätylevyyn kohdistuvana pintapuristuksena.

Seuraavissa kuvan 13.38 mukaisissa palkkikengän mitoitusohjeissa oletetaan, että nostava pystyvoima on pieni verrattuna alaspäin suuntautuvaan pystyvoimaan.

Sekundääripalkin kiinnityksen mitoitusehto palkkikengän sivulevyihin on:

$$\sqrt{F_x^2 + F_z^2} \leq R_{vd} \quad (13.116)$$

jossa $F_x = 0,5V_d$

$$F_z = 0,5H_d$$

V_d = sekundääripalkin nostavan pystyvoiman laskenta-arvo

H_d = vaakavoiman laskenta-arvo, joka vetää sekundääripalkkia pois primääripalkilta

R_{vd} = ruuvien leikkauskestävyys.

Kaavat koskevat tapausta, jossa kummassakin sivulevyssä on yksi ruuvi.

Sekundääripalkin ja palkkikengän pohjalevyn välisen pintapuristuksen mitoitusehto on:

$$V_d \leq f_{c90d} \cdot \beta \cdot b \cdot l \quad (13.117)$$

jossa V_d = sekundääripalkin alaspäin suuntautuvan pystyvoiman laskenta-arvo

f_{c90d} = sekundääripalkin laskentapuristuslujuus kohtisuoraan syyn suuntaa vastaan

l = pohjalevyn pituus

b = palkin leveys

β = kerroin, joka ottaa huomioon pintapuristuksen keskittymisen pohjalevyn reunoille.

Toimiva leveys $\beta \cdot b$ lasketaan kaavalla:

$$\beta \cdot b = 2t \sqrt{\frac{f_{yd}}{2f_{c90d}}} \quad (13.118)$$

jossa f_{yd} = pohjalevyn laskentalujuus

t = pohjalevyn paksuus.

Palkkikengän sivulevyt eivät ole kestävyiden kannalta mitoittavia, jos niiden paksuus on vähintään puolet pohjalevyn paksuudesta.

Palkkikengän päätylevyn mitoitusehto on:

$$\sigma \leq f_{yd} \quad (13.119)$$

jossa f_{yd} = päätylevyn laskentalujuus

σ = päätylevyn normaalijännitys.

Normaalijännitys σ voidaan laskea kaavalla:

$$\sigma \approx \frac{3F}{2t^2} \quad (13.120)$$

jossa F = päätylevyn ylimmän ruuvien

vetovoiman laskenta-arvo

t = päätylevyn paksuus.

Jos vaakaruuvirivejä on kaksi kuvan 13.38 mukaisesti, F voidaan määrittää kaavalla:

$$F = f_{c90d} \cdot b \cdot x - H_d \quad (13.121)$$

jossa f_{c90d} = primääripalkin

laskentapuristuslujuus kohtisuoraan syyn suuntaa vastaan

H_d = laskentavaakavoima

x = puristusvyöhykkeen korkeus (katso kuva 13.38 ja yhtälö 13.122).

Vaakavoimalle annetaan positiivinen arvo, jos voima puristaa sekundaärpalkkia primääripalkkia vasten, ja negatiivinen arvo, jos se vaikuttaa vastakkaiseen suuntaan. Etäisyys x lasketaan momenttitasapainoehdon avulla, ja se voidaan kirjoittaa muotoon:

$$x = h_1 \left(1 - \sqrt{1 - 2 \frac{V_d \cdot e + H_d(h_1 - h_2)}{f_{c90d} \cdot b \cdot h_1^2}} \right) \quad (13.122)$$

jossa V_d = (alaspäin suuntautuva)
pystysuuntaisen tukireaktion
laskenta-arvo
 $e \approx 2t + l/2$
 $h_2 = h/2$ jos vaakavoima on puristava
 $h_2 = a$ jos vaakavoima on vetävä.

Kaavoja 13.121 ja 13.122 sovellettaessa pystyvoiman on oltava vaakavoimaan verrattuna suuri. Muussa tapauksessa pintapuristus ei keskity alareunaan, mitä on edellytetty kaavojen johtamisessa.

Palkkikengän päätylevyn ylemmän ruuvin mitoitusehto on:

$$\left(\frac{F_v}{R_{vd}} \right)^2 + \left(\frac{F_t}{R_{td}} \right)^2 \leq 1 \quad (13.123)$$

jossa $F_v = 0,5V_d$
 $F_t = F$
 R_{vd} = ruuvien leikkauskestävyys
 R_{td} = ruuvien vetokestävyys.

Primääripalkin takasivun aluslevyn koko määritetään siten, että palkin ja aluslevyn välinen pintapuristus ei ylitä kohtisuoraa puristuslujuutta syyn suuntaa vastaa. Jos käytetään kahta ruuvia, mitoitusehto on:

$$F \leq k_c \cdot f_{c90d} \cdot A_b \quad (13.124)$$

jossa A_b = aluslevyn pinta-ala, josta reikä on vähennetty

k_c = kerroin, joka ottaa huomioon
kestävyyden paranemisen
paikallisessa puristuksessa.

Kerroin k_c voidaan määrittää kohdan 4.3 mukaisesti tai seuraavan kaavan avulla:

$$k_c = \sqrt[4]{\frac{150}{D}} \leq 1,8 \quad (13.125)$$

jossa d on aluslevyn sivumitta millimetreinä.

Aluslevyn paksuus valitaan siten, että levyn taivutusjännitys ei ylitä laskentalujuutta. Neliömäisen aluslevyn mitoitusehto on:

$$t_b = D \sqrt{\frac{D}{D-d}} \cdot \sqrt{\frac{f_{c90d}}{2f_{yd}}} \quad (13.126)$$

jossa f_{yd} = aluslevyn laskentalujuus
 t_b = aluslevyn paksuus
 d = ruuvien halkaisija
 D = aluslevyn sivumitta.

Palkkikengän sivulevyjen ja pohjalevyn liitoksen pienahitsin mitoitusehto on:

$$\left(\frac{0,5H_d}{F_{R//}} \right)^2 + \left(\frac{0,5V_d}{F_{R\perp}} \right)^2 \leq 1 \quad (13.127)$$

jossa $F_{R//}$ = hitsin pituussuuntainen kestävyys
 $F_{R\perp}$ = hitsin poikkisuuntainen kestävyys.

$F_{R//}$ ja $F_{R\perp}$ lasketaan kaavoilla:

$$F_{R//} = 0,6a \cdot l_s \cdot f_{wd} \quad (13.128)$$

$$F_{R\perp} = \frac{a \cdot l_s \cdot f_{wd}}{\sqrt{2}} \quad (13.129)$$

jossa f_{wd} = hitsin laskentalujuus
 l_s = hitsisauman pituus
 a = hitsin a-mitta, joksi valitaan vähintään 3 mm.

Saattaa olla tarkoituksenmukaisinta rajata hitsiliitoksen käyttöaste noin 70 prosenttiin, koska eräät normit vaativat, että hitsi tarkistetaan häiriintymättömällä testausmenetelmällä, esimerkiksi röntgenillä, jos käyttöaste on tätä korkeampi.

Palkkikengän sivulevyjen ja päätylevyn liitoksen pienahitsin mitoitusehto on:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{//}^2} \leq f_{wd} \quad (13.130)$$

jossa f_{wd} = hitsin laskentalujuus
 $\sigma_{\perp}$ = hitsin normaaliännitys
 $\tau_{//}$ = hitsin leikkausännitys.

Hitsin normaali- ja leikkausännitykset lasketaan kaavoilla:

$$\sigma_{\perp} = \frac{0,5V_d \cdot e - 0,5H_d \cdot h_2}{a \cdot h^2 / 6} \cdot \sqrt{2} \pm \frac{0,5H_d}{a \cdot h} \cdot \sqrt{2} \quad (13.131)$$

$$\tau_{//} = \frac{0,5V_d}{a \cdot h} \quad (13.132)$$

Hitsin a-mitta merkitään a :lla, ja sen arvoksi valitaan vähintään 3 mm. Kun hitsiliitoksen käyttöaste rajoitetaan 70 prosenttiin, vältetään hitsisauman häiriintymättömältä testaukselta esimerkiksi röntgenillä.

Jos palkkikengässä on ulkoneva päätylevy, käyttöastetta rajoitetaan lisää päätylevyn lamellirepeytymisvaaran takia (katso kohta 13.2.1).

13.7 Vetotankoliitos

Vetotankoliitos siirtää vain vaakasuuntaisia vetovoimia palkkiin. Vetotanko tehdään tavallisesti teräksestä tai liimapuusta.

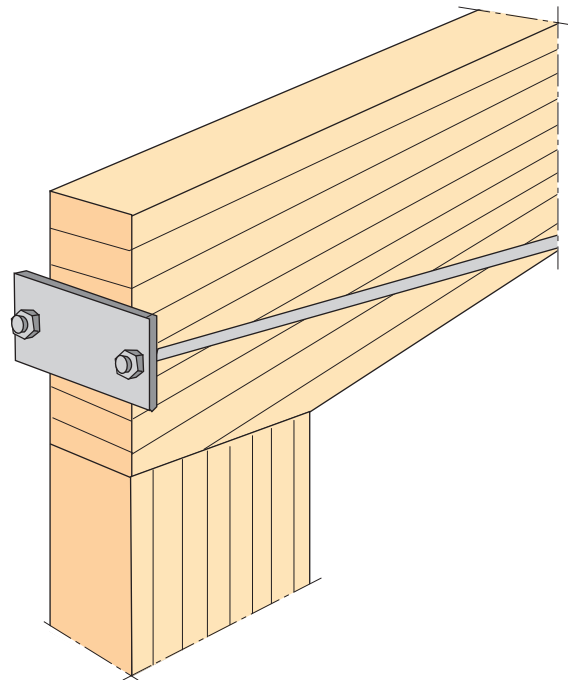
Liitos suunnitellaan yleensä siten, että vetovoima kohdistuu niin lähelle palkin ja pilarin systeemilinjojen leikkauspistettä kuin mahdollista. Liitokseen voidaan myös aiheuttaa tarkoituksella epäkeskeisyyttä, jota hyödynnetään esimerkiksi kattopalkin tai kaaren mitoituksessa.

Seuraavaksi selostetaan teräksisen ja puisen vetotangon mitoitusperiaatteet.

13.7.1 Teräsvetotanko

Teräsvetotangot soveltuvat sekä pienille että suurille vetovoimille (kuva 13.39).

Helpoimmin liitos tehdään niin, että palkin kummallakin puolella on vetotanko. Jos vetovoima on pieni, kahden vetotangon sijasta voidaan käyttää yhtä vetotankoa, joka vedetään palkin läpi sen keskellä olevasta reiästä. Jos vetovoima on suuri, voidaan palkin sivuilla olevien kahden vetotangon lisäksi käyttää kolmatta, joka



Kuva 13.39
Teräsvetotangon kiinnitys.

sijoitetaan palkin keskelle. Palkin päädyssä olevaan teräksiseen ankkurilevyyn tehdään naulanreiät asennustyön helpottamiseksi.

MITOITUS

Mitoituksessa oletetaan, että vetävät vaakavoimat siirtyvät ankkurilevyn ja palkin pään välillä pintapuristuksena.

Ankkurilevyn ja palkin pään pintapuristuksen mitoitusehto on:

$$H_d \leq f_{\text{cod}} \cdot A_{\text{eff}} \quad (13.133)$$

jossa H_d = koko laskentavetovoima

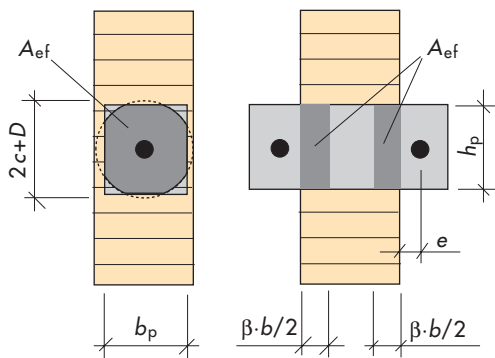
f_{cod} = liimapuupalkin laskentapuristuslujuus vinosti syiden suhteen

A_{eff} = ankkurilevyn ja palkin pään kosketuspinnan tehollinen osa (katso kuva 13.40).

Liimapuupalkin laskentapuristuslujuus vinosti syiden suhteen määritetään kohdan 4.3 mukaan. Kun vetotankoja on kaksi, pintapuristus keskittyy palkin reunoille. Tällöin ankkurilevyn ja päätypuun kosketuspinnan tehollinen osa lasketaan kaavalla:

$$A_{\text{ef}} = \beta \cdot b \cdot h_p \quad (13.134)$$

$$\text{jossa } \beta = \frac{2t_p}{b} \sqrt{\frac{f_{yd}}{2f_{\text{cod}}}} \leq 1 \quad (13.135)$$



Kuva 13.40
Tehollinen kosketuspinta, kun vetotankoja on yksi tai kaksi.

f_{yd} = ankkurilevyn laskentalujuus

t_p = ankkurilevyn paksuus.

Muut merkinnät ilmenevät kuvasta 13.40.

Kun käytetään yhtä, keskeisesti sijoitettua vetotankoa, kosketuspinnan tehollinen osa rajataan ympyrään, jonka halkaisija on $2c + D$ (katso kuva 13.40). D on mutterin tai mahdollisen aluslevyn halkaisija, ja c määritetään kaavasta:

$$c = t_p \cdot \sqrt[3]{\frac{E_k}{E_{\text{ok}}}} \quad (13.136)$$

jossa E_k = ankkurilevyn kimmomoduulin ominaisarvo (210000 MPa)

E_{ok} = liimapuupalkin kimmomoduulin ominaisarvo, kun siihen kohdistuu puristusta vinosti syyn suhteen.

E_{ok} lasketaan kaavalla:

$$E_{\text{ok}} = E_{0k} - (E_{0k} - E_{90k}) \sin \alpha \quad (13.137)$$

jossa E_{0k} ja E_{90k} ovat liimapuupalkin kimmomoduulin ominaisarvot syyn suuntaan ja kohtisuoraan syyn suuntaa vastaan.

Ankkurilevyn taivutuksen mitoitusehto on:

$$\sigma \leq f_{yd} \quad (13.138)$$

Levyn maksimi taivutusjännitys lasketaan kaavoilla:

jos vetotankoja on kaksi

$$\sigma = \frac{3H_d(e + \beta \cdot b / 4)}{h_p \cdot t_p^2} \quad (13.139)$$

jos vetotankoja on yksi

$$\sigma = \frac{3H_d}{2t_p^2} \quad (13.140)$$

Ankkurilevyn mutterin läpileikkautumisen mitoitusehto on:

$$\tau = \frac{H_d}{\pi \cdot D \cdot t_p} \leq 0,6 f_{yd} \quad (13.141)$$

13.7.2 Puiset vetotangot

Puiset vetotangot soveltuvat lähinnä pienille vetovoimille (kuva 13.41).

Vetotangon kiinnittämisessä palkkiin voidaan käyttää lattateräksiä, jotka joko kiertävät palkin pään ympäri tai päättyvät ennen palkin päätä. Pienillä vetovoimilla voidaan käyttää naulauslevyjä.

MITOITUS

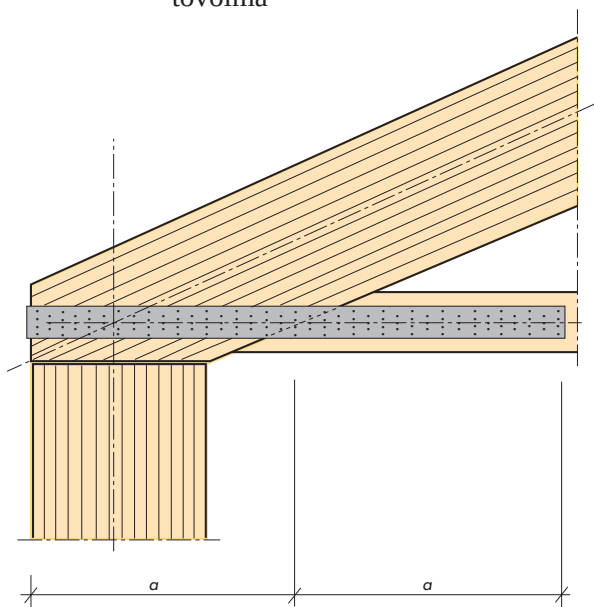
Kuvan 13.41 mukaisen vetotangon kiinnityksen mitoituksessa siirretään vaakasuuntaiset vetotangon voimat sivulevyihin naulaliitosten kautta. Sivulevyt pienahitsataan ankkurilevyyn, joka siirtää voimat palkin tai kaaren päähän pintapuristuksena.

Vetotangon sivulevyjen kiinnityksen mitoitus-
ehto on:

$$F_y \leq R_{vd} \quad (13.142)$$

jossa $F_y = H_d/2n$

H_d = vetotangon koko laskentave-
tovoima



Kuva 13.41
Puisen vetotangon kiinnitys.

R_{vd} = yhden naulan leikkauskestävyys
 n = naulojen lukumäärä sivulevyä
kohden.

Sivulevyjen mitoitusehto on:

$$\sigma \leq f_{yd} \quad (13.143)$$

jossa f_{yd} = sivulevyn laskentalujuus

σ = levyn normaalijännitys.

Normaalijännitys lasketaan kaavalla:

$$\sigma = \frac{H_d}{2A} \quad (13.144)$$

jossa A on sivulevyn poikkipinta-ala.

Naulanreikien vaikutus sivulevyn kestävyYTEEN voidaan ottaa huomioon siten, että kaavassa 13.143 käytetään jännityksiä, jotka on laskettu nettopoikkileikkauksen mukaan eli käytetään arvoa A_{net} . Lisäksi laskentalujuus f_{yd} korvataan murtolujuuden arvolla f_{ud} . Kiinnitysteräksen sallitaan siis plastisoitua reikien ympärillä.

Sivulevyn ja ankkurilevyn liitoksesta tarkis-
tetaan pienahitsit mitoitus ehdon 13.130 avulla.

Tällöin $\tau_{\parallel}$ asetetaan nolaksi ja $\sigma_{\perp}$ lasketaan kaavalla:

$$\sigma_{\perp} = \frac{H_d}{2a \cdot h_p} \sqrt{2} \quad (13.145)$$

jossa a = hitsin a-mitta (vähintään 3 mm)

h_p = sivulevyjen korkeus.

Hitsiliitoksen käyttöaste rajoitetaan 70 prosent-
tiin, jotta voidaan välttää hitsisauman häiriinty-
mätön testaus esimerkiksi röntgenin avulla.

Ankkurilevyn ja palkin päädyn pintapuristus
tarkistetaan mitoitus ehdolla 13.133.

Pintapuristus keskittyy myös tässä tapaukses-
sa palkin reunoille. Kosketuspinnan tehollinen
osa voidaan määrittää kaavojen 13.134 ja 13.135
avulla.

13.8 Kaksi- tai kolminivelkaaren tuki

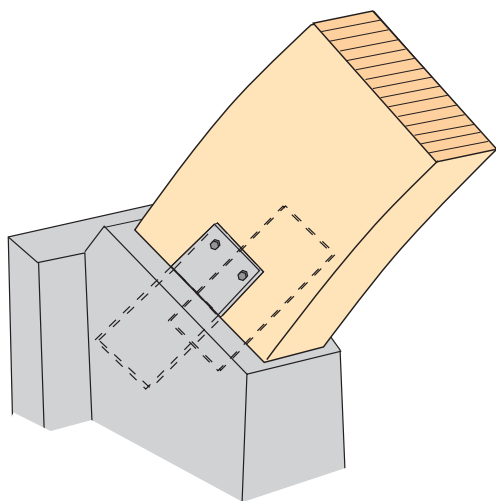
Kaksi- tai kolminivelkaaren tuki suunnitellaan yleensä nivelliitokseksi. Pienillä, alle 25 m:n jänneväleillä käytetään kustannussyistä yleensä epätäydellistä, niin sanottua puolinivelä. Tämä siirtää pieniä momentteja, mutta niitä ei tarvitse ottaa huomioon kaaren mitoituksessa. Kiinnitysteräksen sekä liitoksen mitoituksessa momentit kuitenkin otetaan huomioon.

Suurilla jänneväleillä tukireaktiot ovat niin suuria, että nivel täytyy suunnitella huolellisesti, jotta kaari toimisi staattisesti siten kuin on tarkoitettu.

13.8.1 Naulauslevy- tai lattateräskiinnitykset

Ulkopuoliset naulauslevy- tai lattateräskiinnitykset (katso kuva 13.42) ovat yksinkertaisia ja tarkoituksenmukaisia ratkaisuja, kun kaaren jänneväli on korkeintaan noin 25 metriä. Käyttö rajoittuu sisätiloihin, jotka eivät esimerkiksi puhdistuksen yhteydessä joudu toistuvasti kosketuksiin veden kanssa.

Kiinnitysteräsket voidaan joko valaa betoniperustuksiin tai hitsata perustuksissa olevaan kiinnityslevyyn. Ensin mainitussa tapauksessa



Kuva 13.42
Kaaren perustusliitos. Kaaren kiinnitys lattateräksillä ja pulteilla.

