

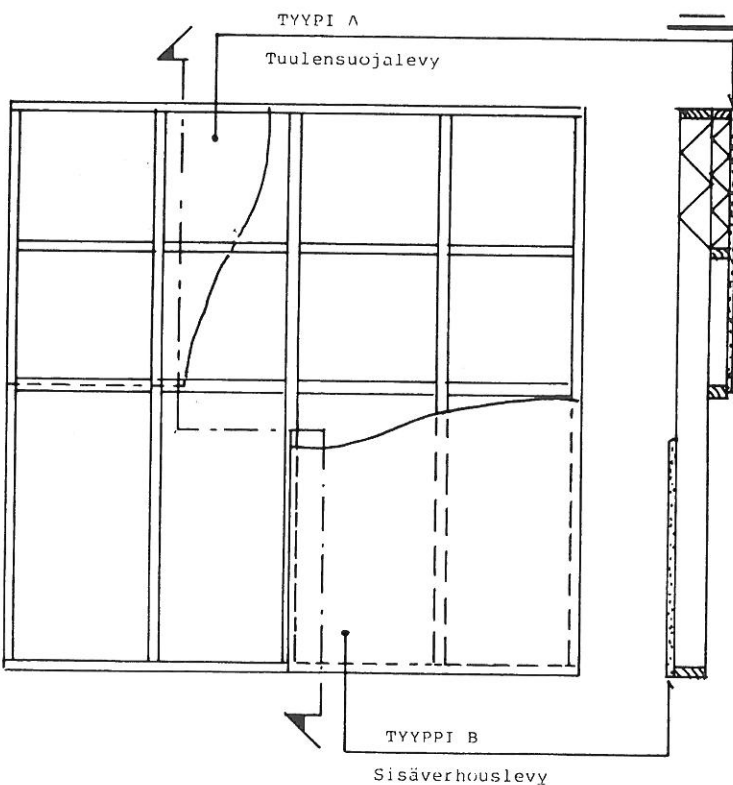
Heikki Järvinen

Rakenteiden Mekaniikka, Vol. 15
No. 3, 1982 s. 23...33

YHTEENVETO: Artikkelissa käsitellään meillä käytössä olevaa puulevyypohjaisten seinien teoriaa ja laskentamenetelmää vaakavoimille. Menetelmää verrataan kokeellisesti saatuihin tuloksiin, joiden pohjalta ehdotetaan vähäisiä korjauksia laskentamenetelmän kaavoihin. Edelleen tarkastellaan suoritettujen kokeiden avulla kokonaismurtovarmuutta standardin SFS 4188 mukaan laskettuihin "sallittuihin" kuormiin verrattuina.

JOHDANTO

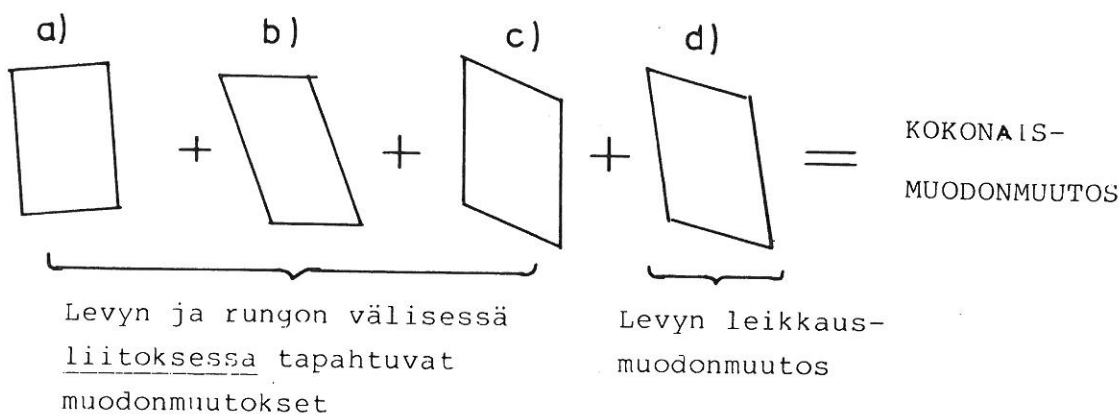
Puulevyjen käyttö pientalojen tuulijäykisteinä on muutaman viime vuoden aikana lisääntynyt. Syynä tähän ovat olleet vuoden 1978 puunormeissa annetut ohjeet jäykistysseinän laskennasta /2/. Koska edellä mainituissa ohjeissa ei huokoisen kuitulevyn käyttöä ole sallittu kantavissa rakenteissa ilman eri-



Kuva 1. Jäykistyslevyjen tyypit ja niiden mahdolliset sijainnit.

