

PUURAKENTEIDEN UUSIA LIITOSTEKNIIKOITA

Ari Kevarinmäki

Rakenteiden Mekaniikka, Vol. 38,
No. 2, 2005, ss. 5-18

TIIVISTELMÄ

Puurakenteiden mekaaniset liitokset tulee suunnitella sitkeiksi. Vain siten kaikki liitoksen liittimet voidaan hyödyntää täysimääräisesti ja rakenteen murtuminen on ennalta varoittavaa. Eurocode 5:n esinormin (ENV 1995) Suomen kansallisen sovellysohjeen täydennyksessä (23.9.2003) ja Eurocode 5:n seuraavassa versiossa (EN 1995:2004) esitetään uusia mitoituskriteerejä liitosalueen puumurtoon. Ne ovat niin ankaria, että uusien liitostekniikoiden käyttöönotto on väistämätöntä. Hauras puumurto voidaan välttää käyttämällä erittäin suuria liitinvälejä ja reunaetäisyyksiä, hyvin hoikkia puikkoliittimiä tai liitosalueen vahvistusratkaisuja. Liitosalueiden vahvistuksiin on kehitetty useita tekniikoita, joiden avulla kaikki liittimet saadaan toimimaan täydellä kapasiteetilla ja erittäin sitkeästi.

LIITOSTEN SITKEYSVAATIMUS

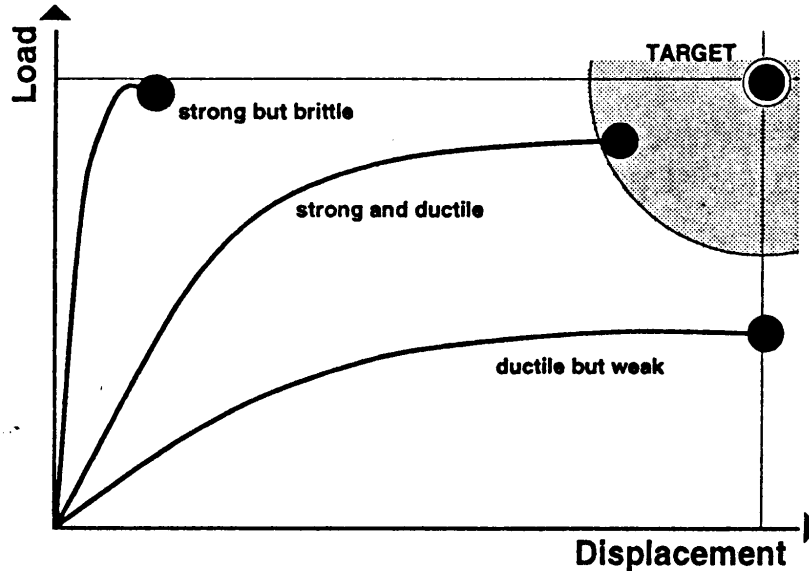
Puurakenteiden mekaanisten liitosten kolme perusvaatimusta ovat lujuus, jäykkyys ja sitkeys (kuva 1) [1, 2]. Lujuus- ja jäykkyysvaatimukset ovat itsestään selviä – liitoksilla täytyy olla riittävästi kantavuutta eivätkä käyttötilan liitossiirtymät saa aiheuttaa rakenteeseen liiallisia taipumia. Sitkeysvaatimuksella mahdollistetaan, että

- liitoksessa voidaan hyödyntää täysimääräisesti yksittäisten liittimien kapasiteetit ja
- että rakenteen sortuminen on ”turvallista” eli ennalta varoittavaa ja paikallisesti vaurioittavaa.

Vakavissa puurakenteiden sortumisissa on ollut yleensä aina kyse hauraasta murtotavasta. Kun liitoksilla on muodonmuutoskykyä, rakenne ei ole niin herkkä suunnittelu- tai valmistusvirheille ja rakennesuunnittelussa tehdyille yksinkertaistuksille. Sitkeysvaatimus ei ole kuitenkaan pelkästään turvallisuuskysymys. Hauraasti käyttäytyvä mekaaninen liitos on myös epätaloudellinen, koska yksittäisten liittimien kapasiteetteja ei hyödynnetä täysimääräisesti. Erityisen epätaloudellisia ovat hauraasti toimivat momenttiliitokset – osa liittimistä saattaa olla murtotilanteessa lähes kuormittamattomia. Sitkeästi puolijäykän momenttiliitoksen kaikki liittimet toimivat täydellä kapasiteetilla ja liitoksen myötämiskykyä voidaan hyödyntää myös soveltamalla plastisuusteoriaa kehärakenteen voimasuureiden laskennassa.

Sitkeydelle on esitetty erilaisia numeroarvomääritelmiä (mm. voima-siirtymäkäyrän integrointi) ja niihin liittyviä vaatimuksia [1]. Puurakenteiden puikkoliitosten sitkeysvaatimus on kuitenkin hyvin yksinkertainen. Liitosta voidaan pitää aivan

riittävän sitkeänä, jos puikkoliitosteorian mukainen kapasiteetti on liitoksen mitoittava tekijä. Muussa tapauksessa liitosalueen puun vetomurto, halkeaminen, leikkautumien tai lohkeaminen on liitoksen kriittinen tekijä ja liitos on luokiteltava hauraaksi. Käytännön suunnittelutyötä vaikeuttaa kuitenkin se, että liitosalueen puumurtotapauksiin ei ole esitetty kattavia laskentaohjeita, ja sekin mitä on esitetty, on piilotettu esimerkiksi peräkkäisten liittimien lukumäärästä riippuviin reduktiokertoimiin.



Kuva 1. *Liitokselta tulee vaatia lujuuden ja alkujäykkyyden lisäksi myös muodonmuutoskykyä eli sitkeyttä, Haller [2].*

Puikkoliitosteorian mukaisesti liitoksen lujuus riippuu liittimen (naulan, ruuvin, pultin tai tappivaarnan) plastisoitumisesta ja/tai puun reunapuristumisesta. Nämä kummatkin ominaisuudet ovat hyvin sitkeitä. Reunapuristuslujuus määritetään puristuskokeessa jäykän puikon 5 mm:n painumarajaa vastaavana puun jännityksenä. Käytännön liitokset koostuvat kuitenkin useiden liittimien ryhmistä. Rakenteen mitoittavimmat liitokset ovat lisäksi yleensä vedettyjä tai momentilla rasitettuja. Liitinkokonaisuuden käyttäytyminen voi poiketa oleellisesti puikkoliitosteoriasta.

