



# Puurakenteiden lyhennetty suunnitteluohje

## Viides painos

**Eurokoodi 5**

Lähde: RIL 205-1-2017 ja RIL 205-2-2019



**PUUINFO**

# Puurakenteiden lyhennetty suunnitteluohje

Viides painos

Eurokoodi 5

Lähde: RIL 205-1-2017 ja RIL 205-2-2019

# PUUINFO

## **Varoitus: Eurokoodi 5:n ja lyhennetyt suunnitteluohjeen päivitysmahdollisuus.**

Tämä Puurakenteiden lyhennetty suunnitteluohje perustuu Eurokoodi 5 suunnittelustandardin versioihin EN 1995-1-1+A1+A2+AC ja EN 1995-1-2+AC ja niiden Suomen kansallisiin liitteisiin sekä RIL:n Puurakenteiden suunnitteluohjeisiin RIL 205-1-2017 ja RIL 205-2-2019. Mikäli ohjeessa havaitaan virheitä, kansallisiin liitteisiin vahvistetaan muutoksia tai eurokoodeihin tulee lyhennetyt suunnitteluohjeen pätevyyteen vaikuttavia korjauksia, Puuinfo tekee tähän ohjeeseen tarvittavat päivitykset. Päivitettyä lyhennettyä suunnitteluohjetta ylläpidetään internetissä Puuinfon kotisivuilla ([www.puuinfo.fi](http://www.puuinfo.fi)).

RIL:in Puurakenteiden suunnitteluohjeita RIL 205-1-2017 ja RIL 205-2-2019 voi tilata osoitteesta [www.ril.fi](http://www.ril.fi). Lisätietoja eurokoodeista löytyy osoitteesta [www.eurocodes.fi](http://www.eurocodes.fi).

Standardien lainaukset on julkaistu Suomen Standardisoimisliiton SFS:n luvalla.

Kannen kuvassa Puurakentaja Group:n työmaa.  
Valokuva: Mats Vuorenjuuri

# Alkusanat

Puurakenteiden lyhennetty suunnitteluohje on lyhennelmä Suomen Rakennusinsinöörien Liiton julkaisemista teoksista RIL 205-1-2017 ja RIL 205-2-2019. Lyhennetyin suunnitteluohjeen tavoitteena on helpottaa Eurokoodi 5:n mukaista rakennesuunnittelua ja toimia opetusmateriaalina oppilaitoksille.

Ohje on pyritty laatimaan sen tasoiseksi, että sen avulla voi selvittää vähäisistä ja tavanomaisista rakennesuunnittelutehtävistä.

Mahdolliset Eurokoodi 5:n muutokset tullaan päivittämään lyhennettyyn suunnitteluohjeeseen, mutta mahdollisten Eurokoodi 5:n muutosten ajanmukainen seuranta on ensisijaisesti käyttäjän vastuulla.

Suunnitteluohjeen vuonna 2008 julkaistun alkuperäisen tekstin on kirjoittanut tekniikan tohtori Ari Kevarinmäki. Ohjeen päivityksistä vastaa Puuinfo. Päivitetty ohje korvaa vuonna 2018 ilmestyneen neljännen painoksen.

Heinäkuussa 2020

PUUINFO OY  
Mikko Viljakainen  
Toimitusjohtaja



# Sisällys

<b>Alkusanat</b>	<b>5</b>
<b>1 Soveltamisala</b>	<b>8</b>
<b>2 Suunnitteluperusteet</b>	<b>8</b>
2.1 Yleistä	8
2.2 Murtorajatilat	9
2.3 Käyttörajatilat	10
2.4 Kuormat	10
2.5 Kuormien aikaluokat	14
2.6 Käyttöluokat	15
2.7 Materiaalin osavarmuusluvut	15
<b>3 Materiaaliominaisuudet</b>	<b>16</b>
3.1 Kuormitusajan ja kosteuspitoisuuden vaikutus	16
3.2 Biologinen kestävyys	16
3.3 Sahatavara, liimapuu ja LVL	16
3.4 Puulevyt	18
3.5 Liimat	20
3.6 Metalliliittimet	20
<b>4 Käyttörajatilamitoitus</b>	<b>21</b>
4.1 Sallitut taipumat	21
4.2 Lattian värähtely	21
<b>5 Rakenneosien mitoitus</b>	<b>24</b>
5.1 Poikittainen puristus	24
5.2 Leikkaus	25
5.3 Taivutus ja normaalivoima	25
5.4 Kiepahdus	26
5.5 Nurjahdus	26
<b>6 Mekaaniset liitokset</b>	<b>28</b>
6.1 Yleistä	28
6.2 Naulaliitokset	29
6.3 Ruuviliitokset	35
6.4 Pulttiliitokset	37
<b>7 Jäykistysmitoitus</b>	<b>40</b>
7.1 Puristussauvojen tuenta	40
7.2 Palkisto- ja ristikkokenttien tuenta	41
7.3 Jäykistysseinien mitoitus	41
<b>8 Palomitoitus</b>	<b>44</b>
8.1 Suunnitteluperusteet	44
8.2 Hiiltymissyvyys	44
8.3 Palonkestävyyden mitoitus	46
8.4 Liitokset	47
<b>LIITTEET</b>	<b>49</b>
<b>L.1 Seinätolpan mitoitus</b>	<b>50</b>
<b>L.2 Palkin mitoitus</b>	<b>51</b>
<b>L.3 Naulaliitoksen mitoitus</b>	<b>52</b>

# 1 Soveltamisala

Tämä suunnitteluohje on lyhennetty ja yksinkertaistettu Eurokoodi 5:stä (suunnittelustandardit EN 1995-1-1 ja EN 1995-1-2). Lyhennetty suunnitteluohje on tarkoitettu Suomessa sijaitsevien tavanomaisten puurakenteiden, kuten pientalojen, suunnitteluun. Mitoitettaessa sellaisia poikkileikkauksia, rakenneosia, liitoksia, komponentteja tai rakennejärjestelmiä, joihin lyhennyksessä suunnitteluohjeessa ei ole esitetty suunnittelusääntöjä, noudatetaan suunnitteluohjeita RIL 205-1-2017 ja RIL 205-2-2019 tai suunnittelustandardeja EN 1990, EN 1991 ja EN 1995. Puurakenteisten siltojen suunnittelussa noudatetaan standardia EN 1995-2. Huomattakoon, että lyhennetty suunnitteluohje ei sisällä kaikkia Eurokoodi 5:n velvoittavia P-tunnuksella merkittyjä periaatesääntöjä.

Suunnittelustandardi EN 1995 (Eurokoodi 5) koskee rakennusten sekä maa- ja vesirakennuskohteiden suunnittelua käytettäessä sahatavaraa, höylättyä tai pyöreää puutavaraa, liimapuuta tai pussia rakenteisiin tarkoitettuja tuotteita, kuten LVL:ää tai puulevyjä, jotka on valmistettu liimaamalla tai mekaanisin liittimin. Eurokoodi 5:ssä noudatetaan standardissa EN 1990:2002 (Eurokoodi 0) esitetyt rakenteiden varmuutta ja käyttökelpoisuutta koskevia periaatteita ja vaatimuksia sekä rakenteiden suunnittelua ja vaatimustenmukaisuuden osoittamista koskevia perusteita.

Eurokoodi 5 käsittelee vain puurakenteiden mekaanista kestävyyttä, käyttökelpoisuutta, säilyvyyttä ja palonkestävyyttä koskevia vaatimuksia. Eurokoodi 5:ssä ei tarkastella muita vaatimuksia, kuten lämmön- tai ääneneristävyyttä.

EN 1995 on tarkoitettu käytettäväksi yhdessä seuraavien standardien kanssa:

- EN 1990:2002 Eurocode – Basis of design (SFS-EN 1990, Eurokoodi - Rakenteiden suunnitteluperusteet)
- EN 1991 "Actions on structures"
- Puurakenteita koskevat rakennustuotteiden yhdenmukaistetut EN-standardit

Lyhennetty suunnitteluohje perustuu Eurokoodi 5:n yleiseen osaan 1-1 ja palomitoitusosaan 1-2 ja niiden Suomen kansallisiin liitteisiin NA. Yleisimmät EN 1990:n (Eurokoodi 0) kuormitusyhdistelmät ja EN 1991:n (Eurokoodi 1) kuormat ja niitä koskevat Suomen kansalliset liitteet NA on sisällytetty tähän ohjeeseen lyhennettynä ja yksinkertaistettuna. Lyhennetty suunnitteluohje ei kata vaativimman seuraamusluokan CC3 rakennuksien ja rakenteiden suunnittelua (ks. RIL 205-1-2017 taulukko 2.1-FI).

## 2 Suunnitteluperusteet

### 2.1 Yleistä

Puurakenteet suunnitellaan siten, että standardissa EN 1990:2002 ja sitä koskevassa kansallisessa liitteessä esitetyt perusvaatimukset täyttyvät.

Perusvaatimusten katsotaan täyttyvän puurakenteiden osalta, kun käytetään rajatilamitotusta ja osavarmuuslukumenetelmää Eurokoodi 0:n ja sen kansallisen liitteen mukaan, kuormat ja niiden yhdistelmät määritetään Eurokoodi 1:n ja sen kansallisen liitteen mukaan ja kun kestävyyksien, käyttökelpoisuuksien ja säilyvyyden osalta noudatetaan Eurokoodi 5:ttä ja sen kansallista liitettä.

EN 1990 ja EN 1991 standardien ja niiden Suomen kansallisten liitteiden sijasta voidaan käyttää Suomen Rakennusinsinöörien liitto ry:n julkaisua RIL 201-1-2017 Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Vastaavasti SFS-EN 1995 standardin ja sen Suomen kansallisen liitteen sijasta voidaan käyttää julkaisua RIL 205-1-2017 Puurakenteiden suunnitteluohje.

RIL 201-2017, RIL 205-1-2017 ja RIL 205-2-2019 ohjeiden sijasta voidaan tavanomaisten yksinkertaisten puurakenteiden suunnittelussa käyttää tätä lyhennettyä suunnitteluohjetta. On huomattava, että lyhennetty suunnitteluohje on käyttöalueeltaan vastaavia RIL ohjeita rajoitumpi ja siihen sisältyvät suunnitteluohjeiden yksinkertaistukset johtavat EN standardeihin nähden varmalla puolella olevaan mitoitukseen.

Rakennussuunnittelutehtävät jaetaan Suomessa asetuksella neljään luokkaan, jotka ovat vähäinen, tavanomainen, vaativa ja poikkeuksellisen vaativa rakennussuunnittelutehtävä. Rakenteiden suunnittelijalla tulee olla käytettävän vaativuusluokan mukainen pätevyys. Rakennusvalvontaviranomainen toteaa rakennuslupakohdasta suunnittelutehtävän vaativuusluokan ja suunnittelijan kelpoisuuden, jota arvioitaessa voidaan ottaa huomioon ao. suunnittelualaa koskevan pätevyyden toteamiselman antama todistus. Jos rakennuskohteella on useita rakennussuunnittelijoita, on yksi heistä nimettävä vastaavaksi rakennussuunnittelijaksi, joka huolehtii siitä, että osasuunnitelmista muodostuu rakenteelliset vaatimukset täyttävä kokonaisuus.

Eri rajatilojen mitoitusmalleissa otetaan huomioon seuraavat asiat:

- eri materiaaliominaisuudet (esim. lujuus ja jäykkyys),
- materiaalien erilainen ajasta riippuva toiminta (kuorman vaikutusaika, viruminen),
- erilaiset ilmasto-olosuhteet (lämpötila, kosteuden vaihtelu) ja
- erilaiset mitoitusolot (rakentamisvaiheet, tukiehtojen muutos).

## 2.2 Murtorajatilat

Tässä luvussa esitetyt murtorajatilan ohjeet pätevät, kun:

- voimasuureet lasketaan geometrisesti lineaarisen kimmoteorian mukaan,
- rakenteen kaikilla sauvoilla on sama virumaluku  $k_{def}$  (ks. taulukko 3.2),
- rakennuksen tai rakenteen seuraamusluokka on CC2 tai CC1 (ks. RIL 205-1-2017),
- ja kun rakennetta kuormittaa samanaikaisesti korkeintaan omapaino, lumi, tuuli ja yksi A, B tai C luokan hyötykuorma (asuin-, toimisto- tai kokoontumistila).

Murtorajatilan rakennemallissa käytetään jäykkyysominaisuuksien keskimääräisiä arvoja. Murtorajatilassa vaikuttavalle liitoksen keskimääräiselle siirtymäkertoimelle  $K_u$  käytetään arvoa:

$$K_u = \frac{2}{3} K_{ser} \quad (2.1)$$

missä  $K_{ser}$  on liitoksen käyttörajatilan siirtymäkerroin, ks. RIL 205-1-2017 taulukko 7.1.

**Rakenteen kestävyyttä ja tasapainoa** tarkasteltaessa mitoituskuorma lasketaan aikaluokittain seuraavilla kuormitusyhdistelyillä.

Pysyvä aikaluokka:

$$1,35G_{kj} \quad (2.2)$$

Keskipitkä aikaluokka:

$$1,15G_{kj} + 1,5Q_{k,1} + 1,05Q_{k,2} \quad (2.3)$$

Hetkellinen aikaluokka:

$$\max \begin{cases} 1,15G_{kj} + 1,5Q_{k,t} + 1,05Q_{k,1} + 1,05Q_{k,2} \\ 1,15G_{kj} + 1,5Q_{k,1} + 1,05Q_{k,2} + 0,9Q_{k,t} \end{cases} \quad (2.4)$$

missä  
 $G_{kj}$  on pysyvien kuormien ominaisarvo  
 $Q_{k,1}$  on lumi- ja hyötykuorman ominaisarvoista suurempi  
 $Q_{k,2}$  on lumi- ja hyötykuorman ominaisarvoista pienempi  
 $Q_{k,t}$  on tuulikuorman ominaisarvo

Mikäli pysyvien kuormien yhteisvaikutus lisää rakenteen kestävyyttä, pysyvien kuormien ominaisarvo  $G_{kj}$  kerrotaan kertoimen 1,15 sijasta luvulla 0,9.



**Palomitoituksessa** käytetään onnettomuustilanteen kuormitusyhdistelyä:

$$\max \begin{cases} G_{k,j} + 0,5Q_{k,l} + 0,3Q_{k,h} \\ G_{k,j} + 0,2Q_{k,t} + 0,3Q_{k,h} + 0,2Q_{k,l} \end{cases} \quad (2.5)$$

missä

$G_{k,j}$  on pysyvien kuormien ominaisarvo

$Q_{k,l}$  on lumikuorman ominaisarvo

$Q_{k,h}$  on hyötykuorman ominaisarvo ja

$Q_{k,t}$  on tuulikuorman ominaisarvo

### 2.3 Käyttöraajatilat

Kuormien ja kosteuden vaikutuksista rakenteeseen syntyvän muodonmuutostilan tulee pysyä riittävän pienenä, kun otetaan huomioon mahdollisuus, että se voi aiheuttaa vahinkoa pintamateriaaleille, katoille, lattioille, keveille väliseinille ja pinnoitteille ja tuottaa haittaa toiminnan ja ulkonäkövaatimusten kannalta.

Tässä luvussa esitetyt käyttöraajatilan ohjeet pätevät, kun:

- rakenteen kaikilla sauvoilla on sama virumaluku  $k_{def}$  (ks. taulukko 3.2) ja kun
- rakennetta kuormittaa samanaikaisesti korkeintaan omapaino, lumi, tuuli ja yksi A, B tai C luokan hyötykuorma (asuin-, toimisto- tai kokoontumistila).

Kuormasta aiheutuva hetkellinen taipuma  $w_{inst}$  tai muodonmuutostila  $u_{inst}$  (ks. kuva 4.1) laskeaan seuraavalle kuormien ominaisyhdistelmälle käyttämällä kimmo-, liuku- ja siirtymäkertoimien keskiarvoja.

Hyöty- tai lumikuorman ollessa määräävä muuttuva kuorma:

$$G_{kj} + Q_{k,1} + 0,7Q_{k,2} \quad (2.6)$$

Tuulikuorman ollessa määräävä muuttuva kuorma (muuttujat kuten kohdassa 2.2):

$$G_{kj} + Q_{k,t} + 0,7Q_{k,1} + 0,7Q_{k,2} \quad (2.7)$$

Kokonaistaipuma  $w_{fin}$  (ks. kuva 4.1) saadaan kaavalla:

$$w_{fin} = \max \begin{cases} (1 + k_{def})w_{inst,G} + (1 + 0,2k_{def})w_{inst,lumi} + (0,7 + 0,3k_{def})w_{inst,hyöty} \\ (1 + k_{def})w_{inst,G} + (1 + 0,3k_{def})w_{inst,hyöty} + (0,7 + 0,2k_{def})w_{inst,lumi} \end{cases} \quad (2.8)$$

missä

$k_{def}$  on virumaluku (ks. taulukko 3.2)

$w_{inst,G}$  on pysyvän kuorman  $G_{kj}$  aiheuttama hetkellinen taipuma

Värähtelyn käyttörajatilatarkasteluissa käytetään jäykkyysvakioiden keskiarvoja.

### 2.4 Kuormat

Suunnittelussa käytettävät kuormat saadaan standardista SFS-EN 1991 ja sen kansallisista liitteistä, RIL 201-1-2017:sta tai puurakenteille yksinkertaistettuna RIL 205-1-2017 ohjeen kohdasta 2.3.1.4S. Tässä lyhennytyssä ohjeessa esitetään yksinkertaistettuna tärkeimmät tavanomaisten rakennusten kuormat.

Kuorman kesto ja puun kosteus vaikuttavat puun ja puurakenneosien lujuus- ja jäykkyysominaisuuksiin ja ne tulee ottaa huomioon, kun suunnittelukriteereinä ovat mekaaninen kestävyys ja käyttökelpoisuus. Puun kosteudenvaihdelun vaikutuksesta aiheutuvat rasitukset tulee ottaa myös huomioon.

#### Omapaino

Rakennuskohteen omapainon ominaisarvo lasketaan nimellismittojen ja nimellisten tilavuuspainojen perusteella. Tehdasvalmisteisille rakennusosille ja laitteille käytetään valmistajan ilmoittamia arvoja. Kuivalle havupuutavaralle ja siitä liimaamalla valmistetuille rakennusmateriaaleille (mm. liimapuu, LVL ja vaneri) käytetään tilavuuspainoa 5,0 kN/m<sup>3</sup>. Rakennuskohteen omaan painoon kuuluvat kantavat ja ei-kantavat rakennusosat, kiinteät laitteet sekä maakerrosten ja sepellysten painot. Rakenteisiin kiinnitettyjen kantamattomien keveiden väliseinien omapaino voidaan käsitellä tasaisena lattiakuormanana, jolle ei saa kuitenkaan käyttää pienempää arvoa kuin  $g_k = 0,3$  kN/m<sup>2</sup>. Vapaasti liikuteltavien seinämien, kuten sermien, omapaino lisätään hyötykuormaan.

$w_{inst,lumi}$  on lumikuorman  $Q_{k,l}$  aiheuttama hetkellinen taipuma ja

$w_{inst,hyöty}$  on hyötykuorman  $Q_{k,h}$  aiheuttama hetkellinen taipuma

**Taulukko 2.1** - Tavallisimpien hyötykuormien ominaisarvot.

Kuormitettujen tilojen luokat	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]			$Q_k$ [kN] (portaat suluissa)
	Välipohjat	Portaat	Parvekkeet	
<b>Luokka A:</b> Asuutilat	2,0	2,0	2,5	2,0 (2,0*)
<b>Luokka B:</b> Toimistotilat	2,5	3,0	2,5	2,0 (2,0)
<b>Luokka C:</b> Kokoontumistilat				
-C1: Pöytäalueet	2,5	3,0	2,5	3,0 (2,0)
-C2: Kiinteiden istuimien alueet	3,0	3,0	3,0	3,0 (2,0)
-C3: Esteettömät alueet	4,0	3,0	4,0	4,0 (2,0)
-C4: Liikuntatilat ja näyttämöt	5,0	3,0	5,0	4,0 (2,0)
-C5: Tungokselle alttiit alueet	6,0	6,0	6,0	4,0 (2,0)
<b>Luokka D:</b> Myymälätilat				
D1 Tavalliset vähittäiskaupat	4,0	3,0	4,0	4,0 (2,0)
D2 Tavaratalot	5,0	6,0	5,0	7,0 (2,0)
<b>Luokka E:</b> Varastotilat				
E1 Tavarain säilytys ja vastaanottotilat	7,5	3,0		7,0 (2,0)
<b>Luokka H:</b> Vesikatot ilman hyötykäyttöä		0,4		1,0

\* Asunnon sisäiset portaat  $Q_k = 1,5$  kN

### Hyötykuorma

Rakennusten hyötykuormat aiheutuvat tilojen käytöstä. Hyötykuormina käytetään tilan käyttötarkoituksesta riippuvia tasan jakautuneita kuormia, pistekuormia ja vaakasuuntaisia viiva-kuormia. Taulukossa 2.1 on esitetty tavallisimpien hyötykuormien ominaisarvot. Hyötykuorma oletetaan liikkuvaksi kuormaksi, joka vaikuttaa tarkasteltavan rakenteen kannalta epäedullisimmassa osassa.

Paikallisia vaikutuksia tarkasteltaessa otetaan huomioon pistekuorma  $Q_{k,r}$ , jota ei yhdistetä tasan kuormaan tai muihin muuttuviin kuormiin. Pistekuorman kuormitusalueksi oletetaan  $50 \times 50$  mm<sup>2</sup>, kun  $Q_k \leq 2,0$  kN, muutoin  $100 \times 100$  mm<sup>2</sup>.

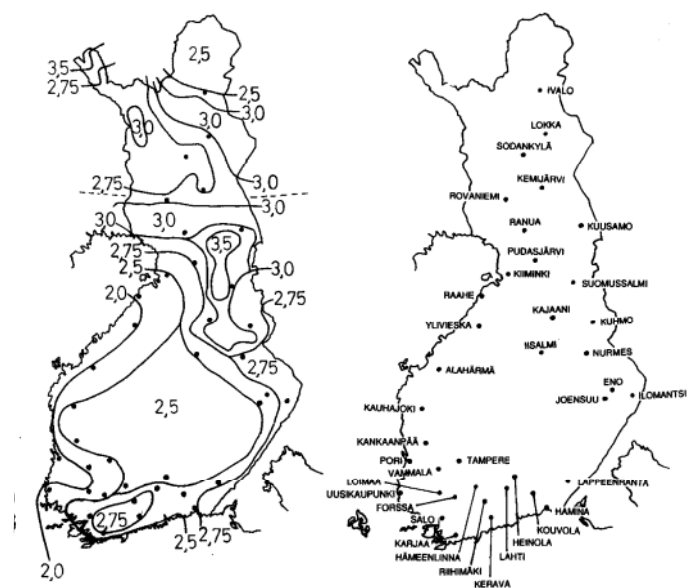
Kaiteena toimiviin väliseiniin ja kaiteisiin kohdistuvan vaakasuuntaisen viivakuorman  $q_k$  oletetaan vaikuttavan käsijohteen tai kaiteen korkeudella, mutta ei ylempänä kuin 1,2 m.

### Lumikuorma

Maanpinnan lumikuorman ominaisarvot  $s_k$  on esitetty kuvassa 2.1. Kattojen ominaislumikuormat  $q_k$  saadaan kertomalla maanpinnan lumikuorma kuvien 2.2 ja 2.3 mukaan määritetyllä muotokertoimella  $\mu_i$ :

$$q_k = \mu_i s_k \tag{2.9}$$

Katot tarkistetaan kuvassa 2.3 esitetyille lumen kuormitustapauksille. Lumikuorma on kiinteä muuttuva kuorma ts. lumikuorman "liikkuvuutta" ei tarkastella esim. moniaukkoisten kattoelementtien mitoituksessa. Kuitenkin jos on odotettavaissa, että katolla olevaa lunta poistetaan tai lumi jakaantuu uudelleen esimerkiksi liukumisen johdosta, katto suunnitellaan asianomaisia kuormituskaavioita käyttäen.



**Kuva 2.1** - Maanpinnan lumikuorman ominaisarvot  $s_k$ .

**HUOMIO** - Katso tuulensuojaiskerroin  $C_e$  ohjeesta RIL 205-1-2017.

Luokka	Maaston rosoisuuden ja pinnanmuodon kuvaus.
0	Avomeri tai merelle avoin rannikko.
I	Järvi tai alue, jolla on vähäistä kasvillisuutta eikä esteitä.
II	Alue, jolla on matalaa kasvillisuutta ja erillisiä puita tai rakennuksia, joiden etäisyys toisistaan on vähintään 20 kertaa esteen korkeus. Esim. maatalousmaa.
III	Esikaupunki- tai teollisuusalueet sekä metsät. Matalat pientaloalueet ja kylät.
IV	Yhtenäiset laajat kaupunkialueet, joiden pinta-alasta vähintään 15 % on rakennettu ja rakennusten keskimääräinen korkeus on yli 15 m.

Taulukko 2.2 - Maastoluokat.

Kuvissa 2.2 ja 2.3 esitetyt muotokertoimien arvot ovat voimassa, kun lunta ei estetä liukumasta katolla. Jos katolla on lumiästä tai muu liukumisesta tai jos katon alaräystäällä on kaide, niin lumikuorman muotokertoimelle käytetään vähintään arvoa 0,8.

