

Puu-betoniliittorakenne

Ari Kevarinmäki
Eurofins Expert Services Oy

Puu-betoniliittorakenteiden mitoitus

- Puu-betoniliittorakenteisiin ei ole yleistä suunnitteluohjetta => **Tapauskohtainen kelpoisuuden osoitus ellei ETAa tai Tyyppihyväksyntää**
- Eurokoodi 5 silta-osassa EN 1995-2 puu-betoniliittorakenteiden suunnitteluohjeita => pitkälti samoja voi periaatteita soveltaa talonrakennuksessa.
- Eurokoodi 5:n jatkokehityksessä on tekeillä uusi EC5 osa Puu-betoniliittorakenteiden mitoitukseen

- ETA-hyväksytyt puu-betoniliittorakenteet / liittoliittimet: tuotekohtaiset suunnitteluohjeet usein ETA:n luottamuksellisessa liitteessä, esim.:
 - ETA-13/0818 SEPA 2000 puu-betoniliittolaatta
 - ETA-13/0016 MiTek PCS connector wood-concrete composite slab
 - ETA 13/0699 SFS Intec VB ruuveilla yhdistetyt puu-betoniliittolaatat
- Suomessa myös puu-betoniliittorakenteiden tyyppihyväksyntä mahdollinen (ei voimassa olevia tyyppihyväksyntöjä). Tyyppihyväksynnässä tuotekohtainen suunnitteluohje.
- STEP 2 Puurakenteet kirjan luvussa E13 on esitetty Eurokoodin soveltaminen puu-betoniliittolaatan ja sen liittoliittimien mitoitukseen esimerkkilaskelmineen. Huom. viittaa kuitenkin EC5 esistandardiin ENV-1995.

- Tutkimusjulkaisuja (näiden lähdeluetteloissa kattavasti aihetta koskevia artikkeleita ja julkaisuja):
 - Lukaszewska , Elzbieta: Development of Prefabricated Timber-Concrete Composite Floors. Luleå University of Technology. Doctoral Thesis. 2009.
www.ltu.se/shb
 - Szabó, Bertalan: INFLUENCE OF SHEAR CONNECTORS ON THE ELASTIC BEHAVIOUR OF COMPOSITE GIRDERS. Doctoral Dissertation. Helsinki University of Technology Publications in Bridge Engineering. Teknillisen korkeakoulun sillanrakennustekniikan julkaisuja, TKK-SRT-36. Espoo 2006
 - Manaridis , Andreas: Evaluation of timber-concrete composite floors. Lund Universitet, 2010.
 - Dias, A.M.P.G: Mechanical behaviour of timber-concrete joints. Ph.D. thesis. University of Coimbra, Portugal.

- Eurokoodi 5, siltaosa EN 1995-2:
 - Osavarmuuslukujen suositusarvot:

3. Liittorakenteissa käytettävä teräs	$\gamma_{M,s} = 1,15$
4. Liittorakenteessa käytettävä betoni	$\gamma_{M,c} = 1,5$
5. Liittorakenteiden leikkausliittimet puun ja betonin välillä	
— normaalimitoitus	$\gamma_{M,v} = 1,25$
— väsymismitoitus	$\gamma_{M,v,fat} = 1,0$

5.2 Liittorakenteiset rakenneosat

(1)P Kansirakenteen liittovaikutuksen määrittämiseksi tulee liitoksen leikkausvoimasta syntyvä siirtymäero ottaa huomioon.

HUOM. Ks. kohtaa 8.2.

5.3 Puu-betoni -liittorakenteen osat

(1) Betoniosa suunnitellaan standardin EN 1992-2 mukaisesti.

(2) Teräsliittimet ja loviliitokset suunnitellaan siten, että ne siirtävät kaikki liittovaikutuksesta aiheutuvat voimat. Puun ja betonin välistä kitkaa ja tartuntaa ei oteta ilman erityisselvitystä huomioon.

(3) Puupalkki-betonikansi -liittorakenteiden betonilaatan toimiva leveys lasketaan kaavasta:

$$b_{ef,c} = b + b_{ef,1} + b_{ef,2} \quad (5.2)$$

missä:

b on puupalkin leveys

$b_{ef,1}$, $b_{ef,2}$ ovat betonilaippojen toimivat leveydet laskettuina kuten standardin EN 1992-1-1 kohdan 5.3.2.1 mukaisessa betonirakenteisessa T-poikkileikkauksessa.

(4)P Murtorajatilatarkastelussa tulee betonilaatan halkeilu ottaa huomioon.

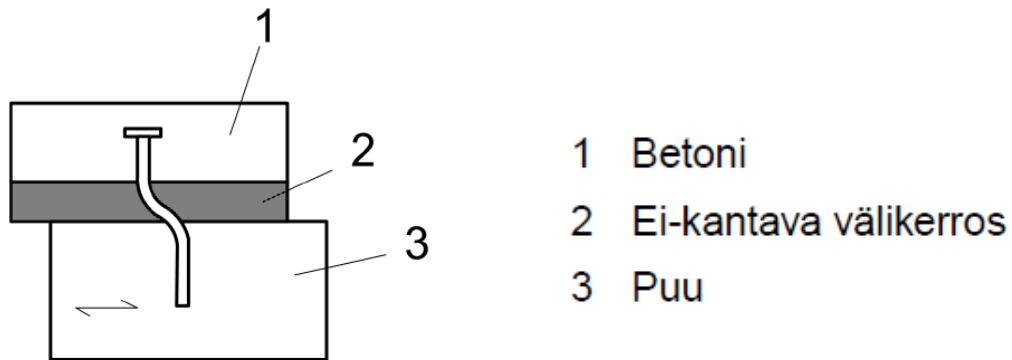
(5) Betonin vetojäykistysvaikutus voidaan ottaa huomioon. Betonipoikkileikkauksen halkeilleen osan jäykkyyden yksinkertaisena likiarvona voidaan käyttää 40 % halkeilemattoman betonin jäykkyydestä. Tämän seurauksena rakenteen analyysi johtaa pienempiin voimiin poikkileikkauksessa, minkä vuoksi huolehditaan riittävästä halkeilua tasoittavasta raudoituksesta.

8.2 Liittopalkkien puu-betoni -liitokset

8.2.1 Leikkauskuormitetut puikkomaiset liittimet

(1) Köysivaikutusta ei hyödynnetä.

(2) Jos puun ja betonin välillä on kuvan 8.1 tapainen ei-kantava välikerros (esim. muottilevy), liitoksen lujuus- ja jäykkyysparametrit määritetään erityisanalyysin tai laboratoriokokeiden avulla.