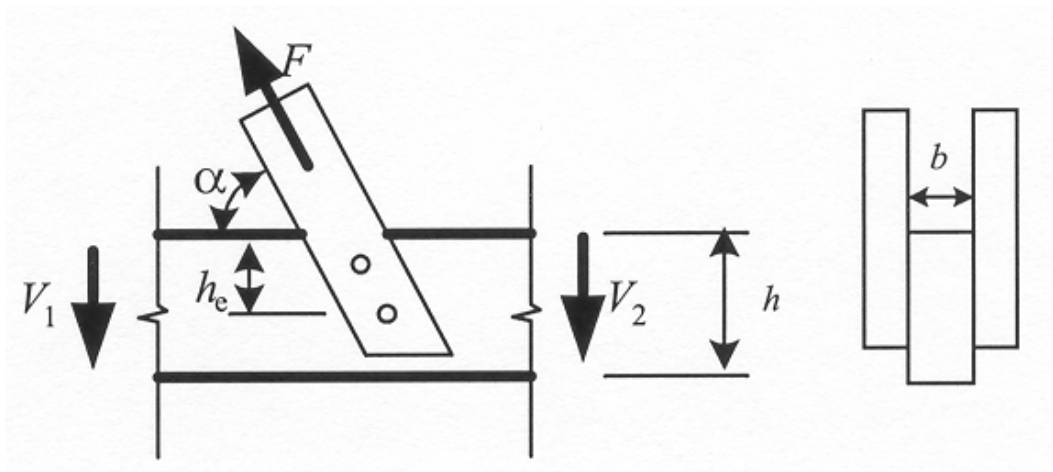
SYITÄ VASTAAN KOHTISUORASTI VETORASITETTU LIITOS

Puun syitä vastaan kohtisuorasti vetorasitetut liitokset murtuvat yleensä hauraasti liitosalueen puun haljetessa. Myös momenttiliitoksen yksittäisten liittimien aiheuttama paikallinen puun poikittainen vetojännitys voi johtaa puun halkeamiseen ja hauraaseen liitosmurtoon. Kosteusvaihtelujen (kuivumissykliin) aiheuttamat puun pinnan vetojännitykset saattavat olla huomattavasti liitosrasitusta suurempia [3]. Tämä voi johtaa pintaliittimien, kuten naulalevyjen, yhteydessä liitosalueen puun halkeamismurtoon kuormalla, joka on vain puolet liitoksen poikittaisesta vetokapasiteetista stabiilissa kosteustilassa [4]. Teräslevyllisissä pultti- tai tappivaarnaliitoksissa voivat pelkästään estetyt kosteusmuodonmuutokset aiheuttaa liitospuun halkeamisen.

Suunnitteluohjeissa esitetyt liitinten minimivälit ja reunaetäisyysvaatimukset eivät takaa poikittaisissa vetokuormituksissa puikkoliitosteorian mukaista murtotapaa kuin poikkeustapauksissa. Eurocode 5:n esistandardissa [5] ja siihen liittyvässä käsikirjassa STEP 1:ssä [6] esitetyjä poikittain vetorasitettujen liitosten mitoitusohjeita ei voida pitää yleispätevinä [4]. Uudessa Eurocode 5:ssä [7] on esitetty osittain murtumismekaniikkaan perustuva poikittaisesti vetorasitettujen liitosten mitoituskriteeri:

$$R_{90,k} = 14b \sqrt{\frac{h_e}{\left(1 - \frac{h_e}{h}\right)}} \geq \max\left\{V_1, V_2\right\} \quad (1)$$

missä b , h ja h_e ovat kuvassa 2 esitetyjä dimensioita (mm), $R_{90,k}$ on halkeamiskapasiteetti (N) ja V_1 ja V_2 ovat kuvan 2 mukaisesti puusauvan leikkausvoimat liitoksen molemmin puolin. Yksinkertaistuksien vuoksi kaava (1) on kertopuun sekä korkealujuusluokkaisen sahatavaran ja liimapuun yhteydessä konservatiivinen.



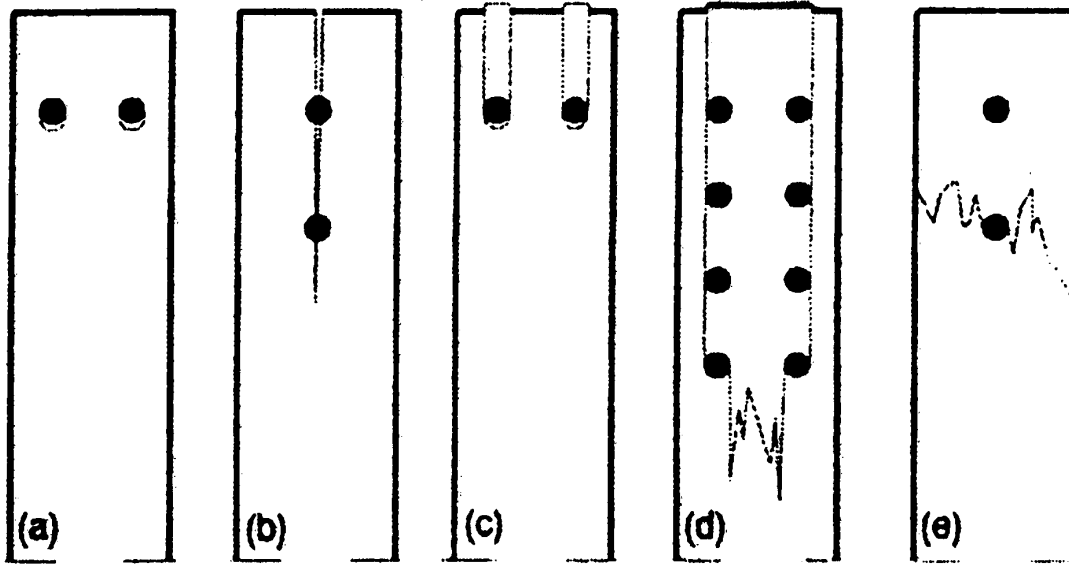
Kuva 2. Puun syitä vastaan kohtisuorasti voimalla $F \sin \alpha$ rasitettu liitos.