Lumen kinostuminen katon sisäjiirin kohdalla on otettava huomioon. Tuulen kinostama lumi on otettava huomioon katolla olevien taserojen, ulkonemien ja esteiden kohdalla. Monitasoisten kattojen ja korkeampaa rakennuskohdetta vasten olevien kattojen yhteydessä on otettava huomioon myös ylemmältä katolta liukuvan lumen kasautuminen (ks. RIL 201-1-2017 tai RIL 205-1-2017 kohta 2.3.1.4S).

**Tuulikuorma**

Seuraavaa tuulikuorman laskemisen yksinkertaistettua menettelyä voidaan käyttää Suomessa tavanomaisten rakennusten yhteydessä. Tuulikuorman suuruuteen vaikuttaa taulukon 2.2 mukainen maastoluokka. Tasaista maastoa vastaava nopeuspaineen ominaisarvo  $q_{p0}(h)$  esitetään kuvassa 2.4. Rakennuksen kaikissa tuulikuormatarkasteluissa käytetään samaa modifioituneen nopeuspaineen ominaisarvoa  $q_p(h)$ , joka määritetään rakennuksen korkeuden  $h$  ja maaston pinnan muodon mukaan.

$$q_p(h) = \gamma_D q_{p0}(h) \tag{2.10}$$

missä  $\gamma_D = 1,0$  kun maaston kaltevuus on pieni  $\phi < 0,05$ .

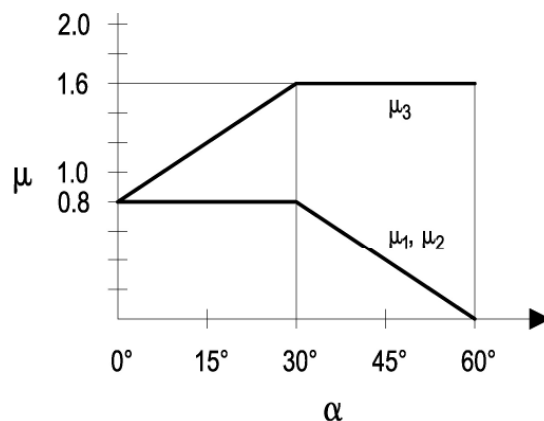
Muussa tapauksessa suurennuskerroin  $\gamma_D$  voidaan määrittää varmalle puolelle yksinkertaistettuna lausekkeesta

$$\gamma_D = \min \begin{cases} 1 + 2,8\Phi \\ 1,84 \end{cases} \tag{2.11}$$

missä  $\Phi$  on maaston kaltevuus (rad) rakennuspaikassa tuulen suunnassa, kun kaltevuus määritetään rinteeseen pituuden ja mäen tai harjanteen lakikorkeuden mukaan.

Mitoitettaessa rakenteita tuulikuormalle erotetaan mitoitus tapaukset A ja B:

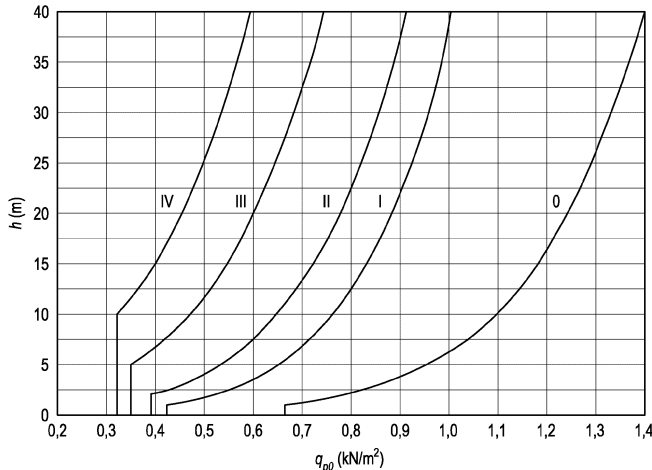
- A) rakennuksen tuulta jäykistävien rakenteiden mitoitus kokonaistuulikuormalle (rakennuksen kokonaisstabiileetti)
- B) rakennuksen tai rakenteen osapintojen ja niiden kiinnitysten mitoitus paikalliselle tuulenpaineelle.



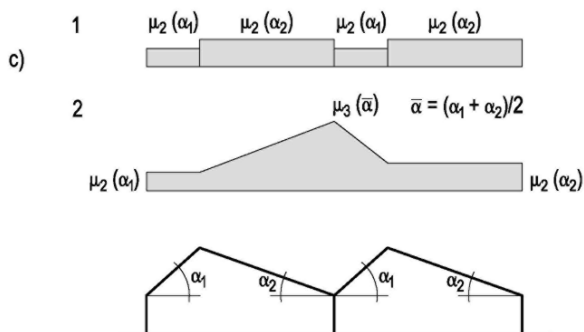
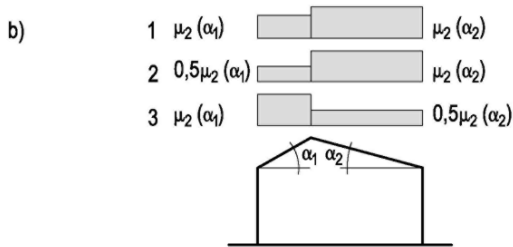
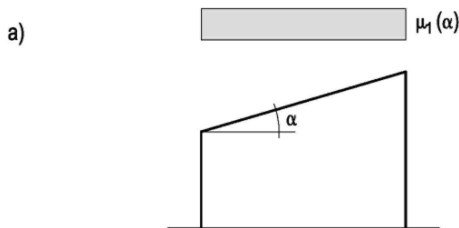
Kuva 2.2 - Lumikuorman muotokertoimet.

Sivusuhte d/b									
$\lambda$	0,1	0,2	0,5	0,7	1	2	5	10	50
$\leq 1$	1,2	1,2	1,37	1,44	1,28	0,99	0,60	0,54	0,54
3	1,29	1,29	1,48	1,55	1,38	1,07	0,65	0,58	0,58
19	1,40	1,40	1,60	1,68	1,49	1,15	0,70	0,63	0,63

**Taulukko 2.3** - Voimakerroin  $c_f$  huomioiden rakennuksen mittasuhteiden ja hoikkuuden vaikutus. Väliarvot voidaan interpoloida lineaarisesti. Hoikkuus  $\lambda$  lasketaan kaavalla (2.13). Sivumitta  $d$  on rakennuksen pituus tuulen suunnassa.



**Kuva 2.4** - Nopeuspaineen ominaisarvot  $q_{p0}(h)$  eri maastoluokissa, kun tuulenneopeuden perusarvo  $v_b=21$  m/s.



**Kuva 2.3** - Kattojen lumikuorman muotokertoimet: a) pulpetti-, b) harja- ja c) sahakatto.

Muiden kuin tuulta vastaan jäykistävien kantavien puurakenteiden mitoituksessa ei yleensä tarvitse tarkastella tuulikuormaa yhdessä muiden muuttuvien kuormien kanssa; hetkellinen aika-luokka ei tule mitoittavaksi esimerkiksi lumi- ja tuulikuormalla rasitetuissa kattorakenteissa. Kattorakenteiden kiinnitykset tuulen imulle tulee kuitenkin tarkistaa käyttäen osapintojen paikallista tuulenpainetta. Kaltevien kattojen kannatteiden kiinnitykset tulee tarkistaa myös jäykistäville rakenteille johdettavalle vaakakuormalle, joka määritetään kannatteen kuormitusalan pystyprojektiota vastaavana osuutena rakennuksen kokonaistuulikuormasta.

Rakennuksen vaakasuuntainen kokonaistuulikuorma voidaan laskea kaavalla (2.12), kun rakennuksen korkeus on enintään 50 m ja pienempi kuin sen leveys ( $h < b$ ).

$$F_{w,k} = c_f q_p(h) A_{ref} \quad (2.12)$$

missä

$c_f$  on rakenteen voimakkeroin (taulukko 2.3)  
 $q_p(h)$  on rakennuksen korkeutta  $h$  vastaava nopeuspaine (kuva 2.4)

$A_{ref}$  on rakenteen tuulta vastaan kohtisuora projektiopinta-ala

Kokonaistuulikuorman resultantin  $F_{w,k}$  voidaan olettaa vaikuttavan projektiopinnan  $A_{ref}$  painopisteessä.

Voimakertoimen määrittämisessä käytettävä rakennuksen hoikkuus

$$\lambda = \begin{cases} 2h / b & \text{kun } h \leq 15 \text{ m} \\ (2,25 - 0,017h) \frac{h}{b} & \text{kun } 15 \text{ m} < h \leq 50 \text{ m} \end{cases} \quad (2.13)$$

missä

$h$  on rakennuksen korkeus [m]

$b$  on rakennuksen leveys tuulta vastaan kohtisuorassa suunnassa [m]

Ulkoseinät	suurin imu nurkka-alueilla <sup>1)</sup>		suurin imu keskialueilla		suurin paine sisäänpäin	
	$A \geq 10$	$A \leq 1 \text{ m}^2$	$A \geq 10$	$A \leq 1 \text{ m}^2$	$A \geq 10$	$A \leq 1 \text{ m}^2$
tarkasteltava pinta-ala	$A \geq 10$	$A \leq 1 \text{ m}^2$	$A \geq 10$	$A \leq 1 \text{ m}^2$	$A \geq 10$	$A \leq 1 \text{ m}^2$
$C_{p,net}$	-1,5	-1,7	-1,1	-1,4	+1,1	+1,3

**Taulukko 2.4** - Ulkoseinien paikallisen tuulenpaineen nettopainekertoimia.

<sup>1)</sup> Nurkka-alue ulottuu rakennuksen ulkonurkasta molempiin suuntiin etäisyydelle  $e/5$ , jossa  $e = \min(b; 2h)$ , kun  $h$  on rakennuksen korkeus ja  $b$  on rakennuksen suurempi sivumitta. Muualla tuulen imulle voidaan käyttää keskialueen nettopainekerrointa.

kattotyyppi	katon kaltevuus <sup>1)</sup>	nurkka-alueet <sup>2)</sup>			reuna-alueet <sup>3)</sup>			muu alue <sup>4)</sup>	
		$A \geq 10$	$A \leq 1$	räys-täs	$A \geq 10$	$A \leq 1$	räys-täs	$A \geq 10$	$A \leq 1$
Tasakatto	$< 5^\circ$	-2,1	-2,8	-3,5	-1,5	-2,3	-3,0	-1,0	-1,5
Pulpettikatto	$5^\circ \dots 15^\circ$	-2,7	-3,2	-3,9	-2,2	-2,8	-3,5	-1,2	-1,5
	$\geq 30^\circ$	-2,4	-3,2	-3,9	-1,8	-2,3	-3,0	-1,3	-1,6
Harjakatto	$5^\circ \dots 15^\circ$	-2,0	-2,8	-3,5	-1,6	-2,3	-3,0	-1,0	-1,5
	$\geq 30^\circ$	-1,4	-1,8	-2,5	-1,7	-2,3	-3,0	-1,2	-1,5

**Taulukko 2.5** - Kattojen nettopainekertoimia suurimmalle paikalliselle tuulen imulle. Kertoimet eivät päde avoimille katoksille.

<sup>1)</sup> Kaltevuuksilla  $15 - 30^\circ$  käytetään lineaarista interpolointia.

<sup>2)</sup> Nurkka-alue ulottuu rakennuksen ulkonurkasta molempiin suuntiin etäisyydelle  $e/4$ , kun  $e = \min(b; 2h)$ , jossa  $h$  on rakennuksen korkeus ja  $b$  on rakennuksen suurempi sivumitta.

<sup>3)</sup> Katon reuna-alue ulottuu etäisyydelle  $e/10$  ulkoseinälinjalta - ei kuitenkaan nurkka-alueille.

<sup>4)</sup> Muut kuin nurkka- ja reuna-alueet. Tarkasteltaessa koko rakennuksen levyisen kattokannatteen kiinnitystä tuulen imulle, voidaan tuulenpainetta laskea käyttäen pelkästään tämän sarakkeen nettopainekerrointa.

Rakenteen osapinnoille kohdistuvaa paikallista tuulenpainetta käytetään rakenteiden kiinnitysten mitoituksessa sekä rakenneosien ja verhousten taivutustarkasteluissa. Osapinnan tuulenpainetta kohdistuu aina kohtisuorasti pintaa vastaan. Tässä ohjeessa paikallinen tuulenpainetta määritetään rakennuksen ulkoisen ja sisäisen tuulenpaineen sisältävänä nettopaineena. Tuulen aiheuttama osapinnan nettopaine

$$q_{w,k} = c_{p,net} q_p(h) \quad (2.14)$$

missä

$c_{p,net}$  on osapinnan nettotuulenpainekerroin (ks. taulukot 2.4 ja 2.5)

$q_p(h)$  on rakennuksen korkeutta  $h$  vastaava nopeuspaine (ks. kaava 2.10)

Taulukoissa 2.4 ja 2.5 esitetyt nettopainekertoimet on annettu tarkasteltavan osapinnan pinta-alaan mukaan. Alle  $1 \text{ m}^2$  pinta-aloille tarkoitettua arvoa käytetään katteiden ja julkisivuverhousten kiinnitysten mitoituksessa ja yli  $10 \text{ m}^2$  arvoa käytetään esimerkiksi kattokannatteen ja sen kiinnityksen mitoituksessa tuulen imulle. Kun tarkasteltavan pinnan ala on  $1 \dots 10 \text{ m}^2$ , nettopaine voidaan interpoloida lineaarisesti. Mikäli

osittain avoimen rakennuksen yhdellä sivulla olevien aukkojen pinta-ala on yli kaksinkertainen rakennuksen muilla seinillä olevien aukkojen kokonaisalaan verrattuna, tulee taulukoissa 2.4 ja 2.5 esitetyt nettopainekertoimet kertoa luvulla 1,4.

## 2.5 Kuormien aikaluokat

Kuormien aikaluokkien määrittämiseen käytetään rakenteen käyttöajan aikana tietyn ajan vaikuttavan vakiokuorman kestoa. Muuttuvalle kuormalle asianomainen luokka tulee määrittää kuorman tyypillistä ajallista vaihtelua koskevan arvion perusteella. Kukin kuorma nimetään yhteen aikaluokkaan.

Tässä lyhennetyssä ohjeessa kuormat jaotellaan kolmeen aikaluokkaan taulukossa 2.6 esitetyllä tavalla. Eurokoodi 5:n pitkäaikainen aikaluokka yhdistetään pysyvään aikaluokkaan ja lyhytaikainen keskipitkään aikaluokkaan.

Kuorman aikaluokka	Ominaiskuorman vaikutusajan suuruusluokka	Kuormitukset
Pysyvä	yli 10 vuotta	Omapaino Pysyvästi rakenteeseen kiinnitetyt koneet, laitteet ja kevyet väliseinät Maanpaine
Keskkipitkä	1 viikko - 6 kuukautta	Lumi Lattioiden ja parvekkeiden hyötykuorman pinta-kuormat luokissa A-D Autotalliin ja liikennöintialueiden hyötykuormat (luokat F ja G) Kosteuden vaihtelun aiheuttamat kuormitukset
Hetkellinen		Tuuli Onnettomuuskuorma

**Taulukko 2.6** - Kuormien aikaluokat ja kuormien jaottelu aikaluokkiin.

## 2.6 Käyttöluokat

Rakenteet tulee jaotella seuraavien kohtien mukaisesti käyttöluokkiin 1, 2 tai 3. Käyttöluokkajärjestelmä on tarkoitettu pääasiassa lujuusarvojen jaottelua varten ja määritellyissä ympäristöolosuhteissa syntyvän muodonmuutoksen laskemista varten.

**Käyttöluokka 1.** Käyttöluokalle 1 on tyypillistä, että materiaalien kosteus on lämpötilaa 20°C vastaava ja ympäröivän ilman suhteellinen kosteus ylittää arvon 65 % vain muutamana viikkona vuodessa. Käyttöluokassa 1 havupuun kosteus ei enimmäkseen ylitä arvoa 12 %.

Käyttöluokkaan 1 kuuluu puurakenne, joka on lämmitetyissä sisätiloissa tai vastaavissa kosteusoloissa. Käyttöluokkaan 1 voidaan yleensä lukea myös lämpöeristeroksessa olevat rakenteet sekä palkit, joiden vetopuoli on lämmöneristeen sisällä.

**Käyttöluokka 2.** Käyttöluokalle 2 on tyypillistä, että materiaalien kosteus on lämpötilaa 20°C vastaava ja ympäröivän ilman suhteellinen kosteus ylittää arvon 85 % vain muutamana viikkona vuodessa. Käyttöluokassa 2 havupuun kosteus ei enimmäkseen ylitä arvoa 20 %.

Käyttöluokkaan 2 kuuluu ulkoilmassa kuivana oleva puurakenne. Rakenteen tulee olla kate-tussa ja tuuletetussa tilassa sekä alta ja sivuilta hyvin kastumiselta suojattu. Tähän käyttöluokkaan kuuluvat yleensä esimerkiksi rossipohjan ja kylmän ullakotilan puurakenteet.

**Käyttöluokka 3.** Käyttöluokalle 3 on tyypillistä, että ilmasto-olosuhteet johtavat suurempiin kosteusarvoihin kuin käyttöluokassa 2.

Käyttöluokkaan 3 kuuluu ulkona säälle alttiina, kosteassa tilassa tai veden välittömän vaikutuksen alaisena oleva puurakenne.

Puun tasapainokosteuden lisäksi käyttöluokan valinnassa tulee kiinnittää huomiota kosteuden vaihteluihin. Kosteuden vaihtelun vaikutus puurakenteeseen voi olla suurempi kuin korkeankin tasaisen kosteuden vaikutus. Käyttöluokassa 1 tulee kiinnittää erityistä huomiota puutavaran halkeiluvaaraan.

## 2.7 Materiaalin osavarmuusluvut

Lujuusominaisuuden mitoitusarvo  $X_d$  lasketaan seuraavasti:

$$X_d = k_{mod} \frac{X_k}{\gamma_M} \quad (2.12)$$

missä

$X_k$  on lujuusominaisuuden ominaisarvo

$\gamma_M$  on materiaaliominaisuuden osavarmuusluku (ks. taulukko 2.7)

$k_{mod}$  on muunnoskerroin, jonka avulla otetaan huomioon kuorman keston ja kosteuden vaikutus (ks. taulukko 3.1)

Perusyhdistelmät:	
Sahatavara ja pyöreä puutavara yleensä	1,3
Liimapuu, CLT	1,25
LVL, vaneri, OSB-levy	1,2
Muu lastulevy, kuitulevyt	1,3
Liitokset	1,3
Onnettomuusyhdistelmät	1,0

**Taulukko 2.7** - Suomessa käytettävät materiaalien osavarmuusluvut  $\gamma_M$

## 3 Materiaaliominaisuudet

### 3.1 Kuormitusajan ja kosteuspitäisyyden vaikutus

Materiaalien ja liitosten mitoituslujuuksien laskennassa käytetään taulukossa 3.1 esitettyjä kuorman keston ja kosteusvaikutuksen muunnoskertoimia  $k_{\text{mod}}$ . Jos kuormayhdistelmä muodostuu eri aikaluokkiin kuuluvista kuormista, valitaan kertoimelle  $k_{\text{mod}}$  arvo, joka vastaa lyhytkestoisinta kuormaa. Esimerkiksi pysyvän kuorman ja keskipitkään aikaluokkaan kuuluvan lumikuorman yhdistelmälle käytetään keskipitkän aikaluokan  $k_{\text{mod}}$  kerrointa. Pitkäaikaisen taipuman laskennassa käytetään taulukossa 3.2 esitettyjä virumalukuja  $k_{\text{def}}$ .

### 3.2 Biologinen kestävyys

Puulla ja puutuotteilla tulee olla joko riittävä luontainen biologinen kestävyys standardin EN 350-2 mukaan kyseisessä EN 335 standardin mukaisessa biologisen rasituksen käyttöluokassa (riskiluokassa) tai ne tulee suojakäsitellä standardien EN 351 ja EN 460 vaatimusten mukaan. Suojakäsittelyvaatimuksia koskevat säännöt on esitetty standardeissa EN 350-2, EN 351 ja EN 599-1 ja -2. On otettava huomioon, että suojakäsittely voi vaikuttaa lujuus- ja jäykkyysominaisuuksiin.

### 3.3 Sahatavara, liimapuu ja LVL

**Sahatavaran** tulee olla standardin EN 14081-1 mukaista. Sormijatkosten tulee olla standardin EN 15497 mukaisia. Havupuutukeista valmistetun lajittelemattoman pyöreän puutavaran sekä pyörö-, höylä- ja massiivipuuhirren lujuus- ja jäykkyysominaisuuksien voidaan katsoa vastavan sahatavaran lujuusluokkaa C24 edellyttäen, että puu vastaa laadultaan Suomessa kasvanutta puuta. Tällainen puutavara ei saa sisältää liimausta eikä sormijatkoksia.

Havupuun lujuusluokat C14-C50 ja lehtipuulajien lujuusluokat D30-D70 esitetään standardissa EN 338. Havupuun yleisimmät C-lujuusluokat ja niitä vastaavat pohjoismaiset T-lajitteluluokat on esitetty taulukossa 3.3.

Käytettäessä kokonaan tai lähes kokonaan veden kyllästämää tuotetta tai kastunutta puutavaraa, joka todennäköisesti kuivuu kuormitettuna ollessaan, suurennetaan taulukon 3.2 mukaisia virumalukuja  $k_{\text{def}}$  arvolla 1,0.

**Liimapuun** tulee olla standardin EN 14080 mukaista. Havupuusta valmistetun liimapuun lujuusluokat on esitetty standardissa EN 14080 erikseen samanlaisista lamelleista valmistetulle homogeeniselle liimapuulle GL20h-GL32h ja eri lujuusluokan lamelleista kootulle liimapuulle GL20c-GL32c.

Valmiin liimapuupalkin halkaiseminen heikentää lujuusominaisuuksia. Halkaisemalla valmistettavan liimapuupalkin lujuusluokat on varustettu s-tunnuksella. Yleisimmät lujuusluokat on esitetty taulukossa 3.3.

**LVL:n** tulee täyttää EN 14374 standardissa esitetyt vaatimukset. Yhteen suuntaan viilutetun Kerto-S- ja Kerto-T-LVL:n sekä ristiviilutetun Kerto-Q-LVL:n lujuus- ja jäykkyysominaisuuksia on esitetty taulukossa 3.4. Tämä ohje ei koske alle 27 mm paksua Kerto-Q-levyä.

Kun syrjällään taivutetun LVL-palkin korkeus on yli 300 mm, taivutuslujuuden ominaisarvoa  $f_{m,k}$  pienennetään kertoimella  $k_h$ :

$$k_h = \left( \frac{300}{h} \right)^s \leq 1,2 \quad (3.1)$$

missä  
 $h$  palkin korkeus [mm]  
 $s$  kokovaikutusekspONENTTI (ks. taulukko 3.4)

Kun vedetyn LVL-sauvan pituus on yli 3000 mm, vetolujuuden ominaisarvoa  $f_{t,0,k}$  pienennetään kertoimella  $k_\ell$ :

$$k_\ell = \left( \frac{3000}{\ell} \right)^{s/2} \leq 1,1 \quad (3.2)$$

missä  
 $\ell$  pituus [mm] ja  
 $s$  kokovaikutusekspONENTTI (ks. taulukko 3.4).

Materiaali	Käyttöluokka	Kuorman aikaluokka		
		Pysyvä	Keskipitkä	Hetkellinen
Sahatavara, Pyöreä puutavara, Liimapuu, LVL, Vaneri, CLT	1	0,60	0,80	1,10
	2	0,60	0,80	1,10
	3	0,50	0,65	0,90
Lastulevy P4 <sup>1)</sup> , OSB/2 <sup>1)</sup> , Kova kuitulevy	1	0,30	0,65	1,10
	2	0,20	0,45	0,80
Lastulevy P6 <sup>1)</sup> , OSB/3 ja OSB/4	1	0,40	0,70	1,10
	2	0,30	0,55	0,90
Puolikovat kuitulevyt: MBH.LA <sup>1)</sup> , MBH.HLS, MDF.LA <sup>1)</sup> ja MDF.HLS	1	0,20	0,60	1,10
	2	-	-	0,80

**Taulukko 3.1** – Muunnoskertoimen  $k_{mod}$  arvot.

<sup>1)</sup> Saadaan käyttää vain käyttöluokassa 1

Materiaali	Standardit	Käyttöluokka		
		1	2	3
Sahatavara, Pyöreä puu	EN 14081-1	0,60	0,80	2,00
Liimapuu	EN 14080			
LVL, CLT syrjällään	EN 14374			
Vaneri, Kerto-Q lappeellaan, CLT lappeellaan	EN 636, VTT 184/03	0,80	1,00	2,50
OSB-levy	EN 300: OSB/2	2,25	-	-
	EN 300: OSB/3, OSB/4	1,50	2,25	-
Lastulevy	EN 312: P4	2,25	-	-
	EN 312: P6	1,50	-	-
Kova kuitulevy	EN 622-2: HB.LA, HB.HLA	2,25	3,00	-
Puolikova kuitulevy	EN 622-3: MBH.LA, MBH.HLS	3,00	4,00	-
MDF-levy	EN 622-5: MDF.LA, MDF.HLS	2,25	3,00	-

**Taulukko 3.2** – Virumaluvun  $k_{def}$  arvot puulle ja puutuotteille.

Lujuusluokka		Sahatavara			Liimapuu		Halkaistu liimapuu
		C18 (T1)	C24 (T2)	C30 (T3)	GL24c	GL30c	GL30cs <sup>1)</sup>
Ominaislujuudet (N/mm <sup>2</sup> )							
Taivutus	$f_{m,k}$	18	24	30	24	30	28
Veto	$f_{t,0,k}$	10	14,5	19	17	19,5	18,7
	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
Puristus	$f_{c,0,k}$	18	21	24	21,5	24,5	23,3
	$f_{c,90,k}$	2,2	2,5	2,7	2,5	2,5	3,0
Leikkaus	$f_{v,k}$	3,4	4,0	4,0	3,5	3,5	3,5
Jäykkyysominaisuudet (N/mm <sup>2</sup> )							
Kimmomoduuli	$E_{0,mean}$	9000	11000	12000	11000	13000	12500
	$E_{90,mean}$	300	370	400	300	300	300
Liukumoduuli	$G_{mean}$	560	690	750	650	650	650
Tiheydet (kg/m <sup>3</sup> )							
Ominastiheys	$\rho_k$	320	350	380	365	390	390
Tiheyden keski-arvo	$\rho_{mean}$	380	420	460	400	430	430

**Taulukko 3.3** - Sahatavaran ja liimapuun ominaislujuudet, jäykkyysominaisuudet ja tiheydet yleisimmässä lujuusluokassa.



