



## Kohiwood Eristehirsiseinän puristuskestävyyden määrittäminen

Tilaaaja: Oy Kohiwood Ltd

---

<b>Tilaaaja</b>	Oy Kohiwood Ltd Ähtärintie 1234 63800 Soini
<b>Tilaus</b>	26.5.2010 / Hannu Suni
<b>Yhteyshenkilö</b>	<b>VTT Expert Services Oy</b> Erikoistutkija Ari Kevarinmäki Kemistintie 3, Espoo PL 1001 02044 VTT Puh. 020 456 5566 Faksi 020 722 7003 Sähköposti ari.kevarinmaki@vtt.fi

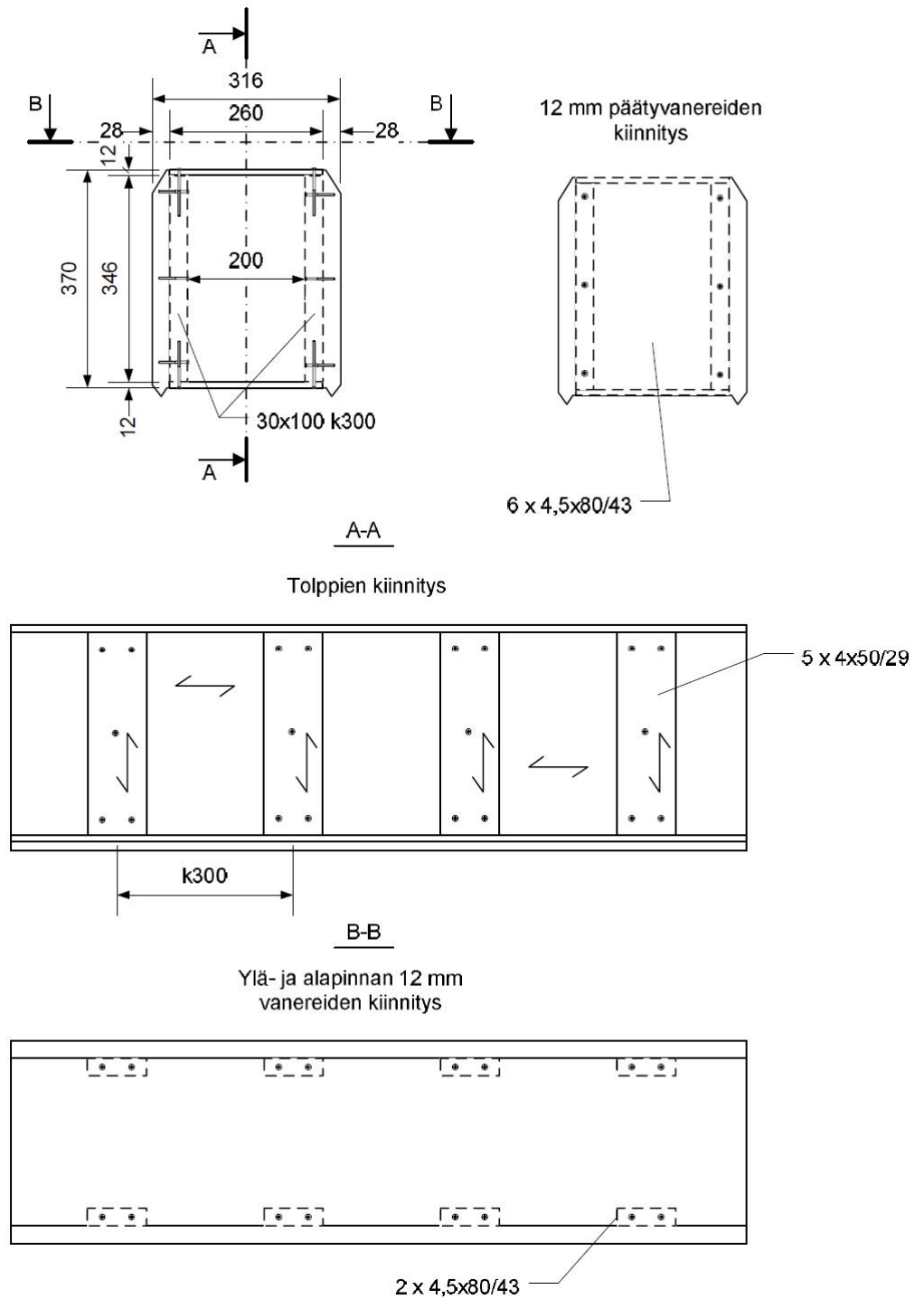
---

**Tehtävä** **Kohiwood Eristehirsiseinän puristuskestävyyden määrittäminen**

Tutkimuksessa selvitetään testaamalla Kohiwood Eristehirsiseinän puristuskestävyys sekä laaditaan koetulosten ja laskennallisten tarkastelujen perusteella seinän puristuskestävyyden mitoitusohjesuositus. Puristuskokeet tehdään tilaajan toimittamalla koeseinillä, joista kolme kuormitetaan keskeisesti ja kolme epäkeskeisesti. Kummassakin koesarjassa koeseinät ovat rakenteeltaan samanlaisia. Kuormituskokeiden suorituksessa noudatetaan soveltuvin osin standardia EN 26891.

**Koekappaleet**

Koeseinät muodostuivat seitsemästä päällekkäisestä Eristehirrestä, joiden pituus oli 2000 mm. Seinän kokonaiskorkeus oli noin 2690 mm, kun huomioidaan korkeuteen mukaan seinä ala- ja yläpinnassa olleet seinän suuntaiset ohjauspuut. Ohjauspuuna toimi sekä ylä- että alapinnassa kaksi 2000 mm pitkä 50 mm x 100 mm sahatavara soiroa. Eristehirren poikkileikkaus on esitetty kuvassa 1. Hirsi muodostuu kahdesta liimalevystä, joihin on 300 mm jaolla kiinnitetty 30 mm x 100 mm laudan pätkiä, jotka toimivat tolppina valmiissa rakenteessa. Hirren ala- ja yläpinta muodostuvat edellä mainittuihin tolppiin kiinnitetyistä 12 mm vanereista. Hirren päädyt on lisäksi tulpattu samasta 12 mm vanerista tehdyillä levyillä. Kuvassa 1 on esitetty hirren mitat ja rakenne sekä ruuvien kiinnityspaikat, koot ja määrät. Käytetyt ruuvit olivat Würth ASSY AW20- ruuveja.

