

Markku Korttesmaa

Rakenteiden Mekaniikka, Vol. 15
No. 3, 1982, s. 9...22

YHTEENVETO: Artikkelissa tarkastellaan puisten lattiarakenteiden värähtelyilmiöitä, jotka ovat joskus haitallisia ja epämukavia. Eri ihmiset kokevat haitallisuuden ja epämukavuuden hyvin eri tavoin, joten tarkkojen rajojen antaminen rakenteiden suunnittelua varten on vaikeata. Viimeaikaisten tutkimusten perusteella on mitoitusrajaksi käyttötilan suhteen valittu pohjoismaissa suurin sallittu taipuma 1 kN:n pistekuormasta. Sallittu taipuma on jännevälistä riippumaton arvo. Edellä annettu mitoituskuorma ja sallittu taipumaraja vastaavat loogisesti todellista haitallista kuormitusta, koska epämukavuutta aiheuttava värähtely syntyy yleensä kävelystä. Artikkelissa annetaan laskentakaavat suurimman taipuman laskemiseksi, kun pistekuorma vaikuttaa kaikilta sivuiltaan tuetun laatan keskipisteessä. Taipumia laskettaessa laatta on oletettu ortotrooppiseksi, kaikilta reunoiltaan vapaasti tuetuksi yksiaukkoiseksi laataksi tai kaksiaukkoiseksi jatkuvaksi laataksi. Lisäksi on annettu laskentakaavat, joiden perusteella tarvittavat rakennekohtaiset jäykkyysvakiot voidaan laskea tavallisimmille tapauksille.

YLEISTÄ PUULATTIOIDEN MITOITUKSESTA

Puulattiat mitoitetaan eri maiden normien mukaan yleensä staattisille tasan jakautuneille pintakuormille sekä pistemäisille kuormille. Pohjoismaissa on yleisesti käytössä rajatiloihin perustuvat mitoitusmenetelmät. Muualla puurakenteet mitoitetaan tavallisesti sallittujen jännitysten menetelmällä. Normeissa ei ole annettu ohjeita lattioihin vaikuttavista dynaamisista voimista. Myöskään mitoitusmenetelmiä dynaamisille voimille ei ole annettu. Tavallisesti normeissa on yleinen maininta siitä, että rakenteessa ei saa esiintyä haitallisia värähtelyjä tai että värähtelyistä ei saa olla haittaa asukkaille.

Normeissa on esitetty myös vaatimukset rakenteen taipumille, jotka annetaan tavallisesti tiettyinä suhteina jännevälistä. Myös jännevälistä riippumattomia taipumarajoja esiintyy. Em. vaatimuksilla on tarkoitus turvata lähinnä rakenteen esteettisyys sekä välttää lattian notkuminen tai haitalliset värähtelyt. Koska taipuma määrää yleensä lattiarakenteen dimensiot, riippuu mitoituksen lopputulos käytetystä kimmokertoimesta, sallitusta taipumasta ja kuormituksesta, jolla taipuma lasketaan. Vertailtaessa eri normien sallittuja taipuman arvoja, tulee erityisesti kiinnittää huomiota kuormitukseen, jolla taipuma lasketaan.

Puulattioiden toimintaan on viime aikoina kiinnitetty runsaasti huomiota etenkin pohjoismaissa. Puulattioissa on esiintynyt häiritsevää värähtelyä tai notkumista, vaikka rakenteet on mitoitettu normien mukaan. Lattian värähtelyistä ja notkumisesta on todettu olevan mm. seuraavia haittoja:

- levossa olevien ihmisten häiriintyminen toisten kävelyn aiheuttamasta lattian tärinästä
- pöydillä tai kaapeissa olevien astioiden tai esineiden kilinä
- ikkunoiden helinä
- levysoittimen toimintahäiriöt
- notkuvan lattian aiheuttama turvattomuuden tunne
- kävelystä syntyvät äänet (narina, kopina).

Lattiarakenteiden suunnittelussa tulee edellä kerrotun lisäksi ottaa huomioon ääneneristykseen ja palonkestävyyteen liittyvät tekijät. Lämmön- ja kosteudeneristykseen liittyvät kysymykset tulevat esiin lähinnä alapohjien suunnittelussa.

