
Pienehkö kevyenliikenteen kaarisilta

Juho Kähkönen

Opinnäytetyö

Ammattikorkeakoulututkinto

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Juho Kähkönen	
Työn nimi Pienehkö kevyenliikenteen kaarisilta	
Päiväys 12.05.2011	Sivumäärä/Liitteet 38/15
Ohjaaja(t) Rakennetekniikan yliopettaja, tekniikan lisensiaatti Arto Puurula	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) JK-Wood Oy	
Tiivistelmä <p>Tämän insinöörityön aiheena oli laskea kevyenliikenteen sillan pääkannattimien kestävyyttä. Tämä insinöörityö on tehty JK Wood Oy:lle, joka on pieni puunjalostusyriitys Juankoskella. Työn tavoitteena oli tuottaa yritykselle valmiiksi lasketut taulukot vaadittavan poikkileikkauksen määrittämiseen.</p> <p>Sillan pääkannattimina toimivat kaksi liimapuukaarta. Sillan leveys on 1,3 metriä ja silta on suunniteltu kevyelle liikenteelle. Ajoneuvoliikennettä sillalle ei ole huomioitu, koska sillan käyttötarkoitus ei sitä vaadi. Kannattimien kestävyys laskettiin usealle jänneväliille. Jännevälin vaihteluvälinä oli 2 - 12 metriä. Voimasuureiden laskenta suoritettiin Frame 6.0 kehä-ohjelmalla ja vertailulaskelma käsin. Palkit on mitoitettu eurokoodin mukaisesti.</p> <p>Työ oli esiselvitystä mahdollisesta kaarisiltojen valmistamisesta. Työ on tehty opinnäytetyönä, joten vastuu työn tulosten hyödyntämisestä on käyttäjällä. Työn tuloksena saatiin pieni Excel-ohjelma, jonka avulla kestävyyttä voidaan arvioida.</p>	
Avainsanat Kaari, liimapuu, silta	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Construction Engineering			
Author(s) Juho Kähkönen			
Title of Thesis A short cyclist and pedestrian arch bridge			
Date	12 May 2011	Pages/Appendices	38/15
Supervisor(s) Mr. Arto Puurula Principal Lecturer			
Project/Partners JK-Wood Oy			
<p>Abstract</p> <p>The aim of this project was to make structural calculations for the supporting beams of a cyclist and pedestrian bridge so they could see the required section of the laminated timber from the table that is ready calculated. The project was commissioned by the JK-Wood Oy which is a small wood-processing corporation in Juankoski.</p> <p>The beams of the bridge consist of two laminated timber arches. The width of the bridge was 1,3 metres and bridge was designed for cyclists and pedestrians with a uniform load of 4 kN/m². Vehicle traffic was not taken into account the bridge was planned such use. The durability of the beams was calculated for several spans between 2 - 12 metres. The calculations for the supporting beams of the bridge were made by Frame 6.0 program and reference calculation was made manually. The beams were dimensioned according to the with eurocodes.</p> <p>The project was on preliminary report on possible constructing of the bridges. The project was a scholarly thesis so the users will have the responsibility of utilising the result. As a result of the project an Excel-program was achieved and by using it is easy to estimate the load carrying capacity of laminated timber arches.</p>			
<p>Keywords Arch, laminated timber, bridge</p>			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	8
2	LIIMAPUU	9
2.1	Liimapuu rakennusmateriaalina	9
2.2	Lujuus ja jäykkyys.....	9
2.3	Liimatyytit	10
3	VETOTANKO	11
4	KAARIRAKENNE	11
4.1	Holvautuminen.....	11
4.2	Kaarevan palkin jännitykset	12
4.2.1	Lamellien taivuttaminen.....	12
4.2.2	Taivutusjännitysten jakautuminen.....	14
4.2.3	Syysuuntaa vastaan kohtisuora jännitys	14
4.2.4	Toisen kertaluvun momentti.....	14
4.3	Kaareva palkki vrt. suora palkki	15
5	SILTAPALKIN MITOITUS.....	16
5.1	Lähtötiedot.....	16
5.2	Voimasuureet	19
5.3	Mitoitus.....	24
5.3.1	Taivutuskestävyys	24
5.3.2	Kiepahduskestävyys.....	25
5.3.3	Leikkauskestävyys.....	28
5.3.4	Syysuuntaa vastaan kohtisuora vetojännitys	28
5.3.5	Yhdistetty puristus- ja taivutusjännitys	31
5.4	Vetotanko	32
6	TYÖN TULOS	35
	LÄHTEET.....	39

LIITTEET

Liite 1 Frame-kehäohjelman tulokset

1 JOHDANTO

JK-Wood Oy on pieni puunjalostusyriitys Juankoskella. JK-Woodin tämänhetkinen toimenkuva on ollut pääosin lamellihirsiaihioiden liimaaminen ja edelleen toimittaminen alan yrityksille. Nyt on sitten ilmennyt omatoimista halukkuutta kehittää uutta. Yritys haluaa laajentaa tuotteitaan ja yrityksellä on aikomus ryhtyä liimaamaan kaaria. Yrityksellä on jo nykyisellään valmiudet tehdä liimapuuta kaaren muotoon. Koepuristuksiakin on jo tehty.

Kaarien käyttökohteena ovat kevyet sillat, joilla on vain jalankulkua. Siltojen käyttökohteet ovat esimerkiksi puutarhasiltana tai luontoreiteillä. Minun osuus hankkeesta on kantavan osan suunnittelu, eli halutaan tietää, miten suuria liimapuupalkkeja tarvitaan. Sillan visuaalinen toteutus mm. kaide yms. suunnitellaan Kuopion-muotoiluakatemiassa.

Työn tarkoitus on tuottaa yritykselle valmiiksi lasketut taulukot vaadittavan poikkileikkauksen määrittämiseen. Palkin koko tulisi laskea metrin välein. Kokonaisvaihtelu jännevälillä on 2 - 12 metriä. Laskenta suoritetaan euronormin mukaan.

2 LIIMAPUU

2.1 Liimapuu rakennusmateriaalina

Liimapuu on rakennusmateriaalina erittäin hyvä ja nerokas keksintö. Liimapuu koostuu höylätyistä lamelleista, jotka ovat liimattu toisiinsa puristimien avulla. Suoralla palkilla lamellit ovat 45 mm paksuja, kaarevalla palkilla ne voivat olla 33 mm. Yhteen liimatuista lamelleista muodostuu yhtenäinen elementti, joka ei vääntyile, kuten normaali sahalauta.

Liimapuun ominaisuuksia ovat hyvä puristus- ja vetojännityskestävyys. Ainoastaan syysuuntaa vastaan kohtisuora kestävyys on muihin materiaaleihin nähden huomioitava seikka. Liimapuulla on paremmat lujuus- ja jäykkyysominaisuudet kuin sahatavaralla. Jos verrataan kestävyyttä omapainoon nähden, on liimapuu terästäkin vahvempaa. (Carling 2002,8.)

Hyvien muotoilumahdollisuuksien ansiosta liimapuusta on helppo tehdä kaaria ja kehiä. Liimapuulla toteutetaankin kohteet, joissa vaaditaan arkkitehtonisesti kaunista ilmettä. Liimapuu mahdollistaa pitkätkin jännevälit, aina 100 metriin saakka. Käyttökohde voi olla pientalon kattokannatin, marketin pilari tai sillan pääkannattajakin. Materiaalin käyttö on tehokasta sormijatkosten ansiosta. (Carling 2002,8.) Puu on myös uusiutuva luonnonvara ja sitä kautta ekologinen ja kestävä kehityksen kannalta hyvä valinta.

2.2 Lujuus ja jäykkyys

Liimapuuksi kutsutaan puutavaraa, jossa on liimattu yhteen vähintään neljä lamellia. Jos lamelleja on vähemmän, puhutaan silloin rakennepuutavarasta. Molemmilla on samat ominaisuudet, mutta rakennepuutavaran lujuus on heikompi. Tämä johtuu siitä, että liimapuulla on keskimääräisesti parempi lujuus ja pienempi lujuusominaisuuksien hajonta kuin rakennepuutavaralla. Liimapuelementissä mahdolliset heikot kohdat jakaantuvat palkin eri kohtiin. Sitä kautta pienenee riski, että useassa lamellissa olisi virheitä samassa poikkileikkauksessa. Toisaalta, mitä suuremmaksi palkin tilavuus tulee, suurenee todennäköisyys, että palkki sisältää murtoon johtavan vian. (Carling 2002,13.)

Lujuudelle on ominaista, että se vaihtelee jännitys- ja syysuunnan kulman mukaan. Lujuus myös heikkenee kosteuden ja kuormitusajan kasvaessa. Siitä johtuu, että lyhyessä aikaluokassa saa käyttää suurempia lujuuksia kuin esimerkiksi pitkässä aikaluokassa. Liimapuulle on tyypillistä materiaaliominaisuuksien suuri vaihtelu samassa elementissä kuin myös eri elementtien välillä. (Carling 2002,13 – 14.) Mutta suunnittelu lujuudet ovat lujuuksia, jotka ovat tietyn hajonnan sisässä. Eli lujuudet perustuvat todennäköisyyteen. Sallitunlujuuden täytyy olla sellainen, että tietty osa elementeistä täyttää vaaditun arvon, joten monet palkit kestävät oikeasti paljon enemmän. Tämä on tietysti hyvä asia ja tällöin mitoitus on vakaalla pohjalla.

Kansallisten tai eurooppalaisten normien mukaisesti valmistettu liimapuu kuuluu tiettyyn lujuusluokkaan. Lujuusluokka määrittyy poikkileikkauksessa käytetyn puutavaran lujuuden ja sen sijainnin mukaan.(Carling 2002,14.) Korkealuokkaista puutavaraa käytetään ainoastaan palkin ulkoreunoissa. Tämä on järkevää, koska ainoastaan siellä on myös kovimmat jännitykset. Eurocode 5 kansallisen sovellusohjeen mukaan, meille tuttu lujuusluokan L40 katsotaan vastaavan lujuusluokkaa GL32.

2.3 Liimatyypit

Liimapuun valmistuksessa käytettävällä liimalla on hyvät lujuus- ja säilyvyysominaisuudet pitkäaikaiskuormituksessa. Liimoina käytetään liimatyyppejä I ja II. Liimatyyppejä I saa käyttää kaikissa kosteusluokissa. Liimatyypin II käyttö rajoittuu kosteusluokkiin 1 - 2. Hyväksytyjen liimojen luetteloa julkaisee Pohjoismaiden liimapuutoimikunta. (Carling 2002,15.)

Aikaisemmin on käytetty synteettisiä RF-kaksikomponenttiliimoja. Nyt käytetään PRF-liimoja ja melamiini-liimoja. PRF-liimat kuuluvat säänkestäviin liimoihin ja niiden käyttö on sallittu kaikissa kosteusluokissa. Melamiini-liimat kuuluvat nykyään myös säänkestäviin liimoihin ja niiden käyttö onkin lisääntynyt. Myös polyuretaani-liimat tekevät tuloaan ja liimojen kehitys onkin jatkuvaa. Liimapuuelementin merkinnästä käy aina selville, mitä liimaa on käytetty. (Carling 2002,15.)

3 VETOTANKO

Kaaresta aiheutuvaa vaakavoimaa voidaan hallita vetotangolla. Vetotangolla voi siirtää vain vaakasuuntaisia voimia. Se voidaan tehdä teräksestä tai puusta. Teräksinen vetotanko voidaan tehdä yhdellä tai kahdella tangolla. Yhdellä se tehdään palkin läpi ja kahdella tangolla palkin molemmin puolin. Teräs soveltuu suurempien vetovoimien hallintaan ja puu pienempien. Puun ollessa vetotankona voi vetotangon ja palkin välisen liitoksen toteuttaa lattateräksellä kiertämällä palkin ympäri tai naulauslevyllä. (Carling 2002,176.)

4 KAARIRAKENNE

4.1 Holvautuminen

Kautta-aikojen on osattu hyödyntää kaarevan rakenteen tuoma hyöty. Se on ollut edellytys, että on voitu saavuttaa pidempiä jännevälejä. Sillä esimerkiksi Rooman valtakauden aikaiset menetelmät ja materiaalit eivät vastaa tätä päivää. Merkittävänä esimerkkinä voidaan pitää Rooman Pantheonin temppeliä, jonka halkaisija on 43 metriä.

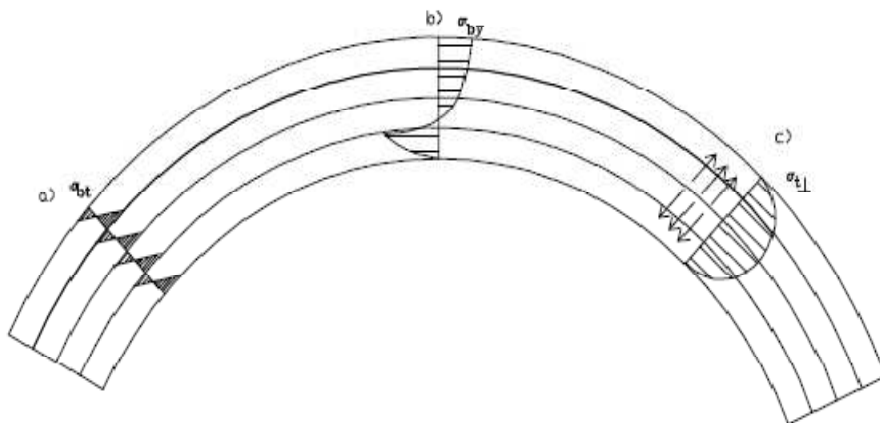
Holvin periaate on, että kuormat siirtyvät puristusjännityksinä perustuksiin. Kaaren kuormitus tapa vaikuttaa kestävyys. Onkin totta, että holvikaari kestää paremmin tasaista kuormaa. Pistekuormat aiheuttavat vetojännityksiä ja siten heikentävät holviominaisuutta ja kestävyttä.

Kaarevarakenne aiheuttaa vaakavoimia holvin päihin. Holvin toiminnan kannalta onkin tärkeää, että holvin päät ovat liikkumattomat. Matalassa kaaressa esiintyy suurempi vaakavoima kuin korkeassa. Syntyvät vaakavoimat on otettava vastaan perustuksilla. Vetotanko on myös mahdollinen ratkaisu. Holvirakenne sopii hyvin tiilelle ja betonille, koska ne kestävät huonosti vetoa. Ennen teräsbetonia vetorasitusta ei ole saanut hyvin paljon esiintyä rakenteissa ja siksi holvitekniikka on saanut alkunsa.

4.2 Kaarevan palkin jännitykset

Kun tarkastellaan palkin jännityksiä, syntyy niitä ulkoisista kuormista sekä ilman ulkoista kuormaa. Kaarevan liimapuukannattajan mitoitus poikkeaa suoran palkin mitoituksesta seuraavista syistä.