SYIDEN SUUNTAISESTI VEDETTY LIITOS

Liitosalueen puumurto ei ole ongelma vain syitä vastaan kohtisuorissa rasituksissa. Vaikka liitos suunnitellaan noudattaen normien liitinväli- ja reunaetäisyysvaatimuksia, puikkoliitosteorian mukaista kapasiteettia ei yleensä saavuteta kuin hyvin hoikkien tai lukumäärältään vain muutaman liittimen liitoksissa. Liitosalueen puumurrolla on useita muotoja (kuva 3).

Eurocode 5:n esistandardissa [5] syiden suuntaisesti kuormitettujen liitosten puumurto on sivuutettu käytännössä kokonaan. Sellaisenaan sovellettuna esinormi voi johtaa katastrofaaliseen lopputulokseen. Suurten tappivaarna- ja pulttiryhmiä yhteydessä vetokokeiden murtokuorma on pahimmillaan ollut vain 40 % esinormin mukaan lasketusta kapasiteetista. Lähes vastaavia kapasiteettialituksia on saatu myös naulattujen

liitosten palalohkeamismurtotapauksissa [8]. Asiaan kiinnitettiin vakavaa huomiota, ja mitoitusohjeita on täydennetty uudessa Eurocode 5:ssä.



Kuva 3. Syiden suuntaisesti vektorasitetun puikkoliitoksen erilaisia puusta murto-
tapoja: a) reunapuristumurto, b) halkeaminen, c) leikkautuminen, d)
lohkeaminen ja e) vetomurto. Vain a)-tapausta voidaan pitää sitkeänä
liitoksena.

Uudessa Eurocode 5:ssä [7] puun syiden suuntainen halkeaminen ja/tai leikkautuminen tulee mitoittavaksi jo kahden peräkkäisen liittimen tapauksessa, kun liitinvälinä käytetään annettua minimimittaa. Se otetaan huomioon mitoituksessa redusoimalla tehollisesti toimivien liittimien lukumäärää. Pultti- ja tappivaarnaliitoksille

$$n_{ef} = n^{0,9} \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} \leq n \quad (2)$$

missä n_{ef} on tehollisesti toimivien peräkkäisten liittimien lukumäärä, a_1 on liitinväli ja d liittimen paksuus. Kaava (2) perustuu jäykkien pulttiliitosten kuormituskokeisiin [9]. Jäykän liittimen puikkoliitosteorian mukainen kapasiteetti riippuu pelkästään puun reunapuristumisesta. Hoikkien eli murrossa plastisoituvien puikkojen yhteydessä kaava (2) johtaa konservatiiviseen mitoitukseen. Hoikilla liittimillä puun reunapuristuminen keskittyy leikepintojen läheisyyteen. Tällöin reunapuristumisen aiheuttamat poikkileikkauksen poikittaiset veto- ja leikkausjännitykset jäävät liitinrivin kohdalla pienemmiksi kuin jäykällä liittimellä.

Suomessa ympäristöministeriö antoi 23.9.2003 asetuksena Eurocode 5 esistandardin kansallisen sovellusohjeeseen (NAD) täydennyksen [17]. Siinä peräkkäisten liittinten

reduktioon esitetään kaavasta (2) parannettu versio, jossa otetaan huomioon myös puikkojen hoikkuuden vaikutus:

$$n_{i,ef} = \min \begin{cases} n_i \\ n_i^{0,94} \sqrt{\frac{a \cdot t}{50 \cdot d^2}} \end{cases} \quad (3)$$

missä n_i on puun syiden suuntaiseen riviin i sijoitettujen tappivaarujen tai pulttien lukumäärä,

d on liittimen paksuus,

$$a = \begin{cases} \min(a_1, a_3) & \text{kun } n_i \geq 2 \\ a_3 & \text{kun } n_i = 1 \end{cases} \quad (4)$$

a_1 on peräkkäisten liittinten välinen etäisyys puun syiden suunnassa,

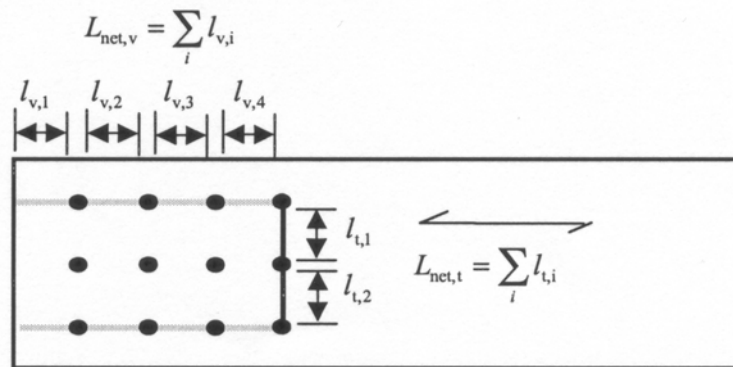
a_3 on päätyetäisyys,

$$t = \begin{cases} t_u & \text{kaksileikkeiset puu - teräs - puu liittokset} \\ \min(t_s, t_u) & \text{yksileikkeiset puu - puu liittokset} \\ \min(t_s, 2t_u) & \text{muut liittokset} \end{cases} \quad (5)$$

t_s on sisäpuun paksuus (2- ja monileikkeiset liittokset) tai yksileikkeisen puu-puu liittoksen pultin kantapuolen puusauvan paksuus ja