tyysselvitystä, hankkivat eräät tuulensuojalevyn valmistajat tuotteilleen sisäasiainministeriön tyyppihyväksynnän niiden käytöstä jäykistysseinissä. Pientalojen seinien runko on yleensä puusta, johon jäykistyslevy on kiinnitetty joko nauloilla, ruuveilla tai liimaamalla. Jälkimmäistä kiinnitystapaa ei työmaaolosuhteissa suoritettuna voida käyttää voimaa siirtävissä liitoksissa ilman erityiselvitystä. Levyn sijainti voi olla joko seinän sisäpinnassa sisäverhouslevynä, tyyppi B, tai ulkopinnassa heti ulkoverhouksen ja ilmaraon jälkeen tuulensuojalevynä, tyyppi A.

Jäykistysseinän ulkoisen kuormituksen aiheuttamat muodonmuutokset voidaan jakaa jäykistysseinän ja perustusten välillä tapahtuviin muodonmuutoksiin, jäykistyslevyn ja rungon välisissä liitoksissa tapahtuviin muodonmuutoksiin sekä jäykistyslevyn leikkausmuodonmuutokseen. Huolehtimalla rungon riittävästä ankkuroinnista perustuksiin voidaan seinän ja perustusten väliset muodonmuutokset jättää ottamatta huomioon. Levyn ja rungon väliset muodonmuutokset voidaan edelleen jakaa kuvan 2 osoittamalla tavalla; 2a kuvaa ulkoisen momentin aiheuttamaa kiertymää alajuoksun suhteen (tämäkin voidaan välttää huolehtimalla ensimmäisen pystyjuoksun riittävästä ankkuroinnista perustuksiin), 2b kuvaa levyn suuntaisessa tasossa tapahtuvaa vaakasuoraa muodonmuutosta ja 2c vastaavaa pystysuoraa muodonmuutosta. Levyn leikkausmuodonmuutos on esitetty kuvassa 2d.



Kuva 2. Jäykistysseinän muodonmuutokset /1/.

Lähteessä /1/ on esitetty edellämainittuihin muodonmuutosotaksumiin perustuen laskentakaavat seinän yläreunan siirtymäksi alareunan suhteen sekä liitoksessa vallitsevaksi maksimileikkausvoimaksi. Vaakasiirtymän kaava on (alaindeksit viittaavat kuvaan 2)

$$u = u_a + u_b + u_c + u_d$$

$$= \left(\frac{1 - \frac{bN}{hQ}}{D_m} + \frac{1}{D_x} + \frac{1}{D_y} \right) h^2 \cdot Q + \frac{h}{S} Q, \quad (1)$$

missä (edellyttäen, että levyn kiinnitys runkoon on kaikilla reunoilla sama)

$$D_m = \int_0^b \kappa x^2 dx = \frac{1}{3} \kappa b^3 ,$$

$$D_x = \oint \kappa y^2 ds = \kappa \left(\frac{1}{2} b h^2 + \frac{1}{6} h^3 \right) ,$$

$$D_y = \oint \kappa x^2 ds = \kappa \left(\frac{1}{2} h b^2 + \frac{1}{6} b^3 \right) ,$$

$$S = b \sum G_i t_i \text{ ja}$$

$$\kappa = k/c ,$$

kaavoissa k on liitoksen siirtymäkerroin ja c naulojen keskinäinen väli.

Kaava (1) nähdään usein (/1/ ja /4/) esitetävän muodossa

$$u = \beta \cdot \frac{1}{\kappa} \frac{h^2}{b^3} Q + \frac{h}{s} Q \quad (3a)$$

tai suppeammassa normien /2/ sallimassa muodossa

$$u = \beta \frac{c}{\kappa} \frac{h^2}{b^3} Q , \quad (3b)$$

$$\text{missä } \beta = 3 \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{n} \frac{Nb}{hQ} \right) + \frac{6}{3 \left(\frac{h}{b} \right)^2 + \left(\frac{h}{b} \right)^3} + \frac{6}{3 \left(\frac{h}{b} \right) + 1} \text{ ja}$$

n on levyjen lukumäärä.

Vastaavasti saadaan liitoksen maksimileikkausvoimaksi (/1/ ja /4/)

$$f = \sqrt{\frac{\kappa b^2 h^4}{4 D_x^2} + \left[\frac{\kappa b^2 h \left(1 - \frac{bN}{hQ} \right)}{D_m} + \frac{\kappa b^2 h}{2 D_y} \right]^2} \cdot \frac{Q}{b} , \quad (4)$$

kun D_m , D_y , D_x ja κ ovat kuten edellä.

