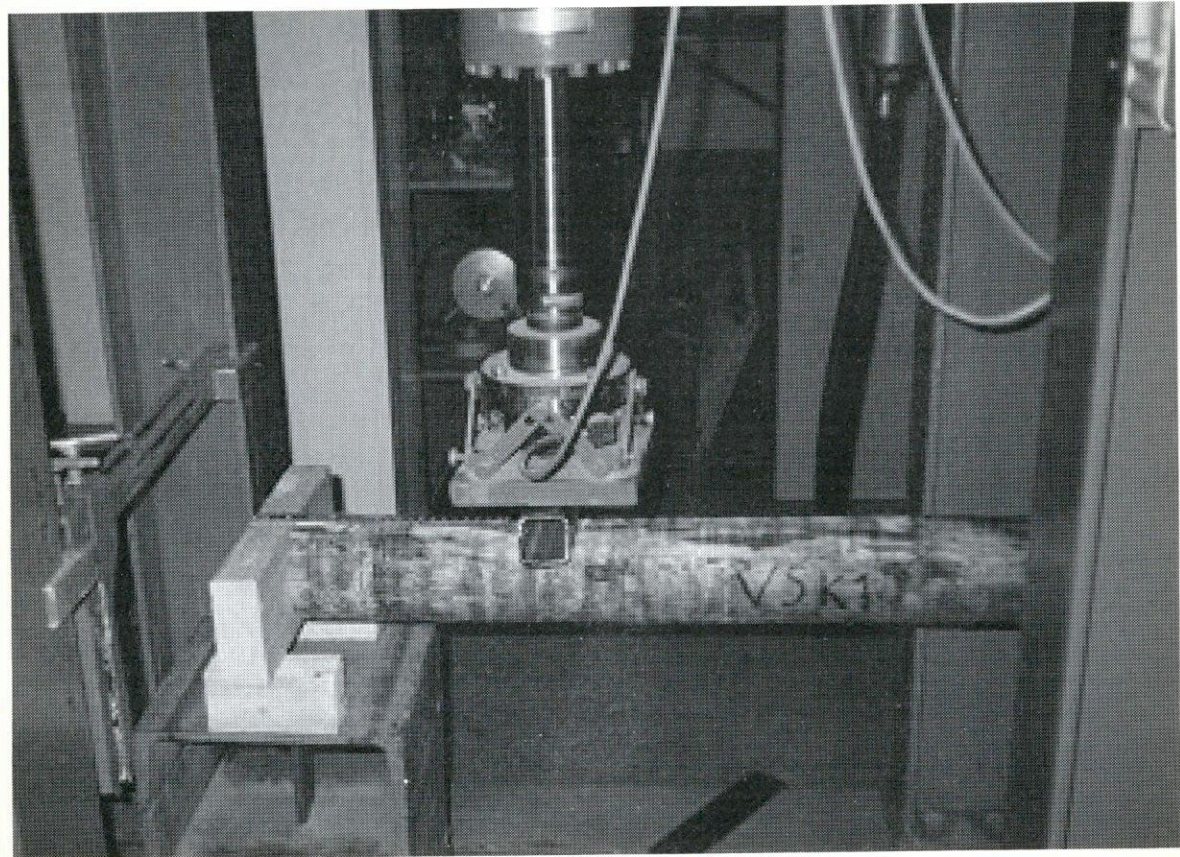


VAKOLAn tiedote

81/2000



Hannu Borén, Jukka Pietilä, Timo Lehtoviita,
Tero Meuronen, Jani Suonio

Pienen pyöreän puun käyttö rakentamisessa I

- Pyöreän puun lujuus, mänty ja kuusi
- Pyöreän puun liitoskokeet

MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUS
Agricultural Research Centre of Finland

VAKOLA

Maatalousteknologian tutkimus

Osoite
Vakolantie 55
03400 VIHTI

Puhelin
(09) 224 251
Telekopio
(09) 224 6210

Agricultural Engineering Research

Address
Vakolantie 55
FIN-03400 VIHTI
FINLAND

Telephone int.
+358 9 224 251
Telefax int.
+358 9 224 6210

SISÄLLYSLUETTELO

ESIPUHE	2
Pieniläpimittaisen pyöreän puun lujuusominaisuudet - mänty ja kuusi	3
TIIVISTELMÄ	4
1 JOHDANTO	5
1.1 Kasvuolosuhteiden vaikutus puun ominaisuuksiin	5
1.2 Puun lujuusluokittelu	5
1.3 Tutkimuksen tavoitteet	6
2 AINEISTO JA MENETELMÄT	6
3 TULOKSET	7
3.1 Pyöreän puun lujuusluokitus	9
3.2 Pienpuun kieroutuminen	10
3.3 Vertailu aikaisempiin tutkimuksiin	10
4 JOHTOPÄÄTÖKSET	12
5 KIRJALLISUUS	12
Pyöreän puun liitoskokeet	13
1 JOHDANTO	14
2 KOEJÄRJESTELYT	14
2.1 Materiaali	14
2.2 Vetokokeet	14
2.2.1 Reikävanneliitosten vetokokeet	14
2.2.2 Harjateräслиitosten vetokokeet	15
2.3 Liitosten kestävyys sivuttaisvoimaa vastaan	15
2.3.1 Reikävanneliitoksen sivuttaiskuormitus	15
2.3.2 Harjateräслиitoksen sivuttaiskuormitus	16
2.4 Vaarnan leikkauslujuus	16
3 KOETULOKSET	17
3.1 Reikävanneliitos	17
3.2 Harjateräслиitos	18
3.3 Koivuvaarnaliitos	20
4 KOETULOSTEN TARKASTELU	20
5 LIITOSTEN TARKASTELU	22
6 PÄÄTELMÄT	23

ESIPUHE

Tämä tiedote perustuu kahden tutkimuksen tuloksiin. Toinen näistä on MMM Hannu Borénin Pieniläpimittaisen pyöreän puun lujuusominaisuudet – mänty ja kuusi, joka on tarkoitettu väitöskirjaksi. Toinen on DI Timo Lehtoviidan, ins. Tero Meurosen ja ins. Jani Suonion tutkimus Pienen pyöreän puun liitoskokeet, joka tehtiin Etelä-Karjalan Ammatillisessa Korkeakoulussa.

Koska tutkimusjulkaisut olivat käytännön tarpeita varten liian yksityiskohtaisia ja vaikeasti käsiin saatavissa, päätettiin niissä saadut tärkeimmät tulokset julkaista MTT Vakolan tiedotteena. Jukka Pietilä muokkasi tämän tiedotteen edellä mainittujen julkaisujen ja niitä varten kootun materiaalin avulla. Tiedotteen taittoi ja viimeisteli Tuovi Laaksonen.

Edellä mainitut tutkimukset on tehty kahdessa eri tutkimushankkeessa, jotka käsittelivät pyöreän puun käyttöä rakentamisessa. Hankkeiden tavoitteena oli saada markkinoille uusi rakennusmateriaali: laadultaan määritelty pieniläpimittainen pyöreä puu.

Toista hanketta rahoitti Maa- ja metsätalousministeriön maatilatalouden kehittämisrahasto ja toista hanketta rahoitti Euroopan unionin FAIR-tutkimusohjelma. Lisäksi MTT Vakola osallistui kummankin hankkeen rahoitukseen ja kantoi vastuun tutkimusten läpiviemisestä.

Maa- ja metsätalousministeriö asetti tutkimusta ohjaamaan ja valvomaan valvoajakunnan, jonka jäseninä olivat suunnittelija Kjell Brännäs ja DI Jorma Jantunen.

EU-tutkimus, Small Diameter Round Timber for Construction, EU - Fair Programme CT95-0091, tehtiin seitsemän osallistujan yhteistutkimuksena. Osallistujat olivat VTT Rakennustekniikka, Delftin teknillinen korkeakoulu Alankomaista, Surreyn yliopisto Iso-Britanniasta, CTBA Ranskasta, BOKU Itävallasta sekä MTT Vakola ja Lehtimäen konepaja Suomesta. Tutkimuksen koordinaattorina oli professori Alpo Ranta-Maunus VTT Rakennustekniikasta. EUn yhteyshenkilö oli tohtori Alexandros Arabatzis.

Borénin tutkimuksen aineiston keruussa ja tulosten laskennassa avustivat seuraavat organisaatiot:

- Joensuun yliopiston metsätieteellinen tiedekunta
- VTT Rakennustekniikka
- Metsäntutkimuslaitos
- MTT Jokioisten kartanot

Lehtoviidan, Merosen ja Suonion tutkimuksen kokeellisessa osassa avusti Kymenlaakson ammattikorkeakoulun rakennusosaston tutkimusinsinööri Veli-Matti Westman.

Esitämme kiitokset kaikille edellä mainituille sekä muille, nimeltä mainitsemattomille, jotka ovat työtämme edistäneet ja auttaneet.

Edellä mainituissa hankkeissa saatuja tuloksia esitellään myös kahdessa muussa MTT Vakolan tiedotteessa. Toisessa esitellään tutkimustuloksia, jotka koskevat pyöreän rakennuspuun määrää Suomen metsissä, rakennuspuun korjuuta ja rakennuspuun jalostuskustannuksia. Toisessa käsitellään pyöreästä puusta rakentamista ja rakenteita.

**Pieniläpimittaisen pyöreän puun
lujuusominaisuudet – mänty ja kuusi**

(Pinus sylvestris ja Picea abies)

Hannu Borén
Metsäntutkimuslaitos

Jukka Pietilä
Maatalouden tutkimuskeskus
Maatalousteknologian tutkimus Vakola

TIIVISTELMÄ

Tässä julkaisussa käsitellään Suomessa kasvaneen nuoren, pieniläpimittaisen männyn ja kuusen mekaanista lujuutta. Tutkimuksessa sovellettiin standardeja SFS-EN 338 (1995), SFS-EN 384 (1995), SFS-EN 408 (1995) ja SFS-EN 518 (1995). Työstötavalla ja puun muodolla on selvä vaikutus lujuusominaisuuksiin. Pyöreä, työstämätön puu oli taivutuksessa lujin. Työstö, kuten pyöristäminen, katkoo puun syitä ja lisää oksien suhteellista osuutta, jolloin puun lujuus heikkenee. Tutkimuksessa luotiin suomalaiselle pyöreälle männylle ja kuuselle lujuuslajitteluluohje. Pyöreälle puulle päätettiin perustaa kaksi luokkaa, A ja B, joista A on parempi. Pyöreän puun lajitteluluohjeet luokkiin A ja B on esitetty alla.

Ominaisuus	Luokka A	Luokka B
Oksasumma per puun läpimitta (%)	75	100
Maksimioksa per puun läpimitta (%)	25	30
Vuosirengasleveys (mm)	3	5

Luokkien A ja B mukaisille pieniläpimittaisille pyöreille männylle ja kuusille voidaan soveltaa alla esitettyjä lujuusluokkia:

- luokka A mänty = C27 = T24
- luokka B mänty = C18 = T18
- luokka A kuusi = C30 = T30
- luokka B kuusi = C22 = T18

Lisäksi tutkittiin pieniläpimittaisen puun kieroutumista kuivauksen aikana. Puu kieroutui paljon, keskimäärin 1,5 astetta/metri. Kieroutuminen väheni iän kasvaessa 20 ikävuoteen asti. Tämän vuoksi pienpuu tulisi kuivata käyttökosteuteen ennen varsinaista puun työstöä, mahdollisia rei'ityksiä ym. Muutoin kuivumisen aiheuttaman kieroutumisen vuoksi puukappaleiden kiinnitys rakenteisiin voi olla hankalaa.