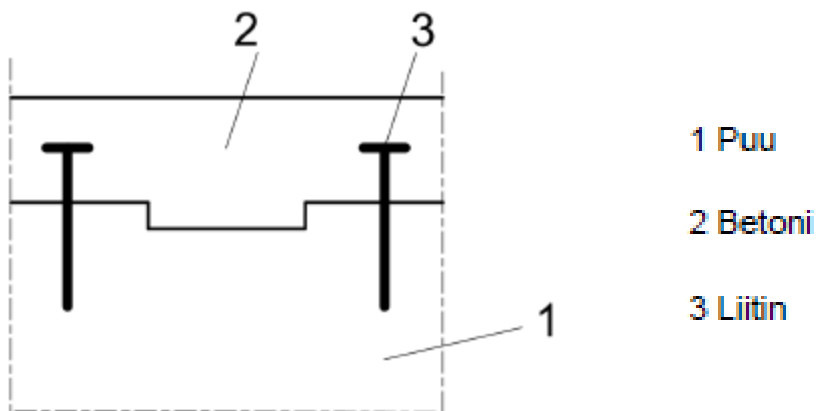
Kuva: SFS-EN 1995-2

8.2.2 Loviliitokset

- (1) Loviliitoksissa, ks. kuvaa 1.1, leikkausvoima siirretään loveen valetun betonin ja puun välisenä kosketuspaineena.
- (2) Liitoksen betoni- ja puuosan lujuus tarkistetaan.
- (3) P Betoni- ja puuosien pysyminen yhdessä tulee varmistaa.
- (4) Liitos mitoitetaan seuraavalle puu- ja betoniosien väliselle vetovoimalle:

$$F_{t,Ed} = 0,1 F_{v,Ed} \quad (8.1)$$

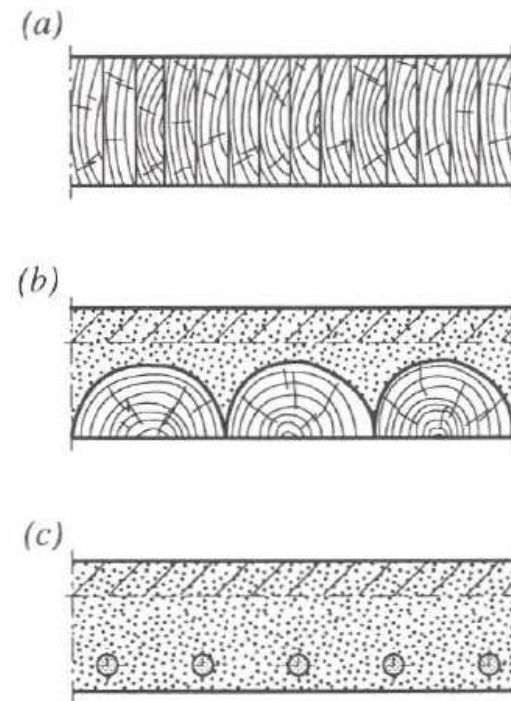
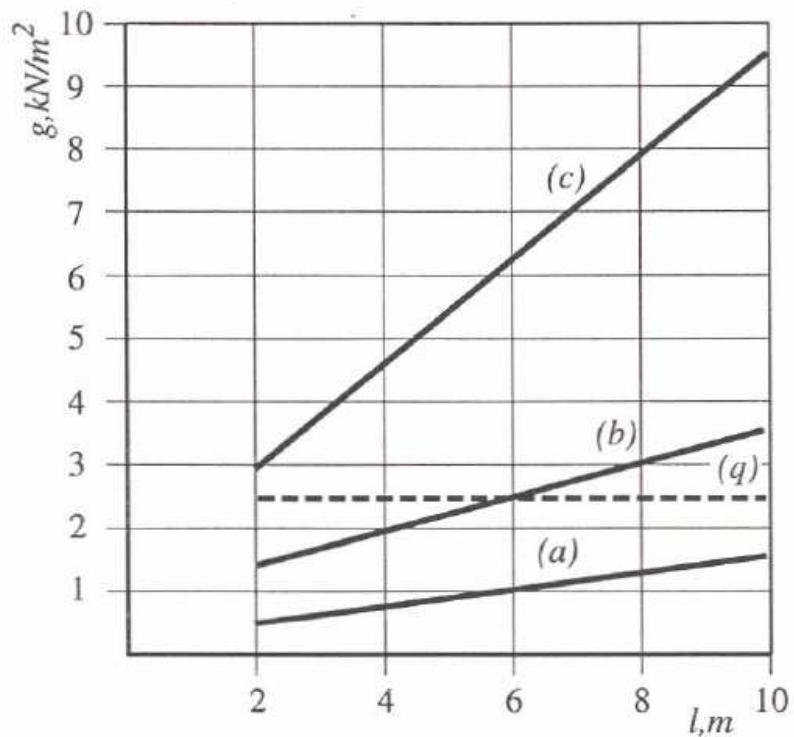
missä: $F_{v,Ed}$ on puun ja betonin välisen leikkausvoiman mitoitusarvo.



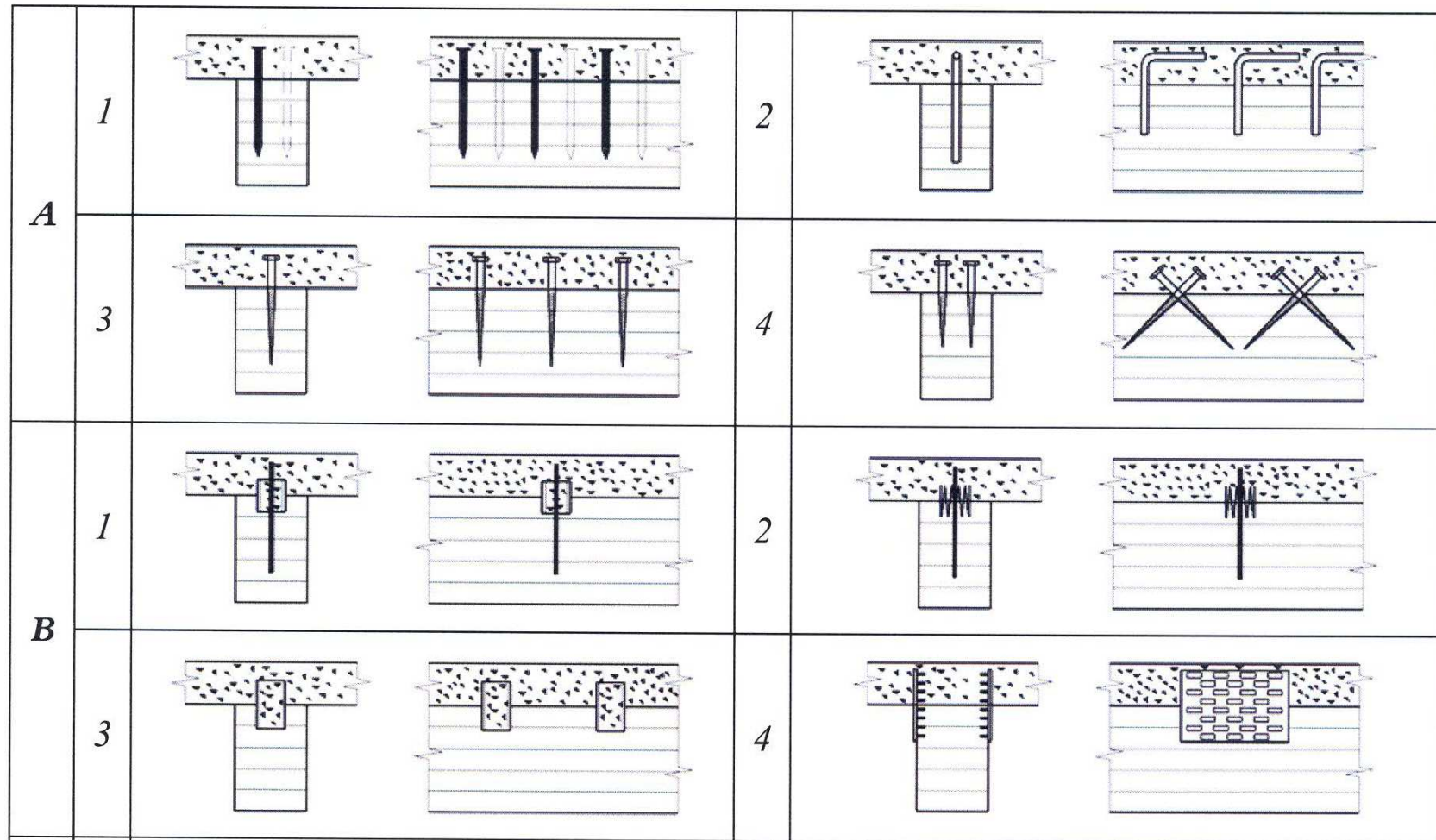
Kuva: SFS-EN 1995-2

Puu-betoniliittorakennevälipohja

- tehty 1940-luvulta saakka (USA)
- puristus betonille – veto puulle
- hyvä jäykkyys/paino suhde