Tyyppi		Kerto-S	Kerto-T	Kerto-Q
<b>Paksuus (mm)</b>		<b>21 - 90</b>	<b>27 - 75</b>	<b>27 - 69</b>
<b>Ominaislujuudet (N/mm<sup>2</sup>)</b>				
Taivutus syrjällään	$f_{m,k}$	44	27	32
KokovaikutusekspONENTTI	$S$	0,12	0,15	0,12
Taivutus lappeellaan	$f_{m,0,flat,k}$	50	32	36
Veto syysuuntaan	$f_{t,0,k}$	35	24	26
Veto poikittain syrjällään	$f_{t,90,edge,k}$	0,8	0,5	6,0
Puristus syysuuntaan	$f_{c,0,k}$	35	26	26
Puristus poikittain syrjällään	$f_{c,90,edge,k}$	6	4	9
Puristus poikittain lappeellaan	$f_{c,90,flat,k}$	1,8	1,0	2,2
Leikkaus syrjällään	$f_{v,k}$	4,1	2,4	4,5
Lappeellaan pintaviilun suuntaan	$f_{r,0,k}$	2,3	1,3	1,3
<b>Jäykkyysominaisuudet (N/mm<sup>2</sup>)</b>				
Kimmomoduuli	$E_{mean}$	13800	10000	10500
Liukumoduuli	$G_{edge, mean}$	600	400	600
<b>Tiheydet (kg/m<sup>3</sup>)</b>				
Ominaisstiheys	$\rho_k$	480	410	480
Tiheyden keskiarvo	$\rho_{mean}$	510	440	510

**Taulukko 3.4** - Kerto-S, Kerto-T ja Kerto-Q LVL:n ominaislujuudet, kokovaikutusekspONENTIT, jäykkyysominaisuudet ja tiheydet (VTT Certificate No 184/03 ja sertifikaatti VTT-C-1781-21-07).

### 3.4 Puulevyt

Puulevyjen tulee olla standardin EN 13986 mukaisia. Puulevyille voidaan käyttää taulukossa 3.5 esitettyjä taivutus- ja leikkauslujuuksien ominaisarvoja ja keskimääräisiä taivutuskimmomoduuleja. Suomalaisen vanerin tekniset ominaisuudet on esitetty kattavasti Metsäteollisuus ry:n julkaisemassa Vanerikäsikirjassa (2001). Vähintään 27 mm paksulle Kerto-Q-levylle käytetään taulukossa 3.4 esitettyjä lujuus- ja jäykkyyssarvoja.

Huokoisten kuitulevyjen, kipsilevyjen, kuitusementtilevyjen, sementtilastulevyjen, puukipsilevyjen ja kalsiumsilikaattilevyjen käyttö puurakenteiden tuulta jäykistävinä levyinä edellyttää, että levytuotteella on eurooppalainen tekninen hyväksyntä ETA tai ympäristöministeriön asetuksen mukainen rakennuslevyn tyyppihyväksyntä, jossa esitetään EN 1995 suunnittelu-standardin yhteydessä noudatettavat tuulijäykistyksen mitoitusohjeet.

Levy	paksuus $t$ (mm)		4-5	6-8	9-11	12-17	18-23	24-30
Suomalainen ohutviiluiinen havuvaneri Viilun paksuus 1,4 mm	Taivutus $f_{m,k}$	0°	37	29	26	23	22	21
		90°	6,0	16	18	19	19	19
	Leikkaus $f_{v,k}$	0..90°	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
	Tasoleikkaus $f_{r,k}$	0°	1,7	2,0	1,7	1,6	1,6	1,6
		90°	-	1,1	1,4	1,4	1,5	1,5
	$E_{mean}$	0°	12200	9400	8400	7600	7300	7000
90°		760	3500	4500	5000	5500	5700	
Suomalainen paksuviiluiinen havuvaneri Viilu 2,6..3,2 mm	Taivutus $f_{m,k}$	0°	-	-	28	22	20	18
		90°	-	-	3,8	8,3	12	12
	Leikkaus $f_{v,k}$	0..90°	-	-	3,5	3,5	3,5	3,5
	Tasoleikkaus $f_{r,k}$	0°	-	-	0,9	0,9	0,9	1,0
		90°	-	-	-	-	0,6	-
	$E_{mean}$	0°	-	-	11400	9100	8100	7500
90°		-	-	540	1700	3400	3800	
Suomalainen koivuvaneri	Taivutus $f_{m,k}$	0°	65	50	45	41	39	38
		90°	10	29	32	33	34	34
	Leikkaus $f_{v,k}$	0..90°	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
	Tasoleikkaus $f_{r,k}$	0°	2,7	3,2	2,6	2,6	2,5	2,5
		90°	-	1,7	2,3	2,3	2,3	2,3
	$E_{mean}$	0°	16400	12700	11300	10000	9800	9500
90°		1000	4700	6100	7100	7400	7700	
OSB-levyt: OSB/2, OSB/3, OSB/4	Taivutus $f_{m,k}$	0°	-	18	16	16	14	-
		90°	-	9,0	8,2	8,2	7,4	-
	Leikkaus $f_{v,k}$	0..90°	-	6,8	6,8	6,8	6,8	-
	Tasoleikkaus $f_{r,k}$	0..90°	-	1,0	1,0	1,0	1,0	-
	$E_{mean}$	0°	-	4900	4900	4900	4900	-
		90°	-	1900	1900	1900	1900	-
P4-luokan lastulevy	Taivutus	$f_{m,k}$	-	14	14	12	10	9
	Leikkaus	$f_{v,k}$	-	6,6	6,6	6,1	5,5	4,8
	Tasoleikkaus	$f_{r,k}$	-	1,8	1,8	1,6	1,4	1,2
	Taivutus	$E_{mean}$	-	3200	3200	2900	2700	2400
P6-luokan lastulevy "lattialevy"	Taivutus	$f_{m,k}$	-	16	16	15	13	12
	Leikkaus	$f_{v,k}$	-	7,8	7,8	7,3	6,8	6,5
	Tasoleikkaus	$f_{r,k}$	-	1,9	1,9	1,7	1,7	1,7
	Taivutus	$E_{mean}$	-	4400	4400	4100	3500	3300

**Taulukko 3.5** - Puulevyjen taivutus- ja leikkauslujuuden ominaisarvoja sekä keskimääräisiä kimmomoduuleja.

Liitin	Käyttöluokka <sup>1)</sup>		
	1	2	3
Naulat ja ruuvit, joiden $d \leq 4$ mm	Ei mitään	Fe/Zn 12c, 39 $\mu$ m	Fe/Zn 12c, 49 $\mu$ m
Pultit, naulat ja ruuvit, joiden $d > 4$ mm	Ei mitään	Ei mitään	Fe/Zn 12c, 49 $\mu$ m
Teräslevyt, joiden paksuus $\leq 3$ mm	Fe/Zn 12c, Z275	Fe/Zn 12c, Z275	Ruostumaton teräs
Teräslevyt, joiden paksuus on 3...5 mm	Ei mitään	Fe/Zn 12c, Z275	Fe/Zn 25c, Z350
Teräslevyt, joiden paksuus $> 5$ mm	Ei mitään	Ei mitään	Fe/Zn 25c, Z350

<sup>1)</sup> Erityisen syövyttäviin olosuhteisiin on syytä harkita paksumpaa kuumasinkitystä tai ruostumatonta terästä.

**Taulukko 3.6** - Liittimien korroosiosuojausta koskevia vähimmäisvaatimuksia. Sähkösinkityksen Fe/Zn -luokat ovat standardin ISO 2081 mukaisia, kuumasinkityksen Z-pinnoitteet on määritelty standardissa EN 10346 ja puikkoliittimien kuumasinkitykset (minimipaksuus  $\mu$ m) ovat standardin ISO 1461 mukaisia.

### 3.5 Liimat

Rakenteellisilla liimoilla tehdyillä liitoksilla tulee olla sellainen lujuus ja säilyvyys, että sauma säilyy ehjänä valitussa käyttöluokassa koko suunnitellun käyttöajan.

Liimoja, jotka täyttävät standardin EN 301 tyyppin I vaatimukset, voidaan käyttää kaikissa käyttöluokissa. Tällaisia ovat esimerkiksi resorsinoli- ja resorsinolifenoliliimat. Liimoja, jotka täyttävät standardin EN 301 tyyppin II vaatimukset, voidaan käyttää vain käyttöluokissa 1 tai 2 eikä silloinkaan pitkään yli 50°C lämpötilalle altistettuna.

Rakenteellinen liimaus edellyttää ilmoitetun laitoksen antamaa tuotteen suoritusosan pysyvyyden sertifikaattia (AVCP-järjestelmä 1). Ilmoitetun laitoksen pätevyyden toteaa Suomessa ympäristöministeriö.

Pelkästään käyttörajatilamitoituksessa hyödynnettävää liimausta voidaan suorittaa ilman ulkopuolista laadunvalvontaa, mutta tällöinkin liimaliitoksilla tulee olla sellainen lujuus ja säilyvyys, että sauma säilyy ehjänä koko käyttöajan.

### 3.6 Metalliliittimet

Metallisten puikkoliittimien tulee olla standardin EN 14592 mukaisia. Vaarna-, naulaus- ja naulauslevyjen tulee olla standardin EN 14545 mukaisia. Naulalevyjä voidaan käyttää rakenteellisina liittiminä vain tehdasvalmisteisissa EN 14250 tai ETA:n mukaan CE-merkittävissä tuotteissa tai kansallisen tyyppihyväksynnän tai varmennustodistuksen mukaisissa rakenteissa.

Sellaisilla metallisilla liitososilla, jotka eivät ole edellä esitetyn mukaisia standardiliittimiä tai joita ei suunnitella käyttökohdekohtaisesti eurokoodi standardien mukaan, tulee olla CE-merkintään oikeuttava eurooppalainen tekninen arviointi (ETA), varmennustodistus tai rakennuspaikkakohtaisessa kelpoisuuden osoittamisessa käytettävä rakennusvalvontaviranomaisen hyväksymä asiantuntijaselvitys, kuten VTT:n lausunto/sertifikaatti liitososan käytöstä EN 1995 standardin mukaisen puurakenteiden suunnittelun yhteydessä. Tällaisia liitososia ovat esimerkiksi kulmakiinnikkeet, palkkikengät, pilarikengät, liimakärkinäulat, erikoisruuvit ja porakärkiset tappivaarmat. Tällaisilla liitososilla toteutettavien liitosten suunnittelussa sovelletaan eurokoodeja ETA:ssa, varmennustodistuksessa tai lausunnossa/sertifikaatissa esitettyjen täydentävien suunnitteluohjeiden mukaan.

Metalliliittimien ja muiden rakenteellisten liitososien tulee tarvittaessa olla korroosionkestäviä tai ne tulee suojata korroosiolta. Taulukossa 3.6 on esimerkkejä vähimmäissuojauksesta tai materiaalin valinnasta suojauduttaessa korroosiota vastaan eri käyttöluokissa. Käyttöluokassa 3 tulee kaikissa kantavien ja muiden henkilöturvallisuuteen liittyvien rakenteiden kyllästetyin puutavaran liitoksissa käyttää ruostumattomasta teräksestä valmistettuja liitososia ja liittimiä ellei kyseiselle kyllästysaineelle ole annettu muuta ilmoitetun laitoksen vahvistamaa ohjetta. Ruostumattomana teräksenä voidaan käyttää peruslaatua EN 1.4301, AISI 304 tai A2.

## 4 Käyttörajatilamitoitus

### 4.1 Sallitut taipumat

Kohdan 2.3 mukainen kokonaistaipuma  $w_{fin}$  muodostuu kuvan 4.1 mukaisista osista. Kuvan merkinnät määritellään seuraavasti:

- $w_c$  on esikorotus (jos sellaista käytetään)
- $w_{inst}$  on hetkellinen taipuma <sup>1)</sup>
- $w_{creep}$  on viruman aiheuttama lisätaipuma
- $w_{net,fin}$  on lopputaipuma:

$$w_{net,fin} = w_{inst} + w_{creep} - w_c = w_{fin} - w_c$$

<sup>1)</sup> Huom. Hetkellinen taipuma ei riipu käyttöluokasta.

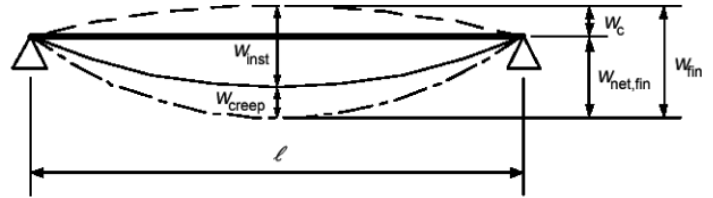
(4.1)

Kun palkin, ristikon tai laatan taipumista tai rakennuksen vaakasiirtymästä on haittaa, kuormien ominaisyhdistelmästä aiheutuvat käyttörajatilan taipumat ja vaakasiirtymät rajoitetaan taulukon 4.1 mukaisiksi, ellei rakenteen tai rakennuksen tyypistä (esim. helposti halkeilevat rakenteet), käyttötarkoituksesta (esim. vedenpoiston kallistukset) tai toiminnan luonteesta (esim. nosturiradat) johtuen muiden arvojen voida katsoa soveltuvan paremmin. Mikäli tuulikuorma ei ole määräävä muuttuva kuorma, sitä ei tarvitse yhdistellä muiden muuttuvien kuormien kanssa käyttörajatilatarkasteluissa.

### 4.2 Lattian värähtely

Kävelystä johtuvat värähtelyt otetaan, rakennuksen ja tilan käyttötapu huomioon ottaen, huomioon käyttörajatilamitoituksessa. Erityistarkastelu on tarpeen, jos asuin- tai toimistohuoneiston lattiarakenteen alin ominaistajuus on alle 9 Hz ( $f_1 < 9$  Hz).

Tämän kohdan mukaista yksinkertaistettua värähtelymitoitusta voidaan käyttää kuvien 4.2 ja 4.3 mukaisille asuin- ja toimistorakennusten välipohjille. Muissa tapauksissa värähtelymitoitusta tehdään RIL 205-1-2017 kohdan 7.3 mukaan. Yleinen puurakenteisten välipohjien värähtelymitoitushjelma, jossa otetaan huomioon mm. poikittaisjäykisteiden vaikutus, on ladattavissa Puuinfon kotisivuilta [www.puuinfo.fi](http://www.puuinfo.fi).

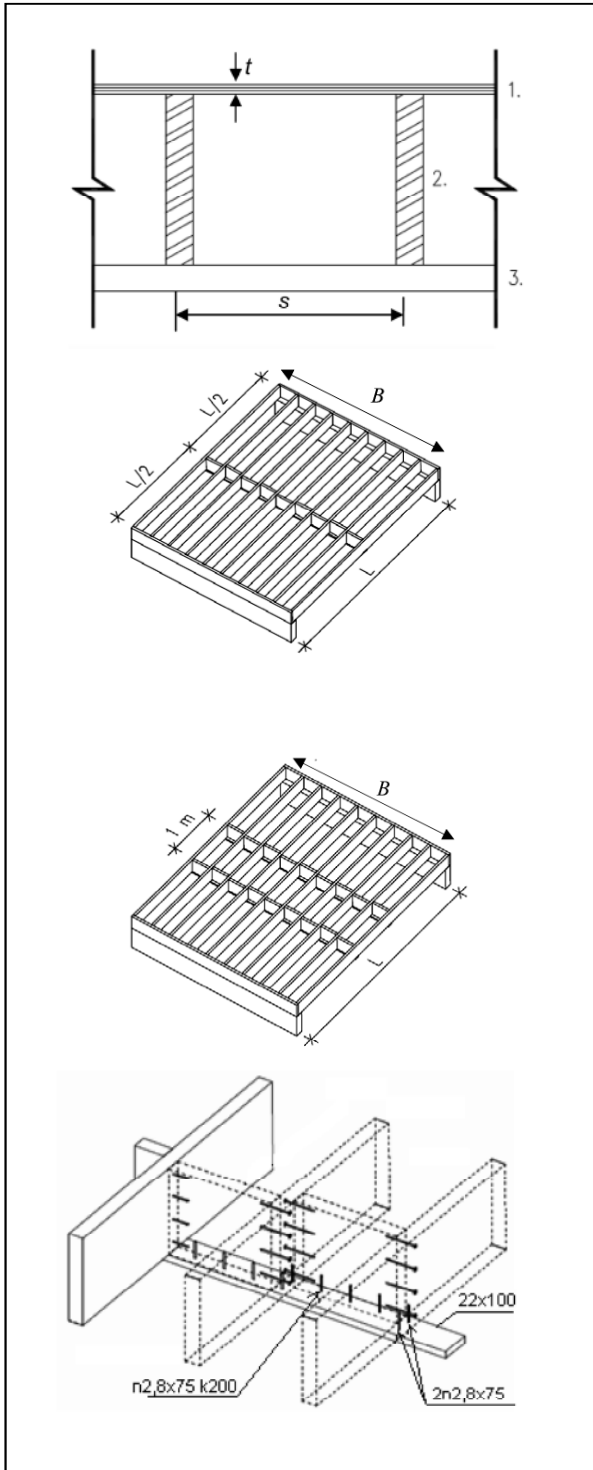


Kuva 4.1 – Taipuman muodostuminen.

Rakenne	$w_{inst}$ <sup>1)</sup>	$w_{net,fin}$ <sup>2)</sup>	$w_{fin}$ <sup>3)</sup>
Pääkannattimet	$l/400$	$l/300$	$l/200$
Orret ja muut toisiokannattimet	-	$l/200$ <sup>5)</sup>	$l/150$
Rakennuksen vaakasiirtymä <sup>4)</sup>	-	$H/300$	-

$l$  on jänneväli  
 $H$  on rakennuksen tarkasteltavan kohdan korkeus  
<sup>1)</sup> Koskee pelkästään lattioita  
<sup>2)</sup> Koskee suoria ja esikorotettuja rakenteita, mutta ei tukipisteiden välillä kaarevia tai taitteellisia kannattimia.  
<sup>3)</sup> Koskee esikorotettuja sekä tukipisteiden välillä kaarevia tai taitteellisia rakenteita, kuten esimerkiksi kaaret, mahapalkit, saksiristikot, bumerangi-palkit.  
<sup>4)</sup> Hallirakennuksissa vaakasiirtymistä ei ole yleensä haittaa, jolloin sitä ei tarvitse tarkistaa. Kerrostaloissa suositellaan vaakasiirtymän rajoittamista enintään arvoon  $H/500$  ylimmän kerroksen lattiatasolla.  
<sup>5)</sup> Lattialevyn taipumaa laskettaessa kuormituksenä on lyhytaikainen pistekuorma  $Q_k = 2$  kN ja levyn omapaino.

Taulukko 4.1 - Taipumien ja rakennuksen vaakasiirtymien enimmäisarvot. Ulkkeiden taipuma jännevälin suhteen saa olla kaksinkertainen.



**Kuva 4.2** - Poikittaisjäykistetty palkkirakenteinen välipohja  $L \leq 4$  m. Kahta poikittaisjäykistelinjaa käytetään, kun  $L > 4$  m. Välipohjan rakenteelliset osat:

- 1 - Lattialevy: vaneri (tai Kerto-Q)  $t \geq s/25$  tai lastulevy  $t \geq s/20$ .
- 2 - Puupalkit  $s \leq 600$  mm: sahatavara, liimapuu tai LVL.
- 3 - Poikittaisjäykisteen vetolauta  $\geq 22 \times 100$  C18. Laudan naulaus palkkeihin  $2n2,8 \times 75$  ja välikapuloihin  $2,8 \times 75$  k200. Välikapuloiden korkeus vastaa lattiapalkkia.

Lattiarakenteen alin ominaistajuus lasketaan lausekkeesta

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{(EI)_L}{s \cdot m}} \quad (4.2)$$

missä

$L$  on lattiarakenteen jänneväli [m]

$(EI)_L$  on taivutusjäykkyys yhtä lattiapalkkia kohden [ $\text{Nm}^2$ ]

$s$  on lattiapalkkien välinen etäisyys [m]

$m$  on lattian oman painon ja hyötykuormasta osuuden  $30 \text{ kg/m}^2$  yhteenlaskettu massa [ $\text{kg/m}^2$ ]

Mikäli lattialevy on liimattu rakenteellisesti lattiapalkkeihin, taivutusjäykkyys  $(EI)_L$  voidaan laskea ripalaatan T-poikkileikkaukselle. Jos levyn liimaus toteutetaan työmaalla, liittovaiikutuksesta saa hyödyntää 50 %, jolloin  $(EI)_L = 0,5 \cdot [(EI)_p + (EI)_T]$ , kun  $(EI)_p$  on palkin ja  $(EI)_T$  on T-poikkileikkauksen taivutusjäykkyys.

Kuvan 4.2 mukaisen lattian värähtelymitoituksessa rakenteellisesti liimatun T-poikkileikkauksen taivutusjäykkyydelle voidaan käyttää likiarvoa

$$(EI)_T \approx (2,2 - 0,1 \cdot L) \cdot (0,4 + s) \cdot (EI)_p \quad (4.3)$$

mihin palkkiväli  $s$  ja jänneväli  $L$  sijoitetaan metreinä [m]

Kaava (4.3) pätee, kun lattiapalkin leveys  $b \leq 50$  mm. Jos lattiapalkin tai ns. tuplapalkin leveys  $b = 50 \dots 100$  mm, kaavan (4.3) mukaista jäykkyyttä pienennetään kertoimella  $k = 1,15 - 0,003b$ .

Mikäli lattian päälle valetaan kelluva betonilaatta, taivutusjäykkyys  $(EI)_L$  voidaan laskea lattiapalkin ja halkeilemattoman betonilaatan taivutusjäykkyyksien summana, kun betonilaattaa tarkastellaan kannatinvälin  $s$  levyisenä palkkina. Jos betonikantinen välipohja on tuettu neljältä reunalta, kaavan (4.2) mukaista ominaistajuutta voidaan korottaa kertoimella

$$k_f = \sqrt{\frac{6}{B}} \geq 1 \quad (4.4)$$

missä  $B$  on lattian tukiväli poikittaissuunnassa metreinä [m]

Yksinkertaistetussa värähtelymitoituksessa tarkistetaan, että seuraavat ehdot toteutuvat:

$$f_1 \geq 9 \text{ Hz}$$

$$k_B \cdot k_s \cdot \delta_L \leq 0,5 \text{ mm} \quad (4.5)$$

$$(4.6)$$

$\delta_L$  on laskennallinen 1 kN staattisen pistevoiman aiheuttama lattiapalkin suurin hetkellinen taipuma, kun kuorman jakautumista viereisille palkeille ei oteta huomioon ja kun palkin taivutusjäykkyytenä käytetään kaavan (4.2) yhteydessä määritettyä taivutusjäykkyyttä  $(EI)_L$

$k_B$  on lattian poikittaissuunnan jäykkyyden ja huoneen koon huomioon ottava kerroin

$k_s$  on lattiapalkkien välisestä etäisyydestä riippuva kerroin

Kuvan 4.2 mukaisella lattiarakenteella kertomelle  $k_B$  voidaan käyttää arvoa  $k_B = 0,5$ . Betonikantisella välipohjalla, jonka leveys on vähintään 2 m, kerroin  $k_B$  voidaan laskea lausekkeesta

$$k_B = 0,1 + \frac{L}{30} \quad (4.7)$$

mihin lattian jänneväli  $L$  sijoitetaan metreinä [m]

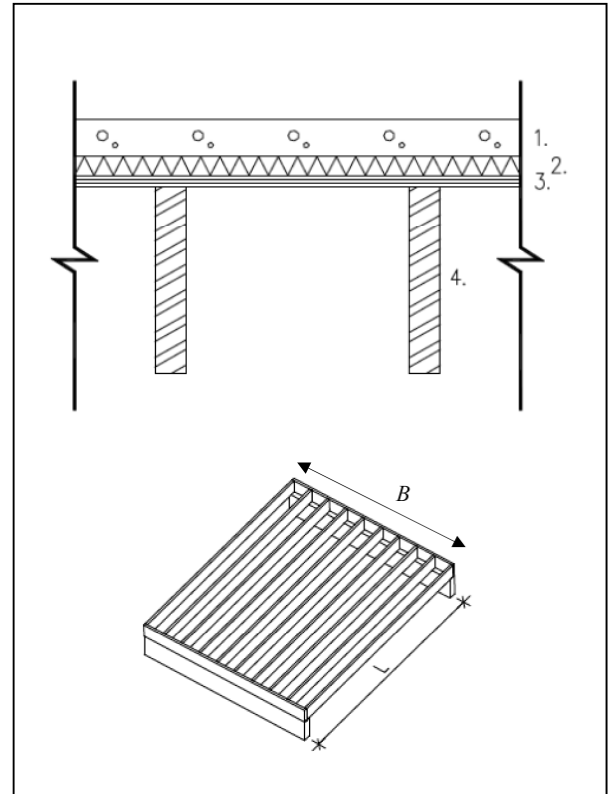
Kuvan 4.2 mukaisella palkkivälipohjalla kerroin  $k_s$  voidaan laskea kaavasta

$$k_s = \sqrt{\frac{s}{0,6}} \geq 0,5 \quad (4.8)$$

ja kuvan 4.3 mukaisella betonikantisella välipohjalla

$$k_s = \frac{s}{0,6} \geq 0,3 \quad (4.9)$$

Palkkiväli  $s$  sijoitetaan kaavoihin (4.8) ja (4.9) metreinä [m].



