

PUUN ORTOTROPIA VAURIOIDEN AIHEUTTAJANA

Markku Korttesmaa

Rakenteiden mekaniikka, Vol. 40
No. 2, 2007, s. 40-47

TIIVISTELMÄ

Puu on ortotrooppinen materiaali, mikä on otettava huomioon rakennesuunnittelussa. Leikkaus-lujuus ja varsinkin vetolujuus syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa on pieni syiden suuntaiseen veto- ja taivutuslujuuteen verrattuna. Myös kosteusmuodonmuutokset ovat suuria syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa verrattuna muodonmuutokseen syiden suunnassa. Tästä johtuen on vältettävä kuormia, jotka aiheuttavat vetorasituksia syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa ja on lisäksi huolehdittava siitä, että kosteusmuodonmuutokset, erityisesti kutistuminen, saa vapaasti tapahtua.

VAURIOIDEN SYITÄ

Taulukossa 1 on esitetty tiedossa olevat puurakenteiden primääriset vauriosyyt vuosilta 1980-2003. Monissa tapauksissa on ollut myös muita puutteita. Taulukkoon on valittu kaikkien keskeisin syy.

Taulukosta 1 huomataan, että vaurion syistä kolmannes on stabiiliuden menettämisiä, kolmannes sisäkattojen putoamisia ja kolmannes muita syitä.

	lukumäärä	Huomautuksia
Stabiiliuden menettäminen (puutteet jäykistyksessä ja nurjahdustuennassa)	11	yleensä toteutusvirhe
Sisäkattojen putoaminen (naulojen tartuntalujuus)	9	usein suunnitteluvirhe ja kuormien ylittyminen
Liimapuun taivutusmurto - alhainen lujuus, syy tunnettu	2	lahoaminen, hiiltymisen syy jätetty selvittämättä
- alhainen lujuus, syy tuntematon	3	
Muu suunnitteluvirhe (sisältää suunnittelun puuttumisen)	4	sisältää korjausrakentamisen; muutosten vaikutukset jätetty huomiotta
Muu valmistusvirhe	1	mekaaninen liitos
yhteensä	30	

Taulukko 1. Suomalaisten puurakenteiden vaurioiden primääriset syyt, 1980-2003 /1/.

PUUN LUJUUSOMINAISUUKSIA

Puu on ortotrooppinen materiaali, mikä on otettava huomioon rakennesuunnittelussa. Leikkauslujuus ja varsinkin veto syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa on pieni syiden suuntaiseen vetolujuus ja taivutuslujuuteen verrattuna. Myös kosteusmuodonmuutokset ovat suuria syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa verrattuna muodonmuutokseen syiden suunnassa. Niinpä esimerkiksi on vältettävä kuormia, jotka aiheuttavat vetorasituksia syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa ja on huolehdittava, että kosteusmuodonmuutokset, erityisesti kutistuminen saa vapaasti tapahtua. Taulukossa 2 on annettu liimapuun lujuusluokan GL32c suunnittelu-arvoja. Suhteelliset arvot kuvaavat, kuinka erilaisia syitä vastaan kohtisuoran suunnan arvot ovat verrattuna syiden suuntaisiin arvoihin. Seuraavilla sivuilla on annettu tarkempia ohjeita ja varottavia esimerkkejä.

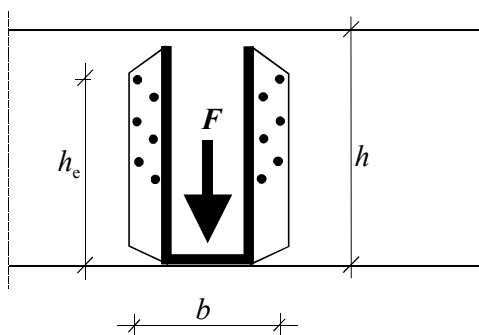
	Arvo		Suhteellinen arvo	
	Syiden suuntaan	Kohtisuorasti	Syiden suuntaan	Kohtisuorasti
Taivutuslujuus	32	-		
Puristuslujuus	26,5	3,0	100	11
Vetolujuus	19,5	0,45	100	2
Leikkauslujuus	3.2	-	-	-
Kimmokerroin keskiarvo	13700	420	100	3
Kosteusmuodonmuutos metrin matkalla, kun puun kosteus muuttuu 10%	1 mm	15 mm	100	1500