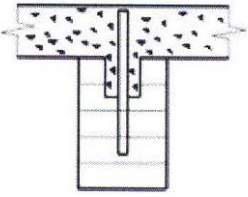
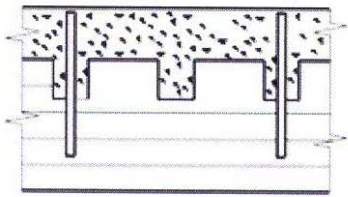
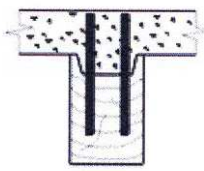
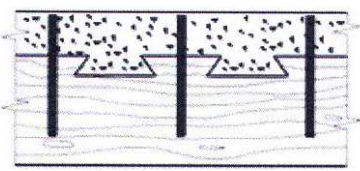
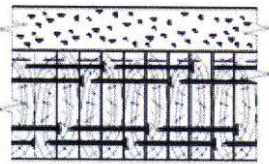
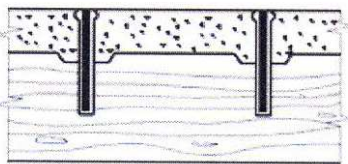
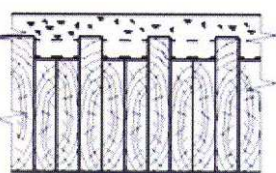
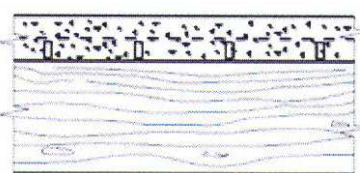
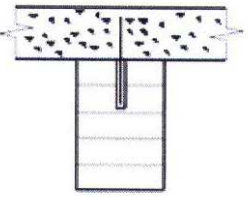
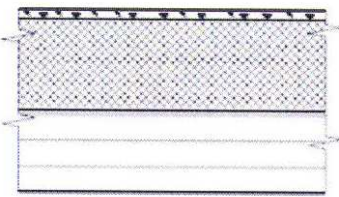
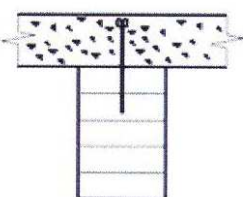
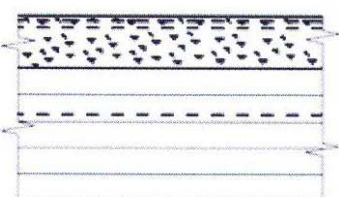


Kuva: A. Ceccotti, STEP 2



Examples of timber-concrete connections with: nails (A1); glued reinforced concrete steel bars (A2); screws (A3); inclined screws (A4); split rings (B1); toothed plates (B2); steel tubes (B3); steel punched metal plates (B4).

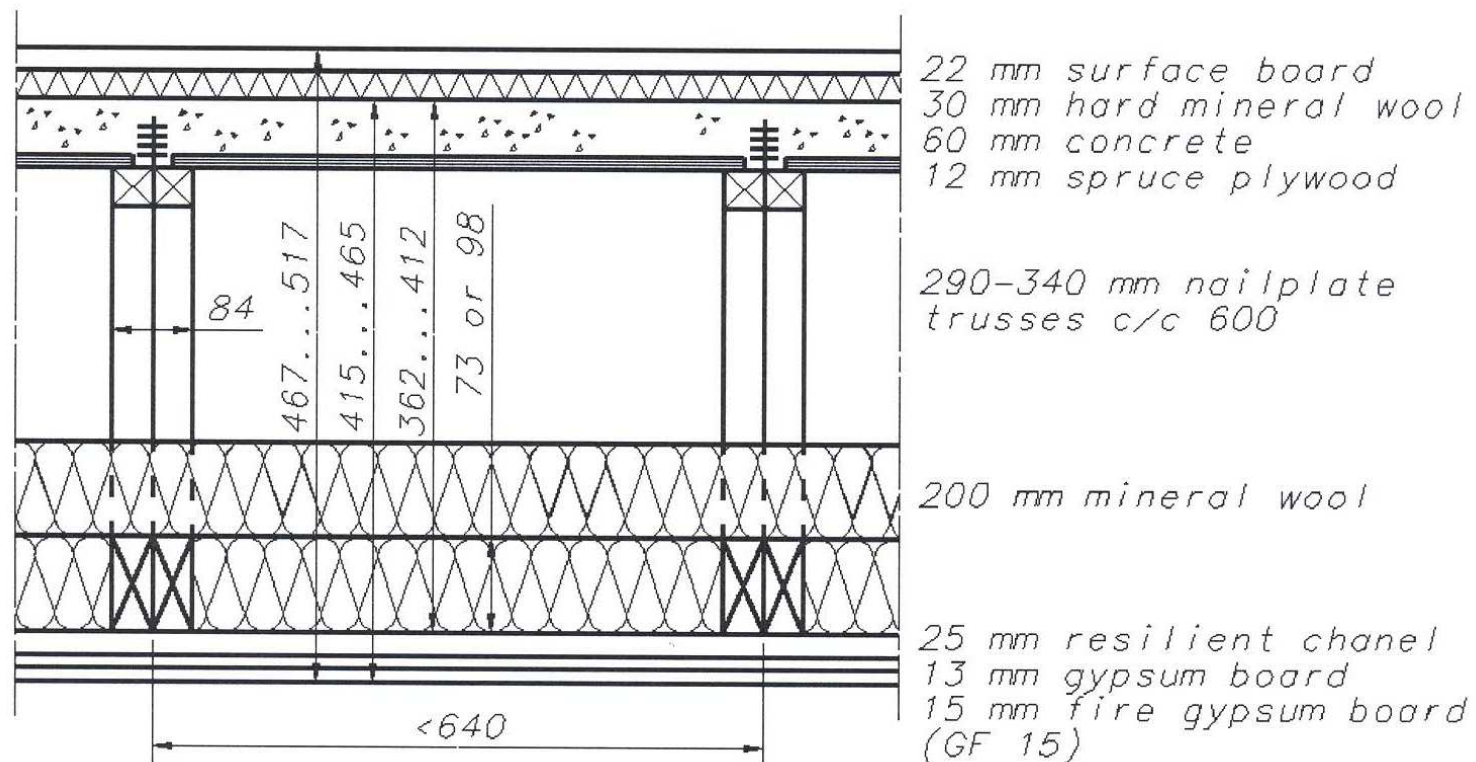
Kuva: E. Lukaszewska, 2009

C	1			2		
	3			4		
D	1			2		

round indentations in timber, with fasteners preventing uplift (C1); square indentations, ditto (C2); cup indentations and prestressed steel bars (C3), nailed timber planks deck and steel shear plates slotted through the deeper planks (C4), steel lattice glued to timber (D1); and steel plate glued to timber (D2).