**Kuva 4.3** - Kelluvalla betonilaatalla varustettu puuvälipohja. Välipohja voidaan tehdä myös ilman joustavaa kerrosta (2). Välipohjan rakenteelliset osat:

1 - Betonilaatta, lujuuslk.  $\geq K20$ ,  $h \geq 60$  mm, kutistumaraudoitus  $\geq 4\#150$ .

3 - Vaneri (mitoitetaan valunaikaisille kuormille).

4 - Puupalkit  $s \leq 600$  mm: sahatavara, liimapuu tai LVL.

# 5 Rakenneosien mitoitus

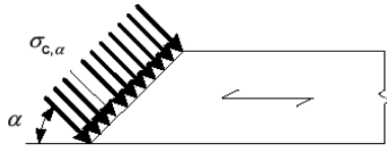
## 5.1 Poikittainen puristus

Syysuuntaan nähden kulmassa  $\alpha$  vaikuttavien puristusjännitysten (ks. kuva 5.1) tulee täyttää ehto:

$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq \frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} f_{c,90,d} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (5.1)$$

missä

$\sigma_{c,\alpha,d}$  kulmassa  $\alpha$  syysuunnan suhteen vaikuttava puristusjännitys  
 $k_{c,90}$  kerroin, jonka avulla otetaan huomioon kuorman sijainti, puun halkeamismahdollisuus ja puristuman suuruus



**Kuva 5.1** - Syysuuntaan nähden vinosti vaikuttavat puristusjännitykset.

Kuvan 5.2 mukaisissa kiskopainetapauksissa tarkistetaan, että kosketuspinnalla vaikuttavan puristusjännityksen mitoitusarvo

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,\perp} f_{c,90,d} \quad (5.2)$$

missä

$\sigma_{c,90,d}$  kosketuspinnalla vaikuttavan puristusjännityksen mitoitusarvo  
 $f_{c,90,d}$  puristuslujuuden mitoitusarvo syysuuntaa vastaan kohtisuorassa puristuksessa  
 $k_{c,\perp}$  on tukipainekerroin  
**Huom.** Tukipainekerroin  $k_{c,\perp}$  ei koske levytuotteita.

Tukipainekerroimen  $k_{c,\perp}$  arvo lasketaan kaavalla:

$$k_{c,\perp} = \frac{\ell_{c,90,ef}}{\ell} k_{c,90} \quad (5.2a)$$

missä

$\ell$  kosketuspinnan pituus puun syiden suunnassa  
 $\ell_{c,90,ef}$  tehollinen kosketuspinnan pituus

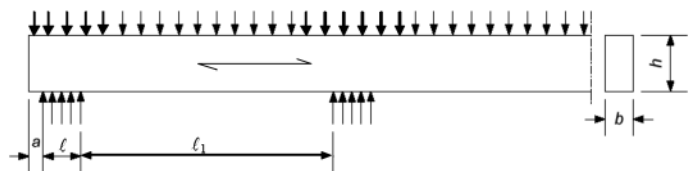
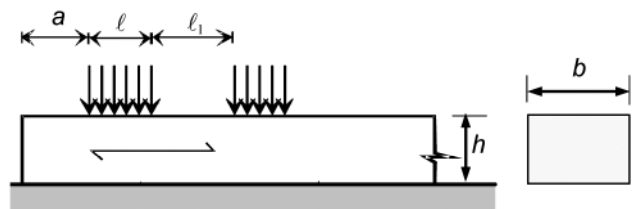
Tehollinen kosketuspinnan pituus  $\ell_{c,90,ef}$  määritetään lisäämällä kosketuspinnan pituuteen  $\ell$  molemmin puolin 30 mm tai Kerto-LVL:n syrjäpinoilla 15 mm, kuitenkin enintään  $a$ ,  $\ell$  tai  $\ell_1/2$  (ks. kuva 5.2).

Kertoimelle  $k_{c,90}$  käytetään arvoa 1,0, paitsi seuraavissa tapauksissa edellyttäen, että kuvan 5.2 mukainen puristuspintojen välinen etäisyys  $\ell_1 \geq 2h$ :

- $k_{c,90} = 1,25$  havupuisella sahatavaralla ja CLT:n lapepinnalla
- $k_{c,90} = 1,5$  havupuisella liimapuulla
- $k_{c,90} = 1,4$  Kerto-LVL:n lapepinnalla

Kuvan 5.2 tapauksessa 2) kertoimelle  $k_{c,90}$  voidaan käyttää seuraavia korotettuja arvoja edellyttäen, että palkilla on tasan jakautunut kuormitus tai pistekuormia, joiden etäisyys tuen reunasta  $\geq 2h$ :

- $k_{c,90} = 1,5$  havupuisella sahatavaralla
- $k_{c,90} = 1,75$  havupuisella liimapuulla edellyttäen, että tukipituus  $l \leq 400$  mm
- $k_{c,90} = 1,6$  Kerto-LVL:n lapepinnalla



**Kuva 5.2** - Kiskopaine 1) jatkuvalla tuella lepävän sauvan kuormituspisteissä ja 2) palkin tukipinnoilla tai kuormituspisteissä. Tapauksessa 2) palkin epätaasaisesti jakautunut kuormitus tai esim. tukipisteiden kohdalla vaikuttavat pistekuormat eivät aseta rajoituksia tehollisen tukipinnan pituudelle tai  $k_{c,90}$  kertoimen käytölle.

## 5.2 Leikkaus

Käyttöluokkaan 1 kuuluvien sahatavarapalkkien leikkausmitoituksessa käytetään kertoimella 0,67 pienennettyä leveyttä ( $b_{ef} = 0,67b$ ).

Leikkausvoimia laskettaessa voidaan lähempänä kuin palkin korkeuden etäisyydellä tuen reunasta sijaitsevat palkin yläpintaan vaikuttavat kuormat jättää huomiotta.

Lovetun tuen kohdalle syntyvien jännityshuippujen vaikutukset on otettava huomioon leikkauskestävyydessä (ks. RIL 205-1-2017, kohta 6.5).

## 5.3 Taivutus ja normaalivoima

Tämä kohta ei koske poikkileikkaukseltaan vaihtelevia tai pituussuunnassa kaarevia sauvoja.

Taivutetun, vedetyn tai samanaikaisesti taivutetun ja vedetyn sauvan tulee täyttää seuraavat mitoitus ehdot:

$$\sigma_{m,y,d} \leq k_{crit} f_{m,y,d} \quad (5.3)$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1 \quad (5.4)$$

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1 \quad (5.5)$$

missä

$\sigma_{m,y,d}$  ja  $\sigma_{m,z,d}$  taivutusjännitysten mitoitusarvot kuvan 5.3 mukaisten pääkselien suhteen tapahtuvassa taivutuksessa

$f_{m,y,d}$  ja  $f_{m,z,d}$  vastaavien taivutuslujuuksien mitoitusarvoja

$k_{crit}$  kiepahduskerroin (ks. kuva 5.4)

$\sigma_{t,0,d}$  vetojännityksen mitoitusarvo

$f_{t,0,d}$  vetolujuuden mitoitusarvo

$k_m$  0,7 sahatavaran, liimapuun ja LVL:n suora-kaidepoikkileikkauksella ja muussa tapauksessa

$k_m = 1,0$

Puristetun tai samanaikaisesti taivutetun ja puristetun sauvan tulee täyttää seuraavat mitoitus ehdot:

$$\left( \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} f_{m,y,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} \leq 1 \quad (5.6)$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} \leq 1 \quad (5.7)$$

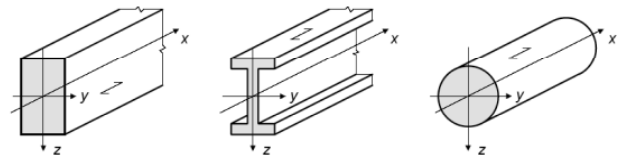
$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} \leq 1 \quad (5.8)$$

missä

$\sigma_{c,0,d}$  on syysuuntaisen puristusjännityksen mitoitusarvo

$f_{c,0,d}$  on puristuslujuuden mitoitusarvo

$k_{c,y}$  ja  $k_{c,z}$  ovat nurjahduskertoimia (ks. kohta 5.5)



Kuva 5.3 - Sauvojen akselit.



Tuentatapa	Nurjahduspituus $L_c$
Sauva on jäykästi kiinnitetty toisesta ja nivelellisesti toisesta päästään (esim. jäykkäkantainen hallin päädyn "tuulipilari")	0,85 $L$
Sauva on nivelöity molemmista päistään (normaali tapaus)	1,0 $L$
Sauva on poikittaistuettu nurjahduksen suunnassa välein $a$	1,0 $a$
Sauva on jäykästi kiinnitetty toisesta päästään ja on vapaa toisesta päästään ("mastopilari")	2,5 $L$

**Taulukko 5.1** - Puristussauvan nurjahduspituuksia  $L_c$ , kun sauvan pituus on  $L$ .

### 5.4 Kiepahdus

Taivutetun sauvan kiepahdus otetaan huomioon pienentämällä taivutuslujuutta kiepahduskertoimella  $k_{crit}$ . Kun sahatavaran lujuusluokka on enintään C30, suorakaidepoikkileikkauksen kiepahduskerroin saadaan kuvasta 5.4. Kuvan arvoja voidaan käyttää myös liimapuupalkeille.

Poikittaissuunnassa puristetulta reunalta välein  $a$  tuetun palkin tehollisena kiepahduspituutena voidaan käyttää mittaa  $l_{ef} = a + 2h$ , kun  $h$  on palkin korkeus ja kuormitus vaikuttaa palkin puristetulla reunalla ja mittaa  $l_{ef} = a - 0,5h$ , kun määräävä kuormitus vaikuttaa vedetyllä reunalla. Mikäli palkin puristettu reuna on kuormitettu ainoastaan kiepahdustukien kohdalla sijaitsevilla pistekuormilla, tehollisena kiepahduspituutena voidaan käyttää poikittaistukien väliä  $l_{ef} = a$ .

### 5.5 Nurjahdus

Puristetun sauvan nurjahdus otetaan huomioon pienentämällä puristuslujuutta nurjahduskerroimella  $k_{c,y}$  tai  $k_{c,z}$  kaavojen (5.6-8) mukaisesti. Nurjahduskerroin  $k_{c,y}$  vastaa nurjahdusta poikkileikkauksen vahvempaan suuntaan  $z$  ja  $k_{c,z}$  heikompaan suuntaan  $y$ . Nurjahduskerroin voidaan määrittää kuvasta 5.5 hoikkuusluvun  $\lambda$  perusteella. Puristetun rakenteen hoikkuusluku  $\lambda$  saa olla pysyvissä rakenteissa enintään 200.

Poikkileikkauksen vahvemman suunnan hoikkuusluku

$$\lambda_y = \frac{L_{c,z}}{i_y} \tag{5.9}$$

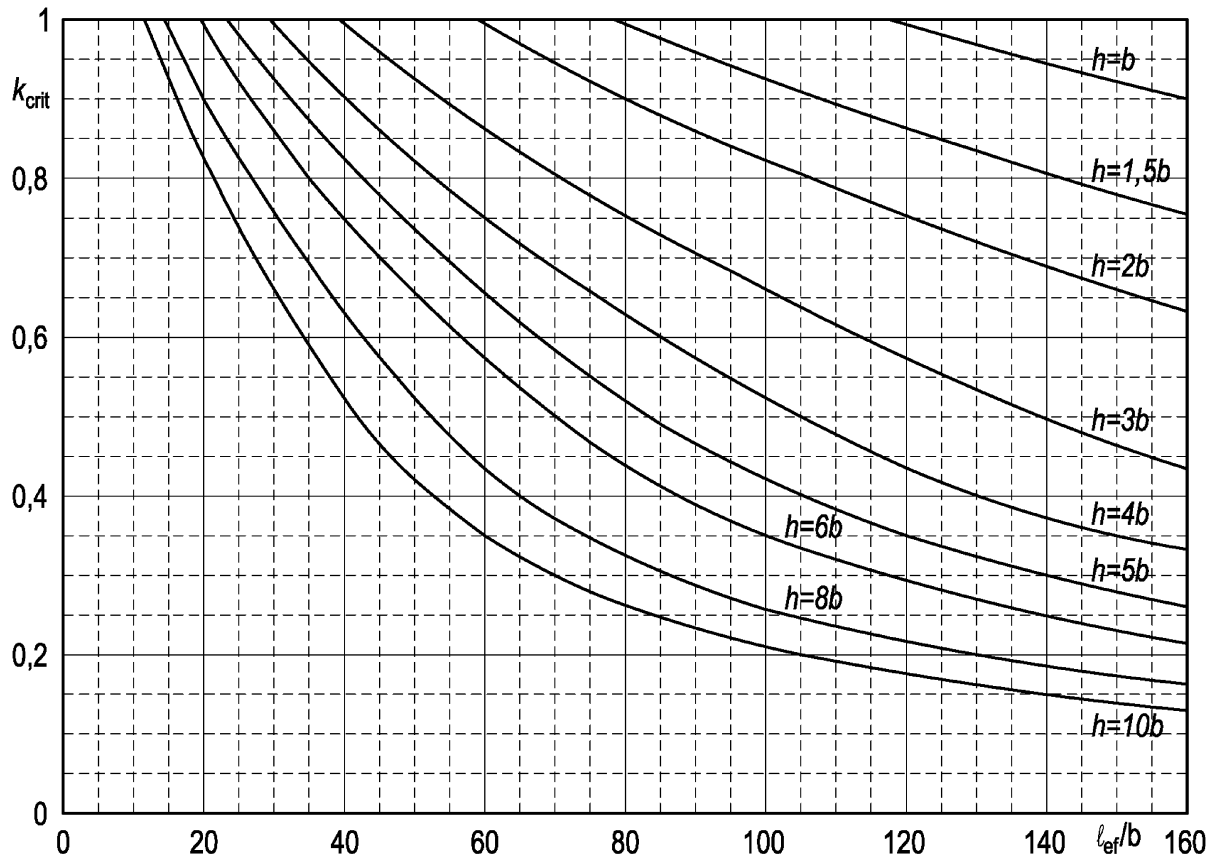
missä

$L_{c,z}$  nurjahduspituus z-suunnan nurjahduksessa (ks. taulukko 5.1)

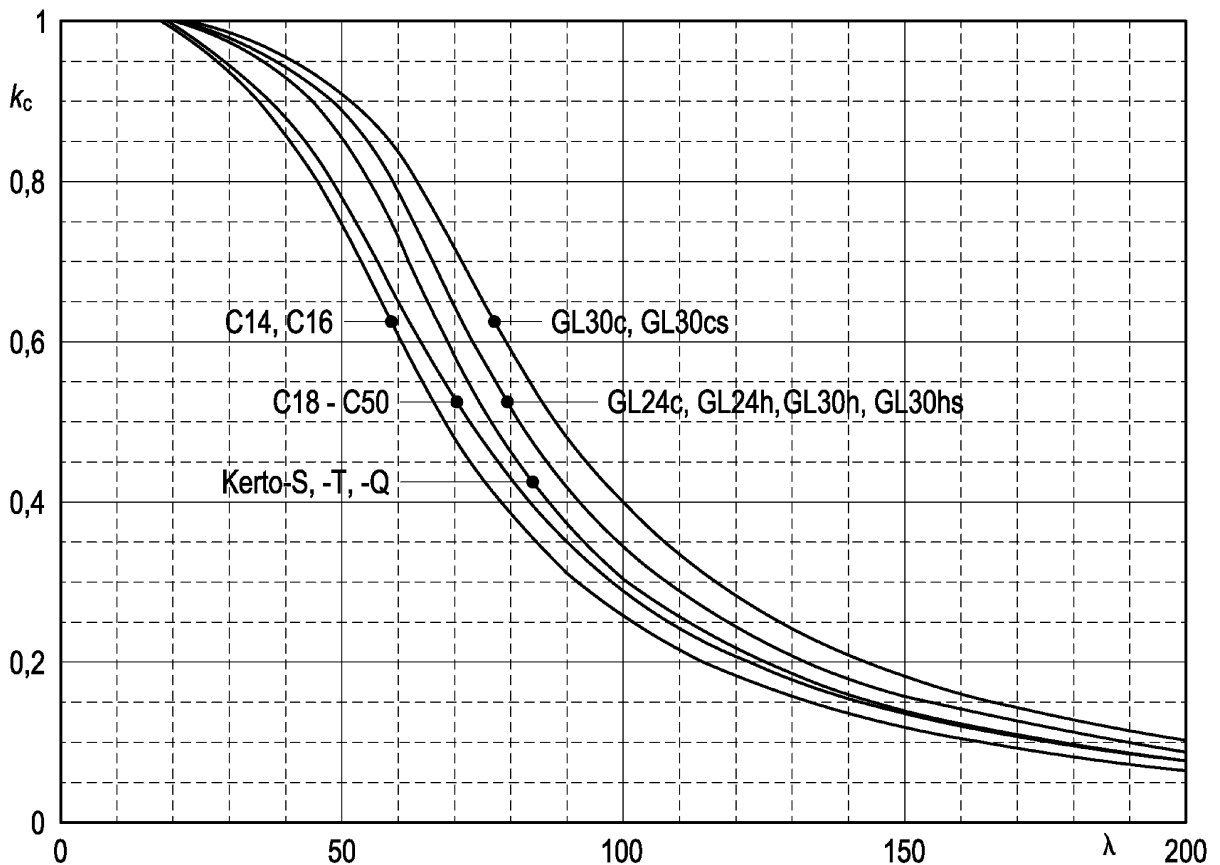
$i_y$  poikkileikkauksen jäyhyysäde y-akselin suhteen ( $=\sqrt{I_y/A}$ )

Suorakaidepoikkileikkauksella  $i_y = h/\sqrt{12}$ , kun  $h$  on sivumitta nurjahduksen suuntaan. Ympyräpoikkileikkauksella  $i = d/4$ , kun  $d$  on ympyrän halkaisija.

Vastaavasti määritetään poikkileikkauksen heikomman suunnan hoikkuusluku  $\lambda_z$ .



**Kuva 5.4** - Kiepahduskertoimen  $k_{crit}$  riippuvuus tehollisen pituuden  $l_{eff}$  suhteesta palkin leveyteen  $b$  sahatavaran lujuusluokassa C30, kun  $h$  on palkin korkeus. Käyrästä voidaan käyttää myös lujuusluokkien C14-C27 sahatavarelle ja GL-luokkien liimapuulle.



**Kuva 5.5** - Nurjahduskertoimen  $k_c$  riippuvuus hoikkeudesta  $\lambda$ . Nurjahduskertoimessa on otettu huomioon sauvan alkukäyryys ja laskennallisen lisätaipuma. Kuorman epäkeskisyydestä ja poikittaiskuormista aiheutuvat taivutusjännitykset  $\sigma_m$  otetaan huomioon mitoitusehtoina käytettävissä kaavoissa (5.7) ja (5.8).

## 6 Mekaaniset liitokset

### 6.1 Yleistä

Tämä lyhennetty suunnitteluohje koskee pelkästään yksi- ja kaksileikkeisiä naula-, ruuvi- ja pulttiliitoksia. Liittimien kestävyys esitetään yleensä ominaisarvoina  $R_k$ . Liitoksen mitoituskestävyys

$$R_d = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot R_k \quad (6.1)$$

missä

$k_{mod}$  taulukon 3.1 mukainen liitospuun aikavaikutuskerroin

$\gamma_M$  liitoksen materiaaliosavarmuusluku, ks. taulukko 2.7

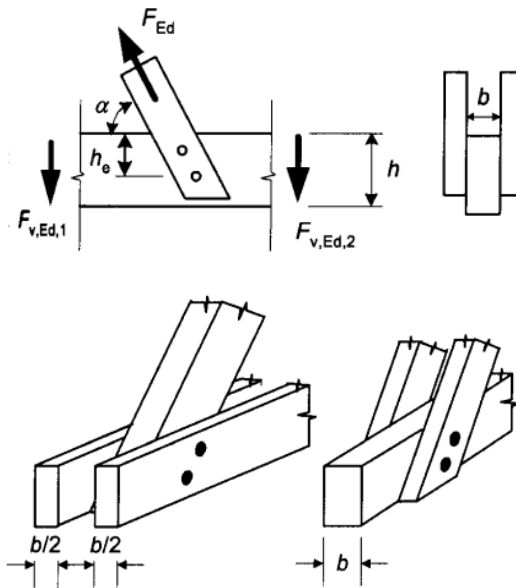
Liitettäessä yhteen kahta erilaista puumateriaalia kaavassa (6.1) käytetään sen materiaalin  $k_{mod}$  kerrointa, jolla  $k_{mod}$  on pienempi.

Liittimien sijoittelu ja koot sekä liitinvälit, reuna- ja päätyetäisyydet tulee valita siten, että oletettu liitoksen kestävyys ja jäykkyys voidaan saavuttaa. Liitoksen kestävyys on yleensä pienempi kuin yksittäisten liittimien kestävyysien summa, kun liitoksessa on useita liittimiä.

Jos liitoskuormia siirretään erityyppisillä liittimillä samassa liitoksessa, liittimien erilaiset jäykkyydet ja niiden vaikutus voimien jakautumiseen on otettava huomioon. Liiman ja mekaanisen liittimen ei lasketa toimivan yhdessä.

Jos käytetään epäsymmetrisiä liitoksia tai liitokseen tuleva voima on epäkeskinen, otetaan syntyvät lisärasitukset huomioon liitoksen kestävyttä laskettaessa. Esimerkiksi yksipuolisten jatkoskappaleiden jännityksiä laskettaessa sauvavoima otetaan 1,5-kertaisena, jos epäkeskisyydestä aiheutuvia taivutusjäännityksiä ei muuten huomioida. Vetosauvojen jatkoksissa on jatkoskappaleet pyrittävä sijoittamaan symmetrisesti sauvan keskilinjan suhteen.

Jos keskipitkän tai pitkäaikaisen aikaluokan liitosvoima voi vaihdella vedon  $F_{t,d}$  ja puristuksen  $F_{c,d}$  välillä, liitos mitoitetaan sekä vetovoimalle  $F_{t,d} + 0,5F_{c,d}$  että puristusvoimalle  $F_{c,d} + 0,5F_{t,d}$ .



Kuva 6.1 - Syysuuntaan nähden vino liitosvoima.

### Puun syysuuntaa vasten kohtisuorat liitosvoimat

Jos liitosvoima vaikuttaa vinossa kulmassa puun syysuuntaan nähden (ks. kuva 6.1), syysuuntaan nähden poikittaiset vetojännitykset on otettava huomioon tarkistamalla, että seuraava ehto toteutuu

$$F_{v,Ed} \leq F_{90,d} \quad (6.2)$$

missä

$F_{90,d}$  halkeamiskestävyysmitoitussarvo

$F_{v,Ed} \max\{F_{v,Ed,1}; F_{v,Ed,2}\}$ , kun  $F_{v,Ed,1}$  ja  $F_{v,Ed,2}$  ovat puun syitä vastaan kohtisuoran liitosvoimakomponentin  $F_{Ed} \sin \alpha$  aiheuttamat leikkausvoimat

Havupuutavaran halkeamiskestävyysmitoitussarvo

$$F_{90,k} = 14b \sqrt{\frac{h_e}{1 - \frac{h_e}{h}}} \quad [\text{N}] \quad (6.3)$$

missä

$b$  puuosan paksuus, pintaliittimien yhteydessä kuitenkin enintään liittimien tunkeumasyyvyys [mm]

$h$  sauvan korkeus [mm]

$h_e$  etäisyys kuormitetusta reunasta kauimpana olevaan liitimeen [mm]

## Teräslevylliset liitokset

Liitoksen teräslevyn lujuus tulee tarkistaa EN 1993:n (Eurokoodi 3) mukaan.

