

Kirsti Wright

Rakenteiden Mekaniikka, Vol. 19  
No 3 1986, s. 49...61

TIIVISTELMÄ: Tavan II mukaista murtumissitkeyttä on tutkittu palkkikokein. Materiaalina on käytetty samaa mäntypuuainesta kuin aikaisemmin tutkittaessa tapaa I. Murtumissitkeydeksi  $K_{IIIC}$  saatiin lyhytaikaisessa kokeessa  $1760 \text{ kNm}^{-3/2}$ .

Murtumissitkeyden arvo selittyy parhaiten tiheyden ja sen neliön avulla. Kosteudella, vuosirengaskulmalla tai muilla muuttujilla ei ollut vaikutusta. Korrelaatiot olivat yleensä huonoja, mikä johtunee Pohjois-Suomen puun suuresta murtumissitkeydestä tiheyteen verrattuna.

Pitkäaikaiskokeissa taipuman kasvu oli verrannollinen puristusjäännitykseen ja ajan potenssiin  $1/3$ . Jännityssuhteella 90 % saatiin mediaanieliniäksi 5 h.

#### SÄRÖÄ LEIKKAAVA KUORMITUS

Kirjallisuustutkimuksessa (Wright & Leppävuori 1984) todettiin seuraavat tosiasiat.

- Puun ortotrooppisuus johtaa useisiin erilaisiin murtumarintaman etenemismahdollisuuksiin.
- Käytännössä halkeamat etenevät syiden suuntaisia tasoja pitkin leikkautumalla ja avautumalla, kuormitustapojen I ja II yhdistelmänä.
- Käytännön sovelluksia ei voi hallita tuntematta molempien kuormitustapojen vaikutusta.

Isotrooppisilla aineilla säröä leikkaavalla kuormitustavalla, II-tavalla, on rajoitettu merkitys: kun murtopinta I-tavassa poikkeaa tasosta, niin voidaan puhua yhdistetystä tavan I ja II mukaisesta murtumisesta. Mikroskooppilla tarkasteltaessa näennäisesti suora ja tasainen murtopinta on enemmän tai vähemmän epätasainen, ja toisinaan nämä erot epätasaisuudessa selittävät eron mitatussa murtumissitkeydessä ja halkeaman kasvunopeudessa. Ortotrooppisilla aineilla murtumismekaniikkatutkimus on iältään nuorempaa kuin isotrooppisilla.

Standardeja - kuten ASTM-standardi metallien tapa I:n mukaisen murtumissitkeyden määrittämiseksi - ei ole.

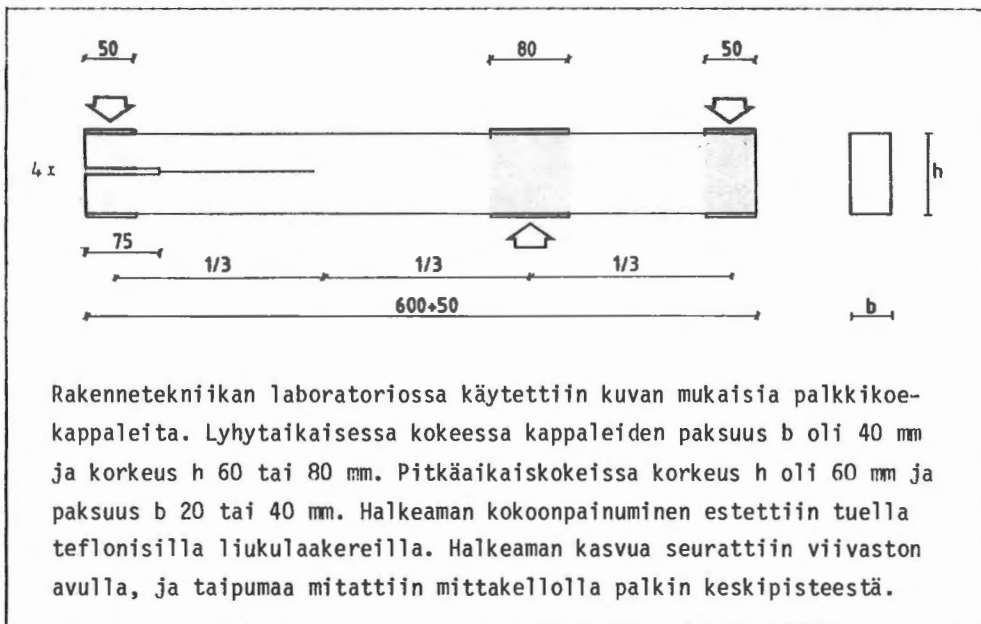
Tapaa II on useimmiten tutkittu juuri yhdistetyn murtumistavan murtoehdon muodostamiseksi. Luotettavimmat tulokset on saatu palkkikoekappaleilla, mutta kirjallisuustutkimuksessa esitellään myös erityinen leikkauskoekappale. Eri kokeiden perusteella arvioidaan kotimaisen sahatavaran murtumissitkeydeksi 1000 - 2000 kNm<sup>-3/2</sup> halkeaman leikkautuessa.

