

Toni Kekki

# Puun käyttö siltarakenteissa

## Tekninen selvitys





Karelia-ammattikorkeakoulun julkaisuja  
C: Raportteja, 6

# **Puun käyttö siltarakenteissa**

## Tekninen selvitys

Toni Kekki

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU 2013

*Julkaisusarja*

C: Raportteja, 6

*Julkaisusarjan  
vastaava toimittaja*

Kari Tiainen

*Sivuntaitto*

Kaisa Varis

*Kansikuva*

Martinsons Träbroar

© Tekijät ja Karelia-ammattikorkeakoulu

Tämän teoksen osittainenkin kopiointi on tekijänoikeuslain mukaisesti kielletty ilman nimenomaista lupaa.

ISBN 978-952-275-070-9

ISSN-L 2323-6914

ISSN 2323-6914

*Julkaisumyynti*

Karelia-ammattikorkeakoulu  
julkaisut@karelia.fi  
<http://www.tahtijulkaisut.net>

Joensuu 2013

# Sisällys

<b>1 Johdanto</b>	<b>5</b>
<b>2 Puurakenteiset sillat</b>	<b>7</b>
Puun ominaisuudet	7
Puusiltoja koskevat rakenteelliset määräykset	8
Puun käyttökohteet siltarakentamisessa	8
Case: Puusilta yli Siilaisenpuron	11
<b>3 Puu-betoni liittorakenteet</b>	<b>13</b>
<b>4 Teräs-puu liittorakenne</b>	<b>15</b>
<b>5 Puun kestävyys</b>	<b>16</b>
Esimerkki: laattasillan huoltotoimenpiteet	17
<b>6 Puun käytön edut insinöörirakentamisessa</b>	<b>18</b>
<b>Lähteet</b>	<b>19</b>
<b>Liitteet</b>	
Liite 1. Rakennusmateriaalien lujuus-paino -suhdelukujen määrittäminen	20
Liite 2. Liimapuun ja betonin laskennallisen puristuslujuuden vertailu	21

# 1 Johdanto

Tämän selvityksen tarkoituksena on avata puurakenteiden ja puisten rakennusosien käyttömahdollisuuksia ja –rajoituksia siltarakenteissa. Selvitys on tehty suomalaisen rakentamisen näkökulmasta, käyttäen hyväksi myös ulkomaisia esimerkkejä. Selvitys esittelee mahdollisuuksia ja vaihtoehtoja verrattuna nykymuotoiselle rakentamisprosessille ja materiaalikäytölle siltarakentamisessa.

Selvitys on syntynyt Pohjois-Karjalasta energiatehokkaan puurakentamisen edelläkävijä-hankkeessa. Hankkeen tavoitteena on puurakentamisen innovaatiokeskittymän synnyttäminen Pohjois-Karjalaan. Hankkeen päärahoittaja on Pohjois-Karjalan maakuntaliitto (Euroopan aluekehitysrahasto). Hankkeen toteutuksesta vastaavat Joensuun Tiedepuisto Oy ja Karelia-ammattikorkeakoulu.

Selvityksessä ei paneuduta syvällisesti esimerkiksi suunnitteluperiaatteisiin, vaan tyydytään kertomaan Suomessa noudatettavien rakennesuunnittelu-ohjeiden tilanne. Arkkitehtoniseen tai miljöösuunnitteluun ei oteta selvityksessä kantaa. Siltarakentamisessa keskeisiin geoteknisiin suunnitteluasioihin suoritetaan vain viittauksia. Geoteknisessä toteutuksessa käytetään tavallisesti maa-aineksia, geotuotteita sekä epäorgaanisia rakennusmateriaaleja, johtuen rakenteiden maanvastaisuudesta. Tästä syystä puurakenteiden osuus perustusrakenteissa on jätetty yhden case-tapauksen esimerkkiin.

Kustannuslaskennallisiin asioihin ei tässä selvityksessä oteta kantaa kuin suuntaa-anta-

vasti. Varsinainen lopullinen kustannustehokkuus on riippuvainen koko arvoketjun yhteistoiminnasta. Koska selvityksessä ei analysoida arvoketjujen toimintaa laajemmalti, on luontevaa jättää kustannustehokkuuden arviointi pois selvityksestä tässä vaiheessa.

Mikäli ei ole erikseen toisin mainittu, kaikki selvityksessä esiintyvät kuvat ovat kirjoittajan ottamia.

## 2 Puurakenteiset sillat



**Kuva 1.** *The Leonardo -kevyen liikenteen silta, Oslo, Norja. Kuva: Moelven Limtre AS.*

### PUUN OMINAISUUDET

Puu on rakennusmateriaalina kevyt, helposti työstettävä, uusiutuva luonnonmateriaali. Puu on myös, vastoin yleistä maallikkokäsitystä, paloturvallinen materiaali. Puun epäedullisiksi ominaisuuksiksi voisi mainita ortotrooppisuuden, orgaanisuuden ja rakennusmenetelmien ja -käsitysten kehittymättömyyden.