Normien /2/ käyttämä muoto on

$$f = \frac{\gamma}{b} Q \cdot c , \quad (5)$$

$$\text{kun } \gamma = \sqrt{\left[3 \left(\frac{h}{b} \right) \left(\frac{1}{n} - \frac{bN}{hQ} \right) + \frac{3 \left(\frac{h}{b} \right)}{3 \left(\frac{h}{b} \right) + 1} \right]^2 + \frac{9}{\left(3 + \frac{h}{b} \right)^2}} .$$

Mikäli levyn ja rungon välinen liitos on tehty liimaamalla, oletetaan /1/ tapahtuvan vain kuvan 2d mukaisia leikkausmuodonmuutoksia. Kokeellisesti /4/ on voitu todeta mitattujen muodonmuutosten olevan suurempia kuin laskennallisesti saadut, mutta liimatuilla elementeillä jäävät muodonmuutokset kokonaisuudessaan niin pieniksi, etteivät ne määrää mitoitusmitoitusta. Mitoitus määräytyy lujuuden perusteella.

Edellämainituista seikoista käy ilmi, että jäykistysseinän kannalta oleellista on eri liitosten välinen toiminta. Yleisin käytetty liitostapa pientalorakentamisessa on naulaliitos. Sen tarkastelu voidaan jakaa totuttuun tapaan murtotilatarkasteluun ja käyttötilatarkasteluun. Liitoksen murtaminen voi periaatteessa tapahtua seuraavilla tavoilla:

- naulan ulosveto puusta,
- naulan kannan lävistyminen,
- naulan katkeaminen tai
- levyn murtuminen.

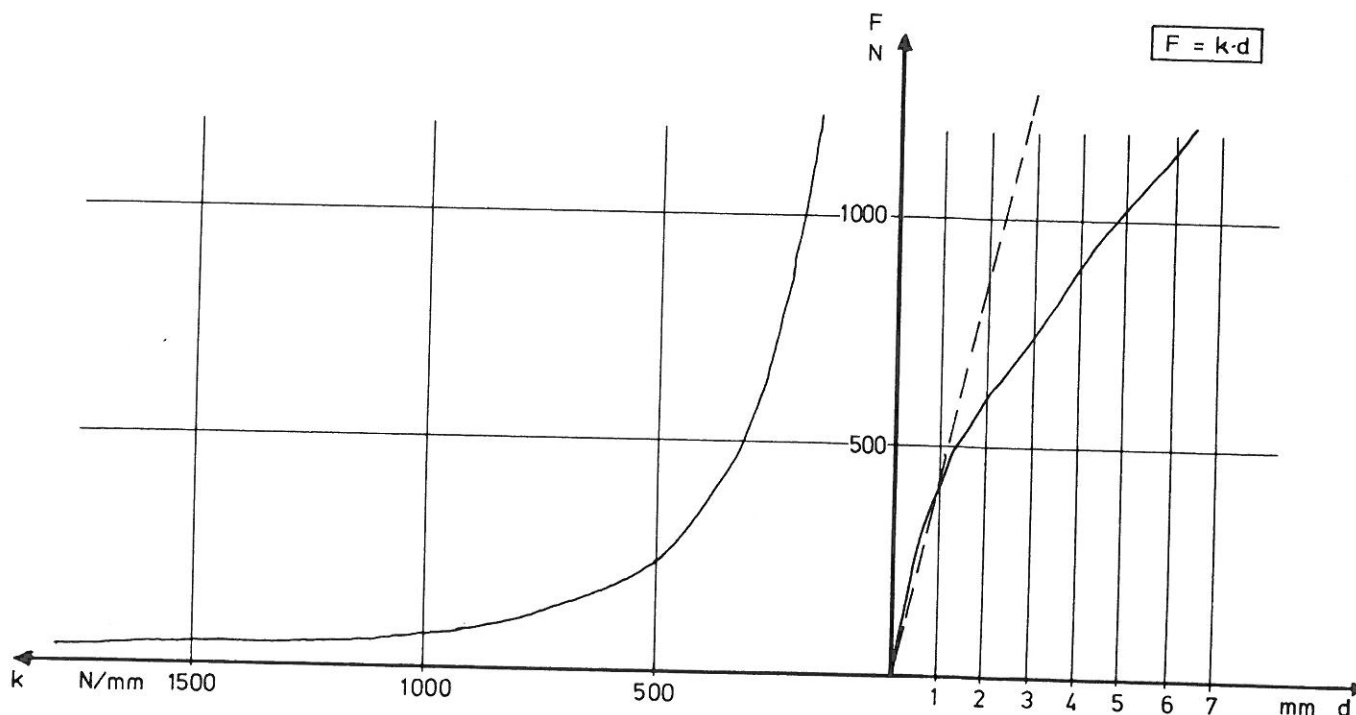
Tyypillisimmät murtotavat ovat ulosvetomurto ja kannan lävistyminen /3/, /5/.