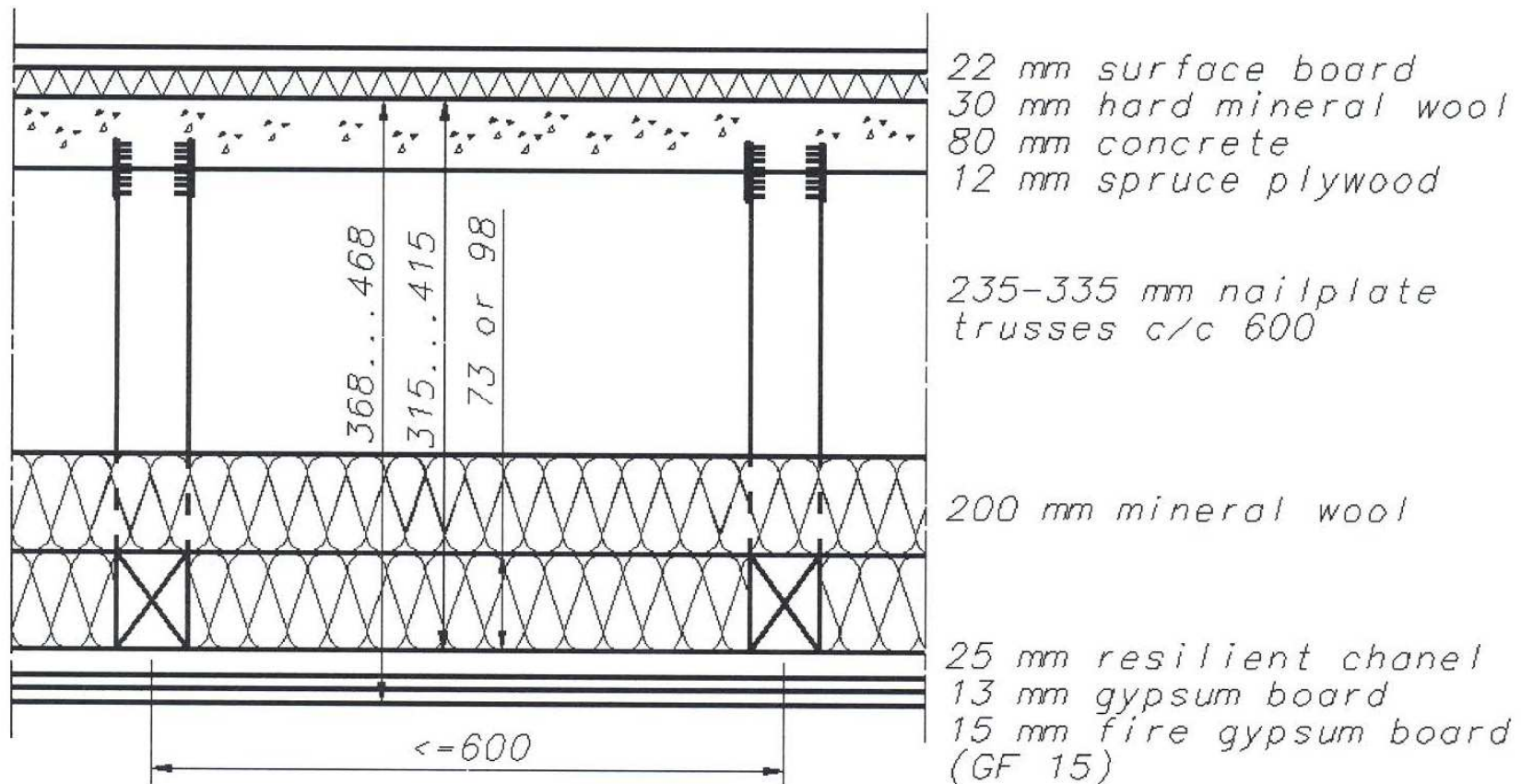
Kuva: E. Lukaszewska, 2009

- SEPA 2000 Puu-betoniliittolaatta
 - Paikallavalulattia kerrostaloihin
(uiva lattia ei välttämätön)



- Elementtilattia kerrostaloihin

(uivaa lattiaa ei yleensä käytetä, sileä pinta, sis. lattialämmityspotket)

