

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Darsim M. Amin

PUUN MAHDOLLISUUDET LIEKSAN KAARISILLAN RAKENTAMI-  
SESSA

Opinnäytetyö  
Marraskuu 2016



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Marraskuu 2016**  
**Rakennustekniikan koulutusohjelma**

Karjalankatu 3  
80200 JOENSUU  
p. (013) 260 6800

Tekijä

Darsim M. Amin

Nimeke

Puun mahdollisuudet Lieksan kaarisillan rakentamisessa

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli Lieksan puukaarisillan suunnittelu ja rakenteiden kestävyysien laskeminen. Opinnäytetyössä kerrotaan myös sillankaiteiden rakenteista.

Silta on kaksiaukkoinen liimapuinen kaarisilta, sillan päätuet ovat teräsbetonia ja kalliota.

Ajoradan leveys on 6 metriä, ja kevyen liikenteen kaista on tehty puurakenteisena ulokkeena, jossa myös kansilaatta on puusta. Kevyen liikenteen kaistan leveys on 3 metriä.

Sillan pääkannattimina toimii kaksi liimapuukaarta. Kansilaatan rakennetyyppi on liimapuupalakit, palakit asennetaan rakenteessa vierekkäin kiinni toisiinsa. Kannen päälle tehdään vesieristys ja sen päälle tehdään asfalttinen kulutuskerros.

Sillankaide on suunniteltu sillan suunnittelun yhteydessä. Kaiteeseen kuuluu pylväiden ja reunapalkkiin liittyvien kiinnitysosien sijoitus siltaan yksityiskohtaisesti.

Laskelma ja mitoitusprosessi on suoritettu Autodesk Robot Structural Analysis 2016 FEM-ohjelmalla ja on piirretty sillan piirrokset AutoCAD-ohjelmalla.

Kieli  
suomi

Sivuja 47  
Liitteet 4  
Liitesivumäärä 13

Asiasanat  
puurakenteet, liimapuu, puusilta, kaari, kaarisilta



**THESIS**  
**November 2016**  
**Degree Programme in Civil Engineering**

Karjalankatu 3  
80200 JOENSUU  
FINLAND  
Tel. (013) 260 6800

Author

Darsim M. Amin

Title

Wood opportunity Lieksa arch bridge construction

Abstract

The aim of this thesis is to design Lieksa wood arch bridge and calculation of structures. This thesis is also describing bridge railing structures.

The bridge type is a double-spans glulam arch bridge; bridge head supports are founded in concrete and rock.

The vehicle traffic width is 6 meters, pedestrian and bicycle lane is of timber-framed cantilever, where also the cover plate was made of wood, pedestrian width is 3 meters.

Main girders of the bridge were made from two laminate timber arch. Deck slab type of construction is wood beams; beam structure is mounted next to one another. On top of the cover is done waterproofing, and on top of it is made of asphalt wearing course.

The bridge railing is planned with the connection of bridge design. Rails include columns and horizontal beams of the fastening position the bridge detail.

The calculation and design process of the bridge were made by Autodesk Robot Structural Analysis 2016 FEM-program, and I drew a bridge drawing by AutoCAD-program.

Language  
Finnish

Pages 47  
Appendices 4  
Pages of Appendices 13

Keywords

wood constructions, laminated timber, timber bridge, arch, arch bridge

## Sisällysluettelo

1	Johdanto.....	6
1.1	Tausta.....	6
1.2	Työn tavoite.....	6
2	Puun käyttö rakentamisessa.....	7
2.1	Puun ominaisuudet.....	7
2.2	Lujuuslajittelu.....	8
2.3	Puun kestävyys.....	8
3	Liimapuu.....	9
3.1	Liimapuun mitat.....	10
3.1.1	Leveys.....	10
3.1.2	Korkeus.....	10
3.1.3	Pituus.....	11
3.1.4	Käyttö.....	11
3.2	Liimapuulevy.....	11
3.3	Liimapuun lujuusluokat.....	12
3.4	Liimapuurakenteiden käytön edut sillan rakentamisessa.....	14
3.4.1	Palkkikoot.....	14
3.4.2	Palkkien muodot.....	14
3.4.3	Mittatarkkuus.....	14
3.4.4	Yhdistetty liimapuu.....	15
3.4.5	Puun kosteus.....	15
3.4.6	Korkeampi lujuus ja jäykkyys.....	15
3.5	Kaarevien liimapuupalkkien käyttö sillanrakentamisessa.....	15
4	Puuliitokset.....	16
4.1	Naulaliitokset.....	17
4.2	Perinteiset liitokset.....	17
4.3	Pulttiliitokset.....	18
4.4	Ruuviliitokset.....	18
4.5	Vaarnaliitokset.....	19
5	Puusillat.....	20
5.1	Puusiltojen historia.....	21
5.2	Puusiltoja koskevat rakenteelliset määräykset.....	23
5.3	Puun käyttökohteet siltarakentamisessa.....	23
5.4	Poikittain jännitetyn puusillan toiminta.....	24
5.5	Puusiltojen markkinaosuus.....	24
5.6	Puusiltatyypit Suomessa.....	25
5.6.1	Liittorakennesilta.....	26
5.6.2	Palkkisilta.....	26
5.6.3	Tukiansassilta.....	27
5.6.4	Katettu silta.....	27
5.6.5	Kaarisilta.....	28
5.7	Miksi valitaan puusilta?.....	28
5.8	Miten puusilta tehdään?.....	29
6	Lieksan kaarisilta.....	30
6.1	Historia.....	30
6.2	Onnettomuus.....	31
7	Lieksan betoninen kaarisilta korvataan puukaarisella sillalla.....	32
7.1	Siltatyyppi.....	32
7.2	Miten tehdään Lieksan puukaarisilta?.....	33

7.3	Rakenteiden mitoitus.....	35
7.3.1	Kuormat.....	36
7.3.2	Materiaalitiedot .....	38
7.3.3	Mitoitus .....	39
8	Kaiteet .....	43
8.1	Asennusohje .....	43
8.2	Yleiset vaatimukset .....	44
9	Pohdinta.....	44
	Lähteet.....	46

## Liitteet

Liite 1	Asemapiirros
Liite 2	Pääpiirustukset
Liite 3	Kaideasennuksen piirustukset
Liite 4	Robot-ohjelman tulokset

# **1 Johdanto**

## **1.1 Tausta**

Tämä opinnäytetyö sisältää Lieksan puukaarisillan rakenteiden kestävyyslaskelman ja rakennus- ja rakennussuunnitelman sekä suunnitelman sillankaiteiden rakenteesta.

Siltojen avulla voidaan parantaa liikenteen sujuvuutta sekä turvallisuutta ja lisätä liikenneväylän käyttömukavuutta.

Lieksan kaarisilta on yksi Lieksan tunnetuimmista maamerkeistä, joka on rakennettu vuonna 1930 betonista, Suomeen on rakennettu vain neljä samantyyppistä siltaa. Lieksanjoen sillasta tekee ainutlaatuisen myös kaaren ulkopuolella olevat, kolme metrin levyisen jalkakäytävät, jotka ovat ulokkeiden varassa.

Tiistaina 13.5.2014 kuorma-auto rysäytti kaarisiltaan. Koska vanhan sillan korjaaminen ei ole enää järkevää, Lieksan kaupunki joutuneen purkamaan ja rakentamaan tilalle uuden. Jos siltaa ei korjata, liikenne voisi jatkua pelkästään kevyen liikenteen väylänä.

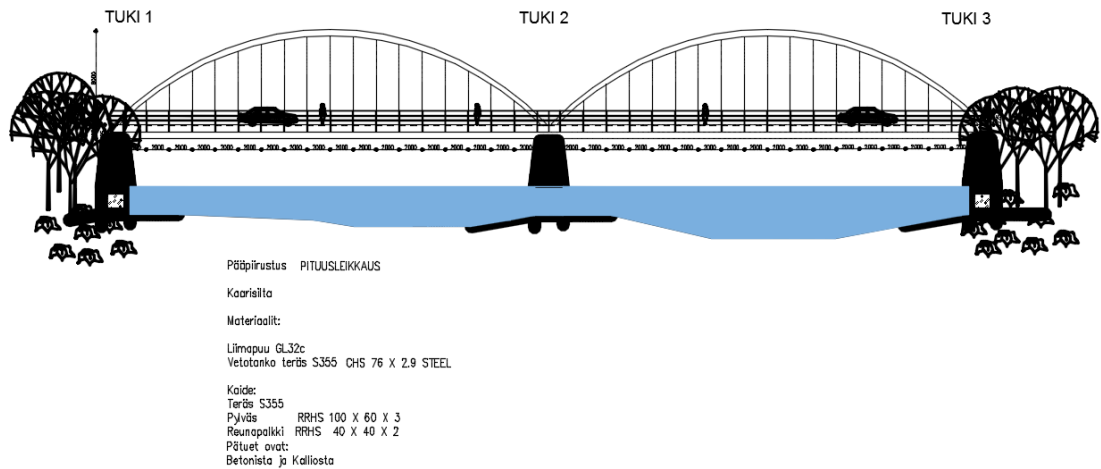
Uutta siltaa suunniteltaessa tulee esiin ajatus rakentaa luonnonkauniiseen paikkaan puusilta, joka voisi muun muassa ilmentää alueen luonnetta puumateriaalin lähteenä ja jalostajana. Puu on uusiutuva ja kotimainen materiaali. Kasvaessaan puu sitoo ilman hiilidioksidia ja materiaalina se varastoi hiiltä.

Rakenteellisessa suunnittelussa on käytössä Eurocode-standardit sekä Liikenneviraston puusiltojen suunnitteluohje NCCI 5. Ohje on puusiltoja käsittelevän Eurocode-standardin SFS-EN 1995-2 (Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu. Osa 2: Sillat) suomalainen soveltamisohje. Sahatavaran vaatimukset ovat standardin SFS-EN 14081-1 mukaiset.

## **1.2 Työn tavoite**

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli Lieksan puukaarisillan suunnittelu. Laskenta ja suunnitteluprosessi on suoritettu Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2016

FEM -ohjelmiston avulla. Viimeisenä tässä työssä tehdään arkkitehtikuvat lopullisesta sillasta, joka tehdään AutoCAD-ohjelmalla (kuva 1).



Kuva 1. Pituusleikkaus.

## 2 Puun käyttö rakentamisessa

Puulla on hyvät rakennustekniset ominaisuudet. Puun monipuolisuutta rakennusmateriaalina kuvaa hyvin se, että sitä voidaan käyttää kantavana ja pintoja muodostavana materiaalina sekä myös lämmöneristeenä. Puupinta on miellyttävä ja lämmin. [18, s. 8.]

### 2.1 Puun ominaisuudet

Koska puu on luonnonmateriaali, jonka tärkeät ominaisuudet vaihtelevat huomattavasti, edellyttää sen käyttö rakennusmateriaalina lujuuslajittelua. Puu on helppo ja siisti työstettävä sekä tehtaalla että rakennuspaikalla. Puutuotteita ja puusta tehtyjä rakennusosia voidaan liittää toisiinsa monin eri tavoin. [3, s. A5/1-A5/5.]

Puurakenteilla saadaan aikaan monen muotoisia rakennelmia ja tiloja, joita on muilla keinoin vaikeaa tai mahdotonta toteuttaa. Monet puurakenteet ovat vastaavia betonisia tai muita massiivisia rakenteita taloudellisempia. [18, s. 8.]

Puusta ei haihdu terveydelle vaarallisia aineita. Puulla on rakennusfysiikallisesti edullisia ominaisuuksia kuten hyvä lämmöneristävyys ja hyvät lujuusominaisuudet painoon verrattuna. Puu soveltuu hyvin sekä kesä- että talvirakentamiseen. [18, s. 8.]

Puu on kevyt materiaali, jolla on hyvä lujuuden ja painon suhde. Puun lujuus- ja jäykkyysominaisuudet riippuvat voimakkaasti kuorman ja puun syiden suunnan välisestä kulmasta. Puu on luja ja jäykkä syiden suunnassa, mutta se halkeaa helposti, jos syntyy vetoa syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa. Puulla on pieni leikkauslujuus ja liukumoduuli.

Puun lujuus- ja jäykkyysominaisuudet vaihtelevat puun kosteuden myötä. Kosteudenvaihtelu lisää erityisesti virumismuodonmuutoksia. Kutistuminen ja turpoaminen on otettava huomioon puurakenteiden yksityiskohtien suunnittelussa. [3, s. A5/5.]

Vaikka puu on palava ja syttyvä materiaali, voidaan sen tulipalokäyttäytyminen ennakoita. Puu sopii erityisesti rakenteisiin, joiden poikkileikkaukset ovat suuria, ja erityiskäyttöön.

Puu sopii hyvin liitosrakenteeksi sekä teräksen että puun kanssa [18, s. 8; 19, s. 16-17].

## **2.2 Lujuuslajittelu**

Rakennesahatavara on lujuuslajiteltava, jotta varmistutaan sen lujuus- ja jäykkyysominaisuuksista.

Koneellinen lujuuslajittelu on kalliimpaa, mutta sillä on parempi ennustustarkkuus. Sillä saavutetaan korkeampia saantoja korkeammissa laaduissa ja sahatavaran lajittelu korkeampiin lujuusluokkiin. [3, s. A6/1-A6/7.]

## **2.3 Puun kestävyys**

Jos ei ole mahdollista käyttää luontaisesti kestävästä sydänpuusta, on hyönteisvaurioilta suojauttaessa tärkein tavoite saada suoja-ainekäsittelyllä syntymään aukoton suojakerros.



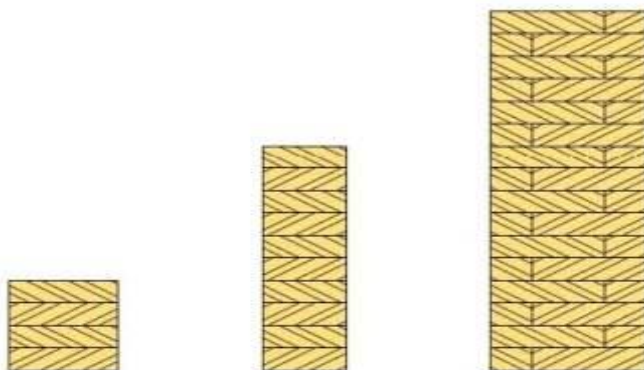
Lahovaurioilta suojauduttaessa on suoja-aineiden käytön minimoimiseksi estettävä veden pääsy puun sisään. Satunnaisesti puuhun pääsevän veden poistamiseksi on tärkeää järjestää sopiva ulospääsy vedelle ja vesihöyrylle. [3, s. A14/9.]

Jos ei ole varmuutta, että puun kosteus jää alle 20 %:n, tulee suorittaa riskiluokkien 3, 4 tai 5 edellyttämä suojauskäsittely. Tällöin ei pidä unohtaa, että koneistaminen, kuten höyläys, poistaa suojauksesta tärkeimmän kerroksen. [3, s. A14/1-A14/9.]

### 3 Liimapuu

Liimapuu on korkean teknologiaa rakennusmateriaali, mikä tarjoaa sahatavaraan nähden monia etuja. Erityistä huomiota tulee kiinnittää lamellien lujuuslajitteluun, sormijatkosten laatuun, limasauman kestävyteen ja laadun valvontaan. Puun tiheyteen ja kimmoduuliin perustuva koneellinen lujuuslajittelu on suuren lujuuden omaavan liimapuun valmistuksen edellytys. [19, s. 33.]

Liimapuu on neljästä tai useammasta höylätystä lamellista liimaamalla koottu puurakenne, jossa lamellien syyt ovat rakenteen pituussuunnassa (kuva 2). Jos lamelleja on vähemmän kuin neljä, sovelletaan kantavien puurakenteiden suunnittelussa sahatavaralle annettuja ohjeita. Valmistusmenetelmä ei aseta rajoituksia liimapuun koolle. Lamelli voi leveysuunnassa muodostua yhdestä tai useasta vierekkäisestä lamellilaudasta. Liimana käytetään tavallisesti resorsinoliformaldehydiliimaa. Jos käytetään kiinnitysteräksiä, ne liimataan epoksi-, polyuretaani- tai resorsinoliimalla. [18, s.104–105.]



Kuva 2. Liimapuu [9].

Liimapuun valmistusta valvoo ympäristöministeriön hyväksymä laadunvalvontaelin Rakennustuotteiden Laatu RTL ry. Muussa tapauksessa tulee työmaalla olla ennen kannatteiden asentamista hyväksyttävät tulokset VTT:n suorittamista toimituserää koskevista näytteistä. Liimapuun suomalaiset lujuusluokat ovat L40 ja L30. Hyväksytyn tuotteen nimi on L-puu. Liimapuuelementtejä ei saa liimata rakennustyömaalla. [18, s. 104.]

Liimapuun valmistetaan yleensä 98-prosenttisesti kuusesta. Mäntyä voidaan myös käyttää mm. arkkitehtonisista syistä tai haluttaessa painekyllästää liimapuun. Liimapuussa lamelleina käytettävän puutavaran vikaisuudet vaikuttavat lujuuteen vähemmän kuin massiivipuussa. Näin ollen liimapuun lujuus on noin 20 % suurempi kuin vastaavankokoisen sahatavaran. [18, s. 104.]

Jos liimapurakenteet ovat pysyvästi ulkotilassa, tulee liimapuun valmistuksessa käyttää säänkestäviä liimoja eli liimausluokkaa U (ute=ulkona). Tällöin rakenteen käyttökoetusta ei ole rajoitettu. Kuivissa sisätiloissa (käyttökosteus enintään 18 %) voidaan käyttää liimausluokkaa I (inne=sisällä). Liimapuun paloluokka on D-s2, d0. Likimääräinen pinnan hiiltymisnopeus tulipalo-oloissa on 0,7mm/min. [18, s. 104–105;19.]

