

## Puurakenteiden halkeilun hallinta, opas

VTT

9.10.2006

---

Sisältö.....	2
1 Johdanto.....	4
2 Suunnittelu.....	4
2.1 Puun erityispiirteet kantavana materiaalina.....	4
2.2 Halkeaminen.....	5
2.2.1 Yleistä.....	5
2.2.2 Materiaali ja valmistusvirheet.....	5
2.2.3 Leikkausrasitusten ylittyminen.....	5
2.2.4 Syitä vastaan kohtisuora vetorasitus.....	6
2.2.5 Palkin kuivuminen.....	11
2.2.6 Ulkona olevat rungon osat.....	14
2.2.7 Käyttötarkoituksen muutos.....	14
3 Rakennustyö.....	15
3.1 Valmistus tehtaalla.....	15
3.2 Kuljetus.....	15
3.2.1 Mekaaniset rasitukset.....	15
3.2.2 Kosteus kuljetuksen aikana.....	15
3.3 Varastointi työmaalla.....	16
3.3.1 Tuennat.....	16
3.3.2 Kosteusriskit.....	16
3.4 Rakenteiden käyttöönotto.....	16
3.4.1 Lämmitysvaihe.....	16
3.4.2 Sisävalmistusvaihe.....	16
4 Ylläpito.....	17
4.1 Halkeamien vaarallisuus.....	17
4.2 Korjaustarpeen arviointi.....	18
4.2.1 Rasitukset vaurioituneella alueella.....	18
4.2.2 Vaurioitumisen suuruus.....	18
4.2.3 Päätelmät korjaustarpeesta.....	18
4.3 Korjausajankohta.....	19
4.4 Korjausmenetelmät.....	19
4.4.1 Vinotangot.....	19
4.4.2 Vanerointi.....	20
4.5 Varottavat korjaustavat.....	21
4.5.1 Pulttaus syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa.....	21
4.5.2 Halkeamien täyttö.....	21

## TIIVISTELMÄ

Tämä puurakenteiden hallinnan opas on tarkoitettu liimapuurakenteiden suunnittelijoille, valmistajille ja käyttäjille. Tämän ohjeen tavoite on selvittää, miten halkeilua liimapuurakenteiden halkeilua voidaan välttää tai ainakin pienentää rakentamisen ja käytön eri vaiheissa

Suunnittelussa voidaan valita rakenteet, joissa ei synny rasituksia, jotka halkaisevat liimapuun. Tällaisia ovat rakenteet, joissa ei synny syitä vastaan kohtisuoria vetorasituksia. Liitokset pitää suunnitella niin, että kuivumisesta aiheutuva kutistuminen pääsee tapahtumaan.

Liimapuun valmistuksessa valitaan puun kosteus mahdollisimman lähelle käytön aikaista kosteutta. Rakennusvaiheessa ei anneta liimapuiden kastua. Rakennuksen lämmitys ja samalla siis liimapuurakenteiden kuivaus tehdään sopivan hitaasti, että kosteus ehtii tasaantua eikä pintaan synny kuivumishalkeamia. Käytön aikana seurataan mahdollisesti syntyviä halkeamia ja ryhtytään tarvittaessa korjaustoimenpiteisiin.

## ALKUSANAT

Puurakenteiden hallinnan opas on laadittu apuvälineeksi suunnitella, rakentaa ja käyttää liimapuurakenteita niin, ettei liimapuu halkeile tai halkeilu ainakin jää niin pieneksi, ettei halkeilu vaaranna rakenteen kantavuutta. Jos vaarallisia halkeamia syntyy, niin ne on voitava korjata oikein. Ohje on laadittu osana laajempaa tutkimusta, jota ovat rahoittaneet opetusministeriö, ympäristöministeriö, VTT, Teräsrakenneyhdistys ry. ja Wood Focus Oy.

Ohjeet on laadittu rahoittajien muodostaman johtoryhmän ohjauksessa. Projektin johtoryhmään kuuluivat seuraavat henkilöt:

- Teppo Lehtinen puheenjohtaja, ympäristöministeriö, teppo.lehtinen@ymparisto.fi
- Jaakko HUUHTANEN, ympäristöministeriö, jaakko.huuhtanen@ymparisto.fi
- Risto Järvelä, opetusministeriö, risto.jarvela@minedu.fi
- Unto Kalamies, Teräsrakenneyhdistys ry., unto.kalamies@rakennusteollisuus.fi
- Pekka Nurro, Wood Focus Oy, pekka.nurro@woodfocus.fi
- Tapani Tuominen, SPU Systems Oy, tapani.tuominen@spu.fi

Lisäksi johtoryhmän kokouksiin osallistuivat:

- Markku Korttesmaa, VTT, markku.korttesmaa@vtt.fi
- Mauri Peltovuori, opetusministeriö, mauri.peltovuori@minedu.fi
- Tapio Leino, VTT, tapio.leino@vtt.fi

# 1 JOHDANTO

Puurakenteeseen voi syntyä halkeamia. Nämä halkeamat ovat usein esteettisiä eikä niillä ole käytännön merkitystä rakenteiden kantavuuteen. Tällaisia ovat alle 10 mm syvät halkeamat. Halkeamia syntymisen voidaan estää tai ainakin rajoittaa sellaisiksi, että rakenteen kantavuus ei vaarannu. On tärkeätä, että halkeamien mahdollinen vaarallisuus voidaan tunnistaa ja ryhtyä tarvittaessa sopiviin korjaustoimenpiteisiin. Uusien rakenteiden suunnittelussa pitää tuntea ne puun ominaisuudet, joilla on merkitystä puun halkeilun estämisen kannalta. Tämä opas on kirjoitettu, jotta voidaan estää puun halkeilu ja jos puu on kuitenkin päässyt jostain syystä halkeamaan, niin tiedetään korjaustoimenpiteet.

## 2 SUUNNITTELU

### 2.1 Puun erityispiirteet kantavana materiaalina

Joskus on sanottu, että puu ja teräs ovat suunnittelumielessä keskenään vertailukelpoisia materiaaleja. Kummastakin materiaalista tehdyissä rakenteissa suuri osa suunnittelutyöstä on liitosten suunnittelua. Teräsrakenteiden suunnittelussa ei saa unohtaa lämpölaajenemista tai kuristumista eikä puulla kosteuden muutoksen aiheuttamaa paisumista tai kutistumista. Erityisesti suurissa puurakenteissa on muistettava, että puu on lujuusopillisesti ortotrooppinen materiaali. Tämä tarkoittaa sitä, että sen lujuus- ja kimmo-ominaisuudet ovat erilaiset syiden suunnassa ja syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa.

Taulukossa 1 on esitetty puuhallien kantavissa rakenteissa usein käytettävän liimapuun L40 (Rakentamismääräyskokoelma B10, RIL 120) lujuuksia ja kimmokertoimia syiden suuntaan ja kohtisuorasti syiden suuntaa vastaan sekä kosteusmuodonmuutoskertoimet, kun puun kosteus muuttuu 10 %. Viimeksi mainittu arvo on syytä varautua, kun rakenne talvisaikaan lämmitetyssä ja sateelta suojatussa tilassa.

*Taulukko 1. Liimapuun L40 lujuuksia ja kimmokertoimia syitä syiden suuntaan ja syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa sekä kosteusmuodonmuutos, kun puun kosteus muuttuu 10 %.*

	Arvo		Suhteellinen arvo	
	Syiden suuntaan	Kohtisuoraan	Syiden suuntaan	Kohtisuoraan
Taivutuslujuus	32	-		
Puristuslujuus	30	5	100	17
Vetolujuus	21	0,4	100	2
Kimmokerroin, keskiarvo	8500	280	100	3
Kosteusmuodonmuutos metrin matkalla, kun kosteus muuttuu 10%	1 mm	15 mm	100	1500

Taulukosta 1 huomataan, että puun vetolujuus syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa on noin 2 % syiden suuntaiseen vetolujuuteen verrattuna. Puristuslujuus vastaavasti 17 % ja kimmomoduuli noin 3 %. Kosteusmuodonmuutos on syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa 15 mm taulukon 1 mukaan, kun palkin korkeus on 1 m ja kosteus muuttuu 10 %.

Puulla kokonaiskutistuminen on 3,5 % säteen suunnassa ja 7,5 % tangentin suuntaan. Liimapuu on korkeussuunnassa pääosin säteensuuntaista puuta, mistä johtuu 3,7 %:n kutistuma.

Hyvänä nyrkkisääntönä voidaan pitää arviota, että metrin korkuisen liimapuun korkeus vaihtelee noin 10 mm vuodenaikojen mukana, mikä vastaa 7,5 %:n kosteusvaihtelua liimapuussa.

Rakennesuunnitteluun puun ortotropia ja kosteusmuodonmuutosominaisuudet vaikuttavat siten, että

- kuormia, jotka aiheuttavat vetoa syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa on vältettävä, esimerkiksi palkin alareunaan tulevia isoja ripustuskuormia,
- syitä vastaan kohtisuorat puristusrasitukset eli leimapaineet on aina syytä tarkastaa,
- liittimien etäisyydet puun päästä sekä liittimien keskinäiset välit ovat suuremmat kuin esimerkiksi teräksellä ja
- liitosalueilla, joihin tulee suuria jäykkiä liitoselimiä, erityisesti puun kutistuminen kuivumisesta on syytä ottaa huomioon, koska puun vetolujuus on tässä suunnassa pieni.

