



Konenaulojen ulosvetolujuus

Ari Kevarinmäki

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

ISBN 951-38-6579-7 (URL: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/>)
ISSN 1459-7683 (URL: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/>)

Copyright © VTT 2005

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 4374

VTT, Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 5, P.O. Box 2000, FI-02044 VTT, Finland
phone internat. +358 20 722 111, fax + 358 20 722 4374

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Betonimiehenkuja 3, PL 1801, 02044 VTT
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 7006

VTT Bygg och transport, Betongblandargränden 3, PB 1801, 02044 VTT
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 7006

VTT Building and Transport, Betonimiehenkuja 3, P.O.Box 1801, FI-02044 VTT, Finland
phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 7006

Tekijä Kevarinmäki, Ari		
Nimeke Konenaulojen ulosvetolujuus		
Tiivistelmä Tutkimuksessa määritettiin paineilmanaulaimissa käytettävien naulojen ulosvetolujuuksia. Nauloja oli neljää eri tyyppiä ja kahta eri paksuutta. Kokeita tehtiin kuusisahatavaralla (<i>Picea abies</i>) kolmessa eri kosteuspitoisuudessa kahdella eri tiheysluokalla. EN 1382 testausmenetelmän mukaisia ulosvetolujuuden lyhytaikaiskokeita tehtiin yhteensä 100 kpl ja lisäksi tehtiin 15 kpl pitkäaikaiskokeita (maks. 18 kk) vaihtelevissa kosteusyyskeissä 50–80 %:n kuormitusasteilla. Eurocode 5:ssä (EN 1995-1-1) annettu sileän naulan ulosvetolujuus oli EN 1382 standardin mukaan tehtyjen kokeiden mukaan selkeästi varmallalla puolella. Tutkimuksessa havaittiin kuitenkin, että jos liitos kuivuu valmistuksen jälkeen, ulosvetolujuus pienenee merkittävästi. Käytännön tilannetta vastaavissa kokeissa, joissa naulaus suoritettiin RH85:ssä tasaannutettuun puuhun (ulkokuiva) ja liitos kuormitettiin RH40 tasaannutuksen jälkeen (sisäkuiva), sileän naulan ulosvetokapasiteetti oli keskimäärin vain 43 % EN 1382:n mukaan RH65:ssä tasaannutettuna valmistetun ja testatun naulan ulosvetolujuudesta. Pitkäaikaiskokeisiin sisältyneiden kuormanlisäysten yhteydessä 73–84 %:n kuormitusasteilla tapahtuneet murtumiset osoittivat, että edeltänyt alemman tason pitkäaikainen kuormitus vaihtelevissa kosteusolosuhteissa oli heikentänyt tartuntalujuutta. Tämän vuoksi seuraavaa Eurocode 5 versioita pitäisi täydentää esim. seuraavasti: mikäli pysyvän ja pitkäaikaisen aikaluokan kuormien osuus naulan ulosvetokapasiteetin mitoitusarvosta on suurempi kuin 1/3, tartuntakapasiteetin laskennassa käytettävälle k_{mod} -kertoimelle ei saa käyttää suurempaa arvoa kuin 0,7 ($k_{mod} \leq 0,7$). VTT suosittelee ulosvetolujuuden eurooppalaisen testausstandardin EN 1382:1999 puun tasaannutuksia koskevien ohjeiden korjaamista siten, että naulaus suoritetaan RH85:ssä tasaannutettuun puuhun ja koekappaleet tasaannutetaan tämän jälkeen 40-prosenttisessa ilman suhteellisessa kosteudessa 20 °C:n lämpötilassa ennen testaamista. Tämä voitaisiin myös esittää vaatimuksena nauloja koskevassa tuotestandardissa EN 14592. Mikäli naulalle on määritetty tuotekohtainen ulosvetolujuus EN 1382:1999 standardin mukaan RH65 tasaannutettuna, kokeellista tartuntalujuutta $f_{ax,k}$ pitäisi redusoida sileillä nauloilla kertoimella 0,4 ja profiloituilla nauloilla kertoimella 0,7.		
Avainsanat annular ringed shank nail, glue-tipped nail, pneumatic nail, machine driven nail, nail, withdrawal strength		
Toimintayksikkö VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Betonimiehenkuja 3, PL 1801, 02044 VTT		
ISBN 951-38-6579-7 (URL: http://www.vtt.fi/inf/pdf/)		Projektinnumero R4SU00129
Julkaisu-aika Toukokuu 2005	Kieli Suomi, engl. tiiv.	Sivuja 24 s. + liitt. 12 s.
Projektin nimi Konenaulojen ulosvetolujuustutkimus	Toimeksiantaja Ympäristöministeriö	
Avainnimeke ja ISSN VTT Working Papers 1459-7683 (URL: http://www.vtt.fi/inf/pdf/)	Julkaisija VTT Tietopalvelu PL 2000, 02044 VTT Puh. 020 722 4404 Faksi 020 722 4374	

Author Kevarinmäki, Ari	
Title Withdrawal strength of machine driven nails	
Abstract The withdrawal strength of nails used in pneumatic nailing machine was studied. Four different types of nails and two different nail diameters were tested. The tests were carried on using Norway spruce (<i>Picea abies</i>) wood in three different moisture contents and two different density classes. One hundred short-term withdrawal strength tests were carried out according to EN 1382, in addition 15 long-term tests were done (max 18 months) in cyclic humidity conditions under load levels of 50–80 %.	
According to Eurocode 5 (EN 1995-1-1), the withdrawal strength of plain shank nails is well on the safe side when compared to the results of the tests done according to EN 1382. It was observed however, that if the connection dries after nailing, the withdrawal strength decreases considerably. In realistic test conditions, where the nailing is done on wood conditioned to RH85% (external dry) and the connection is tested after conditioning to RH40% (internal dry), the withdrawal strength of plain shank nails was only 43 % of the strength based on EN 1382 of connections conditioned to RH65% before and after nailing.	
In the long-term tests, the most of failures occurred during the short-term increase phase of load with the load levels of 73–84%. This demonstrated that the previous loading history decreased the withdrawal strength in cyclic humidity conditions. For this reason, the next version of Eurocode 5 (EN 1995-1-1) should be supplemented for example as follows: In case the share of the permanent and long-term loads is over 1/3, the withdrawal capacity is calculated with a modification factor k_{mod} equal or lower than 0,7 ($k_{\text{mod}} \leq 0,7$).	
VTT recommends that the test standard for withdrawal strength EN 1382:1999 is modified so that the conditioning of wood is done to RH85% before nailing and after it is conditioned to RH40% before testing at a temperature of 20°C. This requirement could also be mentioned in the product standard for nails EN 14592. In case the nail type specific withdrawal capacity is determined according to EN 1382:1999 conditioned to RH65%, the experimental withdrawal strength $f_{\text{ax,k}}$ should be reduced by a factor of 0,4 for plain shank nails and by a factor of 0,7 for profiled nails.	
Keywords annular ringed shank nail, glue-tipped nail, pneumatic nail, machine driven nail, nail, withdrawal strength	
Activity unit VTT Building and Transport, Betonimiehenkuja 3, P.O.Box 1801, FI-02044 VTT, Finland	
ISBN 951-38-6579-7 (URL: http://www.vtt.fi/inf/pdf/)	Project number R4SU00129
Date May 2005	Language Finnish, engl. abstr.
	Pages 24 p. + app. 12 p.
Name of project Withdrawal capacity of machine driven nails	Commissioned by Ministry of the Environment
Series title and ISSN VTT Working Papers 1459-7683 (URL: http://www.vtt.fi/inf/pdf/)	Publisher VTT Information Service P.O. Box 2000, FI-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 20 722 4404 Fax +358 20 722 4374

Alkusanat

Tämä julkaisu on VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikassa ympäristöministeriön toimeksiannosta vuosina 2002–2004 tehtyjen konenaulojen ulosvetolujuustutkimusten loppuraportti.

Tutkimuksen taustalla oli Onnettomuustutkintakeskuksen tutkintaselostuksessa (2001) "Supermarketin sisäkaton putoaminen Pudasjärvellä 27.12.2000" antamat suositukset:

- *Paineilmanaulaimilla ammuttavien erilaisten naulojen tutkimusta tulisi lisätä. Tutkimuksissa tulisi selvittää mm. liiman ja erilaisten pintakuviointien vaikutusta naulojen kapasiteettiin mm. muuttuvia ja pitkäaikaisia kuormituksia vastaan. [B2/00Y/S1].*
- *Suomen rakentamismääräyskokoelman naulaliitoksia käsittelevään osaan tulisi lisätä suunnittelijoiden avuksi ohjeet siitä, miten paineilmanaulaimella ammuttaviin liimakärkisiin ja erilaisiin pintakuvioituihin nauloihin tulisi suunnittelutyössä suhtautua. [B2/00Y/S2].*

Kiitän tutkimuksen valvojaa rakennusneuvos Jaakko Huuhtasta (ympäristöministeriö) työn käynnistämistä ja ohjaamisesta. Lisäksi kiitän työtekniikko Mats Rundtia ja vastaava tutkimusavustaja Kyösti Niskasta laboratoriokokeiden suorituksesta.

Espoossa 20.5.2005

Ari Kevarinmäki

Sisällysluettelo

Alkusanat	5
Symboliluettelo	7
1. Yleistä	8
2. Lyhytaikaiskokeet	9
2.1 Naulat	9
2.2 Puutavara	10
2.3 Koekappaleet	10
2.4 Kuormitusjärjestelyt	11
2.5 Koetulokset	13
2.6 Koetulosten tarkastelu	14
3. Pitkäaikaiskokeet	16
3.1 Materiaalit	16
3.2 Koekappaleet	16
3.3 Kuormitusjärjestelyt	17
3.4 Olosuhteet	19
3.5 Koetulokset	19
3.6 Koetulosten tarkastelu	21
4. Suunnitteluohjesuositukset	23
Lähdeluettelo	24
Liitteet	
Liite A: Naulojen myyntipakkauksissa esitetyt tuotetiedot	
Liite B: Mitatut puun kosteudet ja tiheydet	
Liite C: Mitatut tartuntapituudet	
Liite D: Mitatut voima-siirtymäriippuvuudet	
Liite E: Pitkäaikaiskokeiden kosteus- ja lämpötilaolosuhteet	

Symboliluettelo

F	voima
F_{\max}	murtokuorma
d	naulan paksuus
f_1	tartuntalujuusparametri (ENV 1995)
f_{ax}	ulosvetolujuus (EN 1995)
f_u	tartuntalujuuskerroin (RakMK B10)
k_{mod}	kuorman vaikutusajan ja rakenteen kosteuden vaikutuksen huomioon ottava lujuusparametrien muuntokerroin
l_p	naulan tartuntapituus kärjen puoleisessa puussa
n	lukumäärä
v	variaatiokerroin
ρ	puun tiheys
ρ_k	ominaistiheys
ρ_{ω}	kosteuspitoisuudessa ω määritetty puun tiheys
ρ_0	kuivatiheys
ω	puun kosteuspitoisuus

1. Yleistä

Tutkimuksen ensimmäisessä osassa määritettiin paineilmanaulaimissa käytettävien naulojen ulosvetolujuuksia EN 1382 standardin mukaisella testausmenetelmällä. Nauvoja oli neljää eri tyyppiä ja kahta eri paksuutta. Kokeita tehtiin kolmessa eri puun kosteuspitoisuudessa kahdella eri puun tiheysluokalla. Ulosvetolujuuskokeita tehtiin yhteensä 100 kpl. Kussakin koesarjassa oli 5 tai 10 samanlaista naulatestiä.

Tutkimuksen toisessa osassa testattiin paineilmanaulaimissa käytettävien naulojen ulosvetolujuutta pitkäaikaisessa kuormituksessa vaihtelevissa kosteusolosuhteissa. Nauvoja oli kolmea eri tyyppiä ja kahta eri paksuutta. Pitkäaikaiskuormitettuja nauvoja oli yhteensä 15 kpl. Kosteussyklitys tapahtui vaihtelemalla ilman suhteellista kosteutta noin 4 viikon sykleissä RH40- ja RH85-arvoissa. Kuormitus aloitettiin 50–60 %:n kuormitusasteella naulan lyhytaikaisesta ulosvetolujuudesta ja kuormitusta nostettiin RH40-sykliden jälkeen kahdessa tai kolmessa vaiheessa niin, että lopullinen kuormitusaste oli noin 80 %. Viimeisten naulojen kuormitukset lopetettiin 18,5 kuukauden kuluttua kokeen aloituksesta. Naulojen ulosvetomurtojen ajankohdat kirjattiin ylös.

Kaikissa koekappaleissa käytettiin kuusisahatavaraa (*Picea abies*). Tutkimukseen kuului puumateriaalin valinta ja tasaannutus, koekappaleiden valmistus ja tasaannutus, lyhytaikaiset ulosvetolujuuskokeet, pitkäaikaiskokeiden koejärjestelyjen rakentaminen ja portaittaiset kuormitukset kosteussyklityksessä, murtumisajankohtien seuranta, puun kosteus- ja tiheysmittaukset sekä tulosten raportointi ja analysointi.

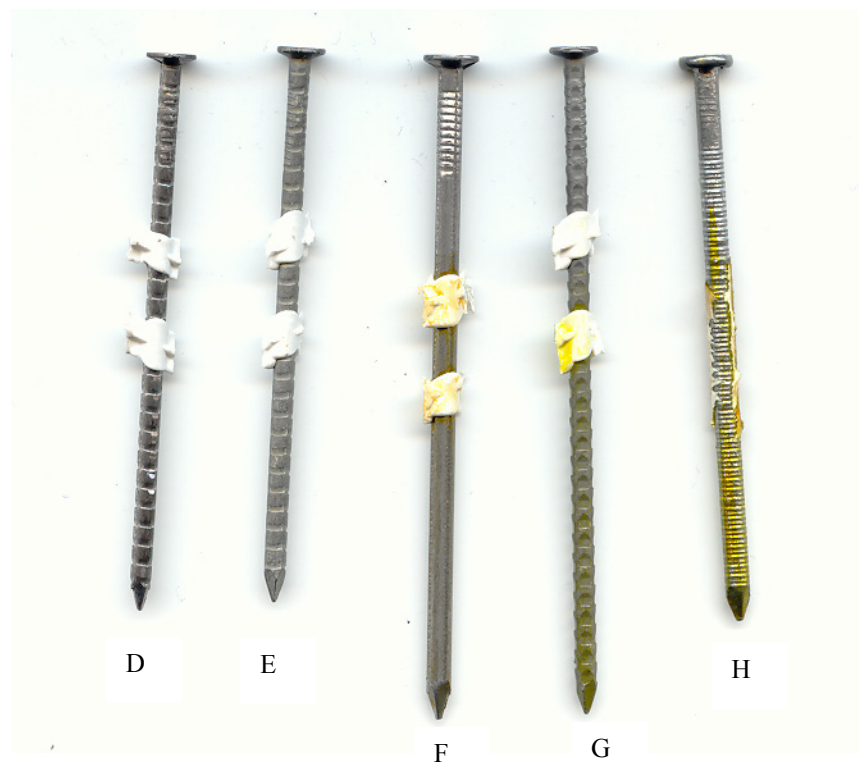
Tutkimuksen lopputuloksena esitetään konenaulojen ulosvetokapasiteetin mitoittamista koskevat VTT:n suositukset. Suositukset koskevat sekä Suomen rakentamismääräyskoelman (RakMK) osan B10 että Eurocode 5:n mukaista suunnittelua.