Puulevyn ja puun välisen liitoksen voima-siirtymäkäyrä on epälineaarinen. Kuvassa 3 on esitetty 10mm lastulevyn ja puun välisen liitoksen voimasiirtymäkäyrä /4/ kampanaulalle 40x23. Yleisesti voiman ja siirtymän välistä riippuvuutta kuvataan yhtälöllä

$$F = f(d) = k \cdot d,$$

(6)

kun F on liitoksessa vaikuttava leikkausvoima,
 d on liitoksen siirtymä
ja k on liitoksen siirtymäkerroin.



Kuva 3. Voima - siirtymäkäyrä. Lastulevy 10 mm, kampanaula 40x23 /4/.

Siirtymäkertoimen suuruuteen vaikuttavat liitoksen materiaalien lisäksi kuormituksen kesto, kuormitusnopeus, kuormituksen luonne (staattinen/dynaaminen), liitettävien materiaalien kosteuspitoisuus sekä sen muutokset ja liitettävien materiaalien välillä vallitseva kitka. Lähteessä /2/ taulukoituja siirtymäkertoimen vakioarvoja voidaan epälineaarisuudesta huolimatta käyttää arvioitaessa käyttökuormilla syntyvien siirtymien suuruutta. Tarkempia tuloksia hahuttaessa on syytä suorittaa kokeellinen tutkimus ja käyttää tämän jälkeen voiman ja siirtymän välistä riippuvuutta kuvaamaan esimerkiksi yhtälöä

$$d = a F^b, \quad (7)$$

missä a ja b ovat koemateriaaleista riippuvia vakioita.

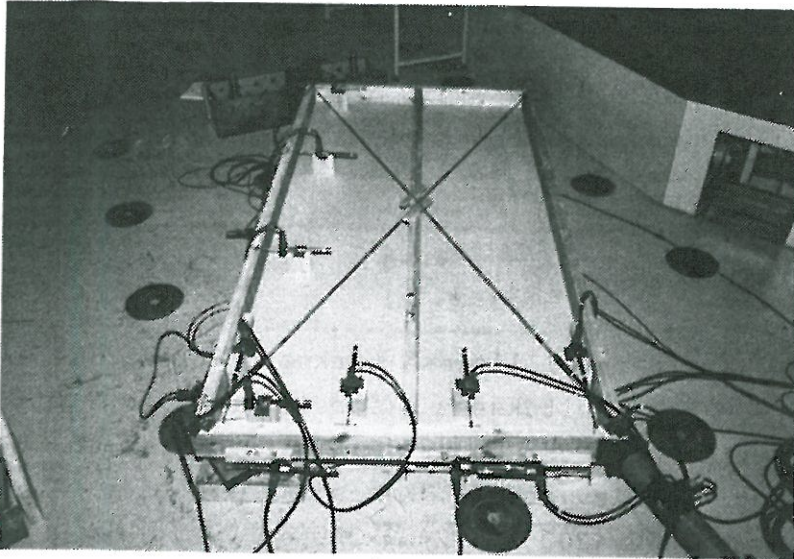
KOKEELLINEN TUTKIMUS

Keväällä 1980 suoritettiin Helsingin teknillisessä korkeakoulussa rakennusinsinööriosastolla koesarja, jonka tarkoituksena oli selvittää tarkemmin puulevyperäisen jäykistysseinän toimintaa /5/. Koesarja käsitti yhteensä 16 lastulevyseinää ja 15 huokoista puukuitulevyseinää. Koe-elementit olivat tyyppiä B (kuva 1) ja kooltaan joko 2400x1200 tai 2400x3600mm². Koesarja käsitti taulukon 1 mukaiset elementit.