### **3.1 Liimapuun mitat**

#### **3.1.1 Leveys**

Kapeiden kannatteiden ohjeelliset nimellimitat ovat 42, 56, 66, ja 78 mm. Vakiomittaisien kannatteiden nimellimitat ovat 90, 115, 140, 165, 190, 215, ja 240 mm. Leveiden kannatteiden ohjeelliset nimellimitat ovat 265 mm ja 290 mm. Puuvalmiiden tolppien poikkileikkausmitta on 90 mm x 90 mm, 115 mm x 115 mm ja 140 mm x 140 mm. [18, s. 105.]

#### **3.1.2 Korkeus**

Liimapuukannatteiden pienin korkeusmitta on 4 lamellinpaksuutta. Yleisin lamellinpaksuus suorissa kannatteissa on Suomessa 45 mm, jolloin vähimmäiskorkeus on 180 mm.

Korkeusmitat kasvavat tästä  $n \times 45$  mm. Kaarevissa kannatteissa lamellit ovat ohuemmat ja lamellipaksuus määräytyy kaarevuussäteen mukaan. Liimapuupalkkien vakiokorkeudet ovat 180- 2050 mm (45 mm:n välein). [18, s. 105.]

### **3.1.3 Pituus**

Liimapuukannatteet valmistetaan halutun, jopa yli 55 m:n pituisina. Myös tiettyjä varastopituuksia on saatavana. Eniten liimapuukannatteen pituutta rajoittavat kuljetus- ja varastointivaikeudet. [18, s. 105.]

### **3.1.4 Käyttö**

Liimapuun pinnat tulisi aina suojata. Ellei muuta ole sovittu, käsitellään liimapuuta värittömällä puunsuoja-aineella tai lakalla. Liimapuukannatteita valmistetaan suorina ja kaarevina. Niitä käytetään pääasiassa kattokannatteina, kehinä ja pilareina. [18, s. 105.]

## **3.2 Liimapuulevy**

Liimapuulevy tehdään suhteellisen kapeista ohuista sahatavarakappaleista, jotka liimataan syrjistään yhteen levyksi (kuva 3). Liimapuulevyssä puukappaleet liimataan toisiinsa siten, että syiden kaartumissuunnat vuorottelevat. Näin saadaan kokopuulevyjä, jotka käyristyvät mahdollisimman vähän kosteuden muuttuessa. Yleisin käytettävä puulaji on mänty, mutta periaatteessa puutavarana voidaan käyttää kaikkia yleisimpiä puulajeja (esim. mahonki, iroko, kirsikka, punapyökki, saarni, tammi ja vaahtera). [18, s. 105.]

Vakiona saatavien levyjen tavallisia paksuuksia ovat mm. 18, 28, 30, 32 ja 40 mm ja leveyksiä 200, 300, 400, 500, 600, 620 ja 720 mm. Pituudet vaihtelevat 900 mm:n ja 3500 mm:n välillä. Levyt ovat yleensä käsittelemättömiä tai öljykäsiteltyjä. [18, s. 105.]



Kuva 3. Liimapuulevy [5].

### 3.3 Liimapuun lujuusluokat

Standardissa pr EN 1194:ssä on liimapuulle esitetty viisi lujuusluokkaa (taulukko 1).

Taulukko 1. Liimapuun lujuusluokat [3, s. A8/7].

Lujuus- luokka	Yksikkö	GL20	GL24	GL28	GL32	GL36
$f_{m,g,k}$	$N/mm^2$	20	24	28	32	36
$f_{i,0,g,k}$	$N/mm^2$	15	18	21	24	27
$f_{i,90,g,k}$	$N/mm^2$	0,35	0,35	0,45	0,45	0,45
$f_{c,0,g,k}$	$N/mm^2$	21	24	27	29	31
$f_{c,90,g,k}$	$N/mm^2$	5,0	5,5	6,0	6,0	6,3
$f_{v,g,k}$	$N/mm^2$	2,8	2,8	3,0	3,5	3,5
$E_{0,mean,g}$	$N/mm^2$	10000	11000	12000	13500	14500
$E_{0,05,g}$	$N/mm^2$	8000	8800	9600	10800	11600
$\rho_{g,k}$	$kg/m^3$	360	380	410	440	480

Lamelleille asetettujen vaatimusten määräyksen tulee perustua edellä esitettyihin yhtälöihin (taulukko 2).

Taulukko 2. Eräitä liimapuun mekaanisia ominaisuuksia [3, s. A8/6].

Ominaisuus	Yksikkö	Yhtälö prEN 1194:n mukaan
Taivutuslujuus	N/mm <sup>2</sup>	$f_{m,g,k} = 12 + f_{t,0,l,k}$
Vetolujuus <i>syyn suunnassa</i>	N/mm <sup>2</sup>	$f_{t,90,g,k} = 9 + 0,75 f_{t,0,l,k}$
<i>kohtisuoraan syyn suuntaa vastaan</i>		$f_{t,90,g,k} = 1,15 f_{t,0,l,k}$
Puristuslujuus <i>syyn suunnassa</i>		$f_{c,0,g,k} = (1,5 - 0,01 f_{c,0,l,k})$
Tiheys		$\rho_{g,k} = 0,95 \rho_{l,mean}$

Homogeenisten liimapuupalkkien mitoituksessa on noudatettava EC5:n ohjeita.

Yhdistetyn liimapuun tapauksessa jännitystarkastelut tulee toteuttaa lineaarisen elastisen teorian mukaisesti ja jännitystarkastelut on tehtävä asiaan kuuluvissa poikkileikkauksen kohdissa. Lamellien laatuerot (ominaislujuus- ja jäykkyysarvot) on siis otettava huomioon. [3, s. A8/7.]

Yhdistettyjen poikkileikkausten suunnittelu vaatii lisätarkasteluja. Taulukossa 3 esitetään esistandardin pr EN 338 ”Structural timber- Strength classes” (Rakennesahatavara- lujuusluokat) mukainen lamellikerroksen sijoitteluohje standardipalkkien yhdistetyille ja homogeenisille poikkileikkauksille. [3, s. A8/7.]

Taulukko 3. Palkin lamellikerrosten lujuusluokat [3, s. A8/7].

Lujuusluokka	GL20	GL24	GL28	GL32	GL36
Homogeeninen liimapuu <i>kaikki lamellit<sup>1</sup></i>	C18	C22	C27	C35	C40
Yhdistetty liimapuu <i>ulommat lamellit</i>	C22	C24	C30	C35	C40
<i>sisemmät lamellit</i>	C16	C18	C22	C27	C35

<sup>1</sup> Ulompien lamellien vaatimukset 1/6korkeudesta molemmin puolin.

Mikäli palkeissa käytetään muita lamellikerrosten koostumuksia, tarkastetaan, että yhdistetty palkki käyttäytyy vähintään yhtä hyvin kuin homogeeninen palkki, jonka tavoiteluokkuusluokka on valittu taulukon 1 mukaan. Leikkausjännityksen ja syitä vastaan kohtisuorien jännityksin tapauksissa, jotka tavallisesti ovat kriittisiä palkin keskiosissa, on jännitystarkastelut tehtävä keskimmäisten lamellien lujuuden suhteen. [3, s. A8/8.]

### **3.4 Liimapuurakenteiden käytön edut sillan rakentamisessa**

#### **3.4.1 Palkkikoot**

Valmistuksessa syntyvän jatkuvan lamellin vuoksi on palkin koko teoriassa rajoittamaton. Liimapuupalkki, jonka korkeus on 2,0 m ja pituus 30–40 m, ei ole harvinainen. Palkkien suunnittelua rajoittavat liimauksen avoin aika, tuotantolaitteiden ja -hallien koko ja arkkitehtoniset seikat. Esimerkiksi 16 m pitkä, 2,5 m leveä ja 3,5 m korkea palkki voidaan kuljettaa poliisivalvonnassa käyttäen asianmukaisia valo-ohjauslaitteita. Kuljetusreitti on myös tarkistettava etukäteen. [3, s. A8/4–A8/8.]

#### **3.4.2 Palkkien muodot**

Koska yksittäisiä lamelleja on mahdollista vääntää kaarelle, saadaan kiinnostavia palkkimuotoja. Tämä mahdollista myös palkkien esikorotuspoikkeaman, jolla kompensoidaan rakenteiden painon aiheuttamaa taipumaa. Koska kaarevien palkkien valmistus edellyttää asetteiden ja puristuslaitteiden säätämistä uuden palkkimuodon (kaarevuussäde) mukaan, pitenee valmistusaika suoriin palkkeihin verrattuna. Kustannusero riippuu kappalemäärästä ja on yleensä merkityksetön. Kapenevat palkit voidaan valmistaa eripituisista lamelleista tai sahaamalla kaksi kapenevaa palkkia yhdestä suorasta palkista. [3, s. A8/4.]

#### **3.4.3 Mittatarkkuus**

Lamellien kuivaus ja valmistusprosessi mahdollistavat mittatarkkojen liimapuupalkkien tuotannon. Pienet toleranssit ovat tärkeitä yhdistettäessä eri materiaalista valmistettuja osia. Tämän vuoksi voidaan sahatavara joutua korvaamaan liimapuupalkilla, vaikka sa-

hatavaran lujuus ja jäykkyys riittäisi ko. tarkoituksen. CADin ja tietokoneohjattujen työstökoneiden käytön lisääntymisen myötä mittatarkkuus on tullut yhä tärkeämmäksi. Jos liimapuupalkkeja käytetään ulkoseinissä, saavutetaan tuulitiiviys helpommin kuin sahatavaralla. [3, s. A8/5.]

#### **3.4.4 Yhdistetty liimapuu**

Lamellien käyttö mahdollistaa erilaisten lamellilaatujen sijoittamisen poikkileikkauksen eri jännityskohtiin. Esimerkiksi taivutuksen yhteydessä sijoitetaan korkeamman lujuusluokan lamellit ulko-osiin korkeamman rasituksen alueella, kun taas sisäalueen lamelleina voidaan käyttää huonompilaatuista sahatavaraa, mikä parantaa puumateriaalin käytön taloudellisuutta. [3, s. A8/5.]

#### **3.4.5 Puun kosteus**

Lamellit kuivataan noin 12 %:n kosteuteen (puun tasapainokosteus sisätiloissa on 9-12 %). Tällöin rakenteen kuivumisesta johtuvien muodonmuutoksien (käyritymät) aiheuttamat vauriot ovat epätodennäköisiä. [3, s. A8/5.]

#### **3.4.6 Korkeampi lujuus ja jäykkyys**

Tuotantoprosessin ansiosta oksat jakautuvat melko tasaisesti palkkiin, josta seuraa sahatavaraa homogeenisempi tuote. Täten oksien aiheuttamat vauriot vähenevät ja tuotteen lujuus on parempi. Heikkolaatuisesta sahatavarasta voidaan valmistaa paremman lujuuden omaavaa liimapuuta. [3, s. A8/5.]

### **3.5 Kaarevien liimapuupalkkien käyttö sillanrakentamisessa**

Liimapuupalkit ovat usein korkeudeltaan muuttuvia ja/ tai kaarevia arkkitehtonisten vaatimusten, kattomuodon, sisäkorkeuden ja kantavan seinän korkeusvaatimuksen takia. [3, s. B8/1.]

Yhteen suuntaan kaarevissa palkeissa vetotaivutusjännitykset sisäreunalla ovat suurempia kuin suorissa palkeissa. [3, s. B8/8.]

Kun taivutusmomentti lisää kaarevuussädettä, vetojännityksiä kohtisuoraan syyn suuntaa vastaan esiintyy kaarevalla alueella. Lamellien taivutus kaarevissa palkeissa pienentää taivutuslujuutta, kun kaarevuussäde on pieni. [3, s. B8/8.]

## 4 Puuliitokset

Puurakenteiden suunnittelussa ja toteutuksessa liitoksilla on usein keskeinen tekninen ja arkkitehtoninen merkitys. [18, s. 63.]

Puu on rakenteeltaan epähomogeenista ja ominaisuuksiltaan vaihtelevaa. Lukuisat erilaiset liitostavat tekevät puuliitosten suunnittelun mielenkiintoiseksi, mutta myös vaativammaksi kuin esimerkiksi teräслиitosten suunnittelun. Jatkosten ja liitosten teko puuhun on helppoa, mikä lisää puun käyttöä kantavissa rakenteissa. Puuliitoksissa on kaksi tai useampia rakenneosia liitetty toisiinsa siten, että ulkoisen voiman vaikuttaessa liitos vastustaa osien irtoamista toisistaan tai liukumista toistensa suhteen. [18, s. 63.]

Käytettäessä rakenteiden sisään jääviä liitoksia ei liitostyyppillä ole suurtakaan esteettistä merkitystä. Vain rakenne ja taloudellisuus määräävät liitostyyppin valinnan. Kantavien rakenteiden liitokset jäävät tai jätetään usein näkyviin, jolloin niiden merkitys interiöörin osana ja mahdollisesti arkkitehtonisena yksityiskohtana korostuu. [18, s. 63.]

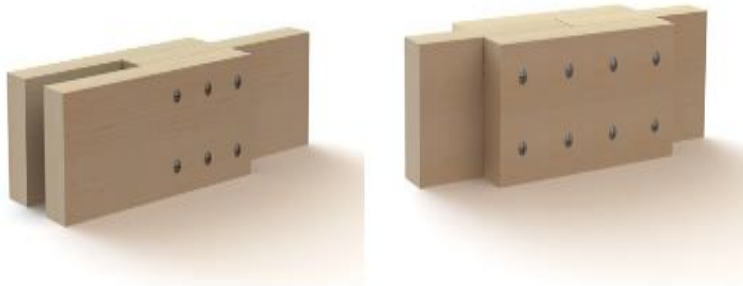
Näkyviin jäävien metallisten liitoselinten epäkohtana voidaan pitää niiden huonoa palonkestävyyttä, esimerkiksi naulalevyillä enintään 15 minuutin palonkestoaikaa. Jos kantavilta rakenteilta vaaditaan palonkestävyyttä, tulee asentaa metalliset liitoselimet yleensä puurakenteen sisään tai suojata ne esimerkiksi palonestomaalilla tai puuverhouksella.

Jotta liitos vastaisi sekä konstruktiivisesti että esteettisesti sille asettavia vaatimuksia, edellytetään liitosten suunnittelussa rakennesuunnittelijan ja arkkitehdin kiinteää yhteistyötä. [18, s. 63.]



## 4.1 Naulaliitokset

Naulaliitos on erittäin vahva liitostyyppi ja vielä nykysinkin yleisin liitos kevyissä ja toissijaisissa rakenteissa (kuva 4). Naulaus on helppo tehdä rakennustyömaalla, eikä se vaadi suurta ammattitaitoa. Liitoksia varten on kehitetty useita erilaisia naulatyyppejä, joissa naulankärki, pinnan profilointi, kannan koko ja muoto, mittasuhteet ym. vaihtelevat.



Kuva 4. Naulaliitos [11].

Tavallinen lankanauula on yleisnauula. Se soveltuu hyvin rakenteisiin, joihin kohdistuu pääasiassa leikkausvoima. Kierrenauula soveltuu tapauksiin, joissa naula saa toistuvia rasituksia. Kampanaulan pitokyky on paras. Se soveltuu tapauksiin, joissa esiintyy toistuvia kuormituksia. Naulan korroosionkestävyyttä voidaan parantaa galvanoinnilla tai kuumasinkityksillä. Naulaus suoritetaan nykyisin yleisesti paineilmanaulaamalla, jota varten on kehitetty erityiset naulatyyppit. Erikoiskohteissa käytetään myös kuparinauloja ja messinkiruuveja. [18, s. 64.]

## 4.2 Perinteiset liitokset

Perinteiset eli kosketusliitokset ovat erilaisia tukiloveuksia, liitosloveuksia tai tapituksia, joiden käyttö perustuu joko puristusvoimien tai loveuksen ja naulojen yhteistyöhön.

Niissä käytettävien liittimien tehtävänä on yleensä vain pitää liitettävät osat paikoillaan puristusvoimien siirtyessä kosketuksella suoraan pinnalta toiselle (kuva 5). Näitä liitoksia kutsutaan myös puutyöliitoksiksi ja kirvesmiesliitoksiksi, ja niistä on kokemusta jo vuosisatojen ajalta. [18, s. 64.]



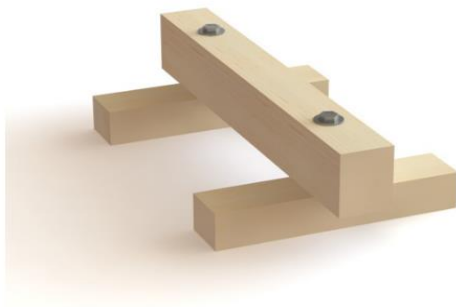
Kuva 5. Perinteiset liitokset [11].

### 4.3 Pulttiliitokset

Pultteja eli mutteriruuveja käytetään järeissä rakenteissa yksinään, jos liitoksen jäykkyydelle ei aseteta vaatimuksia (kuva 6). Pultteja käytetään lähinnä sitomaan rakenneosat paikoilleen voimien siirtyessä puusta pintapuristuksella eteenpäin.

Puhdas pulttiliitos on nykyisin harvinainen kantavissa rakenteissa. Pulttiliitoksen huonona puolena on suuri alkusiirtymä voiman alkaessa vaikuttaa. Siirtymä kasvaa vielä puun kuivuessa.

Loviliitoksissa pultit saattavat puun mahdollisesti leikkautuessa estää koko rakenteen lopullisen murtumisen. Vaarnaliitoksissa pultit toimivat liitoksen koossapitäjinä, mutta ne voivat ottaa myös osan liitoksen leikkausvoimista. [18, s. 64–66.]



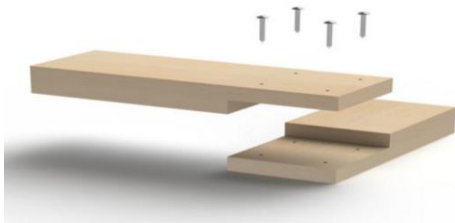
Kuva 6. Pulttiliitos [11].