2. Lyhytaikaiskokeet

2.1 Naulat

Koekappaleissa käytettiin viittä erilaista naulaa (ks. kuva 1). Naulat hankittiin rauta-kaupoista. Naulalaatikoissa esitetyt tuotetiedot on esitetty liitteessä A. Nauloista on jäljempänä käytetty merkintöjä D–H, jotka on määritelty valmistajien antamien tuotekuvauksien mukaan seuraavasti :

- D: CN-konenaula 75 x 2,8 kirkas
- E: CN-konenaula 75 x 2,8 kuumasinkitty
- F: Nelikulmanaula 90 x 3,1 kirkas
- G: Liimakärkinaula 2,8 x 90 kuumasinkitty
- H: Kampanaula 75 x 3,1 kuumasinkitty.



Kuva 1. Tutkimuksessa käytetyt konenaulat ja niiden merkintä (D–H).

CN-konenaulat (D ja E) ja liimakärkinaulat (G) olivat poikkileikkaukseltaan pyöreitä ja niihin oli stanssattu noin 2,5 mm välein poikittaisia kiilamaisia uria, jotka avautuivat viistosti naulan kantaan päin ja olivat toisesta päästä reunaltaan pystysuoria. Liimakärkinaulan liimavyöhykkeen pituus oli noin 55 mm naulan kärjestä lukien.

Kampanaulat (H) olivat 34° naulaimeen tarkoitettuja paperisidosnauloja, kun kaikki muut tutkimuksessa käytetyt naulat olivat muovisidosnauloja, jotka oli tarkoitettu 22° naulaimeen. Poikkileikkaukseltaan pyöreään kampanaulaan oli stanssattu rengasmaisia uria noin 1,25 mm:n välein. Urien syvyys oli pieni: vain 0,2–0,3 mm. Kampanaulojen kärkeä oli pinnoitettu liimamaisella aineella kärjestä paperisidokseen saakka. Nelikulmanaulassa (F) oli kaikilla neljällä sivulla pienet naulan pituussuuntaiset urat.

2.2 Puutavara

Koekappaleita varten puutavaraliikkeestä valittiin ulkokuivaa 50 x 150 mm² kuusisahatavaraa, jonka syrjät höylättiin niin, että koekappaleaihioden leveydeksi tuli 145 mm. Koekappaleaihiot sahattiin 1 400 mm pituisiksi ja ne jaettiin kahteen tasaannutuserään. Toista erää varastoitiin noin 6 viikon ajan VTT:n vakioilmastointihuoneessa olosuhteissa RH 85 % ja T 20 °C (B-sarjat) ja toista erää vastaavasti RH65 %:n vakioilmastointihuoneessa (A- ja C-sarjat).

Koekappaleaihioden valinnassa noudatettiin EN 28970 standardin mukaista menetelmää 2, kun puun tiheyden vaadittava ominaisarvo oli lujuusluokan C24 mukainen 350 kg/m³ (AK-, BN- ja CK-koesarjat) tai lujuusluokan C40 mukainen 420 kg/m³ (AR-koesarja). Kuormituskokeiden jälkeen kustakin koekappaleesta sahattiin puun kosteus- ja tiheysnäyte. Standardien ISO 3130 ja ISO 3131 mukaan määritetyt puun kosteudet ja tiheydet on esitetty liitteessä B.

2.3 Koekappaleet

Koekappaleet valmistettiin naulaamalla paineilmanaulaimella kunkin 1 400 mm pituisen koekappaleaihion syrjään 10 konenaulaa. Naulojen välinen etäisyys oli 80–130 mm, reunaetäisyys 25 mm ja päätyetäisyys vähintään 100 mm. Naulat sijoitettiin siten, että niiden kohdalla puussa ei ollut oksia. Naulojen kannat pyrittiin jättämään pitkälle siten, että 2,8 mm paksujen naulojen tartuntapituus puussa olisi 50 mm (17,9*d*) ja 3,1 mm paksujen naulojen vastaavasti 55 mm (17,7*d*). D-, E-, F- ja G-naulat naulattiin Holz Her Typ 3542 -merkkisellä paineilmanaulaimella ja H-naulat Senko SN325 -naulaimella.

Naulaus suoritettiin siten, että lankun päällä käytettiin hahloon sahattua tarvittavan paksuista vanerivälikettä, jonka hahlon läpi naula ammuttiin. Koenaulausten perusteella naulaimissa käytettävät ilmanpaineet säädettiin niin, että naulan kanta saatiin jäämään mahdollisimman tarkkaan vanerivälikkeen pinnan tasoon. Naulauksen jälkeen vanerikapulat poistettiin halkaisemalla. Paineilmanaulauksen jälkeen naulojen tartuntapituuksia ei korjattu millään tavalla, esim. lyömällä tai vetämällä. Ennen testausta mitattiin todelliset naulan kannan etäisyydet puun pinnasta. Nämä mittaustulokset on esitetty liitteessä C.

Koesarjat ja niissä käytetyt naulat sekä koekappaleiden kosteustasaannutukset on esitetty taulukossa 1. Koekappalekohtainen naulojen numerointi on esitetty liitteessä C. Valmistuksen jälkeen koekappaleita säilytettiin RH65 (A-sarjat), RH40 (B-sarjat) tai RH85 (C-sarjat) vakioilmastointihuoneissa testaamiseen saakka, 6–7 viikon ajan.

Taulukko 1. Koesarjat ja niiden kosteustasaannutukset.

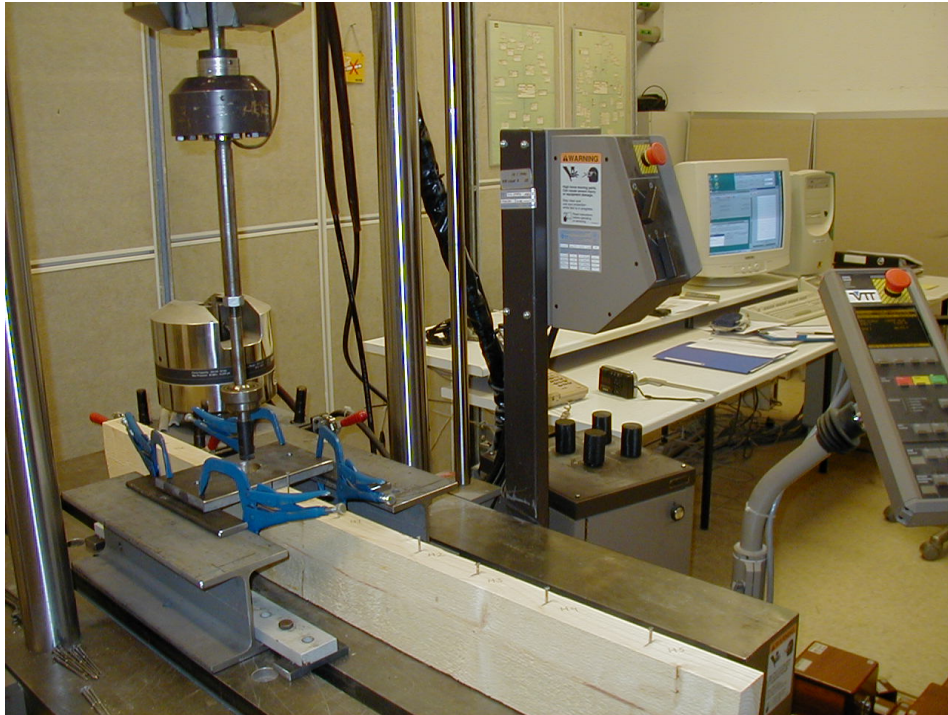
Koesarja	<i>n</i>	puu	naulat: lkm koekappaleessa x tunnus	valmistus	testaus
AK	5	C24	2F + 2D + 2E + 2G + 2H	RH65	RH65
AR	1	C40	5F+ 5H	RH65	RH65
BN	2	C24	BN1: 10F ja BN2: 5G + 5H	RH85	RH40
CK	2	C24	CK1: 5F + 3G + 2H ja CK2: 5F+ 2G + 3H	RH65	RH85

2.4 Kuormitusjärjestelyt

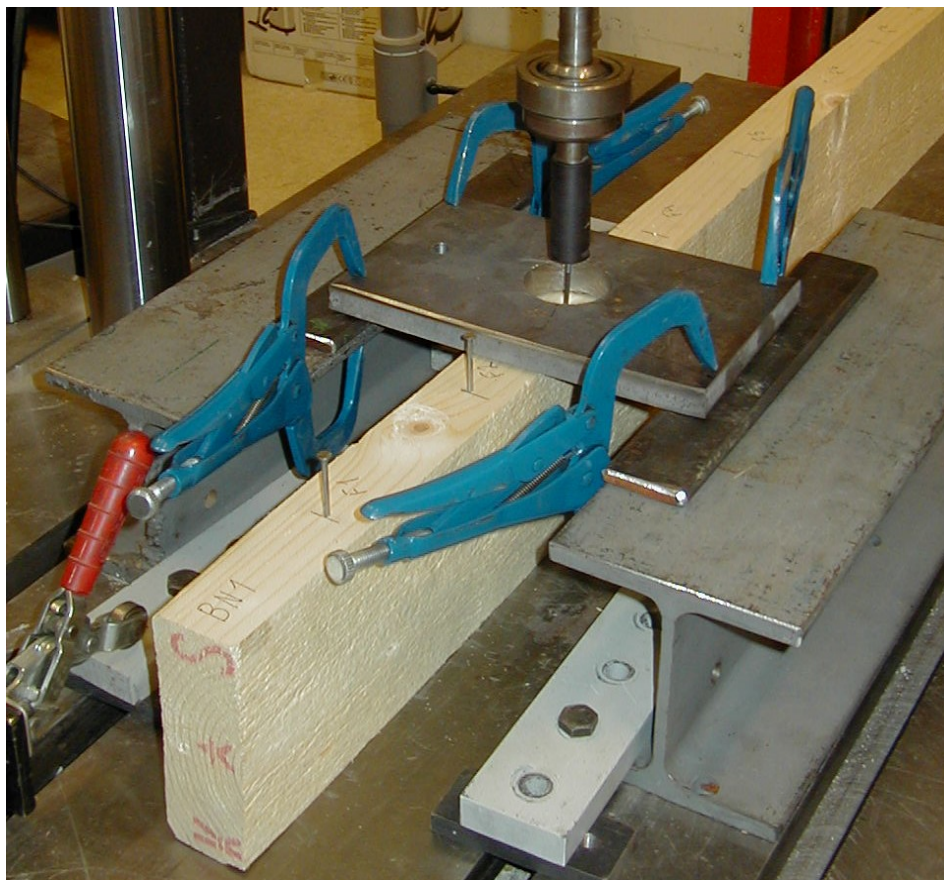
Ulosvetokokeet tehtiin EN 1382 standardin mukaisesti tasaisella kuormitusnopeudella voimaohjattuna. AR-koesarjassa kuormitusnopeus oli 15 N/s, AK-, CK- ja BNG-koesarjoissa 12 N/s, ja BNF- ja BNH-koesarjoissa 7 N/s. Kaikissa kokeissa murtokuorma saavutettiin 60–120 sekunnin kuluttua siitä, kun kuormitus aloitettiin. Kokeissa mitattiin voima ja vetosylinterin liike.

Kuormitusjärjestelyt on esitetty kuvissa 2 ja 3. Koekappale tuettiin aina testattavan naulan ympäriltä keskeisesti 150 mm leveällä teräslatalla, jonka keskellä oli halkaisijaltaan 55 mm:n reikä. Tukipisteen etäisyys naulasta oli tällöin kaikissa suunnissa vähintään 25 mm.

Ulosvetokokeet tehtiin Instron 8502 -merkkisellä hydraulisella aineentestauslaitteella. Testauslaitteen vetosylinteriin oli kiinnitetty erillinen voima-anturi, jonka mittaustarkkuus oli ± 1 N. Siirtymät mitattiin vetosylinteriin kiinnitetyllä ± 5 mm:n induktiivisella anturilla. Kuormitus toteutettiin tietokoneohjattuna ja mittaustulokset tallennettiin tietokoneen muistiin 1 sekunnin välein.



Kuva 2. Kuormitus- ja mittausjärjestelyt.



Kuva 3. Koekappaleen tuenta- ja kiinnitysjärjestelyt.

2.5 Koetulokset

Mitatut voima-siirtymäriippuvuudet on esitetty liitteessä D. Käyrissä esiintyvät alkusiirtymät ja heikommat alkujäykkyudet johtuivat vetosylinterin kiinnityspään ja naulan kannan välisestä alkuraosta ja kontaktipinnan muokkautumisesta. Kaikkien kokeiden murtotapa oli ulosvetomurto, jossa naulan tartunta pettää. Naulojen myötäämistä tai puun halkeamista ei havaittu.

Taulukossa 2 on esitetty ulosvetokapasiteettien keskiarvot (F_{\max}), variaatiokertoimet v ($v = \text{keskihajonta}/F_{\max}$) sekä kokeissa saadut tartuntalujuusparametrin keskiarvot ($f_{1,\text{mean}}$). Tartuntalujuusparametrin keskiarvo on laskettu EN 1382:n mukaan:

$$f_{1,\text{mean}} = \frac{F_{\max}}{d \cdot l_p} \quad (1)$$

missä d on naulan halkaisija ja l_p on mitattu tartuntapituus puussa (koesarjan keskiarvo).

Taulukko 2. Koetulokset.

Koesarja	Naula	ω (%)	$\rho_{\omega,65}$ (kg/m ³)	l_p (mm)	F_{\max} (kN)	v (%)	$f_{1,\text{mean}}$ (N/mm ²)
AK-D	CN kirkas	13,7	373	51,23	793	10,0	5,53
AK-E	CN ks	13,7	373	51,78	1421	15,4	9,80
AK-F	sileä kirkas	13,7	373	54,54	1213	9,2	7,17
AK-G	liimakärki ks	13,7	373	50,44	1329	16,0	9,41
AK-H	kampa ks	13,7	373	54,90	947	19,4	5,56
AR-F	sileä kirkas	14,1	476	53,42	1625	7,4	9,81
AR-H	kampa ks	14,1	476	49,84	1344	12,1	8,70
BN-F	sileä kirkas	10,6	355	53,97	468	5,7	2,80
BN-G	liimakärki ks	10,8	356	51,24	908	10,8	6,33
BN-H	kampa ks	10,8	356	58,64	677	7,9	3,72
CK-F	sileä kirkas	15,2	359	55,57	1239	18,0	7,19
CK-G	liimakärki ks	15,2	359	51,06	1326	7,5	9,27
CK-H	kampa ks	15,2	360	54,68	971	25,7	5,73

2.6 Koetulosten tarkastelu

Taulukossa 3 on esitetty koetulosten vertailu suunnitteluohjeissa ENV 1995-1-1:1993 (Eurocode 5, esistandardi), EN 1995-1-1:2004 (Eurocode 5) ja RakMK osan B10:ssä annettuihin naulan ulosvetolujuuksiin. Vertailu on tehty ominaislujuuksilla. H-koesarjoissa käytettyjä konenauloja markkinoidaan kampanauloina, joten niitä on vertailtu RakMK B10:n yhteydessä kampanauloille annettuihin arvoihin. Muita koetuloksia on vertailtu sileille tai kuumasinkityille nauloille annettuihin arvoihin. RakMK osan B10:ssä annetut naulan ulosvetolujuudet ovat samoja aikaluokissa B ja C eivätkä ne riipu kosteusluokasta. RH85:ssä tasaannutetut liitokset on tarkasteltu Eurocode 5:n yhteydessä käyttöluokassa 2.