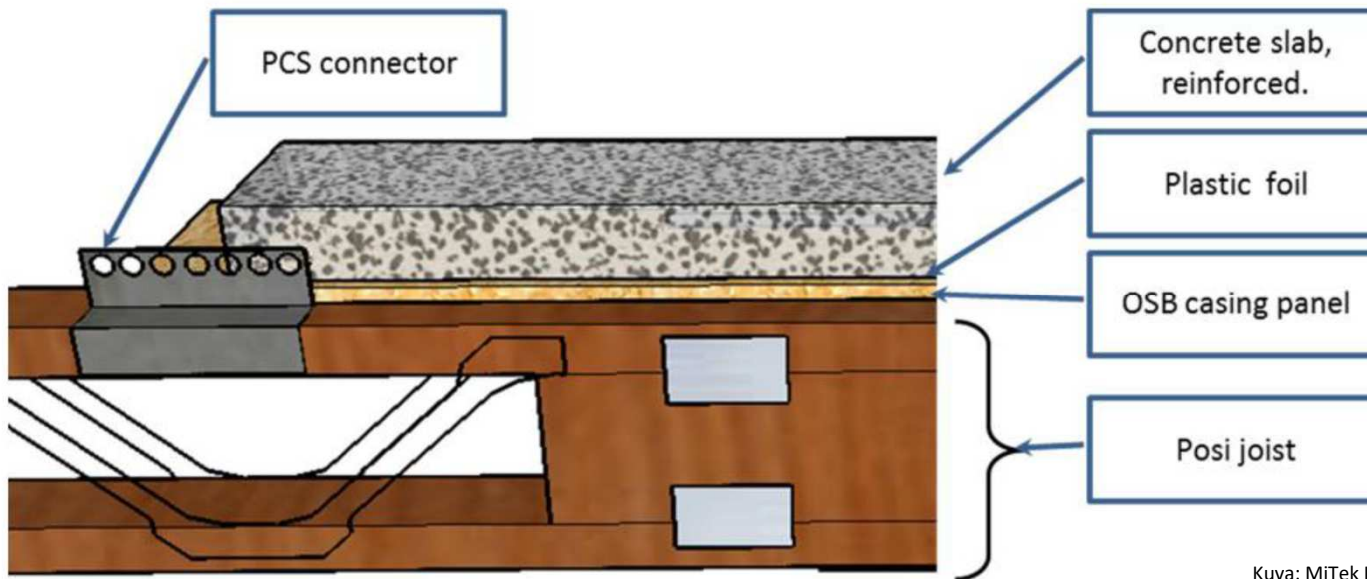


Kuva: E. Lukaszewska, 2009

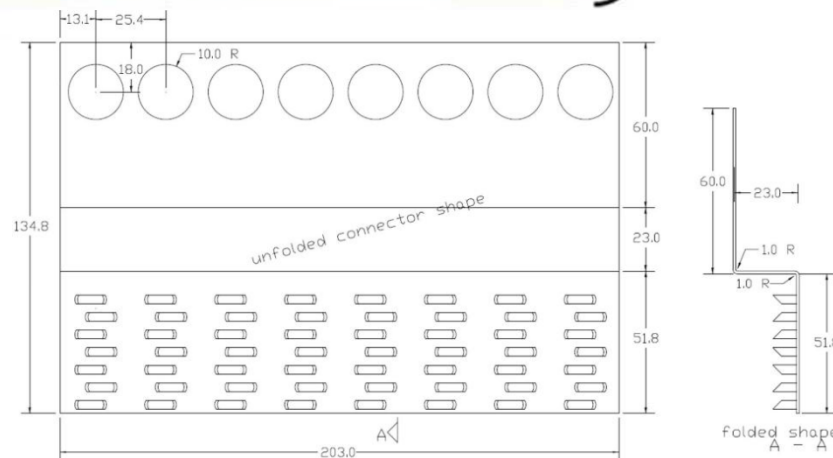
SEPA 2000

- Testattu puu-betoniliittoliittimet, välipohjan kantavuus, taipuma, viruma, värähtely, palonkestävyys, askel- ja ilmanääneneristävyys
=> tyyppiratkaisut puukerrostaloihin $\leq 7,2$ m jännevälit
- Naulalevyllä suuri jäykkyys => hyvä liittovaikutus
- Ristikkovalmistaja mitoittaa tähän hyväksytyllä ohjelmalla – suunnittelu kuuluu tuotteen CE-merkintään (ulkoinen valvonta)

- MiTek PCS puu-betonivälipohja

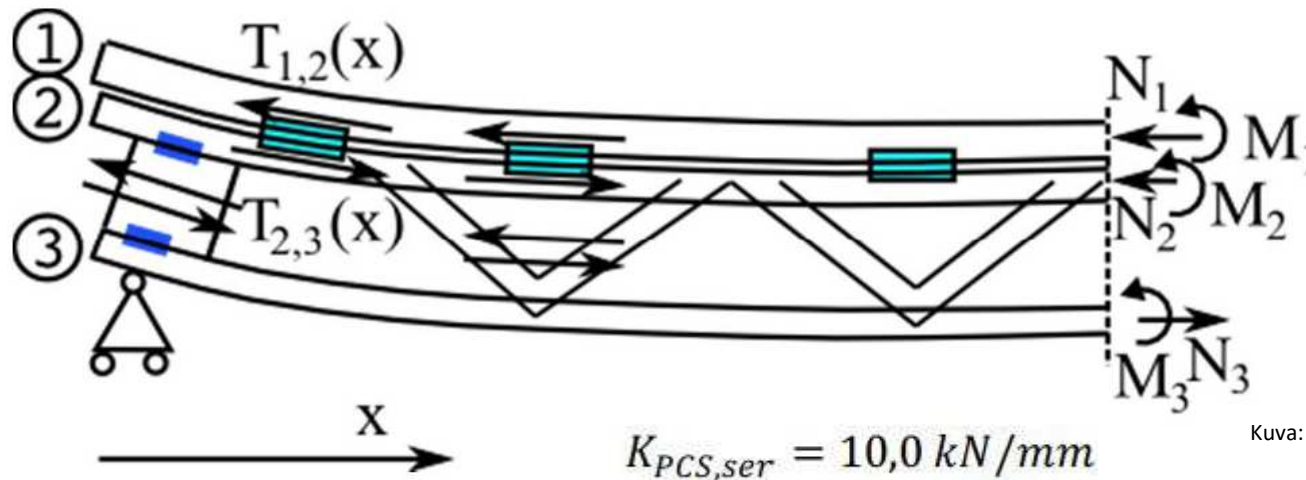


Kuva: MiTek Industries Ltd



Kuva: MiTek Industries Ltd

STATIC MODEL OF PCS

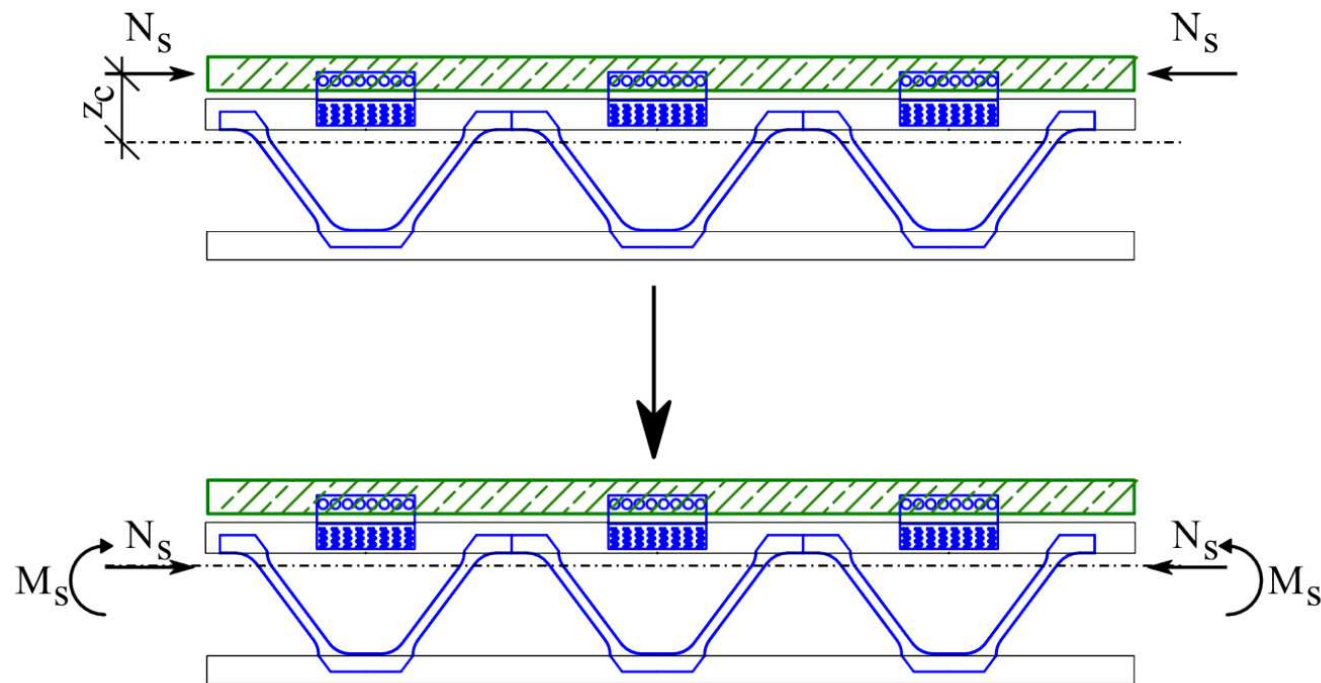


Kuva: MiTek Industries Ltd

Creep of timber	$E_{T,t=\infty} = \frac{1}{1 + \psi_{T,V} \cdot \phi_{T,\infty}} \cdot E_{T,t=0}$	$\psi_{T,V} = 0,96;$ $\phi_{T,V} = k_{def,EC5}$
Creep of concrete	$E_{C,t=\infty} = \frac{1}{1 + \psi_{C,V} \cdot \phi_{C,\infty}} \cdot E_{C,t=0}$	$\psi_{C,V} = 1,37;$ $\phi_{C,V} = \phi_{70,EC2}$
Creep of PCS, PosiJoists	$K_{ser,\infty} = \frac{K_{ser}}{1 + k_{def}}$	$k_{def} = k_{def,EC5}$
Shrinking of concrete	$\epsilon_{eff} = k_{s,res,\infty} \cdot \epsilon_s$	$k_{s,res,\infty} = 0,59$ $\epsilon_s = \epsilon_{cs,70,EC2}$