## 2.2 Halkeaminen

### 2.2.1 Yleistä

Liimapuun halkeamisen syyt on usein johdettavissa taulukon 1 kimmokertoimista ja lujuuksista. Näiden pääasialliset syyt ovat:

- materiaali- ja valmistusvirheet,
- leikkausrasitusten ylittyminen,
- syitä vastaan kohtisuoran vetorasituksen ylittyminen ja
- puun kuivuminen.

### 2.2.2 Materiaali ja valmistusvirheet

Materiaali- ja valmistusvirheistä on tärkein liimausvirhe. Liimausvirhe näkyy liimapuupalkissa halkeamana, joka on lähes suora ja on liimasauman kohdalla. Pahimmassa tapauksessa se on samassa saumassa molemmiin puoliin. Valmistusvirheet ovat käytännössä melko harvinaisia. Jos halkeama on pääasiassa muussa kohdassa kuin liimasaumassa, kyseessä ei ole liimausvirhe.

### 2.2.3 Leikkausrasitusten ylittyminen

Leikkausrasitusten ylittyminen näkyy palkin lappeessa palkin pituussuuntaisena halkeamana. Se on yleensä palkin tukien lähellä ja suunnilleen palkin korkeuden puolivälissä. Tämä vauriotyyppi on käytännössä harvinaisen ja edellyttää lisäksi joko liimauksen epäonnistumista tai kuivumishalkeamia palkissa.

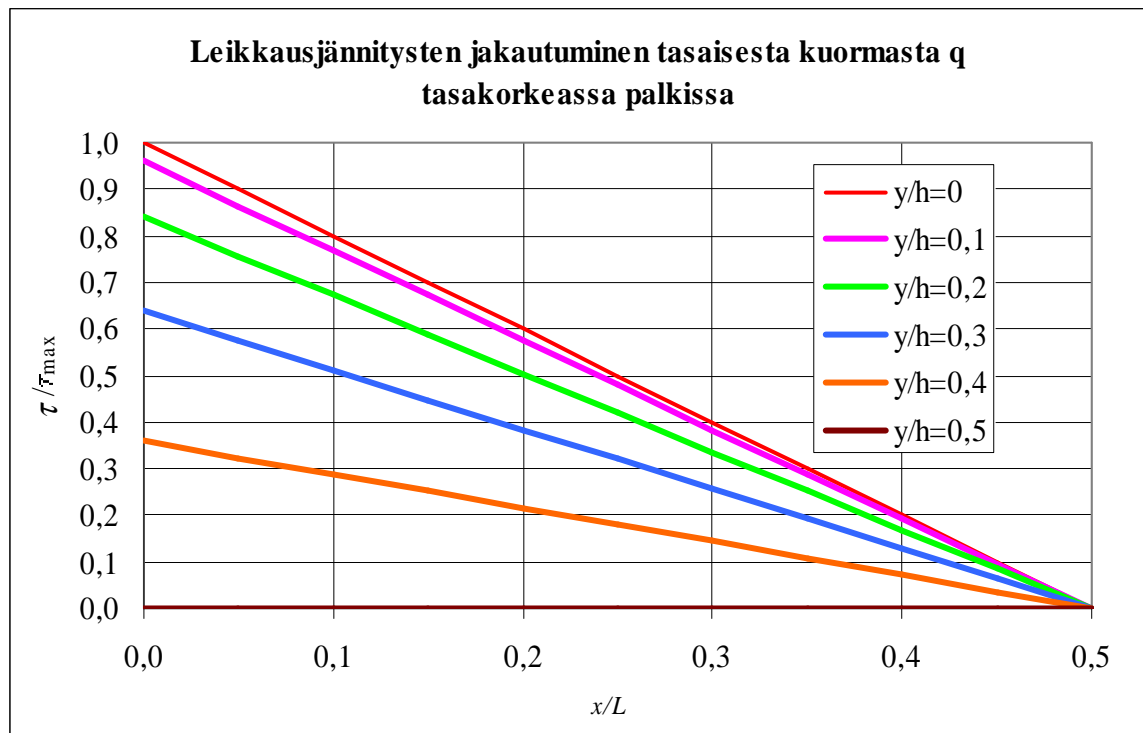
Suuret leikkausrasitukset ovat rakenteissa käytännössä pienellä alueella, josta ne pienenevät nopeasti siirtyäessä palkin pituussuuntaan tai korkeussuuntaan. Esimerkkinä tästä on kuvassa 1 suoralle tasakorkealle palkille esitetyt arvot, jotka on normeerattu siten, että tuen lähellä oleva suurin arvo on 1. Palkin korkeussuunnassa leikkausjännitykset noudattavat paraabeli-käyrää. Kaavassa (1) on esitetty tämä jakautuma

$$\tau = \frac{3 V_d}{2 bh} \left[ 1 - \left( \frac{2y}{h} \right)^2 \right] \quad (1)$$

missä

- $V_d$  on poikkileikkausta rasittava leikkausvoima,
- $b$  ja  $h$  ovat palkin leveys ja korkeus ja
- $y$  on tarkasteltavan kohdan etäisyys suorakaidepalkin neutraaliakselista eli poikkileikkauksen painopisteakselista

Kuormaksi on oletettu tasainen kuorma kuvan 1 arvoja laskettaessa..



Kuva 1. Leikkausjännitysten suhteellinen jakautuma tasakorkeassa palkissa palkin pituussuunnassa  $x$  ja korkeussuunnassa  $y$ .

Kuvasta 1 huomataan muun muassa:

- Suurin poikkileikkauksen leikkausrasitus on vain puolet maksimiarvosta, jos ollaan etäisyydellä  $L/4$  palkin päästä,
- Kauempana kuin etäisyydellä  $0,2h$  korkeuden puolivälistä leikkausrasitus on korkeintaan  $2/3$ -osaa suurimmasta arvostaan.

Kuvan 1 tapaisten käyrästöjen avulla voidaan arvioida palkin leikkausmurtoriskiä, kun tunnetaan halkeaman paikka ja syvyys palkissa. Tällainen halkeama on yleensä syntynyt muusta syystä kuin leikkausvoimasta. Ensimmäisenä arviona voidaan pitää sitä, että palkin leikkauskapasiteetti halkeaman kohdalla on heikentynyt halkeaman syvyyden verran. Esimerkiksi, jos halkeaman syvyys  $1/4$ -osa palkin leveydestä, niin leikkauskapasiteetti on pudonnut  $75\%$ :iin alkuperäisestä. Halkeaman syvyyden arviointi tarkasti on käytännössä mahdotonta, koska halkeaman syvyyttä mitattaessa ei voida olla varmoja, että mittaliuska on saatu todella halkeaman pohjaan. Toisaalta suunnitteluohjeiden leikkauslujuusarvot ovat halkeilemattomalla puulla saatuihin arvoihin verrattuna hieman pienempiä, joten suunnitteluohjeita laadittaessa on otettu huomioon, että puussa voi olla leikkauslujuutta pienentäviä halkeamia.

#### 2.2.4 Syitä vastaan kohtisuora vetorasitus

Puun vetolujuus syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa on pieni. Tästä syystä pienetkin vetorasitukset voivat olla pahoja. Syitä vastaan kohtisuoria vetorasituksia syntyy esimerkiksi silloin, kun

- kaarta tai kaarevaa palkkia rasittaa taivutusmomentti, joka pyrkii oikaisemaan palkkia,
- palkin vedetylle reunalle suuren leikkausvoiman alueelle (esimerkiksi suoran yksiaukkoisen palkin tuen viereen) tehdään loveus ja
- palkkiin tulee ripustuskuormia ja ripustus on tehty kuorman puoleisesta reunasta.

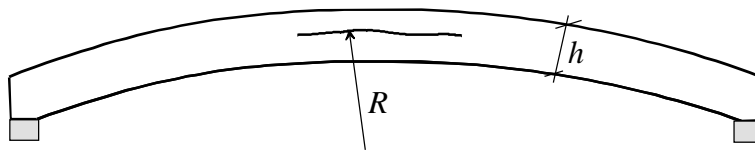
### 2.2.4.1 Kaarevat rakenteet

Laskennallisesti yksinkertaisin tarkasteltava rakenne on **tasakorkea kaareva palkki**. Jos palkkia rasittaa taivutusmomentti  $M$ , niin se aiheuttaa kaarevaan palkkiin sen korkeussuunnassa puoliväliin syitä vastaan kohtisuoran vetojännityksen, jonka suuruus on

$$\sigma_{t,90} = \frac{3 M}{2 b h R} \quad (2)$$

missä

- $b$  on palkin leveys,
- $h$  on palkin korkeus ja
- $R$  on palkin kaarevuussäde poikkileikkauksen korkeuden puolivälissä.



Kuva 2. Mahdollinen vetomurron paikka kaarevassa palkissa, kun taivutusmomentti pyrkii oikeamaan palkkia.

Jos kaarevalla palkilla on tasainen kuorma, niin syitä vastaan kohtisuora vetojännitys mitoitaa palkin ennen taivutusmomenttia, jos palkin kaarevuussäteelle  $R$  ja korkeudelle  $h$  pätee  $R/h < 16$ . Esimerkiksi, jos palkin korkeus 1 m, niin pienemmillä kaarevuussäteillä kuin 16 m syitä vastaan kohtisuora vetolujuus mitoitaa palkin ennen kuin taivutuslujuus. Edellä olevaa suhdetta laskettaessa on käytetty standardista EN 1194 saatavia liimapuun lujuusluokan GL32 arvoja. Vetolujuuteen vaikuttavaa vedetyn alueen volyyymiä ei ole otettu huomioon. Jos volyyymiä otetaan huomioon, niin edellä saatu suhde 16 kasvaa.