#### KOEKAPPALEET JA KUORMITUS

Tutkimuksessa käytettiin samaa mäntysahatavaraa kuin tavan I mukaista murtumissitkeyttä tutkittaessa (Wright 1986). Kuusta ei materiaalin niukkuuden vuoksi tutkittu. Koekappaleet ryhmiteltiin siten, että joka ryhmässä oli kaikki kolme aluetta edustettuina ja että samasta laudasta valmistetut koekappaleet tulivat eri ryhmiin. Vuosirenkaiden suunta koetettiin valita siten, että joka ryhmässä olisi edustettuna TL- ja RL-tapauksia tasaisesti. Pitkäaikaiskokeen kappaleet ilmastoitiin noin 55 % suhteellista kosteutta vastaavaan tilaan, jolloin koekappaleiden kosteus asettui 13 - 14 %:ksi. Kappaleita oli kaksi ryhmää, ohuet ja paksut. Lyhytaikaisessa kokeessa kuormitettiin pitkäaikaiskokeessa särkymättömät paksummat koekappaleet ja samassa kosteudessa kahden eri kokoisia koekappaleita. Lisäksi osan pienemmistä koekappaleista annettiin kuivua jonkin verran kuivemmiksi. Näistä kahdeksan kuormitettiin välittömästi ja loput vasta niiden uudelleen kostuttua 14 - 15 % kosteuteen.

Lyhytaikaisessa kuormituksessa käytettiin Amsler-merkkistä käsinohjattavaa kuormituslaitetta. Kuormaa nostettiin portaittain ja taipuman kasvua seurattiin mittakellolla. Kun halkeama rupesi kasvamaan, luettiin voima aina halkeaman kärjen saavuttaessa uuden viivan. Kuormitus keskeytettiin, kun maksimi-kuorma oli saavutettu ja kuorma oli alkanut laskea.

Pitkäaikaiskoetta varten rakennettiin kuormitustelineet, joissa aina kuusi kappaletta kerrallaan voitiin kuormittaa. Kappaleeseen vaikuttava voima mitattiin voima-anturilla, ja se oli kaikilla kappaleilla sama, 2,3 kN. Määräajoin käytiin lukemassa taipuman arvo mittakellosta ja seurattiin halkeaman etenemistä palkkiin piirrettyjen viivojen avulla. Kuormitus keskeytettiin, kun halkeama oli edennyt kuormituspisteen kohdalle tai koe kestänyt tarkoituksen mukaiseksi katsotun ajan (4 - 5 tai 29 päivää).



#### LYHYTAIKAISKOKEIDEN TULOKSET

##### Murtumissitkeyden numeroarvo

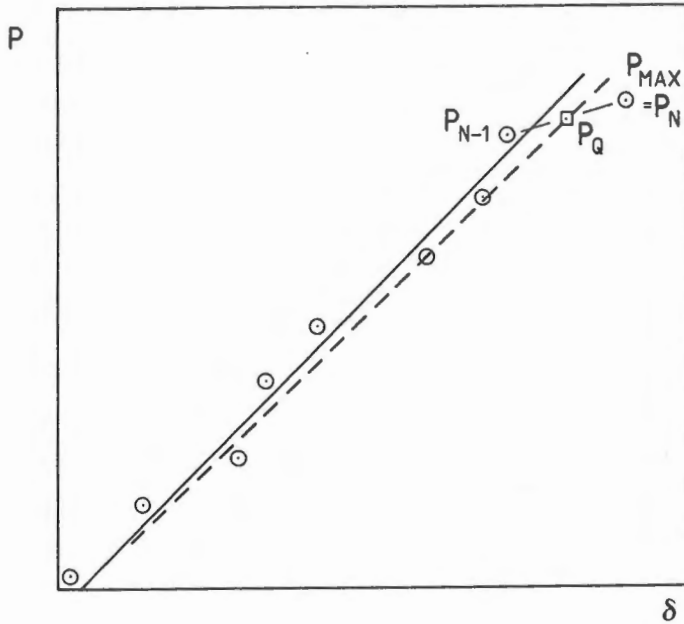
Kokeessa mitattiin taipuma  $\delta$  mittakellolla tasaisin kuormavälein. Koetulokset saatiin  $P$ - $\delta$  pistepareina. Halkeaman kasvua ei yleensä pystytty seuraamaan, koska varsinaista hidasta särönkasvua ei tapahtunut, vaan murtuminen tapahtui nopeasti. Murtumisella ymmärrettiin suppeasti sitä, että halkeama kasvoi alkuarvostaan kuormapisteen kohdalle.