### 4.4 Ruuviliitokset

Puuliitoksissa käytetään kahta ruuvityyppiä: puuruuveja ja kuusikantaruuveja. Puuruuvit voivat olla uppo-kupu- tai kupu-uppokantaisia. Kannan ura voi olla suora ura tai ristiura.

Kuusiokantaiset puuruuvit (kansiruuvit eli ”täkkipultit”) soveltuvat käytettäviksi silloin, kun tarvitaan suuria ruuveja. Kuusikantaruuvien kiertäminen puuhun on helpompaa kuin pyöreäkantaisten ruuvien (kuva 7).

Puuruuvien käyttö kantavissa rakenteissa rajoittuu lähinnä teräsosien kiinnitykseen. Puuruuvien yleisin käyttöalue on puusepäntuotteet. Kuusioruuveja käytetään yleensä järeissä puurakenteissa, joissa liittimen ei tarvitse tai se ei voi tunkeutua koko rakenteen läpi ja joissa siirrettävät voimat ovat suhteelliseen pieniä. Tällaisia kohteita ovat mm. liimapuupalkkeihin tulevat ripustukset. [18, s. 66.]



Kuva 7. Ruuviliitos [11].

#### 4.5 Vaarnaliitokset

Vaarnaliitoksissa vaarna yhdessä pultin kanssa ottaa vastaan leikkausrasitukset. Vaarnat jaetaan kahteen pääryhmään sen mukaan, asetetaanko vaarna puuhun valmiiksi tehtyyn koloon tai uraan (lautasvaarnat ja rengasvaarnat) vai puristetaanko vaarna pakkovoimin puuhun (hammasvaarnat). Vaarnojen yhteydessä käytetään erillistä liitintä, yleensä pulttia (kuva 8).

Vanhimmat ja yksinkertaisimmat vaarnatyypit ovat porattuun reikään asetettava tappi ja suorakaidevaarna, joka vaati kokoisensa kolon. Ne ovat edelleen hyvin käyttökelpoisia. [18, s. 66.]



Kuva 8. Vaarnaliitokset [11].

## 5 Puusillat

Puusta voidaan rakentaa monen näköisiä ja -kokoisia siltoja, myös maantieliikenteen kuormille. Pitkälle esivalmistetut puusillat ovat nopeita asentaa, mikä vähentää rakentamisen liikenteelle koituvaa haittaa. Puusiltojen pitkäaikaiskestävyys on todettu hyväksi ja ylläpito- ja korjauskulut pieniksi.

Puun etuna siltarakentamisessa pidetään puun keveyttä ja lujuutta. Siirtyminen massiivipuusta liimapuuratkaisuihin on mahdollistanut suurten puukannattimien valmistuksen.

Keveytensä ja lujuutensa ansiosta puusillat voidaan esivalmistaa, kuljettaa ja asentaa pitkälle valmiina sillan osina ja lohkoina. Yksinkertainen liitostekniikka nopeuttaa osien asennusta. Asennuksen jälkeen puusilta on heti valmis vesieristettäväksi ja pinnoitettavaksi liikenteen käyttöä varten. [20.]

Asennus on mahdollinen hankaliinkin ylityksiin, kun sillan kannen asennus onnistuu jopa yhdessä osassa. Korkea esivalmistusaste ja kuiva liitostekniikka helpottavat myös talvirakentamista.

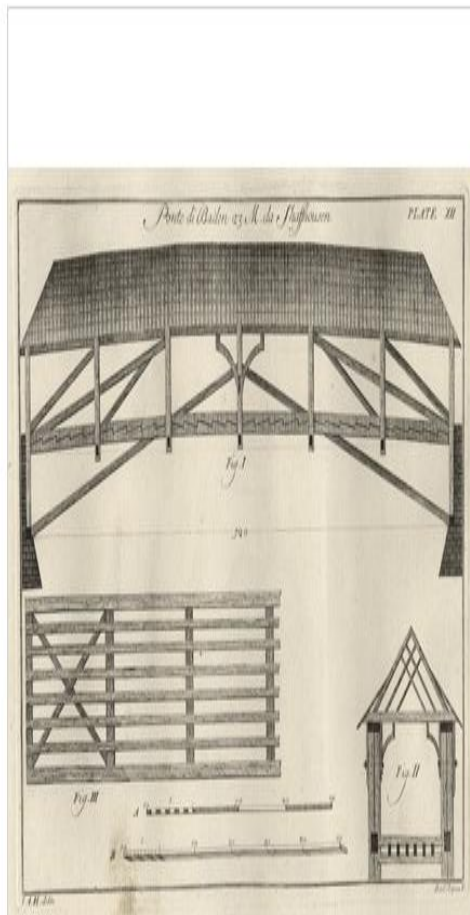
Tutkimusten ja muista maista saatujen kokemusten mukaan puusillat ovat rakennus- ja elinkaarikustannuksiltaan erittäin kilpailukykyisiä.

Suomen puusiltojen rakentaminen voitaisiin helposti yli kymmenkertaistaa. Esimerkiksi Ruotsissa ja Norjassa puusiltojen rakentaminen on huomattavasti Suomea yleisempää. Norjassa noin 10 prosenttia ja Ruotsissa noin 20 prosenttia vuosittain rakennettavista silloista on puurakenteisia.

Suomeen rakennettiin vuosina 2010–2014 yhteensä 584 siltaa. Näistä puurakenteisia oli 17. Kaikista tiesilloista puusiltojen osuus on neljä prosenttia. Kaikkiaan Suomessa on noin 900 puista siltaa. Yhteensä siltoja on 20 000. [20.]

## 5.1 Puusiltojen historia

Puu ja luonnonkivi olivat 1900-luvun alkuun saakka sillanrakentamisen tärkeimmät materiaalit. Puusillat kehittyivät jo 1700-loppuun mennessä jännemittoihin, joita nykyisin harvoin ylitetään.



RIBAPIX REF NO	RIBA53969
ARTIST/PHOTOGRAPHER	Hervey, John Augustus, Lord Hervey (1757-1796)
COUNTRY	Switzerland
CITY	Baden
SUBJECT DATE	1700
IMAGEDATE	1770
VIEW	Exterior
MEDIUM	Print
LIBRARY REFERENCE	EW E.c.125
ORIENTATION	Landscape
COLOUR / B&W	Colour
CREDIT	RIBA Collections
NOTES	SOURCE: Michael Shanahan. Plans and elevations of stone and timber bridges in France, Germany, Switzerland, and Italy (Dublin, c. 1775), pl. XII

Kuva 9. Puusilta (Baden lähellä Schaffhausenia, Sveitsi) [14]

Pitkäjänteisin puusilta oli Reinin ylittävä 119-metrinen silta Schaffhausenissa Sveitsissä (kuva 9). Se kuitenkin hävitettiin muutama vuosikymmen valmistumisensa jälkeen.

Suomessakin vielä 1920-luvulla puu oli suosituin materiaali sillanrakennuksessa. 1920- ja 1930-luvuilla valtion haltuun ottamista silloista noin 70 prosenttia oli puisia. Puusilta kivisillä tuilla oli 1800-luvulta aina 1900-luvun alkuun saakka Suomen käytetyin suurten siltojen rakennustapa (kuvat 10, 11). Vielä vuonna 1927 tehtiin vuodessa 40 puusiltaa. [8.]

Puusiltarakentamisen osaamista on Suomessa edelleen. Vihantasalmelle vuonna 1999 valmistunut liimapuinen riippuansas- ja puubetoni-liittopalkkisilta oli valmistuessaan pinta-alaltaan maailman suurin pääteiden puusilta. Sen jälkeen Suomeen on rakennettu muutama puusilta vuodessa. Rakennetut puusillat ovat tyypillisesti yksinkertaisia kevyenliikenteen siltoja, mutta mukaan mahtuu joitain näyttäviä maisemasiltoja. Niiden lisäksi puusta voidaan tehdä kustannustehokkaasti maanteiden perustiesiltoja. [8.]



Kuva 10. Viherin silta Joutsassa on rakennettu vuonna 1887, ja se on puinen kaksiaukkoinen tukiansasilta. [8.]



Kuva 11. Halikon vanha silta Salossa on osa suuren rantatien muodostamaa merkittävää maantiereittiä. Se on rakennettu vuonna 1866. [8.]

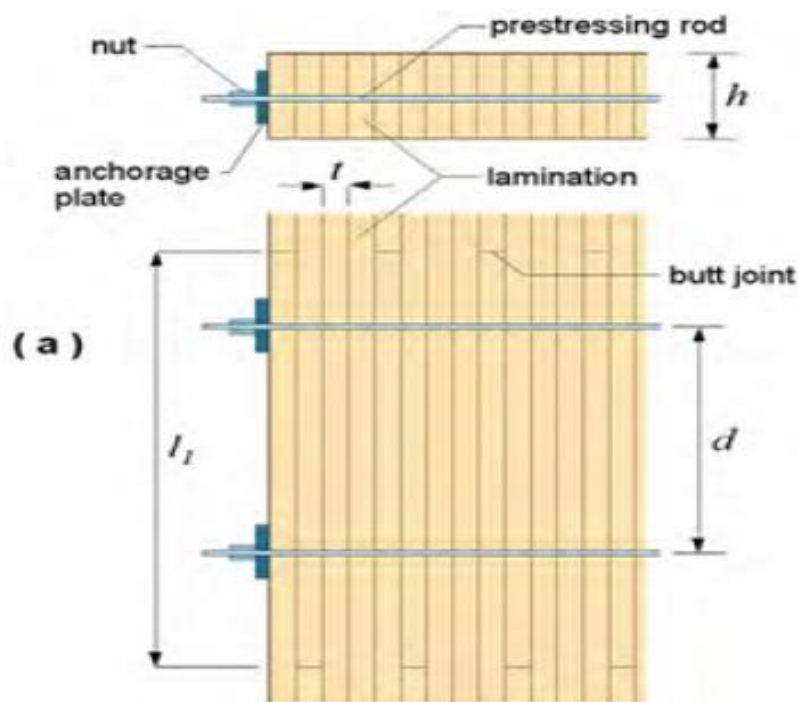
## 5.2 Puusiltoja koskevat rakenteelliset määräykset

Puun käyttöä siltarakentamisessa ei Suomessa estä määräykset. Rakenteellisessa suunnittelussa ovat käytössä Eurocode-standardit sekä Liikenneviraston puusiltojen suunniteluohje NCCI 5. Ohje on puusiltoja käsittelevän Eurocode-standardin SFS-EN 1995-2 suomalainen soveltamisohje. Yleisesti Suomessa siltarakentamisessa käytetään liimapuuta. [7;17.]

Puuta voidaan käyttää siltojen kansirakenteena, kantavina palkkeina sekä kaiderakenteissa. Lisäksi puuta voidaan käyttää pylonirakenteissa. Tietyin varauksin myös perusrakenteita voidaan tehdä puusta. Tällöin on kuitenkin huomioitava käyttöolosuhteiden aiheuttamat haasteet pitkäaikaiskestävyydelle. Puuta voidaan käyttää liittorakenteisesti esimerkiksi kantavina palkkeina yhdessä betonilaatan kanssa. [7; 17.]

## 5.3 Puun käyttökohteet siltarakentamisessa

Puuta voidaan käyttää siltojen kansirakenteena (kuva 12), kantavina palkkeina sekä kaiderakenteissa. [1, s. 64,97.]

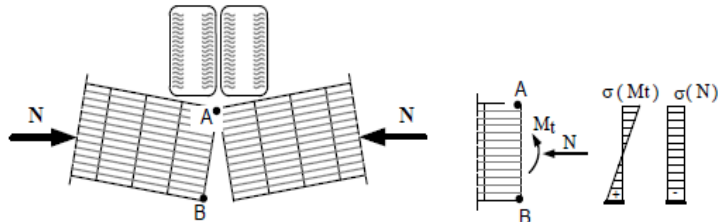


Kuva 12. Puusen kansilaatan jännittämisen periaate [1].

## 5.4 Poikittain jännitetyn puusillan toiminta

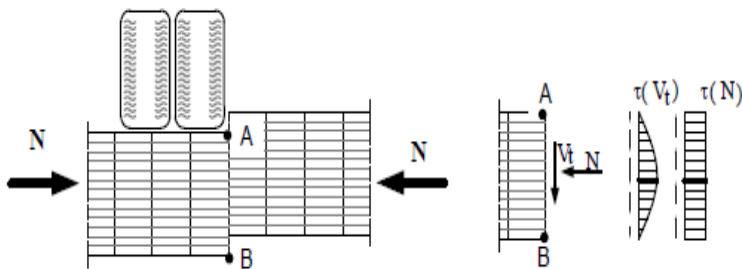
Poikittaisella jännittämisellä saavutettavat edut (kuvat 13, 14):

- Kitkavoima pitää kannen yhdessä ja parantaa kuormien jakautumista.



Kuva 13. Kitkavoima pitää kannen yhdessä ja parantaa kuormien jakautumista [1].

- Puristusvoima lisää kannen poikittaista jäykkyyttä.



Kuva 14. Puristusvoima lisää kannen poikittaista jäykkyyttä [1].

## 5.5 Puusiltojen markkinaosuus

Siltojen päämateriaalina on liimapuu, josta tehdään sekä raskaan että kevyen liikenteen siltoja. Liimapuurakenteisia siltoja pidetään erittäin edullisina. 15–20 metriä pitkä liimapuinen maantiesilta on noin 20–30 % edullisempi kuin vastaava betonisilta. Puusiltojen huolto- ja ylläpitokustannukset ovat vastaavia muita siltoja pienemmät [20].

Tyypisilloilla on korkea esivalmistusaste. Pintakäsittelyt, putkiasennukset, kaidekiinnikkeet yms. varaukset ja esiporaukset tehdään valmiiksi tehtaalla. Puukannen teko ei edellytä valumuottien rakentamista ja purkua, ei raudoitusta eikä kuivumisen odottelua.



Kevyt nostokalusto riittää. Asennustyöt ovat mahdollisia myös hankalissa paikoissa. Nopean asennuksen vuoksi rakennusajan aiheuttamat häiriöt liikenteelle jäävät lyhytkestoisiksi. Sillan arkkujen teko ei häiritse muuta liikennettä. [20.]

Kansirakenteen vesieristys on sillan kestävyuden kannalta keskeinen. Se tarkistetaan kuuden vuoden välein. Samalla tarkistetaan pistokokein esijännitysterästen oikea jännitysmomentti. [20.]

Kosteusvaurioiden tarkastus tehdään silmämääräisesti, sillä mahdolliset vuotokohdat on helppo havaita. Kostuessaan puu turpoaa ja se voidaan nähdä esijännitysterästen prikkosten ja muttereiden uppoamisesta rakenteeseen. [20.]

Kannen vesieristeet uusitaan kokonaan 25 vuoden välein. Suurin säärasitus kohdistuu ulommaiseen liimapuupalkkiin, joka toimii rakenteessa kulutuskerroksena. Tarvittaessa uloin liimapuupalkki uusitaan. [20.]

## 5.6 Puusiltatyypit Suomessa

Puusta voidaan rakentaa monen näköisiä ja -kokoisia siltoja, myös maantieliikenteen kuormille. Pitkälle esivalmistetut puusillat ovat nopeita asentaa, mikä vähentää rakentamisen liikenteelle koituvaa haittaa. Puusiltojen pitkäaikaiskestävyys on todettu hyväksi ja ylläpito- ja korjauskulut pieniksi (kuva 15). [8.]



Kuva 15. Nahkialan silta, Akaan Toijala [8].

### 5.6.1 Liittorakennesilta

Liittorakennesillat edustavat puusiltojen uutta tekniikkaa. Niissä puupalkit ja betonikansi liitetään erikoistartuntaelinten välityksellä yhdessä toimivaksi rakenteeksi (kuva 16.) [8.]



Kuva 16. Liittorakennesilta (Vihantasalmen silta) [8].

### 5.6.2 Palkkisilta

Palkkisillat ovat eniten käytetty siltarakenne. Kantava rakenne muodostuu sillan pituussuuntaisista liimapuupalkeista, joiden varaan sillan kansirakenne tehdään. Rakenteen taloudellisin käyttöalue on 4–20 metrin jänneväli ajoneuvoliikenteen silloissa ja 3–30 metrin kevyen liikenteen silloissa (kuva 17). [8.]



Kuva 17. Palkkisilta (Nyynöistenjoen silta, Heinola) [8].

### 5.6.3 Tukiansassilta

Tukiansassilta oli yleinen rakenne ennen liimapuun tuloa. Nykyisin se on käytössä lähinnä museorakenteissa ja erikoiskohteissa. Riippuansassilta soveltuu poikittaisjäykkyytensä ansiosta parhaiten suhteellisen kapeille silloille, pituusalue 15–50 m (kuva 18). [8.]



Kuva 18. Tukiansassilta (Eteläjoen Isosilta, Pyhäjoki, v. 1837) [8].

### 5.6.4 Katettu silta

Katettu silta on rakennetyypiltään yleensä ristikkosilta, jossa ristikon alapaarteen varassa on ajorata ja yläpaarteen varassa katto. Katetut sillat soveltuvat erityisesti kevyen liikenteen käyttöön ja voivat jännemitaltaan olla jopa 100 metriä (kuva 19). [8.]



Kuva 19. Katettu silta (Suntinrannan silta, Parainen) [8].

### 5.6.5 Kaarisilta

Kaarisillan kantava rakenne on kaaren muotoon liimattu liimapuu. Kaari voi joko olla kokonaan kannen alla, jolloin kaaria voi olla useita leikata kansilinjain osittain tai olla myös kokonaan kannen yläpuolella. Kaarisiltojen jännemitta voi olla jopa 100 m (kuva 20). [8.]



Kuva 20. Kaarisilta (Kurjenmäen silta, Ypäjä) [8].

### 5.7 Miksi valitaan puusilta?

Puusillat ovat luonnonläheisiä ja sopivat erityisesti kevyelle liikenteelle, mutta lyhyillä aukoilla myös ajoneuvoliikenteelle kuten Lieksan kaarisilta. Puuta voidaan käyttää ilman maalausta tai maalattuna ympäristöstä riippuen mutta kyllästäminen on yleensä tarpeen. [6, s. 101.]

