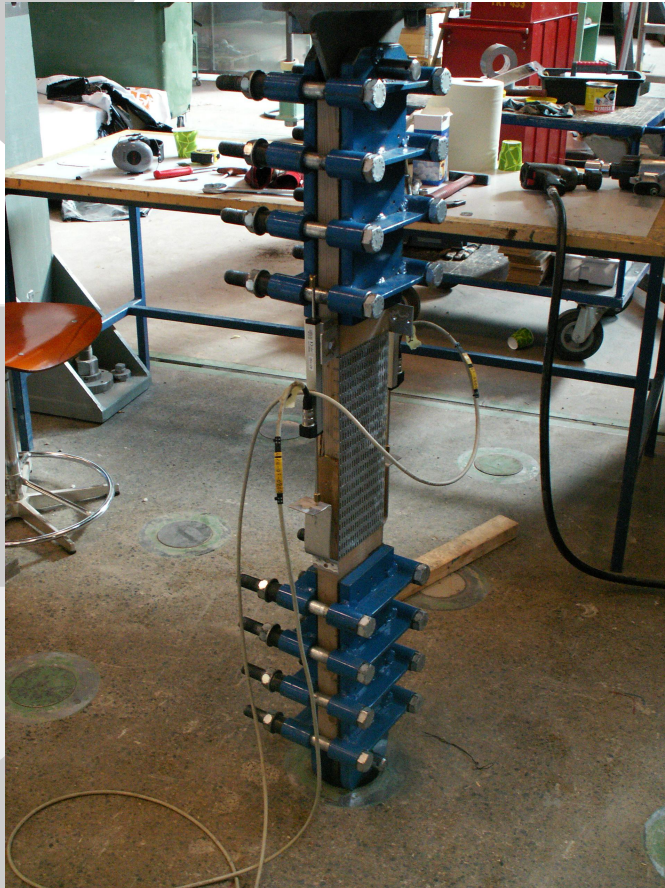




TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
Rakennustekniikan laitos, Rakennetekniikka



TRT/1867/T/2010
NAULALEVYLIITOSTEN VETOKOKEET
ONNETTOMUUSTUTKINTAKESKUS

Jukka Rantala Ralf Lindberg

28.5.2010



Tutkimusselostus TRT/1867/T/2010

Naulalevyliitosten vetokokeet

Asiakas: **Onnettomuustutkintakeskus**
Kai valonen

Tekijät:

Professori Ralf Lindberg, TkT
Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennetekniikka
PL 600, 33101 Tampere

Vanhempi tutkija Jukka Rantala, TkT
Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennetekniikka
PL 600, 33101 Tampere



Naulalevyliitosten vetokokeet

1 Yleistä	4
2 Koekappaleet	4
3 Koejärjestelyt ja kokeiden suoritus	6
4 Kokeiden tulokset	8
5 Testattujen naulalevyliitosten vetokapasiteetti ja naulalevyjen ankkurointikapasiteetti	12
Referenssit	13
Liitteet	13



1 Yleistä

Tämän tutkimuksen tilaajan toimi Onnettomuustutkintakeskus (Sörnäisten rantatie 33C, Helsinki, myöh. Tilaaja) yhteyshenkilönä Kai Valonen. Tutkimuksen suorittaja oli Tampereen teknillinen yliopisto, jota edusti Rakennustekniikan laitos. Tutkimuksen vastaavan tutkijan toimi TkT Jukka Rantala ja projektin vastaavana johtaja prof. Ralf Lindberg. Tutkimus suoritettiin TTY:n Rakennushallissa 24.5. – 27.5.2010 välisenä aikana vastaavan tutkijan ja Rakennushallin henkilökunnan toimesta.

Tässä tutkimuksessa testattiin naulalevyristikon alapaarteiden naulalevyliitosten vetokestävyyttä. Koestuksessa käytetyt vetokoekappaleet valmistettiin Tilaajan toimittamista aihioista, jotka olivat noin 2 metriä pitkiä vanhoista naulalevyristikoista leikattuja alapaarteiden kappaleita. Kaikissa aihioissa oli silmämääräisesti ehjä naulalevyjatkos aihion keskellä.

2 Koekappaleet

Koekappale aihioista leikattiin yhteensä viisi (5) kuvan 2.1 mukaista vetokoekappaletta aksiaalista paarteiden syiden suuntaan tapahtuvaa vetokuormista varten ($\alpha, \beta = 0^\circ$). Naulalevyliitos jätettiin koekappaleen keskelle, ja levyn kummallekin puolelle jäi noin 50 mm vapaata paarteiden osaa ennen vetolaitteen kiinnitysleukoja. Koekappaleet yksilöitiin ja nimettiin (L1...L5). Kaikki koekappaleet kuvattiin ja mitattiin naulalevyjen päistä millimerin sadasosan tarkkuudella ennen kokeiden suoritusta. Samalla mitattiin naulalevyjen leveys ja levyn piikkien lukumäärä liitoksen kummassakin paarteiden osassa. Mittaustulokset on esitetty Taulukossa 2.1. Parre A oli vedettäessä liitoksen yläosassa ja parre B alaosassa.

Taulukko 2.1 Koekappaleiden (L1...L5) mitatut dimensiot naulalevyliitosten ylä- (A) ja alapuolelta (B).