VÄLI- JA ALAPOHJIEN KUORMITUKSET

Yleistä

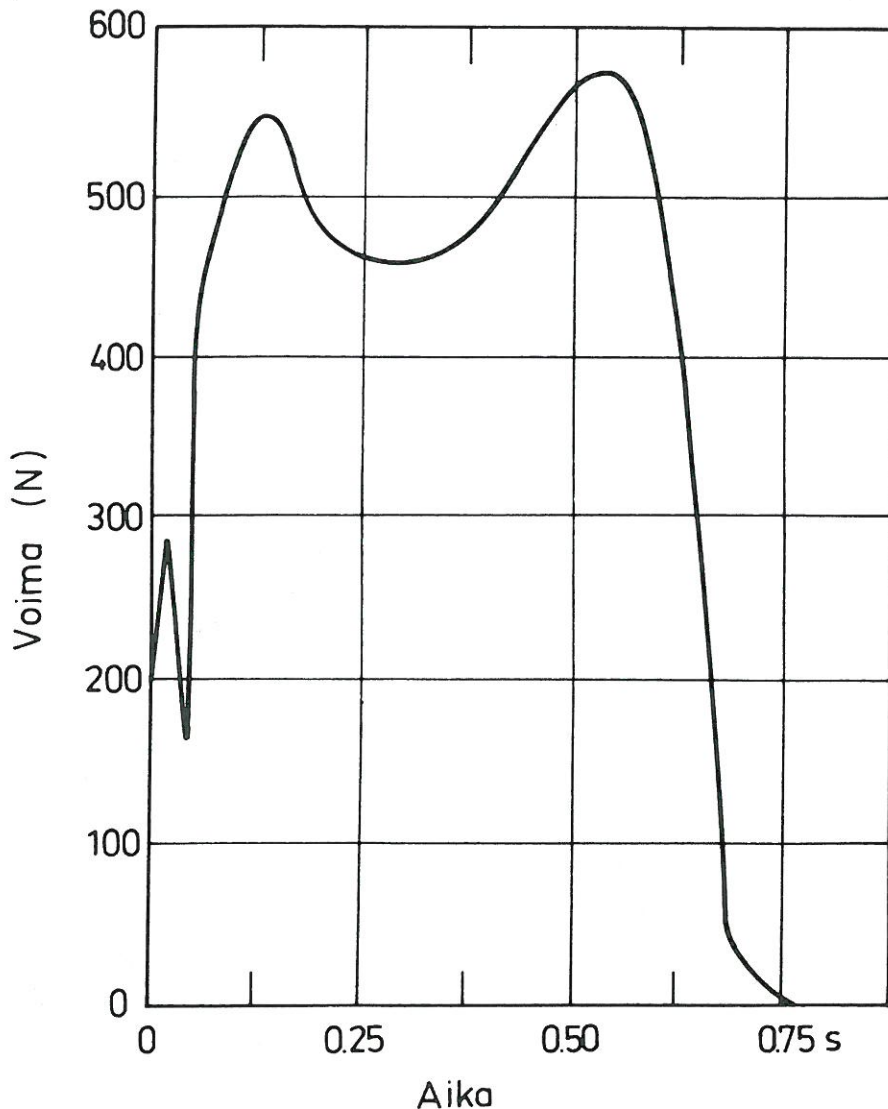
Lattian kuormitus riippuu suuresti kyseisen tilan käyttötavasta. Hyötykuorman vaihtelualue voi olla $1,5 \dots 10,0 \text{ kN/m}^2$ käyttötavasta riippuen. Normeissa hyötykuormat on annettu tasan jakautuneena staattisena kuormana, jossa on osa kiinteää ja osa liikkuvaa kuormaa. Tämän lisäksi lattiat tarkistetaan pistekuormille, joiden suuruus riippuu myös tilan käyttötavasta.

Käytännössä lattian kuormitukset voivat vaihdella esim. asuinhuoneissa suuresti ja ne voivat olla myös dynaamisia vaikutustavaltaan. Lattian kuormitus on harvoin tasan jakautunut, vaan se koostuu useista erilaisista pistemäisistä kuormista, joiden sijainti ja suuruus voi vaihdella. Seuraavassa on annettu muutamia esimerkkejä poikkeuksellisen suurista asuinrakennusten lattiaan kohdistuvista pistemäisistä kuormista:

- painava henkilö kantaa painavaa taakkaa $1,6 \dots 1,8 \text{ kN}$
- ihmisiä täynnä oleva sohva $1,4 \dots 1,6 \text{ kN}$
- painoa kuljettavan kärryn pyöräkuorma $1,1 \dots 1,6 \text{ kN}$
- kirjahyllyn jalka $1,5 \dots 2,0 \text{ kN}$.

Asuinrakennuksissa dynaamisia kuormituksia aiheuttavat lähinnä ihmiset tai kotitalouskoneet, joista aiheutuvat rasitukset lattiarakenteisiin ovat niin pieniä, ettei sillä ole käytännön merkitystä rakenteen kantavuutta mitoitettaessa. Esimerkiksi kävelystä aiheutuvan voiman maksimi-arvo on likimain sama kuin ihmisen paino. Pesukoneen linkoamisesta aiheutuvat rasitukset lattiarakenteisiin lienevät jossain määrin suuremmat. Em. rasituksilla ei ole käytännön merkitystä rakenteen murtumisen tai tavanomaisten taipumien kannalta, vaan em. toiminnot aiheuttavat lattiarakenteisiin värähtelyä ja ääntä.

Tärkein kuormitus, joka voi aiheuttaa asuinrakennusten lattiarakenteisiin haitalliseksi koettua notkumista, on ihmisen kävely. Tavallisessa kävelyssä (100...120 askelta minuutissa) jalan aiheuttama voima-aikakuviot on keskimäärin kuvan 1 mukainen. Henkilön paino on keskimäärin jossain huippujen ja laakson välillä. Keveiltä henkilöiltä syntyvä voima-aikakuvion huiput ovat keskimääräistä korkeammat henkilön painoon nähden. Painavilla henkilöillä taas voimahuipun ja henkilön painon suhde on keskimääräistä pienempi.