Taulukko 2. Liimapuun GL32c /2/ lujuuksia ja kimmokertoimia syitä syiden suuntaan ja syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa sekä kosteusmuodonmuutos, kun puun kosteus muuttuu 10%

Koska puun vetolujuus syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa on pieni, niin seuraavassa tarkastellaan vain tapauksia, joissa siihen kiinnitettävä erityistä huomiota.

RIPUSTUSLIITOKSET

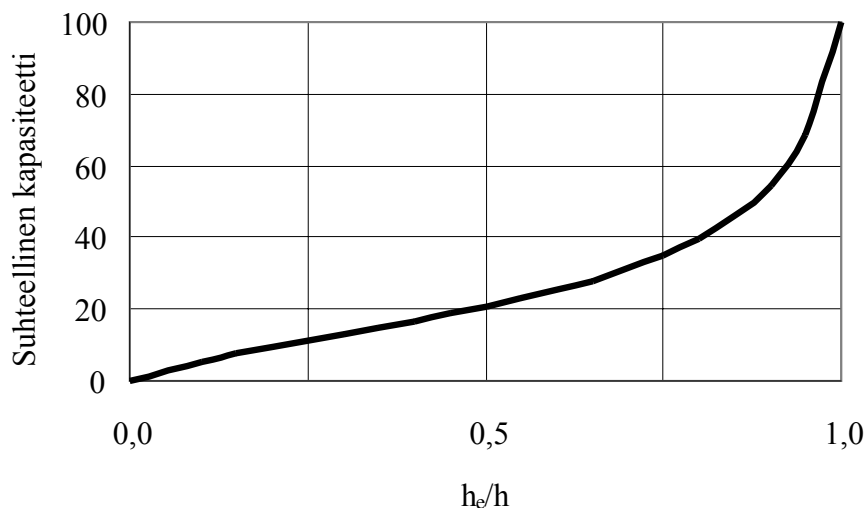
Kun liimapuupalkin kylkiin tulee ripustuskuormia, veto syitä vastaan kohtisuorasti tulee ottaa huomioon. Oleellista on se, mihin kohtaan palkin korkeussuunnassa ripustus kiinnittyy. Ripustus kannattaa kiinnittää mahdollisimman ylös. Kuvassa 1 on annettu kokeellinen laskentakaava /3/, jolla ripustuksen kapasiteetti voidaan laskea. Kapasiteettiin vaikuttaa palkin leveyden lisäksi ripustuksen ylimmän liittimen etäisyyden h_e ja palkin korkeuden h suhde.



$$R_{90,k} = 14b \sqrt{\frac{h_e}{\left(1 - \frac{h_e}{h}\right)}} \quad (1)$$

Kuva 1. Ripustusliitoksen kapasiteetti

Edellä oleva laskentakapasiteetti on annettu graafisesti kuvassa 2, jossa kapasiteetti on normeerattu arvoon 100, kun ripustus tehdään palkin yläreunasta.



Kuva 2. Ripustusliitoksen suhteellinen kapasiteetti ripustuskorkeuden h_e ja palkin korkeuden h suhteena, kun liitosalueen leveys $b=100$ mm.

Ripustuskapasiteettiin vaikuttaa ripustuskorkeuden lisäksi ripustusalueen leveys. jos leveys on suurempi kuin 100 mm, niin kapasiteetti ei enää kasva lineaarisesti ripustusleveyden funktiona. Tulos on esitetty graafisesti kuvassa 3.