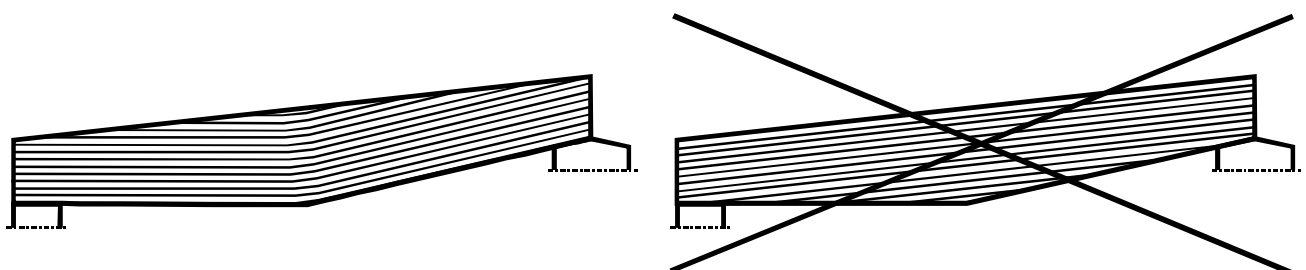
Palkin korkeussuunnassa vetojännitys muuttuu paraabelin muotoisesti edellä lasketusta suurimmasta arvosta palkin ylä- ja alareunassa arvoon nolla samoin kuin leikkausjännitys.

Jos palkin korkeus muuttuu, niin laskentakaavat monimutkaistuvat. Ne on esitetty suunnitteluohjeissa. Erityisen riskialttiina tai ainakin rakenteena, johon pitää kiinnittää huomiota ovat kaarevat harjapalkit eli bumerangipalkit. Niissä harjan alueella tulee suuria vetojännityksiä syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa. Yhtenäisen kaarevan harjapalkin sijasta suositetaan rakennetta, jossa kantava rakenne on tasakorkea kaareva palkki ja harjaosa on tehty erikseen eli sitä ei ole liimattu kantavaan osaan.

Kaarissa tulee usein mitoitettavaksi veto syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa, kun kuormituksen on kinnostumisesta aiheutuva toispuolinen lumikuorma.

### 2.2.4.2 Mahapalkki

Mahapalkilla ymmärretään nurin käännettyä harjapalkkia. tällainen mahapalkki on riski silloin kun, sen vedetyllä reunalla lamellit on leikattu vinosti reunaan nähden. Jos vedetyllä reunalla on katkeamattomat taivutetut lamellit, niin rakenne toimii. Näitä periaatteita on havainnollistettu kuvassa 3.



Kuva 3 Nurin käännettyharjapalkki eli mahapalkki

Kuvan 3 oikean puolen palkki on vaarallinen, koska siinä suurin taivutusjännitys, leikkausjännitys ja syitä vastaan kohtisuora vetojännitys osuu samaan alareunan pisteeseen. Tämän piste on tasaisella kuormala etäisyydellä

$$x = \frac{h}{H} \frac{L}{2} \quad (3)$$

missä

$h$  on palkin korkeus tuella,  
 $H$  on palkin korkeus harjalla ja  
 $L$  on jänneväli.

Leikkausjännitys on

$$\tau_d = \sigma_{m,d} \tan \alpha \quad (4)$$

ja vetojännitys syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa

$$\sigma_{t,90,d} = \sigma_{m,d} \tan^2 \alpha \quad (5)$$

Kaavoissa (4) ja (5)

$\sigma_{m,d}$  on taivutusjännitys kyseisessä pisteessä ja  
 $\alpha$  on palkin suoran reunan ja leikatun reunan välinen kaltevuuskulma.

Mitoituksessa tarkistetaan, että

$$\sigma_{m,d} \leq k_{m,\alpha} f_{m,d} \quad (6)$$

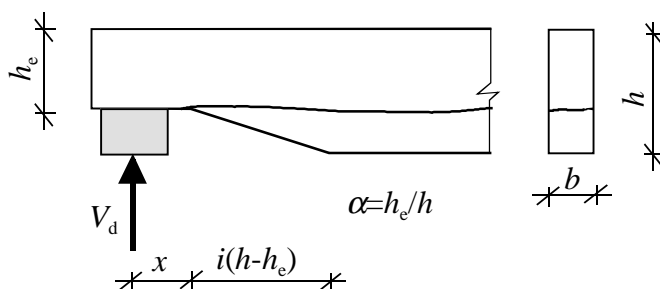
missä

$$k_{m,\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left( \frac{f_{m,d} \tan \alpha}{0,75 f_{v,d}} \right)^2 + \left( \frac{f_{m,d} \tan^2 \alpha}{0,75 f_{t,90,d}} \right)^2}} \quad (7)$$

Vaikka suunnitteluohjeissa on annettu mitoitusohje, niin rakennetta, jossa vetoreunassa lamellit katkeavat on syytä välttää. Jos kuitenkin halutaan esimerkiksi kuvan 3 mukainen mahapalkki, se pitää tehdä siten, että vedetyssä reunassa ei lamelleja katkaista vinosti, vaan alalamellit ovat katkaisemattomat ja ne ainoastaan taivutetaan harjan kohdalta, kuten kuvan 3 vasemman puolen kuvassa.

#### 2.2.4.3 Loveus

Loveus tuen lähellä vedetyssä reunassa. Esimerkki tällaisesta on kuvassa 4. Suunnitteluohjeissa loveuksen vaikutus otetaan huomioon yksinkertaisuuden vuoksi leikkausmitoituksen avulla siten, että leikkausjännitys lasketaan poikkileikkaukselle, josta on vähennetty loveuksen osuus, ja verrataan sitä puun pienennettyyn leikkauslujuuteen. Pienennyksen suuruuteen vaikuttaa loveuksen koko ja muoto. Pienennyskertoimen laskentakaavat on annettu suunnitteluohjeissa.



Kuva 4. Loveus alareunassa ja todennäköisin murtumakohta

Mahdollinen murtuminen lähtee loveuksen yläreunasta, jonka paikka on hahmoteltu kuvaan 4.



Mitoituskaavat ovat

$$\tau_d = \frac{3 V_d}{2 bh} \leq k_v f_{v,d} \quad (8)$$

$$k_v = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{k_n \left( 1 + \frac{1,1i^{1,5}}{\sqrt{h}} \right)}{\sqrt{h} \left( \sqrt{\alpha(1-\alpha)} + 0,8 \frac{x}{h} \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2} \right)} \end{array} \right. \quad (9)$$

Kertoimen  $k_n$  arvot ovat:

- massiipuulle  $k_n=5,0$
- liimapuulle ja kertopuulle  $k_n=6,5$

Muut merkinnät ovat

$h$  palkin korkeus mm,

$x$  voiman vaikutusakselin etäisyys loveukseen,

$\alpha$   $h_e/h$  ja

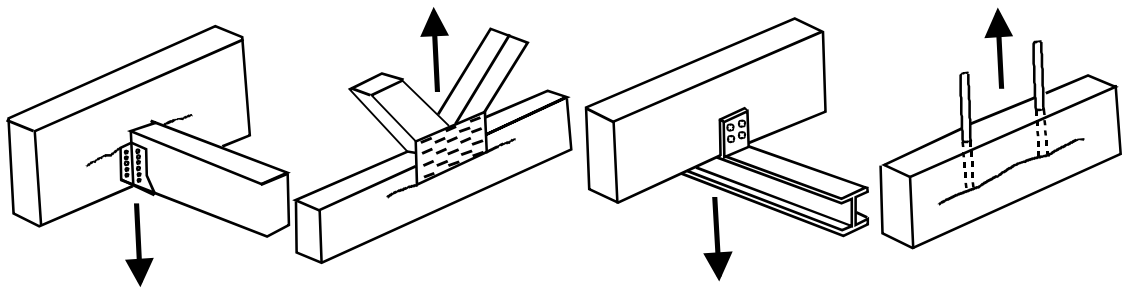
$i$  viisteen kaltevuus, (vrt. kuva 4). Pienempää kaltevuutta kuin 1:10 ei tarvitse ottaa huomioon eli  $k_v=1$ .

#### 2.2.4.4 Ripustukset

Ripustusliitoksia ovat esimerkiksi liitokset, joilla ripustetaan sekundaaripalkit primaaripalkkien kylkiin.