Koesarjojen ulosvetolujuuden ominaisarvot on laskettu seuraavasti:

$$f_{1,k,test} = f_{1,mean} (1 - k_n V) \left(\frac{\rho_k}{\rho_{\omega,65}} \right)^2 \quad (2)$$

missä $V = \max(v; 0,1)$,

$k_n = 2,33$, kun $n = 5$ ja $k_n = 1,92$, kun $n = 10$ (EN 1990:2002),

ρ_k on puun tiheyden ominaisarvo ko. lujuusluokassa ja

$\rho_{\omega,65}$ koesarjan puun tiheyden keskiarvo RH65:ssä.

Mikäli koesarjan keskihajonta on ollut suurempi kuin 15 %, ominaislujuus on laskettu myös tilanteessa, jossa koesarjasta on otettu pois paras ja huonoin tulos. Taulukossa 3 on esitetty näin lasketuista ominaisarvoista suurempi. Esitetty ominaislujuuden laskenta ja naulan ulosvetolujuuden tiheyskorjaus vastaavat Eurocode-normeja (ENV 1991, EN 1990, ENV 1995 ja EN 1995).

Taulukosta 3 voidaan havaita, että suunnitteluohjeissa annetut naulan ulosvetolujuudet ovat konenauloille sovellettuna yleensä konservatiivisia. RakMK:n osassa B10 kampanauloille annetut tartuntalujuudet ovat kuitenkin aivan liian korkeita arvoja tutkimuksessa käytetyille kampanauloille. Pahimmassa tapauksessa kokeellisesti määritetty ominaislujuus oli vain 41 % B10:ssä annetusta ominaisarvosta (koesarja BN-H). Eurocode 5:ssä on annettu vain sileän naulan ulosvetolujuus, joka riippuu sahatavaran lujuusluokasta. Tehtyjen kokeiden mukaan puun tiheydellä on merkittävä vaikutus ulosvetolujuuteen – ei kuinkaan niin suuri vaikutus kuin Eurocode-mitoituksessa oletetaan.

Tutkimuksessa havaittiin, että jos liitos kuivuu valmistuksen jälkeen, ulosvetolujuus pienenee selvästi. Varsin normaalia käytännön tilannetta vastaavissa B-koesarjan kokeissa saatiin 19 %, 30 % ja 57 % pienemmät ulosvetolujuudet kuin vastaavissa

testausstandardin mukaisissa A-sarjan kokeissa. B-koesarjojen voidaan katsoa vastaavan tilannetta, jossa naulaus suoritetaan ulkokuivaan puuhun (RH85) ja kuormitettuna liitos sijaitsee lämmitetyssä sisätilassa (RH40). Puun kuivuminen pitäisi siis ottaa suunnittelussa erikseen huomioon, mikäli mitoituksessa käytetään EN 1382:1999 standardin mukaisella kosteuspitoisuudella testaamalla määritettyjä ulosvetoloujuuksia.

Koetuloksista havaitaan myös, että kuumasinkityillä nauloilla oli selvästi vastaavia pinnoittamattomia nauloja parempi ulosvetoloujuus. Kuumasinkityn CN-naulan (E) tartuntaloujuus oli myös yhtä hyvä kuin vastaavan profiilin liimakärkinaulan (G) tartuntaloujuus. Kampanaulana markkinoidun naulan (H) tartuntaloujuus oli testausstandardin mukaisissa A-sarjan kokeissa kaikkein heikoin. Testattujen kampanaulojen urat olivat selvästi pienempiä ja tiheämpään sijoitettuja kuin käsinnaulaukseen tarkoitetuissa kampanauloissa yleensä käytetään. Lisäksi kampanaulojen uritukset olivat osittain täyttyneet paperisidoksen liimasta.

Taulukko 3. Koetuloksista laskettujen ominaislujuuksien vertailu suunnitteluohjeisiin. Koetuloksiin nähden epävarmalla puolella olevat suunnitteluohjeiden ominaisarvot on esitetty tummennettuna.

Koesarja	Naula	kost.lk	puu	l_p (mm)	$f_{1,k, \text{test}}$ (N/mm ²)	ENV 1995 $f_{1,k}$	EN 1995 $f_{ax,k}$	B10 $f_{u,k}^{*})$
AK-D	CN kirkas	2	C24	51,23	3,93	2,21	2,45	1,47
AK-E	CN ks	2	C24	51,78	6,56	2,21	2,45	2,85
AK-F	sileä kirkas	2	C24	54,54	5,10	2,21	2,45	1,46
AK-G	liimakärki ks	2	C24	50,44	6,52	2,21	2,45	2,84
AK-H	kampa ks	2	C24	54,90	3,42	2,21	2,45	6,68
AR-F	sileä kirkas	2	C40	53,42	5,86	3,18	3,53	1,46
AR-H	kampa ks	2	C40	49,84	4,86	3,18	3,53	6,62
BN-F	sileä kirkas	1	C24	53,97	2,20	2,21	2,45	1,46
BN-G	liimakärki ks	1	C24	51,24	4,58	2,21	2,45	2,85
BN-H	kampa ks	1	C24	58,64	2,76	2,21	2,45	6,72
CK-F	sileä kirkas	3	C24	55,57	4,71	2,21	2,45	1,47
CK-G	liimakärki ks	3	C24	51,06	6,76	2,21	2,45	2,85
CK-H	kampa ks	3	C24	54,68	3,93	2,21	2,45	6,68

*) jaettuna koko tartuntapituudelle.

3. Pitkäaikaiskokeet

3.1 Materiaalit

Pitkäaikaiskokeiden koekappaleissa käytettiin kolmea erilaista naulaa. Naulat otettiin samoista pakkauksista kuin lyhytaikaiskokeiden naulat. Naulat olivat seuraavia tyyppisiä, joiden kuvaus on esitetty tarkemmin luvussa 2.1:

- D: CN-konenaula 75 x 2,8 kirkas
- F: Nelikulmanaula 90 x 3,1 kirkas
- H: Kampanaula 75 x 3,1 kuumasinkitty.

Koekappaleita varten puutavaraliikkeestä valittiin kaksi soiroa ulkokuivaa 50 x 150 mm² kuusisahatavaraa, jonka tiheys ρ_{RH65} olisi 350–380 kg/m³. Soirojen syrjät höylättiin niin, että koekappaleaihioden leveydeksi tuli 145 mm. Ennen naulojen kiinnittämistä koekappaleihtiota varastoitiin noin 4 kk ajan VTT:n vakioilmastointihuoneessa olosuhteissa RH 85 % ja T 20 °C. Pitkäaikaiskokeiden päättyessä kummastakin koekappaleesta sahattiin puun kosteus- ja tiheysnäyte. Kokeiden päättyessä viimeisenä kosteussyklinä oli ollut 3 kk kestänyt RH 65 %. Standardien ISO 3130 ja ISO 3131 mukaan määritetyt puun kosteudet ja tiheydet on esitetty liitteessä B.

3.2 Koekappaleet

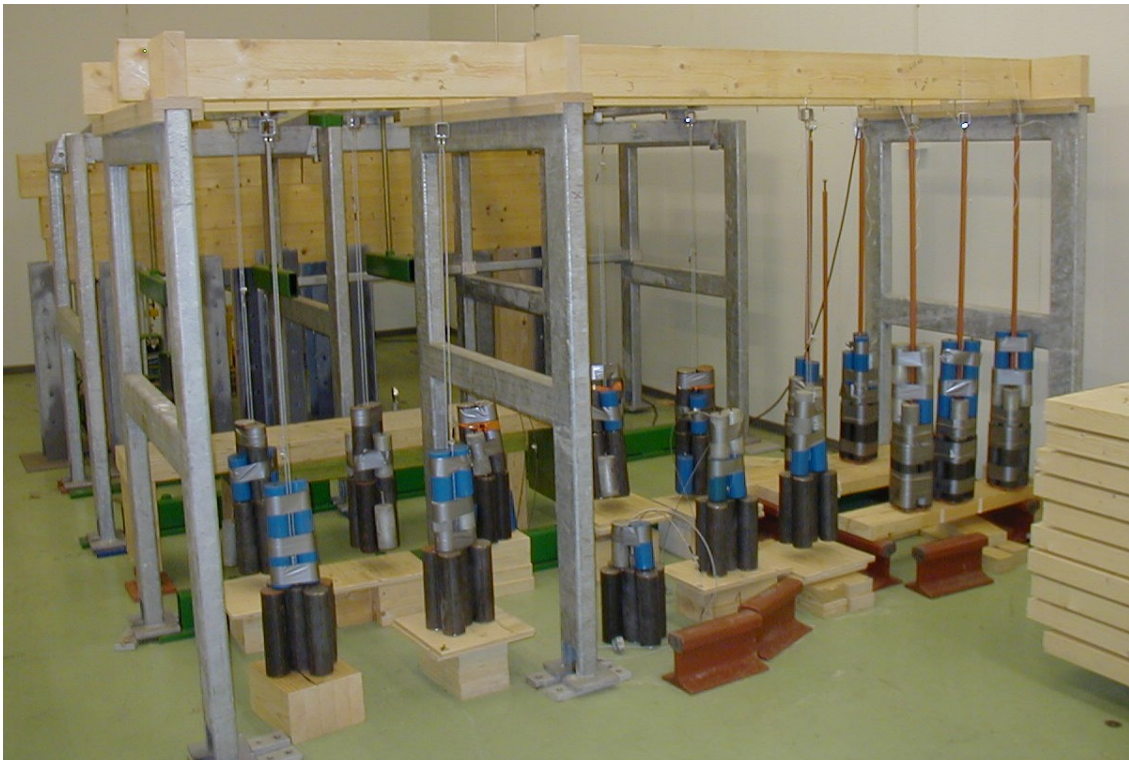
Koekappaleet valmistettiin naulaamalla paineilmanaulaimella testattavat naulat noin 3,5 m pituisten koekappaleaihioden syrjään. Naulojen välinen etäisyys oli vähintään 250 mm, reunaetäisyys 25 mm ja päätyetäisyys vähintään 300 mm. Naulat sijoitettiin siten, että niiden kohdalla puussa ei ollut oksia. Naulojen kannat pyrittiin jättämään pitkälle siten, että 2,8 mm paksujen naulojen tartuntapituus puussa olisi 50 mm (17,9*d*) ja 3,1 mm paksujen naulojen vastaavasti 55 mm (17,7*d*). D- ja F-naulat naulattiin Holz Her Typ 3542 -merkkisellä paineilmanaulaimella ja H-naulat Senko SN325 -naulaimella.

Naulaus suoritettiin siten, että lankun päällä käytettiin hahloon sahattua tarvittavan paksuista vanerivälikettä, jonka hahlon läpi naula ammuttiin. Koenaulausten perusteella naulaimissa käytettävät ilmanpaineet säädettiin niin, että naulan kanta saatiin jäämään mahdollisimman tarkkaan vanerivälikkeen pinnan tasoon. Naulauksen jälkeen vanerikapulat poistettiin halkaisemalla. Paineilmanaulauksen jälkeen naulojen tartuntapituuksia ei korjattu millään tavalla, esim. lyömällä tai vetämällä. Naulan kannan todelliset etäisyydet puun pinnasta mitattiin ennen kuormitusta. Mittaustulosten mukaiset naulakohtaiset todelliset tartuntapituudet on esitetty taulukoissa 4–6.

3.3 Kuormitusjärjestelyt

Pitkäaikaiskuormitukset toteutettiin VTT:n Tutkimushalli 1:n kosteushuoneessa teräspainoilla. Naulan kantaan kiinnitettiin hahloon sahattu 40 x 40 mm² teräspalkista sahattu rengas, jonka vastakkaiselle puolelle kiinnitettiin painot vaijerin tai terästangon avulla. Kuormitusjärjestelyt on esitetty kuvissa 4 ja 5. D- ja F-sarjan naulojen kuormitukset aloitettiin samanaikaisesti. H-sarjan naulojen kuormitukset aloitettiin 2 kk myöhemmin.

Aloituskormat valittiin siten, että naulan kuormitusaste olisi 50–60 % vastaavasta lyhytaikaiskokeen ulosvetolujuudesta. Referenssiarvona pidettiin lyhytaikaiskokeiden B-sarjojen tuloksia, joissa naulat oli naulattu RH85-kosteuden puuhun ja kuormitettiin RH40-tasaannutuksen jälkeen. D-sarjan nauloille ei ollut tehty B-sarjan lyhytaikaiskokeita. Vastaavan tyyppisillä nauloilla tehtyjen kokeiden perustella D-sarjan naulojen kosteustilan keskimääräiseksi lyhytaikaiseksi tartuntalujuusparametriksi arvioitiin $f_{1,mean} = 4,15 \text{ N/mm}^2$, joka on 75 % testatusta D-sarjan naulojen keskimääräisestä ulosvetolujuudesta RH65-kosteudessa puun tiheydellä $\rho_{RH65} = 373 \text{ kg/m}^3$.



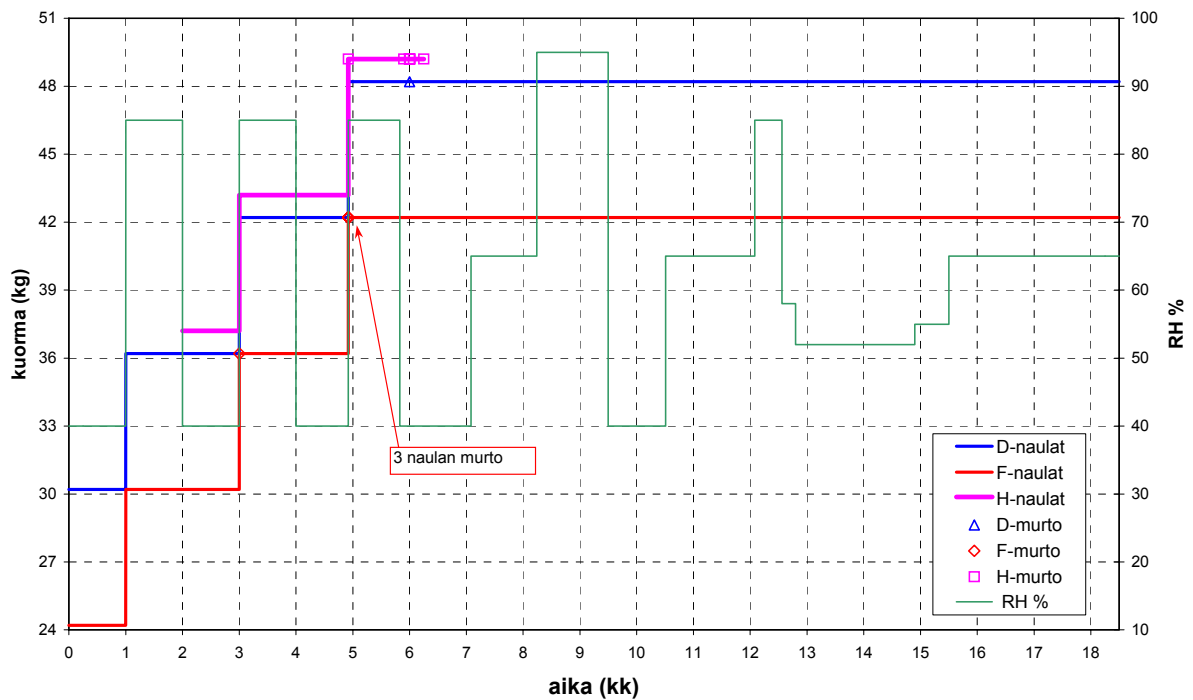
Kuva 4. Koejärjestelyt. Kuva on otettu 8 kk kuluttua kokeen aloituksesta.