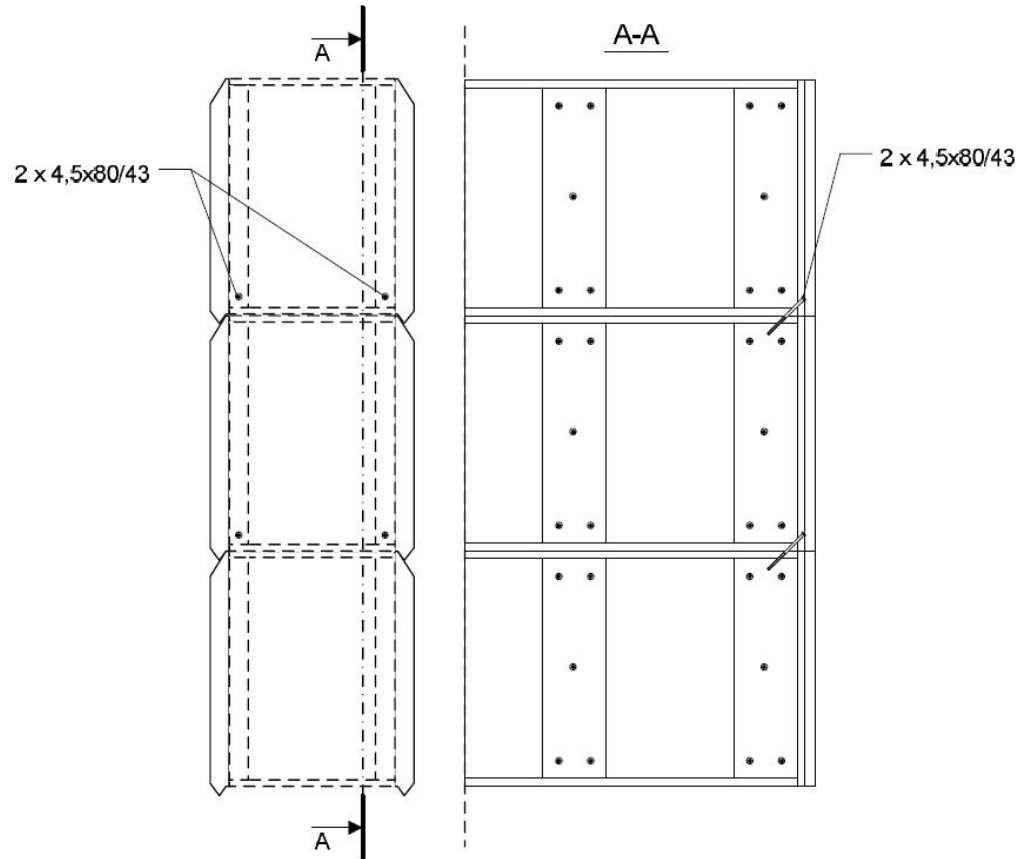


**Kuva 1 Eristehirren poikkileikkaus ja rakenne**

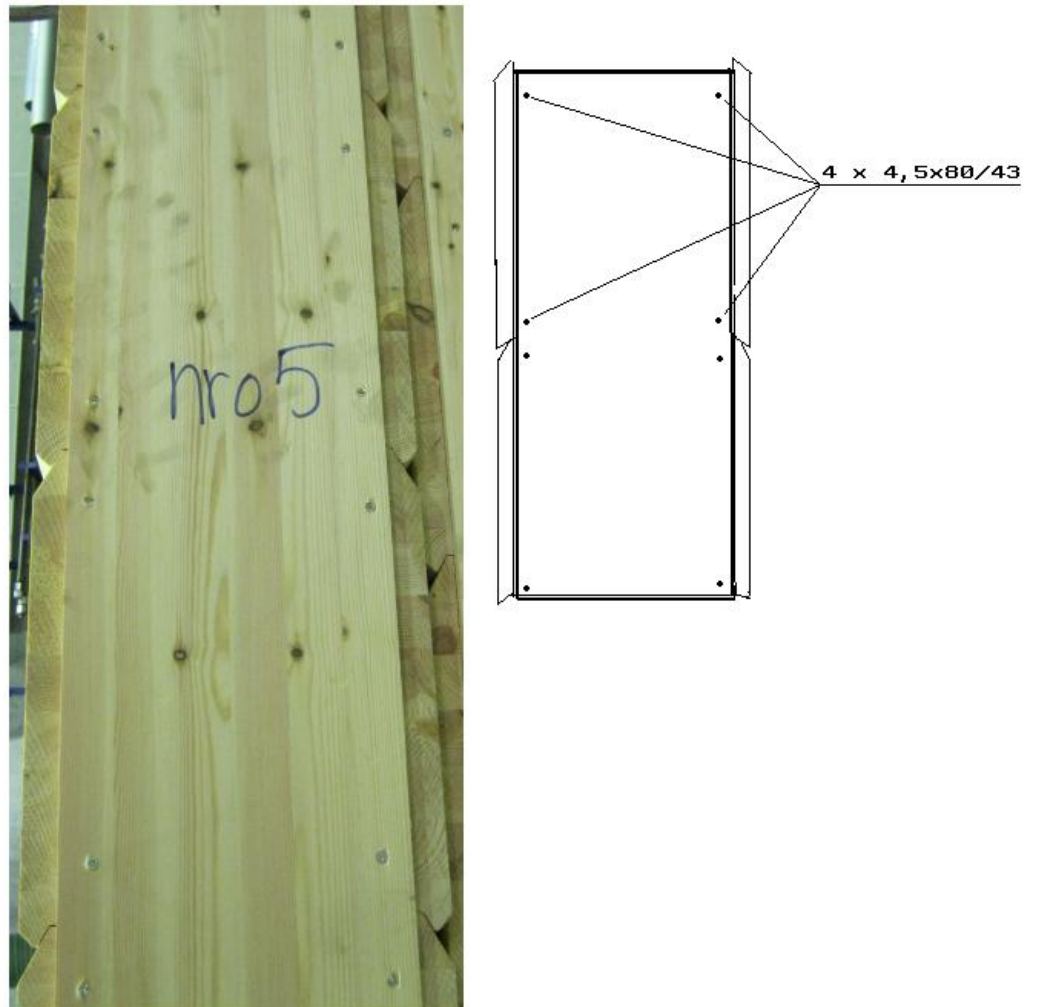
Eristehirret oli kiinnitetty toisiinsa molemmista päistä vinoruuvaamalla kuvassa 2 esitetyllä tavalla. Lisäksi koeseinän päädyissä oli Eristehirsien liimalevykylkien välissä karaput, joista oli kiinnitys jokaiseen hirteen neljällä ruuvilla kuvan 3 mukaisesti. Toinen karapuu oli 28 mm paksua liimalevyä ja toinen 18 mm vaneria. Liimalevystä tehty karapuu oli koko seinän korkuinen.

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille

Vanerinen karapuu oli puolestaan tehty kahdesta osasta, joista toinen oli tosin vain noin 100 mm korkea.