Kuva 1. Jalan aiheuttama voima-aikakuviot.
Henkilön massa on 53 kg (530 N).

Juostessa syntyvä voima-aikakäyrä on yksihiippuinen ja suurin arvo on suuruusluokkaa $1,3 \times$ henkilön paino. Askeltiheys on n. 200 askelta minuutissa.

Eri maiden normien taipumavaatimukset

Koska taipumilla on tärkein merkitys tarkasteltaessa puulattioiden toimivuutta arvioitaessa, esitetään taulukossa 1 muutamien maiden normien mukaisia taipumavaatimuksia.

Taulukko 1. Taipumavaatimukset eri maiden normien mukaan.

	Kuormitus	Sallittu taipuma	Puun kimmokerroin T30 (MPa)
ENGLANTI	P + 1,5 kN/m ² 1) 1,5 kN/m ²	1/333 1/333	6900 2) 6900
SAKSA	P + 2,0 kN/m ²	1/300	10000
NORJA	1 kN 3)	0,9 mm	10800 4)
TANSKA	1 kN 3)	0,9 mm	12600 4)
RUOTSI	1 kN 3)	0,5 mm	11700 5)
SUOMI	P + 1,5 kN/m ²	1/300	7000

P on pysyvä kuorma

- 1) jos lattialle annetaan esikorotus pysyväälle kuormalle
- 2) dry European spruce-puulaji
- 3) pistekuorma mielivaltaisella kohdalla
- 4) hetkellinen kuormitus
- 5) poikkeuksellinen kuormitus

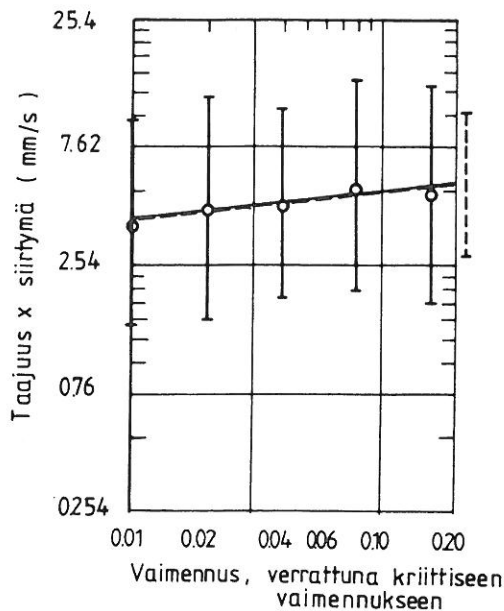
IHMISEN REAGINTI VÄRÄHTELYIHIN

Viimeisen viidenkymmenen vuoden aikana on tehty lukuisia kokeita, joiden päämääränä on ollut selvittää kussakin ympäristössä soveliaat rajat sallittaville värähtelyille. Esimerkkinä tällaisten tutkimusten tuloksista on kuvan 2 käyrästä. Tässä kokeessa koehenkilö joutui erilaisiin värähdysliikkeisiin, jotka koehenkilön piti arvioida kuuluvan johonkin seuraavista luokista:

- Kiusallinen. Koehenkilön keskittyminen on mahdotonta ja hän keskeyttää työnsä.

- Häiritsevä - kiusallinen. Koehenkilö ei osaa päättää, onko värähtely häiritsevää vai kiusallista.
- Häiritsevä. Koehenkilö kiinnittää hetkeksi huomionsa ja värähtely häiritsee hetkellisesti keskittymistä.
- Havaittava - häiritsevä. Koehenkilö ei osaa päättää, onko värähtely havaittavaa vai häiritsevää.
- Havaittava. Koehenkilö voi tuntea värähtelyn, mutta hän ei kiinnitä siihen huomiota eikä hänen keskittymiskykynsä heikkene.

Edelleen on yleisesti huomattu, että jos värähtely vaimenee viiden värähdyskerran jälkeen pieneksi (= 0,025 mm tai 10 % alkuperäisestä), niin ihmiset kokevat vain ensimmäisen amplitudin, ja jos värähtely toistuu vaimentumattomana



Kuva 2. Koetuloksia Wiss-Parmaleen tutkimuksesta. Koetulokset vastaavat luokkaa "voimakkaasti havaittava".

yli 12 kertaa, ihmiset kokevat värähtelyn jatkuvana. Kuten kuvasta 2 huomataan, on koetuloksilla ja samoin ihmisten kokemistavalla suuri hajonta, joten tarkkojen rajojen vetäminen on usein melko mielivaltaista. Käytännössä riittää siis kriteeriksi pelkän lattian taipuman arviointi, koska puulattioiden vaimeneminen on aina samaa suuruusluokkaa kuten ominaistajuuudetkin sillä tarkkuudella, että poikkeamat sopivat hajontojen puitteisiin (kuva 2).