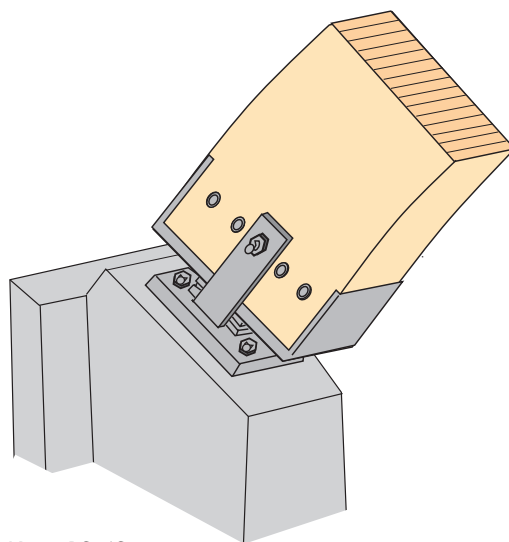
kaaren päädyissä on oltava kosteussulku, esimerkiksi kova öljykäsittely puukuitulevy, joka naulataan ja liimataan kaaren pätyyn.

Mitoitus voidaan tehdä nivelpilarijalan ohjeiden mukaisesti (katso kohta 13.1.1).

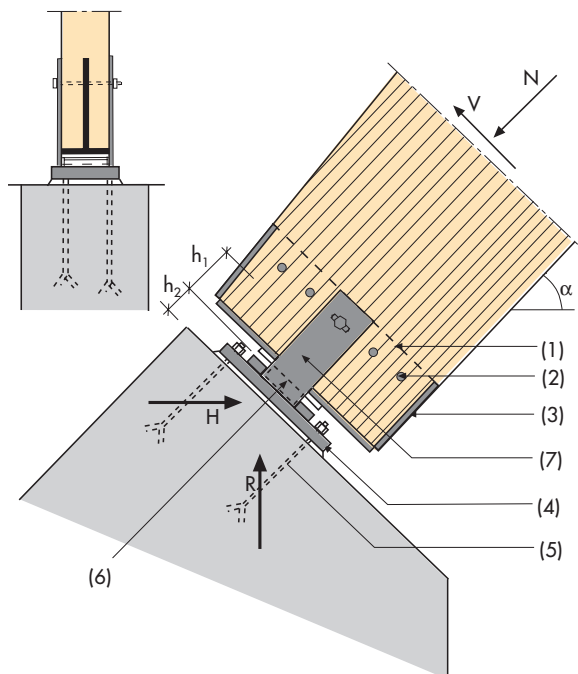
13.8.2 Hitsattu jalkaliitos, jossa on kiertolaakeri

Suurilla jänneväleillä tarvitaan yleensä hitsattua jalkaliitosta, jossa on oikeaoppinen nivel. Kun se tehdään kuvan 13.43 mukaisesti, momenttia ei tarvitse ottaa huomioon kaaren mitoituksessa. Tämä ratkaisu sopii myös ulkokäyttöön eli kosteusluokkaan 3.

Normaali- ja leikkausvoimat siirretään kaaresta pintapuristuksen kautta teräskenkään sekä tästä kiertolaakeriin ja edelleen betoniperustuksiin (katso kuva 13.44). Momentti $V \times h_1$, joka muodostuu, kun leikkausvoima siirretään kosketuspinnan painopisteestä kiertolaakeriin, otetaan vastaan pulteilla ja/tai teräsvaarnoilla. Momentti $V \times h_2$, jota tarvitaan leikkausvoiman siirtämiseen edelleen betoniperustuksiin, otetaan vastaan betonin ja laakerilevyn välisellä pintapuristuksella. Itse leikkausvoiman ottavat vastaan perustuksiin valetut perustuspultit. Vaihtoehtoisesti alempi tukilevy voidaan varustaa rivoilla, jotka siirtävät leikkausvoimat betoniperustuksiin.



Kuva 13.43
Hitsattu jalkaliitos, jossa on kiertolaakeri.



Kuva 13.44

- (1) ⊥-profiili, hitsataan tai valmistetaan halkaisemalla I-palkki
 (2) Teräsvaarnat ja/tai pultit
 (3) Päätylevy
 (4) Alempi tukilevy, jossa teräspalat
 (5) Perusruuvit
 (6) Ylempi tukilevy, jossa teräspalat
 (7) Sivulevyt (Huom. pitkänomaiset ruuvireiät)

MITOITUS

Tukipisteen voimasuureet lasketaan kaavoilla:

$$N = H \cos \alpha + R \sin \alpha \quad (13.146)$$

$$V = H \sin \alpha - R \cos \alpha \quad (13.147)$$

Liimapuun leikkauskestävyyden mitoitusehto on:

$$V_d \leq \frac{2}{3} b \cdot h \cdot f_{vd} \quad (13.148)$$

jossa V_d = kaaren pään

laskentaleikkausvoima

b = kaaren poikkileikkauksen leveys

h = kaaren poikkileikkauksen korkeus

f_{vd} = laskentaleikkaukslujuus

Liimapuun ja päätylevyjen pintapuristuksen mitoitusehto on:

$$V_d \leq b \cdot c_1 \cdot f_{c90d} \quad (13.149)$$

jossa c_1 = päätylevyn pituus (katso kuva 13.45)

f_{c90d} = laskentapuristuslujuus kohtisuoraan syyn suuntaa vastaan, jota voidaan kasvattaa, jos otetaan huomioon paikallinen puristus kohdan 4.3 mukaisesti

Ylempään tukilevyyn kohdistuvan pintapuristuksen mitoitusehto on:

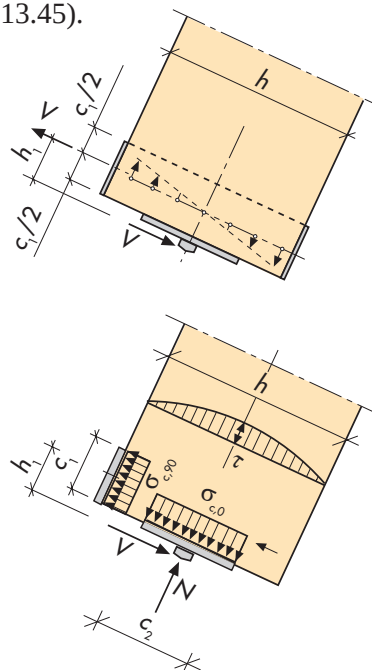
$$N_d = (b - t) c_2 \cdot f_{c,0,d} \quad (13.150)$$

jossa c_2 = laakerilevyn pituus (kuva 13.45)

t = ⊥-profiilin uuman paksuus

$f_{c,0,d}$ = laskentapuristuslujuus syyn suuntaan

Siirtomomentti $M_1 = V + h_1$ otetaan vastaan kaksileikkisillä ruuveilla ja/tai vaarnoilla (katso kuva 13.45).



Kuva 13.45

Voimien siirto kiinnitysteräksen ja liimapuun välillä. Laskentamalleja.

Yksittäisen pultin tai vaarnan kestävyysden mitoitusehto on:

$$\sqrt{F_x^2 + F_y^2} \leq R_{vd} \quad (13.151)$$

jossa R_{vd} = yhden kiinnityselimen leikkauskestävyys per leike voimassa olevien normien mukaan mitoitettuna:

$$F_x = \frac{0,5V_d \cdot h_1 \cdot r_y}{I_p} \quad (13.152)$$

$$F_y = \frac{0,5V_d \cdot h_1 \cdot r_x}{I_p} \quad (13.153)$$

V_d = laskentaleikkausvoima

h_1 = kuvan 13.45 mukainen etäisyys

r_y, r_x = pultti- ja/tai vaarnaryhmän painopisteen ja yksittäisen kiinnityselimen y- ja x-suuntainen etäisyys

I_p = kiinnityselinryhmän polaarinen hitausmomentti

Polaarinen hitausmomentti lasketaan kaavalla:

$$I_p = \sum_1^n (r_x^2 + r_y^2) \quad (13.154)$$

jossa n = kiinnityselinten lukumäärä.

Pultin/vaarnan ja $\perp$ -profiilin uuman välisen reunapuristuksen mitoitusehto on:

$$2\sqrt{F_x^2 + F_y^2} \leq d \cdot t \cdot f_d \quad (13.155)$$

jossa d = pultin/vaarnan halkaisija
 f_d = teräksen reunapuristuksen laskentalujuus

Kiinnitysteräksen sivulevyillä on pääasiassa ohjaava tehtävä, ja niiden mitoittamisessa voi käyttää käytännön harkintaa. Siten esimerkiksi ruuvireikä tehdään pitkänomaiseksi, jotta kaaren kulmamuutos ei esty.

Alemman laakerilevyn ja betoniperustuksen pintapuristuksen mitoitusehto on:

$$0 \leq \frac{N_d}{b \cdot c_3} \pm \frac{V_d \cdot h_2}{b \cdot c_3^2 / 6} \leq f_{ccd} \quad (13.156)$$

jossa c_3 = alemman laakerilevyn pituus

h_2 = kuvan 13.46 mukainen etäisyys

f_{ccd} = betonin laskentalujuus paikallisessa puristuksessa.

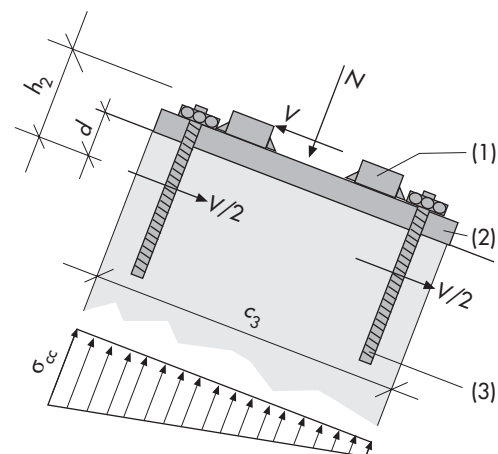
b = laakerilaatan leveys

Vetovoima otetaan vastaan peruspulteilla, jos betonijännitys on negatiivinen kaavalla 13.156 laskettuna (katso jäljempänä).

Perustusruuvit voidaan mitoittaa kohdan 13.1.4 Liimattu ruuvi mukaan. Normaalisti ruuveja kuormittaa vain leikkausvoima. Betonin ja ruuvin pintapuristuksen resultantin oletetaan olevan syvyydellä d (=ruuvin halkaisija) betonin pinnasta.

Teräsosat ja hitsit mitoitetaan voimassa olevien teräsnormien mukaan.

Ympäröivät betonirakenteet mitoitetaan voimassa olevien betoninormien mukaan.



Kuva 13.46
 Voimien siirto kiinnitysteräksen ja betonin välillä.
 Laskentamalli.
 (1) Teräspiena
 (2) Laakerilevy
 (3) Perusturuuvi

Håkons Hall, Lillehammer, Norja.
Arkkitehti: Østgaard Arkitekter A/S.
Kuva: Egil Bjerke

14. Palotekninen mitoitus

14.1 Liimapuu ja tulipalo 183

14.2 Palovakuutus 183

14.3 Normien palotekniset vaatimukset 183

14.4 Kantavien puurakenteiden palotekn. mitoitus 185

14.4.1 Tyyppihyväksytyt tuotteet 185

14.4.2 B10 mitoitus 185

14.4.3 Laskentamenetelmät 185

14.4.4 Mitoitus palon luonnollisen kehittymisen
yhteydessä 186

14.4.5 Vaadittava poikkileikkauskorkeus 187

14.5 Kiinnitysdetaljiin ja liitosten palonkestävyys 188

14.5.1 Liitokset 188

14.5.2 Pilarin perustusliitos 190

14.5.3 Pilarin yläpää 191

14.5.4 Sekundääripalkin liitos 192

14.5.5 Palkkijatkos 192

14.5.6 Harjaliitos 192

14.5.7 Teräksiset vetotangot 194

14.5.8 Paloeristys 194

Mikkelin paloasema.

Liimapuiset pilarit. Pilarikenkäliitokset on piilotettu.

Arkkitehti: Arkkitehtitoimisto Ark'Ida/J.P. Tuomainen, Pia Sopanen,
Ilkka Svärd ja Tuomo Sinkko.

Rakennesuunnittelu: Konstru Oy

Kuva: Mikko Junninen

14. Palotekninen mitoitus

Puu on palava materiaali. Monet tuhoiset tulipalot ovat jättäneet jälkensä palolainsäädäntöön ja palomääräyksillä on rajoitettu eri tavoin puun käyttöä rakennuksissa.

Kokemukset ovat myös osoittaneet, että järeät puurakenteet säilyttävät kantavuutensa hyvinkin pitkään palotilanteessa. Nykyiset määräykset sallivatkin liimapuurakenteiden käytön rakennuksissa, joille asetetaan korkeat palotekniset vaatimukset. Tämä näkyy myös vakuutusyhtiöiden hinnoittelussa, jossa liimapuurunko yleensä rinnastetaan betonirunkoon. Paloviranomaisten myönteinen suhtautuminen liimapuurunkoon perustuu muun muassa siihen, että sammutusmiehistö voi helposti todeta hiiltymisen etenemisen ja päätellä, paljonko kantokyvystä on jäljellä.

14.1 Liimapuu ja tulipalo

Kun liimapuurakenne alkaa palaa, sen pinnat syttyvät. Palaminen etenee tasaisesti puun sisään. Eteneminen on kuitenkin hidasta, koska palossa muodostuva hiilikerrok toimii lämpöeristeenä ja estää jossain määrin palamisvyöhykkeen hapeensaantia. Palaminen on nopeampaa halkeamien ja ruuvien tai muiden metallisten liitososien kohdalla. Sen sijaan liimasaumojen palonkesto on parempi kuin puumateriaalin ja ne pysyvät käytännöllisesti katsoen aina vahingoittumattomina rakenteen palamattomissa osissa.

Järeissä puurakenteissa palamattomien osien lämpötila pysyy alle 100 °C myös pitkään jatkuvassa palotilanteessa. Siksi palon aikaiset lämpöliikkeet jäävät huomattavasti pienemmiksi kuin teräsrungossa, jossa lämpölaajeneminen on usein syynä sekundäärisiin vahinkoihin esimerkiksi tukiosissa ja liittyvissä muuratuissa rakenteissa. Liimapuurakenteeseen ei palon yhteydessä tule myöskään yhtä suuria muodonmuutoksia kuin suojaamattomaan teräsrakenteeseen. Siksi liimapuurunkoisen rakennuksen kokonaisvahingot ovat tulipalossa yleensä pienemmät kuin teräsrunkoisen rakennuksen.

Jos rakennusta joudutaan purkamaan, voi moottorisahan ja yksinkertaisten käsityökalujen käyttö säästää huomattavasti aikaa ja rahaa.

14.2 Palovakuutus

Palovakuutusmaksut määritellään Suomessa kohdekohtaisesti vakuutusyhtiön oman hinnoittelujärjestelmän mukaisesti.

Rakennusrungon materiaalin valinta vaikuttaa usein ratkaisevasti palovakuutusten hintoihin. Yksittäisessä tapauksessa vakuutusyhtiö ottaa huomioon toiminnan luonteen, rakennustavan, palotekniset ominaisuudet ja suojaustason vakuutusmaksua arvioidessaan. Sen lisäksi vakuutusmaksun suuruuteen vaikuttavat muun muassa etäisyys lähimpään palokuntaan, veden saatavuus ja palon leviämiskahva.

14.3 Normien palotekniset vaatimukset

Useimmissa normeissa, myös pohjoismaisissa, on rakennustekniset palosuojausvaatimukset. Niissä luokitellaan rakennusten palotekniset vaatimukset ja rakennuksiin sisältyvien rakennusosien, materiaalien ja pintaverhousten palotekniset luokat. Palon varhaisessa vaiheessa ennen kaikkea kattojen, seinien ja lattioiden pintakerroksilla on paloturvallisuuden kannalta suuri merkitys. Erityisesti tämä koskee poistumisteiden pintakerroksia. Kantavien ja osastoivien rakennusosien palotekniset ominaisuudet taas ovat tärkeitä täysin kehittyneessä palotilanteessa. Näistä ominaisuuksista riippuu rakennuksen stabiileetti sekä palon leviäminen rakennuksen muihin osiin tai ympäröiviin rakennuksiin.

Tietyille rakennusosalle asetettavat vaatimukset riippuvat vakavien henkilövahinkojen riskistä ja siitä, menettääkö rakennusosa rakenteellisen toimintakykynsä palon aikana. Eniten vaikuttavat rakennuksen koko, kerrosluku ja käyttötarkoitus. Jos rakennukseen asennetaan automaattinen sammutusjärjestelmä (sprinkler), paloviranomaiset voivat tietyissä tapauksissa lieventää lähinnä pintamateriaaleihin kohdistuvia vaatimuksia.

Kantavat rakenteet on muotoiltava ja mitoitettava siten, että varmuus murtoa vastaan on riittävä myös palotilanteen kuormien aiheuttamissa rasituksissa. Nämä perusperiaatteet pätevät kaikissa Pohjoismaissa, vaikka ohjeistuksen käsitteissä ja yksityiskohdissa on eroja. Vaatimukset voidaan täyttää joko valitsemalla paloteknisesti luokiteltuja rakenteita tai mitoittamalla rakenteet oletettuun palonkehitykseen perustavalla menetelmällä (simulointi). Normaalisti kantavuus tarkistetaan pienemmälle kuormitus- tasolle kuin mitoitettaessa rakenteet normaalin käyttötilanteen mukaan esimerkiksi muuttuvien kuormien osalta.

Suomessa rakennukset luokitellaan kolmeen palotekniseen luokkaan:

- Paloluokkaan P1 kuuluvan rakennuksen kantavien rakenteiden oletetaan pääsääntöisesti kestävän palossa sortumatta.
- Paloluokkaan P2 kuuluvan rakennuksen kantavien rakenteiden vaatimukset voivat olla paloteknisesti edellisen luokan tasoa matalampia. Riittävä turvallisuus saavutetaan asettamalla vaatimuksia erityisesti pintakerrosten ominaisuuksille.
- Paloluokkaan P3 kuuluvan rakennuksen kantaville rakenteille ei aseteta erityisvaatimuksia palonkeston suhteen.

Kantavien ja osastoivien rakennusosien palotekninen luokitus ilmaistaan Euroopan unionin alueella yhteistä järjestelmää noudattaen kolmella merkinnällä, joista jokainen vastaa yhtä toiminnallista vaatimusta:

- R kantavuus
- E tiiviys (savua ja palokaasuja vastaan)
- I eristävyys

Merkintöjä täydentää numeromerkintä, joka ilmaisee minuuteissa sen ajan, jonka kyseinen rakennusosa kestää standardipalossa menettämättä toimintakykyään, esimerkiksi R30, E15 tai I90. Merkintöjä voi yhdistellä eri tavoin. Palotekninen luokka rakennusosalle, jolta vaaditaan sekä kantavuutta että osastoivuutta, merkitään RE tai REI. Luokittelussa määräävänä tekijänä on vain se aika, jona rakennusosa palotilanteessa pystyy täyttämään toiminnallisuutensa, ei rakennusosan materiaalit.

Pintakerrokset luokitellaan sen mukaan, miten ne palon aikana kykenevät hidastamaan tai

estämään syttymistä ja savunmuodostusta. Luokituksen nimitykset vaihtelevat eri Pohjoismaissa, mutta ne perustuvat samoihin koestusmenetelmiin. EU:ssa on vahvistettu pintakerroksille ja materiaaleille yhteiset luokat, joiden rinnalla toistaiseksi voidaan käyttää kansallisia luokituksia. Euroluokat ovat A, B, C, D, E ja F.

Liimapuupalkit ja -pilarit sisältyvät yleensä rakennusosiin, joilla on kantava ja/tai osastoiva tarkoitus. Usein liimapuurakenteita käytetään osana katon tai seinän näkyvää pintaa. Norjan ja Ruotsin viranomaiset sallivat liimapuun käytön kaikentyyppisten rakennusten, myös kerrostalojen, kantavina palkkeina ja pilareina, mutta asettavat pintakerroksille rajoituksia. Sen sijaan Suomessa määräykset ovat tiukemmat, eikä yli neljäkerroksisissa rakennuksissa saa käyttää puurunkoa.

Käytännössä samassa katto- tai seinäpinnassa esiintyy useampia materiaaleja, joilla on keskenään eri palo-ominaisuudet. Tyypillinen arviointiongelma syntyy, kun esteettisistä tai muista syistä halutaan liimapuurunko kokonaan tai osittain näkyville. Tällä hetkellä ei ole olemassa dokumentoitua tietoa siitä, miten pinta, joka on vain osittain palava, käyttäytyy palon leviämisen ja syttymisen suhteen. On kuitenkin ilmeistä, että kaukana toisistaan olevat pienet paljaat liimapuupinnat eivät juuri vaikuta muilta osin palamattoman pinnan palotekniseen toimintaan. Viranomaisohjeiden mukaan vähäisille rakennusosille voidaan sallia lievennyksiä pintakerrosten vaatimuksissa.

14.4 Kantavien puurakenteiden palotekninen mitoitus

14.4.1 Tyyppihyväksytyt tuotteet

Paloteknistä mitoitusta tehtäessä voidaan kantava runko muodostaa paloteknisesti tyyppihyväksytyistä rakennusosista. Rakennukselta vaadittava paloluokka on esitetty voimassa olevissa normeissa, ja se siis riippuu rakennuksen käyttötarkoituksesta, korkeudesta, palokuorman määrästä sekä rakennusosan merkityksestä koko rakenteen kantavuudelle.

