

VÄYLÄVIRASTON OHJEITA 31/2025: Puurakenteiden suunnittelu – NCCI5 Eurokoodin soveltamisohje

Projektijohtaja Sami Noponen

PÄIVITETYN OHJELUONNOKSEN SISÄLLYS

1. YLEISTÄ	9
2. SUUNNITTELUPERUSTEET	14
3. PUUTUOTTEIDEN MATERIAALIOMINAISUUDET	24
4. SÄILYVYYS	34
5. RAKENTEIDEN MALLINTAMISPERUSTEET	42
6. MURTORAJATILAT	51
7. KÄYTTÖRAJATILAT	77
8. METALLILIITTIMIN TEHDYT LIITOKSET	84
9. LEVY- JA RISTIKKORAKENTEET	101

LIITTEET

Liite 1 Rakennedetaljeja

Liite 2 Materiaalit

Tärkeimpiä muutoksia edelliseen ohjeeseen

Tämä on soveltamisohjeen NCCI 5 toinen versio. Verrattuna ohjeen ensimmäiseen versioon, muutoksia ja tarkistuksia on tehty mm. seuraaviin kohtiin ja asioihin:

- Liittyvien standardien ja ohjeiden muuttuneiden vaatimusten huomioon ottaminen
- Rakenteiden pitkäaikaiskestävyyteen ja säilyvyyteen liittyvien vaatimusten päivitykset
- Detaljien ja rakenneratkaisujen tarkempi ohjeistaminen mm. rakenteellisen suojaamisen ja kannen vedeneristyksen sekä pintarakenteiden osalta
- Rakenteiden mallintamisperusteiden tarkentaminen
- Kreosoottikyllästeiden käytön päättymisen ja sen aiheuttamat vaatimukset. 30.4.2023 alkaen kreosoottikyllästettä ei ole saanut käyttää siltarakenteissa.
- Laatuvaatimukset luontaisesti pitkäikäisille puumateriaaleille

LUKU 3 PUUTUOTTEIDEN MATERIAALIOMINAISUUDET

- Silloissa käytetään standardin SFS-EN 351 sekä kyllästysluokan NTR A vaatimukset täyttävää paineistettua puuta ja SFS-EN 599 mukaisia kyllästeitä
- Puutavara lujuustaulukot
 - Lujuusluokat C24 ja C30
- Liimapuun ja halkaistun liimapuun lujuusluokkataulukot
 - Lujuusluokat GL30c, GL30h, GL30cs ja GL30hs
- Kannanotot epätavallisempiin materiaaleihin

Taulukko 5. Yleisimmin käytetyn sahatavaran materiaaliominaisuudet

			Lujuusluokka	
			C24	C30
Ominaislujuus (N/mm ²)	Taivutus	$f_{m,k}$	24	30
	Veto	$f_{t,0,k}$	14,5	19
		$f_{t,90,k}$	0,4	0,4
	Puristus	$f_{c,0,k}$	21	24
		$f_{c,90,k}$	2,5	2,7
	Leikkaus	$f_{v,k}$	4,0	4,0
Jäykkyys (N/mm ²)	Kimmomoduuli	$E_{0,mean}$	11 000	12 000
		$E_{0,05}$	7 400	8 000
		$E_{90,mean}$	370	400

Kuormien aikaluokat ja käyttöluokat

Kuormat jaetaan aikaluokkiin seuraavasti (vrt. Luku 3.1.3):

- Pysyvät kuormat: oma paino, maanpaine, tukipainumat / -siirtymät ¹⁾
- Pitkäaikaiset kuormat: muuttuvien kuormien Ψ_2 -pitkäaikaisosuus
- Keskipitkät kuormat: kosteuden muutoskuormat, lumikuorma
- Lyhytaikaiset kuormat: lämpötilakuormat ²⁾, tuulikuorma, työnaikaiset kuormat
- Hetkelliset kuormat: liikennekuorma ³⁾, liikenteen maanpaine ³⁾, onnettomuuskuormat

Taulukko 2. (ks. standardin SFS-EN 1995-1-1 / 3/ taulukko 3.1) Puutuotteiden k_{mod} -arvot sahatavaralle, liimapuulle, vanerille ja LVL-puulle

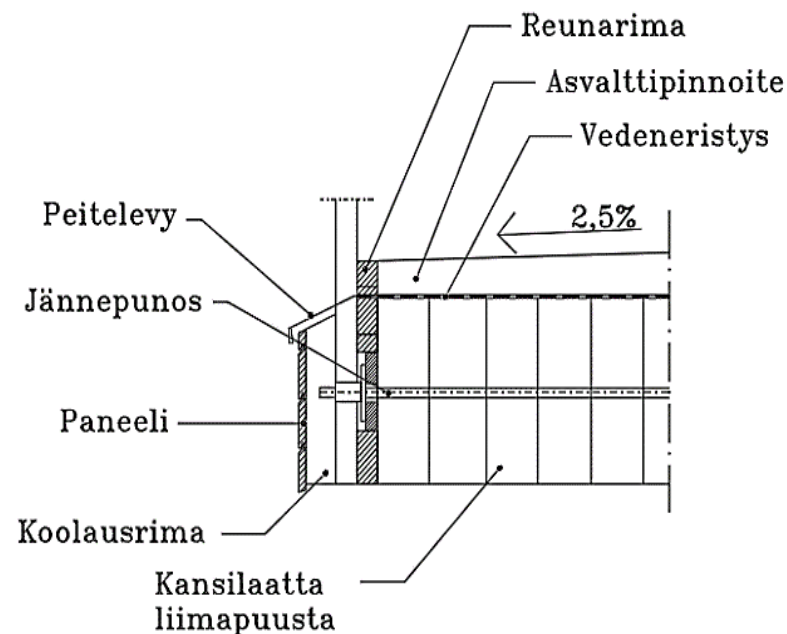
Käyttöluokka	Kuorman aikaluokka				
	Pysyvä kuorma	Pitkäaikainen	Keskipitkä	Lyhytaikainen	Hetkellinen
1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90

