

Naulalevyrakenteiset siltamuotit

Eetu Lappalainen

Opinnäytetyö

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Eetu Lappalainen	
Työn nimi Naulalevyrakenteiset siltamuotit	
Päiväys 23.4.2013	Sivumäärä/Liitteet 57/8
Ohjaaja(t) Lehtori Matti Mikkonen, Projektipäällikkö Kimmo Malinen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) KMP-Engineering Oy, Finnmap Consulting Oy	
Tiivistelmä <p>Insinööriyön tarkoituksena oli tutkia naulalevyrakenteisten ristikkorakenteiden soveltuvuutta erilais- ten siltatyypin muottien tukirakenteissa käytettäväksi. Työssä tarkasteltiin neljää yleisintä silta- tyyppiä ja yhtä korjauskohdetta. Tilaajana oli KPM-Engineering Oy ja työ tehtiin yhteistyössä Finn- map Consulting Oy:n kanssa. Siltojen muotit rakennetaan pääasiassa paikan päällä sahatavarasta. Naulalevyrakenteisia siltamuotteja on käytetty siltojen muotteina mutta niiden käyttö on ollut kui- tenkin melko vähäistä. NR-muottiristikot ovat staattisesti jäykempiä ja rakenteen siirtymät ovat pie- nempiä kuin perinteisillä tukirakenteilla sekä tarvittavan puun määrä on myös pienempi.</p> <p>Muottiristikot suunniteltiin ja mitoitettiin käyttämällä KPM-Engineering Oy:n omaa suunnitteluohjel- maa. Lähtötietoina olivat Finnmap Consulting Oy:n siltaosaston eri siltatyypin poikkileikkauskor- vat. Mitoituksessa käytettiin teräsbetonin tilavuuspainoa 25 kN/m^3 sekä 2 kN/m^2 työskentelykuor- maa.</p> <p>Tuloksena selvisi, että NR-muottiristikot soveltuvat siltojen muotin tukirakenteeksi hyvin. Etenkin reunaulokkeiden valaminen osoittautui käteväksi toteuttaa käyttäen muottiristikoita. Suurin hyöty muottiristikoilla saadaan liittorakenteisissa silloissa sekä siltatyypeissä, joissa poikkileikkaus ei oleellisesti muutu. Muottiristikoiden uusiokäyttö on myös mahdollista.</p>	
Avainsanat Rakennesuunnittelu, NR-rakenteet, sillanmuotti, tukirakenteet	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme In Construction Engineering			
Author(s) Eetu Lappalainen			
Title of Thesis Nail-plate Structures for Bridge Moulds			
Date	23.4.2013	Pages/Appendices	57/8
Supervisor(s) Mr Matti Mikkonen, Lecturer, Mr Kimmo Malinen, Project Manager			
Client Organisation /Partners KPM-Engineering Oy, Finnmap Consulting Oy			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this thesis was to study how nail-plate structures can be used by supporting structures in different kind of bridge type moulds. The starting point this thesis was four the most common bridge types and one repair bridge. This thesis was commissioned by KPM- Engineering Oy and it was carried out in co-operation with Finnmap Consulting Oy.</p> <p>Bridge moulds are usually made from sawn timber at a construction site. Nail-plate structures have been used in some cases but they are still not the most common way to make a mould to the bridge. Nail-plate structures are statically stiffer, displacements in structure are smaller and the required amount of sawn timber is also lower. The structures were designed and calculated by using KPM-Engineering Oy's own design program. The initial data was from Finnmap Consulting Oy's bridge department and cross-sectional images of their different kind of bridges. In calculation the bulk density of reinforced concrete was 25 kN/m^2 and the working load was 2 kN/m^2.</p> <p>As a result was found out that nail-plate structures can be used in the supporting structures of moulds. Especially casting the overhangs of bridge edge proved to be a convenient solution by using nail-plate structures. The greatest benefit is in composite bridges and bridge types where the cross-section does not change substantially. The reuse of nail-plate structures is also possible.</p>			
<p>Keywords structural design, nail-plate structures, bridge formwork, supporting structure</p>			

Alkusanat

Haluan kiittää KPM-Engineering Oy:tä hyvästä opinnäytetyöni aiheesta. Erityisesti haluan kiittää lehtori Matti Mikkosta sekä projektipäällikkö Kimmo Malista opinnäytetyöni asiantuntevasta ohjauksesta.

Kuopiossa 23.4.2013

Eetu Lappalainen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
2	NAULALEVYRAKENTEET	8
2.1	Yleistä naulalevyrakenteista	8
2.2	Naulalevyt ja puutavara naulalevyrakenteissa	9
2.3	Eurokoodi naulalevyrakenteiden suunnittelussa	10
2.4	Suunnitteluperusteet	11
2.4.1	Käyttöluokat	11
2.4.2	Kuormat	12
2.4.3	Kuormitusyhdistelmät	16
2.4.4	Värähtely	18
2.4.5	Yleinen rakennemalli	20
3	NAULALEVYRAKENTEISET SILTAMUOTIT	23
3.1	Siltatyypit	24
3.1.1	Teräsbetoninen ulokelaattasilta (Bul)	25
3.1.2	Teräsbetoninen laattakehäsilta (Blk 1 & 2)	25
3.1.3	Kaukalopalkkisilta	27
3.1.4	Liittorakenteinen silta	28
3.2	Siltamuotin tukitelineet ja laatuvaatimukset	28
3.2.1	Yleistä tukitelineistä ja muoteista	28
3.2.2	Laatuvaatimukset	29
3.2.3	Toleranssit	31
3.2.4	Puiset tukitelineet	32
3.2.5	Tukitelineiden kuormat	33
3.3	Suunnittelu	35
3.3.1	Kuormat ja k-jako	37
3.3.2	Tuenta ja jäykistäminen	38
3.3.3	Muotin purkaminen ja uusiokäyttö	39
3.4	Kallansiltojen esimerkkikohde	40
4	TULOKSET	45
4.1	Teräsbetoninen ulokelaattasilta (Bul)	46
4.2	Teräsbetoninen laattakehäsilta (Blk 1 & 2)	49
4.3	Kaukalopalkkisilta	51
4.4	Liittorakenteinen silta	53
5	YHTEENVETO	56
	LÄHTEET	57

LIITTEET

Liite 1 Teräsbetoninen ulokelaattasilta 13,3 m

Liite 2 Teräsbetoninen ulokelaattasilta 8,3 m

Liite 3 Teräsbetoninen ulokelaattasilta 13,3 m (kansi 1050 mm)

Liite 4 Laattakehäsilta Blk 1

Liite 5 Laattakehäsilta Blk 2

Liite 6 Kaukalopalkkisilta

Liite 7 Liittorakenteinen silta

Liite 8 Kallansiltojen korjauskohde

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia naulalevyrakenteisten ristikkorakenteiden soveltuvuutta siltamuotin tukirakenteena sekä kehittää tuote siltaurakoitsijoiden tilattavaksi. Opinnäytetyön tilaajana on KPM-Engineering Oy ja työ toteutetaan yhteistyössä Finnmap Consulting Oy:n kanssa. Lähtökohtana työssä on neljä erilaista siltatyyppejä ja yksi korjauskohde. Työssäni käytän KPM-Engineering Oy:n omaa naulalevyrakenteita varten suunniteltua ohjelmaa, jolla luon ja mitoitin siltamuottien rakennemallit saamieni lähtötietojen perusteella. Haastetta työn tekemiseen lisäävät siltojen kansien ja palkkien suuret kuormat naulalevyrakenteille, eri tuentavaihtoehtojen toteuttaminen, koko rakennekentän jäykistäminen, siirtymien saaminen mahdollisimman pieniksi ja se että lopullisista rakenteista tulisi rakenteena järkeviä sekä taloudellisia. Yksi työn tavoitteista on myös korjauskohteen toteutumisen onnistuminen yhteistyössä tilaajan kanssa.

Naulalevyrakenteet ovat erikokoisista naulalevyistä ja lujuuslajittelusta puutavarasta valmistettuja mittatarkkoja rakenteita. Nykyään kaikki kattoristikot ovat naulalevyrakenteisia. Naulalevyrakenteita varten on omat suunnitteluun erikoistuneet suunnittelijat ja mallinnusohjelmat. Suunnittelun perusteena ovat päärakennesuunnittelijan antamat lähtötiedot, kuten päämitat ja kuormitukset. Naulalevyrakenteisia siltamuotteja on käytetty aiemminkin siltojen muotteina mutta niiden käyttö on ollut kuitenkin melko vähäistä. Osa syynä voi olla asenne vanhaa tuttua ja turvallista tekotapaa kohtaan, eikä uusille ideoille jää niin paljon tilaa. Siltojen muotit siis rakennetaan pääasiassa paikan päällä sahatavarasta. Aiemmassa käytössä naulalevyrakenteiset siltamuotit ovat osoittautuneet käteviksi etenkin korjauskohteissa, joissa esimerkiksi sillan reunaulokkeet on purettu ja valettu uudestaan. Naulalevyrakenteisten siltamuottien hyvänä puolena ovat etenkin mittatarkkuus, käyttökelpoisuus, asennus ja mahdollinen uusiokäyttö. Naulalevyjen avulla valmistettu rakenne on staattisesti jäykempi ja ulokkeiden taipumat pienempiä kuin perinteisillä tukirakenteilla. Naulalevyrakenteisissa muottiristikoissa käytettävä puun määrä on huomattavasti pienempi kuin työmaalla tehdyissä tukirakenteissa, verrattuna esimerkiksi naulaamalla valmistettuun ristikkorakenteeseen. Naulalevyrakenteiden ansiosta muotin tekeminen nopeutuu ja materiaali menekki on pienempi. Tästä syystä sillan valmistuskustannukset muotinrakentamisen osalta pienenevät ja siltarakentamisen tukitelineiden ja muotin valmistusvaihe on mahdollista saada valmiiksi nopeammin.

2 NAULALEVYRAKENTEET

Seuraavassa käsitellään Inspecta Sertifiointi Oy:n 16.12.2009 julkaisemaan naulalevyrakenteiden suunnitteluohjetta Eurokoodi 5 EN 1995:2004+A1:2008

2.1 Yleistä naulalevyrakenteista

Naulalevyrakenteen eli NR-rakenteen on naulalevyliitoksen saman paksuisista puusauvoista koottu kantava puurakenne. Kantavalla puurakenteella tarkoitetaan rakennetta, jolle asetetaan mekaanisia kestävyyttä, stabiiliutta, käyttökelpoisuutta, säilyvyyttä ja palonkestoa koskevia vaatimuksia. NR-rakenteet valmistetaan käyttämällä mitallistettua lujuuslajiteltua sahatavaraa, liimapuuta tai kertopuuta. NR-rakenteita käytetään lähes poikkeuksetta pientalojen vesikatto- ja yläpohjakannattimina. NR-rakenteita käytetään nykyään myös paljon maatalous- ja teollisuusrakentamisessa.

2.2 Naulalevyt ja puutavara naulalevyrakenteissa

NR-rakenteissa käytetty naulalevy on yleensä sinkitty teräslevy, jonka toisella puolella on levystä meistä piikkejä. Käyttöluokissa 1 ja 2 naulalevyn ruostesuojauksen tulee vastata vähintään kuumasinkitystä Z-275 tai sähkösinkitystä Fe/Zn 12c. Käyttöluokassa 3 naulalevyn tulee olla ruostumattomasta teräksestä valmistettu. Ruostumattomasta teräksestä valmistetut naulalevyt soveltuvat myös syövyttäviin olosuhteisiin, kuten tiloihin, joissa esiintyy korroosiota nopeuttavia ammoniakkaasuja. Naulalevy on 0,9 - 3,0 mm paksua ja koot vaihtelevat esimerkiksi 60 x 150 mm:stä aina 240 x 400 mm:n kokoihin levyihin asti. Naulalevyt tulee olla CE-merkityt tai niillä tulee olla voimassa oleva Inspecta Sertifiointi Oy:n vahvistama EN 1075 standardin mukaiseen testaukseen perustuva eurokoodi mitoitukseen tarkoitettu VTT:n naulalevylausunto. Puuhun upotettuna naulalevyt muodostavat voimia siirtävän liitoksen kahden tai useamman saman paksuisen puukappaleen välillä. Suomessa käytetään erityyppisiä naulalevyjä mutta erot eri levyjen välillä ovat kuitenkin pieniä.

NR-rakenteissa käytetään ainoastaan lujuuslajiteltua mitallistettua sahatavaraa, liimapuuta tai kertopuuta. Lujuuslajitellun sahatavaran tulee olla standardin EN 14081-1 mukaista. Mikäli käytetään sormijatkettua sahatavaraa tulee sormijatkoksen olla standardin EN 385 mukaista. Sahatavaran lujuuslajittelu voidaan suorittaa joko visuaalisesti tai koneellisesti. Kummallakin tavoilla lujuuslajitellut sahatavarat vastaavat lujuus- ja kimmoisuusominaisuuksiltaan toisiaan. Visuaalinen lujuuslajittelu perustuu

sahatavaran lujuuteen vaikuttavien vikojen, kuten oksien tai puun tiheyden arviointiin. Visuaaliseen lujuuslajitteluun vaaditaan VTT:n lujuuslajittelupätevyys. Koneellisesti toteutettava lujuuslajittelu perustuu mekaanisesti mitattavaan sahatavaran jäykkyyteen, sillä puun lujuus on suoraan verrannollinen sen taivutusjäykkyyteen. Koneellisessa lujuuslajittelussa sahatavarakappaletta taivutetaan tietyllä vakio voimalla ja puun kyky vastustaa tätä muodonmuutosta kertoo sen lujuusluokan. Usein koneellisesti lajiteltu sahatavara voi esimerkiksi oksakoon suhteen poiketa huomattavasti visuaalisesti samaan lujuusluokkaan lajitelluista kappaleista. Koneellinen lujuuslajittelu edellyttää virallista valvontaa. NR-rakenteissa käytettäviä sahatavaran lujuusluokat ovat C18, C24, C30, C35, C40 ja C45. Lujuusluokissa esiintyvä numero tarkoittaa puun nimellistä taivutusvastusta N/mm^2 . Taulukossa 1 on esitetty tarkemmin sahatavaralujuusluokkien eri lujuusominaisuudet. Havupuusta valmistetun liimapuun lujuusluokat on esitetty standardissa EN 1194 erikseen samanlaisista lamelleista valmistetulle liimapuulle GL24h - GL36h ja eri lujuusluokista kootulle liimapuulle GL24c - GL36c. Mikäli kertopuuta käytetään osana NR-rakennetta tulee naulalevyn CE-merkintä tai naulalevylausunto sallia kertopuun käytön. Kertopuuta valmistetaan erilaisina rakenteina kuten, kerto-S, kerto-T ja kerto-Q. Sahatavara mitä NR-rakenteissa käytetään on valmiiksi mitallistettua. Yleisimmät leveydet mitallistetulle sahatavaralle ovat 73 mm, 98 mm, 123 mm, 148 mm, 173 mm, 198 mm ja 223 mm kun puun paksuus on 42 mm tai 48 mm. Valmiiksi mitoitettu sahatavara on katkaistu määrämittäisiin 300 mm:n jaolla, kuten esimerkiksi 3 000 mm, 3 300 mm, 3 600 mm ja aina 6 000 mm:n asti.

Taulukko 1. Sahatavaran ja liimapuun lujuusominaisuudet (Puurakenteiden suunniteluohje 2011, 17)

Lujuusluokka	Sahatavara			Liimapuu		
	C18 (T1)	C24 (T2)	C30 (T3)	GL28c	GL32c	
Ominaislujuudet (N/mm^2)						
Taivutus	$f_{m,k}$	18	24	30	28	32
Veto	$f_{t,0,k}$	11	14	18	16,5	19,5
	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,45
Puristus	$f_{c,0,k}$	18	21	23	24	26,5
	$f_{c,90,k}$	2,2	2,5	2,7	2,7	3,0
Leikkaus	$f_{v,k}$	3,4	4,0	4,0	2,7	3,2
Jäykkyysominaisuudet (N/mm^2)						
Kimmomoduuli	E_{mean}	9000	11000	12000	12600	13700
	$E_{90,mean}$	300	370	400	390	420
Liikumoduuli	G_{mean}	560	690	750	720	780
Tiheydet (kg/m^3)						
Ominaisitiheys	ρ_k	320	350	380	380	410
Tiheyden keskiarvo	ρ_{mean}	380	420	460	430	470

2.3 Eurokoodi naulalevyrakenteiden suunnittelussa

NR-rakenteiden suunnitteluun tehty Eurokoodi 5 sovellusohje on kirjoitettu loogiseksi mitoitushajaksi, joka sisältää tulkinta- ja lisäohjeita suunnittelua varten. Kyseisen suunnitteluohjeen suunnittelu noudattaa kaikkia Eurokoodi 5:ssä P-tunnuksella esitettyjä velvoittavia periaatesääntöjä ja suunnittelun lopputulos täyttää Eurokoodi 5:n soveltamissääntöjä vastaavan rakenteellisen luotettavuustason. Eurokoodi suunnitteluohjeessa osa standardien soveltamissäännöistä on korvattu varmalta puolelta tehdyillä yksinkertaisuuksilla tai tarkemmilla ohjeilla, verrattuna aikaisempiin suunnitteluohjeisiin. Eurokoodi 5:n soveltamissääntöjä tarkemmalla analyysillä on mahdollista toteuttaa edullisempia ja monimuotoisempia NR-rakenteita. Suunnitteluohje on tarkoitettu NR-suunnitteluohjelmien laatimiseen sekä dokumentiksi, jonka avulla voidaan tarkistaa suunnitteluohjelmien laskentaperusteet. Myös päärakennesuunnittelija sekä rakennuttaja- ja viranomaisvalvonta voivat tarkistaa NR-rakenteiden suunnitteluperiaatteet tästä ohjeesta. NR-rakenteiden suunnittelussa tällä hetkellä käytössä oleva Eurokoodi 5 EN 1995:2004+A1:2008 suunnitteluohje on päivitetty suunnittelustandardista EN 1995-1-1:2004+A1:2008+AC:2006 ja sen kansallisesta liitteestä NA.

Eurokoodien mukaisessa puurakenteiden suunnittelussa noudatetaan seuraavia määräyksiä, standardeja ja ohjeita: (EN 1995:2004+A1:2008, 5).

- Standardi EN 1990:2002 (Eurokoodi 0: Rakenteiden suunnitteluperusteet) ja sen kansallinen liite NA
- Standardit EN 1991-1-1:2002 (Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Yleiset kuormat. Osa 1-1: Tilavuuspainot, omapaino ja rakenteiden hyötykuormat), EN 1991-1-2:2003 (Palolle altistettujen rakenteiden rasiukset), EN 1991-1-3:2004 (Lumikuormat) ja EN 1991-1-4:2005 (Tuulikuormat) sekä näiden standardien kansalliset liitteet NA.
- Standardin EN 1995:2004 osat 1-1 ja 1-2 (Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Osa 1-2: Rakenteiden palomitoitus) ja niiden kansalliset liitteet NA.

Edellä mainituissa standardeissa esitetyt asiat löytyvät Suomen Rakennusinsinöörien liiton ry:n julkaisemissa sovellusohjeissa, joita ovat RIL 201-1-2008 (Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat) ja RIL 205-1-2009 (Puurakenteiden suunnitteluohje). Eurokoodi suunnittelustandardien yhteydessä ei käytetä rinnakkaisia kansallisia

suunnitteluohjeita, kuten Suomen rakentamismääräyskokoelman osa B1 puurakenteet ohjeet 2001, RIL 120, RIL 144 eikä eurokoodin esistandardeja ENV 1991 ja ENV 1995 tai niiden sovellusohjeita RIL 201-1999, RIL 205-1997 tai RIL 205-2003. Näiden lisäksi NR-rakenteita suunniteltaessa noudatetaan niitä käyttöehtoja ja suunnitteluperusteita, jotka on annettu käytettävän naulalevyn CE-merkinnässä, CE-merkinnän viitedokumentissa tai Inspecta Sertifiointi Oy:n vahvistamassa ja voimassa olevassa naulalevylausunnossa. Kaikille eurokoodeille on olemassa yhteisiä termejä sekä Eurokoodi 5:n erikoistermejä. Kaikki nämä on määritelty standardeissa SFS- EN 1990, SFS- EN 1991 ja SFS- EN 1995 sekä sovellusohjeessa RIL 205-1-2009. Vastaavasti kaikki esiintyvät merkinnät vastaavat Eurokoodi 5:tä EN 1995-1-1:2004+A1:2008+AC:2008 ja sen suomalaista sovellusohjetta RIL 205-1-2009. Näissä ohjeissa on esitetty määritelmät suunnittelussa käytettäville naulalevyliitosten erikoissymboleille. (EN 1995:2004+A1:2008, 6 - 7.)

Suunnitteluohje on tarkoitettu tietokoneavusteiseen NR-rakenteiden suunnitteluun. Suunnitteluohjelma tulee olla Inspecta Sertifiointi Oy:n hyväksymä ja suunnittelun tulee perustua Eurokoodi 5- EN 1995:2004+A1:2008 mukaiseen mitoitukseen. Poikkeamia lievemmissä mitoituskriteereissä voidaan tehdä ainoastaan jos kyseinen suunnitteluohjelma perustuu ohjetta tarkempaan rakenneanalyysiin. Poikkeamien tulee kuitenkin täyttää kaikki Eurokoodi 5:n periaatesäännöt.

2.4 Suunnitteluperusteet

2.4.1 Käyttöluokat

NR-rakenteet suunnitellaan ja valmistetaan EN 1990 standardissa (Eurokoodi 0) esitetyt perusvaatimukset täyttäviksi. NR-rakenteet mitoitetetaan murto- ja käyttörajatiloissa. Mitoitustilanteita ovat pitkäaikaiset rakenteen tavallisia käyttöolosuhteita vastaavat tilanteet, tilapäiset tilanteet esimerkiksi valmistuksen ja rakentamisen aikana ja onnettomuustilanteet.

NR-rakenteet suunnitellaan käyttökohteen ilman kosteusolosuhteiden mukaisessa käyttöluokassa. Käyttöluokkia ovat 1, 2 ja 3 mutta käytännössä ainoastaan käyttöluokkia ovat 1 ja 2, sillä NR-rakennetta ei saa käyttää kohteissa, joissa ne altistuvat vapaalle vedelle, sateelle tai maakosketukselle, mikä vastaa käyttöluokkaa 3. Mikäli naulalevyn CE-merkintä tai Inspectan vahvistama naulalevylausunto sallii, niin NR-rakenteita voidaan suunnitella käyttöluokkaan 3, jota vastaavissa olosuhteissa puun

kosteus ylittää 20 %:n arvon. Tämä edellyttää, että +10 - 25 asteen lämpötilassa ilman suhteellinen kosteus ylittää 85 %:n arvon noin 4 viikon ajan. Käyttöluokka 3 on kyseeseen myös tiloissa, joissa vesihöyrytuotto on suuri. Käyttöluokkaan 1 kuuluva NR-rakenne vastaa lämmitettyä sisäilmaa, jossa ilman suhteellinen kosteus ylittää arvon 65 % vain muutamana viikkona vuodessa ja rakenteet ovat höyrynsulun sisäpuolella. Käyttöluokan 2 NR-rakenteet ovat ulkoilmassa kuivana oleva rakenne, jossa rakenne pääsee tuulettumaan ja on sateelta suojattu. Käyttöluokan 2 olosuhteita ovat kylmät ullakkotilat ja höyrynsulun ulkopuoliset rakenteet, jossa ilman suhteellinen kosteus ylittää 65 % useiden viikkojen ajan vuodessa. (EN 1995:2004+A1:2008, 14.)

2.4.2 Kuormat

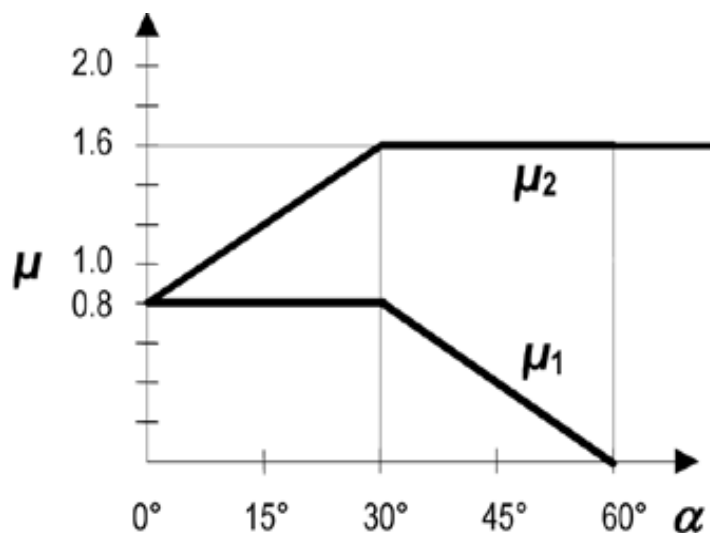
NR-rakenteiden kuormien ominaisarvot määritellään standardin EN 1991 osien 1-1, 1-3, 1-6 ja 1-7 (Eurokoodi 1) mukaan yhdessä niiden kansallisten liitteiden NA kanssa. NR-rakenteissa kullekin kuormalle on annettu kuorman aikaluokka noudattaen EN 1995-1-1:n kansallisessa liitteessä annettuja ohjeita. Taulukossa 2 on esitetty eri kuormitustapaukset ja niiden aikaluokkien eri ominaisuudet.