Kuva 5. Ripustuskuorman kiinnitysjärjestely naulan kantaan.

Kolmen ensimmäisen kuivaussyklin jälkeen, 1, 3 ja 5 kk kuluttua kokeiden aloituksesta, D- ja F-sarjan naulojen kuormaa korotettiin 6 kg/kpl kullakin kerralla. Tällöin naulojen lopullisiksi kuormitusasteiksi tuli noin 80 % RH40:een kuivattujen liitosten keskimääräisestä lyhytaikaisuudesta. Murtumattomien D- ja F-sarjan naulojen kuormitukset lopetettiin 18,5 kuukauden kuluttua kokeiden aloituksesta. H-sarjan nauloille tehtiin vastaavasti kaksi kuormituksen nostoa. H-sarjan viimeisen naulan ulosvetomurto tapahtui noin 75 %:n kuormitustasolla 4,3 kuukauden kuluttua kokeen aloituksesta.

Naulojen ulosvetomurtumisen ajankohtaa tarkkailtiin kuormitusten aloitus- ja nostopäivinä vähintään 4 kertaa kokeen aloituksesta aikavälillä 0 h–6 h. Naulojen ripustuskuormat ja niiden nostoajankohdat on esitetty kuvassa 6. Kosteussykliä vaihtojen jälkeen naulojen kantavuudet tarkistettiin päivittäin 5 päivän ajan. Muutoin seuranta tehtiin vähintään kerran kolmessa vuorokaudessa.



Kuva 6. Kosteus- ja kuormitussyklit sekä naulojen murtoaajankohdat.

3.4 Olosuhteet

Pitkäaikaiskokeiden kosteushuoneen ilman suhteellinen kosteus ja lämpötila on esitetty liitteessä E siltä ajanjaksolta, jona kokeet tehtiin. Lämpötila oli $20 \pm 2,5$ °C. Kuvassa 6 on esitetty kosteussykliin keskimääräiset ilman suhteelliset kosteuspitoisuudet. Kokeet aloitettiin 4 viikkoa kestäneellä kuivalla RH40-syklillä ja tätä seurasi 4 viikon mittainen kostea RH85-sykli. Näitä syklityksiä jatkettiin 7 kk:n ajan. Tämän jälkeen kosteushuoneeseen tuli myös muuta käyttöä, ja huoneen kosteussyklitykset vaihtelivat RH40:n ja RH95:n välillä kuvan 6 mukaisesti.

3.5 Koetulokset

Naulojen tartuntamurtojen ajankohdat on esitetty kuvassa 6. Taulukoissa 4–6 on esitetty viimeisen ja sitä edeltäneen kuormitussyklin kestoajat. Kaikissa murtumiset olivat naulan tartunnan peittämisestä johtuvia ulosvetomurtoja. Naulojen myötäämistä tai puun halkeamista ei havaittu. Naulojen tartuntamurrot tapahtuivat joko kuormituksen nostovaiheessa tai välittömästi sen jälkeen 10 min kuluessa tai kostutussykliä seuranneen RH40-kuivasyklin alkuvaiheessa 4,5–6 viikon kuluttua siitä, kun kuormitusta oli viimeksi nostettu (ks. kuva 6).

Taulukoissa 4– 6 esitetyt nauhojen kuormitusasteet on laskettu seuraavasti:

$$\text{kuor.aste} = \frac{f_{1,long}}{f_{1,mean}} \quad (3)$$

kun

$$f_{1,long} = \frac{F}{d \cdot l_p} \left(\frac{\rho_{short}}{\rho_{RH65}} \right)^2 \quad (4)$$

joissa $f_{1,mean}$ on lyhytaikaiskokeessa määritetty naulan keskimääräinen tartuntalujuusparametri, kun naulaus oli tehty RH85-tasaannutettuun puuhun ja ulosvetokokeet RH40-tasaannutettuna,

F on pitkäaikaiskokeen kuorma,

d on naulan halkaisija,

l_p on naulan tartuntapituus puussa (ks. taulukot 4–6),

ρ_{short} on puun RH65-tasaannutettu keskimääräinen tiheys lyhytaikaiskokeissa, joissa $f_{1,mean}$ on määritetty (ks. taulukko 2) ja

ρ_{RH65} on puun RH65-tasaannutettu tiheys pitkäaikaiskokeessa (ks. liite B).

Taulukko 4. Kirkkaiden CN-naulojen 75 x 2,8 pitkäaikaiskokeiden tulokset.

koe	l_p (mm)	2. viimeinen kuormitus sykli			viimeinen kuormitus sykli		
		F (N)	kuor.aste	aika (d)	F_{max} (N)	kuor.aste	aika
D1	50,38	414	0,696	59	473	0,795	≥ 13,5 kk
D2	48,86	414	0,718	59	473	0,820	≥ 13,5 kk
D3	49,03	414	0,715	59	473	0,817	35 d
D4	50,00	414	0,701	59	473	0,801	≥ 13,5 kk
D5	50,66	414	0,692	59	473	0,791	≥ 13,5 kk
keskimäärin			0,70	59		0,80	11 kk

Taulukko 5. Sileiden nelikulmanaulojen 90 x 3,1 pitkäaikaiskokeiden tulokset.

koe	l_p (mm)	2. viimeinen kuormitus sykli			viimeinen kuormitus sykli		
		F (N)	kuor.aste	aika (d)	F_{max} (N)	kuor.aste	aika
F1	56,56	355	0,695	59	414	0,811	0-5 min
F2	54,52	355	0,721	59	414	0,841	0-5 min
F3	53,96	296	0,608	61	355	0,729	10 min
F4	55,46	355	0,709	59	414	0,827	0-5 min
F5	54,53	355	0,721	59	414	0,841	> 13,5 kk
keskimäärin			0,69	59		0,81	82 d

Taulukko 6. Kuumasinkittyjen kampanaulojen 75 x 3,1 koetulokset.

koe	l_p (mm)	2. viimeinen kuormitusyksi			viimeinen kuormitusyksi		
		F (N)	kuor.aste	aika (d)	F_{max} (N)	kuor.aste	aika
H1	53,86	424	0,660	59	483	0,752	42 d
H2	53,56	424	0,664	59	483	0,756	32 d
H3	52,21	424	0,681	59	483	0,776	35 d
H4	53,35	424	0,638	59	483	0,727	0-5 min
H5	53,23	424	0,639	59	483	0,728	35 d
keskimäärin			0,66	59		0,75	29 d

Kirkkailla D-sarjan 2,8 mm:n CN-nauloilla tapahtui yhden naulan ulosvetomurto viisi viikkoa sen jälkeen, kun kuormitus oli nostettu noin 82 %:n kuormitusasteelle. Tällöin oli kulunut 7 vuorokautta RH40-syklin alkamisesta. Muut neljä naulaa kantoivat kuormaa koko kokeen loppuajan noin 80 %:n kuormitustasolla 13,5 kuukauden ajan vaihtelevissa kosteuksissa (RH40–RH95). Kokeiden päättyessä nauloissa havaittiin ruostepilkkuja. Korkeissa kosteuspitoisuuksissa tapahtunut ruostuminen oli todennäköisesti parantanut naulojen tartuntalujuutta.

Sileillä F-sarjan 3,1 mm paksuilla nauloilla kaikki murtumiset tapahtuivat kuormituksen noston yhteydessä tai välittömästi sen jälkeen enintään 10 min kuluessa. Kuormitusaste oli tällöin yhdellä naulalla 73 % ja muilla nauloilla noin 82 %. Yhden naulan kantavuus säilyi 84 %:n kuormitustasolla kokeen loppuun saakka 13,5 kk ajan. Naulaan muodostui tänä aikana ruostepilkkuja.

Kuumasinkityistä 3,1 mm paksuista H-sarjan kampanauloista yksi murtui kuormituksen nostovaiheessa noin 73 %:n kuormitusasteella. Muut 4 naulaa murtuivat noin 75 %:n kuormitustasolla 4,5–6 viikon kuluttua kuorman nostosta ja 4–14 vuorokauden kuluttua RH40-kuivatussyklin aloituksesta.

3.6 Koetulosten tarkastelu

Pitkäaikaiskokeet tehtiin normaaleja käyttöolosuhteita huomattavasti tiheämmillä kosteusyksiyksillä. Noin 2 kuukautta kestäneen RH40+RH85-syklin voidaan katsoa vastaavan todellisessa rakenteessa vuotuisesti tapahtuvaa kosteusvaihtelua. Tällöin pitkäaikaisessa kuormituksessa tartunnasta murtuneiden naulojen (D3, H1, H2, H3 ja H5) koe-kuormituksen voidaan katsoa vastaavan RakMK B10 -ohjeiden aikaluokkaa A (kuorman kesto > 1,5 kk) tai Eurocode 5:n mukaista keskipitkää aikaluokkaa (1 vk–6 kk).

Kuorman nostovaiheissa 73–84 %:n kuormitusasteilla murtuneet naulat osoittivat, että edeltänyt alemman tason pitkäaikainen kuormitus vaihtelevissa kosteusolosuhteissa oli

heikentänyt naulan lyhytaikaista tartuntalujuutta. Tämä ilmiö pitäisi ottaa huomioon naulojen ulosvetokapasiteetin mitoituksessa. Pääosin pysyvällä kuormalla tartuntarasetun naulan muuttuvien kuormien kantavuus on huomattavasti heikompi kuin puurakenteiden ja niiden liitosten mitoituksessa yleensä oletetaan.

RakMK B10 -ohjeiden mukaan aikaluokassa A naulojen tartuntalujuudet kerrotaan 0,8:lla, sileiden naulojen arvot kuitenkin 0,5:llä. Kokeissa käytetyillä konenauloilla tehtyjen lyhytaikaiskokeiden tulosten perusteella myös D-sarjan CN-naulat ja H-sarjan kampanaulat on luokiteltava sileiksi nauloiksi. Sileiden naulojen aikaluokalle A asetettu 50 %:n kuormitusasterajoitus ylitettiin kaikkien naulojen pitkäaikaiskokeissa. Kuorman nostovaiheissa 73–84 %:n kuormitusasteilla tapahtuneet murtumiset ovat sopusuhteissa RakMK B10 -tartuntamitoitusohjeiden kanssa, sillä RakMK-ohjeissa tartuntalujuuden korottaminen aikaluokan B arvosta on kielletty hetkellisen aikaluokan C kuormituksen yhteydessä. Tämä sääntö vaikuttaa tehtyjen kokeiden mukaan relevantilta. Testaamalla määritettävät naulakohtaiset aikaluokan B tartuntalujuuden ominisarvot annetaan jakamalla kokeellisesti saatu lyhytaikainen ominisarvo kertoimella 1,3 (kuorm.aste = $1/1,3 = 0,77$).

Eurocode 5:n mukaisessa mitoituksessa keskipitkän aikaluokan tartuntalujuudet saadaan käyttöluokissa 1 ja 2 kertomalla lyhytaikaiskoetta vastaava ominisarvo kertoimella $k_{mod} = 0,8$. Pitkäaikaiskuormituksessa tartuntamurtuneiden naulojen kuormitusasteet (0,73–0,82) vastasivat kohtuullisesti tätä k_{mod} -kerrointa, kun otetaan huomioon, että viisi liitosta säilytti kantavuutensa 79–84 %:n kuormitusasteella 13,5 kk ajan. Eurocode 5:n mukaisessa mitoituksessa ei oteta kuitenkaan huomioon pitkäaikaiskuormituksessa tapahtuvaa naulan lyhytaikaisen tartuntalujuuden heikentymistä. Kuorman nostovaiheessa tapahtuneista viiden naulan tartuntamurrosta ainoastaan yhtä (F2) voidaan pitää pelkästään normaalin lujuushajonnan puitteissa tapahtuneena murtona. Pääosin pysyvillä tai pitkäaikaisilla kuormilla ulosvetorasitetun naulan tartuntamitoituksessa pitäisi käyttää niitä vastaavia k_{mod} -kertoimia myös lyhytaikaisemmissa kuormitusyhdistelmissä.

4. Suunnitteluohjesuositukset

VTT suosittelee tutkimustulosten perusteella alla esiteltyjä täydennyksiä RakMK-osan B10:n ja Eurocode 5:n mukaisiin naulojen ulosvetokapasiteetin mitoitusohjeisiin. Lisäksi VTT suosittelee ulosvetolujuuden eurooppalaisen testausstandardin EN 1382 puun tasaannutuksia koskevien ohjeiden korjaamista siten, että naulat asennetaan RH85:ssä tasaannutettuun puuhun ja koekappaleet tasaannutetaan tämän jälkeen (20 ± 2)°C:n lämpötilassa ja (40 ± 5) % ilman suhteellisessa kosteudessa ennen testaamista.

RakMK B10 Ohjeet 2001

- RakMK-osan B10 taulukossa 5.6 esitettyjen naulojen tartuntalujuuskertoimien sijasta on suositeltavampaa käyttää naulan käyttöselosteessa tuotekohtaisesti annettuja tartuntalujuuksia. Käyttöselosteen myöntää ympäristöministeriön tähän tarkoitukseen hyväksymä toimielin. *Ohje ko. toimielimille: Käyttöselosteessa annettavat tartuntalujuusparametrit määritetään puolueettomassa tutkimuslaitoksessa testaamalla SFS-EN 1382 standardia soveltaen siten, että naulaus suoritetaan RH85:ssä tasaannutettuun puuhun ja testaus RH40:ssä tasaannutettuna. Aikaluokan B ja C ominaisarvo on sama ja se saadaan jakamalla koetilannetta vastaava ominaisarvo kertoimella 1,3. Aikaluokan A arvot saadaan kertomalla aikaluokan B arvot 0,5:llä, jos $f_u < 1,6 \text{ N/mm}^2$ ja 0,8:lla, jos $f_u > 5,2 \text{ N/mm}^2$, väliarvot voidaan interpoloida lineaarisesti.*
- Liimakärkinaulojen ja profiloitujen konenaulojen tartuntalujuus lasketaan sileiden tai kuumasinkittyjen naulojen kaavoilla ja arvoilla, ellei kyseisellä naulalla ole käyttöselosteessa annettua tartuntalujuutta.