Lyhenteet

- a = ikä vuosina
- c = puun ympärysmitta (mm)
- d = puun läpimitta (mm)
- G = vinosyisyys (mm/m)
- h = puun korkeus (mm) taivutuslujuustestissä
- F = kuorma (N)
- KAR_m = koneella työstettyjen oksien summan suhde puun piiriin (%)
- ρ_{12} = tiheys 12 % kosteudessa (kg/m³)
- $\rho_{12, 0.05}$ = tiheyden 5-prosentin arvo (kg/m³), 95 % puista on tätä tiheämpiä
- $\rho_{12, k}$ = tiheyden ominaisarvo (kg/m³)
- $\rho_{12, \text{mean}}$ = tiheyden keskiarvo (kg/m³)
- r = vuosirengasleveys (mm)
- S = puulaji, mänty = 0 ja kuusi = 1
- ss = sahattu vetopinta
- u = kosteus (%), kuivamassa per koko massa
- $E_{c, 0}$ = puristuskimmoisuus (kN/mm²)
- $E_{c, 0, \text{mean}}$ = puristuskimmoisuuden ominaisarvo (kN/mm²)
- E_m = taivutuskimmoisuus eli kimmokerroin (kN/mm²)

- $E_{m, \text{mean}}$ = taivutuskimmoisuuden eli kimmokertoimen ominaisarvo (kN/mm^2)
- $f_{c, 0}$ = puristuslujuus (N/mm^2)
- $f_{c, 0, 0.05}$ = puristuslujuuden 5-prosentin arvo (N/mm^2)
- $f_{c, 0, k}$ = puristuslujuuden ominaisarvo (N/mm^2)
- f_m = taivutuslujuus (N/mm^2)
- $f_{m, 0.05}$ = taivutuslujuuden 5-prosentin arvo (N/mm^2)
- $f_{m, k}$ = taivutuslujuuden ominaisarvo (N/mm^2)

1 JOHDANTO

1.1 Kasvuolosuhteiden vaikutus puun ominaisuuksiin

Puun kasvuolot vaikuttavat selvästi siitä saatavan puuaineen fysikaalisiin ominaisuuksiin (Hakkila 1966, 1979, Kärkkäinen 1985, Uusvaara 1985). Tiheässä kasvaneet puut ovat puuaineeltaan tiheitä sekä pienioksaisia ja päinvastoin.

1.2 Puun lujuusluokittelu

Puulajien lujuusominaisuudet vaihtelevat suuresti ja lujuus vaihtelee jopa saman puun eri osissa. Koska puutavaran käyttö kantavissa rakenteissa perustuu heikoimpien kappaleitten lujuusarvoihin, suuri osa puun lujuudesta jätetään ”hyödyntämättä” rakenteissa. Tämän vuoksi on kehitetty monia eri menetelmiä puun lujuuden ennustamiseksi. Perinteisesti puuta on lujuuslajiteltu silmävaraisesti arvioimalla puukappaleen ominaisuuksia ja vikoja (vinosyisyys, vuosirengasväli, oksat, laho jne.) ja niiden vaikutusta kappaleen lujuuteen (kuormankantokykyyn). Visuaalisessa lujuuslajittelussa ei voida kuitenkaan arvioida esimerkiksi tiheyttä ja lisäksi lujuuslajittelun tulos riippuu lajittelijasta (Blass ym. 1995). Lujuuslajittelukoneita on kehitetty sahatavaralle mutta pyöreälle puulle niitä ei ole vielä valmistettu.

Standardit SFS-EN 338, SFS-EN 384, SFS-EN 408 ja SFS-EN 518 liittyvät puutavaran lujuusominaisuuksien määrittämiseen ja lujuusluokitukseen. Taulukossa 1 on esitetty eurooppalaisen standardin SFS-EN 338 mukaiset havupuiden ja poppelin taivutuskimmoisuuden (E_m) ja -lujuuden (f_m), puristuslujuuden ($f_{c, 0}$) sekä tiheyden (p_{12}) lujuusluokat ja lujuusluokkien ominaisarvot. EN-lujuusluokitus vastaa suomalaista T-luokitusta siten että C18 = T18, C24 = T24 jne.

Taulukko 1. Standardin SFS-EN 338 lujuusluokat ja lujuusluokkien ominaisarvot havupuiden ja poppelin taivutuskimmoisuudelle (E_m) ja -lujuudelle (f_m), puristuslujuudelle ($f_{c, 0}$) sekä tiheydelle (p_{12}).

	C14	C16	C18	C22	C24	C27	C30	C35	C40
$f_{m, k}$ [N/mm^2]	14	16	18	22	24	27	30	35	40
$f_{c, 0, k}$ [N/mm^2]	16	17	18	20	21	22	23	25	26
$E_{m, \text{mean}}$ [kN/mm^2]	7	8	9	10	11	12	12	13	14
$p_{12, k}$ [kg/m^3]	290	310	320	340	350	370	380	400	420

Taivutuskimmoisuus (E_m) kuvaa kappaleen jäykkyyttä eli sen kykyä vastustaa muodonmuutosta taivutusrasituksen aikana. Taivutuskimmoisuus on sitä suurempi, mitä jäykempää aine on. Taivutuslujuus (f_m) ja puristuslujuus ($f_{c, 0}$) kuvaavat korkeinta mahdollista jännitystä, jonka kappale kestää murtumatta (Saarineva 1983).

1.3 Tutkimuksen tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena oli luoda lujuusluokitus pieniläpimittaiselle pyöreälle männylle ja kuuselle. Samalla luotiin näille puille silmävaraiseen arviointiin perustuvat lujuuslajitteluohjeet. Puulajin ja työstötavan vaikutus puun lujuuteen tutkittiin, jotta nämä tekijät voidaan ottaa huomioon puutavaraa valittaessa. Lisäksi selvitettiin pieniläpimittaisen puun kieroutumista kuivauksen aikana.

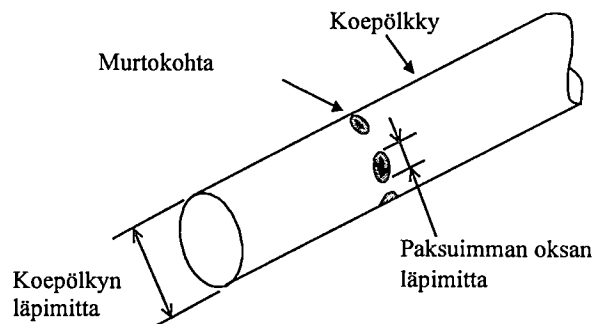
2 AINEISTO JA MENETELMÄT

Koepuut hankittiin kuudesta eri metsiköstä Etelä- ja Itä-Suomesta. Koepuut valittiin satunnaisesti. Valittujen runkojen tyven tuli olla suora eikä siinä saanut näkyä vikoja. Sekä ohut- että paksuoksaisia runkoja kaadettiin koepuiksi. Runkojen tyvestä katkaistiin neljä metriä pitkä lujuuskoepölkky, joka jaettiin myöhemmin kahteen osaan: taivutuslujuus- ja puristuslujuuskoekappaleeseen. Koepölkkyt jaettiin 25 kappaleen ryhmiin puulajin, käsittelytavan ja alkuperän mukaan (taulukko 2).

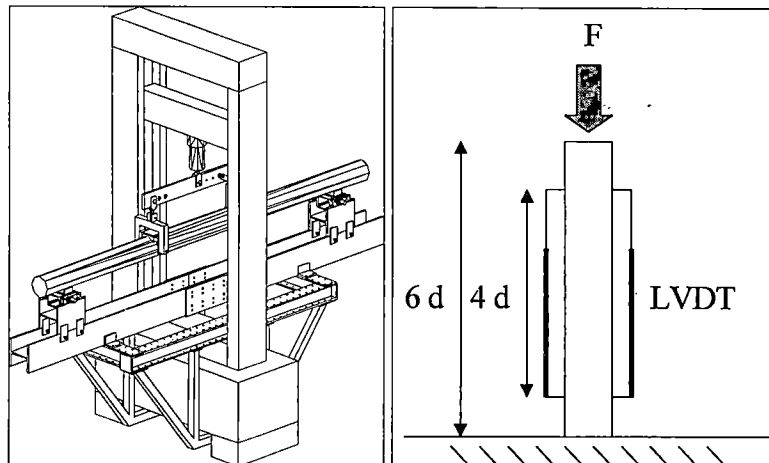
Ennen lujuuskokeita koepölkkyjä työstettiin eri menetelmillä ja kuivattiin. Tämän jälkeen koepölkkyistä ennustettiin murtokohta. Murtokohdan ennustamisessa käytettiin seuraavaa oletusta: Murtokohta on jännevälin suurimman rasitusalueen heikoimmalla kohdalla. Heikoimpana kohtana taas pidettiin suurinta oksaa ja/tai oksakiehkuraa. Ennustetusta murtokohdasta mitattiin oksa- ym. tiedot.

Lujuuskokeet tehtiin VTT Rakennustekniikan laboratoriossa Otaniemessä. Lujuuskokeissa noudatettiin EN-standardeja niin tarkasti kuin mahdollista (kuva 2).

Kuva 1. Oksan läpimitan mittaus.



Kuva 2. Taivutuskoe (vasen) ja puristuslujuuskoe (oikea).



Taulukko 2. Koepuuryhmät

Metsikön numero	Metsikön sijainti, puulaji ja koepölkkyjen numerot	Koepölkkyjen työstömenetelmä	Taivutuskoekappaleen sijainti koepölkkyssä	Puristuskoekappaleen sijainti koepölkkyssä	Metsätyyppi	Metsikön ikä (a)	Keskipituus (m)	Tilavuus (m ³ /ha)
1	Vihti, mänty, 1...25	Käsinkuorinta	Tyvi	Latva	VT	30	12	150
1	Vihti, mänty 26...100	Konekuorinta	Tyvi	Latva	VT	30	12	150
1	Vihti, mänty, 101...125	Pelkkasahaus ja käsinkuorinta (pelkan paksuus 100 mm)*	Tyvi	Latva	VT	30	12	150
2	Vihti, mänty, 126...150	Pelkkasahaus ja käsinkuorinta (pelkan paksuus 100 mm)**	Tyvi	Latva	MT	75	21	220
1	Vihti, mänty, 151...175	Sahaus parruksi (100 mm x 100 mm)	Tyvi	Latva	VT	30	12	150
3	Jokioinen, mänty 176...200	Konekuorinta	Tyvi	Latva	MT	24	10	141
3	Jokioinen, mänty, 201...225	Pelkkasahaus ja käsinkuorinta (pelkan paksuus 100mm)*	Tyvi	Latva	MT	24	10	141
4	Suonenjoki, mänty, 226...275	Sorvaus (lpm 125 mm)	Latva	Tyvi	VT	32	11	130
5	Vihti, kuusi, 1...150	Konekuorinta	Tyvi	Latva	OMT	55	15	194
5	Vihti, kuusi, 151...175	Sahaus parruksi (100 mm x 100 mm)	Tyvi	Latva	OMT	55	15	194
6	Joensuu, kuusi, 176...225	Sorvaus (lpm 125 mm)	Latva	Tyvi	OMT	45	15	280

* syrjällään taivutustestissä eli käsinkuorittu sivu vetorasituksen alaisena

** lappeellaan taivutustestissä eli sahattu sivu vetorasituksen alaisena

3 TULOKSET

Taulukossa 3 on esitetty eri tavoin työstettyjen puiden lujuuden ominaisarvot muunnettuna vastamaan 12 %:n kosteutta ja 150 mm:n halkaisijaa. Muuntaminen on tehty standardin SFS-EN 384 mukaan. Koko aineistosta lasketun taivutuslujuuden ominaisarvo on suuri, yli 30 N/mm². Taivutuslujuuden perusteella pyöreä puu kuuluu lujuusluokkaan C30. Kun kimmokerroin, puristuslujuus ja tiheys otetaan huomioon, lujuusluokka alenee C18:aan. Tämän vuoksi vanhojen suomalaisten lujuuslajittelusääntöjen ohje, että kaikki pyöreä puu kuuluu lujuusluokkaan T30 on virheellinen. Pieniläpimittainen pyöreä puu pitää lajitella, jotta lujuusluokka T30 saavutetaan.