Taulukko 2. Kuormien aikaluokat (EN 1995:2004+A1:2008, 15)

Aikaluokka	Ominaiskuorman vaikutusaika	Kuormitukset Suomen NA:n mukaan
Pysyvä	Yli 10 vuotta	omapaino, pysyvästi rakenteeseen kiinnitetyt koneet, laitteet ja väliseinät
Pitkäaikainen	6 kuukautta - 10 vuotta	Varastoitu tavara
Keskipitkä	1 viikko - 6 kuukautta	lumi, lattioiden ja parvekkeiden hyötykuormat luokissa A - D kosteuden vaihtelun aiheuttamat kuormitukset
Lyhytaikainen	Alle yksi viikko	portaiden hyötykuormat, hyötykuorman pistekuorma, asennuskuormat, kuljetuskuormat ja kunnossapito- ja henkilökuorma katolla
Hetkellinen		tuuli ja onnettomuuskuormat

Suunnittelussa otetaan huomioon myös rakenteen omapaino. Rakenteen omana painona käytetään yksittäistä ominaisarvoa, joka lasketaan nimellismittojen ja nimellisten tilavuuspainojen perusteella. Nimellismittoina pidetään piirustuksissa esitettyjä mittoja. Nimellisinä tilavuuspainoina käytetään arvoja, joita on esitetty RIL 201-1-2008:ssa. Kuivalle havupuutavaralle ja siitä liimaamalla valmistetuille materiaaleille käytetään tilavuuspainoa $5,0 \text{ kN/m}^3$. Omanpainon lisäksi NR-rakenteita mitoitetaan hyötykuormille. Hyötykuorma tulee NR-rakenteelle yleensä sen sisälle rakennetusta huonetilasta. Tyypillisiä hyötykuormallisia ristikoita ovat kehäristikot ja käyttöullakolliset ristikot. Hyötykuorma oletetaan liikkuvaksi kuormaksi, joka mitoitetaan vaikuttamaan rakenteen kannalta epäedullisimmassa osassa. Hyötykuorman suuruus, jota käytetään NR-rakenteiden mitoituksessa on $2,0 \text{ kN/m}^2$.

NR-rakenteita suunnitellessa on mitoituksessa otetaan huomioon maanpinnan lumikuorma, joka on esitetty RIL 205-1-2009:ssa paikkakuntaakohtaisesti. Kattojen ominaislumikuorma q_k saadaan kertomalla maanpinnan lumikuormien arvot määritetyllä muotokertoimella μ_i , joka on 0,8 aina 30 asteen kattokaltevuuteen asti. Yli 30 asteen kattokaltevuuksilla kerrointa voidaan pienentää kuvan 1 mukaisesti. Lumikuorma on kiinteä muuttuva kuorma, jonka muotokertoimen arvot ovat voimassa jos lunta ei esitetä liukumasta katolla. Jos katolla on esimerkiksi lumieste tai jonkin muu liukueste tai kaide, niin lumikuorman muotokertoimena käytetään näissä kaikissa tapauksissa vähintään arvoa 0,8. Lumen kinostuminen esimerkiksi katon sisäjiirin kohdalla katon lumikuormalla käytetään kuvan 1 mukaista μ_2 muotokerrointa, joka toimii korottavana kertoimena NR-rakenteen mitoituksessa. (EN 1995:2004+A1:2008, 15 - 19.)



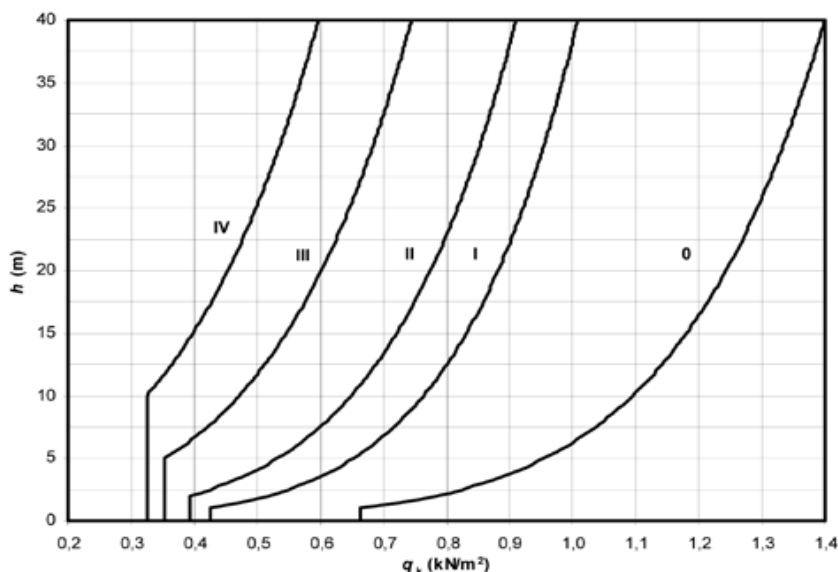
Kuva 1 Lumikuorman muotokertoimet (Eurokoodi 5 EN 1995:2004+A1:2008, 18)

NR-rakenteiden mitoituksessa huomioitavan tuulikuorman laskemiseksi on yksinkertaistettu menettely, jota voidaan käyttää Suomessa tavanomaisten rakennusten yhteydessä. Tuulikuorman suuruuteen vaikuttaa maastoluokka 1 - 5, josta saadaan selville maastoa vastaava tuulennopeuspaineen ominaisarvo. Mitoituksessa rakenteita tuulikuormalle erotetaan mitoituspaukset kahteen eri osaan josta toisessa käsitellään koko rakennuksen tuulta jäykistävien rakenteiden mitoitus kokonaistuulikuormalle ja toisessa huomioidaan vain rakennuksen tai rakenteen osapintojen ja niiden kiinnitysten mitoitus paikalliselle tuulenpaineelle.

Taulukko 3. Maastoluokat (EN 1995:2004+A1:2008, 22)

Luokka	Maaston rosoisuuden ja pinnanmuodon kuvaus.
0	Avomeri tai merelle avoin rannikko.
1	Järvi tai alue, jolla on vähäistä kasvillisuutta eikä esteitä.
2	Alue, jolla on matalaa kasvillisuutta ja erillisiä puita tai rakennuksia, joiden etäisyys toisistaan on vähintään 20 kertaa esteen korkeus.
3	Esikaupunki- tai teollisuusalueet ja metsät. Matalat pientaloalueet ja kylät.
4	Yhtenäiset laajat kaupunkialueet, joiden pinta-alasta vähintään 15 % on rakennettu ja rakennusten keskimääräinen korkeus on yli 15 m.

Muiden kuin tuulta jäykistävien kantavien puurakenteiden mitoituksessa ei yleensä tarkastella tuulikuormaa yhdessä muiden muuttuvien kuormien kanssa, sillä hetkellinen aikaluokka ei yleensä tule mitoittavaksi lumi- ja tuulikuormilla rasitetuissa kattorakenteissa. Kattorakenteiden kiinnitykset tulee kuitenkin tarkistaa tuulen imulle käyttäen osapintojen paikallista tuulenpainetta. Kuviosta 1 saadaan maastoluokan perusteella tuulikuorman suuruus, kun tiedetään rakennuksen korkeus.



Kuvio 1. Tuulen nopeuspaineen arvot eri maastoluokissa (EN 1995:2004+A1:2008, 21)

Rakennuksen tai erillisen seinämän vaakasuuntainen kokonaistuulikuorma lasketaan seuraavissa tapauksissa:

- Rakennuksen korkeus on enintään 15 m.
- Rakennuksen seinät ovat kantavia ja rakennuksen leveys on kaikilta kohdin suurempi kuin 1/4 rakennuksen korkeudesta.
- Kyse on erillisestä seinämästä, jonka alin ominaistajuus on ≥ 5 Hz.

Rakenteen osapinnoille kohdistuvaa paikallista tuulenpainetta käytetään rakenteiden kiinnitysten mitoituksessa sekä rakenneosien taivutustarkasteluissa. Osapinnan tuulenpaine kohdistuu aina kohtisuorasti tarkasteltavaa pintaa vastaan. (EN 1995:2004+A1:2008, 22 - 24.)

2.4.3 Kuormitusyhdistelmät

Kuormitusyhdistely tehdään EN 1990 standardin (Eurokoodi 0) ja sen kansallisen liitteen mukaisesti. Standardissa esitetään Suomessa noudatettavat kuormitusyhdistelyt tavallisten NR-rakenteiden suunnittelussa. NR-rakenteen mitoitus suoritetaan murto- ja käyttörajatiloissa.

Murto-rajatilassa rakenteen kestävyyttä tarkasteltaessa mitoituskuorma lasketaan aikaluokittain seuraavalla kuormitusyhdistelmällä:

$$1,15K_{FI} G_{kj} + 1,5K_{FI} Q_{k,1} + 1,5K_{FI} \sum \psi_{0,i} Q_{k,i} \text{ muuttuvien kuormien aikaluokat (1)}$$

$$1,35K_{FI} G_{kj} \text{ pysyvä aikaluokka}$$

missä G_{kj} on pysyvien kuormien ominaisarvo
 $Q_{k,1}$ on määräävän muuttuvan kuorman ominaisarvo
 $Q_{k,i}$ on muun muuttuvien kuormien ominaisarvo
 K_{FI} on seuraamusluokasta riippuva kuormakerroin
 $\psi_{0,i}$ on muuttuvan kuorman yhdistelykerroin

Mikäli pysyvien kuormien yhteisvaikutus lisää rakenteen kestävyyttä, pysyvien kuormien ominaisarvo G_{kj} kerrotaan kertoimen 1,15 sijasta 0,9.

Rakenteiden staattisen tasapainon osoittamiseen käytetään kuormitusyhdistelmää

$$1,1K_{FI} G_{kj,sup} + 0,9G_{kj,inf} + 1,5K_{FI} Q_{k,1} + 1,5K_{FI} \sum \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (2)$$

Missä $G_{k,j,\text{sup}}$ on epäedullinen $G_{k,j,\text{inf}}$ edullinen osuus pysyvän kuorman ominaisarvoista $G_{k,j}$. Kuormitusyhdistelmää käytetään esimerkiksi suunniteltaessa tuulikuormaa jäykistäviä rakenteita, mitoittaessa rakenteen kiinnitystä tuulen imulle tai määrittäessä jatkuvan palkin tuelle syntyvää nostevoimaa.

Käyttörajatilassa kuormasta aiheutuva hetkellinen muodonmuutostila u_{inst} , kuten hetkellinen taipuma w_{inst} lasketaan seuraavalle kuormien ominaisyhdistelmälle käyttämällä kimmo-, liuku- ja siirtymäkertoimien keskiarvoja:

$$G_{k,j} + G_{k,1} + \sum \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (3)$$

NR-rakenteen lopputilassa vallitseva muodonmuutostila u_{fin} , kuten lopputaipuma w_{fin} , paarteiden lopputaipumat ja vaakasiirtymien loppuarvot lasketaan kaavasta:

$$U_{\text{fin}} = U_{\text{fin,G}} + U_{\text{fin,Q,1}} + U_{\text{fin,Q,i}} \quad (4)$$

missä	$U_{\text{fin,G}} = U_{\text{inst,G}} (1 + k_{\text{def}})$	pysyvistä kuormista G
	$U_{\text{fin,Q,1}} = U_{\text{inst,Q,1}} (1 + \psi_{2,1} k_{\text{def}})$	muuttuva kuorma Q_1
	$U_{\text{fin,Q,i}} = U_{\text{inst,Q,i}} (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} k_{\text{def}})$	muu muuttuva kuorma Q_i

Katto- ja välipohjarakenteiden kannattimina käytettäville NR-rakenteille tarkastellaan murtorajatilassa Suomessa aikaluokittain seuraavat kuormitusyhdistelmät (ky):
(EN 1995:2004+A1:2008,)

Omapaino, pysyvä aikaluokka ky; $1,35K_{\text{FI}} G_{k,j}$

Lumi, keskipitkä maksimi kuormilla ky; $(1,15G_{k,j} + 1,5Q_{k,\text{lumi}} + 1,05Q_{k,\text{hyöty}})K_{\text{FI}}$

Hyöty, keskipitkä maksimi kuormilla ky; $(1,15G_{k,j} + 1,5Q_{k,\text{hyöty}} + 1,05Q_{k,\text{lumi}})K_{\text{FI}}$

Lumi vasen, keskipitkä epäsymmetrisillä lumi- ja hyötykuormilla, kun täysi lumi ja hyöty vain vasemmalla puolella ky; $(1,15G_{k,j} + 1,5Q_{k,\text{lumi,vas}} + 1,05Q_{k,\text{hyöty,vas}})K_{\text{FI}}$

Lumi oikea, keskipitkä epäsymmetrisillä lumi- ja hyötykuormilla, kun täysi lumi ja hyöty vain oikealla puolella ky; $(1,15G_{k,j} + 1,5Q_{k,\text{lumi,oik}} + 1,05Q_{k,\text{hyöty,oik}})K_{\text{FI}}$

Hyöty vasen, keskipitkä epäsymmetrisillä kuormilla, kun hyötykuorma on määräävä ky; $(1,15G_{k,j} + 1,5Q_{k,\text{hyöty,vas}} + 1,05Q_{k,\text{lumi,vas}})K_{\text{FI}}$

Hyöty oikea, keskipitkä epäsymmetrisillä kuormilla, kun hyötykuorma on määräävä ky; $(1,15G_{k,j} + 1,5Q_{k,\text{hyöty,oik}} + 1,05Q_{k,\text{lumi,oik}})K_{\text{FI}}$

Tuulen imu, hetkellinen maksimi tuulen imu ky; $0,9G_{k,j} + 1,5K_{\text{FI}} Q_{k,\text{tuuli,imu}}$

Vaakakuorma, hetkellinen maksimi tuulen vaakakuorma pystyprojektiolle ky; $(1,15G_{k,j} + 1,5Q_{\text{tuuli,vaaka,k}} + 1,05Q_{\text{hyöty,k}} + 1,05Q_{\text{lumi,k}})K_{\text{FI}}$

Palo, hetkellinen onnettomuusyhdistelmä ky; $G_{k,j} + 0,4; 0,5 Q_{k,\text{lumi}} + 0,3Q_{k,\text{hyöty}}$

Naulalevyrakenteisen kattokannattimen ja hyötykuormalla rasitetun lattiankannattimen hetkellinen muodonmuutostila käyttörajatilassa lasketaan Suomessa seuraavissa kuormitustapauksissa: (EN 1995:2004+A1:2008, 26 - 30.)

KRT lumi ky; $G_{kj} + Q_{k,lumi} + 0,7Q_{k,hyöty}$

KRT lumi vasen ky; $G_{kj} + Q_{k,lumi,vas} + 0,7Q_{k,hyöty,vas}$

KRT lumi oikea ky; $G_{kj} + Q_{k,lumi,oik} + 0,7Q_{k,hyöty,oik}$

KRT hyöty ky; $G_{kj} + Q_{k,hyöty} + 0,7Q_{k,lumi}$

KRT hyöty vasen ky; $G_{kj} + Q_{k,hyöty,vasen} + 0,7Q_{k,lumi,vas}$

KRT hyöty oikea ky; $G_{kj} + Q_{k,hyöty,oik} + 0,7Q_{k,lumi,oik}$

KRT tuuli ky; $G_{kj} + Q_{tuuli,vaaka,k} + 0,7Q_{lumi,k} + 0,7Q_{hyöty,k}$

KRT värähtely, pistekuorma lattian jännevälän keskellä ky; $F_k = 1\text{kN}$

2.4.4 Värähtely

Yksinkertaistettua värähtelymitoitusta voidaan käyttää kuvan 4 mukaisille asuin- ja toimistorakennusten välipohjille. Muissa tapauksissa värähtelymitoitusta tehdään Eurokoodi 5:n mukaan. Kävelystä johtuvat lattiarakenteen värähtelyt otetaan huomioon asuin-, kokoontumis-, myymälä- ja toimistorakennusten käyttörajatilamitoituksessa. Erityistarkastelu on tarpeen, jos asuin- tai toimistohuoneiston lattiarakenteen alin ominaistajuus on alle 9 Hz. Kun asuin- tai toimistohuoneiston lattiarakenteen alin ominaistajuus $f_1 \geq 9$ Hz tarkistetaan, että seuraava ehto toteutuu:

$$\delta \leq K_L 0,5 \text{ mm} \quad (5)$$

missä δ on 1 kN staattisen pistevoiman aiheuttama suurin lattian hetkellinen taipuma lattiapalkin kohdalla ja

$$K_L = 1/0,318 + 0,114L \geq 1 \quad \text{missä } L \text{ on huoneen suurin pituus metreinä.} \quad (6)$$

Yhteen suuntaan kantavan lattiarakenteen alin ominaistajuus voidaan laskea kaavalla

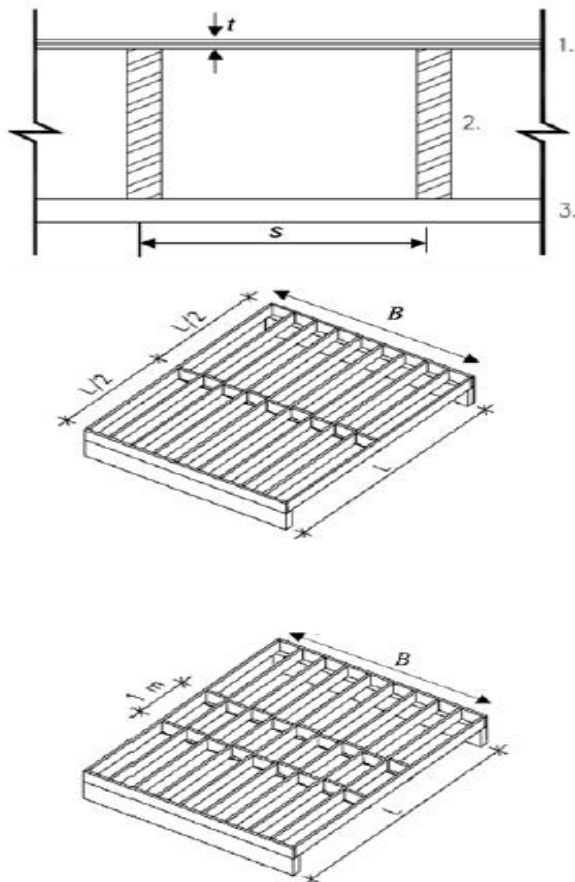
$$f_1 = \pi/2L^2 \sqrt{(EI)L/sm} \quad (7)$$

missä L on lattiarakenteen jänneväli (m)
 $(EI)L$ on taivutusjäykkyys yhtä lattiapalkkia kohti (Nm^2)
 s on lattiapalkkien välinen etäisyys (m)
 m on omanpainon ja pitkäaikaisen hyötykuorman pinta-alayksikköä
kohden yhteen laskettu massa (kg/m^2)

Mikäli lattialevy on liimattu rakenteellisesti lattiapalkkeihin, taivutusjäykkyys $(EI)L$ voidaan laskea ripalaatan T- poikkileikkaukselle. Jos levyn liimaus toteutetaan työmaalla, liittovaikutuksesta saa hyödyntää 50 %, jolloin $(EI)L = 0.5 \cdot [(EI)P + (EI)T]$, kun $(EI)P$ on palkin ja $(EI)T$ on T- poikkileikkauksen taivutusjäykkyys. Kuvan 2.4 mukaisen lattian värähtelymitoituksessa rakenteellisesti liimatun T- poikkileikkauksen taivutusjäykkyydelle voidaan käyttää likiarvoa

$$(EI)_T = (2,2 - 0,1L)(0,4 + s)(EI)_p \quad (8)$$

Kaava pätee, kun lattiapalkin leveys $b \leq 50$ mm. Jos lattiapalkin tai ns. tuplapalkin leveys $b = 50 \dots 100$ mm, jäykkyyttä pienennetään kertoimella $k = 1,15 - 0,003b$.



Kuva 4 Värähtelymitoitettavan lattian rakenne (Puurakenteiden suunnitteluohje 2011, 22)

Pistekuorman ($F = 1 \text{ kN}$) aiheuttama suurin taipuma voidaan laskea yhteen suuntaan kantavan lattiarakenteen tapauksessa kaavalla

$$\delta = \min fL^2/42k(EI)L, fL^3/48s(EI)L \quad (9)$$

missä $K\delta = \sqrt{(EI)b/(EI)L} \leq b/L \quad (10)$

Tätä laskentatapaa voidaan soveltaa sellaisenaan myös kaksi tai useampi aukkoisten jatkuvien lattioiden yhteydessä. Tällöin lattiarakenne ei saa olla jatkuva huoneistojen välillä. Lattiarakenteen poikittaisrakenteiden jäykkyydellä $(EI)b$ on oleellinen vaikutus lattian värähtelyominaisuuksiin, joten värähtelysuunnittelu tehdään koko lattiarakenteelle. Ellei NR-suunnittelijalla ole kuvausta lattiarakenteesta, värähtelymitoitus tehdään oletetulle lattiarakenteelle, joka esitetään NR-suunnitelmassa. Suunnitelmassa tulee esittää myös värähtelymitoituksessa käytetty huoneen suurin pituus, jos se on alle 6 m. Kun lattiarakenteen pääkannattimena käytetään NR-kannatinta tai sen alapaarretta (kehäristikot), lattian kantavaa suuntaa vastaava taivutusjäykkyys $(EI)l$ voidaan määrittää laskemalla yksittäisen NR-rakenteen tai sen alapaarten hetkellinen taipuma f jännevälin keskipisteeseen asetetusta pistekuormasta F , jolloin

$$(EI)L = fL^3/48\delta_F s \quad \text{missä } s \text{ on NR- kannattimen } k\text{-jako.} \quad (11)$$

Jos NR- kehän alapaarteiden välissä käytetään välipalkkeja, kantavan suunnan taivutusjäykkyys saadaan välipalkkien ja kaavan 11 mukaan lasketun NR-kehien leveysyksikköä kohden laskettujen taivutusjäykkyyksien summana. Taivutusjäykkyyteen $(EI)l$ saa laskea mukaan myös lattialevyn jäykkyyden. Levyn mekaanisella kiinnityksellä ei oleteta olevan yhteistoimintaa. Jos levyt kiinnitetään työmaalla liimaamalla niin lattialevyn ja palkin liittovaikutuksesta saa hyödyntää 50 %. (EN 1995:2004+A1:2008, 60 - 62.)

2.4.5 Yleinen rakennemalli

NR-rakenteet tutkitaan kehrä rakenteina, joiden sauvojen ja liitosten muodonmuutokset, tukien epäkeskisyydet ja tukirakenteiden vaikutus otetaan huomioon sauvavoimien- ja momenttien määrittämisessä. Ristikon sisäsauvojen voidaan olettaa liittyvän nivelellisesti jatkuviin paarteisiin. Paarrejatkokset voidaan olettaa kiertymäjäykiksi edellyttäen, että liitosta rasittavat taivutusjäännitykset ovat korkeintaan 30 % sauvan taivu-

tuslujuuden laskenta-arvosta ja että rakenne on vakaa, jos kaikki tällaiset liitokset toimivat nivelellisenä. Alapaarteeltaan ylöspäin taitteelliset saksiristikot tulee tarvittaessa mitoittaa tuentavaihtoehdolle, jossa molemmat reunatuet oletetaan kiinteiksi. Tätä tarkastelua ei kuitenkaan tarvitse tehdä, jos saksiristikon toisen pään tuenta toteutetaan liukuvana.

Yksinkertaisissa harja- ja pulpettiristikoissa liitosmuodonmuutokset voidaan jättää huomioimatta murtorajatilatarkastelussa. Muiden ristikoiden kehien ja naulalevyillä koottujen vaarnapalkkien voimasuureiden määrittämisessä liitosmuodonmuutokset tulee ottaa huomioon käyttämällä rakennemallissa liitossolmujen ja sauvan välissä naulalevyn siirtymäkertoimien mukaisia jousia. Käyttörajatilamitoituksessa tulee kaikissa tapauksissa ottaa huomioon liitosten muodonmuutokset. Kaksiosaiset naulalevyillä kootut vaarnapalkit voidaan mitoittaa Eurokoodi 5 (1995-1-1) liitteen B mukaisella mekaanisin liittimin koottujen palkkien mitoitusmenetelmällä. Tällöin voimasuureiden laskennassa vaarnapalkki mallinnetaan yksiosaiseksi sauvaksi, jonka leikkausliitimenä toimivat naulalevyt sijoitetaan tasavälein tai leikkausvoiman mukaan siten, että suurin liitinväli on enintään nelinkertainen pienimpään liitinväliin verrattuna. Puuosien sekä murto- että käyttörajatilan rakennemallissa käytetään sauvojen kimmo- ja liukumoduuleina suoraan materiaalin keskimääräisiä arvoja E_{mean} ja G_{mean} . Kuormitusajan ja kosteuden vaikutuksia ei siis oteta huomioon rakennemallissa. Ne huomioidaan vasta lujuusmitoituksessa ja erillisessä lopullisten taipumien laskennassa.