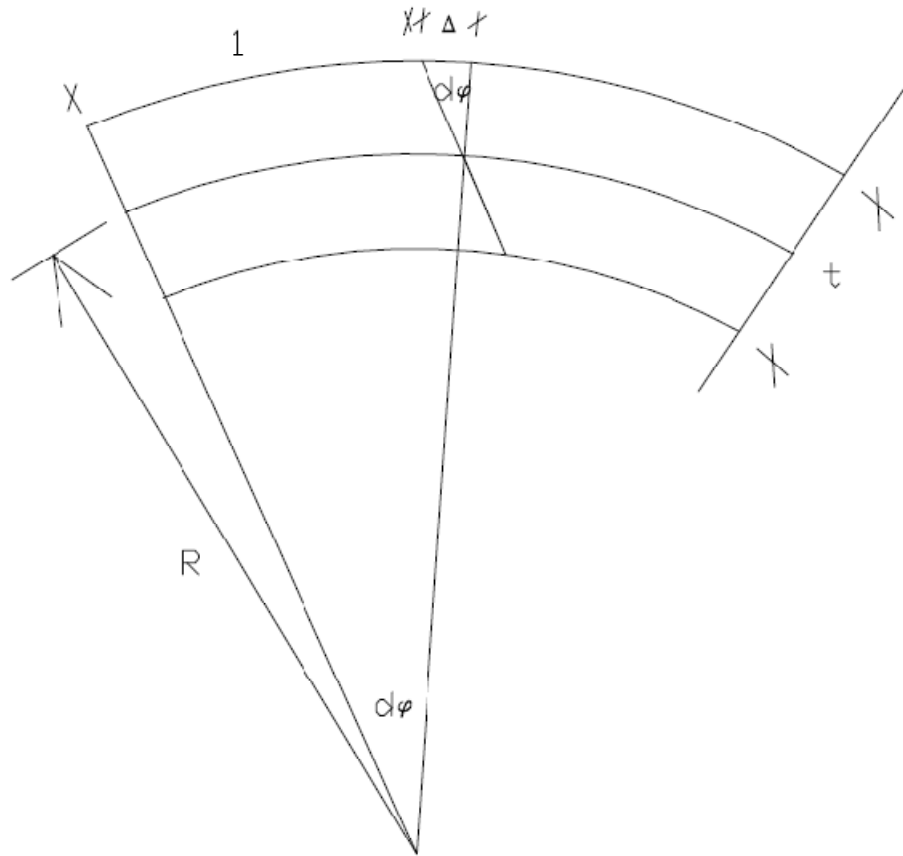
- 1. lamellien taivuttaminen
- 2. taivutusjännitysten jakautuminen
- 3. syysuuntaa vastaan kohtisuora jännitys
- 4. toisen kertaluvun momentti.



KUVA 4.1. Kaarevan palkin eri jännitysjakaumat: a) lamellien käyristämisestä aiheutuvat jännitykset, b) taivutusjännityksen jakauma, c) kaarevuussäteeseen suuntaiset jännitykset.

4.2.1 Lamellien taivuttaminen

Kun lamelleja taivutetaan kaaren muotoon, syntyy yksittäisiin lamelleihin taivutusjännityksiä. Tämän vuoksi lujuusarvoja joudutaan korjaamaan. Jännitykset ovat riippumattomia ulkoisista kuormituksista. Jännitykset riippuvat pääasiassa kaarevuussäteestä ja lamellien paksuudesta. Taivutushetkellä voi syntyä helposti materiaalin lujuutta vastaavia jännityksiä. (Kähkönen 1997, 100)



KUVA 4.2. Lamellien käyristäminen.

Kuvasta 4.2 nähdään,

$$\frac{\frac{t}{2} \cdot d\varphi}{R \cdot d\varphi} = \frac{t}{2} \cdot \frac{1}{R} = \frac{\Delta}{1} = \varepsilon \quad (3.1)$$

$$\text{Hooken lain mukaan } \varepsilon = \frac{\sigma_b}{E}, \text{ joten} \quad (3.2)$$

$$\frac{\sigma_b}{E} = \frac{t}{2R}, \text{ eli} \quad (3.3)$$

$$\sigma_b = \frac{tE}{2R} \quad (3.4)$$

Esim. jos $t/R=0,01$ $E=11100 \text{ N/mm}^2$, $t=30\text{mm}$, $R=3500\text{mm}$

Tästä saadaan lamellien taivutusjännitys $\sigma_b=47,6 \text{ N/mm}^2$. Lamellien käyristämisen vaikutus on otettava huomioon mitoituksessa. Se otetaan huomioon korjaamalla laskentalujuuksia, kun käyristyssäde on välillä $100 \leq R/t < 240$. Käyristyssäteiden ollessa $R > 240 \cdot t$ ei laskentalujuutta tarvitse pienentää. $R/t \leq 100$ olevia käyristyssäteitä ei saa käyttää. (Kähkönen 1997, 100.)

4.2.2 Taivutusjännitysten jakautuminen

Taivutusjännitysten jakautuminen poikkeaa suoraan palkkiin verrattuna. Taivutusjännitysten jakautuminen ei ole suoraviivaista vaan hyperbolista. Jännityshuippu esiintyy koveralla puolella. Jos puristusviiva saadaan asetettua juuri painopisteakselille, ei taivutusjännityksiä esiinny lainkaan. Tällöin kaikki rasitus siirtyy puristusjännityksenä. Tasaisella kuormalla tämä edellyttää kaaren olevan paraabelin muotoinen. Kun myös pistekuormia esiintyy yhdessä tasaisen kuorman kanssa, niin kaari saa muutakin kuin puhdasta puristusjännitystä. (Kähkönen 1997, 100.)

4.2.3 Syysuuntaa vastaan kohtisuora jännitys

Kaarevassa rakenteessa esiintyy syysuuntaa vastaan kohtisuoria jännityksiä. Esiintyvät jännitykset ovat siis kaarevuus säteen suuntaisia. Ne ovat siinä mielessä pahoja jännityksiä, että puun kestävyys juuri tässä suunnassa on heikko. Syysuuntaa vastaan kohtisuora vetokestävyys on esim. GL32-liimapuulla varmuuskertoimien jälkeen luokkaa $0,3 \text{ N/mm}^2$. Tämän ymmärtämiseen pääsee hyvin käsiksi polttopuiden halkomisen kautta. Puun päähän lyötäessä kohdistetaan voima juuri syysuuntaa vastaan kohtisuorasti. Näin puu halkeaa helposti. Halkaiseva voima syntyy, kun taivutusmomentti pyrkii oikaisemaan kannattajaan. (Kähkönen 1997, 101.)

4.2.4 Toisen kertaluvun momentti

Toisen kertaluvun vaikutukset ovat aina esiintyessään merkittäviä, mutta esiintyvät vain tietynlaisissa tilanteissa. Syntyvät jännitykset voivat olla hyvin suuria. Ne aiheutuvat muodonmuutoksista. Toisen kertaluvun momenttiin ei tässä opinnäytetyössä perehdytä.

4.3 Kaareva palkki vrt. suora palkki

Poikkileikkauksen mitoitukset eroavat hieman kaarevan ja suoran palkin välillä edellä mainittujen asioiden vuoksi, mutta suuria eroja ei ole. Kaaren taivutusjäännitys jakauman ansiosta rakennekorkeus kaarella voi olla $1/3$ suoran palkin rakennekorkeudesta, mikäli puristuslinja on valittu oikein. Taipuman suhteen kaari on helpompi hallita. Sillä rakenteen taipuma ei näy samalla tavalla kuin suorassa palkissa. Suoran palkin roikkuminen näkyy todella helposti ja on epäesteettisen näköinen. Rakennejärjestelmän kannalta kaarevalla palkilla saadaan suurempi vapaakorkeus, jos molemmat ovat samankaltaisessa pilari-palkki-järjestelmässä. Hyvin suurella kaarevalla palkilla voidaan myös toteuttaa rakennus palkin päiden lähtiessä suoraan perustuksista, esimerkiksi paraabeli- tai ympyräkaarella. Selkeä suurempi ero voimajakaumassa on se, että kaarevalla palkilla toteutettaessa syntyy vaakavoima, joka tulee muistaa huomioida.

5 SILTAPALKIN MITOITUS

5.1 Lähtötiedot

Seuraavaksi käydään läpi sillan pääkannattimien mitoitus. Siltojen käyttökohteita ovat puutarhasillat ja esimerkiksi luontoreittien sillat.

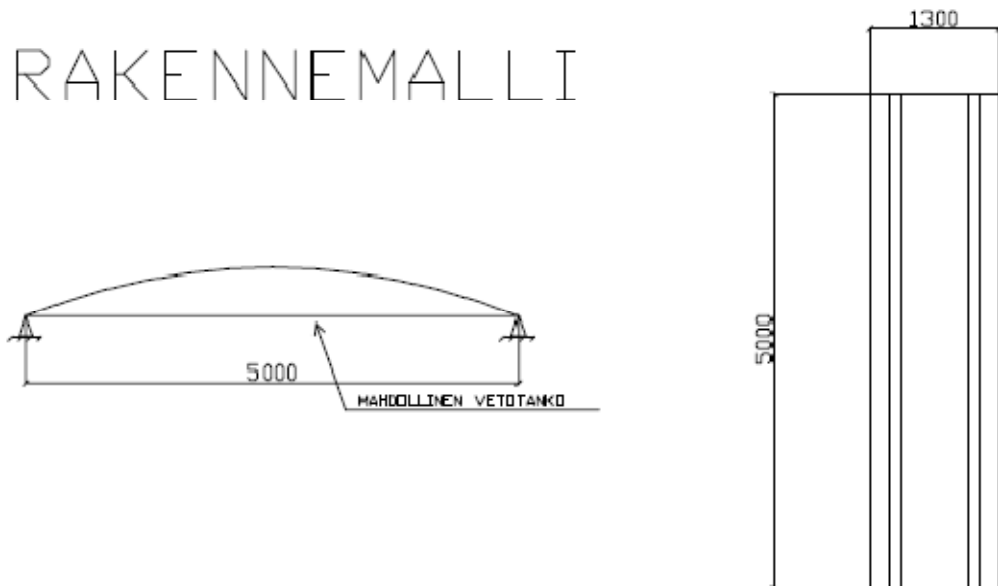
Sillan pääkannattimina toimivat kaksi liimapuukaarta. Pääkannattimet tukeutuvat päistään suoraan perustuksiin. Perustuksia ei tässä työssä suunnitella, mutta ne oletetaan siirtymättömiksi. Jos esim. perustusolosuhteet ovat huonot, suunnitellaan myös vaihtoehtoinen ratkaisu vaakavoiman hallintaan. Tällöin sijoitetaan vetotanko kaarien päiden välille. Tässä työssä vetotanko tulee olemaan puuta. Sekä liikkumattomat perustukset että vetotanko mahdollistavat sen, että holvautuminen pääsee tapahtumaan.

Kaarien yläreuna tukeutuu kiepahdusta vastaan lopullisessa rakenteessa, sillä sillan kansi lankutetaan umpeen. Kuormituksena sillalla on palkin omapaino $0,375 \text{ kN/m}$, kaide $0,5 \text{ kN/m}$ /yhdenpuolen kaide sekä kansirakenne ($0,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$) ja hyötykuormana tungoskuorma ($4,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$). Palkin painon laskennassa käytetään ominaispainona 500 kg/m^3 . Silta suunnitellaan ainoastaan jalankulkuun, joten ajoneuvojen kuormitusta ei tarvitse huomioida. Asia on myös varmistettu asettamalla sillan leveydeksi $1,3 \text{ metriä}$. Tällöin raskaat ajoneuvot eivät sillalle mahdu. Jäljempänä lasketaan palkille vaadittava poikkileikkaus viiden metrin jännevälille.

Palkin materiaalitiedot ovat seuraavat:

- Liimapuu GL32
 - $f_{m,k} = 32 \text{ N/mm}^2$ taivutus
 - $f_{v,k} = 3,2 \text{ N/mm}^2$ leikkaus
 - $f_{c,0,k} = 26,5 \text{ N/mm}^2$ puristus syysuuntaan
 - $f_{c,90,k} = 3,0 \text{ N/mm}^2$ puristus kohtisuoraan syysuuntaa vastaan
 - $f_{t,0,k} = 19,5 \text{ N/mm}^2$ veto syysuuntaan
 - $f_{t,90,k} = 0,45 \text{ N/mm}^2$ veto kohtisuoraan syysuuntaa vastaan
 - $E_{0,05} = 11100 \text{ N/mm}^2$ kimmomoduuli
 - $E_{0,mean} = 13700 \text{ N/mm}^2$ kimmomoduuli
 - $G_{mean} = 780 \text{ N/mm}^2$ liukumoduuli

Lamellien paksuus on 30 mm. Koska palkit ovat säälle alttiita, on käyttöluokka 3. Aikaluokkana on keskipitkä. Suunnittelulujuudet saadaan kaavasta $f_{x,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{x,k}}{\gamma_M}$. Käyttö- ja aikaluokan perusteella $k_{mod} = 0,65$ ja liimapuulle varmuuskerroin $\gamma_M = 1,2$.

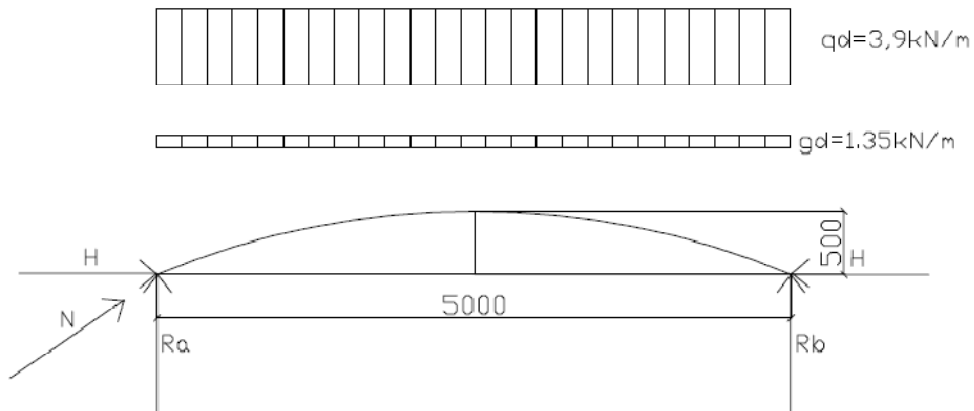


KUVA 5.1 Sillan rakennemalli.

Sillalle on määritetty kolme kuormitusyhdistelmää KY1, KY2 ja KY3:

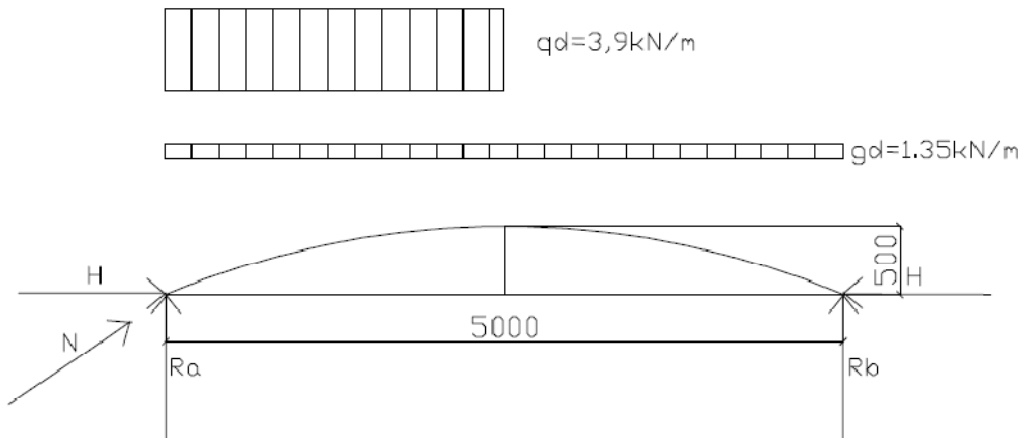
- KY1: omapaino ja täysi tungoskuorma koko jännevälillä
- KY2: omapaino ja täysi tungoskuorma jännevälän puolikkaalla
- KY3: omapaino ja täysi tungoskuorma jännevälän puolikkaalla ja puolikas tungoskuorman arvo toisella puolella.

KY1

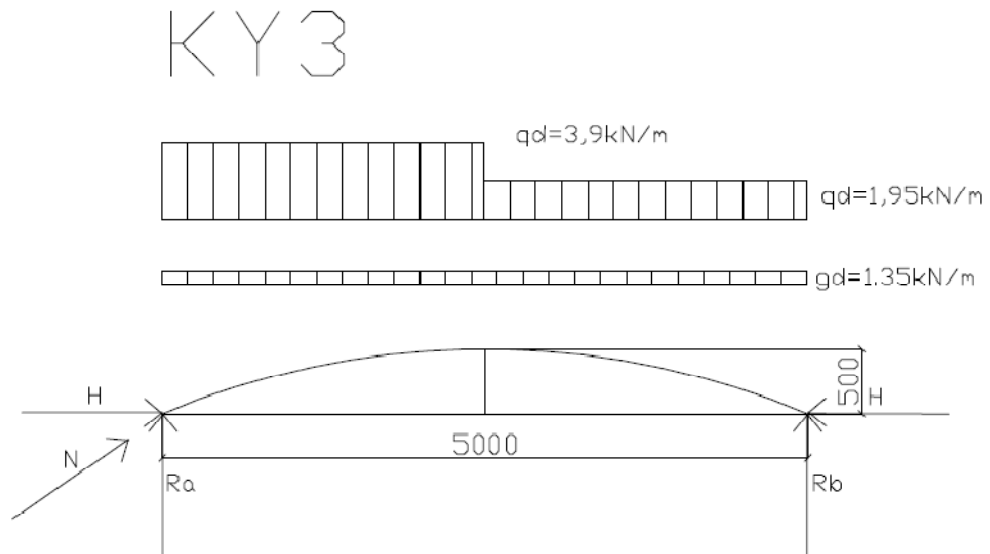


KUVA 5.2 Kuormitustapaus 1.

KY2



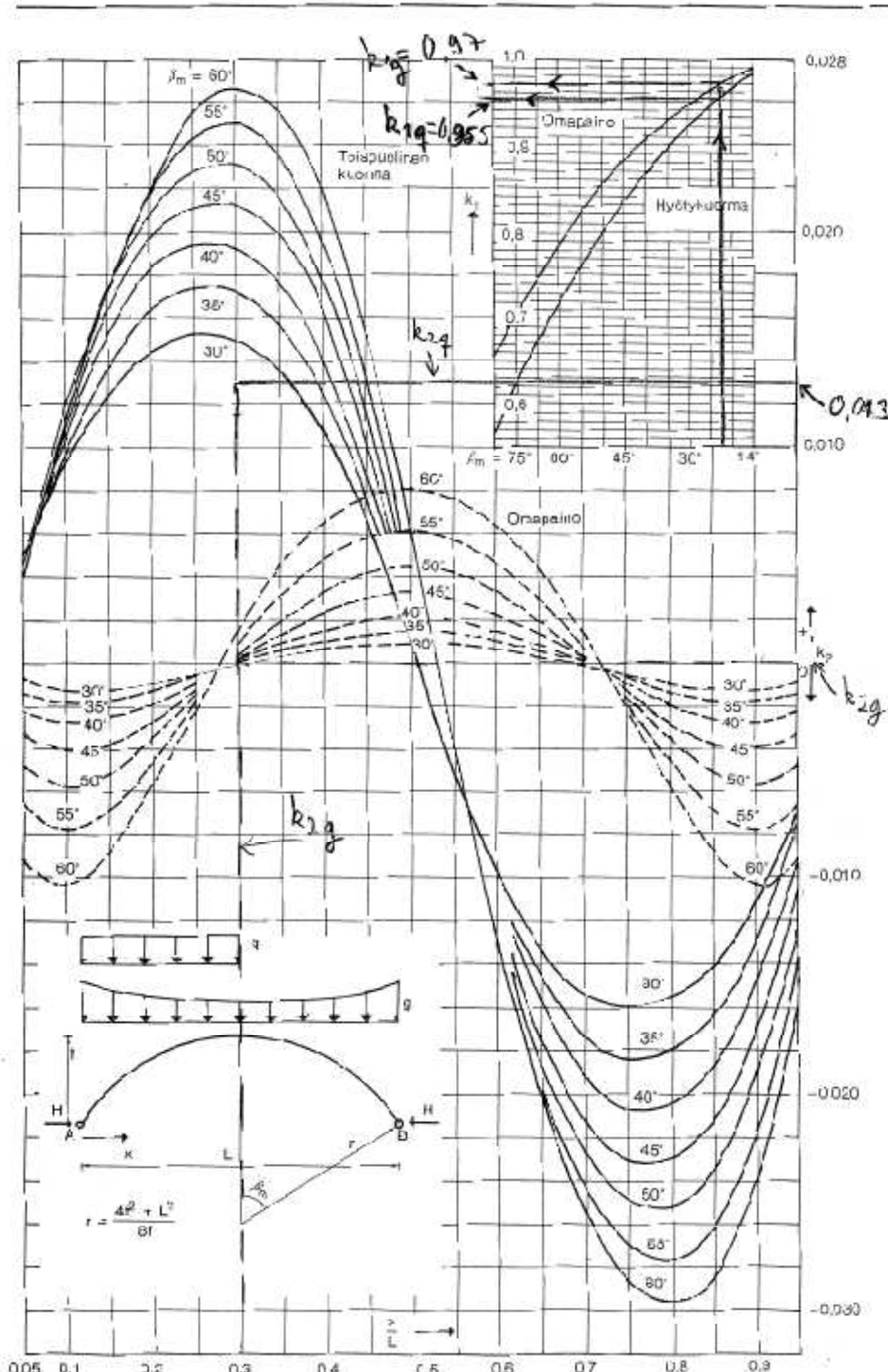
KUVA 5.3 Kuormitustapaus 2.



KUVA 5.4 Kuormitustapaus 3.

5.2 Voimasuureet

Laskenta on suoritettu Frame 6.0 kehä-ohjelmalla ja siitä saatuja voimasuureiden tuloksia käytetään mitoituksessa. Vertailulaskelma voimasuureista tehdään käsin kuormitusyhdistelmistä tapaukseen KY2. Käsin laskentaan on käytetty Markku Korttesmaa, (1981) *Puurakenteet 4* –teoksessa esitettyä menetelmää. *Puurakenteet 4* kirjassa sivulla 96 (seuraava sivu Kuva 5.5) olevaa käyrästä voidaan käyttää, kun poikkileikkaus koko kaaren matkalla on vakio sekä tuet siirtymättömiä. Tämä tapaus on juuri tässä työssä kyseessä. Vastaava tilanne on laskettu myös kehä-ohjelmalla.



Kuva 4.35 Kaksinivelisen ympyräkaaren käyrästä. Poikkileikkaus oletetaan vakioiksi ja karhenevelet siirtymättömiksi.

KUVA 5.5 Kaksinivelisen ympyräkaaren käyrästä.

KY2:

$$p_d = 1,15G_{kj}(\text{omapaino}) + 1,5Q_{k,1}(\text{tungoskuorma}) \quad (5.1)$$

$$= 1,15 \left(\frac{1,3m}{2} * 0,5 \frac{kN}{m^2} \right) + 1,15 \left(0,375 + 0,5 \frac{kN}{m} \right) + 1,5 \left(\frac{1,3m}{2} * 4,0 \frac{kN}{m^2} \right) = 5,28 \text{ kN/m} \quad (5.2)$$

Käyrästön käyttämiseen tarvitaan kaaren keskuskulman puolikas β_m , joka voidaan laskea seuraavasti.

$$r_m = \frac{L^2}{8f} + \frac{f}{2} = \frac{5^2}{8 * 0,5} + \frac{0,5}{2} = 6,5 \text{ m}$$

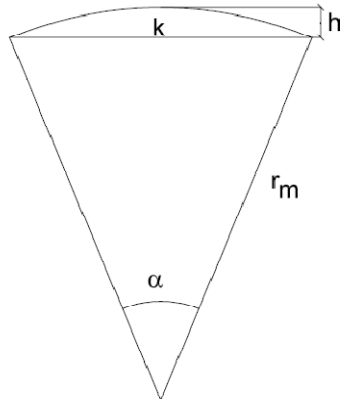
jossa,

L jänneväli

f kaaren jänteen korkeus

$$\alpha = 4 \arctan \frac{2h}{k} = 4 \arctan \frac{2 * 0,5}{0,5} = 45,24^\circ$$

$$\beta_m = \frac{45,24}{2} = 23^\circ$$



KUVA 5.6 Keskuskulman laskennassa käytetyt suureet.

Seuraavalla sivulla asiaa selventävää tietoa KUVA 5.7.

Omanpainon ja toispuolisen kuorman aiheuttama taivutusmomentti voidaan laskea kaavasta

$$M = k_{2g}gLr_m + k_{2q}QLr_m \quad (4.138)$$

ja omanpainon ja tasan jakautuneen toispuolisen kuorman aiheuttama vaakavoima kaaren päässä kaavasta

$$H = k_{1g}gr_m + 0,5k_{1q}qr_m \quad (4.139)$$

Oman painon ja tasan jakautuneen kuorman aiheuttama vaakavoima kaaren päässä voidaan laskea kaavasta

$$H = k_{1g}qr_m + k_{1q}qr_m \quad (4.140)$$

Pystysuuntaiset tukereaktiot omasta painosta g ja toispuolisesta hyötykuormasta saadaan kaavasta

$$R_A = gs + \frac{3qL}{8} \quad (4.141)$$

$$R_B = gs + \frac{qL}{8}$$

jossa s on kaaren pituus kannasta lakeen.

Mitoituksessa tarkistetaan, että

$$\frac{N/A}{k_s f_s} + \frac{(M + \Delta M)/W}{k_b f_b} \leq 1 \quad (4.142)$$

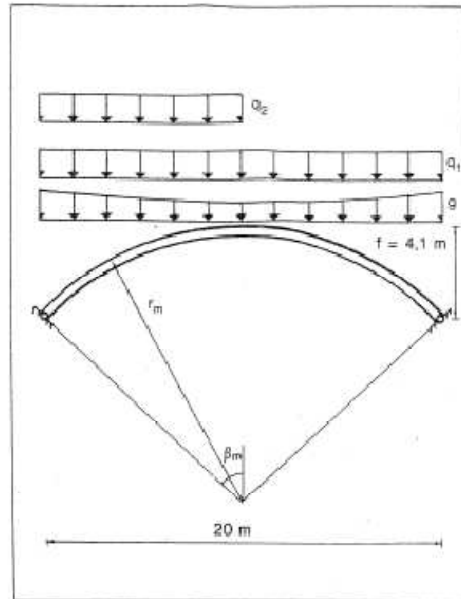
$k_s = 1$, kun tarkastellaan rasituksia kaaren tasossa. Jos kaari on tuettu sivusuunnassa siten, että nurjahdus- tai kiepahdusvaara on olemassa, otetaan nurjahdus- ja kiepahdusvaara huomioon k_s - ja k_b -kertoimilla.

Esimerkki 4.8

Tarkastellaan kuvan 4.36 mukaista rakennetta ja kuormitustapausta.

$$r_m = \frac{L^2}{8f} + \frac{f}{2} = \frac{20^2}{8 \cdot 4,1} + \frac{4,1}{2} = 14,2 \text{ m}$$

Kulma $\beta_m = 45^\circ$.
Vaakavoimaksi tuella saadaan



Kuva 4.36 Esimerkissä 4.8 lasketun ympyräkaaren kuormat

$$q_1 = 1,6 \cdot 2 = 3,2 \text{ kN/m}$$

$$q_2 = 1,6 \cdot 2 = 3,2 \text{ kN/m}$$

$$g = 1,2 \cdot 2 = 2,4 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} H &= k_{1g}gr_m + k_{1q}qr_m + 0,5k_{1q}qr_m \\ &= 0,88 \cdot 2,4 \cdot 14,2 + 0,835 \cdot 3,2 \cdot 14,2 + \\ &\quad 0,5 \cdot 0,835 \cdot 3,2 \cdot 14,2 \\ &= 86,9 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kun $x = 0,35 L$, saadaan

$$\sin \alpha = (0,5 - 0,35) \frac{L}{r_m} = 0,211$$

Tästä saadaan $\alpha = 12,2^\circ$.

Pystyvoimaksi tässä leikkauksessa saadaan

$$R = gr_m \frac{12,2^\circ}{180^\circ} + q_1(0,5 - 0,35)L +$$

$$q_2 \left(\frac{3}{8} - 0,35 \right) L$$

$$= 2,4 \pi \cdot 14,2 \frac{12,2^\circ}{180^\circ} + 3,2 \cdot 0,15 \cdot 20 +$$

Omanpainon ja toispuolisen kuorman aiheuttama taivutusmomentti voidaan laskea kaavasta

$$M = k_{2g}gLr_m + k_{2q}qLr_m [kNm] \quad (5.3)$$

k_{2g} - ja k_{2q} -kertoimet luetaan käyrästöltä s.19 KUVA 5.5 esitetyn mukaisesti. Taulukossa 1 on esitetty käyrästöltä saadut arvot k_{2g} - ja k_{2q} -kertoimille. Kertoimien avulla on sitten laskettu omapainosta johtuva momentti M_g ja hyötykuormasta johtuva momentti M_q . Näiden yhteistulos ja sitä kautta mitoitusmomentti on $M_g + M_q$.

Puurakenteet 4 kirjassa sivulla 96 käyrästöltä saadaan arvot :

x/L	$M_g = k_{2g} * g * L * r_m$		$M_q = k_{2q} * q * L * r_m$		$M_g + M_q$
	k_{2g}	M_g	k_{2q}	M_q	
0,3	0	0	0.013	2.18	2.18
0,35	0.0001	0.000439	0.0105	1.76	1.76
0,4	0.005	0.2195	0.009	1.51	1.73
0,8	-0.0005	-0.0219	-0.0125	-2.10	2.12
0,85	-0.008	-0.3513	-0.01	-1.68	2.03
0,9	-0.001	-0.0439	-0.009	-1.51	1.56

TAULUKKO 1

Omanpainon ja tasan jakautuneen toispuolisen kuorman aiheuttama vaakavoima kaaren päässä on.

$$H = k_{1g}gr_m + 0,5k_{1q}qr_m \quad (5.4)$$

Sivun 19 Kuvasta 5.5 esitetyn mukaisesti käyrästöltä saadaan seuraavat arvot:

$$k_{1g}=0,97$$

$$k_{1q}=0,955$$

$$H = 0,97 * 1,35 * 6,365 + 0,5 * 0,955 * 3,9 * 6,365 = 20,2 \text{ kN} \quad (5.5)$$

Tukireaktio R_A Momenttitasapainon avulla:

$$M_B = L * g * \frac{L}{2} + q * \frac{L}{2} * \frac{3}{4}L - R_A * L = 0 \quad (5.6)$$

$$R_A = 10,7 \text{ kN}$$

Trigonometrialla saadaan normaalivoima N .

$$N = R_A \sin \alpha + H \cos \alpha \quad (5.7)$$

$$N = 10,7 \sin 11,3 + 20,2 \cos 11,3 = 21,9 \text{ kN}$$

Vertailulaskelmasta huomataan, että se tukee kehä-ohjelmasta saatuja arvoja, joten niihin voidaan luottaa.

Kehä-ohjelman tulokset: $M=2,36 \text{ kNm}$
 $N=22,2 \text{ kN}$

5.3 Mitoitus

Mitoitetaan 90x270 GL32 liimapuupalkin kestävyys viiden metrin jännevälille.

5.3.1 Taivutuskestävyys

Maksimimomentti kehäohjelmasta KY2

$$M_d = 2,36 \text{ [kNm]} \quad (5.9)$$

Harjan kohdalla vaikuttava taivutusjännitys lasketaan seuraavasti:

$$\sigma_{m,d} = k_l \frac{6M_{ap,d}}{bh_{ap}^2} \quad (5.10)$$

$$= 1,0140 * \frac{6 * 2,36 * 10^6}{190 * 270^2} = 2,82 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

$\sigma_{m,d}$ taivutusjännityksen mitoitusarvo

k_l kertoimen k_l arvo riippuu kaarevan osan säteestä ja palkin tyypistä eli siitä, onko palkin kaariosan korkeus vaihtuva vai tasainen

$M_{ap,d}$ taivutusmomentin mitoitusarvo harjan kohdalla

h_{ap} palkin korkeus harjan kohdalla

b palkin leveys

k_l -kerroin kaarevalle palkille:

$$k_l = 1 + 0,35 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + 0,6 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2 \quad (5.11)$$

$$= 1 + 0,35 \left(\frac{270}{6365} \right) + 0,6 \left(\frac{270}{6365} \right)^2 = 1,0140$$

jossa

r sisäpuolinen kaarevuussäde
 t lamellien paksuus
 h_{ap} palkin korkeus harjan kohdalla

Harjavyöhykkeessä tulee täyttyä ehto:

$$\sigma_{m,d} \leq k_r f_{m,d} \quad (5.11)$$

k_r kertoimen avulla otetaan huomioon kaarevan liimapuun valmistuksessa tapahtuvasta lamellien taivuttamisesta aiheutuva lujuuden pientyminen.

$f_{m,d}$ taivutuslujuus

Koska $\frac{r_{in}}{t} < 240$, saadaan k_r kaavasta:

$$k_r = 0,76 + 0,001 * \frac{r_{in}}{t} \quad (5.12)$$

$$= 0,76 + 0,001 * \frac{6230}{30} = 0,96766$$

$$\sigma_{m,d} \leq 0,96766 * 17,33 = 16,77 \left[\frac{N}{mm^2} \right] \quad (5.13)$$

$$2,82 \leq 16,77$$

OK, käyttöaste 17 %

5.3.2 Kiepahduskestävyys

Kiepahdustarkastelussa on tarkoitus tarkastaa säilyykö palkin stabiliteetti. Kiepahdus on ilmiö, jossa palkin puristettu reuna pyrkii kaatumaan sivulle. Vaikka kansi rakenne on lankutettu, voi kiepahdus tapahtua, siten että kumpikin palkki kiepahtaa yhtä aikaa. Joten kiepahdus tulee tutkia tapauksessa, jossa yhdistetty taivutusmomentti ja puristusvoima vaikuttavat. Eli täytyy täyttyä seuraava mitoitusehto:

Mitoittava kuormitusyhdistelmä KY1.

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit}f_{m,d}} \leq 1 \quad (5.14)$$

jossa,

$\sigma_{c,0,d}$	syysuuntaisen puristusjännityksen mitoitusarvo
$k_{c,z}$	nurjahduskerroin
$f_{c,0,d}$	puristuslujuuden mitoitusarvo
$\sigma_{m,d}$	taivutusjännityksen mitoitusarvo
k_{crit}	kerroin, jonka avulla otetaan huomioon kiepahdusriskin takia pienentynyt taivutuskestävyys

Kiepahduskestävyys tarkastelussa mitoittava kuormitusyhdistelmä on KY1.

Koska palkin määräävä kuormitus vaikuttaa palkin puristetunreunan korkeudella, niin tehollinen kiepahduspituus saadaan seuraavasti:

$$l_{ef} = a + 2h_m = 5000 + 2 * 270 = 5540 [mm] \quad (5.15)$$

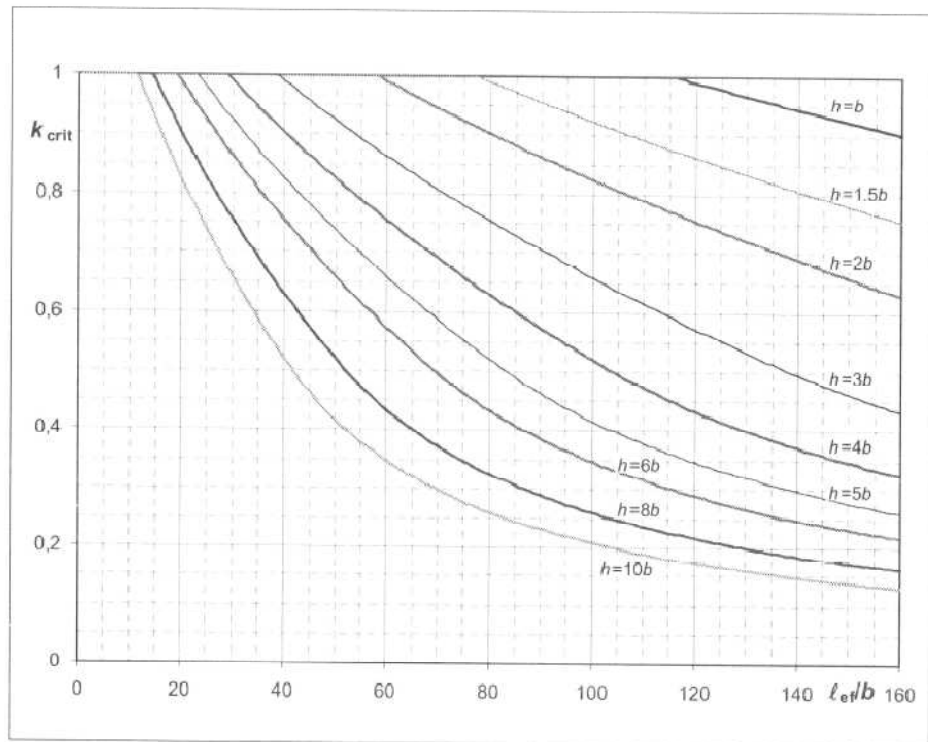
jossa,

a	kiepahdustuentaväli
h_m	palkin korkeus

k_{crit} -kerroin saadaan RIL 205-1-2009 s.77 taulukosta (KUVA 5.7). Vaadittavat arvot ovat :

$$l_{ef}/b = 5540/90 = 62 \quad 270 = 3b$$

Saadaan: $k_{crit} = 0,85$



Kuva 6.10S. Kiepauskertoimen k_{crit} riippuvuus palkin tehollisen pituuden l_{ef} suhteesta palkin leveyteen b eri palkin korkeuksilla h sahatavaran lujuusluokassa C30.

KUVA 5.7 Kiepauskertoimen määrittäjäkäyrästä

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N}{A} \quad (5.16)$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{34 \cdot 10^3}{90 \cdot 270} = 1,39 \left[\frac{N}{mm^2} \right] \quad (5.17)$$

Sijoitetaan arvot mitoituseseen:

$$\frac{1,39}{0,1078 \cdot 14,35} + \frac{21,3}{0,85 \cdot 17,33} \leq 1 \quad (5.18)$$

OK, käyttöaste 91 %

5.3.3 Leikkauskestävyys

Tasaisen kuorman aiheuttama leikkausvoima tuella:

$$V_d = R_A = 10,7 \text{ kN} \quad (5.19)$$

Leikkausjännitys:

$$\tau_d = \frac{3 V_d}{2 b \cdot h} = \frac{3 \cdot 10,7}{2 \cdot 90 \cdot 270} = 0,74 \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right] \quad (5.20)$$

Ehto leikkauskestävyydelle:

$$\tau_d \leq f_{v,d} = 1,73 \quad (5.21)$$

$$0,74 \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right] = 1,73 \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$$

OK käyttöaste 43 %

5.3.4 Syysuuntaa vastaan kohtisuora vetojännitys

Mitoitus tehdään olettaen, että palkkia ei ole käsitelty kosteuden siirtymistä estävällä pintakäsittelyllä. Tällöin mitoitus on myös varmallalla puolella. Harjavyöhykkeessä vaikuttavan suurimman syysuuntaa vastaan kohtisuoran vetojännityksen tulee täyttää ehto:

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} k_{vol} f_{t,90,d} \quad (5.22)$$

k_{dis} kerroin, jonka avulla otetaan huomioon jännitysten jakautumisen vaikutus harjavyöhykkeessä (harjavyöhyke määritellään s.26 KUVA 5.8.)

k_{vol} poikittaisen vetolujuuden mitoitusarvo

V_0 vertailutilavuus $0,01 \text{ m}^3$

V harjavyöhykkeen tilavuus, joka enintään $2V_b/3$, kun V_b on palkin kokonaistilavuus

$k_{dis} = 1,4$, kaarevat palkit

$$k_{vol} = \left(\frac{V_0}{V} \right)^{0,2} = \left(\frac{0,01}{0,111} \right)^{0,2} = 0,6179 \quad (5.23)$$

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \frac{6M_{ap,d}}{bh_{ap}^2} = 0,0106 * \frac{6*2,36}{90*270^2} = 0,03 \left[\frac{N}{mm^2} \right] \quad (5.24)$$

jossa,

$\sigma_{t,90,d}$ syysuuntaa vastaan kohtisuoran vetojännityksen mitoitusarvo

k_p kertoimen k_i arvo riippuu kaarevan osan säteestä ja palkin tyypistä eli siitä, onko palkin kaariosan korkeus vaihtuva vai tasainen

$M_{ap,d}$ taivutusmomentin mitoitusarvo harjan kohdalla (kaarevalla palkilla harjavyöhykkeen maksimimomentti)

h_{ap} palkin korkeus harjan kohdalla kuvan 5.8 mukaisesti

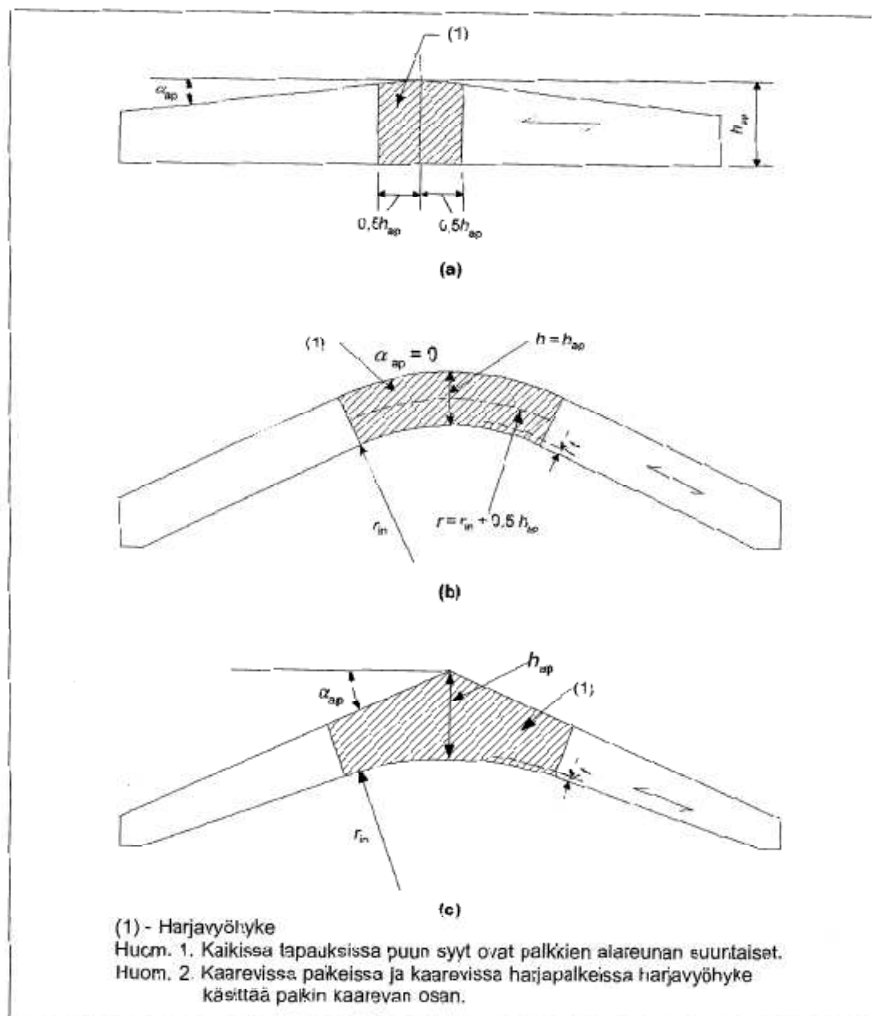
b palkin leveys

$$k_p = 0,25 * \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) = 0,25 * \left(\frac{270}{6365} \right) = 0,0106 \quad (5.25)$$

$$0,03 \left[\frac{N}{mm^2} \right] \leq 1,4 * 0,6179 * 0,2438 \left[\frac{N}{mm^2} \right] \quad (5.26)$$

$$0,03 \left[\frac{N}{mm^2} \right] \leq 0,21 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

OK käyttöaste 12,2 %



Kuva 6.12. Harjapalkki (a), kaareva palkki (b) ja kaareva harjapalkki (c) (ns. bumerangi-palkki) ja niiden harjavyöhykkeiden määritelmät.

Kaavoissa (6.55) ja (6.54):

p_d tasaisesti jakautunut kuorma, joka vaikuttaa palkin yläpinnalla harjavyöhykkeellä

b palkin leveys

$M_{ap,d}$ harjavyöhykkeellä vaikuttava, harjapalkin suoralle tai kaaren koveralle reunanalle vetojännityksiä aiheuttavan momentin mitoitusarvo

KUVA 5.8. Harjavyöhykkeen määritelmä.

5.3.5 Yhdistetty puristus- ja taivutusjännitys

Mitoittava kuormitusyhdistelmä on KY1. Seuraavan ehdon tulee toteutua:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z}f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1 \quad (5.27)$$

jossa,

$\sigma_{c,0,d}$	syysuuntaisen puristusjännityksen mitoitusarvo
$k_{c,z}$	nurjahduskerroin
$f_{c,0,d}$	puristuslujuuden mitoitusarvo
$\sigma_{m,y,d}$	taivutusjännityksen mitoitusarvo
k_m	kerroin, jonka avulla otetaan huomioon jännitys jakauman ja materiaalin epähomogeenisuuden vaikutus

$$\frac{1,39}{0,1078 * 14,35} + 0,7 * \frac{1,3}{17,33} \leq 1$$

OK käyttöaste 96 %

5.4 Vetotanko

Vetotanko toteutetaan puisella vetotangolla, joka mitoitetään seuraavaksi. Liitos liimapuukaareen tapahtuu naulalevy liitoksella, myös liitos mitoitetään.

10.1.1 Poikkileikkausvoimat ja tukireaktiot

Useimpien kuormitusnormien mukaan on tutkittava eri lumijakautumia esimerkiksi kuvan 10.4 mukaisesti. Tämä koskee ainakin sellaisia normeja, joita sovelletaan alueilla, joissa lumi-kuorma usein on mitoittava.

Kun kuorma jakautuu tasaisesti ja omapaino sisältyy suuremmista virheistä samaan laskelmaan, voidaan kolminivelisen paraabelikaaren reaktio- ja poikkileikkausvoimat laskea alla olevan yhtälön mukaan:

$$\text{Pystysuuntainen tukireaktio} \quad R = \frac{q_l \cdot l}{2} \quad (10.1)$$

$$\text{Vaakasuuruntainen tukireaktio} \quad H = \frac{q_l l^2}{8f} \quad (10.2)$$

$$\text{Maksimi normaaliavoima} \quad N = \sqrt{R^2 + H^2} \quad (10.3)$$

$$\text{Mielivaltaisen poikkileikkauksen normaaliavoima} \quad N = \sqrt{(R - q_l x)^2 + H^2} \quad (10.4)$$

$$\text{Mielivaltaisen poikkileikkauksen momentti} \quad M_{(x)} = 0 \quad (10.5)$$

KUVA 5.9 Liimapuukaaren poikkileikkausvoimat.

Vetotangon mitoittava kuormitusyhdistelmä on KY1.

Vetotangossa vaikuttava vetovoima lasketaan Carling, (2002) *Liimapuu käsikirjan* mukaan kaavasta:

$$H = \frac{ql^2}{8f} \quad (5.28)$$

$$H = \frac{5,28 * 5^2}{8 * 0,5} = 33 \text{ [kN]}$$

$$\sigma_{sall.} = \frac{F}{A} \quad (5.29)$$

$$f_{t,0,d} = \frac{k_{mod} * f_{t,0,k}}{\gamma_M} \quad (5.30)$$

$$f_{t,0,k} = 19,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{sall.} = 0,65 * \frac{19,5}{1,2} = 10,56 \text{ N/mm}^2 \quad (5.31)$$

$$A = \frac{F}{\sigma_{sall.}} = \frac{33 * 10^3}{10,56} = 3125 \text{ mm}^2 \quad (5.32)$$

Tämä vastaa esimerkiksi 50x70 puutavaraa. Liitettävyyden takia käytetään yhtä leveää puutavaraa kuin palkkikin on, joten leveys on 90 mm ja korkeus myös liitettävyyden takia 90 mm.

Myös liitosten tulee kestää sama vetovoima, joten lasketaan naulalevyliitoksen leikkauskestävyys käyttäen 4x60 ankkurikampanauloja Puurakenteiden lyhennetyn suunnitteluohjeen mukaan. Yksileikkeisen teräslevy liitoksen yhden leikkeen mitoitusarvo saadaan kaavasta:

$$R_d = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} * k_s * 120 * d^{1,7} \quad (5.33)$$

Jossa

γ_M liimapuun varmuuskerroin.

k_{mod} on muunnoskerroin, jonka avulla otetaan huomioon kuorman keston ja kosteuden vaikutus

d naulan halkaisija

ρ_k liimapuu GL32 ominaistiheys

$$k_s = 1,5 * k_p, \text{ kun paksulla teräslevyllä } t_t > d \text{ ja naulan tunkeuma } > 12d \quad (5.34)$$

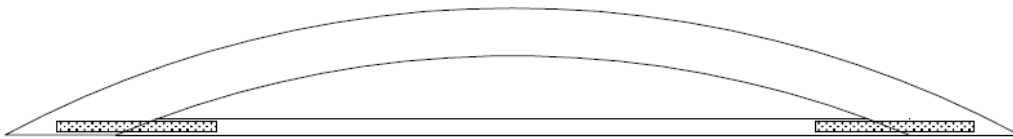
$$k_p = \sqrt{\frac{\rho_k}{350}} \quad (5.34)$$

$$k_p = \sqrt{\frac{410}{350}} = 1,0823$$

$$k_s = 1,5 * 1,0823 = 1,623$$

$$R_d = \frac{0,65}{1,2} * 1,623 * 120 * 4^{1,7} = 1113,6 \text{ N}$$

Naulamäärä saadaan $\frac{33000\text{N}}{1113,6\text{N}} = 30/\text{liitos}$.



Kuva 5.10 Vetotangon ohjeellinen kuva.

6 TYÖN TULOS

Insinööriyön tavoitteena oli tuottaa yritykselle valmiiksi lasketut taulukot vaadittavan poikkileikkauksen määrittämiseen. Työ eteni sovitusessa aikataulussa. Työn tuloksena syntyi pieni Excel-taulukko, joka kertoo täyttyvätkö mitoitus ehdot. Lähtötiedoiksi täytyy antaa voimasuureet, palkin mitat ja laskentalujuudet. Mitoitus tapahtuu kokeilemalla eri poikkileikkauksien mittoja.

Työtä tehdessä tein havainnon, että sillan rakennemalli vaikuttaa tosi paljon voimasuureisiin. Siltapalkin päiden ollessa liikkumattomat syntyy pieni momentti, mutta suuri normaalivoima. Jos taas sillan päät olisivat vapaat, noudattelee momenttikuvaaja normaalin suoranpalkin käyrää. Kun palkin päät ovat vapaat, on maksimimomentti noin kymmenen kertaa suurempi ja normaali voima huomattavasti pienempi. Nyt kun palkin päät on oletettu liikkumattomiksi, näyttää vaadittavan poikkileikkauksen korkeus tulevan hyvin lähelle leveyttä. Tämä johtuu suuresta puristavasta voimasta, jolloin palkki pyrkii nurjahtamaan. Koska palkki pyrkii nurjahtamaan aina heikompaan suuntaan, on poikkileikkaus oltava yhtä suuri jokaiseen suuntaan. Kun vielä otetaan taivutusmomentti huomioon päästään näin päättelemälläkin siihen, että palkki on hieman korkeampi kuin mitä on leveä.

Seuraavalla sivulla esimerkki KY1 tuloksista.

Kaaren mitoitus ohjelma

[Eurokoodi]

Sillan leveys **1.3** m

p_d = **5.28** kN/m Väli 0-5m

Kohde: Silta KY1

Liimapuu GL32
Aikaluokka: keskipitkä
Käyttöluokka: 3
Lamelli paksuus 30mm

Leveyttä ja korkeutta voi muuttaa



TAIVUTUS KESTÄVYYS

	L	M [kNm]	$\sigma_{m,d}$ [N/mm ²]	$k_r \times f_{md}$ [N/mm ²]	Mitoitusehto $\sigma_{m,d} < k_r \times f_{md}$ [N/mm ²]	käyttö aste [%]
b=	mm					
90	2	0.8	0.76	14.52	OK	5.33
h=	3	1	0.94	15.27	OK	6.16
270	4	1.2	1.12	16.02	OK	6.99
	5	1.4	1.30	16.77	OK	7.75
	6	1.5	1.39	17.33	OK	8.02
	7	1.9	1.76	17.33	OK	10.16
	8	2	1.85	17.33	OK	10.68
	9	2.1	1.94	17.33	OK	11.19
	10	2.2	2.03	17.33	OK	11.71
	11	2.4	2.21	17.33	OK	12.75
	12	2.4	2.21	17.33	OK	12.75

Leikkaus Kestävyys

L [m]	V [kN]	τ_d [N/mm ²]	f_{vd} [N/mm ²]	Mitoitusehto $\tau < f_{md}$ [N/mm ²]	käyttö aste [%]
2	5.28	0.33	1.73	OK	18.80
3	7.92	0.49	1.73	OK	28.21
4	10.56	0.65	1.73	OK	37.61
5	13.20	0.81	1.73	OK	47.01
6	15.84	0.98	1.73	OK	56.41
7	18.48	1.14	1.73	OK	65.81

8	21.12	1.30	1.73	OK
9	23.76	1.47	1.73	OK
10	26.40	1.63	1.73	OK
11	29.04	1.79	1.73	EI KÄY
12	31.68	1.96	1.73	EI KÄY

Syysuuntaa vastaan kohtisuora veto

L [m]	M [kNm]	$\sigma_{t,90,d}$ [N/mm ²]	$k_{dis} \times k_{vol} \times f_{t,90,d}$ [N/mm ²]	$\sigma_{t,90,d} <$	$k_{dis} \times k_{vol} \times f_{t,90,d}$ [N/mm ²]	käy
2	0.8	0.2	0.25	OK		
3	1.00	0.02	0.23	OK		
4	1.20	0.01	0.22	OK		
5	1.40	0.01	0.21	OK		
6	1.50	0.01	0.20	OK		
7	1.90	0.01	0.19	OK		
8	2.00	0.01	0.19	OK		
9	2.10	0.01	0.18	OK		
10	2.20	0.01	0.18	OK		
11	2.40	0.01	0.18	OK		
12	2.40	0.01	0.17	OK		

Kiepahdus: yhdistetty puristus ja taivutusjännitys

L [m]	$\sigma_{m,d}$ [N/mm ²]	$\sigma_{c,0,d}$	Mitoitusehto	käyttö aste [%]
2	2.41	0.423868313	0.068436493	6.84
3	0.91	0.744855967	0.181266063	18.13
4	1.10	1.0781893	0.454256244	45.43
5	1.28	1.399176955	0.910189865	91.02
6	1.37	1.711934156	1.591241859	159.12
7	1.74	2.032921811	2.563405042	256.34
8	1.83	2.362139918	3.8748576	387.49
9	1.92	2.641975309	5.469527332	546.95
10	2.01	2.950617284	7.52464214	752.46
11	2.19	3.193415638	9.841063484	984.11
12	2.19	3.497942387	12.80629496	1280.63

Yhdistetty puristus- ja taivutusjännitys

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

L [m]	$\sigma_{c,0,d}$	$\sigma_{m,d}$ [N/mm ²]	Mitoitusehto	käyttö aste [%]
2	0.42386831	2.52	0.150805529	15.08
3	0.74485597	0.94	0.216444057	21.64

4	1.0781893	1.12	0.495245213	49.52
5	1.39917695	1.30	0.956109677	95.61
6	1.71193416	1.39	1.638796549	163.88
7	2.03292181	1.76	2.618872733	261.89
8	2.36213992	1.85	3.929967242	393.00
9	2.64197531	1.94	5.523368292	552.34
10	2.95061728	2.03	7.576085636	757.61
11	3.19341564	2.21	9.888962025	988.90
12	3.49794239	2.21	12.84835877	1284.84

Vaikka erilaisia mitoitettavia palkkikokoja oli näinkin paljon, ne oli Excel-taulukoiden avulla helppo laskea. Kun myös voimasuureet lasketaan koneella, säästyy suurta vaivaa. Näin ollen palkit 2 - 12 metriin on saatu mitoitettua. Tiedot luovutetaan toimeksiantajalle ja näin ollen tehtävä on suoritettu.

Työ oli esiselvitystä mahdolliselle kaarevien liimapuupalkkien tuotannolle. Ennen kuin palkkeja aletaan julkisesti myydä, tarvittaisiin ehkä lisätutkimusta. Olisi hyvä tutkia palkkeja laboratoriossa eli tehdä niille kokeita erilaisilla kuormilla. Myös vertailua vastaaviin rakenteisiin olisi hyvä tehdä. Se kertoisi onko laskettu oikein. Näissä asioissa olisi esimerkiksi tuleville opinnäytetyön tekijöille tutkimisen paikka.

LÄHTEET

Carling, Olle. 2002. *Liimapuukäsikirja*. Wood Focus Oy/Suomen Liimapuuyhdistys ry.

Kortesmaa Markku. 1981. *Puurakenteet 4*. Helsinki. Rakentajain Kustannus Oy.

Kähkönen Leo. 1997. *Kantavat puurakenteet*. Helsinki. Rakennustieto Oy.

RIL 205-1-2009 *Puurakenteiden suunnitteluohje*. Eurokoodi EN 1995-1-1. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Frame Analysis 6.0.005

© StruSoft AB 2009

Frame1 2011-04-07

C:\Documents and

Settings\Käyttäjät\Työpöytä\Uusi

kansio\Kaari.fra

Insinööri-toimisto Laaturakenne Oy**SUMMARY**

7 joints

2 supports

0 springs

0 hinges

6 members

4 sections

24 loads

5 basic loadcase

3 loadcases

C:\Documents and Settings\Käyttäjät\Työpöytä\Uusi kansio\Kaari.fra

CONVENTIONS**LOCAL MEMBER DIRECTION**

The direction of a member is determined by the members orientation, in such a way that the start joint is the joint where the slope

of the member (w) with the global X-direction is larger than $-\pi/4$ (-45°) and less than or equal to $+3 \cdot \pi/4$ ($+135^\circ$).

GLOBAL DIRECTIONS

As global coordinate system is an ordinary cartesian right oriented coordinate system used, with positive X-direction pointing to the right, positive Y-direction pointing upwards and positive Z-direction (rotation) directed counter clockwise.

LOAD DIRECTIONS

When defining loads the following load directions are used:

X, H coincides with the global X-direction.

A coincides with the members local direction.

M, R coincides with the global Z-direction.

Y, V opposite directed to the global Y-direction.

L directed perpendicular to the member, rotated 90° clockwise with respect to the local member direction.

Prescribed joint displacements are positive when defined in the global directions.

SIGN CONVENTIONS

Displacements and reactions are positive in the global directions (to the right, upwards and counter clockwise). Axial forces

producing tension in the member is positive, shear forces is positive when directed downwards at the right of a point, moment is

positive when producing tension at the bottom of a member.

REACTIONS

Reactions are to be understood as external forces acting on the structure to produce equilibrium.

1 (23)

Frame Analysis 6.0.005

© StruSoft AB 2009

Frame1 2011-04-07

C:\Documents and

Settings\Käyttäjät\Työpöytä\Uusi

kansio\Kaari.fra

Insinööri-toimisto Laaturakenne Oy

Global X-direction.

Global Y-direction.

Global Z-direction.

Start joint

End joint

X,H

Y,V L

A

M,R

w

Joints

X (m)	Y (m)	X	Y	M	X (m)	Y (m)	X	Y	M	X (m)	Y (m)	X	Y	M	X (m)	Y (m)	X	Y	M	
1	0	0	R	R	3	2.000	0.480	5	3.000	0.480	7	5.000	0	R	R					
2	1.000	0.325	4	2.500	0.500	6	4.000	0.325												

Member

Name Joint 1 Joint 2 Initial- Name Joint 1 Joint 2 Initial-
(H=Hinge) (H=Hinge) bow imperfection. (H=Hinge) (H=Hinge) bow imperfection.

1 1 2 No 4 4 5 No
2 2 3 No 5 5 6 No
3 3 4 No 6 6 7 No

Joints

1
2
3 4 5
6
7

Member

1
2
3 4
5
6

2 (23)**Frame Analysis 6.0.005**

© StruSoft AB 2009

Frame1 2011-04-07

C:\Documents and

Settings\Käyttaja\Työpöytä\Uusi

kansio\Kaari.fra

Insinööritoimisto Laaturakenne Oy**Member****Section data**

Name Dir. Area I h z E-modulus
(m²) (m⁴) (m) (m) (kN/m²)

90x360 / L 40 x-x 3.240e-2 3.50e-4 0.360 0.180 1.04e7

Section/Member

Member Section Dir. Length (m) Weight (kg)

1 90x360 / L 40 x-x 1.051 17.713
2 90x360 / L 40 x-x 1.012 17.052
3 90x360 / L 40 x-x 0.500 8.430
4 90x360 / L 40 x-x 0.500 8.431
5 90x360 / L 40 x-x 1.012 17.049
6 90x360 / L 40 x-x 1.051 17.715
Sum 5.128 86.390

Section specification

Section Length (m) Number Weight (kg) Section Length (m) Number Weight (kg)

90x360 / L 40 1.051 1 17.713 90x360 / L 40 1.012 1 17.049
90x360 / L 40 1.012 1 17.052 90x360 / L 40 1.051 1 17.715
90x360 / L 40 0.500 1 8.430
90x360 / L 40 0.500 1 8.431 Sum 5.128 6 86.390

3 (23)**Frame Analysis 6.0.005**

© StruSoft AB 2009

Frame1 2011-04-07

C:\Documents and

Settings\Käyttaja\Työpöytä\Uusi

kansio\Kaari.fra

Insinööritoimisto Laaturakenne Oy**Basic loadcase: Omapaino****Basic loadcase - Omapaino**

1
2
3 4
5
6
1
2
3 4 5
6
7

Uniform load

1
2
3 4
5
6
1
2
3 4 5
6
7

Uniform load

Member Dir. Load intensity L1(m) L2(m) Member Dir. Load intensity L1(m) L2(m)

1 Y / q(kN/m) 1.4 0 0 4 Y / q(kN/m) 1.4 0 0
2 Y / q(kN/m) 1.4 0 0 5 Y / q(kN/m) 1.4 0 0
3 Y / q(kN/m) 1.4 0 0 6 Y / q(kN/m) 1.4 0 0

Basic loadcase: Hyötykuorma**Basic loadcase - Hyötykuorma**

1
2
3 4
5

6
1
2
345
6
7

Uniform load

1
2
34
5
6
1
2
345
6
7

Uniform load

Member	Dir.	Load intensity	L1(m)	L2(m)	Member	Dir.	Load intensity	L1(m)	L2(m)
1	Y	q(kN/m)	3.9	0 0 4	Y	q(kN/m)	3.9	0 0	
3	Y	q(kN/m)	3.9	0 0 5	Y	q(kN/m)	3.9	0 0	
2	Y	q(kN/m)	3.9	0 0 6	Y	q(kN/m)	3.9	0 0	

4 (23)

Frame Analysis 6.0.005

© StruSoft AB 2009

Frame1 2011-04-07

C:\Documents and

Settings\Käyttäjät\Työpöytä\Uusi

kansio\Kaari.fra

Insinööritoimisto Laaturakenne Oy

Basic loadcase: hyötykuorma toispuolinen

Basic loadcase - hyötykuorma toispuolinen

1
2
34
5
6
1
2
345
6
7

Uniform load

1
2
34
5
6
1
2
345
6
7

Uniform load

Member	Dir.	Load intensity	L1(m)	L2(m)	Member	Dir.	Load intensity	L1(m)	L2(m)
1	Y	q(kN/m)	3.9	0 0 3	Y	q(kN/m)	3.9	0 0	
2	Y	q(kN/m)	3.9	0 0					

Basic loadcase: toispuolinen puolikashyötykuorma

Basic loadcase - toispuolinen

puolikashyötykuorma

1
2
34
5
6
1
2
345
6
7

Uniform load

1
2
34
5
6
1
2
345
6
7

Uniform load

Member	Dir.	Load intensity	L1(m)	L2(m)	Member	Dir.	Load intensity	L1(m)	L2(m)
1	Y	q(kN/m)	2.0	0 0 3	Y	q(kN/m)	2.0	0 0	
2	Y	q(kN/m)	2.0	0 0					

5 (23)

Frame Analysis 6.0.005

© StruSoft AB 2009

Frame1 2011-04-07

C:\Documents and

Settings\Käyttäjät\Työpöytä\Uusi

kansio\Kaari.fra

Insinööritoimisto Laaturakenne Oy

Basic loadcase: puolikashyötykuorma koko matkall

Basic loadcase - puolikashyötykuorma koko

matkall

1
2
34

5
6
1
2
345
6
7

Uniform load

1
2
34
5
6
1
2
345
6
7

Uniform load

Member	Dir.	Load intensity	L1(m)	L2(m)	Member	Dir.	Load intensity	L1(m)	L2(m)
1	Y	q(kN/m)	2.0	0 0	4	Y	q(kN/m)	2.0	0 0
2	Y	q(kN/m)	2.0	0 0	5	Y	q(kN/m)	2.0	0 0
3	Y	q(kN/m)	2.0	0 0	6	Y	q(kN/m)	2.0	0 0

Basic loadcase

Name Des. Name Des.

Omapaino B1 toispuolinen puolikashyötykuorma B4
Hyötykuorma B2 puolikashyötykuorma koko matkall B5
hyötykuorma toispuolinen B3

Loadcase

Name Combination Name Combination Name Combination

1 KY1 B1+B2 2 KY2 B1+B3 3 Ky3 B1+B4+B5

Results

Max pos. moment - 1. order

Member	M	kNm	V	kN	N	kN	Loadcase	Member	M	kNm	V	kN	N	kN	Loadcase
1	1.905	0.165	-20.783	KY2	4	1.105	-0.059	-31.396	KY1						
2	2.361	-0.261	-19.915	KY2	5	1.396	0.109	-31.727	KY1						
3	1.565	-0.614	-19.709	KY2	6	0.966	0.045	-32.970	KY1						

Max pos. moment - 2. order

Member	M	kNm	V	kN	N	kN	Loadcase	Member	M	kNm	V	kN	N	kN	Loadcase
1	1.911	0.171	-20.806	KY2	4	1.107	-0.059	-31.456	KY1						
2	2.368	0.262	-20.021	KY2	5	1.398	0.108	-31.786	KY1						
3	1.569	-0.621	-19.732	KY2	6	0.967	0.044	-33.027	KY1						

6 (23)

Frame Analysis 6.0.005

© StruSoft AB 2009

Frame1 2011-04-07

C:\Documents and

Settings\Käyttäjäl\Työpöytä\Uusi

kansio\Kaari.fra

Insinööritoimisto Laaturakenne Oy

Max neg. moment - 1. order

Member	M	kNm	V	kN	N	kN	Loadcase	Member	M	kNm	V	kN	N	kN	Loadcase
1	0	4.365	-22.146	KY2	4	-0.410	-2.357	-19.828	KY2						
2	0.521	3.010	-32.218	KY1	5	-1.184	-1.441	-20.176	KY2						
3	0.601	-3.239	-19.606	KY2	6	-1.184	1.801	-20.147	KY2						

Max neg. moment - 2. order

Member	M	kNm	V	kN	N	kN	Loadcase	Member	M	kNm	V	kN	N	kN	Loadcase
1	0.001	3.121	-34.049	KY1	4	-0.412	-2.364	-19.852	KY2						
2	0.523	3.011	-32.277	KY1	5	-1.190	-1.443	-20.200	KY2						
3	0.602	-3.246	-19.630	KY2	6	-1.190	1.807	-20.170	KY2						

Max stresses - 1. order

Member	Sig	MPa	Loadcase	Member	Sig	MPa	Loadcase	Member	Sig	MPa	Loadcase
1	0.3	KY2	3	0.2	KY2	5	0	KY2			
2	0.6	KY2	4	-0.3	KY2	6	0	KY2			

Max stresses - 2. order

Member	Sig	MPa	Loadcase	Member	Sig	MPa	Loadcase	Member	Sig	MPa	Loadcase
1	0.3	KY2	3	0.2	KY2	5	0	KY2			
2	0.6	KY2	4	-0.3	KY2	6	0	KY2			

Equilibrium check - 1. order

Loadcase	X-dir.	Y-dir.	X-dir.	Y-dir.	Loadcase	X-dir.	Y-dir.	X-dir.	Y-dir.
kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN
KY1	0	-26.920	0	26.920	Ky3	0	-21.921	0	21.921
KY2	0	-16.921	0	16.921					

Equilibrium check - 2. order

Loadcase	X-dir.	Y-dir.	X-dir.	Y-dir.	Loadcase	X-dir.	Y-dir.	X-dir.	Y-dir.
kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN
KY1	0	-26.920	0	26.920	Ky3	0	-21.921	0	21.921
KY2	0	-16.921	0	16.921					

Max pos. shear force - 1. order

Member	M	kNm	V	kN	N	kN	Loadcase	Member	M	kNm	V	kN	N	kN	Loadcase
1	0	4.365	-22.146	KY2	4	0.956	1.254	-31.344	KY1						

2 0.521 3.010 -32.218 KY1 5 0.927 2.209 -31.401 KY1
 3 0.911 1.402 -31.447 KY1 6 0.505 2.145 -32.287 KY1

Max pos. shear force - 2. order

Member M kNm V kN N kN Loadcase Member M kNm V kN N kN Loadcase
 1 0.001 4.371 -22.169 KY2 4 0.958 1.254 -31.404 KY1
 2 0.523 3.011 -32.277 KY1 5 0.929 2.208 -31.460 KY1
 3 0.913 1.402 -31.507 KY1 6 0.507 2.144 -32.344 KY1

Min neg. shear force - 1. order

Member M kNm V kN N kN Loadcase Member M kNm V kN N kN Loadcase
 1 0.521 -2.130 -32.288 KY1 4 -0.410 -2.357 -19.828 KY2
 2 1.565 -2.886 -19.506 KY2 5 0.505 -3.041 -32.215 KY1
 3 0.601 -3.239 -19.606 KY2 6 0 -3.105 -33.993 KY1

7 (23)

Frame Analysis 6.0.005

© StruSoft AB 2009

Frame1 2011-04-07

C:\Documents and

Settings\Käyttäjät\Työpöytä\Uusi

kansio\Kaari.fra

Insinööritoimisto Laaturakenne Oy

Min neg. shear force - 2. order

Member M kNm V kN N kN Loadcase Member M kNm V kN N kN Loadcase
 1 0.522 -2.129 -32.345 KY1 4 -0.412 -2.364 -19.852 KY2
 2 1.570 -2.889 -19.529 KY2 5 0.507 -3.042 -32.274 KY1
 3 0.602 -3.246 -19.630 KY2 6 0.001 -3.106 -34.050 KY1

Max pos. axial force - 1. order

Member M kNm V kN N kN Loadcase Member M kNm V kN N kN Loadcase
 1 1.830 -0.885 -20.443 KY2 4 0.601 -1.682 -19.801 KY2
 2 1.565 -2.886 -19.506 KY2 5 -0.410 -0.091 -19.967 KY2
 3 0.601 -3.239 -19.606 KY2 6 -1.184 1.801 -20.147 KY2

Max pos. axial force - 2. order

Member M kNm V kN N kN Loadcase Member M kNm V kN N kN Loadcase
 1 1.837 -0.879 -20.465 KY2 4 0.602 -1.689 -19.825 KY2
 2 1.570 -2.889 -19.529 KY2 5 -0.413 -0.093 -19.991 KY2
 3 0.602 -3.246 -19.630 KY2 6 -1.190 1.807 -20.170 KY2

Min neg. axial force - 1. order

Member M kNm V kN N kN Loadcase Member M kNm V kN N kN Loadcase
 1 0 3.120 -33.992 KY1 4 0.927 -1.371 -31.449 KY1
 2 0.521 3.010 -32.218 KY1 5 0.505 -3.041 -32.215 KY1
 3 0.911 1.402 -31.447 KY1 6 0 -3.105 -33.993 KY1

Min neg. axial force - 2. order

Member M kNm V kN N kN Loadcase Member M kNm V kN N kN Loadcase
 1 0.001 3.121 -34.049 KY1 4 0.928 -1.371 -31.509 KY1
 2 0.523 3.011 -32.277 KY1 5 0.507 -3.042 -32.274 KY1
 3 0.913 1.402 -31.507 KY1 6 0.001 -3.106 -34.050 KY1

Min neg. stresses - 1. order

Member Sig MPa Loadcase Member Sig MPa Loadcase Member Sig MPa Loadcase
 1 -1.6 KY2 3 -1.5 KY1 5 -1.7 KY1
 2 -1.8 KY2 4 -1.5 KY1 6 -1.5 KY1

Min neg. stresses - 2. order

Member Sig MPa Loadcase Member Sig MPa Loadcase Member Sig MPa Loadcase
 1 -1.6 KY2 3 -1.5 KY1 5 -1.7 KY1
 2 -1.8 KY2 4 -1.5 KY1 6 -1.5 KY1

Max abs. moment - 1. order

Member M kNm V kN N kN Loadcase Member M kNm V kN N kN Loadcase
 1 1.905 0.165 -20.783 KY2 4 1.105 -0.059 -31.396 KY1
 2 2.361 -0.261 -19.915 KY2 5 1.396 0.109 -31.727 KY1
 3 1.565 -0.614 -19.709 KY2 6 -1.184 1.801 -20.147 KY2

Max abs. moment - 2. order

Member M kNm V kN N kN Loadcase Member M kNm V kN N kN Loadcase
 1 1.911 0.171 -20.806 KY2 4 1.107 -0.059 -31.456 KY1
 2 2.368 0.262 -20.021 KY2 5 1.398 0.108 -31.786 KY1
 3 1.569 -0.621 -19.732 KY2 6 -1.190 1.807 -20.170 KY2

8 (23)

Frame Analysis 6.0.005

© StruSoft AB 2009

Frame1 2011-04-07

C:\Documents and

Settings\Käyttäjät\Työpöytä\Uusi

kansio\Kaari.fra

Insinööritoimisto Laaturakenne Oy

Max abs. shear force - 1. order

Member M kNm V kN N kN Loadcase Member M kNm V kN N kN Loadcase

1 0 4.365 -22.146 KY2 4 -0.410 -2.357 -19.828 KY2
 2 0.521 3.010 -32.218 KY1 5 0.505 -3.041 -32.215 KY1
 3 0.601 -3.239 -19.606 KY2 6 0 -3.105 -33.993 KY1

Max abs. shear force - 2. order

Member M kNm V kN N kN Loadcase Member M kNm V kN N kN Loadcase
 1 0.001 4.371 -22.169 KY2 4 -0.412 -2.364 -19.852 KY2
 2 0.523 3.011 -32.277 KY1 5 0.507 -3.042 -32.274 KY1
 3 0.602 -3.246 -19.630 KY2 6 0.001 -3.106 -34.050 KY1

Max abs. stresses - 1. order

Member Sig MPa Loadcase Member Sig MPa Loadcase Member Sig MPa Loadcase
 1 1.6 KY2 3 1.5 KY1 5 1.7 KY1
 2 1.8 KY2 4 1.5 KY1 6 1.5 KY1

Max abs. stresses - 2. order

Member Sig MPa Loadcase Member Sig MPa Loadcase Member Sig MPa Loadcase
 1 1.6 KY2 3 1.5 KY1 5 1.7 KY1
 2 1.8 KY2 4 1.5 KY1 6 1.5 KY1

Max abs. axial force - 1. order

Member M kNm V kN N kN Loadcase Member M kNm V kN N kN Loadcase
 1 0 3.120 -33.992 KY1 4 0.927 -1.371 -31.449 KY1
 2 0.521 3.010 -32.218 KY1 5 0.505 -3.041 -32.215 KY1
 3 0.911 1.402 -31.447 KY1 6 0 -3.105 -33.993 KY1

Max abs. axial force - 2. order

Member M kNm V kN N kN Loadcase Member M kNm V kN N kN Loadcase
 1 0.001 3.121 -34.049 KY1 4 0.928 -1.371 -31.509 KY1
 2 0.523 3.011 -32.277 KY1 5 0.507 -3.042 -32.274 KY1
 3 0.913 1.402 -31.507 KY1 6 0.001 -3.106 -34.050 KY1

Loadcase - KY1 Moment - 1., 2. order

kNm
 0.2
 Loadcase - KY1 Axial force - 1., 2. order

kN
 0.60
9(23)

Frame Analysis 6.0.005

© StruSoft AB 2009

Frame1 2011-04-07

C:\Documents and

Settings\Käyttäjät\Työpöytä\Uusi

kansio\Kaari.fra

Insinööritoimisto Laaturakenne Oy

Loadcase - KY1 Shear force - 1., 2. order

kN
 0.6
 Loadcase - KY1 Deflection - 1., 2. order

mm
 0.2
Loadcase - KY1 Joint forces - 1. order

Member Joint M kNm V kN N kN Member Joint M kNm V kN N kN
 1 1 0 3.120 -33.992 4 4 0.956 1.254 -31.344
 2 0.521 -2.130 -32.288 5 0.927 -1.371 -31.449
 2 2 0.521 3.010 -32.218 5 5 0.927 2.209 -31.401
 3 0.911 -2.240 -31.399 6 0.505 -3.041 -32.215
 3 3 0.911 1.402 -31.447 6 6 0.505 2.145 -32.287
 4 0.956 -1.223 -31.345 7 0 -3.105 -33.993

Loadcase - KY1 Joint forces - 2. order

Member Joint M kNm V kN N kN Member Joint M kNm V kN N kN
 1 1 0.001 3.121 -34.049 4 4 0.958 1.254 -31.404
 2 0.522 -2.129 -32.345 5 0.928 -1.371 -31.509
 2 2 0.523 3.011 -32.277 5 5 0.929 2.208 -31.460
 3 0.914 -2.239 -31.458 6 0.507 -3.042 -32.274
 3 3 0.913 1.402 -31.507 6 6 0.507 2.144 -32.344
 4 0.958 -1.223 -31.405 7 0.001 -3.106 -34.050

Joint deflections - 1. order Loadcase: KY1

Joint ux mm uy mm fi rad Joint ux mm uy mm fi rad Joint ux mm uy mm fi rad
 1 0 0 -0.001 4 0 -0.981 0 7 0 0 0.001
 2 0.091 -0.614 0 5 -0.045 -0.943 0
 3 0.045 -0.943 0 6 -0.091 -0.613 0

Joint deflections - 2. order Loadcase: KY1

Joint ux mm uy mm fi rad Joint ux mm uy mm fi rad Joint ux mm uy mm fi rad
 1 0 0 -0.001 4 0 -0.983 0 7 0 0 0.001
 2 0.091 -0.616 0 5 -0.045 -0.945 0
 3 0.045 -0.945 0 6 -0.091 -0.615 0

Support reactions - 1. order Loadcase: KY1

Joint Rx kN Ry kN Rm kNm Joint Rx kN Ry kN Rm kNm
 1 31.369 13.460 0 7 -31.369 13.460 0

Support reactions - 2. order Loadcase: KY1

Joint Rx kN Ry kN Rm kNm Joint Rx kN Ry kN Rm kNm
 1 31.429 13.460 0 7 -31.429 13.460 0

10 (23)

Frame Analysis 6.0.005

© StruSoft AB 2009

Frame1 2011-04-07

C:\Documents and

Settings\Käyttäjät\Työpöytä\Uusi

kansio\Kaari.fra

Insinööri-toimisto Laaturakenne Oy**Loadcase - KY1 Member : 1 Section values - 1. order**

Length m M kNm V kN N kN Length m M kNm V kN N kN

0 0 3.120 -33.992 1.051 0.521 -2.130 -32.288

0.631 0.975 -0.030 -32.970

Loadcase - KY1 Member : 1 Section values - 2. order

Length m M kNm V kN N kN Length m M kNm V kN N kN

0 0 0.001 3.121 -34.049 1.051 0.522 -2.129 -32.345

0.631 0.976 -0.029 -33.027

Loadcase - KY1 Member : 1 Stresses - 1. order

Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa

0 -1.049 -1.049 -1.049 1.051 -1.265 -0.997 -0.729

0.631 -1.519 -1.018 -0.516

Loadcase - KY1 Member : 1 Stresses - 2. order

Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa

0 -1.051 -1.051 -1.051 1.051 -1.267 -0.998 -0.730

0.631 -1.521 -1.019 -0.517

Loadcase - KY1 Member : 1 Deflection - 1. order

Length m u mm y mm Length m u mm y mm

0 0 0 1.051 0.091 -0.614

Loadcase - KY1 Member : 1 Deflection - 2. order

Length m u mm y mm Length m u mm y mm

0 0 0 1.051 0.091 -0.616

Loadcase - KY1 Member : 2 Section values - 1. order

Length m M kNm V kN N kN Length m M kNm V kN N kN

0 0.521 3.010 -32.218 1.012 0.911 -2.240 -31.399

0.607 1.393 -0.140 -31.727

Loadcase - KY1 Member : 2 Section values - 2. order

Length m M kNm V kN N kN Length m M kNm V kN N kN

0 0.523 3.011 -32.277 1.012 0.914 -2.239 -31.458

0.607 1.395 -0.139 -31.786

Loadcase - KY1 Member : 2 Stresses - 1. order

Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa

0 -1.262 -0.994 -0.726 1.012 -1.438 -0.969 -0.500

0.607 -1.696 -0.979 -0.263

Loadcase - KY1 Member : 2 Stresses - 2. order

Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa

0 -1.265 -0.996 -0.727 1.012 -1.441 -0.971 -0.501

0.607 -1.699 -0.981 -0.263

Loadcase - KY1 Member : 2 Deflection - 1. order

Length m u mm y mm Length m u mm y mm

0 0 0.091 -0.614 1.012 0.045 -0.943

11 (23)

Frame Analysis 6.0.005

© StruSoft AB 2009

Frame1 2011-04-07

C:\Documents and

Settings\Käyttäjät\Työpöytä\Uusi

kansio\Kaari.fra

Insinööri-toimisto Laaturakenne Oy**Loadcase - KY1 Member : 2 Deflection - 2. order**

Length m u mm y mm Length m u mm y mm

0 0 0.091 -0.616 1.012 0.045 -0.945

Loadcase - KY1 Member : 3 Section values - 1. order

Length m M kNm V kN N kN Length m M kNm V kN N kN

0 0.911 1.402 -31.447 0.500 0.956 -1.223 -31.345

0.250 1.098 0.090 -31.396

Loadcase - KY1 Member : 3 Section values - 2. order

Length m M kNm V kN N kN Length m M kNm V kN N kN

0 0.913 1.402 -31.507 0.500 0.958 -1.223 -31.405

0.250 1.100 0.090 -31.456

Loadcase - KY1 Member : 3 Stresses - 1. order

Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa

0 -1.439 -0.971 -0.502 0.500 -1.459 -0.967 -0.476

0.250 -1.534 -0.969 -0.404

Loadcase - KY1 Member : 3 Stresses - 2. order
 Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa
 0 -1.442 -0.972 -0.503 0.500 -1.462 -0.969 -0.477
 0.250 -1.536 -0.971 -0.405

Loadcase - KY1 Member : 3 Deflection - 1. order
 Length m u mm y mm Length m u mm y mm
 0 0.045 -0.943 0.500 0 -0.981

Loadcase - KY1 Member : 3 Deflection - 2. order
 Length m u mm y mm Length m u mm y mm
 0 0.045 -0.945 0.500 0 -0.983

Loadcase - KY1 Member : 4 Section values - 1. order
 Length m M kNm V kN N kN Length m M kNm V kN N kN
 0 0.956 1.254 -31.344 0.500 0.927 -1.371 -31.449
 0.250 1.105 -0.059 -31.396

Loadcase - KY1 Member : 4 Section values - 2. order
 Length m M kNm V kN N kN Length m M kNm V kN N kN
 0 0.958 1.254 -31.404 0.500 0.928 -1.371 -31.509
 0.250 1.107 -0.059 -31.456

Loadcase - KY1 Member : 4 Stresses - 1. order
 Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa
 0 -1.459 -0.967 -0.476 0.500 -1.447 -0.971 -0.494
 0.250 -1.538 -0.969 -0.400

Loadcase - KY1 Member : 4 Stresses - 2. order
 Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa
 0 -1.462 -0.969 -0.477 0.500 -1.450 -0.972 -0.495
 0.250 -1.540 -0.971 -0.401

12 (23)
 Frame Analysis 6.0.005
 © StruSoft AB 2009
 Frame1 2011-04-07
 C:\Documents and
 Settings\Käyttäjät\Työpöytä\Uusi
 kansio\Kaari.fra

Insinööri-toimisto Laaturakenne Oy

Loadcase - KY1 Member : 4 Deflection - 1. order
 Length m u mm y mm Length m u mm y mm
 0 0 -0.981 0.500 -0.045 -0.943

Loadcase - KY1 Member : 4 Deflection - 2. order
 Length m u mm y mm Length m u mm y mm
 0 0 -0.983 0.500 -0.045 -0.945

Loadcase - KY1 Member : 5 Section values - 1. order
 Length m M kNm V kN N kN Length m M kNm V kN N kN
 0 0.927 2.209 -31.401 1.012 0.505 -3.041 -32.215
 0.405 1.396 0.109 -31.727

Loadcase - KY1 Member : 5 Section values - 2. order
 Length m M kNm V kN N kN Length m M kNm V kN N kN
 0 0.929 2.208 -31.460 1.012 0.507 -3.042 -32.274
 0.405 1.398 0.108 -31.786

Loadcase - KY1 Member : 5 Stresses - 1. order
 Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa
 0 -1.446 -0.969 -0.493 1.012 -1.254 -0.994 -0.734
 0.405 -1.697 -0.979 -0.261

Loadcase - KY1 Member : 5 Stresses - 2. order
 Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa
 0 -1.449 -0.971 -0.493 1.012 -1.257 -0.996 -0.735
 0.405 -1.700 -0.981 -0.262

Loadcase - KY1 Member : 5 Deflection - 1. order
 Length m u mm y mm Length m u mm y mm
 0 -0.045 -0.943 1.012 -0.091 -0.613

Loadcase - KY1 Member : 5 Deflection - 2. order
 Length m u mm y mm Length m u mm y mm
 0 -0.045 -0.945 1.012 -0.091 -0.615

Loadcase - KY1 Member : 6 Section values - 1. order
 Length m M kNm V kN N kN Length m M kNm V kN N kN
 0 0.505 2.145 -32.287 1.051 0 -3.105 -33.993
 0.421 0.966 0.045 -32.970

Loadcase - KY1 Member : 6 Section values - 2. order
 Length m M kNm V kN N kN Length m M kNm V kN N kN
 0 0.507 2.144 -32.344 1.051 0.001 -3.106 -34.050
 0.421 0.967 0.044 -33.027

Loadcase - KY1 Member : 6 Stresses - 1. order
 Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa
 0 -1.256 -0.997 -0.737 1.051 -1.049 -1.049 -1.049

0.421 -1.514 -1.018 -0.521

13 (23)

Frame Analysis 6.0.005

© StruSoft AB 2009

Frame1 2011-04-07

C:\Documents and
Settings\Käyttäjät\Työpöytä\Uusi
kansio\Kaari.fra

Insinööritoimisto Laaturakenne Oy

Loadcase - KY1 Member : 6 Stresses - 2. order

Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa

0 -1.259 -0.998 -0.738 1.051 -1.051 -1.051 -1.051

0.421 -1.517 -1.019 -0.522

Loadcase - KY1 Member : 6 Deflection - 1. order

Length m u mm y mm Length m u mm y mm

0 -0.091 -0.613 1.051 0 0

Loadcase - KY1 Member : 6 Deflection - 2. order

Length m u mm y mm Length m u mm y mm

0 -0.091 -0.615 1.051 0 0

Loadcase - KY2 Moment - 1., 2. order

kNm

0.4

Loadcase - KY2 Axial force - 1., 2. order

kN

0.40

Loadcase - KY2 Shear force - 1., 2. order

kN

0.8

Loadcase - KY2 Deflection - 1., 2. order

mm

0.1

Loadcase - KY2 Joint forces - 1. order

Member Joint M kNm V kN N kN Member Joint M kNm V kN N kN

1 1 0 4.365 -22.146 4 4 0.601 -1.682 -19.801

2 1.830 -0.885 -20.443 5 -0.410 -2.357 -19.828

2 2 1.830 2.364 -20.325 5 5 -0.410 -0.091 -19.967

3 1.565 -2.886 -19.506 6 -1.184 -1.441 -20.176

3 3 1.565 -0.614 -19.709 6 6 -1.184 1.801 -20.147

4 0.601 -3.239 -19.606 7 0 0.451 -20.586

14 (23)

Frame Analysis 6.0.005

© StruSoft AB 2009

Frame1 2011-04-07

C:\Documents and
Settings\Käyttäjät\Työpöytä\Uusi
kansio\Kaari.fra

Insinööritoimisto Laaturakenne Oy

Loadcase - KY2 Joint forces - 2. order

Member Joint M kNm V kN N kN Member Joint M kNm V kN N kN

1 1 0.001 4.371 -22.169 4 4 0.602 -1.689 -19.825

2 1.837 -0.879 -20.465 5 -0.412 -2.364 -19.852

2 2 1.837 2.361 -20.348 5 5 -0.413 -0.093 -19.991

3 1.570 -2.889 -19.529 6 -1.190 -1.443 -20.200

3 3 1.569 -0.621 -19.732 6 6 -1.190 1.807 -20.170

4 0.602 -3.246 -19.630 7 0 0.457 -20.609

Joint deflections - 1. order Loadcase: KY2

Joint ux mm uy mm fi rad Joint ux mm uy mm fi rad Joint ux mm uy mm fi rad

1 0 0 -0.001 4 0.065 -0.617 0 7 0 0 0

2 0.144 -0.660 0 5 0.043 -0.424 0

3 0.100 -0.762 0 6 0.030 -0.112 0

Joint deflections - 2. order Loadcase: KY2

Joint ux mm uy mm fi rad Joint ux mm uy mm fi rad Joint ux mm uy mm fi rad

1 0 0 -0.001 4 0.065 -0.618 0 7 0 0 0

2 0.145 -0.661 0 5 0.043 -0.424 0

3 0.100 -0.763 0 6 0.031 -0.112 0

Support reactions - 1. order Loadcase: KY2

Joint Rx kN Ry kN Rm kNm Joint Rx kN Ry kN Rm kNm

1 19.718 10.988 0 7 -19.718 5.934 0

Support reactions - 2. order Loadcase: KY2

Joint Rx kN Ry kN Rm kNm Joint Rx kN Ry kN Rm kNm

1 19.741 10.987 0 7 -19.741 5.934 0

Loadcase - KY2 Member : 1 Section values - 1. order

Length m M kNm V kN N kN Length m M kNm V kN N kN

0 0 4.365 -22.146 1.051 1.830 -0.885 -20.443

0.841 1.905 0.165 -20.783

Loadcase - KY2 Member : 1 Section values - 2. order

Length m M kNm V kN N kN Length m M kNm V kN N kN

0 0.001 4.371 -22.169 1.051 1.837 -0.879 -20.465
0.841 1.911 0.171 -20.806

Loadcase - KY2 Member : 1 Stresses - 1. order

Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa
0 -0.684 -0.684 -0.684 0.946 -1.615 -0.637 0.341
0.841 -1.621 -0.641 0.339

Loadcase - KY2 Member : 1 Stresses - 2. order

Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa
0 -0.685 -0.684 -0.684 0.946 -1.615 -0.637 0.341
0.841 -1.625 -0.642 0.341 1.051 -1.576 -0.632 0.313

Loadcase - KY2 Member : 1 Deflection - 1. order

Length m u mm y mm Length m u mm y mm
0 0 0 1.051 0.144 -0.660

15 (23)

Frame Analysis 6.0.005

© StruSoft AB 2009

Frame1 2011-04-07

C:\Documents and

Settings\Käyttäjäl\Työpöytä\Uusi

kansio\Kaari.fra

Insinööritoimisto Laaturakenne Oy

Loadcase - KY2 Member : 1 Deflection - 2. order

Length m u mm y mm Length m u mm y mm
0 0 0 1.051 0.145 -0.661

Loadcase - KY2 Member : 2 Section values - 1. order

Length m M kNm V kN N kN Length m M kNm V kN N kN
0 1.830 2.364 -20.325 1.012 1.565 -2.886 -19.506
0.506 2.361 -0.261 -19.915

Loadcase - KY2 Member : 2 Section values - 2. order

Length m M kNm V kN N kN Length m M kNm V kN N kN
0 1.837 2.361 -20.348 1.012 1.570 -2.889 -19.529
0.405 2.368 0.262 -20.021

Loadcase - KY2 Member : 2 Stresses - 1. order

Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa
0 -1.568 -0.627 0.314 0.506 -1.829 -0.615 0.600
0.405 -1.832 -0.617 0.597 1.012 -1.407 -0.602 0.203

Loadcase - KY2 Member : 2 Stresses - 2. order

Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa
0 -1.573 -0.628 0.317 0.506 -1.833 -0.615 0.603
0.405 -1.836 -0.618 0.600 1.012 -1.410 -0.603 0.205

Loadcase - KY2 Member : 2 Deflection - 1. order

Length m u mm y mm Length m u mm y mm Length m u mm y mm
0 0.144 -0.660 0.708 0.123 -0.796 1.012 0.100 -0.762

Loadcase - KY2 Member : 2 Deflection - 2. order

Length m u mm y mm Length m u mm y mm Length m u mm y mm
0 0.145 -0.661 0.708 0.123 -0.797 1.012 0.100 -0.763

Loadcase - KY2 Member : 3 Section values - 1. order

Length m M kNm V kN N kN Length m M kNm V kN N kN
0 1.565 -0.614 -19.709 0.500 0.601 -3.239 -19.606

Loadcase - KY2 Member : 3 Section values - 2. order

Length m M kNm V kN N kN Length m M kNm V kN N kN
0 1.569 -0.621 -19.732 0.500 0.602 -3.246 -19.630

Loadcase - KY2 Member : 3 Stresses - 1. order

Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa
0 -1.413 -0.608 0.197 0.500 -0.914 -0.605 -0.296

Loadcase - KY2 Member : 3 Stresses - 2. order

Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa
0 -1.416 -0.609 0.198 0.500 -0.915 -0.606 -0.296

Loadcase - KY2 Member : 3 Deflection - 1. order

Length m u mm y mm Length m u mm y mm
0 0.100 -0.762 0.500 0.065 -0.617

16 (23)

Frame Analysis 6.0.005

© StruSoft AB 2009

Frame1 2011-04-07

C:\Documents and

Settings\Käyttäjäl\Työpöytä\Uusi

kansio\Kaari.fra

Insinööritoimisto Laaturakenne Oy

Loadcase - KY2 Member : 3 Deflection - 2. order

Length m u mm y mm Length m u mm y mm
0 0.100 -0.763 0.500 0.065 -0.618

Loadcase - KY2 Member : 4 Section values - 1. order

Length m M kNm V kN N kN Length m M kNm V kN N kN
 0 0.601 -1.682 -19.801 0.500 -0.410 -2.357 -19.828

Loadcase - KY2 Member : 4 Section values - 2. order

Length m M kNm V kN N kN Length m M kNm V kN N kN
 0 0.602 -1.689 -19.825 0.500 -0.412 -2.364 -19.852

Loadcase - KY2 Member : 4 Stresses - 1. order

Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa
 0 -0.920 -0.611 -0.302 0.500 -0.401 -0.612 -0.823

Loadcase - KY2 Member : 4 Stresses - 2. order

Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa
 0 -0.921 -0.612 -0.302 0.500 -0.401 -0.613 -0.825

Loadcase - KY2 Member : 4 Deflection - 1. order

Length m u mm y mm Length m u mm y mm
 0 0.065 -0.617 0.500 0.043 -0.424

Loadcase - KY2 Member : 4 Deflection - 2. order

Length m u mm y mm Length m u mm y mm
 0 0.065 -0.618 0.500 0.043 -0.424

Loadcase - KY2 Member : 5 Section values - 1. order

Length m M kNm V kN N kN Length m M kNm V kN N kN
 0 -0.410 -0.091 -19.967 1.012 -1.184 -1.441 -20.176

Loadcase - KY2 Member : 5 Section values - 2. order

Length m M kNm V kN N kN Length m M kNm V kN N kN
 0 -0.413 -0.093 -19.991 1.012 -1.190 -1.443 -20.200

Loadcase - KY2 Member : 5 Stresses - 1. order

Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa
 0 -0.406 -0.616 -0.827 1.012 -0.013 -0.623 -1.232

Loadcase - KY2 Member : 5 Stresses - 2. order

Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa
 0 -0.405 -0.617 -0.829 1.012 -0.011 -0.623 -1.236

Loadcase - KY2 Member : 5 Deflection - 1. order

Length m u mm y mm Length m u mm y mm
 0 0.043 -0.424 1.012 0.030 -0.112

Loadcase - KY2 Member : 5 Deflection - 2. order

Length m u mm y mm Length m u mm y mm
 0 0.043 -0.424 1.012 0.031 -0.112

17 (23)**Frame Analysis 6.0.005**

© StruSoft AB 2009

Frame1 2011-04-07

C:\Documents and

Settings\Käyttäjät\Työpöytä\Uusi

kansio\Kaari.fra

Insinööri-toimisto Laaturakenne Oy**Loadcase - KY2 Member : 6 Section values - 1. order**

Length m M kNm V kN N kN Length m M kNm V kN N kN
 0 -1.184 1.801 -20.147 1.051 0 0.451 -20.586

Loadcase - KY2 Member : 6 Section values - 2. order

Length m M kNm V kN N kN Length m M kNm V kN N kN
 0 -1.190 1.807 -20.170 1.051 0 0.457 -20.609

Loadcase - KY2 Member : 6 Stresses - 1. order

Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa
 0 -0.013 -0.622 -1.231 1.051 -0.635 -0.635 -0.635

Loadcase - KY2 Member : 6 Stresses - 2. order

Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa
 0 -0.010 -0.623 -1.235 1.051 -0.636 -0.636 -0.636

Loadcase - KY2 Member : 6 Deflection - 1. order

Length m u mm y mm Length m u mm y mm
 0 0.030 -0.112 1.051 0 0

Loadcase - KY2 Member : 6 Deflection - 2. order

Length m u mm y mm Length m u mm y mm
 0 0.031 -0.112 1.051 0 0

Loadcase - Ky3 Moment - 1., 2. order

kNm

Loadcase - Ky3 Axial force - 1., 2. order

kN

0.50

18 (23)**Frame Analysis 6.0.005**

© StruSoft AB 2009

Frame1 2011-04-07

C:\Documents and

Settings\Käyttäjät\Työpöytä\Uusi

kansio\Kaari.fra

Insinööritoimisto Laaturakenne Oy

Loadcase - Ky3 Shear force - 1., 2. order

kN

07

Loadcase - Ky3 Deflection - 1., 2. order

mm

02

Loadcase - Ky3 Joint forces - 1. order

Member Joint M kNm V kN N kN Member Joint M kNm V kN N kN

1	1	0	3.743	-28.069	4	4	0.779	-0.214	-25.572
2	1.175	-1.507	-26.365	5	0.258	-1.864	-25.638		
2	2	1.175	2.687	-26.271	5	5	0.258	1.059	-25.684
3	1.238	-2.563	-25.452	6	-0.340	-2.241	-26.196		
3	3	1.238	0.394	-25.578	6	6	-0.340	1.973	-26.217
4	0.779	-2.231	-25.476	7	0	-1.327	-27.290		

Loadcase - Ky3 Joint forces - 2. order

Member Joint M kNm V kN N kN Member Joint M kNm V kN N kN

1	1	0.001	3.747	-28.107	4	4	0.780	-0.219	-25.612
2	1.180	-1.503	-26.403	5	0.257	-1.869	-25.678		
2	2	1.181	2.686	-26.311	5	5	0.257	1.057	-25.723
3	1.242	-2.564	-25.492	6	-0.343	-2.243	-26.235		
3	3	1.242	0.390	-25.618	6	6	-0.343	1.976	-26.255
4	0.780	-2.235	-25.515	7	0	-1.324	-27.328		

Joint deflections - 1. order Loadcase: Ky3

Joint ux mm uy mm fi rad Joint ux mm uy mm fi rad Joint ux mm uy mm fi rad

1	0	0	-0.001	4	0.032	-0.799	0	7	0	0	0
2	0.117	-0.637	0	5	-0.001	-0.684	0				
3	0.072	-0.852	0	6	-0.030	-0.363	0				

Joint deflections - 2. order Loadcase: Ky3

Joint ux mm uy mm fi rad Joint ux mm uy mm fi rad Joint ux mm uy mm fi rad

1	0	0	-0.001	4	0.033	-0.800	0	7	0	0	0
2	0.118	-0.638	0	5	-0.001	-0.684	0				
3	0.073	-0.854	0	6	-0.030	-0.363	0				

Support reactions - 1. order Loadcase: Ky3

Joint Rx kN Ry kN Rm kNm Joint Rx kN Ry kN Rm kNm

1	25.543	12.224	0	7	-25.543	9.697	0
---	--------	--------	---	---	---------	-------	---

Support reactions - 2. order Loadcase: Ky3

Joint Rx kN Ry kN Rm kNm Joint Rx kN Ry kN Rm kNm

1	25.583	12.224	0	7	-25.583	9.697	0
---	--------	--------	---	---	---------	-------	---

19 (23)

Frame Analysis 6.0.005

© StruSoft AB 2009

Frame1 2011-04-07

C:\Documents and

Settings\Käyttäjät\Työpöytä\Uusi

kansio\Kaari.fra

Insinööritoimisto Laaturakenne Oy

Loadcase - Ky3 Member : 1 Section values - 1. order

Length m M kNm V kN N kN Length m M kNm V kN N kN

0	0	3.743	-28.069	1.051	1.175	-1.507	-26.365
0.736	1.402	0.068	-26.876				

Loadcase - Ky3 Member : 1 Section values - 2. order

Length m M kNm V kN N kN Length m M kNm V kN N kN

0	0.001	3.747	-28.107	1.051	1.180	-1.503	-26.403
0.736	1.406	0.072	-26.914				

Loadcase - Ky3 Member : 1 Stresses - 1. order

Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa

0	-0.866	-0.866	-0.866	1.051	-1.418	-0.814	-0.209
0.736	-1.551	-0.830	-0.108				

Loadcase - Ky3 Member : 1 Stresses - 2. order

Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa

0	-0.868	-0.867	-0.867	1.051	-1.422	-0.815	-0.208
0.736	-1.554	-0.831	-0.107				

Loadcase - Ky3 Member : 1 Deflection - 1. order

Length m u mm y mm Length m u mm y mm

0	0	0	1.051	0.117	-0.637
---	---	---	-------	-------	--------

Loadcase - Ky3 Member : 1 Deflection - 2. order

Length m u mm y mm Length m u mm y mm

0	0	0	1.051	0.118	-0.638
---	---	---	-------	-------	--------

Loadcase - Ky3 Member : 2 Section values - 1. order

Length m M kNm V kN N kN Length m M kNm V kN N kN

0	1.175	2.687	-26.271	1.012	1.238	-2.563	-25.452
0.506	1.871	0.062	-25.862				

Loadcase - Ky3 Member : 2 Section values - 2. order

Length m M kNm V kN N kN Length m M kNm V kN N kN
 0 1.181 2.686 -26.311 1.012 1.242 -2.564 -25.492
 0.506 1.876 0.061 -25.901

Loadcase - Ky3 Member : 2 Stresses - 1. order

Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa
 0 -1.415 -0.811 -0.206 1.012 -1.422 -0.786 -0.149
 0.506 -1.761 -0.798 0.164

Loadcase - Ky3 Member : 2 Stresses - 2. order

Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa
 0 -1.419 -0.812 -0.205 1.012 -1.426 -0.787 -0.148
 0.506 -1.764 -0.799 0.165

Loadcase - Ky3 Member : 2 Deflection - 1. order

Length m u mm y mm Length m u mm y mm
 0 0.117 -0.637 1.012 0.072 -0.852

20 (23)

Frame Analysis 6.0.005

© StruSoft AB 2009

Frame1 2011-04-07

C:\Documents and

Settings\Käyttäjät\Työpöytä\Uusi

kansio\Kaari.fra

Insinööri-toimisto Laaturakenne Oy

Loadcase - Ky3 Member : 2 Deflection - 2. order

Length m u mm y mm Length m u mm y mm
 0 0.118 -0.638 1.012 0.073 -0.854

Loadcase - Ky3 Member : 3 Section values - 1. order

Length m M kNm V kN N kN Length m M kNm V kN N kN
 0 1.238 0.394 -25.578 0.500 0.779 -2.231 -25.476
 0.100 1.251 -0.131 -25.558

Loadcase - Ky3 Member : 3 Section values - 2. order

Length m M kNm V kN N kN Length m M kNm V kN N kN
 0 1.242 0.390 -25.618 0.500 0.780 -2.235 -25.515
 0.050 1.254 0.127 -25.608

Loadcase - Ky3 Member : 3 Stresses - 1. order

Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa
 0 -1.426 -0.789 -0.153 0.100 -1.432 -0.789 -0.145
 0.050 -1.433 -0.789 -0.146 0.500 -1.187 -0.786 -0.386

Loadcase - Ky3 Member : 3 Stresses - 2. order

Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa
 0 -1.429 -0.791 -0.152 0.100 -1.435 -0.790 -0.145
 0.050 -1.436 -0.790 -0.145 0.500 -1.189 -0.788 -0.386

Loadcase - Ky3 Member : 3 Deflection - 1. order

Length m u mm y mm Length m u mm y mm
 0 0.072 -0.852 0.500 0.032 -0.799

Loadcase - Ky3 Member : 3 Deflection - 2. order

Length m u mm y mm Length m u mm y mm
 0 0.073 -0.854 0.500 0.033 -0.800

Loadcase - Ky3 Member : 4 Section values - 1. order

Length m M kNm V kN N kN Length m M kNm V kN N kN
 0 0.779 -0.214 -25.572 0.500 0.258 -1.864 -25.638

Loadcase - Ky3 Member : 4 Section values - 2. order

Length m M kNm V kN N kN Length m M kNm V kN N kN
 0 0.780 -0.219 -25.612 0.500 0.257 -1.869 -25.678

Loadcase - Ky3 Member : 4 Stresses - 1. order

Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa
 0 -1.190 -0.789 -0.389 0.500 -0.924 -0.791 -0.658

Loadcase - Ky3 Member : 4 Stresses - 2. order

Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa
 0 -1.192 -0.790 -0.389 0.500 -0.925 -0.793 -0.660

Loadcase - Ky3 Member : 4 Deflection - 1. order

Length m u mm y mm Length m u mm y mm
 0 0.032 -0.799 0.500 -0.001 -0.684

21 (23)

Frame Analysis 6.0.005

© StruSoft AB 2009

Frame1 2011-04-07

C:\Documents and

Settings\Käyttäjät\Työpöytä\Uusi

kansio\Kaari.fra

Insinööri-toimisto Laaturakenne Oy

Loadcase - Ky3 Member : 4 Deflection - 2. order

Length m u mm y mm Length m u mm y mm

0 0.033 -0.800 0.500 -0.001 -0.684

Loadcase - Ky3 Member : 5 Section values - 1. order

Length m M kNm V kN N kN Length m M kNm V kN N kN
 0 0.258 1.059 -25.684 1.012 -0.340 -2.241 -26.196
 0.304 0.430 0.069 -25.838

Loadcase - Ky3 Member : 5 Section values - 2. order

Length m M kNm V kN N kN Length m M kNm V kN N kN
 0 0.257 1.057 -25.723 1.012 -0.343 -2.243 -26.235
 0.304 0.428 0.067 -25.877

Loadcase - Ky3 Member : 5 Stresses - 1. order

Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa
 0 -0.926 -0.793 -0.660 1.012 -0.634 -0.809 -0.983
 0.304 -1.018 -0.797 -0.576

Loadcase - Ky3 Member : 5 Stresses - 2. order

Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa
 0 -0.926 -0.794 -0.661 1.012 -0.633 -0.810 -0.986
 0.304 -1.019 -0.799 -0.578

Loadcase - Ky3 Member : 5 Deflection - 1. order

Length m u mm y mm Length m u mm y mm
 0 -0.001 -0.684 1.012 -0.030 -0.363

Loadcase - Ky3 Member : 5 Deflection - 2. order

Length m u mm y mm Length m u mm y mm
 0 -0.001 -0.684 1.012 -0.030 -0.363

Loadcase - Ky3 Member : 6 Section values - 1. order

Length m M kNm V kN N kN Length m M kNm V kN N kN
 0 -0.340 1.973 -26.217 1.051 0 -1.327 -27.290
 0.631 0.281 -0.007 -26.861

Loadcase - Ky3 Member : 6 Section values - 2. order

Length m M kNm V kN N kN Length m M kNm V kN N kN
 0 -0.343 1.976 -26.255 1.051 0 -1.324 -27.328
 0.631 0.279 -0.004 -26.899

Loadcase - Ky3 Member : 6 Stresses - 1. order

Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa
 0 -0.634 -0.809 -0.984 1.051 -0.842 -0.842 -0.842
 0.631 -0.973 -0.829 -0.685

Loadcase - Ky3 Member : 6 Stresses - 2. order

Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa Length m Sig o MPa Sig 0 MPa Sig u MPa
 0 -0.634 -0.810 -0.987 1.051 -0.843 -0.843 -0.843
 0.631 -0.974 -0.830 -0.686

22 (23)

Frame Analysis 6.0.005

© StruSoft AB 2009

Frame1 2011-04-07

C:\Documents and
 Settings\Käyttäjät\Työpöytä\Uusi
 kansio\Kaari.fra

Insinööri-toimisto Laaturakenne Oy

Loadcase - Ky3 Member : 6 Deflection - 1. order

Length m u mm y mm Length m u mm y mm
 0 -0.030 -0.363 1.051 0 0

Loadcase - Ky3 Member : 6 Deflection - 2. order

Length m u mm y mm Length m u mm y mm
 0 -0.030 -0.363 1.051 0 0

23 (23)