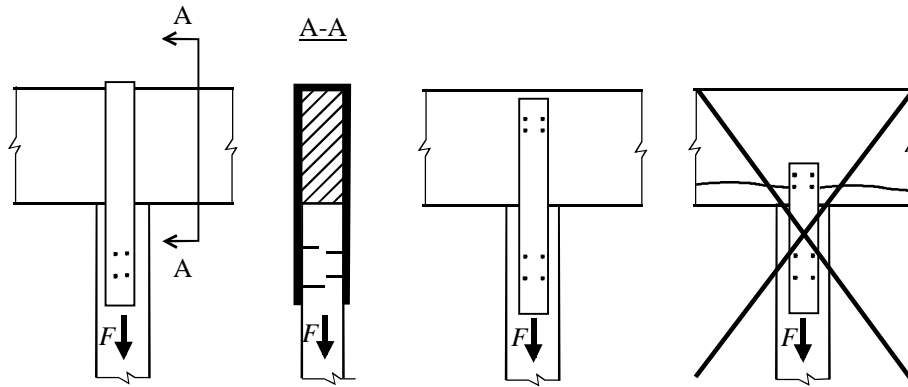
Koska puun vetolujuus on pieni, niin lähelle palkin alareunaa tehtyjen liitosten liitosvoimat voivat halkeista puun varsinkin silloin, jos puu pääsee voimakkaasti kuivumaan. Ripustusliitoksissa tavallisen liitosmitoituksen lisäksi on tarkistettava puun kapasiteetti syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa. Tähän kapasiteettiin vaikuttaa se, missä kohdassa liitos on palkin korkeussuunnassa ja kuinka leveä on liitosalue, kun käytetään metallista liitospelintä, levyä tai vastaavaa.

Ripustuksilla tarkoitetaan tässä tapauksia, joissa kuormat aiheuttavat oleellisia rasituksia puun syysuuntaa vastaan kohtisuorassa suunnassa. Tästä on esimerkkejä kuvassa 5.



Kuva 5. Esimerkkejä huonoista ripustusliitoksista, jossa puu halkeaa syitä vastaan kohtisuorasta vetorasituksesta..

Kuvassa 6 on esimerkki sekä hyvästä että huonosta liitoksesta. Siinä vasemman puoleisessa tapauksessa ei ole halkeiluvaaraa kuormituksen takia. Oikean puoleisessa tapauksessa on vasemman puoleista tapaus- ta suurempi halkeamisvaara.



Kuva 6. Paras ripustus vasemmalla, hyvä keskellä ja huono oikealla.

Laskennallisesti ripustusliitoksen kapasiteetti voidaan laskea kaavasta

$$F_{t,90,k} = 14bw \sqrt{\frac{h_e}{\left(1 - \frac{h_e}{h}\right)}} \text{ N} \quad (10)$$

missä

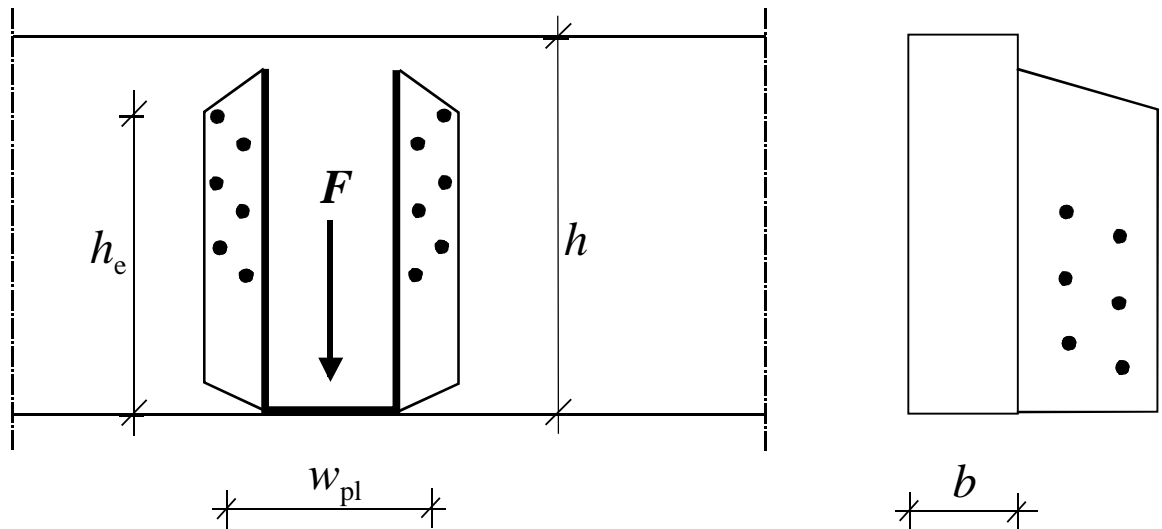
$$w = \begin{cases} \max \left\{ \left( \frac{w_{pl}}{100} \right)^{0,35} \right. & \text{teräksille naulauslevyille ja muotokiinnikkeille} \\ 1 & \text{kaikille muille kiinnikkeille} \end{cases} \quad (11)$$

$h_e$  on uloimman kiinnikkeen etäisyys kuormitetusta reunasta (mm),

$h$  on puuosan korkeus (mm),

$b$  on puuosan leveys (mm),

$w_{pl}$  on uloimpien kiinnikkeiden suurin etäisyys puun syiden suunnassa.

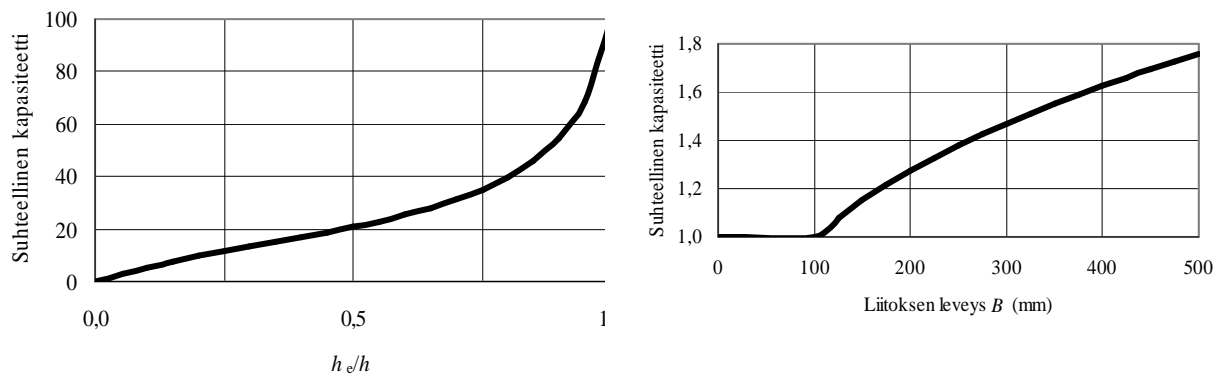


Kuva 7. Kaavojen merkinnät ripustusliitoksen kapasiteettia laskettaessa

Kuvassa 8 on havainnollistettu edellä mainittujen kahden tekijän vaikutusta liitoksen kapasiteettiin. Kuvasta 8 huomataan, että kiinnitys kannattaa tehdä palkin yläosaan, koska liitoksen suhteellinen kapasiteetti halkeilun suhteen kasvaa. Kuvasta 8 huomataan myös, ettei liitoksen kapasiteetti ole suoraan verrannollinen liitosalueen leveyteen.

Ripustusliitosten mitoittamiseen kuuluu siis aina

- liitoksen perinteinen kapasiteetti, joka määrää ainakin pienissä liitoksissa kapasiteetin ja
- edellä esitetty tarkastelu puun poikittaisen vedon suhteen.



Kuva 8. Liitoksen ripustuskorkeuden  $h_e$  ja leveyden vaikutus liitoksen kapasiteettiin

## 2.2.5 Palkin kuivuminen

Palkin kuivuminen, nimenomaan kuivuminen ja kutistuminen eikä kostuminen ja paisuminen, lisää halkeiluvaaraa. Tällöin syntyy syitä vastaan kohtisuoria vetorasituksia, jos muodonmuutos on tavalla tai toisella estetty joko osittain tai kokonaan.

Liimapuun valmistuskosteus on suuruusluokkaa 10-12 %, mihin kosteuteen liimapuu asettuu, jos se on riittävän pitkään ilman suhteellisessa kosteudessa 50-60 % RH. Vaikka iso liimapuu kostuukin hitaasti kosteassa tai märässä ilmassa, sen kosteus on asennuksen jälkeen suurempi kuin valmistuskosteus varsinkin silloin, kun se asennetaan loppuvuodesta. Lämmityskaudella palkit alkavat kuivua joko valmistuskosteudestaan tai asennuksen aikaisesta kosteudesta. Tämä ensimmäinen kuivumisjakso on pahin halkeamien syntymisen kannalta. Seuraavat kuivumis- kostumissyklit seuraavat vuodenaikojen vaihtelua, joten palkki on kuivimmillaan keskimäärin maaliskuussa ja kosteimmillaan juuri ennen lämmityskauden alkua. Vuotuinen palkin kosteuden keskiarvo on suunnilleen 10 % ja kuivin palkin pinnassa 5-8 % ja kostein 12-15 %.

Jos kosteusvaihtelusta aiheutuvat muodonmuutokset pääsevät tapahtumaan ilman, että muodonmuutokset on estetty joko kokonaan tai osittain, niin vauriot jäävät yleensä korkeintaan esteettiseksi.

Jos rakenteet ovat sellaisia, että muodonmuutokset on estetty, kuivuessa syntyy halkeamia, jotka voivat heikentää palkin kantavuutta merkittävästi. Estäviä rakenteita ovat mm.

- palkin teräskiinnitykset tuella ja
- laajalle alalle syiden suuntaa vastaan kohtisuorassa suunnassa oleva puuhun kiinnitetyt teräsovat.