Puristetuissa liitoksissa ulkopuolisten teräslevyjen nurjahduspituudeksi voidaan yleensä olettaa  $0,8L_a$ , kun  $L_a$  on liitossauman eri puolilla olevien ensimmäisten liittimien välinen etäisyys. Puuosien väliin sijoitettujen teräslevyjen nurjahdusta ei tarvitse tarkistaa, mikäli puuosien leviäminen on estetty esim. sidepulteilla siten, että teräslevyille varattu rako voi olla korkeintaan 25 % teräslevyn paksuutta suurempi.

Puun syitä vastaan kohtisuora kuivumiskutistuminen on otettava huomioon erityisesti teräslevyllisten liitosten suunnittelussa.

Teräksen ja puun välisen vedetyn sauvanpäälliitoksen kestävyysmitoituksessa tulee ottaa huomioon liitinryhmän piiriä pitkin tapahtuva puun lohkeamismurto.

## 6.2 Naulaliitokset

Tämä ohje koskee seostamattomasta teräksestä tai austeniittisesta ruostumattomasta teräksestä valmistettuja nauloja, joiden vetomurtolujuus on vähintään  $600 \text{ N/mm}^2$ , nimellispaksuus  $d$  on vähintään  $1,9 \text{ mm}$  ja enintään  $8 \text{ mm}$  ja kannan pinta-ala  $A_n \geq 2,5d^2$ .

Naulan paksuutena  $d$  käytetään valmistajan ilmoittamaa standardissa EN 14592 määriteltyä nimellispaksuutta, joka on naulan sileän varren paksuus ilman pinnoitusta. Neliskulmaisilla ja pituussuunnassa uurretuilla nauloilla nimellispaksuus  $d$  on naulan pienin sivumitta. Pituussuunnassa neljällä uralla symmetrisesti uurretuille nauloille voidaan käyttää neliskulmaisten naulojen ohjeita.

Tätä ohjetta voidaan käyttää muille kuin sileille pyöreille, neliskulmaisille tai pituussuunnassa uurretuille nauloille, kun naulalle on määritetty EN 14592 standardin vaatimusten mukaisesti testaamalla myötömomentti, jonka ominaisarvo  $M_{y,k} \geq 160d^{2,6} \text{ [Nmm]}$ , kun  $d$  on naulan paksuus millimetreinä.

Profiloituille kampa- ja kierrenauloille esitettyjä ohjeita voidaan käyttää, kun naulan profiloitu osuus alkaa kärjen viisteestä ja sen pituus on vähintään  $4,5d$  ja naulalle on määritetty EN 1382 ja EN 14358 standardien mukaan testaamalla ulosvetolujuus, jonka ominaisarvo  $f_{ax,k} \geq 4,5 \text{ N/mm}^2$  puun tiheydellä  $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$  RH65:n vakio-olosuhteissa.

Naulaliitoksessa tulee olla vähintään 2 naulaa. Naulat lyödään niin syväälle, että naulan kannat ovat tasan puupinnan kanssa. Kolmiosaisissa liitoksissa naulat saavat mennä kohdakkain keskimmaisessä puussa, jos  $(t - t_2) > 4d$ , ks. kuva 6.2(c).

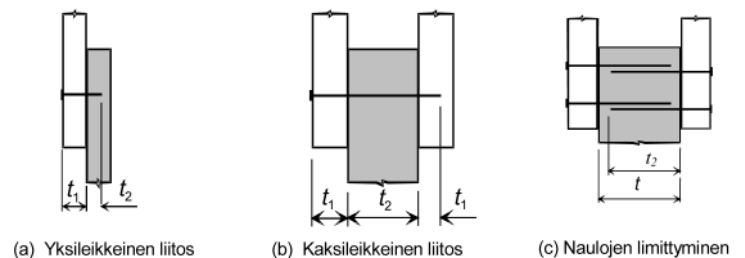
Esiporatuilla nauloilla puuhun porattavan reiän halkaisijan tulee olla  $0,5d \dots 0,8d$ .

### Leikkauskuormitetut naulaliitokset

Naulan tunkeuma kussakin puutavaraosassa<sup>1)</sup> tulee olla yleensä vähintään  $8d$ , ks. kuvan 6.2 merkinnöin  $t_1 \geq 8d$  ja  $t_2 \geq 8d$ . Sahatavaralla naulan kannan puoleisen puun minimipaksuus on kuitenkin  $7d$  ja Kerto-Q:lla vastaavasti  $4d$ . Esiporatuilla liitoksilla vaaditut tunkeumasyvyydet voidaan pienentää arvoon  $4d$ .

<sup>1)</sup> Puutavaralla tarkoitetaan sahatavaraa, liimapuuta ja yhteen suuntaan viilutettua LVL:ää.

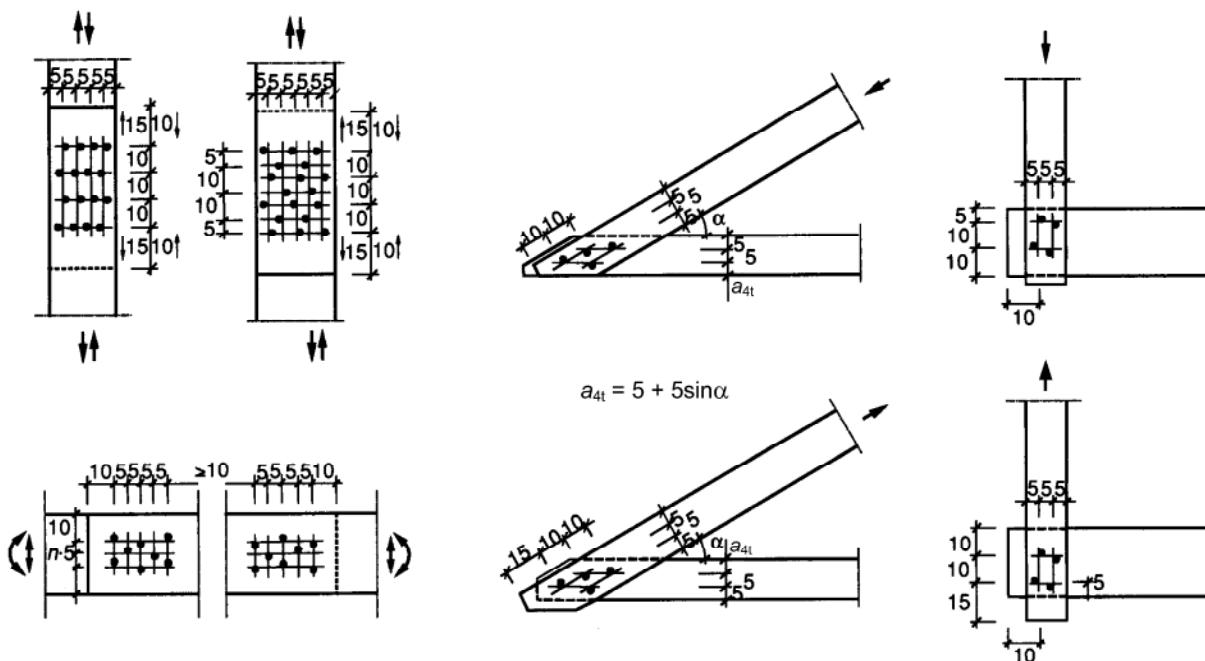
Kuvan 6.2(b) mukaisessa 2-leikkeisen liitoksen toispuoleisen naulauksen yhteydessä kärkipuolen puosa on sidottava esimerkiksi ruuvaamalla tai läpipulttauksella.



**Kuva 6.2** - Naulaliitoksen määritelmiä.

Puutavara	Sahatavara C24 - C30; Liimapuu GL20, GL26c						Sahatavara ≥ C35; Liimapuu ≥ GL28c; Kerto-S, Kerto-T, Kerto-Q					
	Pysyvä		Keskipitkä		Hetkellinen		Pysyvä		Keskipitkä		Hetkellinen	
Käyttö- luokka	1 ja 2	3	1 ja 2	3	1 ja 2	3	1 ja 2	3	1 ja 2	3	1 ja 2	3
<b>□ d x L</b>												
□ 2,1x50	220	190	300	240	410	330	240	200	310	260	430	350
□ 2,5x60	300	250	400	330	550	450	320	270	430	350	590	480
□ 2,8x75	400	330	530	430	730	600	420	350	560	460	770	630
□ 3,4x100	580	480	770	630	1050	860	610	510	810	660	1100	910
□ 4,2x125	830	690	1100	900	1500	1250	870	730	1150	940	1600	1300
□ 5,1x150	1150	960	1550	1250	2100	1700	1200	1000	1600	1300	2200	1800
□ 5,5x200	1300	1100	2000	1400	2350	1950	1400	1150	1850	1500	2500	2050
□ 6,0x225	1500	1250	2000	1650	2750	2250	1600	1350	2150	1750	2900	2400
<b>∅ d x L</b>												
∅ 2,1x50	210	180	290	230	390	320	230	190	300	250	410	340
∅ 2,5x60	290	240	390	310	530	430	310	250	410	330	560	460
∅ 2,8x75	350	290	470	380	640	530	370	310	490	400	680	560
∅ 3,1x90	420	350	560	450	760	620	440	370	590	480	800	660
∅ 3,4x100	490	410	650	530	890	730	520	430	690	560	940	770
∅ 3,8x120	590	490	790	640	1050	880	620	520	830	670	1100	930
∅ 4,2x130	700	580	930	760	1250	1050	740	620	980	800	1350	1100
∅ 4,6x145	820	680	1090	880	1450	1200	860	720	1150	930	1550	1300
∅ 5,0x160	940	780	1250	1000	1700	1400	990	830	1300	1050	1800	1500

**Taulukko 6.1** - Neliskulmaisilla lankanauiloilla (□) ja pyöreillä konenauiloilla (∅) kootun yksielekkeisen puutavara-liittoksen leikkausvoimakestävyyden **mitoitusarvoja**  $R_d$  [N], kun  $t_2 = 12d$  ja  $t_1 = L - 12d > 8d$ . Samoja arvoja voidaan käyttää myös  $t_2 > 12d$  tartuntapituuksilla, kun  $t_1 \geq 8d$ . Esitetyt naulapituudet ovat optimaalisia puun paksuudella  $t_1 = 8d$ . Pidemmille nauiloille voidaan käyttää samoja arvoja.



30 **Kuva 6.3** - Naulojen pienimmät sallittavat etäisyydet. Yksikkönä naulan paksuus  $d$ .

Puutavaraliitoksessa naulaliitoksen leikkauskestävyyden mitoitusarvo

$$F_{v,d} = m \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot k_p \cdot \begin{cases} k_t \\ k_e \end{cases} \cdot 120 \cdot d^{1,7} \quad (6.4)$$

missä  
*m* leikkeiden lukumäärä (1 tai 2)  
*k<sub>mod</sub>* taulukon 3.1 mukainen liitospuun aikavaikutuskerroin  
 $\gamma_M$  liitoksen materiaaliosavarmuusluku, ks. taulukko 2.7  
*d* naulan nimellispaksuus millimetreinä

Kaavassa (6.4) käytetään kerrointa *k<sub>t</sub>*, kun naulan tunkeumasyvyyt  $t_1 \geq 8d$  ja  $t_2 \geq 12d$ :

$$k_t = \max \begin{cases} 1 + 0,3 \cdot \frac{t_1 - 8d}{8d} \\ 1 + 0,3 \cdot \frac{t_2 - 12d}{6d} \end{cases} \quad (6.5)$$

rajoituksena:  
 -sileillä neliskulmaisilla nauloilla  $k_t \leq 1,3$  (saavutetaan kun  $t_1 \geq 16d$  tai  $t_2 \geq 18d$ )  
 -muilla nauloilla  $k_t \leq 1,1$  (saavutetaan kun  $t_1 \geq 11d$  tai  $t_2 \geq 14d$ )

Jos naulan tunkeuma  $t_1 \leq 8d$  tai  $t_2 \leq 12d$ , kaavassa (6.4) käytetään kerrointa *k<sub>e</sub>*:

$$k_e = \min \begin{cases} \frac{t_1}{8d} \\ \frac{t_2}{12d} \end{cases} \quad (6.6)$$

Huom. Tunkeuman minimiarvo on yleensä  $8d$ . Sahatavaralla sallitaan kuitenkin kannan puolella  $t_{1,min} = 7d$  ja Kerto-Q:lla vastaavasti  $t_{1,min} = 4d$ . Esiporatuilla liitoksilla  $t_{1,min} = t_{2,min} = 4d$ .

Puutavaran tiheysvaikutuskerroin

$$k_p = \sqrt{\frac{\rho_k}{350}} \quad (6.7)$$

missä  $\rho_k$  on liitospuun tiheyden ominaisarvo (kg/m<sup>3</sup>). Jos liitospuilla on eri tiheydet, kaavassa käytetään niistä pienintä arvoa.

Naulavälien ja reunaetäisyyksien minimiarvot on esitetty kuvassa 6.3. Naulat sijoitetaan liitettävien puiden syiden suuntaisiin rastereihin. Kun puuosat liitetään vinossa kulmassa toisiinsa nähden, liitinrasterista tulee tällöin suunnikas.

Syyn suunnassa peräkkäiset esiporaamatta lyötävät naulat sijoitetaan kuvan 6.3 mukaisesti naulapaksuuden verran syyn suunnasta sivuun halkeiluvaaran vuoksi.

Jos nauloille esiporataan reiät, kuvassa 6.3 esitetyt pienimmät sallittavat liitinvälit, päätyetäisyydet ja reunaetäisyydet voidaan kertoa 0,7:llä.

Jos puutavaran ominaistiheys  $\rho_k > 500 \text{ kg/m}^3$ , naulan paksuus  $d > 6 \text{ mm}$  tai puutavaraosan paksuus  $t < 7d$ , on nauloille esiporattava reiät.

Leikkauskuormitetuille **Kerto-Q-LVL:n lapepinnan** naulaliitoksille sovelletaan puutavaraliitosten ohjeita seuraavasti:

- Syysuunnassa peräkkäisiä nauloja ei tarvitse limittää syysuunnasta sivuun.
- Kerto-Q:n minimipaksuus naulan kannan puolella voidaan pienentää esiporaamattomissakin liitoksissa arvoon  $4d$ , kun se otetaan huomioon naulan leikkauskestävyydessä kaavan (6.6) kertoimella *k<sub>e</sub>*.
- Pintaviilun syysuunnassa peräkkäisten naulojen minimiväli on  $(5+2\cos\alpha)d$ . Minimietäisyys vedetystä päädyestä on  $7d$ , puristetusta päädyestä  $4d$ , kuormittamattomasta reunasta  $3d$  ja kuormitetusta reunasta  $(3+4\sin\alpha)d$ , kun  $\alpha$  on voiman ja pintaviilun syysuunnan välinen kulma.

## Päätypuuliitos

Puun päähän syysuuntaan lyödyn sileävartisen naulan ei katsota välittävän voimia. Syysuuntaan lyötyjä sileitä nautoja voidaan kuitenkin käyttää sekundaarisissa rakenneosissa, esim. räystäslaudan kiinnittämiseksi kattovasojen päihin.

Profiloituja kampa- tai kierrenautoja voidaan käyttää leikkauskuormitetuissa päätypuuliitoksissa käyttöluokissa 1 ja 2, kun nautojen tartuntapituus on vähintään  $10d$  ja liitoksessa on vähintään kolme naulaa.

Päätypuuliitoksen mitoitusarvona käytetään 1/3 vastaavan normaalin naulaliitoksen mitoituskestävyydestä. Päätypuuliitoksissa naulavälien ja reunaetäisyyksien tulee olla sahatavaralla ja liimapuulla vähintään  $5d$ . Vedetyllä reunalla reunaetäisyyden tulee olla kuitenkin vähintään  $10d$ . Kerto-LVL:n päätynaulauksessa näitä etäisyysvaatimuksia korotetaan kertoimella 1,4.

## Naulatut puulevyn liitokset

Kun yksileikkeisessä liitoksessa havuvaneri, lastulevy tai OSB-levy on läpinaulattu puutavaraan (levy kannan puolella), naulaliitoksen leikkauskestävyyden mitoitusarvo

$$R_d = \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M} \cdot k_\ell \cdot 120 \cdot d^{1,7} \quad (6.8)$$

Levystä ja puutavaran tiheydestä riippuva kerroin:

$$k_\ell = \left(0,5 + \frac{t}{12d}\right) \cdot k_p \quad \text{edellyttäen, että } t \geq 2d \text{ ja } d \leq 5 \text{ mm} \quad (6.9)$$

rajoituksena:

- neliskulmaisella naulalla  $k_\ell \leq 1,4k_p$
- pyöreällä naulalla  $k_\ell \leq 1,2k_p$

missä

$t$  levyn paksuus

$k_p$  naulan kärkipuolen puun tiheyden mukaan kaavalla (6.7) laskettu kerroin

Jos naulan tartuntapituus puutavaraan  $t_2 < 12d$ , kaavan liitoksen leikkauskestävyyttä pienennetään kertoimella  $t_2/12d$ . Tunkeuman  $t_2$  tulee olla kuitenkin vähintään  $8d$ .

32 Puulevyn ja puutavaran liitoksissa kuvan 6.3 mukaiset nautojen minimivälit saa pienentää kertoimella 0,85. Puutavaran reuna- ja päätyetäisyyksiä ei saa pienentää.

Minimietäisyydet nautoille ovat vanerissa  $3d$  kuormittamattomasta reunasta (tai päästä) ja  $(3+4\sin\alpha)d$  kuormitetusta reunasta (tai päästä), kun  $\alpha$  on kuormitus suunnan ja levyn reunan välinen kulma.

## Naulatut teräksen ja puun liitokset

Kun yksileikkeisessä liitoksessa esiporattu teräslevy naulataan puutavaraan siten, että sileän naulan tunkeuma puutavarassa on vähintään  $12d$  tai profiloituneen naulan tunkeuma on vähintään  $8d$ , naulaliitoksen leikkauskestävyyden mitoitusarvo

$$R_d = \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M} \cdot k_s \cdot 120 \cdot d^{1,7} \quad (6.10)$$

Kun naulan tunkeuma puutavarassa on vähintään  $12d$ , kerroin

$$k_s = \begin{cases} 1,1 \cdot k_p & \text{ohuella teräslevyllä } t_t \leq 0,5d \\ 1,5 \cdot k_p & \text{paksulla teräslevyllä } t_t \geq d \end{cases} \quad (6.11)$$

Kun kampa- tai kierrenaulan tunkeuma puutavarassa  $t_2 = 8d \dots 12d$ , kerroin

$$k_s = \begin{cases} \left(0,2 + 0,9 \cdot \frac{t_2}{12d}\right) \cdot k_p & \text{ohuella teräslevyllä } t_t \leq 0,5d \\ \left(0,6 + 0,9 \cdot \frac{t_2}{12d}\right) \cdot k_p & \text{paksulla teräslevyllä } t_t \geq d \end{cases} \quad (6.12)$$

missä

$t_t$  teräslevyn paksuus

$k_p$  kaavan (6.7) mukainen puun tiheydestä riippuva kerroin

Kun  $0,5d < t_t < d$ , korotuskerroin  $k_s$  lasketaan lineaarisesti interpoloiden.

Paksun teräslevyn  $k_s$ -kertoimen käyttö edellyttää, että teräkseen poratun reiän halkaisija  $D \leq 1,1d$ . Kartiokantaisen naulan yhteydessä voidaan käyttää suurempaa, korkeintaan kartion kannan leveyttä vastaavaa, reikää. Teräslevyllisen naulaliitoksen lohkeamismurtokestävyyttä ei tarvitse tarkistaa, jos peräkkäisten nautojen lukumäärä syysuunnassa on enintään 4 tai jos liitoskestävyys on laskettu ohuen teräslevyn kaavoilla. Teräslevyllisen naulaliitoksen minimaalivälit ovat 0,7 kertaa kuvan 6.3 arvot ja puun pääty- ja reunaetäisyydet ovat kuvan 6.3 mukaisia.

### Pituussuunnassa kuormitetut naulat

Sileävirtaisia nauloja ei saa käyttää pituussuuntaan kuormitettuina, kun kuormat ovat pysyviä tai pitkäaikaisia. Jos poikittaisella kuvioinnilla varustetun naulan ulosvetolujuusparametrin ominaisarvo  $f_{ax,k} < 4,5 \text{ N/mm}^2$  määritettynä RH65:ssä  $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$  puun tiheydellä, mitoituksessa noudatetaan sileävirtisten naulojen ohjeita.

Pituussuunnassa kuormitetuilla nauloilla kärjen puoleisen tunkeuman tulee olla vähintään  $12d$  sileävirtisillä ja  $8d$  profiloituilla kampa- ja kierrenauloilla. Kampa- ja kierrenauloilla vain profiloitun osan oletetaan ottavan pituussuuntaista kuormaa. Pituussuuntaan kuormitettujen naulojen minimivälit ja -etäisyydet ovat kuvan 6.3 mukaisia.

Päätypuuhun lyödyllä naulalla ei yleensä ole ulosvetokestävyyttä.

Pienin kaavojen 6.13a (ulosvetolujuus kärjen puolella) sekä 6.13b ja c (kannan läpiveto) arvoista on naulan ulosvetokestävyys, kun naulat on lyöty kohtisuorasti syysuuntaan nähden, kuten kuvassa 6.4a tai vinosti, kuten kuvassa 6.4b.

$$R_k = \min \begin{cases} f_{ax,k} d t_{pen} & \text{kaikki naulat} & (a) \\ f_{ax,k} d t + f_{head,k} d_h^2 & \text{sileävirtiset naulat} & (b) \\ f_{head,k} d_h^2 & \text{kampa- ja kierrenaulat} & (c) \end{cases} \quad (6.13)$$

missä

- $f_{ax,k}$  naulan ulosvetolujuus
- $f_{head,k}$  naulan kannan läpiveto
- $t_{pen}$  tartuntapituus kärjen puolella
- $t$  puun paksuus kannan puolella
- $d_h$  naulan kannan halkaisija (tavallisilla nauloilla  $d_h \geq 2d$ )

Profiloiduilla kampa- ja kierrenauloilla tartuntapituus  $t_{pen}$  tarkoittaa profiloitun osuuden pituutta kärjen puoleisessa puussa. Kärjen puoleisesta tunkeumapituudesta vähennetään tällöin kärjen viistepituus ( $0,5 \dots 2,5d$ ) ja mahdollinen varren sileä osuus.

Nauloille voidaan yleisesti käyttää seuraavia ominaisarvoja:

$$f_{ax,k} = (20 \cdot 10^{-6}) \rho_k^2 \text{ N/mm}^2 \quad (6.14)$$

$$f_{head,k} = (70 \cdot 10^{-6}) \rho_k^2 \text{ N/mm}^2 \quad (6.15)$$

jossa puun ominaistiheyden  $\rho_k$ :n yksikkö on  $\text{kg/m}^3$ .

Kaavat (6.14) ja (6.15) eivät päde viilutason suuntaisesti naulatuille LVL:n syrjäliitoksille.

Kaavojen (6.14) ja (6.15) sijasta voidaan käyttää naulalle ilmoitettuja EN 14592 standardin mukaisia kokeellisesti määritettyjä ulosvetolujuuden ja kannan läpivetoalujuuden arvoja. Pituussuunnassa kuormitettujen naulaliitosten suunnittelussa otetaan huomioon puun kuivumisen aiheuttama tantuntalujuuden heikkeneminen. Ilman suhteellisessa kosteudessa RH65 tasaannutetulla puulla kokeellisesti määritettyä naulan tartuntalujuutta pienennetään suunnittelussa sileävirtisillä nauloilla kertoimella 0,4 ja muilla nauloilla kertoimella 0,7, mikäli liitosta käytetään lämmitetyissä sisätiloissa. Sileävirtisiä nauloja ei saa käyttää kantamaan pitkäaikaisia naulan pituussuuntaisia kuormia, joita esiintyy esimerkiksi alakaton kiinnityksissä.

Kerto-LVL:n syrjäliitoksissa minimaalivälit ja -etäisyydet ovat 1,4 kertaa kuvan 6.3 arvot ja naulan ulosvetolujuusparametrin ominaisarvo voidaan laskea kaavalla

$$f_{ax,k} = 0,32d + 0,8 \quad \text{N/mm}^2 \quad (6.16)$$

missä  $d$  on naulan paksuus millimetreinä

Lämmitetyn sisätilan liitoksissa kaavalla (6.16) laskettua ulosvetolujuusparametria pienennetään sileillä nauloilla kertoimella 0,4 ja muilla nauloilla kertoimella 0,7. Mikäli pysyvän ja pitkäaikaisen aikaluokan mitoituskuormien yhteenlaskettu osuus naulan ulosvetokuormituksen mitoitusarvosta on suurempi kuin  $1/3$ , tartuntakestävyyden laskennassa käytettävälle  $k_{mod}$ -kertoimelle ei saa käyttää suurempaa arvoa kuin 0,7. Jos puutavara on naulattaessa kosteudeltaan puun kyllästymispisteessä tai sen lähellä ja se todennäköisesti kuivuu kuormitettuna, arvoja  $f_{ax,k}$  ja  $f_{head,k}$  käytetään  $2/3$ -kertaisina.