Tyyppihyväksyntä perustuu palokokeisiin tai laskelmiin tai näiden yhdistelmiin. Laskelmissa arvioidaan rakennusosan kapasiteettia standardipalokäyrää vastaavan palon vaikuttaessa rakenteisiin. Standardipalokäyrä on kansainvälisesti sovittu standardi, jota käytetään kaikissa palokokeissa.

14.4.2 B10 mitoitus

B10 määrittelee paloteknisen mitoituksen perusteissa kuormien vähennykset, kuorman ja materiaalin osavarmuuskertoimet ja hiiltymisnopeuden. Rakennusosan murtorajatilaa vastaava kantokyky määritetään kyseisen palonkestoajan jälkeen hiiltymättä jääneelle poikkileikkaukselle. Paloteknisessä mitoituksessa käytetään palotilanteessa määriteltyjä puun lujuuden arvoja, jotka on annettu B10:ssä.

14.4.3 Laskentamenetelmät

Mitoitusmenetelmät, jotka on esitetty luvuissa 14.4.3-5 ja 14.5 on mukaeltu Eurocode 5:n esinormin menetelmää (ENV 1995-1-2). Niiltä osin, kun EC5:ssä ei ole vastaavia ohjeita, mitoitusmenetelmää ei välttämättä hyväksytä Suomessa.

YKSINKERTAISTETTU MENETELMÄ

Yksinkertaistetun menetelmän mukaan tehollinen jäännöspoikkipinta-ala lasketaan vähentämällä tehollinen hiiltymissyvyys alkuperäisestä poikkileikkauksesta kaikilla niillä sivuilla, joihin palo vaikuttaa (katso kuva 14.1). Tehollinen palamissyvyys on summa todellisesta palamissyvyydestä ja vyöhykkeestä, jolla lujuus ja jäykkyys ovat vähentyneet voimakkaasti. Tämän vyöhykkeen sisäpuolella oleva rakenneosa oletetaan palossa vahingoittumattomaksi. Jäännöspoikkileikkaus lasketaan suorakaidepoikkileikkauksena ottamatta huomioon nurkien pyöristystä, jota aina käytännössä esiintyy.

Tehollinen palamissyvyys lasketaan kaavalla:

$$d_{ef} = d_{char} + d_0 \quad (14.1)$$

jossa $d_{char} = \beta_0 \cdot t$ = todellinen hiiltymissyvyys millimetreinä

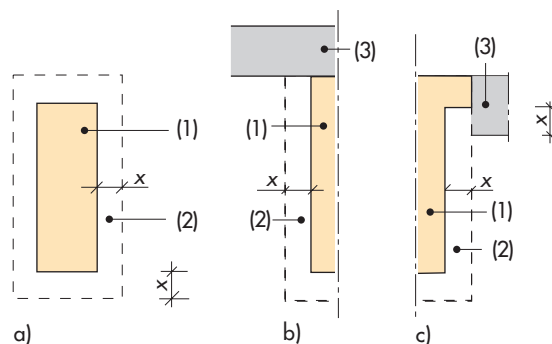
$$\beta_0 = 0,7 \text{ mm/min kuusi- tai mäntyliimapuulle}$$

$$t = \text{palon kesto minuutteina}$$

$$d_0 = \text{vyöhyke, jossa lujuus on voimakkaasti alentunut} = 0,35t \text{ mm, kuitenkin enintään } 7 \text{ mm.}$$

Yhtälö edellyttää, että hiiltymissyvyys:

$$\beta_0 \cdot t \leq \min \left\{ \begin{array}{l} b / 4 \\ h / 4 \end{array} \right.$$



Kuva 14.1

Tehollinen jäännöspoikkileikkaus palon jälkeen (1), alkuperäinen poikkileikkaus (2). Vasemmalla neljälle sivulle kohdistuva palo. Oikealla kolmelle sivulle kohdistuva palo, jossa yläpinta on suojattu rakenteilla, joilla on suurempi palonkesto (3).

Tämän jälkeen lasketaan redusoidun tehollisen poikkileikkauksen poikkileikkaussuureet. Lopuksi lasketaan kestävyys samalla tavalla kuin murtorajatilaa mitoitettaessa (katso luku 3.2.5).

Kaavan 3.3 materiaalin osavarmuuskertoimiksi asetetaan ($\gamma_n =$) $\gamma_m = 1,0$ mitoitettaessa rakenne palotilanteessa. Myös korjauskertoimelle, joka ottaa huomioon kosteusluokan ja kuorituksen aikaluokan, käytetään arvoa $k_{mod} = 1,0$. Käytännössä siis lasketaan jäykkyyden ja lujuuden osalta redusoimattomilla ominaisarvoilla ja oletetaan kuorman vaikutusaika hetkelliseksi.

TARKENNETTU MENETELMÄ

Tarkennetun menetelmän mukaan lasketaan ”todellinen” jäännöspoikkileikkaus ilman yllä kuvattua heikentynyttä vyöhykettä. Sen sijaan jäykkyyden- ja lujuusominaisuudet redusoidaan lämpövaikutuksen mukaan.

Jäännöspoikkileikkaus voidaan yksinkertistetun menetelmän tapaan arvioida suorakaiteeksi tai laskea tarkemmin ottamalla huomioon nurkkien pyöristyminen.

Edellisessä tapauksessa (suorakaiteen muotoinen poikkileikkaus) hiiltemissävyys lasketaan kaavan 14.1 mukaan käyttämällä arvoa $d_0 = 0$.

Jälkimmäisessä tapauksessa (nurkistaan pyöristynyt poikkileikkaus) hiiltemissävyys lasketaan kaavan 14.2 mukaan:

$$d_{char} = 0,64 \cdot t \quad (14.2)$$

Nurkkien oletetaan pyöristyvän ajan suhteen kasvavan ympyrän muotoon seuraavan kaavan mukaisesti:

$$r = \begin{cases} 0,67 \cdot t \text{ mm} & \text{kun } t \leq 30 \text{ min} \\ 0,33 \cdot t + 10 \text{ mm} & \text{kun } t > 30 \text{ min} \end{cases} \leq \min \begin{cases} 0,5 \cdot b_{rest} \\ 0,5 \cdot h_{rest} \end{cases} \quad (14.3)$$

Poikkileikkaussuureet voidaan laskea seuraavilla kaavoilla:

$$A_{rest} = b_{rest} \cdot h_{rest} - 0,86 \cdot r^2 \quad (14.4)$$

$$I_{rest} = 0,0833 \cdot b_{rest} \cdot h_{rest}^3 - 0,215 \cdot r^2 \cdot h_{rest}^2 + 0,192 \cdot r^3 \cdot h_{rest} - 0,073 \cdot r^4$$

Laskentalujuus lasketaan molemmissa tapauksissa (suorakaide tai pyöristyneet nurkat) seuraavalla kaavalla:

$$f_{fi,d} = k_{mod,fi} \frac{k_{fi} \cdot f_k}{\gamma_{n,fi} \cdot \gamma_{m,fi}} \quad (14.5)$$

Jäykkyyden laskenta-arvot määritellään vastaavalla tavalla.

Osavarmuuskertoimissa $\gamma_{n,fi}$ ja $\gamma_{m,fi}$ voidaan käyttää arvoa $\gamma_{fi} = 1,0$. Kertoimen k_{fi} arvoksi asetetaan $k_{fi} = 1,15$. Tämä kerroin liittyy turvallisuuskysymyksiin sekä siihen, että palomitoituksessa saa käyttää 20%-fraktiileja, kun taas normeissa käytetyt ominaislujuusarvot (f_k) tavallisesti vastaavat 5%-fraktiileja. Korjauskerroin $k_{mod,fi}$ ottaa huomioon lämpötilan vaikutuksen lujuuteen ja jäykkyyteen, ja se lasketaan kaavalla:

$$k_{mod,fi} = 1,0 - k \frac{p}{A_{rest}} \quad (14.6)$$

jossa $k = 0,008$ puristuslujuuden osalta
 $0,005$ taivutuslujuuden osalta
 $0,003$ vetolujuuden ja
kimmomoduulin osalta,

p = jäännöspoikkileikkauksen
palovaikutuksen alaisen osan piiri
metreinä,

A_{rest} = jäännöspoikkileikkauksen pinta-ala
neliömetreinä.

14.4.4 Mitoitus palon luonnollisen kehittymisen yhteydessä

Tyypipihväsyttyjen materiaalien vaihtoehtona voidaan käyttää tarkennettua menetelmää, jossa standardipalokäyrän asemasta lähtökohtana on niin sanottu luonnollinen (tai parametrinen) palon kehittyminen. Toisin kuin standardipalo, se määritetään ottamalla huomioon palavan tilan geometria ja ilmanvaihto sekä sisustuksen ja ympäröivien rakenteiden materiaalit (palo-kuorma).

Yleensä vaaditaan, että rakenteen kestävyys säilyy palotilanteen kuormille koko tarvittavan palonkestoajan. Näin ollen tulee ottaa huomioon myös jäähtymisvaiheen vaikutus. Jäähtymisvaiheen jälkeinen hiiltemissyvyys lasketaan seuraavan kaavan avulla:

$$d_{char} = 2\beta_{par} \cdot t_0 \quad (14.7)$$

jossa

$$\beta_{par} = 1,05 \frac{5F - 0,04}{4F + 0,08}$$

F = aukkoeroin (m^{1/2})

t_0 = 0,006 $q_{t,d}/F$ = palon kesto (minuutteina)

$q_{t,d}$ = palokuorma megajouleina palavan tilan huoneistoalan neliömetriä kohden (MJ/m²).

Yllä olevat kaavat pätevät, jos $d_{char} \leq b/4$ ja $d_{char} \leq h/4$, jossa b ja h ovat alkuperäisen poikkileikkauksen leveys ja korkeus, ja aukkoeroin on välillä $0,02 \leq F \leq 0,3 \text{ m}^{1/2}$.

Lisäksi edellytetään, että palava materiaali on pääasiassa puuta ja sen palonkesto t_0 on korkeintaan 40 minuuttia. On huomattava, että yllä oleva ilmaisu d_{char} sisältää koko palotapahtuman, mukaan lukien jäähtymisvaiheen.

Lujuuden muuntokerroin jäähtymisvaiheen alimmalle arvolle lasketaan kaavasta:

$$k_{mod,fi} = 1 - 3,2d_{char} / b \quad (14.8)$$

jossa b = palkin leveys ennen paloa.

Yllä olevien yhtälöiden avulla voidaan liimapuupalkkien palotekninen mitoitus tehdä seuraavissa vaiheissa. Erikoiskäsitteiden (aukkoeroin, palokuorma jne.) määrittelyn ja alla kuvattujen vaiheiden 1-3 osalta tarkempia tietoja saa alan kirjallisuudesta:

1. Määritä huoneisto- tai rakennustyyppin laskennallinen palokuorma.
2. Laske palavan tilan aukkoeroin.
3. Korjaa yllä mainittu palokuorma ja aukkoeroin, jos palavan tilan termiset ominaisuudet poikkeavat standardipalotilasta.

4. Laske hiiltemissyvyys d_{char} kaavan 14.7 mukaisesti.

5. Laske kyseessä olevan rakenneosan jäännös-poikkileikkauksen poikkileikkausarvot. Ne lasketaan ottamatta huomioon nurkkapyörityksiä.

6. Laske jäännös-poikkileikkauksen kapasiteetin mitoitusarvo R_d murtorajatilassa. Tässä tulee käyttää kaavan 14.8 mukaista kerrointa $k_{mod,fi}$ laskenta-arvoa määritettäessä.

7. Määritä palotilanteen kuorma S_d

8. Tarkista, että mitoitusehto $R_d \geq S_d$ täyttyy.

14.4.5 Vaadittava poikkileikkauskorkeus

Yhdistämällä kaksi mitoitusilannetta – palotilanne ja normaalitilanne – on määriteltävissä kaava, jolla voidaan laskea, kuinka paljon poikkileikkausvakiota saa redusoida palotilanteessa ilman, että palotilanne tulee mitoittavaksi. Tämän kaavan avulla voidaan edelleen johtaa kaava, jolla lasketaan, mikä (redusoimaton) poikkileikkauskorkeus vaaditaan annetuilla edellytyksillä koskien hyväksikäyttöastetta, osavarmuuskertoimia jne., jotta palotilanteesta ei tulisi mitoittava.

Taivutusrasitetulle suorakaiteen muotoiselle poikkileikkaukselle, joka on neljältä sivulta palovaikutuksen alaisena, saadaan vaadittavan poikkileikkauskorkeuden suhteen seuraava kaava:

$$h_{req} = \frac{2d}{1 - \sqrt{\frac{b}{b-2d} \cdot \frac{K_{fi}}{K_0}}} \quad (14.9)$$

jossa b , h_{req} = poikkileikkausmitat ennen paloa

d = hiiltemissyvyys d_{ef} tai d_{char}

K_0 = poikkileikkausvakio (taivutusvastus) ennen paloa

K_{fi} = poikkileikkausvakio (taivutusvastus) palon jälkeen

K_{fi}/K_0 = korjauskerroin kaavan 14.10 mukaan.

Jos palo vaikuttaa kolmelle sivulle kuvan 14.1 mukaisesti, käytetään puolikkaita arvoja.

Osamäärä K_{fi}/K_0 voidaan laskea seuraavilla kaavoilla:

$$\frac{K_{fi}}{K_0} = \mu \frac{k_{mod}}{k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \gamma_m \cdot \gamma_n} \cdot \frac{(\Psi + G_k / Q_k)}{(\gamma_q + \gamma_g G_k / Q_k)} \quad (14.10)$$

jossa μ = käyttöaste murtorajatilassa mitoitettaessa, kun palon vaikutusta ei oteta huomioon

k_{mod} = muuntokerroin, joka ottaa huomioon kosteusluokan ja kuormituksen aikaluokan voimassa olevien määräysten mukaisesti

$k_{fi}, k_{mod,fi}$ määritetään kaavan 14.5 yhteydessä
 γ_g, γ_q = omapainon ja muuttuvan kuorman osavarmuuskertoimet

γ_m, γ_n = osavarmuuskertoimet, jotka ottavat huomioon materiaalityypin ja mahdollisen turvaluokan

G_k, Q_k = pysyvän ja muuttuvan kuorman ominaisarvot

Ψ = muuttuvan kuorman muuntokerroin.

14.5 Kiinnitysdetaljien ja liitosten palonkestävyys

Vaikka itse liimapuuelementeillä on erittäin hyvät palotekniset ominaisuudet, niiden teräksestä tehty liitoskohdat muodostavat paloteknisesti heikkoja kohtia. Ne on yleensä palosuojattava, jos halutaan rakenteen kokonaisuudessaan täyttävän tietyn paloteknisen luokan.

Normin EC 5 osissa 1–2 on määräyksiä sekä palosuojattujen että suojaamattomien naula- ja ruuviliitosten kantavuuden laskemisesta palotilanteessa.

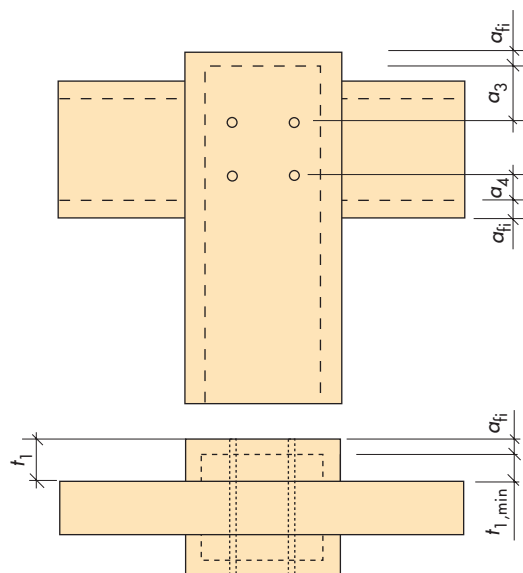
Tällä hetkellä ei ole olemassa tarkennettuja menetelmiä monimutkaisten liitosdetaljien palon aikaisen toimintatavan ja kantavuuden las-

kemiseksi. Sen sijaan on runsaasti dokumentoituja palokokeita, jotka voivat olla arvioinnin perustana. Alla olevat esimerkit on pääosin poimittu teoksesta Holz Brandschutz Handbuch (Kordina & Meyer-Ottens. Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e. V., München 1983).

14.5.1 Liitokset

Teräskiinnikkeiden (tappien, ruuvien, vaarnojen) samoin kuin teräsrakenteidenkin, kestävyys voidaan olettaa vähenevän lämpötilan noustessa. Lisäksi voidaan olettaa, että kiinnikkeen ja hiiltyneen puun välillä voiman siirtymistä ei voida ottaa huomioon. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että voimia siirtävät liitokset yleensä täytyy palosuojata esimerkiksi taulukon 14.3 mukaisesti, jos halutaan saavuttaa korkeampi palotekninen luokka kuin R30.

Normin EC 5 mukaan voidaan olettaa, että symmetriset, leikkausvoimakuormitetut liitokset, joissa on puu puuta vasten tai puu metallia vasten, täyttävät R15-vaatimukset ilman erityisiä suojatoimenpiteitä. Metallisten välikappaleiden, esimerkiksi upotettujen teräslattojen, paksuudeksi oletetaan tällöin vähintään 2 mm



Kuva 14.2
Suojaamattomien liitosten mittojen kasvattaminen, kun paloluokka ylittää R15.

ja pintaan asennettavien paksuudeksi vähintään 6 mm.

Suojaamattomat pintaan asennetut puiset sivukappaleliitokset voivat saavuttaa korkeamman paloluokan kuin R15, jos kasvatetaan niitä reunaetäisyyksiä (a_3) ja keskinäisiä etäisyyksiä (a_4), joita vaaditaan, kun mitoitetaan etäisyyttä a_{fi} (mm) ottamatta paloa huomioon (katso kuva 14.2):

$$a_{fi} = 0,7(t_{fi,req} - 15) \quad (14.11)$$

jossa $t_{fi,req}$ = vaadittava palonkesto-aika minuutteina.

Sivukappaleiden paksuuden on lisäksi täytettävä ehto:

$$t_1 \geq \max \begin{cases} t_{fi,req} / (1,25 - \eta) \\ 1,6t_{fi,req} \\ t_{1,min} + a_{fi} \end{cases} \quad (14.12)$$

jossa $t_{fi,req}$ = vaadittava palonkesto-aika minuutteina

$t_{1,min}$ = vaadittava sivukappaleiden paksuus, kun paloa ei oteta huomioon mitoituksessa

$\eta = S_d / R_d$ = liitoksen käyttöaste normaali-lämpötilassa

S_d, R_d = liitoksen mitoittava kuorma ja vastaavasti kestävyys, kun paloa ei oteta huomioon mitoituksessa.

Paloluokka R30 ja sitä korkeampi luokka voidaan saavuttaa rajoittamalla käyttöastetta η siten, että ehto 14.13 täytetään. Tähän päästään lisäämällä liitoselimiä tai valitsemalla vahvempia liitoselimiä:

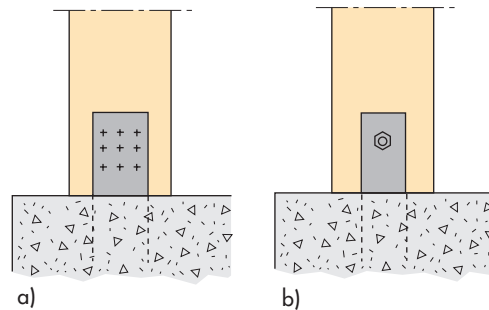
$$\eta \leq \eta_{30} \left(\frac{30}{t_{fi,req}} \right)^2 \quad (14.13)$$

jossa h_{30} haetaan taulukosta 14.1. Taulukosta ilmenee myös kiinnikkeiden pituus, vaarnoilla varustettujen ruuviliitosten osalta ruuvien vähimmäishalkaisija sekä keski- ja pintakappaleiden vähimmäispaksuus.

Taulukko 14.1

Kerroin η_{30} ja kiinnikkeen vaadittava pituus (l) sekä pintateräslävyn ja upotetun teräslävyn vaadittavat paksuudet (t_1) ja (t_2).

Kiinniketyyppi		η_{30}	Mitat
Tappi	Puu puuta vasten	0,80	$l \geq t_1 + t_2 + 8d$ $t_1/d \leq 16$
	Puu terästä vasten	1,00	$l \geq 90 \text{ mm}$
Vaarna	Puu puuta vasten	0,80	$l \leq 2t_1 + t_2$ $l \geq t_2 + 2 \times 3d$
	Puu terästä vasten	1,00	$l \leq 2t_1 + t_2$ $l \geq t_2 + 2 \times 3d$
Ruuvi vaarnalla tai ilman			$t_1 \geq 75 \text{ mm}$ $d \geq 12 \text{ mm}$

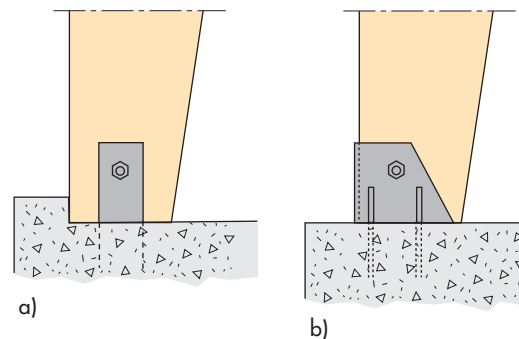


Kuva 14.3

Pilarin niveellinen tuenta perustukseen.

a) Naulauslevy valettu perustukseen: R60.

b) Lattateräs valettu perustukseen ja ruuvikiinnitys: R60.