Puristettujen rakenneosien tehollinen nurjahduspituus tasossa on taivutusmomentin nollapisteiden väli. Ristikon paarteosien nurjahduspituutena ei tarvitse kuitenkaan käyttää aukkopituutta suurempaa arvoa, mikäli nurkkaliitokset tukeutuvat vedettyyn paarteeseen. Rakennetasoa vastaan kohtisuorassa suunnassa paarteiden nurjahduspituus on poikittaistuentäväli eli yleensä ruodeväli. Yksiaukkoisen sisäsauvan, jolla ei ole poikittaista kuormaa, tehollisena nurjahduspituutena käytetään vähintään sauvan pituutta sen keskilinjalla tai tarkennetun rakennemallin yhteydessä sisäsauvan rakennetason suuntaisessa nurjahdustarkastelussa voidaan käyttää sauvan päiden solmupisteiden välistä etäisyyttä sauvan nurjahduspituutena. Puristetut sisäsauvat suunnitellaan rakennetasossa tukemattomiksi. Jos sisäsauva tuetaan rakennetasoa vastaan kohtisuorassa suunnassa, nurjahduspituus on tuen etäisyys sauvan päästä. Alle 120 mm leveää nurjahdustuettavaa sisäsauvaa ei saa käyttää.

NR-kannattimet on suunniteltava niin, että nurjahdustuettavien sisäsauvojen lukumäärä on

$$n \leq 1 + L/5$$

missä L on NR-rakenteen kokonaispituus metreinä. (12)

Tässä yhteydessä nurjahdustuettaviksi sisäsauvoiksi ei kuitenkaan lasketa sellaisia sauvoja, joihin kiinnitetään pysyviä seinä- tai sisäkattorakenteita, kuten kehäristikon huonetilan vertikaalit ja kehäorsi. Mahdollinen sauvan alkukäyryys otetaan huomioon Eurokoodi 5:n tai RIL 205-1-2009:n mukaisessa nurjahdusmitoituksessa kertoimella c_1 , jolle on annettu EN 14250 mukaan valmistettujen NR-rakenteiden yhteydessä käytettäviä arvoja sahatavaralle sekä liima- ja kertopuulle. (EN 1995:2004+A1:2008, 34 - 36.)

3. NAULALEVYRAKENTEISET SILTAMUOTIT

Opinnäytetyöni tarkoituksena on tutkia naulalevyristikkorakenteiden soveltuvuutta siltojen muotin tukirakenteeksi ja ottaa selvää mille siltatyypille ne sopivat sekä mihin muuhun niitä voisi siltarakentamisessa mahdollisesti käyttää. NR-muottiristikoita on käytetty joissakin kohteissa, mutta yleisesti ottaen niiden käyttö on ollut melko vähäistä. Osana syynä tähän on yleinen asenne muottiristikoita kohtaan. Jotkin siltaurakoitsijat näkevät ratkaisun hankalana ja jotkin pitävät sitä kalliina. Suurin osa turvautuu vanhaan tuttuun tekotapaan eli muotit rakennetaan sahatavarasta työmaalla. Joissakin kohteissa kyseiset sillan reunan muottiristikot tehdään käsin työmaalla, mikä on todennäköisesti kalliimpi ratkaisu kuin asennusvalmiin muottiristikon tilaaminen.

NR-muottiristikot ovat osoittautuneet käteviksi ratkaisuihin esimerkiksi siltojen reuna-aulokkeiden valamiseen uudis- ja korjauskohteissa. Etenkin korjauskohteissa muottiristikoiden käyttö on järkevää, sillä muotti tarvitaan yleensä vain tiettyyn osaan sillasta niin muottiristikoilla muotin tekeminen on kätevää ja myös mahdollisen uusio-käytön myötä useampia kohteita voidaan tehdä samoilla muottiristikoilla. NR-muottiristikoilla siltamuotin tukirakenteet saadaan staattisesti jäykemmiksi ja ulokkeiden taipumat pienemmiksi kuin perinteisillä työmaalla naulattavilla rakenteilla. NR-muottiristikoissa käytettävä puun määrä on huomattavasti pienempi kuin työmaalla tehdyissä tukirakenteissa ja tässä tapauksessa on mahdollista säästää muotin rakentamisen materiaalikustannuksissa. NR-muottiristikolla saavutetaan suuri hyöty etenkin liittorakenteisissa silloissa, joissa kansi on betonia ja kantavana rakenteena ovat teräspalkit. Liittorakenteisissa silloissa on muottiristikoiden käyttäminen kätevää, koska sillan alla on kantavat teräspalkit niin ainoastaan sillan kansi tarvitsee muotin ja muottiristikoiden asentaminen sekä kiinnitys on mahdollista tehdä kantavaan teräsrunkoon. Tällöin hyödynnetään tehokkaasti jo olemassa olevia sillan rakenteita muotin tukemisessa. Myöskin tarvittavan materiaalin osuus jää tässä tapauksessa suhteellisen pieneksi verrattuna sahatavarasta työmaalla tehtyyn muottiin.

NR-muottiristikon etuja ovat:

- Mittatarkkuus ja ristikon tekeminen suoraan sillan muotoja vastaavaksi. Nopeuttaa ja vähentää työmaalla tehtävän työn määrää, kun muottiristikko on suoraan halutun muotoinen. Nykyaikaiset sahat mahdollistavat myös kaarevat muodot.

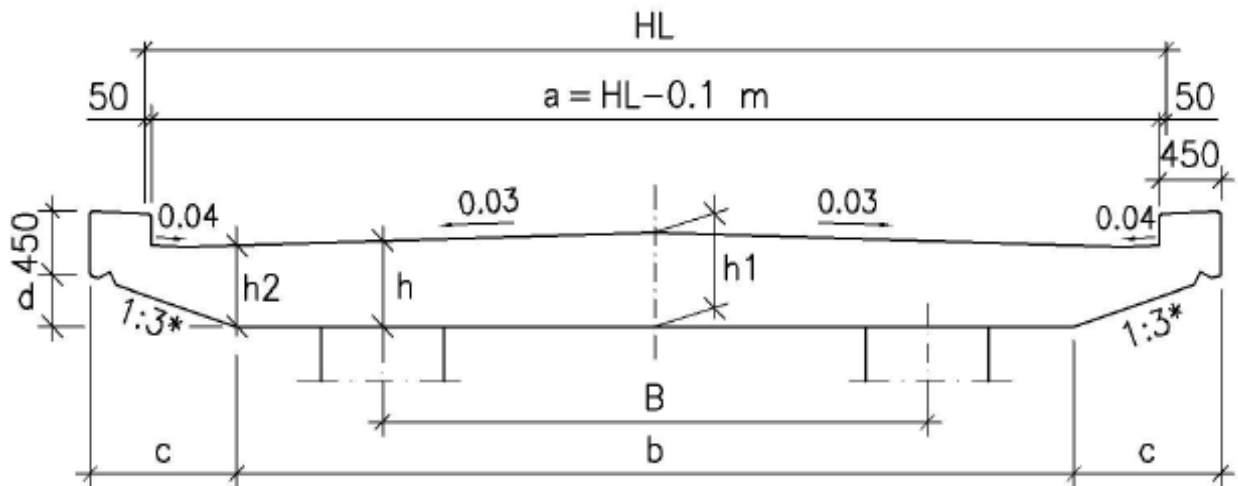
- Helppo asennus ja työn merkittävä väheneminen työmaalla, verrattuna naulaamalla tehtäviin ristikkorakenteisiin. Naulaamalla tehtyyn muottiristikkoon nähden NR-muottiristikko tulee kokonaisratkaisuna edullisemmaksi.
- Kevyt ja staattisesti jäykempi rakenne. Siirtymät ovat pienemmät kuin sahatavarasta valmistetulla muottirakenteella.
- Muotin rakentamisen nopeutuminen ja työajan säästö. Materiaalimenekin pienentyminen ja muotin rakentamisen kustannuksien pienentyminen.
- Mahdollistaa vähäisemmät tuennat verrattuna massiivirakenteeseen, joka on yleensä jatkuvatukinen. NR-muottiristikon hyvänä etuna on sen monimuotoisuus rakenteena eli muottiristikko voidaan suunnitella siten, että erilaisten tuentavaihtoehtojen toteuttaminen on yleensä mahdollista.
- Mahdollinen uusiokäyttö. Muottiristikot voidaan käyttää uudelleen jos ne eivät vaurioidu irrotettaessa ja uusi kohde on kuormituksien osalta samanlainen kuin mille muottiristikot ovat mitoitettu.

3.1 Siltatyypit

Opinnäytetyössä on mukana neljä eri siltatyyppiä, joille suunnittelin ja mitoitin NR-muottiristikot. Eri siltatyyppejä ovat teräsbetoninen ulokelaattasilta, teräsbetoninen laattakehäsilta, kaukalopalkkisilta, liittorakenteinen silta, jossa on teräsbetonikansi ja kantavana osana teräspalkit. Tämän lisäksi mukana on myös korjauskohde, jossa vanhan sillan reunaulokkeet puretaan ja muotirakenteena käytetään NR-muottiristikoita. Korjauskohteen silta on liittorakenteinen. Työssä olevat siltatyypit ovat varsin yleisiä Suomessa niin rakenteeltaan kuin muodoltaan. Kaikki esimerkkisillat on aikaisemmin rakennettuja, joten suunnittelutyö pohjautuu olemassa oleviin siltoihin.

3.1.1 Teräsbetoninen ulokelaattasilta (Bul)

Teräsbetoninen ulokelaattasilta (Bul) on yleinen siltatyypin ajoneuvoliikenteen risteys- ja vesistösilta sekä alikulkukäytävänä, kun sillan jännemitta on 10 - 18 m ja sillan pituus 15 - 23 m. Ulokelaattasilloissa reunaviiste on 1:3 ja silloissa on yleensä korkeat reunapalkit, paitsi vesistösilloissa reunapalkit voivat olla matalampia. Sillan hyödylliset leveydet vaihtelevat 7 400 - 12 400 mm:n ja kannen paksuus vaihtelee suhteessa hyödylliseen leveyteen reunapalkin ollessa aina 450 mm leveä. Silta tehdään yleensä siten, että poikkileikkaus on keskilinjan suhteen symmetrinen ja kannen yläpinta on sivuille päin kallistettu noin 2 asteen verran. Esimerkiksi 13,3 m leveään ulokelaattasilan kannen paksuus on keskellä 800 mm ja reunoilta 635 mm ja 8,3 m leveässä sillassa kannen paksuus keskellä pienenee 660 mm:n ja reunoilta 570 mm:n. (Teräsbetoninen ulokelaattasilta Bul 2004, 10.)



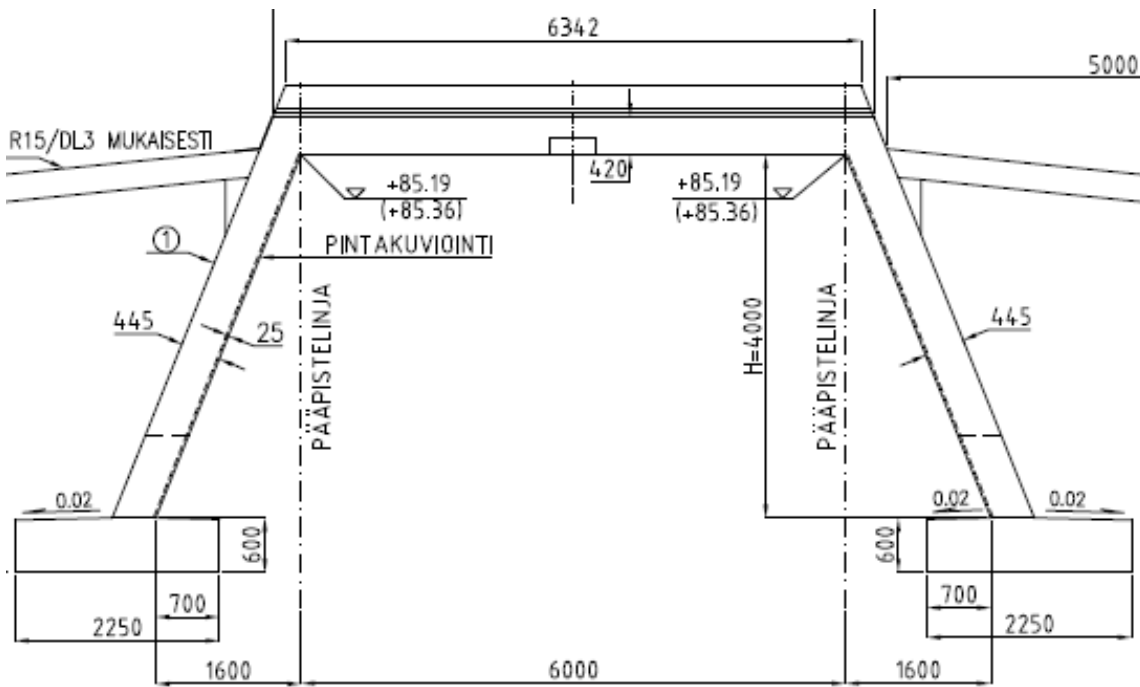
Kuva 5 Ulokelaattasilan poikkileikkaus (Tiehallinto 2004, 10)

3.1.2 Teräsbetoninen laattakehäsilta (Blk 1 ja 2)

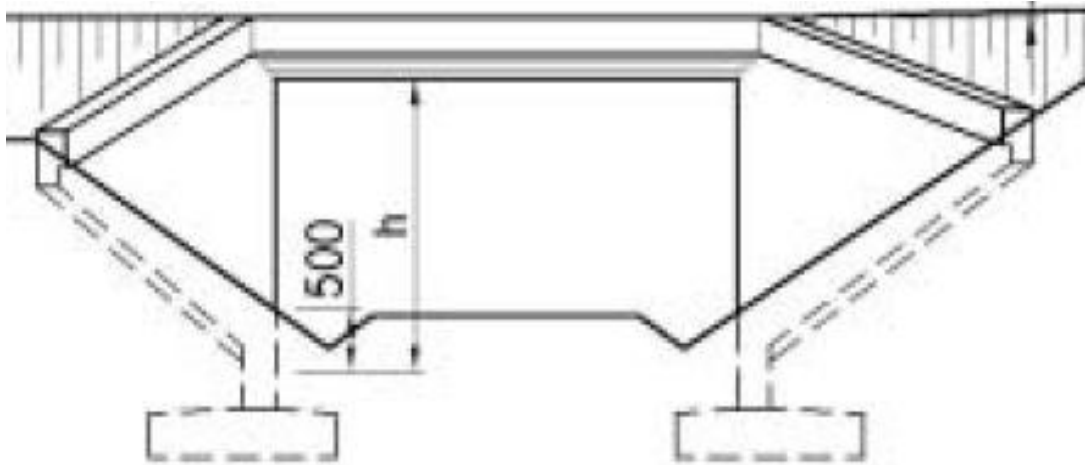
Laattakehäsilta on yleinen siltatyypin kevyen liikenteen alikulkukäytävänä. Sillan vapaat aukot ovat 6 ja 8 m (Blk 1) ja 4, 5 tai 6 m (Blk 2). Laattakehäsiltoja ovat pieniä teräsbetonisia siltoja, joissa rakennekokonaisuuden muodostavat seinämäiset jalat ja kansilaatta. Laattakehäsiltoja tehdään suora- ja vinojalkaisena, joista Blk 1 tyyppin sillat ovat suorajalkaisia ja tyyppin Blk 2 sillat ovat vinojalkaisia. Jalan korkeus voi vaihdella 3,5 aina 6 m:n asti. Kun siltatyypin Blk 1 vapaa-aukko on 6 m niin jalan ja kehälaatan paksuus on 400 mm ja kun vapaa-aukko on 8 m niin vastaavat paksuudet ovat 450 mm. Vastaavasti kun siltatyypin Blk 2 vapaa-aukko on 4 m on jalan ja kehälaatan paksuus 370 mm ja 5 tai 6 m:n vapaalla aukolla vastaavat paksuudet ovat 420

mm. Siltojen korkeus on yleensä 4 - 6 m. Vinojalkaisessa laattakehäsillassa jalkojen kaltevuus on lähes aina 2,5:1. Laattakehäsillan pienin hyödyllinen leveys on 4,5 m ja sillan suurinta hyödyllistä leveyttä ei ole rajattu. (Teräsbetoninen laattakehäsilta Blk 1 2004, 9 - 25, Teräsbetoninen laattakehäsilta Blk 2 2011, 4 - 10.)

Vinojalkainen laattakehäsilta soveltuu parhaiten eri alikulku- ja pengerkorkeuksille ja siltatyyppi on moderni ja avara. Mikäli siltatyyppi käytetään rautatienalikulkuun se rajoittaa vähiten ratajohtopylväiden sijoittelua. Sillan rakentamiskustannukset ovat teoreettisesti noin 5 % korkeampia kuin suorajalkaisen laattakehäsillan kustannukset. Vinojalkaisen laattakehäsillan kustannusarvio alikulkukorkeudeltaan 4,2 metriä korkealle sillalle on 140 000 - 150 000 euroa, tähän vaikuttaa perustamistapa, leveys ja jalan korkeus.



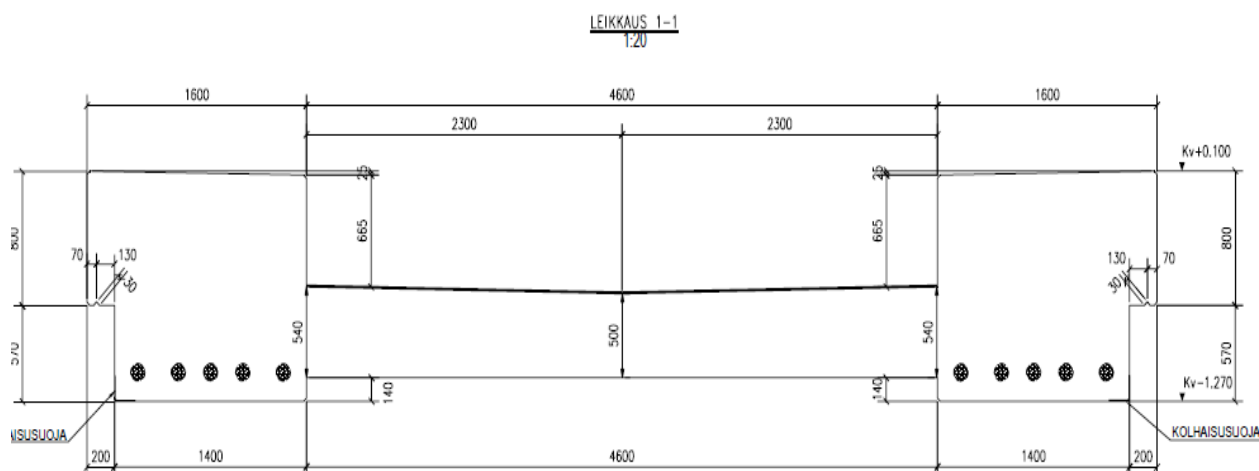
Kuva 6 Vinojalkaisen laattakehäsillan poikkileikkaus (Finnmap Consulting Oy)



Kuva 7 Suorajalkaisen laattakehäsilan poikkileikkaus (Finnmap Consulting Oy)

3.1.3 Kaukalopalkkisilta

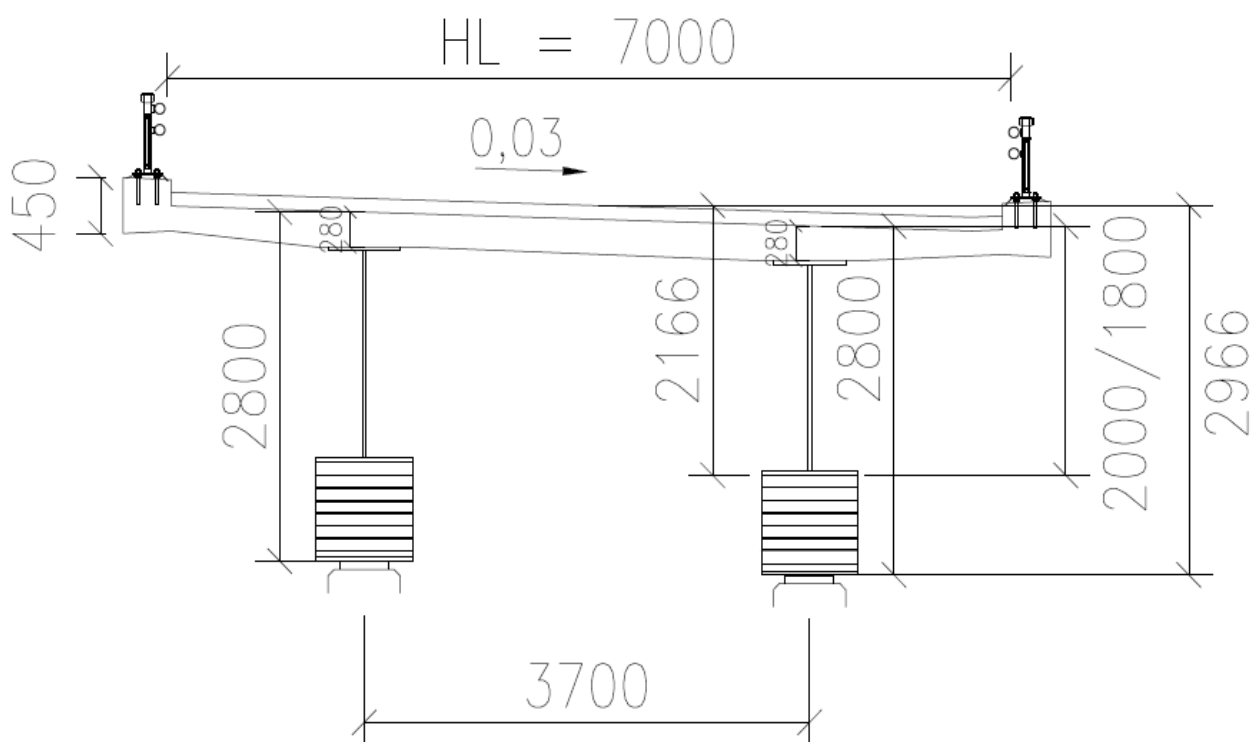
Kaukalopalkkisilloja käytetään pääasiassa rautateiden siltoina. Ne on suunniteltu kestämään raideliikenteestä tulevat lukuisat rasitukset, mitä ei muilla siltatyypeillä ole ollenkaan. Sillan reunoilla on palkit, jotka kantavat raideliikenteestä tulevat kuormat. Reunapalkit voivat toimia myös kaiteena parantaen sillan ratateknisiä ominaisuuksia, kuten pyrkiä estämään välittömän vaaran aiheutumisen muulle liikenteelle junan raitteiltaan suistumisen yhteydessä. Tämä kuitenkin vaatii sillan reunapalkkeilta enemmän korkeutta, mitä esimerkkikuvassa on esitetty. Korkeammat reunapalkit toimivat myös raideliikenteestä syntyvän melun vallina.



Kuva 8 Kaukalopalkkisillan poikkileikkaus (Finnmap Consulting Oy)

3.1.4 Liittorakenteinen silta

Liittorakenteinen silta koostuu kahdesta eri materiaalista ja niiden yhteisvaikutuksesta. Liittorakenteen ansiosta sillasta saadaan kevyempi ja kantavat rakenteet ovat hoikempia. Yleensä liittorakenteinen silta koostuu kantavista teräspalkeista ja teräsbetonikannesta. Yleisin teräspalkkiprofiili on I-palkki. Palkin uuma- ja laippaosat voidaan optimoida tarkasti jännevälin perusteella joka kohteeseen sopivaksi ja yksittäisillä palkeilla voidaan päästä lähes sadan metrin jänneväleihin. Liittorakenteisissa silloissa muottiristikoilla saadaan yleensä suurin hyöty ja niiden asennus liittorakenteiseen siltaan on myös yleensä suhteellisen helppoa.