Puu on kevyt materiaali, ja lujuus-paino - suhteeltaan ylivertainen verrattuna teräkseen ja betoniin. (Liite 1)

Puu on ortotrooppinen materiaali. Tämä tarkoittaa sitä, että puulla on eri suunnan kuormitukseen erilainen kapasiteetti. Syiden suuntaisessa kuormituksessa puu on vahvimmiltaan; tavallinen kuusitavarasta tehty liimapuu on laskennalliselta puristuslujuudeltaan lujempaa kuin tavallinen betoni (SFS-EN 1992-1-1; SFS-EN 1995-1-1; ks. myös Liite 2). Sitä vastoin syitä vastaan kohtisuorassa kuormituksessa puun kapasiteetti on heikoimmillaan.



Puun ortotropia on otettava huomioon rakenteita suunniteltaessa.

Puu on orgaaninen materiaali. Orgaanisuus altistaa puun tuholaisille, homeelle sekä voimakkaissa kosteuksissa laholle.

Puuta tuhoavia tuholaisia ei ole havaittu ongelmana puusiltarakenteissa, sillä ulko-olosuhteet eivät anna tuholaisille niiden tarvitsemia optimaalisia olosuhteita. Puu itsessään on myös verrattain ravintoköyhä materiaali tuholaisille.

Homehtumista havaitaan ajoittain loppukesäisin olosuhteiden ollessa optimaalisia, mutta homeet ovat olleet pinnalla kasvavia pieniä eriä. Auringonvalon UV-säteily on tehokas homeentuhoaja, joten kannen aluset ovat oikeastaan ainoita paikkoja homeen kehittymiselle. Tätäkin kehittymisaikaa rajoittaa vahvasti Suomen kuiva kevätkausi ja pitkä kylmä kausi. Homealttiissa paikoissa riski saadaan poistumaan painekyllästyksellä tai muulla vastaavalla suojaustoimenpiteellä

Lahovaurioita käyttötarkoituksen mukaisesti suunnitelluissa puusilloissa ei ole havaittu. Lahovauriot vaativat korkeat kosteuspitoisuudet, jotka siltarakenteissa tulevat kysymykseen lähinnä maanvastaisissa ja veden kosketuspinnan läheisissä rakenteissa, toisin sanoen siltapilareissa ja maatuissa.

Puu on uusiutuva luonnonvara, jolla on positiivisia vaikutuksia vähennettäessä kasvihuonepäästöjä sekä energiaintensiivisyyttä rakentamisessa. Puun käytössä tärkeintä on huolellinen ja käyttötarkoituksen mukainen suunnittelu. Lisäksi on huomioitava puurakenteen pitkäaikaiskestävyyden turvaamiseksi tarvittavien huoltotoimenpiteiden mahdollisuus.

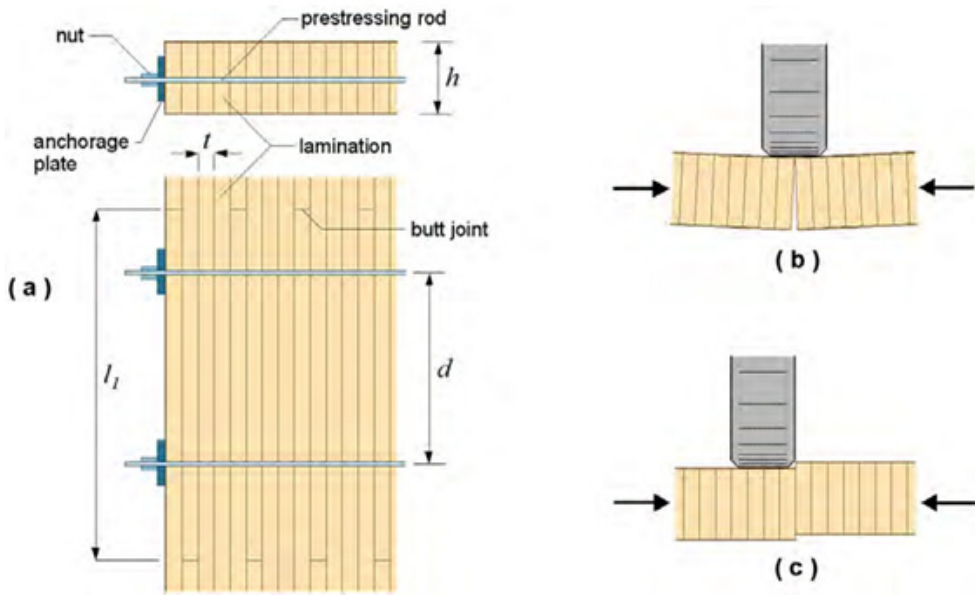
## **PUUSILTOJA KOSKEVAT RAKENTEELLISET MÄÄRÄYKSET**

Puun käyttöä siltarakentamisessa ei Suomessa estä määräykset. Rakenteellisessa suunnittelussa on käytössä Eurocode-standardit sekä Liikenneviraston puusiltojen suunnitteluohje NCCI 5 (Liikennevirasto 2013). Ohje on puusiltoja käsittelevän Eurocode-standardin SFS-EN 1995-2 suomalainen soveltamisohje.

