

Uuden Eurokoodi 5:n yleisesittely

Siltaeurokoodien koulutus - Teräs-, liitto- ja puusillat 29-30.3.2009

Markku Kortesmaa

Eurokoodi 5, Puurakenteet

- **EN 1995-1-1:** Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt
 - NA vahvistettu, saatavissa YM:n ja Eurokoodi Help deskin sivuilta
 - Standardin käännös SFS-EN 1995-1-1+AC (115 €; eng.kiel. 94 €)
- **EN 1995-1-2:** Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-2: Yleistä. Rakenteiden palomitoitus
 - NA vahvistettu, saatavissa YM:n ja Eurokoodi Help deskin sivuilta
 - Standardin käännös SFS-EN 1995-1-2+AC (94 €; eng.kiel. 81 €)
- **EN 1995-2:** Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu. Osa 2: Sillat
 - NA tehty, Tiehallinto laati, valmis 21.12.2009
 - Ei käännetty, käyttöön 2010 (eng. kiel. 55 €)
 - Voimaan 1.4.2010

EN-Eurokoodien mukainen puurakenteiden suunnittelu Suomessa 1.11.2007 lähtien

- EN 1990, EN 1991 + kansalliset liitteet (=> **RIL 201-2008**, RIL 205-1-2008)
- **EN 1995 1-1 ja 1-2** + kansalliset liitteet (=> **RIL 205-1-2009, RIL 205-2-2009**)
- Harmonisoitujen **tuotestandardien mukaiset tuotteet** => ominaisuudet määritetty eurooppalaisten materiaali/testausstandardien mukaan ja laadunvalvonta tuotestandardin mukaista. Ei CE-merkintä velvollisuutta. Voidaan osoittaa ilmoitetun laitoksen todistuksella.
 - sahatavara, liimapuu, LVL, painekyllästetty puu, pylvää
 - vaneri, lastulevy, OSB, kovalevy, MDF-levy
 - naulat, ruuvit, pultit, tappivaarnat sekä naulaus-, naula- ja vaarnalevyt
 - naulalevyristikot
- ETA-hyväksytyt tuotteet: esim. **muotolevykiinnikkeet, I-palkkeja, puutaloja...**
- Suomalainen tyyppihyväksyntä EN-Eurokoodien mukaiseen mitoituskeeseen tuotteille, joille ei ole tuotestandardia eikä ETAGia, kuten **tuulijäkisteenä käytettävät rakennuslevyt ja puu-betoniliittolaatat.**

3

Puurakenteiden toteuttaminen

- **Puurakenteiden toteuttamiseen ei ole erillistä standardia!**
 - EN 1995-1-1:n luvussa 10 esitetään suppeat yleisvaatimukset työmaalle.
 - Tuotteiden hyväksyttäminen ja laadunvalvonta tuotestandardin tai ETA:n mukaan. Ilmoitettu laitos toteaa (VTT tai Inspecta Sertifiointi).
- => Eurokoodimitoitus ja CE-merkinnän edellyttämät vaatimukset vastaavat tuotteet. Muuten puurakentamisessa ja työmaatoteutuksessa noudatetaan kansallisia ohjeita ja paikallisen rakennusvalvonnan vaatimuksia.**
- Tuotejärjestelmille, kuten hirs- ja puuelementtitaloille, voidaan myöntää ETA-hyväksyntöjä, joihin voi kuulua myös erillisvaatimuksia työmaasennuksen toteutuksen ja laadunvalvontaan
 - Tuotesertifikaatteihin sisältyy usein käyttöehtoja => mahdolliset käyttökohteet, Eurokoodien soveltaminen ja ohjeita/vaatimuksia työmaalle
 - **RIL 240-2006** *Puurakenteiden laadunvarmistus* ("puurakenteiden toteuttamisstandardi" vaativille kohteille, esikuvana ENV 1090-1)

4

EN 1995-1-1

Puurakenteiden suunnittelu - Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt

=> **RIL 205-1-2009**

Kokonaan uusi suunnitteluohje

poikkeaa oleellisesti myös ENV 1995:stä (RIL 205-2003)

SISÄLLYS (RIL 205:ssä samat pääluvut)

1. **YLEISTÄ** (soveltamisala, viitestandardit, määritelmät)

2. SUUNNITTELUPERUSTEET

- Vaatimukset, Murto- ja käyttörajatilat (uusia ohjeita mm. jäykkyyksiin)
- Kuormien aikaluokat, käyttöluokat, materiaalien osavarmuusluvut

3. MATERIAALIOMINAISUUDET

Aika- ja käyttöluokkakertoimet (k_{mod}), virumaluvut (k_{def})

Materiaalien kokovaikutuskertoimet

EN 1995-1-1 ei esitetä materiaaliominaisuuksien arvoja!

5

4. SÄILYVYYS

Viittaukset puunsuojaustandardien vaatimuksiin

Liitinten ja liitososien korroosiosuojaus käyttöluokittain

5. RAKENTEIDEN MALLINTAMISPERUSTEET

Rakenteiden mallintaminen kehäteorilla

Ristikkoteorian soveltaminen yksinkertaisille ristikoille

Toisen kertaluvun teorian soveltaminen tasokehille ja kaarille

6. MURTORAJATILAT

Poikkileikkauksen mitoitus (veto, puristus, taivutus, **leikkaus**, vääntö)

Nurjahdus ja kiepahdus

Poikkileikkauksen mitoitus yhdistetyille jännityksille

Vaihtuvakorkuiset ja kaarevat sauvat

Loveukset

Kuormanjakokerroin (poikittain yhdistetyt rakenteet)

6

7. KÄYTTÖRAJATILAMITOITUS

Liitossiirtymät, taipuman ja värähtelyn rajoittaminen asunnoissa

8. MEKAANISET LIITOKSET

Liitosvoimat, usean liittimen liitokset, monileikkeiset liitokset

Puun syiden suuntaa vasten kohtisuorat liitosvoimat

Liitosalueen halkeaminen syiden suuntaisessa kuormituksessa ($\Rightarrow n_{ef}$)

Puikkoliitokset (ns. laajennettu puikkoliitosteoria):

- Naula-, hakas- ja ruuviliitokset (leikkaus ja tartunta)
- Pulltti- ja tappivaarnaliitokset

Vaarnalevyliitokset (yhdessä vaarnalevystandardin kanssa)

Naulalevyliitokset (yhdessä valmistajan ilmoittamien arvojen kanssa)

9. KOOTUT RAKENNEOSAT, LEVYKENTÄT JA JÄYKISTYS

Liimatut ohutuuma- ja laattapalkit

Ristikot

Seinien ja tasojen levykentät (levyjäykistys puulevyillä)

Pilarien ja palkkien poikittaistuenta (nurjahdus- ja kiepahdus)

Palkiston ja vierekkäisten ristikoiden poikittaisjäykistys 7

10. VALMISTUS JA VALVONTA (vain vaatimukset lyhyesti)

Materiaalit, liimaaminen, mekaanisin liittimin tehtävät liitokset (toleranssit!)

Tehdasvalmistus, kuljetus, asennus, valvonta

Levyjäykistysten miniminaulaus/ruuvaus

Naulalevyristikkojen asennustoleranssit

LIITTEET (Standardissa opastavia, RIL 205:ssä nämä sisällytetty päälukuihin)

A. Liitosten lohkeamismurto (Suomessa velvoittavana)

B. Mekaanisin liittimin kootut palkit

C. Yhdistetyt puristussauvat

D. Kirjallisuus (opastavien viitestandardien luettelo)

Eurokoodi 5:n sovellusohjeet Suomessa

- RIL 205-2007 (marraskuu 2009)
 - Yleinen osa 1-1 (RIL 205-1-2009, 271 s.) ja Palomitoitus osa 1-2 (RIL 205-2-2009, 90 s.)
 - Suomen kansalliset valinnat (NA) sisällytetty
 - materiaalien lujuusarvotaulukot,
 - kuormat ja kuormitusyhdistelyt tavallisiin tapauksiin
 - yksinkertaistuksia, harvoin tarvittavaa jätetty pois
 - diagrammeja ja taulukoituja kestävyksiä
 - lisäohjeita soveltamiseen (“käsikirjatietoa”)
 - täydentäviä ohjeita: reiät, liimatanko- ja ruuviliitokset

- Liitteenä:**
- Homeen ja lahontorjuntaohjeet
 - Vanhojen lujuusluokkien vastaavuudet
 - Suositeltavat puutavaran mitat ja lujuusluokat
 - Mitoituksen kulkukaavioita
 - Paikkakuntokohtaiset lumikuormat
 - Taulukoituja liitosten mitoituskestävyyksiä
 - Palomitoitusesimerkkejä

9

• Eurokoodi 5 - Lyhennetty suunnitteluohje (n. 50 s.)