Puu on aikoinaan ollut suomalaisten siltojen tärkein materiaali. Puusilloilla on oma erillinen kehityskulkunsa betoni- ja terässiltoihin verrattuna. Tähän on ollut syynä puun helppo saatavuus ja työstettävyys, tutuus sekä lyhyt rakennusaika kaikissa sääolosuhteissa. Lisäksi puu on kevyttä lujutensa nähden, ja sen lujuus/paino-suhde on samaa luokkaa teräksen kanssa. Puun haittapuoloina ovat sen herkkyys kosteutta ja auringon säteilyä kohtaan, halkeilu, lahoaminen ja heikko kestävyys mekaanista kulutusta vastaan. [6, s. 94.]

Puu on joustava ja kaunis materiaali. Vaativimmissa kohteissa tulisi käyttää myös muita ratkaisuja kuin suoraa palkkia. Varsinkin kevyen liikenteen silloissa voidaan käyttää rohkeampia muotoja, esimerkiksi liimapuukaaria sekä riippu- tai tukiansaita. [6, s. 94.]

Hyvät puolet puusillanrakentamisesta ovat:

- Ulkonäkö
- Ekologisuus
- Teknisesti edullinen
- Taloudellinen [10, s. 25]

## 5.8 Miten puusilta tehdään?

Poikittaisjännitetyt sillat ovat uutta ja erityisen suosittua siltatekniikkaa. Poikittaisjännitetyn sillan perustyyppi on laatta, jossa sillan pituussuuntaiset lankut tai liimapuupalkit on puristettu poikittaisilla puun läpi poratuilla teräksillä yhtenäiseksi laataksi. Tällainen laattasilta soveltuu 3–38 m jännemitoille.

Versowood on kehittänyt tästä perusrakenteesta arinamallisen kansirakenteen yhdistämällä liimapuupalkkeja ja sahatavaraa, jolloin taloudellinen käyttöalue on noussut 30 metrin jännemittaan asti. [20.]

Kuinka puusilta yleensä rakennetaan?

1. Puinen silta, rakennetaan massiivisista liimapuupalkeista, jotka on tehty liimaamalla useita liimapuupalkkeja rinnakkain. Palkit asennetaan rakenteessa vierekkäin kiinni toisiinsa.
2. Palkkien läpi on porattu reiät, joihin asennetaan vetotangot. Vetotangot kiristetään 15 tonnin lujuteen, jolloin koko siltakansi alkaa toimia yhtenä kantavana levynä.
3. Kannen päälle tehdään vesieristys ja sen päälle monikerroksinen yhteensä 110 mm paksu asfalttinen kulutuskerros. Kevyenliikenteen sillassa kulutuskerrosten paksuus on 80 mm.
4. Kaiteet ruuvataan kiinni palkkirakenteen saumaan kiinnitettyihin RST-kiinnikkeisiin. Kaidekiinnikkeet mitoitetaan aina kantavia rakenteita heikommiksi,

jolloin mahdolliset törmäykset eivät aiheuta haittaa kantaville rakenteille. Ruuviliitosten vuoksi kiinnikkeet ovat tarvittaessa helposti uusittavissa. Kaiderakenne on sama vakioratkaisu kuin muissakin silloissa.

5. Erillinen puuverhous antaa varsinaisen suojan ja tarvittaessa helposti uusittavan kulutuskerroksen näkyville puurakenteille. Kantavat rakenteetkin voidaan maalata (kuva 21). [20.]



Kuva 21. Puusillan rakentaminen [8].

## 6 Lieksan kaarisilta

### 6.1 Historia

Lieksa on Suomen kaupunki, joka sijaitsee Pielisen rannalla Pohjois-Karjalan maakunnassa. Kaupungin väkiluku on 11 604 ihmistä, ja sen pinta-ala on 4 067,60 km<sup>2</sup> noin 550 kilometrin päässä pääkaupungista Helsingistä ja 50 kilometrin päässä Venäjästä. Yhteistä rajaa Venäjän kanssa on 98 kilometriä.

Lieksanjoen yli kulkevan vuonna 1930 valmistettu (kuva 22) kaksiaukkoinen kaarisilta on yksi Lieksan keskustan tunnetuimmista maamerkeistä (liite 1). Sillan keskustanpuoleisen kaaren teräkset ovat ruostuneet pahoin. Rantalan puoli on sodanjälkeisen korjauksen vuoksi betonilaadultaan parempi, mutta penkere painuu ja maatuki liikkuu.



Kuva 22. Lieksan kaarisilta [5].

Sillan vetotangoissa on erittäin vakavia taipumia sekä löystymisiä. Tankojen nykykunto on törmäysvaurioiden vuoksi kriittinen. [2.]

Lisäksi sillan kansilaatan betoni rapistuu, ja sen terästen korroosio on käynnissä niin laajoilla alueilla, ettei kansilaatan korjaaminen ole enää järkevin kustannuksin mahdollista.

Teknisen toimen suunnitelmat toteutuvat, Lieksaan rakennetaan uusi puukaarinen silta entisen betonikaarisen sillan paikalle. Uusi silta on puukaarisiltatyypinen silta kuusimetrisine ajoratoineen ja noin kolmemetrisine kevytliikenneulokkeineen maksaa noin 2,7 miljoonaa euroa. [2.]

## 6.2 Onnettomuus

Tiistaina 13.5.2014 kuorma-auto rysäytti kaarisiltaan Lieksassa (kuva 23). Lieksan kaupunki joutunee purkamaan kaarisillan ja rakentamaan tilalle uuden, koska vanhan sillan korjaaminen ei ole enää järkevää. [2.]



Kuva 23. Kuorma-auto rysäytti Lieksan kaarisiltaa [2].

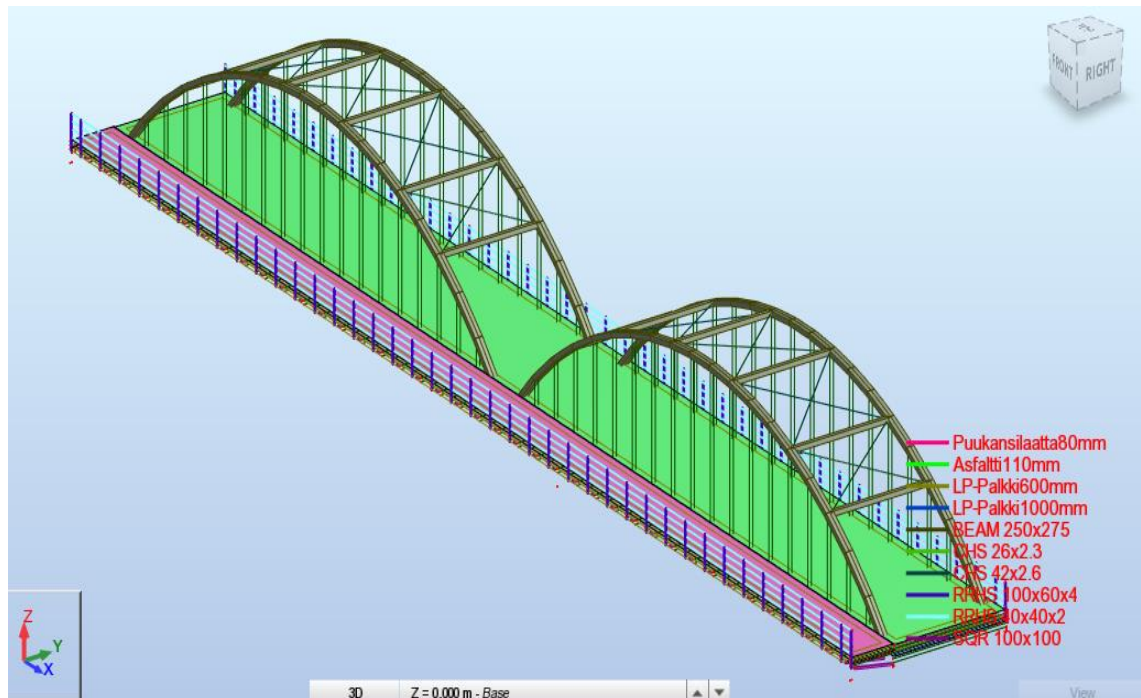
## 7 Lieksan betoninen kaarisilta korvataan puukaarisella sillalla

### 7.1 Siltatyypin

Sillan uusimista suunniteltaessa tuli esiin ajatus rakentaa luonnonkauniiseen paikkaan puusilta, joka voisi muun muassa ilmentää alueen luonnetta puumateriaalin lähteenä ja jalostajana sekä korostaa alueen ekoimagoa.

Silta on tyypiltään kaksiaukkoinen liimapuinen kaarisilta (liite 2). Sillan tukivälit ovat  $38\text{ m} + 38\text{ m} = 76\text{ m}$ . Sillan ajoradan leveys on  $6,0\text{ m}$  ja kevyen liikenteen väylän leveys noin  $3,0\text{ m}$ . Maksimikulkukorkeus on  $4,3\text{ m}$  laattasillan pinnasta mitattuna (kuva24). Etäisyys vedenpinnasta sillan korkeimpaan huippuun on n.  $18\text{--}20\text{ m}$ . Sillan päätuki on perustettu teräsbetonia ja kalliota.

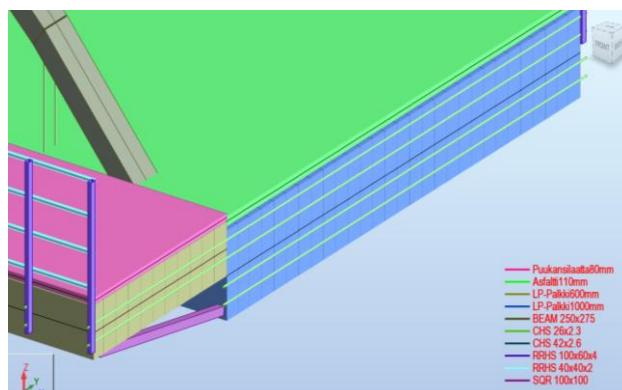




Kuva24. Kaksiaukkoinen puukaarisilta (Autodesk Inc., 2016\_Robot).

## 7.2 Miten tehdään Lieksan puukaarisilta?

Sillan pääkannattimina toimii kaksi liimapuukaarta. Silta rakennetaan massiivisista liimapuupalkista (275mm X 1000mm). Pääpalkit asennetaan rakenteessa vierekkäin kiinni toisiinsa. Palkkien läpi on porattu reiät, joihin asennetaan vetotangot. Vetotangot kiristetään 15 tonnin lujuuteen (CHS 26 X 2.3 STEEL), jolloin koko siltakansi alkaa toimia yhtenä kantavana levynä (kuva 25).



Kuva 25. Palkkien läpi on porattu reiät, joihin asennetaan vetotangot (Autodesk Inc., 2016\_Robot).

Kannen päälle tehdään vesieristys (kuva26) ja sen päälle monikerroksinen yhteensä (110 mm paksuus) asfalttinen kulutuskerros (kuva 27).

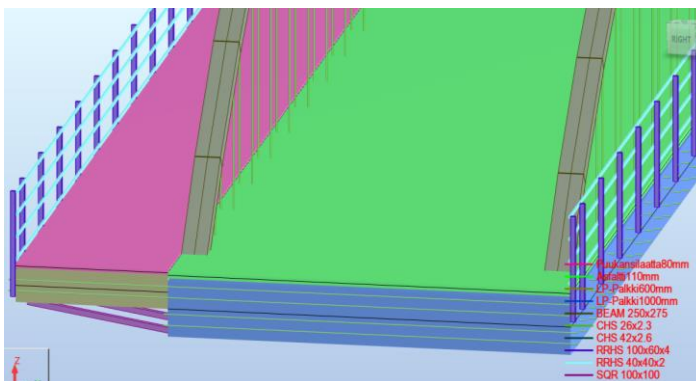


Kuva 26. Kannen päälle tehdään vesieristys [1].



Kuva 27. Vesieristykseen päälle tehdään monikerroksinen yhteensä (110 mm paksuus) asfalttinen kulutuskerros. [1].

Keuyen liikenteen kaista tehdään puurakenteisena ulokkeena, jossa myös kansilaatta on puusta (80mm paksuus). Tällöin se on jalankulkijoiden kannalta miellyttävä ja sopii hyvin puusillan ilmeeseen (kuva 28). Keuyen liikenteen kaista tehdään pääpalkkeina (275mm X 600mm), asennetaan vierekkäin kiinni toisiinsa kuten ajoradan pääpalkit.



Kuva 28. Keuyen liikenteen kaista tehdään puurakenteisena ulokkeena, jossa myös kansilaatta on puusta 80mm paksuus (Autodesk Inc., 2016\_Robot).

Pääkannattimet liimapuukaaret muodostuvat kahdesta liimapuukaaresta (250mm X 550mm), joiden kaaren ja pääpalkkien välistä riippuvat teräksiset vetotangot (CHS 76X2.9 STEEL). Kaaret on yhdistetty toisiinsa säänkestävällä vanerilla. Vanerilevyt kiinnitetään liimapuihin naulaamalla. Kaaret valmistetaan jo tehtaalla (kuva 29).

Ajoradan yläpuolella on pääkannattimet liimapuupalkit yhdistetty toisiinsa poikittaisilla ristikoilla, joissa on teräksiset diagonaalisauvat (CHS 76X2.9 STEEL) (kuva 24).



Kuva 29. Kaaret valmistetaan tehtaalla [1].

### 7.3 Rakenteiden mitoitus

Rakennesuunnittelussa on päätavoitteena se, että rakenteen tulee kestää kaikki kuormat ja vaikutukset. Rakennesuunnittelussa otetaan huomioon etenkin kuormat ja ympäristön vaikutus rakenteelle.

Sillan pääkannattimina toimivat kaksi liimapuukaarta. Pääkannattimet tukeutuvat päistään suoraan perustuksiin. Perustuksia ei tässä työssä suunnitella.

### 7.3.1 Kuormat

Kuormat jaetaan eri luokkiin ajallisen vaihtelun perusteella RIL-201-1-2008:sta ja suunnittelussa käytettävät kuormat saadaan standardista SFS-EN 1991 [12, s. 10]. Pysyviin kuormiin lasketaan rakenteiden ja rakennuksen kiinteiden laitteiden oma paino. Muuttuviin kuormiin lasketaan hyötykuormat, tuulikuormat, lumikuormat ja liikennekuormat.

#### ❖ Rakenteen omapaino

Rakenteen omasta painosta johtuvat kuormat luokitellaan kiinteiksi, pysyviksi kuormiksi. Rakennuskohteen omaan painoon kuuluvat kaikki sekä kantavat että ei-kantavat rakenteet [12, s. 10].

#### ❖ Lumikuorma

Lumikuorman määrittäminen aloitetaan valitsemalla paikkakuntaa vastaava maassa olevan lumikuorman ominaisarvo  $S_k$ , joka Lieksassa on 2,75. Muutos tehdään kertomalla maapinnan lumikuorma muotokertoimella ( $\mu$ ), joka on 0.8 [12, s. 11–12]. Lumikuorma kokonaisuudessaan saadaan siis kaavan 1 mukaan 2,2 kN/m<sup>2</sup>.

$$q_k = S_k \times \mu = 2,75 \times 0,8 = 2,2 \text{ kN/m}^2 \quad (1)$$

jossa

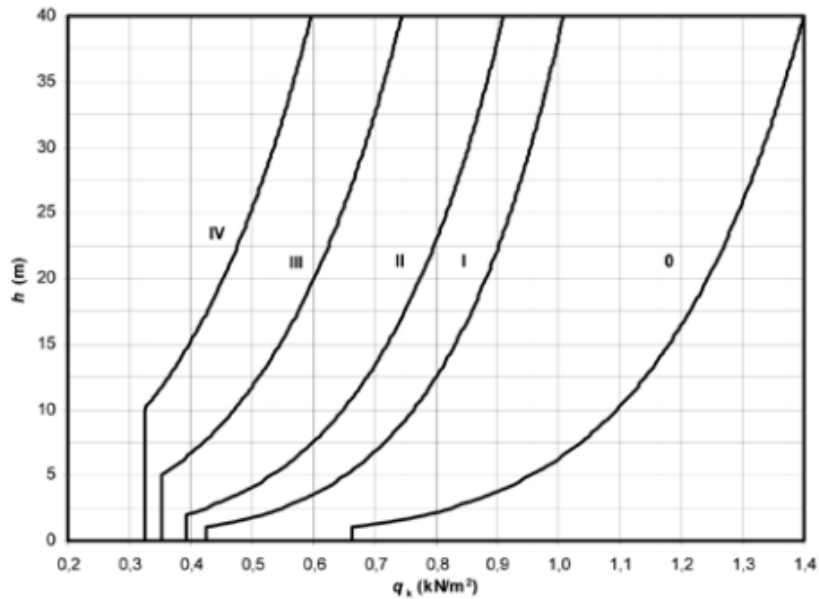
$S_k$  = Lumikuorman ominaisarvo

$\mu$  = Lumikuorman muotokerroin

$q_k$  = Lumikuorman kokonaisuus

#### ❖ Tuulikuorma

Tuulikuormat aiheuttavat suoraan painetta rakenteiden ulkopintoihin ja ulkopinnan ollessa huokoinen, myös välillisesti sisäpintoihin. Jos rakenne on avoin, tuulikuormat voivat vaikuttaa suoraan myös sisäpintaan. Tuulikuorma on laskettu yksinkertaisella menetelmällä, joka on selvitetty pdf-julkaisussa Puurakenteiden suunnittelu – Lyhennetty suunnitteluohje EC5 [12, s. 13]. Tuulikuormaan vaikuttaa sillan sijainnin maastoluokka, jonka tässä oletetaan olevan luokka I eli järvi tai alue, jolla on vähäistä kasvillisuutta eikä esteitä (kuva 30).