Kuva 9 Liittorakenteisen sillan poikkileikkaus (Finnmap Consulting Oy)

3.2 Siltamuotin tukitelineet ja laatuvaatimukset

3.2.1 Yleistä tukitelineistä ja muoteista

Valmistettaessa silta käyttäen perinteistä muottitapaan tai NR-muottiristikoita tulee nämä muotit tukea maasta tukitelineillä. Sillan tukiteline on väliaikainen rakenne, jonka tarkoituksena on rakenteilla olevan sillan päällysrakenteen työnaikainen tukemi-

nen. Muottirakenteen alla voidaan käyttää erilaisia tukivaihtoehtoja siirtämään voimat tukitelineiden kautta perustuksille. Tukena voidaan käyttää puupilareita, tukitorneja, kalustopylvästäkkeitä, teräsputkitukkeitä ja konsolitukkeitä. Telineet perustetaan yleensä maan- tai kalliovaraisiksi, paalujen varaan tai valmiiseen rakenteeseen. Yhtenä telineen tärkeänä osana ovat vaaka- ja vinositeet, koska niiden avulla estetään pystytukien nurjahtaminen ja viedään vaakavoimat perustuksille. Perinteisessä muottitavassa pystytukien päälle asennetaan niskat ja kannattimet, joiden päälle varsinainen muotti rakennetaan. Kun käytetään NR-muottiristikkoita niin kyseisiä kannattimia ei välttämättä tarvitse tehdä, koska muottiristikko toimii pääkannattimena. Muottiristikkoita käyttämällä voidaan mahdollisesti yksi työvaihe saada pois. Niskojen tai kannattimien päälle tulee koolaus, joka siirtää kuormat muotin pääkannattimelle eli niskoille tai muottiristikolle. Koolauksen päälle rakennettava varsinainen muotti tehdään yleensä käyttäen muottilautaa tai muottivaneria. Profiilipeltiä tai erilaisia muottikankaita voidaan myös käyttää.

Telinesuunnitelmasta vastaavalla suunnittelijalla tulee olla vähintään rakennusinsinöörintutkinto sekä kokemusta siltojen telinesuunnittelussa. Urakoitsijan edustajan tarkastama ja hyväksymä telinesuunnitelma toimitetaan tilaajan edustajalle viimeistään viikkoa ennen sillan pääty- tai välitukien ja viimeistään kaksi viikkoa ennen päällysrakenteen telinetöiden aloittamista. Rautatien ylittävän sillan telinesuunnitelma lähetetään aina viimeistään kaksi viikkoa ennen telinetöiden aloittamista tarkastettavaksi Tiehallintoon ja tiedoksi Ratahallintokeskuksen asiantuntijalle. Lisäksi telinesuunnitelma, jossa on yleisen liikenteen kulkuaukkoja tai kun telineissä käytetään teräksistä kannatinkalustoa, sekä teräksisen liittopalkkisillan telinesuunnitelma tai tavanomaisesta poikkeava telinesuunnitelma lähetetään aina tiedoksi Tiehallintoon. Telinesuunnittelija tarkastaa ja hyväksyy telinerakenteet ennen betonointia. Betonityönjohtaja voi tarkastaa tavanomaiset puutelineet, joissa ei ole kulkuaukkoja. Tarkastuksesta tehdään aina merkintä työmaapäiväkirjaan. (Syl-3 2005, 44 - 46.)

3.2.2 Laatuvaatimukset

Muottimateriaali valitaan siten, että sillan rakennussuunnitelmassa esitetyt laatuvaatimukset ja betonipintojen laatuvaatimukset täyttyvät. Muottien tiiviys on varmistettava ennen valua. Muottipinnan laatuvaatimusten ollessa suuret, on muottien oltava valettaessa tiiviit. Vainoille pinnoille tehdään yleensä muotti. Käyttämällä yläpinnassa jäykempää betonia voidaan valaa yläpintoja aina 5 %:n kaltevuuteen asti. Betonoitaessa reunapalkki samassa valussa kuin kansilaatta, voidaan menetellä siten, että odote-

taan kansilaatan betonin jäykistymistä niin kauan, että reunapalkin betonin valumista laattaan ei tapahdu. Muottia vasten valetun näkyviin jäävän pinnan on täytettävä ohjeen by 40 Betonirakenteiden pinnat - luokan A vaatimukset. Betonipinnan väri vaihtelun on täytettävä väri vaihteluluokan B vaatimukset. Näkymättömiin jäävän pinnan on täytettävä luokan C mukaiset vaatimukset. Pinnoissa sallittu halkeamakoko on 0,4 mm. Leveydeltään suurimman sallitun halkeamaleveyden suuruisen tai tätä pienempien halkeamien yhteenlaskettu sallittu pituus yhden neliömetrin alueella on 1,0 m. Leveydeltään alle 0,10 mm halkeamia ei tarkastelussa oteta huomioon. Muut kuin sallitut halkeamat injektoidaan tai imeytetään kapillaarisesti Tiehallinnon käyttöön säilyksymällä aineella ja menetelmällä. (Syl-1 2005, 22 - 30.)

Siltojen kannen- ja muottikustannusten osuus on 15 - 30 % sillan kokonaiskustannuksista. Rakennettavien tukitelineiden kustannuksia nostavat erityisesti heikosti kantava maapohja, vesistöt sekä korkeat ja kaarevat telineet. Telinekustannuksia pienentäviä tekijöitä ovat mahdollisuus tukea valmiiseen rakenteeseen, penkereen varaan ilman pystytukia valmistettavat telineet ja sillan poikkileikkausten vakiointi, jolloin samoja telineiden osia voidaan käyttää useamman kerran. Koska telinekustannukset voivat parhaimmillaan olla iso osa kokonaiskustannuksista niin mahdollisten työ- ja suunnitteluvirheiden karsiminen vähentää korjauksista aiheutuvia lisäkustannuksia. Virheet telineissä huonontavat sillan lopullista ulkonäköä, alentavat laatua sekä mahdollisesti myös pitkäaikaiskestävyyttä. Virheellisesti rakennettujen telineiden aiheuttamien haittojen korjaaminen on aina kallista. (Tukitelineohje 2007, 9 - 20.)

Tyypillisiä telinevaurioihin johtaneita syitä ovat: (Tukitelineohje 2007, 11)

- roudan sulaminen perustusten alta liian aikaisin
- luiskan sortuminen telineiden alta
- louhetäytön varisemisesta johtuvat painaumat
- puutteelliset täyttötöet etenkin talvella
- poikkeaminen alkuperäisestä telinesuunnitelmasta
- puutteelliset vinositeet
- pystytolppien nurjahdus johtuen liian vähäisestä vaakatuennasta
- leimapaineiden ylitykset niskojen ja tolppien välillä
- törmäykset telineisiin johtuen puutteellisesta ennakkovaroituksesta
- kevättulvat.

3.2.3 Toleranssit

Sillan muottia rakentaessa tulee sen olla sillan sallittujen mittapoikkeamien sisällä. Tukirakenteiden ja muotin taipumat sekä painumat tulee ottaa huomioon, jotta sallitut mittapoikkeamat eivät ylity ja tehdä niihin tilanteen mukaan tarvittavat esikorotukset. Sillan sijainnin sallittu poikkeama pysty- ja vaakatasossa on moottoriteiden, moottori-liikenneteiden ja valtateiden silloilla sekä kaikilla ylikulku- ja risteys silloilla ± 20 mm:n hylkäysrajan ollessa ± 40 mm. Muiden teiden silloilla toleranssi on ± 40 mm:n hylkäysrajan ollessa ± 80 mm. Sillan sijainnilla pystytasossa tarkoitetaan sillan reunapalkin ulkoreunan korkeusasemaa suunniteltuun verrattuna maa- ja välitukien kohdalla. Sillan sijainnilla vaakatasossa tarkoitetaan sillan reunapalkin ulkoreunan sijaintia vaakasuunnassa suunniteltuun verrattuna maa- ja välitukien kohdalla.

Sillan hyödyllisen leveyden, ajoradan leveyden sekä korotetun jalankulku- ja pyörätien leveyden sallittu poikkeama on $+60$ mm ja -30 mm. Hylkäysraja on vastaavasti $+120$ mm ja -60 mm. Leveydet mitataan siipimuurien uloimmista päistä, tukien kohdalta, aukkojen keskeltä ja sillan kapeimmalta kohdalta.

Sillan ja reunapalkin sallittu muotopoikkeama ylöspäin saa olla aukkojen keskellä ja maatuen siipimuurin tai ulokkeen päässä enintään $L/1\ 000$ ja aukkojen neljännespisteissä enintään $L/1\ 500$, missä L on jännemitta tai kaksi kertaa maatuen siipimuurin tai ulokkeen pituus. Suurempaa tarkkuutta kuin 20 mm ei kuitenkaan vaadita. Hylkäysrajat ovat vastaavasti $L/500$ ja $L/750$. Hylkäysrajalle ei kuitenkaan käytetä pienempää arvoa kuin 40 mm. Sillan ja reunapalkin sallittu muotopoikkeama alaspäin saa olla aukkojen keskellä ja maatuen tai ulokkeen päässä enintään $L/1000$, mutta korkeintaan 100 mm, sekä aukkojen neljännespisteissä enintään $L/1500$, mutta korkeintaan 70 mm. Suurempaa tarkkuutta kuin 20 mm ei kuitenkaan vaadita.

Sillan jännemitan, ulokkeen pituuden ja vapaa-aukon sallitut poikkeamat ovat $+ L/1\ 000$ ja $- L/2\ 000$, missä L on jännemitta, vapaa-aukko tai kaksi kertaa ulokkeen pituus. Poikkeama saa olla korkeintaan $+100$ mm ja -50 mm ja suurempaa tarkkuutta kuin $+50$ mm ja -25 mm ei vaadita. Hylkäysrajat ovat vastaavasti $+ L/500$ ja $- L/1\ 000$ sekä $+200$ mm ja -100 mm. Hylkäysrajalle ei kuitenkaan käytetä pienempää arvoa kuin $+100$ mm ja -50 mm.

Pilarin, seinämäisen tuen tai päätytuen pysty- tai vinopinnan kaltevuuden sallittu poikkeama suunnitelman mukaisesta arvosta on $0,5\ \%$. Poikkeama saa kuitenkin olla

enintään 40 mm pinnan ylä- ja alareunan välisenä vaakapoikkeamana mitattuna. Hylkäysrajat ovat vastaavasti 1,0 % ja 80 mm. (Syl-1 2005, 16 - 19.)

3.2.4 Puiset tukirakenteet

Mikäli käytetään puisia tukirakenteita tulee materiaalin täyttää sille asetetut standardien mukaiset vaatimukset. Kun käytetään puisia telineitä tulee ottaa huomioon telineen käyttöolosuhteet ja kuormitukset. Tukitelineisiin käytettävän sahatavaran, vanerin tai näiden yhdistelmien on täytettävä RIL 120-7 asettamat vaatimukset. Käytettävän sahatavaran lujuusluokka tulee olla vähintään C24. Mikäli käytetään pyöreää puuta on sen lujuusluokka C30 (katso kohta 2.2). Telineiden puuosia ei saa pinta käsitellä niin, että niiden tarkistaminen ja kunnon arviointi vaikeutuu. Telineiden ja valumuottien puumateriaalin oletetaan olevan käyttöluokassa 3 (katso kohta 2.4.1).

Puutelineissä käytetään yleisesti seuraavia ja suositeltavia puutavarakokoja (mm):

- muottilauta, 20 x 95 - 98, 23 x 95 - 98, 28 - 30 x 95 - 98
- muottivaneri, T15 - T24
- koolaus, 50 x 100, 50 x 125, 50 x 150
- niskat, 100 x 100, 125 x 125, 150 x 150, 2(75 x 150), 2(75 x 175), 2(75 x 200)
- tolpat, 100 x 100, 125 x 125, 150 x 150
- vaaka- ja vinositeet, 22 x 100, 32 x 100, 50 x 100

Mikäli ei esitetä tarkempia menetelmiä niin voidaan liitoksissa arvioida puun syitä vastaan olevan kohtisuoran puristusjännityksen aiheuttaman kokoonpuristuman olevan 1 - 2 mm/liitos. Nurjahdusmitoituksessa oletetaan normaalivoiman epäkeskisyydeksi pyöreillä pystytuilla vähintään $L_c/100$ ja sahatavaraa käyttäessä $L_c/200$, missä L_c on nurjahduspituus. Vaakasidevälin on oltava pienempi kuin 2,2 m:n asennuksen helpottamiseksi. Koska vaakasiteet toimivat tavallisesti asennusaikaisten kulkureittien tukina tulee ne mitoittaa kestävänsä työtason omanpainon lisäksi 1 kN pistekuormalle. Vaaka- ja vinositeiden osalta tulee leimapaine aina tarkistaa. Vaaka- ja vinositeet naulataan yleensä tolpan vastakkaisille puolille liitosten keskittämisen helpottamiseksi ja ylimmän vaakasiteen etäisyys tolpan päästä saa olla enintään 0,5 m. Tukitelineet sidotaan niin jäykiksi, etteivät telinettä rasittavat vaaka- ja pystykuormat ja telineiden muodonmuutokset yleensä aiheuta telineelle suurempaa lisäkallistusta kuin 10 % sallitusta kallistusvirheen arvosta. Näin estetään pystykuormia aiheuttamasta telineelle lisää vaakakuormitusta.

Metallisia tukitelineitä käytetään myös siltamuotin tukirakenteena ja ne ovat yleensä erilaisia tukitorneja, joille on annettu valmiiksi keskeiset kuormitukset, joten metallisia tukitorneja ei tarvitse mitoittaa samalla tavalla kuin puisia tukirakenteita. Kun käytetään metallisia tukirakenteita niin kannattimena toimivat yleensä massiiviset muototeräspalkit, kuten HEA, HEB tai I- palkit. Teräksisiä kannattimia käytetään silloin kuin olosuhteet poikkeavat normaaliolosuhteista tai kuormat tai jännevälit ovat poikkeuksellisen suuria. Mikäli käytetään teräksisiä kannattimia tai ristikkorakenteita tulee ne suunnitella erikseen käyttökohteen mukaan. (Tukitelineohje 2007, 22 - 81.)

3.2.5 Tukitelineiden kuormat

Telinesuunnitelmaa laadittaessa kaikki esiintyvät kuormitustapaukset otetaan huomioon sekä selvitetään niiden vaikutus teline- ja siltarakenteeseen. Telineelle annetaan sillan kannen taipuman lisäksi ennakkokorotus, joka vastaa telinetukien painumia ja kannattimien taipumia. Telineen painumat ja taipumat tulee rajoittaa myös siten, että sillan rakennemitat pysyvät toleranssien sisällä. Telineen ja muotin muodonmuutokset tai niiltä tulevat kuormat eivät saa aiheuttaa sillan rakenteisiin halkeilua eikä sellaisia pysyviä jännityksiä, joita ei ole otettu tai oteta huomioon sillan suunnitelmassa.

Siltojen tukitelineissä on samassa rivissä vähintään kolme tolppaa. Tukitelineiden kaltevuudesta johtuvat lisäkuorma tolppien yläpään tasossa on maanvaraisissa telineissä 1 % ja paalutetuissa telineissä 2 % pystykuormista. Kulkuaukkojen vinositeet maanvaraisissa telineissä tulee mitoittaa vaakakuormalle, joka on sillan pituussuunnassa vähintään 2 % ja poikkisuunnassa vähintään 1 % maksimitukireaktiosta. Nämä lisävoimat vaikuttavat tolppien yläpään tasossa.

Valupaine on muuttuva kuorma, joka vaikuttaa kohtisuoraan muotin pintaa vastaan. Sen vaikutus päättyy, kun betonimassa on saavuttanut tärytysrajan. Itse tiivistyvää betonimassaa käytettäessä on muotit suunniteltava betonin aiheuttamalle hydrostaattiselle paineelle eli valupaine on huomattavasti suurempi kuin muilla betonimassatyypeillä. Muottiin kohdistuvan valupaineen suuruuteen vaikuttavat käytettävä betonimassa, valunopeus ja kerralla valettavien alueiden ala. Etenkin valunopeudella on suurimerkitys muottipaineen suuruuteen. Kun betonin valaminen tehdään kerroksittain voidaan valunopeudella vähentää muottipainetta oleellisesti. Sopiva nousunopeus on 0,5 - 1 m/h, tällöin muottipaine ei pääse kasvamaan liian suureksi ylöspäin mentäessä. Mitoituksessa voidaan muottiristikoille tulevana valupaineena käyttää

2,5 - 3,0 kN/m². Valun sisään jääviin varauksiin kohdistuva nostevoima tulee myös ottaa huomioon. (Tukitelineohje 2007, 24 - 30.)

Tuulen nopeuspaineena tukitelineissä käytetään 75 % Suomen rakentamismääräyskokoelman B1 - 12 tuulen nopeuspaineen arvosta. Tällainen tuuli esiintyy keskimäärin kerran viidessä vuodessa. Tuulikuormat lasketaan telineisiin ja muotteihin Rakenteiden kuormitusohjeen RIL 144 - 13 mukaisesti huomioon ottaen telinerakenteen muotokertoimet, eheytyssuhteet ja perättäisten rakenteiden vaikutus. Ellei tarkempia menetelmiä käytetä voidaan sillan telineisiin ja muotteihin kohdistuvan sillan suhteen poikittaiset kokonaistuulikuormat pystytukiriviä kohti laskea kaavojen mukaisesti. Voimasuureet ovat ominaisarvoja ja sisältävät kaikki tarvittavat muotokertoimet, eheytyssuhteet ja perättäisten rakenteiden vaikutukset.

Tuulikuorma sillan kannen muotteihin

$$W_m = (1,2 + 0,06b/h_m)q_k A_m \leq 2,0 A_m q_k \quad (13)$$

missä q_k on tuulen nopeuspaine (kN/m²)
 b on sillan kokonaisleveys (m)
 h_m on muotin korkeus sisältäen koolauksen ja niskat (m) $\leq 0,25$ m
 A_m on muotin korkeuden ja pystytukien tai tukitornien k-jaon muodostama kokonaispinta-ala (m²)

Tuulikuorma sillan tukitelineisiin

Puutelineet, joissa kulmikkaista sauvoista koostuvat neliömäiset tornit

$$W_{pt} = 0,25 q_k N A_u \quad (14)$$

missä N on peräkkäisten puutolppien tai tukitornien lukumäärä
 A_u on tuulenpuoleisen telineen korkeuden ja pystytukien tai tukitornien k-jaon muodostama kokonaispinta-ala (m²)

Tuulikuorma ristikkokannattimiin

Ensimmäinen tuulenpuolen kannatin

$$W_{pl} = 0,45 q_k A_p \quad (15)$$

Kaikki seuraavat kannattimet

$$W_{pn} = 0,75 W_{pl} \quad (16)$$

Ristikkokannattimiin kohdistuva kokonaistuulikuorma

$$W_p = (1 + 0,75 n) 0,45 q_k A_p \quad (17)$$

missä A_p on L x h eli tuulenpuoleisen projektiopinnan ääriviivojen sisäpuolelle jäävä pinta-ala (m²)

n on tuulen suojassa olevien peräkkäisten kannattimien määrä

Mikäli sillan rakennuskohde sijaitsee lähellä rautatietä tulee rakenteiden mitoituksessa junan ohituksesta tulevat aerodynaamiset kuormat ottaa huomioon. Ohittava juna vaikuttaa jokaiseen lähellä raidetta olevaan rakenteeseen etenevänä aaltona, jossa on paine- ja imuvaihe. Rautatiestä johtuva lisäkuorman kuormitusleveytensä rakenteosien tarkastelussa käytetään enintään 10 m raiteen keskilinjan molemmille puolille. Esimerkiksi 160 km/h tukitelineet ohittava juna aiheuttaa viereisille tukirakenteille 0,5 kN/m² lisäkuorman, jonka vaikutus yltää 5 m:n korkeuteen raiteen pinnasta ja junan yläpuolisille tukirakenteille aiheutuu 0,4 kN/m² lisäkuorma. (Tukitelineohje 2007, 24 - 30.)

3.3 Suunnittelu

NR-muottiristikoiden suunnittelussa ja mitoituksessa käytettävä ohjelma on KMP-Engineering Oy:n oma ja itse kehittämä ohjelma nimeltä Wode 2 000. Ohjelma on Inspecta Sertifiointi Oy:n hyväksymä NR-rakenteiden suunnitteluun tarkoitettu ohjelma. Muottiristikoita suunniteltaessa aluksi ohjelmalla luodaan rakennemalli, joka vastaa puuosien osalta mitoiltaan halutun kokoista ja muotoista rakennetta. Tämän jälkeen rakenteeseen lisätään joka liitokseen sopivan kokoiset naulalevyt. Kun naulalevyt on lisätty siirrytään tekemään laskentamallia, jossa annetaan kaikki kuormitustiedot ja tuetaan liittyvät asiat. Tämän jälkeen rakennemalli on valmis laskettavaksi, jonka jälkeen saadaan selville kaikki tarvittavat laskentatulokset muottiristikosta, jonka jälkeen mallia voidaan muokata ja optimoida mahdollisimman hyväksi ja kestäväksi. Ensimmäiseksi luotu ja laskettu malli on hyvin harvoin se lopullinen ja paras, sillä vasta laskennan jälkeen saadaan selville kestäkö koko rakenne edes sille asetettuja kuormia vai ei. Joskus hankalimmissa tapauksissa joutuu kokeilemaan ja laskemaan läpi lukuisia eri vaihtoehtoja ennen kuin päästään lopulliseen tulokseen.

NR-rakenteissa on samalle rakenteelle yleensä useita eri vaihtoehtoja sen toteutukseen ja eri suunnittelijoiden kesken saadaankin yleensä erilaisia rakenneratkaisuja. Muottiristikoita suunniteltaessa on mietittävä myös onko järkevää mitoittaa muottiristikkoa aivan tiukalle vai olisiko syytä jättää hieman pelivaraa ja tehdä rakenteesta hieman kestävämpi ja varma, sillä kuormat ovat huomattavasti suurempia kuin normaalisti sekä siirtymien osalta päästään parempaan lopputulokseen. Muottiristikon suunnittelun alkuvaiheessa joutuu suunnittelija käymään läpi monia eri asioita, kuten kuinka korkea muottiristikosta kannattaa tehdä, sillä korkeampi ristikkorakenne kestää paremmin mutta suuremmilla kuormilla nurjahduspituudet kasvavat helposti liian suuriksi, jolloin rakenteeseen tulee helposti useita nurjahdustuettavia sisäsauvoja. Ristikkoa suunniteltaessa aina pyritään minimoimaan nurjahdustuettavien sauvojen lukumäärä, koska nurjahdustuennat saattavat joskus jäädä asentamatta. Nurjahdustuettavat sisäsauvat saadaan usein pois kasvattamalla sauvat dimensiota tai lujuusluokkaa mutta tämä puolestaan lisää muottiristikon hintaa.

Muottiristikon yläpaarten muoto tulee suoraan sillan muodoista paitsi jos muodot halutaan tehdä työmaalla on parre silloin yleensä suora. Muottiristikon alapaarre sekä ristikon alaosan muodosta voidaan suunnitella palkkimainen tai kolmesta eri alapaarre osasta koostuva, jolloin ristikon korkeus on eri ristikon päissä kuin sen keskellä. Sisäsauvojen geometria on suunnittelijan päätettävissä ja yleensä pyritään mahdollisimman vähäiseen sisäsauvojen lukumäärään, koska tämä vähentää materiaalin menekkiä. Ristikoiden suunnittelun aikana on tutkittava erilaisten sauvoittelujen vaikutus ja verrattava niitä keskenään. Yleensä perustyyppin ristikoihin on olemassa valmiiksi ehdotetut sauvoitteluratkaisut, joita muokataan tapauskohtaisesti kohteeseen sopivaksi. Sauvoilla on merkitystä muottiristikon siirtymiin ja ristikkoon valittu sauvoittelu määrää myös kuinka voimat jakautuvat ristikon sisällä sen eri osien kesken ja näistä edullisimman vaihtoehdon valitseminen parantaa ristikkorakenteen kestävyttä.

Itse suunnitteluohjelma soveltuu hyvin näiden rakenteiden mallintamiseen ja mitoittamiseen. Ohjelman käyttö on mielekästä ja ohjelman laskentaperiaate on selkeä ja looginen. Suunnittelutyö sujui hyvin ja suurempia ongelmia muottiristikoiden suunnittelun eri vaiheissa ei juuri ollut.