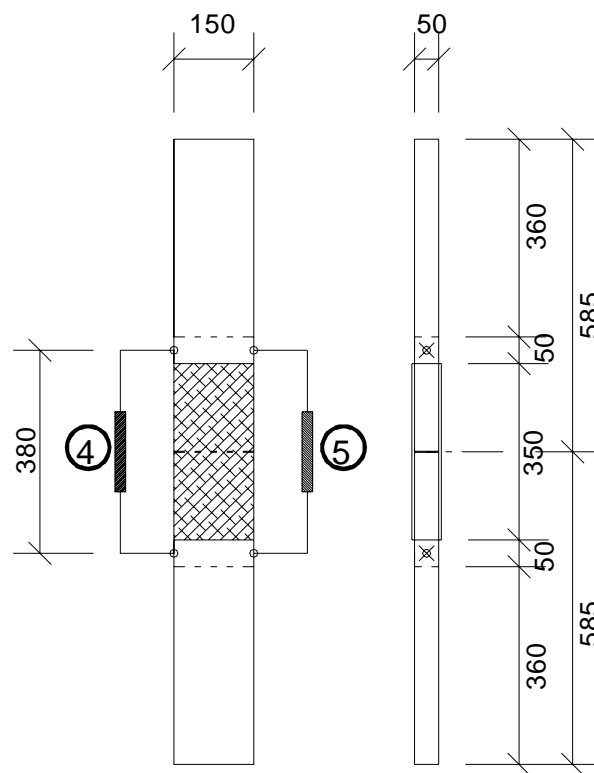
Koekappale	Parre A			Parre B		
	B (mm)	d_1 (mm)	d_2 (mm)	B (mm)	d_1 (mm)	d_2 (mm)
L1	147,60	43,23	41,79	147,95	40,32	43,83
L2	147,80	41,97	42,54	149,61	41,89	42,55
L3	147,36	41,73	40,65	146,82	42,08	42,77
L4	147,54	42,12	43,14	147,08	41,54	42,70
L5	147,63	41,93	42,48	147,48	42,78	41,94

Naulalevyjen kokonaispituus oli noin 350 mm (175 mm + 175 mm), ja kaikissa koekappaleissa kumpaankin paarteiden osaan osui vähintään 18×10 kpl = 180 kpl



piikkejä. Yksittäisen piikin tunkeuma paarteeseen oli noin 12,5 ... 13 mm (mitattu satunnaisesti kokeiden jälkeen).

Naulalevyn kokonaismitat olivat $L \times B = 150 \text{ mm} \times 365 \text{ mm}$ levyn paksuuden ollessa 1,3... 1.4 mm (mittaukset kokeiden jälkeen). Levyn tehokas vetopinta-ala liitoskohdassa (perforoinnin osuus vähennettynä levyn ulkomitoista) oli noin $A_t = 121,5 \text{ mm}^2$. Tämä vastaa liitoksen vetolujuutta $F_{max,levy} = 2 \times (f_y \times A_t) = 2 \times (420 \text{ N/mm}^2 \times 121,5 \text{ mm}^2) \approx 102 \text{ kN}$. Pararepuiden nimelliset vetolujuus (C24, oletus) on $F_{max,paarre} = A_{t,puu} \times f_{t,0,k} = (150 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}) \times 14 \text{ N/mm}^2 \approx 105 \text{ kN}$.



Kuva 2.1 Vetokoelempaleiden nimellimitat ($150 \text{ mm} \times 1170 \text{ mm}$) ja naulalevyn keskeinen sijainti jatkoksen suhteen. Siirtymäanturit 4 ja 5 mittasivat liitoksen liukumaa koko jatkoksen pituuden matkalla.

Kaikkien koekappaleiden paarteiden välissä oli kokeen alkaessa noin 1 mm rako.



3 Koejärjestelyt ja kokeiden suoritus

Kokeet suoritettiin standardin SFS-EN 1075 (1999) mukaisina naulalevyliitoksen aksiaalisina vetokapasiteettikokeina viidelle (5) yksittäiselle koekappaleelle (kts. kappale 2).

Koekappaleiden päät kiinnitettiin vetolaitteeseen puristusleukojen avulla, joiden puristusala oli noin $A_{pur} = 0,053 \text{ m}^2$ ($0,15 \text{ m} \times 0,35 \text{ m}$). Leukojen sisäpintoihin oli liimattu 5 mm neopreenikumi, jonka pinta oli karhennettu karkeapintaisella tartuntateipillä. Lisäksi leukakappaleisiin kiinnitettiin noin $h = 10 \text{ mm}$ korkeat piikit ($\varnothing 6 \text{ mm} \times 18 \text{ kpl/leuka}$), jotka puristuivat koekappaleen sisään leukoja kiristettäessä (kuva 3.1).

Leuat kiristettiin naulalevyn päähän kahdeksalla M24 pultin avulla. Puristusleukojen ja naulalevyn pään väliin jäi noin $h = 50 \text{ mm}$ vapaata paarteen osaa (kuva 3.1).