**Kuva 2 Hirsien kiinnitys toisiinsa**



**Kuva 3 Karapuun kiinnitys**

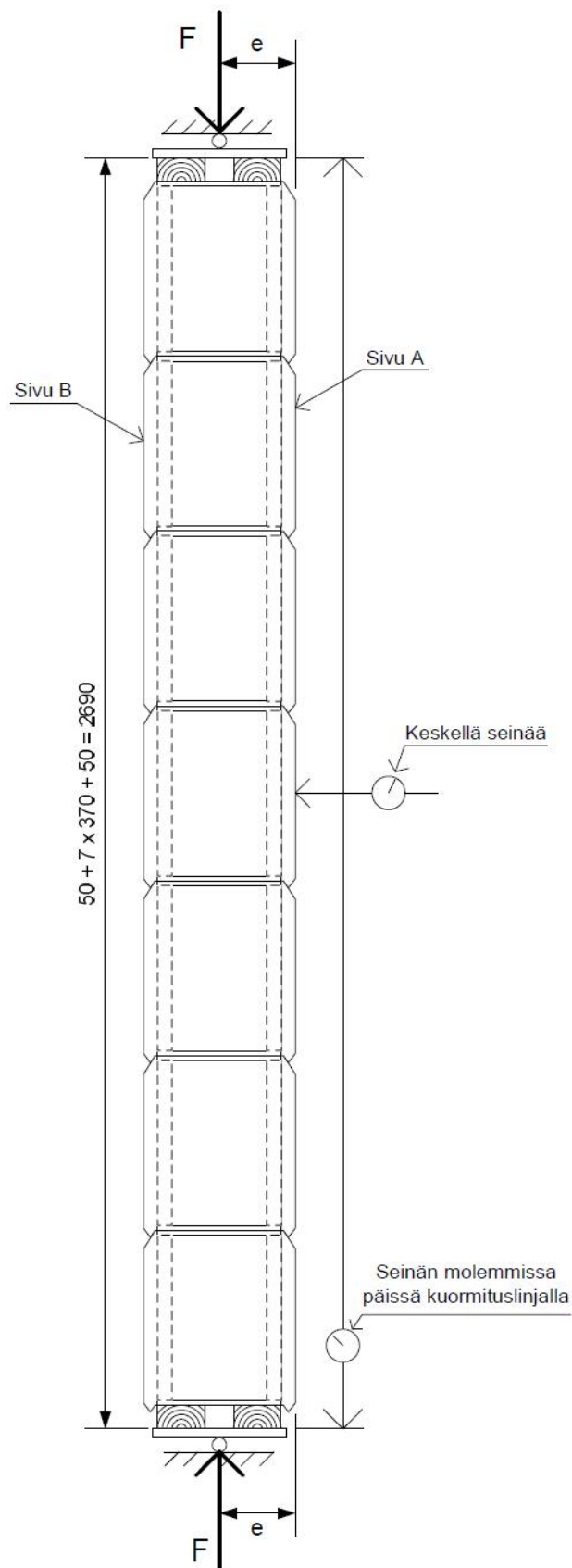
### **Kuormitusjärjestelyt**

Seinien kuormitus- ja mittausjärjestelyt on esitetty kuvissa 4 ja 5. Kuvassa 4 esitetty kuormituslinjan etäisyys  $e$  seinän ulkoreunasta oli koesarjoittain seuraava:

Koesarja A:  $e = b/2 = 158 \text{ mm}$  "keskeinen kuormitus"

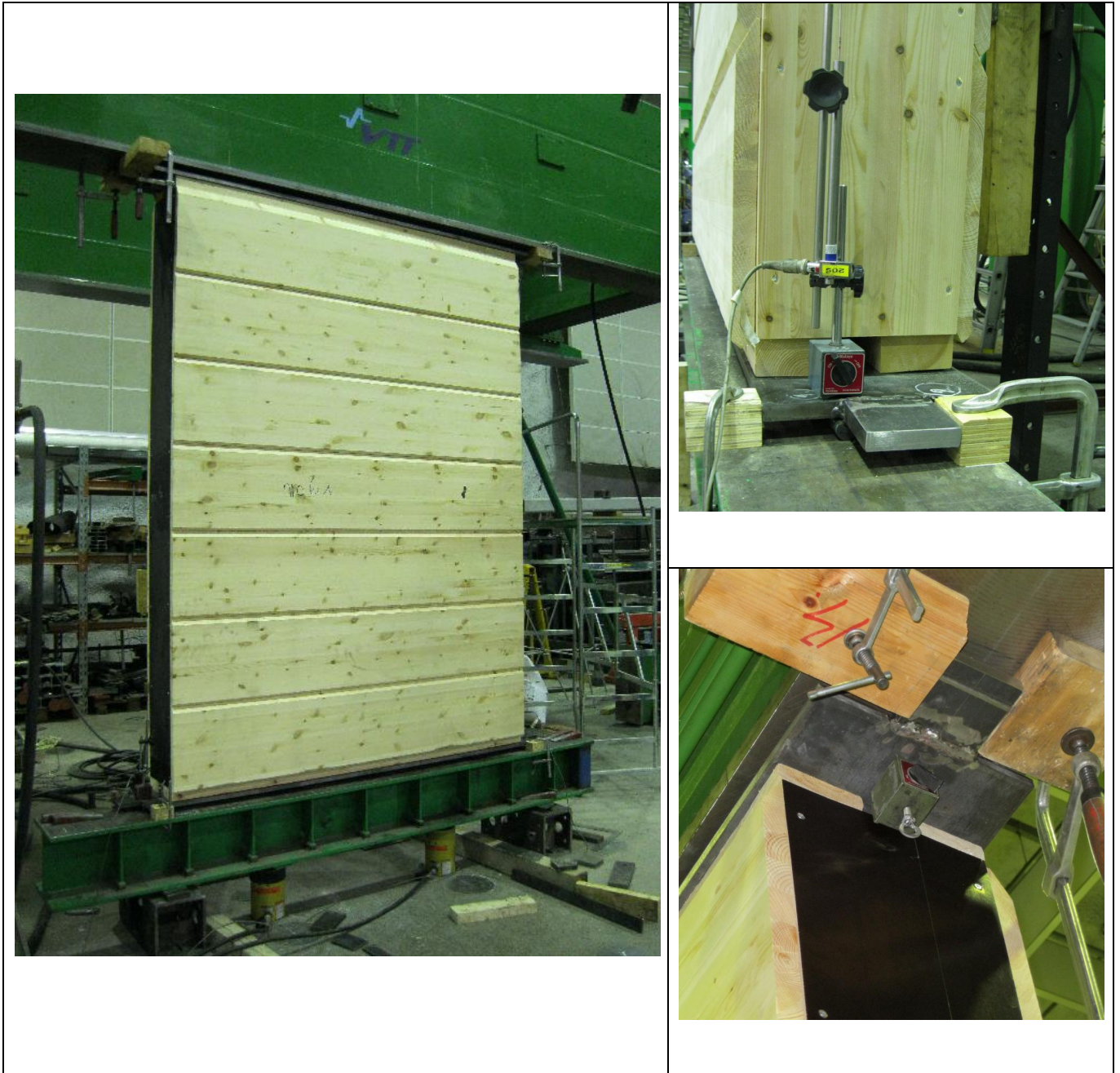
Koesarja B:  $e = b/2 - 50 \text{ mm} = 108 \text{ mm}$  "epäkeskeinen kuormitus"

Seinä oli tuettu sekä ylä- että alapäästään siten, että seinä pääsi tuillaan vapaasti kiertymään, mutta siirtyminen vaakasuuntaan oli estetty. Kuormitus toteutettiin alhaalta ylöspäin kahdella hydraulisylinterillä, jotka oli asennettu nivelen alle asennetun teräspalkin alle (ks. kuva 5). Kuormitussylintereissä oli sama voima, jota mitattiin kalibroidulla 1000 kN voima-anturilla. Tässä tutkimusselostuksessa seinän kuormitus ( $F$ ) on esitetty kuormituspistevoimien summana.