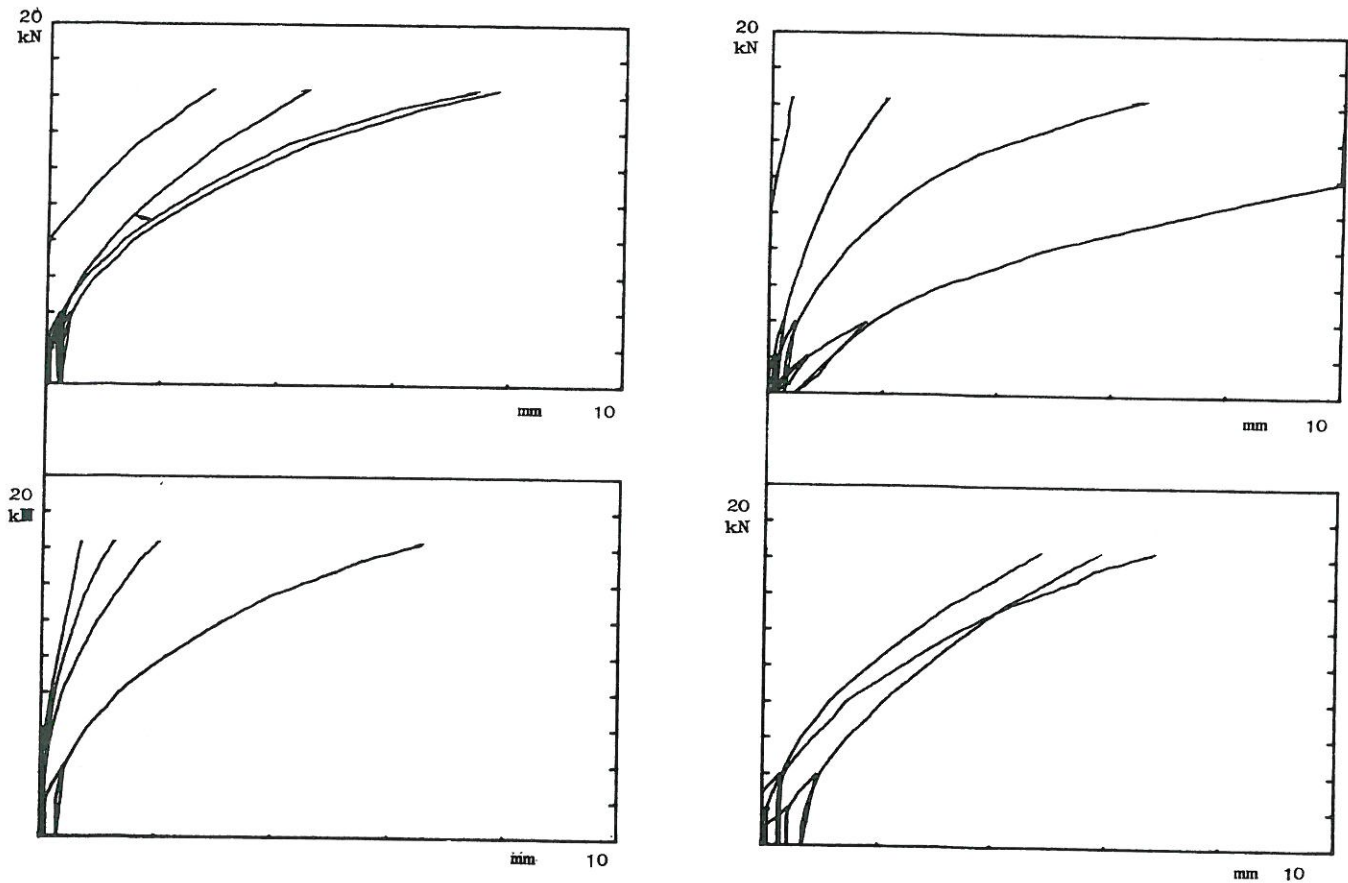
Taulukko 1. Koekappaleiden rakenteet. Merkintä 150/75 tai 200/100 tarkoittaa, että naulaus suoritettiin tasaväleihin (joko 150 mm tai 200 mm välein) kaikkialla, jonka jälkeen elementin nurkkiin lisättiin kahteen reunimmaiseen naulaväliin vielä ylimääräiset nailat (jolloin naulajako muodostui 75 mm:ksi ja 100 mm:ksi).

Tunnus	Paksuus mm	Liitin kampanaula	c	koe-elem. lkm.	levyjen lkm.
LL1-LL4	10	40x23 galv.	100	3	1
LL5-LL7	10		150/75	3	1
LL8-LL10	10		200/100	3	1
LL11-LL13	10		100	3	1
LL14-LL16	10		100	3	3
		kierrenaula			
KL1-KL3	9	40x21 galv.	100	3	1
KL4-KL6	9		150/75	3	1
KL7-KL9	9		200/100	3	1
KL10-KL12	9		100	3	1
KL13-KL15	9		100	3	3

Kuvassa 4 on meneillään reunasiirtymien mittauskoe. Mittaukset suoritettiin levyn reunan suuntaisesti ja kohtisuoraan sitä vastaan. Kuormitus nostettiin portaattaisesti ja heti noston jälkeen tapahtui siirtymämittaus sähköisesti. Mittaustulokset tallennettiin rakennusosastolla kehitetyllä data-loggerilla tavalliselle c-kasetille, josta ne siirrettiin tietokoneelle jatkokäsittelyä varten. Keskimäärin kustakin kuormitusportaasta, joita oli n. 25, mitattiin siirtymät 20 pisteessä. Kuvassa 5 on tyypillinen mitattu voima-siirtymäkäyrä.