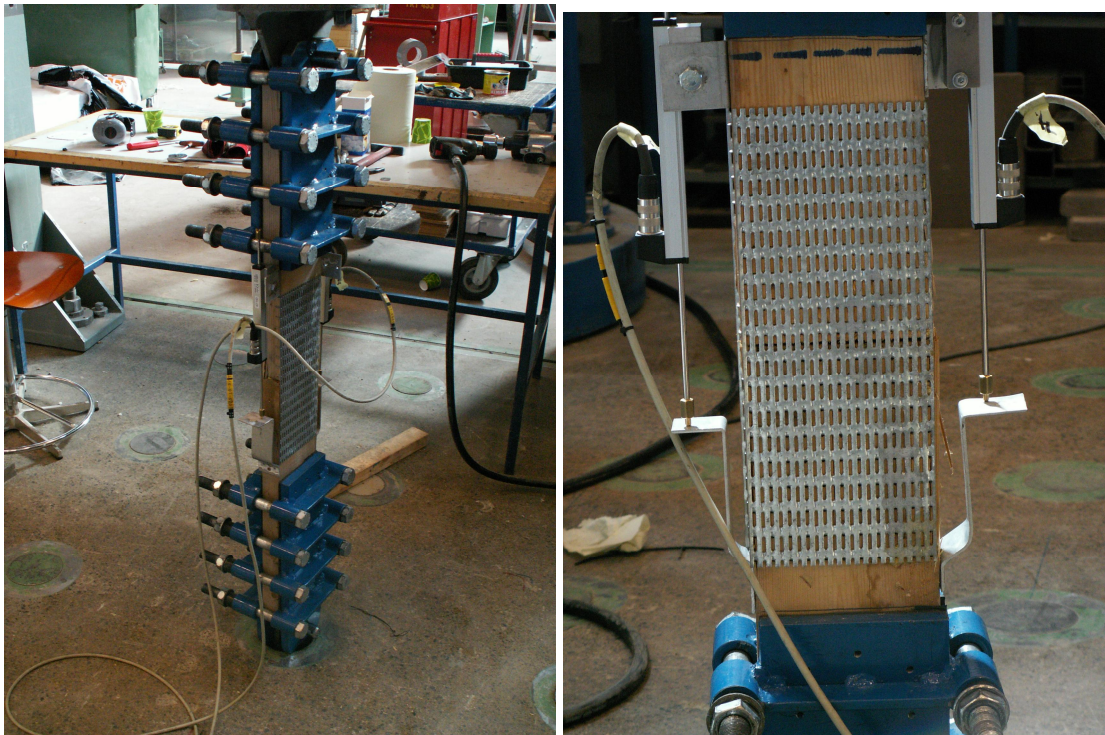
Kuva 3.1 Vetolaitteen kiinnitysleukojen karhennus ja tartuntapiikit, sekä leukojen kiinnitys koekappaleeseen 8 M24 pultin avulla.

Käytetyssä laitteistossa kappaletta vedettiin ylöspäin tasaisella $\Delta s = 0,02 \text{ mm/s}$ nopeudella, kunnes liitoksen vetokapasiteetti petti. Vedossa käytettiin $F_{max} = 250 \text{ kN}$ hydraulitunkkia, joka oli kiinnitetty kappaleen yläpuolelle järeään kuormituskehään. Koekappaleen alapään puristusleuat kiinnitettiin Rakennuslaboratorion voimalattiaan. Koekappaleen molemmissa päissä kiinnitysleukojen yläpäässä oli nivel (kuva 3.2).



Kokeen kuluessa mitattiin tuotettu vetovoima (F [kN]), ja liitoksen liukumaa (Δs [mm]).

Koekappaleen kylkiin kiinnitettiin kaksi mittakelloa (siirtymäanturit 4 ja 5, kuva 2.1), joilla mitattiin liitoksen liukumaa liitoksen kummaltakin sivulta. Kellot ulottuivat koko naulalevyliitoksen yli ja niiden pistemäiset kiinnityspisteet olivat naulalevyn kiinnityspinnan ja puristusleukojen välissä paarteen sivuilla. Mittausvälin kokonaispituus oli noin 380 mm (kuvat 2.1 ja 3.2).



Kuva 3.2 Koekappaleen kiinnitys vetotunkin ja voimalattian väliin, sekä liitoksen venymää mittaavien kellojen sijoitus koko naulalevyn kiinnityspinnan yli.