Borén (1999) on esittänyt pieniläpimittaisen männyn ja kuusen taivutuslujuudelle regressiomallin (malli 1). Mallin mukaan pienpuun taivutuslujuuteen vaikuttaa puun läpimitta, oksien koko, puun tiheys, puulaji, vuosirengasleveys, puukappaleen muoto, ikä ja kosteus. Taulukossa 4 on esitetty työstömenetelmän ja puulajin vaikutus taivutuslujuuteen mallilla 1 laskettuna. Pyöreä muoto oli taivutuksessa lujin. Voimakkaampi työstö katkoo puun syitä ja lisää oksien suhteellista osuutta, jolloin puun lujuus heikkenee. Tämä ilmenee siten, että käsinkuorittu pyöreä puu

on lujempaa kuin sorvattu. Jos vuosirengasväli on sama, niin mänty on tiheämpää kuin kuusi. Siksi mänty on hieman lujempaa kuin kuusi. Jos männyn ja kuusen tiheys on sama, kuusi on hieman lujempaa.

Malli 1:

$$f_m = 10^{1.840 - 0.000874h - 0.00262KAR_m + 0.000468\rho_{12} + 0.0000519\rho_{12S} - 0.032r - 0.06238ss - 0.008378u/\text{LOG } a}$$

Taulukko 3. Taivutus- ja puristuskokeiden tulokset muunnettuna 12 % kosteuteen standardin SFS-EN 384 mukaan. Taivutuslujuus on annettu 150 mm:n referenssikoossa.

Puulaji ja työ- tömenetelmä	n	H _{mean}	ρ _{mean}	ρ ₀₅	f _{m, mean}	F _{m,05} /f _{m,05} 150 mm	f _{m, mean}	d _{mean}	ρ _{mean}	ρ ₀₅	f _{c, mean}	f _{c, 0, 0.05}	E _{c, 0, mean}
Mänty		<i>Taivutus</i>						<i>Puristus</i>					
Pyöreä, käsin kuorittu	25	124	465	378	48,4	38,0/36,6	12,2	109	462	394	24,5	18,5	9,9
Pyöreä, kone- työstö	150	124	470	413	50,6	34,8 / 33,5	11,6	119	474	404	28,6	19,1	9,9
Pelkkasahaus ja käsinkuori- rittu*	50	153	457	389	43,9	36,1 / 36,2	12,8	121	449	391	23,6	20,0	8,2
Pelkkasahaus käsinkuorittu**	25	102	555	489	56,5	44,9 / 41,6	15,6	131	533	453	34,2	28,0	13,1
Parru	25	102	420	373	28,6	19,2 / 17,8	7,9	102	423	374	20,1	16,2	7,4
Kuusi		<i>Taivutus</i>						<i>Puristus</i>					
Pyöreä, kone- työstö	200	111	434	325	59,8	35,4 / 32,8	12,9	105	426	332	30,7	20,8	11,5
Parru	25	102	426	378	45,1	35,9 / 33,2	13,2	102	438	381	28,9	25,0	12,8

* syrjällään taivutustestissä eli käsinkuorittu sivu vetorasituksen alaisena

** lappeellaan taivutustestissä eli käsinkuorittu sivu vetorasituksen alaisena

Taulukko 4. Työstömenetelmän ja puulajin vaikutus taivutuslujuuteen mallilla 1 laskettuna.

a	h	Total c	Total ks	KAR _m	R	u	Mänty f _m ρ ₁₂ =480 kg/m ³	Kuusi f _m ρ ₁₂ =390 kg/m ³	
20	150	471	60	0,0	3	12	52,1		pyöreä, käsin kuorittu
20	150	393	60	7,6	3	12	49,8		pelkkasahattu ja käsin kuorittu, lappeellaan
16	125	393	60	15,3	3	12	48,9	46,4	pyöreä, sorvattu
12	100	393	60	7,6	3	12	45,0		pelkkasahattu ja käsin kuorittu, syrjällään
12	100	400	60	15,0	3	12	43,0	40,9	parru

3.1 Pyöreän puun lujuusluokitus

Pyöreälle puulle päätettiin perustaa kaksi lujuusluokkaa, A ja B, joista A on parempi. Lajitteluohjeet luokkiin A ja B on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Pyöreän puun lajitteluohjeet luokkiin A ja B.

Ominaisuus	Luokka A	Luokka B
Oksasumma per puun läpimitta (%)	75	100
Maksimioksa per puun läpimitta (%)	25	30
Vuosirengasleveys (mm)	3	5

Taulukon 5 lajitteluohjeiden soveltuvuutta testattiin pyöröpuumateriaaliin. Luokkien A ja B kriteerit täyttäneille kappaleille laskettiin standardin SFS-EN 384 mukaan ominaisarvot ja määriteltiin lujuusluokka. Testatuista 150 männystä kolmasosa täytti A-luokan vaatimukset. B-luokan vaatimukset täytti 80 % männyistä. Testatuista 200 kuusesta 75 % täytti A-luokan vaatimukset, kun taas B-luokan vaatimukset täytti 94 %. Taulukossa 6 on esitetty standardin mukaan saadut ominaisarvot ja lujuusluokat pyöreän männyn ja kuusen luokille A ja B.

Taulukko 6. A- ja B-luokan pyöreän männyn ja kuusen lujuuden ominaisarvot ja EN-lujuusluokat standardin SFS-EN 384 mukaan laskettuina.

Puulaji	Luokka	$f_{m,k} / f_{m,k 150 mm}$ [N/mm ²]	$E_{m,mean}$ [kN/mm ²]	ρ_k [kg/m ³]	Lujuusluokka
Mänty	A	30,3 / 28,8	12,5	434	C27
Mänty	B	30,3 / 29,2	11,8	417	C24
Kuusi	A	43,6 / 41,1	13,3	390	C30
Kuusi	B	35,6 / 33,7	13,1	345	C22

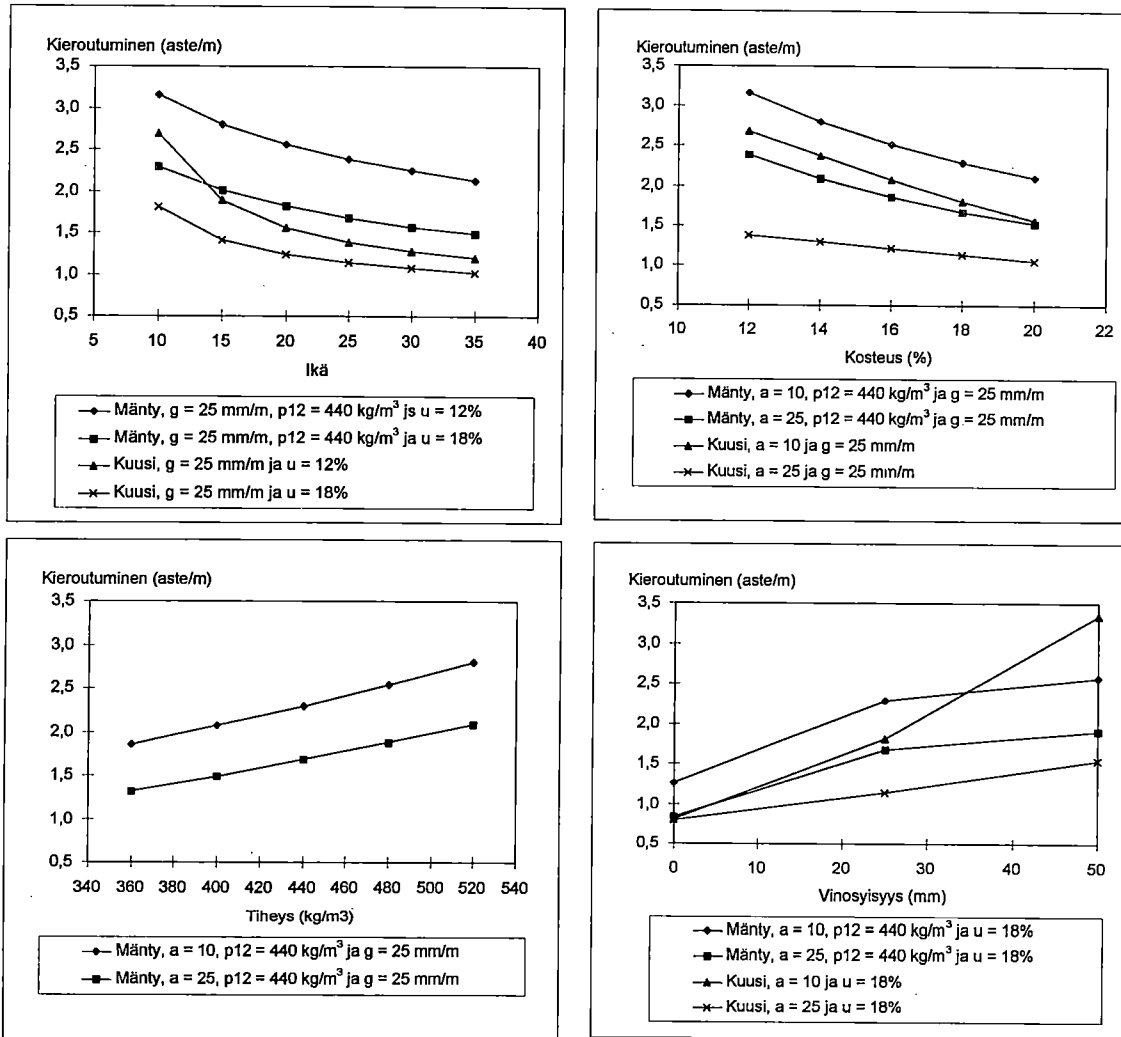
Puulaji	Luokka	$E_{c, 0, mean}$ [kN/mm ²]	$f_{c,k}$ [N/mm ²]	ρ_k [kg/m ³]	Lujuusluokka
Mänty	A	11,3	22,6	435	C24
Mänty	B	10,3	18,7	405	C18
Kuusi	A	13,2	25,1	378	C27
Kuusi		11,7	20,2	340	C22

Taulukon 6 mukaan A- ja B-luokkien mukaisille pieniläpimittaisille pyöreille männille ja kuusille voidaan soveltaa alla esitettyjä lujuusluokkia:

- luokka A mänty = C27 = T24
- luokka B mänty = C18 = T18
- luokka A kuusi = C30 = T30
- luokka B kuusi = C22 = T18