PISTEKUORMAN AIHEUTTAMA TAIPUMA

Yleistä

Seuraavassa tarkastelussa oletetaan lattiarakenne reunoiltaan vapaasti tuetuksi moniaukkoiseksi jatkuvaksi laatastoksi. Käytännössä puulattia on aina ortotrooppinen, joten seuraavassa tarkastelussa lasketaan rakenteen taipumat ortotrooppiselle laatastolle.

Differentiaaliyhtälö ja sen ratkaisu

Lähtökohtana on tuttu ortotrooppisen laatan differentiaaliyhtälö

$$D_x \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2D_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2 \partial y^2} + D_y \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = p(x, y) \quad (1)$$

Ratkaistaan aluksi yhtälö (1), kun laatan kaikki reunat ovat vapaasti tuetut. Tällöin ovat matemaattiset reunaehdot (kuva 3):

$$w(0,y) = w(a,y) = 0$$

$$w(x,0) = w(x,b) = 0$$

$$\left. \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right|_{x=0} = \left. \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right|_{x=a} = 0$$

$$\left. \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right|_{y=0} = \left. \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right|_{y=b} = 0.$$

Laatan keskipisteeseen vaikuttavasta pistekuormasta saadaan laatan keskipisteeseen taipumaksi ($c=d=0$, $u=a/2$, $v=b/2$ ja $F=4cdp$)

$$w = \frac{F}{D_y a} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{1}{r_1^2 - r_2^2} \left[\frac{\tanh r_2 b/2}{r_2} - \frac{\tanh r_1 b/2}{r_1} \right]. \quad (2)$$

Edellä olevassa kaavassa on käytetty lyhennysmerkintöjä

$$r_1 = \alpha_n \sqrt{\frac{D_{xy}}{D_y}} \sqrt{1 + \sqrt{1 - \frac{D_x D_y}{D_{xy}^2}}} \quad \text{ja} \quad (3)$$

$$r_2 = \alpha_n \sqrt{\frac{D_{xy}}{D_y}} \sqrt{1 - \sqrt{1 - \frac{D_x D_y}{D_{xy}^2}}},$$

jossa

$$\alpha_n = \frac{n\pi}{a}.$$

Jos jatkuvassa laatastossa on useampia kuin kaksi aukkoa, eivät uloimman aukon jännevälillä keskipisteen taipumat yleensä poikkea oleellisesti kaksiaukkoisen jatkuvan laatan aukon keskipisteen taipumasta. Tästä syystä riittää kaksiaukkoisen laatan taipuman tarkastelu.

Kaksiaukkoisen jatkuvan laatan toisen aukon keskipisteen taipumaksi saadaan siten

$$w = \frac{F}{D_y a} \sum_{n=1,3,\dots}^{\infty} \frac{1}{r_1^2 - r_2^2} \left[\frac{\tanh r_2 b/2}{r_2} - \frac{\tanh r_1 b/2}{r_1} \right] - \frac{\left(\frac{1}{\cosh r_1 b/2} - \frac{1}{\cosh r_2 b/2} \right)}{2(r_1(\coth r_1 b + \coth r_1 ab) - r_2(\coth r_2 b + \coth r_2 ab))}. \quad (4)$$

Edellä olevassa kaavassa kuormittamattoman aukon pituus = ab .

Tämän taipuman lauseke pätee sellaisenaan, kun r_1 ja r_2 ovat reaalisia ($D_{xy}^2 > D_x D_y$). Jos r_1 ja r_2 ovat kompleksisia lukuja ($D_{xy}^2 < D_x D_y$), niin edellä olevasta kaavasta saadaan, kun sijoitetaan

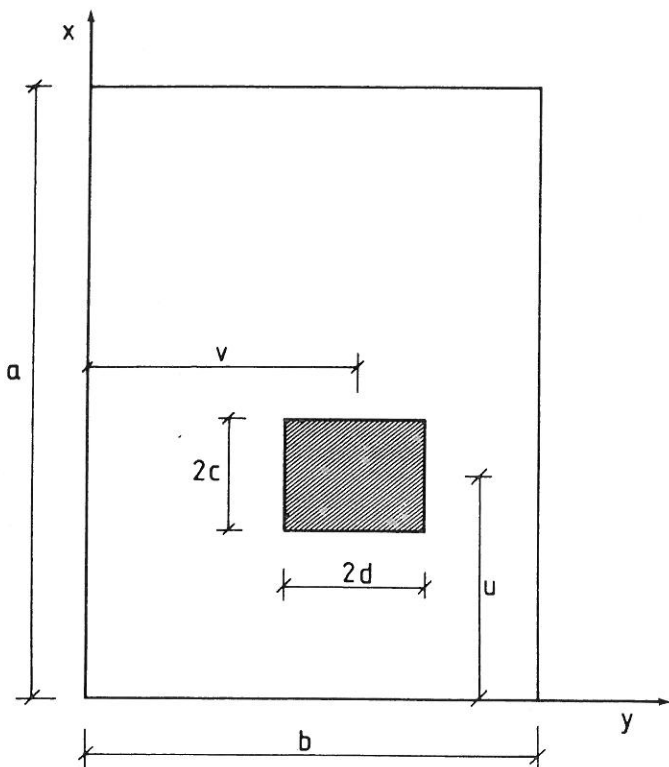
$$r_1 = u + iv ; \quad u = \alpha_n \sqrt{\frac{D_{xy}}{2D_y}} \sqrt{\frac{D_x D_y}{D_{xy}} + 1}$$

$$r_2 = u - iv ; \quad v = \alpha_n \sqrt{\frac{D_{xy}}{2D_y}} \sqrt{\frac{D_x D_y}{D_{xy}} - 1}$$