Jotta murtokuormalle saataisiin särönkasvusta riippumaton arvo, sovellettiin ASTM:n standardin E399-81 menettelyä. Viimeistä pistettä lukuunottamatta haettiin regressiosuora

$$P = a + b\delta \quad (1)$$

Vakiotermin  $a$  poikkeaminen nolosta merkitsee alkutilassa tapahtuneen epätasaisia siirtymiä, koekappaleen asettumista yms. Näiden vaikutus poistettiin, ja määritettiin sekantti, jonka kaltevuus on 5 % pienempi kuin alkuperäisen viivan.

$$P = 0,95 b \cdot \left( \delta + \frac{a}{b} \right) \quad (2)$$



$P_Q$  määritetään koetuloksista siten, että haetaan viimeistä edellistä pistettä lukuunottamatta  $P$ - $\delta$  pisteitä kuvaava regressiosuora. O-piste korjataan  $P = 0$  arvoa vastaavaksi ja lasketaan katkoviivalla piirretyn sekantin yhtälö. Viimeisen ja toiseksi viimeisen  $P$ - $\delta$  parin kautta piirretyn suoran ja sekantin leikkauspiste määrittelee  $P_Q$ :n arvon.

Haetaan sekantin ja kahden viimeisen pisteen arvolla määritetyn suoran leikkauspiste  $(\delta_Q, P_Q)$

$$\delta_Q = \frac{P_n - \frac{\Delta P}{\Delta \delta} \delta_n - 0,95a}{0,95b - \frac{\Delta P}{\Delta \delta}} \quad (3a)$$

$$P_Q = 0,95a + 0,95b \delta_Q \quad (3b)$$

$$\Delta P / \Delta \delta = (P_n - P_{n-1}) / (\delta_n - \delta_{n-1}). \quad (3c)$$

Hylkäyskriteeriksi valittiin kuten CT-koekappaleille  $P_{\max}/P_Q < 1,2$  (Wright 1986). Tämä johti vain harvoin hylkäyksiin: tehdyistä 51:stä kokeesta joudutaan hylkämään kaksi. Jos käytettäisiin kriteeriä  $P_{\max}/P_Q < 1,1$  (ASTM E399-81), jouduttaisiin hylkämään nämä kaksi mukaanluettuna 20 koetta. Määrää on pidettävä epätarkoituksenmukaisen suurena. Koska hylkäämiskriteeri joka tapauksessa on luonteeltaan mielivaltainen ja sopimuksenvarainen, voidaan puun materiaaliluonteen mukaisesti valita väljempi kriteeri. Suhteen  $P_{\max}/P_Q$  kasvaessa suureksi tullaan kuitenkin tilanteeseen, jolloin lineaarisuusoletta-  
musta ei enää voida käyttää kuvaamaan materiaalin käyttäytymistä: tästä syystä kriteeri tarvitaan.

Kuormasta  $P_Q$  laskettiin tavanomaiseen tapaan leikkausjännitys palkin neutraaliakselilla

$$\tau_Q = \frac{3V_Q}{2 b h}, \quad (4)$$

ja murtumissitkeys

$$K_{II} = \tau_Q (\pi a)^{1/2} \cdot Y. \quad (5)$$

Barrett ja Foschi (1977) antavat kertoimen  $Y$  polynomimuodossa

$$Y = \left(\frac{s}{a}\right)^{1/2} (0,3680 - 0,0717 \left(\frac{s}{h}\right) + 0,0045 \left(\frac{s}{h}\right)^2 + 0,5450 \left(\frac{a}{s}\right) + 0,4900 \left(\frac{s}{h}\right) \left(\frac{a}{s}\right) - 0,0209 \left(\frac{a}{s}\right) \left(\frac{s}{h}\right)^2), \quad (6)$$