3.3.1 Kuormat ja k-jako

Muottiristikoiden kuormitukset ovat suurempia, kuin normaali kattoristikoiden, mitkä puolestaan pienentävät niiden k- jakoa. Mitoituksessa muottiristikolle tulevat kuormat on laskettu käyttäen teräsbetonin tilavuuspainoa 25 kN/m^3 ja lisäksi 2 kN/m^2 tulevaa työskentelykuormaa. Siltojen kannet ovat yleensä kaltevia, mikä tekee kuormista vaihtelevia eri osassa muottiristikkoa. Esimerkiksi ulokelaattasillassa (katso kohta 3.1.1) kannen paksuus vaihtelee siten, että sillan keskilinjan kohdalla kannen paksuus on suurimmillaan ja pienenee kaltevuuden mukaisesti reunapalkkeja kohti. Reunapalkit ovat puolestaan vakio kokoisia $450 \times 450 \text{ mm}$ niin niiden kuormat pysyvät myös vakioina. Silloissa leveyden ja jännemitan kasvaessa myös kannen paksuus kasvaa. Esimerkiksi $13,3 \text{ m}$ leveässä ulokelaattasillassa kannen paksuus on keskellä 800 mm ja reunalla 635 mm reunapalkin ollessa vakio. Kuormaa kannesta muottiristikolle tulee sillan keskeltä 7 kN/m ja reunoilla $5,6 \text{ kN/m}$. Reunapalkista tuleva kuorma on $3,9 \text{ kN/m}$. K-jako on kyseisessä kohteessa 350 mm . Lisää haastetta suunnitteluun tuovat eri siltatyypit, kuten esimerkiksi kaukalopalkkisillat (katso kohta 3.1.3). Rautateiden ylityksiin tarkoitetun kaukalopalkkisillan reunapalkin suuri koko ja huomattavasti ohuempi keskiosa kuormittavat muottiristikkoa hyvin epätasaisesti. Tällaisissa tapauksissa valujärjestyksellä on jo suuri merkitys, kuten se on otettava huomioon kaikissa muottiristikoissa. Kaukalopalkkisillan reunapalkista tuleva kuorma muottiristikolle on $12,7 \text{ kN/m}$ ja muottiristikon keskellä se on enää vain $4,7 \text{ kN/m}$. Liitorakenteisissa silloissa kannen kuormat ovat yleensä suhteellisen pienet verrattuna muihin siltatyyppeihin, koska kannen alapuolella olevat teräspalkit toimivat sillan pääkannattimena (katso kohta 3.1.4). Teräspalkkien väli on suhteellisen helppo toteuttaa ristikkokannattimilla mutta reuna-alkkeiden muottien tuenta voi olla joissain tapauksissa haasteellista mutta yleensä aina mahdollista.

K-jakoa muottiristikoille miettiessä on mahdollisuus toteuttaa asia käytännössä kahdella eri tavalla. Muottiristikot voi mitoittaa kestävämmällä k-jaolla, jolloin ristikkoihin tarvitaan enemmän puuta ja suurempia naulalevyä, mikä lisää muottiristikon hintaa mutta ristikoita tarvitaan kohteeseen vähemmän. Toinen vaihtoehto on mitoittaa ristikot pienemmällä k-jaolla, jolloin ristikoista tulee edullisempia mutta ristikoita tarvitaan kohteeseen enemmän. Sopiva tasapaino näiden kahden asian välillä on suunnittelijan päätettävissä ja se on tehtävä jokaiseen kohteeseen erikseen. Mikäli sillan rakenteissa on leveitä pilareita tai muita vastaavia rakenteita joiden halkaisija on suurempi kuin ristikon k-jako niin esimerkiksi pilarin molemmiin puolin asennetaan muottiristikot kahden ristikon nipussa, koska pilarin kohdalle ei muottiristikkoa voi luonnollisesti asentaa. Ristikkorakenteen korkeudella on merkitystä ristikon kestävy-

teen eli mitä korkeampi ristikko on niin sitä paremmin se kestää tiettyyn rajaan asti. K-jakoa miettiessä voi joskus muottiristikon korkeudella olla ratkaiseva vaikutus, sillä kasvattamalla ristikon korkeutta saadaan ristikko kestävämpään paremmin ja voidaan mahdollisesti käyttää suurempaa k-jakoa. Muottiristikoissa k- jako vaihtelee yleensä 350 - 600 mm:n asti riippuen muottiristikolle tulevasta kuormasta. Mitä pienempi kuorma muottiristikolle tulee niin sitä suurempaa k-jakoa on mahdollisuus käyttää.

3.3.2 Tuenta ja jäykistäminen

Muottiristikot suunnitellaan päistään kantaviksi sekä tarvittaessa niihin suunnitellaan myös välitukia, mikä on pidemmillä jänneväleillä ja suuremmilla kuormilla väistämättömyyttä. Jokaisen välituen kohdalla tulee olla sisäsauvojen liitoskohta, jolloin mahdollisen naulalevyvahvistuksen käyttö tuella on mahdollista ja parre ei leikkaannu. Paitsi jos muottiristikon tuenta toteutetaan jatkuvatuksen ei kaikkien tukien kohdalle tarvita sisäsauvojen liitoskohtaa sillä tukireaktiot ja tukipinnan leveyden vaatimukset jäävät silloin melko pieniksi. Kun välitukia on yleensä yksi tai kaksi kappaletta on niiden osalta helpointa käyttää naulalevyvahvistusta tuella. Naulalevyvahvistuksen käyttö pienentää merkittävästi ristikon vaatimaa tukileveyttä. Molemmat päätytuet tehdään yleensä syynsuuntaisina- tai naulalevyvahvisteisina tukina, jolloin saadaan mahdollisimman hyvät vaaditut tukipintojenleveyden arvot. Ristikon alapuolisen rakenteen vaatiman tukipinnan leveys on tarkistettava aina erikseen. Naulalevyvahvisteisella tuella tarkoitetaan käytännössä sitä, että naulalevy sijoitetaan 3 mm:n päähän alapaarteen reunasta. Eri naulalevytyypeillä on omat arvot kun niitä käytetään naulalevyvahvistuksessa sekä sijoitetaanko levy vaaka- vai pystysuoraan on merkitystä. Muottiristikot on suunniteltu niin, että niissä on vähintään kaksi välitukea. Välitukien määrää voidaan myös lisätä jos kohde niin vaatii. Välitukien lisääminen aiheuttaa joiltain osin sisäsauvojen uudelleen sijoittamista, jolloin muottiristikko joudutaan suunnittelemaan uudestaan, koska rakennemalli muuttuu oleellisesti alkuperäisistä suunnitelmista. Koska tarvittavien tukien määrää eikä alapuolisia tukirakenteita ole opinnäytetyöni tapauksissa tiedossa niin ne on toteutettu käyttäen mahdollisimman vähäistä välitukien määrää.

Siltamuottien kokorakennekentän jäykistäminen on haastavaa ja työläs toteuttaa, koska vaaka- ja vinositeitä tarvitaan yleensä siltamuoteissa paljon sillä kuormat ovat suuria ja nurjahdustuentavälit lyhyitä. Opinnäytetyöni muottiristikot on suunniteltu käyttäen kahta välitukea, jotka ovat 1 500 mm päässä toisistaan ja sijoitettu muottiristikon keskilinjan molemmille puolille. Välituet on suunniteltu näin siksi, että muottiristi-

kon keskelle voidaan rakentaa tukitelineet, jotka tukevat muottiristikkoa välitukien kohdilta. Koska tukitelineistä muodostuu yksi selkeä tukilinja muottiristikoiden alle on mahdollista hyödyntää niitä myös rakennekentän jäykistämisessä. Perustuksilta lähtevät puiset tolpat on suhteellisen helppo jäykistää molempiin suuntiin ja tolppien yläosat tukeutuvat niskoihin, joihin kiinnitetään ristikkokannattimet. Muuten muottiristikoiden jäykistäminen toteutetaan käyttämällä vaaka- ja vinositeitä tukitelinesuunnitelman mukaan ja tarvittavat nurjahdustuennat sekä paarteiden tuentaväli saadaan suunnitteluohjelmasta. Muottiristikoiden yläpaarre tulee automaattisesti jäykistettyä koolauksen sekä muottilaudoituksen tai muottivanerin ansiosta. Tämä tietenkin jäykistää myös koko muottirakennetta. Lisäksi muottiristikoihin asennetaan tarvittavat vaaka- ja vinositeet kokorakennekentän jäykistysuunnitelman mukaisesti.

3.3.3 Muotin purkaminen ja uusiokäyttö

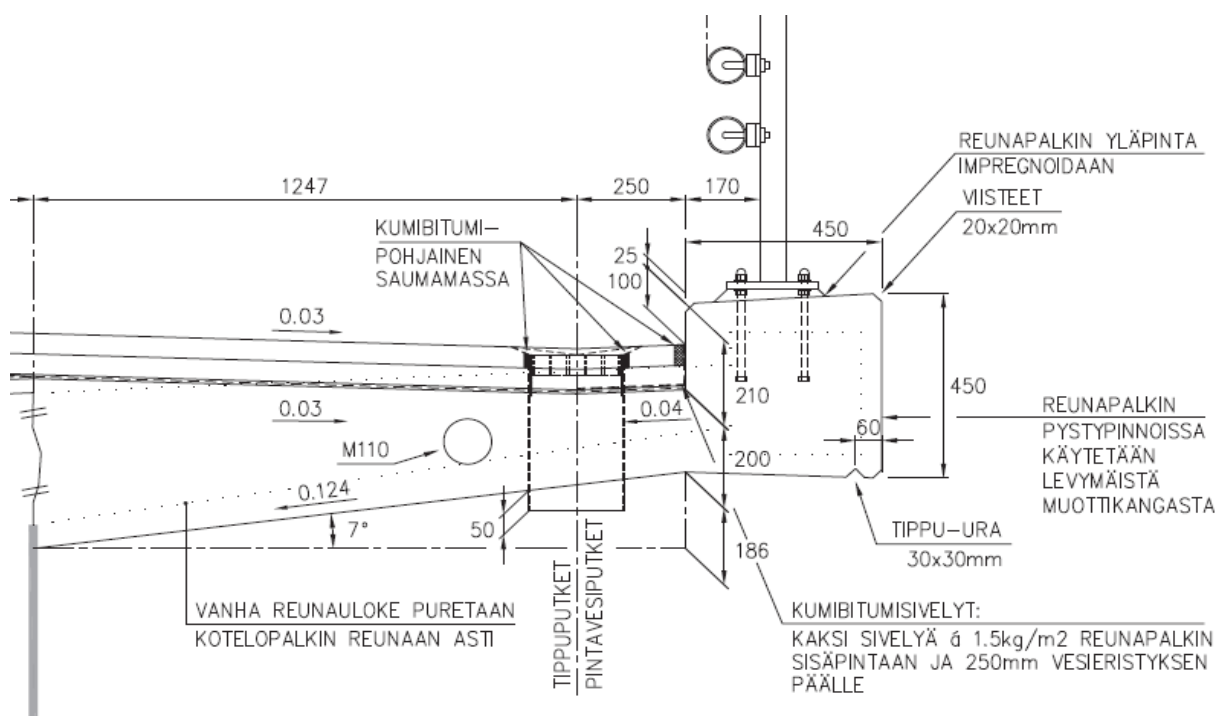
Telineet ja muotit on purettava siten, ettei liian nopea kuormituksen siirtyminen telineeltä siltarakenteelle aiheuta vauriota. Purku ei saa vaarantaa työturvallisuutta tai yleistä liikennettä. Jännitettyjen rakenteiden telineet eivät saa estää jännittämisen aiheuttamia kokoonpuristumia ja telineet on tarvittaessa laskettava jännitystyön aikana niin, ettei telinetukien ja -kannattimien kimmoisen muodonmuutoksen palautumisesta aiheudu liian suuria jännityksiä siltarakenteelle. Yleensä edellytetään, että betonin puristuslujuus on vähintään 80 % nimellislujuudesta ennen kantavien telien purkua. Sivumuotit puretaan aikaisintaan silloin, kun betonin puristuslujuus on 5 MPa. (Syl- 3 2005, 47.)

Muottiristikot puretaan yleensä sahaamalla ne osiin tai pudottamalla koko muottirakennelma toisesta päästä alkaen alas. Käyttäen tätä purkutapaa muottiristikot ovat kertakäyttöisiä. Riippuen muottiristikon kiinnitystavasta on ne mahdollista purkaa myös ehjänä, jolloin niiden uusiokäyttö on mahdollista. Muottiristikot voidaan uusiokäyttää, mikäli muiden kohteiden kuormitukset ovat samat kuin mille muottiristikot on suunniteltu kestävänsä. Mikäli muottiristikot aiotaan myöhemmin uusiokäyttää tulee ne varastoida sateelta suojaan. Muottiristikoiden uusiokäyttö määrä on noin arviolta 3 - 4 kertaa riippuen muottien kunnosta, sillä jokaisella käyttökerralla muottiristikoihin naullattavat koolaus, muottilaudat tai -vaneri sekä vino- ja vaakasiteet vähentävät niiden rakenteellista kestävyyttä.

3.3.4 Kallansiltojen esimerkkikohde

Opinnäytetyössäni toteutuneena esimerkki kohteena on Kuopion Kallansiltojen korjauskohde. Kallansiltojen korjauskohteessa on kaksi kotelopalkkisiltaa, joiden reunaulokkeet puretaan ja valetaan uudestaan. Siltojen reunaulokkeiden muottina käytetään NR-muottiristikoita, joiden suunnittelu tilattiin KPM-Engineering Oy:ltä. Siltaurakoitsijana korjauskohteessa toimii Skanska Infra ja muottiristikot valmisti Keski-Suomen Puukymppit Oy.

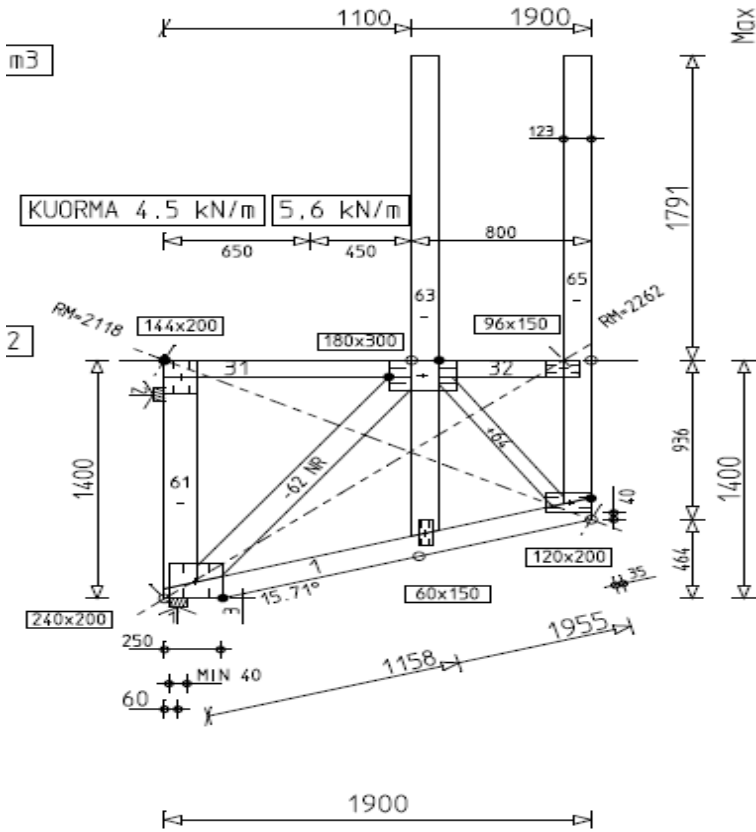
Kotelopalkkisilta on palkkisiltatyypin, jossa kantavanarakenteena ovat pituussuuntaiset palkit, jotka ovat yleensä terästä tai teräsbetonia ja kantavanrakenteen päällä on varsinainen pintarakenne. Korjauskohteessa olevien siltojen kantavanarakenteena on jännitetyt betonipalkit ja kotelopalkkien pintarakenne on teräsbetonia sekä sillan kansi on myös teräsbetonia. Korjattavien siltojen pituudet ovat 46 m ja sillat ovat keskenään identtisiä.



Kuva 10 Korjattavan sillan reunaulokkeen poikkileikkaus (Skanska Infra 2013)

Tilaaaja halusi muottiristikoiden yläpaarteesta suoran vaikka korjattavan sillan muoto olisi ollut helposti tehtävissä suoraan sillan muotoja vastaavaksi. Kun kyseessä on korjauskohde niin ei vanhat sillan rakenteet ole mittatarkkoja niin työmaalla tehty muotin muotoilu on tässä tapauksessa järkevämpää. Korjauskohde toteutettiin siten, että pidemmän sillan toinen puoli korjataan ensi ja sen jälkeen muottiristikot puretaan ja siirretään sillan toiselle puolelle. Korjattavan reunaulokkeen pituus on 1 947 mm ja

ovat hieman lyhyemmät kuin varsinaisen sillan muottiristikot. Maatuen muottiristikot asennetaan käyttäen samaa periaatetta kuin sillan muottiristikoissa. Maatuen ristikoiden k-jako on myös 500 mm ja niitä tarvitaan yhteensä 26 kappaletta. Ankkuroitava vaakavoima on 4,53 kN ja rakenteen taipuma on 2 mm.



Kuva 12 Maatuen muottiristikko (KPM-Engineering Oy 2013)



Kuva 13 Paikalleen asennetut muottiristikot (Eetu Lappalainen 2013)



Kuva 14 Paikalleen asennettuja muottiristikoita (Eetu Lappalainen 2013)



Kuva 15 Kotelopalkkiin ankkuroitu kierretanko (Eetu Lappalainen 2013)

Kuvassa 14 on tarkemmin nähtävissä tapa kuinka muottiristikoiden yläpään tuenta toteutetaan kierretangon avulla. Kuvien muottiristikoihin ei ole vielä asennettu tarvittavia vaaka- ja vinotukia eikä kulkuväylää ole vielä rakennettu.



Kuva 16 Asennetut muottiristikot, sillan maatuki ja tuennassa käytettävä kulmarauta (Eetu Lappalainen 2013)

Kuvassa 15 näkyy kulmarauta, jonka avulla muottiristikon alapään tuenta toteutetaan. Sillan maatuen kohdalle asennetaan myöhemmin kuvan 12 muottiristikot, joiden avulla maatuen kohdalla oleva lyhyempi reunauloke saadaan muotitettua ja sillan muotti jatkuu näin selkeänä ja yhtenäisenä loppuun asti.

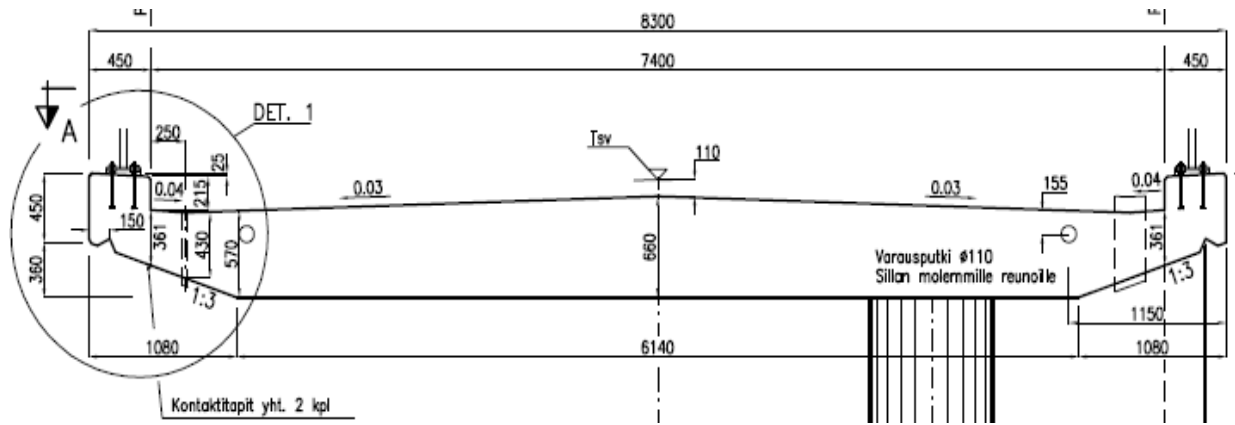
4 TULOKSET

Suunnittelu- ja tutkimustyön tuloksena on, että NR-muottiristikot soveltuvat hyvin käytettäväksi siltamuotin tukirakenteena. Opinnäytetyöni kaikissa siltatyypeistä ja tapauksista muottiristikoita voidaan käyttää osana siltamuotin tukirakenteena, eikä vastaan tullut yhtään tapausta missä muottiristikoita ei olisi voinut jollain tavalla hyödyntää. Muottiristikoilla on mahdollista päästä kokonaiskustannuksissa parempaan lopputulokseen materiaali- ja telinekustannusten osalta. Muottiristikoiden avulla erilaiset kaarevat muodot ovat helposti toteutettavissa esimerkiksi muotoiltujen reunapalkkien kohdalla, mikä muuten tehtynä on huomattavasti työläämpää. Haasteellisia tapauksia ovat sillat, joissa on poikkeuksellisen paksu kansilaatta tai reunapalkit, sillä näistä tulevat kuormat pienentävät k-jakoa eli muottiristikoita tarvitaan kohteeseen enemmän sekä lisäksi muottiristikossa joutuu käyttämään suurempia dimensioita ja lujuusluokkia, mitkä taas nostavat niiden hintaa. Muottiristikoiden tukeminen onnistui käyttämällä päätytukien lisäksi välitukia, joita oli yleensä vähintään kaksi. Tämän vuoksi tulee tukitelineiden mitoitus ja telineiden perustusten kantavuus tutkia tarkasti, sillä muottiristikoita käyttäessä tekotapa poikkeaa perinteisestä, sillä kuormat jakautuvat tässä tapauksessa pienemmille alueille. Muottiristikoiden tukeminen voidaan toteuttaa hyvin myös palkeilla jos esimerkiksi maapohjan kantavuus on huono ja jännevälit antavat tähän mahdollisuuden. Liitorakenteisissa silloissa muottiristikoista saadaan suurin hyöty ja niiden käyttö myös erilaisissa korjauskohteissa, kuten Kallansiltojen korjauskohteiden tyypisissä tapauksissa on kannattavaa ja helposti toteutettavissa. Lopputyössä käsitellyistä muottiristikoista on tarkat työpiirustukset liitteenä.

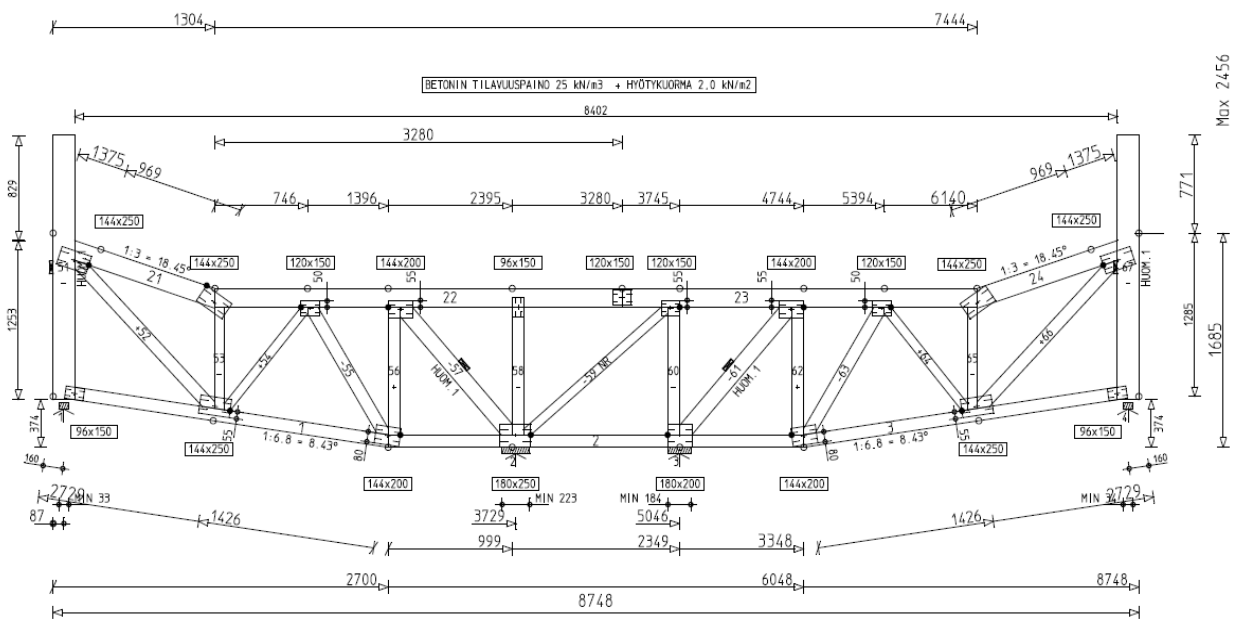
4.1 Teräsbetoninen ulokelaattasilta (Bul)

Ulokelaattasillalle suunnittelin kolme eri tapausta, joista kahdessa sillan leveys on sama. Esimerkki silloissa kansien paksuudet ovat erilaiset, mitkä luonnollisesti vaikuttaa muottiristikoille tuleviin kuormiin ja k- jakoon. Ensimmäisenä esimerkkinä on ulokelaattasilta, jonka leveys on 13,3 m ja reunapalkki on vakio. Kannen paksuus sillan keskellä on 800 mm ja ohenee reunalle 635 mm:iin. Pilarin halkaisija on 900 mm ja pilarin molemmin puolin asennetaan kaksi muottiristikkoa nippuun tai mikäli on tarve tehdä suurempia aukkoja voidaan ristikoita asentaa myös kolmen nippuihin aukon molemmille puolille.

Toinen esimerkki on 8,3 m leveä silta, jossa kannen paksuus on 660 mm ja reunalla 570 mm. Pilarin halkaisija on 700 mm ja sen molemmin puolin asennetaan kaksi muottiristikkoa nippuun.