**Kuva 4 Koeseinän pystyleikkaus sekä kuormitus- ja mittausjärjestelyt**

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille



**Kuva 5 Koeseinien kuormitus- ja mittausjärjestelyt**

Kuormitus toteutettiin voimaohjattuna. Koeseinät A1 ja B1 kuormitettiin suoraan murtoon. Kuormitusnopeus seinällä A1 oli 40 kN/min ja seinällä B1 30 kN/min. Koesarjojen seuraavilla koekappaleilla käytettiin standardin EN 26891 mukaista esikuormituksen ja käännepisteissä 30 s pysäytykset sisältävää kuormitusohjelmaa, jossa kuormitusnopeus on  $0,2F_{est}/\text{min}$  kuorma-arvoon  $0,7F_{est}$  saakka ja tästä eteenpäin noin  $0,1F_{est}/\text{min}$ . Estimoitu murtokuorma valittiin koekappaleiden A1 ja B1 murtokuormien perusteella seuraavasti:

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille

Koekappaleet A2 ja A3:  $F_{est} = 663 \text{ kN}$

Koekappaleet B2 ja B3:  $F_{est} = 450 \text{ kN}$

Koeseinän A1 kuormituksessa jouduttiin kuorma pudottamaan pois kesken kuormituksen, kun hydraulisyliinterien liikevara loppui kesken seinän puristuessa kasaan. Sylinterit tallattiin ja kuormitusta jatkettiin tämän jälkeen normaalisti.

Seinien kokonaispuristumaa mitattiin koekappaleiden molemmista päistä induktiivisilla  $\pm 50 \text{ mm:n}$  HBM:n antureilla. Seinän keskipisteen vaakataipumista mitattiin  $\pm 250 \text{ mm}$  lanka-anturilla. Siirtymä- ja voima-arvot tallennettiin kokeen aikana 1 s välein.

Seinien alkukaarevuudet mitattiin ennen kuormituksen aloittamista keskeltä koesarjan B koekappaleista. Mitatut alkukaarevuudet on esitetty liitteessä 1. Mitatut alkukaarevuudet olivat pieniä (maksimissaan 2 mm) ja kaarevuuden suunta saattoi vaihdella koekappaleen eri puolilla. Mitatut alkukaarevuuden arvot johtuivat ennemmin hirsien vaaka-asehasta toisiinsa nähden kuin varsinaisesta seinän kaarevuudesta.

Hirsien kosteuspitoisuutta ja tiheyttä seurattiin sahaamalla koepalat koekappaleiden molemmilta puolilta. Koepalat otettiin satunnaisesti hirsien kyljistä. Mitatut kosteuspitoisuudet ja tiheydet on esitetty liitteessä 1.

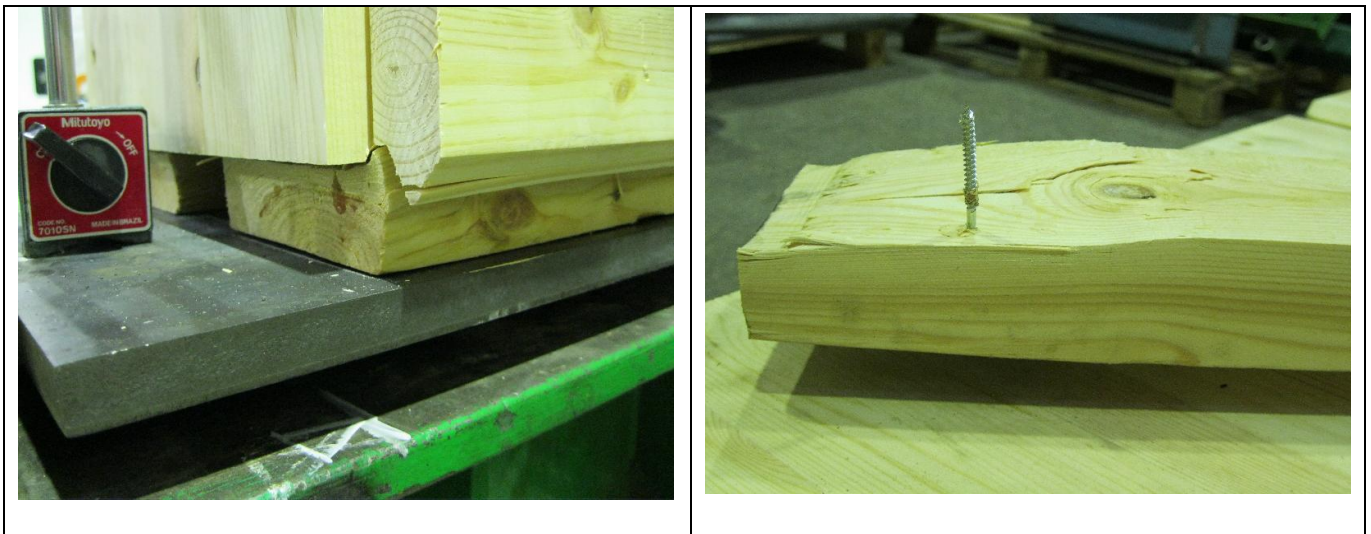
## Koetulokset

Koekappalekohtaiset murtokuormat ja mitatut voima-siirtymäriippuvuudet on esitetty liitteessä 1. Puristumakuvaajat ovat seinän molemmista päistä mitattujen puristumien keskiarvokäyriä. Koesarjakohtaiset murtokuormien keskiarvot ja variaatiokertoimet ovat seuraavat:

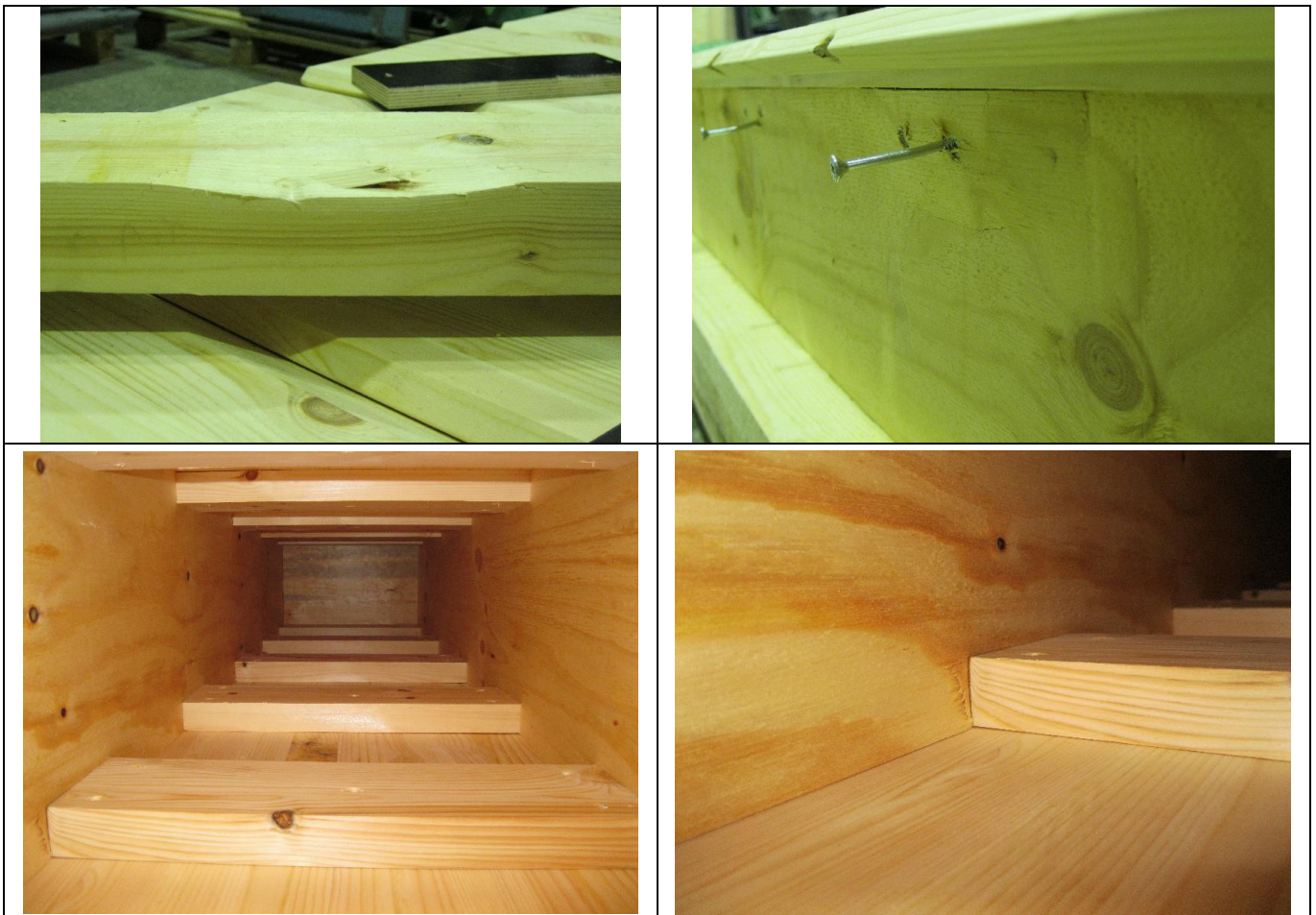
Koesarja A:  $F_{max} = 665 \text{ kN}$       $var = 0,6 \%$