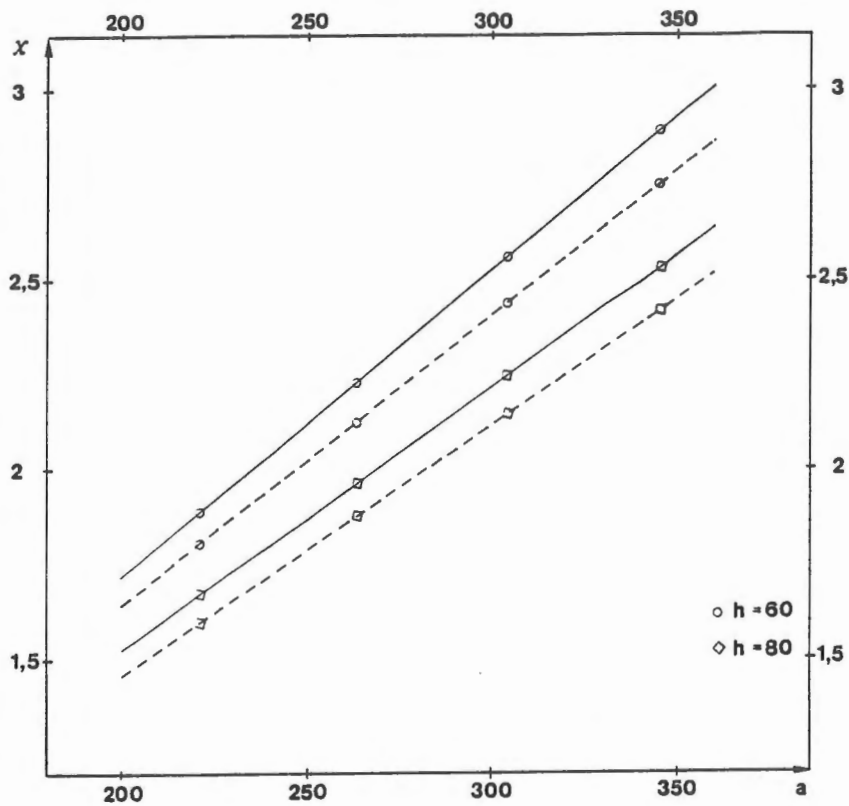
missä  $a$  on halkeaman pituus,  $s$  kuorman etäisyys haljenneelta tuelta ja  $h$  koekappaleen korkeus. Kertoimen  $Y$  arvo on laskettu elementtimenetelmällä käyttämällä Länsi-Kanadan havupuille tyypillisiä kimmovakioiden arvoja.

Murphy (1979) käyttää superpositioperiaatetta jännitysintensiteetin laskemiseksi

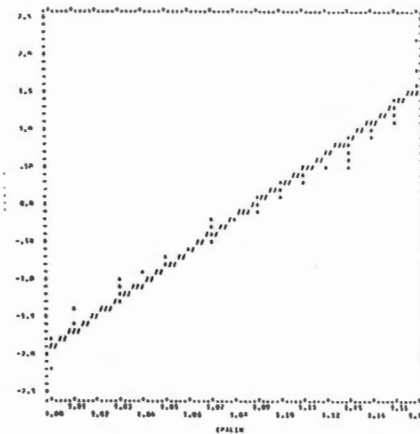
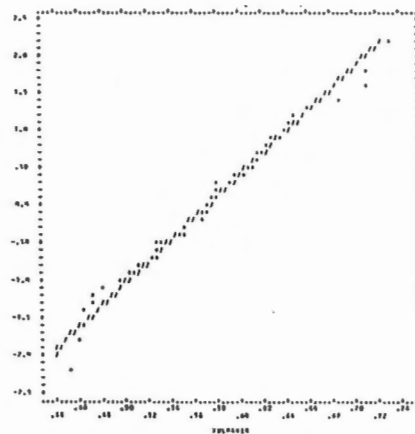
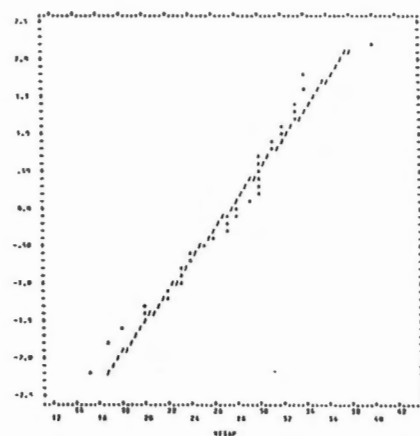
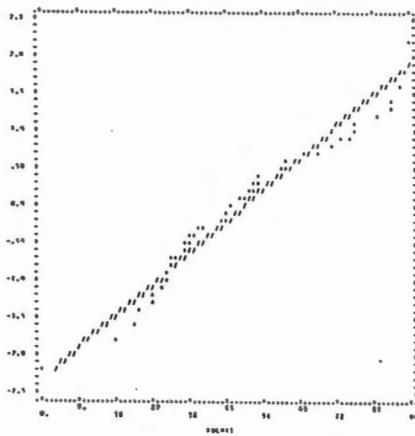
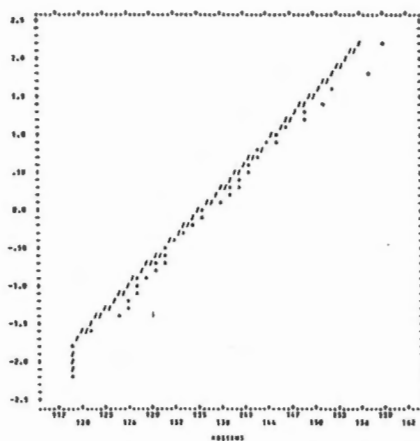
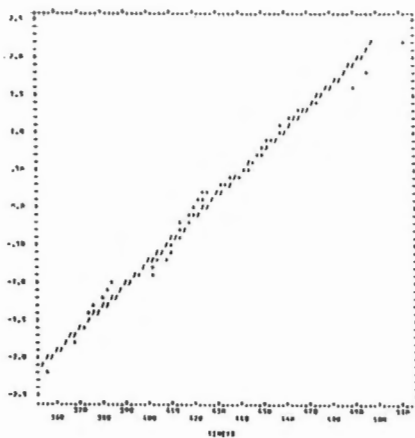
$$Y = \left(\frac{h}{\pi a}\right)^{1/2} (1,8667 \left(\frac{a}{h}\right) + 0,4800). \quad (7)$$

Kirjoituksesta ei käy ilmi, mitä materiaalivakioita on käytetty laskettaessa perusratkaisuja BVC-menetelmällä (Boundary Value Collocation).