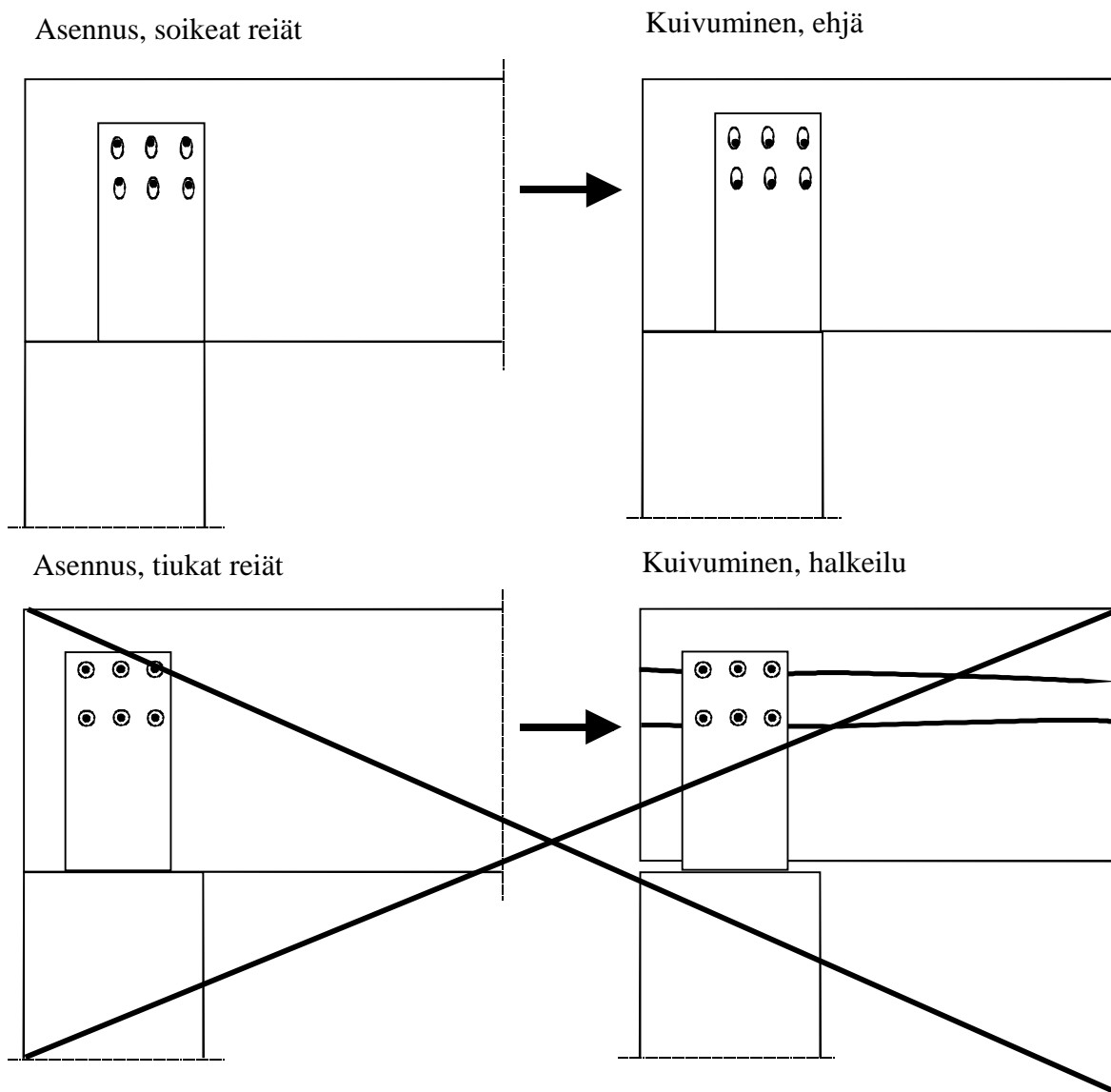
Seuraavassa on tarkasteltu esimerkkeinä palkin kiinnitystä tuella ja palkin kylkeen tehtyä ripustusliitosta. Sama periaate pätee myös muihin liitoksiin, joissa puuhun kiinnitetään jäykkä teräsosa, jonka pituus puun syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa on suuri.

Riski on myös palkin epätasainen kuivuminen. Koska kuivuminen on nopeinta syiden suuntaan, niin se on nopeinta palkin päissä, loveuksien ja reikien kohdalla ja yleensä siellä, missä palkin pinnassa syyt on katkaistu.

### 2.2.5.1 Palkin kiinnitykset tuella

Jos palkki on kiinnitetty alustaansa teräsovilla, jotka puolestaan on kiinnitetty palkin kylkiin, saattaa seurauksena olla palkin halkeaminen. Tällöin teräsovat tai teräksen ja palkin välinen liitos olla sellainen, että palkin kuivuessa kuormasta ainakin osa siirtyy palkin alareunan kosketukselta liitososille. Tätä on ha-

vainnollistettu kuvassa 9. Palkin kiertymän vaikutus teräsosien ja palkin kiinnityksen rasituksiin pienee, jos teräsosat sijoitetaan mahdollisimman lähelle pilarin sisäreunaa.



Kuva 9. Palkin liitos tuella. Kiinnitykseen on käytetty teräslevyä, joka on kiinnitetty palkin kylkeen pulteilla tai vastaavilla.

Ylemmässä kuvassa on teräsosien reiät tehty alun perin soikeiksi ja liittimet on kohdistettu asennuksessa reikien ylälaitaan. Kuivuessaan palkki kutistuu, liitin liukuu soikeissa reiässään ja palkki jää ehjäksi.

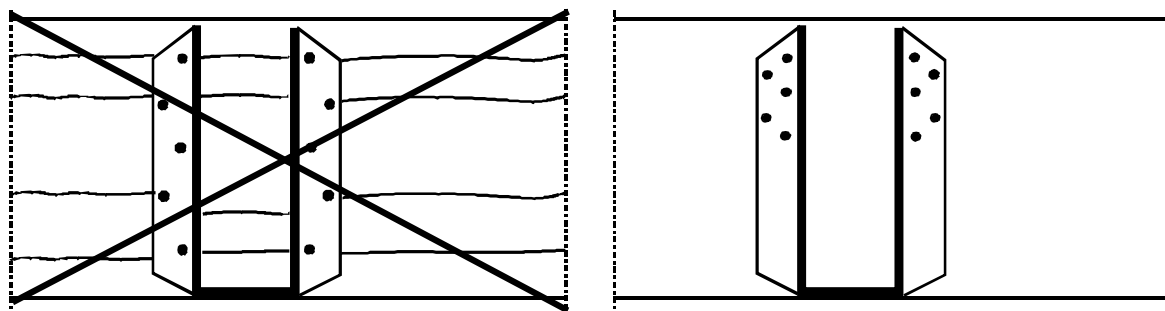
Alemmassa kuvassa kiinnikkeet on sovitettu tiukkaan reikään ja kuivuessaan palkki jää roikkumaan kiinnikkeiden varaan, kunnes palkin pää murtuu syitä vastaan kohtisuoran vetolujuuden ylittyessä kokemuksen mukaan reikien kohdalla. Jos kattorakenteella ei ole lumikuormaa, niin palkki jää roikkumaan ilmaan kiinnikkeiden varaan. Tällöin riittää käytännössä korjaukseksi se, että rakoon kiilataan, esimerkiksi vane-rista tehty raon täyttävä täyte, jonka mitat määritetään siten, ettei syitä vastaan kohtisuora puun puristuslujuus ylitä mitoituskuormalla.

Jos palkki jostain syystä kostuu asennuksen jälkeen, niin se ei välttämättä johda vaurioon. Tämä johtuu siitä, että puristus syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa on suurempi kuin vastaava vetolujuus ja murto-tapa puristuksessa on sitkeä ja vedossa hauras. Sitkeässä murrossa muodonmuutokset kasvavat suureksi ennen murtumista varsinkin puun puristuksessa syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa. Vauriovaara syn-tyy silloin, kun kostumisaika on niin pitkä, että palkki kostuu syvältä ja palkki kuivataan nopeasti. Tällöin pintaa tulee vetojännityksiä ja pahassa tapauksessa myös halkeamia.

Edellä selostettua kiinnitystä suunniteltaessa kuivumisesta aiheutuva halkeiluvaara helposti unohtuu, jos liitoksen on tarkoitus estää palkkia kaatumasta sivulle. Kuvassa 9 olevat liitokset ovat huonoja myös siitä syystä, että kiinnitys on viety korkealle palkin korkeussuunnassa. Tällöin etäisyys palkin alapinnasta liittinryhmän ylimpiin liittimiin tulee suureksi ja kutistumisesta aiheutuva tarvittava liikkumisvara tulee myös suureksi.

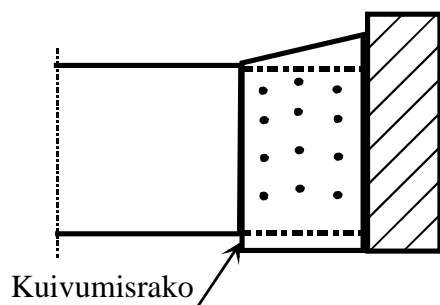
### 2.2.5.2 Kiinnitys palkin kylkeen

Edellä selostetun syitä vastaan kohtisuoraan vetorasitetun liitosrasituksen lisärasituksena on kutistumisesta aiheutuva vetojännitys syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa. Lopputuloksena ovat halkeamat palkissa, jotka useimmiten kulkevat liittimien kohdalta. Tämä vauriotyyppi on paha siinä mielessä, että halkeamat syntyvät silloin, kun ilman suhteellinen kosteus on pieni eli lämmitetyssä tilassa talvella. Tällöin on todennäköisesti myös lumikuormaa, joten rasitus on muutenkin suuri.