Hyvällä ennakkosuunnittelulla on mahdollisuus hyödyntää pitkälle vietyä esivalmistusta. Näin voidaan minimoida sääältäis työmaa-asennusaika sekä liikenteelle aiheutuva häiriöaika.

## **PUUN KÄYTTÖKOHTEET SILTARAKENTAMISESSA**

Puuta voidaan käyttää siltojen kansirakenteena, kantavina palkkeina sekä kaidarakenteissa. Lisäksi puuta voidaan käyttää pylonirakenteissa. Tietyin varauksin myös perustusrakenteita voidaan tehdä puusta. Tällöin on kuitenkin huomioitava käyttöolosuhteiden aiheuttamat haasteet pitkäaikaiskestävyydelle.



**Kuva 2.** Puisen kansilaatan jännittämisen periaate (Leonardo da Vinci Pilot Project 2008, 217).

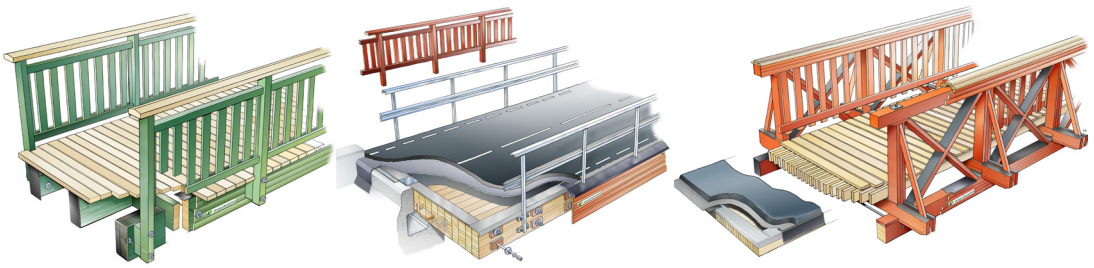
Puuta voidaan käyttää liittorakenteisesti esimerkiksi kantavina palkkeina yhdessä betonilaatan kanssa. Toinen käyttösovellutus on esimerkiksi kantavat teräspalkit yhdistettynä jännitettyyn puiseen laattarakenteeseen (kuva 2).

Puisen kansilaatan päälle voidaan levittää vedeneristyskerros, jonka jälkeen päällysrakenteen tekeminen ei poikkea tavallisesta kulutuskerroksen rakentamisesta.

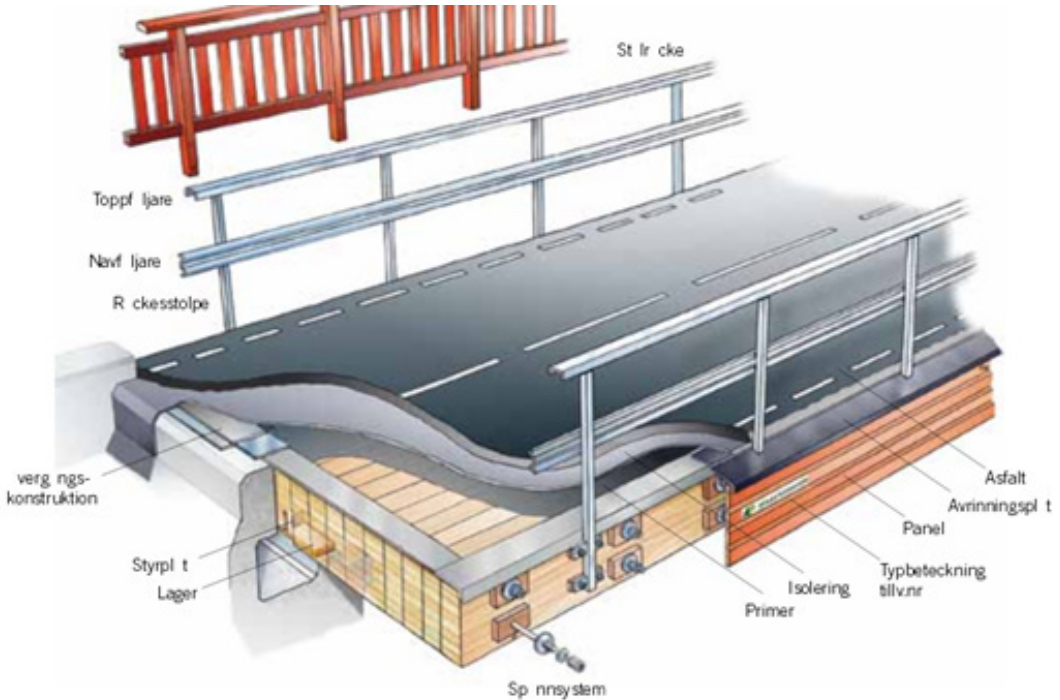
Kuvissa 3, 4, 5 ja 6 on esimerkki Martinsons Träbroarin laattasillan mallista. Laattasillan jännemitta voi olla 5-30 metriä. Käyttökohteet ovat kevyestä liikenteestä maantiesiltoihin.