- www.puuinfo.fi (ilmainen pdf-versio)
- RIL 205-1-2007 liite B
 - B10 tasoinen
 - Suomessa sijaitsevien tavanomaisten puurakennusten, kuten pientalojen suunnitteluun
 - EC5:ttä reippaasti yksinkertaistettu, aina varmalle puolelle

Sisältää varsinaisten mitoitusohjeiden lisäksi:

- puurakenteiden kuormitusyhdistelyn ja tavanom. kuormat
- materiaalien lujuusarvotaulukot
- tyyppilattioiden yksinkertaistetun värähtelytarkastelun
- kiskopaine-, nurjahdus- ja kiepahduskertoimien diagrammit
- taulukoidut naulakestävydet (leikkaus ja tartunta)
- palonkestävyyden hiiltymämitoitusohjeet
- mitoituksen kulkukaavioita

10

- RIL 240-2006 *Puurakenteiden laadunvarmistus* (erit. AA-luokan puurakenteet)
- Naulalevyrakenteiden suunnittelu - Eudokoodi 5 – Sovellusohje 2007, Inspecta Sertifiointi Oy
- RIL 248-2008, Naulalevyrakenteiden jäykistyksen suunnittelu.
- Varauksin käsikirjatietona (mitoituskavaa tarkistettava):
 - RIL 244-2007, *Puurakenteiden jäykistyksen ja halkeilun hallinta*
 - Liimapuu käsikirja, 2003. Puuinfo.
- STEP 1 ja STEP 2 kirjat vanhentuneita (kytketty esistandardiin)

11

KUORMIEN AIKALUOKAT

Aikaluokka	Kuormitukset
Pysyvä	Oma paino Pysyvästi rakenteeseen kiinnitetyt koneet, laitteet ja kevyet väliseinät Maanpaine
Pitkäaikainen	Varastoitu tavara, vesisäiliökuorma
Keskipitkä	Lumi Lattioiden ja parvekkeiden hyötykuorman pintakuormat luokissa A - D Autotallien ja liikennöintialueiden hyötykuormat (luokat F ja G) Kosteuden vaihtelun aiheuttamat kuormitukset
Lyhytaikainen	Portaiden hyötykuormat Hyötykuorman pistekuorma (Q_k) Väliseinien ja kaiteiden vaakakuormat Kunnossapito- tai henkilökuorma katolla (luokka H) Ajoneuvokuormat luokassa E Kuljetusvälinekuormat Asennuskuormat
Hetkellinen	Tuuli Onnettomuuskuorma

12

Taipuman rajoittaminen

- EC5:ssa taipuman ja värähtelyn KRT-rajoitukset ovat suosituksia (ei vaikuta turvallisuuteen tai terveyteen)
- NA:ssa puurakenteiden taipumarajoitukset annetaan **KRT:n ominaisyhdistelmälle**: hetkellinen w_{inst} ja lopputilan kokonaistaipuma.

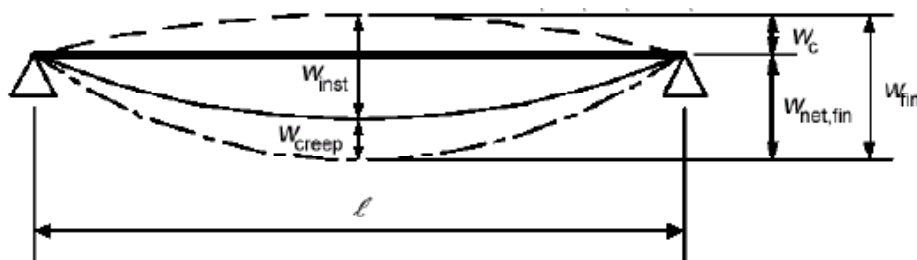
Taipumien ja rakennuksen vaakasiirtymien enimmäisarvot **kun taipumasta on haittaa**. Ulokkeiden taipuma jännevälin suhteen saa olla kaksinkertainen.

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

1) Koskee pelkästään lattioita
 2) Ei koske tukipisteiden välillä kaarevia tai taitteellisia rakenteita/rakenneosia
 3) Koskee esikorotettuja sekä tukipisteiden välillä kaarevia tai taitteellisia rakenteita

13

Taipuman laskenta



1. Lasketaan hetkelliset taipumat kullekin eri kuormalle: $w_{inst,G}$, $w_{inst,Q1}$, $w_{inst,Q2}$

2. Hetkellinen kokonaistaipuma (ei riipu käyttöluokasta!):

$$w_{inst} = w_{inst,G} + w_{inst,Q1} + \psi_{0,2} w_{inst,Q2} \quad (\text{hyöty, lumi: } \psi_{0,2} = 0,7)$$

3. Lopputilan kokonaistaipuma:

$$w_{fin} = w_{inst,G}(1+k_{def}) + w_{inst,Q1}(1+\psi_{2,1}k_{def}) + w_{inst,Q2}(\psi_{0,2}+\psi_{2,2}k_{def})$$

kl2 =>

$$w_{fin} = \max \begin{cases} 1,8 w_{inst,G} + 1,16 w_{inst,lumi} + 0,94 w_{inst,hyöty} \\ 1,8 w_{inst,G} + 1,24 w_{inst,hyöty} + 0,86 w_{inst,lumi} \end{cases}$$

14

Virumaluku k_{def}

Materiaali	Standardit	Käyttöluokka		
		1	2	3
Sahatavara, Pyöreä puu	EN 14081-1, EN 14544	0,60	0,80	2,00
Liimapuu	EN 14080			
LVL	EN 14374, EN 14279			
Vaneri, Kerto-Q lappeella	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 312-4 ja -5	2,25	3,00	–
	EN 312-6 ja -7	1,50	2,25	–
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	–

15

Lattioiden värähtelymitoitus (kansallinen valinta)

- Sama menetelmä kuin teräsnormikortissa
- Alin ominaistajuus $f_1 \geq 9$ Hz
- Kahteen suuntaan tuetulle laatalle voidaan käyttää tarkempaa ominaistajuuden kaavaa:

$$f_1 = \frac{\pi}{2\ell^2} \sqrt{\frac{(EI)_\ell}{m}} \cdot \sqrt{1 + \left[2 \cdot \left(\frac{\ell}{b}\right)^2 + \left(\frac{\ell}{b}\right)^4 \right] \cdot \frac{(EI)_b}{(EI)_\ell}}$$

- 1 kN:n aiheuttama taipuma $\delta \leq k \cdot 0,5$ mm poikittaisrakenteiden jäykkyys huomioidaan taipumalaskennassa
=> käytännössä edellyttää poikittaisjäykisteitä tai kelluvaa betonikantta
- Yksinkertaistetut ohjeet RIL 205-2007:ssä
- Excel-mitoitusohjelma on Puufon nettisivuille.