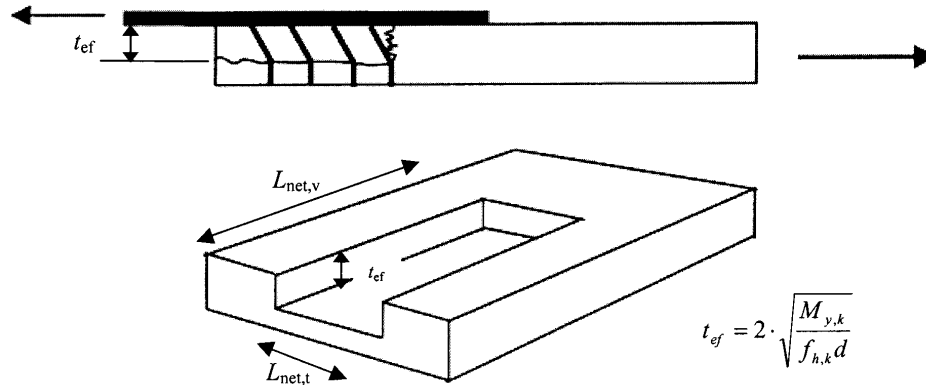
t_u on tappivaaran tai pultin sileän osan pituus ulkopuussa.

Uudessa EC5:ssä [7] esitetään mitoituskriteerit myös kuvan 4 mukaiseen lohkeamismurtoon ja 5 mukaiseen palamurtoon. Kapasiteetti lasketaan lohkeavan puukappaleen veto- ja leikkauskapasiteettien maksimin mukaan, kun vetolujuutta korotetaan kertoimella 1,5 ja leikkauslujuutta pienennetään kertoimella 0,7. Pultti- ja tappivaarnaliitosten lohkeamismurtoa koskevia tutkimuksia on julkaistu erittäin niukalti eikä EC5:n [7]



Kuva 4. Lohkeamismurtopinta kulkee reunimmaisten liitinrivien kautta. Kapasiteetin laskennassa käytettävästä murtopinnasta vähennetään esiporatut reiät

kaavojen pätevyyttä ole osoitettu kattavasti kokeellisesti. NADissa [17] annetaan pultti- ja tappivaarnaliitoksille Eurocodea ankarammat lohkeamismurron mitoitusohjeet: kapasiteetti lasketaan aina pelkästäänvetokapasiteetin mukaan ja vetolujuuden korotuskertoimen on 1,45 liimapuulle ja 1,15 kertopuulle. Lisäksi pultti- tai tappivaarnaliitoksia sisältävät vetosauvat tulee valmistaa homogeenisesta liimapuusta, jonka kaikki lamellit ovat samaa lujuusluokkaa.



Kuva 5. *Naula-, ruuvi-, piikkilevy- ja naulalevyliitoksille tyypillinen palamurtopinta. Pultti- ja tappivaarnaliitoksilla liitosalueen murtuminen tapahtuu yleensä koko poikkileikkauksen läpi ulottuvana lohkeamisena.*

Kotimaisten tutkimusten [8, 10] mukaan kuvan 5 mukaisesti murtuvan puukappaleen pohjapinnan leikkaus- ja päädyn vetokapasiteetti voidaan naulaliitoksilla laskea yhteen. Kuvan 5 mukaisen palamurron pohjapinta tulee liittimien reunapuristuksesta aiheutuvan leikkausjännityksen maksimin kohdalle, eli sille kohdalle missä liittimeen muodostuu piikkoliitosteorian mukainen myötönivel.

HOIKAT LIITTIMET

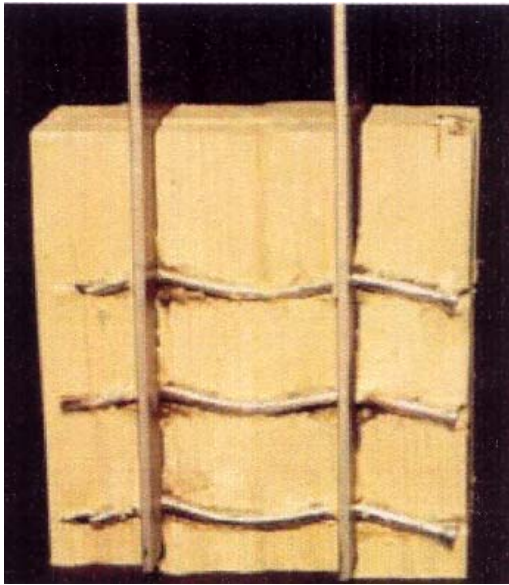
Uuden Eurocode 5:n liitosmitoitushjeet johtavat siihen, että piikkoliitosten liitinvälejä täytyy kasvattaa huomattavasti entisestä. Liitosalueen puumurtokriteerit ovat niin ankaria, että niiden mukaan mitoitettujen hauraasti käyttäytyvien liitokset tulevat epätaloudellisiksi – liitinkapasiteeteista voidaan hyödyntää vain osa. Suuremmat liitinvälit vaativat puolestaan leveämpiä puusauvoja ja/tai suurempia liitoslevyjä.

On selvää, että hoikkien pultti- ja tappivaarnaliitosten hyödyntäminen nousee esiin, kun puumurtokriteereihin aletaan hakea helpotuksia. Hoikilla pulteilla tai tapeilla toteutetut liitokset tulevat materiaalimenekeiltään vastaavia jäykkiä liittimiä edullisemmiksi. Edullisuus korostuu, kun hoikkien liittimien normaalivoimaefekti ja kitkavaikutus opitaan hyödyntämään täysimääräisinä. Nykyisin hoikkia pultti- ja tappivaarnaliitoksia ei kuitenkaan juuri käytetä, koska niiden poraus- ja asennuskustannukset tulevat merkittävästi jäykillä liittimillä toteutettuja liitoksia suuremmiksi. Työkustannuksia voidaan pienentää oleellisesti siirtymällä automaattisiin CNC-työstöporauksiin. Suuret investoinnit voidaan välttää käyttämällä itseporautuvia ruuveja tai tappeja. Kuvassa 6 on

esitetty uuden tyyppinen itseporautuva tappivaarna, joka voidaan ruuvata ilman esiporausta samalla kertaa 240 mm paksun liimapuun ja kolmen 5 mm paksun teräslevyn läpi (vrt kuva 7), Mischler [1].