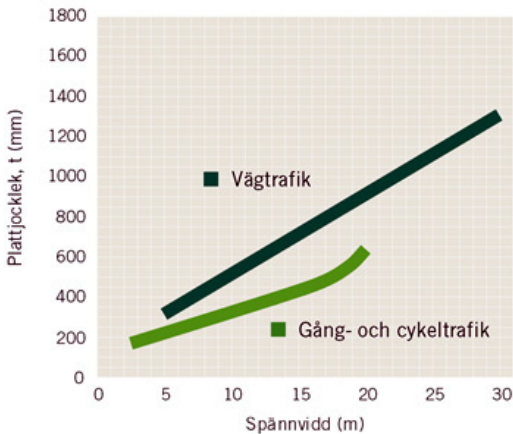
**Kuva 3.** Laattasillan kannen osa asennettuna. Kuva: Martinsons Träbroar.



**Kuva 4.** Puusillan kansi- ja kaidetyyppivaihtoehtoja. Kuva: Martinsons Träbroar.



**Kuva 5.** Puulattiasillan rakenteen havainnekuva. Kuva: Martinsons Träbroar.



Kansirakenne on mahdollista tehdä myös ilman pinnoitetta, kuten kuvan 4 vasemmanpuoleinen esimerkki osoittaa. Tällaisesta sillasta löytyy esimerkki myös Joensuusta, Siilaisenpuron ylittävä kevyen liikenteen silta.

**Kuva 6.** Puulaattiasillan kapasiteettitaulukko. Kuva: Martinsons Träbroar.

## CASE: PUUSILTA YLI SIILAISENPURON



**Kuva 7.** Siilaisenpuron puusilta.

Siilaisenpuron silta edustaa helppoa ja edullista palkkisiltatyyppeä (kuva 7).

Sillan pääkannatinpalkit ovat kreosoottikyllästeisiä liimapuupalkkeja. Kansirakenteena toimii painekyllästetystä, syrjälleen kiinni toisiinsa ladotusta lankusta tehty laatta. Kaiderakenteet on tuettu reunimaisiin pääkannattimiin sekä kanteen (kuva 8).



**Kuva 8.** Sillan puukansi.

Silta on lähes kokonaan puusta tehty; ainostaan kaideosat sekä paalujen päälle asennetut poikkisidepalkit ovat teräs-rakenteisia. Sillan perustukset ovat kylälästettyjä pyöreitä puupaaluja. Päätyjen maatuet ovat puutavaralla tuettuja maapenkereitä (kuva 9).

Sillan kansirakenteessa ei ole erillistä kullutuskerrosta. Liikenne sillalla on kevyttä liikennettä. Raskaimmat kuormitukset tulevat talvisin auraukscalustosta.



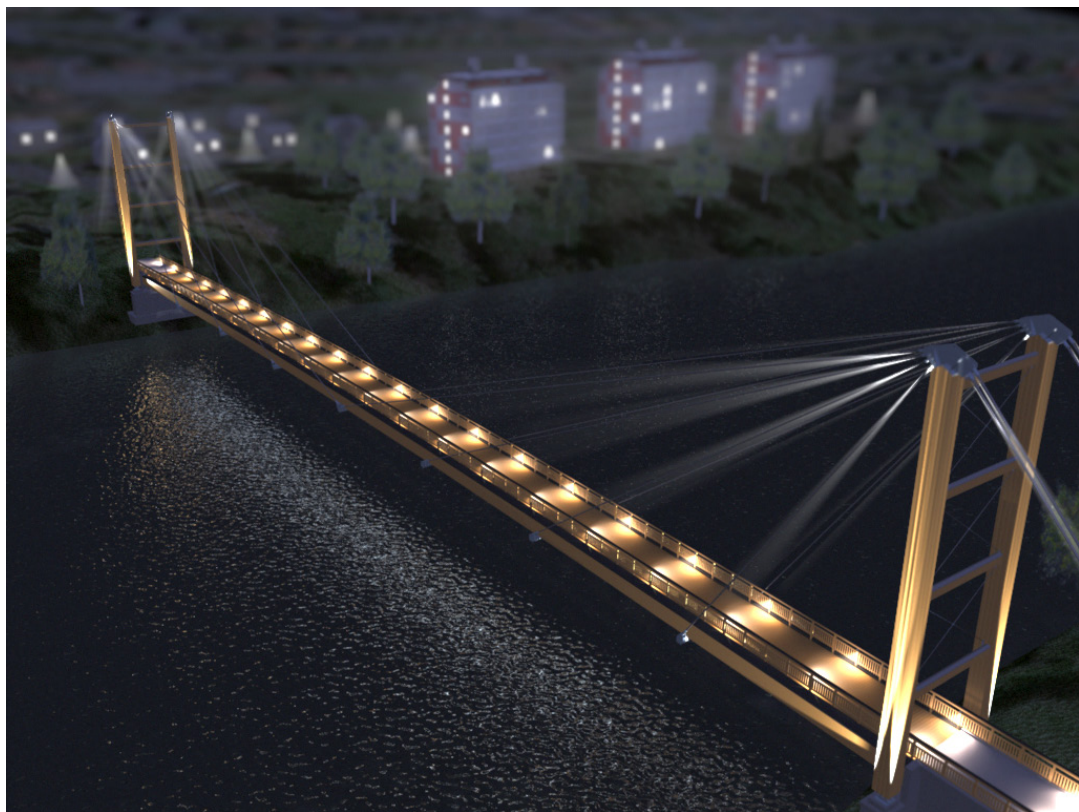
**Kuva 9.** Siltapalkit, perustukset ja kaiteen kiinnitys.