Kuva 19 8,3 m leveän ulokelaattasilta poikkileikkaus (Tiehallinto 2004, 24)

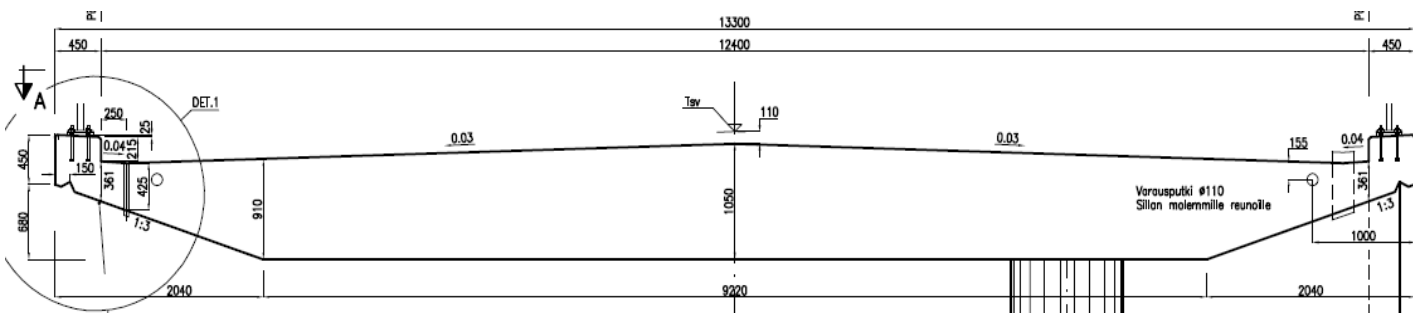


Kuva 20 Ulokelaattasilan muottiristikko (KPM- Engineering Oy 2013)

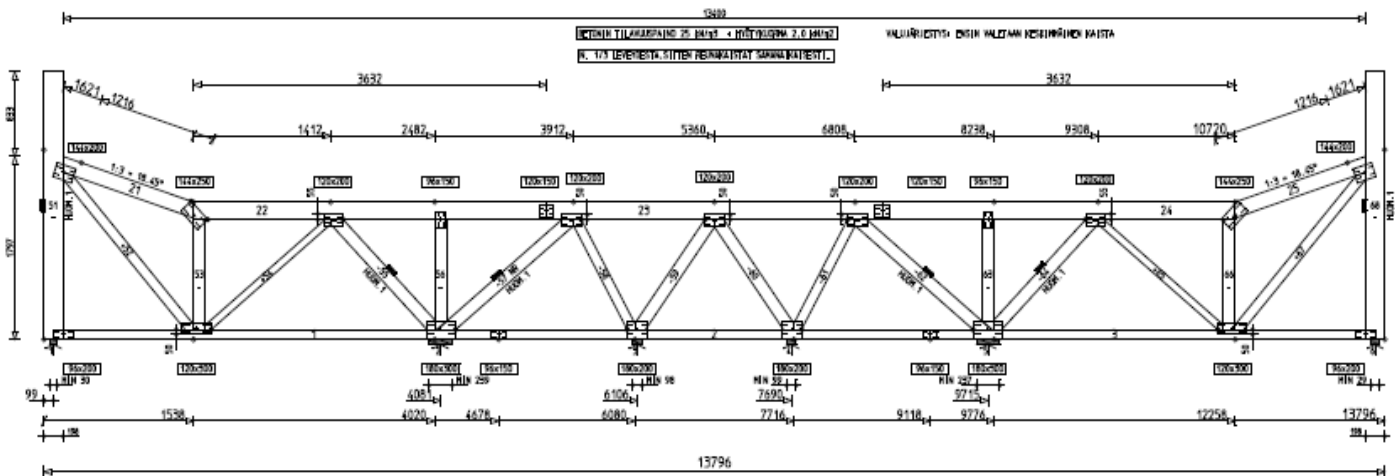
Muottiristikon laskentatiedot:

- kuormat: keskellä 8,25 kN/m, reunalla 7,13 kN/m, reunapalkki 5,63 kN/m
- ristikon korkeus keskellä 1 450 mm
- k-jako 500 mm
- taipuma 4 mm
- tukipintavaatimus välituilla 223 mm.

Kolmannessa esimerkissä ulokelaattasillan leveys on sama kuin ensimmäisessä esimerkissä. Kolmannen esimerkin sillassa on kannen paksuus on suurempi ja muottiristikon suunnittelussa käytin suoraa alapaarreetta, jolloin muottiristikosta tulee rakenteeltaan palkkimainen. Suoran alapaarteen ansiosta tukien sijoittelu on vapaampaa ja suurempien kuormien takia toteutin tuennan käyttäen useampia välitukia kuin muissa muottiristikoissa. Sillan kannen paksuun keskellä on 1 050 mm ja reuna 910 mm. Kyseinen tapaus on kuormiltaan ja jänneväliltään suurin, mitä lähdemateriaalista löytyi.



Kuva 21 Paksumpikantisen ulokelaattasillan poikkileikkaus (Tiehallinto 2004, 32)



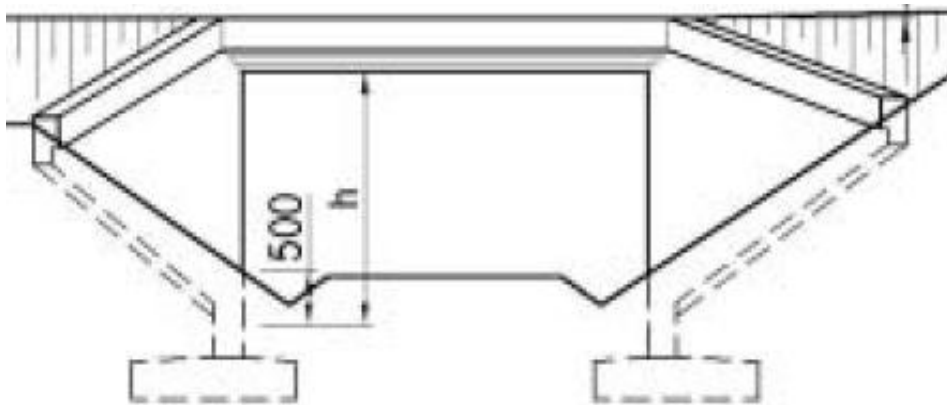
Kuva 22 Ulokelaattasillan muottiristikko (KPM- Engineering Oy 2013)

Muottiristikon laskentatiedot:

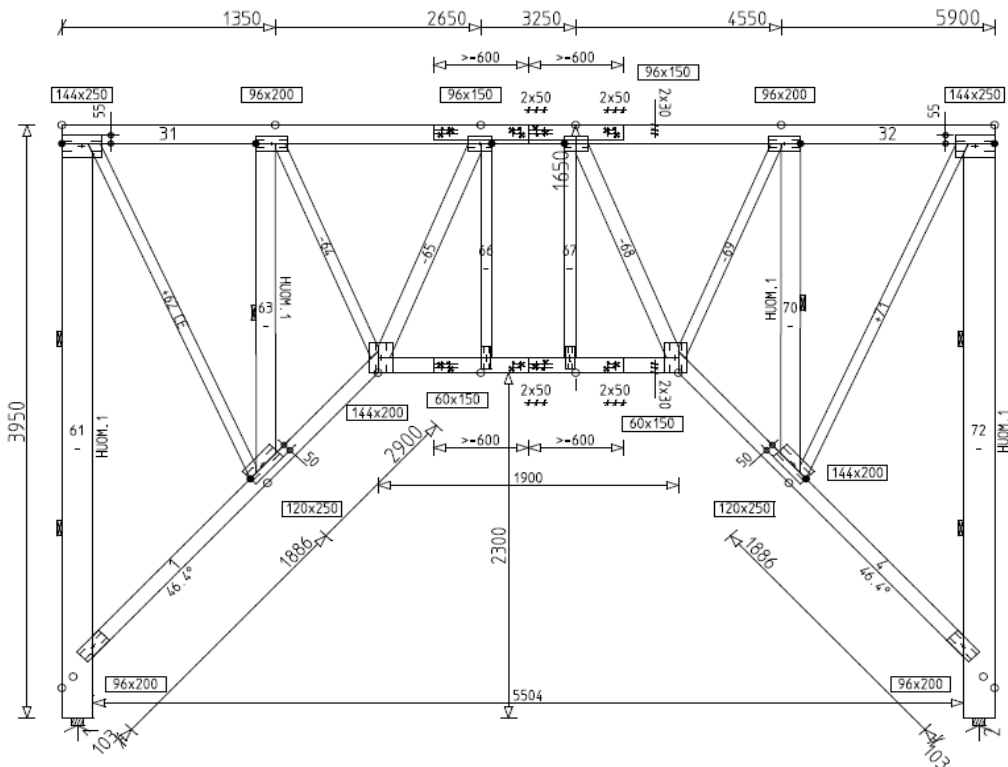
- Kuormat: keskellä 7,88 kN/m, reunalla 6,83 kN/m, reunapalkki 3,38 kN/m
- ristikon korkeus 1 350 mm
- k-jako 300 mm
- taipuma 4 mm
- tukipintavaatimus välituilla, reunimmaisiet 239 mm keskimmaisiet 99 mm.

4.2 Teräsbetoninen laattakehäsilta (Blk 1 & 2)

Laattakehäsilloista suunnittelin kaksi eri tyyppiä suora- ja vinojalkaisen laattakehäsil-
lan. Molemmat muottiristikot on suunniteltu esimerkkikohteen mukaisesti, joissa va-
paa- aukko on 6 m ja korkeus 4 m sekä kansilaatan paksuus on 420 mm. Reunasau-
voille tulevana valupaineena käytin 3 kN/m^2 suuruista kuormaa. Kuljetusteknisistä
systä muottiristikot toimitetaan työmaalle kahdessa osassa ja yhdistetään työmaalla
kokonaiseksi rakenteeksi lautajatkoksella. Lautajatkoksena käytetään $22 \times 100 \text{ mm}$
C18 lautta, jonka pituus on $1\,200 \text{ mm}$. Poikkeuksena on Blk 2 tyyppin laattakehäsilta,
jossa yläpaarten lautajatkoksessa tulee käyttää $22 \times 125 \text{ mm}$ C18 lautta.



Kuva 23 Suorajalkaisen laattakehäsilan (Blk1) poikkileikkaus (Finnmap Consulting Oy)

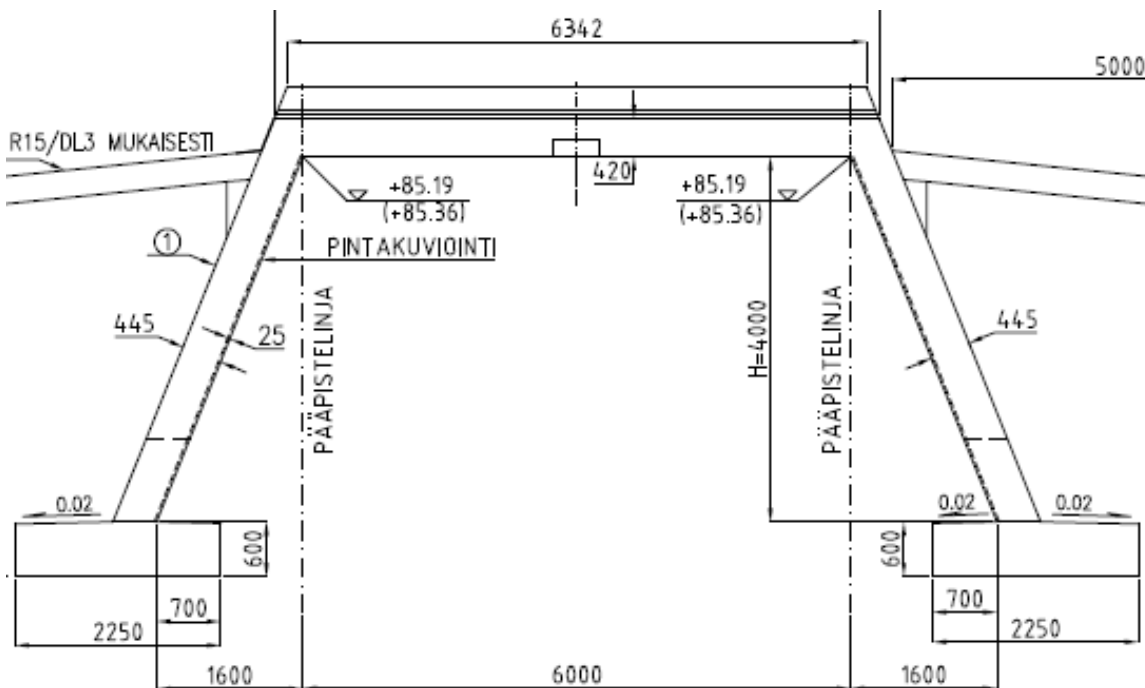


Kuva 24 Suorajalkaisen laattakehäsilan muottiristikko (KPM- Engineering Oy 2013)

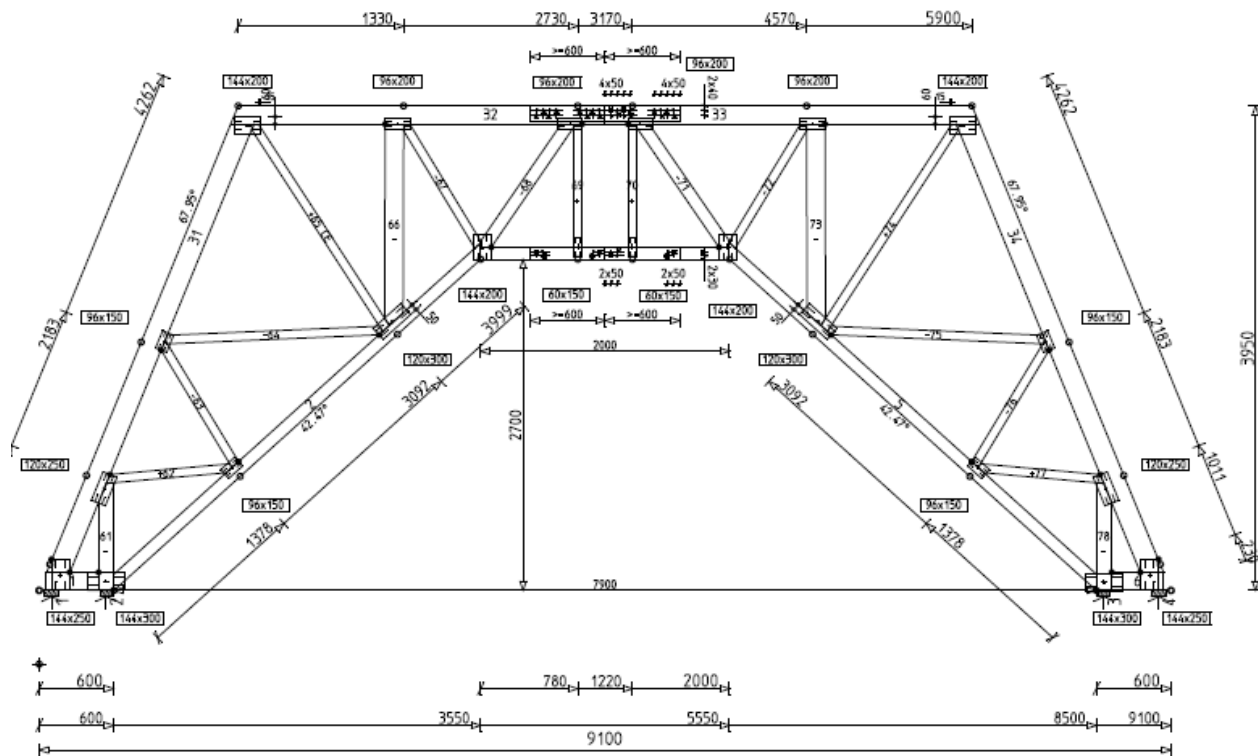
Muottiristikon laskentatiedot:

- kuorma 4,2 kN/m
- ristikon korkeus 3 950 mm ja leveys 5 900 mm
- k-jako 400 mm
- taipuma 4 mm
- ankkuroitava vaakavoima murtorajatilassa 5,2 kN
- valupaine 1,2 kN/m.

Muottiristikoissa reunasauvat vaativat useamman kuin yhden nurjahdustuennan, mitä ei yleensä ristikkorakenteisiin jätetä. Tämä ei kuitenkaan ole näissä eikä vastaavallisissa tilanteissa ongelma, sillä reunasauvaan kiinnitettävät koolaukset sekä muottimateriaali jäykistävät sen (katso sivu 22). Muottiristikoiden sisään saadaan jätettyä hyvät kulkuaukot sillan valamisen ajaksi, joka puolestaan helpottaa työskentelyä sekä vino- ja vaakasiteiden asennusta. Muottiristikoille tulevan vaakavoiman ankkuroinnissa voidaan käyttää joko teräksistä tai puista vetosauvaa tai vaakavoiman ankkuroinnissa voidaan hyödyntää sillan anturaa. Sillassa olevaan suureen anturaan muottiristikon vaakavoima saadaan ankkuroitua esimerkiksi tartuntaterästen avulla, jotka kiinnitetään anturaan sen valamisen yhteydessä.



Kuva 25 Vinojalkaisen laattakehänsillan (Blk2) poikkileikkaus (Finnmap Consulting Oy)



Kuva 26 Vinojalkaisen laattakehäsillan muottiristikko (KPM- Engineering Oy 2013)

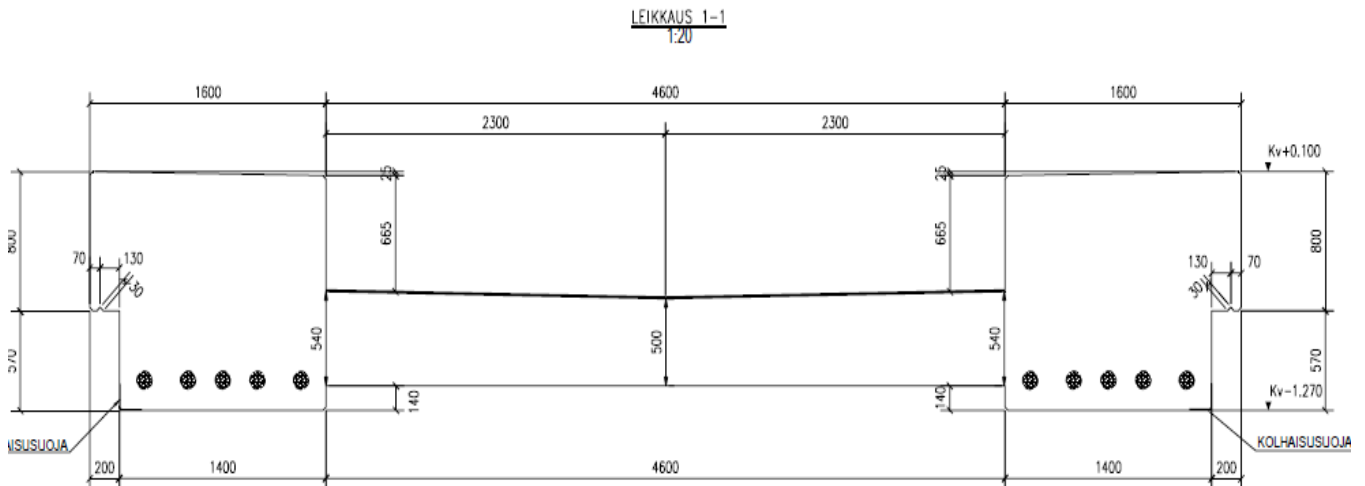
Muottiristikon laskentatiedot:

- kuorma 5,78 kN/m
- ristikon korkeus 3 950 mm ja leveys 5 900 mm
- k-jako 550 mm
- taipuma 5,7 mm
- ankkuroitava vaakavoima murtorajatilassa 23,6 kN
- valupaine 1,65 kN/m.

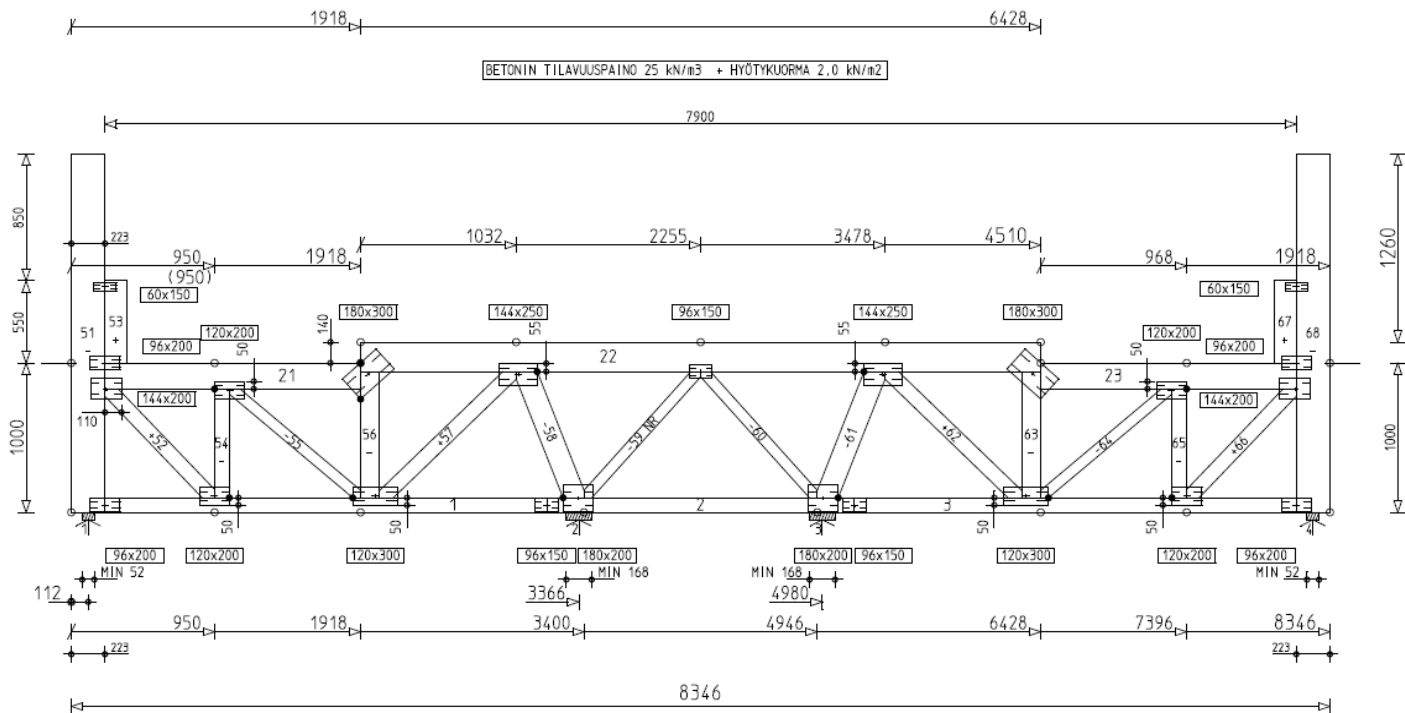
4.3 Kaukalopalkkisilta

Kaukalopalkkisillan muottiristikon suunnittelusta teki haasteellista sen 1 370 x 1 600 mm:n kokoiset reunapalkit. Suuret kuormat muottiristikolla aiheuttavat paarteiden leikkausvoima kestävyys heikentymisen. Jotta leikkausvoimasta ei tule ongelmaa tulee muottiristikon yläpaarten aukotuksen olla lähtökohtaisesti tasainen. Vaikka sillan leveys on vain 7,8 m niin sen aiheuttamat suuret kuormat kuitenkin pudottavat sen k-jakoa. Muottiristikko on palkkimainen, jotta suurien kuormien takia muottiristikon alle voidaan tarvittaessa tehdä enemmän välitukia, sillä kaikki kuormat menevät tässä tapauksessa perustuksille vain neljän tukipisteen kautta. Tämä voi aiheuttaa ongelmia maapohjan sekä perustusten kestävyydelle ja painumiselle. Kaukalopalkkisillat

ovat yleensä vakiokokoisia, joten muottiristikoiden uusiokäyttö tulee myös mahdolliseksi.