Pituussuuntaisen kuormituksen ( $F_{ax}$ ) ja leikkausrasituksen ( $F_v$ ) samanaikaisesti kuormittaman naulaliitoksen tulee toteuttaa ehto

$$\frac{F_{ax,d}}{R_{ax,d}} + \frac{F_{v,d}}{R_{v,d}} \leq 1 \quad \text{sileävirtinen naula} \quad (6.17)$$

$$\left( \frac{F_{ax,d}}{R_{ax,d}} \right)^2 + \left( \frac{F_{v,d}}{R_{v,d}} \right)^2 \leq 1 \quad \text{profiloitu naula}$$

missä  $R_{ax,d}$  ja  $R_{v,d}$  ovat liitoksen mitoituskestävyydet pituussuuntaisen rasituksen tai leikkausrasituksen vaikuttaessa yksinään.

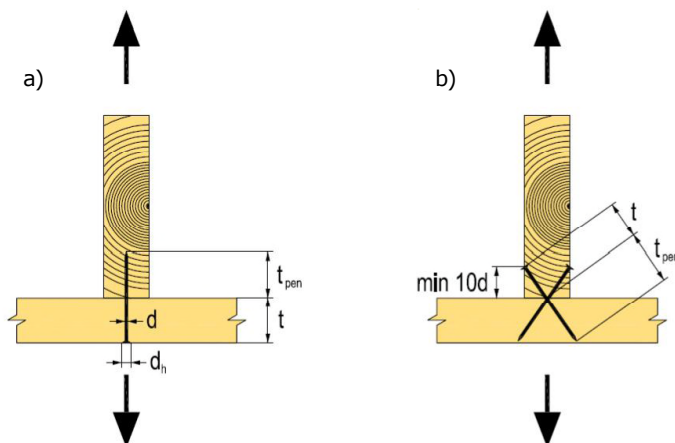


d (mm)	Sahatavara				Liimapuu		Kerto-LVL lape-liitos		Kerto-LVL syrjä-liitos
	□ tai Ø	C18	C24	C30	C35	GL24c	GL30c	Kerto-T	
2,1	92	110	129	136	119	136	151	206	66
2,5	130	155	183	193	169	193	213	292	102
2,8	163	195	230	242	212	242	268	367	135
3,1	200	239	282	297	260	297	328	450	175
3,4	240	288	339	357	313	357	395	541	222
3,8	300	359	423	446	391	446	493	676	296
4,2	367	439	517	545	477	545	602	825	384
4,6	440	526	621	654	572	654	722	990	488
5,0	520	622	733	772	676	772	853	1170	609
5,1	541	647	763	803	704	803	888	1217	642
5,5	629	753	887	934	818	934	1033	1415	786
6,0	749	896	1056	1112	974	1112	1229	1684	994

**Taulukko 6.2** - Sileiden naulojen ulosvetokestävyyden mitoitusarvoja  $R_d$  [N] hetkellisen kuorman aikaluokassa (tuulikuormalle) käyttöluokassa 2, kun tartuntapituus  $t_{pen} = 12d$ . Sileävirtiseen naulaan ei saa kohdistua pysyvän tai pitkä-aikaisen aikaluokan ulosvetorasitusta.

Paksuus d (mm)	Sahatavara, Liimapuu, LVL			
	käyttöluokka 1		käyttöluokka 2	
	pysyvä	hetkellinen	pysyvä	hetkellinen
□ tai Ø				
2,1	68	125	98	179
2,5	97	178	138	254
2,8	122	223	174	318
3,1	149	273	213	390
3,4	179	329	256	470
3,8	224	411	320	586
4,0	248	455	354	650
4,2	274	502	391	716
4,6	328	602	469	859
5,0	388	711	554	1015
6,0	558	1024	798	1462

**Taulukko 6.3** - Profiloitujen naulojen ulosvetokestävyyden mitoitusarvoja  $R_d$  [N], kun naulan ulosvetolujuus  $f_{ax,k} = 6 \text{ N/mm}^2$  ko. puumateriaalilla RH65:ssä ja profiloituneen osuuden tartuntapituus  $t_{pen} = 8d$ . Kannan lävistymisen tarkistetaan erikseen.



**Kuva 6.4** - a) Kohtisuora ja b) Vino naulaus.

### 6.3 Ruuviliitokset

Ruuvien nimellispaksuus  $d$  tarkoittaa kierteen ulkohalkaisijaa. Tämä ohje koskee ruuveja, joiden nimellispaksuus on vähintään 3,8 mm ja enintään 24 mm. Ruuvien kierteisen osan sisähalkaisijan  $d_i$  (sydänmitta) tulee olla  $0,6d \leq d_i \leq 0,9d$ .

Ruuvilla tulee olla EN 14592 standardin vaatimusten mukaisesti määritettynä seuraavat lujuusominaisuudet: vääntökestävyys  $f_{\text{tor},k}$ , myötömomentti  $M_{y,k}$  tai vetomurtolujuus  $f_{u,k}$ , ulosvetolujuusparametri  $f_{ax,k}$ , kannan läpivetolujuusparametri  $f_{\text{head},k}$  ja vetomurtokestävyys  $f_{\text{tens},k}$ . Ulosvetolujuusparametri  $f_{ax,k}$  voidaan määrittää testaamalla tai laskennallisesti (ks. kaava 6.19). Vetomurtokestävyys  $f_{\text{tens},k}$  on mitoittavin seuraavista: kannan lävistyminen teräslevystä, jossa reikä on  $d + 1$  mm, ruuvien sileän varren vetomurto tai varren kierteisen osan vetomurto.

Tässä ohjeessa esitettyjä naulaliitosten yksinkertaistettuja mitoitusohjeita saadaan soveltaa vain ruuveille, joiden vetomurtolujuus  $f_{u,k} \geq 500$  N/mm<sup>2</sup> tai ruuvien myötömomentti  $M_{y,k} \geq 150d_{\text{ef}}^{2,6}$ .

Ruuvien kierteisen osan vaikutus otetaan huomioon käyttämällä kestävyyslaskennassa tehollista halkaisijaa  $d_{\text{ef}}$ .

#### Kansiruuvit

Tässä kansiruuveilla tarkoitetaan osakierteisiä ruuveja, joiden kierteen ulkohalkaisija (nimellispaksuus  $d$ ) on sileän varren suuruinen. Kansiruuveille esiporataan reiät. Ilman esiporausta saadaan käyttää vain havupuuhun ruuvattavia  $d \leq 6$  mm kansiruuveja.

Jos kansiruuvien sileän varren tunkeuma kärjen puoleisessa puussa on pienempi kuin  $4d$ , kansiruuvien tehollinen halkaisija  $d_{\text{ef}} = 1,1d_i$ , missä  $d_i$  on kierteisen osan sisähalkaisija (sydänmitta). Muussa tapauksessa  $d_{\text{ef}} = d$ .

Kansiruuveille, joiden tehollinen halkaisija  $d_{\text{ef}} > 6$  mm, käytetään kohdassa 6.4 esitettyjä pulttiliitosten sääntöjä. Kansiruuveille, joiden tehollinen halkaisija  $d_{\text{ef}} \leq 6$  mm, käytetään kohdan 6.2 ohjeita, kuten profiloituilla pyöreillä nauloilla. Esiporattujen naulojen ohjeista saadaan käyttää, jos porauksen syvyys on ruuvien kärjen puolella vähintään  $4d$ .

Kansiruuvien sileän varren osalle puuhun esiporataan reikä, jonka halkaisija  $D = d + 0...1$  mm. Kansiruuvien kierreosalle esiporataan reikä, jonka halkaisija on havupuulla ja puulevyllä  $0,6...0,75d$ .

#### Itseporautuvat ruuvit

Tässä itseporautuvilla ruuveilla tarkoitetaan täyskierteisiä ruuveja ja sellaisia osakierteisiä ruuveja, joiden sileän varren paksuus on enintään 80 % kierteen ulkohalkaisijasta (nimellispaksuudesta  $d$ ) mutta vähintään  $1,1d_i$ , kun  $d_i$  on ruuvien kierteisen osan sisähalkaisija (sydänmitta).

Itseporautuvien puuruuvien tehollinen halkaisija  $d_{\text{ef}} = 1,1d_i$ , kun  $d_i$  on ruuvien kierteisen osan sisähalkaisija. Kun  $d_{\text{ef}} \leq 6$  mm, itseporautuvien ruuvien mitoituksessa käytetään kohdassa 6.2 profiloituille pyöreille nauloille annettuja naulaliitosten ohjeita. Kun  $d_{\text{ef}} > 6$  mm, käytetään kohdan 6.4 mukaisia pulttiliitosten sääntöjä.

Jos porakärjettömän itseporautuvan ruuvien halkaisija  $d_{\text{ef}} > 6$  mm, tulee ruuvit esiporata. Esiporausta käytettäessä reiän halkaisija on koko ruuvipituudella  $0,5...0,7d$ , kuitenkin enintään ruuvien kierteisen osan sisähalkaisija  $d_i$ .

Kun ruuvien kierteisen osan pituus kärjen puoleisessa puussa on vähintään  $8d_{\text{ef}}$ , ruuviliitoksen leikkauskestävyyttä saadaan korottaa lisäkerroksella  $1,15$  sillä edellytyksellä, että joko

- kierteisen osan pituus kannan puoleisessa puussa  $> 6d_{\text{ef}}$
- ruuvien kannan puolella on teräslevy
- ruuvien kannan alla käytetään aluslevyä pulttiliitosten ohjeiden mukaisesti tai
- ruuvien kannan puolella on vähintään  $2d_{\text{ef}}$  paksu vaneri-, lastu-, OSB- tai kovalevy ja ruuvien kannan halkaisija on vähintään  $2d$ .

**Pituussuunnassa kuormitetut ruuvit**

Pituussuunnassa kuormitettujen ruuviliitosten mitoituksessa tarkistetaan seuraavat murtumistavat:

- ruuvin kierteisen osan ulosvetokestävyys kärjen puoleisessa puussa ( $f_{ax}$ )
- ruuvin kannan läpivetokestävyys ( $f_{head}$ ) tai kierteisen osan ulosvetokestävyys kannan puolella ( $f_{ax}$ )
- ruuvin vetokestävyys ( $f_{tens}$ )
- ruuvin nurjahtaminen puristus-kuormituksessa
- liitosalueen murtuminen ruuviryhmän mukana (esim. poikittainen veto ruuvien kärkien tasolla tai päätypuuliitoksissa lohkeamismurtuminen)

Kärjenpuoleisessa puussa kierreosan vähimmäistunkeuma on  $6d$ . Ruuvivälien ja reunaetäisyyksien vähimmäisarvot ovat seuraavat:

- ruuviväli puun syiden suunnassa  $a_1 = 7d$
- ruuviväli kohtisuoraan syysuuntaa vastaan  $a_2 = 5d$
- päätyetäisyys  $a_3 = 10d$
- reunaetäisyys  $a_4 = 4d$

Käytettäessä havupuutavarassa EN 14592 mukaisia ruuveja, joiden halkaisija  $d = 6...12$  mm ja sydänmitta  $d_i \leq 0,75d$ , ruuviliitoksen ulosvetokestävyys ominaisarvo

$$F_{ax,\alpha,Rk} = \frac{n^{0,9} f_{ax,k} d \ell_{ef} k_d}{1,2 \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \quad (6.18)$$

missä

$$f_{ax,k} = 0,52d^{-0,5} \ell_{ef}^{-0,1} \rho_k^{0,8} \quad [N/mm^2] \quad (6.19)$$

$$k_d = \frac{d}{8} \leq 1$$

$f_{ax,k}$  ruuvin ulosvetolujuusparametrin ominaisarvo kohtisuorassa syysuuntaa vastaan  $[N/mm^2]$   
 $n$  yhdessä toimivien ruuvien lukumäärä liitoksessa  
 $\ell_{ef}$  ruuvin kierteistetyn osuuden tunkeumasyyvyys tarkasteltavassa liitospuussa  $[mm]$   
 $d$  ruuvin halkaisija  $[mm]$   
 $\rho_k$  puutavaran ominaistiheys  $[kg/m^3]$   
 $\alpha$  ruuvin kulma syysuuntaan nähden, kun  $\alpha \geq 30^\circ$

Kun  $4 \text{ mm} \leq d < 6 \text{ mm}$ , voidaan ruuviliitoksen ulosvetokestävyys ominaisarvo puun syysuuntaan vastaan kohtisuorassa suunnassa laskea kaavalla

$$F_{ax,90,Rk} = n^{0,9} \frac{d^{1,2} \ell_{ef}^{0,8} \rho_k}{20} \quad [N] \quad (6.20)$$

missä symbolit ja niiden laadut vastaavat kaavaa (6.19)

Ruuviliitoksen läpivetokestävyys ominaisarvo

$$F_{ax,\alpha,Rk} = n^{0,9} f_{head,k} d_h^2 \left( \frac{\rho_k}{\rho_a} \right)^{0,8} \quad (6.21)$$

missä

$F_{ax,\alpha,Rk}$  läpivetokestävyys ominaisarvo syysuuntaan nähden kulmassa  $\alpha$ , kun  $\alpha \geq 30^\circ$   
 $f_{head,k}$  ruuville ilmoitettu EN 14592 mukainen kannan läpivetolujuusparametrin ominaisarvo puun tiheydellä  $\rho_a$   
 $d_h$  ruuvin kannan halkaisija

Ruuviliitoksen vetolujuuskestävyyden ominaisarvo

$$F_{t,Rk} = n^{0,9} f_{tens,k}$$

missä  $f_{tens,k}$  on ruuville ilmoitettu EN 14592 mukainen vetomurtokestävyys ominaisarvo

Kerto-LVL:n syrjäliitoksissa, joissa ruuvi on viilutason suunnassa ja kohtisuorasti pintaviilujen syysuuntaan nähden, voidaan pituussuunnassa kuormitettujen itseporautuvien ruuvien minimiväleinä ja -etäisyyksinä käyttää seuraavia arvoja:

- $a_1 = 10d$  ruuviväli syysuuntaan
- $a_3 = 12d$  päätyetäisyys
- $a_4 = 4d$  reunaetäisyys LVL:n lapepintaan; käytettäessä esiporausta  $a_4 = 3d$

Kun itseporautuvan ruuvin halkaisija  $4,5 \text{ mm} \leq d \leq 8 \text{ mm}$  ja sisähalkaisija  $d_i \leq 0,7d$ , voidaan Kerto-S ja Kerto-Q syrjäliitoksissa ruuviliitoksen ulosvetokestävyys laskea seuraavasti:

$$F_{ax,Rk} = n^{0,9} f_{ax,k} d \ell_{ef}$$

missä

$f_{ax,k}$  on  $10 \text{ N/mm}^2$   
 $n$  on liitoksessa yhdessä toimivien ruuvien lukumäärä  
 $\ell_{ef}$  on ruuvin kierreosan tunkeumasyyvyys

## 6.4 Pulttiliitokset

Tämä ohje koskee pulttiliitoksia, joissa pultin paksuus  $d \leq 24$  mm, pultin vetomurtolujuus  $f_{u,k} \leq 800$  N/mm<sup>2</sup> (lujuusluokka  $\leq 8.8$ ) ja joissa puutavaraa<sup>1)</sup> olevien reunaliihtosien paksuudet  $t_1$  ja  $t_2$  ovat vähintään  $4d$  ja kaksileikkeisten liitosten puutavarallisten sisäosien paksuus  $t_s$  on vähintään  $5d$ .

<sup>1)</sup> Puutavaralla tarkoitetaan sahatavaraa, liimapuuta ja yhteen suuntaan viilutettua LVL:ää (ks. kuva 6.5).

Puuosien välisen pulttiliitoksen leikkauskestävyyden ominaisarvo yhtä leikettä kohden

$$R_k = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,4 \cdot f_h \cdot t_u \cdot d \cdot \sqrt{1 + \frac{3 \cdot M_y}{f_h \cdot d \cdot t_u^2}} \\ 2 \cdot \sqrt{M_y \cdot f_h \cdot d} \end{array} \right. \quad (6.22)$$

missä

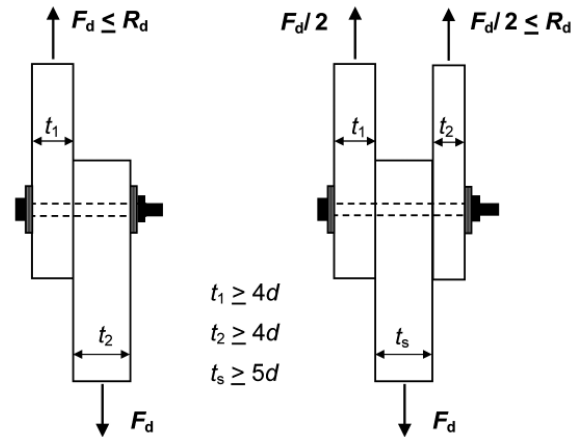
$$t_u = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{t_1 \cdot f_{h,1,k}}{f_h} \\ \frac{t_2 \cdot f_{h,2,k}}{f_h} \end{array} \right. \quad (6.23)$$

$$f_h = \min(f_{h,1,k}; f_{h,2,k}; f_{h,s,k}) \quad (6.24)$$

$t_1$  ja  $t_2$  liitoksen reunaosien puun paksuudet (ks. kuva 6.5)

$f_{h,1,k}$  ja  $f_{h,2,k}$  liitoksen reunaosien reunapuristuslujuuksien ominaisarvoja

$f_{h,s,k}$  kaksileikkeisen liitoksen keskiosan ominaisreunapuristuslujuus



**Kuva 6.5** - Leikkauskuormitetun 1- ja 2-leikkeisen pulttiliitoksen merkinnät.

Pultin myötömomentti

$$M_y = 0,3 f_{u,k} d^{2,6} \quad [\text{Nmm}] \quad (6.25)$$

missä  $f_{u,k}$  on pultin vetomurtolujuuden ominaisarvo

Reunapuristuslujuus kulmassa  $\alpha$  syysuuntaan nähden

$$f_{h,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (6.26)$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k \quad \text{N/mm}^2 \quad (6.27)$$

$$k_{90} = \begin{cases} 1,35 + 0,015d & \text{havupuulle} \\ 1,30 + 0,015d & \text{yhteen suuntaan viilutetulle LVL : lle} \end{cases} \quad (6.28)$$

missä ominaistiheyden  $\rho_k$ :n yksikkö on kg/m<sup>3</sup> ja pultin paksuuden  $d$ :n mm

		Sahatavara, liimapuu	Kerto-S-LVL
$a_1$	Syysuuntaan	$(4+ \cos\alpha )d$	$(4+3 \cos\alpha )d$
$a_2$	Syitä vastaan kohtisuorasti	$4d^{1)}$	$4d^{1)}$
$a_{3t}$	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$\max(7d ; 80 \text{ mm})$	$\max(7d ; 105 \text{ mm})$
$a_{3c}$	$90^\circ < \alpha < 150^\circ$	$(1+6 \sin\alpha) d$	$(1+6 \sin\alpha) d$
	$150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$	$4d$	$4d$
	$210^\circ < \alpha < 270^\circ$	$(1+6 \sin\alpha )d$	$(1+6 \sin\alpha )d$
$a_{4t}$	$0^\circ < \alpha < 180^\circ$	$\max([2+2\sin\alpha]d ; 3d)$	$\max([2+2\sin\alpha]d ; 3d)$
$a_{4c}$	$180^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$3d$	$3d$

**Taulukko 6.4** - Pulttien minimivälit ja reunaetäisyydet

<sup>1)</sup> Lohkeamismurto tulee tarkistaa myös puuosien välisissä liitoksissa, jos  $a_2 < 5d$ .

Vedetyissä sauvapäälliitoksissa puun syiden suuntaisesti sijoitetussa liitinrivissä tehollisesti toimivien pulttien lukumäärä:

$$n_{ef} = \min \left\{ \begin{matrix} n_i \\ n_i^{0,9} \sqrt[4]{\frac{a \cdot t}{50 \cdot d^2}} \end{matrix} \right. \quad (6.29)$$

missä

$n_i$  puun syiden suuntaiseen riviin  $i$  sijoitettujen pulttien lukumäärä

$$a = \begin{cases} \min(a_1, a_3) & \text{kun } n_i \geq 2 \\ a_3 & \text{kun } n_i = 1 \end{cases}$$

$a_1$  peräkkäisten liitinten välinen etäisyys puun syiden suunnassa

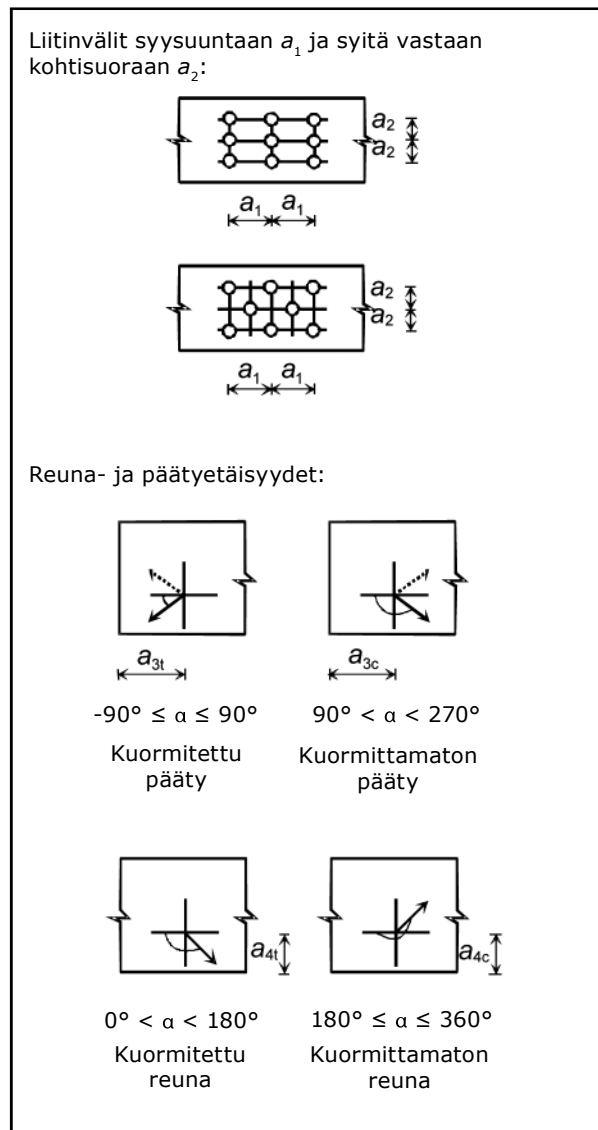
$a_3$  päätyetäisyys

$$t = \begin{cases} \min(t_1, t_2) & \text{liitokset, joissa puutavaraa on vain reunaosissa} \\ \min(2t_1, 2t_2, t_s) & \text{muut 2- ja monileikkeiset liitokset} \end{cases}$$

$t_1$  ja  $t_2$  puutavaran paksuuksia liitoksen reunaosissa (ei huomioida, jos reunaosat eivät ole puutavaraa)

$t_s$  puutavaran paksuus 2-leikkeisen liitoksen keskiosassa

Minimivälit ja -etäisyydet annetaan taulukossa 6.4. Merkinnät selitetään kuvassa 6.6. Pulteille porattavien reikien halkaisija saa olla puussa korkeintaan  $d + 1 \text{ mm}$ . Pulttien kannan ja mutterin alla tulee käyttää aluslevyjä, joiden paksuus on vähintään  $0,3d$  ja halkaisija  $3d$ . Aluslevyjen tulee tukeutua puuhun koko pinta-alaltaan. Pultit tulee kiristää niin, että liitososat tulevat toisiinsa kiinni ja liitosten on oltava jälkikiristettävissä sen jälkeen, kun puu on saavuttanut tasapainokosteutensa. Mikäli jälkikiristystä ei voida tehdä ja puu pääsee kuivumaan asentamisen jälkeen yli 5 paino-%, mitoituksessa saa hyödyntää korkeintaan 80 % pulttiliitoksen laskennallisesta liitoskestävyydestä.



**Kuva 6.6** - Liitinvälien sekä reuna- ja päätyetäisyyksien määritelmät.

### Pultatut puulevyn ja puun liitokset

Puulevyliitoksille voidaan soveltaa edellä esitettyjä puutavaraliitosten ohjeita, kun liitoksen reunaosana käytettävän puulevyn paksuus

$$t_{\text{levy}} \geq \frac{80 \cdot d}{f_{h,\text{levy},k}} \quad \text{mm} \quad (6.30)$$

missä levyn reunapuristuslujuuden  $f_{h,\text{levy},k}$  yksikkö on  $\text{N/mm}^2$  ja  $d$ :n yksikkö on mm

Vanerin reunapuristuslujuus pintaviilun syy-suunnasta riippumatta

$$f_{h,k} = 0,11(1 - 0,01d)\rho_k \quad \text{N/mm}^2 \quad (6.31)$$

missä vanerin ominaistiheyden  $\rho_k$ :n yksikkö on  $\text{kg/m}^3$  ja  $d$ :n mm

Lastulevyn reunapuristuslujuus:

$$f_{h,k} = 50d^{-0,6}t^{0,2} \quad \text{N/mm}^2 \quad (6.32)$$

missä levyn paksuuden  $t$  ja pultin paksuuden  $d$  yksikkönä on mm

### Teräksen ja puun väliset pulttiliitokset

Kun yksileikkeisen teräslevyllisen pulttiliitoksen toinen liitettävä osa on teräslevy, jonka paksuus on  $t_t \leq 0,5d$ , leikkauskestävyyden ominaisarvo leikettä kohti

$$R_k = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,4f_h t d \\ 2\sqrt{M_y f_h d} \end{array} \right. \quad (6.33)$$

Kun yksileikkeisen liitoksen toinen liitettävä osa on teräslevy, jonka paksuus on  $t_t \geq d$ , leikkauskestävyyden ominaisarvo leikettä kohti:

$$R_k = \min \left\{ \begin{array}{l} f_h t d \\ 1,3f_h t d \left[ \sqrt{2 + \frac{4M_y}{f_h d t^2}} - 1 \right] \\ 3\sqrt{M_y f_h d} \end{array} \right. \quad (6.34)$$

missä  
 $f_h$  puun reunapuristuslujuuden ominaisarvo (ks. kaava 6.24)  
 $t$  puun paksuus  
 $d$  pultin paksuus  
 $M_y$  pultin myötömomentti (kaava 6.25)

Kun  $0,5d < t_t < d$ , kaavojen (6.33) ja (6.34) välillä voidaan interpoloida lineaarisesti.