Koesarja B:  $F_{max} = 461 \text{ kN}$       $var = 3,3 \%$

Koesarjassa A murtotapana oli ala- ja yläohjauspuiden sekä hirsien kansi- ja pohja venereiden kiskopainemurto (kuvat 6 ja 7). Koesarjan A keskimääräinen kokonaispuristuma murtokuormilla oli 62 mm. Vaakataipumat vaihtelivat välillä -10...+5 mm, kun positiivinen taipuma tarkoittaa käyritystä sivun B suuntaan.



**Kuva 6** Ala- ja yläohjainpuut lyttääntyivät karapuiden ja hirsien tolppien kohdalta

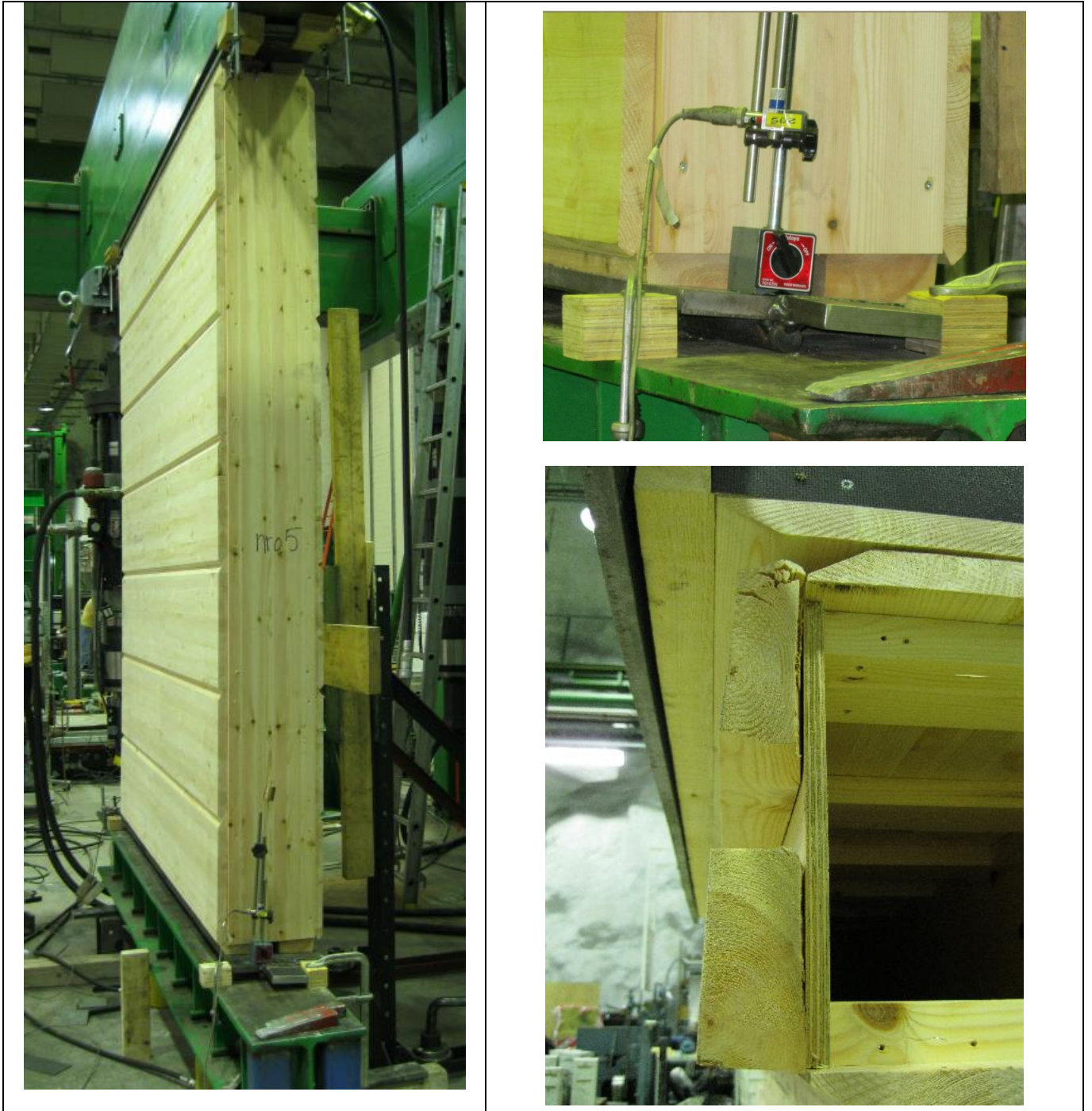


**Kuva 7** Ohjauspuiden sekä hirren kansi- ja pohjanereiden lyttääntyminen

Koesarjan B murtotapa oli samankaltainen koesarjan A murtotavan kanssa. Kuormituksen epäkeskisyys lisäsi selvästi painumaa hirren toisella sivulla,

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille

mikä aiheutti seinän käyristymisen sivun B suuntaan (kuvat 8 ja 9). Seinä ei kuitenkaan nurjahtanut, vaan sen stabiliteetti pysyi kuormituksen loppuun asti. Koesarjan B murtotapa erosi koesarjan A murtotavasta siten, että kaikissa kuormituksissa murtokuorma saavutettiin samalla, kun vanerinen karapuu lommahti noin seinän puolivälin korkeudelta puristuksen johdosta. Koesarjan B keskimääräinen kokonaispuristuma murtokuormilla oli 52 mm ja keskimääräinen vaakataipuma oli puolestaan 41 mm (vaihteluväli +37...+45 mm), kun positiivinen taipuma tarkoittaa käyristymistä sivun B suuntaan.