3.2 Pienpuun kieroutuminen

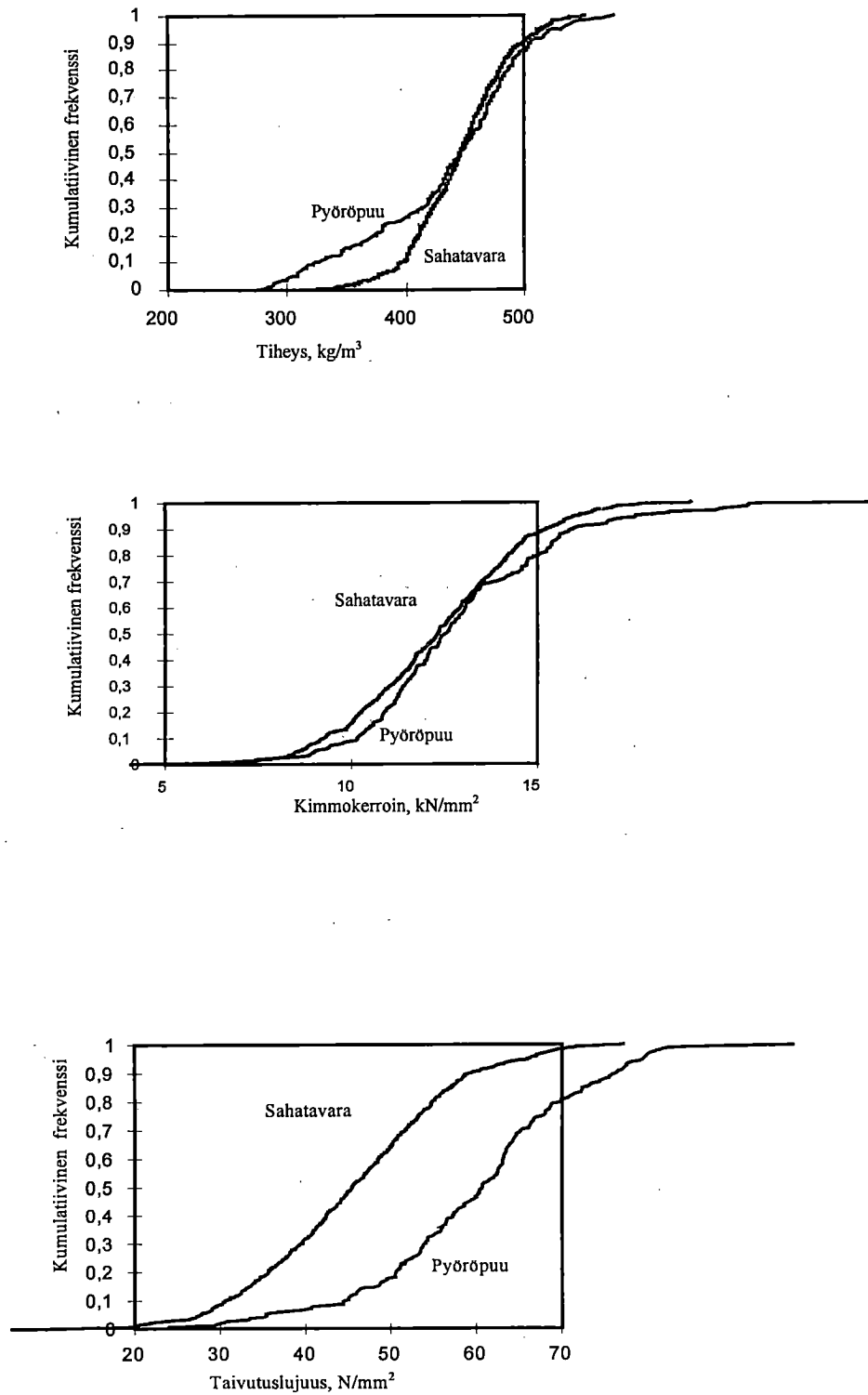
Koekappaleet kieroutuivat keskimäärin 1,5 astetta/metri, kun ne kuivattiin 18 %:n kosteuteen. Kieroutuminen on suurta sahatavaraan verrattuna. Kuvassa 3 on esitetty iän, tiheyden, vinosyisyyden ja kosteuden vaikutus pieniläpimittaisen männyn ja kuusen kieroutumiseen (Borén 1999). Puun kieroutuminen vähenee iän kasvaessa aina 20 ikävuoteen asti. Suuren kieroutumisen vuoksi pienpuu tulisi kuivata käyttökosteuteen ennen varsinaista puun työstöä, mahdollisia rei'ityksiä ym., sillä kosteusvaihtelun aiheuttaman kieroutumisen vuoksi puukappaleita voi olla hankalaa kiinnittää rakenteeseen.



Kuva 3. Iän, kosteuden, tiheyden ja vinosyisyyden vaikutus pieniläpimittaisen männyn ja kuusen kieroutumiseen (Borén 1999).

3.3 Vertailu aikaisempiin tutkimuksiin

Mänty- ja kuusisahatavara lujuuslajitellaan Suomessa samojen sääntöjen mukaan. Sama käytäntö sopii myös pyöreälle puulle. Pyöreän puun ja pylväiden taivutuslujuus on suurempi kuin sahatavaran, kuten mm. Bläss ym. (1995) ja Mäkipuro (1981) ovat myös todenneet. Kuvassa 4 on vertailtu kumulatiivisilla jakaumilla tässä tutkimuksessa testatun suomalaisen pyöreän kuusen ($n = 200$) ja pohjoismaisessa projektissa testatun suomalaisen kuusisahatavaran (42×145 mm, $n = 600$) taivutuslujuutta ja -jäykkyyttä sekä tiheyttä. Vaikka pyöreän puun tiheys jakauman alapäässä (0...30%) on pienempi kuin sahatavaran, pyöreän puun jäykkyys on yhtäsuuri kuin sahatavaran ja lujuus selvästi suurempi. (Ranta-Maunus ym. 1998).



Kuva 4. Taivutuslujuuden ja -jäykkyyden sekä tiheyden kumulatiivisten jakaumien vertailu. Vertailtavina ovat tutkimuksessa testattu suomalainen pyöreä kuusi ($n = 200$) ja pohjoismaisessa projektissa testattu suomalainen kuusisahatavara (42x145 mm, $n = 600$) (Ranta-Maunus ym. 1998).

4 JOHTOPÄÄTÖKSET

Pieniläpimittaisen puun lujuus vastaa sahatavaran lujuutta. Parhaat lujuusominaisuudet saavutetaan, jos pieniläpimittainen puu käytetään pyöreänä. Tästä huolimatta myös pyöreä puu tulee lujuuslajitella, koska kaikki pyöreä puu ei täytä lujuusluokan T30 vaatimuksia. Lisäksi pieniläpimittaisen ja alle 20 vuotiaan puun kieroutuminen voi kosteuden muuttuessa aiheuttaa ongelmia esityöstettyjen rakennuskomponenttien asennusvaiheessa.

5 KIRJALLISUUS

BLASS, H. J., AUNE, P., CHOO, B. S., GÖRLÄCHER, R., GRIFFITHS, D. R., HILSON, B. O., RACHER, P., STECK, G. 1995. Timber Engineering, STEP 1. Basis of design, material properties, structural components and joints. First edition, Centrum hout, The Netherlands. ISBN 90-5645-001-8.

BORÉN, H. 1999. Analysis of wood characteristics and mechanical properties of round and sawn timber from thinnings in Southern Finland (*Picea abies* and *Pinus sylvestris*). Väitöskirjan käsikirjoitus, Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta.

HAKKILA 1966. Wood density survey and dry weight tables for pine, spruce and birch stems in Finland. Seloste: Mänty-, kuusi- ja koivurunkojen puuaineen tiheys- ja kuivapainotaulukot. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 96(3):1-59.

HAKKILA, P. 1979. Investigations on the basic density of Finnish pine, spruce and birch wood. Lyyhennelmä: Tutkimuksia männyn, kuusen ja koivun puuaineen tiheydestä. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 61;5. 98 p.

KÄRKKÄINEN, M. 1985. Puutiede. Sotkamo. Sallisen kustannus. 415 p.

MÄKIPURO, R. 1981. Puupylväiden lujuuslaskentaohje. Lahontorjuntayhdistys r.y. 41 p.

RANTA-MAUNUS, A., SAARELAINEN, U., BORÉN, H. 1998. "Strength of small diameter round timber", CIB W18 meeting in Savonlinna, paper 31-6-3, 1998.

SAARINEVA, J. 1983. Lujuusoppi, peruskurssi. Jyväskylä.

SFS-EN 338. 1995. Structural timber. Strength classes

SFS-EN 384. 1995. Structural timber. Determination of characteristic values of mechanical properties and density. Rakennesahatavara. Mekaanisten ominaisuuksien ja tiheyden arvojen määrittäminen.

SFS-EN 408. 1995. Timber structures. Structural timber and glued laminated timber. Determination of some physical and mechanical properties.

SFS-EN 518. 1995. Structural timber. Grading. Requirements for visual strength grading standards. Rakennesahatavara. Lajittelu. Visuaalisille lujuuslajittelustandardeille asetetut vaatimukset.

UUSVAARA, OLLI. 1985. The quality and value of sawn goods from plantation-grown Scots pine. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 130. 53 s.

Pyöreän puun liitoskokeet

Timo Lehtovirta, Tero Meuronen, Jani Suonio
Etelä-Karjalan AKK

1 JOHDANTO

Jani Suonio teki MTT Vakolan tilauksesta Etelä-Karjalan ammattikorkeakoulun rakennusosastolla päättötyön, jossa tutkittiin pienen pyöreän puun liitoksia. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää pienelle pyöreälle puulle parhaiten soveltuvia liitosmenetelmiä. Kriteereinä liitoksen valintaan käytettiin liitoksen valmistamisen helppoutta, taloudellisuutta ja liitoksen kestävyyttä.

Päättötyön tulosten perusteella suunniteltiin tämä tutkimus, jossa selvitettiin tarkemmin pienen pyöreän puun liittämistä reikävanteella tai puuhun juotetulla harjateräksellä. Harjateräsliitoksessa tutkittiin saneerauslaattalaastin käyttökelpoisuutta teräsosan ja puun liittämässä. Lisäksi tutkittiin koivuvaarnan käyttökelpoisuutta pienten pyöreiden puiden yhteen liittämässä.

Liitosten koetukset tehtiin Kymenlaakson ammattikorkeakoulun laboratoriossa Kotkassa.

2 KOEJÄRJESTELYT

2.1 Materiaali

Lujuuskokeissa tutkittiin vanne-, tappi- ja vaarnaliitosta. Liitokset tehtiin sorvattuun havupuuhun, jonka halkaisija oli noin 125 mm. Ennen kokeita puutavaraa säilytettiin ulkona säältä suojattuna. Puumateriaalin kuivatiheys oli 401 ... 459 kg/m³.

Vanneliitoksissa liitoskappaleina käytettiin esikokeiden tulosten perusteella BMF:n valmistama reikävanne, jonka mitat ovat 20 mm x 1,5 mm. Reikävanne liitettiin puuhun 75 x 28 lankanauloilla.

Toinen tutkittu liitostyyppi oli saneerauslaattalaastilla puuhun kiinnitetty harjaterästankoliitos. Teräs oli A 500 HW –betoniterästä. Liitos tehtiin siten, että puuhun porattiin terästä suurempi reikä, jota täytettiin laastilla ja johon teräs painettiin.

Lisäksi tutkittiin pyöreäksi sorvatusista koivusta tehtyjen vaarnatappien leikkausmurtolujuutta.

Kokeita tehtiin kaikkiaan 54 kappaletta, joista 13 oli esikokeita. Koekappaleissa käytetty puutavara otettiin kuivumaan sisätiloihin viikkoa ennen koepäivää. Harjateräsliitoksen koekappaleet valmistettiin kaksi vuorokautta ennen koetta, jotta käytetty laattalaasti olisi kovettunut. Reikävanneliitosten koekappaleista osa valmistettiin koepäivänä.

2.2 Vetokokeet

Reikävanneliitoksille tehtiin 15 vetokoetta ja harjateräsliitokselle 17 koetta. Vetokokeet tehtiin terästen testaamiseen käytetyllä vetolaitteella. Koekappale kiinnitettiin molemmista päistään vetolaitteeseen ja vedoista talletettiin liitoksen murtolujuus sekä jännitys-siirtymä-käyrä graafisessa muodossa.

2.2.1 Reikävanneliitosten vetokokeet

Kuvassa 1 on reikävanneliitoksessa käytetty koekappale. Liitos tehtiin siten, että vanne naulattiin puun vastakkaisille puolille neljällä 75 x 28 lankanaulalla puoleltaan. Ensimmäinen naula oli 50 mm:n päässä puun reunasta. Kokeissa käytettiin sekä 25 mm:n että 50 mm:n naulavälejä. Näin tutkittiin naulavälin vaikutusta puun halkeiluun. Käytetyt naulavälit määräytyivät reikävanteen reikien mukaan. Suunnitteluohjeen B 10



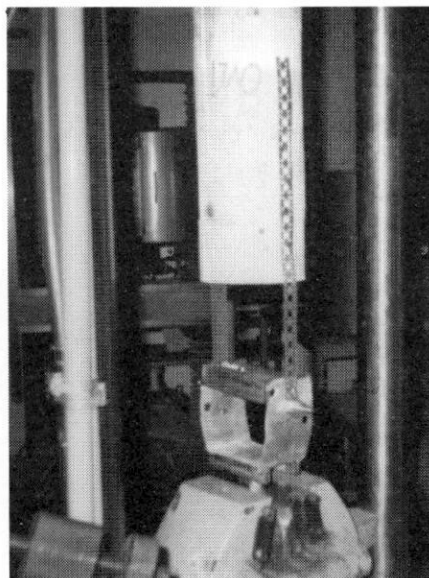
*Kuva 1.
Reikävanne-
liitoksen
vetokokeen
koekappale.*

mukaan naulavälin pitää olla 10 d (d = naulan halkaisija), eli 2,8 mm:n nauvoja käytettäessä naulavälin pitäisi olla 28 mm. Tätä ehtoa ei voitu noudattaa kaikkia koekappaleita valmistettaessa koska reikävanteen reikäväli ei ollut tähän sopiva. Vetokoe on esitetty kuvassa 2.