Kun kaksileikkeisen liitoksen keskimäinen osa on teräslevyllinen, leikkauskestävyys leikettä kohden lasketaan kaavalla (6.34) käyttäen puun paksuutena  $t$  ohuemman reunapuun paksuutta.

Kun kaksileikkeisen liitoksen ulommat osat ovat teräslevyä, leikkauskestävyyden ominaisarvo leikettä kohti

$$R_k = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,5f_h t d \\ 2\sqrt{M_y f_h d} \\ 3\sqrt{M_y f_h d} \end{array} \right. \quad (6.35a)$$

$$\text{kun } t_t \leq 0,5d \quad (6.35b)$$

$$\text{kun } t_t \geq d \quad (6.35c)$$

Kun  $0,5d < t_t < d$ , kaavojen (6.35b) ja (6.35c) välillä interpoloidaan suoraviivaisesti.

Pulteille porattavien reikien halkaisija saa olla teräslevyssä korkeintaan 2 mm pultin halkaisijaa suurempi. Jos mitoituksessa hyödynnetään paksun teräslevyn kaavoja (6.34) tai (6.35c) ja pultin paksuus  $d < 20$  mm, teräslevyn porattavan reiän halkaisija saa olla kuitenkin enintään  $D = 1,1d$ .

### Pituussuunnassa kuormitetut pultit

Pituussuunnassa kuormitetuissa pulttiliitoksissa on tarkistettava myös pultin vetolujuuden ja aluslevyn paksuuden riittävyys.

Aluslevyn alla voidaan puun leimapainelujuudelle käyttää ominaisarvoa  $3,0f_{c,90,k}$ .

Ulkopuolisen teräslevyn yhteydessä puun leimapainekestävyys ja teräslevyn taivutuskestävyys tarkistetaan pulttikohtaisesti ympyräpintalalle, jonka halkaisija on enintään pienempi seuraavista:

- $12t_t$ , missä  $t_t$  on teräslevyn paksuus
- $4d$ , missä  $d$  on pultin paksuus

# 7 Jäykistysmitoitus

Rungon pystyrakenteiden mahdollinen asennusvinous otetaan tarvittaessa huomioon rakennuksen kokonaisjäykistykseen suunnittelussa käyttäen RIL 201-1-2017:ssä esitettyjä rakennusten lisävaakavoimia.

## 7.1 Puristussauvojen tuenta

Jokainen yksittäinen nurjahdus- ja kiepahdus-tuki ja niiden liitokset mitoitetaan kaavan (7.2) mukaisille tuentavoimille. Lisäksi vierekkäisistä palkeista tai ristikoista muodostuvan tason jäykistys mitoitetaan erikseen kohdan 7.2 mukaan.

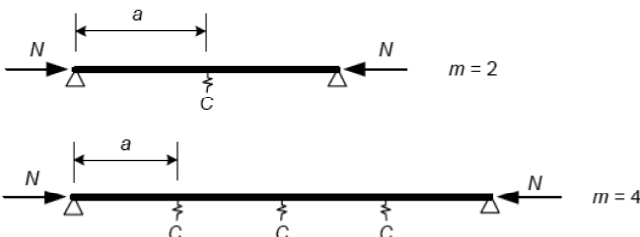
Kuvan 7.1 mukaisesti mitan  $a$  välein poikittais-tuettujen puristussauvojen tai palkkien alkukäyryys saa olla tuentojen välillä enintään  $a/500$  liimapuu- tai LVL- ja CLT -sauvoilla ja  $a/300$  muilla sauvoilla.

Jokaisen tuen jousijäykkyyden  $C$  tulee toteuttaa ehto

$$C \geq \left( 2 + 2 \cos \left( \frac{180^\circ}{m} \right) \right) \cdot \frac{N_d}{a} \quad (7.1)$$

missä  
 $m$  välein  $a$  poikittais-tuettujen kenttien lukumäärä  $\geq 2$  (ks. kuva 7.1)  
 $N_d$  rakenneosassa keskimäärin vaikuttavan puristusvoiman mitoitusarvo  
 $a$  tukiväli (ks. kuva 7.1)

Tuen jousijäykkyyden laskennassa otetaan huomioon muodonmuutokset, joita aiheutuu tuen ja tuettavan sauvan välisessä liitoksessa, itse tukisauvassa ja sen kiinnityksissä jäykistäviin rakenteisiin sekä tukivoiman jäykistäviin rakenteisiin mahdollisesti aiheuttamasta taipumasta.



**Kuva 7.1** – Esimerkkejä poikittais-tuetuista puristus-sauvoista.

Poikittaistuen kohdalla vaikuttavalle stabiloivalle voimalle käytetään mitoitusarvoa  $F_d$ :

$$F_d = \begin{cases} \frac{N_d}{50} & \text{sahatavaralle} \\ \frac{N_d}{80} & \text{liimapuulle ja LVL:lle} \end{cases} \quad (7.2)$$

missä  $N_d$  on rakenneosassa keskimäärin vaikuttavan puristusvoiman mitoitusarvo

Suorakaidepalkin kiepahdustuentaan tarvittavan voiman mitoitusarvo  $F_d$  määritetään kaavalla (7.2) käyttäen puristusvoimalle  $N_d$  arvoa

$$N_d = (1 - k_{crit}) \frac{M_d}{h} \quad (7.3)$$

missä  
 $k_{crit}$  poikittain tukemattoman palkin kiepahduskerroin, joka määritetään kohdan 5.3 mukaan  
 $M_d$  palkin suurimman momentin mitoitusarvo  
 $h$  palkin korkeus

Tasavälein vähintään neljästä pisteestä tuetun sauvan jokaisen tuen kohdalla vaikuttavaa, kaavan (7.2) mukaan laskettavaa, stabiloivaa voimaa  $F_d$  voidaan pienentää kertoimella

$$k_{s,red} = \frac{a}{\ell_s - a} \quad (7.4)$$

missä  
 $a$  on tuentaväli  
 $\ell_s$  on moniaaltoisen nurjahdus- ja kiepahdusmuodon kriittinen aallonpituus, joka lasketaan kaavalla

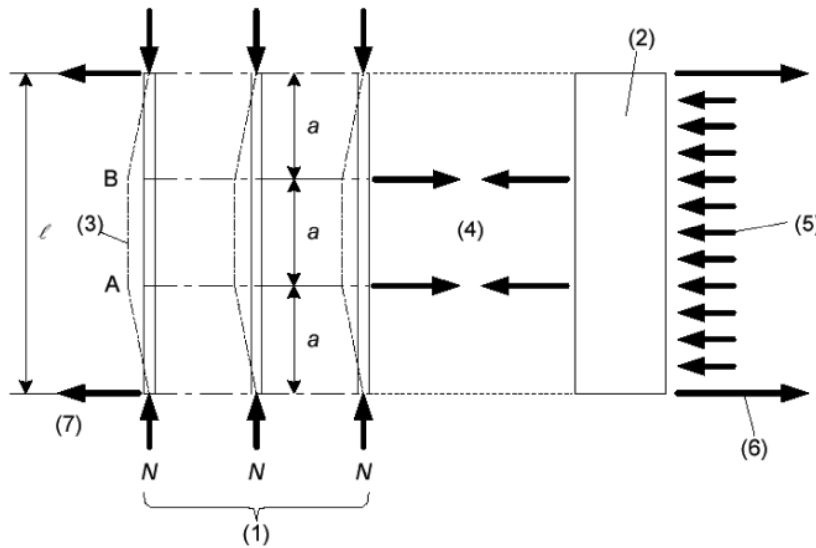
$$\ell_s = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{\pi}{\sqrt[4]{\frac{C}{a \cdot E_{0,05} \cdot I_z}}} \\ 2a \end{array} \right. \quad (7.5)$$

missä  
 $c$  on kaavan (7.1) mukaan laskettava tuelta vaadittava jousijäykkyys

$E_{0,05}$  on tuettavan sauvan kimmomoduulin ominaisarvo

$I_z$  on tuettavan sauvan heikomman suunnan jäyhyysmomentti

Mikäli kriittinen aallonpituus  $\ell_s$  on suurempi kuin puolet jäykistysjärjestelmän kokonaisjännevalistä ( $\ell_s > 0,5 \ell$ ), moniaaltoista nurjahdusta tai kiepahdusta ei pääse tapahtumaan ja yksittäisten tukien stabiloivat voimat  $F_d$  voidaan määrittää yhtä nurjahdusaalta vastaavasta tuentavoimasta:  $F_d = q_d a$ , kun  $q_d$  lasketaan kaavan (7.4) mukaan.



- (1) Rakenne, johon kuuluu n kpl vierekkäisiä kannattimia
- (2) Poikittaisjäykistys
- (3) Epätarkkuuksien ja geometrisen epälineaarisuuden aiheuttama ristikoiden taipuma
- (4) Jäykistävät voimat
- (5) Poikittaisjäykistykseen vaikuttava ulkoinen kuorma
- (6) Ulkoisista kuormista aiheutuvat poikittaisjäykistykseen reaktiovoimat
- (7) Jäykistävistä voimista aiheutuvat reaktiovoimat

**Kuva 7.2 -** Vierekkäisten kannattimien muodostaman rakennekentän jäykistäminen.

## 7.2 Palkisto- ja ristikkokenttien tuenta

Kun rakenteeseen kuuluu  $n$  kpl vierekkäisiä rakenneosia, joita varten tarvitaan poikittaistukia välipisteissä A, B jne. (ks. kuvaa 7.2), rakenne varustetaan poikittaisjäykistysjärjestelmällä, joka mitoitetetaan siten, että se pystyy ottamaan vastaan ulkoisten vaakakuormien (kuten tuulen) lisäksi pituusyksikköä kohden sisäisen jäykistyskuorman

$$q_d = \frac{n N_d}{50 \ell} \quad (7.4)$$

missä  $N_d$  on jäykistysjärjestelmän jännevälillä  $\ell$  vaikuttava kaavan (7.3) mukainen kiepahdustuet-tavan palkin puristusvoima tai nurjahdustuettavan ristikon yläpaarteen, kaaren tai kehäsauvan keskimääräinen puristusvoiman mitoitusarvo.

Voiman  $q_d$  ja muun ulkoisen kuorman (kuten tuulen) aiheuttama poikittaisjäykistykseen hetkellinen vaakataipuma saa olla enintään  $\ell/500$ . Poikittaisjäykistykseen vaakataipuma lasketaan murtorajatilan mitoituskuorman aiheuttamana lopputilan taipumana.

## 7.3 Jäykistysseinien mitoitus

Jäykistysseinät, joiden on tarkoitus kestää seinän tason suuntaiset vaakaleikkausvoimat, tulee jäykittää tasossaan rakennuslevyä, vinojäykistystä tai momenttia kestäviä liitoksia käyttäen.

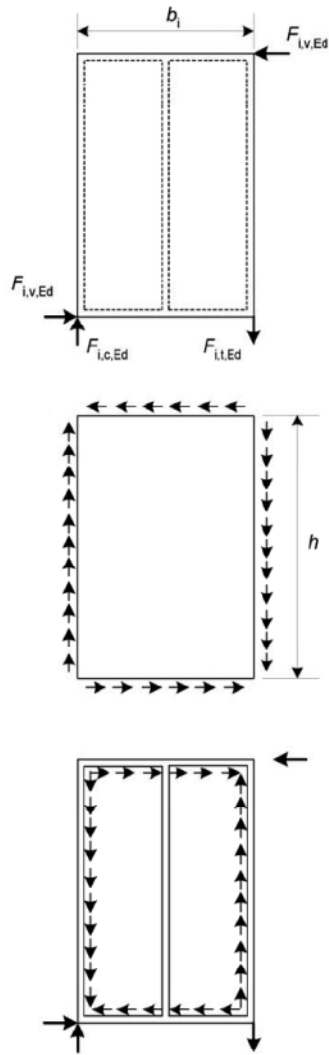
Käyttörajatilan kuormat eivät saa aiheuttaa jäykistysseiniin halkeamia eikä haitallisen suuria taipumia.

Jäykistävien rakennuslevyjen kiinnittämiseen käytetään nauvoja, ruuveja tai hakasia. Puulevyjen hakasliitokset mitoitetetaan SFS-EN 1995-1-1 standardin mukaan.

Jäykistysseinät, joissa jäykistykseen käytetään huokoisia kuitulevyjä tai muita kuin puulevyjä (esim. kipsilevyt), tulee mitoittaa kyseisen levyn tyyppiä koskevien ohjeiden mukaan.

Levyjäykisteiset seinät on ankkuroitava kunkin jäykistävän osaseinän päästä (ks. kuva 7.4) tai kunkin seinälohkon kohdalta, jolloin seinän alajuoksu ankkuroidaan tasavälein siten, että vähintään yksi kiinnityspiste tulee kunkin lohkon eli jäykistävän levyn kohdalle.





**Kuva 7.3** – Voimat, jotka vaikuttavat: a) seinälohkoon, b) puurunkoon ja c) levyyn.

Seuraavassa tarkastellaan kuormitusta, jossa voima  $F_{v,Ed}$  vaikuttaa seinän yläreunaan, kun pystykuormat tai ankkurointi estää samalla seinän nousemisen paikaltaan. Seinän vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo  $F_{v,Rd}$  voidaan määrittää yksinkertaistetulla menetelmällä, kun

- seinä koostuu yhdestä tai useammasta lohkokosta, joihin jokaiseen kuuluu levy, joka on kiinnitetty puurungon toiselle puolelle
- liitinväli on vakio pitkin jokaisen levyn reunoja
- jokaisen levyn leveys on vähintään  $h/4$

Kun seinä koostuu useasta seinälohkosta, seinän vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo

$$F_{v,Rd} = \sum F_{i,v,Rd} \quad (7.5)$$

missä  $F_{i,v,Rd}$  on seinälohkon vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo

Seinälohkoa rasittavaa kuvan 7.3 mukaista vaakavoimaa  $F_{i,v,Ed}$  vastaava vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo

$$F_{i,v,Rd} = \frac{F_{f,Rd} b_i c_i}{s} \quad (7.6)$$

missä

$F_{f,Rd}$  yksittäisen liittimen leikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo

$b_i$  seinälohkon leveys

$s$  liitinväli

$$c_i = \begin{cases} 1 & \text{kun } b_i \geq \frac{h}{2} \\ \frac{2b_i}{h} & \text{kun } b_i < \frac{h}{2} \end{cases} \quad (7.7)$$

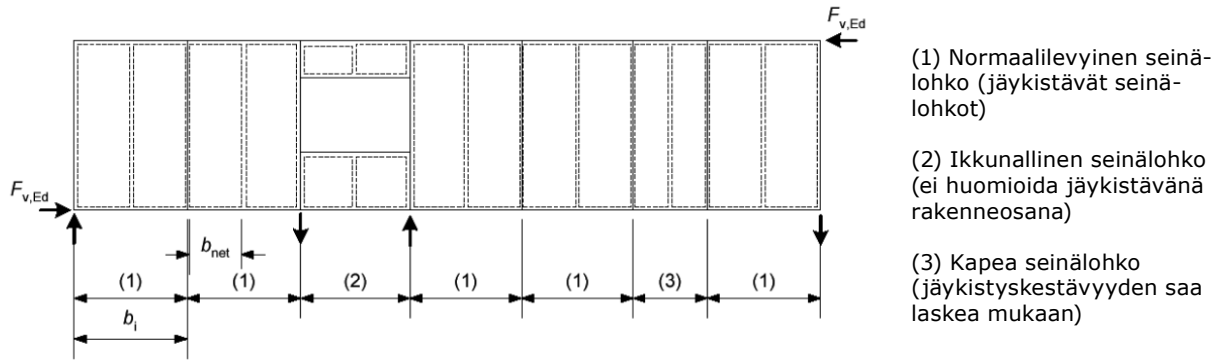
missä  $h$  on seinän korkeus

Levyn reunoilla olevien liittimien leikkauskestävyyden mitoitusarvoa saa suurentaa kertomalla luvun 6 mukainen arvo luvulla 1,2. Määritetäessä liitinten etäisyyksiä luvun 6 mukaisesti sekä levyn että puutavaran reunojen oletetaan olevan kuormittamattomia.

Ovi- tai ikkuna-aukollisen seinälohkon ei katsota lisäävän seinän vaakaleikkausvoimakestävyyttä (ks. kuva 7.4).

Seinälohkoille, joissa on levytys molemmilla puoilla, noudatetaan seuraavia sääntöjä:

- jos levyt ja liittimet ovat tyypiltään ja mitoiltaan samanlaiset, niin seinän vaakaleikkausvoimakestävyys lasketaan molempien levytysten summana ja
- jos käytetään erityyppisiä levyjä, mutta siirtymäkertoimeltaan samanlaisia liittimiä, voidaan yleensä ottaa huomioon 75 % heikomman puolen vaakaleikkausvoimakestävyydestä. Muissa tapauksissa vahvemman puolen vaakaleikkausvoimakestävyyteen saadaan lisätä enintään 50 % heikomman puolen kestävydestä.



7.4 - Esimerkki kaksiosaisesta jäykistysseinästä, johon kuuluu ikkunallinen ja muita kapeampi seinälohko.

Kuvan 7.3 mukaiset ulkoiset pystyvoimat  $F_{i,c,Ed}$  ja  $F_{i,t,Ed}$  määritetään kaavasta:

$$F_{i,c,Ed} = F_{i,t,Ed} = \frac{F_{i,v,Ed} h}{b_i} \quad (7.8)$$

missä  $h$  on seinän korkeus

Pystyvoimasta  $F_{i,t,Ed}$  saa vähentää pysyvää kuormasta johtuvan runkotolpan puristusvoiman  $F_{i,g,d} = 0,9G_{kj, inf}$

Pystyvoimat voidaan siirtää joko viereisen seinälohkon levyille tai ylä- tai alapuoliselle rakenteelle. Kun vetovoimia siirretään alapuoliselle rakenteelle, seinälohko ankkuroidaan jäykin liittimin. Seinätolppien nurjahduskestävyys tarkistetaan kohdan 5.5 mukaisesti. Jos tolppien päät tukeutuvat puurungon vaakasauvoihin, syitä vastaan kohtisuora puristuskestävyys tarkistetaan kohdan 5.1 mukaisesti.

Kuvan 7.4 mukaisilla ovi- tai ikkuna-aukkoja sisältävillä seinälohkoilla voidaan siirtää ulkoisia voimia siten, että niillä voidaan kytkeä yhteen jäykistävät osaseinät.

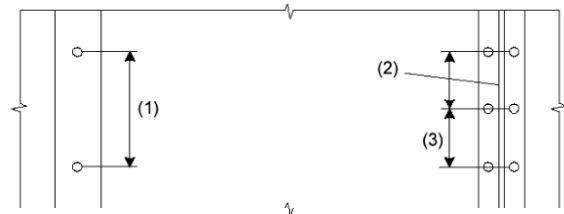
Levyn leikkauslommahdus voidaan jättää huomiotta, mikäli  $b_{net} / t \leq 100$ , kun  $b_{net}$  on tolppien välinen vapaa väli ja  $t$  on levyn paksuus.

Jotta keskitolpan voidaan katsoa muodostavan tuen levyille, saa liitinväli keskitolpassa olla enintään levyn reunojen liitinväli kaksinkertaisena.

Jos jokainen lohko on valmisosa, osoitetaan, että leikkausvoimat siirtyvät asianmukaisesti lohkojen välillä.

Pystytolppien ja vaakasuuntaisten puusauvojen välisillä kosketusalueilla tarkistetaan syysuuntaa vastaan kohtisuora puristuskestävyys.

Levyn liitinväli saa olla reunoilla enintään 150 mm, kun liittimet ovat nauloja, ja 200 mm, kun liittimet ovat ruuveja. Väli- ja tolppien suurin liitinväli saa olla enintään reunojen liitinväli kaksinkertaisena tai 300 mm, sen mukaan, kumpi on pienempi (ks. kuva 7.5).



- (1) Suurin liitinväli väli- ja tolppien välillä enintään  $2 \times$  (liitinväli reunalla) kuitenkin enintään 300 mm
- (2) Levyn reuna
- (3) Naulaväli enintään 150 mm tai ruuviväli enintään 200 mm

Kuva 7.5 – Jäykistävän levyn suurimmat sallittavat liitinvälit.

## 8 Palomitoitus

### 8.1 Suunnitteluperusteet

Nämä yksinkertaistetut palomitoitusohjeet koskevat pelkästään tavanomaisten puurakenteiden kantavuudelle asetettujen palonkestovaatimusten osoittamista (vaatimus R). Osastoivuutta, palosuojauksia tai osittain palosuojattujen rakenteiden tai liitosten palomitoitusta ei käsitellä. Niitä koskevat ohjeet on esitetty RIL 205-2-2019:ssä. Tämä luku koskee puurakenteiden palomitoitusta standardoidun lämpötila-aikakäyrän mukaisessa palorasituksessa. Muita palorasituksia koskevia mitoitushjeita esitetään standardissa SFS-EN 1995-1-2.

Tulipalo käsitellään onnettomuustilanteena käyttäen palon aikaisille kuormille kaavan (2.5) mukaista kuormitusyhdistelyä.

Materiaalien lujuusominaisuuksien mitoitussarvo saadaan kaavalla

$$f_{d,fi} = k_{fi} \cdot f_k \quad (8.1)$$

missä

$f_{d,fi}$  lujuuden mitoitussarvo palotilanteessa  
 $f_k$  lujuuden ominaisarvo normaalilämpötilassa (taulukot 3.3 - 3.5)  
 $k_{fi}$  esitetään taulukossa 8.1

Materiaali	$k_{fi}$
Sahatavara	1,25
Liimapuu, puulevyt	1,15
LVL (Kertopuu)	1,1

**Taulukko 8.1** - Kertoimen  $k_{fi}$  arvot.

Rakenteen on täytettävä seuraava ehto vaaditun palonkestoajan  $t$ :

$$E_{d,fi} \leq R_{d,t,fi} \quad (8.2)$$

missä

$E_{d,fi}$  palotilanteen kuormien aiheuttama rasitus (ks. kaava 2.5)  
 $R_{d,t,fi}$  vastaava kestävyysmitoitussarvo palotilanteessa

Kun palonkestovaatimukset on esitetty käyttäen luokkia, jotka on esitetty Ympäristöministeriön asetuksessa rakennusten paloturvallisuudesta (standardoitu lämpötila-aikakäyrä), rakennosatarkastelu on riittävä palonkestävyyden osoittamiseen.

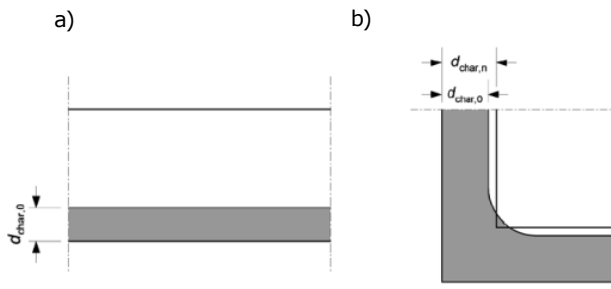
Vaatimustenmukaisuus osoitetaan laskennallisesti, kokeellisesti tai yhdistämällä koe- ja laskennalliset tulokset. Kokeellisia tuloksia voidaan käyttää esimerkiksi, jos ei ole olemassa riittäviä laskentamenetelmiä, kyseessä on suuri määrä samanlaisia komponentteja tai varmistetaan mitoituksessa tehtyjä laskentaolettamuksia. Käytettäessä koetuloksia laskennallisen mitoituksen apuna on mitoitusta tehtävä siten, että sama varmuustaso säilyy kuin pelkällä laskennallisella osoittamisella (koetulosten vähäinen määrä huomioitava).

### 8.2 Hiiltymissyvyys

Kaikkien niiden puu- ja puulevyntöjen hiiltymisen on huomioitava, jotka joutuvat joko suoraan palorasitukselle alttiiksi tai jotka alkavat hiiltyä palorasituksen aikana niiden suojauksen petettyä.