Kuva 14.4

Kehäpilarin niveellinen tuenta perustukseen

a) Käyttämällä betonituenta: R60

b) Teräskenkä: R30.

14.5.2 Pilarin perustusliitos

PILARIN NIVELELLINEN PERUSTUSLIITOS

Pilarin nivelellisen perustusliitoksen, jossa voiman siirtyminen perustukseen tapahtuu pääasiassa puristuspinnan kautta (esim. kuvien 14.3a tai b mukaisesti), voidaan katsoa täyttävän luokan R60 vaatimukset ilman erityistä palosuojausta. Myös esiintyvät vaakavoimat on kuvan 14.4a mukaisesti otettava vastaan puristuksella betonia vastaan, jotta luokan R60 vaatimukset täyttyisivät ilman erityistoimenpiteitä. Kuvan 14.4b mukainen teräskengällä varustettu pilarin perustusliitos, joka on yleinen ratkaisu kolminivelkehien yhteydessä, kuuluu luokkaan R30 ilman palosuojausta.

PILARIN JÄYKÄSTI KIINNITETTY PERUSTUSLIITOS

Kuvan 14.5a mukaisen betonisen pilariholkin voidaan katsoa täyttävän R60-vaatimukset ilman erityistä palosuojausta.

Jäykästi kiinnitetty pilarijalka, jossa on kuvan 14.5b mukaisesti liimatut ruuvit, voidaan arvioida luokkaan R30 tai R60. Ruuvien reunaetäisyys valitaan siten, että ne jäävät tehollisen jäännöspoikkileikkauksen sisään. Jos käytetään ulkopuolista teräsholkkia, se on palosuojattava.

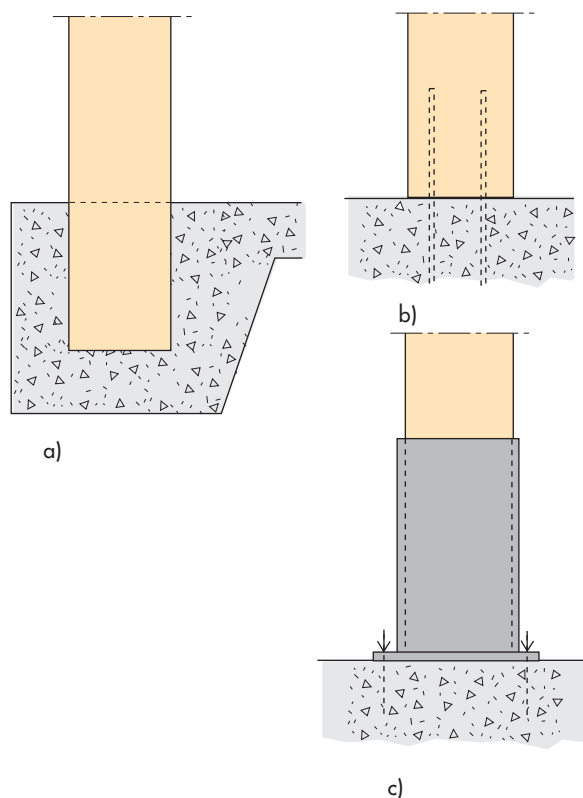
Kuvan 14.5c mukainen teräksinen pilariholkki täytyy palosuojata (katso esimerkiksi taulukko 14.3), jos sille asetetaan paloluokkavaatimuksia.

Käytettäessä teräslevykiinnityksiä ne on palosuojattava esimerkiksi taulukon 14.3 mukaisesti, jos liitokselle asetetaan paloluokkavaatimuksia. Vaarnatapppien tai ruuvien etäisyys reunasta valitaan siten, että ne jäävät tehollisen jäännöspoikkileikkauksen sisään.

14.5.3 Pilarin yläpää

Kuvan 14.6a mukaista betonihaarukkaa voidaan pitää R60-vaatimusten mukaisena, jos sillä on riittävät mittasuhteet.

Kuvan 14.6b mukainen liimapuuhaarukka



Kuva 14.5

Pilarin jäykä perustusliitos.

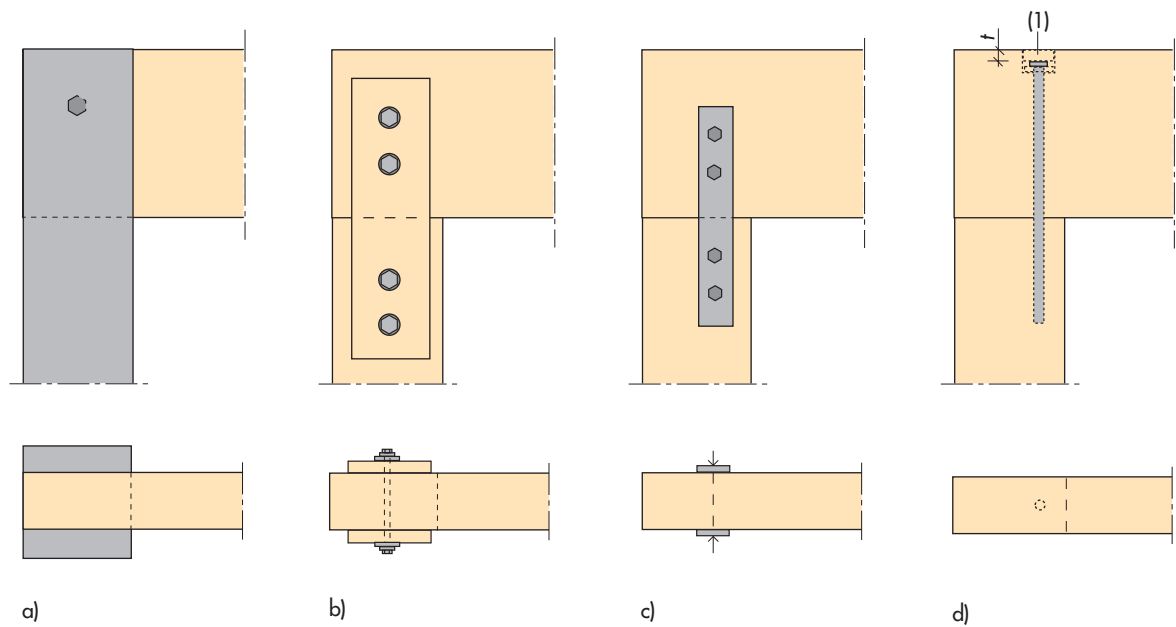
a) Betoninen pilariholkki: R60.

b) Liimattu ruuvi: R30-R60.

c) Teräksinen pilariholkki: palosuojataan.

täyttää saksalaislähteiden mukaan R30-luokan vaatimukset, jos liimapuuhaarukan paksuus on vähintään 25 mm ja palkin leveys vähintään 80 mm, tai R-60 luokan vaatimukset, jos liimapuuhaarukan paksuus on vähintään 40 mm ja palkin leveys vähintään 120 mm. Jos palkin korkeus on enemmän kuin nelinkertainen leveyteen nähden, kasvaa haarukan paksuuden vaatimus kiepahdusriskin takia R30-tapauksessa 80 mm:iin ja R60-tapauksessa 140 mm:iin. Tämä rakenne ei sovellu vaakavoimien siirtämiseen palotilanteessa.

Käytettäessä lattateräskiinnitystä kuvan 14.6c mukaisesti R30-luokan vaatimukset täyttyvät, jos siirrettävänä on ainoastaan alaspäin suuntautuvia pystykuormia ja jos palkin sivusuuntainen stabiliteetti palon aikana turvataan erityistoimenpitein, kuten hyödyntämällä liittyviä katto- tai



Kuva 14.6

Pilari-palkkiliitos

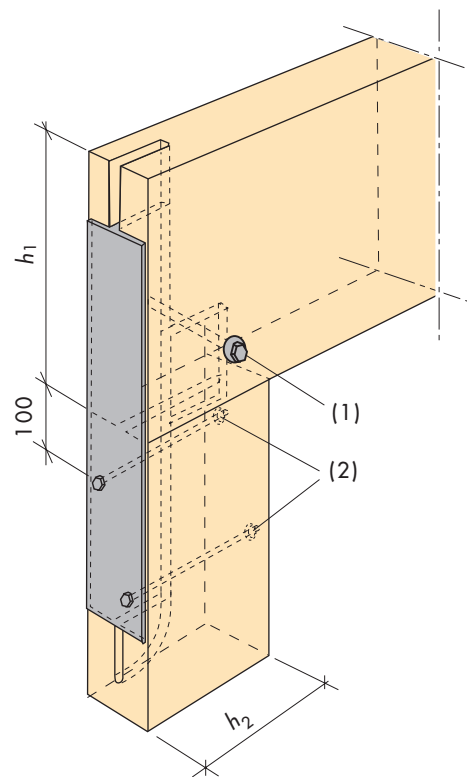
a) Betonihaarukka: R60. b) Liimapuuhaarukka: R30-R60. c) Lattateräskiinnitys: R30. d) Liimattu ruuvi: R30-R60.

seinärakenteita. Luokan R60 saavuttamiseksi vaaditaan taulukon 14.3 mukainen paloeristys.

Vastaava kiinnitys käytettäessä BMF-tyyppiä naulauslevyjä vaatii palosuojaeristuksen myös luokassa R30.

Kuvan 14.6d mukainen liimattu ruuviliitos on palotestattu Suomessa, ja sen katsotaan täyttävän R30- tai R60-vaatimukset. Ruuvien reunaetäisyys valitaan siten, että ruuvit jäävät tehollisen jäännöspoikkileikkauksen sisään. Palkin sivusuuntainen stabiliteetti palon aikana varmistetaan erityistoimenpitein, esimerkiksi katto- tai seinärakenteiden avulla.

Liitos, joka on toteutettu upotetulla T-profiililla (katso kuva 14.7) täyttää saksalaisten normien mukaan luokan R30 vaatimukset, jos palkin leveys on vähintään 120 mm, ja luokan R60 vaatimukset, jos leveys on vähintään 230 mm. Molemmissa tapauksissa upotusuran leveys saa olla enintään 10 mm. Käytettäessä luokassa R60 kapeita palkkeja ($h/b > 4$) T-profiilin takasivu täytyy palosuojata esimerkiksi taulukon 14.3 mukaisesti, jotta upotusuran hiiltymisestä ei seuraisi stabiliteettiongelmia.



Kuva 14.7

Pilari-palkkiliitos, jossa on käytetty upotettua T-profiilia: R30-R60.

1) Pultti M20 läpi. 2) Pultti M20 läpi ja aluslevyt $d=80$ mm

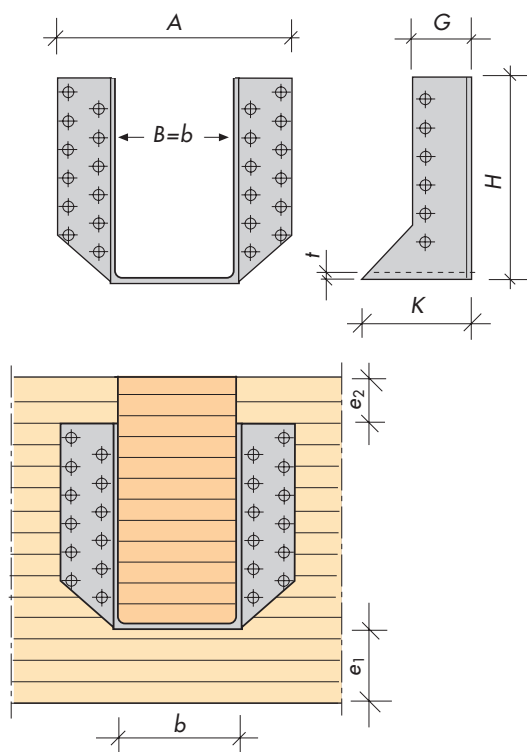
14.5.4 Sekundääripalkin liitos

BMF-tyyppiset palkkikengät (katso kuva 14.8) luokitellaan saksalaisten normien mukaan ilman palosuojausta luokkaan R30, jos käyttöaste on enintään 75 prosenttia. Minimimittojen täytyy kuitenkin olla taulukon 14.2 mukaisia, minkä lisäksi vaaditaan erityispitkiä nauloja, joiden pituus on normaalin 40 mm sijasta 75 mm.

Jos taulukon 14.2 minimimitat täyttyvät, samaan paloluokkaan lasketaan myös palkkikengät, joissa on kuvan 14.9 mukaiset sisään-taivutetut kiinnityslaipat,

Kuvan 14.10 mukaisessa pilariliitoksessa täytyy reunaetäisyyden e_1 täyttyä paloluokan R30 saavuttamiseksi. e_1 saadaan taulukosta 14.2.

Kuvan 14.11 mukainen palkkiliitos hyväksytään luokkaan R30, jos kuvan mukaiset minimimitat täyttyvät ja palon aikainen pintapaine on alle 1,25 MPa.



Kuva 14.8
Sekundääripalkki on liitetty palkkikengällä, tyyppi BMF: R30.

Taulukko 14.2.

Luokan R30 minimimitat sekundääripalkin liitoksessa, kun käytetään palkkikengätyyppiä BMF

	Käyttöaste ¹⁾ 33%	Käyttöaste ¹⁾ 75%
B (mm)	100	120
A (mm)	170	200
G (mm)	40	44
K (mm)	75	85
t (mm)	2	2
e ₁ (mm)	50	100
e ₂ (mm)	20	30
Naulan pituus (mm)	75	75
Naulojen määrä		
primääripalkissa (lkm)	2x6	2x7
sekundääripalkissa (lkm)	2x12	2x13

1) Palotilanteen sisäisten voimien ja momenttien suhde normaalitilanteen kapasiteetin mitoitusarvoihin prosentteina.

14.5.5 Palkkijatkos

Ruuvattu palkkijatkos kuvan 14.12 mukaisena täyttää luokan R30 ehdot ilman paloeristystä, jos palon aikainen kuormavaikutus on enintään 65 prosenttia normaalitilanteen kestävydestä.

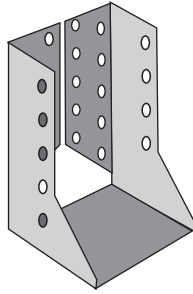
Taulukon 14.3. mukaisella paloeristyksellä täyttyvät luokan R30 ehdot myös jos palotilanteen käyttöaste on 100 prosenttia.

Gerber-jatkoksen teräsosat kuvan 14.13 mukaisina vaativat palosuojausta täyttääkseen paloteknisen luokituksen. Käytettäessä taulukon 14.3 mukaista paloeristystä, täyttyvät R30-vaatimukset, jos käyttöaste palotilanteessa on korkeintaan 65 prosenttia.

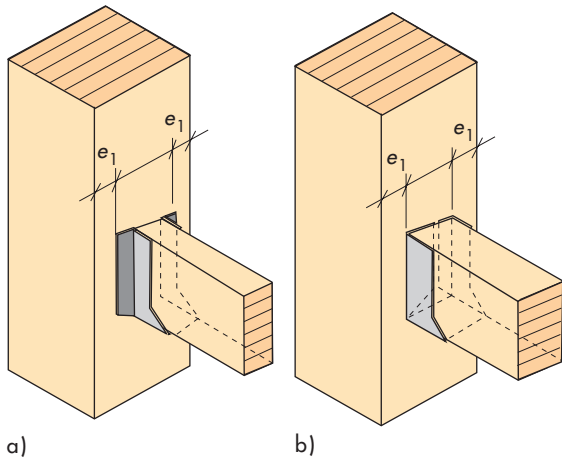
14.5.6 Harjaliitos

Kuvassa 14.14a esitetty naulauslevyin tehty harjaliitos vaatii palosuojauksen taulukon 14.3 mukaisesti, jotta se saavuttaisi paloteknisen luokan R30 tai R60.

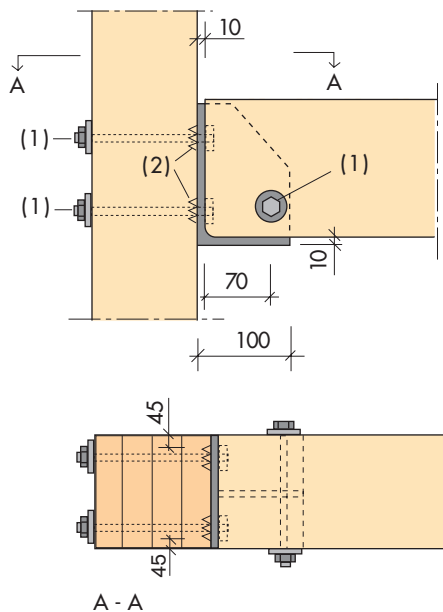
Jos ulkonäköön täytyy kiinnittää erityistä huomiota, voi BMF-tyyppinen harjaliitosteräsosa olla sopiva vaihtoehto (katso kuva 14.14b). Ilman palosuojausta tämä liitos täyttää luokan R30 vaatimukset. Jos palkkien väli täytetään mineraalivillalla (tiheys $\rho = 140 \text{ kg/m}^3$) ja teräsosa sijoitetaan tehollisen jäännösvoikkileikkauksen sisään, liitoksen paloluokka on R60.



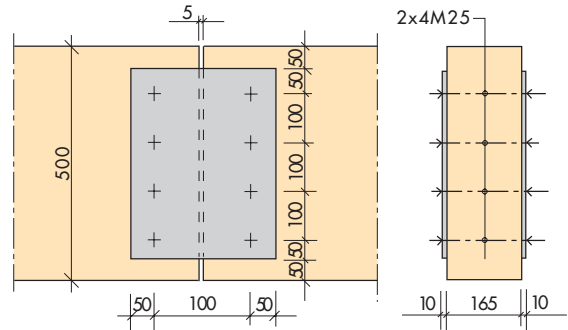
Kuva 14.9
Palkkikenkä, jossa on sisääntaivutetut kiinnityslaipat.



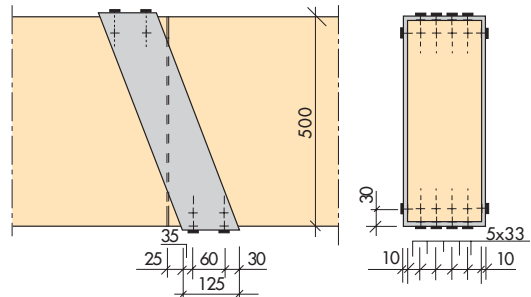
Kuva 14.10
Reunaetäisyys pilari-palkkiliitoksessa, kun käytetään
BMF-tyyppistä palkkikennä.
a) Uloskäännetyt laipat; b) Sisäänkäännetyt laipat.



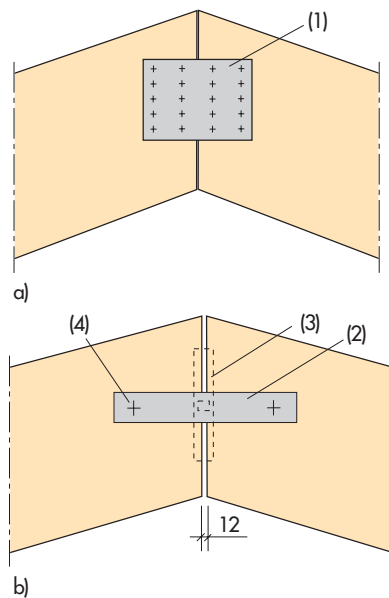
Kuva 14.11
Palkkiliitos, jossa on välilevyllinen teräskonsoli ja
ruuvi kiinnitys: R30.
1) M12. 2) Toispuoleiset Bulldog-aluslevyt



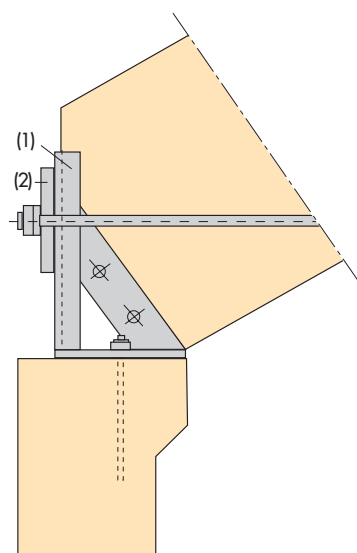
Kuva 14.12
Ruuvattu palkkijatkos: R30.



Kuva 14.13
Gerber-liitos: palosuojataan



Kuva 14.14
Harjaliitos; a) Naulauslevyt (1): palosuojaataan
b) Harjateräsosaliitos tyyppiä BMF (3), lattateräs (2),
ruuvi (4): täyttää luokan R30.



Kuva 14.15
Teräksisen vetotangon kiinnitys: palosuojataan.
UNP-profiili (1), lattateräs (2).

14.5.7 Teräksiset vetotangot

Eristämätön teräksinen vetotanko ei yleensä täytä R30-vaatimuksia. Paloeristys tehdään helpoimmin mineraalivillakourujen avulla. Ne voidaan verhota muoviputkilla, jos esteettiset vaatimukset ovat korkeat.

On huomattava, että vetotangon lämmönnoustusta johtuva venymä on suuri paloeristyksestä huolimatta. Tämä täytyy ottaa huomioon liitosten suunnittelussa.

Kuvan 14.15 mukainen vetotankoliitos paloeristetään paloteknisen luokan saavuttamiseksi. Materiaali- ja eristyspaksuus voidaan valita taulukon 14.3 mukaan.