2.2.2 Harjateräslitosten vetokokeet

Harjateräslitoksen vetokokeissa käytettiin 12 ja 16 mm:n harjaterästankoja. Esikokeita tehtiin myös 10 mm:n harjaterästangolla. Harjaterästangot juotettiin puun päähän porattuun reikään saneerauslaatalaastilla. 12 mm:n harjateräslitoksessa käytettiin halkaisijaltaan 16 sekä 22 mm:n reikää. 16 mm:n tangolle porattiin reikä, jonka halkaisija oli 30 mm. Kaikissa koepuissa oli halkeamia, mutta koekappaleiksi valittiin mahdollisimman vähän haljennutta puuta. Koekappale on kuvassa 3.

Harjateräslitoksen vetokokeissa vedettävä liitos kiinnitettiin suoraan vetolaitteeseen ja koekappaleen vapaa pää liitettiin kiinnityskappaleen avulla. Vetokokeessa mitattiin liitoksen murtolujuus.



Kuva 2. Vetokoe

Kuva 3. Harjateräslitoksen vetokokeen koekappale.



2.3 Liitosten kestävyys sivuttaisvoimaa vastaan

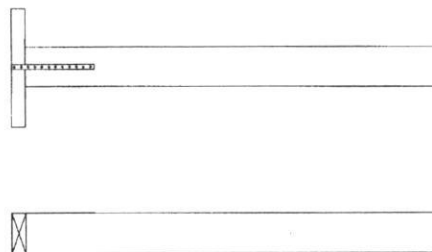
Reikävanneliitosten kestävyttä sivuttaisvoimaa vastaan testattiin 10 kokeessa ja harjateräslitoksen 7 kokeessa.

Kestävyttä sivusuuntaista voimaa vastaan mitattiin kuormituskehässä. Kokeissa käytetty puu oli noin 2 metriä pitkä. Voima kohdistettiin 1700 mm:n etäisyydelle kappaleen vapaasta päästä ja 230 ... 300 mm:n etäisyydelle tutkittavan liitoksen puoleisesta päästä. Voimaa ei kohdistettu suoraan tutkittavan liitoksen kohdalle, jotta kappaleen mahdollinen halkeilu ei estyisi kokeen aikana. Kappaleen päähän, liitoksen kohdalle, kohdistunut voima määritettiin laskemalla.

2.3.1 Reikävanneliitoksen sivuttaiskuormitus

Reikävanneliitoksesta selvitettiin, paljonko rakenne kestää sivuttaissuuntaista voimaa ja voidaanko sivusuuntaiset kuormat vastaanottaa pelkästään reikävanteella. Liitoksen kestävyttä tutkittiin voiman kohdistuessa reikävanteen naulauksen suuntaisesti sekä voiman suuntautuessa naulausta vastaan kohtisuoraan. Lisäksi tutkittiin naulavälin vaikutusta liitoksen kestävyyteen ja halkeiluun.

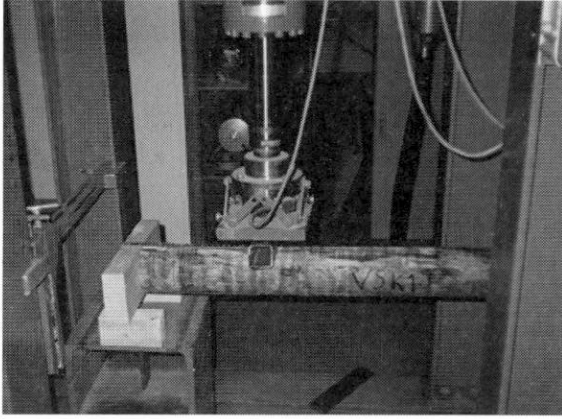
Liitoksissa reikävanne kiinnitettiin 75 x 28 lankanauoilta ja naulaväli oli 25 mm:n tai 50 mm:n. Pyöreä puu kiinnitettiin soiroon. Vanne kierrettiin soiron ympäri ja naulattiin sekä soiroon että pyöreään puuhun. Kuvassa 4 on kuvattu reikävanteella tehty koekappale, jota käytettiin sivuttaiskuormituskokeessa. Koe on esitetty kuvassa 5.



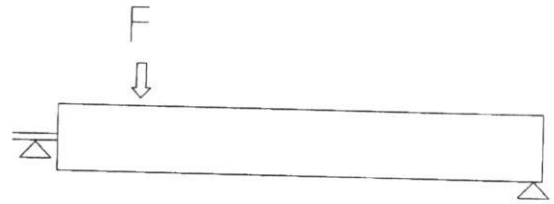
Kuva 4. Reikävanneliitos, jolla tehtiin sivuttaiskuormituskoe.

2.3.2 Harjateräslitoksen sivuttaiskuormitus

Harjateräslitoksessa tutkittiin teräksen ja reiän halkaisijan vaikutusta halkeiluun. Koekappale asetettiin kuormituskehään siten, että puun halkeamat eivät olleet kappaleen oletetuissa murto-kohtissa. Kuormitusta jatkettiin kunnes puu murtui. Sivusuuntaisen kuormituskokeen periaate on esitetty kuvassa 6.



Kuva 5. Sivuttaissuuntaisen voiman kestävyyskoe.



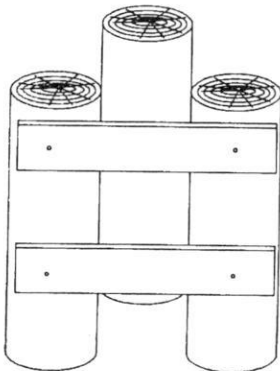
Kuva 6. Sivuttaiskuormituskokeen periaate

Harjateräslitoksen teräkset kiinnitettiin saneerauslaattalaastilla. 12 mm:n tanko kiinnitettiin 22 mm:n reikään ja 16 mm:n tanko 30 mm:n reikään. Molemmissa tapauksissa reiät oli porattu 200 mm:n syvyisiksi.

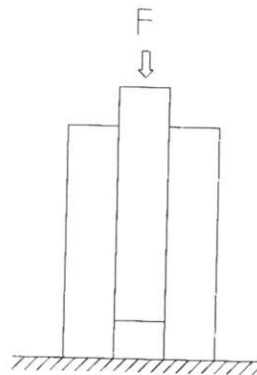
Vastakappaleena oli liimapuukappale, johon oli porattu reikä harjaterästä varten. Reiässä käytettiin teräsholkkia reiän muodonmuutosten ehkäisemiseksi.

2.4 Vaarnan leikkauslujuus

Koivuvaarnan leikkauslujuuskokeessa tutkittiin harjanvarsien käyttökelpoisuutta vaarnana. Koe tehtiin kaksileikkeisen koekappaleen avulla. Koekappaleessa käytettiin kahta vaarnaa, joten leikkautuvia vaarnoja oli neljä kappaletta. Kokeen periaate on esitetty kuvassa 8. Koivuvaarnan leikkauslujuuden määrittämiseksi tehtiin neljä koetta. Vaarnat tehtiin koivuisista harjanvarsista, joiden halkaisija oli 21 ... 22,5 mm. Liitos tehtiin siten, että puuhun porattiin halkaisijaltaan 22 mm:n reiät, johon vaarnat painettiin ja käytetty koekappale on esitetty kuvassa 7. Vertailun vuoksi yksi koe tehtiin käyttäen pyöreän puun asemesta liimapuuta.



Kuva 7. Koekappale koivuvaarnan leikkauslujuuden mittaamiseksi. Kuvassa olevat laudat tukevat kappaletta.



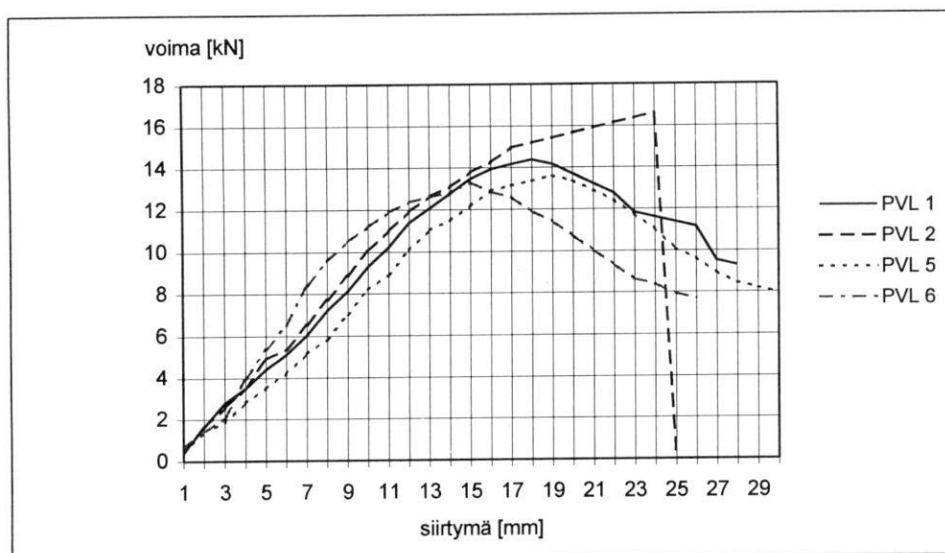
Kuva 8. Koivuvaarnan leikkauslujuuskokeen periaate.

3 KOETULOKSET

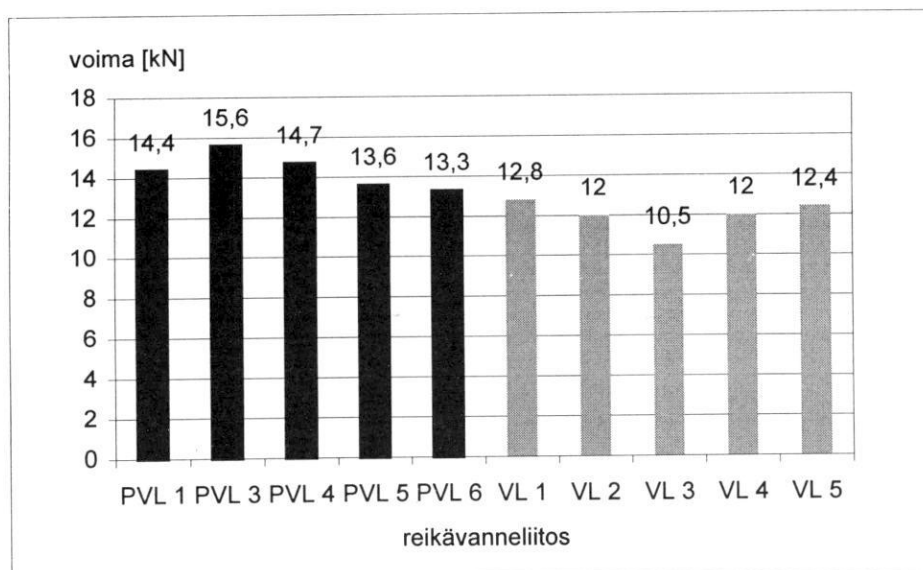
3.1 Reikävanneliitos

Reikävanneliitoksille tehtiin kokeita, joilla selvitettiin liitosten vetolujuutta sekä kestävyyttä sivusuuntaista voimaa vastaan. Koeolot pyrittiin saamaan mahdollisimman samanlaisiksi kaikissa kokeissa.