Hiiltymissyvyys ( $d_{char,0}$  tai  $d_{char,n}$ ) lasketaan palorasituksen keston ja kyseisen hiiltymisnopeuden avulla, ks. kuva 8.1. Hiiltymisrajan sijaintina pidetään 300 asteen isotermiä. Hiiltymisnopeudet ovat erilaiset seuraavissa tapauksissa:

- pinnoilla, jotka ovat palolle alttiina koko palorasituksen ajan (suojaamattomat pinnat)
- suojatuilla pinnoilla, jotka alkavat hiiltyä lämmön vaikutuksesta ennen suojauksen putoamista
- suojatuilla pinnoilla, suojauksen putoamisen jälkeen



**Kuva 8.1** - a) Tasomaisen rakenteen yksidimensionaalinen hiiltymisen (palorasitus vain rakenteen toisella puolella). b) Hiiltymissyvyys  $d_{char,0}$ , kun hiiltymisen on yksidimensionaalista, ja nimellinen hiiltymissyvyys  $d_{char,n}$ .

Tässä lyhennetyssä ohjeessa käsitellään vain suojaamattoman pinnan hiiltymistä (seinien sekä väli- ja yläpohjien mitoitus RIL 205-2-2019:n mukaan). Suojaamattoman pinnan hiiltymisnopeus oletetaan ajasta riippumattomaksi vakioarvoksi.

Mikäli rakenne on tasomainen (esim. massiivinen puulaatta tai -seinä), käytetään yksidimensionaalista hiiltymisnopeutta hiiltymissyvyyden laskemiseen (ks. kuva 8.1a). Yksidimensionaalisen hiiltymissyvyyden mitoitusarvo

$$d_{char,0} = \beta_0 t \tag{8.3}$$

missä  
 $\beta_0$  yksidimensionaalisen hiiltymisnopeuden mitoitusarvo  
 $t$  palorasituksen kesto

Mikäli rakenne on suorakaidepoikkileikkaus, joka on palolle alttiina useammalta sivulta (esim. palkit ja pilarit), käytetään hiiltymissyvyyden laskemiseen nimellistä hiiltymisnopeutta, joka sisältää sekä kulmapyörityksen että halkeamisen vaikutuksen (ks. kuva 8.1b). Nimellisen hiiltymissyvyyden mitoitusarvo

$$d_{char,n} = \beta_n t \tag{8.4}$$

missä  
 $\beta_n$  on nimellisen hiiltymisnopeuden mitoitusarvo, jonka suuruuteen sisältyy kulmapyöritysten ja halkeamien vaikutus  
 $t$  on palorasituksen kesto

Palonkestoluokka	$b_{min}$ [mm]
R15	80
R30	119
R60	158
R90	197
R120	236

**Taulukko 8.2** - Suorakaidepoikkileikkauksen leveyden vähimmäisarvot  $b_{min}$  eri paloluokissa käytettäessä yksidimensionaalista hiiltymisnopeutta  $d_{char,0}$ .

Mikäli suorakaidepoikkileikkauksen alkuperäinen leveys  $b_{min}$  täyttää taulukon 8.2 vaatimukset eri palonkestoluokissa, voidaan mitoituksessa käyttää yksidimensionaalisen hiiltymisnopeuden mitoitusarvoa, jos kulmapyöritykset otetaan erikseen huomioon. Kulmapyörityksen säteenä käytetään hiiltymissyvyyden mitoitusarvoa  $d_{char,0}$ . Mikäli poikkileikkaus on pyöreä, käytetään hiiltymissyvyyden laskemiseen nimellistä hiiltymisnopeutta.

Hiiltymisnopeudet  $\beta_0$  ja  $\beta_n$  saadaan taulukosta 8.3. Kun puulevyn tai laudoituksen ominaistiheys  $\rho_k$  poikkeaa arvosta  $450 \text{ kg/m}^3$  tai jos puulevyn tai laudoituksen paksuus  $h_p$  on alle 20 mm, hiiltymisnopeus lasketaan kaavasta

$$\beta_{0,p,t} = \beta_0 k_p k_h \tag{8.5}$$

missä

$$k_p = \sqrt{\frac{450}{\rho_k}} \tag{8.6}$$

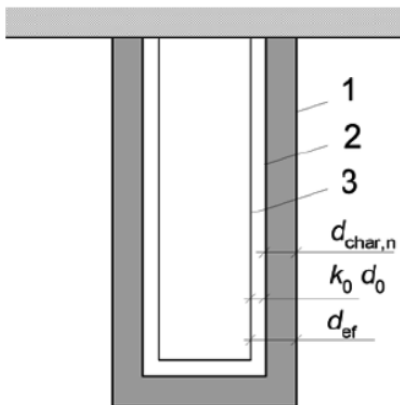
$$k_h = \sqrt{\frac{20}{h_p}} \tag{8.7}$$

$\rho_k$  puulevyn tai laudoituksen ominaistiheys [ $\text{kg/m}^3$ ]  
 $h_p$  levyn tai laudoituksen paksuus ohuimmalta kohdaltaan [mm]

**Huomio** -  $k_p$  voi suurentaa tai pienentää hiiltymisnopeutta, mutta  $k_h$  voi vain suurentaa sitä.

	$\beta_0$ mm/min	$\beta_n$ mm/min
<b>a) Havupuu</b>		
Liimapuu, jonka ominaistiheys $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
Sahatavara, jonka ominaistiheys $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,8
<b>b) Lehtipuu</b>		
Sahatavara tai liimapuu, jonka ominaistiheys $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
Sahatavara tai liimapuu, jonka ominaistiheys $\geq 450 \text{ kg/m}^3$	0,50	0,55
<b>c) LVL</b>		
Kerto-S / Kerto-Q, jonka ominaistiheys $\geq 480 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
Kerto-T / Kerto-L, jonka ominaistiheys on $\geq 410 \text{ kg/m}^3$	0,7	0,75
<b>d) Levyt ja laudoitukset<sup>1)</sup></b>		
Laudoitukset (lauta- ja paneeliverhoukset)	0,9	-
Vaneri	1,0	-
Lastulevy, OSB-levy, kovalevy, MDF-levy	0,9	-

**Taulukko 8.3** – Sahatavaran, liimapuun, LVL:n, laudoituksen ja puulevyjen hiiltymisnopeuden mitoitusrvot  $\beta_0$  ja  $\beta_n$ .



**Kuva 8.2** - Jäännöspoikkileikkauksen ja tehollisen poikkileikkauksen määrittely.

- 1 Alkuperäinen poikkileikkaus
- 2 Jäännöspoikkileikkaus (hiiltymäraja)
- 3 Tehollinen poikkileikkaus

### 8.3 Palonkestävyyden mitoitus

Ellei tässä luvussa ole annettu erityisohjeita rakenteiden palonkestävyyden suunnitteluun, pätevät normaalilämpötilaa varten annetut lukujen 1-7 ohjeet siten, että kuormat ja yhdistelykertoimet, osavarmuusluvut ja materiaaliominaisuudet poikkileikkaussuureet sekä kertoimet, jotka kuvaavat rakennesysteemiä, korvataan palotilannetta vastaavilla arvoilla lukujen 8.1-8.3 mukaisesti.

#### Suojaamattomat palkit ja pilarit

Palkkien ja pilarien mitoituksessa käytetään ns. tehollista poikkileikkausta, joka saadaan vähentämällä alkuperäisestä poikkileikkauksesta tehollisen hiiltymissyvyyden  $d_{ef}$  verran kaikilta niiltä sivuilta, jotka ovat palolle alttiina (ks. kuvaa 8.2). Mitoitusmenetelmä pätee kaikille kantavuuden palonkestoluokille, mitoitusaikaa ei ole rajoitettu. Tehollinen hiiltymäsyvyys

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0 \tag{8.8}$$

missä

$d_{char,n}$  määritetään kaavan (8.4) tai (8.3) mukaan  $d_0$  7 mm

$$k_0 = \min\left\{\frac{t}{20}; 1\right\}$$

kun  $t$  on tarkasteltava palo-aika minuutteina

Hiilikerroksessa sekä lähellä hiiltymärajaa olevassa puukerroksessa, jonka paksuus on  $k_0 \cdot d_0$ , lujuus- ja jäykkyysoinaisuuksien oletetaan olevan nolla. Muulle poikkileikkaukselle käytetään normaalilämpötilan lujuus ja jäykkyyssarvoja.

Suorakaidepoikkileikkauksen tehollinen poikkipinta-ala

kun palo on neljällä sivulla

$$A_{ef} = (h - 2d_{ef})(b - 2d_{ef})$$

kun palo on kolmella sivulla

$$A_{ef} = (h - d_{ef})(b - 2d_{ef})$$

Mikäli  $d_{ef}$ :n laskennassa käytetään kaavaa (8.3), kulmapyöristykset on huomioitava poikkileikkauksisarvoissa.

### Erityisohjeita

Puristusta syitä vastaan kohtisuoraan ei tarvitse ottaa huomioon.

Leikkausta ei tarvitse pyöreällä eikä suorakaidepoikkileikkauksella ottaa huomioon. Lovettujen palkkien tapauksessa tarkistetaan, että jäännöspoikkileikkaus loven lähellä on vähintään 60 % normaalilämpötilamitoituksessa vaadittavasta poikkileikkauksesta.

Jos palkin kiepahdustuet tai pilarin nurjahdustuet menettävät kapasiteettinsa palon aikana, on palkin kiepahdustarkastelu tai pilarin nurjahdustarkastelu palotilanteessa tehtävä ottamatta tukia huomioon.

Jos puristetut tai taivutetut rakennusosat on mitoitettu myös jäykistäviksi rakenteiksi, on tarkistettava, että jäykistys säilyy myös vaaditun palonkestoajan. Jäykistykseen oletetaan säilyvän, jos puisten rakenneosien jäännöspoikkileikkauksen pinta-ala tai puulevyjen jäännöspaksuus on 60 % vaaditusta normaalilämpötilan poikkileikkauksesta tai paksuudesta ja liitokset on tehty nauloin, ruuvein, tappivaaroin tai pultein.

Kantavat rakenteet, joilla ei ole osastointivaatimusta, tulee suunnitella molemmilta puolilta samanaikaisesti vaikuttavalle palorasitukselle. Kantavat ja osastoivat rakenteet mitoitetaan palorasitukselle, joka vaikuttaa samanaikaisesti ainoastaan rakenteen toisella puolella. Välipohjat mitoitetaan alapuolista paloa vastaan.

### 8.4 Liitokset

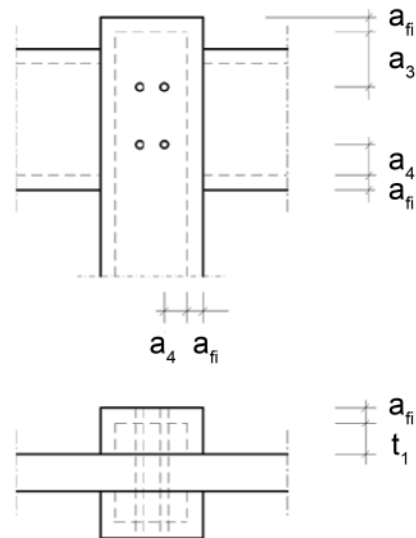
Tämä luku koskee suojaamattomia leikkauskuormitettuja, symmetrisiä, kolmesta osasta koostuvia liitoksia, jotka ovat alttiina korkeintaan 30 min pituiselle standardipalorasitukselle ja jotka on koottu nauloilla, ruuveilla tai pulteilla. Teräsosat ovat hiiliterästä. Ruostumattomasta teräksestä valmistettujen liitosten palomitoitusohjeita on esitetty VTT:n julkaisussa nro VTT Working papers 38 (2005).

Normaalilämpötilassa mitoitettujen puu-puu-liitosten palonkesto-aika on 15 minuuttia, kun liitinpaksuudet, liitinvälit, reuna- ja päätyetäisyydet sekä puukappaleiden paksuudet täyttävät luvun 6 minimivaatimukset ja taulukossa 8.4 esitetyt lisävaatimukset.

Liittimet	Palonkesto-aika $t_{d,fi}$	Edellytys <sup>*)</sup>
Naulat	15 min	$d \geq 2,8 \text{ mm}$
Ruuvit	15 min	$d \geq 3,5 \text{ mm}$
Pultit	15 min	$t_1 \geq 45 \text{ mm}$

<sup>\*)</sup>  $d$  on liittimen paksuus tai halkaisija, ja  $t_1$  on ulkopuun paksuus

**Taulukko 8.4** - Suojaamattomien normaalilämpötilassa mitoitettujen puu-puu-liitosten palonkesto-aika.



**Kuva 8.3** - Liitoskappaleiden mittojen sekä pääty- ja reunaetäisyyksien kasvattaminen.

## Naulatut ja ruuvatut puu-puu -liitokset

Naula- ja ruuviliitosten palonkestoaikaa  $t_{d,fi}$  voidaan kasvattaa enintään 30 minuuttiin suurentamalla liitosten palolle alttiiden puuosien paksuutta ja leveyttä sekä liittimien reuna- ja päätyetäisyyksiä mitalla  $a_{fi}$ , kuvan 8.3 mukaisesti. Palonkestoajan lisäyksen edellytyksenä kuitenkin on, ettei liittimissä ole ulkonevia kantoja. Mitta  $a_{fi}$  lasketaan seuraavasta kaavasta:

$$a_{fi} = \beta_n k_{flux} (t_{req} - 15) \quad (8.9)$$

missä

$\beta_n$  on taulukon 8.3 mukainen hiiltymisnopeus

$k_{flux}$  on 1,5 (otetaan huomioon liittimen kautta lisääntyvä lämpövuuo)

$t_{req}$  on vaadittu palonkesto aika minuutteina (15 - 30 min)

## Pulttiliitokset

Mikäli kaksileikkeisen pulttiliitoksen keskiosa on teräslevyä tai jos puu-puu -liitoksen palonkesto vaatimus on yli 15 min, pulttiliitoksen palonkestävyyden mitoitusarvo voidaan laskea kaavalla

$$t_{d,fi} = -\frac{1}{k} \cdot \ln \left( \frac{\eta_{fi} \eta_0 k_{mod} \gamma_{M,fi}}{\gamma_M \cdot k_{fi}} \right) \leq 30 \quad [\text{min}] \quad (8.10)$$

missä

$\eta_{fi} E_{d,fi} / E_d$  on mitoituskuorman pienennyskerroin palotilanteessa ( $E_{d,fi}$  ks. kohta 8.1 ja kaava 2.5,  $E_d$  ks. kaavat 2.2, 2.3 ja 2.4)

$\eta_0$  on normaalilämpötilamitoituksen käyttöaste

$k_{mod}$  on taulukon 3.1 mukainen muunnoskerroin

$\gamma_M$  on taulukon 2.7 mukainen liitoksen osavarmuusluku

$\gamma_{M,fi}$  1,0 on puun osavarmuusluku palotilanteessa

$k_{fi}$  on taulukossa 8.1 liitospuille esitetty kerroin,

$k$  on 0,065 puu-puu -liitoksessa

$k$  on 0,085 teräslevyllisessä liitoksessa

Kaavan (8.10) käyttö edellyttää, että

- pultin paksuus on  $d \geq 12$  mm
- liitoksen ulkopuiden paksuus  $t_1 \geq \max [50 ; 50+1,25(d-12)]$  [mm]
- teräslevyn paksuus on vähintään 2 mm ja leveys on vähintään 200 mm, jos teräslevyn kaikki reunat ovat palolle alttiita tai vähintään 120 mm, jos enintään kahden sivun reunat ovat suojaamattomia

# LIITTEET

## Kaavioita rakenneosien mitoituksen kulusta

- L.1 Seinätolpan mitoitus**
- L.2 Palkin mitoitus**
- L.3 Naulaliitoksen mitoitus**



## L.1 Seinätolpan mitoitus

# Seinätolpan mitoitus

Tuettu heikommassa suunnassa levytyksellä



### **MRT:n kuormat**, kohta 2.2

- Hetkellinen aikaluokka (tuulen aiheuttama taivutus, kaava (2.11)), kaava (2.4)
- Keskipitkä aikaluokka (lumi määräävä / hyötykuorma määräävä), kaava (2.3)
- Pysyvä aikaluokka (ei yleensä mitoita), kaava (2.2)



### **Alajuoksun kiskopainemitoitus**

- Tukipainekerroin  $k_{c,90}$  kaava (5.2a)
- Mitoitusehto (5.2) alajuoksun puristuslujuudella  $f_{c,90,d}$



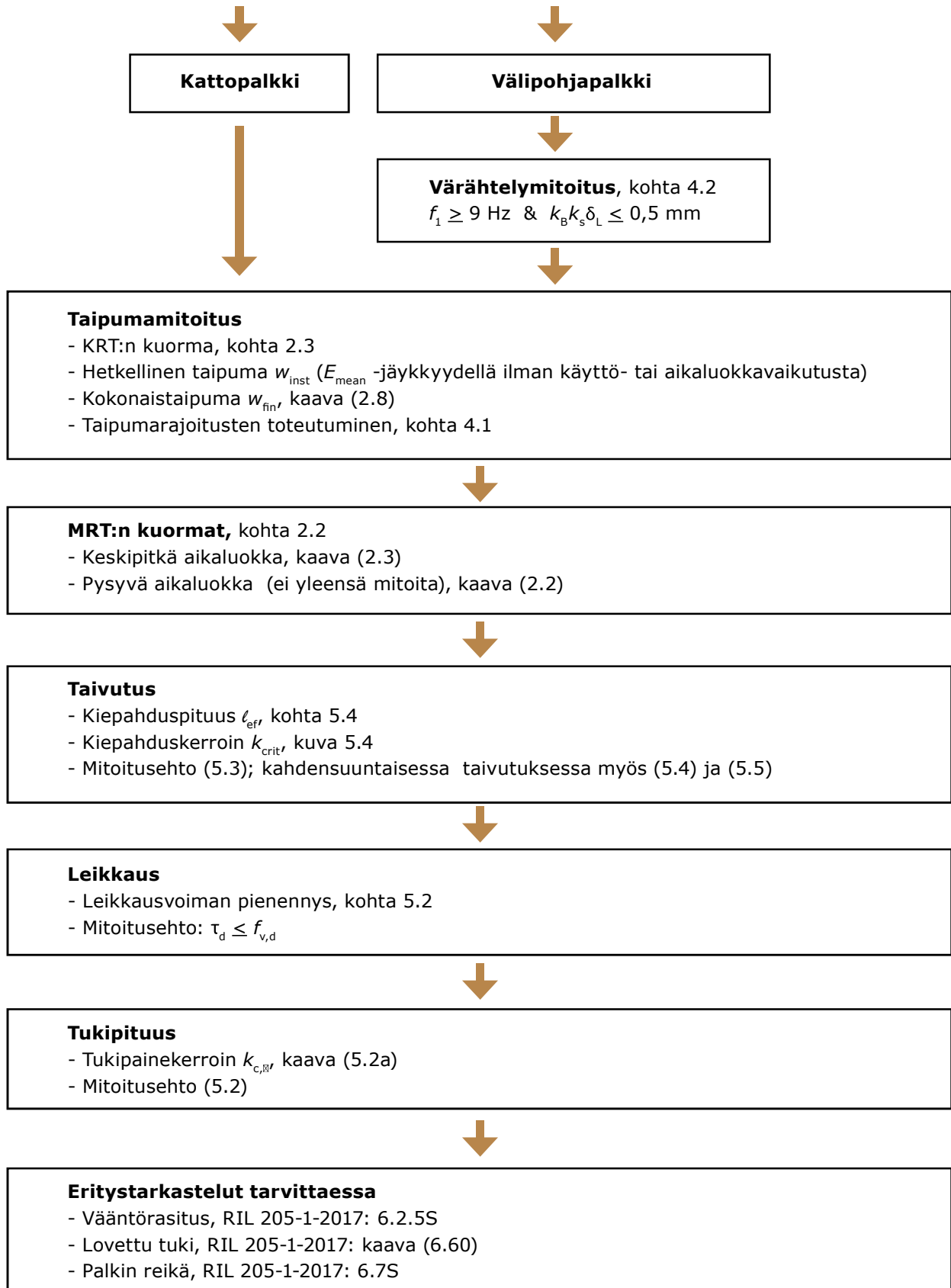
### **Nurjahdus vahvempaan suuntaan**

- Nurjahduspituus  $L_c = L$ , taulukko 5.1
- Hoikkuusluku  $\lambda_y$ , kaava (5.9)
- Nurjahduskerroin  $k_{c,y}$ , kuva 5.5
- Mitoitusehto (5.7) tarkistetaan aikaluokittain

## L.2 Palkin mitoitus

# Palkin mitoitus

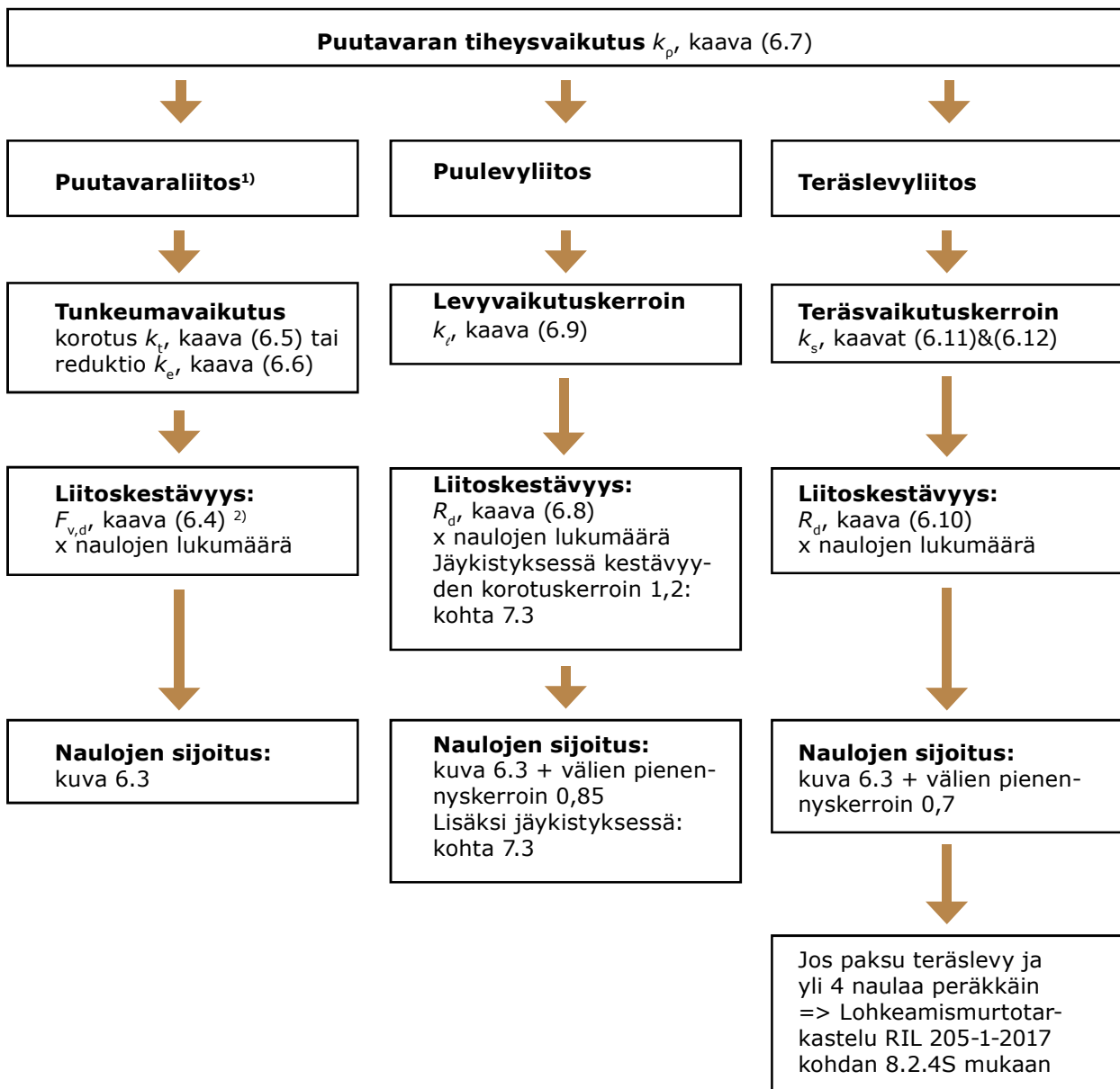
Suora palkki, ei normaalivoimaa



## L.3 Naulaliitoksen mitoitus

# Naulaliitoksen mitoitus

Leikkauskuormitettu liitos



<sup>1)</sup> Yleisimpien naulaliitosten mitoituskestävyys saadaan myös suoraan taulukosta 6.1.

<sup>2)</sup> Puutavaraliitoksissa leikkeiden lukumäärä  $m$  voi olla 1 tai 2. Lyhennetty suunnitteluohje ei käsittele 2-leikkeisiä naulattuja puulevy- tai teräslevyliitoksia.



# Puurakenteiden lyhennetty suunnitteluohje

## Viides painos

### Eurokoodi 5

Lähde: RIL 205-1-2017 ja RIL 205-2-2019

Puurakenteiden lyhennetty suunnitteluohje on lyhennelmä Suomen Rakennusinsinöörien Liiton julkaisemista teoksista RIL 205-1-2017 ja RIL 205-2-2019. Lyhennetyn suunnitteluohjeen tavoitteena on helpottaa Eurokoodi 5:n mukaista rakennesuunnittelua ja toimia opetusmateriaalina oppilaitoksille.

Ohje on pyritty laatimaan sen tasoiseksi, että sen avulla voi selvittää vähäisistä ja tavanomaisista rakennesuunnittelutehtävistä.