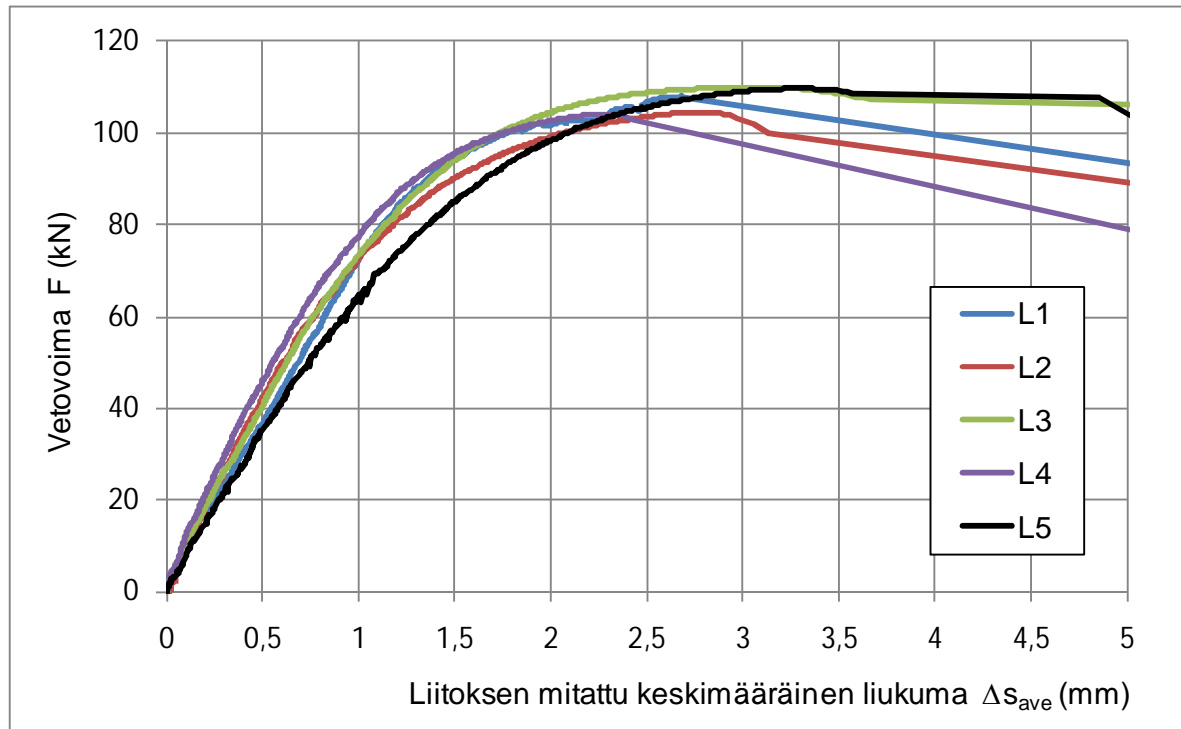
4 Kokeiden tulokset

Viidessä yksittäisessä vetokokeessa saavutetut maksimivetokapasiteetit (F_{max}) ja niitä vastaavat keskimääräiset liitoksen liukumukset (Δs_{ave}) on esitetty Taulukossa 4.1. Keskimääräinen liitoksen liukuma laskettiin kahden mittakellon (kellot 4 ja 5, kuva 2.1) tulosten keskiarvona. Molempien mittakellojen vetovoima-liukuma kuvaajat on esitetty koekohtaisesti liitteessä 1.

Taulukko 4.1 Viiden yksittäisen vetokokeen saavutetut maksimivetovoimat (F_{max} [kN]) ja niitä vastaavat liitoksen liukumukset (Δs [mm]), sekä liitoksen murtotapa.

Koe nro	F_{max} (kN)	Δs_{ave} (mm)	Murtotapa
L1	108,1	2,7	Paarteen vetomurto yläpuolelta
L2	104,6	2,8	Naulalevyn vetomurto
L3	110,0	3,0	Naulalevyn vetomurto
L4	104,1	2,3	Naulalevyn vetomurto
L5	109,8	3,3	Paarteen vetomurto alapuolelta

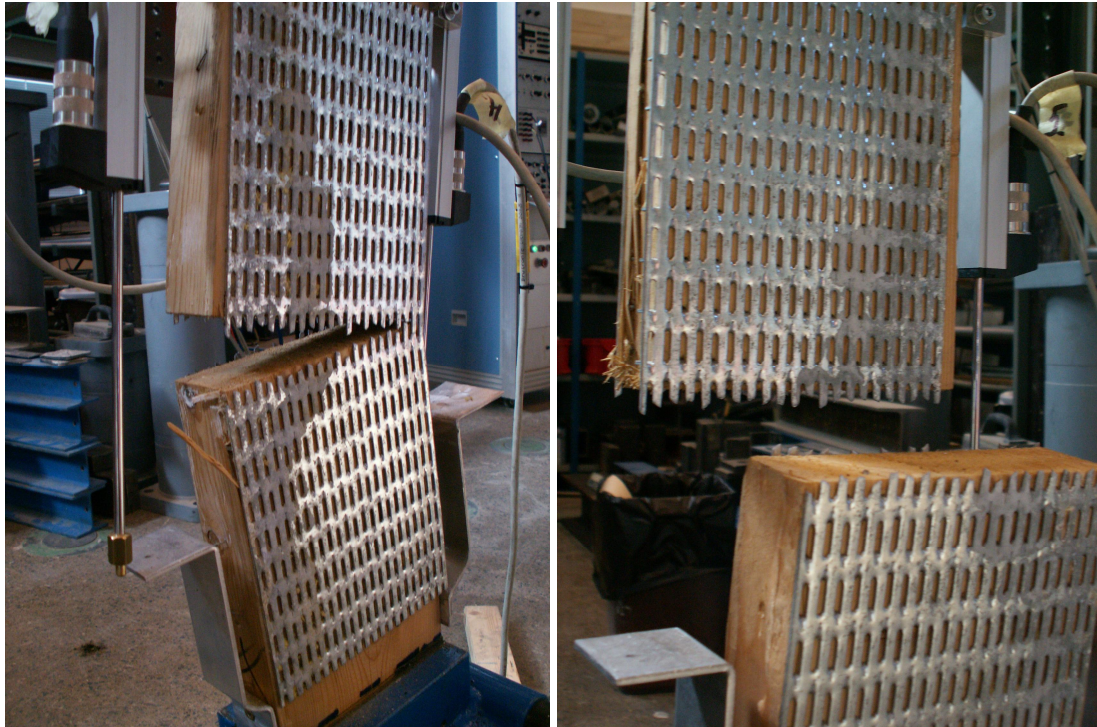
Kokeissa liitosten murtotapa oli joko naulalevyn vetomurto liitoksen keskellä (kokeet L2, L3 ja L4), tai paarteen vetomurto liitoksen ylä- (koe L5) tai alapuolelta (koe L1). Kokeissa L2 ja L4 naulalevy murtui toispuoleisesti (kuvat 4.2 ja 4.5), jolloin saavutettu maksimikuorma oli hieman alempi kuin muissa kokeissa ($F_{max} \approx 104,3$ kN). Kokeissa L1 ja L5 vetopaarteiden vetomurto tapahtui keskimäärin kuormalla $F_{max} \approx 109,0$ kN (kuvat 4.3 ja 4.4). Kokeessa L3 naulalevy katkesi kokonaan liitoksen keskeltä, jolloin saavutettu vetokuorma oli $F_{max} = 110,0$ kN (kuva 4.3).