Kuvassa 4 on annettu esimerkkejä liitoksista, joissa on puun halkeiluvaara syitä vastaan kohtisuoran vetorasituksen vuoksi /4/

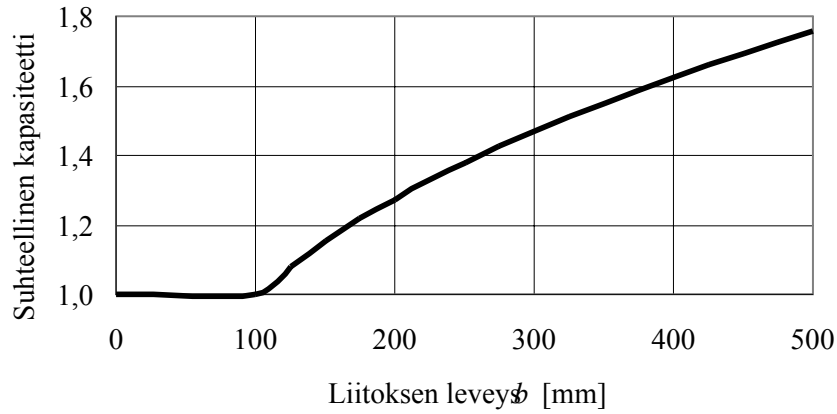
PALKIN LOVEUS

Jos puupalkkiin tehdään lovi sen alareunaan tuen lähelle, menettää puupalkki kantavuudestaan oleellisen osan. Tätä käsitellään tavallisesti leikkauskapasiteetin pienenemisenä, vaikka todellisuudessa kysymys on enemmänkin syitä vastaan kohtisuoran vetojännityksen vaikutuksesta. Kuvassa 5 on esitetty leikkauskapasiteettiin oleellisesti vaikuttavat tekijät, joita ovat

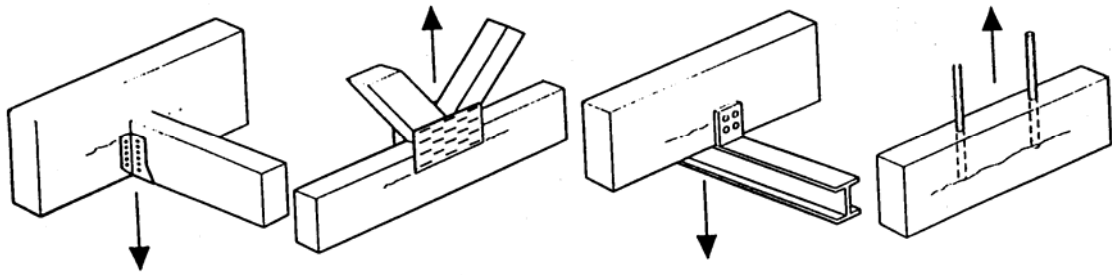
- loveuksen syvyys eli tekijä α ,

- loveuksen kaltevuus eli tekijä i ja
- loveuksen vaakaosan pituus tuelta eli tekijä x .

Näitä tekijöitä on havainnollistettu kuvassa 5.



Kuva 3. Ripustusliitoksen leveyden vaikutus liitoksen ripustuskapasiteettiin.



Kuva 4. Esimerkkejä puurakenteiden liitoksista, joissa tulee puuhun helposti liian isoja vetojännityksiä syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa.

Mitoituksessa /3/ on osoitettava, että

$$\tau_d = \frac{1,5V}{b h_{ef}} \leq k_v f_{v,d} \quad (2)$$

missä k_v on seuraavasti määritelty pienennyskerroin, joka on pienempi luvuista

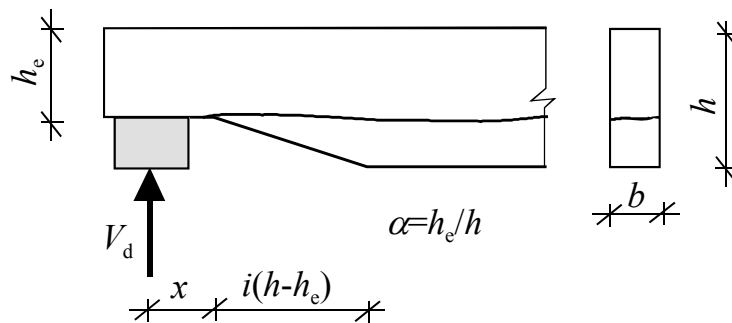
$$k_v = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ k_n \left(1 + \frac{1,1i^{1,5}}{\sqrt{h}} \right) \\ \frac{k_n \left(1 + \frac{1,1i^{1,5}}{\sqrt{h}} \right)}{\sqrt{h} \left(\sqrt{\alpha(1-\alpha)} + 0,8 \frac{x}{h} \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2} \right)} \end{array} \right. \quad (3)$$