Kuva 10. Korkea ripustusliitos palkin kyljessä. Vasemmalla on liitos, jota pitää välttää halkeiluvaaran takia. Oikealla oleva toimii paremmin, koska kauimmaisen liittimen palkin korkeussuunnassa ovat lähempänä toisiaan kuin vasemmalla olevassa kuvassa. Lisäksi liittimet ovat kaukana palkin alareunasta.

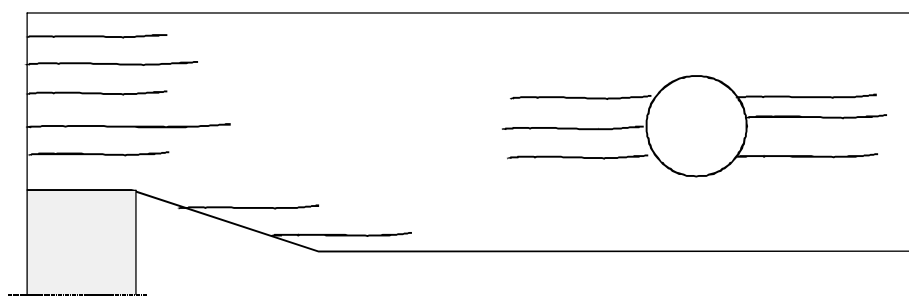
Vaikka varsinaista vauriota ei olekaan tapahtunut, kannattaa tarkistaa, ettei kantopinnaksi valitun osan teräsosan välillä ole rakoja. Jos rako on, niin kiinnikkeet kantavat koko kuorman ja myöhemmin kuorman kasvaessa syntyy halkeamia, koska liitosta ei yleensä ole suunniteltu niin, että liittimet kantavat koko kuorman. Tästä on esimerkki kuvassa 11, joka on periaatteessa sama liitos kuin kuvassa 10.



Kuva 11. Korkea ripustusliitos palkin kyljessä, jossa liitetyn palkin alapinta ei ole kosketuksissa palkkikenkään puun kutistumisesta johtuen.

### 2.2.5.3 Epätasainen kuivuminen

Herkkiä epätasaiselle kuivumiselle ovat palkkien päät, loveusten ja reikien reunat, joita on esitetty kuvassa 12.



Kuva 12 Epätasaisesta kuivumisesta aiheutuvat halkeiluriskikohdat

Halkeiluriskiä voidaan pienentää suojaamalla leikatut pinnat sopivalla kosteudensulkuaineella. Rakenteiden kantavuuden kannalta vaarallisin alue on loveuksen kohta. Reiän ympäristö voi olla vaarallinen silloin, jos reiän läpi menee ilmanvaihtokanava tai vastaava, jonka lämpötila on ympäristöään korkeampi. Putken mahdollisessa lämpöeristämässä on varottava, ettei eristeellä täytetä kokonaan putken ja puun välistä tilaa. Jos näin tehdään, niin puun lämpötila on lähellä putken lämpötilaa.

## 2.2.6 Ulkona olevat rungon osat

Kokonaan ulkona olevissa rungon osissa halkeiluriski on suurempi kuin sateelta suojatussa joko lämmitetyssä tai lämmittämättömässä tilassa. Näihin vaikuttaa vuorotellen sade ja auringon paiste ja kosteusvaihtelu pintaosissa on suuri. Jos pinnoitteilla aiotaan estää edellä mainittu kosteusvaihtelu, pinnoitteen on todella kestävä halkeilusta aiheutuvat muodonmuutokset. Jos puu pääsee halkeilemaan, niin vesi tunkeutuu halkeamista puun sisään, mutta kuivuu hitaasti pinnoitteen suojavaikutuksen takia. Lopputuloksena on todennäköisesti puun lahoaminen. Palkin pinnoittamista luotettavampi ratkaisu on tehdä puurakenteen pintaan tuuletettu verhous, joka voidaan tarvittaessa helposti vaihtaa.

## 2.2.7 Käyttötarkoituksen muutos

Käyttötarkoituksen muutos vaikuttaa halkeiluominaisuuksiin silloin, kun

- rakenteen toimintatapa muuttuu tai
- rakennuksen lämpötila muuttuu ja
- rakennuksen kosteusolosuhteet muuttuvat.

### 2.2.7.1 Rakenteen toimintatavan muutos

Rakenteen toimintatavan muutos edellyttää rakenteen mitoituksen tarkistamista uusille kuormille eli taivannaista rakennesuunnittelua.

### 2.2.7.2 Lämpötilan muutos

Lämpötilan muutos aiheuttaa yleensä myös kosteuden muutoksen rakenteiden ympäristössä. Esimerkkejä tällaisista muutoksista ovat

- lämpimänä olleen rakennuksen jääminen kylmilleen joko käytön loppumisen seurauksen tai lämpimän rakennuksen muuttamisen kylmään käyttöön tai
- kylmän rakennuksen muuttamisen lämpimään käyttöön.

Kun lämmin rakennus jää kylmilleen, niin tällöin siinä olevan puun kosteus kasvaa, koska ympäröivän ilman suhteellinen kosteus kasvaa. Siirtymävaiheessa kosteusjakautuma on epätasainen rakenteen sisä-

osan ja pintaosien välillä. Tällöin pintaosiin syntyy puristusta ja sisäosiin vetoa, jolloin niin sanottu hallittu muutos voidaan tarvittaessa tehdä samaan tapaan kuin rakennuksen kuivauksen yhteydessä, jota on selvitetty kohdassa 3.4. Tasaisesta kosteuden lisäyksestä ei halkeilun kannalta ole haittaa, koska estetystä paisumisesta syntyy puristusrasituksia ja puristuslujuus syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa moninkertainen vastaavaan vetolujuuteen verrattuna.

Kylmän rakennuksen muuttaminen lämpimään käyttöön muistuttaa siirtymisvaiheessa rakennuksen ottamista käyttöön uudisrakentamisen yhteydessä. Lisäksi on syytä tarkistaa, ettei kuivuminen synnytä sellaisia vetorasituksia syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa, joita ei alkuperäisessä suunnittelussa ole otettu huomioon. Tällaisia ovat esimerkiksi järeään puurakenteeseen kiinnitetyt teräsosat, jotka estävät puun kutistumisen sen kuivuessa.

## 3 RAKENNUSTYÖ

Rakennustyöllä tarkoitetaan tässä rakennuskomponentin valmistusta tehtaassa, komponentin kuljetusta työmaalle, sen asentamista paikalleen ja olosuhteiden hallintaa rakennuksen käyttöön ottoon saakka. Halkeilun estämisen kannalta on tärkein puun kosteuden hallinta.

### 3.1 Valmistus tehtaalla

Valmistuksessa tavoitekosteuskosteus on pääsääntöisesti 10-12 %. Matalaa valmistuskosteutta voidaan perustella seuraavasti:

- Talvenaikana lämmityksestä johtuen kosteus palkin pintaosissa voi laskea jopa 5 %:iin ja syksyllä nousta 10-12 %. ja on keskimäärin 8 %,
- Koska lamellit höylätään mittoihinsa liimauskosteudessa, niin kuivuminen kutistaa lapepintoja enemmän kuin palkin keskiosaa, koska pinnoissa vuosirenkaan tangentin suunta on suunnilleen pinnan suunta ja keskellä vuosirenkaan säteen suunta. Vuosirenkaan tangentin suuntaan kosteusmuodonmuutoskerroin on noin kaksinkertainen säteen suuntaiseen kertoimeen verrattuna..
- Jos puun valmistuskosteus on suurempi kuin käyttökosteus, niin valmistuksen yhteydessä jäykki-en teräsosien ja puun välisiin liitoksiin syntyy puuhun vetojännityksiä sen kutistuessa puun syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa, jossa puun kestävyys on heikko

### 3.2 Kuljetus

#### 3.2.1 Mekaaniset rasitukset

Pitkien ja järeiden puurakenteiden nostot ja kuljetus ovat periaatteessa samanlaisia kuormitustapauksia kuin rakenteiden käyttö valmiissa rakennuksissa. Tästä syystä pitää rakennesuunnitelmaan sisältyä nosto ja kuljetussuunnitelma, jossa esitetään tarvittavat nostovoimat ja nostopaikat sekä mahdolliset sivuttaistuennat. Sama koskee kuljetuksen aikaisia tuentoja ja rakenteiden sitomisia siten, että ne eivät pääse kaatumaan.

Nostoissa nostopisteet pitää suunnitella ja valita siten, että rakenne kestää painonsa aiheuttamat rasitukset. Materiaalin lujuutena voidaan käyttää aikaluokan hetkellinen mukaisia lujuuksia. Erityisesti kaarevien rakenteiden nostoissa on kiinnitettävä huomiota siihen, ettei rakenne kiepahda omasta painosta. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että kaarevat rakenteet nostetaan, mikäli mahdollista, korkeimmasta kohtaa. Tällöin rakenne ei kiepahda eikä sen poikkileikkaukseen synny syitä vastaan kohtisuoria vetojännityksiä.