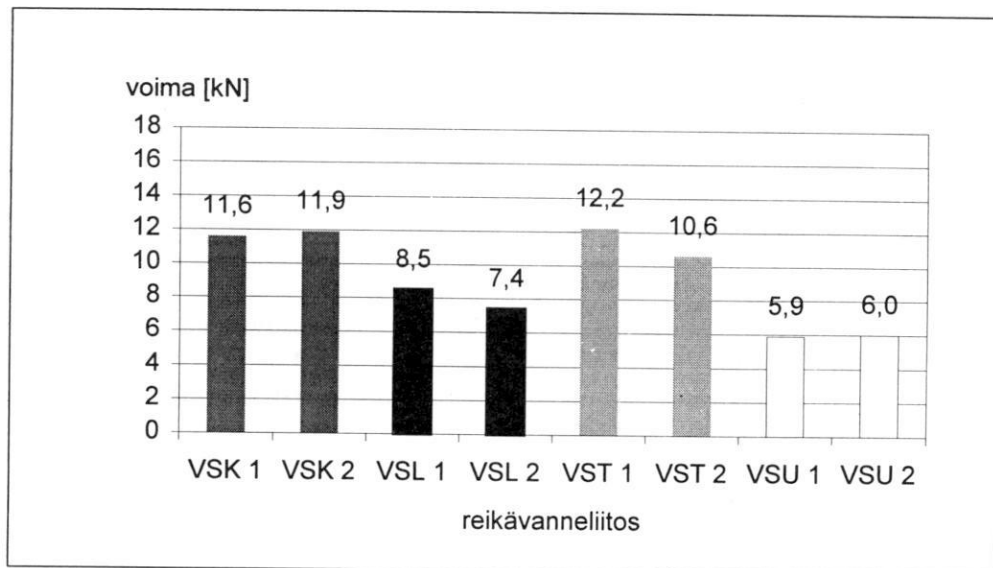
Reikävanneliitoksille tehtiin 15 vetokoetta ja 10 kestävyyskoetta sivusuuntaista voimaa vastaan. Jokaisesta kokeesta kirjattiin liitosten murtolujuudet. Kuvassa 9 on esitetty reikävanneliitoksen voima-siirtymä -käyrä ja kuvassa 10 liitosten murtolujuudet vedossa. Sivuttaissuuntaisen voiman kestävyyskokeiden tulokset ovat kuvassa 11.



Kuva 9. Reikävanneliitoksen voima-siirtymä-käyrä. Liitoksessa käytettiin kahdeksaa 75 x 28 lankanaulaa, neljä naulaa kummallakin puolella.



Kuva 10. Reikävanteen vetokokeiden tulokset, PVL 1, 3-5: naulaväli 50 mm, VL 1-5: naulaväli 25 mm.

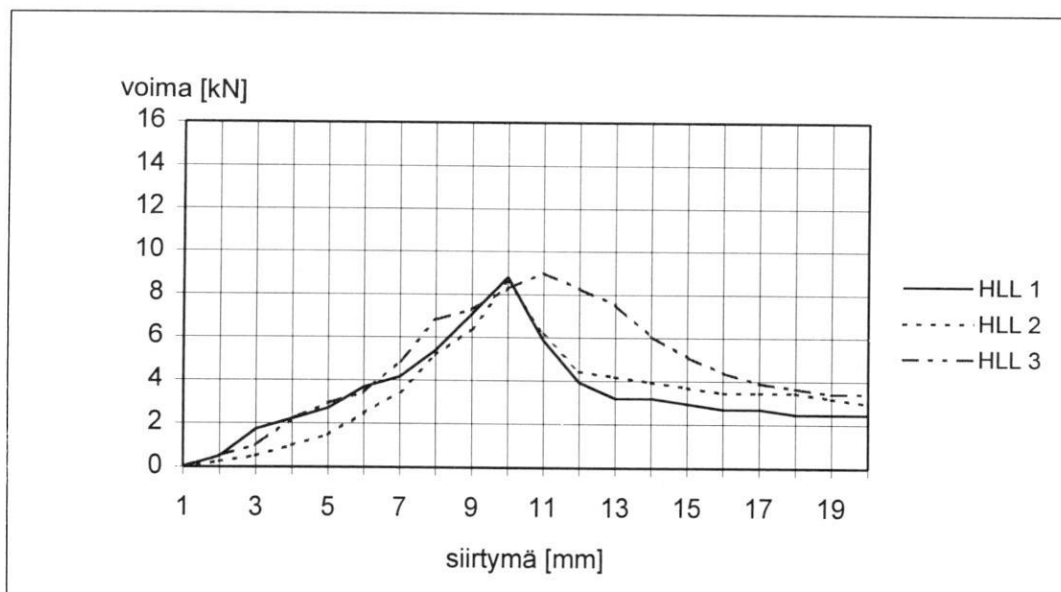


Kuva 11. Reikävanteen sivusuuntaisen voiman kestävyyskokeiden tulokset, liitos tehty kahdeksalla 75 x 28 lankanaulalla, neljä puolella. VSK 1-2: voima naulojen suuntaisesti, naulaväli 50 mm. VSL 1-2: voima kohtisuoraan nauloihin nähden, naulaväli 50 mm. VST 1-2: voima naulojen suuntaisesti, naulaväli 25 mm. VSU 1-2: voima kohtisuoraan nauloihin nähden, naulaväli 50 mm.

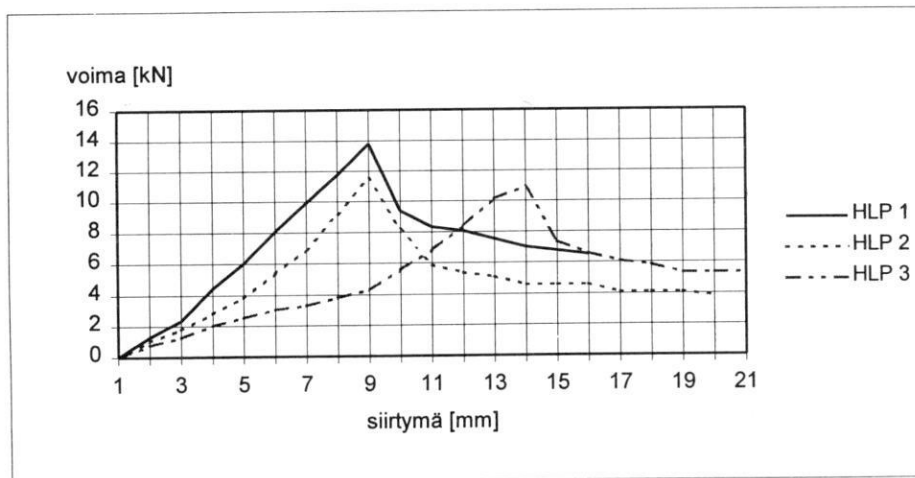
3.2 Harjateräслиitos

Harjateräслиitokselle tehtiin 17 vetokoetta ja 7 vaakavoimakoetta. Kokeissa tutkittiin liitoksen veto- ja vaakavoimakestävyyttä.

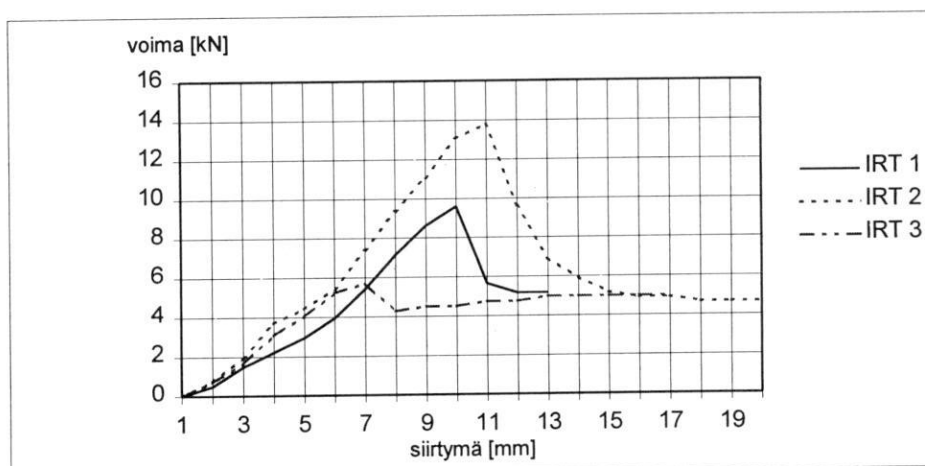
Kuvaajat on esitetty kuvissa 12 – 16. Kuvaajista poistettiin vetokoelaitteen leukojen luistamisen aiheuttamat siirtymät.



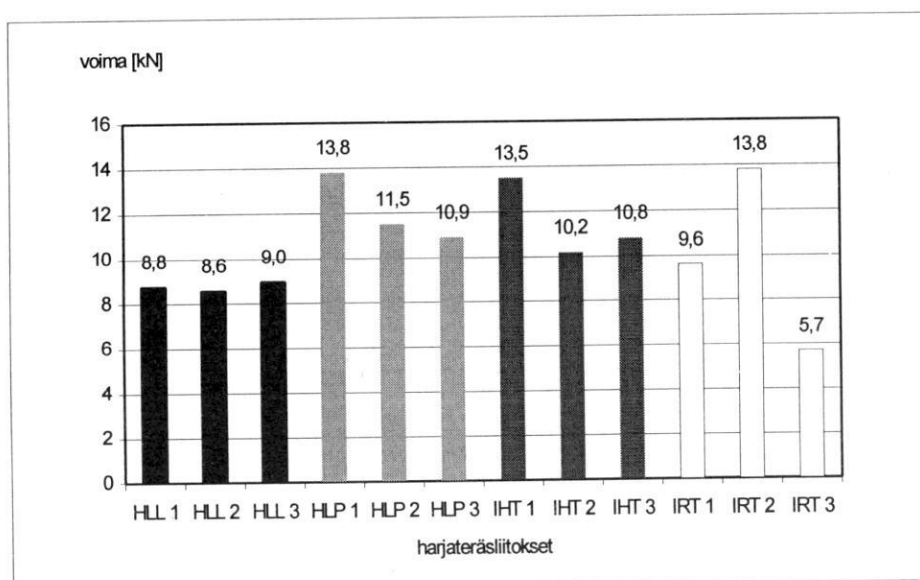
Kuva 12. Kolmen keskenään samanlaisen harjateräслиitoksen voima-siirtymä-kuvaaja, teräs 12 mm, reikä 16 mm, syvyys 150 mm, laattalaastikiinnitys.



Kuva 13. Kolmen keskenään samanlaisen harjateräslitoksen voima-siirtymä-kuvaaja, teräs 12 mm, reikä 16 mm, syvyys 250 mm, laattalaastikiinnitys.

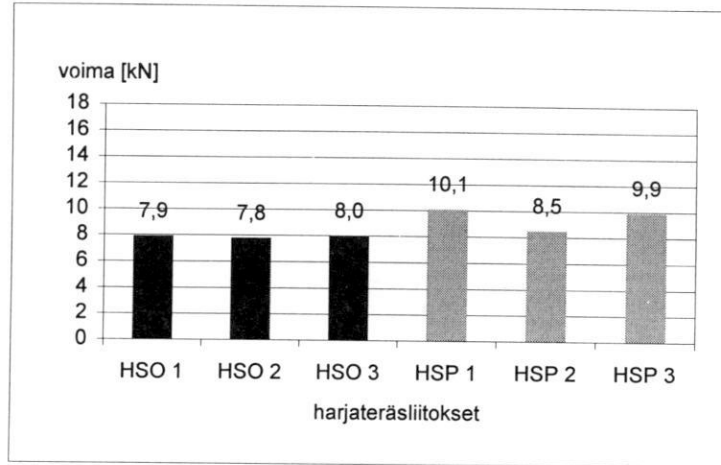


Kuva 14. Kolmen keskenään samanlaisen harjateräslitoksen voima-siirtymä-kuvaaja, teräs 16 mm, reikä 30 mm, syvyys 200 mm, laattalaasti.



Kuva 15. Harjateräslitosten vetokokeiden tulokset, HLL 1-3: teräs 12 mm, reikä 16 mm, syvyys 150 mm, laattalaasti, HLP 1-3: teräs 12 mm, reikä 16 mm, syvyys 250 mm, laattalaasti, IHT 1-3: teräs 12 mm, reikä 22 mm, syvyys 200 mm, laattalaasti, IRT 1-3: teräs 16 mm, reikä 30 mm, syvyys 200 mm, laattalaasti.