$$\alpha = \frac{h_e}{h} \quad (4)$$

$$k_n = \begin{cases} 4,5 & \text{viilupalkille} \\ 5 & \text{rakennepuutavaralle} \\ 6,5 & \text{liimapuulle} \end{cases}$$

Edellä olevissa kokeellisissa kaavoissa on mukana myös palkin korkeus h (mm) eli palkin kokotekijä. Tämä tarkoittaa sitä, että korkeilla palkeilla loveus heikentää palkkia enemmän kuin matalilla palkeilla.

Jos loveus on palkin yläreunassa, niin palkin korkeus leikkaukselle mitoitettaessa on palkin korkeus tuella eikä lujuusheikennystä tarvitse tehdä. Tämä johtuu siitä, että loveuksen juureen tulee käytännössä puristusrasitus eikä vetorasitusta.



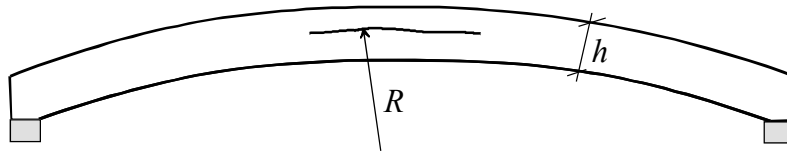
Kuva 5. Loveus palkin alapinnassa tuella, merkinnät.

VETO SYITÄ VASTAAN KOHTISUORASTI

Kun taivutusmomentti pyrkii oikaisemaan kaarevaa palkkia, syntyy palkin kaarevalle syitä vastaan kohtisuoria vetojännityksiä, jotka mitoituksessa pitää tarkistaa. Syntyvä vetojännitys tasakorkealla kaarevalla palkilla voidaan laskea kaavasta /4/.

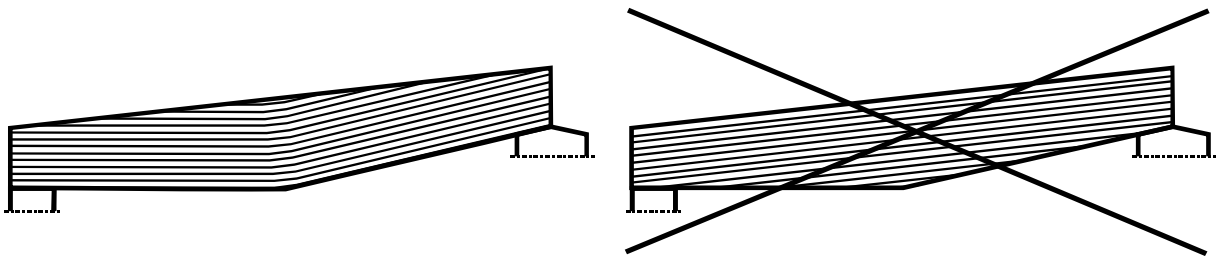
$$\sigma_{t,90} = \frac{M}{Rbh} \quad (5)$$

Edellä olevassa kaavassa M on poikkileikkausta rasittava taivutusmomentti. Muut merkinnät on annettu kuvassa 6.