(i on imaginaariyksikkö) taipumaksi

$$w = \frac{F}{2D_y a} \sum_{n=1,3,\dots}^{\infty} \frac{v \sinh u b - u \sin v b}{u v (u^2 + v^2) (\cosh u b + \cos v b)} - \frac{(\cosh u b - 1) \sin^2 v b / 2}{(\cosh u b + \cos v b)^2 u v} \left[\frac{1}{\frac{u \sin 2 v b - v \sinh 2 u b}{\cosh 2 u b - \cos 2 v b} + \frac{u \sinh 2 v a b - v \sinh 2 u a b}{\cosh 2 u a b - \cos 2 v a b}} \right] \quad (5)$$

Tästä saadaan helposti kolmas mahdollinen tapaus, jossa $r_1 = r_2$, kun annetaan v :n lähestyä nollaa. Kun v on pieni, on $\sin v b \approx v b$, $\cos v b \approx 1$, $\sinh v b \approx v b$, $\cosh v b \approx 1$ jne.



Kuva 3. Koordinaatiston valinta ja merkinnät laatan differentiaaliyhtälön ratkaisussa.

Tällöin saadaan taipumaksi

$$w = \frac{F}{2D_y a} \left\{ \sum_{n=1,3,\dots} \frac{v(\sinh u b - u b)}{u v u^2 (\cosh u b + 1)} - \frac{(\cosh u b - 1) \frac{v^2 b^2}{4}}{(\cosh u b + 1)^2 u v} \right. \\ \left. + \frac{1}{\frac{u \cdot 2 v b - v \sinh 2 u b}{\cosh 2 u b - 1} + \frac{u \cdot 2 v a b - \sinh 2 u a b}{\cosh 2 u a b - 1}} \right\}.$$

Kun v supistetaan pois, niin saadaan pistekuorman aiheuttamaksi taipumaksi

$$w = \frac{F}{2D_y a} \left\{ \sum_{n=1,3,\dots}^{\infty} \frac{\sinh u b - u b}{u^3 (\cosh u b + 1)} - \frac{(\cosh u b - 1) b^2}{4 u (\cosh u b + 1)^2} \right. \\ \left. + \frac{1}{\frac{2 u b - \sinh 2 u b}{\cosh 2 u b - 1} + \frac{2 u a b - \sinh 2 u a b}{\cosh 2 u a b - 1}} \right\}, \quad (6)$$

jossa

$$u = \alpha_n \frac{\sqrt{D_{xy}}}{D_y}.$$

Edellä olevasta saadaan isotrooppisen tapauksen ratkaisu, kun $D_{xy} = D_y = D_x = D$, jolloin $u = \alpha_n$. Isotrooppisen laatan taipuma on