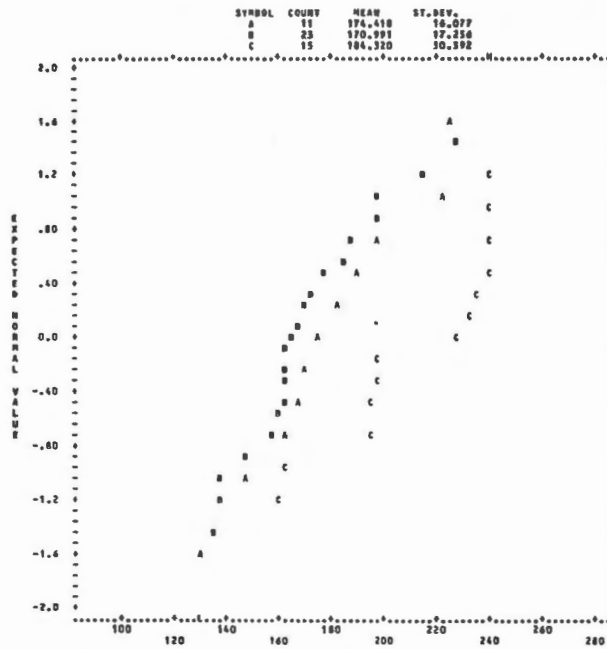
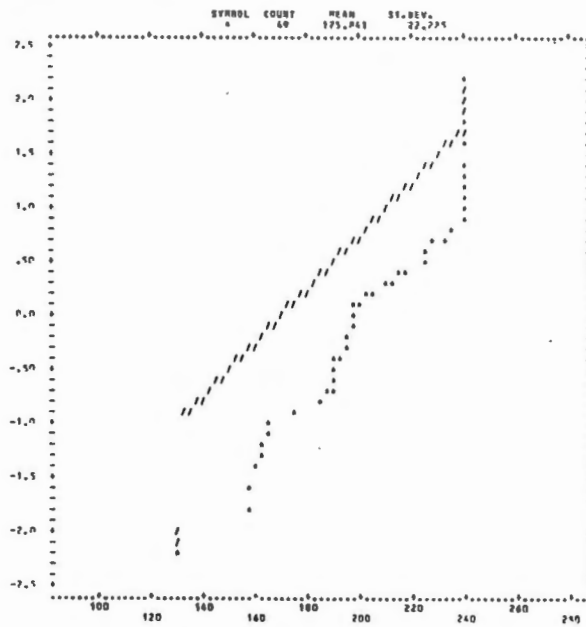
Kun yhtälöistä (5) - (7) lasketaan leikkausjännityksen  $\tau$  kerroin  $\chi = (\pi a)^{1/2} Y$ , saadaan varsin samanlaisia arvoja. Myös yhtälön (6) mukaan lasketut kuvaajat ovat ainakin kysymyksen tulevalle alueella lineaariset. Murtumissitkeyden numeroarvot laskettiin yhtälön (7) kertoimia käyttäen, jolloin saadaan noin 5 % pienempiä arvoja kuin yhtälön (6) kertoimilla.



Murtumissitkeyden numeroarvo on verrannollinen leikkausjännitykseen. Barrett ja Foschi (1977, ehyt viiva) antavat verrannollisuuskertoimelle  $\chi$  suurempia arvoja kuin Murphy (1979, katkoviiva). Vaikka verrannollisuuskertoimen arvot on laskettu kahdella eri menetelmällä ja käytetty erilaisia materiaalivakioita, on yhteensopivuus hyvä ja ero puumateriaalille ominaista hajontaa pienempi (a:n ja h:n yksiköt mm,  $\chi$ :n yksikkö  $m^{1/2}$ ).



Muuttujien normalisuutta tutkittiin piirtämällä summakäyrät normaalijakautumapohjalle. Aineisto osoittaa vain vähäisiä poikkeamia normaalijakautumista tiheyden, kosteuden, kulman, kesäpuosuuden, kulmakertoimen ja epälinearisuuden osalta.



Murtumissitkeyden jakautuma poikkeaa voimakkaasti normaalista. Tämä johtuu alueen 3 puutavaran erilaisesta murtumiskäyttäytymisestä.