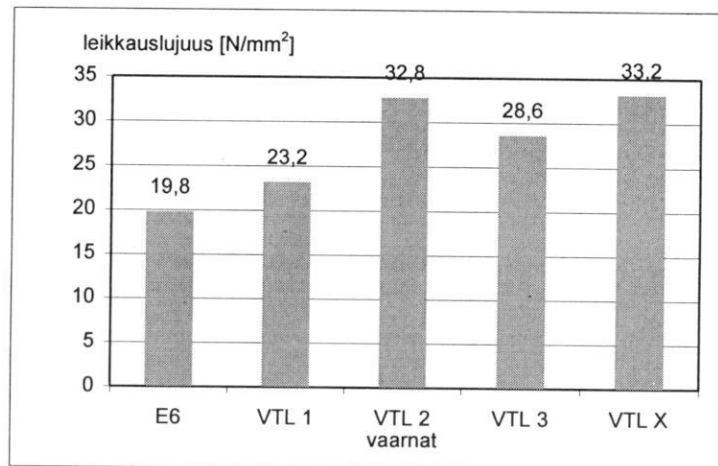
Kuva 16. Harjateräslitosten sivusuuntaisen voiman kestävyyskokeen tulokset, HSO 1-3: teräs 12 mm, reikä 22 mm, syvyys 200 mm, laattalaasti, HSP 1-3: teräs 16 mm, reikä 30 mm, syvyys 200 mm, laattalaastikiinnitys.



3.3 Koivuvaarnaliitos

Harjanvarsivaarnan leikkauslujuuden määrittämiseksi tehtiin yksi esikoe, kolme varsinaista koetta ja yksi vertailukoe. Varsinaisissa kokeissa käytettiin pyöreää puuta, mutta vertailukoe tehtiin käyttäen liimapuuta. Kuvassa 17 on esitetty saadut tulokset kaaviomuodossa.

Kuva 17. Vaarnojen leikkauslujuuden tulokset, E6: esikoe, VTL 1-3: varsinaiset kokeet pyöreällä puulla, VTL X: vertailukoe liimapuulla.



4 KOETULOSTEN TARKASTELU

Reikävanneliitoksen lujuuden määräsi naulojen tartuntalujuus. Tulosten havaittiin vastaavan Suomen rakennusmääräyskokoelman puurakenteiden suunnitteluohjeen B 10 mukaisia arvoja. Suunnitteluohjeen arvot on pääsääntöisesti osoitettu käytettäessä sahatavaraa, mutta koetulosten perusteella naulojen tartuntalujuudet pyöreään puuhun vastasivat tartuntalujuuksia sahatavaraan.

Halkeiluvaaran ehkäisemiseksi suunnitteluohjeissa on pienimmäksi sallituksi naulaväliksi annettu 10 d (d = naulan läpimitta). Tätä ei kaikissa kokeissa pystytty noudattamaan reikävanteen valmiin rei'ityksen takia. Käytetyssä reikävanteessa reiät olivat 25 mm:n välein.

Käytettäessä 25 mm:n naulaväliä liitosten lujuus oli noin 85 % vastaavasta 50 mm:n naulaväliä käyttäen tehdyn liitoksen lujuudesta. Kaikissa liitoksissa, joissa naulaväli oli 25 mm, puu halkesi. Tämä saattaa osaltaan vaikuttaa näissä kokeissa mitattuihin hieman alhaisempiin lujuusarvoihin. Koekappaleista, joiden naulaväli oli 50 mm, ainoastaan yksi halkesi kokeessa. Kuormitettaessa reikävanneliitosta sivuttaissuuntaisella voimalla puu pääsääntöisesti halkesi, mikäli voima kohdistui kohtisuoraan nauloja vastaan. Niiden liitosten, joissa käytettiin tiheämpää 25 mm:n naulaväliä, lujuudet olivat noin 25 % pienempiä verrattuna harvemmillä naulavälillä tehtyihin liitoksiin.

Niistä koekappaleista, joissa naulaväli oli 50 mm:ä, reikävanne murtui, mikäli voima kohdistui naulojen suuntaisesti, kuva 18. Lähes kaikissa koekappaleissa naulat myös irtosivat puusta.

Jokainen koekappale myötäsi erittäin paljon ennen liitoksen pettämistä. Voiman kohdistuksessa samansuuntaisesti naulauksen kanssa eri naulaväleillä tehtyjen liitosten kestävyudessa ei ollut suuria eroja.

Harjateräslitoksissa suurin mielenkiinto kohdistui käytettyyn saneerauslaattalaastiin. Kyseisestä laastista puun ja teräksen liittämiseen ei ollut aikaisempia kokemuksia, eikä näin ollen varsinaisia vertailukohteitakaan.

Etukäteen liitoksen kestävyys arvelutti lähinnä puun halkeilun takia. Halkeilu ei kuitenkaan muodostunut suureksi ongelmaksi. Ainoastaan yksi koekappale oli niin pahoin haljennut, että voidaan päätellä halkeilun pienentäneen merkittävästi lujuutta. Lisäksi laastin kuivumislämpötila vaikuttaa laastin kutistumiseen. Liitokset pettivät aina laastin ja puun leikkauspinnasta. Liitoksessa laastin ja puun välinen leikkausjännitys oli suurimmillaan $1,2 \text{ N/mm}^2$ luokkaa. Puumateriaalin leikkauslujuus puun syyn suuntaan, kosteusluokassa 2 ja aikaluokassa c, on $2,6 \text{ N/mm}^2$.

Kokeissa tutkittiin halkaisijaltaan ja syvyydeltään erilaisten reikien vaikutusta liitoksen lujuuteen. Samanlaisten liitosten kesken ei havaittu suuria eroavaisuuksia lujuuksissa. Poikkeuksena oli liitos, jossa 12 mm:n harjateräs oli juotettu 200 mm:n syvyyseen ja halkaisijaltaan 22 mm olevaan reikään. Siinä lujuusarvot vaihtelivat 5,7 ... 13,8 kN:iin. Pienin lujuusarvo selittyi puun halkeilulla. Koekappale oli pahasti haljennut laastin kuivuessa ja halkeilu oli todennäköisesti lähes kokonaan irrottanut laastin tartunnan puuhun.

Myös sementtiliimaa kokeiltiin liitoksen juottamiseen, mutta esikokeessa saatu alhainen 4,0 kN lujuus ei antanut aihetta jatkaa kokeilua. Esikokeessa tehtiin työstettävyyden helpottamiseksi laattalaastista pakkauksen ohjetta vetelämpää. Tämäkin kokeilu osoittautui epäonnistuneeksi, sillä näin tehdyn liitoksen lujuus oli ainoastaan 4,0 kN:a, joten esikokeen lisäksi muita kokeita ei tehty.

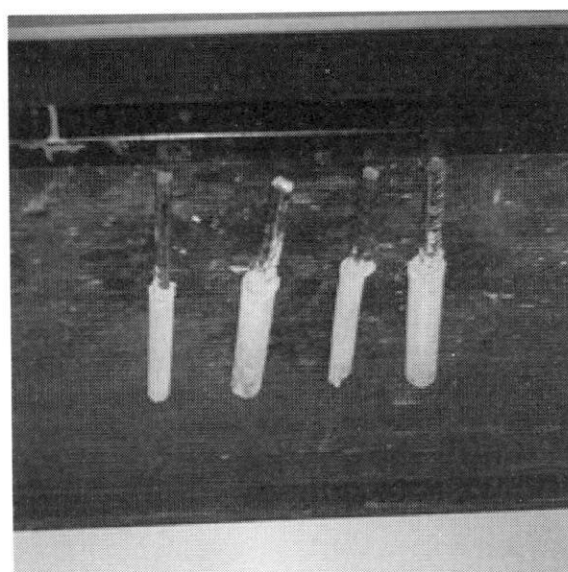
Harjanvarsivaarnat olivat koivua. Koivun leikkauslujuus on luokkaa 16 N/mm^2 (Puurakennot, RIL 106). Mitatut lujuudet vaihtelivat suuresti. Esikokeissa saavutettiin pienin arvo $19,8 \text{ N/mm}^2$. Viimeisenä tehdyssä vertailukokeessa, jossa liitettävät kappaleet olivat liima-



Kuva 18. Vedossa rikkoutuneita reikävanneliitoksia.



Kuva 19. Harjateräskoekappaleita sivusuuntaisen voiman kestävyyskokeen jälkeen.



Kuva 20. Vedossa irronneita harjateräksiä.

puuta, saatiin suurin arvo 33,2 N/mm². Yksittäisen vaarnaleikkeen lujuus vaihteli 6,9 ... 13,0 kN/leike. Vertailun vuoksi mainittakoon, että pultin M12 (5.8) ominaisleikkauskapasiteetin laskenta-arvo aikaluokassa c on 8,0 kN/leike, M16 (5.8) pultilla 13,5 kN/leike ja M22 (5.8) pultilla 21,4 kN/leike.

Koivuvaarvoja oli kahta eri paksuutta. Liitokset, joissa käytettiin ohuempaa harjanvartta olivat heikompia kuin paksummasta harjanvarresta tehdyt. Tulokset ovat vertailukelpoisia, sillä vaarnalle on laskettu lujuus pinta-ala yksikköä kohti (N/mm²). Eroa saattaa selittää vaarnamateriaalin erilainen tiheys. Myös koekappaleilla voi olla osuutta saatujen lujuuksien vaihteluun. Koekappaleet tehtiin pyöreästä puusta, eivätkä kaikki liitettävät pinnat tulleet tiiviisti toisiaan vasten. Joissain koekappaleissa jäi liitettävien puiden vaarnan kohdalle usean millimetrin rako, joka aiheutti leikkaavien pintojen välille momenttivartta.



Kuva 21. Vaarnakokeen koekappaleita.

5 LIITOSTEN TARKASTELU

Reikävanneliitoksessa liitoksen pitävyys perustuu yksinomaan naulojen tartuntalujuuteen, koska liitoksessa voimat välittyvät vanteesta naulojen kautta puuhun. Naulaliitoksen tartuntalujuuden määrää naulan tartuntalujuus puuhun. Liitoksen pettäessä naulat irtosivat lähes aina. Kuumasinkityillä nauloilla tehdyt liitokset olisivat todennäköisesti olleet hieman lujempia, koska ne tarttuivat paremmin.

Optimaalisen liitoksen tekeminen reikävanteella on vaikeaa, koska naulavälin saaminen normien mukaiseksi ei onnistu valmiin rei'ityksen takia. Lisäksi tutkimuksessa käytetyssä reikävanteessa naulat olivat rivissä, mikä aiheutti halkeilua. Suunnitteluohjeiden mukaan peräkkäiset naulat pitää lyödä naulan paksuuden verran sivuun toisistaan. Tämä on reikävannetta käytettäessä mahdotonta.

Jotta koko reikävanteen kapasiteetti saadaan käyttöön, joudutaan vanne kiinnittämään puuhun usealla naulalla. Tämä ei tietenkään ole valmistusteknisesti hankalaa, mutta aikaa vievää.

Reikävanneliitos on suhteellisen edullinen. Vannetta myydään 10 ja 30 metrin kiepeissä. 30 m:n kieppi maksaa noin 100 mk, riippuen vanteen vahvuudesta ja ostopaikasta. Tutkittavat liitokset naulattiin tavallisilla lankanauloilla, joiden hinta on 10 ... 15 mk/kg. Aikaa yhden liitoksen tekemiseen menee 5 minuuttia. Työmenekki on näin ollen pienehkö. Yhdelle liitoksen hinta töineen on 10 mk.

Harjateräslitoksen pitävyys perustuu laattalaastissa olevien liima-aineiden tartuntaan. Tartunta oli suhteellisen hyvä, mikäli puu reiän ympärillä ei ollut halkeillut. Kaikki liitokset irtosivat puun ja laastin välisestä pinnasta.

Voimat välittyvät vedon aikana teräksestä laastia pitkin laastin ja puun leikkauspinnan liimaukseen. Harjateräksen harjojen ansiosta teräksen ja laastin tartunta on hyvä. Yksikään liitos ei murtunut laastiosuudesta. Sivuttaiskuormituksessa laastilla ei ole merkittävää osuutta liitoksen lujuuteen. Tässä tapauksessa voima siirtyy suoraan teräksestä puuhun.

Liitos on vaikeahko tehdä. Jotta laattalaasti saavuttaisi parhaan pidon, laastista pitää tehdä jäykkää. Jäykän laastin sullominen puussa olevaan reikään on työlästä ja hidasta. Liitoksen tekeminen helpottuu huomattavasti, mikäli laasti voitaisiin injektoida reikään. Koekappaleita tehdessä huomio kiinnittyi myös liitettävien kappaleiden pituuteen. Laboratorio-oloissa noin puolimetriisiin koekappaleisiin oli vielä suhteellisen helppo sulloa laasti, mutta mikäli liitos tehdään ulkona ja puu, johon laasti sullotaan, on esimerkiksi rakenteeseen kuuluva pilari, työ vaikeutuu merkittävästi. Saneerauslaattalaastia ei voida käyttää pakkasella.

Harjateräслиitos on edullinen liitosmenetelmä. Laasti maksaa noin 10 mk/kg. Yhteen liitokseen kuluu 100 ... 150 g laastia. Yhden liitoksen tekeminen kestää kuitenkin 10 ... 15 minuuttia, joten työmenekki on suuri. Yksi liitos maksaa siten noin 20 mk.

Vaarnaliitoksessa vaarna on rakenteen voimia välittävä osa. Liitoksen hankaluutena on reikien poraaminen samaan kohtaan kiinnitettäviä puita. Poranterän on oltava riittävän pitkä, jotta poraus onnistuu kerralla. Pyöreän puun sitominen toisiinsa porauksen ajaksi vaatii sekin oman työnsä.

Vaarnan on oltava tarpeeksi tiukka porattuun reikään, jotta liitoksesta saadaan kestävä. Toisaalta liian tiukka vaarna on vaarassa murtua reikään lyödessä.

Harjanvarren hinta on noin 15 mk. Yhdestä harjanvarresta saadaan 3...5 vaarnaa. Porauksineen yhden vaarnan asentamiseen menee aikaa noin 3 minuuttia ja liitoksen hinta on noin 15 mk.

6 PÄÄTELMÄT

Reikävannetta on perusteltua käyttää esimerkiksi liitettäessä seinien yläsidepuita pilareihin. Reikävannetta voidaan käyttää myös runkotolppien liittämiseksi alajuoksuun. Reikävanteella ei saada tehtyä momenttijäykkiä liitoksia, vaan jäykistäminen on toteutettava vinotuilla tai vetoteräksillä. Reikävannetta voidaan käyttää vetoteräksinä.

Reikävanneliitos on tietyissä rajoissa hallittavissa Puurakenteiden suunnitteluohjetta B 10 soveltaen. Naulavälit ja kuviot on tehtävä reikävanteen mukaan. Kokeissa käytetyllä vanteella naulat piti lyödä samaan riviin, mitä ei suunnitteluohjeen B 10 mukaan suositella.

Harjateräслиitoksellakaan ei voida tehdä momenttijäykkiä liitoksia. Ohuemmalla teräksellä on mahdollista kiinnittää yläsidepuu pilarien päihin. Vaakavoimakestävyyden parantamiseksi liitoskohdan ympärille voidaan sitoa panta, joka estää halkeilua, mikäli pilariin vaikuttaa vaakasuuntainen voima.

Harjateräслиitosten jatkokehittäelyssä kannattaa testata myös muita kiinnitysmassoja kuin näihin testeihin oli valittu. Haluttaessa nostaa liitoksen vetolujuutta kiinnitysmassassa olisi oltava enemmän liima-ainetta. Tällöin todennäköisesti liitoksen kustannukset nousevat merkittävästi.

Harjateräслиitoksen hankalin työvaihe oli kiinnityslaastin sullominen porattuun reikään ja harjateräksen asentaminen puun suuntaisesti. Näiden ongelmien poistaminen vaatii liitoksen jatkokehittäelyä.

Koivu on hyvä materiaali vaarnoihin. Se on kovaa ja tehty oksattomasta puusta, ja sen leikkausmurtolujuus on suuri. Se ei tietenkään ole vertailukelpoinen teräksisen vaarnan kanssa, mutta puisella vaarnatavalla saadaan kosmeettisesti siistimpi lopputulos.

Puuvaarnaliitoksen mitoittamiseen ei voida soveltaa Puurakenteiden suunnitteluohjetta B 10. Suunnitteluohjeessa on annettu arvot havupuulle, mutta ei esimerkiksi koivulle. Suunnitteluohjeessa ei muutenkaan ole mainittu puisia liitoskappaleita.

Puuvaarnaliitoksen poraaminen on tarkkaa työtä. Tämä voi rajoittaa sen käyttöä. Kokeissa käytetyt vaarnatavat katkottiin muuhun käyttöön tarkoitetusta puusta, ja niiden halkaisija vaihteli. Liitoksissa kannattaisi käyttää mittatarkempaa sorvattua koivua.

Kokeissa testatuissa liitoksista reikävanneliitos osoittautui käytännön rakentamisen kannalta helpoimmaksi toteuttaa. Harjateräслиitos ja koivuvaarnaliitos vaativat jatkokehittelyä ja niiden tekemistä olisi testattava työmaaoiloissa.

Testatut liitokset pyrittiin tekemään mahdollisimman halvalla. Tällöin liitosten kestävyudet eivät olleet parhaat mahdolliset. Tietyillä muutoksilla liitoksiin olisi saanut lisää kestävyyttä, mutta lähes kaikki nämä muutokset olisivat aiheuttaneet merkittäviä lisäkustannuksia.

Tutkimuksen liitostyyppinä voidaan käyttää myös muussa puurakentamisessa kuin pelkän pyöreän puun liitoksissa.

Jatkotutkimuksissa kannattaa kiinnittää huomiota pienen pyöreän puun liitosten kustannusten optimointiin ja niiden käytännön toteutuksen parantamiseen.

Kuvat: Tämän tutkimuksen kuvat otti ja piirsi Jani Suonio.

VAKOLAn tutkimusselostuksia

- 42 Kasviöljyt dieselmoottorin polttoaineena
- 43 Traktorin polttoaineenkulutukseen vaikuttavia seikkoja
- 44 Alipaineilmanvaihto kotieläinsuojissa. 1986.
- 45 Kompostoinnin vaikutus lietelannan laatuun ja käsiteltävyyteen. 1987.
- 46 Käyttökokemuksia 80-luvulla rakennetuista kalustovajoista, varastokuivureista ja pihatoista. 1987.
47. Lannoitteenlevityksen tasaisuus. 1987.
48. Jauhatuksen tilantarve ja pölyhaittojen vähentäminen. 1987.
49. Maatalouskoneiden tietokanta. 1988.
50. Lannanpoistolaitteiden toiminta ja kestävyys. 1988.
51. Pienten pihatoiden ilmanvaihdon erityisvaatimukset. 1988.
52. Tuotantorakennusten suunnittelu ja rakentaminen käytännössä. 1988.
53. Hellävarainen perunankorjuu. 1989.
54. Syyskyntöä korvaavien muokkausmenetelmien vaikutus kevätvehnän satoon 1975-1988.
Pitkäaikaisen aurattoman viljelyn vaikutukset hiesusaven rakenteeseen ja viljavuuteen 1989.
55. Ei julkaisua.
56. Kosteiden pintojen kosteudentuotanto navetoissa. 1989.
57. Kylmäilmakuivurin mitoitus ja käyttö. 1990.
58. Leikkuupuimurin kulkukyky vaikeissa olosuhteissa. 1990.
59. Lietelantajärjestelmien toimivuus. 1990.
60. Heinän varastokuivaus. 1991.
61. Viljankuivauksen pölyhaitat. 1992.
62. Säilörehun siirto ja käsittely talvella. 1991.
63. Naudanlihan tuotantomenetelmät ja -rakennukset. 1992.
64. Kiedotun pyöröpaalisäilörehun valmistustekniikka ja laatu. 1993.
65. Hellävarainen perunan kauppakunnostus. 1993.
66. Naudanlihan tuotantomenetelmät ja -rakennukset II. 1993.
67. Betonit ja muovit navetan lattiamateriaaleina. 1993.
68. Lannankäsittelyn taloudellisuuden ja lannan ravinteiden hyväksikäytön parantaminen. 1994.
69. The effect of ground profile and plough gauge wheel on ploughing work with a mounted plough. 1994.
70. Järeän sahatavaran mekaaniset ominaisuudet. 1995.
71. Järeän sahatavaran käyttö rakennuksissa, rakennejärjestelmät ja liitokset. 1997.
72. Lannan levitys kasvustoon. 1996.
Osa 1. Lietelannan sijoituslaitteen rakenteelliset vaatimukset suomalaisissa olosuhteissa.
73. Lannan levitys kasvustoon. 1996.
Osa 2. Lietelannan levitysmahdollisuudet kasvavaan viljanoraaseen.
74. Kylmäkasvattamoiden kuivikepohjien toimivat vaihtoehdot. 1996.
75. Konetöiden turvallisuuden ja tehokkuuden parantaminen. 1996.
76. Laboratorioiden työn ja työympäristön kehittäminen. 1996.
77. Pienmoottoreiden päästöt. 1997

VAKOLAn rakennusratkaisuja

- 1/1994 Kylmä osakuivikepohjainen emolehmäkasvattamo.
- 2/1995 Rehtijärven keinokosteikko.
- 3/1995 Puurakenteiset ruokinta-aidat ja parrenerottimet.
- 4/1996 Perustamistapojen hintavertailu.
- 5/1997 Havaintoja kylmäpihattojen lannankäsittelystä.
- 6/1997 Kalustohallista toimiva sikala

VAKOLAn tiedotteita

- 48/90 Turvallinen ja nopea työkoneiden kytkentä
- 49/91 Betonit ja muovit navetan lattiamateriaaleina
- 50/91 Pölyn ja roskien talteenotto lämminilmakuivamossa
- 51/92 Viherkesannon perustaminen ja hoito
- 52/92 Kaasut ja pöly eläinsuojien ilmanvaihdossa
- 53/93 Lannoitteenlevittimien levitystasaisuus
- 54/93 Maaseudun koerakentamisen ohjelmointi
- 55/93 Pyöröpaalisäilörehun korjuu, varastointi ja laatu
- 56/93 Maaseuturakentamisen ideakilpailu
- 57/93 Syyskylvöjen varmentaminen
- 58/93 Maatilan ja maatilamatkailun jätehuolto
- 59/93 Maatilamyymälätoiminta vanhassa maatilan asuinrakennuksessa
- 60/93 Tyhjien maatarakennusten uusi käyttö
- 61/94 Lietelannan varastointi ja levitys
- 62/94 Tuotantorakennusten alapohjia ja piha-alueiden päällysrakenteita
- 63/94 Turvallinen puunpiilkonta
- 64/94 Itkupinta-tuloilmalaitteen vaikutus eläinsuojassa
- 65/94 Oksainen hake pienpolttimissa
- 66/94 Pako- ja savukaasujen analysointi
- 67/94 Käyttökokemuksia jyräkylvölannoittimista
- 67S/94 Bruksfarenheter av vältkombisåmaskiner
- 68/94 Käsikäyttöisten liekittimien käyttöominaisuuksia
- 69/95 Renkaiden vaikutus traktorin vetokykyyn ja maan tiivistymiseen
- 70/95 Hakkeen kuivaus imuilmalla
- 71/95 Klapiakattiloiden käyttöominaisuudet
- 72/96 EPS-rakeet ja EPS-rouhe sikalan lietesäiliön katteena
- 73/96 Kevytsaviharkkojen kuivuminen ja lujuus
- 74/97 Rikkakasvien torjunta viljoista riviväliharauksella
- 75/97 Öljypellavan leikkuupuinti
- 76/97 Tilasäiliöopas
- 77/98 Yrttikuvurin suunnittelu ja käyttö
- 78/98 Väkilannoitteen sijoituslaitteet nurmiviljelyssä
- 79/98 Lietelannan ilmastus
- 80/00 Lannan aumavarastointi
- 81/00 Pienen pyöreän puun käyttö rakentamisessa I
Pyöreän puun lujuus, mänty ja kuusi
Pyöreän puun liitokset
- 82/00 Pienen pyöreän puun käyttö rakentamisessa II
Suomen rakennuspuuvarat
Rakennuspuun korjuukustannukset
Rakennuspuun tuotantokustannukset