Kuva 6. Kaareva palkki ja halkeiluvaara

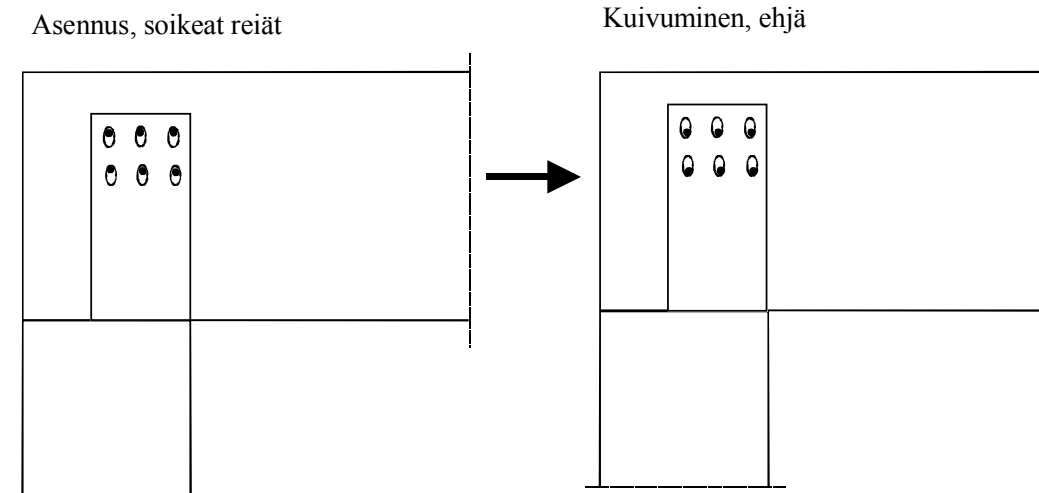
Jos harjapalkki halutaan asentaa harja alaspäin, niin palkki pitäisi valmistaa siten, että alapinnan lamelleja ei leikata vinosti syysuuntaan nähden. Jos alapinnassa on vino leikkaus, niin palkissa on halkeiluvaara samalla tavalla kuin lovetussa palkissa. Kuvassa 7 on esitetty suositeltava ratkaisu ja ratkaisu, jossa on halkeiluvaara.

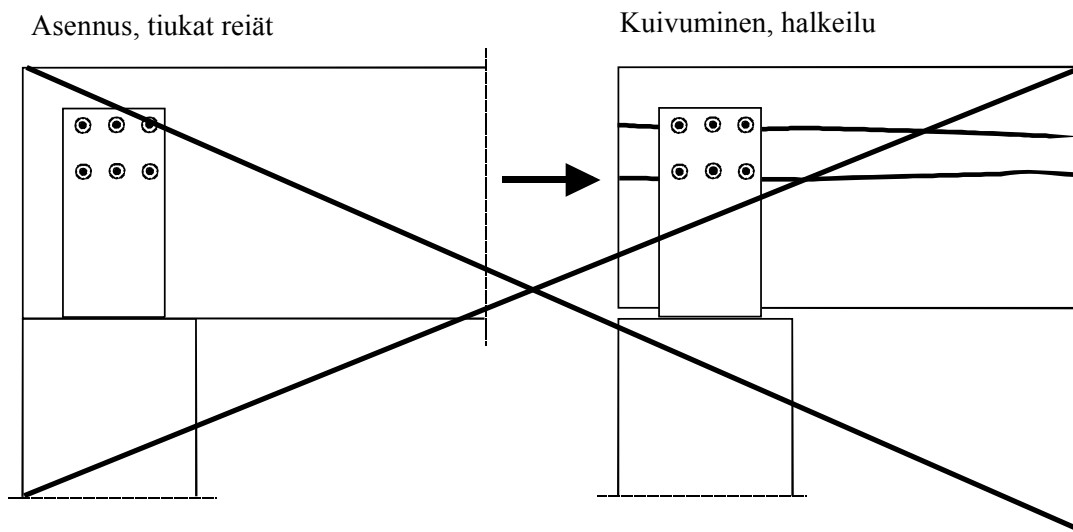


Kuva 7. Nurin käännettyharjapalkki eli mahapalkki oikea ratkaisu ja riskiratkaisu /4.