## Taipuma ja kimmokerroin

Jokaiselle palkille lasketun P- $\delta$  regressiosuoran kerroinosan perusteella laskettiin taipuma yhtälöstä

$$w = \frac{P_C \cdot \xi}{48 E_y} (3L^2 - 4c^2) \quad (8)$$

missä c on kuorman pienempi etäisyys tuelta, L palkin jännemitta ja kerroin  $\xi = 1$  homogeeniselle, ehjälle palkille. Kun otetaan huomioon tehty loveus jäyhyysmomenttia pienentävänä, saadaan kertoimelle  $\xi$  arvoksi 1,348.

## TULOKSET

Tuloksia analysoitiin tilastollisesti, jolloin tarkistettiin aineiston normaalisuutta, vertailtiin eri ryhmien arvoja sekä etsittiin regressioanalyysin avulla mahdollisia riippuvaisuuksia parametrien välillä. Vain murtumisitkeyden jakautuma poikkesi normaalista,  $\mu = 1758$  ja  $\sigma = 22 \text{ kNm}^{-3/2}$ . Erityisen selvästi tämä ilmenee ryhmiteltäessä aineistoa kasvupaikan perusteella, jolloin Etelä- ja Itä-Suomen puusta saadut tulokset ovat lähempänä normaalijakautumaa, mutta Pohjois-Suomen puu poikkeaa näistä voimakkaasti.

Ryhmiteltäessä koekappalekoon ja kappaleen kosteuden perusteella erotettiin ryhmät:

- 1 pieni koekappale (40 x 60), normaali kosteus
- 2 iso koekappale (40 x 80), normaali kosteus
- 3 pieni koekappale, normaali kosteus, esikuormitettu
- 4 pieni koekappale, hyvin kuivattu, sitten kostutettu uudelleen
- 5 pieni koekappale, kuivattu.

Ryhmien 4 ja 5 kosteuden havaittiin poikkeavan muista. Tämä ero heijastuu myös kimmokertoimen arvoihin, joskaan ei kovin selvänä. Eri ryhmien murtumisitkeyksissä sen sijaan ei ole tilastollisesti merkitseviä eroja. Kosteuskeskiarvot olivat ryhmittäin 13,1, 13,7, 13,5, 14,4 ja 12,8 %. Yksinkertaisena homogeenisena palkkina lasketut kimmokertoimen keskiarvot olivat 5790, 5460, 6080, 5300 ja 6490 MPa. Jos halkaisu otetaan huomioon, saadaan todellinen kimmokerroin kertoimella 1,35.

Kun materiaali jaettiin karkeasti TL- ja RL-tapauksiin pitäen kulmamuuttujan rajana  $45^{\circ}$ , ei ryhmien välillä havaittu eroja. Osittain tämä johtuu siitä, että kulmamuuttujan arvoista suuri osa keskittyy lähelle rajakohtaa. Puhtaita TL- ja RL-tapauksia on vähän. CT-koekappaleilla havaittu tavan I murtumissitkeyden selvä kulmariippuvaisuus (Wright 1986) selittyi ydinsäteiden vetolujuudella. Ydinsäteiden leikkauslujuuden suhde syiden suuntaiseen leikkausjännityksen on paljon pienempi kuin ydinsäteiden vetolujuuden suhde syitä vastaan kohtisuoraan vetolujuuteen. Suuruusluokaltaan nämä vastaavat suhteita  $f_v/f_{v1}$  ja  $f_t/f_{t1}$ . Tästä syystä ei ole odotettavissakaan kovin suurta eroa TL- ja RL-tapauksien välillä halkeaman leikkautuessa.

Tavan I kokeiden perusteella odotettiin kasvupaikan vaikuttavan myös tavan II murtumissitkeyteen. Pohjois-Suomen puun (alue 3) ja Itä-Suomen puun (alue 2) tiheyksien  $410$  ja  $432 \text{ kg/m}^3$  välillä havaittiin tilastollisesti melkein merkittävä ero. Kasvupaikasta johtuva ero ei kuitenkaan ollut niin suuri, että se olisi näkynyt muiden muuttujien arvoissa. Jakautumien muodot olivat muuten lähellä normaalijakautumaa ja toisiaan, paitsi tiheyden, (alue 3 pienempi tiheysmediaani), kulman (alue 3 suurempi kulman mediaani), kesäpuuprosentin (alue 1 alhaisin kesäpuuprosentin mediaani) ja murtumissitkeyden (alue 3 suurin murtumissitkeyden mediaani) jakautumat.

Luokittelemattomassa aineistossa on verrattain selvä korrelaatio murtumissitkeyden ja tiheyden välillä. Sen lisäksi havaitaan odotetusti selvä korrelaatio kimmokertoimen ja kosteuden välillä. Myös kosteuden ja tiheyden välillä vallitsee yhteys.