Eurocode 5 - ENV 1995-1-1:1993 ja EN 1995-1-1:2004

- Mikäli naulalle on määritetty tuotekohtainen ulosvetolujuus EN 1382:1999 standardin mukaan RH65:ssä tasaannutetulla puulla, tulee tartuntalujuusparametria $f_{1,k}$ (ENV 1995) tai $f_{ax,k}$ (EN 1995) redusoida sileillä nauloilla kertoimella 0,4 ja profiloituilla nauloilla kertoimella 0,7. Naula luokitellaan prEN 14592 standardin mukaisesti profiloituksi, jos sen ulosvetolujuusparametrin ominaisarvo $f_{ax,k} \geq 6 \text{ N/mm}^2$ RH65:ssä määritettynä puun tiheydellä $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$. Muussa tapauksessa naula luokitellaan sileäksi.
- Mikäli pysyvän ja pitkäaikaisen aikaluokan mitoituskuormien yhteenlaskettu osuus naulan ulosvetokuormituksen mitoitusarvosta on suurempi kuin 1/3, tartuntakapasiteetin laskennassa käytettävälle k_{mod} -kertoimelle ei saa käyttää suurempaa arvoa kuin 0,7 ($k_{mod} \leq 0,7$).

Lähdeluettelo

EN 1381. 1999. Timber Structures – Test methods – Withdrawal capacity of timber fasteners.

EN 1990. 2002. Eurocode - Basis of structural design.

EN 1995-1-1. 2004. Eurocode 5 – Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings.

EN 28970. 1992. Timber structures. Testing of joints made with mechanical fasteners. Requirements for wood density

ENV 1991-1. 1994. Eurocode 1: Basis of design and actions on structures. Part 1: Basis of design.

ENV 1995-1-1. 1993. Eurocode 5: Design of timber structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings.

ISO 3130. 1975. Wood - Determination of moisture content for physical and mechanical tests.

ISO 3131. 1975. Wood - Determination of density for physical and mechanical tests.

prEN 14592. 2002. Timber structures – Fasteners – Requirements. Brussels CEN.

Onnettomuustutkintakeskus. 2001. Supermarketin sisäkaton putoaminen Pudasjärvellä 27.12.2000. Tutkintaselostus B 2/2000 Y. Helsinki. ISBN 951-836-052-9.

Suomen rakentamismääräyskokoelma B10 – Puurakenteet – Ohjeet 2001. Ympäristöministeriön asetus puurakenteista, annettu Helsingissä 6.10.2000.

Liite A: Naulojen myyntipakkauksissa esitetyt tuotetiedot

<p>D</p> <p>CN-KONENAULA HUGGEN SPIK/JAGGED NAIL</p> <p>75 x 2,8 22°</p> <p>KIRKAS / BLANK / BRIGHT 17-09-01 KPL/ST/PCS 3000 KESKO ART. 369133 03SL177528LTK</p> 	<p>E</p> <p>CN-KONENAULA HUGGEN SPIK/JAGGED NAIL</p> <p>75 x 2.8 22°</p> <p>KUUMASINKITTY / VFZ / HDG 20-02-02 KPL/ST/PCS 3000 KESKO ART. 369140 03SL277528LTK</p> 
<p>F</p> <p>NELIKULMANAULA FYRKANTSPIK</p> <p>KIRKAS BLANK KOODI 15L119031 KPL 3000 ST</p> <p>90 x 3.1</p> <p>1998</p>	<p>G</p> <p>Paineilmanauloja Täyskanta, muovisidos, liimakärki</p> <p>2,8 x 90 1200 kpl</p> <p>KUUMASINKITTY, TARRANAULA</p> <p>Tuoteno: T9028KS 18-09-02</p> <p>OY MECHELIN COMPANY AB Mekaanikonkatu 13, 00810 Helsinki Puh. 09-755151 Fax. 09-75515252 6 414543 651072</p> 
<p>H</p> <p>34° KONENAULA PAPER COLLATED STRIP NAIL</p> <ul style="list-style-type: none">• Kuumasinkitty, kampa• Hot dipped, ring <p>75 x 3,1mm</p> <p>2500 Kpl 2500 Pcs</p>  <p>6 410404 625527</p> <p>Valmistuttaja / Manufactured for: Kesko Ltd / Tools, Finland</p> 	

Liite B: Mitatut puun kosteudet ja tiheydet

Lyhytaikaiskokeiden koekappaleet:

Tilaja: Ympäristöministeriö
Mittaus: Puun kosteus ja tiheys
Standardi: ISO 3130, ISO 3131

PVM. 21.2.2003
TYÖ: Naulojen ulosveto

Koekappaleen tunnus	Paksuus mm	Leveys mm	Pituus mm	Märkäpaino g	Kuivapaino g	Kosteus ω %	Tiheys ρ_{ω} kg/m ³	Tiheys ρ_0 kg/m ³
AK1	50,88	43,68	146,83	118,50	104,06	13,9	363	319
AK2	52,23	44,59	146,76	125,86	111,06	13,3	368	325
AK3	52,30	42,74	146,47	117,04	102,81	13,8	357	314
AK4	51,35	46,73	146,66	133,61	117,35	13,9	380	333
AK5	51,97	44,45	146,14	133,71	117,61	13,7	396	348
AR	51,78	43,44	146,62	157,05	137,70	14,1	476	418
BN1	51,95	43,22	145,42	112,79	101,99	10,6	345	312
BN2	50,57	43,50	145,42	111,02	100,23	10,8	347	313
CK1	52,38	42,39	147,02	117,49	102,19	15,0	360	313
CK2	51,69	42,79	147,13	119,93	103,96	15,4	369	319

Pitkäaikaiskokeiden koekappaleet:

Tilaja: Ympäristöministeriö
Mittaus: Puun kosteus ja tiheys
Standardi: ISO 3130, ISO 3131

PVM. 14.10.2004
TYÖ: Naulojen pitkäaikainen ulosveto

Koekappaleen tunnus	Paksuus mm	Pituus mm	Leveys mm	Märkäpaino g	Kuivapaino g	Kosteus ω %	Tiheys $\rho_{\omega} = \rho_{RH65}$ kg/m ³	Tiheys ρ_0 kg/m ³
Lankku A	51,71	52,21	145,56	142,13	126,25	12,6	362	321
Lankku B	51,91	52,76	145,67	147,48	131,15	12,5	370	329

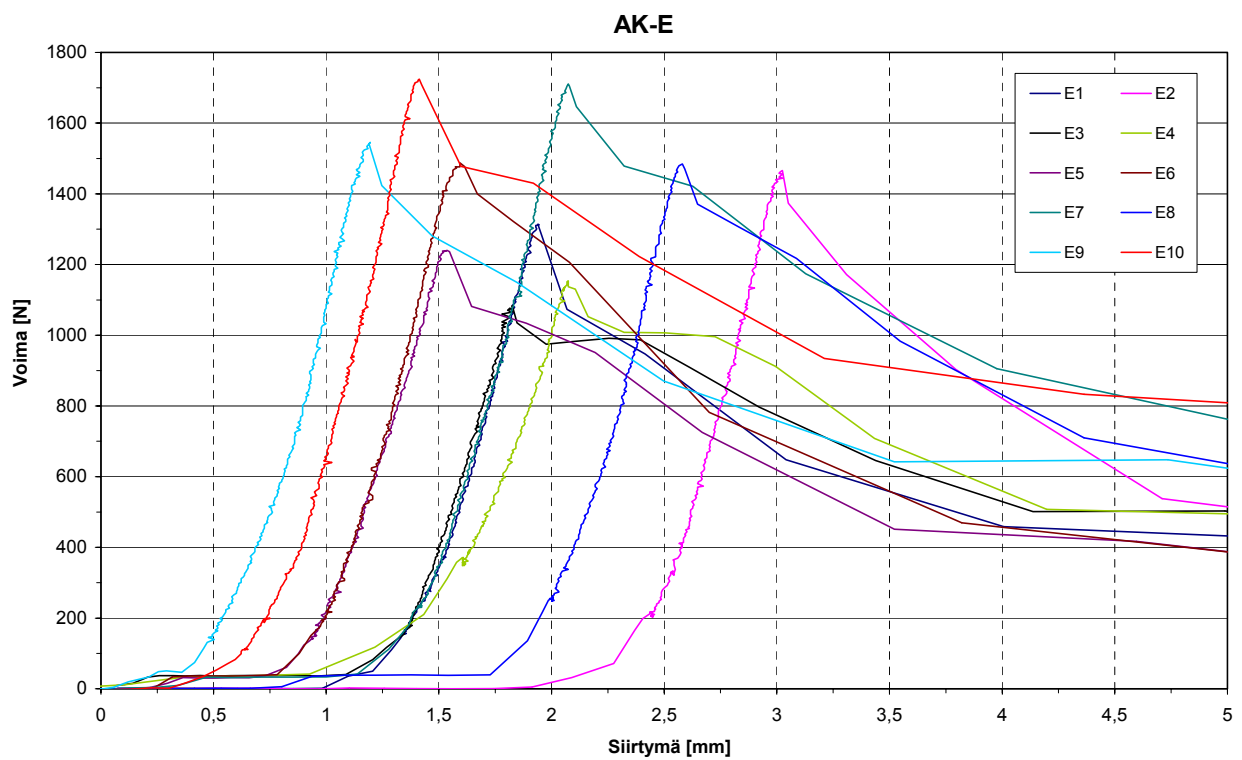
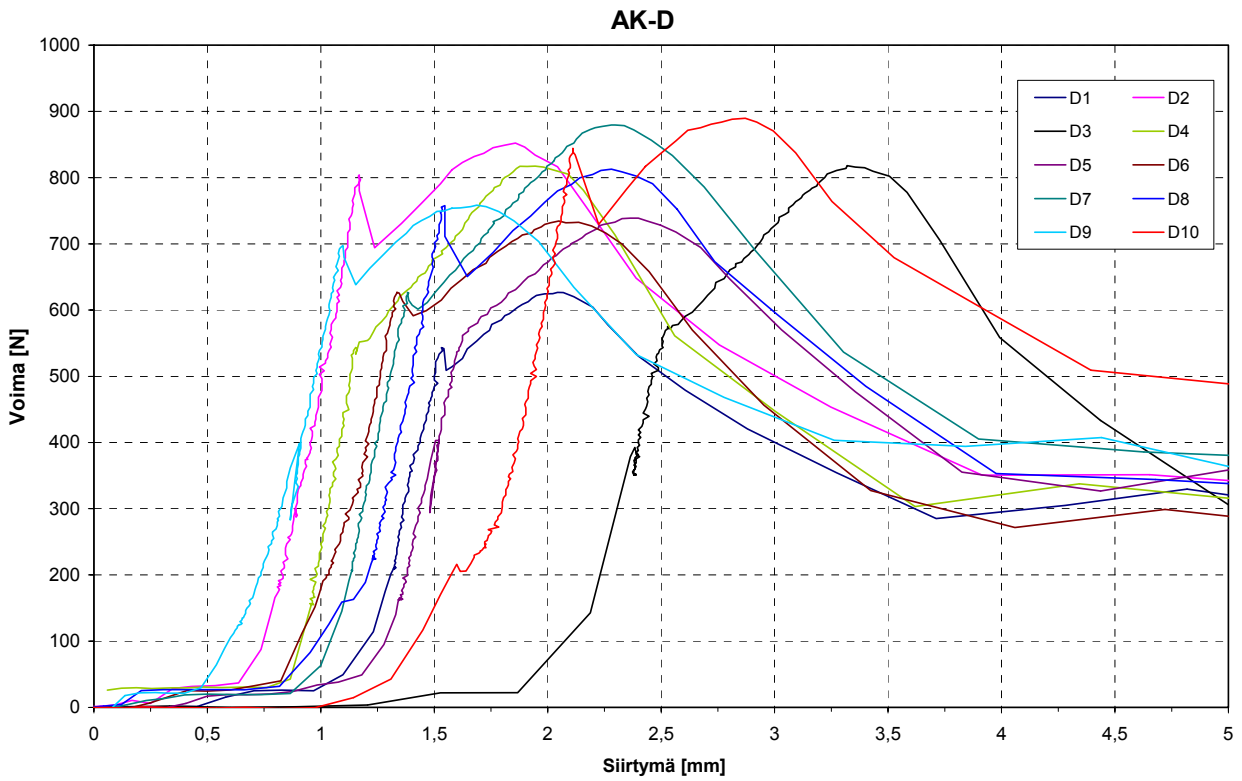
Lankussa A naulat nro: F1, F2, F3, F4, F5, H1, H2 ja H3