16

Materiaalien osavarmuusluvut γ_M

Sahatavara ja pyöreä puutavara yleensä	1,4
Havusahatavara, jonka lujuusluokka \geq C35	1,25
Liimapuu, LVL (Kerto)	1,2
Puulevyt	1,25
Liitokset	*)
Naulalevyliitokset: - tartuntalujuus	1,25
- levyn lujuus (teräs)	1,1
Onnettomuusyhdistelmät	1,0

*) Liitoskestävyyden mitoitusarvon laskennassa käytetään liittyvän puutuotteen osavarmuuslukua γ_M . Mikäli liittimellä yhdistetään kahta tai useampaa puutuotetta, joilla on eri osavarmuusluku, käytetään liitoskestävyydelle näistä suurinta γ_M :n arvoa.

17

Kosteuden ja kuorman keston vaikutuskerroin k_{mod}

$$R_d = k_{mod} \frac{R_k}{\gamma_M}$$

Materiaali	Käyttöluokka	Kuorman aikaluokka				
		Pysyvä	Pitkäaikainen	Keskipitkä	Lyhytaikainen	Hetkelinen
Sahatavara, Pyöreä puutavara, Liimapuu, LVL, Vaneri	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Lastulevy EN 312-4 ¹⁾ ja -5, OSB/2 ¹⁾ , Kova kuitulevy	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
	2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80

18

Lujuus- ja jäykkyysominaisuudet

Lujuusluokka		C14 T0	C18 T1	C24 T2	C30 T3	C35 ¹⁾	C40 ¹⁾
Ominaislujuudet (N/mm ²)							
Taivutus	$f_{m,k}$	14	18	24	30	35	40
Veto	$f_{t,0,k}$	8	11	14	18	21	24
	$f_{t,90,k}$	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6
Puristus	$f_{c,0,k}$	16	18	21	23	25	26
	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,5	2,7	2,8	2,9
Leikkaus ¹⁾	$f_{v,k}$	1,7	2,0	2,5	3,0	3,4	3,8
Jäykkyysominaisuudet (N/mm ²)							
Kimmomoduuli	$E_{0,mean}$	7000	9000	11000	12000	13000	14000
	$E_{0,05}$	4700	6000	7400	8000	8700	9400
	$E_{90,mean}$	230	300	370	400	430	470
Liukumoduuli	G_{mean}	440	560	690	750	810	880
Tiheydet (kg/m ³)							
Ominaisstiheys	ρ_k	290	320	350	380	400	420
Tiheyden keskiarvo	ρ_{mean}	350	380	420	460	480	500

¹⁾ Arvo kerrotaan lämmitetyissä sisätiloissa luvulla 0,67 ellei pinnoitteena ole vähintään 2-kertainen lakkaus puun kuivumishalkeiluvaaran vuoksi Sama koskee myös liimapuuta.

19

Lujuuden kokovaikutukset

- Sahatavaran taivutus ja veto:

- korotuskerroin $h < 150$ mm:
$$k_h = \left(\frac{150}{h} \right)^{0,2} \leq 1,3$$

- Liimapuun taivutus ja veto:

- korotuskerroin $h < 600$ mm:
$$k_h = \left(\frac{600}{h} \right)^{0,1} \leq 1,1$$

- Kertopuun taivutus:

- korotus- ja pienennyskerroin:
$$k_h = \left(\frac{300}{h} \right)^{0,12} \leq 1,2$$

- Kertopuun veto:

- korotus- ja pienennyskerroin:
$$k_\ell = \left(\frac{3000}{\ell} \right)^{0,06} \leq 1,1$$

20

Liittimien ja liitososien korroosiosuojaus

Liitin	Käyttöluokka ¹		
	1	2	3
Naulat ja ruuvit, joiden $d \leq 4$ mm	Ei mitään	Fe/Zn 12c Z275	Fe/Zn 25c Z350
Pultit, tappivaarnat, naulat ja ruuvit, joiden $d > 4$ mm	Ei mitään	Ei mitään	Fe/Zn 25c Z350
Hakaset	Fe/Zn 12c Z275	Fe/Zn 12c Z275	Ruostumaton teräs
Naulalevyt ja teräslevyt, joiden paksuus on enintään 3 mm	Fe/Zn 12c Z275	Fe/Zn 12c Z275	Ruostumaton teräs
Teräslevyt, joiden paksuus on välillä 3 mm...5 mm	Ei mitään	Fe/Zn 12c Z275	Fe/Zn 25c Z350
Teräslevyt, joiden paksuus on yli 5 mm	Ei mitään	Ei mitään	Fe/Zn 25c Z350

¹ Erityisen syövyttäviin olosuhteisiin on syytä harkita paksumpaa kuumasinkitystä tai ruostumatonta terästä, ks. kohdat 4.2(c)-(g).

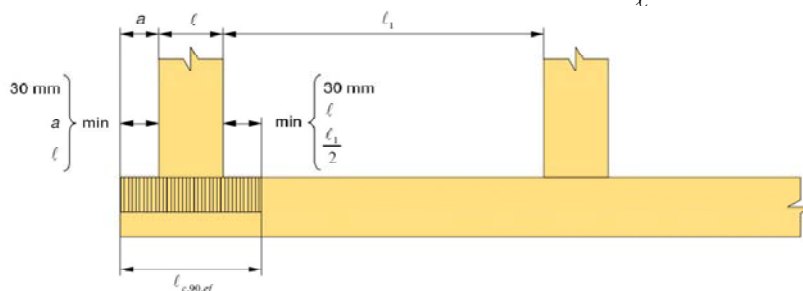
21

Tukipainekorotus (myös päätytuella)

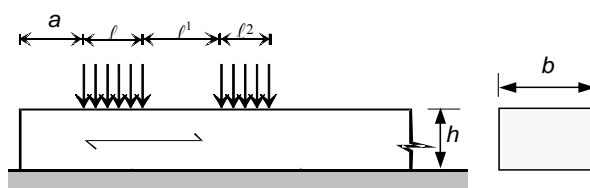
$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,\perp} f_{c,90,d}$$

$$k_{c,\perp} = \frac{\ell_{c,90,ef}}{\ell} k_{c,90}$$

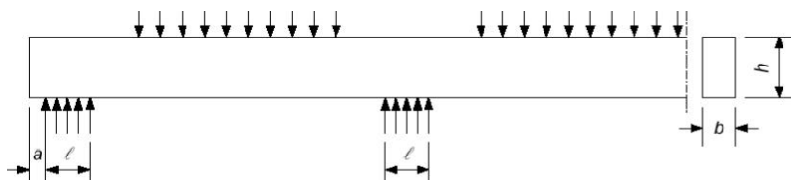
$k_{c,90}=1,25$ havupuiselle sahatavarylle
 $k_{c,90}=1,5$ havupuiselle liimapuulle
 $k_{c,90}=1,3$ Kerto-Q:n syrjäpinnalle
 $k_{c,90}=1,4$ Kerto-LVL:n lapepinnalle