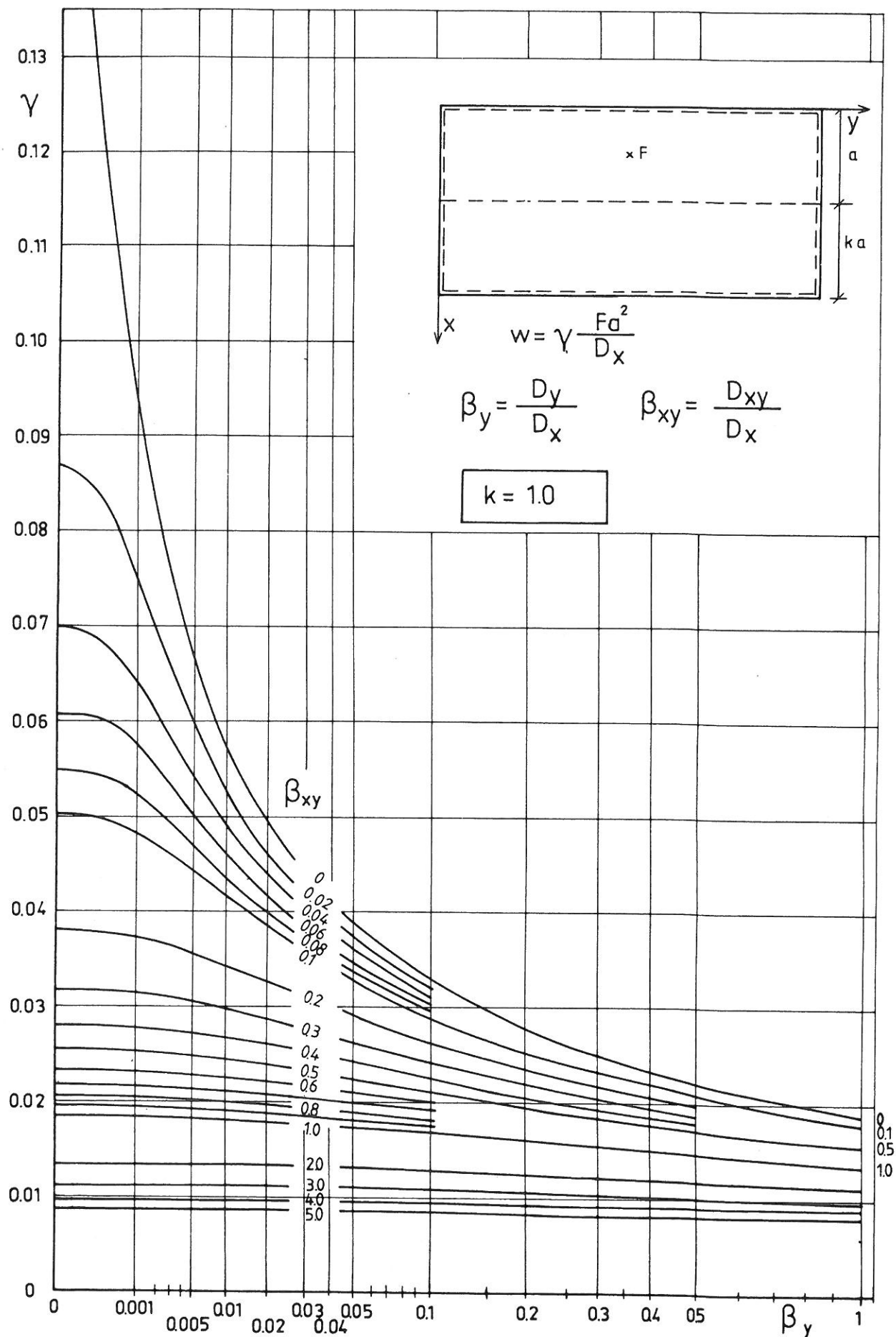
$$w = \frac{F}{2D a} \sum_{n=1,3,\dots}^{\infty} \frac{\sinh \alpha_n b - \alpha_n b}{\alpha_n^3 (\cosh \alpha_n b + 1)} - \frac{(\cosh \alpha_n b - 1) b^2}{4 \alpha_n (\cosh \alpha_n b + 1)^2} \\ + \frac{1}{\frac{2 \alpha_n b - \sinh 2 \alpha_n b}{\cosh 2 \alpha_n b - 1} + \frac{2 \alpha_n a - \sinh 2 \alpha_n a}{\cosh 2 \alpha_n a - 1}} \left. \right\}. \quad (7)$$

Esimerkki kaavojen (4), (5) ja (6) tuloksista on piirretty graafisesti kuvaan 4.

ORTOTROOPPISEN LAATAN JÄYKKYYSVAKIOT

Puulattioiden rakenteista voidaan erottaa neljä eri perustapaa:

- arina (kuva 5)
- palkkilattia (kuva 6a)
- ripalaatta (kuva 6b)
- kotelo, jota ei tässä yhteydessä käsitellä.

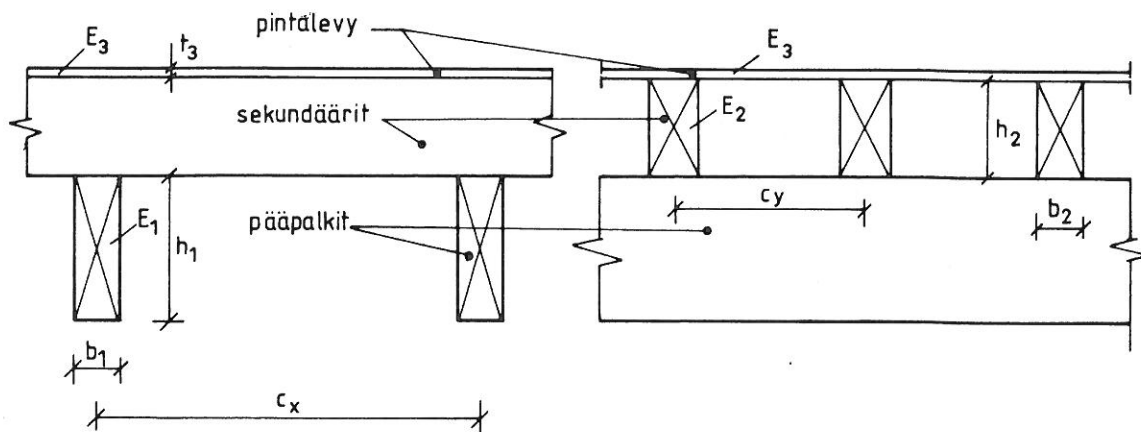


Kuva 4. Laatan taipuman laskemista varten tarvittava kerroin γ .