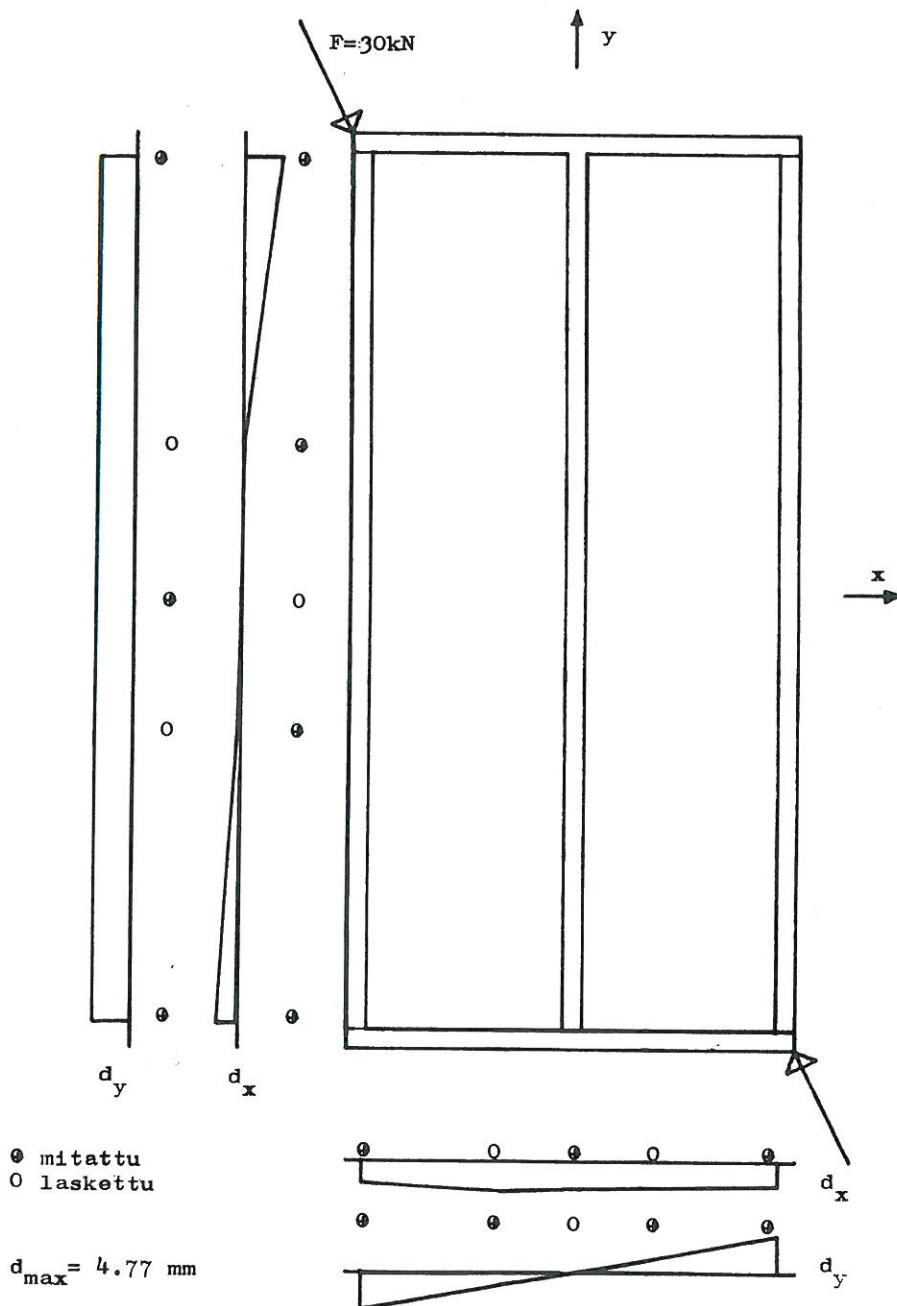
Kuva 4. Koejärjestely ja mittausanturien sijoitus /5/.