Tehollinen kosketuspinnan pituus

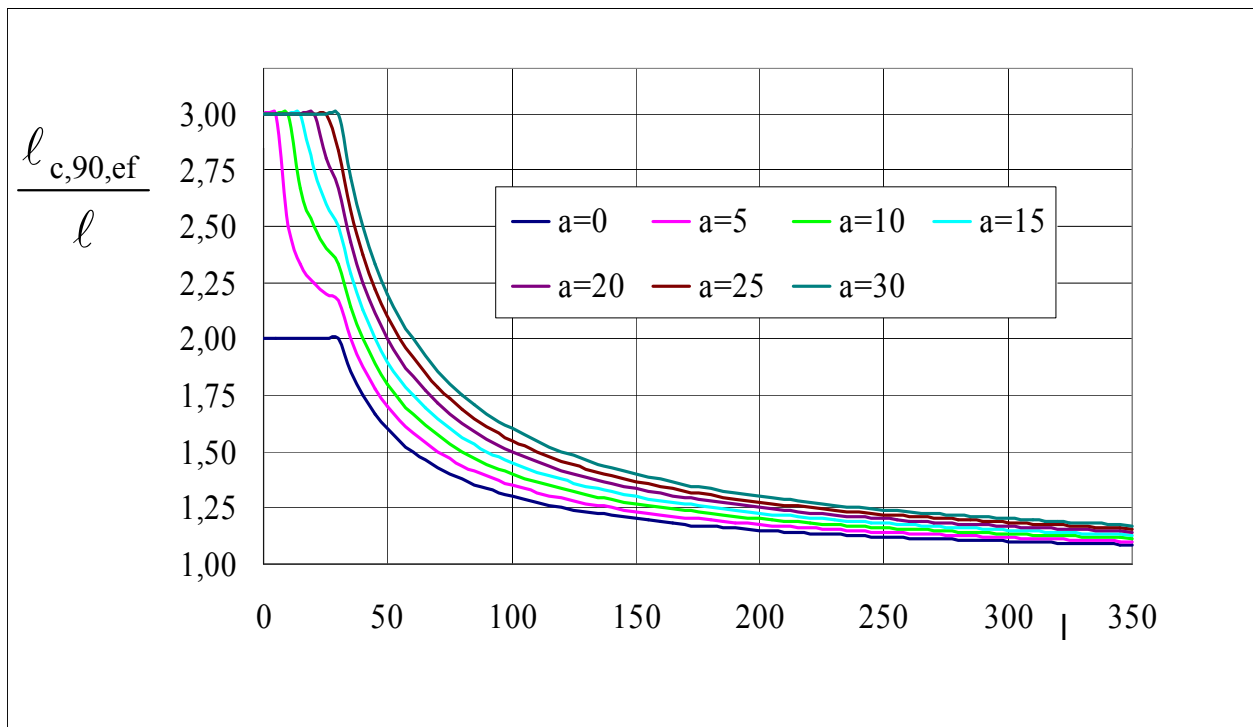


Jatkuvalla tuella



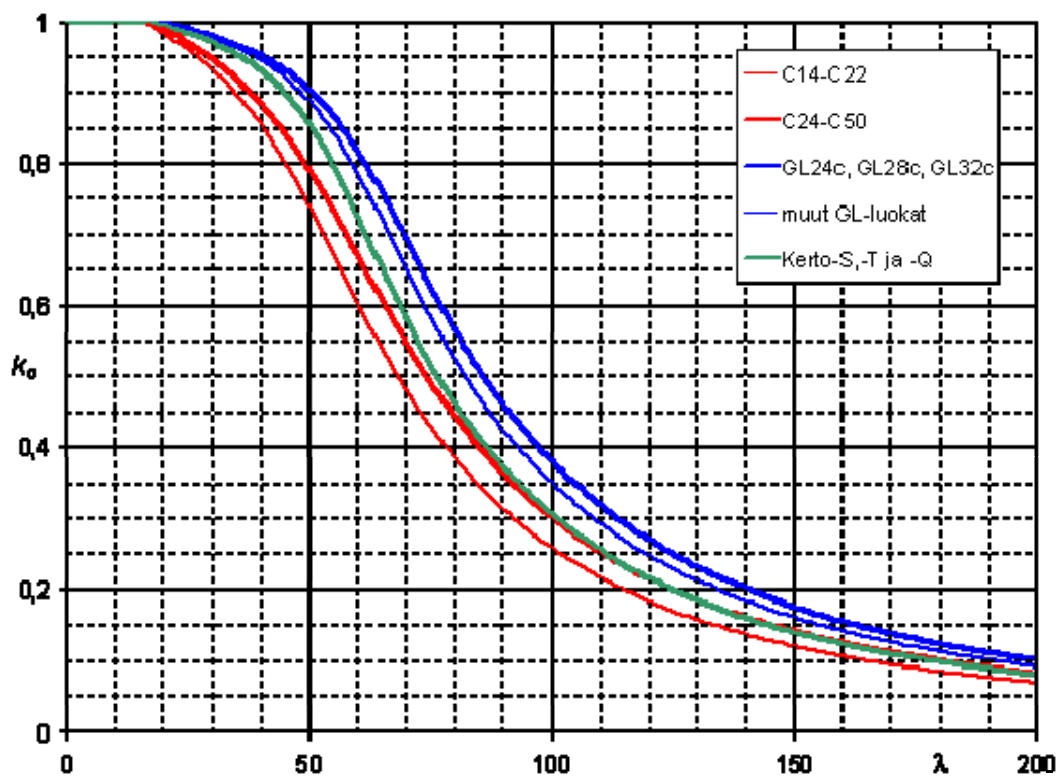
Epätasaisesti jakautunut kuormitus ei vaikuta

22



23

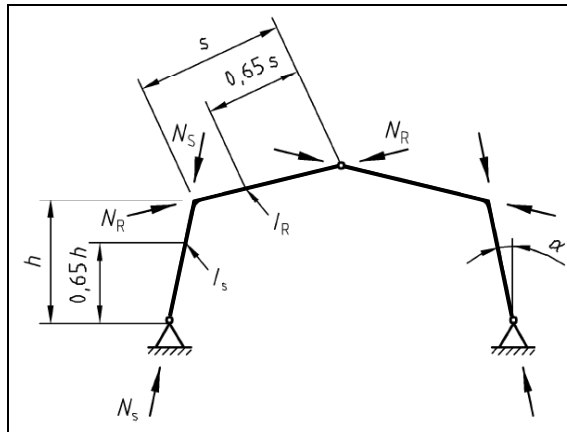
Nurjahduskerroin



24

Nurjahduspituudet

Tuentatapa ¹⁾	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



Kehäjalka ($\alpha \leq 15^\circ$):

$$L_c = h \cdot \sqrt{4 + \frac{\pi^2 \cdot I_s \cdot s}{3 \cdot I_R \cdot h} + \frac{I_s \cdot N_R \cdot s^2}{I_R \cdot N_s \cdot h^2}}$$

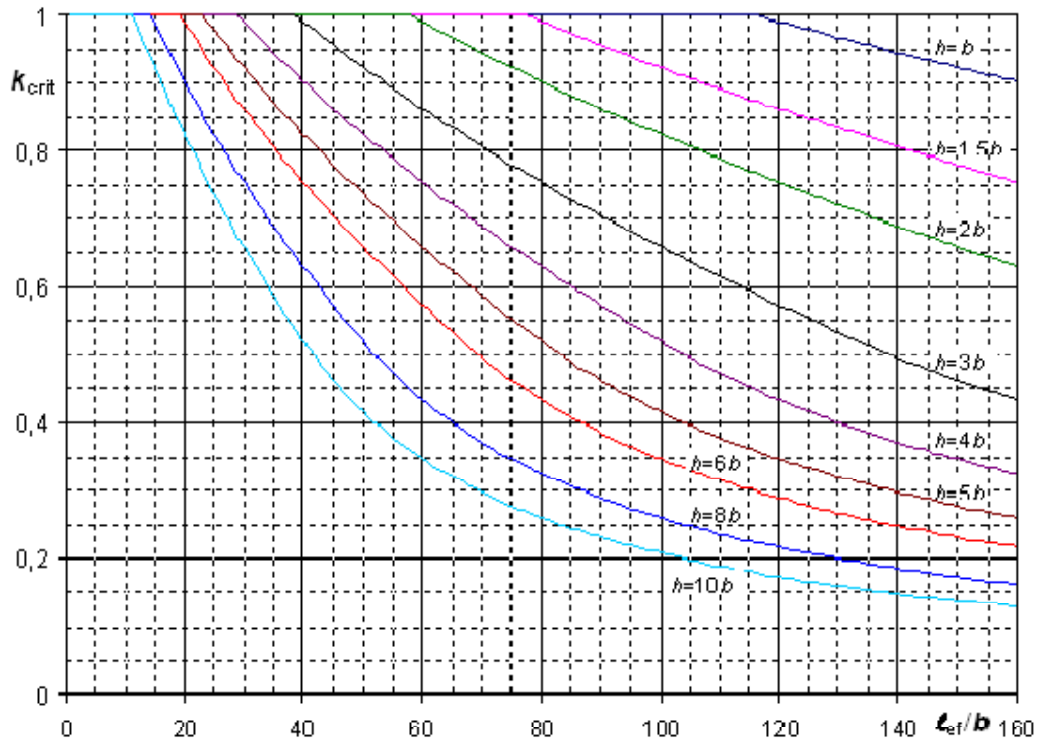
Kehäpalkki ($\alpha \leq 15^\circ$):

$$L_c = s \cdot \sqrt{\frac{I_R \cdot N_s}{I_s \cdot N_R} \cdot \frac{h}{s}}$$

Taulukko kehiä puristussauvojen nurjahduspituuksille

25

Kiepahduskerroin



26

Yhdistettyjen jännitysten mitoitus ehdot

- Taivutus ja veto:

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

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

- Taivutus ja puristus:

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

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

- Nurjahdus ja taivutus:

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

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

- Kiepahdus ja nurjahdus:

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

- muissa jännitysyhdistelmissä ei käytetä kiepahduskerrointa, tarkastetaan vain erikseen:

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d}$$

27

Vaihtuvakorkuiset ja kaarevat palkit

pulpettipalkit, harjapalkit, mahapalkit, kaaret, bumerangipalkit

- Kaavat kaarevuuden ja vinon sahauksen vaikutuksesta taivutuskestävyyteen

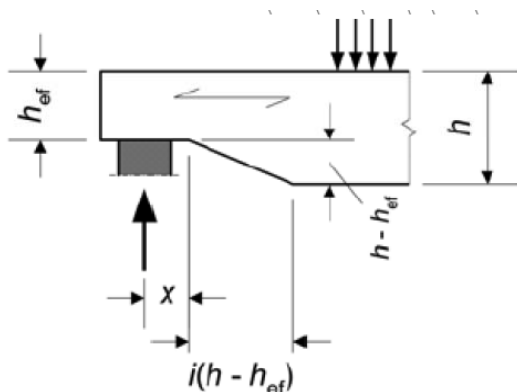
- **Taivutusmomentin aiheuttama poikittainen veto:**

- kaavat harjapalkille, kaarelle ja bumerangipalkille
- poikittaista vetolujuutta pienennetään palkin muoto- ja kokovaikutuskertoimilla
- leikkausjännitys yhdistetään mitoitus ehtoon:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} + \frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} k_{vol} f_{t,90,d}} \leq 1$$

28

Lovettu tuki



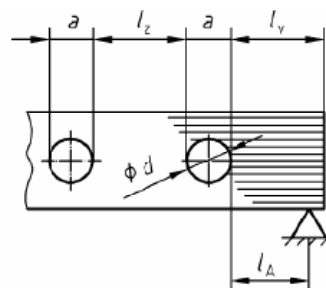
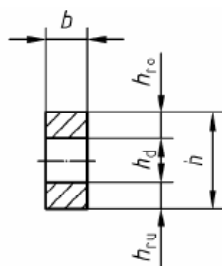
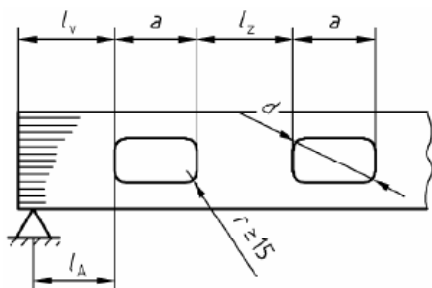
$$\tau_d = \frac{1,5V}{bh_{ef}} \leq k_v f_{v,d}$$

$$k_v = \frac{k_n \cdot \left(1 + \frac{1,1 \cdot j^{1,5}}{\sqrt{h}}\right)}{\sqrt{h} \cdot \left(\sqrt{\alpha \cdot (1 - \alpha)} + 0,8 \cdot \frac{x}{h} \cdot \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2}\right)} \leq 1$$

29

Palkkien reiät

$l_v \geq h$	$l_z \geq 1,5h$, kuitenkin ≥ 300 mm	$l_A \geq h/2$	$h_{ro} \geq 0,35h$ $h_{ru} \geq 0,35h$	$a \leq 0,4h$	$h_d \leq 0,15h$ pyöreillä $\phi d \leq 0,3h^1$
--------------	--	----------------	--	---------------	--



$$\sigma_{t,90,d} = \frac{F_{t,90,d}}{0,5 \cdot b \cdot k_{t,90} \cdot l_{t,90}} \leq f_{t,90,d}$$

$$k_{t,90} = \min \left\{ 1; (450 / h)^{0,5} \right\}$$

$$l_{t,90} = \begin{cases} 0,5 \cdot (h_d + h) & \text{suorakaideaukoille} \\ 0,35 \cdot d + 0,5 \cdot h & \text{pyöreille rei'ille} \end{cases}$$

$$F_{t,90,d} = \frac{V_d \cdot h_d}{4 \cdot h} \cdot \left(3 - \frac{h_d^2}{h^2}\right) + 0,008 \cdot \frac{M_d}{h_r}$$

30

Liitokset

- EN-Eurocode 5:n mukaiseen mitoitukseen hyväksytyt liittimet!
Tuotestandardin vaatimukset täyttäviä (=> CE-merkintä), tekninen hyväksyntä ETA, VTT:n lausunto/sertifikaatti
- Eurocode 5:n tarkennetun puikkoliitosteorian kaavat on yksinkertaistettu RIL 205-1-2009:ään
- RIL 205-1-2009:ssä lisäksi tavanomaisille liitoksille valmiiksi laskettuja taulukoituja liitoskestävyksiä (naulat, ruuvit, pultit)
- Vain testattuja profiloituja nauloja, joilla $f_{ax} > 6 \text{ N/mm}^2$, saa käyttää tartuntakuormitettuna pysyville kuormille (vrt. alakatot)
- Pultti- ja tappivaarnaliitokset mitoitetaan **teholliselle** liitinten lukumäärälle => liitosalueen halkeaminen tai leikkautumien liitinrivien kohdalta
- Vedetyissä sauvanpäälliitoksissa tarkistetaan lisäksi lohkeamismurto
- Mahdolliset liitosmitoituksen lisäohjeet CE-merkinnän viitedokumentissa (esim. Kertopuulla VTT:n sertifikaatissa)

31

EC5:n laajennettu puikkoliitosteoria

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{1 + \beta} \\ \frac{f_{h,2,k} t_2 d}{1 + \beta} \\ \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{1 + \beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta) M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_2 d}{1 + 2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4\beta(1 + 2\beta) M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$

32

RIL 205-1-2009: Puikkoliittimen leikkauskestävyys

- Naulat ja ruuvit

$$k_p = \sqrt{\frac{\rho_k}{350}} \quad k_t = \begin{cases} 1 + 0,3 \cdot (t_1 - 8d) / (8d), & \text{kun } t_1 > 8d \\ 1 + 0,3 \cdot (t_2 - 12d) / (12d), & \text{kun } t_2 > 12d \end{cases}$$

$$R_d = \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M} \cdot k_p \cdot \begin{cases} k_t \cdot R_k \\ k_e \end{cases} \quad k_e = \min \begin{cases} t_1 / (8d) \\ t_2 / (12d) \end{cases} \quad k_t \leq \begin{cases} 1,5 \text{ nelikulmaisille nauloille} \\ 1,1 \text{ pyöreille nauloille} \\ \sqrt{\frac{M_y}{160d^{2,6}}} \text{ muille nauloille} \end{cases}$$

esiporaamattomana $R_k = 120d^{1,7}$ [N]

esiporattuna $R_k = 130d^{1,8}$ [N]