Näistä kolme viimeistä voivat olla rakenneosiltaan samanlaisia. Eroavuudet johtuvat levyjen kiinnityksistä palkkeihin. Palkkilattiassa pintalevy ja mahdollinen alalevy ovat vain naulatut (ruuvatut) palkkeihin; ripaläätassa pintalevy on liimaruuvattu (-naulattu) palkkeihin ja alalevy on vain naulattu; kotelossa on sekä ylä- että alalevyt kiinnitetyt liimaruuvauksella (-naulauksella) palkkeihin.

Arina

Arinassa pääpalkkien päälle on naulattu sekundaärripalkit, joiden päälle naulataan pintalevy (kuva 5).



Kuva 5. Arinalattian rakenne.

Tällaisen lattiarakenteen jäykkyydvakiot ovat kuvan 5 merkintöjä käyttäen:

$$D_x = \frac{1}{c_x} \cdot E_1 \cdot \frac{b_1 h_1^3}{12} + E_3 \frac{t_3^3}{12},$$

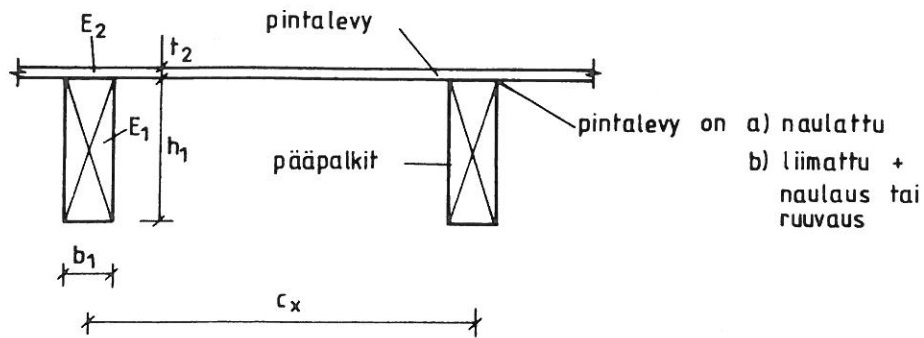
$$D_y = \frac{1}{c_y} \cdot E_2 \cdot \frac{b_2 h_2^3}{12} + E_3 \frac{t_3^3}{12} \text{ ja}$$

$$D_{xy} \approx 0.$$

Laatan vääntöjäykkyys voidaan jättää tarkastelusta pois, koska se on merkityksettömän pieni.

Palkkilattia

Palkkilattiassa pintalevy tai pintalaudat on naulattu palkkeihin kiinni, jolloin ne eivät voimi staattisesti yhdessä (kuva 6a).



Kuva 6 . Palkkilattian (a) ja ripalaatan (b) rakenne.

Lattiarakenteen jäykkyyssvakiot ovat tällöin kuvan 6a merkinnöillä:

$$D_x = \frac{1}{c_x} E_1 \frac{b_1 h_1^3}{12} + E_2 \frac{t_2^3}{12} ,$$

$$D_y = E_2 \frac{t_2^3}{12} \text{ ja}$$

$$D_{xy} = 0 .$$

Mikäli pintalevyn sijasta käytetään esim. ponttilautaa, lasketaan jäykkyys D_x kaavasta

$$D_x = \frac{1}{c_x} E_1 \frac{b_1 h_1^3}{12} .$$

Ripalaatta

Ripalaatassa on pintalevy liimattu palkkeihin, jolloin levy toimii staattisesti palkkien kanssa yhdessä (kuva 6b). Jäykkyyssvakiot voidaan tällöin laskea seuraavasti. Pintalevyn toimiva leveys b_{ef} on

$$b_{ef} = \min \begin{cases} \frac{1}{3} a & ; a \text{ on jännemitta} \\ 30t_2 \\ c_x \end{cases}$$

ja T-poikkileikkauksen painopiste levyn yläpinnasta

$$y_{pp} = \frac{\alpha b_{ef} t_2 \frac{t_2}{2} + b_1 h_1 (t_2 + \frac{h_1}{2})}{\alpha b_{ef} t_2 + b_1 h_1} ; \quad \alpha = \frac{E_2}{E_1} .$$