Aineistosta piirrettiin x-y kuvia, jotta selvitetäisiin murtumissitkeyden mahdollinen epälineaarinen riippuvaisuus muista muuttujista. Tiheyden ja murtumissitkeyden välinen yhteys vaikuttaa vielä voimakkaamalta kuin mitä korrelaatiosta voi päätellä. Kahdessa koekappaleessa suuri tiheys on yhdistyneenä alhaiseen murtumissitkeyteen. Toisessa halkeaman suunta poikkesi aiotusta, joten itse asiassa on kysymys yhdistetystä tapojen I ja II mukaisesta murtumisesta. Toisessa taas suuri tiheys johtunee sydänpuun muodostumisesta.

Kun aineisto jaotellaan kasvupaikan mukaisesti ryhmiin, saadaan murtumissitkeyden ja  $P-\delta$  kuvaajan epälineaarisuuden väliseksi korrelaatioksi kasvupaikoilla 2 ja 3 selvästi negatiivinen arvo, samoin kulmamuuttujan mukaan ryhmiteltäessä molemmissa ryhmissä. Tälle on kaksi mahdollista selitystä.  $P_Q$ :n laskutapa perustuu kahden viimeisen  $P-\delta$  lukeman välin lineaariseen interpolointiin. Jos ajatellaan samaa  $P-\delta$  kuvaajaa jatkuvana piirturitulostuksena tai että kuvaajalle on luettu sama  $P_{\max}-\delta_{\max}$  arvo, mutta toiseksi viimeisen arvon paikka vaihtelee, niin havaitaan helposti suureen  $P_{\max}/P_Q$  arvon liittyvän pieni  $P_Q$  ja siten pieni murtumissitkeys. Tässä tuntuisi olevan systemaattisen

virheen mahdollisuus. Toisaalta myös jos  $P_{\max}$  on suunnilleen vakio eri  $P$ - $\delta$ -kuvaajilla, niin suurella  $P_{\max}/P_Q$  -arvolla saadaan pienempi murtumissitkeys. Kumpikin syy puoltaa vahvasti hylkäyskriteerin käyttämistä.

$x$ - $y$  piirrosten ja korrelaatioiden perusteella valittiin monimuuttuja regressioanalyysin muuttujiksi tiheys, tiheyden neliö, kulmamuuttuja ja vuosirengasvälimuuttuja, kosteus, kesäpuuprosentti ja koko. Korrelaatio oli vain  $R = 0,543$  ohjelman valitsemaalle parhaalle regressioyhtälölle.

$$K_{IIC} = -7400 + 40,0 \rho - 0,0431 \rho^2. \quad (10)$$

Tiheyden  $\rho$  ja sen neliön lisäksi saattaisi kosteudella olla merkitystä murtumissitkeydelle, mutta sen vaikutus ei nouse merkitsevälle tasolle. Kosteuden kasvaessa murtumissitkeys vaikuttaa pienenevän. Kosteuden ja tiheyden välillä on ainakin kasvupaikan 1 puilla voimakas korrelaatio, mikä yhdessä suppean kosteusvaihtelun kanssa vaikeuttaa johtopäätösten tekemistä.

Murtumissitkeys oli keskimäärin [ $\text{kNm}^{-3/2}$ ]

alue 1	$\mu = 1740$	$\sigma = 161$
alue 2	$\mu = 1710$	$\sigma = 173$
alue 3	$\mu = 1840$	$\sigma = 304$
kaikki yhdessä	$\mu = 1760$	$\sigma = 222.$

## PITKÄAIKAISSKOKEIDEN TULOKSET

### Elinikä

Pitkäaikaiskokeessa käytettiin vakiokuormaa 2,3 kN. Tämä vastaa  $40 \times 60 \text{ mm}^2$  koekappaleilla jännitysintensiiteettiä  $800 \text{ kNm}^{-3/2}$  ja  $20 \times 60 \text{ mm}^2$  koekappaleilla jännitysintensiiteettiä  $1600 \text{ kNm}^{-3/2}$ . Verrattuna lyhytaikaisessa kokeessa mitattuun murtumissitkeyden arvoon vastasi kuormitus jännityssuhteita 45 % ja 90 %. Suuremmista koekappaleista yksikään ei murtunut kokeen aikana. Pienempien kappaleiden eliniän logaritmi noudattaa normaalijakautumaa; mediaani vastaa elinikää 5 h.

### Taipuma ja kimmokerroin

Lyhytaikaisesta kuormituksesta laskettiin taipuman avulla kimmokertoimeksi  $1,35 \times 5680 \text{ MPa} = 7670 \text{ MPa}$ . Pitkäaikaiskokeessa pienillä koekappaleilla saatiin kimmokertoimen arvoksi alkutaipumasta  $1,35 \times 6410 \text{ MPa} = 8650 \text{ MPa}$  ja

suurilla  $1,35 \times 4796 \text{ MPa} = 6480 \text{ MPa}$ . Paksuilla koekappaleilla saadun arvon pitäisi olla sama kuin lyhytaikaisessa kokeessa on saatu.