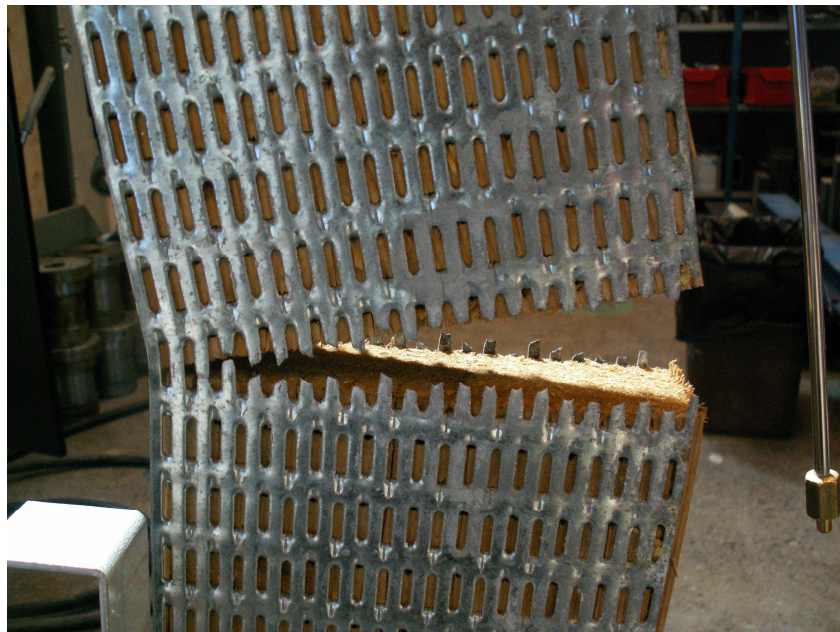
Kuva 4.1 Vetokokeiden (L1...L5) vetovoima – liitoksen liukuma –kuvaajat. Liukuma on annettu kahden mittakellon (kellot 4 ja 5, kuva 2.1) keskiarvona.



Kuva 4.2 Kokeen L1 liitoksen alapuolisen paarteen vetomurto naulalevyliitoksen alapuolelta kuormalla $F_{max} = 108,1$ kN.



Kuva 4.3 Kokeiden L2 ($F_{max} = 104,6$ kN, vasemmalla) ja L3 naulalevyjen vetomurto ($F_{max} = 110,0$ kN, oikealla) ja naulalevyt kokeen lopussa.



Kuva 4.4 Kokeen L4 naulalevyn vetomurto kuormalla $F_{max} = 104,1$ kN.



Kuva 4.5 Kokeen L5 paarteen vetomurto naulalevyn yläpuolelta kuormalla
 $F_{max} = 109,8 \text{ kN}$.



5 Testattujen naulalevyliitosten vetokapasiteetti ja naulalevyjen ankkurointikapasiteetti

Taulukossa 5.1 on esitetty suoritetun 5 naulalevyliitoksen veyokokeen tulokset saavutetun maksimivetovoiman ($F_{a,\alpha,\beta,max}$), siitä vastaavan keskimääräisen liityksen liukuman (Δs_{ave}) ja määritetyn naulalevyn ankkurointikapasiteetin ($f_{a,\alpha,\beta,max}$) osalta. lisäksi taulukossa on kerrottu kokeessa realisoitunut murtotapa.

testattujen liitosten vetokapasiteetti oli keskimäärin $F_{a,\alpha,\beta,max,ave} = 107,3$ kN otoksen keskihajonnan harhattoman estimaatin ollessa $\sigma = 2,8$ kN. Liitoksen liukuma murtossa oli keskimäärin $\Delta s_{ave} = 2,8$ mm.

Taulukko 5.1 Viiden yksittäisen vetokokeen saavutetut maksimivetovoimat (F_{max} [kN]) ja niitä vastaavat liitoksen liukumien (Δs [mm]), sekä liitoksen murtotapa.