Kuva 27 Kaukalopalkkisillan poikkileikkaus (Finmap Consulting Oy)



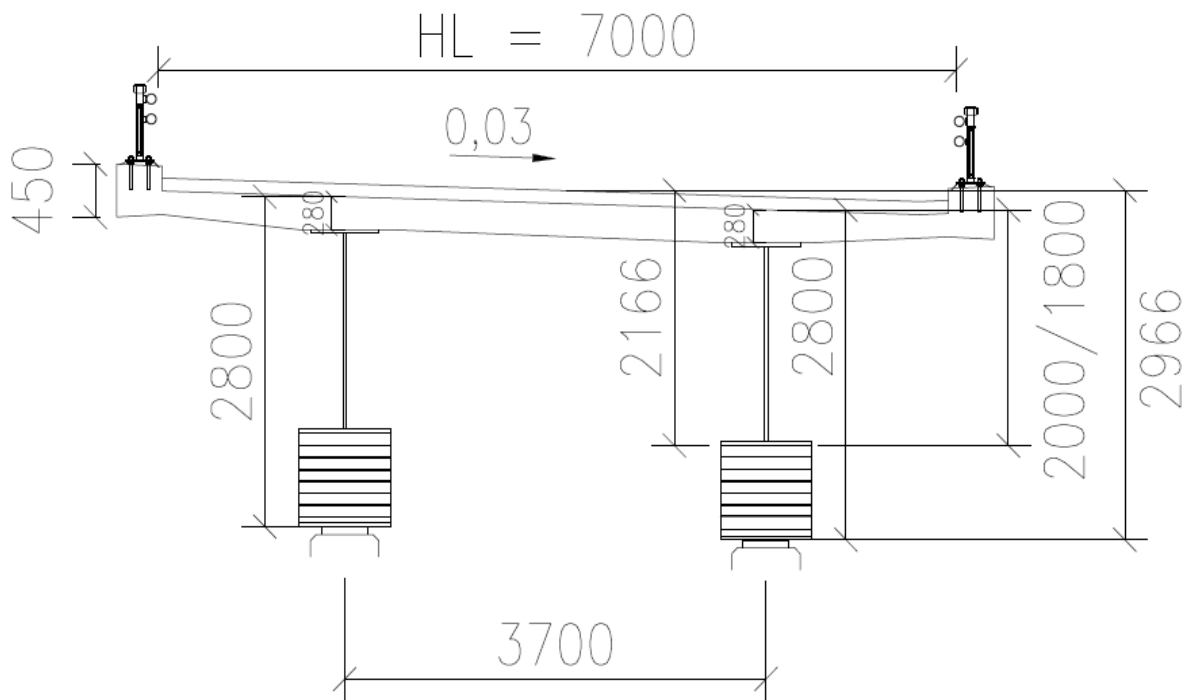
Kuva 28 Kaukalopalkkisillan muottiristikko (KPM- Engineering Oy 2013)

Muottiristikon laskentatiedot:

- kuormat: keskellä 4,8 kN/m ja reunapalkeilla 12,7 kN/m
- ristikon korkeus 1 000 mm, keskellä 140 mm:n korotus
- k-jako 370 mm
- taipuma 4 mm
- tukipintavaatimus keskellä 168 mm.

4.4 Liittorakenteinen silta

Liittorakenteisissa silloissa muottiristikoilla saadaan yleensä suurin hyöty. Liittorakenteisten siltojen muottiristikot suunnitellaan kolmessa eri osassa, sillä muottirakenne täytyy katkaista kantavien teräspalkkien kohdalla. Sillan keskiosan muottiristikosta tulee yksinkertainen palkkiristikko, joka asetetaan teräspalkkien väliin ja tuetaan palkkien alalajoista. Ongelmia voi aiheuttaa mikäli sillassa käytetään terästankoja teräspalkkien välillä, sillä vinotankojen kohdalle muottiristikkoa ei voi asentaa. Sillan reunamuotit suunnitellaan tuettavaksi teräspalkin alalajasta ja muottiristikon yläpää täytyy ankkuroida teräspalkkiin kiinni aivan kuten Kallansiltojen korjauskohteessa on tehty (katso kohta 3.3.4). Reunaulokkeen muotti voidaan suunnitella suoraan sillan muotoja vastaavaksi. Liittorakenteisissa silloissa sillan kannen paksuus ei yleensä ole kovin suuri, mikä puolestaan ei aiheuta sillan muottiristikoille suuria kuormituksia.



Kuva 29 Liittorakenteisen sillan poikkileikkaus (Finnmap Consulting Oy)

Muottiristikon laskentatiedot:

- kuorma: 300 mm:n kansi 4,5 kN/m
- ristikon korkeus 1 650 mm
- taipuma 2 mm
- k-jako 600 mm
- tukipintavaatimus 75 mm.

Liitorakenteisen sillan reunamuotteina voidaan esimerkiksi käyttää kohdan 3.3.4 tyyppistä muottia. Yleensä keskiosan k-jako on suurempi niin kuin tässäkin tapauksessa, sillä muottiristikot ovat aivan eritavalla kuormitetut. Keskiosan muottiristikot ovat yleensä samantyyllisiä palkkimaisia muottiristikoita ja reunamuotit voidaan suunnitella jokaisen kohteen mukaan erikseen.

5 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia naulalevyrakenteistenpukkien soveltuvuutta erilaisten siltatyypin muottirakenteissa käytettäväksi. Lähtökohtana työssä on neljä yleisintä siltatyyppiä ja yksi korjauskohde. Opinnäytetyön tilaajana oli KPM-Engineering Oy ja työ tehtiin yhteistyössä Finnmap Consulting Oy:n kanssa.

Siltojen muotit rakennetaan pääasiassa paikan päällä sahatavarasta. Naulalevyrakenteisia siltamuotteja on käytetty siltojen muotteina mutta niiden käyttö on ollut kuitenkin melko vähäistä. Suurimpana syynä on todennäköisesti yleinen asenne NR-muottiristikoita kohtaan. Osa pitää ratkaisua kalliina tai muuten hankalana. Muottiristikoilla siltamuotin tukirakenteet saadaan staattisesti jäykemmiksi ja siirtymät pienemmiksi kuin perinteisillä tukirakenteilla sekä tarvittavan puun määrä on myös pienempi. Muottiristikoilla saadaan vähennettyä työmaalla tehtävän työn määrää, etenkin verrattuna työmaalla naulaamalla rakennettaviin ristikkorakenteisiin. Muottiristikoiden tuenta tarve on vähäisempi kuin perinteisellä tukirakenteilla, jotka ovat jatkuvatkisia. Muottiristikot tarvitsevat yleensä noin 2 - 4 välitukea päätytukien lisäksi, joten muottien alle rakennettavan tukitelineden määrä on vähäisempi.

Suunnittelin ja mitoitin muottiristikot käyttäen KPM-Engineering Oy:n omaa suunnitteluohjelmaa. Lähtötietoina käytin Finnmap Consulting Oy:n siltaosaston siltojen poikkileikkauskuvia. Mitoituksessa on käytetty teräsbetonin tilavuuspainoa 25 kN/m^3 sekä 2 kN/m^2 työskentelykuormaa.

Tuloksena oli että NR-muottiristikot soveltuivat siltojen muotin tukirakenteeksi hyvin, eikä suunnittelun aikana tullut siltatyyppiä mihin se ei olisi käynyt. Etenkin reunaulokkeiden valaminen osoittautui käteväksi toteuttaa käyttäen muottiristikoita. Muottiristikoilla on mahdollista päästä kokonaiskustannuksissa parempaan lopputulokseen materiaali- ja telinekustannusten osalta. Muottiristikoiden avulla erilaiset kaarevat muodot ovat helposti toteutettavissa esimerkiksi muotoiltujen reunapalkkien kohdalla, mikä muuten tehtynä on huomattavasti työläämpää. Haasteellisia tapauksia ovat sillat, joissa on poikkeuksellisen paksu kansilaatta tai reunapalkit, sillä näistä tulevat kuormat pienentävät k-jakoa eli muottiristikoita tarvitaan kohteeseen enemmän sekä muottiristikot joudutaan suunnittelemaan käyttäen suurempia dimensioita ja lujuusluokkia, mitkä taas nostavat niiden hintaa. Suurin hyöty muottiristikoilla saadaan liittorakenteisissa silloissa sekä siltatyypeissä, joissa poikkileikkaus ei oleellisesti muutu niin tämä mahdollistaa myös muottiristikoiden uusiokäytön.

LÄHTEET

EN-1995:2004+A1:2008. Eurokoodi 5: Naulalevyrakenteiden suunnittelu 2009. Espoo: Inspecta Sertifiointi Oy

Puurakenteiden suunnittelu [verkkodokumentti] lyhennetty suunnitteluohje, kolmas painos 2011. Puuinfo. [viitattu 2.3.2013] Saatavissa:

<http://www.puuinfo.fi/rakentaminen/eurokoodit/eurokoodi-5-lyhennetty-ohje-puurakenteiden-suunnittelu>

Sillanrakentamisen yleiset laatuvaatimukset [verkkodokumentti] Betonirakenteet - SYL 1 -3 2005 Tiehallinto [viitattu 21.2.2013] Saatavissa: <http://www.tiehallinto.fi/sillat>

Tukitelineohje 2007 [verkkodokumentti] Tiehallinto [viitattu 10.3.2013] Saatavissa: <http://www.tiehallinto.fi/sillat>

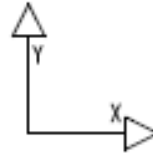
Teräsbetoninen ulokelaattasilta (Bul) 2004 Tiehallinto (TIEH 2100023-04). Dokumentti yrityksen hallussa

Teräsbetoninen laattakehäsilta (Blk1) 2004 Tiehallinto (TIEH 2100022-04). Dokumentti yrityksen hallussa.

Teräsbetoninen laattakehäsilta [verkkodokumentti] (Blk2) 2011 Liikennevirasto [viitattu 12.3.2013] Saatavissa: www.liikennevirasto.fi

Lähdemateriaali. Siltojen poikkileikkauspiirustukset. Finnmap Consulting Oy siltaosasto. Piirustukset yrityksen hallussa.

ULOKELAATTASILTA BUL		
KÄYTTÖLUOKKA	2	
KUORMITUSLEVEYS (k-jako)	350 mm	
KUORMITUKSET (ilman kattotuolin omaa painoa)		
lumi (maassa)	2,50 kN/m2	
onapaino yläparre	15,88 kN/m2	
alapaarre	0,10 kN/m2	
tuulikuorma	0,60 kN/m2	
ALAP. LOPPUTAIPUMA	8 mm	L/300= 20 mm
ALAPAARTEEN PÄIDEN VAAKASIIRTYMIEN SUMMA	3 mm	
NAULALEVYVAHVISTUS: TUET 2,3		
SYYNSUUNTAINEN PYSTYTUKI: TUET 1,4		
YLÄPAARTEEN NURJAHDUSENTAVÄLI	800 mm	Sivus.nurj. käyttöaste 1.00
ALAPAARTEEN NURJAHDUSENTAVÄLI	950 mm	Sivus.nurj. käyttöaste 1.00



Standardit, määräykset ja ohjeet / Eurokoodin mukainen menetelmä
 EN 1990:2002, EN 1995-1-1:2004+A1:2008, EN 1995-1-2:2004
 EN 1991-1-1:2002, EN 1991-1-2:2003, EN 1991-1-3:2004, EN 1991-1-4:2005
 sekä näiden standardien kansalliset liitteet NA
 RIL 205-2009, RIL 201-2008, RIL 248-2008
 NAULALEVYRAKENTEIDEN SUUNNITTELU 16.12.2009 / Inspecta Sertifiointi Oy

SUUNNITTELUSSA KÄYTETTY OHJELMA: WoDe2000 31.03.2010

Inspecta Sertifiointi Oy on tarkastanut ja hyväksynyt tämän suunnittelu-ohjelman naulalevyrakenteiden suunnitteluun 19. päivänä toukokuuta 2008

NAULALEVYT VTT:n lausunto Valmassa
 TOP-W VTT-S-08481-08 31.10.2013

SIJOITUS : Ellei toisin merkitty symmetrisesti liitokseen nähden
 Levyn pääsuunta osoitettu viivailuksella --
 Sijoitustoleranssi 7mm
 Naulalevyn kohdistuspiste (●) puun reunaan.

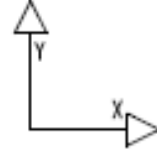
LAADUNVALVONTA- JA VALMISTUSPÖYTÄKIRJA			
VALMISTUKSESTA VASTAAVA		LUJ.LAJ.TUNNUS	SORMIJ.TUNNUS
NN-hyväksyjän nimi Toler. NN Huomautuksia			
Rakenteen pituus	+-10		
korkeus h1	+-10		
h2	+-10		
Kapuloiden sijainnit			
Puutarvan dimensiot			
Levyjen sijoitus	+- 7		
koko			
pain.puuhun			
Liitosten raot			
Korotukset			
Kosteusprosentit	MIN	MAX	
Yläparre			
Alapaarre			
Uumasauvat			
Lujuusluokat			
VALMISTUSPÄIVÄMÄÄRÄ	___ / ___ 20___	VUORO	VALM.MÄÄRÄ

Tukireaktioiden ominaisarvot tuento- ja kuormitustapauksittain sekä kattotuolin vaativat tukileveydet.

Tuenta	Kuorm.	Aikal.	Tuki1	2	3	4
A	Onap.	Pysyvö	Y 12,4	29,0	28,5	12,0 kN
		X	,1	-	-	- kN
Lumi	Keskip	Y	1,6	3,1	3,1	1,6 kN
Lumi	Y Keskip	Y	1,2	3,0	3,0	1,2 kN
Lumi	0 Keskip	Y	1,6	3,1	3,1	1,6 kN
Höyry	Keskip	Y	0,0	0,0	0,0	0,0 kN
Höyry	Y Keskip	Y	0,0	0,0	0,0	0,0 kN
Höyry	0 Keskip	Y	0,0	0,0	0,0	0,0 kN
Tuuli	IV	Hetkel	Y	-2	-5	-6 -1 kN
		X	-0,0	-	-	- kN
Tuuli	10	Hetkel	Y	-0,0	-5	-7 -3 kN
		X	,1	-	-	- kN
Tuuli	11	Hetkel	Y	-9	-2,2	-2,2 -9 kN
Tukileveys			44	209	205	43 mm
T ₀	Pysyvö	Y	16,8	39,3	38,6	16,3 kN
T ₀ kok.tuuli	Hetkel	X	,9	0,0	0,0	0,0 kN
T ₀ lau	Hetkel	Y	9,7	22,7	22,3	9,4 kN
Runko (C24)			123	288	283	119 mm
Runko (C30)			114	267	262	111 mm

ULOKELAATTASILTA BUL

KÄYTTÖLUOKKA	2	
KUORMITUSLEVEYS (k-jako)	500 mm	
KUORMITUKSET (ilman kattotuolin omaa painoa)		
lumi (maassa)	2,50 kN/m ²	
onapaino yläpaarre	14,25 kN/m ²	
alapaarre	0,10 kN/m ²	
tuuli kuorma	0,60 kN/m ²	
ALAP. LOPPUTAIPUMA	4 mm	L/300= 12 mm
ALAPAARTEEN PÄIDEN VAAKASIIRTYMIEN SUMMA	1 mm	



NAULALEVYVAHVISTUS: TUET 2,3

SYNSUUNTAINEN PYSTYTUKI: TUET 1,4

YLÄPAARTEEN NURJAHDUSENTAVÄLI 1100 mm Sivus.nurj. käyttöaste .96

ALAPAARTEEN NURJAHDUSENTAVÄLI 1300 mm Sivus.nurj. käyttöaste 1.00

Standardit, määräykset ja ohjeet / Eurokoodin mukainen menetelmä

EN 1990:2002, EN 1995-1-1:2004+A1:2008, EN 1995-1-2:2004

EN 1991-1-1:2002, EN 1991-1-2:2003, EN 1991-1-3:2004, EN 1991-1-4:2005

sekä näiden standardien kansalliset liitteet NA

RIL 205-2009, RIL 201-2008, RIL 248-2008

NAULALEVYRAKENTEIDEN SUUNNITTELU 16.12.2009 / Inspecta Sertifiointi Oy

SUUNNITTELUSSA KÄYTETTY OHJELMA: WoDe2000 31.03.2010

Inspecta Sertifiointi Oy on tarkastanut ja hyväksynyt tämän suunnittelu-ohjelman naulalevyrakenteiden suunnitteluun 19. päivänä toukokuuta 2008

NAULALEVYTT VTT:n lausunto Valmis
TOP-W VTT-S-08481-08 31.10.2013

SIJOITUS :Eitei toisin merkitty symmetrisesti liitokseen nähden

Levyn pääsuunta osoitettu viivoinnilla --

Sijoitustoleranssi 7mm

Naulalevyn kohdistuspiste (●) puun reunaan.

LAADUNVALVONTA- JA VALMISTUSPÖYTÄKIRJA			
VALMISTUKSESTA VASTAAVA		LUJ.LAJ.TUNNUS	SORMIJ.TUNNUS
NN-hyväksyjän nimi	Toler.	NN	Huomautuksia
Rakenteen pituus	+-10		
korkeus h1	+-10		
h2	+-10		
Kapuloiden sijoitus			
Puutarvian dimensiot			
Levyjen sijoitus	+- 7		
koko			
paikn.puuhun			
Liitosten raot			
Korotukset			
Kosteusprosentit	MIN	MAX	
Yläpaarre			
Alapaarre			
Uumasauvat			
Lujuusluokat			
VALMISTUSPÄIVÄMÄÄRÄ	___ / ___ 20___	VUORO	VALM.MÄÄRÄ

Tukireaktioiden ominisarvot tuento- ja kuorallustopauksillein sekä kattotuolin vaatimat tukileveydet.

Tuenta	Kuorm.	Aikal.	Tuki1	2	3	4			
A	Onap.	Pysyvä	Y	9,3	24,1	20,2	9,4 kN		
	Lumi	Keskij	Y	1,4	3,0	2,6	1,4 kN		
	Lumi	Y	Keskij	Y	,9	2,9	2,5	1,0 kN	
	Lumi	0	Keskij	Y	1,4	3,0	2,6	1,4 kN	
	Hyöty	Keskij	Y	0,0	0,0	0,0	0,0 kN		
	Hyöty	Y	Keskij	Y	0,0	0,0	0,0	0,0 kN	
	Hyöty	0	Keskij	Y	0,0	0,0	0,0	0,0 kN	
	Tuuli	iv	Hetkel	Y	-2	-6	-4	0,0 kN	
			X	-1	-	-	-	0,0 kN	
	Tuuli	10	Hetkel	Y	0,0	-5	-5	-2	0,0 kN
			X	-1	-	-	-	0,0 kN	
	Tuuli	11	Hetkel	Y	-5	-1,5	-1,3	-6	0,0 kN

Tukileveys	33	223	184	34	mm	
Td	Pysyvä	Y	12,6	32,7	27,4	12,7 kN
Td kok.tuuli	Hetkel	X	1,0	0,0	0,0	0,0 kN
Td lau	Hetkel	Y	7,5	19,3	16,1	7,6 kN
Runko (C24)			92	239	200	93 mm
Runko (C30)			86	221	186	86 mm

ULOKELAATTASILTA BUL
---- Kpl K-JAKO 500

Naulan max.paksuus nurjohdus- ja tykistystuenteen liitoksissa 3 mm.

RUOK.1
Nurjohdustuenteen esin. ohjeiden perusteella (koko)esit.:
vaakalaudo 22x100 + 3N 75x2.8 / liitos sekä sauvan toiselle puolelle vinolaudo. Yhdellä vinolaudo-parilla huettavien sauvajen lukumäärä taulukossa (periootikuvassa 4 kpl).
Nurjohdustuenteet sauvat on merkitty RUOK. -tunnalla.
Rakenteen paino 93kg

RUOK.1



Kyseessä yksittäisen sauvan nurjohdustuente.
Kokonais/tykistys vastaavan rakennesuunnittelijan ohjeiden mukaan.

Periootti	Periootti	Periootti	Periootti	Periootti	Periootti	Periootti	Periootti	Periootti
1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25	26	27
28	29	30	31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42	43	44	45
46	47	48	49	50	51	52	53	54
55	56	57	58	59	60	61	62	63
64	65	66	67	68	69	70	71	72
73	74	75	76	77	78	79	80	81
82	83	84	85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96	97	98	99
100	101	102	103	104	105	106	107	108
109	110	111	112	113	114	115	116	117
118	119	120	121	122	123	124	125	126
127	128	129	130	131	132	133	134	135
136	137	138	139	140	141	142	143	144
145	146	147	148	149	150	151	152	153
154	155	156	157	158	159	160	161	162
163	164	165	166	167	168	169	170	171
172	173	174	175	176	177	178	179	180
181	182	183	184	185	186	187	188	189
190	191	192	193	194	195	196	197	198
199	200	201	202	203	204	205	206	207
208	209	210	211	212	213	214	215	216
217	218	219	220	221	222	223	224	225
226	227	228	229	230	231	232	233	234
235	236	237	238	239	240	241	242	243
244	245	246	247	248	249	250	251	252
253	254	255	256	257	258	259	260	261
262	263	264	265	266	267	268	269	270
271	272	273	274	275	276	277	278	279
280	281	282	283	284	285	286	287	288
289	290	291	292	293	294	295	296	297
298	299	300	301	302	303	304	305	306
307	308	309	310	311	312	313	314	315
316	317	318	319	320	321	322	323	324
325	326	327	328	329	330	331	332	333
334	335	336	337	338	339	340	341	342
343	344	345	346	347	348	349	350	351
352	353	354	355	356	357	358	359	360
361	362	363	364	365	366	367	368	369
370	371	372	373	374	375	376	377	378
379	380	381	382	383	384	385	386	387
388	389	390	391	392	393	394	395	396
397	398	399	400	401	402	403	404	405
406	407	408	409	410	411	412	413	414
415	416	417	418	419	420	421	422	423
424	425	426	427	428	429	430	431	432
433	434	435	436	437	438	439	440	441
442	443	444	445	446	447	448	449	450
451	452	453	454	455	456	457	458	459
460	461	462	463	464	465	466	467	468
469	470	471	472	473	474	475	476	477
478	479	480	481	482	483	484	485	486
487	488	489	490	491	492	493	494	495
496	497	498	499	500	501	502	503	504
505	506	507	508	509	510	511	512	513
514	515	516	517	518	519	520	521	522
523	524	525	526	527	528	529	530	531
532	533	534	535	536	537	538	539	540
541	542	543	544	545	546	547	548	549
550	551	552	553	554	555	556	557	558
559	560	561	562	563	564	565	566	567
568	569	570	571	572	573	574	575	576
577	578	579	580	581	582	583	584	585
586	587	588	589	590	591	592	593	594
595	596	597	598	599	600	601	602	603
604	605	606	607	608	609	610	611	612
613	614	615	616	617	618	619	620	621
622	623	624	625	626	627	628	629	630
631	632	633	634	635	636	637	638	639
640	641	642	643	644	645	646	647	648
649	650	651	652	653	654	655	656	657
658	659	660	661	662	663	664	665	666
667	668	669	670	671	672	673	674	675
676	677	678	679	680	681	682	683	684
685	686	687	688	689	690	691	692	693
694	695	696	697	698	699	700	701	702
703	704	705	706	707	708	709	710	711
712	713	714	715	716	717	718	719	720
721	722	723	724	725	726	727	728	729
730	731	732	733	734	735	736	737	738
739	740	741	742	743	744	745	746	747
748	749	750	751	752	753	754	755	756
757	758	759	760	761	762	763	764	765
766	767	768	769	770	771	772	773	774
775	776	777	778	779	780	781	782	783
784	785	786	787	788	789	790	791	792
793	794	795	796	797	798	799	800	801
802	803	804	805	806	807	808	809	810
811	812	813	814	815	816	817	818	819
820	821	822	823	824	825	826	827	828
829	830	831	832	833	834	835	836	837
838	839	840	841	842	843	844	845	846
847	848	849	850	851	852	853	854	855
856	857	858	859	860	861	862	863	864
865	866	867	868	869	870	871	872	873
874	875	876	877	878	879	880	881	882
883	884	885	886	887	888	889	890	891
892	893	894	895	896	897	898	899	900
901	902	903	904	905	906	907	908	909
910	911	912	913	914	915	916	917	918
919	920	921	922	923	924	925	926	927
928	929	930	931	932	933	934	935	936
937	938	939	940	941	942	943	944	945
946	947	948	949	950	951	952	953	954
955	956	957	958	959	960	961	962	963
964	965	966	967	968	969	970	971	972
973	974	975	976	977	978	979	980	981
982	983	984	985	986	987	988	989	990
991	992	993	994	995	996	997	998	999
1000	1001	1002	1003	1004	1005	1006	1007	1008
1009	1010	1011	1012	1013	1014	1015	1016	1017
1018	1019	1020	1021	1022	1023	1024	1025	1026
1027	1028	1029	1030	1031	1032	1033	1034	1035
1036	1037	1038	1039	1040	1041	1042	1043	1044
1045	1046	1047	1048	1049	1050	1051	1052	1053
1054	1055	1056	1057	1058	1059	1060	1061	1062
1063	1064	1065	1066	1067	1068	1069	1070	1071
1072	1073	1074	1075	1076	1077	1078	1079	1080
1081	1082	1083	1084	1085	1086	1087	1088	1089
1090	1091	1092	1093	1094	1095	1096	1097	1098
1099	1100	1101	1102	1103	1104	1105	1106	1107
1108	1109	1110	1111	1112	1113	1114	1115	1116
1117	1118	1119	1120	1121	1122	1123	1124	1125
1126	1127	1128	1129	1130	1131	1132	1133	1134
1135	1136	1137	1138	1139	1140	1141	1142	1143
1144	1145	1146	1147	1148	1149	1150	1151	1152
1153	1154	1155	1156	1157	1158	1159	1160	1161
1162	1163	1164	1165	1166	1167	1168	1169	1170
1171	1172	1173	1174	1175	1176	1177	1178	1179
1180	1181	1182	1183	1184	1185	1186	1187	1188
1189	1190	1191						

ULOKELAATTASILTA BUL

KÄYTTÖLUOKKA

2

KUORMITUSLEVEYS (k-jako)

300 mm

KUORMITUKSET (ilman kattotuolin omaa painoa)

lumi (maassa) 2,50 kN/m²

omapaino yläpaarre 26,25 kN/m²

alapaarre 0,10 kN/m²

tuulikuorma 0,60 kN/m²

ALAP. LOPPUTAIPUMA

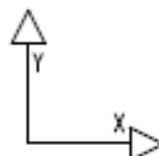
4 mm L/300= 13 mm

NAULALEVYVAHVISTUS: TUET 2,3,4,5

SYNSUUNTAINEN PYSTYTUKI: TUET 1,6

YLÄPAARTEEN NURJAHDUSTUENTAVÄLI 1200 mm Sivus.nurj. käyttöaste .92

ALAPAARTEEN NURJAHDUSTUENTAVÄLI 3000 mm Sivus.nurj. käyttöaste .34



Standardit, määräykset ja ohjeet / Eurokoodin mukainen menetelmä

EN 1990:2002, EN 1995-1-1:2004+A1:2008, EN 1995-1-2:2004

EN 1991-1-1:2002, EN 1991-1-2:2003, EN 1991-1-3:2004, EN 1991-1-4:2005

sekä näiden standardien kansalliset liitteet NA

RIL 205-2009, RIL 201-2008, RIL 248-2008

NAULALEVYRAKENTEIDEN SUUNNITTELU 16.12.2009 / Inspecta Sertifiointi Oy

SUUNNITTELUSSA KÄYTETTY OHJELMA: WoDe2000 31.03.2010

Inspecta Sertifiointi Oy on tarkastanut ja hyväksynyt tämän suunnitteluohjelman naulalevyrakenteiden suunnitteluun 19. päivänä toukokuuta 2008

NAULALEVYTT VTT:n lausunto Vainassa

TOP-W VTT-S-08481-08 31.10.2013

SIJOITUS :Eliel tosin merkitty symmetrisesti liitokseen nähden

Levyn pääsuunta osoitettu viivoituksella --

Sijoitustoleranssi 7mm

Naulalevyn kahdistusaste (•) puun reunaan.