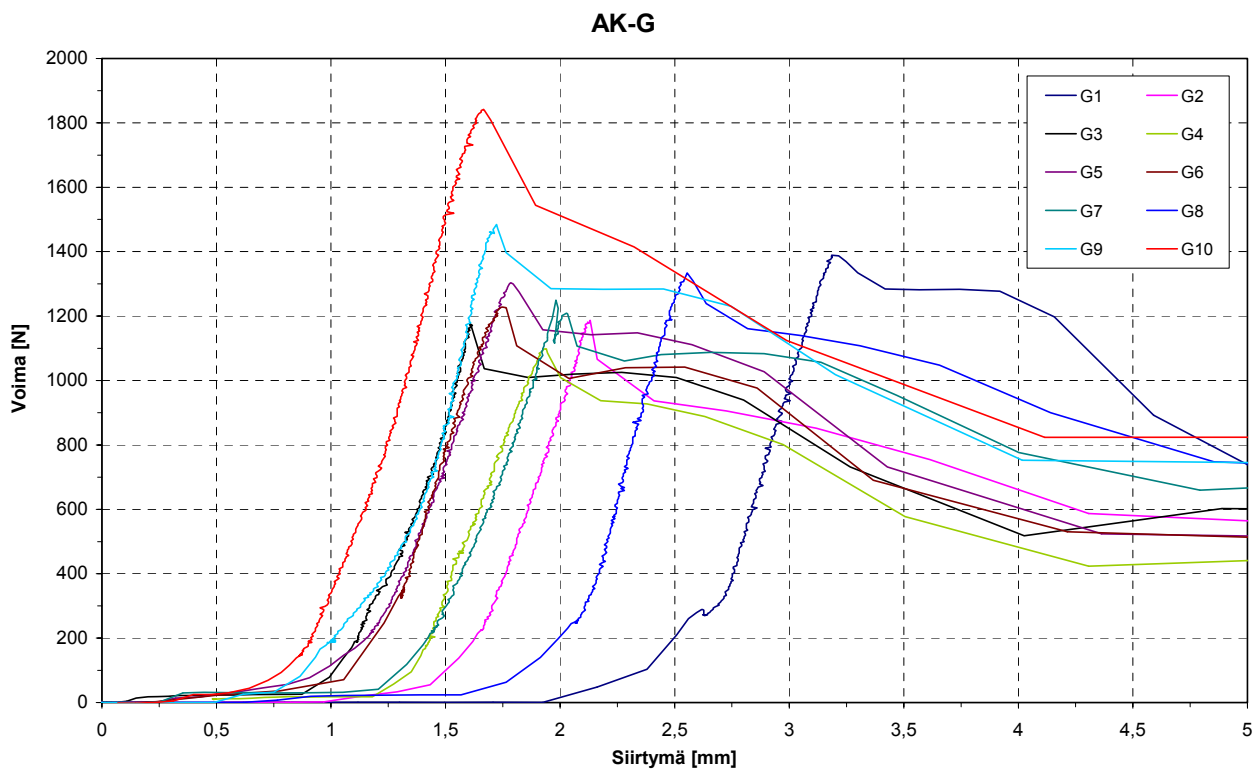
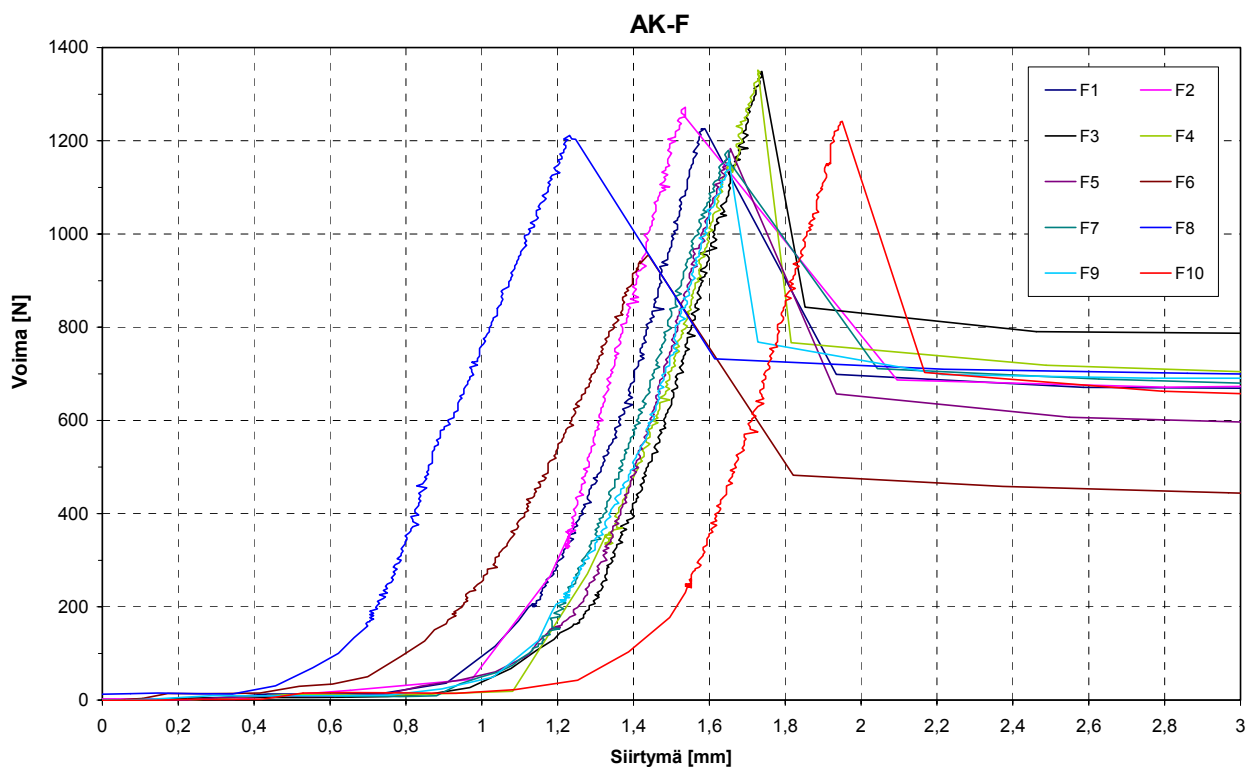
Lankussa B naulat nro: D1, D2, D3, D4, D5, H4 ja H5

Liite C: Mitatut tartuntapituudet

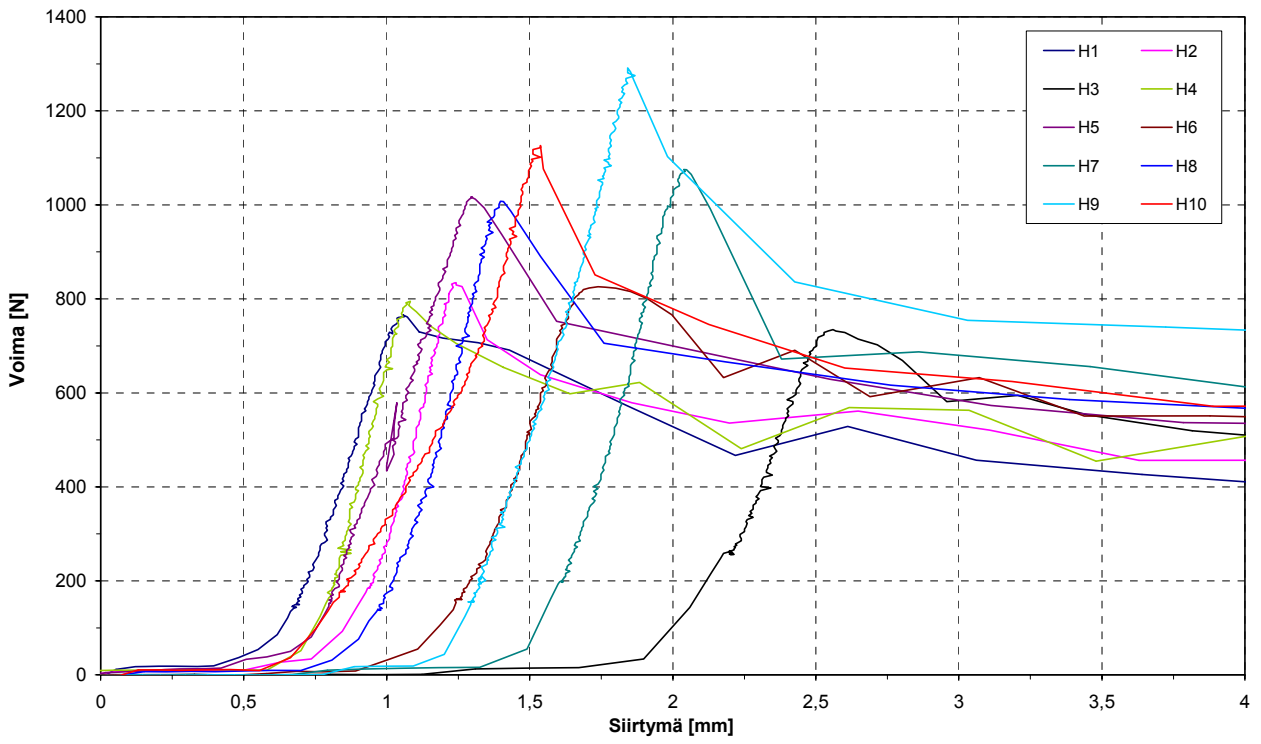
Mitatut etäisyydet puun pinnasta naulan kannan yläpintaan l_k ja sen mukaan lasketut tartuntapituudet l_p .										
Koekappale	naula nro	tavoite	mitattu	l_p	Koekappale	naula nro	tavoite	mitattu	l_p	
		l_k (mm)	l_k (mm)	(mm)			l_k (mm)	l_k (mm)	(mm)	
	F1	35	35,32	54,68		F1	35	35,84	54,16	
	F2	35	34,16	55,84		F2	35	37,08	52,92	
	D1	25	24,08	50,92		AR-	F3	35	36,79	53,21
AK1-	D2	25	23,22	51,78			F4	35	37,28	52,72
	E1	25	23,43	51,57			F5	35	35,93	54,07
(puu nro K1)	E2	25	23,82	51,18	(puu nro R2)	H1	20	20,34	54,66	
	G1	40	38,95	51,05		H2	20	22,01	52,99	
RH65	G2	40	40,27	49,73	RH65	H3	20	30,91	44,09	
	H1	20	23,89	51,11		H4	20	28,74	46,26	
	H2	20	19,97	55,03		H5	20	23,82	51,18	
	F3	35	34,91	55,09		F1	35	36,23	53,77	
	F4	35	35,71	54,29		F2	35	35,21	54,79	
	D3	25	23,47	51,53		F3	35	42,22	47,78	
AK2-	D4	25	23,80	51,20	BN1-	F4	35	35,52	54,48	
	E3	25	24,54	50,46		F5	35	35,34	54,66	
(puu nro K1)	E4	25	22,05	52,95	(puu nro N1)	F6	35	35,97	54,03	
	G3	40	38,86	51,14		F7	35	36,39	53,61	
RH65	G4	40	38,92	51,08	RH40	F8	35	34,93	55,07	
	H3	20	23,50	51,50		F9	35	35,02	54,98	
	H4	20	13,73	61,27		F10	35	33,50	56,50	
	F5	35	35,45	54,55		G1	40	38,81	51,19	
	F6	35	38,00	52,00		G2	40	38,61	51,39	
	D5	25	24,45	50,55		G3	40	37,88	52,12	
AK3-	D6	25	23,96	51,04	BN2-	G4	40	39,58	50,42	
	E5	25	23,00	52,00		G5	40	38,93	51,07	
(puu nro K1)	E6	25	20,39	54,61	(puu nro N1)	H1	20	18,19	56,81	
	G5	40	38,58	51,42		H2	20	19,32	55,68	
RH65	G6	40	39,87	50,13	RH40	H3	20	10,61	64,39	
	H5	20	17,10	57,90		H4	20	17,52	57,48	
	H6	20	21,57	53,43		H5	20	16,15	58,85	
	F7	35	35,49	54,51		F1	35	34,13	55,87	
	F8	35	32,96	57,04		F2	35	32,82	57,18	
	D7	25	23,37	51,63		F3	35	32,83	57,17	
AK4-	D8	25	24,07	50,93	CK1-	F4	35	34,36	55,64	
	E7	25	23,70	51,30		F5	35	33,92	56,08	
(puu nro K2)	E8	25	23,29	51,71	(puu nro K1)	G1	40	38,12	51,88	
	G7	40	41,17	48,83		G2	40	40,51	49,49	
RH65	G8	40	39,88	50,12	RH85	G3	40	39,05	50,95	
	H7	20	21,05	53,95		H1	20	13,32	61,68	
	H8	20	15,13	59,87		H2	20	21,07	53,93	
	F9	35	36,30	53,70		F1	35	36,28	53,72	
	F10	35	36,26	53,74		F2	35	36,96	53,04	
	D9	25	22,24	52,76		F3	35	34,34	55,66	
AK5-	D10	25	25,08	49,92	CK2-	F4	35	34,39	55,61	
	E9	25	24,40	50,60		F5	35	34,28	55,72	
(puu nro K2)	E10	25	23,58	51,42	(puu nro K2)	G4	40	38,61	51,39	
	G9	40	39,43	50,57		G5	40	38,36	51,64	
RH65	G10	40	39,72	50,28	RH85	H3	20	19,40	55,60	
	H9	20	22,92	52,08		H4	20	19,59	55,41	
	H10	20	22,10	52,90		H5	20	28,23	46,77	