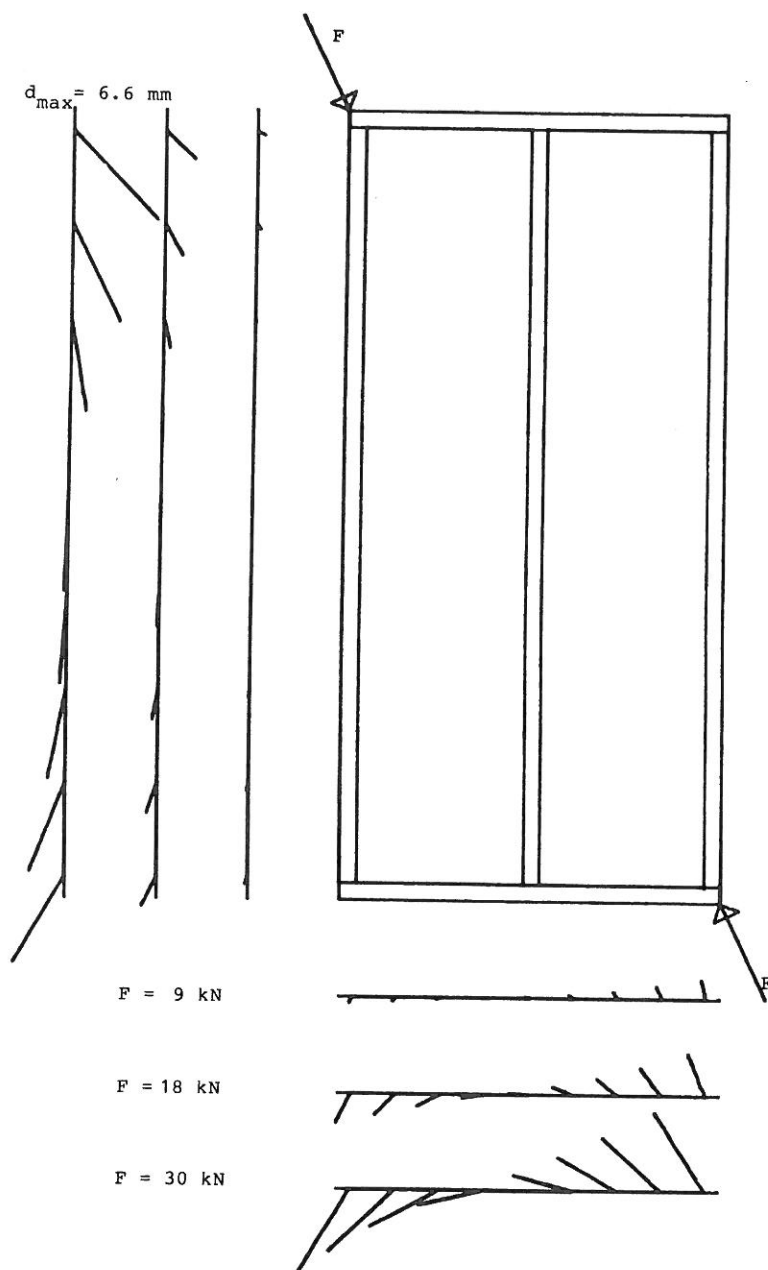
Kuva 5. Mitatut siirtymät. LL12.

TULOSTEN TARKASTELU

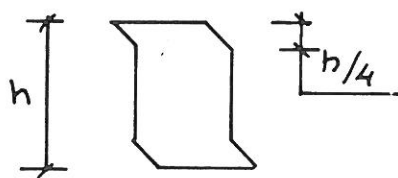
Olettamalla siirtymien muutoksen olevan mittapisteiden välillä lineaarisen saadaan kuvan 6a mukainen siirtymätila. Kuvassa esitetyt siirtymät on mitattu levyn ja rungon välisestä liitoksesta, joten ne ovat kuvan 2 mukaisesti tyyppiä b ja c. Kuormitustavasta johtuen ei kuvan 2a mukaisia siirtymiä esiintynyt. Kuvasta 6a voidaan havaita, että tyyppiä 2b oleva siirtymätila ei esiinny yhtä "puhtaana" kuin tyyppiä 2c oleva siirtymätila. Asia on helppo ymmärtää, kun ajattelee levyn keskellä olevan pystyjuoksun pakottavan ala- ja yläpaarteiden toimimaan oletetulla tavalla, sekä toisaalta ottamalla huomioon reunoilla olevien pystypuiden rajallisen taivutusjäykkyyden.



Kuva 6a. LL11 - LL13. Levyn reunan suuntaiset ja sitä vastaan kohtisuorat siirtymät. $F = 30 \text{ kN}$.



Kuva 6b. LL11 - LL12. Reunasiirtymät.



Kuva 7. Reunasiirtymien idealisointi.

Käyttämällä kuvan 6b reunasiirtymille kuvan 7 mukaista muodonmuutosotaksumaa voidaan kaavojen 3 ja 5 kertoimet β ja γ kirjoittaa muotoon

$$\beta_1 = 3\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{n} \frac{bN}{hQ}\right) + \frac{6}{3\left(\frac{h}{b}\right)^2 + \frac{7}{8}\left(\frac{h}{b}\right)^3} + \frac{6}{3\left(\frac{h}{b}\right) + 1} \quad \text{ja}$$

$$\gamma_1 = \sqrt{\left[3\left(\frac{h}{b}\right)\left(\frac{1}{n}\right) - \frac{bN}{hQ} + \frac{3\left(\frac{h}{b}\right)}{3\left(\frac{h}{b}\right) + 1} \right]^2 + \frac{11,75}{\left(3,43 + \frac{h}{b}\right)^2}}$$

Muutokset vaikuttavat kaavojen 3 ja 5 tuloksiin alle 2%.