PALKIN KUIVUMINEN

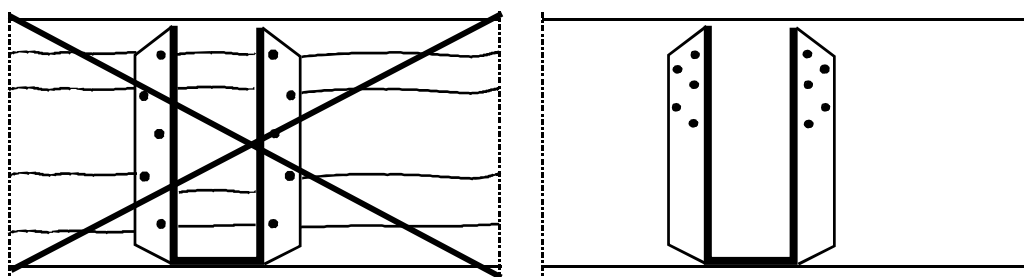
Jos palkki kuivuu asentamisen jälkeen, niin se kutistuu. Jos kutistuminen ei pääse vapaasti tapahtumaan, syntyy syitä vastaan kohtisuoria vetorasituksia. Pahassa tapauksessa palkki myös halkeaa. Kuvassa 8 on tarkasteltu oikeaa ja väärää ratkaisua tuella.





Kuva 8. Palkin liitos tuella. Kiinnitykseen on käytetty teräslevyä, joka on kiinnitetty palkin kylkeen pulteilla tai vastaavilla /4/

Samantapaiseen tilanteeseen joudutaan myös silloin, kun tarkastellaan kuivumisen kannalta ripustusta palkin kylkeen.



Kuva 9. Ripustus palkin kylkeen. Vasemmalla kiinnitys pitkältä alalta palkinkorkeussuunnassa ja halkeilu tai ainakin halkeiluvaara. Oikealla kiinnitys palkin yläosaan pienelle alueelle ja rakenne toimii /4/.

YHTEENVETO

Puun ortotropia ei ole ainakaan pääsyyinä aiheuttanut rakennusten sortumisia. Rakenteiden vaurioita sen sijaan on tiedossa lukuisia. Tärkein alkusyy on ollut puun kuivuminen, minkä seurauksena syntyy muodonmuutoksia syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa. Jos nämä muodonmuutokset estyvät esimerkiksi puuhun liittyvän muun rakenteen kuten liitoselimen vuoksi, puu halkeaa ja rakenteen kantavuus voi pienetä ratkaisevasti. Toinen riskirakenne on tuen läheltä palkin alareunasta lovettu palkki. Loveus aiheuttaa palkkiin syitä vastaan kohtisuoria vetojännityksiä eli vetojännityksiä puun heikoimmassa suunnassa. Kolmas riskirakenne on mahapalkki, jos reuna on vinossa suunnassa puun syysuuntaan nähden. Nämä kaksi viimeksi mainittua vauriotyyppiä ovat vähenemässä, koska tiedot näistä riskeistä ovat lisääntyneet. Puurakenteita suunniteltaessa on muistettava, että se on ortotrooppinen materiaali, jonka leikkauslujuus ja varsinkin vetolujuus syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa ovat pieniä verrattuna esimerkiksi syiden suuntaiseen vetolujuuteen ja puristuslujuuteen.

KIRJALLISUUSVIITTEET

- /1/ Ranta-Maunus A., Kortesmaa M., Puurakenteiden varmuus. Puulehti 1/2005. ss. 40-41.
- /2/ EN 1194:1999 Timber structures. Glued laminated timber. Strength classes and determination of characteristic values
- /3/ Design of timber Structures, Eurocode 5, EN 1005-1-1:2004 General- Common rules and rules for buldings
- /4/ Puurakenteiden jäykistyksen ja halkeilun hallinta. Suunnittelu- ja valmistusohjeet. RIL244-2007. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Markku Kortesmaa, Dipl.ins, Erikoistutkija

VTT, Valtion Teknillinen tutkimus-
keskus, PL 1000, 02044 VTT,
email: markku.kortesmaa@vtt.fi