Kuva 6. *Itseporautuva tappivaarna, Mischler [1].*



Kuva 7. *Kuormituskokeen jälkeen avattu nelileikkeinen liitos. Hoikkana liittimenä mitoitettuun itseporautuvaan tappivaarnaan on muodostunut kuusi plastista myötöniveltä, Mischler [1].*

VAHVISTETUT LIITOSALUEET

Vaihtoehtoinen ratkaisu hoikille liittimille ja suurille liitinväleille on vahvistaa liitosaluetta tai muokata puun ominaisuuksia siten, että puumurto vältetään. Viimeisen 15 vuoden aikana on kehitetty useita uusia liitosalueiden vahvistustekniikoita, joiden käyttöönotto tulee varsin todennäköiseksi uuden EC5:n myötä. Osa kehitetyistä vahvistusratkaisuista parantaa myös reunapuristuskapasiteettia - osa estää pelkästään puun halkeilun- ja leikkautumisen.

Puun halkeminen ja leikkautuminen voidaan estää liitosalueelle liimattavalla lasikuituvahvistuksella, Haller [1]. Lasikuituvahvikkeella ei voida kuitenkaan parantaa yksittäisen liittimen kapasiteettia. Liimattava vanerivahvistus parantaa vastaavalla tavalla puumurtokapasiteettia ja paksuutensa verran myös reunapuristuskapasiteettia. Merkittävämpi reunapuristuslujuuden parannus saadaan käyttämällä kokoonpuristettua lehtipuuvaneria, jonka tiheys voi olla jopa 1400 kg/m^3 (kuva 8), Leijten [1].

Liimattavien vahvistusten käyttöönottoa rajoittavat rakenteellisen liimaustyön tiukat vaatimukset ja raskas laadunvarmennuskontrolli.



Kuva 8. *Leikepintoihin liimatuilla kokoonpuristetuilla pyökkivanereilla vahvistettu putkivaarnaliitos avattuna kuormituskokeen jälkeen, Leijten [1]. Asennuksessa putkivaarnat laajennetaan puristamalla, jolloin liitoksen alkujäykkyys on hyvä. Vahvistetulla liitoksella on suuri kapasiteetti ja putkivaarnan muodonmuutoskyvyn vuoksi se on myös erittäin sitkeä.*

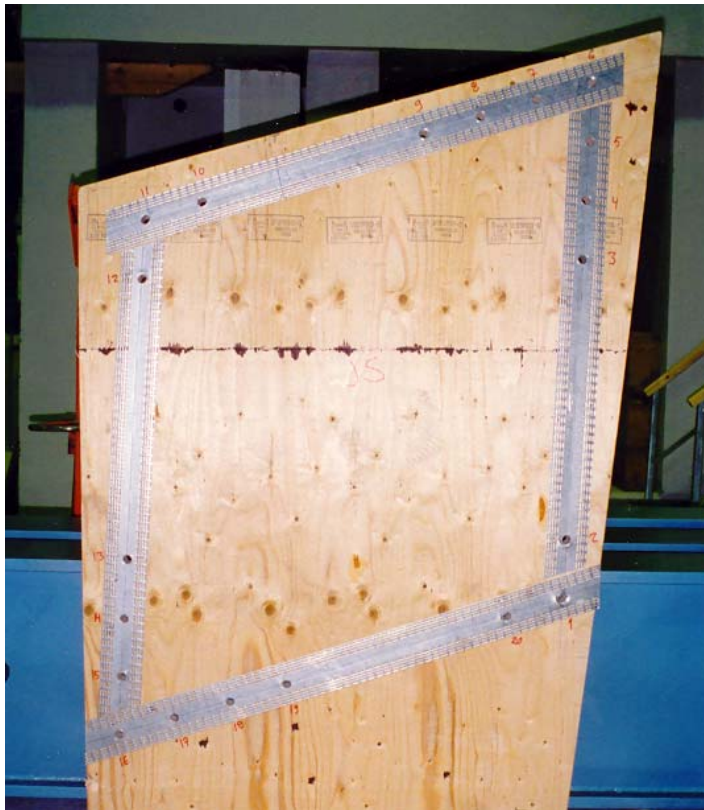
Kertopuun liitosalueen ominaisuuksia voidaan parantaa sijoittamalla osa viiluista ristiin (Kerto-Q) tai diagonaalisesti vinoon (Kerto-D). Syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa vedettyjen Kerto-Q liitosten kapasiteetit voivat olla moninkertaisia vastaaviin Kerto-S liitoksiin verrattuna [4], vaikka ristiviilujen osuus on vain noin 20 %. Ristiviilut estävät liitosalueen halkeamisen ja parantavat myös pultti- ja tappivaarnaliitosten poikittaissuunnan reunapuristuslujuutta. Syiden suuntaisesti vedettyjen yksileikkeisten pintaliitosten yhteydessä Kerto-Q:lla on kuitenkin päinvastainen vaikutus. Kuvan 5 mukainen palamurtokapasiteetti on huono – pala lohkeaa ristiviilun kohdalta sen heikon tasoleikkauslujuuden (rolling-shear) vuoksi [8].

Sijoittamalla kertopuun viilut ristiin toisiinsa nähden noin 10° kulmassa, kertopuun pääsuunnan lujuusominaisuudet eivät juuri heikkene, mutta leikkauslujuus ja poikittainen vetolujuus paranevat merkittävästi, Kairi [1]. Diagonaaliiviilut voivat olla myös ohuita koivuviiluja, joilla on suuri vetolujuus, ja diagonaaliiviilujen sijoituskulma voidaan optimoida käyttötarkoituksen mukaan, Kairi [18]. Kerto-D pultti- ja tappivaarnaliitosten sitkeysominaisuudet ja pitkäaikaislujuus ovat muutaman liittimen liitoksilla tehtyjen kokeiden mukaan selvästi normaalikertopuuta parempia [1]. Suurten liitinryhmien yhteydessä Kerto-D:n käytöllä voidaan estää kuvan 3 mukaiset liitosalueen murtotavat b), c) ja d), jolloin myös liitoksen lyhytaikaiskapasiteetti on merkittävästi vastaavaa tavallisesta kertopuusta valmistettua liitosta parempi [18].