Koe nro	$F_{a,\alpha,\beta,max}$ (kN)	Δs_{ave} (mm)	$f_{a,\alpha,\beta,max}$ (N/mm ²)	Murtotapa
L1	108,1	2,7	2,3	Paarteen vetomurto liitoksen yläpuolelta
L2	104,6	2,8	2,2	Naulalevyn vetomurto
L3	110,0	3,0	2,3	Naulalevyn vetomurto
L4	104,1	2,3	2,2	Naulalevyn vetomurto
L5	109,8	3,3	2,3	Paarteen vetomurto liitoksen alapuolelta

Taulukon 5.1 testattujen naulalevyjen ankkurointikapasiteetti ($f_{a,\alpha,\beta,max}$ [N/mm²]) on laskettu standardin SFS-EN 1075 (1999) mukaisesti:

$$f_{a,\alpha,\beta,max} = \frac{F_{a,\alpha,\beta,max}}{2 \times A_{ef}} \left(\frac{\rho_k}{\rho} \right)^c \quad (\text{SFS-EN 1075:1999, kappale 6.6.1})$$

, missä

- $F_{a,\alpha,\beta,max}$ on kokeista määritetty liitoksen maksimivetovoima
 A_{ef} on naulalevyn tehokas pinta-ala (mm²), joka saadaan vähentämällä levyn todellisesta mitatusta tartuntapinnasta 5 mm levyn molemmista laidoista ja 10 mm vedetyn paarteen syyn suunnasta
 c on tässä annettu $c = 0$.

Naulalevyn tehokas pinta-ala testatuissa koekappaleissa oli keskimäärin $A_{ef} = (B - 10 \text{ mm}) \times (L - 10 \text{ mm}) = 23927 \text{ mm}^2$.



Referenssit

SFS-EN 1075 (1999). Timber structures- Test methods – Joints made with punched metal plate fasteners. 21 p.

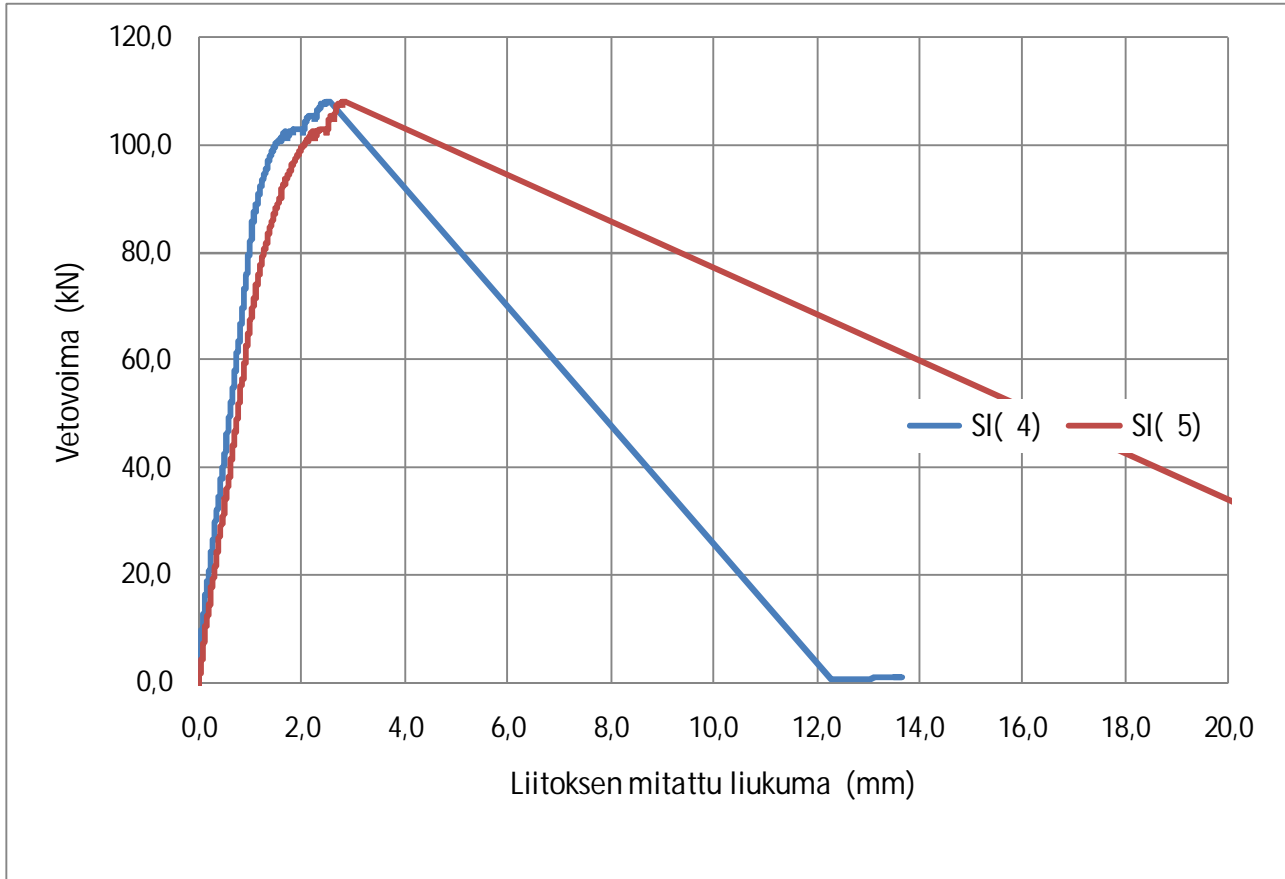
Liitteet

Liite 1 Yksittäisten vetokokeiden voima – liukuma –kuvaajat

5 s.