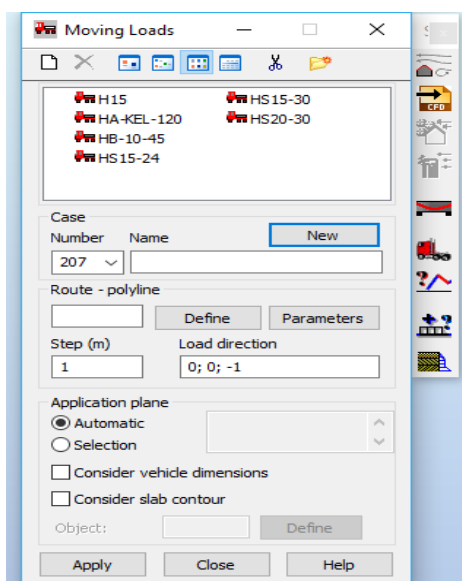


Kuva 30. Nopeuspaineen ominaisarvot  $q_k(h)$  eri maastoluokissa [12].

Maastoluokan ja sillan korkeuden avulla, joka tässä tilanteessa on maksimissaan 8,0 m saadaan selvitettyä lyhennetyn suunnitteluohjeen tuulen nopeuspaineen ominaisarvo, joka on 0,72 kN/m<sup>2</sup>.

#### ❖ Liikennekuorma

Lisätään liikennekuorma käyttämällä special load -työkalua ja moving loadia ja sitten valitaan HS 15-24 (kuva 31).



Kuva 31. Liikennekuorman lisääminen (Autodesk Inc., 2016\_Robot).

### 7.3.2 Materiaalitiedot

Materiaalitiedot ovat seuraavat:

❖ Teräs

Teräksen luokka S355 (taulukko 4).

Omapaino =  $78 \text{ kN/m}^3$  Ominaislujuus =  $355 \text{ MN/m}^2$

Taulukko 4. Teräksen ulkomitat [13, s. 512–518]

Ulkomitta (mm)	CHS 26 x 2,3	CHS 76 x 2,9	RRHS 40 x40 x 2	RRHS 100 x 60 x 3
seinämän paksuus t (mm)	2,3	2,9	2	3
massa per metri M (kg/m)	1,56	5,24	3,41	7,18
poikkileikkauksen pinta-ala A (cm <sup>2</sup> )	1,98	6,67	4,34	9,14
jäyhyys momentti I (cm <sup>4</sup> )	1,48	44,7	9,78	-
jäyhyys säde i (cm)	0,864	2,59	1	-
taivutus vastus W (cm <sup>3</sup> )	1,1	11,8	4,89	-
plastinen taivutus vastus S (cm <sup>3</sup> )	1,54	15,5	5,98	-
vääntöjäyhyys momentti It (cm <sup>4</sup> )	2,96	89,5	15,7	121
vääntö vastus Wt (cm <sup>3</sup> )	2,2	23,5	7,1	30,7
ulkopuolinen pinta-ala per m <sup>2</sup>	0,085	0,239	0,152	0,312
pituus / tonni m	642	191	293	139
jäyhyys momentti i x-x (cm <sup>4</sup> )	-	-	-	124
jäyhyys momentti i y-y (cm <sup>4</sup> )	-	-	-	55,7
jäyhyys säde i x-x (cm)	-	-	-	3,68
jäyhyys säde i y-y (cm)	-	-	-	2,47
taivutus vastus W x-x (cm <sup>3</sup> )	-	-	-	24,7
taivutus vastus W y-y (cm <sup>3</sup> )	-	-	-	18,6
plastinen taivutus vastus S x-x (cm <sup>3</sup> )	-	-	-	30,2
plastinen taivutus vastus S y-y (cm <sup>3</sup> )	-	-	-	21,2

## ❖ Liimapuu

Liimapuun luokka GL32c.

Omapaino =  $5 \text{ kN/m}^3$       Ominaislujuus =  $32 \text{ MN/m}^2$

Taulukosta 1 (sivu 12) saadaan liimapuun lujuusluokka GL32c [3, s. A8/7]

Lujuusluokka	GL32
$f_{m,g,k}$	32
$f_{t,0,g,k}$	24
$f_{t,90,g,k}$	0,45
$f_{c,0,g,k}$	29
$f_{c,90,g,k}$	6,0
$f_{v,g,k}$	3,5
$E_{0,mean,g}$	13500
$E_{0,05,g}$	10800
$\rho_{g,k}$	440

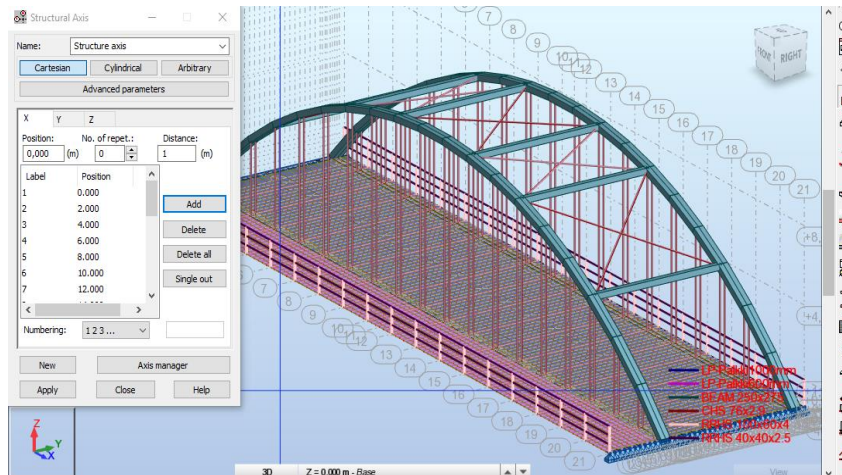
### 7.3.3 Mitoitus

Mitoitus toteutetaan Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2016 – Student Version -ohjelmalla x64 versio (Liite 4).

Suunnittelussa käytettävät standardit saadaan valittua kohdasta Tools ja Job preferences. Kohdasta Design Codes valitaan standardiksi Suomessa käytettävä SFS-EN 1993-1:2005/NA:2007/AC:2009.

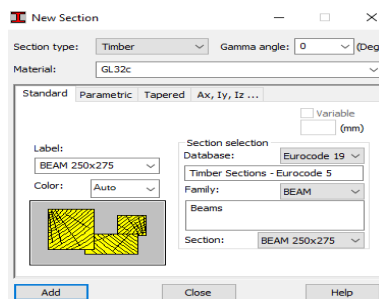
Kuormitusyhdistelmien määrittämiseen valitaan kohdasta Loads > Code Combinations SFS-EN 1990/A1 CC2. (Autodesk Inc., 2016).

Ensimmäisenä malliin määritetään akselit, jotka helpottavat rakenteen piirtämistä. Valitaan sivuvalikosta AXIS Definition ja asetetaan (kuvan 32) mukaiset arvot X, Y ja Z vä-lilehdille. (Autodesk Inc., 2016).

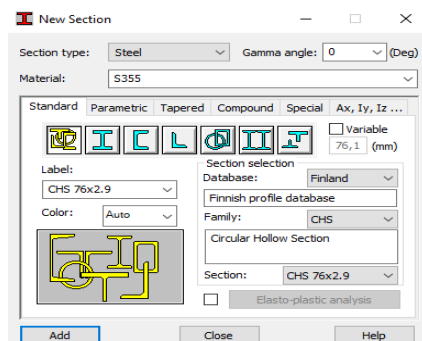


Kuva 32. Ensimmäisenä malliin määritetään akselit (Autodesk Inc., 2016\_Robot).

Seuraavaksi mallinnetaan itse rakenne. Valitaan ensin oikealla sivulla Object-työkalu ja piirretään käyrä. Valitaan sivuvalikosta Bars-työkalu. Bar type-kohtaan valitaan Beam (palkki) ja Section- kohdasta valitaan haluttu poikkileikkaus. Section-vetolaatikon vierestä saadaan lisättyä uusi poikkileikkaus. Valitaan alla olevan (kuvat 33, 34) mukainen esim. Timber BEAM 250 x 275 poikkileikkaus ja myös Steel CHS 76 x 2.9. Klikataan ensin Add- ja sitten Close-näppäintä. (Autodesk Inc., 2016).



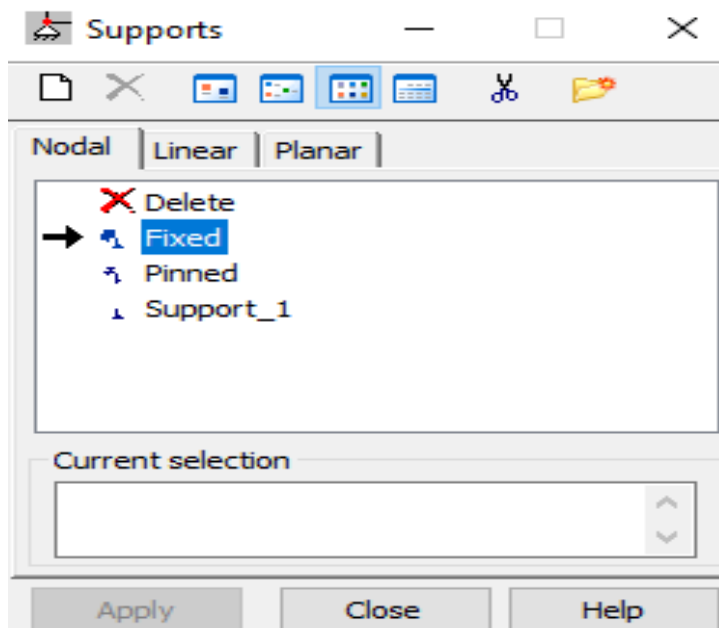
Kuva 33. Puupalkin poikkileikkauksen määrittäminen (Autodesk Inc., 2016\_Robot).



Kuva34. Teräsvetotangon poikkileikkauksen määrittäminen (Autodesk Inc., 2016\_Robot).

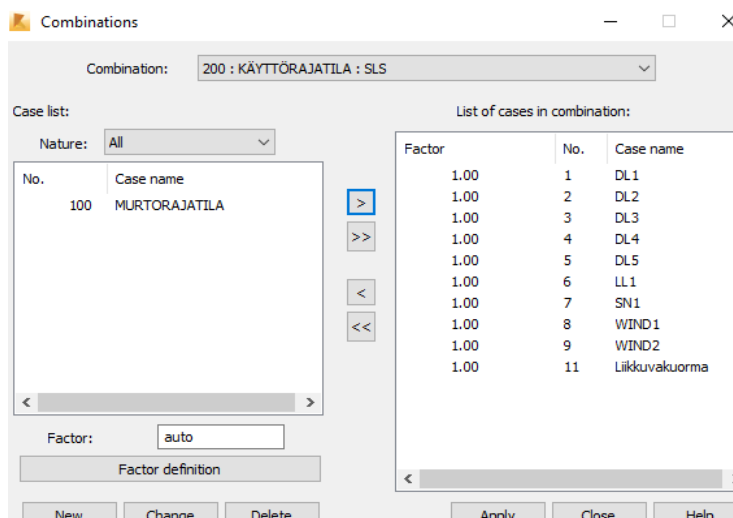


Seuraavaksi lisätään tuennat Supports-valikosta. Valitaan tuennan tyyppiä Fixed-tuenta ja keskellä valitaan tuennan tyyppiä Pinned-tuenta (kuva 35).

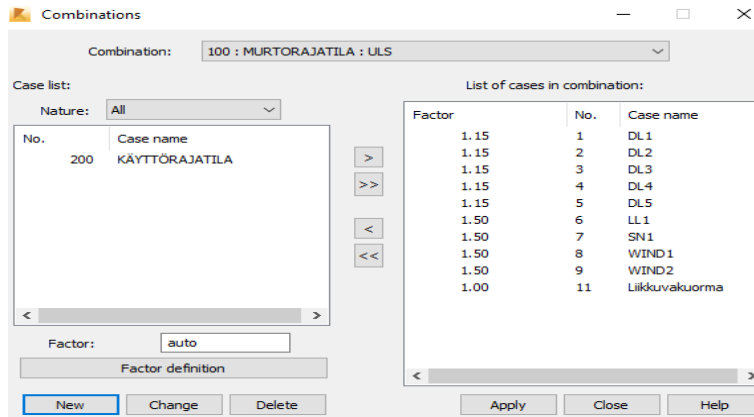


Kuva 35. Tuentojen lisääminen (Autodesk Inc., 2016\_Robot).

Seuraavaksi kun staattinen rakenne on mallinnettu, lisätään rakenteeseen kohdistuvat kuormat. Kun kuormitukset on määritetty, voidaan määrittää rajatilojen mukaiset kuormitusyhdistelmät. Valitaan Loads ja Automatic Combinations. Varmistetaan, että valittuna on standardi SFS-EN 1990/A1 CC2. Tämä tarkoittaa kuormitusyhdistelmien luomista Suomessa käytössä olevan standardin mukaan seuraamusluokassa CC2. (Autodesk Inc., 2016) (kuvat 36, 37).

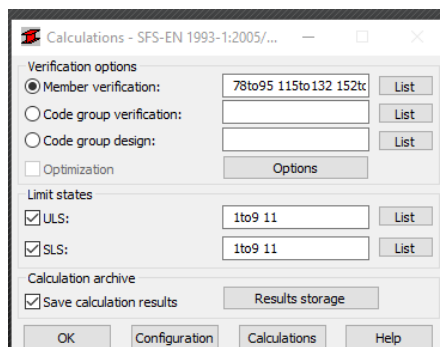


Kuva 36. Käyttörajatila (Autodesk Inc., 2016\_Robot).

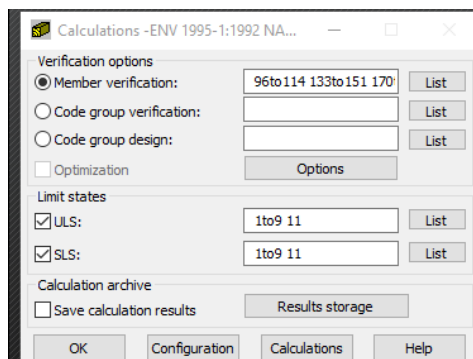


Kuva 37. Murtorajatila (Autodesk Inc., 2016-Robot).

Seuraavaksi rakenteen kestävyyttä tarkastellaan Calculations -työkalun avulla. Valitaan (kuvat 38, 39) mukaisesti laskennassa käytettävät kuormitusyhdistelmät sekä rakenteen mitoitettavat osat. (Autodesk Inc., 2016) [liite 4].



Kuva 38. Terävetotangon tarkastelu Calculations -työkalun valinnat. (Autodesk Inc., 2016\_Robot).



Kuva 39. Puupalkin tarkastelu Calculations-työkalun valinnat. (Autodesk Inc., 2016\_Robot).

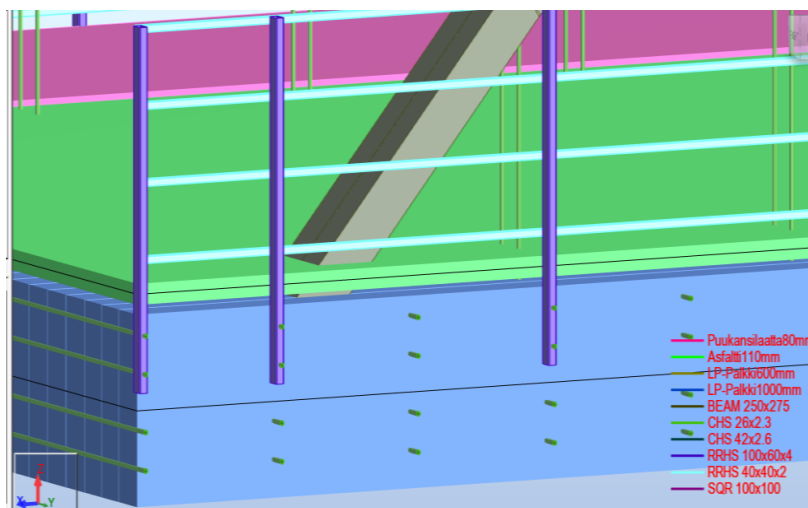
## 8 Kaiteet

Sillankaide suunnitellaan sillan suunnittelun yhteydessä. Rakennussuunnitteluvaiheen yleispiirustuksessa esitetään kaidetta koskevat piirustukset (liite 3). Sillan mittapiirustuksissa esitetään pylväiden ja reunapalkkiin liittyvien kiinnitysosien sijoitus siltaan yksityiskohtaisesti.

EU:n rakennustuoteasetus edellytti 1.7.2013 alkaen, että kiinteään asennukseen tarkoitetut kaiteet ja törmäysvaimentimet CE-merkitään. Kaiteita ja törmäysvaimentimia koskee tuotestandardi SFS-EN 1317-5 [15, s. 9].

### 8.1 Asennusohje

Kaiteet ruuvataan kiinni palkkirakenteen saumaan kiinnitettyihin RST-kiinnikkeisiin (liite 3). Kaidekiinnikkeet mitoitetaan aina kantavia rakenteita heikommiksi, jolloin mahdolliset törmäykset eivät aiheuta haittaa kantaville rakenteille [20]. Ruuviliitosten vuoksi kiinnikkeet ovat tarvittaessa helposti uusittavissa. Kaiderakenne on sama vakioratkaisu kuin muissakin silloissa. Teräskaiteiden rakenteeseen kuuluu kaiteen runko ja varusteluosat (kuva 40).



Kuva 40. Kaideasennus (Autodesk Inc., 2016\_Robot).

## 8.2 Yleiset vaatimukset

Uudisrakenteisessa ajoneuvoliikenteen sillassa käytetään standardin SFS-EN 1317 mukaisia tyyppitestattuja törmäyskestävyysluokan H2 vaatimukset toteuttavia kuumasinkittyjä teräksisiä tai teräsbetonisia kaiteita. [15, s. 11–12.]