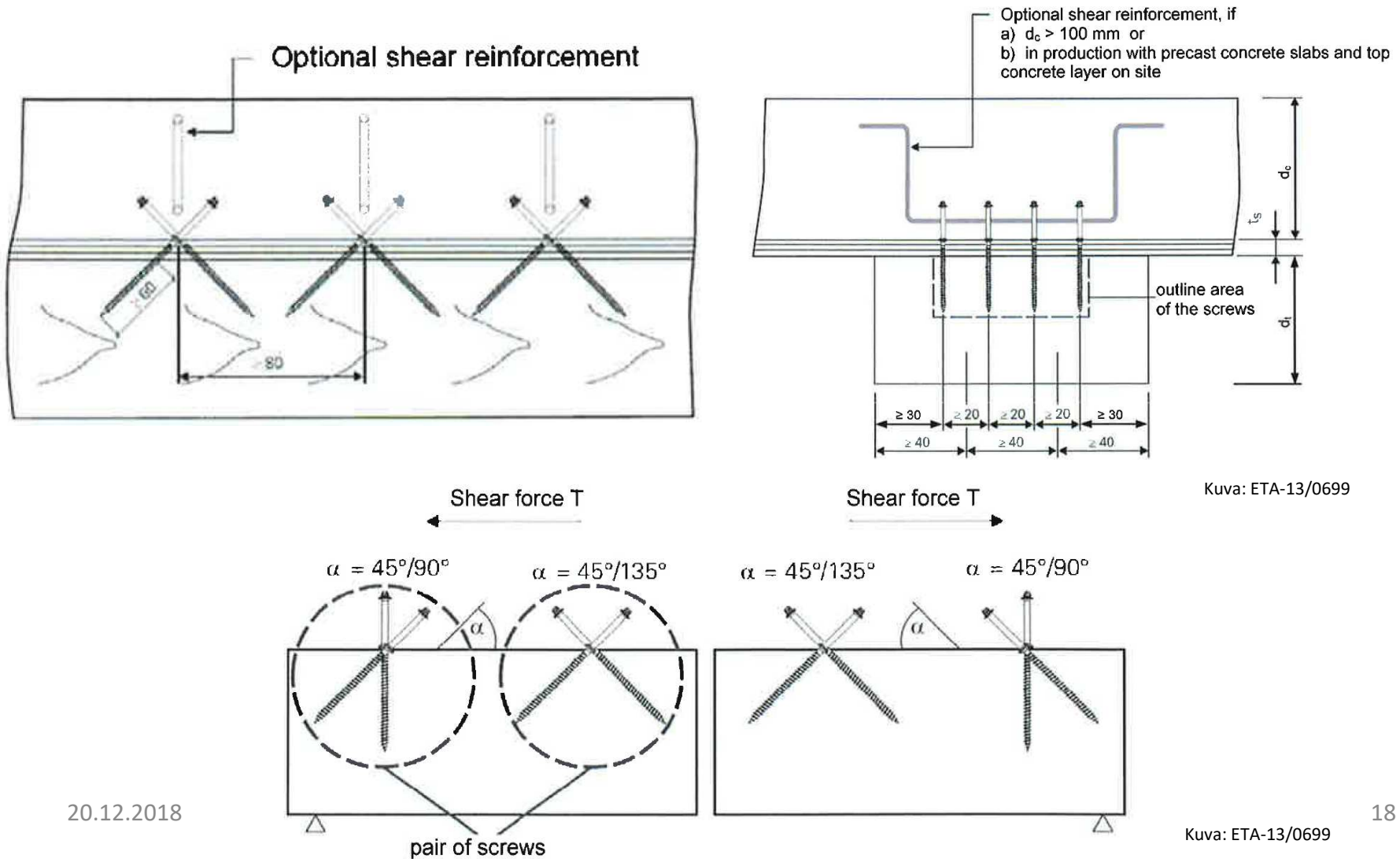
Betonin kutistuman huomioiminen lopputilan voimasuureissa

$N_s = \pm \varepsilon_{ef} \cdot E_{cm, \infty} \cdot A_c$ with the area of concrete A_c . As the shrinkage is inhibited by the joints with PosiJoists a moment result of $M_s = N_s \cdot z_c$ with z_c the distance midpoint of concrete slab to neutral axis of the composite structure.



Kuva: MiTek Industries Ltd

- SFS Intec VB puu-betoniliittolaatta



Kuva: ETA-13/0699

Kuva: ETA-13/0699

Table 2.1 – Values of k_{def} for timber, concrete and SFS VB screws

Material	Service class	
	1	2
Solid timber, EN 14081-1	0.6	2.0
Glued Laminated timber, EN 14080	0.6	2.0
LVL, EN 14374	0.6	2.0
Cross laminated timber, ETA	0.8	2.0
Concrete, EN 206-1	2.5	2.5
SFS VB screw connection	0.6	4.0

Table 2.2 – Values of K_{ser} for timber-concrete joints with SFS VB screws

SFS VB screw orientation α in °	K_{ser} in N/mm
$\pm 45^\circ$	$240 \cdot l_{ef}$
$45^\circ/90^\circ$	$100 \cdot l_{ef}$

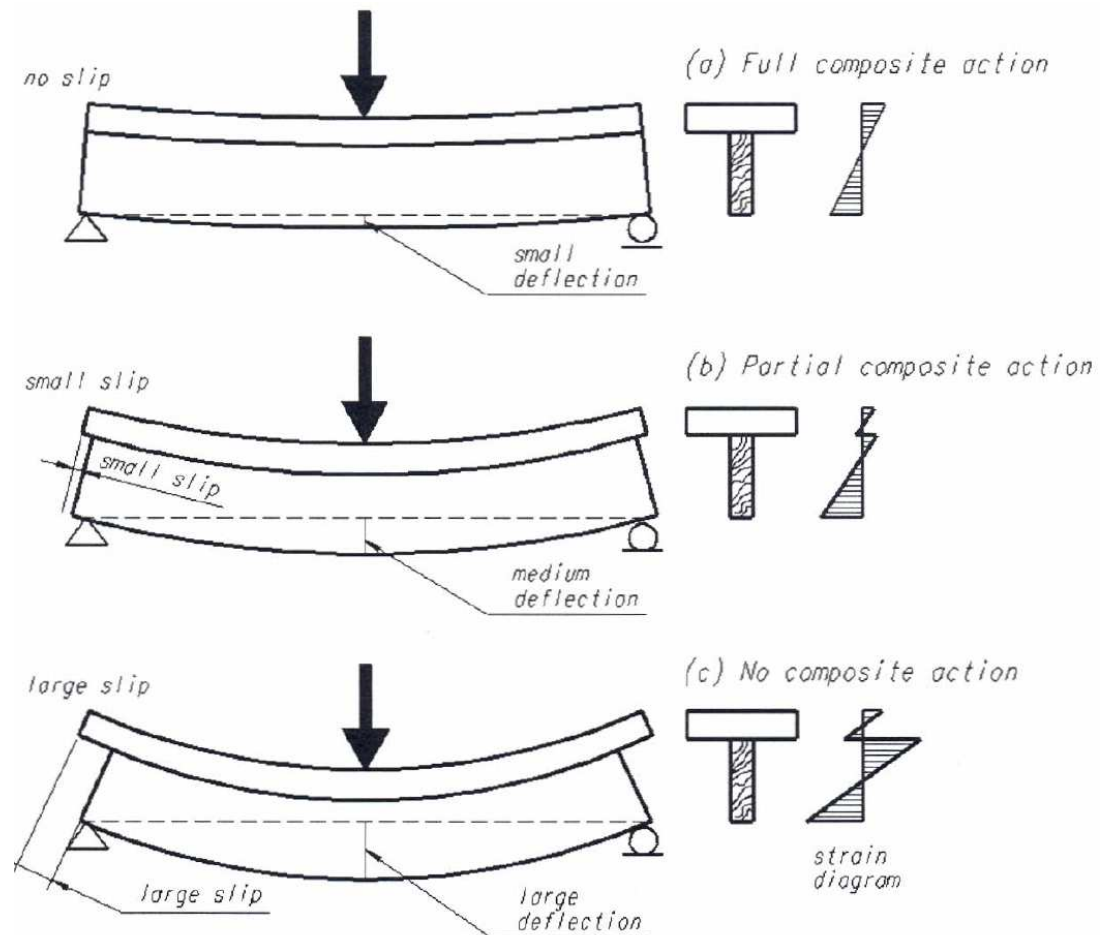
Kutistuman vaikutukseen ei ohjeita – huomioidaan korotetulla betonin virumaluvulla

Mitoitusperiaatteet:

- Poikkileikkaus tarkastellaan **EC5 mekaanisesti yhdistettyjen palkkien teorialla**, joustavat liittimet

Ks. esimerkkilaskelma: Puu-betoniliittolaatta

- Leikkausliittimelle puu-betoniliitoksessa testattua siirtymäkerrointa ja lujuutta



Kuva: E. Lukaszewska, 2009

MRT-mitoitus:

1. Valutilanne kokonaan puuosalle => vaadittava tukiväli
2. Jännitykset alkutilanteessa materiaalien keskimääräisillä kimmomoduuleilla ja liitoksen MRT siirtymäkertoimella
 $K_u = 2/3 K_{ser}$
3. Jännitykset lopputilanteessa materiaalien lopputilanteen kimmomoduuleilla ja liitoksen siirtymäkertoimella

$$E_{fin} = \frac{E_{mean}}{(1+\psi_2 k_{def})} \qquad K_{u,fin} = \frac{K_u}{(1+\psi_2 k_{def,liitin})}$$

ψ_2 yhdistelykerroin määräävimmälle kuormalle

a) hyötykuormayhdistelyssä yleensä $\psi_2 = 0,3$

b) oman painon yhdistelmässä ($1,35g_k$) $\psi_2 = 1,0$

$k_{def,liitin}$?? Siirtymäosuuksilla painotettu virumaluku
 + mekanosorptio korotus vaihtelevassa kosteudessa

KRT-mitoitus:

1. Hetkellinen taipuma alkutilanteessa materiaalien keskimääräisillä kimmomoduuleilla ja liitoksen siirtymäkertoimella K_{ser} .

Tästä tehollinen jäykkyys myös värähtelytarkasteluun

2. Lopputaipuma materiaalien lopputilanteen keskimääräisillä kimmomoduuleilla ja liitoksen siirtymäkertoimella

$$E_{fin} = \frac{E_{mean}}{(1+k_{def})} \qquad K_{ser,fin} = \frac{K_{ser}}{(1+k_{def,liitin})}$$

=> Kaikkiaan 5 erilaista poikkileikkauksen tehollista jäykkyyttä + iterointia jos betonissa halkeilua aiheuttavaa vetoa (=> redusoidaan betonilaatan korkeutta)

- Betonin kutistuman huomioiminen
 - Vaikutus riippuu olosuhteista:
 - Puun kosteus valutilanteessa: puun kuivumiskutistuminen kompensoi betonin kutistumaa (pituussuuntaan 0,01 ‰ /paino-% muutos)
 - Ilman kosteus käyttöolosuhteissa:
 - esim. betonilaatan paksuus 50 mm (Eurokoodi 2):
 - RH50 : $\epsilon_{cs} = 0,57 \text{ ‰}$
 - RH80 : $\epsilon_{cs} = 0,32 \text{ ‰}$
 - Betonin kutistuma huomioitava ainakin rossipohjassa, jossa puu pysyy kosteana
 - Yläpohjassa, jossa betoni kylmällä puolella, vaikutus vähäisin
 - Välipohjassa voidaan huomioida korotetuilla betonin virumakertoimilla

- Kutistuman vaikutus:
 - MRT:n lopputilanteen jännityksissä lisäkuormituksena: puristus $N_{s,d}$ ja momentti $M_{s,d}$ (ks. sivu 17). (*pysyvän kuorman osavarmuusluvulla ?*)
 - KRT lopputaipumassa laskemalla kutistuman ε_{cs} aiheuttamasta vakiomomentista $M_{s,k}$ johtuva lisätaipuma (tehollinen jäykkyys KRT-lopputilan arvoilla)