Liitosalueelle puristetut naulalevyt ovat tehokas puikkoliitosten vahvistuskeino varsinkin, jos naulalevy on jätetty liitinalueelta meistämättömäksi (kuvat 9 ja 10) [11, 12]. Naulalevyvahvistusta voidaan soveltaa sekä naula-, ruuvi-, pultti- että tappivaarna-



Kuva 9. *Murtoon kuormitettu naulalevyillä vahvistettu pulttiliitos [11].*



Kuva 10. *Yhtenäisillä naulalevynauhoilla vahvistettu kertopuukehän nurkka. Pultit voidaan sijoittaa nurkka-alueille ja liitinvoimat voidaan laskea plastisuusteorian mukaan. Tehtaalla poratut pulttireiät osuvat kohdalleen työmaalla, koska naulalevynauhat estävät kosteusmuodonmuutoksia [12].*

liitosten yhteydessä. Mahdollisia ovat myös naulauslevyn reikien läpi naulalevyn ruuvatut peltiruuvit tai siihen puristetut pop-niittiliitokset (kuva 11) [13]. Oikein mitoi-

tetulla naulalevyvahvistuksella estetään liitosalueen puumurto ja naulalevyn reunapuristuskapasiteetin avulla yksittäisen liittimen kapasiteetti voi nousta jopa 3-kertaiseksi.

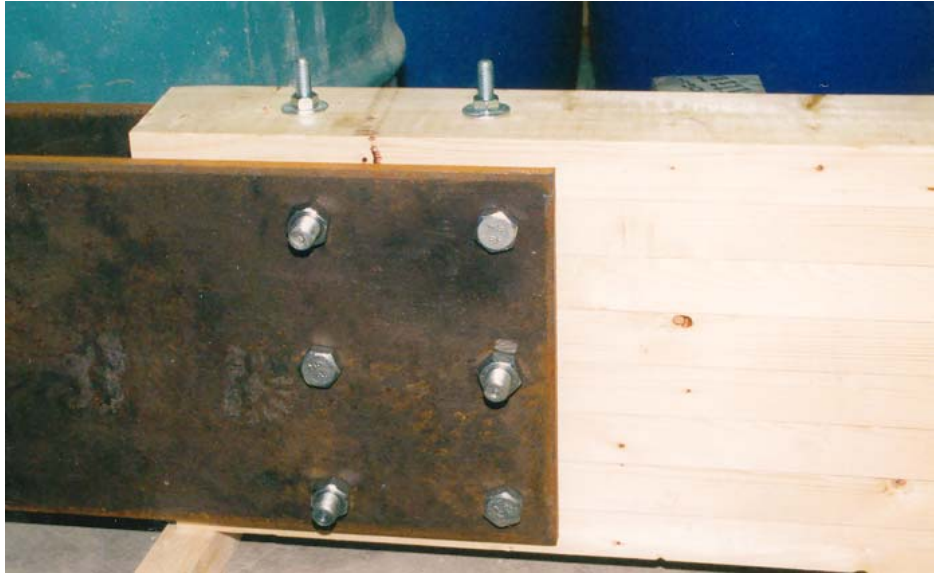


Kuva 11. Porakärkisillä peltiruuveilla koottava naulalevyrakenteen työmaaliitos [13]. Naulalevylitoksen täysi kapasiteetti saavutetaan muutamalla ruuvilla.

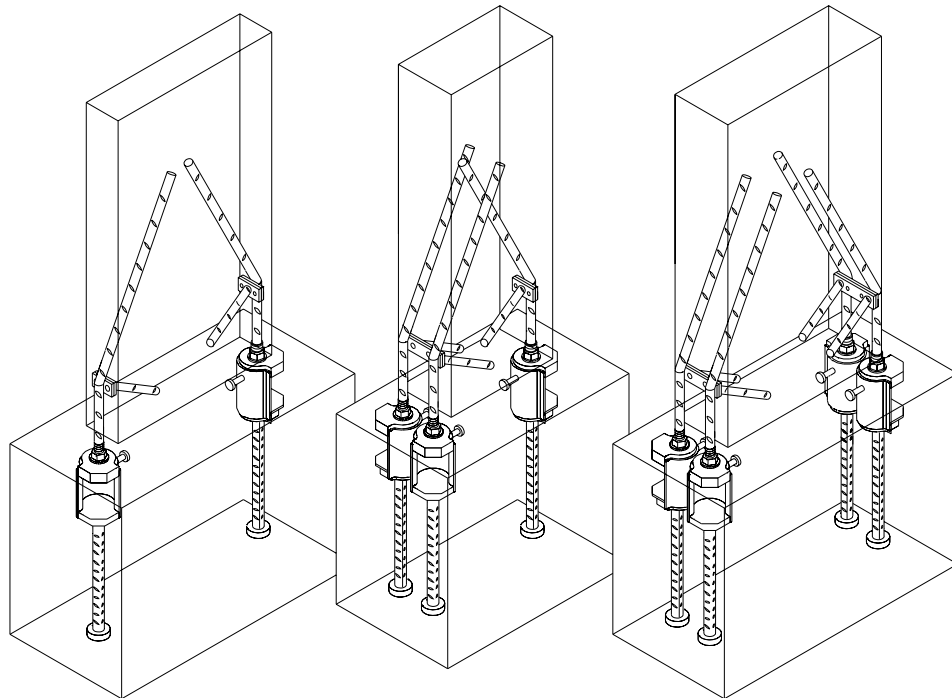
Syiden suuntaisesti kuormitetut pultti- ja tappivaarnaliitokset voidaan vahvistaa poikittaissuuntaan liitinrivien väliin asennetuilla liimatuilla terästangoilla tai pitkillä puuruuveilla, Blass [1]. Niillä estetään liitosalueen puun halkeaminen ja leikkautuminen, mutta yksittäisen liittimen kapasiteetti ei kasva. Kotimaisena ratkaisuna on kehitetty ns. ristipulttivahvistus, jossa poikittaiset pultit tai kierretangon asennetaan aivan liitospulttien tai –tappivaarnojen kuormitetun reunan eteen (kuva 12) [14]. Tällöin myös ristipulttien kapasiteetti voidaan hyödyntää täysimääräisesti. Vahvistusratkaisulle on johdettu eri murtotapoja vastaavat mitoituskaavat [14]. Ristipulttivahvistuksen avulla liitinkapasiteetti voidaan jopa kaksinkertaistaa ja peräkkäisten liittimien lukumääräredusointi voidaan jättää pois. Ristipulttivahvistuksen hyödyntäminen edellyttää hyvin pieniä toleransseja reikäporauksessa – käytännössä CNC-työstöä.