**Kuva 8** Seinän käyristyminen epäkeskisessä kuormituksessa

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkittuille näytteille



**Kuva 9 Vanerisen karapuun vaurio epäkeskisessä kuormituksessa**

**Koetulosten analysointi** EN 14358 standardin mukaan lasketut koeseinien murtokuormien ja tolppaparia kohden lasketut murtokuormien ominaisarvot ovat seuraavat:

$$\text{Koesarja A: } F_{Rk} = 568 \text{ kN} \quad P_{Rk} = 82,6 \text{ kN}$$

$$\text{Koesarja B: } F_{Rk} = 394 \text{ kN} \quad P_{Rk} = 57,7 \text{ kN}$$

Tolppaparin murtokestävyyden laskennassa on huomioitu karapuiden vaikutus vähentämällä karapuiden laskennallinen kuormankestävyys seinien kokonaiskestävyydestä. Koesarja A osoitti, että seitsemän tolppaparin pituisen ja 2,69 m korkean Eristehirsiseinän tolppaparia kohden laskettu puristuskestävyyden ominaisarvo on seinän tason suuntaisen nurjahduksen suhteen vähintään 82,6 kN/tolppapari.

EN 1995-1-1:2004 + A1:2008 standardin mukaan laskettu 50x100 C24 ala- ja yläohjauspuun kiskopainekestävyyden ominaisarvo on 30 mm x 100 mm kokoisella kuormitusalueella  $P_{c,90,Rk} = 30 \text{ kN}$ . Tämä arvo perustuu puuhun, jonka tiheys  $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$ . Tolppaparin laskennallinen kiskopainekestävyys on siis yhteensä 60 kN. Se on noin 27 % pienempi kuin kokeiden tuloksista laskettu

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille

ominaisarvo. Ero selittyy sillä, että tolppien sekä ala- ja yläjuoksun välissä oleva 12 mm vaneri jakaa tolppien kuorman suuremmalle alalle, mikä kasvattaa kiskopainekestävyyttä. Vanerin vaikutusta on kuitenkin vaikea arvioida laskennallisesti. Lisäksi ohjauspuut tolppiin kiinnittäneet ruuvit kantoivat osan kuormasta. Ala- ja yläohjauspuiden tiheys oli todennäköisesti myös suurempi kuin oletettu ominaistiheys  $350 \text{ kg/m}^3$ . Eristehirsiseinän tukipainemitoitus voidaan siis tehdä vastaavalla tavalla kuin normaalilla puurankaseinällä.

Epäkeskisessä kuormituksessa Eristehirren toisen kyljen tolpan kantavat tasapainotilanteessa 81,3 % kokonaiskuormasta. Tämä tarkoittaa, että epäkeskisessä kuormituksessa tolppaparin laskennallinen kiskopainekestävyys on yhteensä 36,9 kN ( $0,813 \cdot 36,9 = 30,0 \text{ kN}$ ), joka on noin 36 % pienempi kuin kokeiden tuloksista laskettu ominaisarvo. Ero selittyy edellä mainituilla seikoilla.

### Seinän puristuskestävyyden mitoitusohjesuositus

Seuraava mitoitusohjesuositus koskee Kohiwood Eristehirsielementeistä tämän tutkimusselostuksen kuvaaman tavan mukaisesti ruuvaamalla koottavan seinän puristuskestävyyttä pystykuormille. Kootun seinän alkukaarevuus saa olla enintään  $H/400$ , kun  $H$  on seinän korkeus.

Edellyttäen, että Kohiwood Eristehirsiseinän korkeus  $H$  on enintään 3,0 m ja sen ylä- ja alareunassa on vähintään lujuusluokan C24 sahatavarasta valmistetut ohjauspuu parit 50 mm x 100 mm kuvan 4 mukaisissa kohdissa ja lisäksi kuorman epäkeskisyys seinän keskilinjaan nähden on enintään 50 mm, voidaan seinän puristuskestävyys mitoittaa puurakenteiden suunnitteluohjeen RIL 205-1-2009 mukaan rakenteen tasossa tuettuna puurankaseinänä, jossa on sahatavara C24 runkotolpitus 30x100 k300 hirren molemmilla kyljillä. Kuorman epäkeskisyys huomioidaan tolppitusten kuormituksessa siten, että tasapainoehdot toteutuvat. Tolppien nurjahdusta ei tarvitse ottaa huomioon, sillä hirren rakenne ja tolppien kiinnitys hirteen estää tolppien nurjahduksen. Mitoittavaksi tekijäksi tulee ohjauspuiden kiskopainekestävyys.

Espoo, 30.7.2010

Ari Kevarinmäki  
Erikoistutkija

Tero Sundström  
Tutkija

LIITTEET

Liite 1: Testauspöytäkirja ja mittaustulokset

JAKELU

Tilaja  
VTT Expert Services / Arkisto

Alkuperäinen  
Alkuperäinen

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille

**Oy Kohiwood Ltd Puristuskokeet**  
Testauspöytäkirja

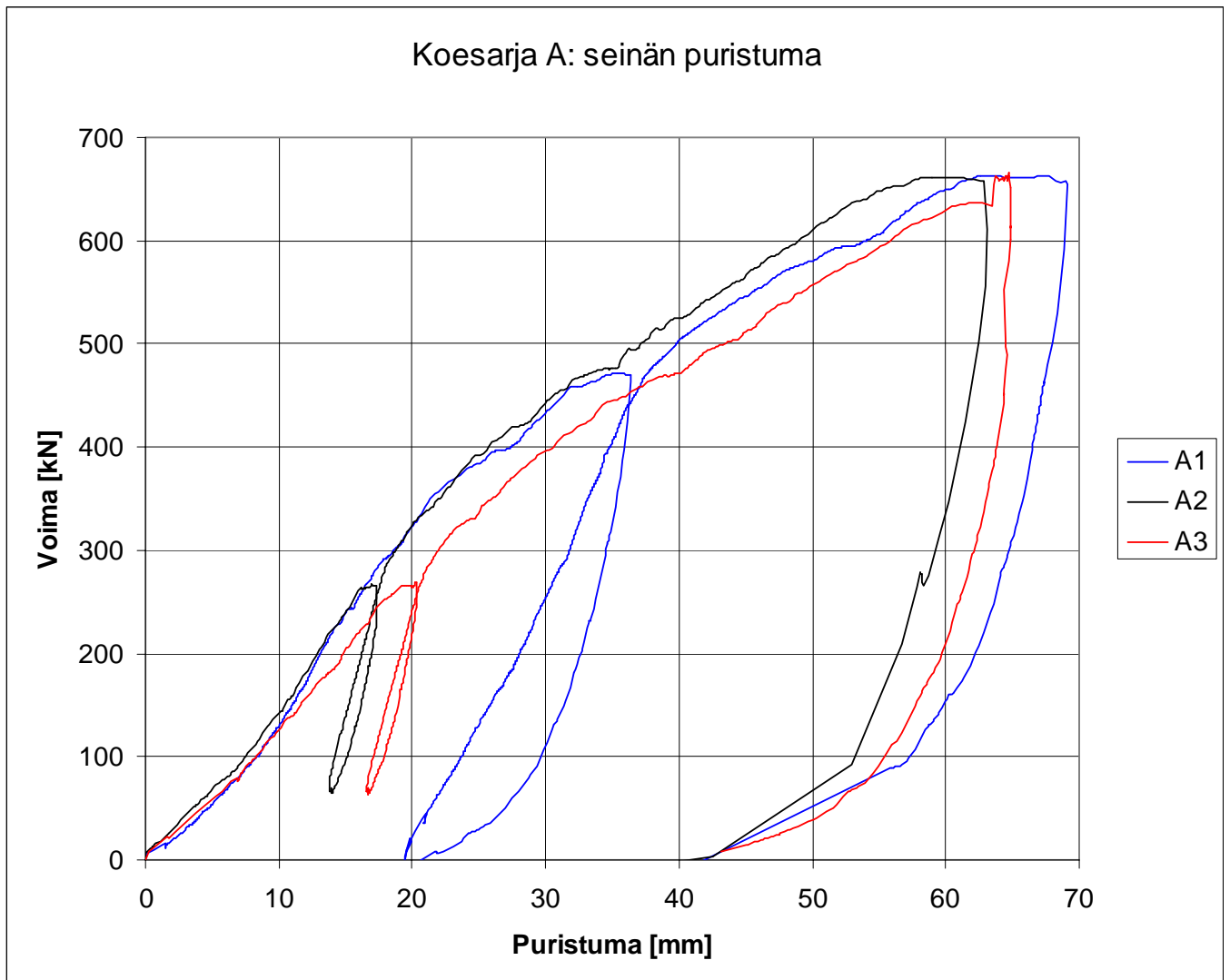
Koekappale	pvm	Murtokuorma [kN]	Epäkeskeisyys [mm]	Käyryys sivu A [mm]	Käyryys sivu B [mm]
A1	21.6.2010	663,4	0	-	-
A2	22.6.2010	661,6	0	-	-
A3	22.6.2010	669,6	0	-	-
B1	23.6.2010	450,8	50	0	0
B2	23.6.2010	478,6	50	+1	0
B3	24.6.2010	454,8	50	2	-2

