

KUUSIPUUN TAIVUTUSLUJUUDEN RIIPPUVUUS TIHEYDESTÄ JA VUOSILUSTON LEVEYDESTÄ ETELÄ- JA POHJOIS-SUOMESSA

MATTI KÄRKKÄINEN ja OLLE DUMELL

Summary

*EFFECT OF BASIC DENSITY AND GROWTH RING WIDTH ON THE BENDING STRENGTH OF SPRUCE
WOOD FROM SOUTH AND NORTH FINLAND*

Saapunut toimitukselle 19. 5. 1983

Taivutuslujuus tutkittiin 450:sta kuusikoekappaleesta, joista puolet oli kerätty Pohjois-Suomesta ja puolet Etelä-Suomesta pyrkien mahdollisimman suureen vuosiluston leveyden vaihteluun. Osoittautui, että lujuus lisääntyi suoraviivaisesti tiheyden kasvaessa, mutta tiheyden ollessa sama ohutlustoinen kuusi oli lujempaa kuin paksulustoinen. Tästä erosta aiheutui, että tiheyden vakioinnin jälkeen pohjoissuomalainen kuusi oli lujempaa kuin eteläsuomalainen. Tiheys aleni vuosiluston leveydessä, mutta riippuvuus oli niin heikko, ettei sillä ole käytännöllistä merkitystä pyrittäessä erottamaan puutavaran tiheysluokkia luston leveyden mukaan. Merkittävää kuitenkin oli, että vuosiluston leveyden ollessa sama pohjoissuomalaisen kuusen tiheys oli yli 5 kg/m^3 alhaisempi kuin eteläsuomalaisen.

1. JOHDANTO

Monet käytännössä tärkeät puuaineen ominaisuudet ovat monilla puulajeilla ennustettavissa vuosiluston leveyden perusteella. Tämän ennustamistavan suosio perustuu vuosiluston leveyden helppoon todettavuuteen puutavaran poikkileikkauspinnasta. Esimerkiksi kuusella tiedetään, että ytimen läheisyyttä lukuun ottamatta vuosiluston leveys korreloituu negatiivisesti puuaineen tiheyden kanssa. Tästä on lukuisia havaintoja sekä kotimaasta (Wegelius 1941, Sirén 1952, Hakkila 1966, s. 38, Hakkila ja Uusvaara 1968, Saikku 1975, Velling 1976, 1980) että muualta Pohjoismaista (Wijkander 1897, Kinnman 1923, 1928, G. G. Klem 1934, 1957, Johansson 1939, 1940, Nylinder 1953, Nylinder ja Hägglund 1954, Tamminen 1964, G. S. Klem 1965 a, b, 1974, Ericson 1966, Olesen 1973, 1976, 1977, 1982, Dalgas 1975, Madsen ym. 1978). Kun tiheyden lisääntyes-

sä puuaineen lujuus kasvaa, vuosiluston leveys ennustaa myös lujuutta. Riippuvuus on tosin heikko käytännön tarpeita ajatellen, eikä vuosiluston leveyden merkitystä ole syytä korostaa, kuten jo Janka osoitti (1904, s. 129).

Verraten vähän on tietoa siitä, ennustaako puuaineen tiheys lujuutta samalla tavalla eri olosuhteissa kasvaneen puun ollessa kyseessä. Samoin on puutteellisesti selvitetty, onko vuosiluston leveyden vaikutus tiheyteen samanlainen eri olosuhteissa. Muista Pohjoismaista on tosin tietoja, joiden mukaan määräsuuruisista vuosiluston leveyttä vastaa suotuisissa oloissa (viljavammilla kasvupaikoilla) alempi tiheys kuin epäsuotuisissa oloissa (G. G. Klem 1934, 1957, G. S. Klem 1965 b, Madsen ym. 1978). Toisaalta tiedetään, että siirryttäessä kuusen luontaisella levinneisyysalueella pohjoiseen päin tiheys alenee pidettäessä vuosiluston leveys samana (Kinnman

1923, s. 211, Nylinder ja Hägglund 1954, G. G. Klem 1957, Bernhart 1964, G. S. Klem 1965 a). Samoin vaikuttaa siirtyminen vuoristossa korkeammalle (Klem 1934, Burger 1952, 1953). Ensinäkemältä tulokset vaikuttavat ristiriitaisilta, mutta niin ei välttämättä ole: kasvupaikan viljavuuden vaikutus saattaa olla erilainen kuin ilmaston. On hyvin mahdollista, että leveysasteen ja korkeuden vaikutus heijastaa kesän lämpötilan merkitystä puuaineen tiheyden muodostumisessa (Bernhart 1964). Lämpötilan vaikutusta kuvastaa myös se, että kuusen puuaine on rungon eteläpuolella tiheämpää kuin pohjoispuolella, vaikka vuosiluston leveys olisi sama (Burger 1941, Nylinder 1953).

Kun Suomessa ei ole tehty vastaavanlaisia tutkimuksia, päätettiin selvittää, riippuuko pohjois- ja eteläsuomalaisen kuusen taivutuslujuus tiheydestä ja vuosiluston leveydestä samalla tavalla. Kuusi valittiin pääasiassa siksi, että vuosiluston leveyden vaikutus omi-

naisuuksiin on sillä suurempi kuin männyllä. Toisaalta haluttiin lisätä tietämystä kuusen taivutuslujuudesta, koska julkaistuja kotimaisia tuloksia on niukalti ja ne perustuvat pieniin aineistoihin.

Tulosten käytännöllisen hyödyntämisen vuoksi keskityttiin tukkipuukokoisten puiden pintaosiin, joista tehdään tavanomaisia aseteita käytettäessä lautoja.

Tutkimuksen mittaukset tehtiin opiskelijoiden harjoitustyönä Helsingin yliopiston metsäteknologian laitoksella. Tekijöistä Dumell ohjasi ja valvoi laboratoriotyöt, kun taas Kärkkäinen vastasi tulosten laskennasta ja raportin laadinnasta. Laboratoriomestari Aulis Sarvelainen huolehti koekappaleiden valmistamisesta ja luokitte-
lusta. Etelä-Suomea koskeva aineisto ostettiin eräältä hämäläiseltä sahalta. Pohjoissuomalaisena yhteistyökumppanina oli Oulu Oy, joka toimitti paikallista aineistoa. Johtaja Jorma Sainio luki käsikirjoituksen ja osallistui tulosten tulkintaan. Käsikirjoitusta kommentoivat myös prof. Pentti Hakkila, MH Juhani Salmi ja MMK Rääli Vihola.