Toinen esimerkki on Älvsbackabron, Skellefteån kevyen liikenteen vinoköysisilta (kuva 10). Sillan jännemitta on 130m. Sillan valmistaja on Martinsons Träbroar.

Sillan kulkuleveys on 4,8 metriä. Siltapylonit ovat 23 metriä korkeita 900x900 mm<sup>2</sup> liimapuupilareita. Kansirakenne on 45mm paksua massiivipuuta (Gustafsson, Pousette & Björngrim 2010, 216).

Sillan kansirakenne haluttiin jättää puupinnalle sen esteettisyyden ja kustannustehokkuuden vuoksi. Silta avattiin liikenteelle kesäkuussa 2011.



**Kuva 10.** *Illustratio Älvsbackbron sillasta. Kuva: Peter Bomark, LTU Skellefteå.*

## 3 Puu-betoni liittorakenteet

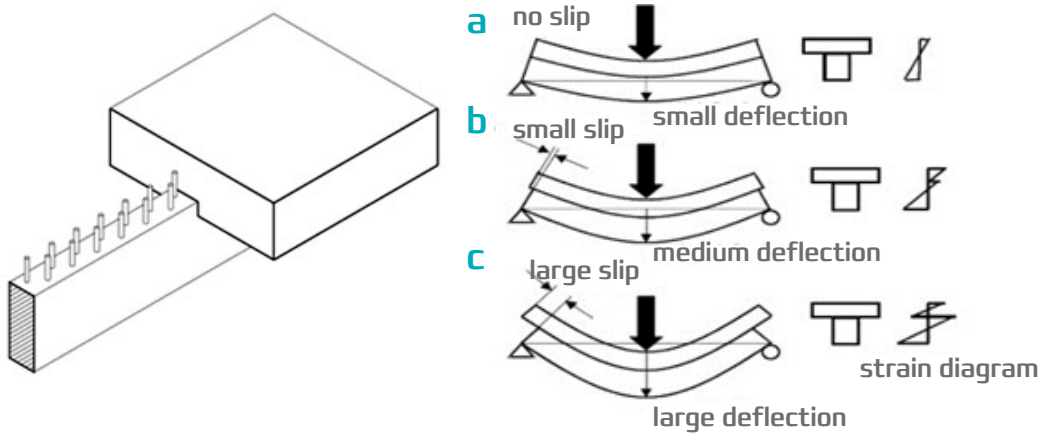
Puun hyvän vetokestävyiden ja keveyden yhdistäminen betonin puristuskestävyyteen ja massan antamaan vakauteen luo mahdollisuuden kasvattaa sillan jännemittaa tehokkaasti omapainon säilyessä kohtuullisena. Betonisen kansilaatan ansiosta on mahdollista saada puiset palkkikannatteet sääsuojaan (kuvat 11 ja 12). Lisäksi puiset pääkannatteet ovat keveytensä takia nopeasti asennettavissa ja tehdessä betonilaattarakenteet myös esivalmistettuna voidaan sillan asennusaikaa nopeuttaa huomattavasti perinteisestä paikallavalusillasta.