#### 3.2.2 Kosteus kuljetuksen aikana

Kuljetukseen liittyvästä halkeiluista ei ole yksittäistapauksia lukuun ottamatta tiedossa vaurioita, joten kuljetus toimii nykyistenkin työtapojen mukaan kelpollisesti. Periaatteessa varsinkin pitkien kuljetusten aikana on kastumisriski olemassa. Käytännössä rakenteet suojataan muoveihin tai vastaaviin kuljetuksen aikana. Lyhytaikainen kastuminen ei aiheuta rakenteellista riskiä, koska kosteuden imeytyminen massiiviseen puuhun on melko hidasta.

### 3.3 Varastointi työmaalla

#### 3.3.1 Tuennat

Rakenteet pitää tukea työmaavarastoinnin aikana periaatteessa samoista kohdin kuin valmiissa rakenteessa. Tällöin rakenteisiin ei synny muodonmuutoksia, jotka poikkeavat muodonmuutoksista normaalissa käytössä. Erityisesti on varmistettava, että varastointialusta on suora, jolloin rakenne ei varastoinnin aikana pääse kieroutumaan. Tämä helpottaa myös asentamista, koska osat sopivat paikalleen kuten ne on alun perin suunniteltu.

#### 3.3.2 Kosteusriskit

Halkeilunkin kannalta puurakenteet on suojattava kastumiselta työmaalla. Erityisesti on estettävä jatkuva kosketus veteen. Lyhytaikainen kosketus veteen ei ole merkittävä, koska vesi ei tällöin voi imeytyä puuhun ja kosteusmuodonmuutokset jäävät tapahtumatta eikä samalla halkeiluriski lisäännä. Sen sijaan puurakenne ei saa joutua työmaalla varastoinnin aikana pitkäksi aikaa veteen, vaan se on nostettava ehdottomasti irti maasta ja lumesta ja vedestä. Kastuminen ja turpoaminen ennen asennusta lisäävät halkeiluriskiä silloin, kun asennusosat kiinnitetään työmaalla asennusaikaisiin mittoihin sovitettuna. Erityisesti on huolehdittava, ettei vettä pääse kerääntymään esimerkiksi kotelorakenteiden sisään tai liitosten umpikoloihin.

### 3.4 Rakenteiden käyttöönotto

Rakennuksen käyttöönotossa voidaan erottaa kaksi vaihetta

- rakennuksen lämmitysvaihe ja
- rakennuksen sisävalmistusvaihe.

#### 3.4.1 Lämmitysvaihe

Rakennuksen lämmitys voidaan aloittaa yleensä heti, kun rakennuksen vaippa tulee riittävän tiiviiksi.

Tällöin kuivataan usein betonirakenteita ja talvisaikaan sulatetaan rakentamisen aikana kertynyttä jäätä ja lunta. Lämmityksen alkuvaiheessa ilman kosteus on yleensä hyvin korkea. Tällöin puu kostuu, vaikka se olisikin säilynyt asennusvaiheen pahemmin kastumatta.

#### 3.4.2 Sisävalmistusvaihe

Sisävalmistusvaiheessa suurin osa kosteudesta on saatu pois rakenteista ja vaarana voi nyt olla puurakenteiden liian nopea kuivuminen ja halkeiluvaaran kasvu varsinkin talviaikana kovilla pakkasilla. Tällöin rakennukseen tulee korvausilma ulkoa ja ilman absoluuttinen kosteus on pieni. Kun ulkoa tullut ilma lämpenee sen suhteellinen kosteus putoaa ja voi olla suuruusluokkaa 10-20%. Tästä syystä puurakenteiden kuivaus pitää tehdä hallitusti.

Puurakenteiden kuivaus voidaan tehdä seuraavan kaavion mukaisesti

1. Kuivaus tehdään portaittain siten, että kussakin portaassa kuivumistavoite on 6%.



2. Tämä tarkoittaa sitä, että määritetään kuivauksen aikaisen ilman suhteellinen kosteus siten, että edellä olevaa arvoa ei ylitetä. Esimerkiksi jos palkin lähtökosteus on 15 %, niin voidaan valita ilman suhteellinen kosteus 50 %RH, jota ei aliteta. Tällöin puun tavoitekosteus ja samalla tasapainokosteus on noin 9-10 % eikä 6 %:n porrasta ylitetä
3. Lasketaan tarvittava kuivumisaika, kun tunnetaan puun paksuus ja kuivauslämpötila.

$$t = 0,0018kB^2$$

missä

$B$  on kuivattavan puun leveys (mm),

$k$  on kuivauslämpötilasta riippuva kerroin, joka saadaan taulukosta 2, ja

$t$  on kuivumisaika (vrk)

4. Toistetaan tarvittaessa kierros uudelleen seuraavalla alhaisemmalla kuivumistavoitteella.

Taulukossa 2 on esitetty edellä mainitulla kaavalla laskettuja kuivumisaikoja eri kuivamislämpötiloilla.

*Taulukko 2. Puun kuivaukseen tarvittava aika (vrk) eri kuivauslämpötiloissa ja eri puun leveyksillä, kun kuivumistavoite 6 %, mikä on suurin mahdollinen kuivumistavoite yhdellä syklillä. Kuivuminen tapahtuu puun kahdelta sivulta.*

Leveys B (mm)	T (C°)			
	10	15	20	24
	Kerroin $k$			
	3	2	1,5	1
90	44	29	22	15
115	71	48	36	24
140	106	71	53	35
165	147	98	74	49
190	195	130	97	65
215	250	166	125	83

Taulukon 2 kuivausajat ovat niin pitkät, että niitä ei yleensä pystytä noudattamaan aikataulusyistä.

Massiivisten puurakenteiden kuivaus pitää olla kaksivaiheinen jolloin ensiksi kuivataan suhteelliseen kosteutta 50 % RH vastaavaan tasapainokosteuteen ja sitten suhteellista kosteutta 35 % RH vastaavaan tasapainokosteuteen.

## 4 YLLÄPITO

Rakennuksen käytön aikana liimapuiden kunto pitää tarkastaa säännöllisesti.

### 4.1 Halkeamien vaarallisuus

Halkeaman vaarallisuuteen vaikuttaa sen koko ja haljenneelle alueelle kohdistuva rasitus. Liimapuussa on yleensä aina pieniä halkeamia, joilla ei ole käytännössä merkitystä kyseisen rakenteen kantavuuteen. Tällaiset halkeamat ovat tyypillisesti suuruusluokkaa 10 mm syviä ja korkeintaan noin yhden metrin pituisia. Tällaiset halkeamat ovat yleensä kuivumishalkeamia ja niistä on lähinnä ulkonäköhaittaa.

Halkeaman syvyys voidaan arvioida mittaamalla esimerkiksi rakotulkilla.

Vedettyjen tai puristettujen (esimerkiksi pilarien) halkeamat ovat yleensä vaarattomampia kuin palkkien halkeamat, koska näihin kohdistuu pääasiassa vain rakenteen pituussuuntaista rasiitusta. Puhtaasti vedettyjen rakenteiden kantavuuteen ei halkeilulla ole merkitystä, ellei sitä ole liitosalueilla, joissa halkeilu alentaa liitosten kestävyttä. Puristetuissa rakenteissa kantavuus voi heikentyä, jos halkeamat ovat todella suuria ja ne voivat tällöin vaikuttaa nurjahduskapasiteettiin.

Taivutetuissa rakenteissa halkeamat voivat olla vaarallisia, jos ne ovat suurten leikkausrasitusten alueella, esimerkiksi tasakorkeiden yksiaukkoisten palkkien tuilla korkeuden puolivälissä.

Jos rakenteeseen vaikuttaa syitä vastaan kohtisuoria kuormia, halkeamat ovat pääsääntöisesti aina vaarallisia. Tällaisia rakenteita ovat esimerkiksi kaarevat palkit, joissa taivutusmomentti pyrkii oikaisemaan palkkia

## 4.2 Korjaustarpeen arviointi

Korjaukset ovat aina tarpeen, jos halkeilusta aiheutuu rakenteellinen riski. Rakenteellisen riskin arvioinnissa pitää ottaa huomioon

- rasitukset vaurioituneella kohdalla ja
- vaurioitumisen suuruus.

### 4.2.1 Rasitukset vaurioituneella alueella

Rasitukset lasketaan vaurioituneella alueella rakenteelle tulevista todellisista kuormista. Kuormina käytetään kuitenkin aina viranomaismääräysten vähimmäiskuormia. Erityisesti selvitetään leikkausrasitukset ja vetorasitukset syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa. Selvityksen lopputuloksena ovat käyttöasteet, jotka ovat siis kuormien aiheuttamia rasituksia vastaaviin kapasiteettiarvoihin. Tämä tarkoittaa leikkauksen suhteen kuormien aiheuttaman leikkausjännityksen suhdetta kuormaa vastaavaan leikkauslujuuteen ja syitä vastaan kohtisuoran vetojännityksen suhdetta vastaavaan leikkauslujuuteen.

### 4.2.2 Vaurioitumisen suuruus

Vaurioitumisen suuruudella tarkoitetaan halkeamia tarkasteltaessa halkeaman syvyyttä, pituutta ja paikkaa. Oleellista on tarkastaa, onko palkkien molemmilla sivuilla halkeama samassa kohdassa. Jos halkeama on samalla kohdalla, niin halkeaman syvyydeksi otetaan halkeamien summa. Halkeaman syvyyttä voi arvioida ohuilla rakotulkeilla. Rakotulkilla saatu mitta on halkeaman vähimmäissyvyys. Todellisen syvyyden arviointi on käytännössä mahdotonta. Mitattuun syvyyteen pitää lisätä jokin "varmuuskerroin" eli esimerkiksi 1,5, jos ei muusta syystä päädytä muuhun arvoon.