- Sillankaiteen kokonaiskorkeuden on oltava vähintään 1,2 m ajoradan pinnasta.
- Sillankaiteen kokoonpanon on oltava mahdollisimman yksinkertainen, jotta kaiteen ylläpito ja korjaukset ovat mahdollisia.
- Sillankaiteen osien ja kiinnitysten irrottaminen ei saa olla mahdollista ilman työkaluja.
- Jalankulkijoiden pääsy sillankaiteen läpi on estettävä ja kaiteen yli kiipeäminen on oltava riittävän vaikeaa, jos kevyt liikenne sillalla on sallittu.
- Sillankaiteessa ei saa olla leikkaavia tai teräviä reunoja tai muuten vaarallisia kohtia, joihin kevyen liikenteen kulkijat voivat satuttaa itsensä.
- Sillankaiteiden törmäyksen riskitasoluokka on oltava vähintään B, mutta betonista valmistetuilla kaiteilla sallitaan myös luokka C.
- Kaiteen kaikki osat tehdään kuumasinkitystä tai ruostumattomasta teräksestä, jonka lujuusluokka on vähintään S355 ja ruuveissa 8.8 kuumasinkitys Infra-RYL.
- Sillankaide ulotetaan aina vähintään koko sillan matkalle. Sillankaidetta jatketaan tapauksissa, joissa muutoin on vaara putoamisesta alikulkevalle väylälle. Tarvittaessa myös sillan pään tukimuurit on varustettava kaiteella.

## 9 Pohdinta

Kaarisilta on siltatyyppi, jonka kantavan osan muodostaa pystytasossa kaareva, puristettu palkkimainen rakenne.

Työn tarkoituksena oli selvittää, miten suunnitellaan ja rakennetaan puukaarisilta. Suunnittelussa käytettiin liimapuupalkkia ja teräsvetotankoa. Kannen päälle tehtiin vesieristys

ja sen päälle tulee asfalttinen kulutuskerros. Sillan pääkannattimina toimivat kaksi liimapuukaarta, ajoradan leveys on noin 6 metriä, ja kevyen liikenteen kaista on 3 metriä.

Sillan suunnittelussa mitoitettu eurokoodin mukaisesti. Suunnittelija voi käyttää myös suunnittelun apuna liikenneviraston soveltamisohjeita NCCI.

Siirtyminen massiivipuusta liimapuuratkaisuihin on mahdollistanut suurten puukannattimien valmistuksen. Keveytensä ansiosta puusillat voidaan esivalmistaa, kuljettaa ja asentaa pitkälti valmiina sillan osina ja lohkoina. Yksinkertainen liitostekniikka nopeuttaa osien asennusta. Asennuksen jälkeen puusilta on heti valmis vesieristettäväksi ja pinnoitettavaksi liikenteen käyttöä varten. Asennus on mahdollinen hankaliinkin ylityksiin, kun sillan kannen asennus onnistuu jopa yhdessä osassa. Korkea esivalmistusaste ja kuiva liitostekniikka helpottavat myös talvirakentamista.

Laskenta ja mitoitusprosessi suoritettiin Autodesk Robot Structural Analysis 2016 FEM-ohjelmalla ja piirsin sillan piirrokset AutoCAD-ohjelmalla.

Opinnäytetyössä käsiteltiin myös sillankaide, joka suunnitellaan sillan suunnittelun yhteydessä. Suojakaide on rakennettava silloin, kun putoamiskorkeus on yli 2 m. Turvakaitteen suojauskorkeuden on oltava vähintään 1,2 m. Kaiteeseen kuuluu pylväiden ja reunapalkkiin liittyvien kiinnitysosien sijoitus siltaan yksityiskohtaisesti.

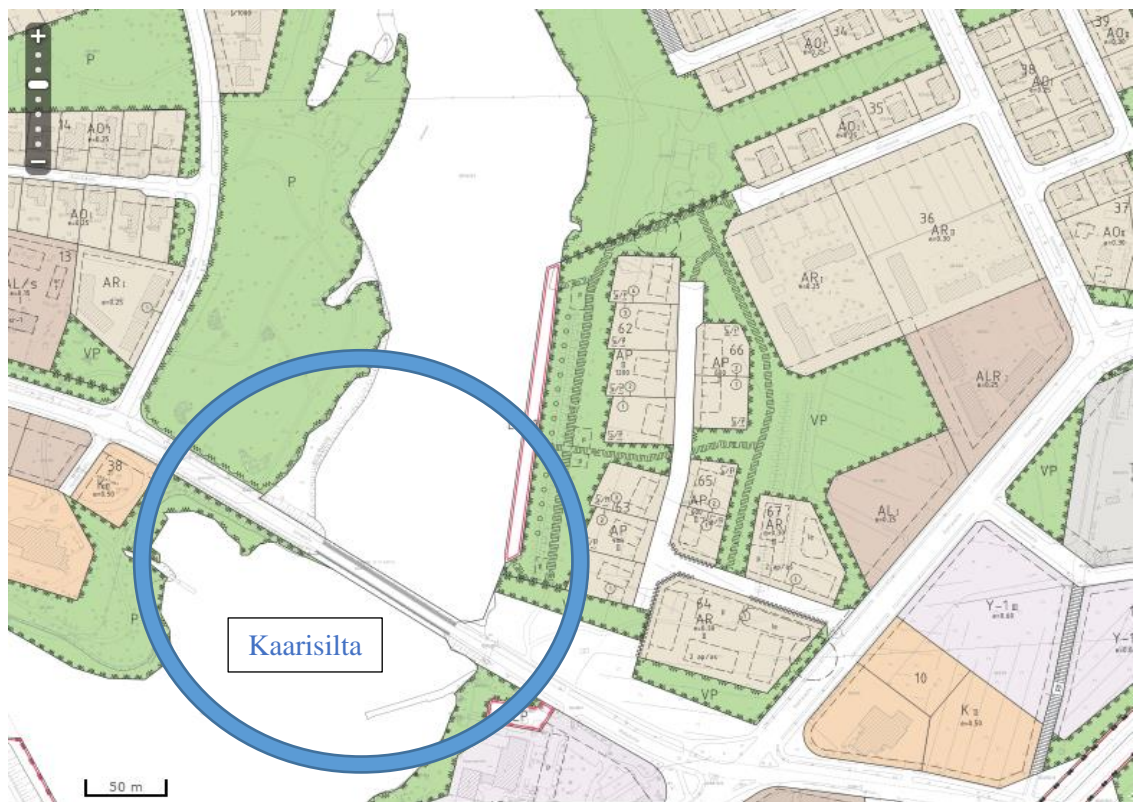
Omat tavoitteeni täytyivät tässä opinnäytetyössä hyvin. Voin sanoa, että tämä opinnäytetyö saavutti tavoitteensa ja kaarisillan suunnittelussa onnistuttiin. Oppimistaival Robot FEM-analysis ohjelman kanssa on silti vasta alussa, ja lisäksi opin, että Lieksan kaarisillan suunnittelu ja rakentaminen osoittavat todeksi, että puuta voidaan käyttää myös valtaisten silloissa kantavien rakenteiden oleellisina osina. Silta soveltuu hyvin puhdaspiirteisyydellään ja puurakenteita ilmentävällä muodollaan herkkään järvien ja mäntymetsien muodostamaan maisemaan.

## Lähteet

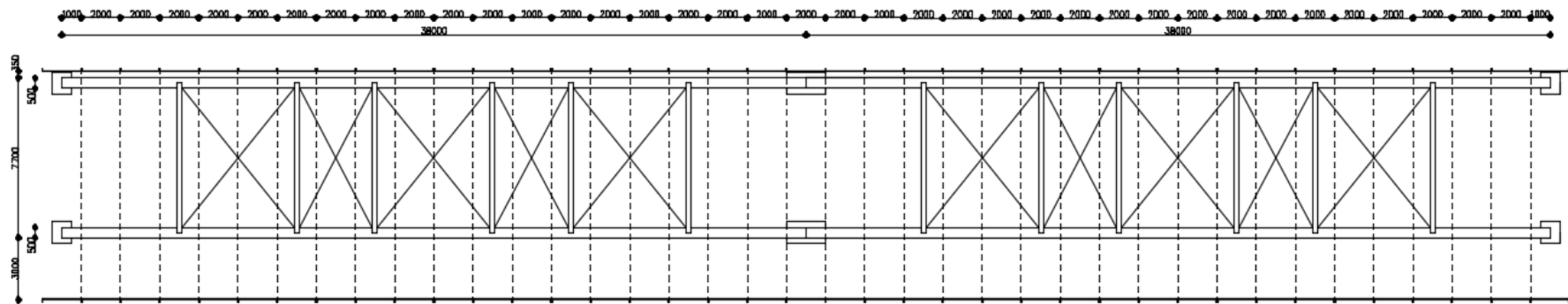
1. Crocetti, R. Timber Bridges; Division of Structural Engineering. Lund University. 2014. [http://www.costfp1101.eu/images/TS%20mons/1.%20timber%20bridge\\_an%20overview\\_Crocetti.pdf](http://www.costfp1101.eu/images/TS%20mons/1.%20timber%20bridge_an%20overview_Crocetti.pdf). 20.9.2016.
2. Heinni, A. Kuorma-auto rysäytti siltaan Lieksassa. Iltalehti. Uutiset. 2014. [http://www.iltalehti.fi/uutiset/2014051318296466\\_uu.shtml](http://www.iltalehti.fi/uutiset/2014051318296466_uu.shtml). 14.9.2016.
3. Kurkela, J., Lahtinen, R., Muilu, J. & Mäki-Ketelä, L. Puurakenteet. Step 1. Helsinki: Rakennustieto Oy.1996. ISBN 951-682-393-9.
4. Laatikkokauppa. Ohut puulevy. 2016. <https://laatikkokauppa.fi/tuote/ohut-puulevy-manty-1x31x94-cm/>.20.9.2016.
5. Ikonen, V. Lieksan kaarisilta. Kaarisilta silta joki puu puut ranta. 2012. <http://www.vastavalo.fi/kaarisilta-silta-joki-puu-lieksan-kaarisilta-353770.html>. 24.9.2016.
6. Liikennevirasto. Sillat ja ympäristö. Helsinki: Liikenneviraston oppaita 3/2013. [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lop\\_2013-03\\_sillat\\_ymparisto\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lop_2013-03_sillat_ymparisto_web.pdf). 5.10.2016.
7. Liikennevirasto. Eurokoodin soveltamisohje. Puurakenteiden suunnittelu. NCCI 5. Helsinki: Liikenneviraston ohjeita 25/2013. [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo\\_2013-25\\_ncci5\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2013-25_ncci5_web.pdf). 5.10.2016.
8. Puuinfo. Kevyt ja kestävä puusilta. 2015. <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/Puusiltaesite.pdf>. 20.9.2016.
9. Puuinfo. Liimapuu. 2014. <http://www.puuinfo.fi/puutieto/insin%C3%B6%C3%B6ripuutuotteet/liimapuu>. 20.9.2016.
10. Puuinfo. Puusiltojen suunnittelu. 2015. [http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/Puusillat\\_2015-02-13.pdf](http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/Puusillat_2015-02-13.pdf). 26.10.2016.
11. PuuProffa. Rakennusliitokset. 2012. [http://www.puuproffa.fi/PuuProffa\\_2012/7/rakennusliitokset/pulttiliitos](http://www.puuproffa.fi/PuuProffa_2012/7/rakennusliitokset/pulttiliitos). 20.9.2016.
12. Puurakenteiden suunnittelu, Lyhennetty suunnitteluohje, EC 5. 2010. <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/eurokoodi-5-lyhennetty-ohje-puurakenteiden-suunnittelu/eurokoodi-5-lyhennetty-ohje-puurakenteiden-suunnittelu/eurokoodi5lyhennettysuunnitteluohjewwwkolmaspainos10913rilinkorjauksin.pdf>. 20.11.2016.
13. Rakennustietosäätiö RST. Rakentajain kalenteri. 2012. Helsinki: Rakennustieto Oy. <http://www.rakennustieto.fi/>. 20.11.2016.
14. RIB Apix. Timber bridge, Baden, near Schaffhausen. 2016. <https://www.architecture.com/image-library/RIBApix/image-information/poster/timber-bridge-baden-near-schaffhausen/posterid/RIBA53969.html>. 24.9.2016.
15. Siltojen kaiteet. Liikenneviraston ohjeita 25/2012. Helsinki. [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo\\_2012-25\\_siltojen\\_kaitteet\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2012-25_siltojen_kaitteet_web.pdf). 22.10.2016.
16. Suomen standardisoimisliitto SFS Ry. SFS-EN 1991-2+AC. Eurokoodi 1. Rakenteiden kuormat. Osa2: Siltojen Liikennekuormat. 2016.

- <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/411088.html.stx>.  
22.10.2016.
17. Suomen standardisoimisliitto SFS Ry. SFS-EN 1995-2.  
Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu. Osa 2: Sillat. 2010.  
<https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/141024.html.stx>.  
22.10.2016.
18. Siikanen, U. Puurakentaminen. Helsinki: Rakennustieto Oy. 2008  
ISBN 978-951-682-862-9.
19. Siikanen, U. Rakennusaineoppi. Helsinki: Rakennustieto Oy. 2001  
ISBN 951-682-611-3.
20. Woodproducts. 2016.  
<http://www.woodproducts.fi/fi/content/puusillat>. 20.9.2016.

# Asemapiirros







Pääpiirustus Ylhältä alaspäin nähtynä

Kaarisilta

Materialit:

Liimapuu GL32c

Vetotanko teräs S355 CHS 76 X 2.9  
STEEL

Kaide:

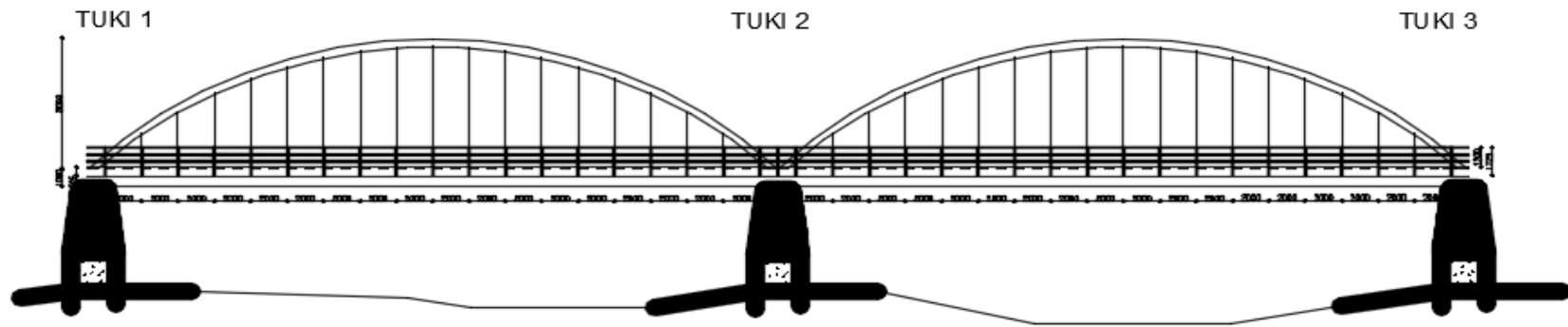
Teräs S355

Pylväs RRHS 100 X 60 X 3

Reunapalkki RRHS 40 X 40 X 2

Pätuet ovat:

Betonista ja Kalliosta



Pääpiirustus PITUUSLEIKKAUS

Kaarisilta

Materiaalit:

Uimapuuhuuli GL32c

Veotanko teräs S355 CHS 76 X 2.9 STEEL

Kaide:

Teräs S355

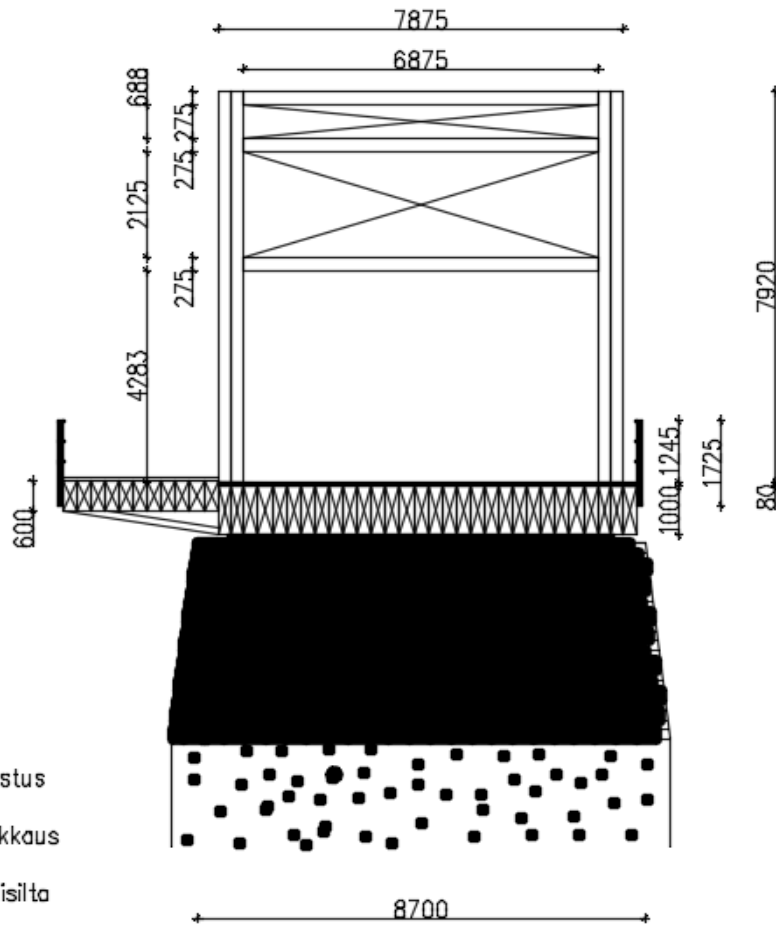
Pylväs RRHS 100 X 60 X 3

Reunapalkki RRHS 40 X 40 X 2

Päätet ovat:

Betonista ja Kallioista

# TUKI 2



Pääpiirustus

Poikkileikkaus

Puukaarisilta

Materiaalit:

Liimapuu GL32c

Teräs S355

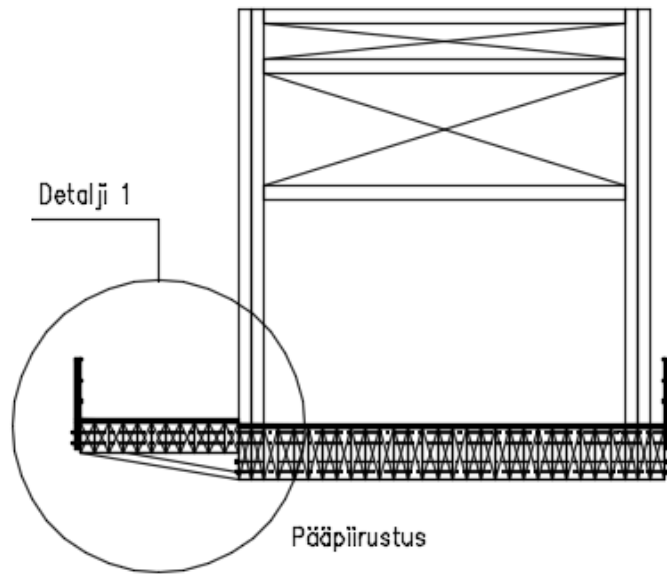
Vetotangot CHS 76 X 2.9 STEEL

Kaide:

Teräs S355

Pylväs RRHS 100 X 60 X 3

Reunapalkki RRHS 40 X 40 X 2



Pääpiirustus

Poikkileikkaus

Puukaarisilt

Materiaalit:

Liimapuu GL32c

Teräs S355

Vetotangot CHS 76 X 2.9 STEEL

Kaide:

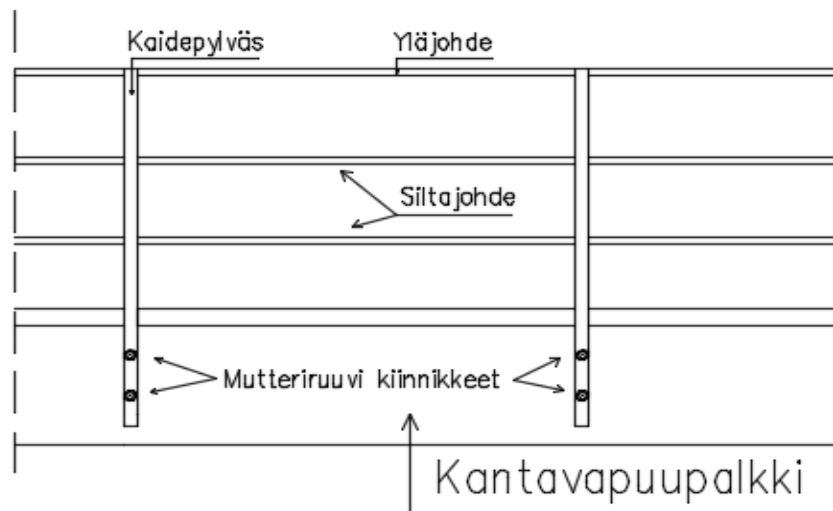
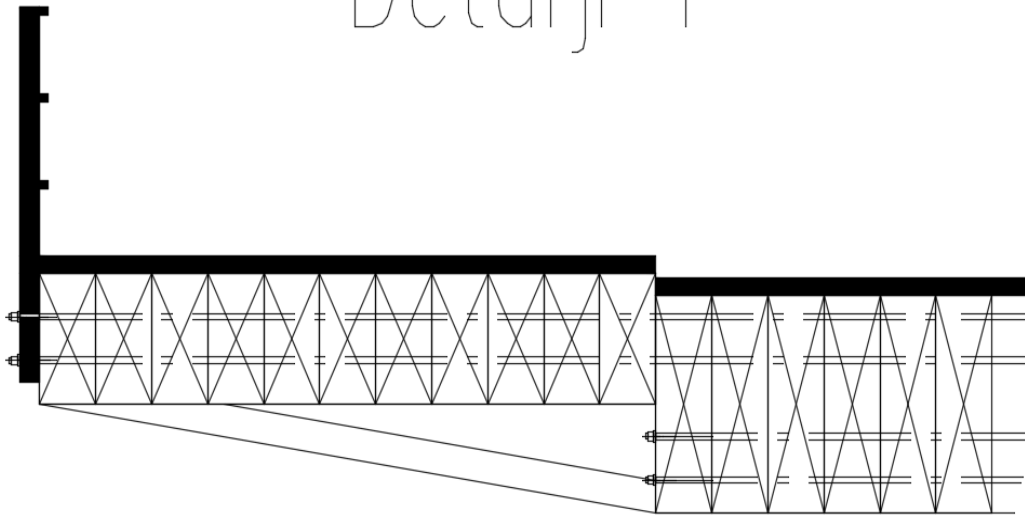
Teräs S355

Pylväs RRHS 100 X 60 X 3

Reunapalkki RRHS 40 X 40 X 2

- Massiiviset puupalkit asennetaan vierekkäin kiinni toisinsa.
- Palkkien läpi on porattu reiät, joihin asennetaan vetotangot.
- Kaiteet ruuvataan palkkirakenteensauman kiinnitettyhin RST-kiinnikkeisiin.

# Detalji 1



Kaide:  
 Teräs S355  
 Pylväs RRHS 100 X 60 X 3  
 Reunapalkki RRHS 40 X 40 X 2

## Kaideasennus

SFS-EN 1993-1:2005/NA:2007/A1:2014 - Member Verification ( SLS ; ULS ) 79to95 115to132 152to169 189to206 233to306 309

Results Messages

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case	Ratio(uy)	Case (uy)
82 Simple bar_82	OK	CHS 76x2.9	S355	247.84	247.84	0.17	100 MURTORAJATIL	0.42 200 KÄYTTÖRAJAT
83 Simple bar_83	OK	CHS 76x2.9	S355	272.58	272.58	0.17	100 MURTORAJATIL	0.48 200 KÄYTTÖRAJAT
84 Simple bar_84	OK	CHS 76x2.9	S355	290.05	290.05	0.15	100 MURTORAJATIL	0.53 200 KÄYTTÖRAJAT
85 Simple bar_85	OK	CHS 76x2.9	S355	301.50	301.50	0.14	100 MURTORAJATIL	0.56 200 KÄYTTÖRAJAT
86 Simple bar_86	OK	CHS 76x2.9	S355	307.16	307.16	0.14	100 MURTORAJATIL	0.57 200 KÄYTTÖRAJAT
87 Simple bar_87	OK	CHS 76x2.9	S355	307.16	307.16	0.14	100 MURTORAJATIL	- -
88 Simple bar_88	OK	CHS 76x2.9	S355	301.50	301.50	0.14	100 MURTORAJATIL	- -
89 Simple bar_89	OK	CHS 76x2.9	S355	290.05	290.05	0.15	100 MURTORAJATIL	- -
90 Simple bar_90	OK	CHS 76x2.9	S355	272.58	272.58	0.17	100 MURTORAJATIL	- -
91 Simple bar_91	OK	CHS 76x2.9	S355	247.84	247.84	0.17	100 MURTORAJATIL	- -
92 Simple bar_92	OK	CHS 76x2.9	S355	216.16	216.16	0.19	100 MURTORAJATIL	- -
93 Simple bar_93	OK	CHS 76x2.9	S355	176.86	176.86	0.21	100 MURTORAJATIL	- -
94 Simple bar_94	OK	CHS 76x2.9	S355	128.87	128.87	0.26	100 MURTORAJATIL	- -
95 Simple bar_95	OK	CHS 76x2.9	S355	70.65	70.65	0.27	100 MURTORAJATIL	- -
115 Simple bar_1	OK	CHS 76x2.9	S355	70.65	70.65	0.28	100 MURTORAJATIL	- -
116 Simple bar_1	OK	CHS 76x2.9	S355	128.87	128.87	0.26	100 MURTORAJATIL	- -
117 Simple bar_1	OK	CHS 76x2.9	S355	176.86	176.86	0.22	100 MURTORAJATIL	- -
118 Simple bar_1	OK	CHS 76x2.9	S355	216.16	216.16	0.18	100 MURTORAJATIL	0.01 1 DL1
119 Simple bar_1	OK	CHS 76x2.9	S355	247.84	247.84	0.17	100 MURTORAJATIL	0.02 200 KÄYTTÖRAJAT
120 Simple bar_1	OK	CHS 76x2.9	S355	272.58	272.58	0.18	100 MURTORAJATIL	0.03 200 KÄYTTÖRAJAT
121 Simple bar_1	OK	CHS 76x2.9	S355	290.05	290.05	0.15	100 MURTORAJATIL	0.02 200 KÄYTTÖRAJAT
122 Simple bar_1	OK	CHS 76x2.9	S355	301.50	301.50	0.14	100 MURTORAJATIL	0.03 200 KÄYTTÖRAJAT
123 Simple bar_1	OK	CHS 76x2.9	S355	307.16	307.16	0.14	100 MURTORAJATIL	0.02 200 KÄYTTÖRAJAT
124 Simple bar_1	OK	CHS 76x2.9	S355	307.16	307.16	0.14	100 MURTORAJATIL	0.02 200 KÄYTTÖRAJAT
125 Simple bar_1	OK	CHS 76x2.9	S355	301.50	301.50	0.14	100 MURTORAJATIL	0.03 200 KÄYTTÖRAJAT
126 Simple bar_1	OK	CHS 76x2.9	S355	290.05	290.05	0.15	100 MURTORAJATIL	0.02 200 KÄYTTÖRAJAT
127 Simple bar_1	OK	CHS 76x2.9	S355	272.58	272.58	0.18	100 MURTORAJATIL	0.03 200 KÄYTTÖRAJAT
128 Simple bar_1	OK	CHS 76x2.9	S355	247.84	247.84	0.17	100 MURTORAJATIL	0.02 200 KÄYTTÖRAJAT
129 Simple bar_1	OK	CHS 76x2.9	S355	216.16	216.16	0.18	100 MURTORAJATIL	0.01 1 DL1
130 Simple bar_1	OK	CHS 76x2.9	S355	176.86	176.86	0.22	100 MURTORAJATIL	- -
131 Simple bar_1	OK	CHS 76x2.9	S355	128.87	128.87	0.26	100 MURTORAJATIL	- -
132 Simple bar_1	OK	CHS 76x2.9	S355	70.65	70.65	0.28	100 MURTORAJATIL	- -
152 Simple bar_1	OK	CHS 76x2.9	S355	70.65	70.65	0.34	100 MURTORAJATIL	- -
153 Simple bar_1	OK	CHS 76x2.9	S355	128.87	128.87	0.32	100 MURTORAJATIL	- -
154 Simple bar_1	OK	CHS 76x2.9	S355	176.86	176.86	0.26	100 MURTORAJATIL	- -
155 Simple bar_1	OK	CHS 76x2.9	S355	216.16	216.16	0.22	100 MURTORAJATIL	0.01 200 KÄYTTÖRAJAT

SFS-EN 1993-1:2005/NA:2007/A1:2014 - Member Verification ( SLS ; ULS ) 79to95 115to132 152to169 189to206 233to306 309

Results Messages

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case	Ratio(uy)	Case (uy)
156 Simple bar_1	OK CHS 76x2.9	S355	247.84	247.84	0.21	100 MURTORAJATIL	0.02	200 KÄYTTÖRAJAT
157 Simple bar_1	OK CHS 76x2.9	S355	272.58	272.58	0.21	100 MURTORAJATIL	0.02	1 DL1
158 Simple bar_1	OK CHS 76x2.9	S355	290.05	290.05	0.19	100 MURTORAJATIL	0.02	1 DL1
159 Simple bar_1	OK CHS 76x2.9	S355	301.50	301.50	0.17	100 MURTORAJATIL	0.02	1 DL1
160 Simple bar_1	OK CHS 76x2.9	S355	307.16	307.16	0.17	100 MURTORAJATIL	0.02	200 KÄYTTÖRAJAT
161 Simple bar_1	OK CHS 76x2.9	S355	307.16	307.16	0.17	100 MURTORAJATIL	0.02	200 KÄYTTÖRAJAT
162 Simple bar_1	OK CHS 76x2.9	S355	301.50	301.50	0.17	100 MURTORAJATIL	0.02	1 DL1
163 Simple bar_1	OK CHS 76x2.9	S355	290.05	290.05	0.19	100 MURTORAJATIL	0.02	1 DL1
164 Simple bar_1	OK CHS 76x2.9	S355	272.58	272.58	0.21	100 MURTORAJATIL	0.02	1 DL1
165 Simple bar_1	OK CHS 76x2.9	S355	247.84	247.84	0.21	100 MURTORAJATIL	0.02	200 KÄYTTÖRAJAT
166 Simple bar_1	OK CHS 76x2.9	S355	216.16	216.16	0.22	100 MURTORAJATIL	0.01	200 KÄYTTÖRAJAT
167 Simple bar_1	OK CHS 76x2.9	S355	176.86	176.86	0.27	100 MURTORAJATIL	-	-
168 Simple bar_1	OK CHS 76x2.9	S355	128.87	128.87	0.32	100 MURTORAJATIL	-	-
169 Simple bar_1	OK CHS 76x2.9	S355	70.65	70.65	0.34	100 MURTORAJATIL	-	-
189 Simple bar_1	OK CHS 76x2.9	S355	70.65	70.65	0.33	100 MURTORAJATIL	-	-
190 Simple bar_1	OK CHS 76x2.9	S355	128.87	128.87	0.31	100 MURTORAJATIL	-	-
191 Simple bar_1	OK CHS 76x2.9	S355	176.86	176.86	0.26	100 MURTORAJATIL	-	-
192 Simple bar_1	OK CHS 76x2.9	S355	216.16	216.16	0.23	100 MURTORAJATIL	0.35	200 KÄYTTÖRAJAT
193 Simple bar_1	OK CHS 76x2.9	S355	247.84	247.84	0.21	100 MURTORAJATIL	0.43	200 KÄYTTÖRAJAT
194 Simple bar_1	OK CHS 76x2.9	S355	272.58	272.58	0.21	100 MURTORAJATIL	0.49	200 KÄYTTÖRAJAT
195 Simple bar_1	OK CHS 76x2.9	S355	290.05	290.05	0.18	100 MURTORAJATIL	0.53	200 KÄYTTÖRAJAT
196 Simple bar_1	OK CHS 76x2.9	S355	301.50	301.50	0.17	100 MURTORAJATIL	0.57	200 KÄYTTÖRAJAT
197 Simple bar_1	OK CHS 76x2.9	S355	307.16	307.16	0.17	100 MURTORAJATIL	0.58	200 KÄYTTÖRAJAT
198 Simple bar_1	OK CHS 76x2.9	S355	307.16	307.16	0.17	100 MURTORAJATIL	0.58	200 KÄYTTÖRAJAT
199 Simple bar_1	OK CHS 76x2.9	S355	301.50	301.50	0.17	100 MURTORAJATIL	0.57	200 KÄYTTÖRAJAT
200 Simple bar_2	OK CHS 76x2.9	S355	290.05	290.05	0.19	100 MURTORAJATIL	0.54	200 KÄYTTÖRAJAT
201 Simple bar_2	OK CHS 76x2.9	S355	272.58	272.58	0.21	100 MURTORAJATIL	0.49	200 KÄYTTÖRAJAT
202 Simple bar_2	OK CHS 76x2.9	S355	247.84	247.84	0.21	100 MURTORAJATIL	0.43	200 KÄYTTÖRAJAT
203 Simple bar_2	OK CHS 76x2.9	S355	216.16	216.16	0.23	100 MURTORAJATIL	0.36	200 KÄYTTÖRAJAT
204 Simple bar_2	OK CHS 76x2.9	S355	176.86	176.86	0.26	100 MURTORAJATIL	-	-
205 Simple bar_2	OK CHS 76x2.9	S355	128.87	128.87	0.32	100 MURTORAJATIL	-	-
206 Simple bar_2	OK CHS 76x2.9	S355	70.65	70.65	0.34	100 MURTORAJATIL	-	-
233 Simple bar_2	OK CHS 76x2.9	S355	364.38	364.38	0.14	100 MURTORAJATIL	0.01	200 KÄYTTÖRAJAT
234 Simple bar_2	OK CHS 76x2.9	S355	307.63	307.63	0.07	100 MURTORAJATIL	0.01	200 KÄYTTÖRAJAT
235 Simple bar_2	OK CHS 76x2.9	S355	351.58	351.58	0.12	100 MURTORAJATIL	0.01	200 KÄYTTÖRAJAT
236 Simple bar_2	OK CHS 76x2.9	S355	307.63	307.63	0.07	100 MURTORAJATIL	0.01	200 KÄYTTÖRAJAT

SFS-EN 1993-1:2005/NA:2007/A1:2014 - Member Verification ( SLS ; ULS ) 79to95 115to132 152to169 189to206 233to306 309