14.5.8 Paloeristys

Liitokset ja liitosdetaljit, joissa on paljaita teräsoasia, harvoin saavuttavat pidempää palonkestoaikaa kuin 15–20 minuuttia, mikä on yleensä vähemmän kuin liittyvien puuosien palonkestoaika. Siksi teräsosat joudutaan usein suojaamaan palon suoralta vaikutukselta niiden lämpötilan nousun hidastamiseksi. Tähän voidaan käyttää samoja menetelmiä, joita käytetään järeämpien teräsrakenteiden yhteydessä, esimerkiksi palosuojamaalia tai kotelointia palamattomilla levy-

Taulukko 14.3
Esimerkkejä paloeristyksistä

Materiaali	Paksuus (mm)	
	R30	R60
Mineraalivillalevyt ($\rho \geq 140 \text{ kg/m}^3$)	30	70
Palosuojamaali	1)	1)
Normaalilaatuiset kipsilevyt	13	2x13
Kuitusilikaattilevyt ($\rho \geq 450 \text{ kg/m}^3$)	10	20
Liimapuu- tai vanerilevyt	20	50

1) Valmistajan ohjeiden mukaan

materiaaleilla. Teräsosat voidaan myös koteloida puulla tai puuperäisillä levy materiaaleilla. Naulat ja ruuvit upotetaan tavallisesti puurakenteeseen ja kanta peitetään puutulpan avulla.

Taulukossa 14.3 on esimerkkejä eri paloluokissa ja eristysmateriaaleissa vaadittavasta eristyspaksuudesta.

Mineraalivillalevyt ovat halvin vaihtoehto. Vaikka liitosdetaljin pinta olisi epätasainen, se voidaan peittää mineraalivillalla niin, että saadaan tiivis pinta liimapuuta vasten. Mineraalivilla voidaan kiinnittää nauloilla, joissa käytetään isoa aluslevyä kannan alla. Tällöin naulan halkaisijan täytyy olla vähintään 3 mm ja ankkurointisyvyyden puutavarassa vähintään 25 mm. Aluslevyn ja eristyksen kosketuspinnan on oltava vähintään 6 cm².

Naulan etäisyys eristyksen reunasta tai saumasta ei saa olla alle 100 mm. Naulojen keskinäinen etäisyys reunaa tai saamaa pitkin sovitaan niin, että saadaan tiivis kontakti puun ja mineraalivillan välille. Naulaetäisyys ei kuitenkaan saa olla yli 400 mm.

Palosuojamaali on huomattavasti kalliimpaa kuin mineraalivilla. Jos liitosten ulkonäköön täytyy kiinnittää erityistä huomiota, palosuojamaali saattaa olla varteenotettava vaihtoehto. Liitososat maalataan yleensä etukäteen. Jos ne naulataan kiinni, naulojen kannat voidaan jättää maalaamatta, koska maalin kuumentuessa muo-

dostuva hiilivahto suojaa ne. Maalien valmistajan kanssa on varmistettava, että näin käy myös ruuvinkannoille ja muttereille.

Kipsi- ja kuitusilikaattilevyt soveltuvat paloeristykseen hyvin, sillä teräsosat voidaan upottaa tai ne nousevat vain muutaman millimetrin liimapuun pinnasta. Kipsilevy on näistä halvempi ja normaalilaatu riittää eristykseen. Levyt kiinnitetään suoraan liimapuuhun käyttämällä Gyproc-tyyppisiä erikoisnauloja tai -ruuveja. Naulojen ja ruuvien täytyy upota puuhun vähintään 25 mm.

Naulan tai ruuvin etäisyyden levyn reunasta on oltava noin 15 mm. Naulojen keskinäinen etäisyys reunalla ei saa olla yli 150 mm ja ruuvien yli 200 mm. Muuten naula- tai ruuvitiheyden täytyy noudattaa keskimäärin 125 mm keskiöetäisyyttä molempiin suuntiin.

Liimapuu- tai vanerilevyjä voidaan käyttää naulojen tai ruuvien palosuojaamiseen tai ulkonevien detaljien kotelointiin. Upotetut ruuvit voi suojata liimattavilla puutulpilla.

Levyt voidaan naulata tai ruuvata. Paras tapa on naulata ja liimata liimapuupintaa vasten, jolloin voimassa olevien määräysten mukaiset reunan ja keskiöiden vähimmäisetäisyydet ovat samalla levyreunan maksimiarvoja. Muuten naula- tai ruuvitiheyden on noudatettava keskimääräistä 125 mm keskiöetäisyyttä molempiin suuntiin.

15. Voimajohtopylväät

15.1 Rakennetyypit 199

15.2 Mitoitus 199

15.3 Perustaminen 200

15.4 Puunsuojaus 200

Kadunvalaisinpylväät, Östersund, Ruotsi.
Arkkitehti: Jörgen Grönvik Arkitektkontor, Östersund.
Rakennesuunnittelu: Martinsons Trä AB.

Kuva: Gösta Wendelius

15. Voimajohtopylväät

Voima- ja telejohtoverkot tehdään yleensä ilmajohtoina. Vain taajamissa on taloudellisesti perusteltua kaivaa johdot maahan.

Johtoverkoilla on huomattava vaikutus maisemaan. Tähän on viime vuosina kiinnitetty yhä enemmän huomiota, ja viranomaiset pitävät maisema-arvoja tärkeinä päättäessään uusista johtolinjoista.

Nykyinen johtoverkko on pääosin rakennettu luonnonpuisista pylväistä. Suurin osa alle 130 kV:n johtoverkoista on tehty luonnonpuusta. Liimapuupylväät ovat kuitenkin yleistymässä. Kun vanhoja puupylväitä uusitaan, liimapuupylväät ovat usein ainoa vaihtoehto, koska vankkoja luonnonpylväitä on nykyään vaikea saada.

Liimapuisilla voimajohtopylväillä on samat hyvät ominaisuudet kuin pyöreällä puutavarallakin:

- pitkä ikä, vähäinen huoltotarve
- helppo perustaminen
- pienet tehohäviöt pylvään kautta
- miellyttävä ulkonäkö, ympäristöystävällisyys
- alhainen taivutusjäykkyys, mikä mahdollistaa kuorman tasauksen eri jännemitoilla esimerkiksi epätasaisesti jakautuvalle jääkuormalle.

Luonnonpuihin pylväisiin verrattuna liimapuupylväillä on kuitenkin lisäetuja:

- lyhyemmät toimitusajat
- alempi paino samalla kantokyvyllä
- pienempi riski joutua tikkojen aiheuttamien tuhojen kohteeksi.

Liimapuupylväistä on jo yli 50 vuoden kokemus muun muassa USA:ssa. Pohjoismaissa eniten kokemuksia on Norjasta, missä on vuoden 1980 jälkeen tehty yli 6000 liimapuupylvästä. Myös suomalaiset ja ruotsalaiset liimapuutehtaat valmistavat nykyään voimajohtopylväitä.

15.1 Rakennetyypit

Pohjoismaiden ulkopuolella on paljon esimerkkejä rohkeasti muotoilluista liimapuupylväistä, joissa on täydellisesti hyödynnetty liimapuutekniikan tarjoamia vapaan muotoilun mahdollisuuksia. Yleensä on kyse johtolinjoista, jotka kulkevat suhteellisen tiiviisti asutetun alueen läpi ja joiden ulkonäöllä on suuri merkitys. Melko harvaan asutuissa Pohjoismaissa kiinnitetään yleensä huomiota myös rationaaliseen tuotantoon ja taloudellisuuteen. Siksi liimapuurakenteissa yleisimmin käytetyt rakennetyypit ovat samoja kuin perinteisesti luonnonpuisissakin pylväissä käytetyt (katso kuva 15.1):

- yksinkertaiset pylväät
- H-pylväät ristitukien kanssa tai ilman
- A-pylväät

Johtopylväissä käytetty liimapuu valmistetaan samalla tavalla ja samojen sääntöjen mukaan kuin talonrakennusta varten. Pylväät voivat olla hyvinkin korkeita ja niiden poikkileikkaukset suuria. Massiivipylväistä tulee kuitenkin suhteellisen raskaita, joten on usein parasta valita poikkileikkaukseksi H-, T- tai putkimuoto. Kuvassa 15.2 on muutama tavallinen poikkileikkaustyyppi.

15.2 Mitoitus

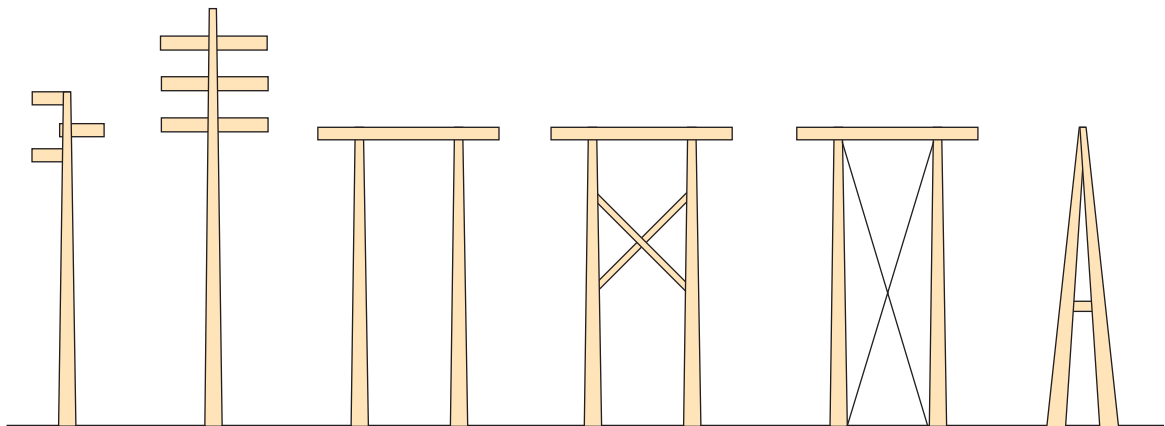
Puhelin- ja valaisinpylväiden mitoituksen lähtökohtana on yleensä käytännön kokemukset, mutta voimajohtopylväät on mitoitettava kantavien rakenteiden normaalien turvallisuusperiaatteiden mukaan. Tällöin otetaan huomioon esiintyvät kuormat ja materiaaliominaisuudet, jotta rakenteiden murtumisvaarasta tulee turvallisuuden kannalta riittävän pieni.

Voimajohdoissa esiintyviä kuormia ovat toisaalta harusten ja muiden rakenneosien aiheuttamat pystysuuntaiset tukireaktiot, toisaalta vaakasuuntaiset tukireaktiot kohtisuoraan voimalinjaan vastaan ja sen suuntaan.

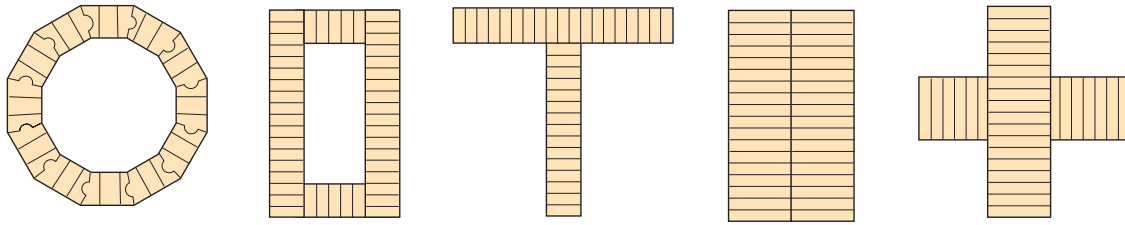
Pysyvä omapaino aiheuttaa pystysuuntaiset tukireaktiot, samoin kuin johtojen päällä oleva muuttuvan lumen ja jään määrä. Muuttuva kuorma sijoitetaan määräävään kuormitusasentoon.

Pylväisiin kohdistuva tuuli aiheuttaa vaakasuuntaisia tukireaktioita toisaalta pylväisiin ja haruksiin, toisaalta harusvoimista johdotuksen vaihtaessa suuntaa. Talvella, kun johdot ovat jään tai lumen peittämiä, voimat saattavat olla merkittäviä.

Voimalinjan suuntaiset vaakasuuntaiset tukireaktiot johtuvat pylväsvälien vaihtelusta ja epäsymmetrisesti muuttuvasta kuormasta, esimer-



Kuva 15.1
Esimerkkejä yleisistä liimapuupylvästyypeistä.



Kuva 15.2
Esimerkkejä poikkileikkausmuodoista.

kiksi silloin, kun toinen liittyvistä jänneväleistä on jään peitossa ja toinen ei. Syynä voi myös olla yhden tai useamman johdon katkeaminen.

Kansallisissa normeissa on määritelty, millaisille johtotyypeistä johtuville kuormille pylväs on mitoitettava.

Esimerkiksi Ruotsissa on erityinen standardi liimapuisia voimajohtopylväitä varten (SS 436 01 13). Siinä määritellään käytettävien materiaalien ja koestusten edellytykset.

15.3 Perustaminen

Puupylväiden etu on se, että perustustyöt ovat yksinkertaisia, sillä erillistä perustusta ei yleensä tarvita.

Jos maaperä on luja, liimapuupylväs perustetaan kaivamalla se tarvittavaan syvyyteen, joka riippuu pylvään pituudesta ja kuormasta sekä maaperän ominaisuuksista. Yleensä 2–3 metrin syvyys riittää.

15.4 Puunsuojaus

Puiset johtopylväät joutuvat erittäin ankariin säärasitusolosuhteisiin. Varsinkin kohdassa, jossa pylväs liittyy maaperään, tehokas kemiallinen suoja on välttämätön. Tavallisesti painekyllästetään koko pylväs. Painekyllästysten käyttöä on säädelty sekä erilaisilla standardeilla että

kansallisella ympäristölainsäädännöllä (katso myös luku 1.5.5).

Liimapuupylväät voidaan kyllästää ennen liimausta tai sen jälkeen. Ensin mainitussa tapauksessa käytetään kyllästettyjä lamelleja, ja kyseeseen tulevat ainoastaan vesiliukoisella kyllästysaineella käsitellyt lamellit, koska öljypohjaisilla aineilla (esimerkiksi kreosoottijälyllä) kyllästettyjä lamelleja ei voida liimata. Korkealaatuisen tuloksen saavuttamiseksi pinta täytyy kuitenkin höylätä ennen liimausta myös vesiliukoisia kyllästysaineita käytettäessä. Tällöin suurin osa kyllästysaineesta poistuu, ja kyllästämätöntä sydänpuuta saattaa paljastua. Sen lisäksi tolpan sivut höylätään usein tuotteen mittatarkkuuden parantamiseksi, jolloin kyllästysainetta poistuu taas ja sydänpuuta paljastuu yhä lisää.

Liimauksen jälkeen tehty kyllästys antaa paremman suojan lahoa vastaan, mutta menetelmää rajoittaa se, että harvalla kyllästyslaitoksella on riittävän suuri painesylinteri. Tällä hetkellä Suomessa on mahdollista painekyllästää 35-metrisiä elementtejä. Menetelmää käytetään lähinnä kreosoottikyllästykseen, koska vesiliukoisten kyllästeaineiden käyttö aiheuttaa halkeamiongelmia pylväiden kuivuessa täydellisen kyllästysten jälkeen.

Ylivoimaisesti paras (joskin kallein) menetelmä on kaksoiskyllästys, jossa liimapuuelementit valmistetaan suolakyllästetyistä lamelleista ja painekyllästetään liimauksen jälkeen kreosoottijälyllä.

Voimajohtopylväät liimapuusta.
Sør-Trøndelag, Norja.

16. Liimapuusillat

16.1 Yleistä 205

16.2 Siltatyypit 205

16.2.1 Laattasillat 206

16.2.2 Palkkisillat 206

16.2.3 Ristikkosillat 207

16.2.4 Kaarisillat 207

16.2.5 Ristikkosillat ja vinoköysisillat 208

16.3 Liimapuusiltojen suunnittelu 209

16.3.1 Yleistä 209

16.3.2 Mitoitus 209

16.3.3 Säilyvyys 209

16.3.4 Pintakäsittely ja huolto 210

16. Liimapuusillat

Ensimmäiset sillat lienevät olleet kahluupaikkoja, joita paranneltiin asettamalla muutamia lisäkiviä tarpeellisiin kohtiin. Siitä ei ollut pitkä askel tukin asettamiseen kahden kiven väliin: alkeellisin puusilta - pitkospuu - oli keksitty. Liikkumisen tarve, erityisesti sotajoukkojen siirtäminen, vei kehitystä eteenpäin. Ensimmäinen kehityksen huippu saavutettiin Rooman valtakunnan aikana.

Julius Caesar rakennutti jo vuonna 55 eKr. 140 metriä pitkän puisen paalusillan Reinin yli lähellä Koblenzia. Ajoväylän leveys oli viisi metriä, ja rakentamisen kerrotaan kestäneen 10 päivää. Tämän siltatyypin etuna oli ilmeisesti hyvin lyhyt rakentamisaika ja yksinkertainen rakennustekniikka. Haittapuolina olivat vesiliikenteen estyminen sekä varsinkin puupaalujen verrattain lyhyt kestoikä. Tärkeimmissä siltapaikoissa alettiinkin käyttää kivisiä siltapilareita, jotka sijoitettiin kauemmas toisistaan kuin aiemmin käytetyt puupaalut. Samalla oli yleensä tarpeen vaihtaa yksinkertaiset puupalkit monimutkaisempiin rakenteisiin, kuten ristikoihin, jäykistettyihin palkkeihin tai tukiansaisiin.

Puurakenne oli siten kokonaisuudessaan normaalin vedenpinnan yläpuolella ja paremmin suojassa kosteudelta, jäältä ja virtaavalta vedeltä. Keski-Euroopassa, missä puusiltarakentamisen perinteet ovat pitkät, ajorata katettiin usein myös puurakenteiden - ja käyttäjien - suojaamiseksi sateelta. Puusiltoja on myös Pohjoismaissa tehty pitkään, mutta niitä ei tavallisesti katettu. Katetuista silloista vain muutama on säilynyt. Lejonströmsbron Skellefteåssa on yksi vanhimmista Ruotsissa säilyneistä puusilloista. Se on rakennettu vuonna 1737 ja on vieläkin käytössä. Suomen vanhimpia puusiltoja on Hälkonjoen silta, joka on rakennettu vuonna 1866 ja on nykyisin kevyen liikenteen käytössä.

Nykyisistä raskaalle liikenteelle mitoitetuista silloista voidaan mainita viisiaukkoinen Vihantasalmen silta Etelä-Savossa. Sillan uloimmat jännevälit ovat 21 metriä, ja niiden liimapuupalkisto toimii liittorakenteena sillan ajoratana olevan betonikannen kanssa. Kolme keskiaukkoa on kannatettu liimapuunsilla, joiden jänneväli on 42 metriä.

16.1 Yleistä

Aiemmin Pohjoismaissa rakennettiin puusta pääasiassa kevyen liikenteen siltoja. Viime vuosina on Suomeen, Ruotsiin ja Norjaan kuitenkin rakennettu paljon puurakenteisia tiesiltoja.

16.2 Siltatyypit

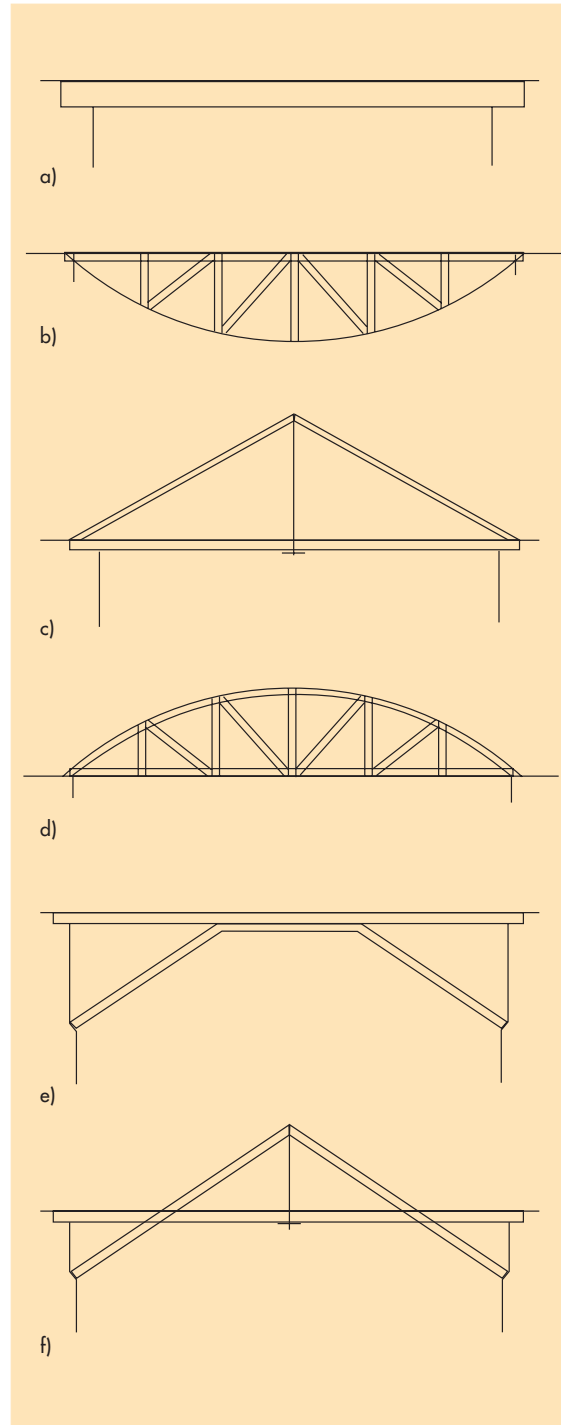
Rakenteellisesti silta jaetaan alusrakenteeseen ja päällysrakenteeseen.