- Pultit, tappivaarnat, kansiruuvit

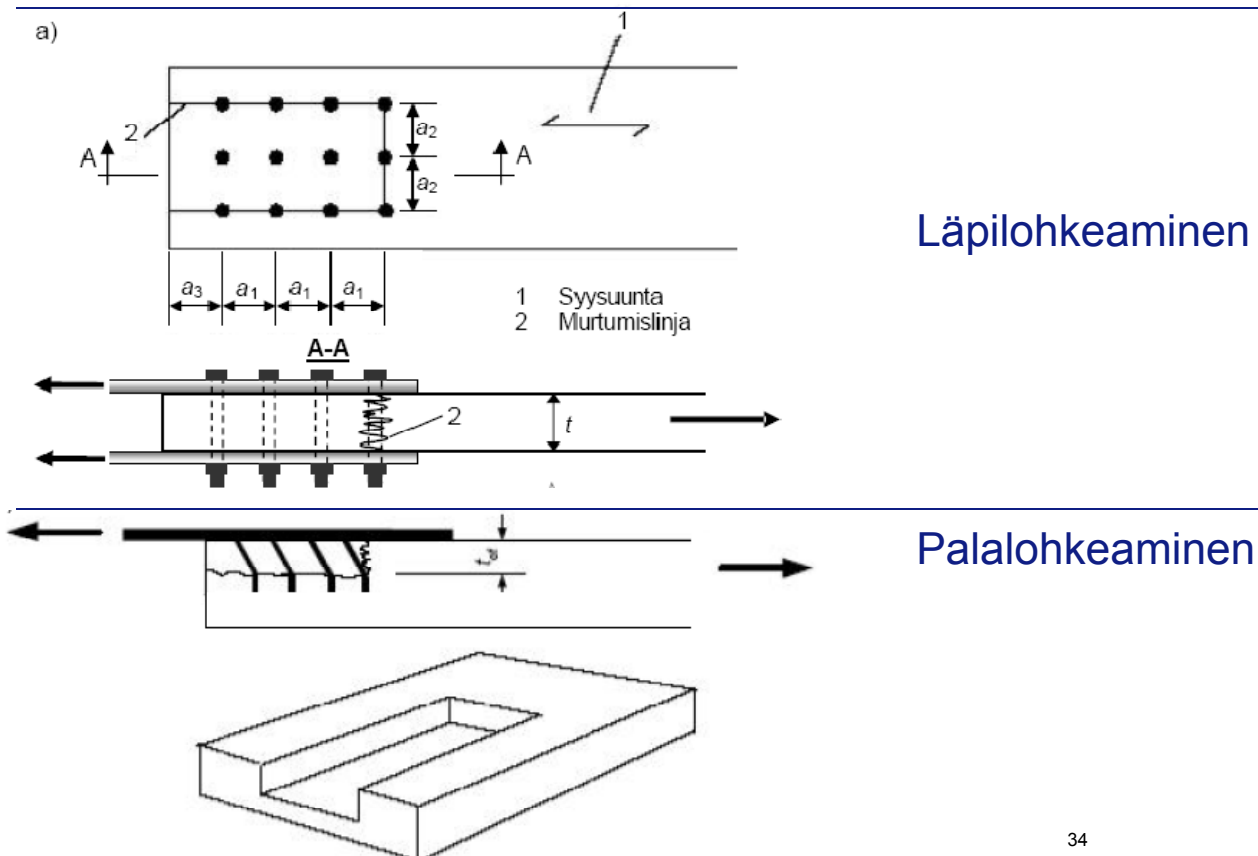
$$R_k = \min \begin{cases} 0,4 \cdot f_h \cdot t_u \cdot d \cdot \sqrt{1 + \frac{3 \cdot M_y}{f_h \cdot d \cdot t_u^2}} \\ 2 \cdot \sqrt{M_y \cdot f_h \cdot d} \end{cases}$$

$$t_u = \min \begin{cases} \frac{t_1 \cdot f_{h,1,k}}{f_h} \\ \frac{t_2 \cdot f_{h,2,k}}{f_h} \end{cases}$$

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

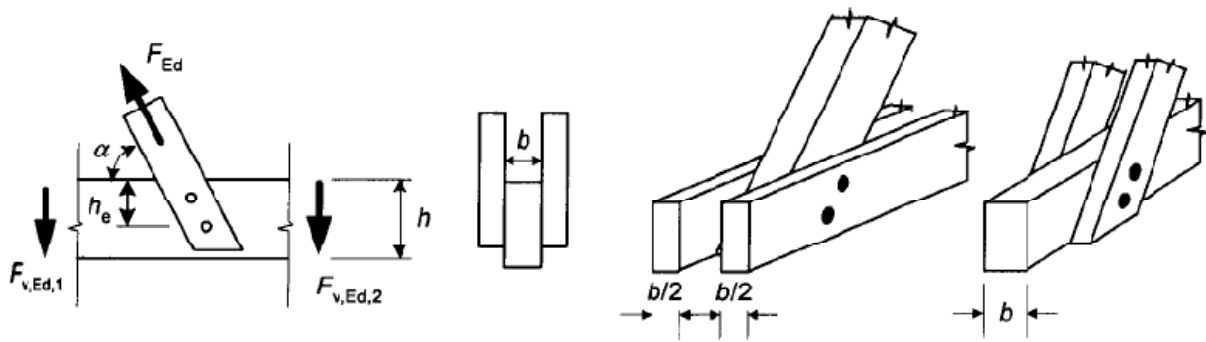
33

Lohkeamismurto



34

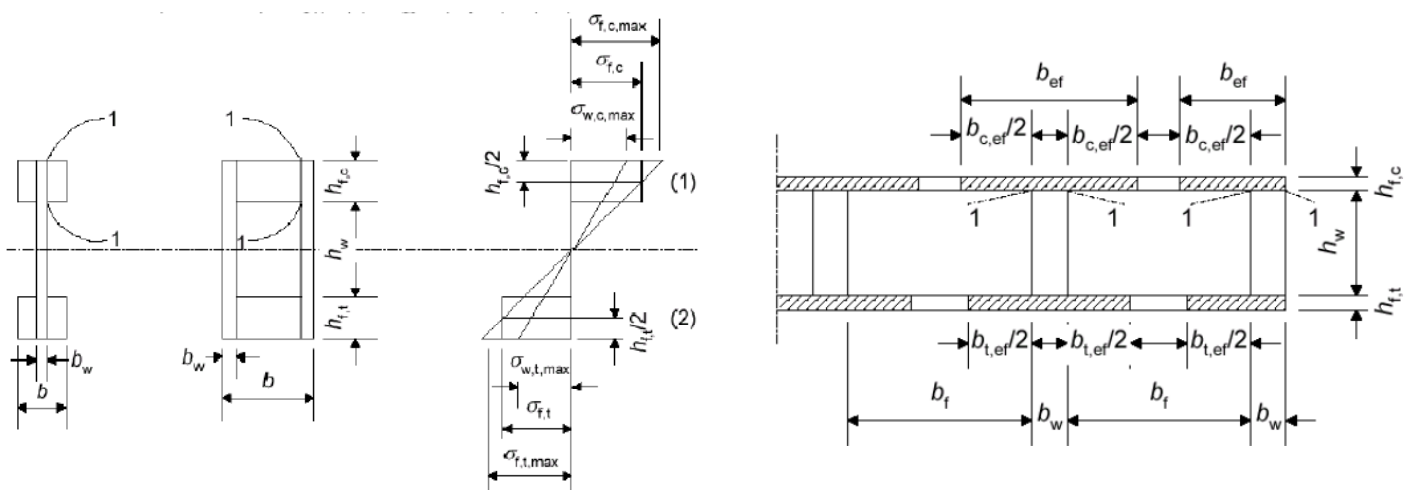
Ripustusliitokset



$$F_{90,k} = 14 \cdot b \cdot \sqrt{\frac{h_e}{\left(1 - \frac{h_e}{h}\right)}} \geq F_{v,Ed,i}$$