**Kuva 11.** *Puu-betoni -liittolaattasilta, Schwäbin Gmünd, Saksa.*



**Kuva 12.** Puu-betoni -liittorakenteinen liikennesilta Itävallassa.



**Kuva 13.** Liittorakenteen yhteisvaikutuksen periaate. (ScienceDirect.com)

## 4 Teräs-puu liittorakenne

**T**eräs-puu liittorakenne on harvemmin käytetty yhdistelmä joka tulee kysymykseen useimmiten silloin, kun halutaan minimoida rakennekorkeus. Tätä tyyppiä on käytetty lähinnä kevyen liikenteen silloissa, jolloin pääkannattajina on toimineet teräspalkit ja päälle on ladottu puupalkisto tiiviisti. Tässä rakennetyypissä rakenteellista yhteisvaikutusta ei juurikaan huomioida, ja yhteisvaikutus tehdäänkin lähinnä värehtelyn pienentämisen takia.

Toinen malli on tehdä teräsristikkorakenteiset pääkannattimet, jotka toimivat samalla kaiteina. Tällöin kansirakenne saadaan ladottua ristikoiden väliin. Tässä mallissa liittorakennevaikutusta ei yleensä huomioida ollenkaan johtuen sen aiheuttamasta mekaanisten liitosten lisääntymisestä, joka nostaa asennuskustannuksia.



## 5 Puun kestävyys

**P**uu kestää ajoittaisia kosteuskuormituksia hyvin, kunhan puu ei ole suljetussa tilassa. Puu kestää myös suoloja ja saasteita hyvin. Maanvastaisiin, maan välittömässä läheisyydessä oleviin sekä veteen tuleviin rakenteisiin puun käyttöä tulee harkita erittäin huolellisesti. Näissä tapauksissa on huomioitava elinkaaren mukaiset kestävyystekijät.

Puu ei välttämättä tarvitse vahvoja suojakerroksia kestävyuden takaamiseksi. Huollon ja tarkastustoiminnan vaatimien toimenpiteiden mahdollisuus on kuitenkin huomioitava suunnitteluvaiheessa, esimerkiksi tekemällä osat vaihdettaviksi. Lisäksi on huomioitava, että puisilla perusratkaisuilla päästään jo 30-50 vuoden kesto aikaan. Mikäli vaaditaan pidempää elinkaarta, huomioidaan tämä edellä mainituin toimenpitein. Esimerkiksi Suomessa siltojen alusrakenteiden käyttöikä on lähtökohtaisesti 100 vuotta, päällysrakenteiden suunnittelukäyttöikä ollessa 50 vuotta (Liikennevirasto 2013).

Puun pitkäaikaiskestävyyden avaintekijä on puulaadun valinta. Puun korkealla laadulla vaikutetaan ulkonäköseikkoihin, mutta myös lujuusominaisuuksiin.

Selvityksen alussa viitattuun ortotrooppisuuteen voidaan vaikuttaa puulajin valinnalla, joka tosin Suomessa tarkoittaisi tuontipuun käyttöä. Ortotrooppisuuteen vaikuttaminen on kuitenkin hyvin rajallista. Kustannustehokkuuden kannalta suunnitteluratkaisuihin on syytä kiinnittää huomiota. Puun modifioinnin avulla on mahdollista löytää ratkaisu esimerkiksi kulutuskestävään ja vesitiiviimpään kansirakenteeseen (Rautkari 2012). Lisäksi modifioinnin avulla voi yhdistellä erilaisia materiaaleja, kuten esimerkiksi muovi-puu komposiitti kansirakenteena (Bender; Wolcott & Dolan 2007).

## ESIMERKKI: LAATTASILLAN HUOLTOTOIMENPITEET

Esimerkkinä elinkaaren aikaisista suurista toimenpiteistä esitellään tässä massiivilaattasilta, johon on tehty poikittainen puristusjännitys. Kantavan rakenteen elinkaaren aikaiset toimet voivat vaatia reunimmaisten palkkien vaihtoa. Tällöin jännitystangot avataan, reunimmaiset palkit poistetaan ja vaihdetaan uusiin. Tämän jälkeen tangot kiristetään uudelleen määräjännitykseen. Koko vaihtoprosessin ajan silta on käyttökelpoinen, tosin painorajoituksin. Vastaavan kaltainen prosessi on myös kaiteiden vaihtaminen. Vaihtoa varten elementtirakenteisen kaiteen pultit aukaistaan ja tilalle vaihdetaan uusi kaide.

Tällaisista prosesseista on siltavalmistajilla kokemuksia, jotka ovat pääsääntöisesti hyviä. Ero hyvän ja huonon ratkaisun välillä tehdään jo suunnitteluvaiheessa; huoltotoimenpiteiden mahdollisuus ja pitkäaikaiskestävyys ratkaistaan rakenteellisessa detaljiikassa.

## 6 Puun käytön edut insinöörirakentamisessa

**P**uurakentamisessa ei ole mitään sellaista, joka tekisi siitä ylitsepääsemättömän vaikeaa. Kyse on kuitenkin suomalaisille rakentajille tutusta perusmateriaalista. Puun käyttö mahdollistaa keveytensä ansiosta esivalmistettujen rakenneosien käyttämisen. Perinteisessä betonirakentamisessa elementtiosien paino on aiheuttanut suuria ongelmia kuljetuksien ja siirtojen järjestelyissä.