VINOTANKO- JA VINORUUVILIITOKSET

Liimattuihin terästankoihin perustuvat puurakenteiden liitokset toimivat sitkeästi, kun tartuntapituudet ovat niin pitkiä, että murtotapana on terästangon myötääminen. Vuonna 2002 päättyneessä massiivisessa liimatankoliitosten EU-tutkimusprojektissa [19] ei päästy yksimielisyyteen liimatankoliitosten suunnitteluohjeista eikä uudessa Eurocode 5:ssä esitetä mitään mitoitusohjeita liimatankoliitoksille. Suomessa liimatankoliitosten suunnitteluohjeet on julkaistu RILin suunnitteluohjeessa RIL 120-2004 [15]. Siinä esitetään myös ns. vinotankoliitosten suunnitteluperusteet. Vinotankoliitoksien avulla voidaan toteuttaa suurten liimapuukurakenteiden työmaaliitoksia kapasiteeteilla, jotka vastaavat liimapuupoikkileikkauksen täyttä taivutus- tai vetokapasiteettia. Liimapuukehärakenteita varten on kehitetty vinotankoliitosjärjestelmä, jossa käytetään esivalmistettuja vakioituja teräsosia (kuva 13) [16].



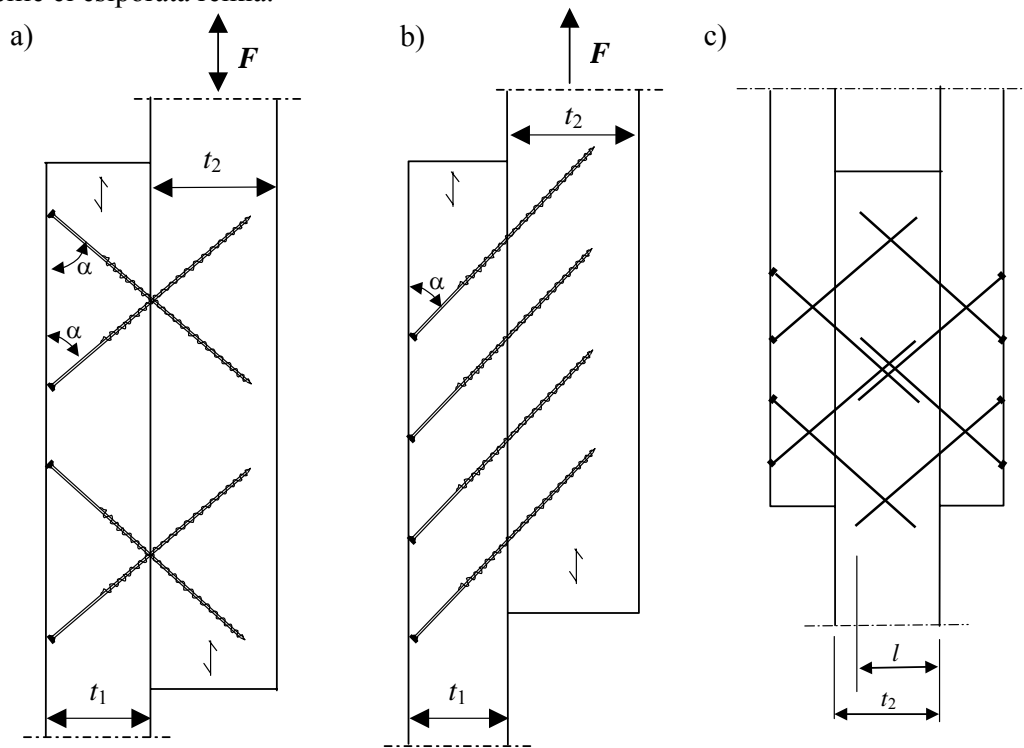
Kuva 12. *Ristipulteilla vahvistettu pultiliitos [14].*



Kuva 13. *Vinotankoliitosjärjestelmän perustusliitos [16]. Vakioidut teräsosat liimataan puuhun tehtaalla ja työmaaliitokset vastaavat teräsrakenteiden asennustekniikkaa.*

Vinoruuvuus on uusi tehokas puurakenteiden liitostekniikka [20]. Kun perinteisesti puikkoliittimet ovat kohtisuorassa liitettäviä puupintoja vastaan, vinoruuviliitoksissa pitkät itseporautuvat ruuvit ovat $30\text{..}60^\circ$ kulmassa. Vinoruuviliitoksella saavutetaan helposti yli viisinkertainen jäykkyys ja kaksinkertainen lujuus perinteiseen ruuviliitokseen verrattuna. Vinoruuvaustekniikalla mekaanisesti yhdistettävät palkki-, pilari- ja laattarakenteet tulevat edullisiksi, koska niissä päästään liitoksen suuren jäykkyyden vuoksi lähes täydelliseen osien väliseen yhteistoimintaan.

Vinoruuviliitokset ovat kuvan 14 mukaisia yksileikkeisiä liitoksia, joissa ruuvi muodostaa $\alpha = 30^\circ\text{..}60^\circ$ suuntakulman sekä kuormitussuunnan että puun syysuunnan kanssa. Ruuvit ovat täyskierteisiä tai sellaisia osakierteisiä ruuveja, joiden sileän varren halkaisija on korkeintaan 75 % ruavin nimellimitasta (kierteen ulkohalkaisijasta). Ruuveille ei esiporata reikiä.