Results Messages

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case	Ratio(uy)	Case (uy)
237 Simple bar_2	OK CHS 76x2.9	S355	364.38	364.38	0.15	100 MURTORAJATIL	0.01	200 KÄYTTÖRAJAT
238 Simple bar_2	OK CHS 76x2.9	S355	364.38	364.38	0.15	100 MURTORAJATIL	0.01	200 KÄYTTÖRAJAT
239 Simple bar_2	OK CHS 76x2.9	S355	307.63	307.63	0.07	100 MURTORAJATIL	0.01	200 KÄYTTÖRAJAT
240 Simple bar_2	OK CHS 76x2.9	S355	351.58	351.58	0.12	100 MURTORAJATIL	0.01	200 KÄYTTÖRAJAT
241 Simple bar_2	OK CHS 76x2.9	S355	307.63	307.63	0.07	100 MURTORAJATIL	0.01	200 KÄYTTÖRAJAT
242 Simple bar_2	OK CHS 76x2.9	S355	364.38	364.38	0.14	100 MURTORAJATIL	0.01	200 KÄYTTÖRAJAT
243 Simple bar_2	OK RRHS 100x60	S355	33.33	49.73	0.14	100 MURTORAJATIL	-	-
244 Simple bar_2	OK RRHS 100x60	S355	33.33	49.73	0.21	100 MURTORAJATIL	-	-
245 Simple bar_2	OK RRHS 100x60	S355	33.33	49.73	0.16	100 MURTORAJATIL	-	-
246 Simple bar_2	OK RRHS 100x60	S355	33.33	49.73	0.12	100 MURTORAJATIL	-	-
247 Simple bar_2	OK RRHS 100x60	S355	33.33	49.73	0.04	100 MURTORAJATIL	-	-
248 Simple bar_2	OK RRHS 100x60	S355	33.33	49.73	0.05	100 MURTORAJATIL	-	-
249 Simple bar_2	OK RRHS 100x60	S355	33.33	49.73	0.08	100 MURTORAJATIL	-	-
250 Simple bar_2	OK RRHS 100x60	S355	33.33	49.73	0.10	100 MURTORAJATIL	-	-
251 Simple bar_2	OK RRHS 100x60	S355	33.33	49.73	0.11	100 MURTORAJATIL	-	-
252 Simple bar_2	OK RRHS 100x60	S355	33.33	49.73	0.11	100 MURTORAJATIL	-	-
253 Simple bar_2	OK RRHS 100x60	S355	33.33	49.73	0.10	100 MURTORAJATIL	-	-
254 Simple bar_2	OK RRHS 100x60	S355	33.33	49.73	0.08	100 MURTORAJATIL	-	-
255 Simple bar_2	OK RRHS 100x60	S355	33.33	49.73	0.05	100 MURTORAJATIL	-	-
256 Simple bar_2	OK RRHS 100x60	S355	33.33	49.73	0.03	100 MURTORAJATIL	-	-
257 Simple bar_2	OK RRHS 100x60	S355	33.33	49.73	0.04	100 MURTORAJATIL	-	-
258 Simple bar_2	OK RRHS 100x60	S355	33.33	49.73	0.07	100 MURTORAJATIL	-	-
259 Simple bar_2	OK RRHS 100x60	S355	33.33	49.73	0.09	100 MURTORAJATIL	-	-
260 Simple bar_2	OK RRHS 100x60	S355	33.33	49.73	0.12	100 MURTORAJATIL	-	-
261 Simple bar_2	OK RRHS 100x60	S355	33.33	49.73	0.14	100 MURTORAJATIL	-	-
262 Simple bar_2	OK RRHS 100x60	S355	33.33	49.73	0.15	100 MURTORAJATIL	-	-
263 Simple bar_2	OK RRHS 100x60	S355	33.33	49.73	0.16	100 MURTORAJATIL	-	-
264 Simple bar_2	OK RRHS 100x60	S355	33.33	49.73	0.16	100 MURTORAJATIL	-	-
265 Simple bar_2	OK RRHS 100x60	S355	33.33	49.73	0.03	100 MURTORAJATIL	-	-
266 Simple bar_2	OK RRHS 100x60	S355	33.33	49.73	0.08	100 MURTORAJATIL	-	-
267 Simple bar_2	OK RRHS 100x60	S355	33.33	49.73	0.11	100 MURTORAJATIL	-	-
268 Simple bar_2	OK RRHS 100x60	S355	33.33	49.73	0.13	100 MURTORAJATIL	-	-
269 Simple bar_2	OK RRHS 100x60	S355	33.33	49.73	0.13	100 MURTORAJATIL	-	-
270 Simple bar_2	OK RRHS 100x60	S355	33.33	49.73	0.12	100 MURTORAJATIL	-	-
271 Simple bar_2	OK RRHS 100x60	S355	33.33	49.73	0.11	100 MURTORAJATIL	-	-
272 Simple bar_2	OK RRHS 100x60	S355	33.33	49.73	0.09	100 MURTORAJATIL	-	-



SFS-EN 1993-1:2005/NA:2007/A1:2014 - Member Verification ( SLS ; ULS ) 79to95 115to132 152to169 189to206 233to306 309

Results Messages

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case	Ratio(uy)	Case (uy)
273 Simple bar_2	RRHS 100x60	S355	33.33	49.73	0.06	100 MURTORAJATIL	-	-
274 Simple bar_2	RRHS 100x60	S355	33.33	49.73	0.03	100 MURTORAJATIL	-	-
275 Simple bar_2	RRHS 100x60	S355	33.33	49.73	0.04	100 MURTORAJATIL	-	-
276 Simple bar_2	RRHS 100x60	S355	33.33	49.73	0.07	100 MURTORAJATIL	-	-
277 Simple bar_2	RRHS 100x60	S355	33.33	49.73	0.10	100 MURTORAJATIL	-	-
278 Simple bar_2	RRHS 100x60	S355	33.33	49.73	0.13	100 MURTORAJATIL	-	-
279 Simple bar_2	RRHS 100x60	S355	33.33	49.73	0.15	100 MURTORAJATIL	-	-
280 Simple bar_2	RRHS 100x60	S355	33.33	49.73	0.17	100 MURTORAJATIL	-	-
281 Simple bar_2	RRHS 100x60	S355	33.33	49.73	0.18	100 MURTORAJATIL	-	-
282 Simple bar_2	RRHS 100x60	S355	33.33	49.73	0.19	100 MURTORAJATIL	-	-
283 Simple bar_2	RRHS 40x40x	S355	2511.28	2511.28	0.32	100 MURTORAJATIL	0.01	200 KÄYTTÖRAJAT
284 Simple bar_2	RRHS 40x40x	S355	2511.28	2511.28	0.33	100 MURTORAJATIL	0.00	200 KÄYTTÖRAJAT
285 Simple bar_2	RRHS 40x40x	S355	2511.28	2511.28	0.28	100 MURTORAJATIL	0.00	200 KÄYTTÖRAJAT
286 Simple bar_2	RRHS 40x40x	S355	2511.28	2511.28	0.26	100 MURTORAJATIL	0.00	200 KÄYTTÖRAJAT
287 Simple bar_2	RRHS 40x40x	S355	2511.28	2511.28	0.26	100 MURTORAJATIL	0.00	200 KÄYTTÖRAJAT
288 Simple bar_2	RRHS 40x40x	S355	2511.28	2511.28	0.22	100 MURTORAJATIL	0.00	200 KÄYTTÖRAJAT
289 Simple bar_2	CHS 76x2.9	S355	410.23	410.23	0.14	100 MURTORAJATIL	0.00	200 KÄYTTÖRAJAT
290 Simple bar_2	CHS 76x2.9	S355	410.23	410.23	0.14	100 MURTORAJATIL	0.00	200 KÄYTTÖRAJAT
291 Simple bar_2	CHS 76x2.9	S355	410.23	410.23	0.11	100 MURTORAJATIL	0.00	200 KÄYTTÖRAJAT
292 Simple bar_2	CHS 76x2.9	S355	410.23	410.23	0.10	100 MURTORAJATIL	0.00	200 KÄYTTÖRAJAT
293 Simple bar_2	CHS 76x2.9	S355	410.23	410.23	0.09	100 MURTORAJATIL	0.00	200 KÄYTTÖRAJAT
294 Simple bar_2	CHS 76x2.9	S355	410.23	410.23	0.09	100 MURTORAJATIL	0.00	200 KÄYTTÖRAJAT
295 Simple bar_2	CHS 76x2.9	S355	410.23	410.23	0.08	100 MURTORAJATIL	0.00	200 KÄYTTÖRAJAT
296 Simple bar_2	CHS 76x2.9	S355	410.23	410.23	0.07	100 MURTORAJATIL	0.00	200 KÄYTTÖRAJAT
297 Simple bar_2	CHS 76x2.9	S355	410.23	410.23	0.07	100 MURTORAJATIL	0.00	9 WIND2
298 Simple bar_2	CHS 76x2.9	S355	410.23	410.23	0.07	100 MURTORAJATIL	0.00	200 KÄYTTÖRAJAT
299 Simple bar_2	CHS 76x2.9	S355	410.23	410.23	0.07	100 MURTORAJATIL	0.00	200 KÄYTTÖRAJAT
300 Simple bar_3	CHS 76x2.9	S355	410.23	410.23	0.08	100 MURTORAJATIL	0.00	200 KÄYTTÖRAJAT
301 Simple bar_3	CHS 76x2.9	S355	410.23	410.23	0.09	100 MURTORAJATIL	0.00	200 KÄYTTÖRAJAT
302 Simple bar_3	CHS 76x2.9	S355	410.23	410.23	0.09	100 MURTORAJATIL	0.00	200 KÄYTTÖRAJAT
303 Simple bar_3	CHS 76x2.9	S355	410.23	410.23	0.10	100 MURTORAJATIL	0.00	200 KÄYTTÖRAJAT
304 Simple bar_3	CHS 76x2.9	S355	410.23	410.23	0.11	100 MURTORAJATIL	0.00	200 KÄYTTÖRAJAT
305 Simple bar_3	CHS 76x2.9	S355	410.23	410.23	0.12	100 MURTORAJATIL	0.00	200 KÄYTTÖRAJAT
306 Simple bar_3	CHS 76x2.9	S355	410.23	410.23	0.14	100 MURTORAJATIL	0.00	9 WIND2
309 Simple bar_7	CHS 76x2.9	S355	70.65	70.65	0.27	100 MURTORAJATIL	-	-

ENV 1995-1:1992 NAD Finland - Member Verification (SLS; ULS) 96to114 133to151 170to188 207to225 227to232

results Messages

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case	Ratio(uy)	Case (uy)	Ratio(uz)	Case (uz)
96 Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	34.15	37.56	0.87	100 MURTORAJATIL	0.15	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.04	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
97 Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	31.55	34.71	0.71	100 MURTORAJATIL	0.12	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.02	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
98 Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	29.66	32.63	0.56	100 MURTORAJATIL	0.08	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.00	1(1+0.6)*0
99 Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	28.27	31.10	0.47	100 MURTORAJATIL	0.05	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.01	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
100 Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	27.23	29.95	0.41	100 MURTORAJATIL	0.02	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.01	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
101 Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	26.45	29.10	0.36	100 MURTORAJATIL	0.00	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.01	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
102 Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	25.83	28.41	0.37	100 MURTORAJATIL	0.01	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.01	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
103 Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	25.47	28.02	0.37	100 MURTORAJATIL	0.02	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.02	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
104 Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	25.26	27.79	0.37	100 MURTORAJATIL	0.03	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.02	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
105 Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	25.19	27.71	0.37	100 MURTORAJATIL	0.03	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.02	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
106 Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	25.26	27.79	0.37	100 MURTORAJATIL	0.03	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.02	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
107 Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	25.47	28.02	0.36	100 MURTORAJATIL	0.02	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.01	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
108 Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	25.83	28.41	0.35	100 MURTORAJATIL	0.01	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.01	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
109 Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	26.45	29.10	0.35	100 MURTORAJATIL	0.01	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.01	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
110 Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	27.23	29.95	0.41	100 MURTORAJATIL	0.03	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.00	1(1+0.6)*0
111 Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	28.27	31.10	0.50	100 MURTORAJATIL	0.05	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.01	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
112 Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	29.66	32.63	0.58	100 MURTORAJATIL	0.08	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.02	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
113 Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	31.55	34.71	0.72	100 MURTORAJATIL	0.12	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.04	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
114 Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	34.15	37.56	0.83	100 MURTORAJATIL	0.15	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.03	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
133 Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	34.15	37.56	0.72	100 MURTORAJATIL	0.00	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.04	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
134 Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	31.55	34.71	0.56	100 MURTORAJATIL	0.00	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.02	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
135 Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	29.66	32.63	0.43	100 MURTORAJATIL	0.00	DL1	0.00	1(1+0.6)*0
136 Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	28.27	31.10	0.37	100 MURTORAJATIL	0.00	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.01	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
137 Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	27.23	29.95	0.36	100 MURTORAJATIL	0.00	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.02	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
138 Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	26.45	29.10	0.34	100 MURTORAJATIL	0.01	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.01	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
139 Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	25.83	28.41	0.35	100 MURTORAJATIL	0.00	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.01	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
140 Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	25.47	28.02	0.35	100 MURTORAJATIL	0.00	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.02	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
141 Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	25.26	27.79	0.32	100 MURTORAJATIL	0.00	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.02	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
142 Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	25.19	27.71	0.32	100 MURTORAJATIL	0.00	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.02	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
143 Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	25.26	27.79	0.32	100 MURTORAJATIL	0.00	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.02	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
144 Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	25.47	28.02	0.33	100 MURTORAJATIL	0.00	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.01	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
145 Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	25.83	28.41	0.34	100 MURTORAJATIL	0.00	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.00	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
146 Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	26.45	29.10	0.33	100 MURTORAJATIL	0.01	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.00	1(1+0.6)*0
147 Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	27.23	29.95	0.34	100 MURTORAJATIL	0.00	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.00	1(1+0.6)*0
148 Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	28.27	31.10	0.39	100 MURTORAJATIL	0.00	DL1	0.01	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
149 Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	29.66	32.63	0.47	100 MURTORAJATIL	0.01	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.02	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.

ENV 1995-1:1992 NAD Finland - Member Verification (SLS; ULS) 96to114 133to151 170to188 207to225 227to232

Results Messages											
Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case	Ratio(uy)	Case (uy)	Ratio(uz)	Case (uz)	
150	Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	31.55	34.71	0.58	100 MURTORAJATIL	0.00	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.05	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
151	Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	34.15	37.56	0.69	100 MURTORAJATIL	0.00	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.03	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
170	Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	34.15	37.56	1.00	100 MURTORAJATIL	0.01	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.05	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
171	Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	31.55	34.71	0.78	100 MURTORAJATIL	0.00	DL1	0.02	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
172	Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	29.66	32.63	0.64	100 MURTORAJATIL	0.01	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.00	1(1+0.6)*0
173	Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	28.27	31.10	0.54	100 MURTORAJATIL	0.00	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.01	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
174	Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	27.23	29.95	0.52	100 MURTORAJATIL	0.00	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.02	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
175	Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	26.45	29.10	0.49	100 MURTORAJATIL	0.00	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.01	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
176	Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	25.83	28.41	0.50	100 MURTORAJATIL	0.00	DL1	0.01	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
177	Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	25.47	28.02	0.49	100 MURTORAJATIL	0.00	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.02	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
178	Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	25.26	27.79	0.46	100 MURTORAJATIL	0.00	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.02	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
179	Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	25.19	27.71	0.46	100 MURTORAJATIL	0.00	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.02	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
180	Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	25.26	27.79	0.45	100 MURTORAJATIL	0.00	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.02	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
181	Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	25.47	28.02	0.47	100 MURTORAJATIL	0.00	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.02	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
182	Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	25.83	28.41	0.49	100 MURTORAJATIL	0.00	DL1	0.01	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
183	Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	26.45	29.10	0.47	100 MURTORAJATIL	0.00	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.00	1(1+0.6)*0
184	Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	27.23	29.95	0.50	100 MURTORAJATIL	0.00	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.00	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
185	Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	28.27	31.10	0.56	100 MURTORAJATIL	0.00	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.01	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
186	Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	29.66	32.63	0.66	100 MURTORAJATIL	0.00	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.02	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
187	Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	31.55	34.71	0.82	100 MURTORAJATIL	0.00	DL1	0.05	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
188	Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	34.15	37.56	0.95	100 MURTORAJATIL	0.00	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.02	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
207	Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	34.15	37.56	1.15	100 MURTORAJATIL	0.15	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.05	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
208	Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	31.55	34.71	0.95	100 MURTORAJATIL	0.12	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.02	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
209	Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	29.66	32.63	0.77	100 MURTORAJATIL	0.08	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.00	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
210	Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	28.27	31.10	0.66	100 MURTORAJATIL	0.05	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.01	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
211	Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	27.23	29.95	0.58	100 MURTORAJATIL	0.02	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.02	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
212	Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	26.45	29.10	0.53	100 MURTORAJATIL	0.00	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.01	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
213	Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	25.83	28.41	0.53	100 MURTORAJATIL	0.01	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.02	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
214	Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	25.47	28.02	0.52	100 MURTORAJATIL	0.02	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.02	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
215	Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	25.26	27.79	0.52	100 MURTORAJATIL	0.03	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.02	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
216	Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	25.19	27.71	0.52	100 MURTORAJATIL	0.03	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.02	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
217	Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	25.26	27.79	0.52	100 MURTORAJATIL	0.03	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.02	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
218	Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	25.47	28.02	0.51	100 MURTORAJATIL	0.02	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.02	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
219	Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	25.83	28.41	0.51	100 MURTORAJATIL	0.01	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.01	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.
220	Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	26.45	29.10	0.50	100 MURTORAJATIL	0.00	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.00	1(1+0.6)*0
221	Timber Beam	BEAM 250x275	GL32c	27.23	29.95	0.58	100 MURTORAJATIL	0.02	1(1+0.6)*1 + 1(1+0.	0.00	1(1+0.6)*0

227 Timber Beam		BEAM 250x275	GL32c	86.29	94.92	0.09	100 MURTORAJATIL	0.01	$1(1+0.6)^*1 + 1(1+0.$	0.08	$1(1+0.6)^*1 + 1(1+0.$
228 Timber Beam		BEAM 250x275	GL32c	86.29	94.92	0.09	100 MURTORAJATIL	0.01	$1(1+0.6)^*1 + 1(1+0.$	0.08	$1(1+0.6)^*1 + 1(1+0.$
229 Timber Beam		BEAM 250x275	GL32c	86.29	94.92	0.10	100 MURTORAJATIL	0.01	$1(1+0.6)^*1 + 1(1+0.$	0.07	$1(1+0.6)^*1 + 1(1+0.$
230 Timber Beam		BEAM 250x275	GL32c	86.29	94.92	0.07	100 MURTORAJATIL	0.02	$1(1+0.6)^*1 + 1(1+0.$	0.06	$1(1+0.6)^*1 + 1(1+0.$
231 Timber Beam		BEAM 250x275	GL32c	86.29	94.92	0.10	100 MURTORAJATIL	0.01	$1(1+0.6)^*1 + 1(1+0.$	0.07	$1(1+0.6)^*1 + 1(1+0.$
232 Timber Beam		BEAM 250x275	GL32c	86.29	94.92	0.07	100 MURTORAJATIL	0.02	$1(1+0.6)^*1 + 1(1+0.$	0.06	$1(1+0.6)^*1 + 1(1+0.$