Teräsrakentamiseen tottuneille esivalmisteisten rakenneosien käyttämisen toimintamalli saattaakin olla helpompi omaksua kuin betonirakentamiseen tottuneelle. Kuitenkaan kyse ei ole vaikeasta asiasta, sillä esivalmistuksessa vain, karkeasti sanoen, siirretään työmaalla tehtävää työtä erilliseen valmistuslaitokseen. Tämä tuo toki rakentamisketjuun uuden alueen suunnittelussa, nimittäin valmisosasuunnittelun. Tämä on tuttu alue talonrakennuspuolen rakennesuunnittelijoille, joten mikäli siltasuunnitteluryhmässä ei tällaista osaamista ole, voi ryhmän vahvistukseksi olla viisasta ottaa erillinen valmisosasuunnittelun osaaja.

Puun käytöllä voidaan saavuttaa etuja puun ominaisuuksien avulla. Puun käyttö itseisarvona tulee kysymykseen vain, jos halutaan korostaa puun ympäristöarvoja ja esteettisiä ominaisuuksia. Mikäli halutaan järjestelmällisesti parantaa kilpailuetua puun käyttöä lisäämällä, on syytä tarkastella koko rakentamisen arvoketjun toimintaa jotta saavutetaan paras mahdollinen tehokkuus.

# Lähteet

Bender, D. A., Wolcott, M. P. & Dolan, J. D. 2007. Wood Plastic Composites. Structural Design and Applications. Structure Magazine 43.

SFS-EN 1992-1-1. Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Helsinki: SFS.

SFS-EN 1995-1-1. Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Helsinki: SFS.

Gustafsson, A., Pousette, A. & Björngrim, N. 2010. Health Monitoring of Timber Bridges. International Conference on Timber Bridges 2010., 213-222.

Leonardo da Vinci Pilot Project. 2008. Educational Materials for Designing and Testing of Timber Structures : Handbook 1 – Timber Structures. Ostrava; Leonardo da Vinci Pilot Project.

Liikennevirasto. 2013. Eurokoodin soveltamisohje. Puurakenteiden suunnittelu - NCCI 5. Helsinki: Liikenneviraston ohjeita 25/2013. [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf/lo\\_2013-25\\_ncci5\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf/lo_2013-25_ncci5_web.pdf). 20.8.2013.

Rautkari, L. 2012. Surface modification of solid wood using different techniques. Helsinki: Aalto University publication series. Doctoral dissertations. 4/2012.

## Rakennusmateriaalien lujuus-paino - suhdelukujen määrittäminen

### Määritetään ensin perustapauksien suhteet

#### Teräsbetoni C20/25

Omapaino [kN/m <sup>3</sup> ]	Ominaislujuus [MN/m <sup>2</sup> ]	Suhdeluku
$\rho_{\text{betoni}} := 25$	$f_{\text{ck}} := 20$	$\Delta_{\text{betoni}} := \frac{f_{\text{ck}}}{\rho_{\text{betoni}}} = 0.80$

#### Teräs S235JR

Omapaino [kN/m <sup>3</sup> ]	Ominaislujuus [MN/m <sup>2</sup> ]	Suhdeluku
$\rho_{\text{teräs}} := 78$	$f_{\text{sk}} := 235$	$\Delta_{\text{teräs}} := \frac{f_{\text{sk}}}{\rho_{\text{teräs}}} = 3.01$

#### Sahatavara C24

Omapaino [kN/m <sup>3</sup> ]	Ominaislujuus [MN/m <sup>2</sup> ]	Suhdeluku
$\rho_{\text{sahatav}} := 4.5$	$f_{\text{m.k}} := 24$	$\Delta_{\text{sahatav}} := \frac{f_{\text{m.k}}}{\rho_{\text{sahatav}}} = 5.33$

### Määritetään sitten lujempien lujuusluokkien suhteet

#### Teräsbetoni C40/50

Omapaino [kN/m <sup>3</sup> ]	Ominaislujuus [MN/m <sup>2</sup> ]	Suhdeluku
$\rho_{\text{betoni.luja}} := 25$	$f_{\text{ck.luja}} := 40$	$\Delta_{\text{betoni.luja}} := \frac{f_{\text{ck.luja}}}{\rho_{\text{betoni.luja}}} = 1.60$

#### Teräs S355J2

Omapaino [kN/m <sup>3</sup> ]	Ominaislujuus [MN/m <sup>2</sup> ]	Suhdeluku
$\rho_{\text{teräs.luja}} := 78$	$f_{\text{sk.luja}} := 355$	$\Delta_{\text{teräs.luja}} := \frac{f_{\text{sk.luja}}}{\rho_{\text{teräs.luja}}} = 4.55$