Liite D: Mitatut voima-siirtymäriippuvuudet

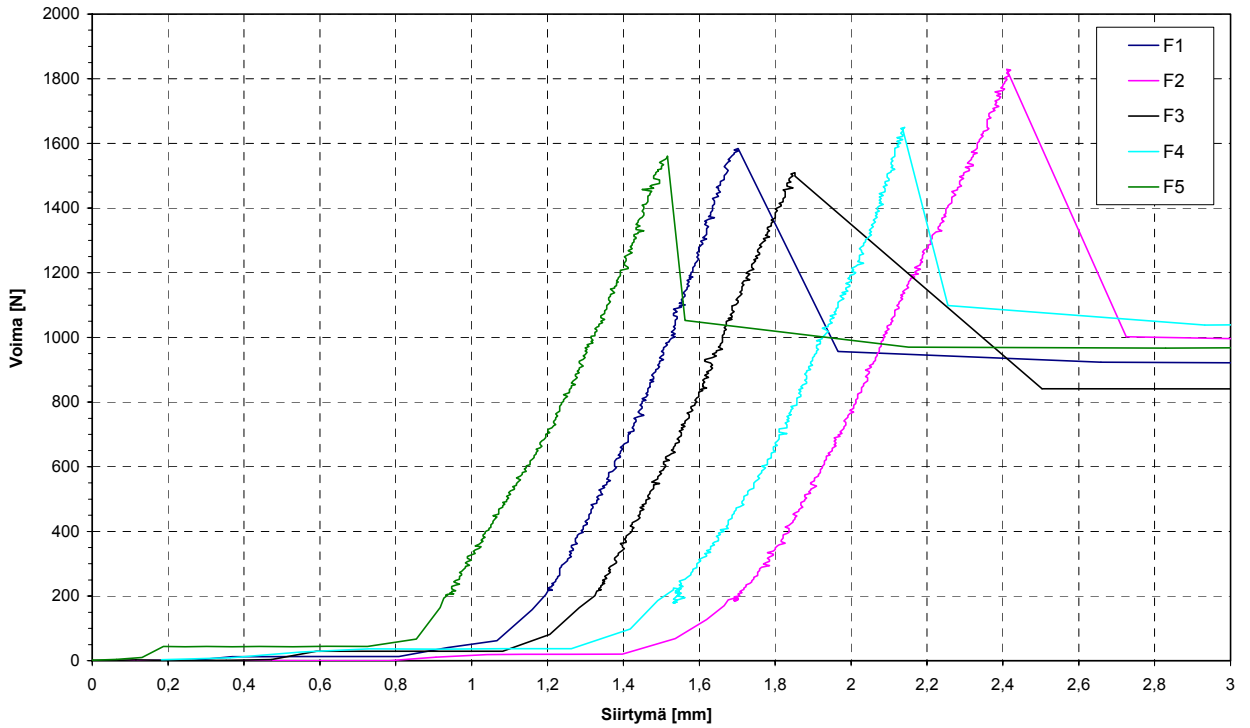


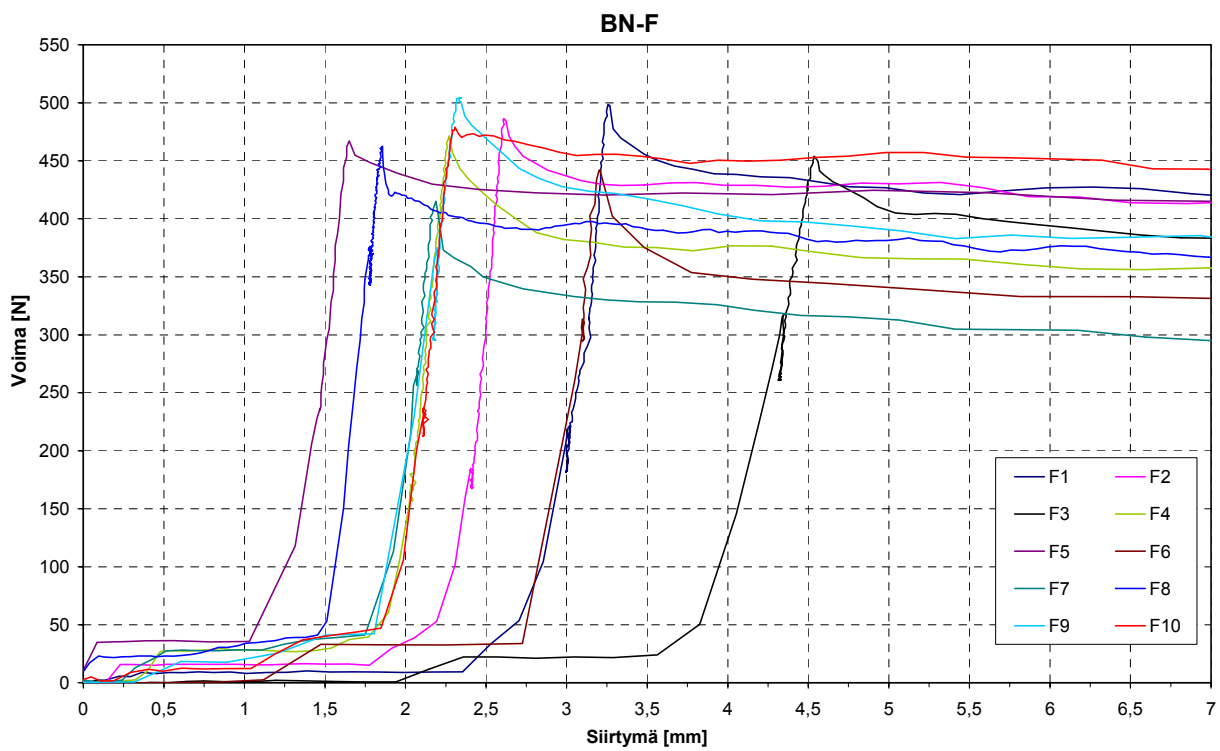
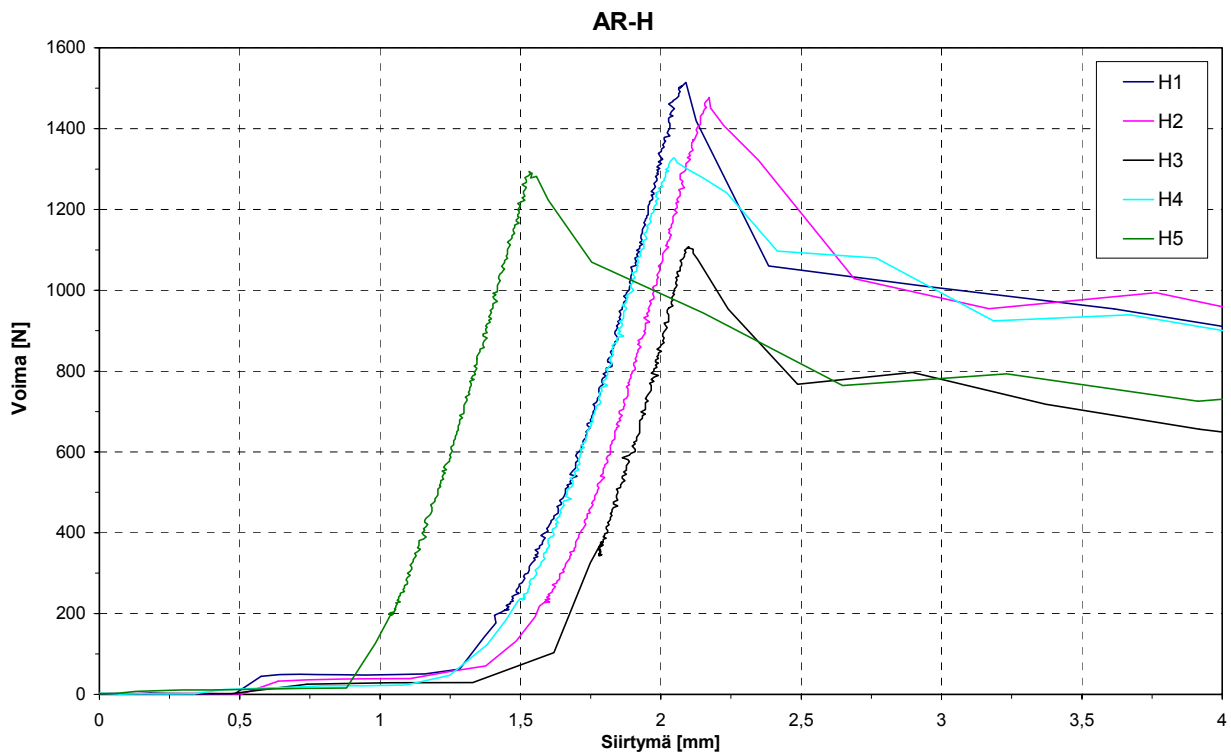


AK-H

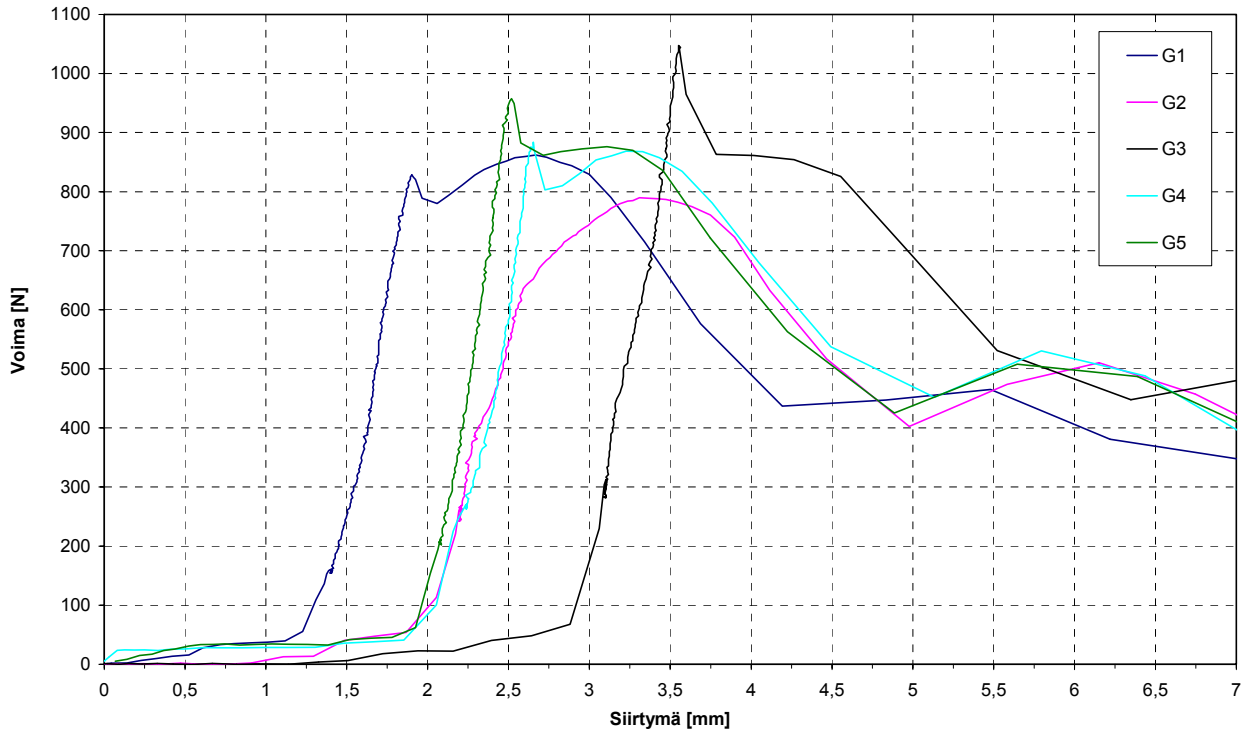


AR-F

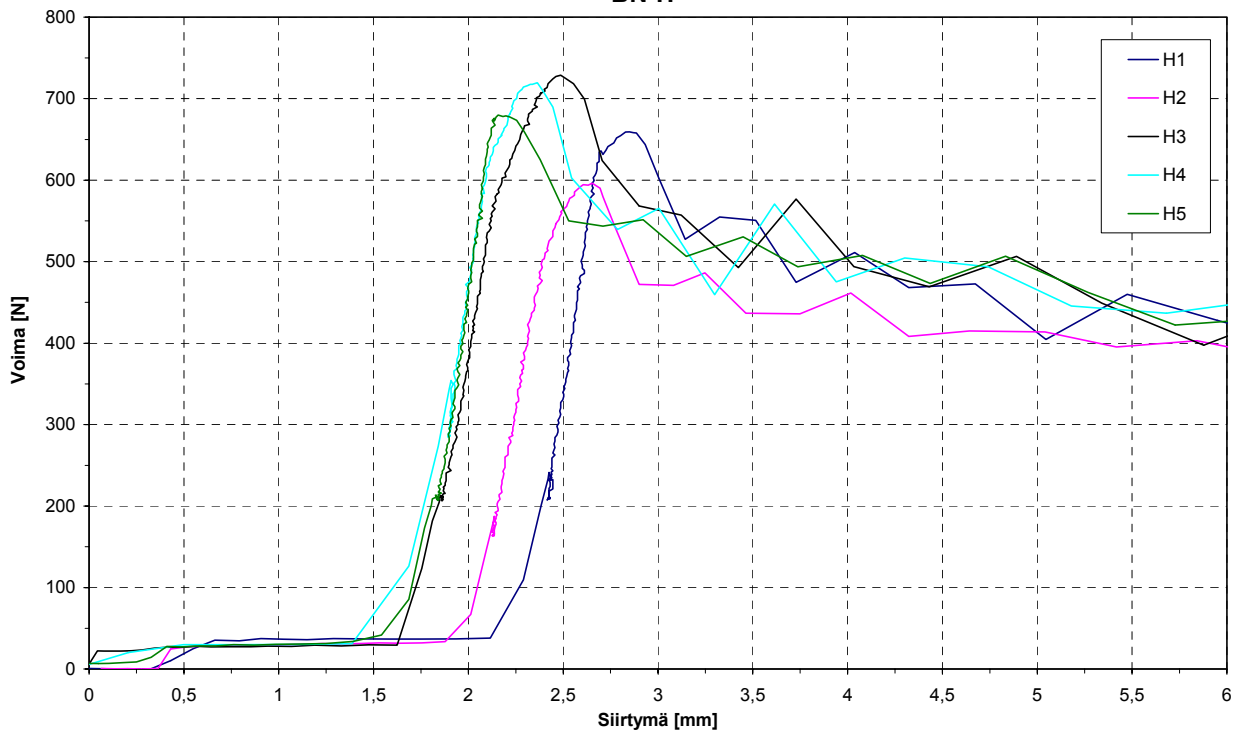


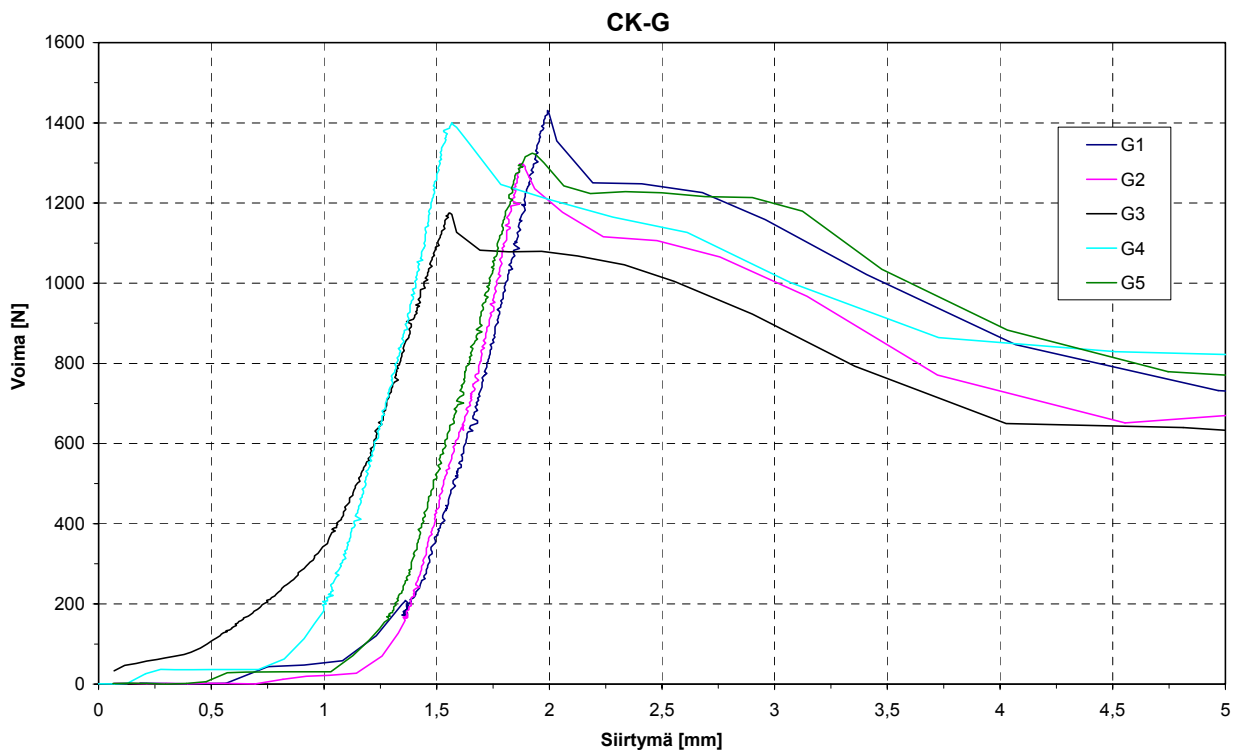
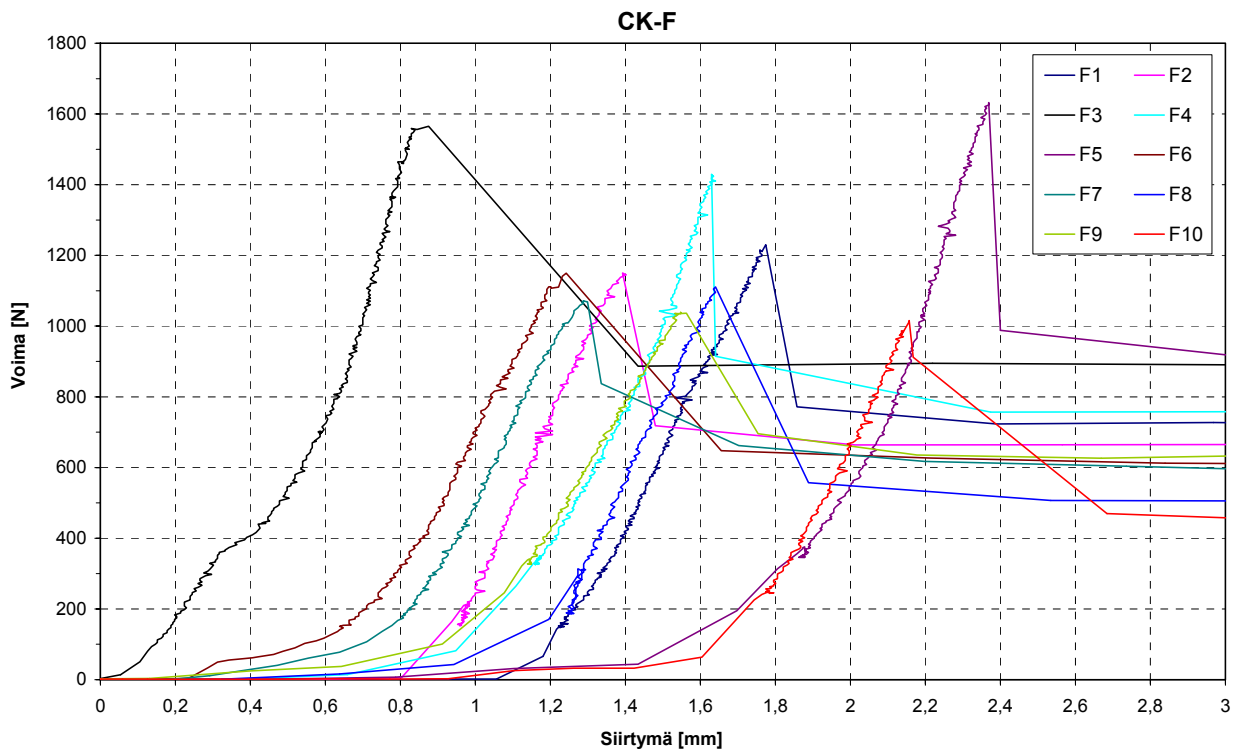