Päällysrakenne on pääasiassa vaakasuuntainen kantava osa, joka johtaa liikenne-esteen (esimerkiksi veden) yli. Päällysrakenteeseen kuuluu itse ajoväylä, sitä kannattavat palkit sekä primäärikannattimet, esimerkiksi palkit tai kaaret, jotka ottavat vastaan palkkien kuorman (omapainon, liikennekuorman ja tuulikuorman) ja siirtävät ne alusrakenteeseen.

Alusrakenne muodostuu tukirakenteista, kuten maatuista ja erilaisista välituista, jotka vievät kuorman edelleen perustuksiin. Tukirakenne valmistetaan nykyään yleensä betonista, mutta aiemmin se usein tehtiin muuraamalla kivistä, jopa puusta paaluttamalla. Puupaalutukseen liittyy tiettyjä rajoituksia, joita on käsitelty aikaisemmin.

Päällysrakenteen kolme päätyyppiä ovat palkkisillat, kaarisillat ja riippusillat. Palkkisiltoihin kuuluvat myös laattasillat sekä ristikkorakenteet ja muunlaiset yhdistetyt sauvarakenteet, kuten riippu- ja tukiansaat (katso kuvat 16.1, 16.2 ja 16.3). Usein käytetään erityyppisiä rakenteiden yhdistelmiä.

Sopivimman siltatyypin valintaan vaikuttavat esimerkiksi vaadittava vapaa jänneväli ja vapaa korkeus, käytettävissä oleva rakennekorkeus ja se, millaiselle liikenteelle silta on tarkoitettu. Ulkonäöllä on suuri merkitys, koska sillat usein hallitsevat maisemaa. Muita vaikuttavia tekijöitä ovat perustamisolosuhteet sekä rakennusmateriaaliin mahdollisesti liittyvät vaatimukset tai toivomukset.



Kuva 16.1
Erilaisia palkkisiltoja.
a) Yksinkertainen palkki
b) Jäykistetty palkki
c) Riippuansas
d) Ristikko
e) Tukiansas
f) Riippu-tukiansas

16.2.1 Laattasillat

Puusillan yksinkertaisin muoto on pitkospuu, jossa kulkuväylä ja kantava pääraakenne yhdistyvät. Tämän periaatteen nykyaikainen sovellus on puinen poikittain jännitetty laattasilta (kuva 16.4).

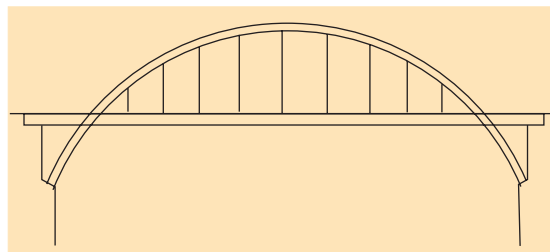
Poikittainen jännittämistekniikka kehitettiin Kanadassa, ja sitä on sittemmin käytetty USA:ssa ja Sveitsissä. Myös Pohjoismaihin on viime vuosina rakennettu paljon tämäntyyppisiä siltoja.

Sillan kulkutaso rakennetaan liimapuupalkeista tai pienillä jänneväleillä lankuista, jotka kiristetään terästankojen avulla. Rakenne on helppo asentaa, ja laattalla on hyvä kuormia tasaa ominaisuus. Silta on sivusuunnassa jäykkä, eikä se siten tarvitse erityisiä tuulisiteitä. Yleensä laatta varustetaan vesieristeellä ja päällysteellä, jotka suojaavat puuta yläpuolelta tulevalta kosteudelta. Paljasta puupintaa on tällöin suhteellisen vähän, ja kosteuden aiheuttamat liikkeet pysyvät pieninä.

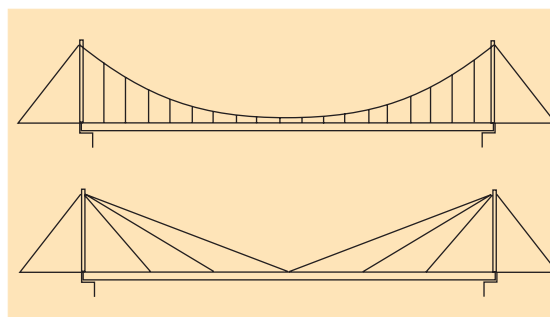
Moniaukkoisessa sillassa voidaan hyödyntää jatkuvuutta. Sitä voi myös käyttää ristikon ylä- tai alapaarteena tai se voi olla riippu- tai tukiansaan tai vastaavien osana.

16.2.2 Palkkisillat

Palkkisiltojen pääkannattajat tehdään yleensä kahdesta tai useammasta pitkittäisestä liimapuupalkista. Jos kuormat ja jännevälit ovat pieniä, voidaan käyttää sahatavaraa. Palkit voivat ulottua yhden tai useamman aukon yli. Kun palkkien keskinäiset etäisyydet ovat pieniä, lankuista tehty ajorata voi tukeutua suoraan pääpalkkeihin (katso kuva 16.5). Pienemmissä silloissa ajorata voi toimia levynä ja ottaa vastaan vaakakuormia, kuten tuulikuormia, sekä estää palkkien kiepahtamisen. Suuret jännevälit tarvitsevat erityisiä tuulisiteitä. Useimmiten ne tehdään vaakaristikkoina, jotka sijoitetaan pääpalkkien väliin näiden ala- tai yläreunan tasoon.



Kuva 16.2
Kaarisilta.

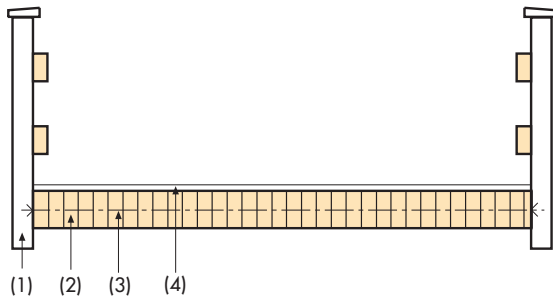


Kuva 16.3
Riippusilta ja vinoköysisilta.

Kun pääpalkkien etäisyys on suuri, ajorata tukeutuu poikittaispalkistoon, joka välittää liikennekuorman pääpalkkeihin. Usein ajorata päällystetään lankkujen lisäksi asfaltilla (kuva 16.6).

Suurille jänneväleille ja raskaalle liikenteelle ajorata tehdään usein esijännitettynä laattana, joka toimii staattisesti yhdessä pääpalkkien kanssa T- tai laatikkomuotoisena poikkileikkauksena kuvien 16.7 tai 16.8 mukaisesti. Ajorata toimii tällöin vaakavoimille levynä, eikä erityisiä tuulisiteitä tarvita.

Aikaisemmin käytettiin jäykistettyjä palkkeja, riippuansaita ja niin sanottuja tukiansasrakenteita, kun haluttiin kattaa pidempiä jännevälejä kuin tavallisilla palkkisilloilla oli mahdollista (katso kuvat 16.9 ja 16.10). Pääpalkit varustettiin yhdellä tai useammalla joustavalla välituellella, jotta materiaalin hyödyntäminen oli mahdollisimman tehokasta. Kahta ensimmäistä esimerkkiä voidaan pitää ristikon yksinkertaisina muotoina. Vetotangot tehdään yleensä teräksestä. Mitoitettaessa otetaan huomioon materiaalien



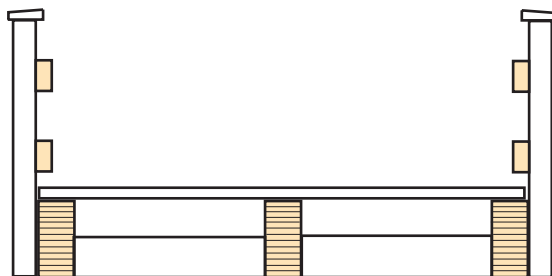
Kuva 16.4
Laattasilta, jossa on poikittain jännitetty liimapuulaatta.
(1) Kaide. (2) Lappeellaan olevat liimapuupalkit.
(3) Terästangot. (4) Päällyste.

erilaiset lämpölaajenemis- ja jäykkyysominaisuudet.

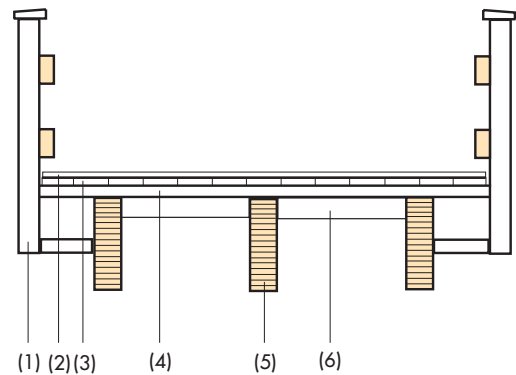
Tukiansasrakenne saattaa olla hyvä ratkaisu syvän rotkon ylittävälle palkkisillalle, koska vinot puristukset tukeutuvat rotkon sivuihin. Tukiansassilta voidaan pitää palkkisillan ja kaarisillan välimuotona (kuva 16.11).

16.2.3 Ristikkosillat

Ristikkosilloja käytetään jänneväleillä, joissa massiiviset kantavat rakenteet eivät enää ole yhtä kilpailukykyisiä. Tavallisesti käytetään suoraa ristikkkoa, mutta myös paraabeliristikot ovat mahdollisia jatkuvina ylä- ja alapaarteina. Suorat ristikot voidaan tehdä jatkuvina useiden tukien yli tai ne voidaan kytkeä päällä olevaan ajorataan, jota näin voi hyödyntää sivusuuntaiseen



Kuva 16.5
Palkkisilta, jossa lankut on kiinnitetty suoraan liimapuupalkkeihin.



Kuva 16.6
Palkkisilta, jossa on poikittaispalkit ja lankut.
(1) Kaide. (2) Päällystys. (3) Lankut. (4) Poikittaispalkit.
(5) Liimapuupalkit. (6) Tuulisteet.

tukemiseen tai tuuliristikon piilottamiseen.

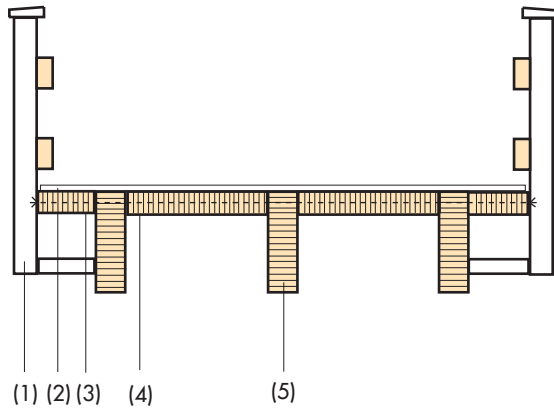
Ristikot esivalmistetaan tehtaalla sopivan kokoisiksi kuljetus- ja asennusyksiköiksi.

16.2.4 Kaarisillat

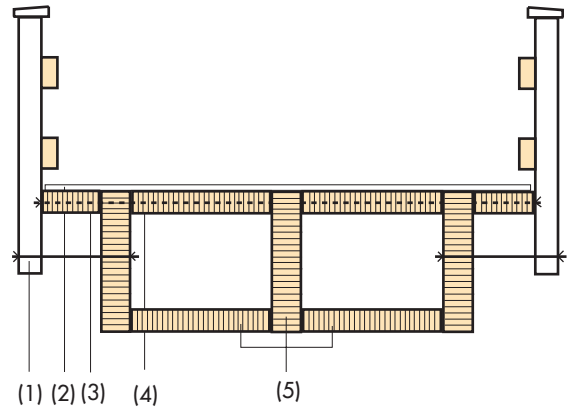
Kaarimuodon takia rakenteeseen kohdistuu pääasiassa puristusta tasaisesti jakautuneella kuormalla. Muoto soveltuu erityisen hyvin puristusta kestäville materiaaleille, joita voi helposti valmistaa kaaren muotoon. Liimapuussa yhdistyvät nämä kaksi ominaisuutta, joten se yleensä valitaan puisen kaarisillan materiaaliksi.

Päällysrakenteeksi valitaan yleensä kaksi kaarta niin, että ajorata sijaitsee joko kaarien alla, välissä tai yläpuolella (kuva 16.12). Kaaret tuetaan sivusuunnassa ristikoilla tai kehärakenteilla. Näitä hyödynnetään samoin kuin ajorataa ottamaan vastaan tuulikuormia ja muita rakenteisiin vaikuttavia vaakavoimia.

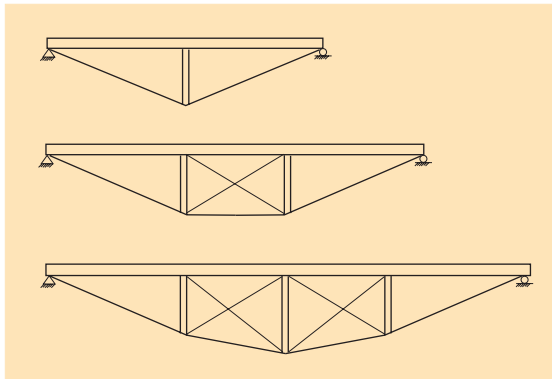
Kuljetus- ja valmistussyistä kaaret suunnitellaan usein kolminivelkaariksi, varsinkin jos jänneväli ylittää 20 metriä. Kolminivelkaaren etuna on lisäksi se, että rakenne on staattisesti määrätty ja että se kestää suhteellisen suuriakin painaumuksia alusrakenteissa. Jos kaksinivelkaari muista syistä on sopivampi, voidaan momenttijäykät liitokset tehdä työmaalla.



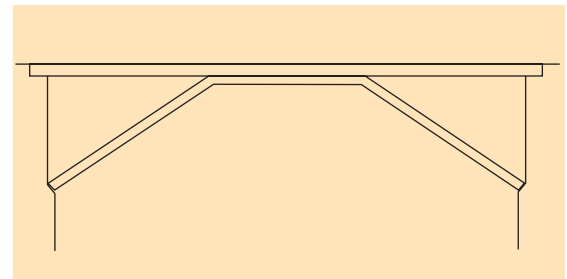
Kuva 16.7
T-palkkisilta, jossa on esijännitetty laatta.
(1) Kaide. (2) Päälystys. (3) Esijännitetty ajorata.
(4) Jännitystangot. (5) Liimapuupalkit.



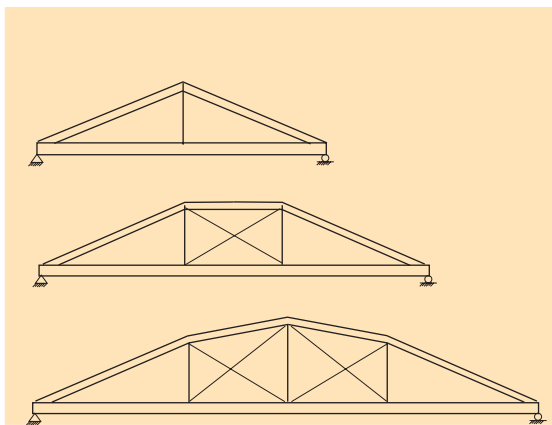
Kuva 16.8
Esijännitetty laatikkopalkkisilta.
(1) Kaide. (2) Päälystys. (3) Esijännitetty ajorata.
(4) Jännitystangot. (5) Liimapuupalkit.



Kuva 16.9
Esimerkkejä jäykistetyistä palkeista, joilla on 1–3 joustavaa välitukea.



Kuva 16.11
Esimerkki yksinkertaisesta tukiansassillasta.



Kuva 16.10
Esimerkkejä riippuansarakenteista, joissa on 1–3 joustavaa välitukea.

16.2.5 Riippusillat ja vinoköysisillat

Riippusilta muodostuu jäykistetystä ajoradasta, joka pystytankojen avulla kannatetaan kahden tornin (pylonin) väliin jännitetyistä kantokaapeleista (kuva 16.3).

Vinoköysisillan muodostaa palkkisilta, joka on tuettu kahteen tai useampaan kiinteään tukeen. Siltatukien välissä palkit on tuettu vino-kaapelein, jotka lähtevät yhdestä tai useammas- ta pylonista (kuva 16.3). Kaapelien tuomat vinot tukireaktiot aiheuttavat puristusvoimia ajorataan. Periaatteessa tämä toimii esijännityksenä, jota voidaan käyttää palkkien momenttikapasiteetin lisäämiseen. Mitoitettaessa otetaan huomioon materiaalien erilaiset jäykkyys- ja lämpölaajenemisominaisuudet.

16.3 Liimapuusiltojen suunnittelu

16.3.1 Yleistä

Siltasuunnittelun tavoitteena on löytää sillalle paras muoto ottamalla huomioon sijainti, maasto-olosuhteet, maaperä- ja vesiolosuhteet, tilantarve, tien linjaus jne. Teknis-taloudelliset näkökohdat on aina otettava huomioon, samoin esimerkiksi käyttöön ja huoltoon liittyvät tekijät sekä esteettiset vaatimukset, joihin vaikuttavat ennen kaikkea sillan koko ja sijainti.

Sillan suunnitteluvaiheessa tehdään olosuhteisiin soveltuva siltaehdotus. Kun kaikki reunaehdot on päätetty, alkaa yksityiskohtainen rakenteiden suunnittelu ja mitoitus.

16.3.2 Mitoitus

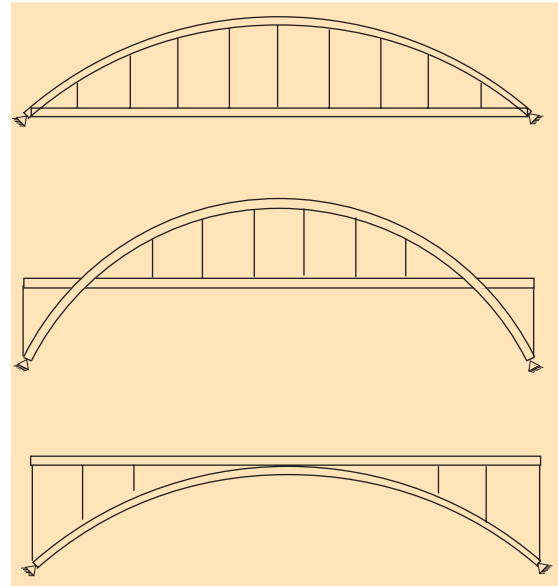
Suomessa siltojen mitoituskuormat määrittelee Tielaitos. Yleensä julkista rahoitusta saavat sillat on suunniteltava Tielaitoksen normien mukaisesti.

Puisen siltarakenteen voimasuureet voidaan laskea samalla tavalla kuin talorakenteet luku- ja 10-kaavojen ja ohjeiden mukaisesti.

Puisen siltarakenteen kestävyys voidaan laskea samalla tavalla kuin talorakenteidenkin, jos otetaan huomioon siltanormien asettamat erityisvarmuusvaatimukset ja -edellytykset, jotka koskevat kuormitusyhdistelmiä ja sääoloja.

16.3.3 Säilyvyys

Pohjoismaissa kantavat puurakenteet tehdään yleensä mänty- tai kuusipuusta. Näitä puulajeja eivät puuta tuhoavat sienet vaurioita, kunhan puun kosteuspuutisuus ei pitkään ylitä 20 prosenttia. Kun päällysrakenne suunnitellaan huolellisesti, suurin osa puurakenteesta jää tämän rajan alapuolelle. Jos puu joutuu maakosketukseen tai muusta syystä epäillään, ettei puun rakenteellinen suojaus riitä, voidaan joutua vahvistamaan puun luontaista kestävyttä kemiallisilla puunsuoja-aineilla. Kemiallisesti kyllästetty



Kuva 16.12

Kaarisilta, jossa ajorata on kaaren alla, välissä tai päällä.

puu voi kuitenkin aiheuttaa ympäristöhaittoja ja sen käyttöä säädelään ympäristölainsäädännössä. Suomessa saa käyttää kreosoottia tai kyllästysainetta, joka sisältää kromi- tai arsenikkiyhdisteitä, vain jos tarvitaan puun pitkäaikaista suojaa:

- rakenneosissa ja pylväissä, jotka ovat jatkuvassa kosketuksessa maan tai veden kanssa
- rakenneosissa, jotka turvallisuussyistä vaativat erityistä ja pitkäaikaista säänkestävyyttä

Sillan kaiteet ja primääri kantava rakenne kuuluvat yleensä jälkimmäiseen ryhmään ja ne voidaan siten lain mukaan tehdä painekyllästetystä puusta. Niin sanotun CCA-aineen (kupari, kromi, arseeni) korvaamisesta on viime aikoina keskusteltu, mutta ympäristöystävällisempien kyllästysmateriaalien käytöstä ei vielä ole saatu pitkäaikaista kokemusta.

Rakenteen riittävän pitkän käyttöiän varmistamiseksi liitoksissa käytettävät teräsosat on ruostesuojattava tai niissä on käytettävä syöpmistä kestävä materiaalia.

Korroosiota edistävät ennen kaikkea tiesuolo, vesi, sade ja kondenssi. On myös muistetta-

va, että ison tien ylittävälle sillalle roiskuu tieltä suolaa. Erityisen rasitetuissa tai kestävyysden kannalta tärkeissä yksityiskohdissa on harkittava ruostumattoman teräksen tai ylimääräisen ruostesuojauksen käyttöä.