Muut puutuotteet ja -lajit

- Väyläviraston vaatimuksena on seuraavien standardien kestävyysluokan 1 mukainen erinomainen sään ja lahonkesto sekä sertifikaatti vastuullisesta metsänhoidosta:
 - SFS-EN 350 taulukossa 5 ja 6 lahonkestävyyden yleiset vaatimukset ja liitteinä puulajien luonnollinen lahonkesto ja kyllästettävyyys. Vaatimus kestävyysluokka 1
 - SFS-EN 113-2 taulukko F.1, vaatimus kestävyysluokka 1
 - TS 15083-2 liite E (luonnollisesti pitkäaikaiskestävä puu ja puutuotteet), vaatimus kestävyysluokka 1
 - Puun alkuperäketjun seurannan FSC[®] -sertifiointi tai vastaava
- Tulee kuitenkin huomata, että nämä testit eivät vielä takaa tuotteiden kestävyyttä kaikissa olosuhteissa ja kaikkia Suomessa esiintyviä lahottajasieniä vastaan.
- Väylävirasto voi käyttää uusia rakennustuotteita yksittäisissä hankkeissa käyttökokemusten kerryttämiseksi.

LUKU 4. SÄILYVYYS

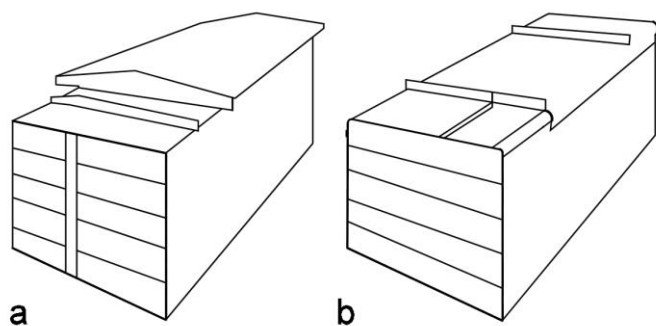
- Säilyvyyteen liittyviä asioita on lisätty
 - Suosituksia ja vaatimuksia
- Rakenteellisesta suojauksesta ohjeita ja esimerkkejä
- Avoimia kansirakenteita tulisi välttää ja syrjälankkukannen sijaan suositellaan liimapuuelementtikantta. Syrjälankkukansi tulee vedeneristää.
- Jänneterästen suojausta ja metalliliittimien/osien ohjeita täsmennetty



LUKU 4. SÄILYVYYS

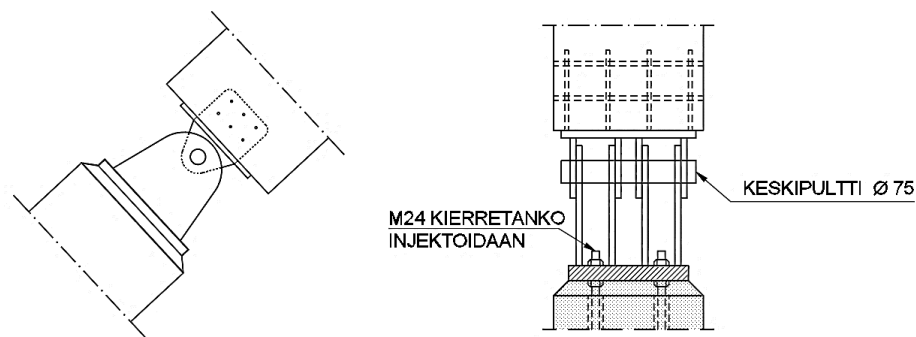
Liimapuun suojaaminen puu- tai teräskattella:

(kotelointi, kattaminen)



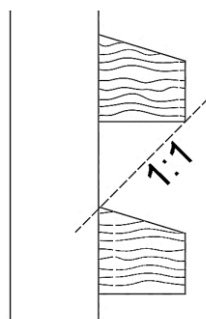
Liitososien sijoittaminen rakenteen sisään:

(suojataan kapillaariselta kosteuden imeytymiseltä, suojataan liitokset)

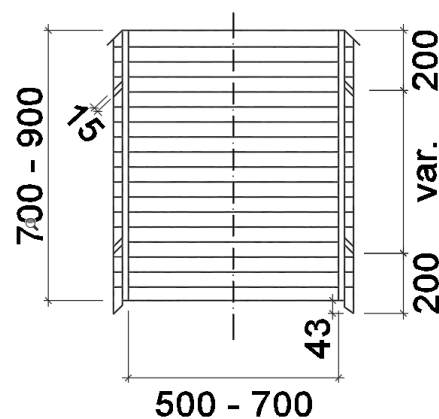


Säleikön mitoitus:

(viistosade, kallistaminen)

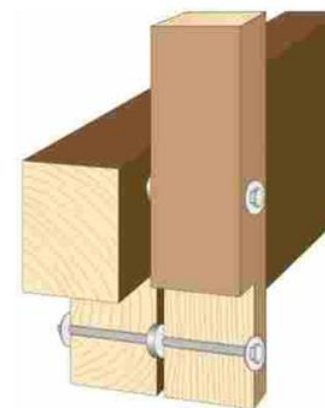


Palkin sivujen suojaus:



Kannen ja kaidetolpan välinen kuivatusrako:

(tuuletus)

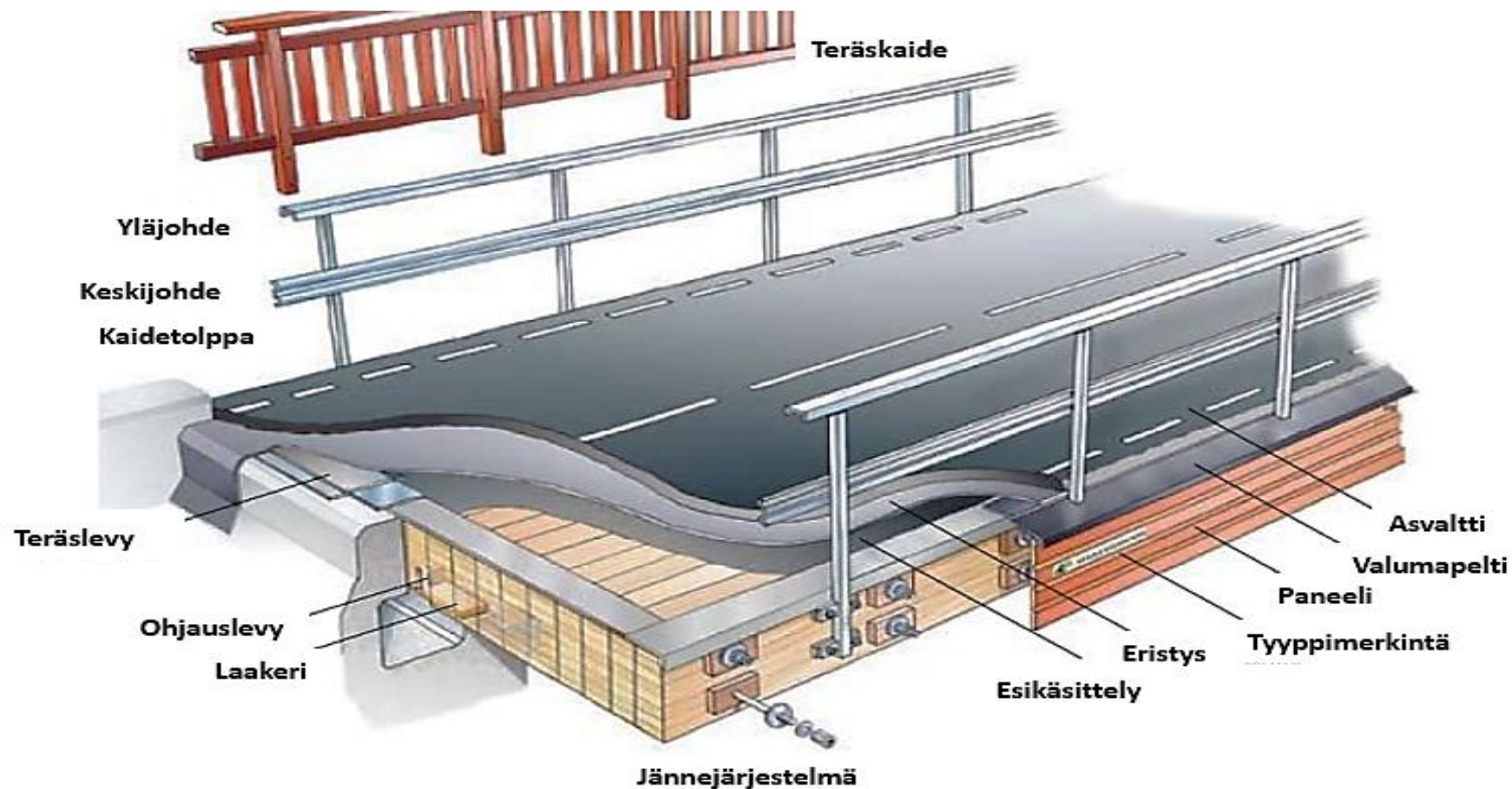


LUKU 4. SÄILYVYYS

- Syrjälankkukannen puutavaran painekyllästäminen vesipohjaisilla kuparikyllästeillä ei ole yksinään riittävän tehokas suojausmenetelmä lahottajasieniä vastaan, koska lankkujen välit pysyvät pitkään kosteina ja sinne kerääntyy myös epäpuhtauksia. Säälle alttiit ajoneuvoliikenteen syrjälankkukannet tulee vedeneristää mastiksieristyksellä ja päällystää. Kevyenliikenteen siltakansille suositellaan vähintään vesitiivistä kumibitumivaluasfalttipäällystettä.
- Jännitetyissä siltakansissa on otettava huomioon, että suolakyllästetyn puun kosteusvaihtelu ja -eläminen on suurempaa kuin aikaisemmin sallitun kreosoottikyllästetyn puun tapauksessa. Tällä voi olla vaikutusta mm. jännevoiman häviöihin. Poikittain jännitetyt suolakyllästetyt kannet on aina eristettävä ja päällystettävä.
- Kevyenliikenteen siltojen kaiteiden puiset säleet voidaan tehdä kyllästämättömästä puusta maalattuna. Tällöin on huomioitava kaiteiden käyttöikä noin 20 vuotta, huoltovälistä riippuen.
- Asfaltilla päällystettävät ajoneuvoliikenteen kannet eristetään. Eristeenä voidaan käyttää mastiksia tai kaksinkertaista kermieristystä. Elastisena massana mastiksi kestää paremmin puukannen liikkeitä.

LUKU 4. SÄILYVYYS

- Vedeneristetyn puukannen detaljeja:
 - Ei vettä- tai kosteutta kerääviä kynnyksiä, painanteita tai rakoja
 - Kallistukset, vedenjohtolaitteet



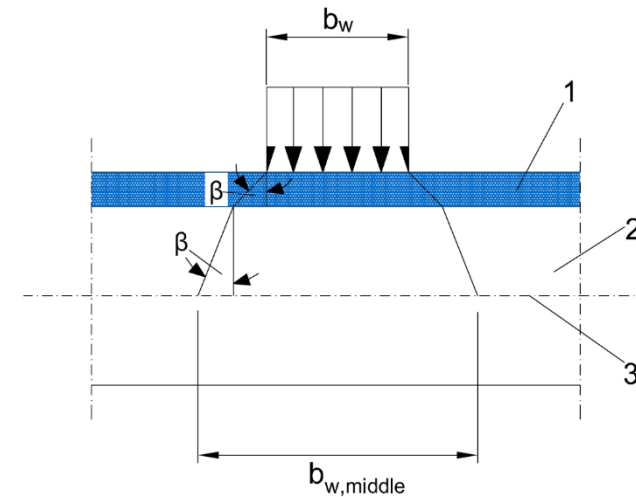
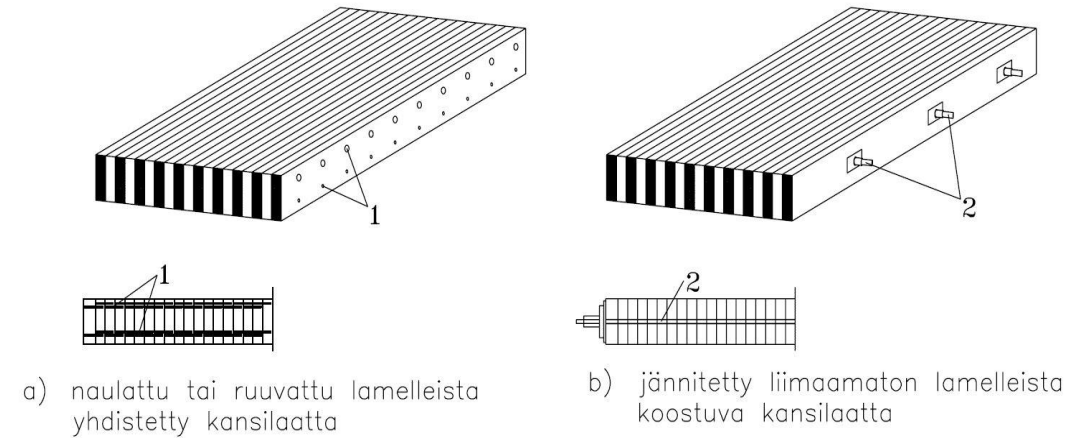
Luku 5. Rakenteiden mallintamisperusteet

- Rakenteiden mallintamisperusteiden alle on lisätty uusia alilukuja, joissa käsitellään nyt myös kansilaattojen suunnittelua ja puu-betoni liittorakenteita.
- Kehä- ja ristikkorakenteiden osuutta on laajennettu ja avattu tarkemmin:
 - Rakenneosien mallintamista
 - Epäkeskisyyksien huomiointia
 - Liitosten mallintamista.
- Lisätty ehdot, milloin sauvojen jatkokset voidaan mallintaa jäykkinä



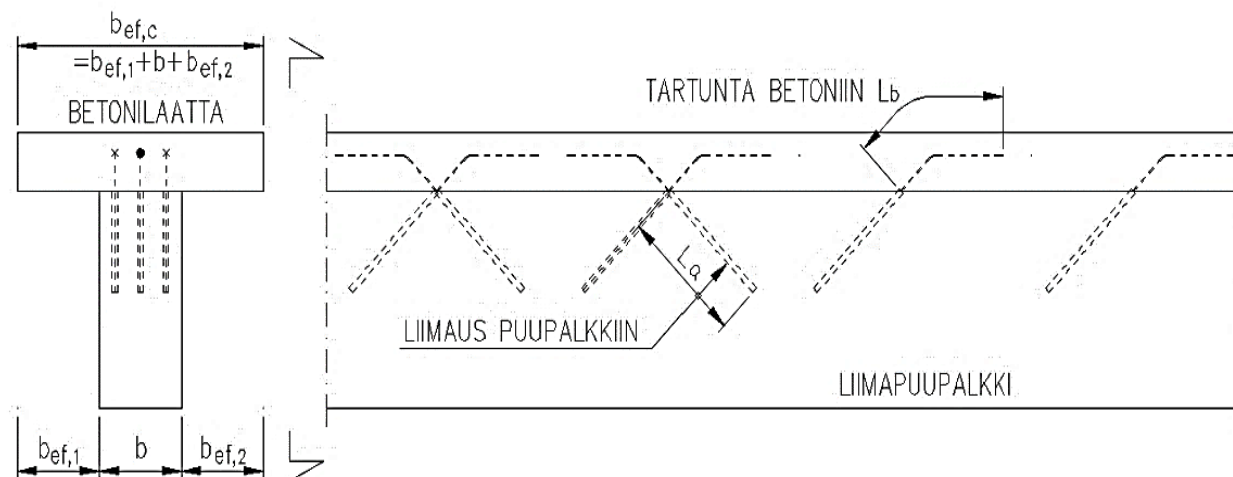
Kansilaatat

- Lisätty uusi luku kansilaatoista, joiden yhteydessä käsitellään laminoituja kansilaattoja, kuormituksen jakaantumista sekä eri analyysimalleja.
- Syrjälankkukansien vaatimukset lisätty
 - Tukiväli $\leq 2,5$ m
 - Limitys ≥ 600 mm
 - Kannen minimipaksuus $\geq (L/15; 125 \text{ mm})$
 - Syrjälankkukannen naulauksen leikkauskestävyyden laskentaa ohjeistettu
- Lisätty taulukko ja kaavoja jäykkyysarvojen laskentaa helpottamaan.



Puu-betoni liittopalkki

- Puu-betoni liittorakenteisten siltojen rakennussuunnittelutehtävään kuuluu hankekohtaisten suunnitteluperusteiden laatiminen käyttäen hyväksi olemassa olevaa tutkimustietoa. Suunnitteluperusteet hyväksyy Väylävirasto.
- Seuraavassa on listattu puu-betoniliittopalkin laskennassa huomioon otettavia kuormia ja tehty viittauksia kuormitusten aiheuttamien jännitysten laskentaa koskeviin tutkimuksiin:
 - rakentamisaikaisten tuentojen vaikutus puupalkkiin ja betonilaattaan kohdistuviin jännityksiin [5,6,7,8]
 - puun, betonin ja liitosten viruminen [1,3,4,5]
 - betonin kutistuminen [3,4,5,6,7]
 - puun kosteusvaihtelu [5,6,7]
 - lämpötilamuutos ja lämpötilaero [5,6,7]
 - pintarakenteen ja varusteiden painot [5,6,7]
 - hyötykuormat [5,6,7,9]
 - liitosten joustaminen ja väsytyk [1,2,5,6,10]



LUKU 6. Murtorajatilat

- Luvun runko on säilynyt ennallaan, mutta sisältöä on täydennetty ja muotoiltu
- Kaavoihin on lisätty viittaukset kyseiseen Eurokoodin kohtaan
- Tehty lukuisia pieniä täydennyksiä:
 - Lisätty havainnollistavia kuvaajia esimerkiksi nurjahdukseen ja kiepahduskertoimeen liittyen sekä päivitetty alkuperäisiä kuvia
 - Yhtenäistetty otsikointia ja terminologiaa
 - Lisätty eräitä mitoituksen kannalta hyödyllisiä kaavoja ja poistettu mekaniikan perusteisiin lukeutuvia kaavoja
 - Jäsennelty kaavoja uudelleen

6.1.6 Taivutus

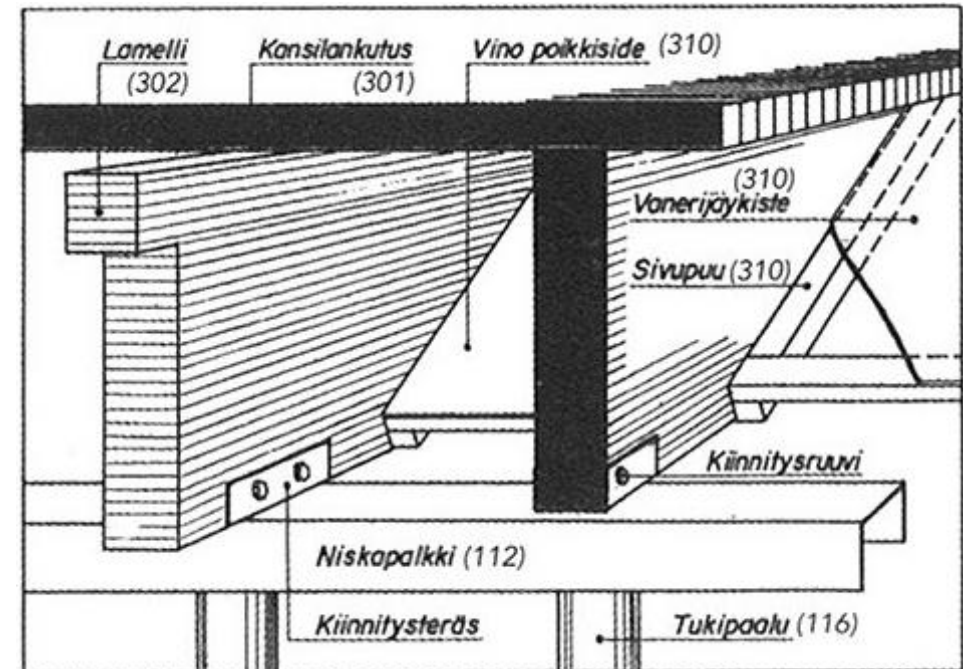
Seuraavien mitoitusehtoien tulee toteutua

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

(6.5 [6.11 EN1995-1-1])

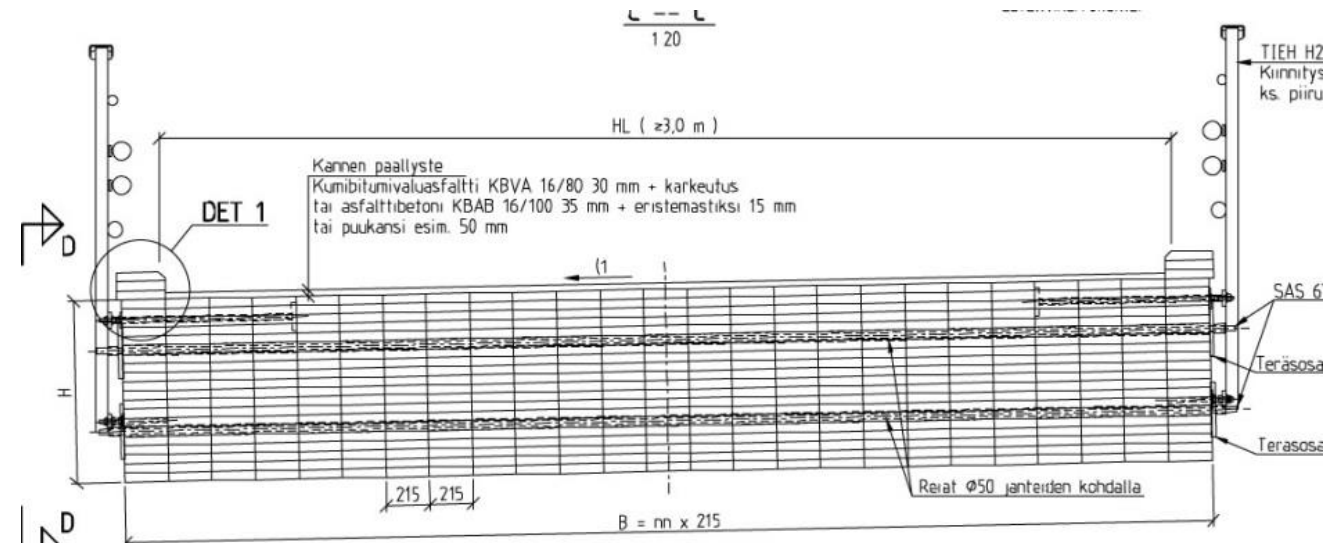
Kuormia jakavan rakennesysteemin kestävyys

- Entinen ” Useasta pääsauvasta ja poikittaisesta sekundäärisauvasta koostuvan systeemin kestävyys” muutettu paremmin kuvaamaan asiasisältöä.
- Selvennetty millaisiin rakenteisiin voidaan soveltaa (kantavuusarvoja voidaan korottaa)
 - Kuormia jakavia rakenteita ovat esimerkiksi
 - Syrjälankkukannet
 - Poikittain jännitetyt lamellikannet
 - Liimapuulaatat
 - Palkkisillat, joissa palkkiväli on $\leq 1,2\text{m}$
 - Puu-betonisiltojen puupalkit
- Eurokoodin kuvat muutettu kaavamuotoon



Poikittain jännitetyt lamellikannet

- Suunnittelu- ja rakenteellisia ohjeita tarkennettu ja täydennetty:
 - Suunnitteluperusteet
 - Paksuilla kansilla (laattasillat) minimijännitysvaatimusta pienennetty
 - Rakennemalli esitetty kohdassa 5.5 (ortotrooppinen laatta)
 - Jännevoiman määrittäminen
 - Saumojen aukeaminen
 - Kosteus- ja lämpötilavaihtelut
 - Mitoitus murtotilassa
 - Tason suuntaiset leikkausvoimat
 - Rakenteelliset ohjeet



Luku 7. Käyttörajatilat

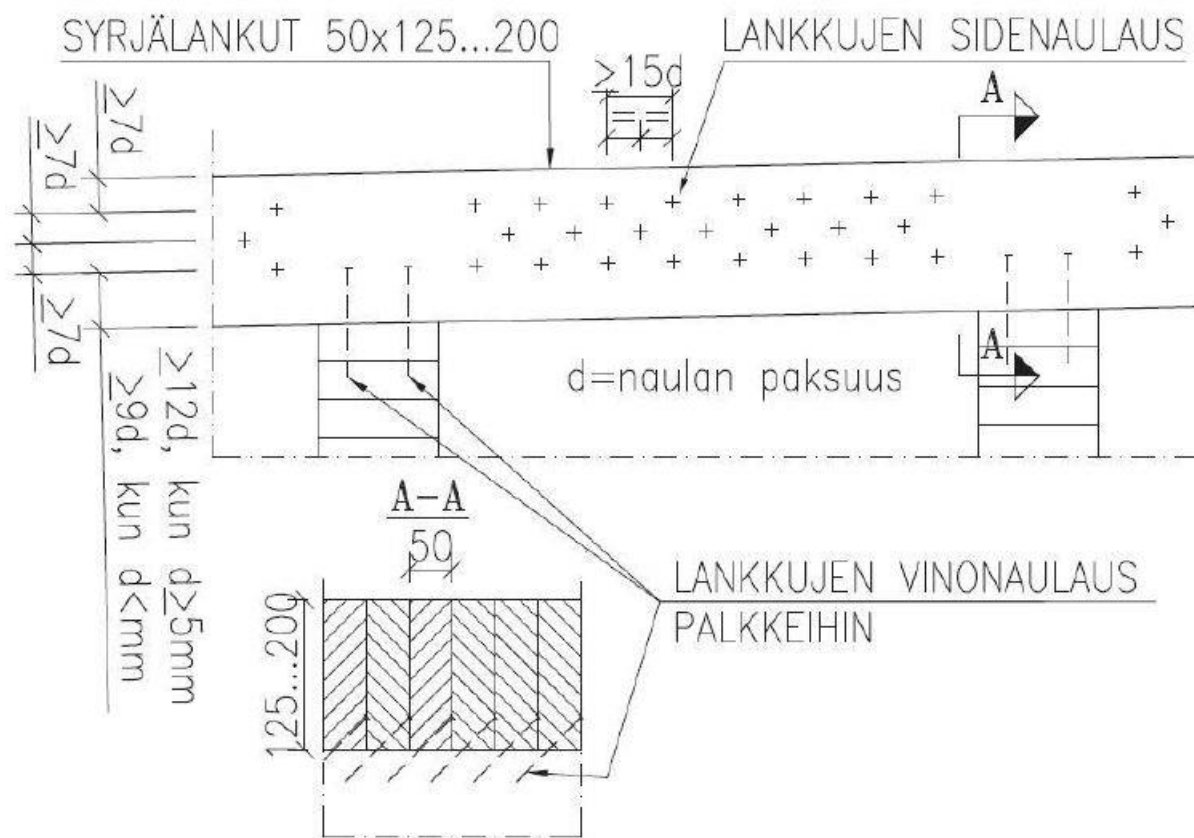
- Luku kirjoitettu osittain uudelleen. Alaotsikot ovat pysyneet ennallaan.
- Taipumien raja-arvojen määräytymisperusteet on päivitetty. Huoltoajoneuvoa ei NCCI1 mukaan tarvitse ottaa huomioon taipuman laskennassa, joten sille on asetettu oma taipumaraja ($L/200$)
- Lisätty vaatimuksia taustoittavaa tekstiä värähtelystä ja yksityiskohtaisen värähtelymitoituksen tarpeellisuudesta
- Ohjeessa on esitetty nimenomaan puusiltojen värähtelyn ominaispiireet ja muilta osin viitattu muihin ohjeisiin.
- Esitetty oletusarvoinen vaimennuskertoimen arvo (0,015) ja määritetty eri tapauksissa vaimennuskertoimen ylä- ja alarajat.

LUKU 8. METALLILIITTIMIN TEHDYT LIITOKSET

- Naula- ja ruuviliitosten leikkauskestävyyden mitoitusaulukot vastaavasti kuin ohjeessa: Puuinfo. Eurokoodi 5 lyhennetty suunnitteluohje
- Esimerkki Neliskulmaisilla lankanauloilla (□) ja pyöreillä konenauloilla (Ø) kootun yksileikkeisen puutavaraliitoksen leikkauskestävyyden mitoitusarvot R_d [N]
- Tekstisosioon useita muutoksia

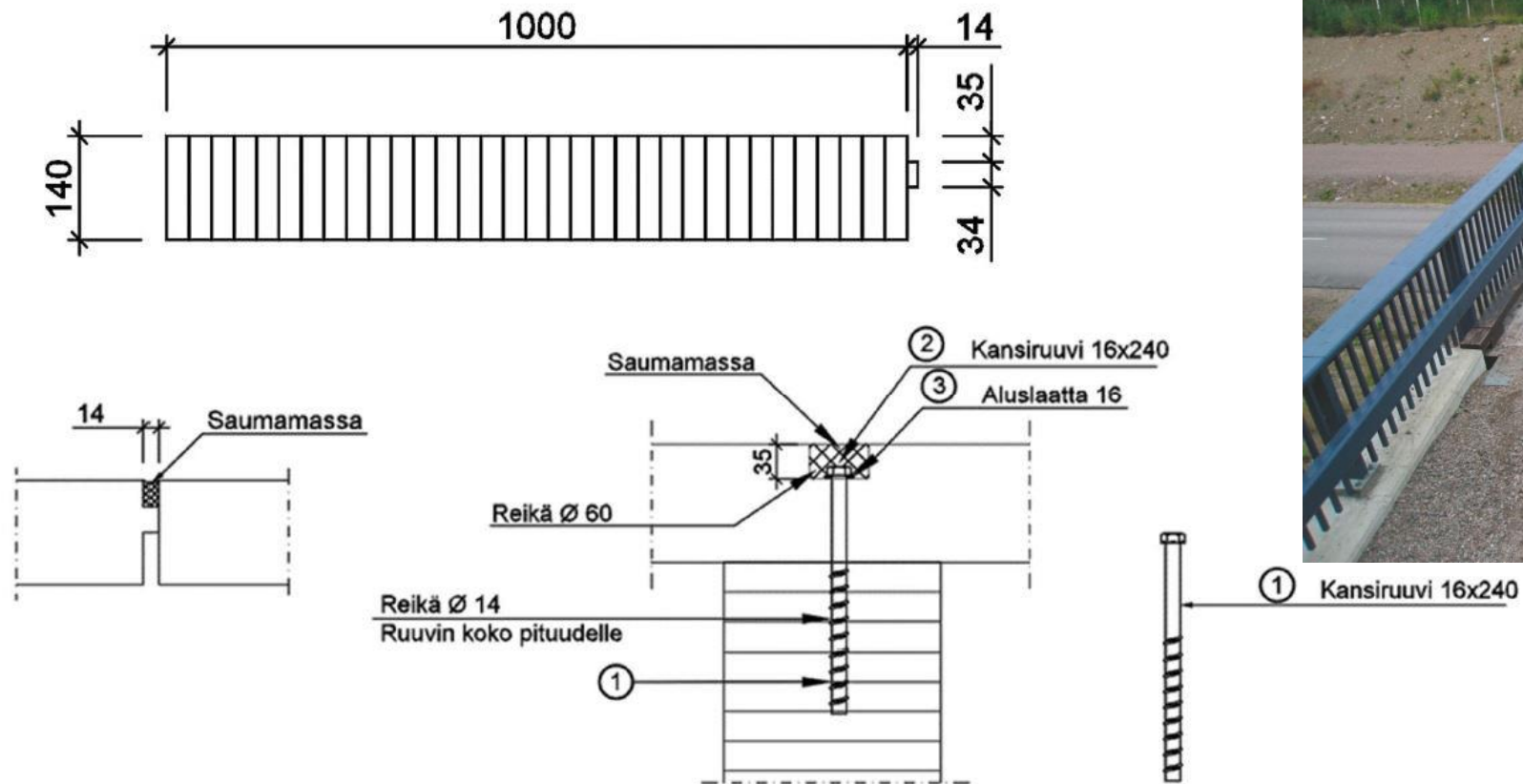
Puutavara	Sahatavara C24 - C30; Liimapuu GL20, GL26C						Sahatavara $\geq$ C35; Liimapuu $\geq$ GL28c; Kerto-S, Kerto-T, Kerto-Q					
Aikaluokka	Pysyvä		Keskipitkä		Hetkellinen		Pysyvä		Keskipitkä		Hetkellinen	
Käyttöluokka	1 ja 2	3	1 ja 2	3	1 ja 2	3	1 ja 2	3	1 ja 2	3	1 ja 2	3
$\square d \times L$												
$\square 2,1 \times 50$	220	190	300	240	410	330	240	200	310	260	430	350
$\square 2,5 \times 60$	300	250	400	330	550	450	320	270	430	350	590	480
$\square 2,8 \times 75$	400	330	530	430	730	600	420	350	560	460	770	630
$\square 3,4 \times 100$	580	480	770	630	1050	860	610	510	810	660	1100	910
$\square 4,2 \times 125$	830	690	1100	900	1500	1250	870	730	1150	940	1600	1300
$\square 5,1 \times 150$	1150	960	1550	1250	2100	1700	1200	1000	1600	1300	2200	1800
$\square 5,5 \times 200$	1300	1100	2000	1400	2350	1950	1400	1150	1850	1500	2500	2050
$\square 6,0 \times 225$	1500	1250	2000	1650	2750	2250	1600	1350	2150	1750	2900	2400
$\emptyset d \times L$												
$\emptyset 2,1 \times 50$	210	180	290	230	390	320	230	190	300	250	410	340
$\emptyset 2,5 \times 60$	290	240	390	310	530	430	310	250	410	330	560	460
$\emptyset 2,8 \times 75$	350	290	470	380	640	530	370	310	490	400	680	560
$\emptyset 3,1 \times 90$	420	350	560	450	760	620	440	370	590	480	800	660
$\emptyset 3,4 \times 100$	490	410	650	530	890	730	520	430	690	560	940	770
$\emptyset 3,8 \times 120$	590	490	790	640	1050	880	620	520	830	670	1100	930
$\emptyset 4,2 \times 130$	700	580	930	760	1250	1050	740	620	980	800	1350	1100
$\emptyset 4,6 \times 145$	820	680	1090	880	1450	1200	860	720	1150	930	1550	1300
$\emptyset 5,0 \times 160$	940	780	1250	1000	1700	1400	990	830	1300	1050	1800	1500

LIITTEET. SYRJÄLANKKUKANSI



Kuva 27. Syrjälankkukansi 50x125...200 [SILKO 1.401 Rakenteelliset korjaukset – Yleisohje]

LIITTEET. LIIMAPUUELEMENTTIKANSI



Kuva 28. Liimapuukansielementin esimerkkipoikkileikkaus, sauma ja liitos palkkiin

KIITOS!



Luzernissa sijaitseva Kapellbrücke. Silta on rakennettu noin vuonna 1365 ja on vanhin säilynyt ristikkosilta. Sillan pituus on noin 205 metriä. Kaksi kolmasosaa sillasta paloi vuonna 18.8.1993, mutta se uudelleen rakennettiin ja avattiin 14.4.1994. Silta on yksi Sveitsin tärkeimmistä turistinähtävyyksistä ja sillalla on päivittäin noin 13 800 käyttäjää. Sillan kattorakenteessa on maalauksia. Puumateriaaleina on käytetty pääosin kuusta, mutta myös vaahteraa ja lehmusta.