Näiden suureiden avulla saadaan

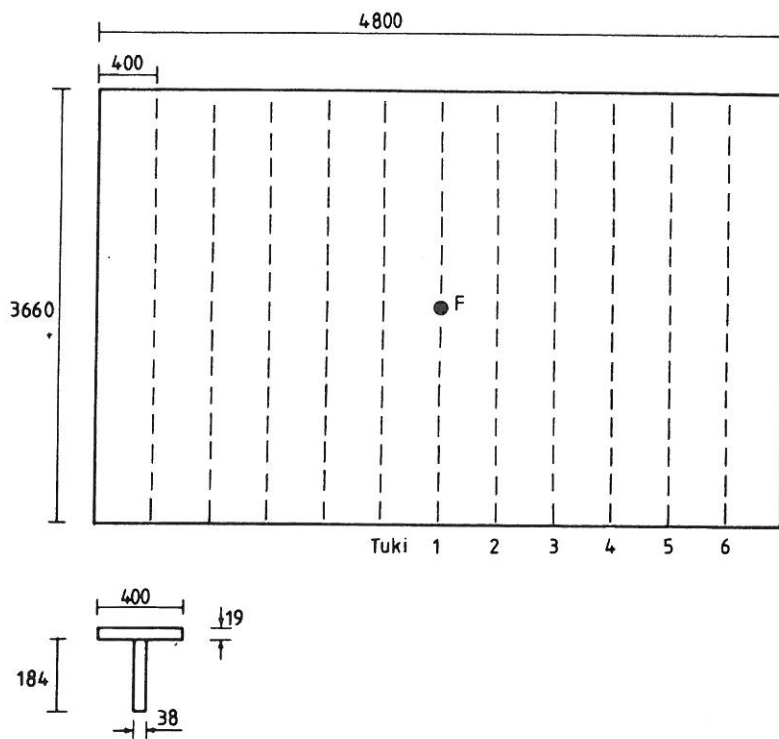
$$D_x = \frac{1}{c_x} E_1 \left[\frac{b_1 h_1^3}{12} + b_1 h_1 \left(t_2 + \frac{h_2}{2} - y_{pp} \right)^2 + \alpha_{b_{ef}} \frac{t_2^3}{12} + \alpha_{b_{ef}} t_2 \left(y_{pp} - \frac{t_2}{2} \right)^2 \right],$$

$$D_y = E_2 \frac{t_2^3}{12},$$

$$D_{xy} = 0.$$

NUMEROESIMERKKI

Tarkastellaan kuvan 7 mukaista rakennetta, jonka mitat ja materiaalivakiot ilmenevät myös kuvasta 7. Tällöin saadaan kuvan 4 apusuureiksi seuraavat arvot, kun rakennetta käsitellään ripalaattana ja oletetaan laskujen yksinkertaistamiseksi, että palkin ja laatan välinen liitos on täysin jäykkä, esim. liimanaulaus.



$$P = 1330 \text{ N}$$

$$E_{\text{levy}} \parallel = 13800 \text{ MN/m}^2$$

$$E_{\text{levy}} \perp = 6900 \text{ MN/m}^2$$

$$E_{\text{puu}} = 13800 \text{ MN/m}^2$$

Kuva 7. Analysoidun lattiarakenteen kuormat, mitat ja kimmoarvot sekä arinarakenteena lasketun rakenteen tukiin vaikuttavat voimat.

Pintalevyn toimiva leveys

$$b_{ef} = \min \begin{cases} 3660/3 = 1220 \text{ mm} \\ 30 \cdot 19 = 570 \text{ mm} \\ = \underline{400 \text{ mm}} . \end{cases}$$

T-poikkileikkauksen painopiste levyn yläpinnasta

$$y_{pp} = \frac{400 \cdot 19 \cdot \frac{19}{2} + 38 \cdot 184 (19 + \frac{184}{2})}{400 \cdot 19 + 38 \cdot 184} = \underline{58,135 \text{ mm}} .$$

Jäykkyysvakiot

$$D_x = \frac{13800}{400} \left(\frac{38 \cdot 184^3}{12} + 38 \cdot 184 \left(19 + \frac{184}{2} - 58,135 \right)^2 \right. \\ \left. + 400 \frac{19^3}{12} + 400 \cdot 19 \left(58,135 - \frac{19}{2} \right)^2 \right) = \underline{1,983 \cdot 10^9 \text{ Nmm}} ,$$

$$D_y = 6900 \frac{19^3}{12} = \underline{3,944 \cdot 10^6 \text{ Nmm}} ,$$

$$D_{xy} = 0 .$$

Jäykkyysien suhteet eli β -kertoimet ovat tällöin

$$\beta_{xy} = \frac{D_{xy}}{D_x} = 0 \quad \text{ja}$$

$$\beta_y = \frac{D_y}{D_x} = \frac{3,944 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{1,983 \cdot 10^9 \text{ Nmm}} = 0,002 .$$

Yksiaukkoisen laatan tapauksessa saadaan /1/:sta $\gamma = 0,12$ ja jatkuvan laatan tapauksessa kuvasta 4 $\gamma = 0,08$. Nyt saadaan lattian keskipisteen taipumiksi:

$$w_1 = 0,12 \frac{1330 \text{ N } 3660^2 \text{ mm}^2}{1,983 \cdot 10^9 \text{ Nmm}} = 1,08 \text{ mm} \quad (\text{yksiaukkoinen tapaus}) \quad \text{ja}$$

$$w_2 = 0,08 \frac{1330 \text{ N } 3660^2 \text{ mm}^2}{1,983 \cdot 10^9 \text{ Nmm}} = 0,72 \text{ mm} \quad (\text{jatkuva lattia}) .$$

Vertailujen helpottamiseksi mainittakoon, että lattian taipuma olisi yksiaukkoisessa tapauksessa $w = 5,06 \text{ mm}$, jos ainoastaan yksi ripa ottaa koko kuorman.

KIRJALLISUUTTA

- [1] Puurakenteisen ala- ja välipohjan toimintavaatimukset ja rakenneratkaisut. Luonnos 1981. VTT, rakennetekniikan laboratorio.

Markku Kortesmaa, dipl.ins., Valtion teknillinen tutkimuskeskus, rakennetekniikan laboratorio.