**Oy Kohiwood Ltd Puristuskokeet**  
Tiheys- ja kosteuspöytäkirja

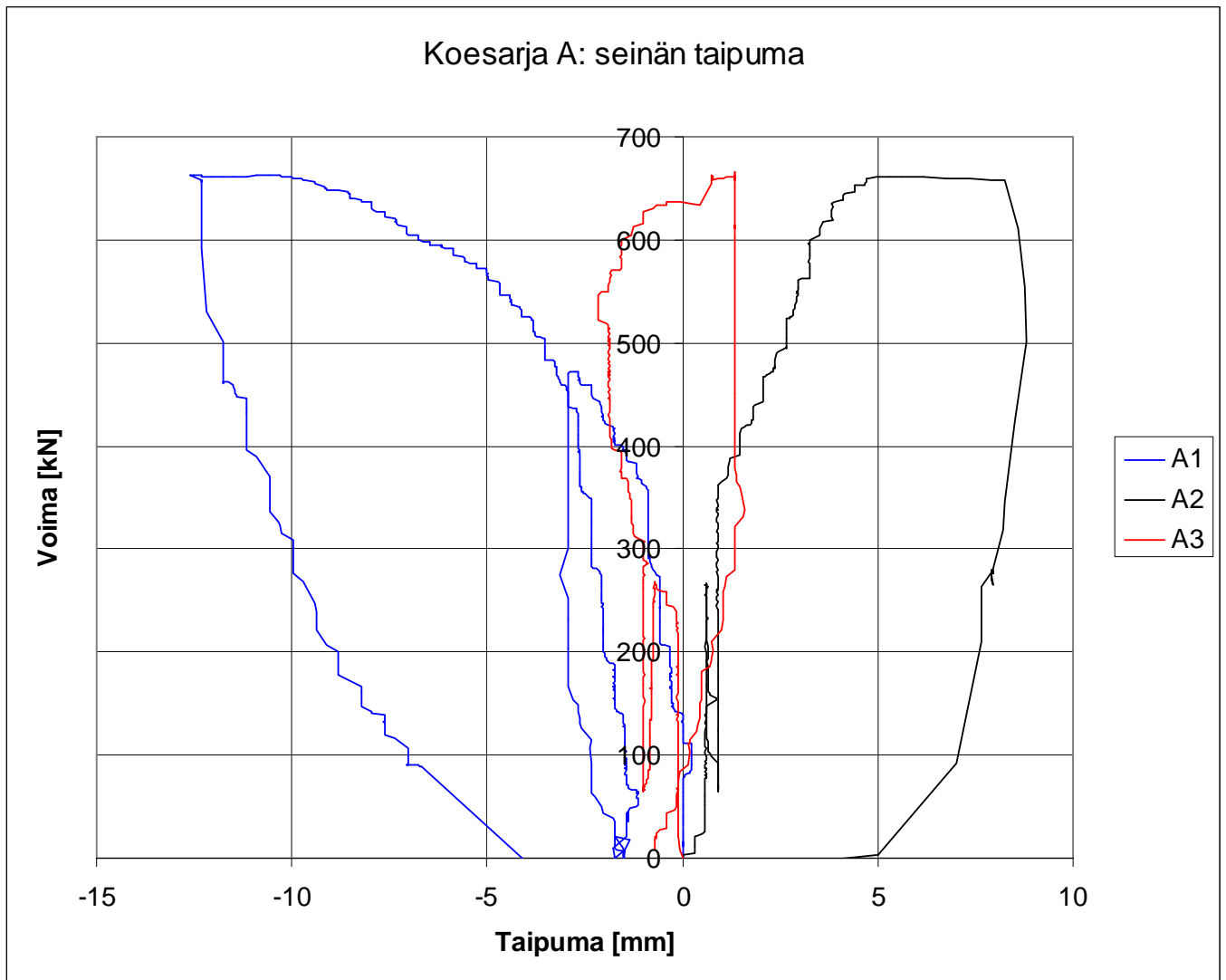
Tunnus	Paksuus [mm]	Leveys [mm]	Pituus [mm]	Märkäpaino [g]	Kuivapaino [g]	Kosteus $\omega$ [%]	Märkätiheys $\rho_w$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Kuivatiheys $\rho_o$ [kg/m <sup>3</sup> ]
A1 A	27,92	174,27	88,27	221,76	195,56	13,4	516	455
A1 B	28,13	170,27	92,65	192,12	169,81	13,1	433	383
A2 A	28,20	137,35	87,97	199,75	175,50	13,8	586	515
A2 B	27,96	129,76	88,34	200,47	177,23	13,1	625	553
A3 A	28,37	109,29	80,21	151,57	134,84	12,4	609	542
A3 B	28,18	155,42	102,08	261,92	232,76	12,5	586	521
B1 A	28,11	175,30	69,80	175,26	153,64	14,1	510	447
B1 B	28,02	155,53	69,30	141,16	124,30	13,6	467	412
B2 A	28,05	150,29	99,11	216,26	191,44	13,0	518	458
B2 B	28,09	177,73	99,19	250,11	219,77	13,8	505	444
B3 A	27,92	144,03	84,32	193,78	171,77	12,8	571	507
B3 B	28,04	148,88	84,20	180,17	158,93	13,4	513	452
Keskiarvo						13,2	537	474
Keskihajonta						0,520	58,7	52,9