Kiitämme saamastamme tuesta.

2. AINEISTO

Riippuvuuksien selvittäminen helpottuu riippumattoman muuttujan vaihteluvälin kasvaessa. Tämän vuoksi kerättiin pienten virheettömien koekappaleiden aineisto, jossa vuosiluston leveys vaihteli mahdollisimman paljon. Valinta tehtiin laudoista, joista sitten sahattiin ja höylättiin poikkileikkaukseltaan 20·20 mm rimat. Niistä valmistettiin ISON standardin 3133 mukaiset 300 mm pitkät koekappaleet. Oksia ja muita vikoja ei sallittu. Materiaali oli yleensä keinokuivattu. Tällä ei kuitenkaan pitäisi olla vaikutusta taivutuslujuuteen sitkankuusta koskevan tuloksen mukaan (Maclean 1955).

Koekappaleiden kosteus vakioitiin pitämällä niitä ilmankierrolla varustetussa ilmastointikaapissa. Haluttu suhteellinen kosteus saatiin aikaan sijoittamalla kaappiin altaisiin kyllästettyä natriumnitraattiliuosta. Tällöin saadaan huoneenlämmössä noin 65 % suhteellinen kosteus. Lämpötilaa ei vakioitu, koska kyseisellä suolalla lämpötilariippuvuus on

vähäinen (Wink ja Sears 1950). Menettelystä huolimatta koekappaleiden kosteus vaihteli kuitenkin vielä huomattavasti hystereesistä johtuen: osa kappaleista kuivui, osa kostui kaapissa alkutilanteesta riippuen. Lisäksi homogenisoimisaika jouduttiin rajoittamaan muutama päivään.

Taivutuslujuus mitattiin ISON standardin 3133 ja kosteus murron jälkeen ISON standardin 3130 mukaisesti. Samoista näytteistä todettiin myös kuivatiheys, kuiva-tuoretiheys ja kutistuminen tuoreesta kuivaksi ISON standardien 3131 ja 4469 kuvaamia menettelytapoja noudattaen.

Käsillä olevassa tutkimuksessa hyödynnettiin laboratoriotöiden aineistosta 450 koekappaleita käsittänyt osa, josta puolet edusti Pohjois-Suomea ja puolet Etelä-Suomea. Eräiden muuttujien osalta havaintomäärä jäi vähäisemmäksi karsittaessa epäloogisia tuloksia tietokonetestissä.

3. TULOKSET

31. Kosteusreduktio

Ennen varsinaisten tulosten laskentaa jouduttiin erikseen harkitsemaan koekappaleiden vertailukelpoisuuden lisäämistä eliminoimalla kosteuden vaihtelusta aiheutuva lujuuden vaihtelu. ISON standardeissa ei ole tarkkaa ohjetta kosteusreduktioksi sanotun vakiointin suorittamisesta, vaan niissä kehoitetaan käyttämään kansallista normia. Kun tällaista ei Suomessa ole, erillistarkastelu oli tarpeen.

Muutaman poikkeavan mittauksen poiston jälkeen koekappaleiden kosteussuhde oli 6 ja 14 % välillä. Pohjois-Suomessa keskiarvo oli 10,9 % ($s = 1,7$) ja Etelä-Suomessa 9,6 % ($s = 1,1$). Pienehkö korjaus keskimääräisiin lujuustuloksiin on siis tarpeen, koska kansainvälisen käytännön mukaan tulokset muunnetaan vastaamaan 12 % kosteussuhdetta.

Kosteussuhteen ja kuiva-tuoretiheyden välinen korrelaatio oli vähäinen sekä pohjoisessa (0,12) että etelässä (0,02). Tämä tulos viittasi siihen, ettei reduktio ollut kriittinen tulosten kannalta: tiheät ja vähemmän tiheät koekappaleet jakautuivat satunnaisesti kosteuden mukaan. Näin ollen kosteuden vuoksi tehtävät muunnokset eivät voisi lievästi virheellisenäkään vaikuttaa olennaisesti tiheyden vaikutuksesta tehtäviin johtopäätöksiin. Sama havainto tehtiin vuosiluston leveydestä. Kosteussuhteen korrelaatio vuosiluston leveyden kanssa oli Pohjois-Suomessa -0,09 ja Etelä-Suomessa -0,04. Riippuvuutta ei siis ollut.

Varsinaista kosteuden vaikutuksen eliminointia varten laskettiin taivutuslujuuden regressio kosteussuhteen mukaan. Pohjois-Suomen kuusissa havaittiin, että prosenttiyksikön muutos kosteussuhteessa aiheutti 2,671 MPa muutoksen taivutuslujuudessa. Etelä-Suomessa vastaava muutos oli 2,489 MPa. Pienestä kosteussuhteen vaihteluvälistä johtuen poikkeamaa lineaarisuudesta ei voitu havaita.

Kun oli epävarmaa, riippuiko kosteussuhteen vaikutus puuaineen tiheydestä, laskettiin joukko usean muuttujan regressioanalyysijä. Kosteussuhteen vaikutuksen riippuvuutta tiheydestä pyrittiin selvittämään laskemalla lu-

juuden regressio kosteussuhteen ja ristitulon kosteussuhde · tiheys suhteen. Menetelmällä ei kuitenkaan saatu järkeviä tuloksia ilmeisesti siksi, että ristitulo korreloiti voimakkaasti tiheyden kanssa. Tämän vuoksi laskettiin vaihtoehtoiset regressiokertoimet mallilla, jossa taivutuslujuuden selittävinä tekijöinä olivat kosteussuhde ja puuaineen tiheys. Tällaista mallia käyttäen havaittiin, että prosenttiyksikön muutos kosteussuhteessa aiheutti 3,188 MPa muutoksen pohjoissuomalaisen kuusen tulokseen ja 2,808 MPa muutoksen eteläsuomalaisen kuusen taivutuslujuuteen. Muutokset olivat siis suuremmat kuin tarkasteltaessa taivutuslujuuden riippuvuutta pelkästään kosteussuhteesta.

Täysin ortogonaalisten selittäjien ollessa kyseessä regressiokertoimien ei tulisi muuttua selittäjiä lisättäessä. Nyt kun näin ei ollut asian laita, luotettavimpina riippuvuuden arvoina oli pidettävä suurempia regressiokertoimia, koska tiheyden vaikutus niihin oli eliminoitu. Ratkaisuun vaikutti myös se, että Hadekin ja Jankan (1900) tuloksista voidaan laskea kertoimeksi 3,04 MPa/% eli samaa luokkaa oleva tulos.

32. Taivutuslujuuden riippuvuus puuaineen ominaisuuksista

Taulukossa 1 on esitetty puuaineen kuiva-tuoretiheys, 12 % kosteussuhteeseen muunnettu taivutuslujuus sekä vuosiluston leveys eri alueilla ja keskimäärin.

Kuten taulukosta 1 havaitaan, pohjoissuomalaisen materiaalin tiheys oli eteläsuomalaisesta hiukan suurempi. Vastaavasti puuaine oli myös lujempaa. Taustamuuttujana vaikutti vuosiluston leveys, joka oli eteläsuomalaisessa aineistossa selvästi suurempi. Erojen tilastollista merkitsevyyttä ei ole aiheellista testata, koska aineisto oli kerätty suureen muuttujien vaihteluväliin pyrkien.

Kummallakin alueella taivutuslujuus riippui selvästi puuaineen tiheydestä (kuva 1). Lujuus kohosi suoraviivaisesti tiheyden suuretessa. Pohjois-Suomessa riippuvuus oli likeisempi ($r = 0,672$) kuin Etelä-Suomessa ($r = 0,539$). Myös lujuuden nousu tiheyden

Taulukko 1. Eräiden muuttujien havaintojen lukumäärät, keskiarvot ja standardipoikkeamat eri alueilla.

Table 1. Number of observations, averages and standard deviations of some variables in each area.

Muuttuja Variable	Pohjois-Suomi North Finland		Etelä-Suomi South Finland		Koko aineisto Entire population	
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
Havaintoja No. of observations	224		220		444	
Kuiva-tuoretiheys, kg/m ³ Basic density	376,1	24,5	373,4	28,5	374,7	26,6
Taivutuslujuus, MPa Static bending strength	81,7	10,2	80,1	12,4	80,9	11,4
Luston leveys, mm Ring width	1,4	0,8	2,0	0,6	1,7	0,8

messa ja arvon 1 Etelä-Suomessa. Valemuuttujasta muodostettiin ristituloja muiden selittävien muuttujien kanssa yhdysvaikutuksen selvittämiseksi.

Kun puuaineen tiheys oli sama, eteläsuomalaisen kuusen taivutuslujuus oli pohjois-suomalaisesta alhaisempi. Ero kasvoi tiheyden suuretessa. Kun tiheys oli 300 kg/m³, lujuus-ero oli 1,47 MPa, mutta tiheyden ollessa 450 kg/m³ jo 2,20 MPa. – Absoluuttisesti eroja ei voi kuitenkaan pitää suurina, joskin ne olivat tilastollisesti merkitsevät.

Koko aineistoa koskeva taivutuslujuuden ennustusyhtälö sai seuraavan muodon.

$$(1) y = -18,9 + 0,268R - 0,00490RA$$

jossa

y = taivutuslujuus, MPa

R = kuiva-tuoretiheys, kg/m³

A = alue

0 = Pohjois-Suomi

1 = Etelä-Suomi

R² = 43,7 %

F(2, 422) = 164

Jäännöshajonta = 8,07 MPa

Alueen vaikutukseen tarkemmin perehdyttäessä havaittiin, että se voitiin korvata täysin vuosiluston leveydellä. Kun tiheyden vaikutus vakioitiin regressioanalyysin keinoin, selittäväksi tekijäksi saatiin alueen asemesta vuosiluston leveys. Selittävien muuttujien vaihtoehtoisuus johtui ilmeisesti siitä, että kasvunopeus oli pohjoissuomalaisella kuusella alhaisempi kuin eteläsuomalaisella.

Vuosiluston leveyden vaikutus ei ollut suoraviivainen. Parhaaksi selittäjäksi havaittiin Olesenin (1976) perusteleva muuttuja $x = 1/(w + c)$, jossa w on vuosiluston leveys mm ja c vakio. Muuttujan regressiokerroin saadaan selvitetyksi tavanomaisen regressioanalyysin keinoin, mutta vakio c joudutaan määrittämään kokeilemalla. Nyt saatiin tyydyttäviä tuloksia vakion c arvolla 2,2.

Ennusteyhtälö sai seuraavan muodon.

$$(2) y = -21,1 + 0,242R + 41,1/(w + 2,2)$$

jossa

y = taivutuslujuus, MPa

R = kuiva-tuoretiheys, kg/m³

w = vuosiluston leveys, mm

R² = 46,6 %

F(2, 422) = 184

Jäännöshajonta = 7,9 MPa

Yhtälöitä (1) ja (2) vertaamalla voidaan todeta, että yhtälöiden selittävyys on olennaisempaa mitata tiheyden lisäksi vuosiluston leveys kuin tietää, mistä osasta maata kuusi on peräisin.

Jos tiheyden sijasta lujutta ennustetaan pelkästään vuosiluston leveyden avulla, ennustuksen osuvuus ei ole kovin suuri. Merkitävää kuitenkin oli, ettei alueiden välillä ollut tilastollisesti merkitsevää eroa, vaan kasvunopeus ennusti lujutta samalla tavalla sekä Pohjois- että Etelä-Suomessa. Ennusteyhtälö sai seuraavan muodon käytettäessä Olesenin (1976) kehittämää mallia.

$$(3) y = 59,9 + 78,3/(w + 2,2)$$

jossa

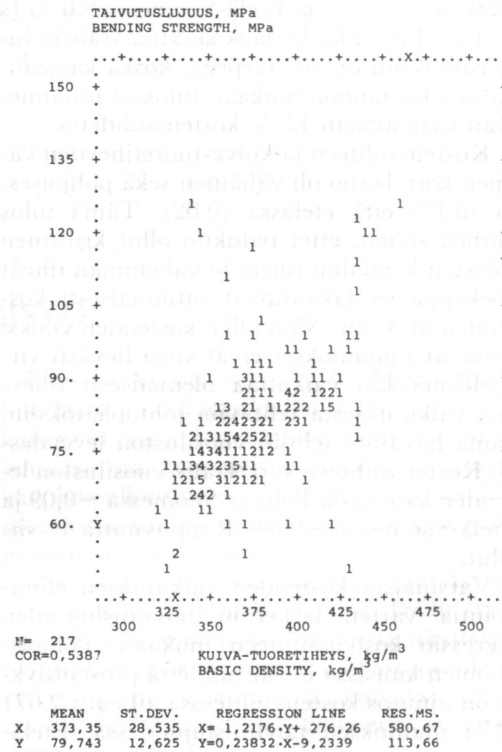
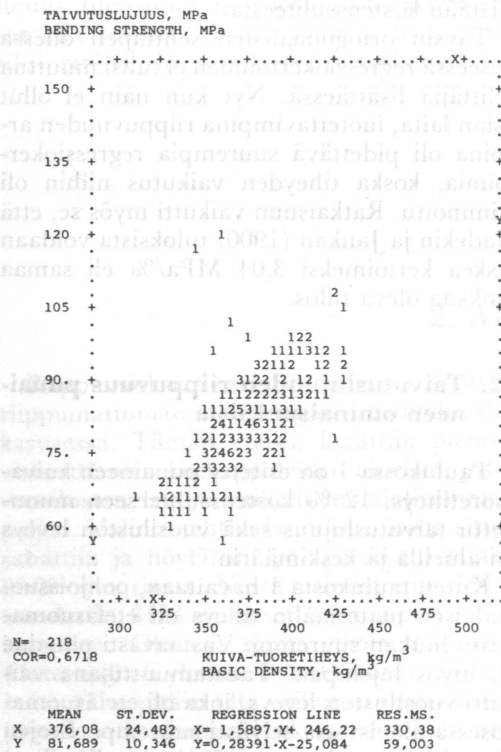
y = taivutuslujuus, MPa

w = vuosiluston leveys, mm

R² = 14,4 %

F(2, 422) = 71

Jäännöshajonta = 9,9 MPa

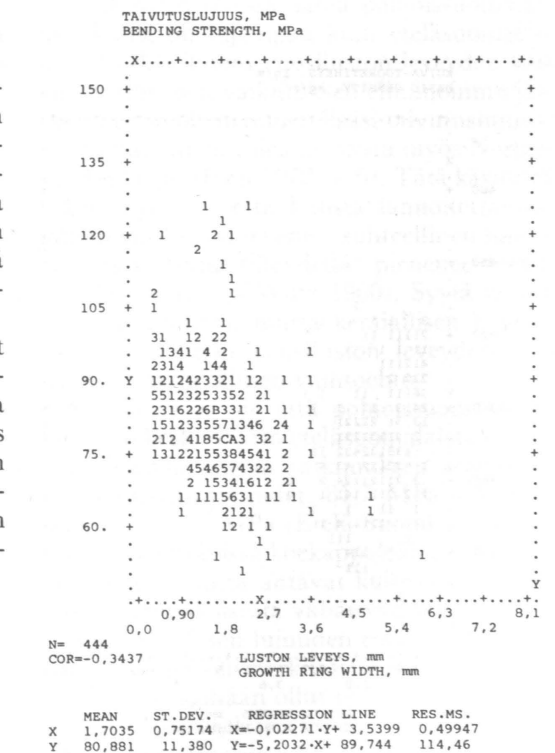


Kuva 1. Taivutuslujuuden riippuvuus kuiva-tuoretiheydestä Pohjois-Suomessa (A) ja Etelä-Suomessa (B).

Fig. 1. The regression of the static bending strength on the basic density of northern (A) and southern (B) Finnish wood.

kasvaessa oli erilainen. Kun puuaineen tiheys kasvoi 1 kg/m³, taivutuslujuus kohosi pohjoissuomalaisessa aineistossa 0,284 MPa, mutta eteläsuomalaisessa vain 0,238 MPa.

Tarkempaan analyysiin käytettiin usean muuttujan regressioanalyysiä. Käsillä olevassa työssä alueen vaikutusta kuvattiin valemuuttujalla, joka sai arvon 0 Pohjois-Suo-



Kuva 2. Taivutuslujuuden riippuvuus vuosiluston keski-levydestä. Koko aineisto.

Fig. 2. The regression of the static bending strength of the average ring width. Entire population.

Kuten tilastollisista tunnusluvuista ja kuvasta 2 voidaan päätellä, useimpia ajateltavissa olevia käytännön tarkoituksia varten kuusen taivutuslujuuden ennustaminen vuosiluston leveyden avulla on liian epätarkkaa.

33. Tiheyden riippuvuus vuosiluston leveydestä

Sekä Pohjois- että Etelä-Suomessa havaittiin kuiva-tuoretiheyden riippuvan vuosiluston leveydestä, joskaan riippuvuus ei ollut kovin kiinteä (kuva 3).

Tilastollisissa analyysissä käytettiin Olesenin (1976) perusteella regressiomallia $R = a + b/(w + c)$, jossa R on kuiva-tuoretiheys ja w vuosiluston leveys. Vakio c määritettiin kokeilemalla.

Kun koko aineistoa tarkasteltiin yhtenä ko-

konaisuutena, saatiin seuraava kuiva-tuoretiheyden ennusteyhtälö.

$$(4) R = 325,3 + 177,0/(w + 2,2) + 5,44A$$

jossa

R = kuiva-tuoretiheys, kg/m³

w = vuosiluston leveys, mm

A = alue

0 = Pohjois-Suomi

1 = Etelä-Suomi

R² = 10,1 %

F(2, 422) = 24

Jäännöshajonta = 25,0 kg/m³

Kuten yhtälöstä havaitaan, kuusen vuosiluston leveyden lisääntyessä tiheys aleni ja lähestyi asymptoottisesti arvoa 325 kg/m³. Kun etelä- ja pohjoissuomalaisen näytteen vuosiluston leveys oli sama, tiheys oli Etelä-Suomessa yli 5 kg/m³ suurempi kuin Pohjois-Suomessa. Ero pysyi samana vuosiluston leveydestä riippumatta.

4. TULOSTEN TARKASTELU

Tutkimuksen lähtökohta, pienten virheettömien koekappaleiden tutkiminen, on puutietessä klassinen. On hyvin tiedossa, että lujuusarvot saadaan sitä korkeammiksi, mitä pienemmät koekappaleet ovat. Jo Hadek ja Janka (1900) havaitsivat tämän kuusipuun puristuskokeissaan. Nykyisin ilmiö selitetään ruotsalaisen Weibullin teorian mukaisesti heikkojen kohtien sattumisen todennäköisyyden avulla: mitä suurempi kappale on, sitä korkeampi on todennäköisyys, että siellä on murtuman alkuun paneva heikko kohta (Böhmann 1966).

Tutkimuksessa käytettiin ISON standardin 3133 mukaisesti poikkileikkaukseltaan 20-20 mm olevia sauvoja. Tämä koko on yleistynyt viime vuosikymmeninä vakioksi eri maissa. Jossakin määrin työtä on tehty toisenkokoisiin koekappaleisiin perustuvien tulosten muuntamiseksi nykystandardin tasoon (esim. Rajput ym. 1980). Mainittakoon, että kuusta koskevat Hadekin ja Jankan (1900) tulokset perustuivat yleensä peräti 100-100 mm poikkileikkaukseen.

Kuusesta samoin kuin muista tärkeistä rakennepuulajeista on tehty myös täysmittakaavaisia tutkimuksia. Suomalaisia kuusisoiroja ja -lankkuja koskevia tuloksia ovat julkaisseet hollantilainen Govers (1966) ja englantilainen Hudson (1974). Myös norjalaiset tulokset voidaan hyvin yleistää Suomeen. Niiden perusteella tiedetään, että hyvälaatuisen puun ollessa kyseessä 50-100 kuusisoiron taivutuslujuus on noin 60 % pienen virheettömän koekappaleen lujuudesta. Vastaava arvo 75-200 lankulle on noin 50 % (Foslie ja Moen 1968, s. 27, 1972).

Käsillä olevan tutkimuksen tulokset perustuvat 450 pienen virheettömän koekappaleen aineistoon. Sinänsä aineisto ei ole suuri, mutta vähintäänkin tyydyttävä verrattuna eräisiin muihin kuusta koskeviin tuloksiin. Esimerkiksi ainoa julkaistu suomalainen kuusta koskeva tieto perustuu 186 koekappaleen aineistoon (Jalava 1945).

Keskimääräinen lujuus, 81 MPa kuiva-tuoretiheyden ollessa 375 kg/m³, on kansainvälisen vertailun mukaan hyvää tasoa. Tämä ilmenee seuraavasta jaotelmasta, johon on koottu eräiden kuusta koskevien tutkimusten tulokset tiheyden mukaan. Tulokset koskevat

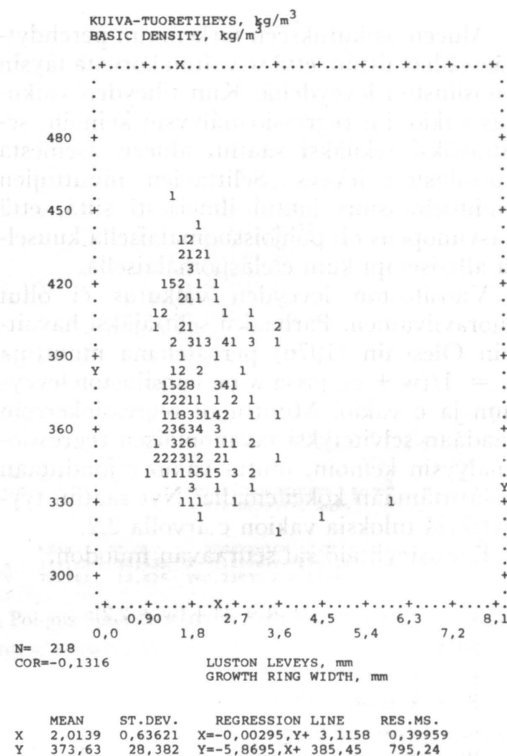
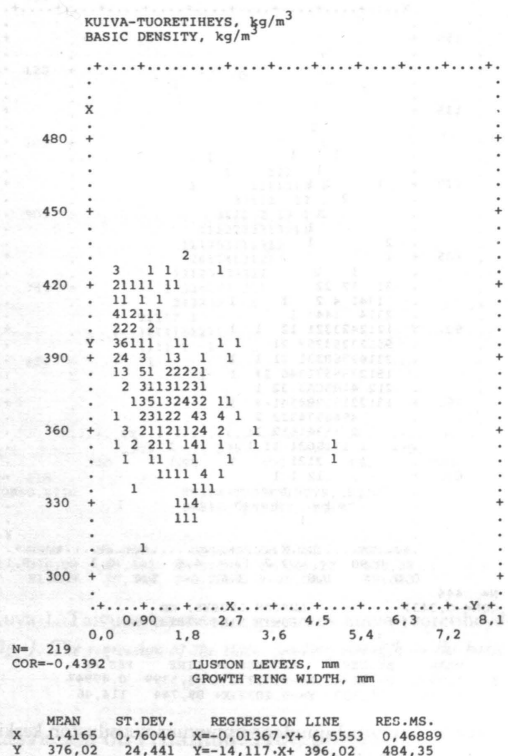
12 % kosteusastetta. – Mainittakoon, että jo Nördlinger (1860, s. 507) ilmoitti kuusen taivutuslujuudeksi 69...80 MPa.

Lähde	Taivutuslujuus MPa	Kuiva-tuoretiheys kg/m ³
Hadek & Janka 1900	65,8	329
Schlyter 1934	76,5	352
Jalava	84,1	392
Kollmann 1951	76,5	379
Knudsen 1956	81,7	379
Lavers 1974	66,0	330
Bendtsen & Wahlgren	64,3	325
Foslie 1971	94,0	382
Dalgas 1975	67,8	319
Tämä tutkimus	80,9	375

Käsillä olevassa tutkimuksessa havaittiin, että tiheyden ollessa sama pohjoissuomalainen kuusi oli lujempaa kuin eteläsuomalainen. Syyksi ilmeni vuosiluston leveyden vaikutus: tiheyden vaikutuksen eliminoinnin jälkeen luston oheneminen lisäsi taivutuslujuutta. Samanlainen tulos on saatu myös Norjassa (Foslie ja Moen 1972, s. 6). Tätä käsitystä tukee myös se, että kuusta lannoitettaessa, jolloin vuosilusto levenee, suhteellinen lujuus (lujuus jaettuna tiheydellä) pienenee (esim. von Pechmann ja Wutz 1960). Syytä ei tarkemmin tunneta, mutta kemiallisen koostumuksen vaihtelu vuosiluston leveyden mukaan on mahdollinen vaihtoehto.

Selvää myös on, että pohjoissuomalainen kuusi on keskimäärin eteläsuomalaista lujempaa. Käsillä olevan tutkimuksen keskimääräiset taivutuslujuudet, 81,7 MPa (Pohjois-Suomi) ja 80,1 MPa (Etelä-Suomi), eivät ole tosin yleistettävissä koekappaleiden valinnasta johtuen, mutta antavat kuitenkin viitteen eron todennäköisestä vähäisyydestä.

Käytännöllisen lujuuden ennustamistehtävän kannalta oli merkittävää, ettei vuosiluston leveys yksinään ollut mikään hyvä taivutuslujuuden selittäjä. Tulokset osoittivat selvästi, ettei olennaista ole kasvunopeus, vaan kuhunkin vuosilustoon tulevan aineen määrä. Tiheys on ensisijainen lujuustekijä, joskin sen antamaa informaatiota voidaan täydentää vuosiluston leveydellä.



Kuva 3. Kuiva-tuoretiheyden riippuvuus vuosiluston keskileveydestä Pohjois-Suomessa (A) ja Etelä-Suomessa (B).
Fig 3. The regression of the basic density on the average ring width in northern (A) and southern Finnish wood (B).

Tutkimustulokset tukivat johdannossa mainittuun kirjallisuuteen perustuvaa käsitystä, että vuosiluston leveyden ollessa sama kuusen tiheys alenee etelästä pohjoiseen. Käsillä olevan tutkimuksen aineistossa ero oli yli 5 kg/m³. Sinänsä luku ei ole suuri, mutta osoittaa yleisempien lainalaisuuksien pätevän myös Suomen oloissa.

Käytännön metsänkasvatuksen kannalta oli merkittävää, ettei vuosiluston leveyden avulla voitu ennustaa myöskään tiheyttä. Sekä etelä- että pohjoissuomalaisessa aineistossa tiheys vaihteli huomattavasti, vaikka tarkasteltiin saman vuosiluston leveyden omaavia näytteitä. Tulos on jyrkässä ristiriidassa erityisesti Olesenin (1976, 1982) käsitykseen nähden, jonka mukaan usein saadut alhaiset luvut vuosiluston leveyden korrelaatiot tiheyden kanssa johtuvat siitä, ettei epälineaarisuutta ole otettu huomioon. Nyt käytettiin samaa epälineaarista tunnusta kuin Olesen (1976), ja siitä huolimatta korrelaatiot olivat alle puolet siitä mitä hänellä oli (n. 0,8).

Luultavin selitys on, että mainituissa tanskalaisissa tutkimuksissa oli vähäinen puujoukko, josta kerättiin suuri joukko erivahvuisia lustoja edustavia näytteitä. Kun puita oli vähän suhteessa näytekappaleisiin, puiden välinen varianssi ei vaikuttanut merkittävästi kokonaisvarianssiin. Tämän lisäksi ohut- ja

paksulustoiset kappaleet saattoivat olla jopa samasta puusta, jolloin puiden välinen varianssi ei tältä osin lainkaan vaikuttanut tuloksiin. Tältä kannalta ei ole ihme, että luvut vuosiluston leveyden ja tiheyden välille saatiin kiinteä yhteys.

Käsillä olevassa tutkimuksessa varianssi-suhteet olivat lähes maksimaalisesti erilaiset. Luultavaa on, että lähes jokainen lauta oli eri puusta. Vaikka laudoista tehtiin useita kappaleita, kokonaisvarianssi oli oletettavasti valtaosaltaan puiden välistä varianssia. Vastaavasti kun pyrittiin ennustamaan tiheyttä luvun avulla, kyse oli siitä, miten hyvin saadaan ennustetuksi runkojen välinen tiheyden vaihtelu luvun leveyden avulla. Tieteellisesti tämä ei ole sama ongelma kuin ennustaa luvun leveyden muutoksen vaikutus saman puun tiheyteen.

Edellä olevan perusteella on ilmeistä, ettei käsillä olevan tutkimuksen tuloksilla ja tanskalaisilla käsityksillä ole välttämättä pahaa ristiriitaa: ne käsittelevät eri asioita. Nyt saatu tulos on tulkittavissa siten, ettei Suomen oloissa ole perusteltua valikoida puutavaraa pelkän kasvunopeuden perusteella erilaisten tiheysluokkien saamiseksi. Jokaisen luvunleveysluokan sisällä tiheys vaihtelee enemmän kuin luokkien välinen vaihtelu on.

KIRJALLISUUTTA

- BENDTSEN, B. A. & WAHLGREN, H. E. 1970. Mechanical properties and specific gravity of a randomly selected sample of Engelmann spruce. USDA For. Serv. Res. Pap. FPL 128: 1-13.
- BERNHART, A. 1964. Über die Rohdichte von Fichtenholz. Holz Roh- u. Werkstoff 22(6): 215-228.
- BOHANNAN, B. 1966. Effect of size on bending strength of wood members. USDA For. Serv. Res. Pap. FPL 56: 1-32.
- BURGER, H. 1941. Holz, Blattmenge und Zuwachs. V. Mitteilung. Fichten und Föhren verschiedener Herkunft auf verschiedenen Kulturorten. Mitt. schweiz. Anst. f. d. forstl. Versuchsw. 22(1): 10-62.
- 1952. Holz, Blattmenge und Zuwachs. XII. Mitteilung. Fichten in Plenterwald. Mitt. schweiz. Anst. f. d. forstl. Versuchsw. 28: 109-156.
- 1953. Holz, Blattmenge und Zuwachs. XIII. Mitteilung. Fichten in gleichalterigen Hochwald. Mitt. schweiz. Anst. f. d. forstl. Versuchsw. 29: 38-130.
- DALGAS, K. F. 1975. Nogle vedkvalitetsegenskaper af kaempegran sammenlignet med rødgran. Dansk Skovfor. Tidsskr. 60: 1-24.
- ERICSON, B. 1966. Gallringens inverkan på vedens torr-råvolymvikt, höstvedhalt och kärnvedhalt hos tall och gran. Summary: Effect of thinning on the basic density and content of latewood and heartwood in Scots pine and Norway spruce. Rapp. Instn. Skogsprod. Skogshögsk. 10: 1-116 + bilagor.
- FOSLIE, M. 1971. Norsk granvirkes styrkeegenskaper. 3. Styrkeegenskaper for små, feilfrie prøver. Summary: Strength properties of Norwegian spruce (*Picea abies* Karst.). 3. Strength properties of small, clear specimens. Medd. Norsk Tretekn. Inst. 42: 1-27.
- & MOEN, K. 1968. Norsk granvirkes styrkeegenskaper. 1. Bøyestyrke, elastisitetmodul og strekkstyrke målt på 3"×8" og 2"×4". Summary: Strength properties of Norwegian spruce (*Picea abies* Karst.). 1. Bending strength, modulus of elasticity and tensile strength tested on the structural sizes 3"×8" and 2"×4". Medd. Norsk Tretekn. Inst. 33: 1-63.
- & MOEN, K. 1972. Norsk granvirkes styrkeegenskaper. Del 2: Bøyestyrkens og strekkstyrkens sammenheng med enkelte sorteringskriterier. Summary: Strength properties of Norwegian spruce (*Picea abies* Karst.). Part 2: Relationship between grading characteristics and bending and tensile strength. Medd. Norsk Tretekn. Inst. 45: 1-25.
- GOVERS, A. 1966. Working stresses for a number of wood species. Houtinstituut TNO. Delft. 99 s.
- HADEK, A. & JANKA, G. 1900. Untersuchungen über die Elasticität und Festigkeit der österreichischen Bauhölzer. I. Fichte Südtirols. Mitt. Forstl. Versuchsw. Österreichs 25: 1-16 + Tafel 1-20.
- HAKKILA, P. 1966. Investigations on the basic density of Finnish pine, spruce and birch wood. Lyhennelmä: Tutkimuksia männyn, kuusen ja koivun puuaineen tiheydestä. Commun. Inst. For. Fenn. 61(5): 1-98.
- & UUSVAARA, O. 1968. On the basic density of plantationgrown Norway spruce. Lyhennelmä: Viljelykuusikoitten puuaineen tiheydestä. Commun. Inst. For. Fenn. 66(6): 1-23.
- HUDSON, W. M. 1974. The strength properties of European redwood and whitewood. Teoksessa: The strength properties of timber, s. 67-94. MTP Construction. Lancaster.
- JALAVA, M. 1945. Suomalaisen männyn, kuusen, koivun ja haavan lujuusominaisuuksista. Summary: Strength properties of Finnish pine, spruce, birch and aspen. Commun. Inst. For. Fenn. 33(3): 1-66.
- JANKA, G. 1904. Untersuchungen über die Elasticität und Festigkeit der österreichischen Bauhölzer. II. Fichte von Nordtirol, vom Wienerwalde und Erzgebirge. Mitt. Forstl. Versuchsw. Österreichs 28: 1-313 + Tafel 1-15.
- JOHANSSON, D. 1939. Något om vår- och höstved hos tall och gran och dess inverkan på sulfit- och sulfatmassans egenskaper. Suomen Paperi- ja Puutavaralehti, Juhlanumero, s. 54-72.
- 1940. Über Früh- und Spätholz in schwedischer Fichte und Kiefer und über ihren Einfluss auf die Eigenschaften von Sulfit- und Sulfatzellstoff. Holz Roh- u. Werkstoff 3(3): 73-78.
- KINNMAN, G. 1923. Kvalitetsfördringar på pappersved och skogsvårdsåtgärdernas avpassande därefter. Svenska SkogsvFören. Tidsskr. 21: 201-225.
- 1928. Virkets beskaffenhet i Ombergs kulturskogar. Summary: Nature of timber in cultivated forests at Omberg. Svenska SkogsvFören. Tidsskr. 26: 589-616.
- KLEM, G. G. 1934. Undersøkelser av granvirkes kvalitet. Zusammenfassung: Untersuchungen über die Qualität des Fichtenholzes. Medd. Norske Skogforsøksv. 5: 197-348.
- 1957. Kvalitetsundersøkelser av norsk og tysk gran. Summary: The quality of Norway spruce (*Picea abies*) of Norwegian and German origin. Medd. Norske Skogforsøksv. 14: 285-314.
- KLEM, G. S. 1965 a. Tørrvolumvekstvariasjoner hos vanlig gran (*Picea abies* (L.) Karst. i Norge. Norsk Skogind. (9): 348-351.
- 1965 b. Tørrvolumvekstvariasjoner hos fremmede bartreslag og vanlig gran fra Sør- og Vestlandet. Summary: Variations in the specific gravity of foreign softwood species and Norway spruce from South and West Norway. Medd. Norske Skogforsøksv. 20: 141-169.
- 1974. Egenskaper till trevirke fra gjødslet gran- og furuskog. Summary: Properties of wood from fertilized forests. Medd. Norsk Tretekn. Inst. 51: 1-59 + liitt.
- KNUDSEN, M. V. 1956. A comparative study of some technological properties of Norway spruce in a provenance test. IUFRO 12th Congress, Oxford, Proceedings 4: 219-228.
- KOLLMANN, F. 1951. Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. Erster Band. Springer Verlag. München. 1050 s.
- LAVERS, G. M. 1974. The strength properties of timbers. Teoksessa: The strength properties of timber, s. 1-66. MTP Construction. Lancaster.
- MACLEAN, J. D. 1955. Effect of oven heating and hot pressing on strength properties of wood. American Wood-preservers Ass. Proc. 23 s.
- MADSEN, T. L., MOLTESEN, P. & OLESEN, P. O. 1978. Tyndingstyrkens indflydelse på rødgranens rumtaethed, tørstofproduktion, gentykkelse og grenmaenge. Summary: The influence of thinning degree on basic density, production of dry matter, branch thickness and number of branches of Norway spruce. Forstl. Forsøgsv. Danm. 36(2): 183-203.
- NYLINDER, P. 1953. Volymviktsvariationer hos planterad gran. Summary: Variations in density of planted spruce. Medd. Stat. SkogforskInst. 43(3): 1-44.
- & HÄGGLUND, E. 1954. Ståndorts- och trädegenskapers inverkan på utbyte och kvalitet vid framställning av sulfitmassa av gran. Summary: The influence of stand and tree properties on yield and quality of sulphite pulp of Swedish spruce (*Picea excelsa*). Medd. Stat. SkogforskInst. 44(11): 1-184.
- NÖRDLINGER, H. 1860. Die technischen Eigenschaften der Hölzer für Forst- und Baubeamte. J. G. Cotta'scher Verlag. Stuttgart. 550 s.
- OLESEN, P. O. 1973. The influence of the compass direction on the basic density of Norway spruce (*Picea abies* L.) and its importance for sampling for estimating the genetic value of plus trees. For. Tree Improv. Arbor. Hørsholm 6: 1-58.
- 1976. The interrelation between basic density and ring width of Norway spruce. Forstl. Forsøgsv. Danm. 34: 339-359.
- 1977. The variation of the basic density level and tracheid width within the juvenile and mature wood of Norway spruce. For. Tree Improv. Arbor. Hørsholm 12: 1-21.
- 1982. The effect of cyclophysis on tracheid width and basic density in Norway spruce. For. Tree Improv. Arbor. Hørsholm 15: 1-80.
- von PECHMANN, H. & WUTZ, A. 1960. Haben Mineräldüngung und Lupinenanbau einen Einfluss auf die Eigenschaften von Fichten- und Kiefernholz? Forstwiss. Cbl. 79(3/4): 91-105.
- RAJPUT, S. S., SHUKLA, N. K. & SHARMA, R. R. 1980. Mechanical tests for wood comparison of test results on large and small size specimens. Holzforsch. u. Holzverw. 32(5): 117-120.

- SAIKKU, O. 1975. Typpilannoituksen vaikutuksesta männyn, kuusen ja koivun puuaineen tiheyteen. Summary: The effect of nitrogen fertilization on the basic density of Scots pine (*Pinus sylvestris*), Norway spruce (*Picea abies*) and common birch (*Betula verrucosa*). Commun. Inst. For. Fenn. 85(5): 1-24.
- SCHLYTER, R. 1934. Hållfasthetsegenskaper hos barrvirke för flygplanstillverkning och utmattningshållfasthet hos limfogar. Summary: Strength properties of coniferous timber for aircraft manufacture and fatigue strength of glued joints. Medd. Stat. Provningsanst. 59: 1-31.
- SIRÉN, G. 1952. Hakkuun vaikutuksesta kuusipuun rakenteeseen korpimaililla. Summary: On the effect of releasing cutting upon wood structure of spruce on peat-moors. Commun. Inst. For. Fenn. 40(32): 1-36.
- TAMMINEN, Z. 1964. Fuktighet, volymvikt m.m. hos ved och bark. II Gran. Summary: Moisture content, density and other properties of wood and bark. II Norway spruce. Rapp. Instn. Virkeslära Skogshögsk. 47: 1-124.
- WEGELIUS, TH. 1941. Om pappersvedens kvalitet och dess inverkan på fabriktionsprocessen och masautbytet vid tillverkning av mekanisk trämassa. Särtryck ur Pappers- och trävarutidskrifts för Finland specialnummer. 11 s.
- VELLING, P. 1976. Mänty- ja kuusiproveniensien puuaineen tiheyden vaihtelusta. Summary: The wood basic density variation of pine and spruce provenances. Folia For. 257: 1-32.
- 1980. Variation in the density of wood of different Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) origins in the provenance tests. Seloste: Mänty- ja kuusialkuperien puuaineen tiheyden vaihtelusta proveniensiikokeissa. Silva Fenn. 14(1): 45-51.
- WIJKANDER, A. 1897. Untersuchung der Festigkeits-Eigenschaften schwedischer Holzarten. Göteborg. 178 s.
- WING, W. A. & SEARS, G. R. 1950. Instrumentation studies LVII. Equilibrium relative humidities above saturated salt solutions at various temperatures. Tappi 33(9): 96-99.

SUMMARY

EFFECT OF BASIC DENSITY AND GROWTH RING WIDTH ON THE BENDING STRENGTH OF SPRUCE WOOD FROM SOUTH AND NORTH FINLAND

According to the literature the basic density of spruce wood is largely determined by the width of growth ring: the narrower the rings, the denser the wood. As the bending strength depends on the density, the same relationship holds for strength, too.

Much less information has been gathered on the effect of geographical location, i.e. if the effect of growth ring width is similar in the north as in the south. However, there is a general view that at least basic density decreases from the south to the north as the growth ring width is kept constant. No information is available on the strength.

In order to determine the effect of the geographical location a population consisting of 450 spruce wood samples was gathered from a sawmill in the Oulu region, northern Finland, and another sawmill in Hämeenlinna region, southern Finnish wood. The choice of the population was made from boards which were made from the outer parts of the logs. Thus, the wood can be regarded as mature. Maximal variation in growth ring width was striven for.

Test pieces were made and proved according to ISO standards 3130, 3131, 3133 and 4469. The bending strength was transformed to 12 % moisture content using the empirical finding that one percent change in the

moisture content affected the bending strength by 3,188 MPa and 2,808 MPa in northern and southern Finnish wood, respectively.

According to the results the basic density greatly affected the bending strength in both groups of the samples. The regression was linear. However, there was a difference between areas. When the basic density was kept constant, the bending strength was lower in southern than in northern Finnish wood. The difference increased as the basic density increased.

The effect of the geographic location was caused by the effect of the width of growth rings. It was found that when the basic density of the wood was kept constant, the bending strength increased with decreasing growth ring width. The effect of the growth rate on bending strength was curvilinear.

The growth ring width alone was not a good predictor of the bending strength, however. Only 14 % of the strength variation was explained by the growth rate.

The other problem, how the basic density was affected by the growth ring width, was analyzed using multiple regression analysis as in the case of the bending strength. The effect was curvilinear in both areas. When the growth ring width was kept constant, the basic density was over 5 kg/m³ lower in northern than in southern

Finnish wood. Thus this result supports the earlier findings that the density decreases with the latitude as other factors are kept constant.

An interesting feature was that the correlation between density and growth ring width was only -0,318 in the entire population, although the model was curvilinear and the difference between the areas was taken into account. This correlation was low compared with Danish results, especially those of Olesen. The reason may be in

the fact that almost all pieces of wood were made from different trees in this study while in other studies there were multiple samples of varying ring width from the same trees. Thus, in this case the variance between trees was taken maximally into account. The resulting comparatively low correlation between basic density and growth rate alone is not very high when the boards are taken from various trees. A higher accuracy can be supposed if the boards are taken from the same tree.