#### Liimapuu GL32c

Omapaino [kN/m <sup>3</sup> ]	Ominaislujuus [MN/m <sup>2</sup> ]	Suhdeluku
$\rho_{\text{liimapuu}} := 5$	$f_{\text{m.k.GL}} := 32$	$\Delta_{\text{liimapuu}} := \frac{f_{\text{m.k.GL}}}{\rho_{\text{liimapuu}}} = 6.40$

### Ero puun hyväksi säilyy näin vertaillen lujuusluokan kasvattamisesta riippumatta

## Liimapuun ja betonin laskennallisen puristuslujuuden vertailu

Kuormituksena hetkellinen kuormitus (Liikennekuorma)

### Teräsbetoni C40/50 (SFS-EN 1992-2 + NCCI 2)

Betoni C40/50:  
Ominaislujuudet

$$f_{ck} := 40 \text{MPa}_*$$

$$f_{ctk.0.05} := 3.5 \text{MPa}_*$$

Osavarmuusluku ja  
pitkäaikaisvaikutus-  
luvut

$$\gamma_c := 1.5_*$$

$$\alpha_{cc} := 0.85_*$$

$$\alpha_{ct} := 1.0_*$$

Laskentalujuudet:  
Puristus sekä veto

$$f_{cd} := \frac{\alpha_{cc} \times f_{ck}}{\gamma_c} *$$

$$f_{ctd} := \frac{\alpha_{ct} \times f_{ctk.0.05}}{\gamma_c} *$$

$$f_{cd} = 22.67 \text{MPa}$$

$$f_{ctd} = 2.33 \text{MPa}$$

### Liimapuu GL32c (SFS-EN 1995-2 + NCCI 5)

Liimapuu GL32c:  
Ominaislujuudet

$$f_{c.0.k} := 26.5 \text{MPa}_*$$

$$f_{t.0.k} := 19.5 \text{MPa}_*$$

Osavarmuusluku ja  
aikaluokkakerroin  
(Puun käyttöluokka 2)

$$\gamma_t := 1.2_*$$

$$k_{mod} := 1.1_*$$

Laskentalujuudet:  
Puristus sekä veto

$$f_{c.0.d} := \frac{k_{mod} \times f_{c.0.k}}{\gamma_t} *$$

$$f_{t.0.d} := \frac{k_{mod} \times f_{t.0.k}}{\gamma_t} *$$

$$f_{c.0.d} = 24.29 \text{MPa}$$

$$f_{t.0.d} = 17.88 \text{MPa}$$

$$\Delta_{\text{puristus}} := \frac{f_{c.0.d}}{f_{cd}} = 107.17\%$$

$$\Delta_{\text{veto}} := \frac{f_{t.0.d}}{f_{ctd}} = 766.07\%$$

ERO PUUN HYVÄKSI PURISTUKSESSA MUUTAMA PROSENTTI, VEDOSSA ERO MONINKERTAINEN. MUISTETTAVA KUITENKIN ETTÄ TERÄSBETONISSA VETOA EI OTETA VASTAAN BETONILLA, VAAN RAUDOITUKSELLA.



**Puun käyttöä rakentamisessa pyritään lisäämään lähes kaikkialla maailmassa.** Pohjoismaissa on runsaasti hyvälaatuista puuta raaka-aineeksi ja on hyödyllistä etsiä puulle uusia käyttömahdollisuuksia. Ruotsissa ja Norjassa on puun osuus siltarakentamisessa kasvanut koko 2000-luvun. Suomessa puun käyttö siltarakentamisessa on vielä vähäistä. Puun käytön lisääminen avaa mahdollisuuksia tehostaa rakentamisen prosessia sekä parantaa kustannustehokkuutta. Lisäksi kevyet rakenteet mahdollistavat nopean valmisosa-asentamisen.

Julkaisussa tarkastellaan puun käyttöä siltarakenteissa. Tarkastelu suoritetaan teknisestä näkökulmasta esitellen käyttökohteita, rakennetyyppejä sekä puun teknisiä ominaisuuksia. Esimerkkeinä käytetään valokuvia olemassa olevista kohteista sekä tuotevalmistajien teknisiä piirroksia. Julkaisu peilaa olemassa olevia määräyksiä ja ohjeita jotka koskevat suomalaisia puusiltoja. Suomessa näitä hallinnoi ja kehittää Liikennevirasto.

Selvitys on syntynyt Pohjois-Karjalasta energiatehokkaan puurakentamisen edelläkävijä -hankkeessa. Hankkeen tavoitteena on puurakentamisen innovaatiokeskittymän synnyttäminen Pohjois-Karjalaan. Hankkeen päärahoittaja on Pohjois-Karjalan maakuntaliitto (Euroopan aluekehitysrahasto). Hankkeen toteutuksesta vastaavat Joensuun Tiedepuisto Oy ja Karelia-ammattikorkeakoulu.

## KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULUN JULKAISUJA C:6

ISBN 978-952-275-070-9 | ISSN 2323-6914