Taulukoissa 2 ja 3 on esitetty suoritettujen kokeiden /5/ ja VTT:n suorittamien kokeiden /4/ tuloksia sekä kaavan 5 mukaisesti lasketut murtokuormat. Lisäksi on laskettu normien /2/ mukaisesti ($\delta=1,6$) "sallittu" kuormitus ($h/b=2$, $bN/hQ=1$) sekä varmuus "murtoon" nähden. Kaavan 5 antama laskennallinen murtokuorma sopii koetuloksiin riittävällä tarkkuudella, kun on kyse yksilevyisestä seinästä ja tasavälisestä naulauksesta. Jos naulausta on tiennetty nurkkien läheisyydessä, ei yhteensopivuus ole aivan samaa luokkaa. Sekä lastu- että puolikovalta kuitulevyllä on varmuus pienin tapauksissa, joissa levyjen lukumäärä on kolme.

Taulukko 2. Lastulevyn (10 mm) murtokuormat. /4/ ja /5/.

Tunnus	Elem. lkm.	liitos	c	lev. lkm.	Murtokuorma kN koe lask./1/	Q sall./2/ Q _d /1.6	varmuus	lähde
L4-L6	3	40x23g	150	1	8,5 9,5	2,9	2,9	/4/
LL8-LL10	3		200/100	1	11,8 9,5	2,9	4,0 ^x	/5/
LL5-LL7	3		150/ 75	1	14,0 13,3	3,9	3,6 ^x	/5/
LL1-LL4								
LL10-LL13	5		100	1	15,0 14,9	4,4	3,4	/5/
L13-L15	6		75	1	19,0 19,0	5,9	3,2	/4/
L1-L3	3	liima		1	17,0			/4/
L10-L12	3	40x23g	150	2	17,0 19,0	5,9	2,9	/4/
LL14-LL16	3		100	3	31,0 44,7	13,2	2,3	/5/

^xmurtokuormaa laskettaessa naulojen välinä (c) on käytetty keskiarvoa.

Taulukko 3. Puolikovan kuitulevyn murtokuormat. /4/ ja /5/.

Tunnus	levyn paks.	Elem. lkm.	liitos	c	lev. lkm.	Murtokuorma kN koe lask./1/	Q sall./2/ Q _d /1.6	varmuus	lähde
K1-K3	10mm	3	40x21k	150	1	5,9 7,4	1,8	3,3	/4/
KL7-KL9	9	3	40x21g	200/100	1	9,0 7,4	1,8	5,1 ^x	/5/
KL4-KL6	9	3	40x21g	150/ 75	1	11,6 9,9	2,4	4,9	/5/
KL1-KL3									
KL10-KL12	9	6	40x21g	100	1	12,2 11,1	2,7	4,6	/5/
K7-K9	10	3	40x21k	75	1	16,0 14,0	3,5	4,5	/4/
K13-K15	10	3	40x21g	75	1	18,0 14,0	3,5	5,1	/4/
K10-K12	10	3	liima		1	13,0			
KL13-KL15	9	3	40x21g	100	3	22,2 33,3	7,9	2,8	/5/

^xmurtokuormaa laskettaessa naulojen välinä (c) on käytetty keskiarvoa.

JOHTOPÄÄTÖS

Suoritetut kokeet ovat yksilevyisten elementtien osalta täydentäneet ja vahvistaneet aikaisemmin suoritettuja kokeita /4/. Useampilevyisissä tapauksissa olisi syytä suorittaa vielä lisätutkimuksia riittävän varmuuden saamiseksi siitä, mikä on näiden todellinen varmuustaso.

LÄHDELUETTELO

- [1] Rautakorpi, H., Leppänen, P., Kantavien levyseinien laskentaohjeita. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, rakenteiden mekaniikan laboratorio. Tiedonanto nr. 3, 1976.
- [2] Puurakenteiden suunnitteluohje 1978. RIL 120, SFS 4188.
- [3] Mäntyala, J., Rakennuslevyn ja puun välinen naulaliitos lyhytaikaisessa kuormituksessa. Helsingin teknillinen korkeakoulu, rakennusinsinööri-osasto, diplomityö 1974.
- [4] Korttesmaa, M., Kuitu- ja lastulevyseinä tuulijäykisteenä. Rakennusteollisuus, 1976.
- [5] Järvinen, H., Valmisteilla oleva diplomityö Helsingin teknillisen korkeakoulun rakennusinsinööriosastossa.

Heikki Järvinen, tekn.yo., Insinööritoimisto Magnus Malmberg Ky