16.3.4 Pintakäsittely ja huolto

Käsitlemätön puu, joka joutuu säälle alttiiksi, vanhenee muun muassa auringon UV-säteilyn vaikutuksesta. Puun pinta kuluu, muuttaa väriään ja halkeilee. Siitä huolimatta rakenne voi kestää satoja vuosia, mistä monet historialliset rakennukset ovat todisteena.

Puun pinta halutaan usein suojata kulutukselta ja halkeilulta, sen kosteuspitoisuuden vaihtelua halutaan vähentää tai saada vanhenevaan puupintaan toinen värisävy. Tällöin voidaan puurakenteelle antaa säältä suojaava verhoilu tai pintakäsittely. Pintakäsittelyllä on useita eri tehtäviä, kun puuta käytetään ulkotilassa:

- suojata veden imeytymiseltä
- vähentää ympäristön kosteusvaihtelun vaikutusta
- suojata UV-säteilyltä
- suojata sää- ja tuulieroosiolta
- antaa puulle tietty värisävy

Veden imeytymiseltä puun voi suojata joko käyttämällä vettä hylkivää ainetta, joka vähentää puun kastumista ja kapillaarista imua, tai käyttämällä kalvon muodostavaa pintakäsittelyä, joka estää veden pääsyn puun pintaan.

Ilman kosteusvaihtelun vaikutusta vähennetään käyttämällä pintakäsittelyä, joka on jonkin verran höyrytiivistä.

UV-säteilysuojaa voidaan parantaa lisäämällä valoa läpäisemätöntä pigmenttiä. Tämä antaa myös tietyn värin pintakäsittelylle.

Pintakäsittely täytyy tavallisesti uusua muutamaman vuoden välein. Vain välillisesti altistuvien rakennusosien huoltoväli voi olla pidempi. Täysin katetussa tilassa olevaa (sateelta suojattua) puuta ei tarvitse lainkaan pintakäsittää.

Liitteet

Liite 1

Suorakaidepoikkileikkauksen poikkileikkaussuureet 212

Liite 2

Liimapuun L40 momentti- ja leikkausvoimakapasiteetit 214

Liite 3

Ympäristötietoa 216

Liite 1

Suorakaidepoikkileikkauksen poikkileikkaussuureet

h mm	Lamel- lien määrä	b = 42 mm			b = 56 mm			b = 66 mm			b = 78 mm			b = 90 mm			
		A mm ²	W _x mm ³	I _x mm ⁴	A mm ²	W _x mm ³	I _x mm ⁴	A mm ²	W _x mm ³	I _x mm ⁴	A mm ²	W _x mm ³	I _x mm ⁴	A mm ²	W _x mm ³	I _x mm ⁴	
180	4	76·10 ²	227·10 ³	204·10 ⁵	101·10 ²	302·10 ³	272·10 ⁵	119·10 ²	356·10 ³	321·10 ⁵	140·10 ²	421·10 ³	379·10 ⁵	162·10 ²	486·10 ³	437·10 ⁵	
225	5	95·10 ²	354·10 ³	399·10 ⁵	126·10 ²	473·10 ³	532·10 ⁵	149·10 ²	557·10 ³	626·10 ⁵	176·10 ²	658·10 ³	740·10 ⁵	203·10 ²	759·10 ³	854·10 ⁵	
270	6	113·10 ²	510·10 ³	689·10 ⁵	151·10 ²	680·10 ³	919·10 ⁵	178·10 ²	802·10 ³	108·10 ⁶	211·10 ²	948·10 ³	128·10 ⁶	243·10 ²	109·10 ⁴	148·10 ⁶	
315	7	132·10 ²	695·10 ³	109·10 ⁶	176·10 ²	926·10 ³	146·10 ⁶	208·10 ²	109·10 ⁴	172·10 ⁶	246·10 ²	129·10 ⁴	203·10 ⁶	284·10 ²	149·10 ⁴	234·10 ⁶	
360	8	151·10 ²	907·10 ³	163·10 ⁶	202·10 ²	121·10 ⁴	218·10 ⁶	238·10 ²	143·10 ⁴	257·10 ⁶	281·10 ²	168·10 ⁴	303·10 ⁶	324·10 ²	194·10 ⁴	350·10 ⁶	
405	9	170·10 ²	115·10 ⁴	233·10 ⁶	227·10 ²	153·10 ⁴	310·10 ⁶	267·10 ²	180·10 ⁴	365·10 ⁶	316·10 ²	213·10 ⁴	432·10 ⁶	365·10 ²	246·10 ⁴	498·10 ⁶	
450	10	189·10 ²	142·10 ⁴	319·10 ⁶	252·10 ²	189·10 ⁴	425·10 ⁶	297·10 ²	223·10 ⁴	501·10 ⁶	351·10 ²	263·10 ⁴	592·10 ⁶	405·10 ²	304·10 ⁴	683·10 ⁶	
495	11	208·10 ²	172·10 ⁴	425·10 ⁶	277·10 ²	229·10 ⁴	566·10 ⁶	327·10 ²	270·10 ⁴	667·10 ⁶	386·10 ²	319·10 ⁴	788·10 ⁶	446·10 ²	368·10 ⁴	910·10 ⁶	
540	12	227·10 ²	204·10 ⁴	551·10 ⁶	302·10 ²	272·10 ⁴	735·10 ⁶	356·10 ²	321·10 ⁴	866·10 ⁶	421·10 ²	379·10 ⁴	102·10 ⁷	486·10 ²	437·10 ⁴	118·10 ⁷	
585	13	246·10 ²	240·10 ⁴	701·10 ⁶	328·10 ²	319·10 ⁴	934·10 ⁶	386·10 ²	376·10 ⁴	110·10 ⁷	456·10 ²	445·10 ⁴	130·10 ⁷	527·10 ²	513·10 ⁴	150·10 ⁷	
630	14	265·10 ²	278·10 ⁴	875·10 ⁶	353·10 ²	370·10 ⁴	117·10 ⁷	416·10 ²	437·10 ⁴	138·10 ⁷	491·10 ²	516·10 ⁴	163·10 ⁷	567·10 ²	595·10 ⁴	188·10 ⁷	
675	15	284·10 ²	319·10 ⁴	108·10 ⁷	378·10 ²	425·10 ⁴	144·10 ⁷	446·10 ²	501·10 ⁴	169·10 ⁷	527·10 ²	592·10 ⁴	200·10 ⁷	608·10 ²	683·10 ⁴	231·10 ⁷	
720	16				403·10 ²	484·10 ⁴	174·10 ⁷	475·10 ²	570·10 ⁴	205·10 ⁷	562·10 ²	674·10 ⁴	243·10 ⁷	648·10 ²	778·10 ⁴	280·10 ⁷	
765	17				428·10 ²	546·10 ⁴	209·10 ⁷	505·10 ²	644·10 ⁴	246·10 ⁷	597·10 ²	761·10 ⁴	291·10 ⁷	689·10 ²	878·10 ⁴	336·10 ⁷	
810	18				454·10 ²	612·10 ⁴	248·10 ⁷	535·10 ²	722·10 ⁴	292·10 ⁷	632·10 ²	853·10 ⁴	345·10 ⁷	729·10 ²	984·10 ⁴	399·10 ⁷	
855	19							564·10 ²	804·10 ⁴	344·10 ⁷	667·10 ²	950·10 ⁴	406·10 ⁷	770·10 ²	110·10 ⁵	469·10 ⁷	
900	20							594·10 ²	891·10 ⁴	401·10 ⁷	702·10 ²	105·10 ⁵	474·10 ⁷	810·10 ²	122·10 ⁵	547·10 ⁷	
945	21							624·10 ²	982·10 ⁴	464·10 ⁷	737·10 ²	116·10 ⁵	549·10 ⁷	851·10 ²	134·10 ⁵	633·10 ⁷	
990	22							653·10 ²	108·10 ⁵	534·10 ⁷	772·10 ²	127·10 ⁵	631·10 ⁷	891·10 ²	147·10 ⁵	728·10 ⁷	
1035	23										807·10 ²	139·10 ⁵	721·10 ⁷	932·10 ²	161·10 ⁵	832·10 ⁷	
1080	24										842·10 ²	152·10 ⁵	819·10 ⁷	972·10 ²	175·10 ⁵	945·10 ⁷	
1125	25													101·10 ³	190·10 ⁵	107·10 ⁸	
1170	26													105·10 ³	205·10 ⁵	120·10 ⁸	
1215	27													109·10 ³	221·10 ⁵	135·10 ⁸	
1260	28																
1305	29																
1350	30																
1395	31																
1440	32																
1485	33																
1530	34																
1575	35																
1620	36																

	$b = 115 \text{ mm}$			$b = 140 \text{ mm}$			$b = 165 \text{ mm}$			$b = 190 \text{ mm}$			$b = 215 \text{ mm}$		
	A mm^2	W_x mm^3	I_x mm^4	A mm^2	W_x mm^3	I_x mm^4	A mm^2	W_x mm^3	I_x mm^4	A mm^2	W_x mm^3	I_x mm^4	A mm^2	W_x mm^3	I_x mm^4
	207·10 ² 259·10 ² 311·10 ²	621·10 ³ 970·10 ³ 140·10 ⁴	559·10 ⁵ 109·10 ⁶ 189·10 ⁶	252·10 ² 315·10 ² 378·10 ²	756·10 ³ 118·10 ⁴ 170·10 ⁴	680·10 ⁵ 133·10 ⁶ 230·10 ⁶	297·10 ² 371·10 ² 446·10 ²	891·10 ³ 139·10 ⁴ 200·10 ⁴	802·10 ⁵ 157·10 ⁶ 271·10 ⁶	342·10 ² 428·10 ² 513·10 ²	103·10 ⁴ 160·10 ⁴ 231·10 ⁴	923·10 ⁵ 180·10 ⁶ 312·10 ⁶	387·10 ² 484·10 ² 581·10 ²	116·10 ⁴ 181·10 ⁴ 261·10 ⁴	104·10 ⁶ 204·10 ⁶ 353·10 ⁶
	362·10 ² 414·10 ² 466·10 ²	190·10 ⁴ 248·10 ⁴ 314·10 ⁴	300·10 ⁶ 447·10 ⁶ 637·10 ⁶	441·10 ² 504·10 ² 567·10 ²	232·10 ⁴ 302·10 ⁴ 383·10 ⁴	365·10 ⁶ 544·10 ⁶ 775·10 ⁶	520·10 ² 594·10 ² 668·10 ²	273·10 ⁴ 356·10 ⁴ 451·10 ⁴	430·10 ⁶ 642·10 ⁶ 913·10 ⁶	599·10 ² 684·10 ² 770·10 ²	314·10 ⁴ 410·10 ⁴ 519·10 ⁴	495·10 ⁶ 739·10 ⁶ 105·10 ⁷	677·10 ² 774·10 ² 871·10 ²	356·10 ⁴ 464·10 ⁴ 588·10 ⁴	560·10 ⁶ 836·10 ⁶ 119·10 ⁷
	518·10 ² 569·10 ² 621·10 ²	388·10 ⁴ 470·10 ⁴ 559·10 ⁴	873·10 ⁶ 116·10 ⁷ 151·10 ⁷	630·10 ² 693·10 ² 756·10 ²	473·10 ⁴ 572·10 ⁴ 680·10 ⁴	106·10 ⁷ 142·10 ⁷ 184·10 ⁷	743·10 ² 817·10 ² 891·10 ²	557·10 ⁴ 674·10 ⁴ 802·10 ⁴	125·10 ⁷ 167·10 ⁷ 217·10 ⁷	855·10 ² 941·10 ² 103·10 ³	641·10 ⁴ 776·10 ⁴ 923·10 ⁴	144·10 ⁷ 192·10 ⁷ 249·10 ⁷	968·10 ² 106·10 ³ 116·10 ³	726·10 ⁴ 878·10 ⁴ 104·10 ⁵	163·10 ⁷ 217·10 ⁷ 282·10 ⁷
	673·10 ² 725·10 ² 776·10 ²	656·10 ⁴ 761·10 ⁴ 873·10 ⁴	192·10 ⁷ 240·10 ⁷ 295·10 ⁷	819·10 ² 882·10 ² 945·10 ²	799·10 ⁴ 926·10 ⁴ 106·10 ⁵	234·10 ⁷ 292·10 ⁷ 359·10 ⁷	965·10 ² 104·10 ³ 111·10 ³	941·10 ⁴ 109·10 ⁵ 125·10 ⁵	275·10 ⁷ 344·10 ⁷ 423·10 ⁷	111·10 ³ 120·10 ³ 128·10 ³	108·10 ⁵ 126·10 ⁵ 144·10 ⁵	317·10 ⁷ 396·10 ⁷ 487·10 ⁷	126·10 ³ 135·10 ³ 145·10 ³	123·10 ⁵ 142·10 ⁵ 163·10 ⁵	359·10 ⁷ 448·10 ⁷ 551·10 ⁷
	828·10 ² 880·10 ² 932·10 ²	994·10 ⁴ 112·10 ⁵ 126·10 ⁵	358·10 ⁷ 429·10 ⁷ 509·10 ⁷	101·10 ³ 107·10 ³ 113·10 ³	121·10 ⁵ 137·10 ⁵ 153·10 ⁵	435·10 ⁷ 522·10 ⁷ 620·10 ⁷	119·10 ³ 126·10 ³ 134·10 ³	143·10 ⁵ 161·10 ⁵ 180·10 ⁵	513·10 ⁷ 616·10 ⁷ 731·10 ⁷	137·10 ³ 145·10 ³ 154·10 ³	164·10 ⁵ 185·10 ⁵ 208·10 ⁵	591·10 ⁷ 709·10 ⁷ 841·10 ⁷	155·10 ³ 164·10 ³ 174·10 ³	186·10 ⁵ 210·10 ⁵ 235·10 ⁵	669·10 ⁵ 802·10 ⁷ 952·10 ⁷
	983·10 ² 104·10 ³ 109·10 ³	140·10 ⁵ 155·10 ⁵ 171·10 ⁵	599·10 ⁷ 699·10 ⁷ 809·10 ⁷	120·10 ³ 126·10 ³ 132·10 ³	171·10 ⁵ 189·10 ⁵ 208·10 ⁵	729·10 ⁷ 851·10 ⁷ 985·10 ⁷	141·10 ³ 149·10 ³ 156·10 ³	201·10 ⁵ 233·10 ⁵ 246·10 ⁵	859·10 ⁷ 100·10 ⁸ 116·10 ⁸	162·10 ³ 171·10 ³ 180·10 ³	231·10 ⁵ 257·10 ⁵ 283·10 ⁵	990·10 ⁷ 115·10 ⁸ 134·10 ⁸	184·10 ³ 194·10 ³ 203·10 ³	262·10 ⁵ 290·10 ⁵ 320·10 ⁵	112·10 ⁸ 131·10 ⁸ 151·10 ⁸
	114·10 ³ 119·10 ³ 124·10 ³	188·10 ⁵ 205·10 ⁵ 224·10 ⁵	930·10 ⁷ 106·10 ⁸ 121·10 ⁸	139·10 ³ 145·10 ³ 151·10 ³	229·10 ⁵ 250·10 ⁵ 272·10 ⁵	113·10 ⁸ 129·10 ⁸ 147·10 ⁸	163·10 ³ 171·10 ³ 178·10 ³	270·10 ⁵ 295·10 ⁵ 321·10 ⁵	133·10 ⁸ 152·10 ⁸ 173·10 ⁸	188·10 ³ 197·10 ³ 205·10 ³	310·10 ⁵ 339·10 ⁵ 369·10 ⁵	154·10 ⁸ 176·10 ⁸ 199·10 ⁸	213·10 ³ 223·10 ³ 232·10 ³	351·10 ⁵ 384·10 ⁵ 418·10 ⁵	174·10 ⁸ 199·10 ⁸ 226·10 ⁸
	129·10 ³ 135·10 ³ 140·10 ³	243·10 ⁵ 262·10 ⁵ 283·10 ⁵	136·10 ⁸ 153·10 ⁸ 172·10 ⁸	158·10 ³ 164·10 ³ 170·10 ³	295·10 ⁵ 319·10 ⁵ 344·10 ⁵	166·10 ⁸ 187·10 ⁸ 209·10 ⁸	186·10 ³ 193·10 ³ 200·10 ³	348·10 ⁵ 376·10 ⁵ 406·10 ⁵	196·10 ⁸ 220·10 ⁸ 247·10 ⁸	214·10 ³ 222·10 ³ 231·10 ³	401·10 ⁵ 433·10 ⁵ 467·10 ⁵	225·10 ⁸ 254·10 ⁸ 284·10 ⁸	342·10 ³ 252·10 ³ 261·10 ³	454·10 ⁵ 491·10 ⁵ 529·10 ⁵	255·10 ⁸ 287·10 ⁸ 321·10 ⁸
	145·10 ³ 150·10 ³ 155·10 ³	304·10 ⁵ 326·10 ⁵ 349·10 ⁵	192·10 ⁸ 213·10 ⁸ 236·10 ⁸	176·10 ³ 183·10 ³ 189·10 ³	370·10 ⁵ 397·10 ⁵ 425·10 ⁵	233·10 ⁸ 259·10 ⁸ 287·10 ⁸	208·10 ³ 215·10 ³ 223·10 ³	437·10 ⁵ 468·10 ⁵ 501·10 ⁵	275·10 ⁸ 306·10 ⁸ 338·10 ⁸	239·10 ³ 248·10 ³ 257·10 ³	503·10 ⁵ 539·10 ⁵ 577·10 ⁵	317·10 ⁸ 352·10 ⁸ 390·10 ⁸	271·10 ³ 281·10 ³ 290·10 ³	569·10 ⁵ 610·10 ⁵ 653·10 ⁵	358·10 ⁸ 398·10 ⁸ 441·10 ⁸
				195·10 ³ 202·10 ³ 208·10 ³	454·10 ⁵ 484·10 ⁵ 515·10 ⁵	317·10 ⁸ 348·10 ⁸ 382·10 ⁸	230·10 ⁸ 238·10 ⁸ 245·10 ⁸	535·10 ⁵ 570·10 ⁵ 606·10 ⁵	373·10 ⁸ 411·10 ⁸ 450·10 ⁸	265·10 ³ 274·10 ³ 282·10 ³	616·10 ⁵ 657·10 ⁵ 698·10 ⁵	430·10 ⁸ 473·10 ⁸ 519·10 ⁸	300·10 ³ 310·10 ³ 319·10 ³	697·10 ⁵ 743·10 ⁵ 790·10 ⁵	486·10 ⁸ 535·10 ⁸ 587·10 ⁸
				214·10 ³ 221·10 ³ 227·10 ³	546·10 ⁵ 579·10 ⁵ 612·10 ⁵	418·10 ⁸ 456·10 ⁸ 496·10 ⁸	252·10 ⁸ 260·10 ⁸ 267·10 ⁸	644·10 ⁵ 682·10 ⁵ 722·10 ⁵	492·10 ⁸ 537·10 ⁸ 585·10 ⁸	291·10 ³ 299·10 ³ 308·10 ³	741·10 ⁵ 786·10 ⁵ 831·10 ⁵	567·10 ⁸ 619·10 ⁸ 673·10 ⁸	329·10 ³ 339·10 ³ 348·10 ³	839·10 ⁵ 889·10 ⁵ 940·10 ⁵	642·10 ⁸ 700·10 ⁸ 762·10 ⁸

Liite 2

Liimapuun L40 momentti- ja leikkausvoimakapasiteetit aikaluokassa B ja kosteusluokissa 1 ja 2 murtorajatilassa B10 RakMK (Ohjeet 2001) mukaan. Poikkileikkausarvojen laskennassa on oletettu, että profiilin kiepahtaminen on sivuttaistuennalla estetty.