Kimmokertoimien ero saattaa johtua erilaisesta kosteudesta, erilaisesta kuormitustavasta tai luonnollisesta hajonnasta. Ajan  $t$  vaikutusta arvioitiin sovittamalla regressiosuora

$$\ln \Delta\delta = A + B \ln t \quad (11a)$$

$$\text{eli } \Delta\delta = e^{A+B \ln t} \quad (11b)$$

ajan funktiona mitattuihin taipuman kasvun arvoihin. Saadut korrelaatiot olivat paksuille koekappaleille 0,995 ja ohuille 1,000. Kun taipuman muutos sijoitetaan mm:ssä ja aika tunneissa, saatiin kertoimen  $B$  arvoksi suurille ja pienille kappaleille sama: keskiarvo 0,331, hajonta 10 %. Vakiotermin  $t$  keskiarvo pienille kappaleille oli -1,232 ja suurille -1,937, mistä saadaan  $e^A$ :n arvoksi 0,292 ja 0,144. Pienillä kappaleilla taipuman kasvunopeus on kaksinkertainen verrattuna suuriin, kuten jännitysten perusteella voi odottaakin. Koekappaleita uudelleen kuormitettaessa kimmokerroin oli keskimääräistä suurempi. Pienillä koekappaleilla mitattu suuri kimmokertoimen arvo voi myös olla ilmaus teflon-laakerin kitkasta. Koska pintapaine oli pienillä kappaleilla kaksinkertainen verrattuna suuriin, voi tästä aiheutua kitkakomponentti, joka estää päiden liukuman toistensa suhteen, ja siten pienentää taipumaa. Tämä edellyttää kuitenkin laakerin käyttäytyvän epälineaarisesti.

#### Halkeaman kasvu

Niissä koekappaleissa, jotka eivät murtuneet pitkäaikaiskokeessa, ei myöskään tapahtunut halkeaman kasvua. Koekappaleissa, jotka murtuivat välittömästi tai lähes välittömästi kuorman asettamisen jälkeen ei voitu mitata halkeaman kasvunopeutta. Useimmissa koekappaleissa murtumisprosessi oli käynnistyttyään niin nopea, ettei kasvunopeudesta saanut käsitystä, varsinkaan jos murtuminen tapahtui kuormituksen jo kestänyttä jonkin aikaa ja lukuvälin ollessa harva.

Oikeastaan vain kahdella koekappaleella saatiin kasvunopeutta seuratuksi. Särön piteuden kasvaessa särön kasvunopeuskin tuntuu kasvavan. Selvää yhtälöä ei luonnollisestikaan näin vähien tulosten perusteella voi antaa, vaan pitkäaikaiskokeita on syytä jatkaa. Kasvunopeus oli yleensä luokkaa mm/min hitaassa särön kasvussa.

## JOHTOPÄÄTÖKSET

Tavan II palkkikokeille eri menetelmillä lasketut jännitysintensiiviteetin arvot eivät merkittävästi poikkea toisistaan. Jännitysintensiiviteetin muutos särön kasvaessa on lineaarinen.

Lyhytaikaisessa kokeessa koekappaleiden keskimääräinen kosteus oli 14 % ja tiheys  $420 \text{ kg/m}^3$ . Murtumissitkeys oli koko aineistolle  $1760 \text{ kNm}^{-3/2}$  ja Pohjois-Suomen puutavaralle suurempi kuin muille, mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Tavan II murtumissitkeys oli 5,4-kertainen verrattuna tavan I TL -murtumissitkeyteen, mikä sopii kirjallisuustutkimuksen tietoihin. Ryhmiteltäessä koekappaleita kosteuden ja koon perusteella ei havaittu eroa murtumissitkeysarvoissa, vaikka kosteusero oli riittävä aiheuttaakseen kimmo-kertoimiin tilastollisesti merkitsevän eron. Vuosirengaskulmalla ei myöskään ollut suurta vaikutusta murtumissitkeysarvoihin. Regressioanalyysissä vain tiheys ja sen neliö selittivät murtumissitkeyttä, mutta korrelaatio jäi alhaiseksi,  $R = 0,54$ .

Pitkäaikaiskokeissa vain jännityssuhteella 90 % saatiin koekappaleita murtumaan. Mediaanielinikä oli 5 h. Toinen käytetyistä jännityssuhteista osoittautui liian alhaiseksi. Kimmokerroin oli suurilla koekappaleilla pienempi kuin lyhytaikaisessa kokeessa ja toisaalta pienillä koekappaleilla suurempi kuin lyhytaikaisessa kokeessa. Tämä voi johtua käytetystä laakeroinnista. Taipuman kasvu pienillä koekappaleilla oli kaksinkertainen verrattuna suuriin, mikä vastaa jännityssuhdetta. Kasvunopeus oli verrannollinen ajan potenssiin  $1/3$ . Halkeaman kasvua ei tehdyissä kokeissa voitu tutkia murtumisprosessin nopeuden vuoksi.

*Kirsti Wright, tekn.lis., Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Rakennetekniikan laboratorio*