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille

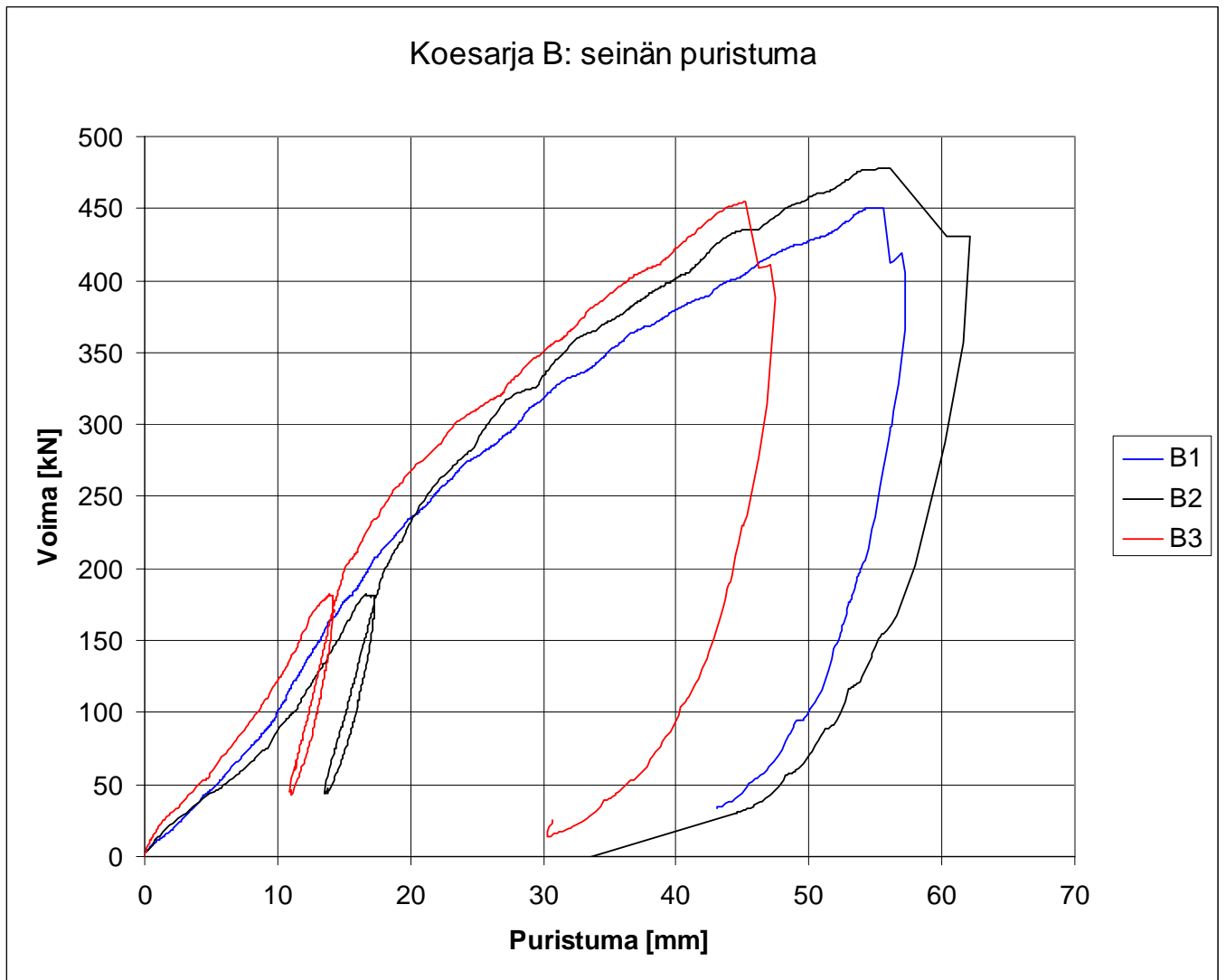
VOIMA-SIIRTYMÄRIIPPUUUDET



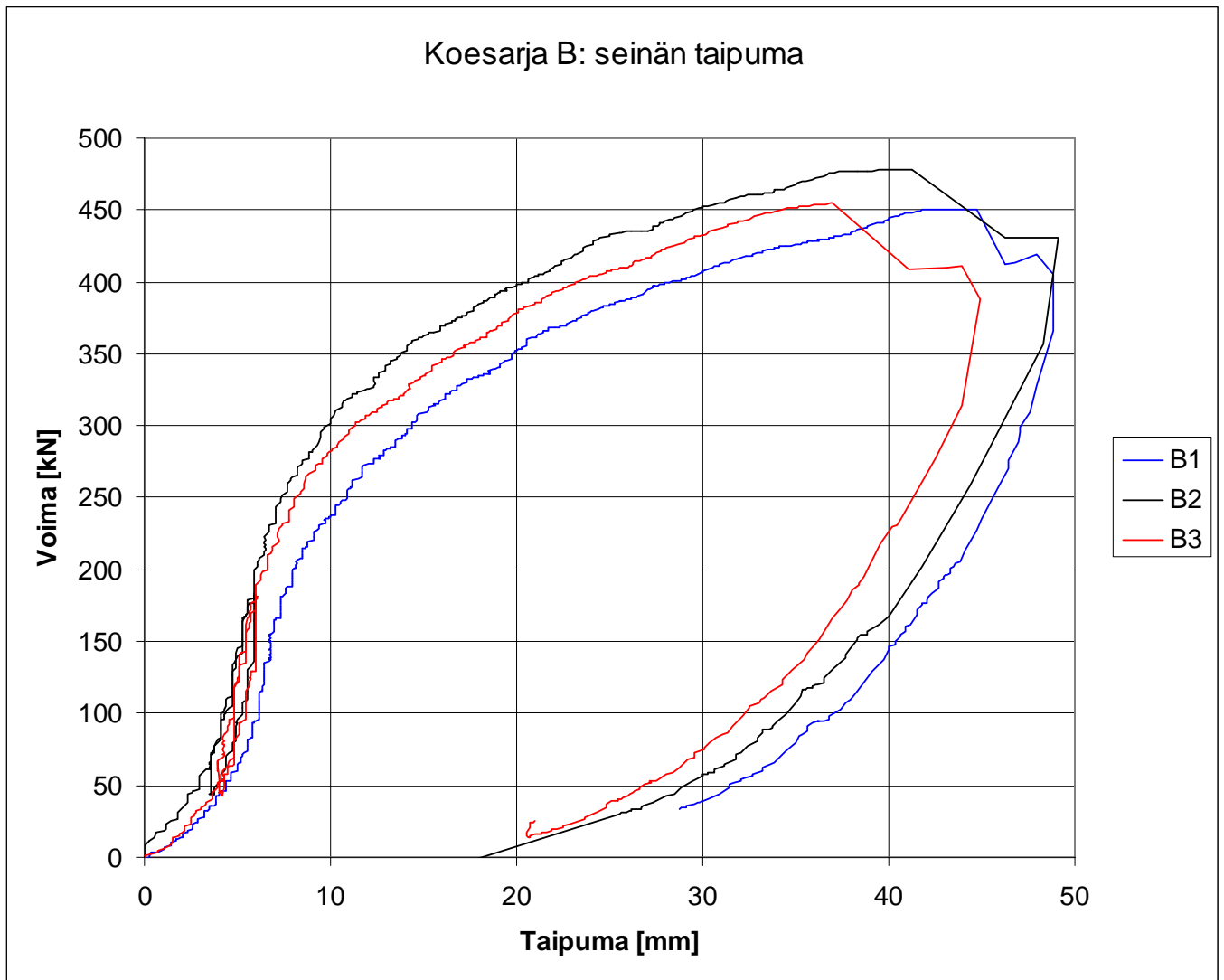
Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille



Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille



Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille



Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille