



# **PUUPALKKIEN JA NAULALEVYRISTIKOIDEN KUORMITUSKOE**

Topi Mikkola

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2011  
Rakennustekniikka  
Talonrakennustekniikka  
Tampereen ammattikorkeakoulu

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Talorakennustekniikan suuntautumisvaihtoehto

TOPI MIKKOLA  
Puupalkkien ja naulalevyristikoiden kuormituskoe  
34 sivua + 31 liitesivua  
Työn tilaaja Tampereen ammattikorkeakoulu  
tekn. lis. Olli Saarinen

---

## TIIVISTELMÄ

Tässä työssä tehtiin toteutussuunnitelma puurakenteiden jatkokurssilla tehtävälle puupalkkien ja naulalevyristikoiden kuormituskokeille.

Työssä suunniteltiin kuusi erilaista puupalkkia ja viisi eri kohdistaa rikkoutuvaa puista naulalevyristikkoa. Kuormituskokeet tehdään Tampereen ammattikorkeakoulun rakennuslaboratoriossa. Neljännen vuosikurssin oppilaat tulevat suorittamaan nämä kokeet.

Kuormituskokeesta saatavia tuloksia tullaan vertaamaan laskentamenetelmillä saataviin arvoihin. Kuormituskokeen tuloksista tullaan näkemään myös, kuinka lähellä ne ovat laskennalla saatuihin arvoihin.

Opiskelijat tulevat saamaan käytännön esimerkkiä siitä, kuinka erilaiset puupalkit ja naulalevyristikot rikkoutuvat erilaisilla kuormituksilla. Kokeiden tarkoitus on myös näyttää, miten kantavat rakenteet hajoavat, kun niitä rasitetaan riittävän suurilla kuormilla.

Tampere University of Applied Sciences  
Construction engineering  
Option of building construction

Topi Mikkola  
Timber beam and roof truss stress test  
34 pages + 31 appendices  
Co-operation Company Tampere University of Applied Sciences  
Olli Saarinen (lich. tech.)

---

## ABSTRACT

Purpose of this thesis was to produce blueprints and engineering plans for a timber beam and roof truss stress test to the timber structure sequel class.

On this thesis I designed six different timber beams and five different roof trusses that will break from different parts. Stressing test will be performed at Tampere University of Applied Sciences on their construction laboratory. This test will be performed by the students of a fourth year class.

Results that come from a stressing test will be compared to the results from calculating methods. Results from the stressing test will also show how close they are from calculation results.

Students will get a good example how different timber beams and roof trusses will break at pressure of different loads. Purpose of these tests is also to show how supporting structures will break when they are strained by high enough forces.

---

Keywords

Load test, timber beam, roof truss, stress test

## Alkusanat

Tämä opinnäytetyö on tehty Tampereen ammattikorkeakoululle puurakenteiden jatkokurssin rasituskokeen toteuttamista varten. Työn tilaajana toimi tekn. lis. Olli Saarinen, alkuvuodesta 2011.

Kiitos työni ohjaajalle tekn. lis. Olli Saariselle opinnäytetyön ohjauksesta, asiantuntevasta kommentoinnista, sekä tukemisesta työn toteutuksessa ja aiheen rajaamisesta tilaajana.

Kiitos vielä KPM-Engineering Oy:lle lähdemateriaalin hankinnassa.

Tampereella 25.5.2011

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Topi Mikkola', written over a horizontal line.

Topi Mikkola

Tiivistelmä

Abstract

Alkusanat

## SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	6
2 NAULALEVYRISTIKOT .....	7
2.1 Naulalevyrakenne .....	7
2.2 Ristikkorakenne .....	8
2.3 Kuormituskoe.....	9
3 MASSIIVIPUU- JA KERTOPUUPALKIT .....	10
3.1 Sahatavara .....	10
3.2 Kertopuu.....	11
3.3 Kuormituskoe.....	12
3.4 Palkkien raja-arvojen ja kuormitusten vertailu .....	14
4 PULTTILIITOS .....	16
4.1 Liimapuu.....	16
4.2 Pultti- ja puikkoliitos .....	17
4.3 Mitoitusesimerkki .....	19
4.4 Laskentaesimerkki.....	20
5 HAMMASVAARNALIITOS .....	26
5.1 Vaarnat.....	26
5.2 Laskentaesimerkki.....	28
6 YHTEENVETO.....	33
7 LÄHTEET .....	34
8 LIITTEET.....	35
8.1 Naulalevyristikot.....	35
8.2 Palkki L1 .....	37
8.3 Palkki L2.....	41
8.4 Palkki L3.....	45
8.5 Palkki L4.....	50
8.6 Palkki L5.....	55
8.7 Palkki L6.....	61

## 1 JOHDANTO

Kuormituskokeet ovat tärkeä osa rakenteiden mekaniikkakursseja. Kuormituskokeilla voidaan osoittaa opiskelijoille eri rakennusmateriaalien kestävyyttä ja erilaisia murtotapoja. Tässä suunnitelmassa tehdään kuormituskokeet kuudelle erilaiselle puupalkille ja viidelle erilaiselle puiselle naulalevyristikolle.

Naulalevyristikoista on tehty ristikkokaaviot, itse ristikoiden lujuusmitoitussuunnittelu on tilattu KPM Engineering Oy:ltä. Jokaista ristikkoa rasietaan kolmesta pisteestä samalla voimalla, mutta ne on suunniteltu rikkoutuviksi eri kohdista. Tämän koe näyttää opiskelijoille millä tavalla erilainen ristikoiden sauvotus ja niiden vahvuus vaikuttaa ristikon murtotapaan.

Puupalkkien murtaminen tehdään rasittamalla niitä kahdella pistevoimalla symmetrisesti samoista kohdista. Palkit on tehty eri materiaaleista ja osaan niistä on tehty reikiä. Kuormituskoe näyttää opiskelijoille millainen vaikutus puumateriaalin valinnalla on sen kestävyteen, sekä reikien sijoittamisen vaikutusta palkin lujuuteen.

Kaksi palkkia on liitetty yhteen metalliliittimillä. Toinen on liitetty pulttiliitoksella ja toinen hammasvaarnaliitoksella. Pulttiliitoksella tehtyä palkkia rasietaan yhdellä pistekuormalla sen keskeltä, palkista on tehty esimerkkimitoitus Excel laskentapohjalla. Hammasvaarnapalkkia rasietaan kahdella pistekuormalla ja liitoksen kestävydestä on tehty esimerkkilasku käsin laskemalla.

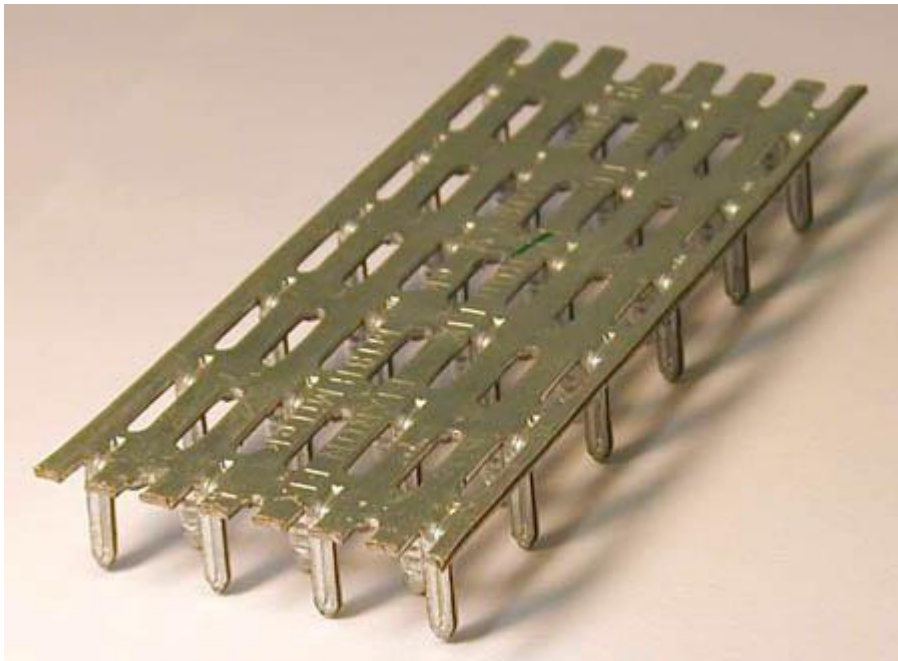
Opiskelijat itse mitoittavat ja valmistavat vastaavilla liitoksilla olevat palkit, eli pulttiliitos- ja hammasvaarnaliitospalkit. Opiskelijat vertaavat kuormituskokeen tuloksia itse laskemiinsa mitoitustuloksiin.

## 2 NAULALEVYRISTIKOT

### 2.1 Naulalevyrakenne

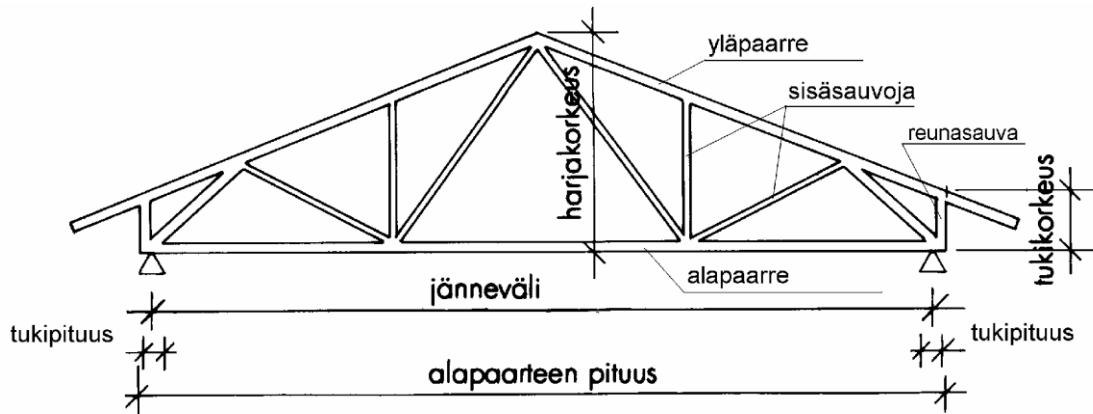
NR- rakenne on lyhenne naulalevyrakenteesta. NR- rakenne on lujuusluokitellusta rakennepuutavarasta tehty naulalevyrakenne. Rakenteen sauvat on liitetty naulalevyllä. NR- laatumerkintä kertoo, että rakenne on valmistettu SFS- Sertifiointi Oy:n laaduntarkastuksen alaisena.

Naulalevyristikoiden tilaus tehdään rakennesuunnittelijan laatimilla NR- rakennekaaviolla. Rakenteen valmistaja hankkii NR- rakenteen rakennepiirustukset, sekä lujuusmitoitukset NR- rakennesuunnittelijalta. Naulalevyrakenteiden mitoitus tehdään RakMkB10 tai Eurokoodi 5:n mukaan, rajatilamenetelmällä.



KUVA 1. Naulalevy

Naulalevyristikko on kannatinrakenne, joka koostuu yleensä kolmio- tai ristikomuothon kiinnitetyistä veto- ja puristussauvoista. Ristikot ovat yleensä puuta, suurissa kohteissa voidaan myös käyttää metallista tehtyjä kattoristikoita. Kolmiomuoto tekee rakenteista jäykän ja rakenteesta tulee paremmin taivutusjännitystä kestävä.



Kuvio 1. Naulalevyristikon osien selitykset

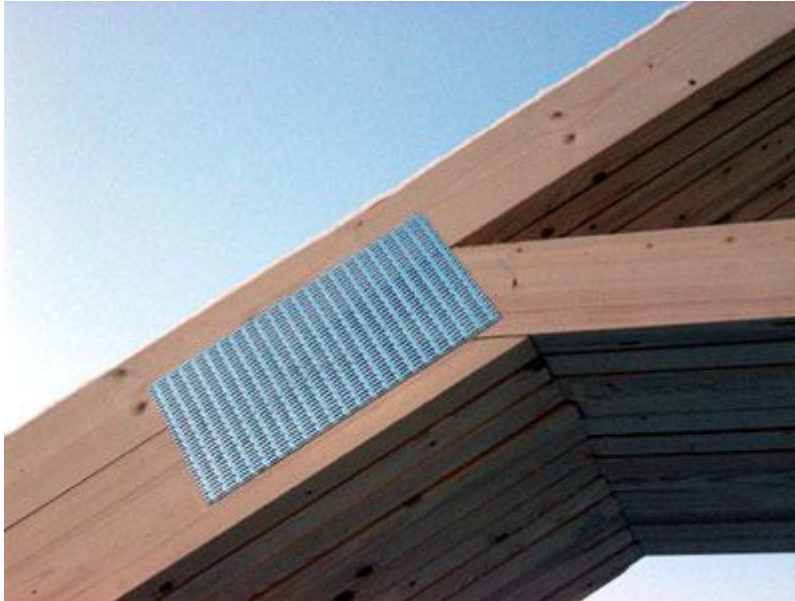
## 2.2 Ristikkorakenne

Nykyaikaiset naulalevyristikot tehdään mittatarkasta sahatavarasta, jotka kiinnitetään toisiinsa naulalevyillä. Naulalevyillä ristikoista saadaan jäykemmät, kuin perinteisesti naulaamalla tehdyistä ristikoista. Liitosten muotoilu ja naulalevyjen sijoittelu vaikuttavat merkittävästi liitosten jäykkyyteen. Naulalevyristikot ovat noin 1.5 kertaa jäykempiä kuin naulaamalla tehdyt ristikot. Yleisimmät ristikoissa käytettävien puutavaran dimensiot ovat 42x98/123/148 mm.

Ristikoiden suunnittelu tehdään Eurokoodi 5:n tai RakMk B10 mukaan, eli Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaan. Suunnittelu tehdään siihen tarkoitukseen tehdyllä tietokoneohjelmalla. Ristikot valmistetaan niiden valmistamiseen erikoistuneessa tehtaassa. Ristikot suunnitellaan ottamaan vastaan vain pystysuoria kuormia, joten niiden tukeminen pitää tehdä rasisuskokeessa huolellia.

Naulalevyristikot ovat irrallaan melko heikkoja, joten ne tulee säilyttää yhdessä nipussa. Ristikkojen tukeminen niiden säilytyksen ajan tulee tehdä niille suunnitelluista tukipinnoista, jolloin voidaan varmistaa niiden oikeanlainen toimivuus. Ne tulee tukea niin, että sauvoihin ei tule mitään suunnittelemattomia taipumia ja ristikot pitää myös suojat säältä. Säilyttäminen suositellaan tapahtuvan sisätiloissa.





KUVA 2. Naulalevy liitos

### 2.3 Kuormituskoe

Kuormituskokeessa käytettävien ristikoiden ristikkokaaviot ovat liitteinä raportin lopussa.

Kuormituskokeessa rasitetaan viittä erilaista naulalevyristikkoa. Jokaista ristikkoa rasitetaan samoista pisteistä identtisillä kuormilla. Ristikot on mitoitettu hajoamaan kolmella 5kN pistekuormalla. Jokainen ristikko hajoaa eri kohdista ja eri tavoin. Ristikot ovat myös sauvotettu toisistaan poikkeavasti. Koe näyttää opiskelijoille kuinka erilainen sauvotus ja niiden vahvuus vaikuttaa ristikon hajoamistapaan.

Naulalevyristikko R1 on ainoa ristikko, jossa ei mitoitusvaiheessa ole määritelty erityistä rikkoutumiskohtaa, mutta ristikon alapaarteeseen on suunniteltu naulalevyliitos.

Ristikko R2 on samanlainen kuin R1. Ainoana erona on, että se on mitoitettu hajoamaan alapaarten keskellä olevasta naulalevyliitoksesta.

Ristikossa R3 on myös liitos alapaarteen keskellä, mutta sen tuen vieressä oleva vetosauva on mitoitettu hajoavaksi sauvaksi.

Ristikon R4 tuen vieressä oleva puristussauva on mitoitettu rikkoutuvaksi, eli sauva nurjahtaa.

Viimeinen ristikko eli R5 on muuten samanlainen kuin ristikko R4, mutta keskellä oleva vetosauva hajoaa sitä rasitettaessa kyseisellä kuormalla.

Ristikoiden mitoittaminen niin, että niiden hajoaminen tapahtuu halutuilla tavoilla, ei pitäisi olla ongelma NR- rakennesuunnittelijalle. Ainoa liitos, joka on aikaisemmissa naulalevyristikoiden murtokokeissa osoittautunut vaikeaksi mitoittaa, on ristikossa R4 olevan puristussauvan mitoitus. Joten vasta syksyllä tehtävän kuormituskokeen jälkeen nähdään, tuleeko kyseinen ristikko hajoamaan suunnitellulla tavalla.

### 3 MASSIIVIPUU- JA KERTOPUUPALKIT

#### 3.1 Sahatavara

Sahatavara jaetaan neljään eri laatuluokkaan. Luokat ovat A, B, C ja D, joista A on kaikkein laadukkain. Laatuluokka A jaetaan vielä luokkiin A1-A4, joista A1 on laadukkain. Laatuluokan määräytymiseen vaikuttavat oksien koot, laadut ja määrät, puussa olevat halkeamat, vajasärmäisyys, pihkakolot, kaarnasoivot, vinosyisyys, murtumat, laho, sekä muotoviat.

Alin laatuluokka on D, siinä sallitaan kaikki mahdolliset viat, kunhan puu vain pysyy kasassa ja terä on koskettanut puun jokaista sivua.

Rakenteissa käytettävän sahatavaran lujuusluokitus voidaan tehdä silmämääräisesti sen kierouden, halkeamien, oksaisuuden ja vääryyden perusteella, tai määrittely voidaan tehdä koneellisesti. Koneellisessa luokittelussa puuta taivutellaan sen jäykkyyden selvittämiseksi ja siitä saadaan selville puun lujuus.

Standardissa SFS-EN 338 on havupuille yhteensä 12 eri lujuusluokkaa, tosin

kaikkia ei käytetä. Lujuusluokat ovat C14, C16, C18, C20, C22, C24, C27, C30, C35, C40, C45 ja C50. Lujuusluokan numero ilmaisee puun taivutuslujuuden, esimerkiksi C24 puun taivutuslujuus on 24 N/mm<sup>2</sup>.

Silmämääräisesti rakenteellinen sahatavara luokitellaan lujuusluokkiin T0, T1, T2 ja T3. Tämä luokitus on pohjoismaisen standardin SFS 5878 INSRA 142 mukainen. Suomessa sahatavaran lajittelu silmämääräisesti tehdään neljässä luokassa, T18, T24, T30 ja T40. Vastaavat lujuusluokat EN-338- standardissa ovat C18, C24, C30 ja C40. Vastaavat koneellisesti määritellyt lujuusluokat sahatavaralle suomessa ovat MT18, MT24, MT30 ja MT40

TAULUKKO 1. Sahatavaran yleisimmät poikkileikkausmitat

Sahapintaisen sahatavaran yleisimmät poikkileikkausmitat									
PAKSUUS	LEVEYS								
	50	75	100	125	150	175	200	225	250
19 <sup>1)</sup>			X	O	O				
22 <sup>2)</sup>	JH X	JH X	X	X	X	O	O		
25 <sup>1)</sup>			X	O	O	O	O	O	
32			X	O	O	O	O	O	
38			X	X	O	O	O	O	
44 <sup>2)</sup>			O	O	O	O	O	O	O
50		JH X	X	X	X	X	X		
63			O	O	O	O	O	O	
75		JH O	O	O	O	O	X	X	
100			X	O	O	O	O	O	
125				X					
150					X				

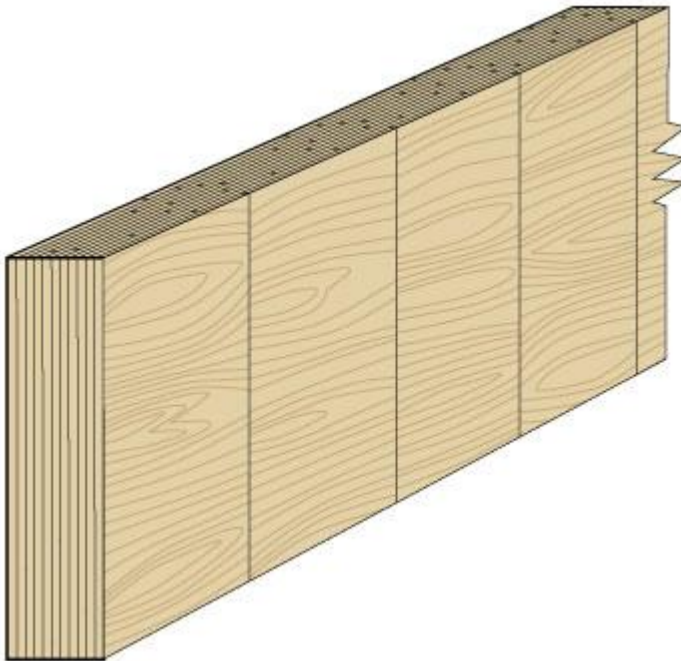
<sup>1)</sup> yleensä mäntyä  
<sup>2)</sup> yleensä kuusta  
 JH = tehdään yleensä jälkihalkaisemalla, jolloin leveys on 2 mm nimellismittaa pienempi  
 x = vakiokoko  
 o = harvemmin tuotettu koko

### 3.2 Kertopuu

Kertopuuta on kolmea eri tyyppiä Kerto-S, Kerto-T ja Kerto-Q. Kuormitusko-  
 keessa käytettävät palkit ovat tyyppiä Kerto-S. Kertopuut ovat sorvatuista havu-  
 puuviiluista liimaamalla valmistettuja palkkeja, tolppia, sekä levytuotteita. Näitä  
 kutsutaan myös viilupuu tuotteiksi. Kertopuu on jäykkyytensä ja mittatarkkuuten-  
 sa ansiosta loistava materiaali, kun rakenteilta vaaditaan suurta lujuutta. Nämä

ominaisuudet tekevät siitä hyvän materiaalin kantaviin rakenteisiin, kun ei haluta tinkiä kestävydestä tai keveydestä. Kertopuu on lujuudeltaan vahvempaa kuin sahatavara tai liimapuu.

Viilujen liimaus suoritetaan säänkestävällä liimalla. Liima täyttää standardin EN314-2 asettamat vaatimukset. Liimattavien viilujen pituus on vähintään 1200mm. Viilut jatketaan viistojatkoksixin. Keskimmäisessä viilukerroksessa sallitaan puskujatkos. Jatkosten välit vierekkäisissä viilukerroksissa on oltava vähintään 100mm. Jatkoskohdat etenevät viilukerroksesta seuraavaan, joten samassa poikkileikkauksessa olevat jatkokset ovat eri puolilla puuta.



KUVIO 2. Kertopuun poikkileikkaus

### 3.3 Kuormituskoe

Kokeessa käytettävän massiivipuupalkin lujuusluokka on C24, joka on yleisin rakennepuutavara ja saatavilla parhaiten puutavaraliikkeistä. Se sopii kaikista eri rakennuspuutuotteista parhaiten tähän kuormituskokeeseen.

Kuormituskokeessa on yksi massiivipuupalkki ja kolme kertopuupalkkia, joista kahteen on porattu reiät. Palkissa L3 on reiät molemmissa päissä ja palkissa L4

yksi reikä keskellä palkkia. Jokaista neljää palkkia rasietaan samoista kohdista ja puiden poikkileikkaukset, sekä pituudet ovat identtiset. Lukuun ottamatta massiivipuupalkkia, jonka poikkileikkaus on 1mm kapeampi kuin kertopuupalkkien.

Palkeista on tehty valmistuskuvat AutoCad suunnitteluohjelmalla, ja niistä on tehty esimerkkimitoitus Finwood 2.3 mitoitusohjelmalla. Mitoitusohjelmalla palkkia on rasiettu niin suurella voimalla, että sen käyttöaste on ylittynyt murtorajatilassa. Palkki siis murtuu tässä pisteessä, mikäli kyseinen palkki on tasalaatuista puuta ja oikein mitoitettu ja valmistettu. Jokaisen palkin käyttöaste on mitoituksessa ylittynyt noin kaksinkertaisesti käyttörajatilassa, mutta tällä ei ole merkitystä kuormituskoetta tehdessä, sillä palkkien on tarkoitus murtua.

Todellisessa rakennesuunnittelussa ei palkkeja voisi mitoittaa yhtä suurilla kuormilla, koska taipuman raja-arvot tulisivat vastaan käyttörajatilassa, ennen taivutus- ja leikkausarvojen ylittymistä.

Mitoitusesimerkeissä on palkkien seuraamusluokkana käytetty luokkaa CC1, eli vähäiset seuraamukset. Tämä on siis alhaisin seuraamusluokka ja esimerkkimitoitukseen sopivin.

Aikaluokkana mitoituksessa on käytetty lyhytaikaista luokkaa nr.1. Tämä on lähimpänä rasituskoetta sen hetkellisyden vuoksi.

Käyttöluokka 1 on kokeeseen sopivin käyttöluokka, koska koe tehdään sisätiloissa, hallituissa lämpö- ja kosteusolosuhteissa.

Palkeista on tehty Finwood mitoitusohjelmalla leikkausvoima-, taivutusvoima- ja taipumakuviot, joita opiskelijat voivat tarkastella murtokokeiden yhteydessä. Näistä kuvioista näkee jokaiselle palkille tulevat maksimi leikkaus- ja taivutusrasitukset, sekä taipumat. Kuviot antavat helpommin ymmärrettävän kuvan palkeissa vaikuttavista voimista, kuin pelkät numeeriset arvot.

### 3.4 Palkkien raja-arvojen ja kuormitusten vertailu

Alla olevassa taulukossa on Finwood mitoitusohjelmasta saatuja raja-arvoja leikkaus- ja taivutusvoimille, sekä kyseisten palkkien kuormitukset. Taulukosta näkee, että kakkien palkkien käyttöasteen ylitykseen on vaadittu erisuuruinen rasitus. Palkkien L1, L2 ja L4 käyttöasteet ovat ylittyneet taivutuksen vaikutuksesta. Palkin L3 käyttöaste on ylittynyt leikkausrasituksen vaikutuksesta.

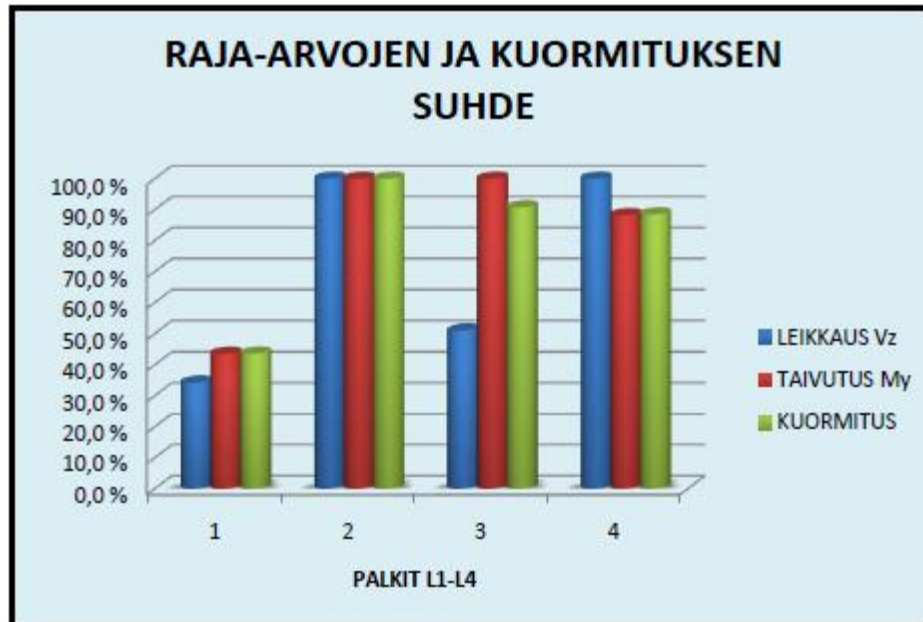
Leikkausvoiman aiheuttama palkin L3 rikkoutuminen johtuu siitä, että palkissa olevat reiät ovat palkin päissä, jossa vaikuttavat suuret leikkausvoimat. Kuitenkin palkkien L3 ja L4 käyttöaste ylittyy hyvin lähellä samaa rasiutusta, jonka näkee alempana olevasta taulukosta.

TAULUKKO 2. Palkkien L1-L4 rasitukset ja raja-arvot

	LEIKKAUS Vz				TAIVUTUS My		
	PISTEKUORMA	MITOITUSARVO	RAJA-ARVO	KÄYTTÖASTE	MITOITUSARVO	RAJA-ARVO	KÄYTTÖASTE
L1	3,8	5,21	7,18	72,6 %	5,19	5,14	101,0 %
L2	8,7	11,83	20,91	56,6 %	11,81	11,78	100,3 %
L3	7,9	10,73	10,66	100,7 %	10,73	11,78	91,1 %
L4	7,7	10,48	20,91	50,1 %	10,46	10,39	100,7 %
			LEIKKAUS SUHDE VAHVIMPAAN PALKKIIN	TAIVUTUS SUHDE VAHVIMPAAN PALKKIIN	KUORMITUS SUHDE VAHVIMPAAN PALKKIIN	RAJA-ARVOJEN JA KUORMITUKSEN SUHTEIDEN KESKIARVO	
L1	7,18	5,14	34,3 %	43,6 %	43,7 %	40,5 %	
L2	20,91	11,78	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	
L3	10,66	11,78	51,0 %	100,0 %	90,8 %	80,6 %	
L4	20,91	10,39	100,0 %	88,2 %	88,5 %	92,2 %	

Alempana olevassa pylväsdiagrammissa on vertailtu samoja arvoja, kuin yllä olevassa taulukossa. Vertailuarvona on käytetty aina suurimman arvon omaava palkkia ja muiden arvoja on verrattu suoraan siihen. Vahvin palkki tässä tapauksessa on palkki L2. Tämä on siis Kerto-S palkki, jossa ei ole reikiä. Pylväsdiagrammista näkee hyvin selvästi, että reiättömien palkkien eli L1 ja L2 erot lujuuksissa ovat suuret.

Vastaava palkki, joka on tehty kertopuusta, on yli kaksi kertaa vahvempaa, kuin sahatavarasta valmistettu palkki. Tämä johtuu siitä, että kertopuu on huomattavasti lujempaa materiaalia kuin sahatavara C24.

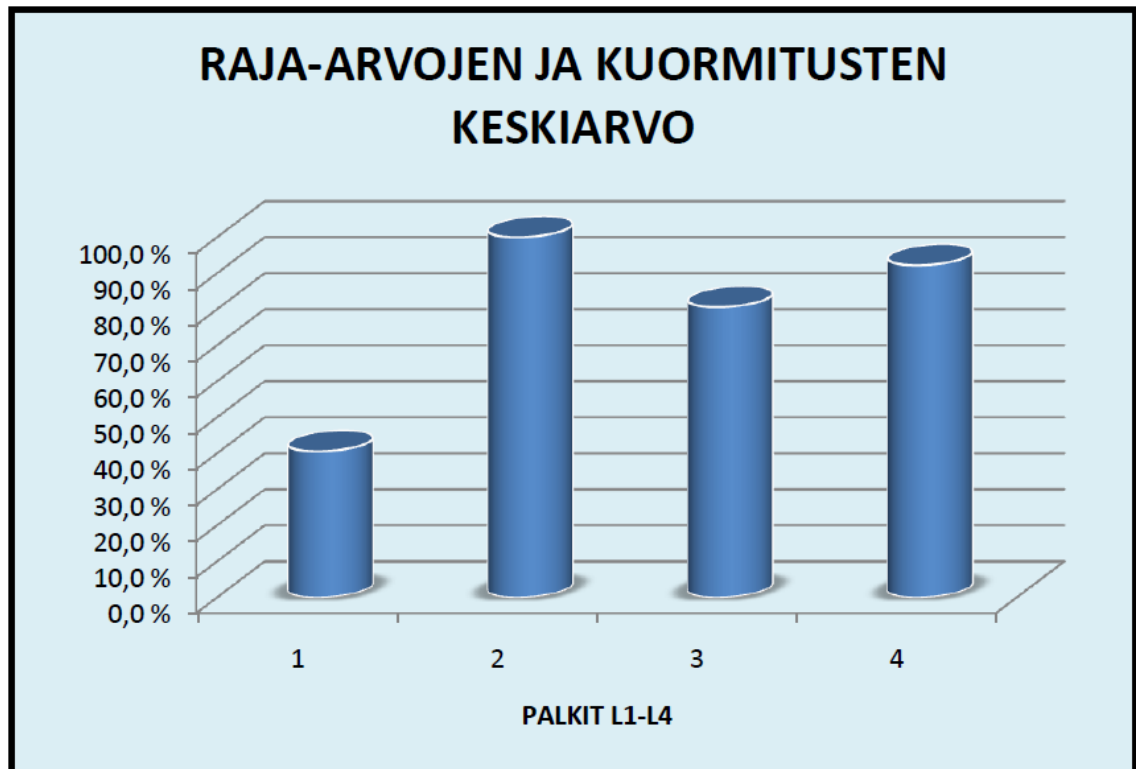


KUVIO 3. Raja-arvojen ja kuormituksen suhde

Seuraavassa kuviossa on kuvattu palkkien raja-arvojen ja kuormitusten keskiarvoa. Tästäkin diagrammista näkee, että kertopuupalkit ovat sahatavaraa huomattavasti vahvempia.

Pilareista näkee, että palkin L4 keskiarvo on suurempi kuin palkin L3, vaikka käyttöasteen ylitys palkilla L3 vaati suuremman kuorman. Tästä voi päätellä, että vaikka laskemalla L3 tulisi kestää suurempi rasitus, se saattaa silti murtua pienemmällä kuormalla. Tämä johtuu siitä, että palkin leikkauskestävyys on noin puolet pienempi kuin palkilla L4. Reiät palkin päissä siis heikentävät palkkia merkittävästi, vaikuttaen sen leikkauskestävyyteen.

Mikäli kuormituskokeessa pistekuormat asetetaan hieman eri paikoille, tai puu ei ole tasalaatuista tai valmistettu hieman kuvista poikkeavasti, saattaa palkki L3 murtua ennen kuin L4. Murtotavat ovat tosin erilaiset. Palkki L4 tulee murtumaan taivutuksesta ja palkki L3 leikkausvoiman vaikutuksesta.



KUVIO 4. Raja-arvojen ja kuormituksen keskiarvo

## 4 PULTTILIITOS

### 4.1 Liimapuu

Liimapuu on puusta tehdyistä pituussuuntaisesti asetetuista puista, rimamaisista lamelleista tai laudoista liimaamalla valmistettuja puuelementtejä. Liimapuuta käytetään yleisesti rakennusteollisuudessa, jonkin verran myös huonekaluteollisuudessa. Tuotteen valmistukseen käytetään pääasiassa kuusisahatavaraa. Jos rakenne on jatkuvassa kosketuksessa veden kanssa, käytetään materiaalina painekyllästettyä mäntyä.

Liimapuu on vahvempaa rakennemateriaalia, kuin sahatavara. Sillä on paremmat lujuus- ja jäykkyysominaisuudet. Suhteessa omaan painoonsa liimapuu on vahvempaa kuin teräs.

Liimapuupalkkeja käytetään lähinnä rakennusten kantavissa rakenteissa. Yleisin käyttökohde on suuria jännevälejä omaavissa rakenteissa, kuten hallit, salit



ja tallit. Liimapuupalkkeja käytetään myös silta- ja laivanrakentamisessa. Liimapuun etuna ovat vähäiset muutokset kosteuden vaikutuksesta ja vähäiset jännityksestä aiheutuvat vääntyilyt ja halkeilut, verrattuna sahatavaraan tai hirteen.

Liimapuupalkit jaetaan kahteen lujuusluokkaan RakMk B10 mukaan: L30 ja L40. Eurokoodi 5:ssä vastaavat lujuusluokat ovat Gl28c ja Gl32c.

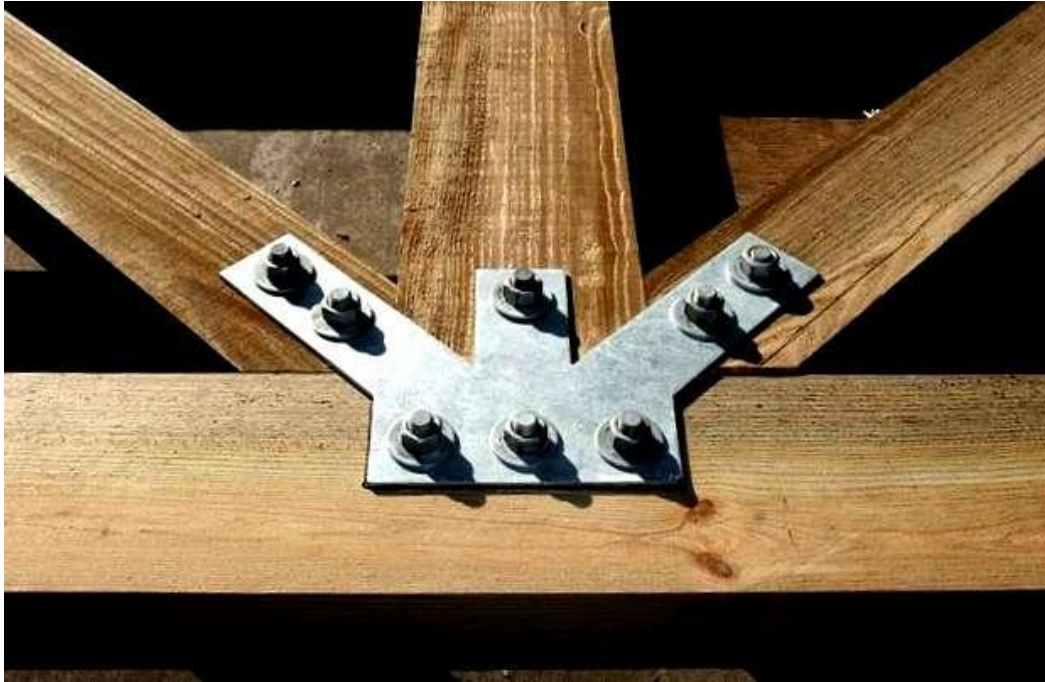


KUVA 3. Liimapuupalkki

#### 4.2 Pultti- ja puikkoliitos

Kantavissa rakenteissa käytetään naulojen sijasta ruuveja, jos rakenne on massiivista puutavaraa. Kun liittimiin tulee vetorasitusta ja tarvitaan suuri tartuntavoima, tai jos rakenne halutaan joskus purkaa ja koota toiseen paikkaan, on pulttiliitos oikea valinta. Pulttiliitos on myös silloin hyvä, kun tiedetään, että puut kuivuvat kokoamisen jälkeen, jolloin ruuveja voidaan kiristää jälkeinpäin.

Pultit ovat olleet käytössä kauan aikaa massiivisissa puurakenteissa. Yksinkertaisissa rakenteissa, joissa liitoksen jäykkyydelle ei aseteta suuria vaatimuksia, voidaan pultteja käyttää yksinään. Pultteja käytetään kuitenkin usein vaarujen kanssa yhdessä, jolloin liitoksen jäykkyys ja lujuus saadaan merkittävästi paremmaksi.



KUVA 4. Pulttiliitos ristikkorakenteessa

Kuusiokantaruuvi on yleinen kiinnitin järeissä puupalkeissa, jolloin liittimien ei tarvitse tulla läpi koko rakenteesta, kuten pulttia käytettäessä. Kyseisen ruuvin kanta on kuusikulmainen. Tasapaksun kierteellisen ruuvinosan sydänläpimitta on 0,7 kertaa ruuvin kaulaosan paksuus. Kuusiokantaruuvien vaihtelevista mitoista on sen kaulaosan pituus erittäin tärkeä liitoksen leikkauslujuutta huomioidessa.

Pulttiliitos voidaan tehdä puikkoliitosteorian mukaan, jolloin mitoittamiseen tarvitaan tiedot liittimien myötämomentista, reunapuristuslujuuksista ja liitoksen mitoista.

Puikkoliitosteorian kehitti tanskalainen K.W. Johansen noin vuonna 1940. Puikkoliitosteoria on hyvin teoreettinen, mutta perustuu käytännössä tehtyihin rasiuskokeisiin. Myöhemmin sitä on sovellettu eri rakennusmateriaaleille, sekä naula- ja ruuviliitoksille.

### 4.3 Mitoitusesimerkki

Kuormituskokeessa opiskelijat itse mitoittavat ja valmistavat pulttiliitoksella yhteen liitetyn puupalkkin. Mitoitusesimerkissä on mitoitettu liimapuusta valmistettu palkki, lujuusluokaltaan GI28c. Palkki on tehty kahdesta osasta ja liitetty yhteen pulttiliitoksella. Palkkia on esimerkkimitoituksessa rasitettu sen keskikohdasta yhdellä pistekuormalla, kohtisuoraan syynsuuntaan.

Esimerkkimitoituksessa palkkia on rasitettu niin suurella voimalla, että joku laskennassa huomioitavista käyttöasteista on ylittynyt. Tässä kyseisessä liitoksessa mitoittavaksi asiaksi tulee liitoksen leikkauskestävyys, jonka näkee liitteenä olevasta laskentapohjasta.

Leikkauskestävyyden käyttöaste on siis ylittynyt, eli se on 100 % tai enemmän. Mitkään muut mitoituksessa huomioitavat käyttöasteet eivät ole lähelläkään 100 %. Lähimpänä ovat puun halkeamiskestävyys ja teräslevyn reunapuristuskestävyys. Kummankin käyttöaste on 28 %.

Helpoin keino vahvistaa tätä esimerkkiliitosta on kasvattaa liitoksessa käytettävien pulttien kokoa, jolloin saadaan liitoksen leikkauskestävyys suuremmaksi.

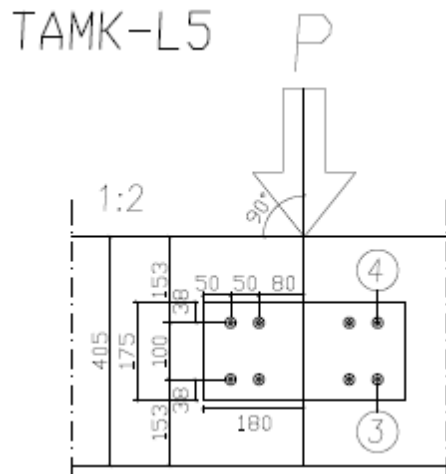
Kyseisestä palkista on myös tehty mitoitusesimerkki Finwood mitoitusohjelmalla. Mitoitus on tehty samoilla puun poikkileikkausmitoilla ja rasituksella, mutta tässä esimerkissä ei puun keskellä ole liitosta. Puun pituudeksi on päätetty 4m. Tämä esimerkkimitoitus, jossa ei ollut liitosta keskellä, kesti hyvin saman pistekuorman 24,5kN. Suurimmaksi käyttöasteeksi mitoituksessa tuli leikkausrasitus. Käyttöaste on kuitenkin vain 62,2 %, joten kyseistä palkkia voitaisiin vielä rasittaa noin 54kN pistekuormalla, ennen kuin se murtuisi.

Tästä voimme siis päätellä, että jos kyseinen pulttiliitoksella yhdistetty palkki halutaan saada kestävämpään isompi pistekuorma, pitää pulttiliitosta vahvistaa. Palkin lujuus ei ole puun poikkileikkausmitoista kiinni, vain liitoksen järeydestä.

Mitoitusesimerkki on liitteenä raportin lopussa, Excel-taulukko muodossa.

#### 4.4 Laskentaesimerkki

Tässä laskentaesimerkissä on laskettu käsin, edellä mainitun Excel pohjan avulla mitoitettun pulttiliitoksen leikkauskestävyys, läpiloheamiskestävyys, halkeamiskestävyys, sekä tarkastettu reuna- ja päätyetäisyydet. Mitoituksessa on myös määritelty aluslevyjen koko.



KUVIO 5. Esimerkkimitoituksen pulttiliitoksen mitat

TAULUKKO 3. Pulttien liitinvälien, sekä reuna- ja päätyetäisyyksien min. arvot

Pulttien liitinvälit sekä reuna- ja päätyetäisyydet (ks. kuvaa 8.7)	Kulma	Pulttien liitinvälien tai reuna- tai päätyetäisyyksien vähimmäisarvot
$a_1$ (syysuuntaan)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(4 +  \cos \alpha ) d$
$a_2$ (syysuuntaa vastaan kohtisuoraan)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$4 d$
$a_{3,t}$ (kuormitettu pää)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$\max \{7 d; 80 \text{ mm}\}$
$a_{3,c}$ (kuormittamaton pää)	$90^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$ $150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$ $210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$\max \{(1+6 \sin \alpha) d; 4 d\}$ $4 d$ $\max \{(1+6 \sin \alpha) d; 4 d\}$
$a_{4,t}$ (kuormitettu reuna)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max \{(2+2 \sin \alpha) d; 3 d\}$
$a_{4,c}$ (kuormittamaton reuna)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3 d$

Pulttien liitinvälit, sekä reuna- ja päätyetäisyyden ovat kuviossa 10.

Reunaetäisyydet puuosalle:

$$a_1 \geq (4 + |\cos \alpha|)d$$

$$a_1 \geq (4 + |\cos 90|)6 = 24\text{mm} \leq 50\text{mm OK}$$

$$a_2 \geq 4d$$

$$a_2 \geq 4 * 6 = 24\text{mm} \leq 100\text{mm OK}$$

$$a_{3,t} \geq \max\{7d; 80\text{mm}\}$$

$$a_{3,t} \geq \max\{7 * 6; 80\text{mm}\} = 42\text{mm}; 80\text{mm} = 80\text{mm} \leq 80\text{mm OK}$$

$$a_{3,c} \geq \max\{(1 + 6 \sin \alpha)d; 4d\}$$

$$a_{3,c} \geq \max\{(1 + 6 \sin 90)6; 4 * 6\} = 42\text{mm}; 24\text{mm} = 42\text{mm} \leq 100\text{mm OK}$$

$$a_{4,t} \geq \max\{(2 + 2 \sin \alpha)d; 3d\}$$

$$a_{4,t} \geq \max\{(2 + 2 \sin 90)6; 3 * 6\} = 24\text{mm}; 18\text{mm} = 24\text{mm} \leq 153\text{mm OK}$$

$$a_{4,c} \geq 3d$$

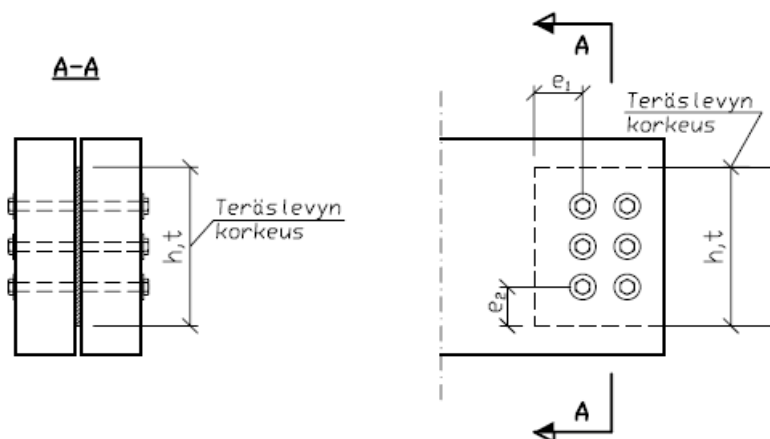
$$a_{4,c} \geq 3 * 6 = 18\text{mm} \leq 153\text{mm OK}$$

Reunaetäisyydet teräslevylle:

Reiän halkaisija teräslevyssä  $d+2\text{mm}$ , eli  $8\text{mm}$  tässä tapauksessa.

$$e_1 \geq 1,2 * 8\text{mm} = 9,6\text{mm} \leq 50\text{mm OK}$$

$$e_2 \geq 1,2 * 8\text{mm} = 9,6\text{mm} \leq 38\text{mm OK}$$



KUVIO 6. Reunaetäisyydet teräslevylle

Puuta vasten tulevien aluslevyjen paksuus ja halkaisija:

Paksuus:

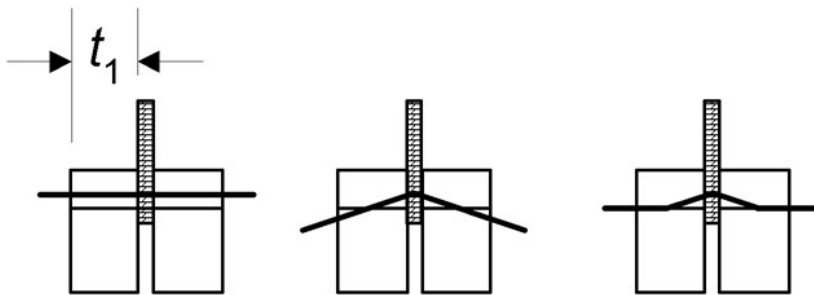
$$d * 0,3 = 6 * 0,3 = 1,8mm$$

Halkaisija:

$$d * 3 = 6 * 3 = 18mm$$

Liitoksen leikkauskestävyys:

$$R_k = \min \begin{cases} f_h * t * d (E) \\ 1,3 * f_h * t * d \left[ \sqrt{2 + \frac{4 * M_y}{f_h * d * t^2}} - 1 \right] (F) \\ 3 * \sqrt{M_y * f_h * d} (G) \end{cases} \quad (8.37.2S)$$



KUVIO 7. Teräksen ja puun välisen liitoksen murtumistapa (E, F, G)

Pultin myötömomentti

$$M_y = 0,3 f_{u,k} d^{2,6} \quad (8.30)$$

$$M_y = 0,3 * 400 * 6^{2,6} = 12658 Nmm$$

Reunapuristus lujuus

$$f_{h,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (8.31)$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 * (1 - 0,01d) * \rho_k \quad (8.32)$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 * (1 - 0,01 * 6) * 380 = 29,29 N/mm^2$$

$$k_{90} \begin{cases} 1,35 + 0,015 * d (Havupuulle) \\ 1,30 + 0,015 * d (Yhteen suuntaan viilutetulle LVL: lle) \\ 0,90 + 0,015 * d (Lehtipuulle) \end{cases} \quad (8.33)$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 * 6 = 1,44$$

$$f_{h,k} = \frac{29,29}{1,44 * \sin^2 90 + \cos^2 90} = 20,34 \text{ N/mm}^2$$

Koska molemmat puunosat ovat saman paksuisia,  $f_h$ :n arvo on edellä laskettu  $f_{h,k}$

$$R_k = \min \left\{ \begin{array}{l} 20,34 * 43 * 6 = 5247,7 \\ 1,3 * 20,34 * 43 * 6 * \left[ \sqrt{2 + \frac{4 * 12658}{20,34 * 6 * 43^2}} - 1 \right] = 3352,6 \\ 3 * \sqrt{12658 * 20,34 * 6} = 3728,7 \end{array} \right.$$

$$R_k = 3352,6 = 3,353 \text{ kN}$$

$$R_d = \frac{k_{mod} * R_k}{\gamma_m}$$

$$R_d = \frac{1,1 * 3,353}{1,2} = 3,073 \text{ kN}$$

Syynsuunnassa olevien pulttien tehollinen määrä.

$$n_{ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} n \\ 3^{0,9^4} \sqrt{\frac{a_1}{13d}} \end{array} \right. \quad (8.34)$$

$$n_{ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} 2 \\ 3^{0,9^4} \sqrt{\frac{50}{13 * 6}} \end{array} \right.$$

$$n_{ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} 2 \\ 3,98 \end{array} \right.$$

$$n_{ef} = 2$$

Liitoksen leikkauskestävyys saadaan kertomalla yhden leikkeen laskentakestävyys tehollisten pulttien määrällä, syysuuntaan nähden kohtisuorasti olevien pulttien määrällä, sekä leikkeiden määrällä.

$$R_{d,liitos} = 3,073 * 2 * 2 * 2 = 24,58 \text{ kN}$$

Käyttöaste:

$$\frac{F_d}{R_{d,liitos}} * 100$$

$$\frac{24,5}{24,58} * 100 = 99,65\%$$

### Läpiloikeaminen

$$F_{bt,k} = L_{net,t} * t_1 * k_{bt} * f_{t,0,k} \quad (8.4.1S)$$

$$L_{net,t} = (n_2 - 1) * (a_2 - D) \quad (8.4.3S)$$

$$L_{net,t} = (2 - 1) * (100 - 7)$$

$$L_{net,t} = 93$$

$$k_{bt} = \begin{cases} 1,5 & \text{Sahatavara ja liimapuu} \\ 1,25 & \text{LVL} \end{cases} \quad (8.4.2S)$$

$$k_{bt} = 1,5$$

$$F_{bt,k} = 93 * 43 * 1,5 * 16,5/1000$$

$$F_{bt,k} = 98,98\text{kN}$$

$$F_{bt,d} = \frac{k_{mod} * F_{bt,k}}{\gamma_m}$$

$$F_{bt,d} = 2 * \frac{1,1 * 98,98\text{kN}}{1,2}$$

$$F_{bt,d} = 181,46\text{kN}$$

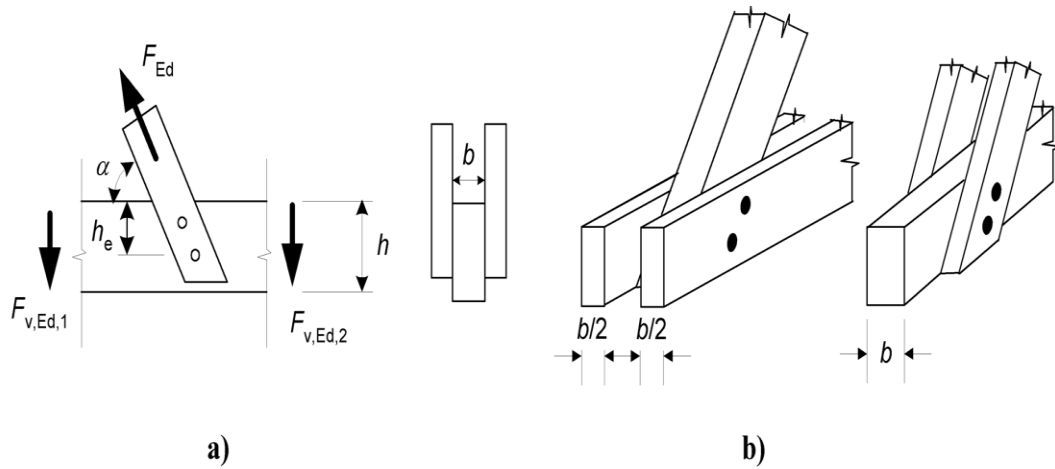
### Käyttöaste:

$$\frac{F_d}{F_{bt,d}} * 100$$

$$\frac{24,5}{181,4} * 100 = 14\%$$



## Halkeamiskestävyys



KUVIO 8. Liitoksen välittämä vinovoima

$$F_{90,k} = 14 * b * \sqrt{\frac{h_e}{\left(1 - \frac{h_e}{h}\right)}} \quad (8.4)$$

$$F_{90,k} = 14 * 90 * \sqrt{\frac{253}{\left(1 - \frac{253}{405}\right)}}$$

$$F_{90,k} = 32,71$$

$$F_{90,d} = \frac{k_{mod} * F_{90,k}}{\gamma_m}$$

$$F_{90,d} = 2 * 6$$

$$F_{90,d} = 59,98 \text{ kN}$$

Käyttöaste:

Katsotaan tutkittavan puun leikkausvoimakuvioista voiman molemmilta puolilta ja valitaan niistä suurempi arvo,  $F_{v,Ed}$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{90,d}} * 100$$

$$\frac{16,90}{59,98} * 100 = 28\%$$

Tässä laskentaesimerkissä mitoitettiin liitoksesta vain puuosien lujuudet. Laskemalla saatiin selville, että liitoksen leikkauskestävyys tulee pettämään ensimmäisenä. Murtotapa on F, jonka näkee kuviosta 7.

Lopullisessa mitoituksessa tulisi myös mitoittaa teräsosat, mutta ne eivät ole oleellinen osa puurakenteidenjatkokurssin mitoituslaskentaharjoituksia. Mitoitettavat kohdat ovat teräslevyn vetokestävyys, teräslevyn reunapuristuskestävyys, sekä teräslevyn palamurtuminen. Näiden metalliliittimien käyttöasteet voi tarkistaa Excel-taulukosta.

## 5 HAMMASVAARNALIITOS

### 5.1 Vaarnat

Puurakenteissa käytetään monia erilaisia vaarnoja. Ne ovat useasti patenteilla suojattuja ja tunnetaan kaupallisilla nimillä. Vaarnoja käytetään järeiden puurakenteiden liitoksissa, jolloin liittimet siirtävät suuria voimia ja liitoksien siirtymät eivät saa olla suuria. Esimerkkikäyttökohteita ovat liimapuurakenteiset liitokset, järeät ripustustankojen kiinnitykset liimapuupalkkien ja kaarien kylkeen, sekä jatkokset.

Vanhimmat ja yksinkertaisimmat vaarnaliitokset ovat puuhun porattuun reikään asennettava tappivaarna ja suorakaidevaarna. Ne vaativat itsensä kokoisen reiän, nämä ovat edelleen hyvin käyttökelpoisia

Erilaisilla puristimilla puuhun puristettujen hammaslevyjen hampaiden paksuus on yleensä 1-2mm ja ne ovat kolmion muotoisia. Kaksipuolisia hammasvaarnoja käytetään, kun liitetään puuta puuhun. Toispuolisia hammasvaarnoja käytetään yleensä, kun liitetään puuta teräkseen tai betoniin. Toispuoleisia voi myös käyttää kahden puun yhteen liittämiseen, kun niitä laitetaan kaksi vastakkain. Tämä on hyvä vaihtoehto silloin, kun liitos halutaan mahdollisesti purkaa myöhemmin tai jos liitokseen ei saada puristusta kokoamisen aikana.

Hammasvaarujen tarkoitus on jakaa leikkausvoima puuosille liitospintojen kautta. Liitoksessa leikkausvoima siirtyy vaarnan ja pultin välityksellä. Hammasvaarnat jaetaan kahteen ryhmään Bulldog- ja Gekaliittimiin. Bulldogliittimet ovat pyöreitä, yksi- ja kaksipuolisia, ovaalin ja neliön muotoisia. Gekaliittimiä on pyöreitä, kaksi- ja yksipuolisia.

Hammasvaarujen avulla tehdyn liitoksen kestävyden ominaisarvo saadaan laskemalla yhteen itse vaarnan, ja osia yhdistävän pultin kestävyden arvo.



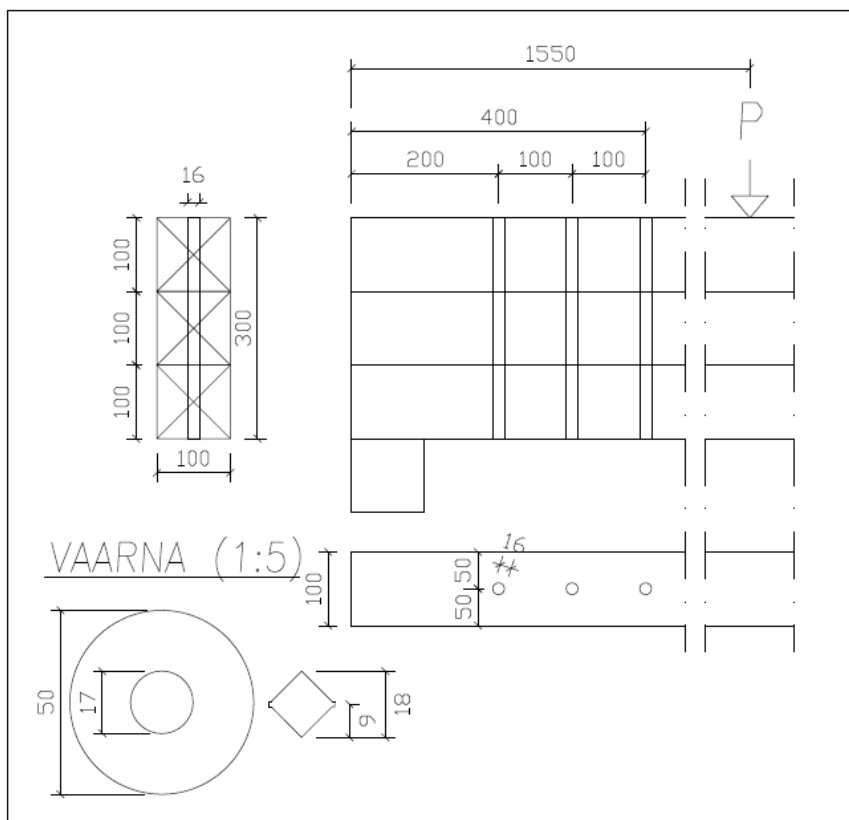
KUVA 5. Kaksipuolinen hammasvaarnaliitin



KUVA 6. Toispuolinen hammasvaarnaliitin

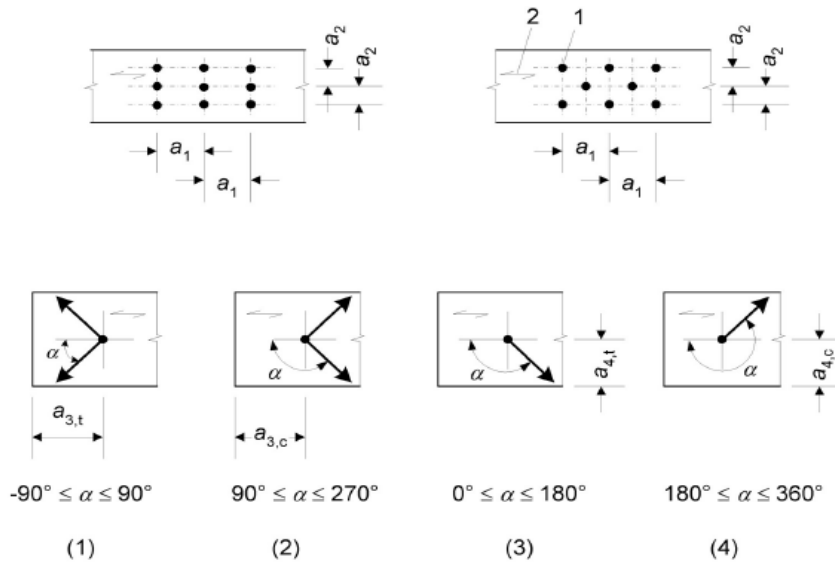
## 5.2 Laskentaesimerkki

Tässä laskuesimerkissä mitoitetaan kolmen puun välinen hammasvaarnaliitos. Puutavaran lujuusluokka on C24 ja puun ominaistiheys on 350 kg/m<sup>3</sup>. Hammasvaarnat ovat mallia C1 ja pultit ovat halkaisijaltaan 16mm. Pulttien alla tulee käyttää aluslevyjä, jotka ovat halkaisijaltaan 48mm ja paksuudeltaan 4,8mm (SFS-EN 1995-1-1). Alla olevassa kuviossa annetaan liitoksen oleelliset mitat. Kaavat löytyvät Suomen standardisoimisliiton standardista SFS-EN 1995-1-1.



KUVIO 9. Hammasvaarnaliitoksen mitat

Alussa tulee tarkastaa liittimien minimivälit ja reunaetäisyyksien minimiarvot. Alla olevassa kuviossa on selvitetty tarkistettavat reuna- ja päätyetäisyydet.



KUVIO 10. Liittimien reuna- ja päätyetäisyydet

TAULUKKO 4. Tyyppien C1...C9 hammasvaarnaliittimien minimietäisyydet

Liitinvälit sekä reuna- ja päätyetäisyydet (ks. kuvaa 8.7)	Kulma syysuuntaan nähden	Liitinvälien tai reuna- tai päätyetäisyyksien vähimmäisarvot
$a_1$ (syysuuntaan)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(1,2 + 0,3  \cos \alpha ) d_c$
$a_2$ (syysuuntaa vastaan kohtisuoraan)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$1,2 d_c$
$a_{3,t}$ (kuormitettu pää)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$2,0 d_c$
$a_{3,c}$ (kuormittamaton pää)	$90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$ $150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$ $210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$(0,9 + 0,6  \sin \alpha ) d_c$ $1,2 d_c$ $(0,9 + 0,6  \sin \alpha ) d_c$
$a_{4,t}$ (kuormitettu reuna)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$(0,6 + 0,2  \sin \alpha ) d_c$
$a_{4,c}$ (kuormittamaton reuna)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$0,6 d_c$

$d_c$ :

Hammasvaarnan halkaisija tyypeille C1, C2, C6, C7, C10 ja C11 (mm)

Hammasvaarnan sivun pituus tyypeille C5, C8 ja C9 (mm)

Sivunpituuksien tulon neliöjuuri tyypeille C3 ja C4 (mm)

$$a_1 \geq (1,2 + 0,3 |\cos \alpha|) d_c$$

$$a_1 \geq (1,2 + 0,3 |\cos 90|) d_c = 60 \leq 100 \text{ ok}$$

$$a_{3,t} \geq 2 * d_c$$

$$a_{3,t} \geq 2 * 50 = 100 \leq 1550 \text{ ok}$$

$$a_{3,c} \geq (0,9 + 0,6|\sin \alpha|)d_c$$

$$a_{3,c} \geq (0,9 + 0,6|\sin 90|)50 = 75 \leq 200 \text{ ok}$$

$$a_{4,t} \geq (0,6 + 0,2|\sin \alpha|)d_c$$

$$a_{4,t} \geq (0,6 + 0,2|\sin 90|)50 = 40 \leq 50 \text{ ok}$$

Alla olevalla kaavalla (8.1) lasketaan syynsuuntaisen yhden liitinrivin kestävyys-  
den tehollinen ominaisarvo.

Kun voima vaikuttaa tietyssä kulmassa rivin suuntaa vastaan, osoitetaan, että  
rivin suuntainen voimakomponentti on enintään kaavan 8.1 mukaan lasketun  
kestävyyden mukainen.

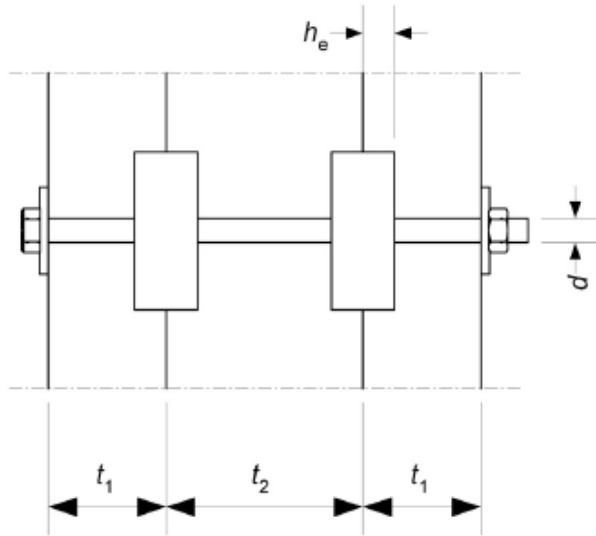
$$F_{V,ef,R,k} = n_{ef} F_{V,Rk} \quad (8.1)$$

$$F_{V,Rk} = \begin{cases} 18k_1k_2k_3d_c^{1.5} & (\text{Toispuolinen}) \\ 25k_1k_2k_3d_c^{1.5} & (\text{Kakspuolinen}) \end{cases} \quad (8.72)$$

$$k_1 = \min \begin{cases} 1 \\ \frac{t_1}{3h_e} \\ \frac{t_2}{5h_e} \end{cases} \quad (8.73)$$

$$k_1 = \min \begin{cases} 1 \\ \frac{100}{3 * 9} \\ \frac{100}{5 * 9} \end{cases}$$

$$k_1 = 1$$



KUVIO 11. Hammasvaarnaliitoksen mitat

$$k_2 = \min \left\{ \frac{1}{\frac{a_{3,t}}{1,5d_c}} \right. \quad (\text{tyypit C1...C9}) \quad (8.74)$$

$$a_{3,t} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,1d_c \\ 7d \\ 80\text{mm} \end{array} \right. \quad (8.75)$$

$$a_{3,t} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,1 * 50 \\ 7 * 16 \gg 112 \\ 80\text{mm} \end{array} \right.$$

$$k_2 = \min \left\{ \frac{1}{\frac{112}{1,5 * 50}} \right.$$

$$k_2 = 1$$

$$k_3 = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,5 \\ \frac{\rho_k}{350} \end{array} \right. \quad (8.78)$$

$$k_3 = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,5 \\ \frac{350}{350} \end{array} \right.$$

$$k_3 = 1$$

$$F_{V,Rk} = 25k_1k_2k_3d_c^{1.5}$$

$$F_{V,Rk} = 25 * 1 * 1 * 1 * 50^{1,5}$$

$$F_{V,Rk} = 8838,83N$$

Voiman kuormittaessa liitosta syynsuuntaa vastaan kohtisuoraan liittimien tehollisena määränä käytetään arvoa.

$$n_{ef} = n \tag{8.35}$$

$$n_{ef} = 3$$

$$F_{V,ef,R,k} = n_{ef} F_{V,Rk}$$

$$F_{V,ef,R,k} = 3 * 8838,83N = 26516,5 N$$

Laskentatuloksesta selviää, että laskentaesimerkin liitos kestää 26,5kN

Tämä on siis voima, jonka yksi tällainen kolmen hammasvaarnan liitos kestää.

Esimerkkitapauksessa palkin liitos kestää enemmän kuormitusta kun itse palkki, jonka leikkausvoiman raja-arvo on 21,54kN.



## 6 YHTEENVETO

Lopputyön tekeminen oli mielenkiintoista, koska sen aihepiiri on hyvin lähellä omaa työtäni, tämä myös lisäsi motivaatiota tehdä tätä työtä. Aihe oli sopivan haastava ja laaja. Motivaatitani lisäsi myös se, että tarkempi tutustuminen aiheeseen, auttoi minua perehtymään paremmin puuhun rakennusmateriaalina.

Tässä opinnäytetyössä tehtiin puurakenteiden jatkokurssilla tehtävään kuormituskokeeseen opetusmateriaali. Palkkien ja ristikoiden valmistuskuvilla voidaan tulevillakin kursseilla valmistaa kuormituskokeessa rikottavat tuotteet.

Ristikkokaaviot valmistettiin myös siinä mielessä, että ne voidaan antaa opiskelijoille kuormituskokeen suorittamisen yhteydessä. Tästä he näkevät mitä mittoja ja ristikkokaaviot sisältävät, sekä mitä mittoja tarvitaan ristikon lujuusmitoituksen yhteydessä. Ristikkokaavioiden on myös merkitty rikkoutuvat sauvat. Tästä on opiskelijoiden helpompi seurata, mikä sauva tulee rikkoutumaan ristikokeen yhteydessä.

Finwood mitoitusohjelmalla saatiin vertailuarvot palkkien kestävyyksistä. Näitä voidaan, sitten verrata todellisiin tuloksiin, jotka saadaan kuormituskokeesta.

Hammasmaarnamitoituksesta opiskelijat saavat laskuesimerkin, jonka perusteella he voivat itse mitoittaa ja valmistaa kuormituskokeessa rikottavan palkin. Pulttiliitoslaskentapohjasta ja valmistuskuvista he saavat myös esimerkkimitoituskalkulat, joita he voivat käyttää apuna kun itse mitoittavat samanlaisen palkin, kuormituskokeen varten.

Lopputyöstä selviää, mitä asioita tulee huomioida kantavien rakenteiden mitoituksessa ja suunnittelussa, sekä sitä miten puumateriaalin valinta vaikuttaa sen kestävyteen kantavana rakenteena. Opiskelijat saavat myös käsityksen puuhun tehtävien reikien ja liitosten vaikutuksesta rakenteen lujuuteen, sekä ristikkorakenteiden sauvotusmenetelmien vaikutuksesta sen rakenteelliseen lujuuteen.

## 7 LÄHTEET

RIL 205-1-2009 Suomen Rakennusinsinööri Liitto RIL ry, Puurakenteiden suunnitteluohje Eurokoodi EN 1995-1-1

RIL 205-1-2008 Suomen Rakennusinsinööri Liitto RIL ry, Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat, Eurokoodit EN 1990, EN 1991-1-1, EN 1991-1-3 ja EN 1991-1-4

RIL 162-1 Puurakenteet I, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL Helsinki 1997

Finnforest

<http://www.finnforest.fi/tuotteet/Pages/Products.aspx>

Rakentajain kalenteri 2010, Rakennustieto Oy, Helsinki

Puuinfo

<http://www.puuinfo.fi/>

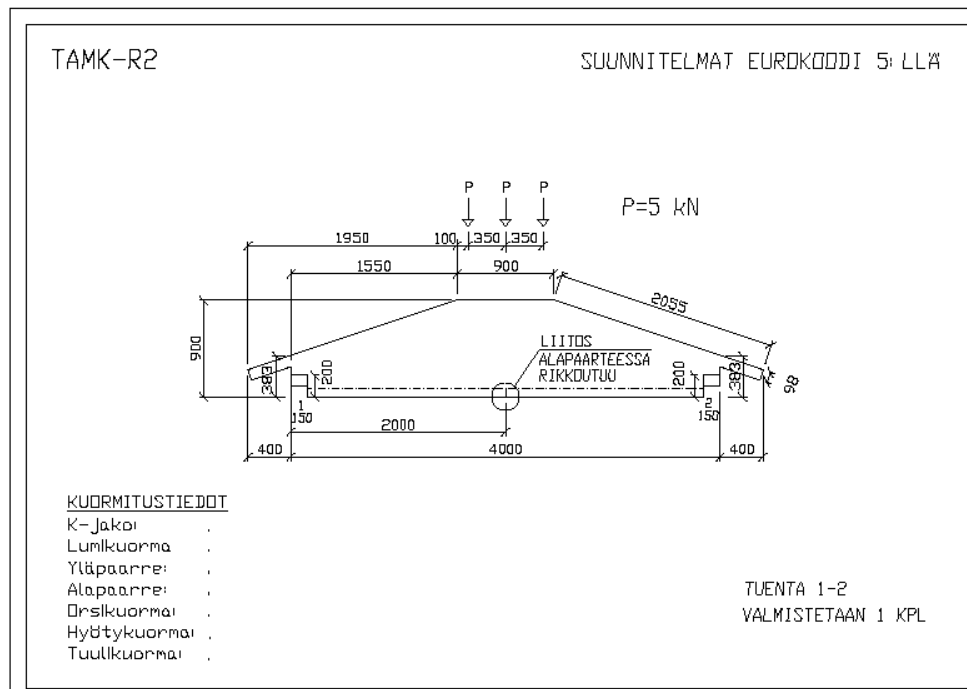
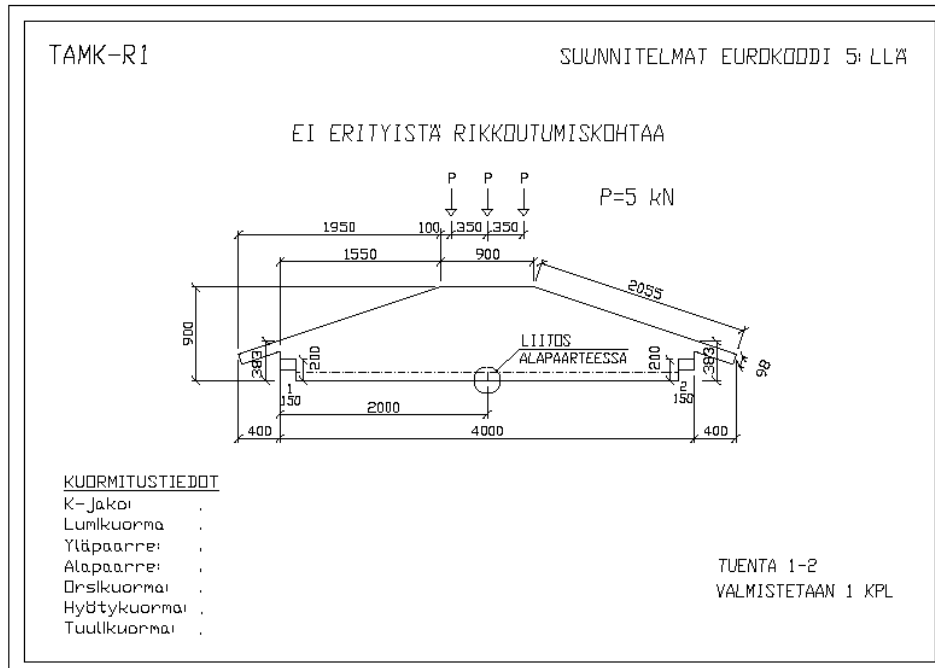
Virtuaaliyliopisto

<http://www.uiah.fi/virtu/materiaalit/puuteknologia/5-5-insinooript.html>

Liimapuu käsikirja, Olle Carling, Ingenjörbyrå AB, Heimo Pystynen, Insinööri-toimisto Puolanne Oy

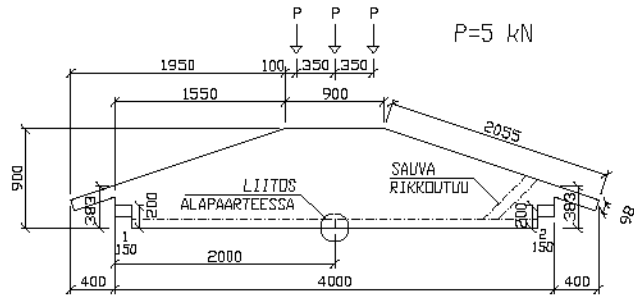
## 8 LIITTEET

## 8.1 Naulalevyristikot



TAMK-R3

SUUNNITELMAT EUROKODDI 5: LLÄ

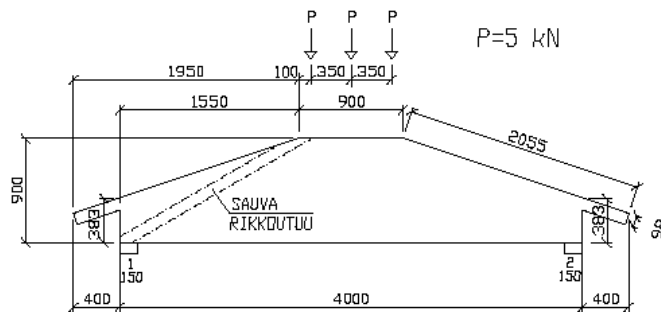
KUORMITUSTIEDOT

K-Jako: .  
 Lumikuorma: .  
 Yläpaarre: .  
 Alapaarre: .  
 Onsikuorma: .  
 Hyötykuorma: .  
 Tuulikuorma: .

TUENTA 1-2  
 VALMISTETAAN 1 KPL

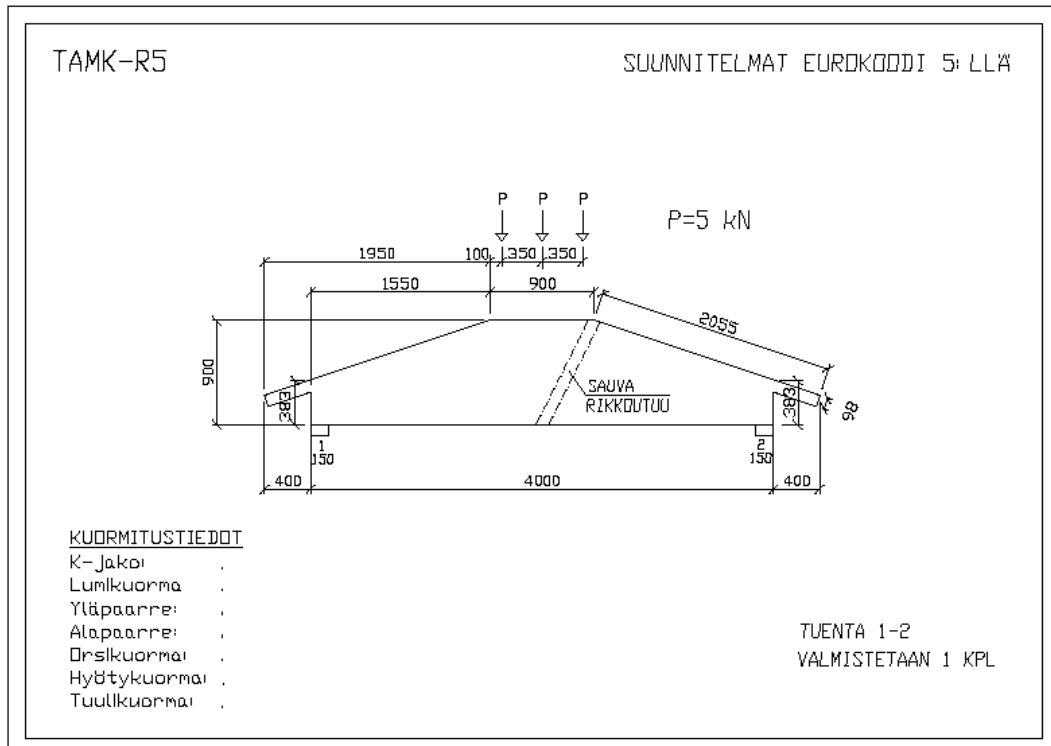
TAMK-R4

SUUNNITELMAT EUROKODDI 5: LLÄ

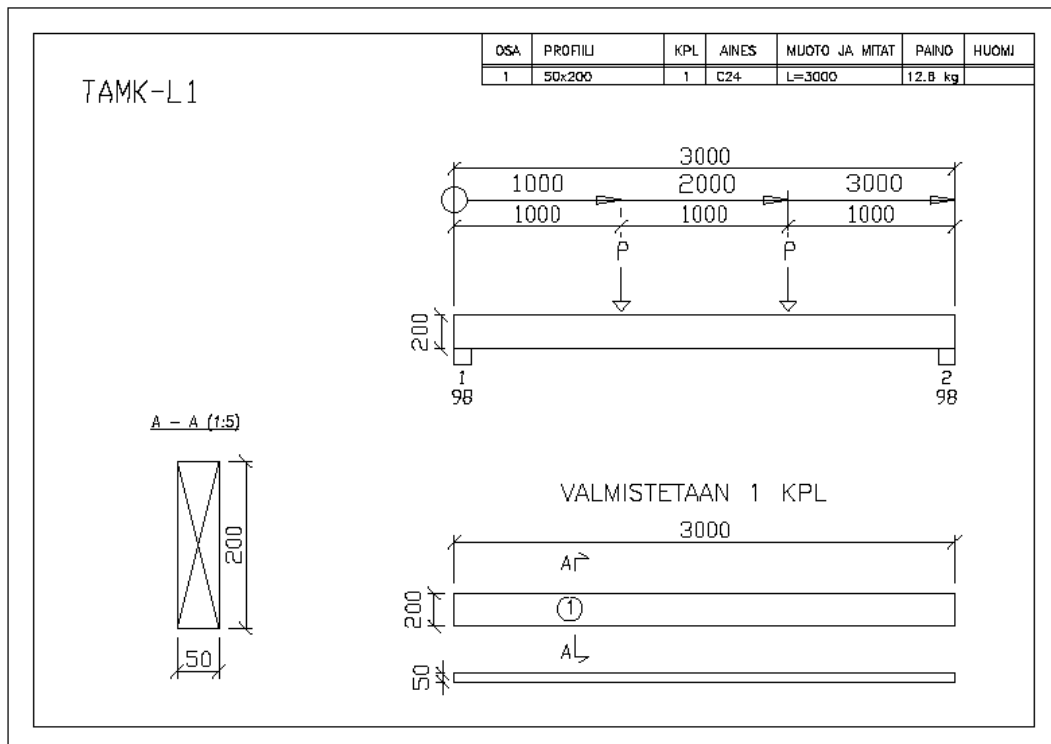
KUORMITUSTIEDOT

K-Jako: .  
 Lumikuorma: .  
 Yläpaarre: .  
 Alapaarre: .  
 Onsikuorma: .  
 Hyötykuorma: .  
 Tuulikuorma: .

TUENTA 1-2  
 VALMISTETAAN 1 KPL



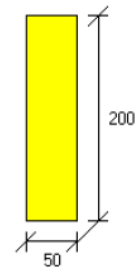
### 8.2 Palkki L1



Laskelmat on tehty alla olevilla lähtötiedoilla vain kyseiselle rakenneosalle. Laskelmissa esitetty rakenneosan pituus ei ole tilausmitta. Tilausmitassa on otettava huomioon esim. tuennan vaatima lisäpituus.

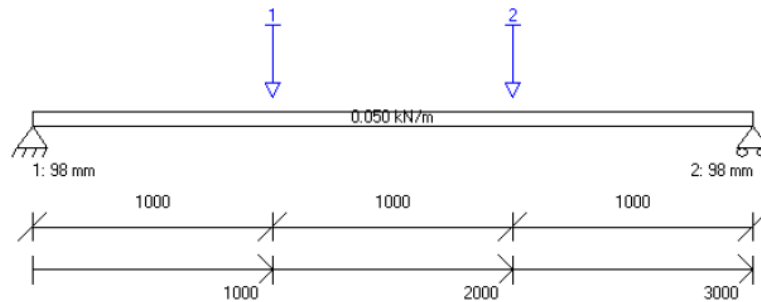
**RAKENNETIEDOT:**

Rakennetyyppi: Vapaa rakenne  
 Materiaali: C24  
 Poikkileikkaus: 50x200 (B=50 mm, H=200 mm)  
 Käyttöluokka: 1  
 Seuraamusluokka: CC1 (KFI=0.9)  
 Jako/kuormituslev.: 1000 mm (pintakuomille)



Uloke-/jännevälipituudet:  
 Uloke/jänneväli: Vaakamitta [mm]:  
 Jänneväli 1: 3000.0  
 Yhteensä: 3000.0

Tuki:	Sijainti x [mm]:	Leveys [mm]:	Tyyppi:
1:	0	98	Kiinteä niveltuki (X,Z)
2:	3000	98	Liukutuki (Z)


**KUORMITUSTIEDOT:**

Omapaino (Omapaino, Pysyvä):

**MAKSIMIKÄYTTÖASTE YLITTYI**

1.4.2011

Rakennesosan paino: QZ = 0.050 kN/m x = 0 - 3000 mm

Hyötyk. pistekuormatark. (Hyötykuorma, lyhytaikainen, Lyhytaikainen, MRT/KRT-liikkuvuus = 100.0 %):

Pistekuorma: 1: FZ = 3.80 kN x = 1000.0 mm

Pistekuorma: 2: FZ = 3.80 kN x = 2000.0 mm

**MITOITUS:**

Mitoitusstandardi: EN 1995-1-1:2004 + A1:2008 + RIL 205-1-2009

Kokonaiskäyttöaste: 143.3 %

**MITOITUSPARAMETRIT:**

Taipumaraja Winst: L/400

Taipumaraja Wnet,fin: L/300

Korotuskerroin, vasen uloke: 2.00

Korotuskerroin, oikea uloke: 2.00

Nurjahdus on estetty molempiin suuntiin (y ja z)

Kiepahdus on estetty

**MITOITUKSEN ÄÄRIARVOT:**

Tarkastelu:	Mitoitusarvo:	Raja-arvo:	Käyttöaste *):	Sijainti x:	
Leikkaus (z):	5.21 kN	7.18 kN	72.5 %	3000 mm	Lyhytaikainen
Taivutus (My):	5.19 kNm	5.14 kNm	100.9 %	1500 mm	Lyhytaikainen
Tukipaine, tuki 1:	5.21 kN	12.86 kN	40.5 %	0 mm	Lyhytaikainen
Tukipaine, tuki 2:	5.21 kN	12.86 kN	40.5 %	3000 mm	Lyhytaikainen
Winst:	10.7 mm	7.5 mm	143.3 %	1500 mm	
Wnet,fin:	10.8 mm	10.0 mm	108.4 %	1500 mm	

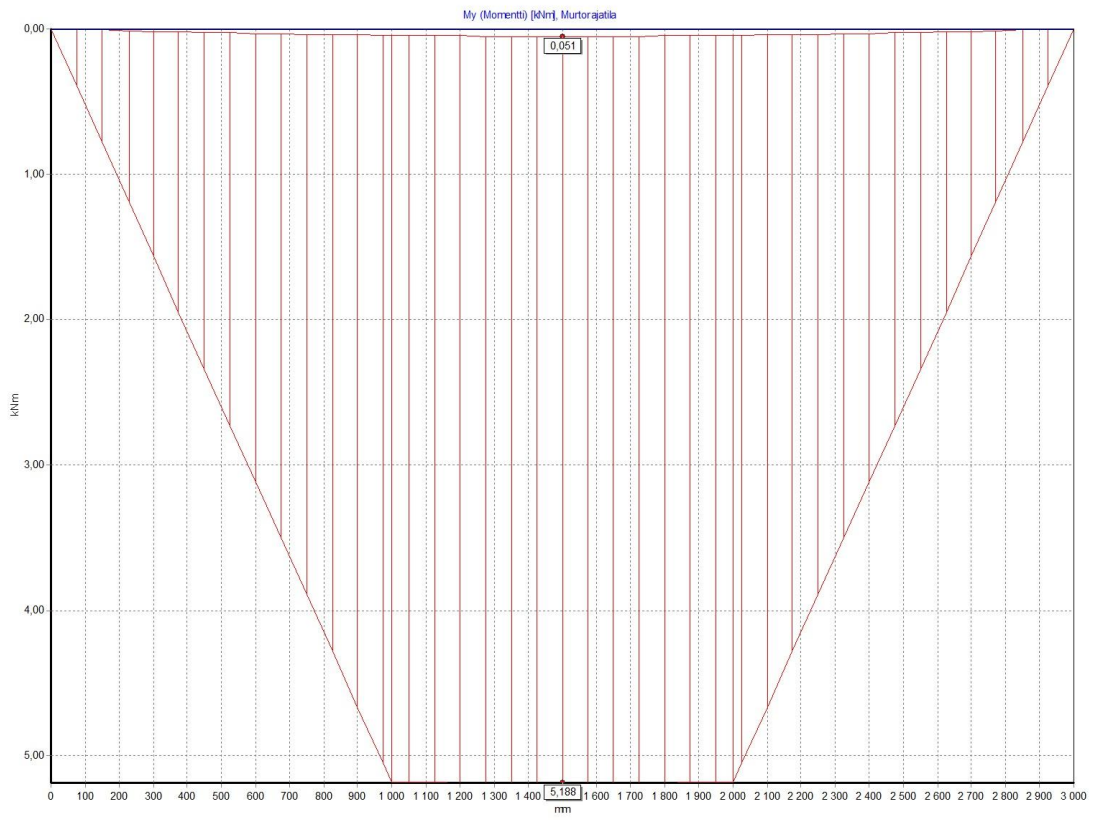
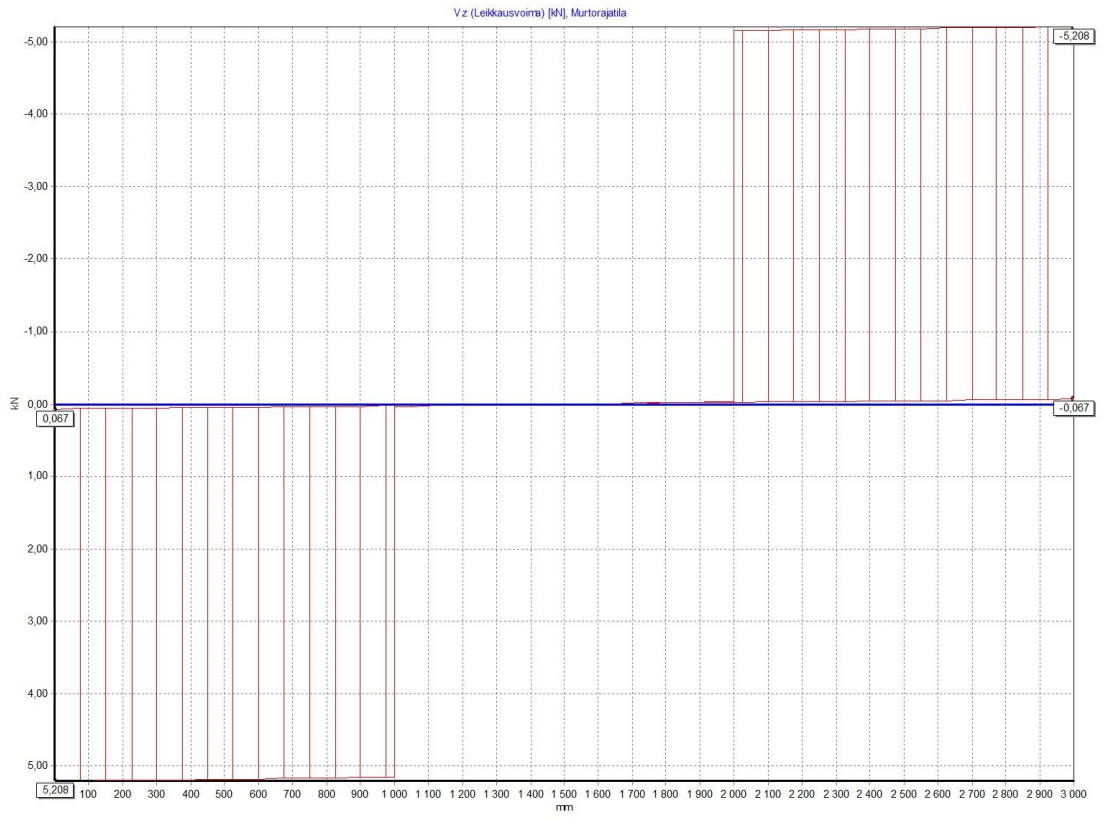
**TUKIREAKTIOT:**

Tuki:	MRTmax:	MRTmin:	KRTmax:	KRTmin:
1:	5.21 kN	0.07 kN	3.87 kN	0.07 kN
2:	5.21 kN	0.07 kN	3.87 kN	0.07 kN

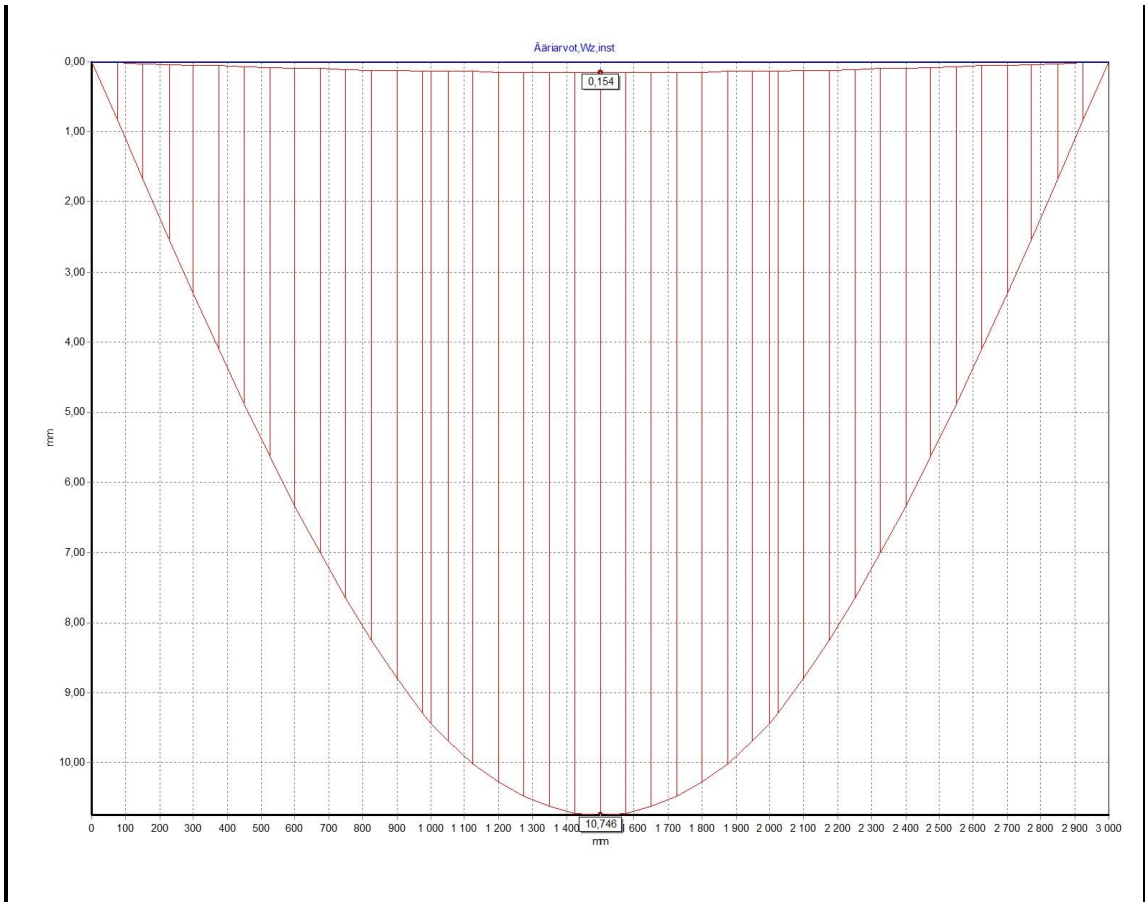
- KRT tukireaktiot ovat vain vertailua varten

Laskelmissa ei ole huomioitu rakennusaikaisia kuormia eikä kosteusolosuhteita. Mahdolliset rakennusaikaiset lisätuennat on mitoitettava erikseen. Rakennuksen kokonaisjäykistystä ja siitä johtuvia vaakavoimia ei ole huomioitu. Rakennesosan (palkki, pili, laatta) soveltuvuus kokonaisuuteen on päärakennesuunnittelijan tarkistettava erikseen.

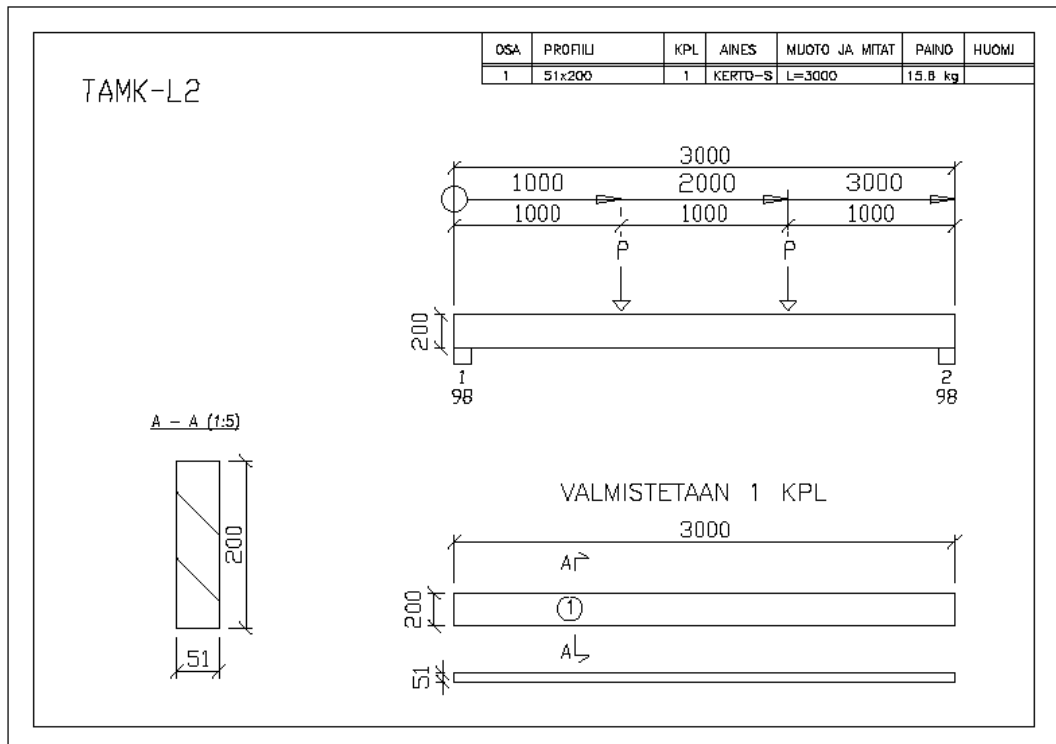
Finnwood-ohjelmistolla tehdyt laskelmat ja tulosteet ovat voimassa vain ohjelmistoon tallennettujen Metsäliiton Puutuoteteollisuuden tuotteiden kanssa. Nämä tuotteet on tarvittaessa osoitettava rakennuspaikalla hankkeen osapuolille sekä viranomaisille. Metsäliiton Puutuoteteollisuus tai sen tytäryhtiöt eivät vastaa käyttäjälle tai kolmannelle osapuolelle muiden valmistajien tuotteista tai niiden käytöstä Finnwood-ohjelmistossa, ohjelmiston perusteella näin tehdyistä laskelmista ja tulosteista tai kolmansien valmistajien tuotteista tai niiden käytöstä aiheutuneista virheistä, menetyksistä tai vahingoista. Näitä ehtoja ei saa poistaa tulosteesta.







### 8.3 Palkki L2



**MAKSIMIKÄYTTÖASTE YLITTYI**

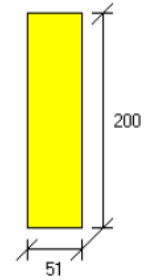
Topi Mikkola

11.4.2011

Laskelmat on tehty alla olevilla lähtötiedoilla vain kyseiselle rakenneosalle. Laskelmissa esitetty rakenneosan pituus ei ole tilausmitta. Tilausmitassa on otettava huomioon esim. tuennan vaatima lisäpituus.

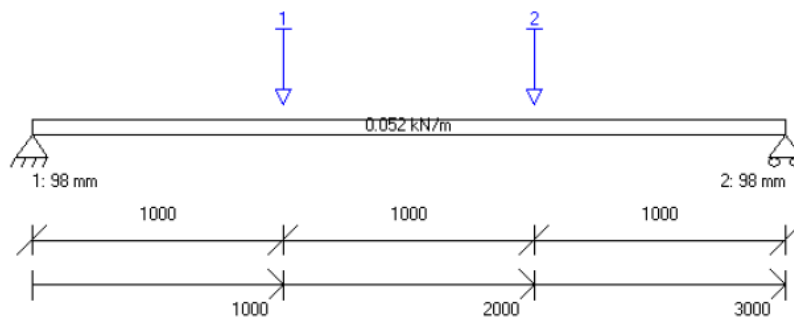
**RAKENNETIEDOT:**

Rakennetyyppi: Vapaa rakenne  
 Materiaali: KERTO-S syrjällään  
 Poikkileikkaus: 51x200 (B=51 mm, H=200 mm)  
 Käyttöluokka: 1  
 Seuraamusluokka: CC1 (KFI=0.9)  
 Jako/kuormituslev.: 1000 mm (pintakuomille)

**Uloke-/jännevälipituudet:**

Uloke/jänneväli: Vaakamitta [mm]:  
 Jänneväli 1: 3000.0  
 Yhteensä: 3000.0

Tuki:	Sijainti x [mm]:	Leveys [mm]:	Tyyppi:
1:	0	98	Kiinteä niveltuki (X,Z)
2:	3000	98	Liukutuki (Z)

**KUORMITUSTIEDOT:**

Omapaino (Omapaino, Pysyvä):

**MAKSIMIKÄYTTÖASTE YLITTYI**

Topi Mikkola

11.4.2011

Rakenneosan paino: QZ = 0.052 kN/m x = 0 - 3000 mm

Hyötyk. pistekuormatark. (Hyötykuorma, lyhytaikainen, Lyhytaikainen, MRT/KRT-liikkuvuus = 100.0 %):

Pistekuorma: 1: FZ = 8.70 kN x = 1000.0 mm

Pistekuorma: 2: FZ = 8.70 kN x = 2000.0 mm

**MITOITUS:**

Mitoitusstandardi: EN 1995-1-1:2004 + A1:2008 + RIL 205-1-2009

Kokonaiskäyttöaste: 261.4 %

**MITOITUSPARAMETRI:**

Taipumaraja Winst: L/400

Taipumaraja Wnet,fin: L/300

Korotuskerroin, vasen uloke: 2.00

Korotuskerroin, oikea uloke: 2.00

Nurjahdus on estetty molempiin suuntiin (y ja z)

Kiepahdus on estetty

**MITOITUKSEN ÄÄRIARVOT:**

Tarkastelu:	Mitoitusarvo:	Raja-arvo:	Käyttöaste *):	Sijainti x:	
Leikkaus (z):	11.83 kN	20.91 kN	56.6 %	0 mm	Lyhytaikainen
Taivutus (My):	11.81 kNm	11.78 kNm	100.2 %	1500 mm	Lyhytaikainen
Tukipaine, tuki 1:	11.83 kN	29.38 kN	40.3 %	0 mm	Lyhytaikainen
Tukipaine, tuki 2:	11.83 kN	29.38 kN	40.3 %	3000 mm	Lyhytaikainen
Winst:	19.6 mm	7.5 mm	261.4 %	1500 mm	
Wnet,fin:	19.7 mm	10.0 mm	196.8 %	1500 mm	

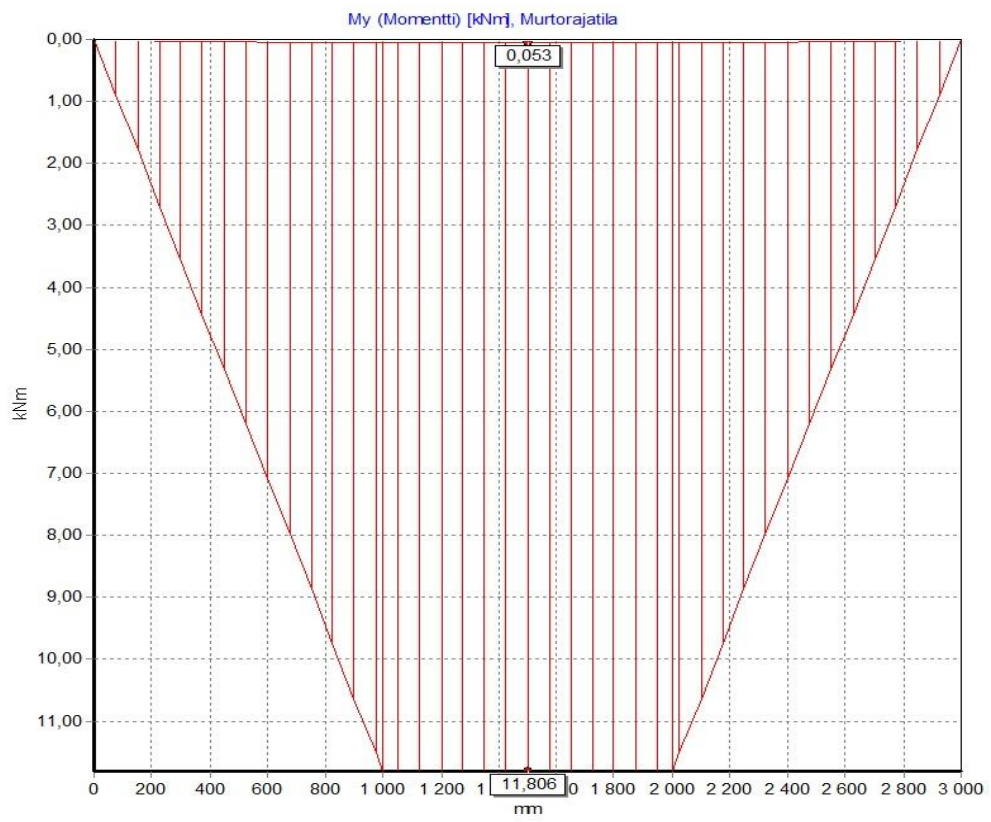
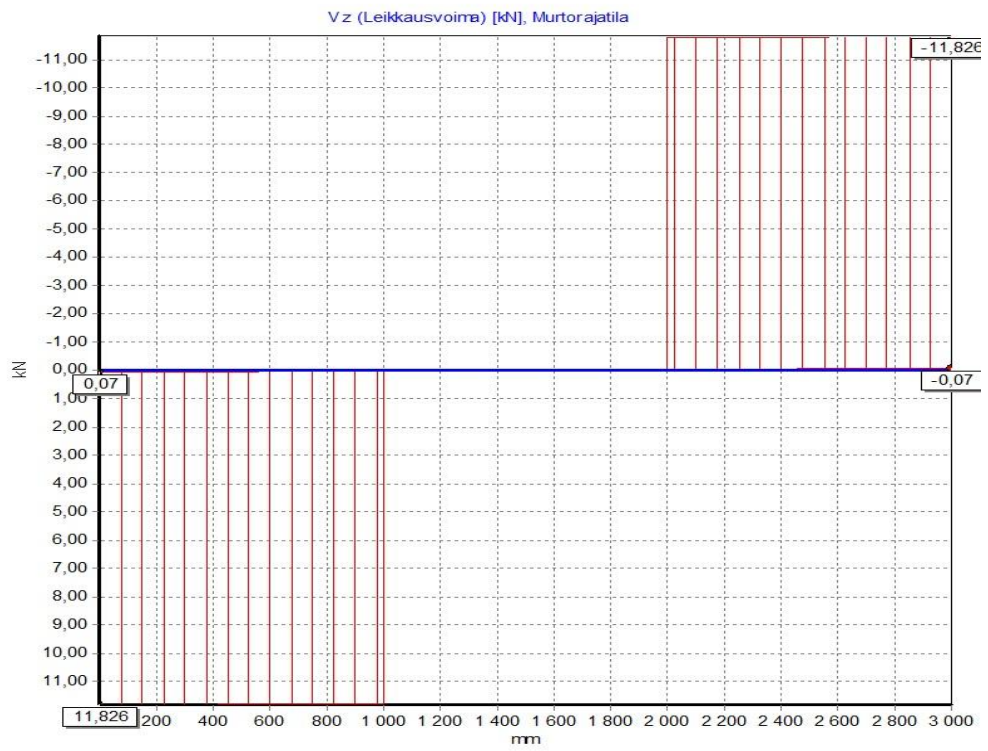
**TUKIREAKTIOT:**

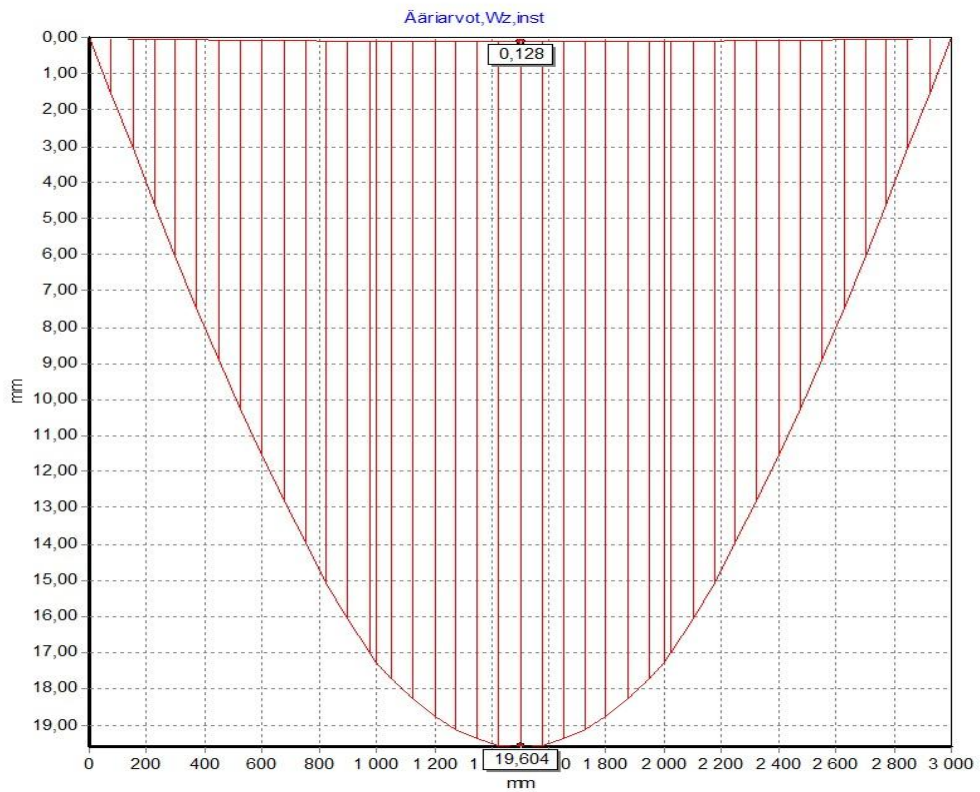
Tuki:	MRTmax:	MRTmin:	KRTmax:	KRTmin:
1:	11.83 kN	0.07 kN	8.78 kN	0.08 kN
2:	11.83 kN	0.07 kN	8.78 kN	0.08 kN

- KRT tukireaktiot ovat vain vertailua varten

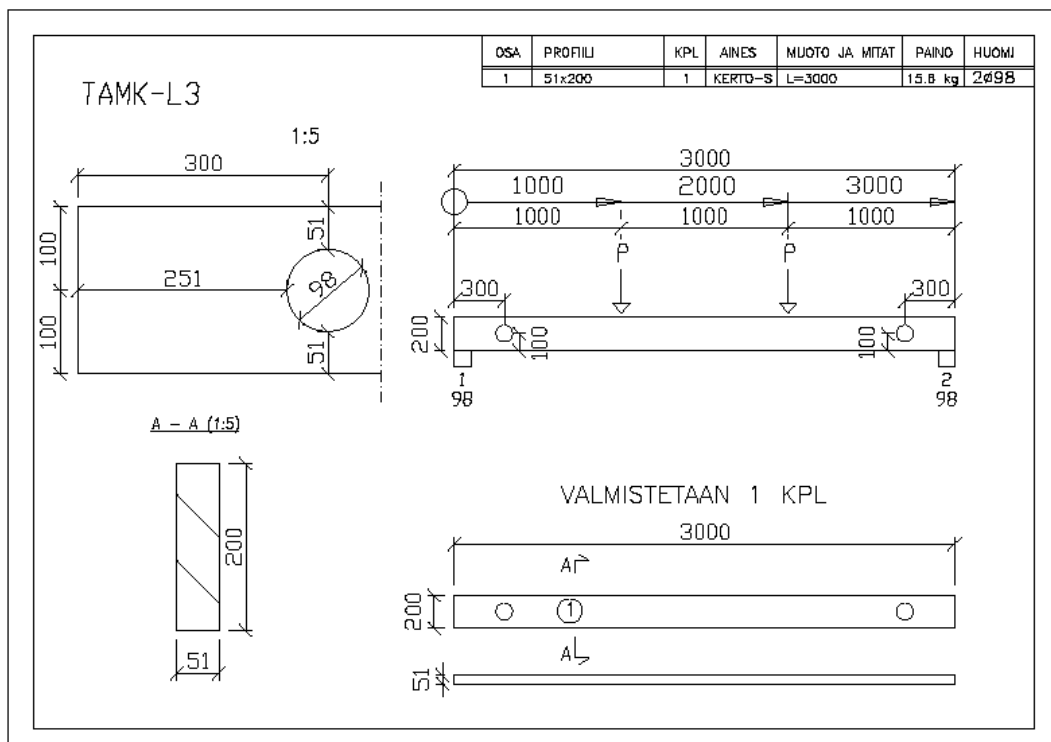
Laskelmissa ei ole huomioitu rakennusaikaisia kuormia eikä kosteusolosuhteita. Mahdolliset rakennusaikaiset lisätuennat on mitoitettava erikseen. Rakennuksen kokonaisjäykistystä ja siitä johtuvia vaakavoimia ei ole huomioitu. Rakenneosan (palkki, pilari, laatta) soveltuvuus kokonaisuuteen on päärakennesuunnittelijan tarkistettava erikseen.

Finnwood-ohjelmistolla tehdyt laskelmat ja tulosteet ovat voimassa vain ohjelmistoon tallennettujen Metsäliiton Puutuoteteollisuuden tuotteiden kanssa. Nämä tuotteet on tarvittaessa osoitettava rakennuspaikalla hankkeen osapuolille sekä viranomaisille. Metsäliiton Puutuoteteollisuus tai sen tytäryhtiöt eivät vastaa käyttäjälle tai kolmannelle osapuolelle muiden valmistajien tuotteista tai niiden käytöstä Finnwood-ohjelmistossa, ohjelmiston perusteella näin tehdyistä laskelmista ja tulosteista tai kolmansien valmistajien tuotteista tai niiden käytöstä aiheutuneista virheistä, menetyksistä tai vahingoista. Näitä ehtoja ei saa poistaa tulosteesta.





### 8.4 Palkki L3



**MAKSIMIKÄYTTÖASTE YLITTYI**

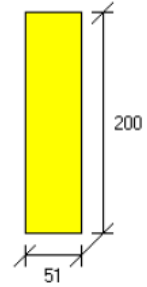
Topi Mikkola

11.4.2011

Laskelmat on tehty alla olevilla lähtötiedoilla vain kyseiselle rakenneosalle. Laskelmissa esitetty rakenneosan pituus ei ole tilausmitta. Tilausmitassa on otettava huomioon esim. tuennan vaatima lisäpituus.

**RAKENNETIEDOT:**

Rakennetyyppi: Vapaa rakenne  
 Materiaali: KERTO-S syrjällään  
 Poikkileikkaus: 51x200 (B=51 mm, H=200 mm)  
 Käyttöluokka: 1  
 Seuraamusluokka: CC1 (KFI=0.9)  
 Jako/kuormituslev.: 1000 mm (pintakuomille)

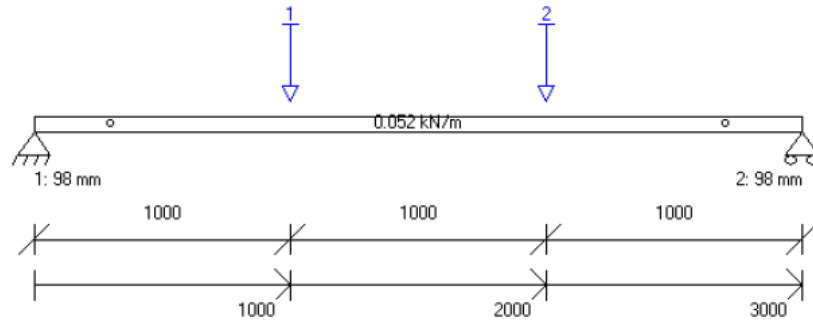


## Uloke-/jännevälipituudet:

Uloke/jänneväli: Vaakamitta [mm]:  
 Jänneväli 1: 3000.0  
 Yhteensä: 3000.0

Tuki:	Sijainti x [mm]:	Leveys [mm]:	Tyyppi:
1:	0	98	Kiinteä niveltuki (X,Z)
2:	3000	98	Liukutuki (Z)

Reikä:	Muoto:	Sijainti x [mm]:	koko:
1	Ympyrä	300 mm	d=98 mm (1)
2	Ympyrä	2700 mm	d=98 mm (2)

**MAKSIMIKÄYTTÖASTE YLITTYI****KUORMITUSTIEDOT:**

Omapaino (Omapaino, Pysyvä):

Rakennesosan paino: QZ = 0.052 kN/m x = 0 - 3000 mm

Hyötyk. pistekuomataark. (Hyötykuorma, lyhytaikainen, Lyhytaikainen, MRT/KRT-liikkuvuus = 100.0 %):

Pistekuorma: 1: FZ = 7.90 kN x = 1000.0 mm

Pistekuorma: 2: FZ = 7.90 kN x = 2000.0 mm

**MITOITUS:**

Mitoitusstandardi:

EN 1995-1-1:2004 + A1:2008 + RIL 205-1-2009

Kokonaiskäyttöaste:

237.5 %

**MITOITUSPARAMETRIT:**

Taipumaraja Winst: L/400

Taipumaraja Wnet,fin: L/300

Korotuskertoimen, vasen uloke: 2.00

Korotuskertoimen, oikea uloke: 2.00

Nurjahdus on estetty molempiin suuntiin (y ja z)

Kiepahdus on estetty

**MITOITUKSEN ÄÄRIARVOT:**

Tarkastelu: Mitoitusarvo: Raja-arvo: Käyttöaste \*): Sijainti x:

## MAKSIMIKÄYTTÖASTE YLITTYI

Topi Mikkola

11.4.2011

Leikkaus (z):	10.73 kN	10.66 kN	100.7 %	251 mm	Lyhytaikainen
Taivutus (My):	10.73 kNm	11.78 kNm	91.1 %	1500 mm	Lyhytaikainen
Tukipaine, tuki 1:	10.75 kN	29.38 kN	36.6 %	0 mm	Lyhytaikainen
Tukipaine, tuki 2:	10.75 kN	29.38 kN	36.6 %	3000 mm	Lyhytaikainen
Winst:	17.8 mm	7.5 mm	237.5 %	1500 mm	
Wnet,fin:	17.9 mm	10.0 mm	178.9 %	1500 mm	

## REIKIEN MITOITUS:

Tarkastelu:	Mitoitusarvo:	Raja-arvo:	Käyttöaste *):	Reikä (sijainti x):	
Leikkaus (z):	10.73 kN	10.66 kN	100.7 %	Reikä 1 (251)	Lyhytaikainen
Taivutus (My):	3.75 kNm	10.39 kNm	36.1 %	Reikä 1 (349)	Lyhytaikainen
Leikkaus (z):	10.73 kN	10.66 kN	100.7 %	Reikä 2 (2749)	Lyhytaikainen
Taivutus (My):	3.75 kNm	10.39 kNm	36.1 %	Reikä 2 (2651)	Lyhytaikainen

## TUKIREAKTIOT:

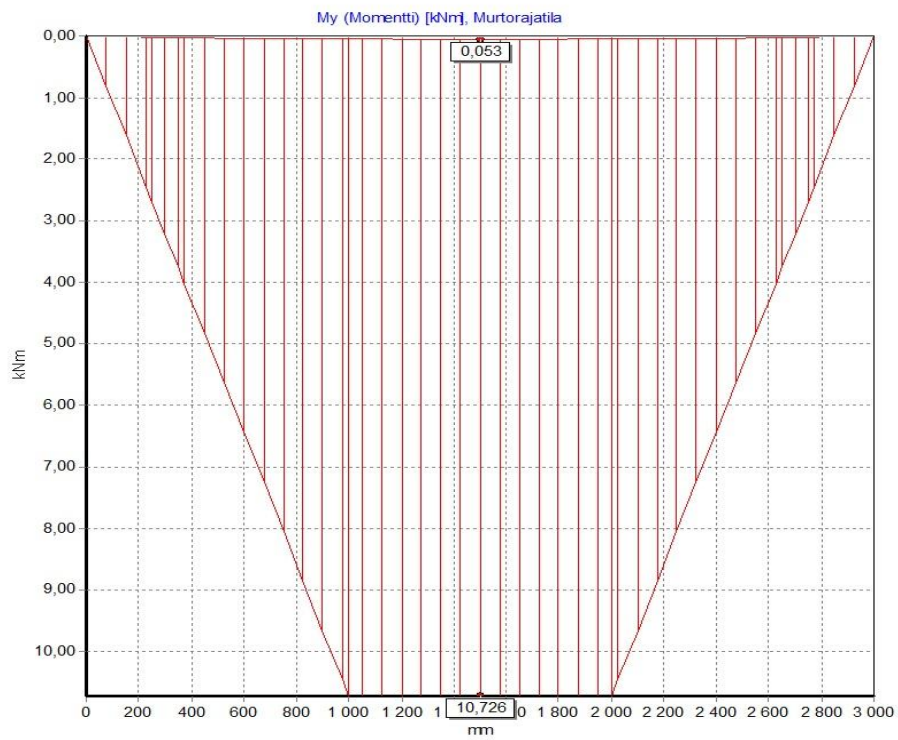
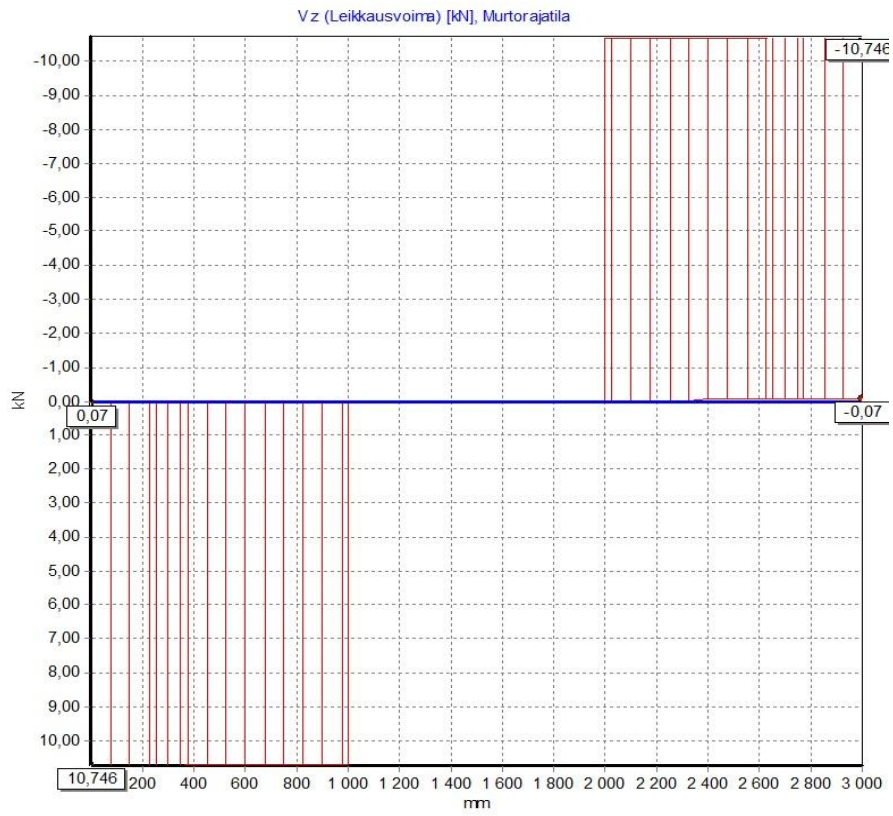
Tuki:	MRTmax:	MRTmin:	KRTmax:	KRTmin:
1:	10.75 kN	0.07 kN	7.98 kN	0.08 kN
2:	10.75 kN	0.07 kN	7.98 kN	0.08 kN

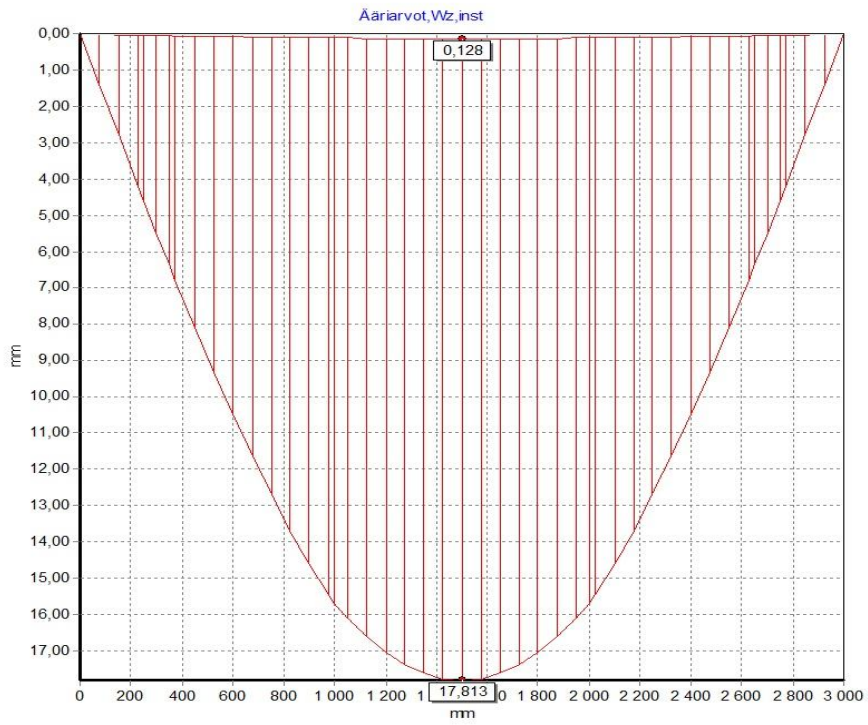
- KRT tukireaktiot ovat vain vertailua varten

Laskelmissa ei ole huomioitu rakennusaikaisia kuormia eikä kosteusolosuhteita. Mahdolliset rakennusaikaiset lisätuennat on mitoitettava erikseen. Rakennuksen kokonaisjäykistystä ja siitä johtuvia vaakavoimia ei ole huomioitu. Rakennososan (palkki, pilari, laatta) soveltuvuus kokonaisuuteen on päärakennesuunnittelijan tarkistettava erikseen.

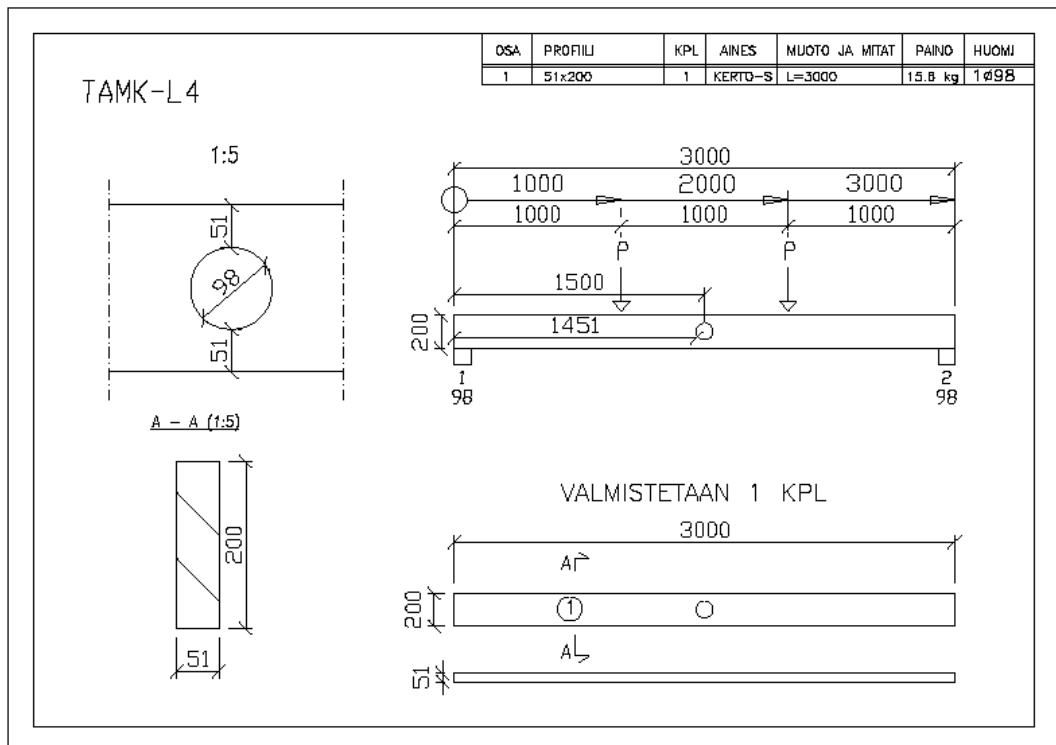
Finnwood-ohjelmistoilla tehdyt laskelmat ja tulosteet ovat voimassa vain ohjelmistoon tallennettujen Metsäliiton Puutuoteteollisuuden tuotteiden kanssa. Nämä tuotteet on tarvittaessa osoitettava rakennuspaikalla hankkeen osapuolille sekä viranomaisille. Metsäliiton Puutuoteteollisuus tai sen tytäryhtiöt eivät vastaa käyttäjälle tai kolmannelle osapuolelle muiden valmistajien tuotteista tai niiden käytöstä Finnwood-ohjelmistossa, ohjelmiston perusteella näin tehdyistä laskelmista ja tulosteista tai kolmansien valmistajien tuotteista tai niiden käytöstä aiheutuneista virheistä, menetyksistä tai vahingoista. Näitä ehtoja ei saa poistaa tulosteesta.







### 8.5 Palkki L4



**MAKSIMIKÄYTTÖASTE YLITTYI**

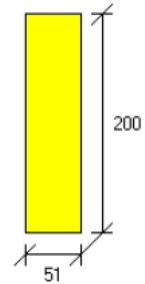
Topi Mikkola

11.4.2011

Laskelmat on tehty alla olevilla lähtötiedoilla vain kyseiselle rakenneosalle. Laskelmissa esitetty rakenneosan pituus ei ole tilausmitta. Tilausmitassa on otettava huomioon esim. tuennan vaatima lisäpituus.

**RAKENNETIEDOT:**

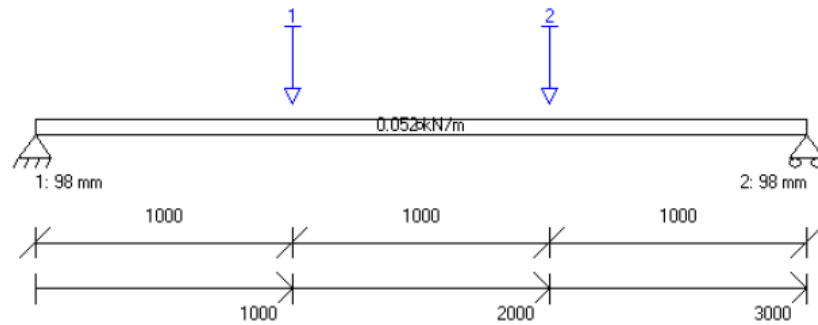
Rakennetyyppi: Vapaa rakenne  
 Materiaali: KERTO-S syrjällään  
 Poikkileikkaus: 51x200 (B=51 mm, H=200 mm)  
 Käyttöluokka: 1  
 Seuraamusluokka: CC1 (KFI=0.9)  
 Jako/kuormituslev.: 1000 mm (pintakuomille)



Uloke-/jännevälipituudet:  
 Uloke/jänneväli: Vaakamitta [mm]:  
 Jänneväli 1: 3000.0  
 Yhteensä: 3000.0

Tuki:	Sijainti x [mm]:	Leveys [mm]:	Tyyppi:
1:	0	98	Kiinteä niveltuki (X,Z)
2:	3000	98	Liukutuki (Z)

Reikä:	Muoto:	Sijainti x [mm]:	koko:
1	Ympyrä	1500 mm	d=98 mm

**MAKSIMIKÄYTTÖASTE YLITTYI****KUORMITUSTIEDOT:**

Omapaino (Omapaino, Pysyvä):

Rakenneseosan paino: QZ = 0.052 kN/m x = 0 - 3000 mm

Hyötyk. pistekuormatark. (Hyötykuorma, lyhytaikainen, Lyhytaikainen, MRT/KRT-liikkuvuus = 100.0 %):

Pistekuorma: 1: FZ = 7.70 kN x = 1000.0 mm

Pistekuorma: 2: FZ = 7.70 kN x = 2000.0 mm

**MITOITUS:**

Mitoitusstandardi: EN 1995-1-1:2004 + A1:2008 + RIL 205-1-2009

Kokonaiskäyttöaste: 231.5 %

**MITOITUSPARAMETRIT:**

Taipumaraja Winst: L/400

Taipumaraja Wnet,fin: L/300

Korotuskertoimen, vasen uloke: 2.00

Korotuskertoimen, oikea uloke: 2.00

Nurjahdus on estetty molempiin suuntiin (y ja z)

Kiepahdus on estetty

**MITOITUKSEN ÄÄRIARVOT:**

Tarkastelu: Mitoitusarvo: Raja-arvo: Käyttöaste \*): Sijainti x:

**MAKSIMIKÄYTTÖASTE YLITTYI**

Topi Mikkola

11.4.2011

Leikkaus (z):	10.48 kN	20.91 kN	50.1 %	0 mm	Lyhytaikainen
Taivutus (My):	10.46 kNm	10.39 kNm	100.6 %	1500 mm	Lyhytaikainen
Tukipaine, tuki 1:	10.48 kN	29.38 kN	35.7 %	0 mm	Lyhytaikainen
Tukipaine, tuki 2:	10.48 kN	29.38 kN	35.7 %	3000 mm	Lyhytaikainen
Winst:	17.4 mm	7.5 mm	231.5 %	1500 mm	
Wnet,fin:	17.4 mm	10.0 mm	174.4 %	1500 mm	

**REIKIEN MITOITUS:**

Tarkastelu:	Mitoitusarvo:	Raja-arvo:	Käyttöaste *):	Reikä (sijainti x):	
Leikkaus (z):	0.00 kN	7.10 kN	0.0 %	Reikä 1 (1549)	Pysyvä
Taivutus (My):	10.46 kNm	10.39 kNm	100.6 %	Reikä 1 (1500)	Lyhytaikainen

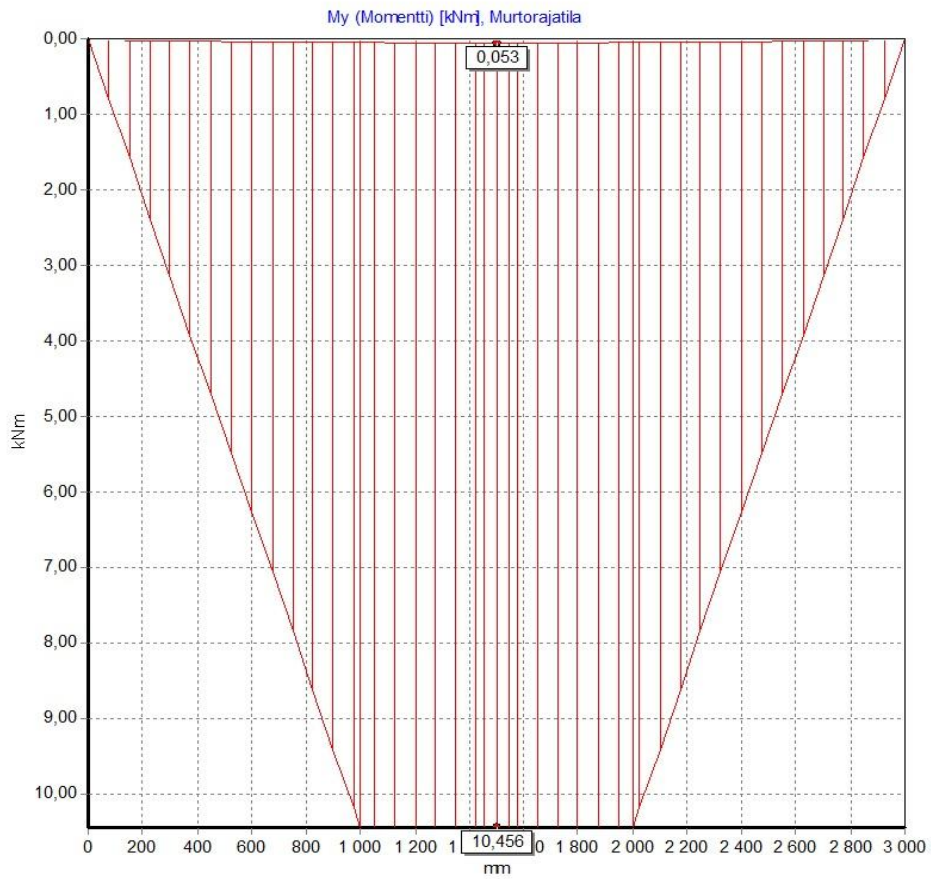
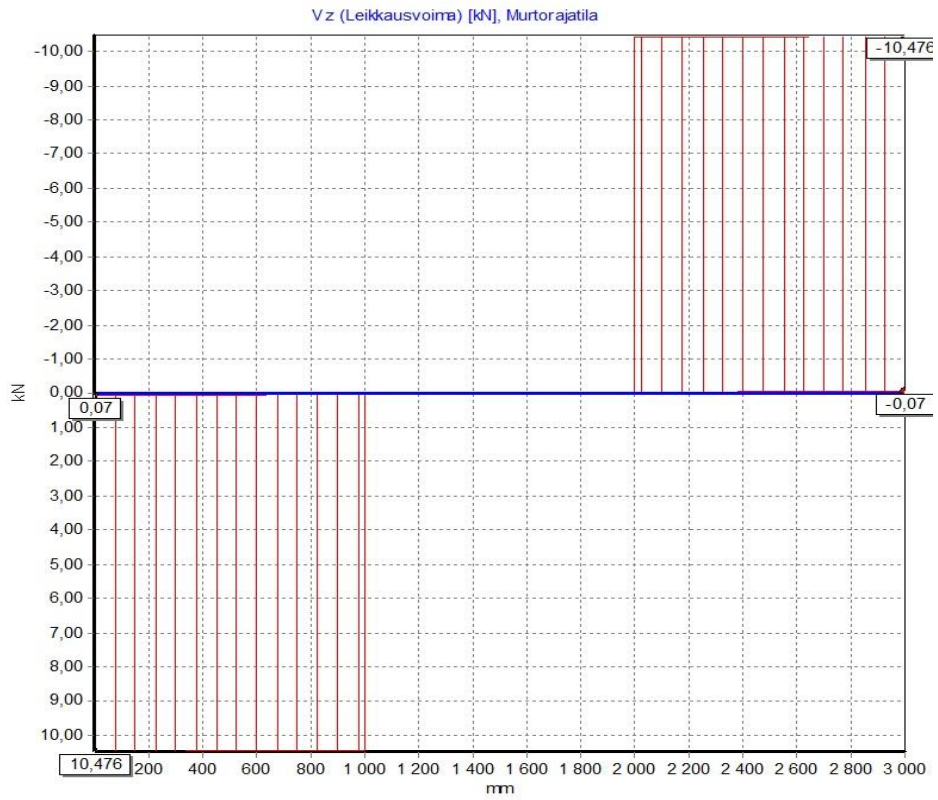
**TUKIREAKTIOT:**

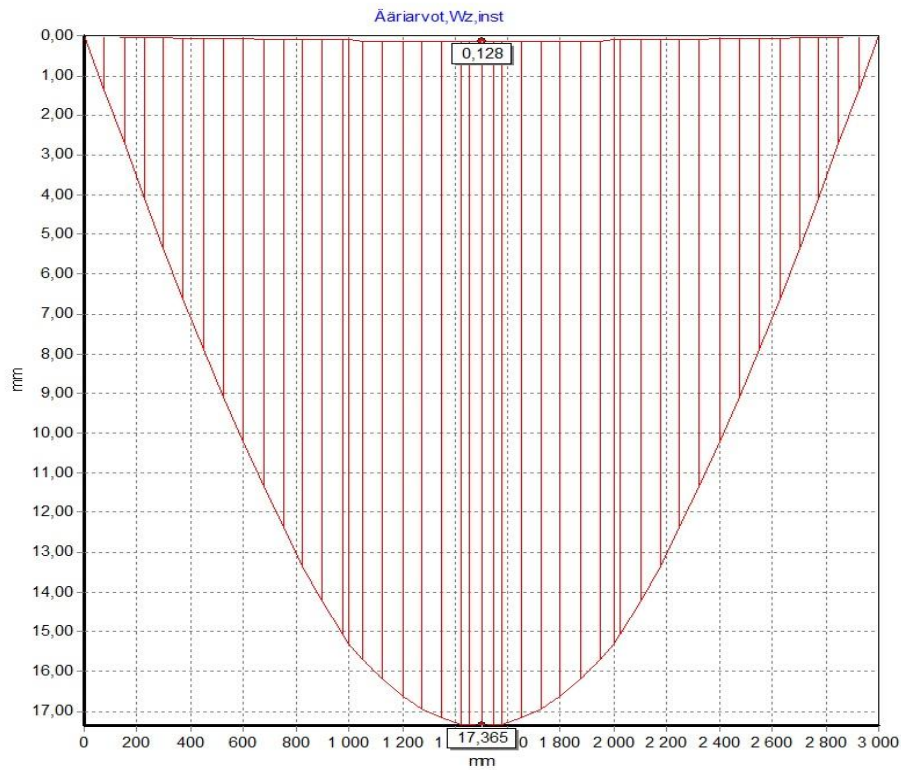
Tuki:	MRTmax:	MRTmin:	KRTmax:	KRTmin:
1:	10.48 kN	0.07 kN	7.78 kN	0.08 kN
2:	10.48 kN	0.07 kN	7.78 kN	0.08 kN

- KRT tukireaktiot ovat vain vertailua varten

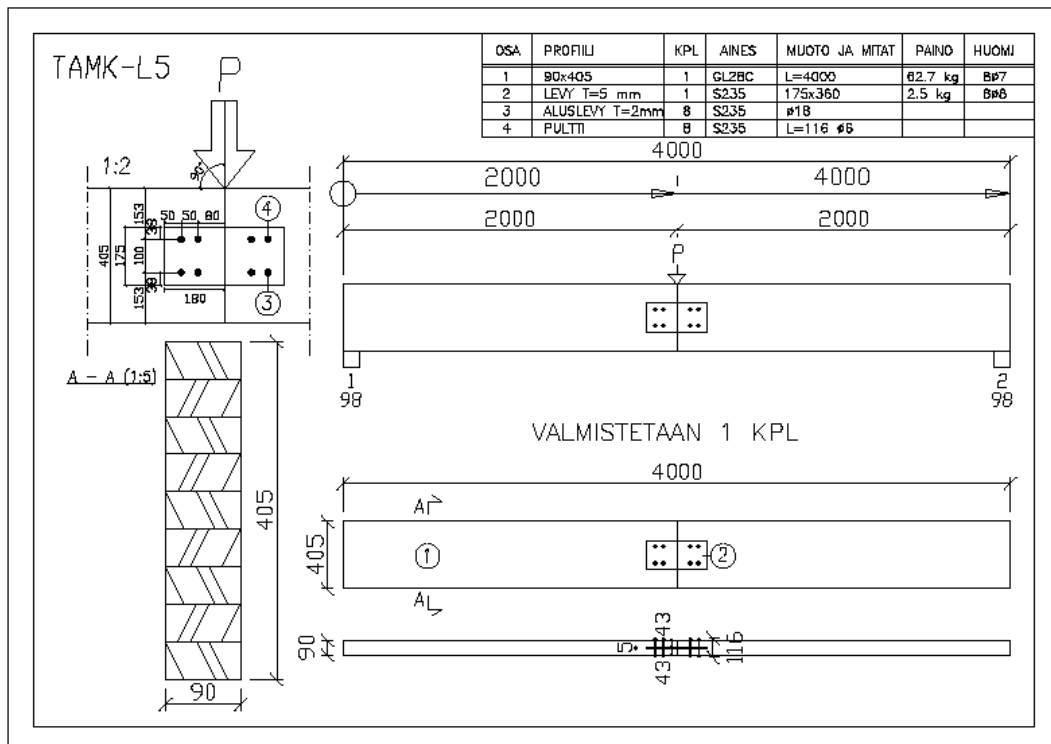
Laskelmissa ei ole huomioitu rakennusaikaisia kuormia eikä kosteusolosuhteita. Mahdolliset rakennusaikaiset lisätuennat on mitoitettava erikseen. Rakennuksen kokonaisjäykistystä ja siitä johtuvia vaakavoimia ei ole huomioitu. Rakennososan (palkki, pilari, laatta) soveltuvuus kokonaisuuteen on päärakennesuunnittelijan tarkistettava erikseen.


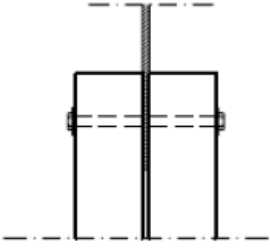
Finnwood-ohjelmistolla tehdyt laskelmat ja tulosteet ovat voimassa vain ohjelmistoon tallennettujen Metsäliiton Puutuoteteollisuuden tuotteiden kanssa. Nämä tuotteet on tarvittaessa osoitettava rakennuspaikalla hankkeen osapuolille sekä viranomaisille. Metsäliiton Puutuoteteollisuus tai sen tytäryhtiöt eivät vastaa käyttäjälle tai kolmannelle osapuolelle muiden valmistajien tuotteista tai niiden käytöstä Finnwood-ohjelmistossa, ohjelmiston perusteella näin tehdyistä laskelmista ja tulosteista tai kolmansien valmistajien tuotteista tai niiden käytöstä aiheutuneista virheistä, menetyksistä tai vahingoista. Näitä ehtoja ei saa poistaa tulosteesta.






8.6 Palkki L5



	Työn nro	TAMK-L5	Rakennelaskelmat
	Tekijä	T.M	Pos. .
	Päiväys	22.4.11	Sivu .
Kalevantie 7 C, FI-33100 Tampere, FINLAND tel. +358 207 392 200, fax +358 207 392 333 <a href="http://www.kpmeng.fi">http://www.kpmeng.fi</a>	Sisältö		
	2-leikkeinen puu-teräslevy-puu -liitos		
Laskennan perustana on RIL 205-1-2007 (eurokoodi EN 1995-1-1), EN 1993-1-1 ja EN 1993-1-8			
Puiden laatu	GL28c		
Teräslevyn laatu	S235		
Puun paksuus (yhden)	43 mm		
Teräslevyn paksuus	5 mm		
$k_{mod}$	1,1		
$\gamma_m$	1,2		
Pultin lujuusluokka		4.6	
Pultin paksuus		6 mm	
Pulttien lukumäärä voiman suunnassa (peräkkäin)		2 kpl	
Pulttien lukumäärä voimaan nähden kohtisuorassa (riveissä)		2 kpl	
Pulttien lukumäärä yhteensä		4 kpl	
Pultille puuhun porattavan reiän maksimi halkaisija		7 mm	
Pultille teräslevyyn porattavan reiän maksimi halkaisija		8 mm	
Liitokseen kohdistuva leikkausvoiman laskenta-arvo ( $F_d$ )		24,5 kN	
Voimansuunnan ja puunsiiden välinen teräväkulma $\alpha^\circ$		90 °	
<b>Liitoksen Leikkauskestävyys: (kaava 8.37.2S RIL)</b>			
$R_k$	3,35 kN		
$R_d$	3,07 kN		
$R_{d,liitos}$	24,59 kN		
käyttöaste	100 %		
<b>Puun Läpiloikeaminen: (kaava 8.4.1S RIL)</b>			
$F_{bt,k}$	197,95 kN		
$F_{bt,d}$	181,45 kN		
käyttöaste	14 %		
<b>Puun halkeamiskestävyys: (kaavat 8.2 &amp; 8.4 RIL)</b>			
$F_{v,Ed}$	16,90 kN		
$F_{90,k}$	65,43 kN		
$F_{90,d}$	59,98 kN		
käyttöaste	28 %		



	Työn nro	TAMK-L5	Rakennelaskelmat
	Tekijä	T.M	Pos. .
	Päiväys	22.4.11	Sivu .
Kalevantie 7 C, FI-33100 Tampere, FINLAND tel. +358 207 392 200, fax +358 207 392 333 <a href="http://www.kpmeng.fi">http://www.kpmeng.fi</a>		Sisältö 2-leikkeinen puu-teräslevy-puu -liitos	
Laskennan perustana on RIL 205-1-2007 (eurokoodi EN 1995-1-1), EN 1993-1-1 ja EN 1993-1-8			
<b>Teräslevyn vetokestävyys: (kaavat 6.6 &amp; 6.7 EN 1993-1-1)</b>			
$N_{t,Rd}$	205,63 kN		
käyttöaste	12 %		
<b>Teräslevyn reunapuristuskestävyys: (taulukko 3.4 EN 1993-1-8)</b>			
$F_{b,Rd,liitos}$	86,40 kN		
käyttöaste	28 %		
<b>Teräslevyn palamurtuminen: (Kaava 3.9 EN 1993-1-8)</b>			
$V_{eff,1,Rd}$	251,88 kN		
käyttöaste	10 %		
<b>Reunaetäisyydet puulle</b>			
Pulttien välinen etäisyys syysuunnassa	50 mm		
Pulttien välinen etäisyys syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa	100 mm		
Pultin etäisyys kuormitettuun päätyyn	80 mm		
Pultin etäisyys kuormittamattomaan päätyyn	1000 mm		
Pultin etäisyys kuormitettuun reunaan	153 mm		
Pultin etäisyys kuormittamattomaan reunaan	153 mm		
<b>Reunaetäisyydet teräslevylle</b>			
Pultin etäisyys teräslevyn päätyyn	50 mm		
Pultin etäisyys teräslevyn reunaan	38 mm		
Liitoksessa puuta vasten tulee käyttää aluslevyjä joiden			
paksuus on vähintään	2 mm		
ja halkaisija vähintään	18 mm		

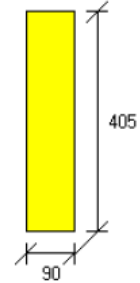
Topi Mikkola

11.4.2011

Laskelmat on tehty alla olevilla lähtötiedoilla vain kyseiselle rakenneosalle. Laskelmissa esitetty rakenneosan pituus ei ole tilausmitta. Tilausmitassa on otettava huomioon esim. tuennan vaatima lisäpituus.

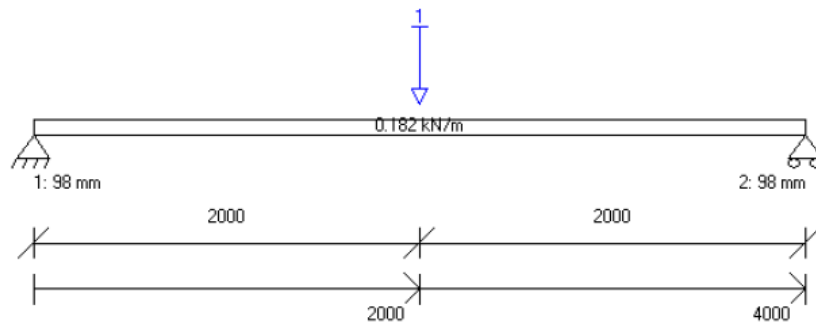
**RAKENNETIEDOT:**

Rakennetyyppi: Vapaa rakenne  
 Materiaali: GL28c  
 Poikkileikkaus: 90x405 (B=90 mm, H=405 mm)  
 Käyttöluokka: 1  
 Seuraamusluokka: CC1 (KFI=0.9)  
 Jako/kuormituslev.: 1000 mm (pintakuormille)

**Uloke-/jännepituudet:**

Uloke/jänneväli: Vaakamitta [mm]:  
 Jänneväli 1: 4000.0  
 Yhteensä: 4000.0

Tuki:	Sijainti x [mm]:	Leveys [mm]:	Tyyppi:
1:	0	98	Kiinteä niveltuki (X,Z)
2:	4000	98	Liukutuki (Z)

**KUORMITUSTIEDOT:**

Omapaino (Omapaino, Pysyvä):

Topi Mikkola

11.4.2011

Rakenneosan paino: QZ = 0.182 kN/m x = 0 - 4000 mm

Hyötyk. pistekuormatark. (Hyötykuorma, lyhytaikainen, Lyhytaikainen, MRT/KRT-liikkuvuus = 100.0 %):

Pistekuorma: 1: FZ = 24.50 kN x = 2000.0 mm

**MITOITUS:**Mitoitusstandardi: EN 1995-1-1:2004 + A1:2008 + RIL 205-1-2009  
Kokonaiskäyttöaste: 64.4 %**MITOITUSPARAMETRI:**Taipumaraja Winst: L/400  
Taipumaraja Wnet,fin: L/300  
Korotuserroin, vasen uloke: 2.00  
Korotuserroin, oikea uloke: 2.00

Nurjahdus on estetty molempiin suuntiin (y ja z)

Kiepahdus on estetty

**MITOITUKSEN ÄÄRIARVOT:**

Tarkastelu:	Mitoitusarvo:	Raja-arvo:	Käyttöaste *):	Sijainti x:	
Leikkaus (z):	16.91 kN	32.97 kN	51.3 %	0 mm	Lyhytaikainen
Taivutus (My):	33.45 kNm	53.74 kNm	62.2 %	2000 mm	Lyhytaikainen
Tukipaine, tuki 1:	16.91 kN	34.99 kN	48.3 %	0 mm	Lyhytaikainen
Tukipaine, tuki 2:	16.91 kN	34.99 kN	48.3 %	4000 mm	Lyhytaikainen
Winst:	6.4 mm	10.0 mm	64.4 %	2000 mm	
Wnet,fin:	6.5 mm	13.3 mm	48.8 %	2000 mm	

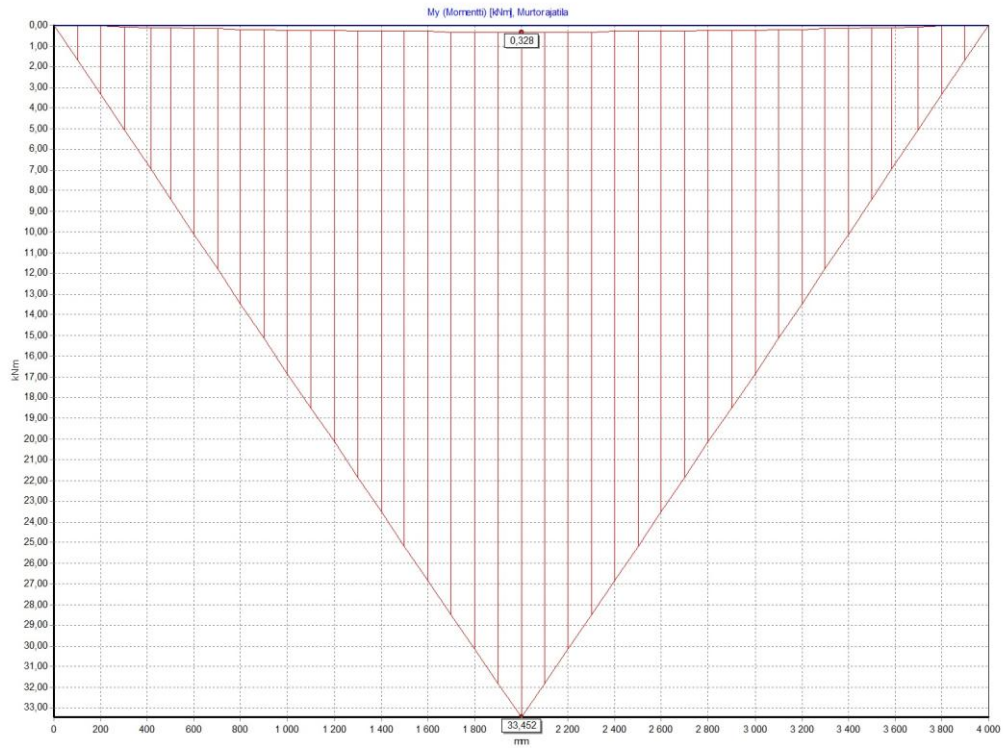
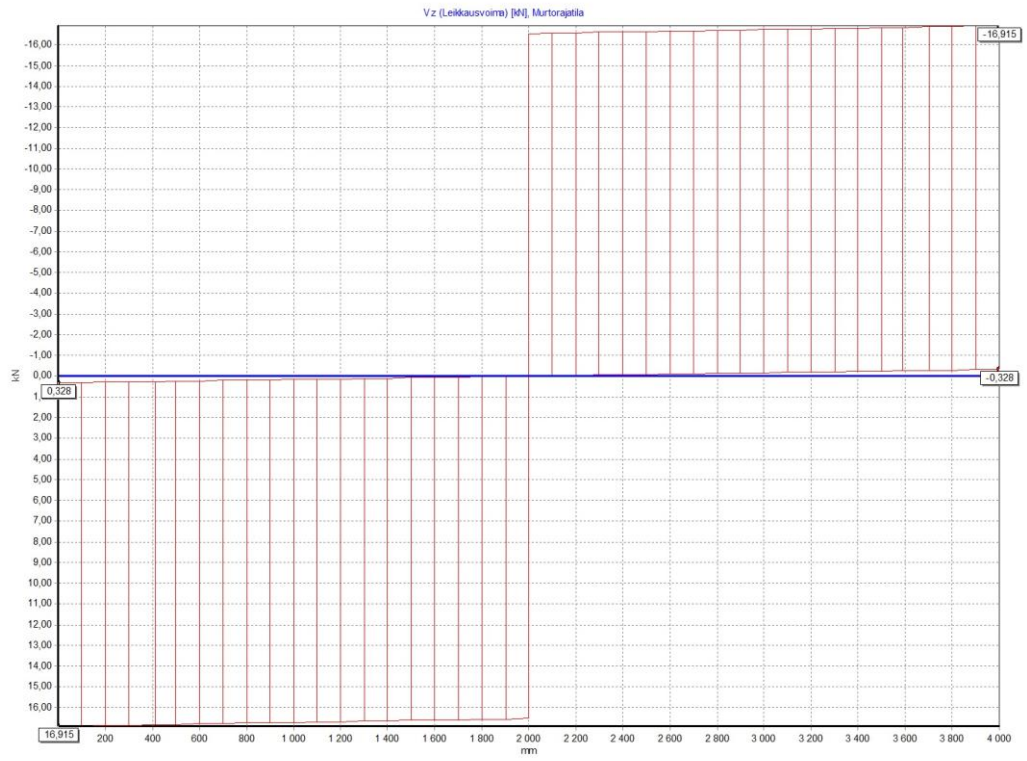
**TUKIREAKTIOT:**

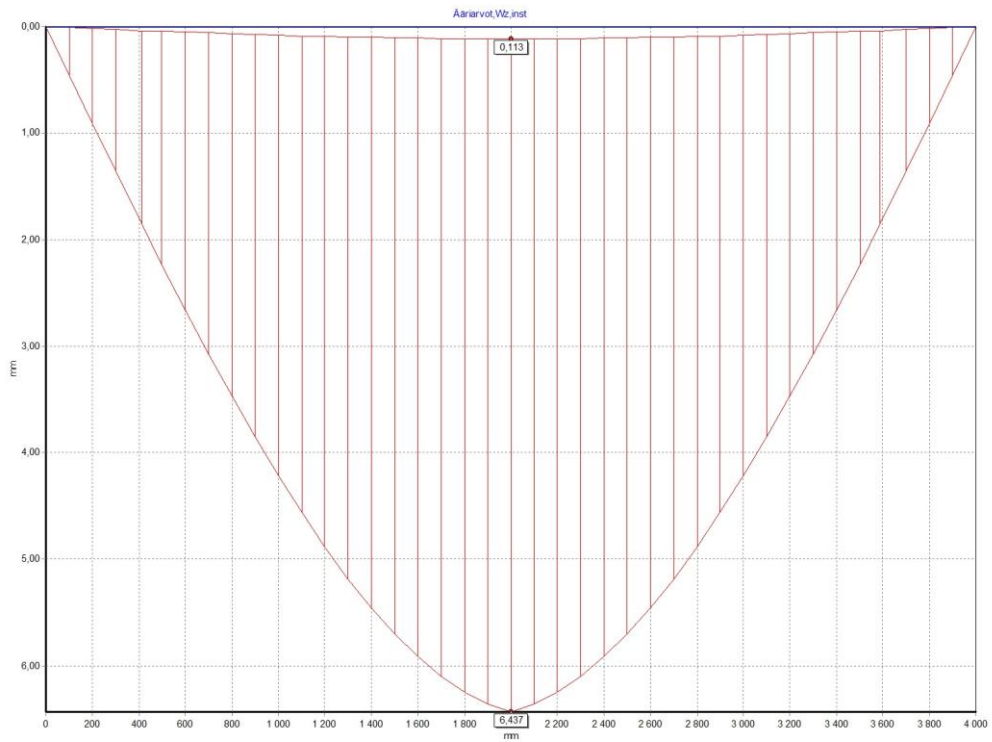
Tuki:	MRTmax:	MRTmin:	KRTmax:	KRTmin:
1:	16.91 kN	0.33 kN	12.61 kN	0.36 kN
2:	16.91 kN	0.33 kN	12.61 kN	0.36 kN

- KRT tukireaktiot ovat vain vertailua varten

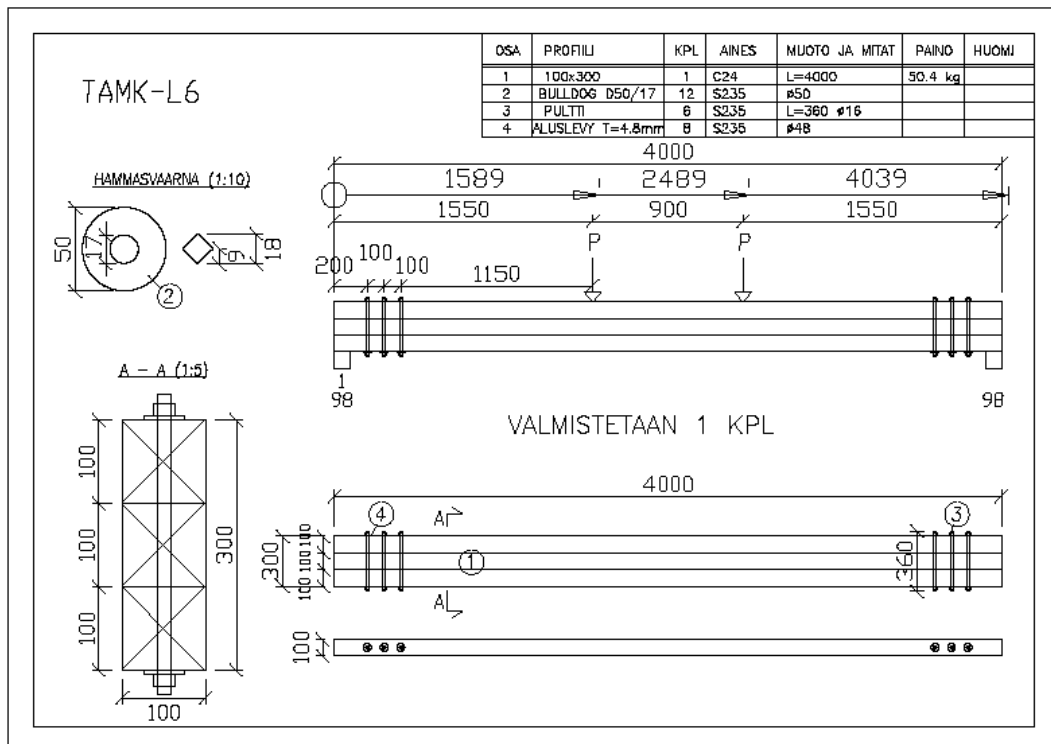
Laskelmissa ei ole huomioitu rakennusaikaisia kuormia eikä kosteusolosuhteita. Mahdolliset rakennusaikaiset lisätuennat on mitoitettava erikseen. Rakennuksen kokonaisjäykistystä ja siitä johtuvia vaakavoimia ei ole huomioitu. Rakenneosan (palkki, pilari, laatta) soveltuvuus kokonaisuuteen on päärakennesuunnittelijan tarkistettava erikseen.

Finnwood-ohjelmistolla tehdyt laskelmat ja tulosteet ovat voimassa vain ohjelmistoon tallennettujen Metsäliiton Puutuoteteollisuuden tuotteiden kanssa. Nämä tuotteet on tarvittaessa osoitettava rakennuspaikalla hankkeen osapuolille sekä viranomaisille. Metsäliiton Puutuoteteollisuus tai sen tytäryhtiöt eivät vastaa käyttäjälle tai kolmannelle osapuolelle muiden valmistajien tuotteista tai niiden käytöstä Finnwood-ohjelmistossa, ohjelmiston perusteella näin tehdyistä laskelmista ja tulosteista tai kolmansien valmistajien tuotteista tai niiden käytöstä aiheutuneista virheistä, menetyksistä tai vahingoista. Näitä ehtoja ei saa poistaa tulosteesta.





8.7 Palkki L6



**MAKSIMIKÄYTTÖASTE YLITTYI**

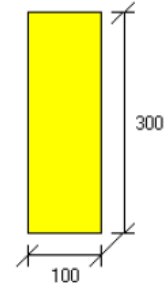
Topi Mikkola

19.4.2011

Laskelmat on tehty alla olevilla lähtötiedoilla vain kyseiselle rakenneosalle. Laskelmissa esitetty rakenneosan pituus ei ole tilausmitta. Tilausmitassa on otettava huomioon esim. tuennan vaatima lisäpituus.

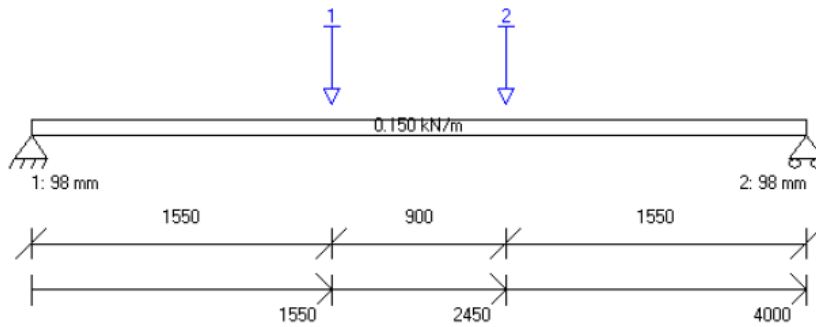
**RAKENNETIEDOT:**

Rakennetyyppi: Vapaa rakenne  
 Materiaali: C24  
 Poikkileikkaus: 3x100x100 (B=100 mm, H=300 mm)  
 Käyttöluokka: 1  
 Seuraamusluokka: CC1 (KFI=0.9)  
 Jako/kuormituslev.: 5975 mm (pintakuormille)



Uloke-/jännevälipituudet:  
 Uloke/jänneväli: Vaakamitta [mm]:  
 Jänneväli 1: 4000.0  
 Yhteensä: 4000.0

Tuki:	Sijainti x [mm]:	Leveys [mm]:	Tyyppi:
1:	0	98	Kiinteä niveltuki (X,Z)
2:	4000	98	Liukutuki (Z)

**KUORMITUSTIEDOT:**

Omapaino (Omapaino, Pysyvä):

**MAKSIMIKÄYTTÖASTE YLITTYI**

Topi Mikkola

19.4.2011

Rakenneosan paino: QZ = 0.150 kN/m x = 0 - 4000 mm

Hyötyk. pistekuormatark. (Hyötykuorma, lyhytaikainen, Lyhytaikainen, MRT/KRT-liikkuvuus = 100.0 %):

Pistekuorma: 1: FZ = 11.00 kN x = 1550.0 mm

Pistekuorma: 2: FZ = 11.00 kN x = 2450.0 mm

**MITOITUS:**

Mitoitusstandardi: EN 1995-1-1:2004 + A1:2008 + RIL 205-1-2009

Kokonaiskäyttöaste: 122.3 %

**MITOITUSPARAMETRI:**

Taipumaraja Winst: L/400

Taipumaraja Wnet,fin: L/300

Korotuskerroin, vasen uloke: 2.00

Korotuskerroin, oikea uloke: 2.00

Nurjahdus on estetty molempiin suuntiin (y ja z)

Kiepahdus on estetty

**MITOITUKSEN ÄÄRIARVOT:**

Tarkastelu:	Mitoitusarvo:	Raja-arvo:	Käyttöaste *):	Sijainti x:	
Leikkaus (z):	15.16 kN	21.54 kN	70.4 %	4000 mm	Lyhytaikainen
Taivutus (My):	23.33 kNm	23.14 kNm	100.8 %	2000 mm	Lyhytaikainen
Tukipaine, tuki 1:	15.16 kN	25.71 kN	59.0 %	0 mm	Lyhytaikainen
Tukipaine, tuki 2:	15.16 kN	25.71 kN	59.0 %	4000 mm	Lyhytaikainen
Winst:	12.2 mm	10.0 mm	122.3 %	2000 mm	
Wnet,fin:	12.4 mm	13.3 mm	92.7 %	2000 mm	

**TUKIREAKTIOT:**

Tuki:	MRTmax:	MRTmin:	KRTmax:	KRTmin:
1:	15.16 kN	0.27 kN	11.30 kN	0.30 kN
2:	15.16 kN	0.27 kN	11.30 kN	0.30 kN

- KRT tukireaktiot ovat vain vertailua varten

Laskelmissa ei ole huomioitu rakennusaikaisia kuormia eikä kosteusolosuhteita. Mahdolliset rakennusaikaiset lisätuennat on mitoitettava erikseen. Rakennuksen kokonaisjäykistystä ja siitä johtuvia vaakavoimia ei ole huomioitu. Rakenneosan (palkki, pilari, laatta) soveltuvuus kokonaisuuteen on pääarakennesuunnittelijan tarkistettava erikseen.

Finnwood-ohjelmistolla tehdyt laskelmat ja tulosteet ovat voimassa vain ohjelmistoon tallennettujen Metsäliiton Puutuoteteollisuuden tuotteiden kanssa. Nämä tuotteet on tarvittaessa osoitettava rakennuspaikalla hankkeen osapuolille sekä viranomaisille. Metsäliiton Puutuoteteollisuus tai sen tytäryhtiöt eivät vastaa käyttäjälle tai kolmannelle osapuolelle muiden valmistajien tuotteista tai niiden käytöstä Finnwood-ohjelmistossa, ohjelmiston perusteella näin tehdyistä laskelmista ja tulosteista tai kolmansien valmistajien tuotteista tai niiden käytöstä aiheutuneista virheistä, menetyksistä tai vahingoista. Näitä ehtoja ei saa poistaa tulosteesta.