35

Liimatut ohutuuma- ja laattapalkit

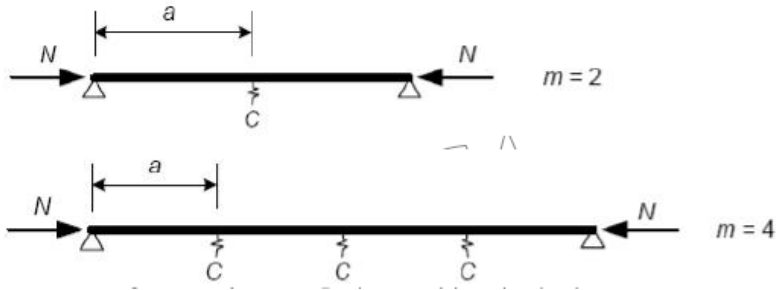


- tarkastettavat jännitykset
- paarten nurjahdus
- uuman lommahdus
- sauman leikkausjännitykset

- laipan toimiva leveys (lommahdus tai leikkausmuodonmuutos)

36

Nurjahdus- ja kiepahdustuenta



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

$$F_d = \begin{cases} \frac{N_d}{50} & \text{sahatavardille} \\ \frac{N_d}{80} & \text{liimapuulle ja LVL:lle} \end{cases}$$

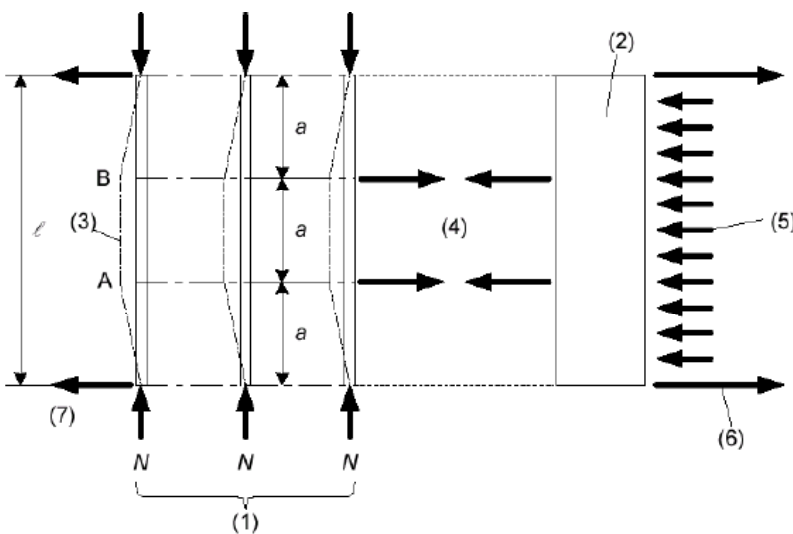
Pienennyskerroin tuentavoimaan poikittaisen nurjahduksen ja kiepahduksen käyttöasteiden summan mukaan:

$$k = \frac{\sigma_{m,d}}{k_{\text{crit}} \cdot f_{m,d}} + \frac{\sigma_{c,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$

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

37

Yläpohjan jäykistyskuorma



$$q_d = k_\ell \frac{n N_d}{50 \ell}$$

$$k_\ell = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \sqrt{\frac{15}{\ell}} \end{array} \right.$$

- hetkellinen vaakataipuma MRT:n kuormilla $\leq L/500$ (tuuli mukana)

38

Mitoituksen kulkukaavioita

Seinätolpan mitoitus

Tuettu heikommassa suunnassa levytyksellä

MRT:n kuormat: 2.2.2(c)¹⁾

- Hetkellinen aikaluuokka (tuulen aiheuttama seinän paikallinen taiputus: 2.3.1.3(p,q))
- Keskipitkä aikaluuokka (lumi määräävä / hyötykuorma määräävä)
- Pysyvä aikaluuokka (ei yleensä mitoiteta)

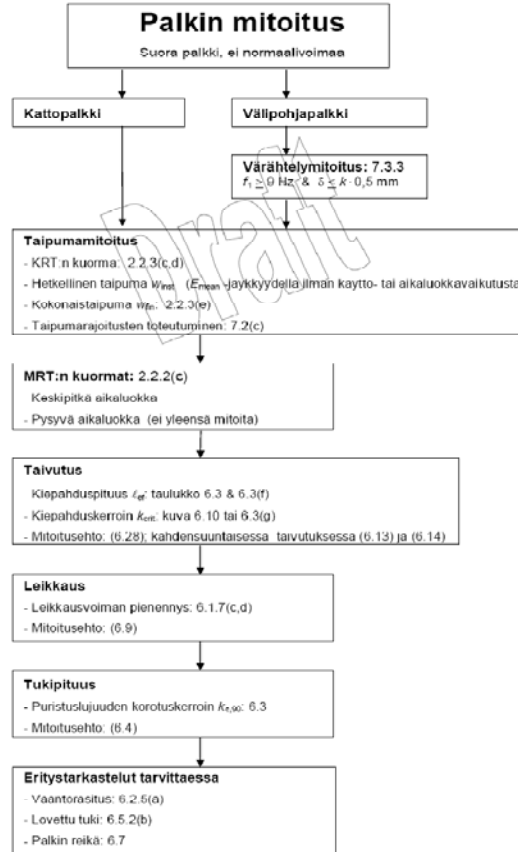
Alajuoksun kiskopainemitoitus

- Kiskopainekerroin $k_{c,90}$: kuva 6.3 tai kaava (6.5)
- Mitoitusehto: (6.4) alajuoksun puristuslujuudella $f_{c,90,d}$

Nurjahdus vahvempaan suuntaan

- Nurjahduspituus $L_c = L$: taulukko 6.1
- Hoikkuusluku λ : (6.18)
- Nurjahduskerroin $k_{c,y}$: Kuva 6.9 tai 6.3.2(d)
- Mitoitusehto: (6.21) tarkistetaan aikaluokittain.

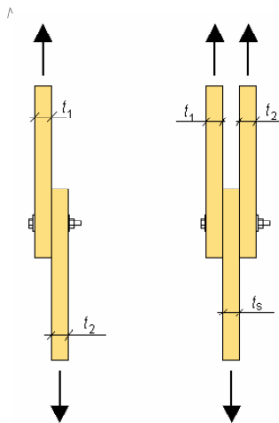
¹⁾ Jäykistävissä seinissä tarkistetaan jäykistysmitoituksen yhteydessä myös tuulen aiheuttamat runkotolpan pystyvoimat: 9.3.3.2(j). Tällöin tuulikuorma on määräävästä staattisen tasapainon kuormitusyhdistelyssä: 2.2.2(d).



39

G.1 PUUTAVARAN PULTTILIITOKSET

- Pultin lujuusluokka 8.8 ($f_{tk} = 800 \text{ N/mm}^2$)
- Käyttöluokka 1 tai 2
- 1-leikkeinen liitos, jossa $t = \min(t_1, t_2)$
- 2-leikkeinen liitos, jossa $t = \min(t_1, t_2)$, $t_s \geq t$ ja $t_s \geq 5d$
- Puun syiden suuntainen kuormitus: $\alpha_1 = \alpha_2 = 0^\circ$
- Muissa kuormitussuunnissa R_d kerrotaan luvulla: $k_\alpha = \frac{1}{(1,35 + 0,015d) \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$ kun $\alpha = \max(\alpha_1, \alpha_2)$



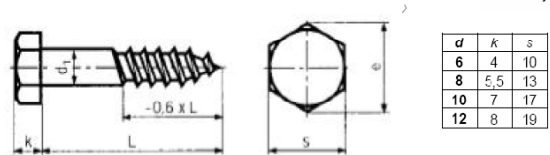
- R_d on yksittäisen pultin mitoituskestävyys leikettä kohden laskettuna RIL 205-2006:n kaavoilla
- Liitinyhmän kestävyys on otettava huomioon tehollisten liittimien lukumäärä n_{ef} ja lohkeamismurto.