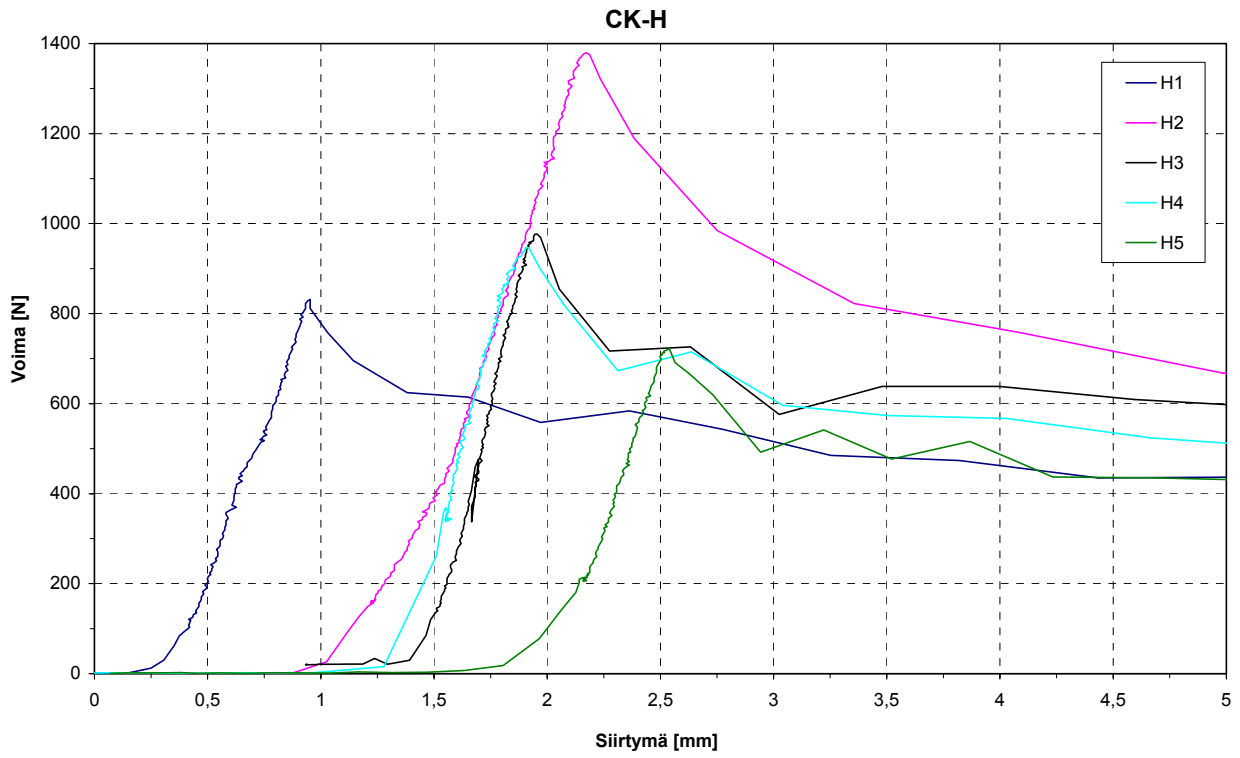
BN-G



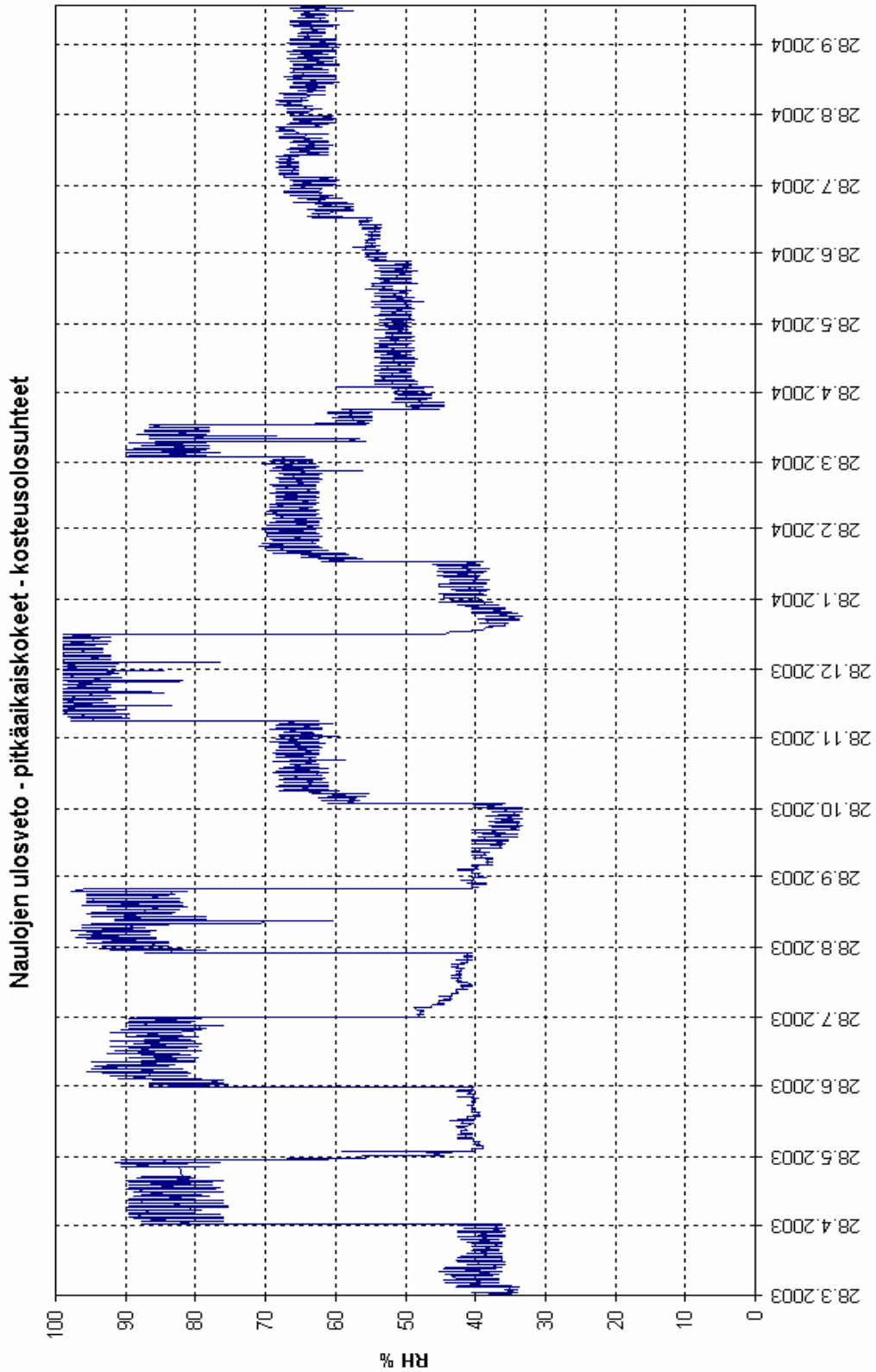
BN-H



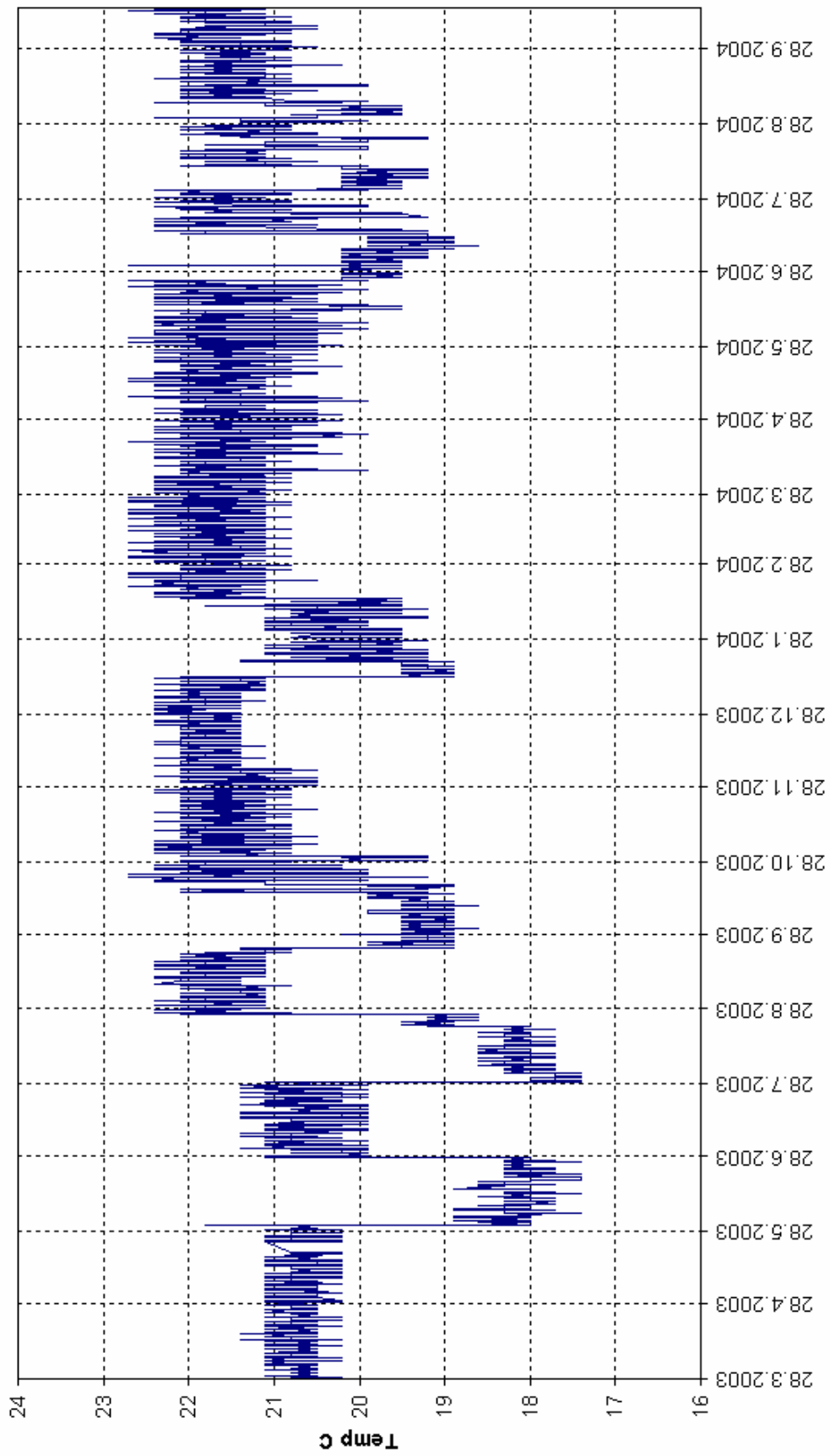




Liite E: Pitkäaikaiskokeiden kosteus- ja lämpötilaolosuhteet



Naulojen ulosveto - pitkäaikaiskokeet - lämpötila



VTT WORKING PAPERS

VTT RAKENNUS- JA YHDYSKUNTATEKNIikka – VTT BYGG OCH TRANSPORT – VTT BUILDING AND TRANSPORT

- 4 Hietaniemi, Jukka, Hostikka, Simo & Vaari, Jukka. FDS simulation of fire spread – comparison of model results with experimental data. 2004. 46 p. + app. 6 p.
- 6 Viitanen, Hannu. Betonin ja siihen liittyvien materiaalien homehtumisen kriittiset olosuhteet – betonin homeenkesto. 2004. 25 s.
- 7 Gerlander, Riitta & Koivu, Tapio. Asiantuntijapalvelu yritysten innovaatiojohtamisen kehittämiseksi Piilaakson osaamiseen tukeutuen. IMIT SV –hankkeen loppuraportti. 2004. 25 s. + liitt. 11 s.
- 11 Lakka, Antti. Rakennustyömaan tuottavuus. 2004. 26 s. + liitt. 15 s.
- 14 Koivu, Tapio, Tukiainen, Sampo, Nummelin, Johanna, Atkin, Brian & Tainio, Risto. Institutional complexity affecting the outcomes of global projects. 2004. 59 p. + app. 2 p.
- 15 Rönty, Vesa, Keski-Rahkonen, Olavi & Hassinen, Jukka-Pekka. Reliability of sprinkler systems. Exploration and analysis of data from nuclear and non-nuclear installations. 2004. 89 p. + app. 9 p.
- 18 Nyssönen, Teemu, Rajakko, Jaana & Keski-Rahkonen, Olavi. On the reliability of fire detection and alarm systems. Exploration and analysis of data from nuclear and non-nuclear installations. 2005. 62 p. + app. 6 p.
- 19 Tillander, Kati, Korhonen, Timo & Keski-Rahkonen, Olavi. Pelastustoimen määräiset seurantamittarit. 2005. 123 s. + liitt. 5 s.
- 20 Hostikka, Simo & Mangs, Johan. MASIFIRE – Map Based Simulation of Fires in Forest-Urban Interface. Reference and user's guide for version 1.0. 2005. 52 p. + app. 2 p.
- 21 Korttesmaa, Markku & Kevarinmäki, Ari. Massiivipuu maatilarakentamisessa. Suunnitteluohje. 2005. 76 s. + liitt. 6 s.
- 22 Ojanen, Tuomo & Ahonen, Jarkko. Moisture performance properties of exterior sheathing products made of spruce plywood or OSB. 2005. 52 p. + app. 12 p.
- 27 Kevarinmäki, Ari. Koneaulojen ulosvetolujuus. 2005. 24 s. + liitt. 12 s.