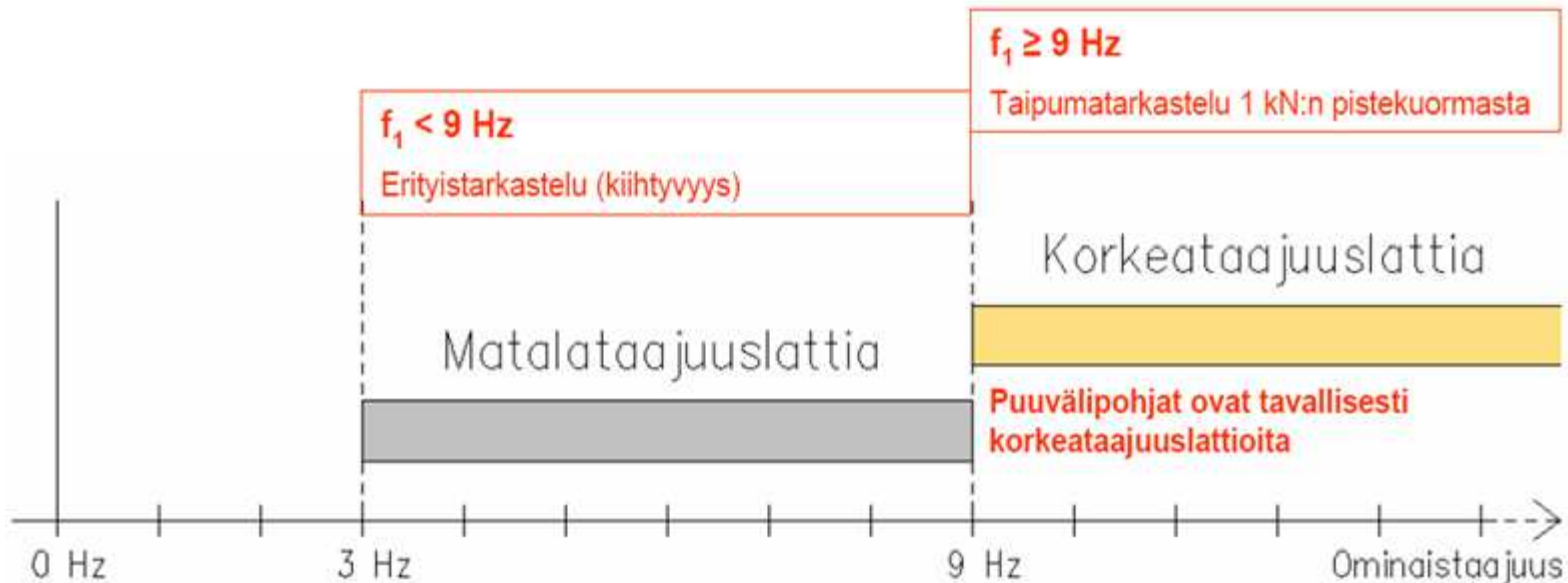
Puu-betoniliittolaatan värähtely

- **Pistekuormataipuma** 0,5 mm / 1 kN ei tule koskaan mitoittavaksi – betonilaatta antaa välipohjalle suuren poikittaisjäykkyyden: jakaa pistekuorman useille palkeille

$$\delta = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{F \cdot \ell^2}{42 \cdot k_{\delta} \cdot (EI)_{\ell}} \\ \frac{F \cdot \ell^3}{48 \cdot s \cdot (EI)_{\ell}} \end{array} \right. \quad k_{\delta} = \frac{(EI)_{\text{B}}}{(EI)_{\ell}}$$

- **≥ 9 Hz ominaistaajuus** haastava kriteeri suuren massan vuoksi
- Kannattaa tukea **4 reunalta**, jos vain mahdollista => vaikuttaa oleellisesti laskennalliseen ominaistaajuuteen
- **Matalataajuuslattia** voi tulla myös kyseeseen puu-betoniliittorakenteen suuren jäykkyyden vuoksi (ei onnistu lattioilla, joissa betoni vain kelluvana massana)

Alin ominaistaaajuus (f_1)



Yhteen suuntaan kantava rakenne

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot \ell^2} \cdot \sqrt{\frac{(EI)_\ell}{m}}$$

Kahteen suuntaan kantava rakenne

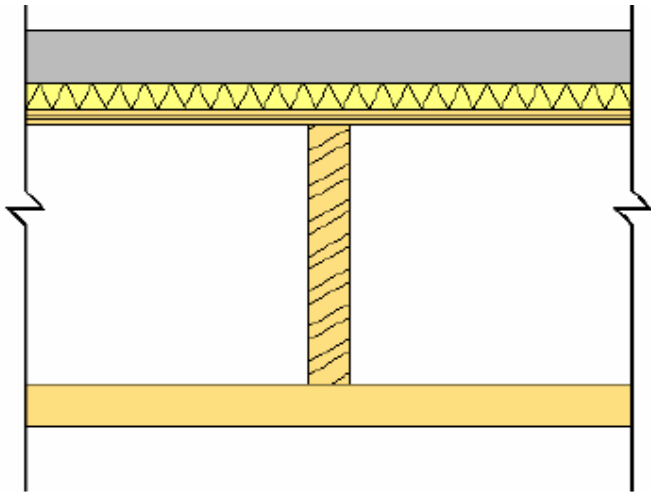
$$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot \ell^2} \cdot \sqrt{\frac{(EI)_\ell}{m} \left[1 + 2 \cdot \left(\frac{\ell}{b} \right)^2 + \left(\frac{\ell}{b} \right)^4 \right] \frac{(EI)_B}{(EI)_\ell}}$$

$$m = g_k + 30 \text{ kg/m}^2 \quad (30 \text{ kg/m}^2 \text{ on osuus hyötykuormasta})$$

Kuva: Tero Lahtela

Taivutusjäykkyyden laskennassa saa hyödyntää välipohjan koolauksia ja levytyksiä sekä mahdollisen betonirakenteisen pintalaatan vaikutuksen.

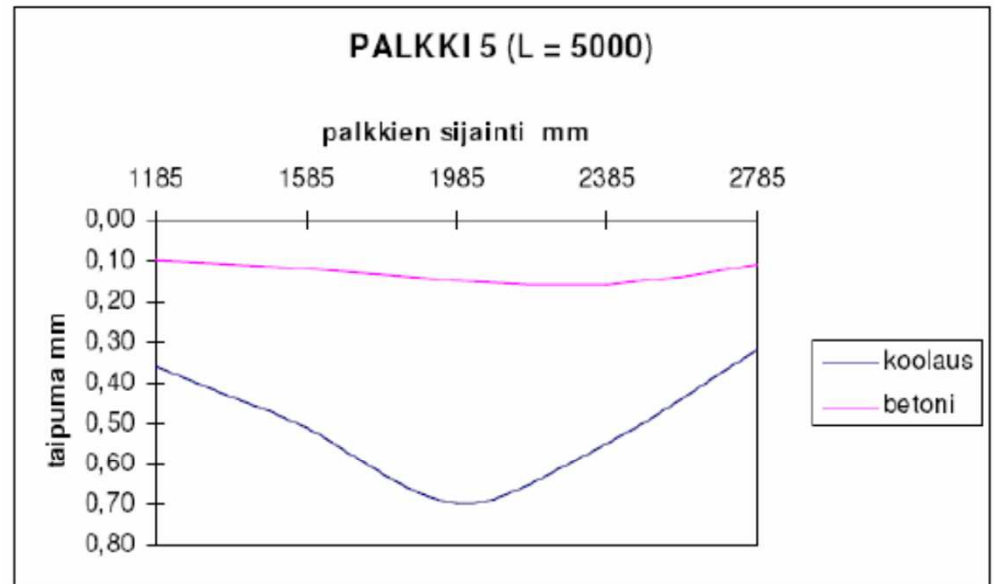
Koelattia 48x220 k400 **L5000**, betoni 60 mm



Kuva: Tero Lahtela

Ominaisuuks:

- mitattu 10,7 Hz
- laskettu 10,0 Hz
(kahteen suuntaan kantava laatta)



Kuva: Tero Lahtela

	Palkki 3	Palkki 4	Palkki 5	Palkki 6	Palkki 7
	1185	1585	1985	2385	2785
koolaus	0,36	0,51	0,70	0,55	0,32
betoni	0,10	0,12	0,15	0,16	0,11



- **Matalataajuuslattian mitoitus ($3 \text{ Hz} < f_1 < 9 \text{ Hz}$):**

- Eritystarkastelu VTT Tiedotteita 2124 mukaan.
Sama menetelmä TRY:n normikortissa teräsvälipohjille ($f_1 < 10 \text{ Hz}$)
- Kiihtyvyyssamplitudi:

$$a = \frac{0,58 P}{W \xi} e^{-0,35 f_1} \leq 0,075 \text{ m/s}^2$$

$P = 800 \text{ N}$ henkilön paino

$\xi = 0,03$ vaimennussuhde

$W = 2mk_{\delta}l^2 \leq \frac{2}{3}mbl$ värähtelevän lattian tehollinen massa

Esimerkkilaskelma

Puu-betoniliittolaatta