Kuva 14. Vinoruuviliitoksen rakenne a) ristiruuviliitos, b) vedettyjen ruuvien liitos ja c) ruuvien limittyminen vastakkaisilta puolilta tehdyissä 1-leikkeisissä ristiruuviliitoksissa.

Ristiruuviliitos muodostuu symmetrisistä ruuvipareista, joista toinen ruuvi on vedetty ja toinen puristettu. Liitoksen leikkaukskapasiteetin mitoitusarvo

$$R_d = n_p (R_{C,d} + R_{T,d}) \cos \alpha \quad (6)$$

missä n_p on vinoruuviparien lukumäärä ja α on ruuvauskulma (ks. kuva 14a).

Ruuvien puristuskapasiteetti

$$R_{C,d} = \min \begin{cases} f_{a,1,d} \pi d s_1 \\ f_{a,2,d} \pi d s_2 \\ 0,8F_{u,d} \end{cases} \quad (7)$$

ja ruuvin vetokapasiteetti

$$R_{T,d} = \min \begin{cases} f_{a,1,d} \pi d s_1 + f_{head,d} d_h^2 \\ f_{a,2,d} \pi d (s_2 - d) \\ F_{u,d} \end{cases} \quad (8)$$

joissa d on ruuvin kierreosan ulkohalkaisijamitta (ruuvin nimellismitta),
 s_1 on ruuvin kierteisen osuuden pituus kannan puoleisessa puussa (1),
 s_2 on ruuvin kierteinen tartuntapituus kärjen puoleisessa puussa (2),
 $F_{u,d}$ on ruuvin vetomurtokapasiteetin mitoitusarvo,
 $f_{a,i,d}$ on ruuvin ulosvetolujuuden mitoitusarvo liitospuussa i ,
 d_h on ruuvin kannan halkaisijamitta ja
 $f_{head,d}$ on ruuvin kannan läpivetolujuuden mitoitusarvo.

Pelkästään vedetyistä ruuveista koostuvan vinoruuviliitoksen toiminta edellyttää liitospuiden välistä kontaktia. Tämän vuoksi liitosta ei tulisi käyttää kohteissa, joissa puun kuivuminen voi aiheuttaa yli $0,2d$ suuruisen liitosraon.

Pelkästään vedetyistä vinoruuveista koostuvan liitoksen leikkauskapasiteetin mitoitusarvo

$$R_d = nR_{T,d}(\cos \alpha + \mu \sin \alpha) \quad (9)$$

missä n on ruuvien lukumäärä liitoksessa,
 $R_{T,d}$ on kaavan (8) mukaan laskettava ruuvin vetokapasiteetti,
 α on ruuvauskulma (ks. kuva 14b) ja
 μ on liitospuiden välinen liikekitkerroin.

KIRJALLISUUTTA

- [1] RILEM Proceedings PRO 22, 2001, Joints in Timber Structures. Ed. Aicher, S. & Reinhardt, H-W.
- [2] European Commission, 1999, COST C1 - Control of the semi-rigid behaviour of civil engineering structural connections. Proceedings of the international conference Liege, 17 to 19 September 1998.
- [3] Kurkela, J., 2003, Mekaanisen puuliitoksen pitkäaikaislujuus ja halkeilu – analysointi elementtimenetelmällä. VTT, julkaisematon raportti.
- [4] Vesa, J., 2001, Duration of Load Effect on Mechanical Timber Joints. TKK Talonrakennustekniikan julkaisuja 114.

- [5] ENV 1995-1-1:1993, Eurocode 5 - Design of timber structures, Part 1-1: General rules and rules for buildings.
- [6] STEP 1 – Puurakenteet, 1996. VTT & Rakennustieto.
- [7] EN 1995-1-1:2004, Eurocode 5 - Design of timber structures, Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings.
- [8] Aalto, K., Kangas, J. & Kevarinmäki, A., 1997, Modelling of Peeling Failure in Nailed Steel-to-Timber Joints. TKK Talonrakennustekniikan julkaisuja 65.
- [9] Jorissen, A., 1998, Double shear timber connections with dowel type fasteners. Delft University Press.
- [10] Vesa, J. & Kangas, J., 1998, Block Tearing Tests near Balanced Timber and Nail Capacities of Nailed Steel-to-Timber Joints. TKK Talonrakennustekniikan julkaisuja 83.
- [11] Kevarinmäki, A., 1994, Naulalevyillä vahvistettu pulttiliitos. TKK Talonrakennustekniikan julkaisuja 43.
- [12] Kevarinmäki, A., 1995, Bolt Joints of Kerto-LVL Reinforced with Nail Plates. TKK Talonrakennustekniikan julkaisuja 49.
- [13] Kevarinmäki, A., 2000, Nail-plate reinforced metal plate-to-timber joints made with nail, screw or pop rivet fasteners. Proceedings of WCTE 2000 Conference, Whistler, Canada.
- [14] Kevarinmäki, A., 1997, Ristipultilla vahvistetut puurakenteiden liitokset. TKK Talonrakennustekniikan julkaisuja 64.
- [15] RIL 120-2004, Puurakenteiden suunnitteluohjeet.
- [16] Kangas, J., Kevarinmäki, A. & Lumiaho, H., 2001, Timber Structures with Connections Based in V-Form Glued-In Rods. Proceedeing of IABSE Conference, Lahti 2001.
- [17] Ympäristöministeriön asetus esistandardia SFS-ENV 1995-1-1:1993 koskevan kansallisen soveltamisasiakirjan täydentämisestä. Annettu Helsingissä 23 päivänä syyskuuta 2003.
- [18] Kairi, M., 2004, Block Shear Failure Tests with Dowel-Type Connection in Diagonal LVL Structure. Proceedeing of CIB-W18 meeting 37, Edinburgh, UK.
- [19] Bengtsson, C. & Johansson, C.-J., 2002, GIROD - Glued in Rods for Timber Structures. SP Report 2002:26. Swedish National Testing and Research Institute.
- [20] Kevarinmäki, A., 2002, Joints with Inclined Screws. Proceedeing of CIB-W18 meeting 35, Kyoto, Japan.

Ari Kevarinmäki

TkT, puurakenteiden erikoistutkija, VTT

ari.kevarinmaki@vtt.fi