Taulukko G.1 - Puuosien välisten pulttiliitosten mitoituskestävyyksiä R_d leikettä kohden kN/pultti

d (mm)	Sahatavara C24			Liimapuu GL32c			Kerto-S-LVL					
	t (mm)	keski-pitkä	hetkellinen	t (mm)	keski-pitkä	hetkellinen	t (mm)	keski-pitkä	hetkellinen			
8	32	1,5	2,0	2,8	42	2,4	3,2	4,5	33	2,3	3,1	4,3
	42	1,8	2,4	3,3	56	3,0	4,1	5,8	39	2,8	3,5	4,8
	48	2,0	2,7	3,7	66	3,5	4,7	6,4	45	2,9	3,9	5,4
10	42	2,4	3,2	4,4	42	3,2	4,2	5,8	45	3,8	5,0	6,9
	48	2,6	3,5	4,7	66	4,4	5,9	8,1	51	4,1	5,5	7,6
	63	3,2	4,2	5,8	90	5,4	7,2	9,9	57	4,5	6,0	8,3
	12	48	3,2	4,3	5,9	56	4,7	6,3	8,7	51	5,1	6,7
12	63	3,9	5,1	7,1	66	5,3	7,1	9,8	57	5,5	7,3	10,1
	75	4,4	5,9	8,1	90	6,9	9,2	12,6	63	5,9	7,9	10,9
	100	5,6	7,4	10,2	115	7,4	9,8	13,5	75	6,8	9,1	12,5
	16	75	6,0	8,0	10,9	66	7,3	9,7	13,4	75	9,1	12,2
100		7,4	9,9	13,6	90	9,2	12,2	16,8				
125		8,9	11,9	16,3	115	11,2	14,9	20,6				
20	100	9,2	12,3	16,9	90	11,5	16,5	21,0				
	125	11,0	14,6	20,1	115	13,8	18,4	25,3				
	150	12,8	17,0	23,4	140	16,3	21,7	29,8				

G.3 TERÄSLEVYLIISET KANSIRUUVILIITOKSET

- Kansiruuvit ISO 1891-25.1, DIN 571-4.6. Lujuuslk. 4.6 ($f_{tk} = 400 \text{ N/mm}^2$)
- Käyttöluokka 1 tai 2
- Puun syiden suuntainen kuormitus: $\alpha = 0^\circ$
- Muissa kuormitussuunnissa R_d kerrotaan luvulla: $k_\alpha = \frac{1}{(1,35 + 0,015d) \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$, kuitenkin jos $d = 6 \text{ mm}$, $k_\alpha = 1$.
- R_d on yksittäisen ruuvin mitoituskestävyys laskettuna - SFS-EN1995 ja sen kansallisen liitteen mukaan, kun $d = 6 \text{ mm}$; - RIL 205-2006 mukaan, kun $d > 6 \text{ mm}$.
- Ohut teräslevy $t_s \leq 0,5d \Rightarrow$ taulukko G.3.1
- Paksu teräslevy $t_s \geq d \Rightarrow$ taulukko G.3.2
- Teräslevyn paksuus $0,5d < t_s < d \Rightarrow$ lineaarinen interpolointi (G.3.1 & G.3.2)
- Liitinyhmän kestävyys on otettava huomioon tehollisten liittimien lukumäärä n_{ef} ja lohkeamismurto.
- Teräslevyn kestävyys on tarkistettava Eurocode 3:n mukaan (reunapuristus-, veto/puristus- ja palalohkeamiskestävyys).



Taulukko G.3.1 - Teräslevyisten yksiloikkeisten kansiruuviliitosten mitoituskestävyyksiä R_d kN/ruuvi - ohut teräslevy $t_s \leq 0,5d$

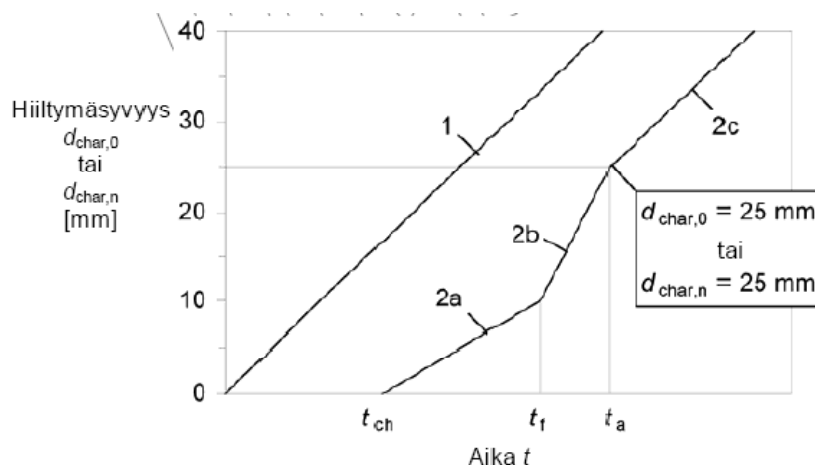
d x L	Sahatavara C24			Liimapuu GL32c			Kerto-S-LVL		
	pysyvä	keski-pitkä	hetkellinen	pysyvä	keski-pitkä	hetkellinen	pysyvä	keski-pitkä	hetkellinen
6x30	0,39	0,52	0,71	0,53	0,71	0,97	0,62	0,83	1,14
6x40	0,53	0,71	0,97	0,73	0,97	1,33	0,85	1,13	1,56
6x50	0,68	0,90	1,22	0,92	1,23	1,69	1,08	1,44	1,95
6x60	0,82	1,09	1,50	1,12	1,49	1,87	1,31	1,67	2,08
6x70	1,77	2,10	2,55	2,13	2,54	3,10	2,35	2,80	3,42
6x80	1,81	2,16	2,63	2,19	2,62	3,20	3,17	2,89	3,57
8x40	1,02	1,37	1,88	1,40	1,87	2,57	1,64	2,18	3,00
8x50	1,20	1,71	2,26	1,63	2,16	3,00	1,78	2,24	2,93

40

EN 1995-1-2: Rakenteiden palomitoitus

- Paljon uusia detaljitason ohjeita: eritt. palosuojatut rakenteet, osastoivuuden osoittaminen ja liitosten palonkestävyys
- Kantavuus lasketaan tehollisen poikkileikkauksen menetelmällä
 - onnettomuustilanteen kuormitusyhdistelmällä
 - ilman varmuus- ja aikaluokkakertoimia
 - 0,2-fraktiilin lujuuksilla (lasketaan kertoimilla ominaisarvoista)
- Erilaisia hiiltymisnopeuksia:
 - eri materiaalit, eri tiheyksille, eri paksuuksille
 - eri arvot yhdeltä ja useammalta sivulta palolle alttiille tapauksille
 - pienennetty hiiltymisnopeus palosuojauksen alla
 - kiihdytetty hiiltymisnopeus palosuojauksen murruttua

41



- Palosuojauksen laskentaohjeet puulevyille, kipsilevyille ja kivivillalle
- Seinien ja välipohjien kantavuuden ($\leq R60$) laskentamenetelmät eristetyillä ja eristämättömillä onteloilla. Puulevyt, kipsilevyt, päällekkäiset levyt, kivivillaeriste, poikittaistuenta, villojen putoaminen
- Osastoivuuden laskentaohje seinille ja välipohjille (eristävyys & tiiviyys $\leq EI60$). Kipsilevyt, puulevyt, paneloinnit, kivi- tai lasivillaeriste.

42

EN 1995-2: Sillat

- Sisältää vain poikkeamat yleisestä osasta EN 1995-1-1
- Omat materiaaliosavarmuusluvut (suositukset poikkeaa yleisen osan suosituksista), väsytytkuormatarkasteluille omat γ_M -luvut
- Lisäohjeita säilyvyyteen
- Lankkukannen rakennemallitus, poikittainen esijännittäminen ja mitoitus
- Puu-betoniliittolaatan analysointi- ja mitoitusohjeita
- Kitkakertoimia (käytetään esijännitetyillä laatoilla)
- Siltojen sallitut taipumat
- Ei saa käyttää naulalevyjä, hakasia eikä tartuntakuormitettuja nauvoja
- Opastavana liitteenä puurakenteiden ja liitosten mitoitus väsytytkuormille
- Opastavana liitteenä kävelysiltojen värähtelymitoitusohjeet