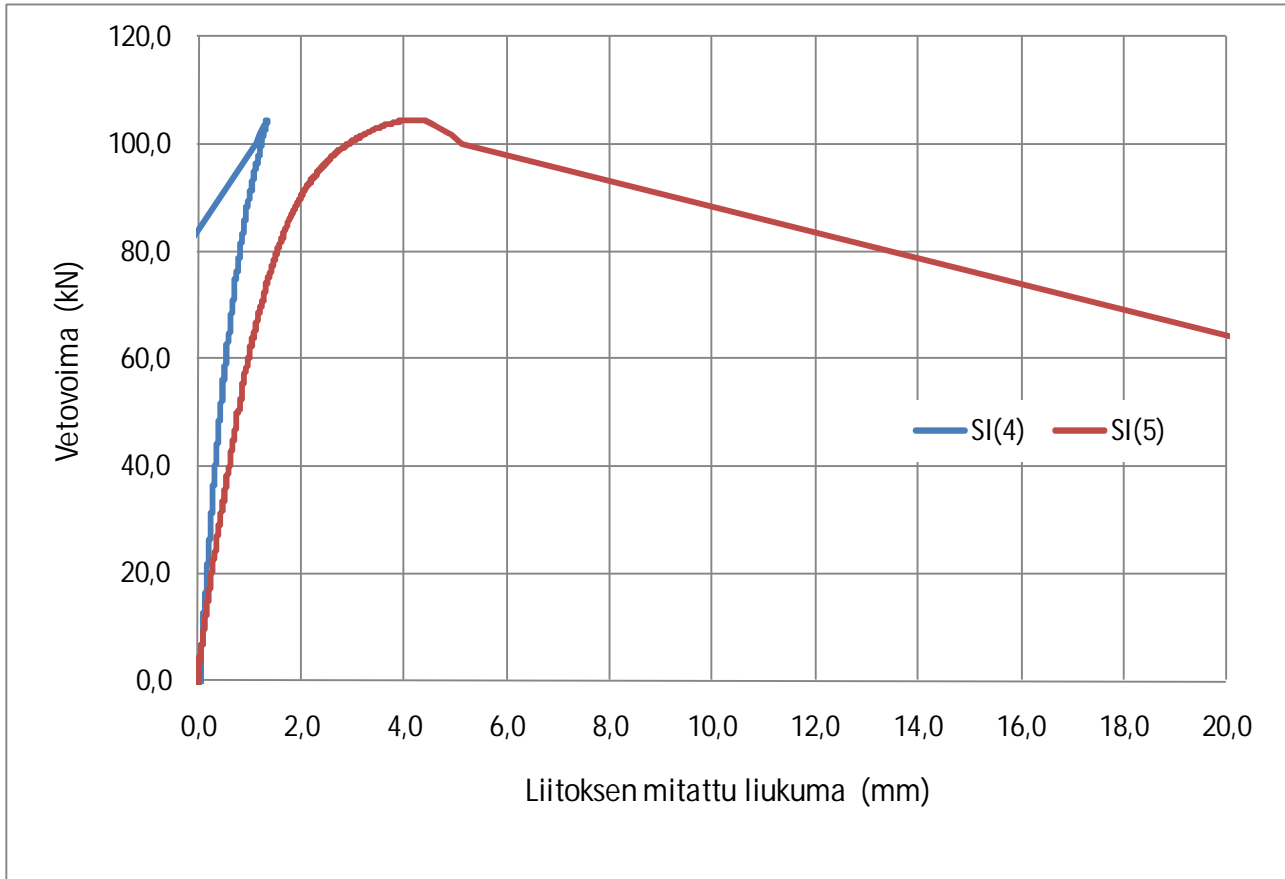


Koe L1



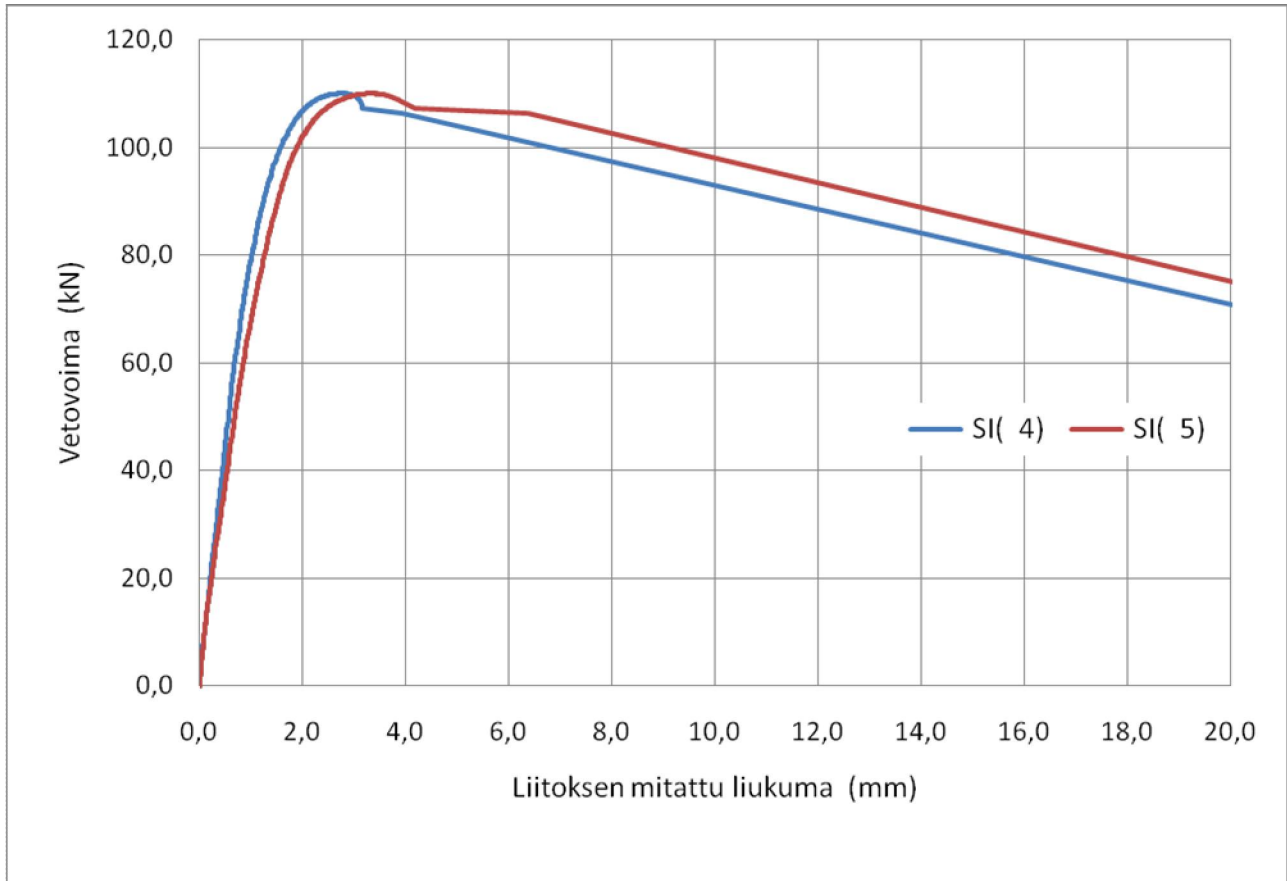