M_u = laskentataivutuslujuus x taivutusvastus

V_u = laskentaleikkauslujuus x poikkileikkausala

h mm	b = 42 mm		b = 56 mm		b = 66 mm		b = 78 mm		b = 90 mm	
	V_u kN	M_u kNm	V_u kN	M_u kNm	V_u kN	M_u kNm	V_u kN	M_u kNm	V_u kN	M_u kNm
180	9,30	5,41	12,41	7,21	14,62	8,50	17,28	10,04	19,94	11,59
225	11,63	8,45	15,51	11,27	18,28	13,28	21,60	15,69	24,92	18,11
270	13,96	12,17	18,61	16,22	21,93	19,12	25,92	22,60	29,91	26,08
315	16,28	16,47	21,71	21,96	25,59	25,89	30,24	30,59	34,89	35,30
360	18,61	21,20	24,81	28,27	29,24	33,31	34,56	39,37	39,88	45,43
405	20,94	26,48	27,91	35,31	32,90	41,61	38,88	49,18	44,86	56,75
450	23,26	32,31	31,02	43,08	36,55	50,78	43,20	60,01	49,85	69,24
495	25,59	38,69	34,12	51,58	40,21	60,79	47,52	71,85	54,83	82,90
540	27,91	45,60	37,22	60,80	43,87	71,65	51,84	84,68	59,82	97,71
585	30,24	53,04	40,32	70,72	47,52	83,35	56,16	98,50	64,80	113,66
630	32,57	61,01	43,42	81,35	51,18	95,87	60,48	113,30	69,79	130,73
675	34,89	69,50	46,52	92,67	54,83	109,22	64,80	129,07	74,77	148,93
720			49,63	104,68	58,49	123,38	69,12	145,81	79,76	168,24
765			52,73	117,38	62,14	138,35	73,44	163,50	84,74	188,65
810			55,83	130,77	65,80	154,12	77,76	182,14	89,73	210,16
855			58,93	144,83	69,45	170,69	82,08	201,72	94,71	232,76
900					73,11	188,05	86,40	222,25	99,69	256,44
945					76,76	206,21	90,72	243,70	104,68	281,19
990							95,04	266,08	109,66	307,02
1035							99,36	289,39	114,65	333,91
1080							103,68	313,62	119,63	361,86
1125							108,00	338,76	124,62	390,87
1170									129,60	420,93
1215									134,59	452,03
1260										
1305										
1350										
1395										
1440										
1485										
1530										
1575										
1620										

Aikaluokka	Kosteusluokka		
	1 ja 2	3	4
A	0,8	0,65	0,6
B	1	0,85	0,75
C	1,3	1	0,9

LIIMAPUU L40

Taivutuslujuus $f_{bk} = 31 \text{ MN/m}^2 \rightarrow f_{bd} = f_{bk} / 1,3 = 23,8462 \text{ MN/m}^2$

Leikkauslujuus $f_{vk} = 2,4 \text{ kN/m}^2 \rightarrow f_{vd} = f_{vk} / 1,3 = 1,8462 \text{ MN/m}^2$

Leikkausjännitys palkissa $\sigma_v = 2/3 \times T/A \rightarrow T = 3/2 \times bh\sigma_v$

Reunajännitys palkissa $\sigma_b = M/W \rightarrow M = \sigma_b \times W$

Kun $h > 300 \text{ mm}$ on taivutuslujuutta f_{bk} pienennetty

kertoimella $C_F = (300/h)^{1/9}$ (RIL 1 20)

Korjauskertoimet eri aika- ja kosteusluokkayhdistelmille aikaluokan B ja kosteusluokkien 1 ja 2 suhteen.

	$b = 115 \text{ mm}$		$b = 140 \text{ mm}$		$b = 165 \text{ mm}$		$b = 190 \text{ mm}$		$b = 215 \text{ mm}$	
	V_U kN	M_U kNm	V_U kN	M_U kNm	V_U kN	M_U kNm	V_U kN	M_U kNm	V_U kN	M_U kNm
	25,48 31,85 38,22	14,81 23,14 33,32	31,02 38,77 46,52	18,03 28,17 40,56	36,55 45,69 54,83	21,25 33,20 47,81	42,09 52,62 63,14	24,47 38,23 55,05	47,63 59,54 71,45	27,69 43,26 62,29
	44,59 50,96 57,32	45,11 58,05 72,51	54,28 62,03 69,79	54,91 70,66 88,27	63,97 73,11 82,25	64,72 83,28 104,04	73,66 84,19 94,71	74,52 95,90 119,80	83,36 95,26 107,17	84,33 108,52 135,56
	63,69 70,06 76,43	88,48 105,93 124,85	77,54 85,29 93,05	107,71 128,96 151,99	91,39 100,53 109,66	126,94 151,98 179,13	105,23 115,76 126,28	146,18 175,01 206,27	119,08 130,99 142,90	165,41 198,04 233,42
	82,80 89,17 95,54	145,23 167,05 190,30	100,80 108,56 116,31	176,80 203,36 231,67	118,80 127,94 137,08	208,37 239,68 273,04	136,80 147,33 157,85	239,94 275,99 314,41	154,80 166,71 178,62	271,51 312,31 355,78
	101,91 108,28 114,65	214,97 241,06 268,54	124,06 131,82 139,57	261,71 293,46 326,92	146,22 155,36 164,50	308,44 345,86 385,29	168,37 178,90 189,42	355,17 398,27 443,67	190,53 202,44 214,34	401,91 450,67 502,05
	121,02 127,39 133,76	297,41 327,67 359,30	147,33 155,08 162,83	362,07 398,90 437,41	173,64 182,77 191,91	426,72 470,14 515,52	199,94 210,47 220,99	491,38 541,37 593,63	226,25 238,16 250,07	556,03 612,60 671,74
	140,13 146,50 152,87	392,30 426,67 462,38	170,59 178,34 186,10	477,59 519,42 562,90	201,05 210,19 219,33	562,87 612,17 663,42	231,51 242,04 252,56	648,16 704,93 763,94	261,98 273,88 285,79	733,44 797,68 864,46
	159,23 165,60 171,97	499,45 537,85 577,59	193,85 201,61 209,36	608,02 654,78 703,16	228,47 237,61 246,74	716,60 771,70 828,72	263,08 273,61 284,13	825,17 888,63 954,29	297,70 309,61 321,52	933,75 1005,55 1079,85
	178,34 184,71 191,08	618,67 661,06 704,78	217,11 224,87 232,62	753,16 804,77 857,99	255,88 265,02 274,16	887,65 948,48 1011,21	294,65 305,18 315,70	1022,15 1092,19 1164,42	333,42 345,33 357,24	1156,64 1235,90 1317,63
			240,38 248,13 255,88	912,82 969,23 1027,24	283,30 292,44 301,58	1075,82 1142,31 1210,67	326,22 336,75 347,27	1238,82 1315,39 1394,11	369,15 381,06 392,96	1401,82 1488,46 1577,54
			263,64 271,39 279,15	1086,83 1147,99 1210,73	310,72 319,85 328,99	1280,90 1352,99 1426,94	357,79 368,32 378,84	1474,98 1557,99 1643,14	404,87 416,78 428,69	1669,05 1762,99 1859,34

Liite 3

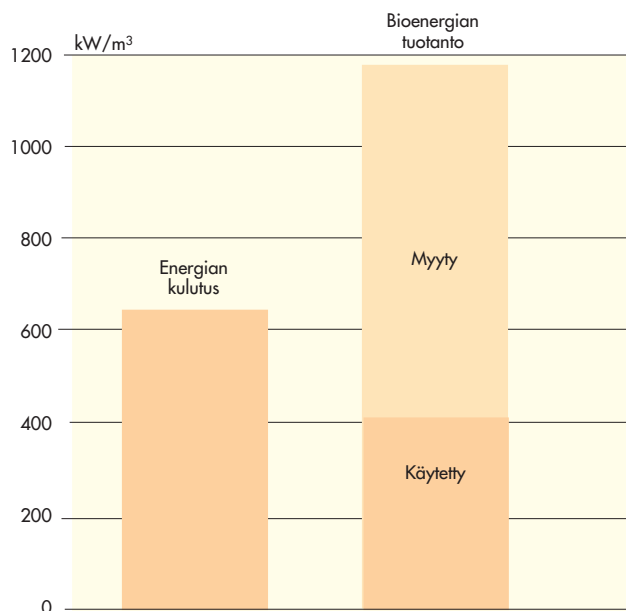
Ympäristötietoa

Suomalaisen liimapuun valmistamisesta ei ole tehty kattavaa elinkaarianalyysiä. Se on kuitenkin valmistumassa vuoden 2003 aikana.

Liimapuu valmistetaan puusta ja liimasta. Valmiissa tuotteessa liimaa on alle 1 paino-%. Prosessi liimapuutehtaalla vaatii energiaa. Lisäksi tulevat kuljetusten ja energiankulutus ja sen päästöt. Pintakäsittelyaineina käytetään normaaleja pintakäsittelyaineita. Osa liimapuusta toimitetaan asiakkaalle käsittelemättömänä. Pääraaka-aineen eli sahatavaran tuonnin ympäristövaikutuksista tehdään joka vuosi Metsäteollisuus ry:n toimesta elinkaaritarkasteluun pohjautuva selvitys. Seuraavassa kappaleessa perustietoa energiankulutuksesta ja sen jälkeen vuoden 2001 tietoihin perustuva ympäristöseloste.

Sahatavaran tuotannon ympäristövaikutukset

Sahatavaran elinkaaren energian kulutus on selvästi pienempi kuin sahojen käyttämän ja myymän biopolttoaineen energiasisältö. Elinkaariarvion periaatteen mukaisessa tarkastelussa on lisäksi otettava huomioon se, että toimitettava sahatavara itsessään on bioenergiaa, joka elinkaaren päättyessä voidaan ottaa energiakäyttöön.



Sahatavaran tuotannon energiakulutus, bioenergian käyttö ja bioenergiaksi myytyjen rinnakkaistuotteiden energiasisältö.

Ympäristöseloste

Sahatavaran elinkaariarvion pohjalta suomalaiselle sahatavarakkeelle laadittiin ympäristöselosteen päivitys. Aikaisempi ympäristöseloste, seloste nro 7, on julkaistu Rakennustietosäätiön kotisivulla <http://www.rts.fi> ja on voimassa 07.04.2003 saakka.

YMPÄRISTÖSELOSTE

Perustuu elinkaariselvitykseen
ISO 14040 ja ISO 14041

Suomalainen sahatavara Sahatavaran valmistus vuonna 2001.

Tuote

Suomalainen laivauskuiva sahatavara

Tuotenimi

-

Käyttötarkoitus (rakennusosa, menekki)

Rakennuksen runko ja julkisivut

Tuotedimensiot

-

Tiheys

Männyn kuivatiheys 417 kg/m³, kuusen kuivatiheys 366 kg/m³.

Kosteuspitoisuus

Keskimääräisen suomalaisen sahatavaran kosteuspitoisuus on 18% kuiva-aineesta (erikoiskuiva sahatavara <16% kuiva-aineesta, laivauskuiva sahatavara 16-20% kuiva-aineesta ja tuore sahatavara > 20% kuiva-aineesta)

Koostumus

Mänty- ja kuusisahatavara

k-arvo

-

RT-tarvikekortin numero

-

Käyttöikä

Odotettavissa oleva käyttöikä

Rakennuksen rungon käyttöikä sama kuin rakennuksen (>100 vuotta).

Edellytykset ja rajoitukset

Pitkäaikainen suhteellinen kosteus <80% (kosteusluokat 1 ja 2, ympäristöministeriön ohje B10 rakentamismääräyskokoelmassa)

Energia ja raaka-aineet

Uusiutumaton energia

kesk. suom. sahatavara	1,7 MJ/kg
erikoiskuiva sahatavara	2,2 MJ/kg
laivauskuiva sahatavara	1,7 MJ/kg
tuore sahatavara	1,2 MJ/kg

Uusiutuva energia

kesk. suom. sahatavara	21,6 MJ/kg
erikoiskuiva sahatavara	23,2 MJ/kg
laivauskuiva sahatavara	21,6 MJ/kg
tuore sahatavara	18,5 MJ/kg

Uusiutumattomat raaka-aineet -

Uusiutuvat raaka-aineet 1 kg/kg (koko tukeen puuainesta käytetään hyödyksi)

Päästöt

Kasvihuonekaasut	kesk. suom. sahatavara (g CO₂-ekv./kg)	90 g/kg
	erikoiskuiva sahatavara	110 g/kg
	laivauskuiva sahatavara	87 g/kg
	tuore sahatavara	63 g/kg

Tuotteeseen varastoitunut CO₂ (g/kg)

kesk. suom. sahatavara	1550 g/kg
erikoiskuiva sahatavara	1640 g/kg
laivauskuiva sahatavara	1550 g/kg
tuore sahatavara	1530 g/kg

Happamoittavat päästöt ilmaan (g SO₂-ekv./kg)

kesk. suom. sahatavara	0,89 g/kg
erikoiskuiva sahatavara	1,02 g/kg
laivauskuiva sahatavara	0,88 g/kg
tuore sahatavara	0,86 g/kg

Oksidantteja muodostavat päästöt (g eteeni-ekv./kg)

kesk. suom. sahatavara	0,12 g/kg
erikoiskuiva sahatavara	0,14 g/kg
laivauskuiva sahatavara	0,12 g/kg
tuore sahatavara	0,03 g/kg

Päästöt sisäilmaan

Ei merkitystä

Pintamateriaalin päästöluokka (M1, M2 tai M3) **M1****Kierrätys****Tuotteen kierrätys**

Kierrätys energiakäyttöön

Energiakäyttö. Tuotteen energiasisältö

kesk. suom. sahatavara	18 MJ/kg
erikoiskuiva sahatavara (12%)	19 MJ/kg
laivauskuiva sahatavara (18%)	> 18 MJ/kg
tuore sahatavara (20%)	< 18 MJ/kg

Pakkauksen kierrätys

-

Tiedon laatu

Elinkaariarvio kattaa metsänkasvatuksen, korjuun, metsäkuljetuksen sekä kuljetuksen sahalle, sahaustoi-
minnan sekä keskimääräisen sahatavaran kuljetuksen asiakkaalle tai vientisatamaan. Lisäksi arviossa on
otettu huomioon sahatavaran valmistuksessa käytetyt apuaineet sekä niiden keskimääräiset kuljetukset. In-
ventaariolaskelma perustuu Suomen sahojen sahatavaratuotannon vuoden 2001 yhteenvedoon. Tulos on
laskettu LCA-SAHA ohjelmalla (versio 3).

Viitteet:

Vares, S. & Vanhatalo, L.. 2001. LCA-SAHA, laskentaohjelma.

HAKEMISTO

Arinat 34, 38
Asennus 17

Bumerangipalkit 85

Erittely, tarpeelliset tiedot 22
Esiäjännitetty liimapuu 208
Esikorotus – yleisesti 47
ristikot 95
Eurocode 5 Puurakenteiden mitoitus 42

Gerber-kannattimet 125
Gerber-liitos 168, 170, 195

Harjaliitos 163, 194
Huolto – yleisesti 19
sillat 212

Jatkamattomat palkit 79
Jatkuva sortuminen 133

Kaarien liitokset 178, 191
Kaaren perustusliitos 178, 191
Kaaren pituus 119
Kaaret 115
Kaareva kehänurkka 109
Kaarevat lamellit 64
Kaarevat palkit 85
Kaarisillat 209
Katon sekundääripalkit 123
Katos 33, 38
Katto-orsien kiinnitys 171
Kattopalkkien sivutuenta 54, 132, 163
Kehäjalka, nivelellisesti kiinnitetty pilarijalka 137, 191
Kehänurkka 110
Kehät 105
Keskeisesti puristettu pilari 71
Kiepahdus – yleisesti 54
palkit 81, 83, 86
kehät 112
kaaret 119
sivutuenta 132, 162
Kiertokulku, uusiokäyttö 9
Kiinnitysdetalji ja liitosten palonkestävyys 190
Kolminivelkattotuolit 97
Kololiitos 113
Kontrolli, valmistuskontrolli 15
Koot 16, 17
Kootut pilarit 73
Kosketuspaine 57
Kosteusluokat 45
Kuljetus 21
Kulmajäykistetty liitos 171
Kuorirakenteet 35
Kuormavaikutus 44

Kuormatyytit 44
Käsittely 17
Käyttörajatilamitoitus 46

L-puu 13
Laadunvalvonta 15
Laattasillat 208
Lamellien sormijatkaminen 11, 15, 18
Lamellien taipuminen 85
Lasikuituvahvistus – lovetut palkin päät 61
reiät 63

Levyvaikutus 131
Liimapuisen rungon asennus 17, 20, 21
Liimapuun mitoitus 51
Liimapuun valmistus 11
Liimapuurungon jäykistys 129
Liimapuusillat 205
Liimapuusiltojen säilyvyys 211
Liimasaumat 18
Liimattu rakennesahatavara 13
Liimatut ruuvit – vahvistaminen, lovet 60
reiät 63
nivelelliset kiinnitetyt pilarijalat 145
jäykästi kiinnitetyt pilarijalat 152
pilarin yläpään liitos 159, 192

Liimatyytit 15
Liitokset, palonkestävyys 190
Liitosdetaljit 37, 137, 190
Liitoselimet 37, 135, 190
Limitetyt orret 125
Lövetut palkinpäät 59
Lujuusluokat 14

Massiivilipohjat 29
Merkinnät 13, 15
Mitoitusdiagrammeja – kaaret 119
Mitoitustaulukoita – palkit, kestävyys 88
taivutus 89
kolminivelkattotuolit 102
Muodonmuutokset, taivutus, palkit 79, 81, 84, 87
ristikot 95
kehät 109
kolminivelkattotuolit 100
orret 125

Murtorajatilamitoitus 45

Normien palotekniset vaatimukset 185
Nurjahtaminen, nurjahduspituus – pilarit 71, 74
kolminivelkattotuolit 99
kehät 109
kaaret 118

Orret 125
Osavarmuuskertoimen menetelmä, osavarmuuskertoimia 43

Palkinpään lovet 59
 Palkit 77
 Palkkiliitos, niveellinen 167, 191
 Palkkikienkä 171, 190
 Paloturvallisuus 185
 Palotekninen mitoitus 183
 Palovakuutus 185
 Paloeristys 196
 Paloluokitus 185, 187
 Paloluokat 186
 Palon luonnollinen kehittyminen 188
 Paraabelikaaret 115
 Pilareiden sivutuenta 162
 Pilarijalka, jäykästi kiinnitetty 148
 Pilarijalka, niveellinen 137
 Pilarijärjestelmät 74
 Pilarikengät 142
 Pilarin yläpää, niveellinen liitos palkkiin 156, 192
 Pilari-palkkijärjestelmä 27
 Pilarit 69
 Pinnat, pintaluokat 18
 Pintakäsittely – yleisesti 19
 sillat 212
 Poikkitaiksuormitettu pilari 72
 Poikkitaivetojännitys –lovet, reiät 59, 65
 satulapalkit 84
 bumerangipalkit 86
 kehänurkka 110
 Poikkitaivetojuuus, tilavuuden vaikutus 53, 65
 Poikkileikkaukseltaan tasakorkeat suorat palkit 79
 Poikkileikkaukseltaan lineaarisesti vaihtuvakorkuiset
 palkit 82
 Pulpettipalkki 82
 Puunsuojaus 20
 Puunsuojaus – yleisesti 20
 voimajohtopylväät 202
 sillat 211
 Puuraaka-aine 9, 11
 Puutavara 18
 Rakennejärjestelmät 25, 38
 Reiät liimapuupalkissa 61
 Riippusillat 210
 Ristikkosillat 209
 Ristikot 91
 Rungonjäykistys 129
 Ruuvattu kehänurkka 111
 Ruuviliitokset 190
 Satulapalkki 82
 Sekundääripalkin liitos 171, 194
 Sivutuenta – kattopalkit 54, 132, 163
 pilarit 162
 Sormijatkettu kehänurkka 110
 Standardipalkit 16
 Suomen rakentamismääräyskokoelma 42
 Suurimmat poikkileikkaukset 16
 Suurin pituus 16

Taipuminen, muodonmuutokset
 – palkit 79, 81, 84, 87, 89
 ristikot 95
 kehät 109
 kolminivelkattotuolit 100
 orret 125
 Taipuminen, rajoitukset 47
 Tilauksen ja toimitusten perusteet 22
 Tilavuuden vaikutus 53, 65
 Tuotantokoot 16
 Tuotantomäärä 9
 Tuuliristikot 131
 Toleranssit 17
 Tukipaine 80
 Ulkonäkö 18
 Ulokkeet 33, 38
 Uusiokäyttö, kiertokulku 9
 Vahvistaminen – lovet 59
 reiät 60
 Vanerilla vahvistaminen 60, 62
 Varastointi, liimapuu 21
 Varastokoot 16
 Varmuusluokat 44
 Vetotangolliset kattotuolit 99, 102, 116
 Vetotankoliitos 175, 195
 Vinoköysisillat 210
 Vinoon leikatut lamellit 64, 82
 Vinotuet 69
 Vinoudesta johtuvat voimat 74
 Voimajohtopylväät 199
 Yhdistelmärakenteet 36
 Yleiskatsaus, rakennejärjestelmät 38
 Ympyräkaaret 116
 Ympäristötietoa 213

LIIMAPUUKÄSIKIRJA (kopio v. 2003 painetusta kirjasta)

Tämä kirja on tarkoitettu käytännön apuvälineeksi liimapuun kanssa toimiville rakennuttajille, suunnittelijoille ja rakentajille. Kirja on tarkoitettu myös oppikirjaksi alan oppilaitoksiin.

Käsikirja kattaa valvotun liimapuutuotannon sekä sen käytön eri osa-alueita. Valmistus, ominaisuudet ja käyttöalueet käsitellään lyhyesti. Eri rakennejärjestelmien hyviä ja huonoja puolia tuodaan esille siten, että ne ohjaavat eri rakenteiden oikeaan käyttöön ja mitoitukseen. Yksityiskohtaisia neuvoja ja ohjeita annetaan palkkien, kehien ja kaarien mitoitukseen ja muotoiluun.

Mitoitusdiagrammeista näkee nopeasti oikean liimapuudimension ja laskemisesimerkeistä laskemisprosessin. Palomitoitus käsitellään perusteellisesti. Liitosdetaljien valinta ja hahmotus käsitellään niin lujuus- kuin palonkestävyysnäkökulmasta. Erilliset kappaleet kirjassa käsittelevät voimajohtopylväitä ja siltarakenteita.

Tämä liimapuukäsikirja on muokattu ruotsalaisesta Limträhandbokenista samalla kun ruotsalainen versio uudistettiin.

Julkaisija on Wood Focus Oy /Suomen Liimapuuyhdistys, joka on liimapuuteollisuuden yhteinen edunvalvonta- ja menekinedistämiselin.