### 4.2.3 Päätelmät korjaustarpeesta

Korjaus on tarpeen, jos heikentyneen rakenteen mitat, eivät täytä kapasiteetin käyttöastetta 1. Esimerkiksi jos 190 mm leveän liimapuupalkissa on tavattu halkeama, jonka mitattu syvyys on yli 20 mm ja käyttöaste halkeaman kohdalla on 0,8, niin mitatun halkeaman syvyys saa olla  $(1-0,8) \cdot 190 = 38$  mm. Jos halkeama on suurempi, niin palkki pitää vahvistaa halkeaman kohdalta siten, että käyttöaste on vähintään 1,0. Jos rakenne vahvistetaan siten, että vahvistuksessa käytetään mekaanisia kiinnikkeitä, niin vahvistuksen on kestävä koko rasiitus. Tämä siitä syystä, että mekaaninen liitos vaatii aina siirtymän liitososien välillä ennen kuin liitos ottaa vastaan voimia. Jos korjauksessa päädytään liimaliitoksiin, korjauksen kapasiteetiksi riittää lisäkapasiteetti, jolla päästään käyttöasteeseen 1. Liimaliitosten teko kantaviin rakenteisiin työmaalla on periaatteessa kielletty, mutta vaurioiden korjauksessa se on pakko sallia käytännön syistä.

### 4.3 Korjausajankohta

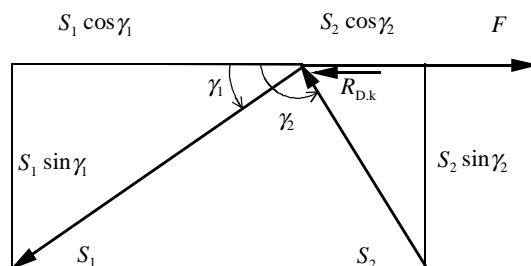
Korjausajankohta valitaan tapauskohtaisesti. Aina kuitenkin pyritään siihen, että korjaus tehdään silloin, kun rakenteilla ei ole kuormaa eli kattokannatteiden korjaus tehdään kesäaikana. Kesäaika, varsinkin loppukesä, ennen lämmityskauden alkua on sopiva ajankohta halkeamien kannalta. Jos korjaus tehdään lämmityskauden loppupuolella, jolloin sisäilma on pitkään ollut kuiva ja puu ainakin pintaosista on kuivimmillaan

### 4.4 Korjausmenetelmät

#### 4.4.1 Vinotangot

Vinotangoilla tarkoitetaan vaurioituneelle alueelle porattuihin reikiin liimattuja terästankoja. Näistä on annettu suunnitteluohjeet puurakenteiden suunnitteluohjeissa RIL 120.

Vinotankoliitos eli V-liitos muodostuu kahdesta vinosti toisiinsa nähden liimatusta, yleisimmin harjate-rästä olevasta tangosta, ( $S_1$  ja  $S_2$ ), jotka on kiinnitetty toisiinsa yhtenäiseksi kokonaisuudeksi (kuva 13).



Kuva 13. V-liitoksen toiminta.

V-liitoksen kapasiteetti lasketaan kaavasta

$$F_k = S_1 \frac{\sin(\gamma_1 - \gamma_2)}{\sin \gamma_2} + R_{D,k} \quad (12)$$

$R_{D,k}$  on vaarnavaikutus, joka voidaan leikkausliitoksissa laskea mukaan ruuviliitosten kaavoilla edellyttäen, että suurempi kulma on enintään  $130^\circ$ .

Puun kapasiteetti  $N_{t,k}$  syysuuntaan vedetyssä V-liitoksessa (kuva 14) määritetään liitososan puun teholliselle poikkileikkaukselle kaavasta

$$N_{t,k} = b_{ef} L \sin \alpha f_{t,k} \quad (13)$$

jossa

$L$  on terästangon pituus,

$\alpha$  terästangon ja puun syysuunnan välinen kulma ja

$f_{t,k}$  on puun ominaisvetolujuus.

Tehollinen leveys  $b_{ef}$  saadaan kaavasta

$$b_{ef} = b - nD \quad (14)$$

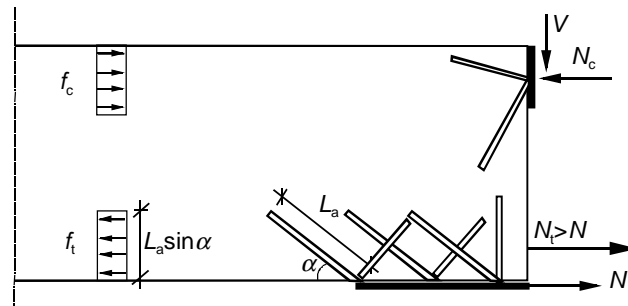
jossa

$n$  on kauimpana liitossaumasta olevien vierekkäisten porausten  $D$  lukumäärä ja

$D$  on porauksen läpimitta.

Teräsosat mitoitetaan teräsrakenteiden suunnitteluohjeiden mukaan.

Liitosten valmistajilla tulee olla erillinen todistus osaamisestaan ja laitteiston sopivuudesta.



Kuva 14. Kaaviopiirros puun vetokapasiteetin määrittämisestä V-liitoksessa.

Vetokomponentti kohtisuorasti syysuuntaa vastaan siirretään erillisillä tangoilla.

Tankojen pienimmät sallittavat etäisyydet V-liitoksissa ovat:

10d	syysuunnassa,
3,0d	kohtisuorasti syysuuntaa vastaan,
10d (7d, kun $\gamma_2=90^\circ$ ),	päätyetäisyys syysuunnassa ja
1,5d	reunaetäisyys.

#### 4.4.2 Vanerointi

Vaneroinnilla ymmärretään palkkien vahvistamista vaurioituneelta alueelta. Käytännössä vanerointi tehdään siten, että palkin kylkiin kiinnitetään ruuviliimatut vanerivahvistukset.

Ruuveilla saadaan liimauksen vaatima puristus, joten naulausta eikä varsinkaan konenaulausta ei saa käyttää.

Liimaksi pitää valita liimatyyppejä, jolla on täyttöominaisuuksia siten, että ne täyttävät pienet epätasaisuudet. Tällaisia ovat esimerkiksi epoksiliimat ja rakenteelliseen käyttöön hyväksytyt polyuretaaniliimat. (Purbond HB 110).

Ruuviliimaukseen soveltuvat itseporautuvat ruuvit, joiden halkaisija on 4,0 mm...6,5 mm. Ruuvien tulee olla rakenteelliseen käyttöön hyväksytyjä. Kierteen tulee ulottua kokonaisuudessaan kärjen puoleiseen puuhun. Kannan puoleisen osan alueella ei saa olla kierrettä. Ruuvien kannan tulee olla riittävän leveä tarvittavan puristusvoiman aikaansaamiseksi. Kannan läpivetolujuuden tulee kuitenkin olla pienempi kuin kärjen tartuntalujuuden. Kiristettäessä ruuvia kannan pitää upota puuhun.

Ruuvaustiheys pitää valita siten, että saadaan aikaan liiman kannalta riittävä puristus liimattavien osien välille. Ruuviväli voidaan laskea kaavasta

$$e_{\text{naula}} = 7t \quad (15)$$

missä  $t$  on liitettävän vanerin paksuus.

Ruuviväli ei saa ylittää arvoa 150 mm.

Koska kaikki korjaustapaukset ovat yksilöllisiä, kannattaa kohteessa tehdä ennakkokoe, jossa liimauksen kovettumisen jälkeen irrotetaan liitetty vaneri. Jos murtuminen tapahtuu puusta eikä liimasaumasta on liimaus onnistunut ja valitut työtavat ja materiaalit sopivat korjaukseen. Sopiva koekappaleen sivumitta on 12x vanerin paksuus, jolloin siihen tulee symmetrisesti neljä ruuvia siten, että ruuvien väli on  $7t$  levyn sivujen suunnassa.

---

## 4.5 Varottavat korjaustavat

Seuraavassa esitettäviä korjaustapoja ei suositella kantavien rakenteiden korjauksessa, koska niihin sisältyy tunnistettavia riskejä.

### 4.5.1 Pulttaus syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa

Suurin riski on puun kosteusmuodonmuutokset korjauksen jälkeen. Jos pulttien kiinnityksessä käytetään liimaa, niin muodonmuutosten erot korostuvat. Perinteisesti käytetyt mekaaniset pultit vaativat aina liitososien välillä muodonmuutoksia ennen kuin ne ottavat voimia. Jos murtotapa on hauras, niin aluksi toimii vaurioitunut rakenne yksinään. Sen murruttua toimii mekaaninen liitin yksinään. Tällöin on palkin staattinen toiminta todennäköisesti muuttunut halkeilun seurauksena aivan erilaiseksi kuin se oli ehjänä.

### 4.5.2 Halkeamien täyttö

Halkeamien täyttö halkeamiin liimatuilla puutikuilla ei ole kantavan rakenteen korjaus vaan ulkonäkökorjaus. Tällaiset liimatut puutikut eivät koskaan ulotu halkeaman pohjaan, vaikka siihen pyritäänkin. Liian voimakas mekaaninen pakottaminen voi lisätä halkeiluvaaraa kiilavaikutuksen takia varsinkin silloin, kun puun pinta on korjauksen aikana kuivempi kuin sisäosa..