Koe L2



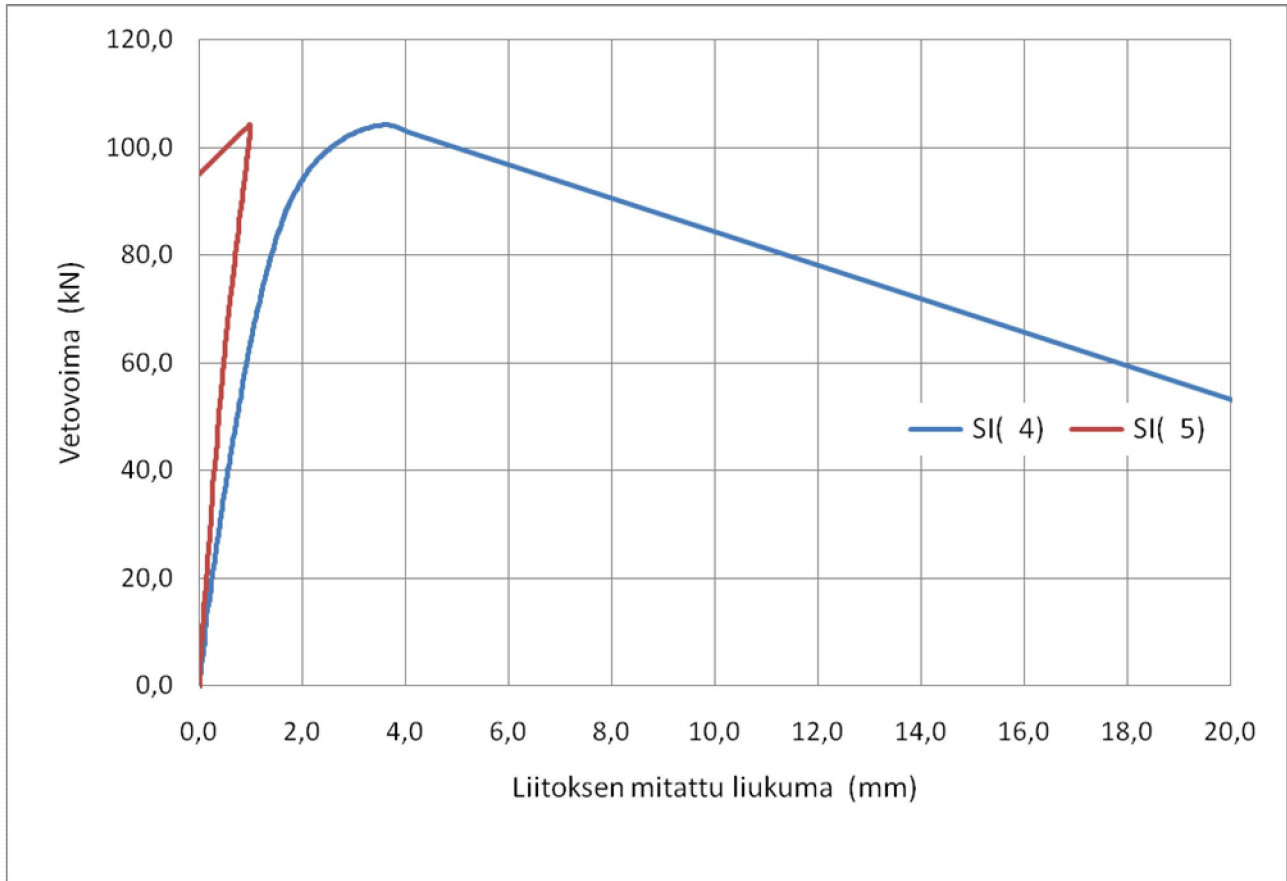


Koe L3





Koe L4





Koe L5