LAADUNVALVONTA- JA VALMISTUSPÖYTÄKIRJA
VALMISTUKSESTA VASTAAVA _____ LUJ.LAJ.TUNNUS _____ SORMIJ.TUNNUS _____

NN-hyväksyjän nimi	Toler.	NN	Huomautuksia
Rakenteen pituus	+-10		
korkeus h1	+-10		
h2	+-10		
Kapuloiden sijoitt.			
Puutarvan dimensiot			
Levyjen sijoitus	+- 7		
koko			
pain.puuhun			
Liitosten raot			
Korotukset			
Kosteusprosentit	MIN	MAX	
Yläpaarre			
Alapaarre			
Uumasauvat			
Lujuusluokat			

VALMISTUSPÄIVÄMÄÄRÄ ___ / ___ 20___ VUORO _____ VALM.MÄÄRÄ _____

Tukireaktioiden ominaisarvot tuenta- ja kuormitustapauksillein sekä kattotuolin vaativat tukileveydet.

Tuenta	Kuorm.	Akkoi.	Tuki1	2	3	4	5	6	
A	Omop.	Pysyvä	Y	8,3	25,6	11,7	11,8	25,5	8,2
	Lumi	Keskip	Y	,9	2,2	,9	,9	2,2	,9
	Lumi	Y	Keskip	Y	1,0	2,2	,9	,9	2,1
	Lumi	0	Keskip	Y	,6	2,1	,9	,9	2,2
	Hyöty	Keskip	Y	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Hyöty	Y	Keskip	Y	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Hyöty	0	Keskip	Y	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Tuuli	IV	Hetkel	Y	-1	-4	-2	-2	-4
			X	-1	-	-	-	-	-
	Tuuli	0	Hetkel	Y	0,0	-4	-2	-2	-4
			X	-1	-	-	-	-	-
	Tuuli	II	Hetkel	Y	-6	-1,8	-8	-8	-1,8

Tukileveys	Td	Td kok.tuuli	Td lau	Runko (C24)	Runko (C30)			
	Pysyvä	Y	11,2	34,7	15,9	16,0	34,5	11,1
	Hetkel	X	,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Hetkel	Y	6,5	20,2	9,3	9,4	20,1	6,4
			82	254	116	117	253	81
			76	235	108	109	234	75

ULOKELAATTASILTA BUL
 ---- Kpi K-JAKO 300

Kuulojen max.pakkaus nurjokuus- ja jylhitysluontojen
 (Hiljaisuus 3 db).

RIKIN,1
 Nurjokuuselta estä. ohjeen perusteella suositelt.:
 vaakaosaksi 22x100 + 3x 75x2,6 / III hie 5000 suojan toteutella
 puolelle viitoitusta. Ohjeilla viitoituspöytälaatu hahtavien
 suojien tukemiseen toteutetaan (perustuskorkeus 4 kpi).
 Nurjokuushahtavat suojat on merkitty HOKL -tietokanta.
 Rakenne paino 14kg

KANNATTAMAN ASELMAN LAKENLUONTOKOHTA (suojatierakenteet ka. RT-96-1602)					
siirtokäytön tilat	vaat. osasto	siirto	rak.korkeus	vaat. rak.osasto	tilat
Nurjokuushahtavien suojat					
Yhtäsuojat					
Käytävien suojat					
Yhteisötilojen suojat					

Nro	Näkö	Alk.	Lop.	Alk.	Lop.	Alk.	Lop.	Alk.	Lop.
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1
21	1	1	1	1	1	1	1	1	1
22	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24	1	1	1	1	1	1	1	1	1
25	1	1	1	1	1	1	1	1	1
51	1	1	1	1	1	1	1	1	1
55	1	1	1	1	1	1	1	1	1
57	1	1	1	1	1	1	1	1	1
62	1	1	1	1	1	1	1	1	1
64	1	1	1	1	1	1	1	1	1
68	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Nurjokuushahtavien suojien rakennustavan
 suoritusohjeet [OH] sekä ylläpitö viitoituspöytä-
 laatu laatu suojien max tukemiseen.

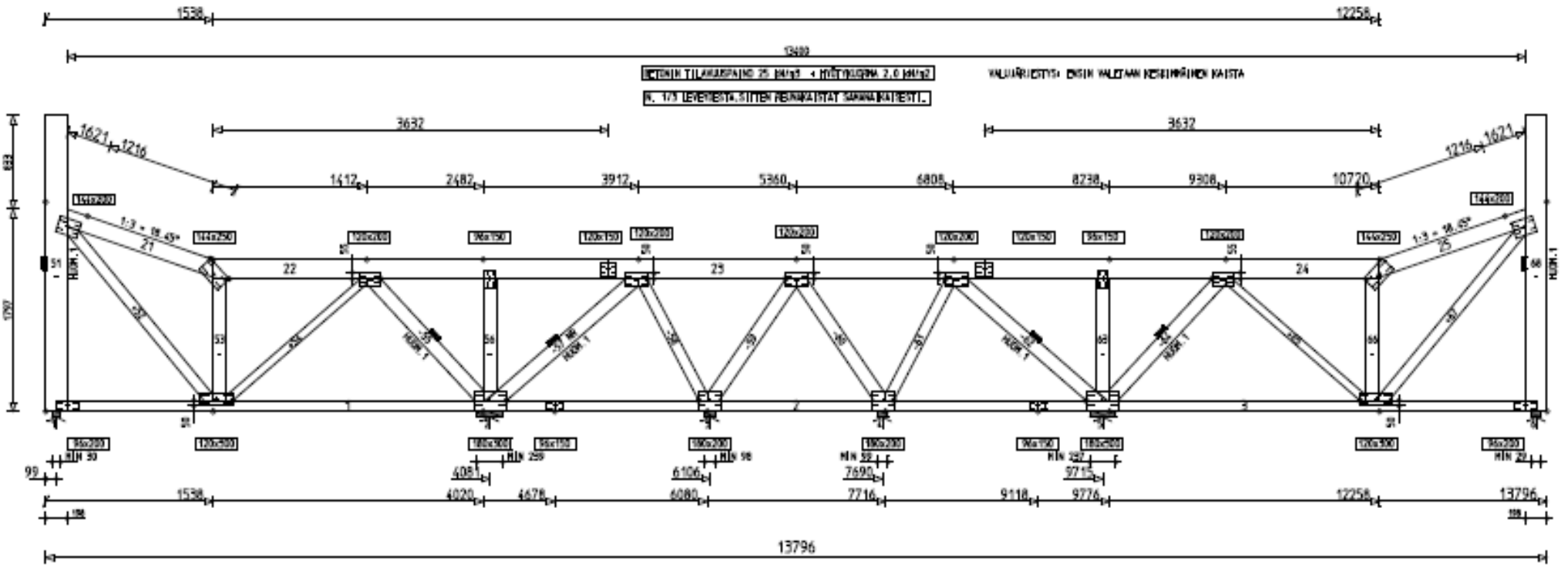
Nro	Näkö	Alk.	Lop.	Alk.	Lop.
1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1
21	1	1	1	1	1
22	1	1	1	1	1
24	1	1	1	1	1
25	1	1	1	1	1
51	1	1	1	1	1
55	1	1	1	1	1
57	1	1	1	1	1
62	1	1	1	1	1
64	1	1	1	1	1
68	1	1	1	1	1

Nro	Näkö	Alk.	Lop.	Alk.	Lop.	Alk.	Lop.	Alk.	Lop.
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1
21	1	1	1	1	1	1	1	1	1
22	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24	1	1	1	1	1	1	1	1	1
25	1	1	1	1	1	1	1	1	1
51	1	1	1	1	1	1	1	1	1
55	1	1	1	1	1	1	1	1	1
57	1	1	1	1	1	1	1	1	1
62	1	1	1	1	1	1	1	1	1
64	1	1	1	1	1	1	1	1	1
68	1	1	1	1	1	1	1	1	1



Ryömsä yllä III:n suojan nurjokuuselta,
 kokonaisyhtäläisyyden rakennusmittat (on
 ohjeiden mukaan).

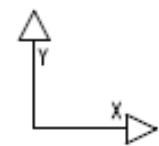
TÄMÄ SUUNNITELMAN YHTEISISSÄ ESITETYT OHJEET
 ENNENKÄÄN OLEVAAT YHTEISISSÄ SUUNNITELMAN
 YHTEISISSÄ OLEVAAT YHTEISISSÄ SUUNNITELMAN
 LAADITTAVIA ERILLISEN TIEDON- JA SUUNNITELMAN.



Max 2630
 1863

LAATTAKEHÄSILTA BLK 1

KÄYTTÖLUOKKA	2	
KUORMITUSLEVEYS (k-jako)	400 mm	
KUORMITUKSET (ilman kattotuolin omaa painoa)		
lumi (maassa)	2,50 kN/m ²	
omapaino yläpaarre	10,50 kN/m ²	
alapaarre	0,30 kN/m ²	
tuulikuorma	0,60 kN/m ²	
ALAP. LOPPUTAIPUMA	3 mm	L/300= 19 mm
ALAPAARTEEN PÄIDEN VAAKASIRTYMIEN SUMMA	2 mm	
SYNSUUNTAINEN PYSTYTUKI: TUET 1,2		
YLÄPAARTEEN NURJAHJUSTUENTAVÄLI	1200 mm	Sivus.nurj. käyttöaste .84
ALAPAARTEEN NURJAHJUSTUENTAVÄLI	1100 mm	Sivus.nurj. käyttöaste 1.00



Standardit, määräykset ja ohjeet / Eurokoodin mukainen menetelmä
 EN 1990:2002, EN 1995-1-1:2004+A1:2008, EN 1995-1-2:2004
 EN 1991-1-1:2002, EN 1991-1-2:2003, EN 1991-1-3:2004, EN 1991-1-4:2005
 sekä näiden standardien kansalliset liitteet NA
 RIL 205-2009, RIL 201-2008, RIL 248-2008
 NAULALEVYRAKENTEIDEN SUUNNITTELU 16.12.2009 / Inspecta Sertifiointi Oy

SUUNNITTELUSSA KÄYTETTY OHJELMA: WaDe2000 31.03.2010

Inspecta Sertifiointi Oy on tarkastanut ja hyväksynyt tämän suunnitteluohjelman naulalevyrakenteiden suunnitteluun 19. päivänä toukokuuta 2008

NAULALEVYTT VTT:n lausunto Voimassa
 TOP-W VTT-S-08481-08 31.10.2013

SIJOITUS :Eliet tosin merkitty symmetrisesti liitokseen nähden
 Levyn pääsuunta osoitettu viivoituksella --
 Sijoitustoleranssi 7mm

Naulalevyn kahdistuspiste (●) puun reunaan.

LAADUNVALVONTA- JA VALMISTUSPÖYTÄKIRJA			
VALMISTUKSESTA VASTAAVA		LUJ.LAJ.TUNNUS	SORMIJ.TUNNUS
NN-hyväksyjän nimi	Toler.	NN	Huomautuksia
Rakenteen pituus	+-10		
korkeus h1	+-10		
h2	+-10		
Kapuloiden sijoitt.			
Puutaran dimensiot			
Levyjen sijoitus	+- 7		
koko			
pain.puuhun			
Liitosten raot			
Korotukset			
Kosteusprosentit	MIN	MAX	
Yläpaarre			
Alapaarre			
Uumasuvat			
Läpustuokat			
VALMISTUSPÄIVÄMÄÄRÄ	___ / ___ 20___	VUORO	VALM.MÄÄRÄ

Tukireaktioiden ominaisarvot tuenta- ja kuormituspaukistiloin sekä kattotuolin vaativat tukileveydet.

Tuenta	Kuorm.	Aika	Tuki	2
A	Omop.	Pysyvä	Y	13,3 13,3 kN
			X	3,5 -3,5 kN
Lumi	Keskip	Y	2,4 2,4 kN	
		X	.8 -.8 kN	
Lumi Y	Keskip	Y	.9 .9 kN	
		X	.2 -.2 kN	
Lumi O	Keskip	Y	.3 .9 kN	
		X	.2 -.2 kN	
Ryöty	Keskip	Y	0,0 0,0 kN	
RyötyV	Keskip	Y	0,0 0,0 kN	
RyötyO	Keskip	Y	0,0 0,0 kN	
Tuuli IV	Hetkel	Y	-6 -6 kN	
		X	-2 .2 kN	
Tuuli O	Hetkel	Y	-6 -6 kN	
		X	-2 .2 kN	
Tuuli II	Hetkel	Y	-1,9 -1,9 kN	
		X	-7 .7 kN	

Tuki leveys	44	44 mm
Td	Pysyvä	Y 18,1 18,1 kN
Td kok.tuuli	Hetkel	X 1,8 1,8 kN
Td lmu	Hetkel	Y 9,2 9,2 kN
Runko (C24)		132 132 mm
Runko (C30)		122 122 mm
Runko (G32)		79 79 mm

LAATTAKEHÄSILTA BLK 1

Kpl K-JAKO 400

Nauhojen max.paksuus nurjohdus- ja Mykelytuenteiden liitännäissä 3 mm.

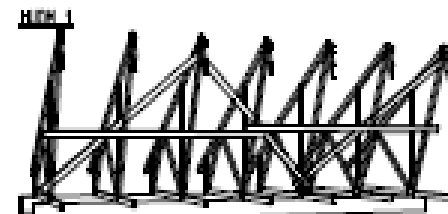
H00H.1

Nurjohduslaite on, ohjeen perusteella mukaisesti: vakolaudat 22x100 + 3x 75x2,8 / liitios sekä saavat toteutella puolelta vinoitaudat. Yhdellä vinoitusparilla tuettujen saavojen lukumäärä laulukassa (perustakuvassa 4 kpl). Nurjohduslaitteet saavat on merkitty punaisella värillä.

- Saavassa 61 nurjohduslukia 2 kpl
 - Saavassa 72 nurjohduslukia 2 kpl
- Rakenteen paino 95kg

JATKOSLAUTOJEN MITOITUS: Molemmilla puolin laudat
Laudat: 22x100 L=1200 C18 Käyttöaste (M/R0)-(N0/R0) 10,9% (0d/R0) 08
Nauhat: 4x4x4x 3,1x50 Käyttöaste 36,9%
M0: -3,75 MN ,0d, 0 MN ,M0: ,03 MN
Kuvan mukaisesti, liitios astetta vasemmalle

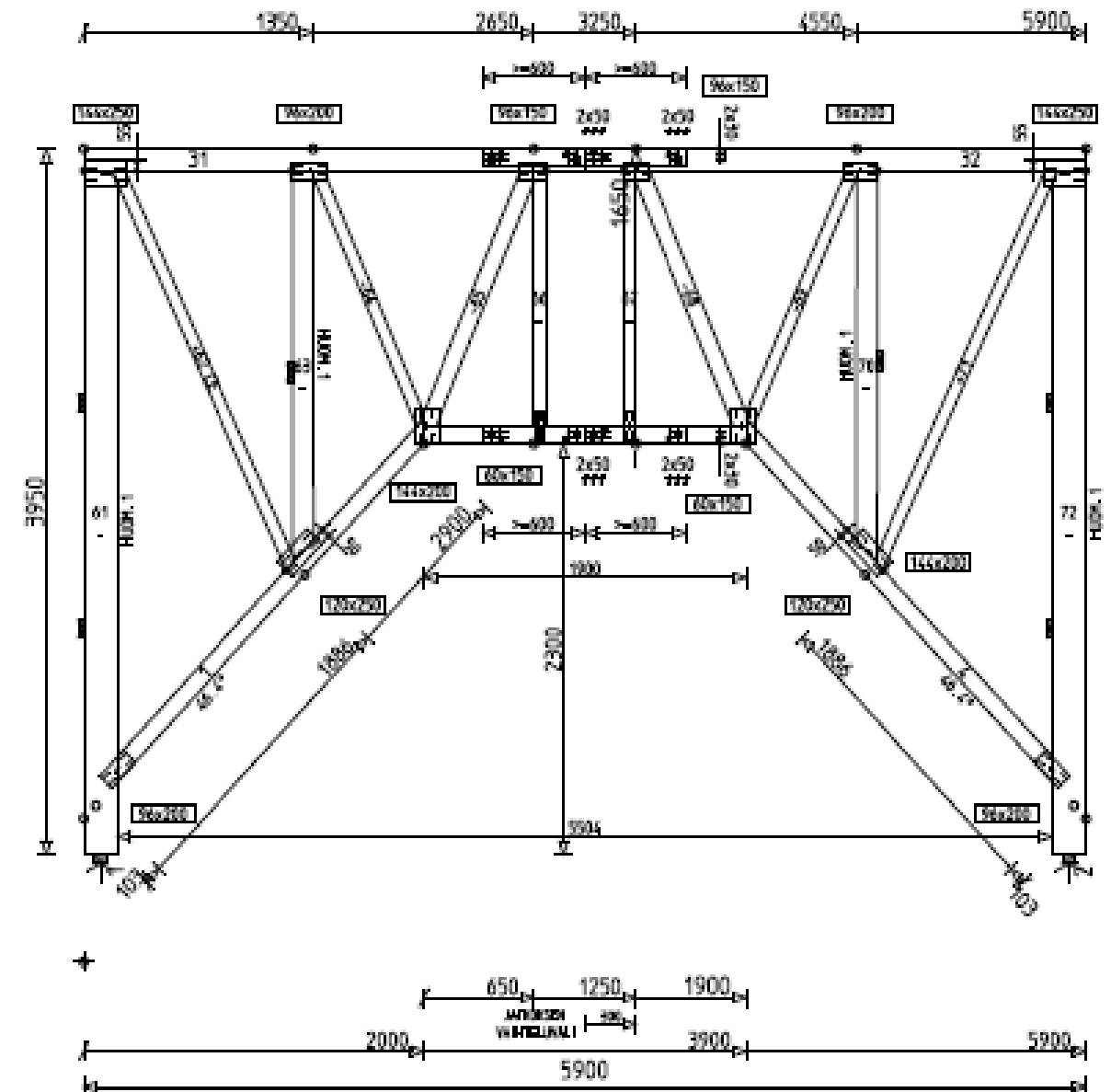
KANNATTAJAN ASENNUKSEN LAADUNVALVONTAPÖYTÄTIEDOT (asennusohjeeseen H ko. RT-95-10425)					
Määräyksien nro	vaad. asennot	MN	vaikojen MN	rak. tarkastaja MN	vaad. rak.suunnittelijan MN
Nurjohduslaitteen asennus ok					
Puhtaus ok					
Aloppuun käyttö ok					
Ylöspuolen käyttö ok					



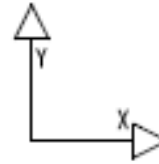
Kykyssä yhdistää saavan nurjohduslaite.
Kokonaismykelytuenteen rakennussuunnittelijan ohjeiden mukaan.

Nurjohduslaitteiden saavojen normaalivoimat nurjohduslaitteissa [MN] sekä yhdellä vinoitusparilla tuettujen saavojen max lukumäärä.

Nro	Md.puu	Ura	Aika
1	-12,3	—	8e
2	-3,8	—	Py
3	-3,8	—	Py
4	-12,3	—	8e
31	-7,3	—	8e
32	-7,3	—	8e
61	-9,8	5	8e
65	-8,2	6	8e
70	-8,2	6	8e
72	-9,8	5	8e



LAATTAKEHÄSILTA BLK 2			
KÄYTTÖLUOKKA	2		
KUORMITUSLEVEYS (k-jako)	550 mm		
KUORMITUKSET (ilman kattotuolin omaa painoa)			
lumi (maassa)	2,50 kN/m ²		
onapaino yläpaarre	10,50 kN/m ²		
alapaarre	0,30 kN/m ²		
tuulikuorma	0,60 kN/m ²		
ALAP. LOPPUTAIPUMA	5 mm	L/300=	27 mm
ALAPAARTEEN PÄIDEN VAAKASIIRTYMIEN SUMMA	2 mm		
NAULALEVYVAHVISTUS: TUET 1,4			
SYYNSUUNTAINEN PYSTYTUKI: TUET 2,3			
YLÄPAARTEEN NURJAHDUSTUENTAVÄLI	500 mm	Sivus.nurj. käyttöaste	1.00
ALAPAARTEEN NURJAHDUSTUENTAVÄLI	750 mm	Sivus.nurj. käyttöaste	1.00



Standardit, määräykset ja ohjeet / Eurokoodin mukainen menetelmä
 EN 1990:2002, EN 1995-1-1:2004+A1:2008, EN 1995-1-2:2004
 EN 1991-1-1:2002, EN 1991-1-2:2003, EN 1991-1-3:2004, EN 1991-1-4:2005
 sekä näiden standardien kansalliset liitteet NA
 RIL 205-2009, RIL 201-2008, RIL 248-2008
 NAULALEVYRAKENTEIDEN SUUNNITTELU 16.12.2009 / Inspecta Sertifiointi Oy

SUUNNITTELUSSA KÄYTETTY OHJELMA: WoDe2000 31.03.2010

Inspecta Sertifiointi Oy on tarkastanut ja hyväksynyt tämän suunnittelu-
 ohjelman naulalevyrakenteiden suunnitteluun 19. päivänä toukokuuta 2008

NAULALEVYT VTT:n lausunto Valmassa
 TOP-W VTT-S-08481-08 31.10.2013

SIJOITUS :Ei toisin merkitty symmetrisesti liitokseen nähden
 Levyn pääsuunta osoitettu viivoituksella --
 Sijoitustoleranssi 7mm
 Naulalevyn kohdistuspiste (●) puun reunaan.

LAADUNVALVONTA- JA VALMISTUSPÖYTÄKIRJA			
VALMISTUKSESTA VASTAAVA		LUJ.LAJ.TUNNUS	SORMIJ.TUNNUS
NN-hyväksyjän nimi	Toler.	NN	Huomautuksia
Rakenteen pituus	±10		
korkeus h1	±10		
h2	±10		
Kapuloiden sijainnit			
Puutavaran dimensiot			
Levyjen sijoitus	±7		
koko			
pain.puuhun			
Liitosten raot			
Korotukset			
Kosteusprosentit	MIN	MAX	
Yläpaarre			
Alapaarre			
Uumasauvat			
Lujuusluokat			
VALMISTUSPÄIVÄMÄÄRÄ	___ / ___ 20___	VUORO	VALM.MÄÄRÄ

Tukireaktioiden ominaisarvot tuenta- ja kuormitustapauksittain sekä kattotuolin vaillat tukileveydet.

Tuenta	Kuorm.	Aikal.	Tuki1	2	3	4
A	Onap.	Pysyvä	Y 15,8	27,1	27,1	15,8
			X -	17,3-17,3	-	-
	Lumi	Keskip	Y 1,1	2,2	2,2	1,1
			X -	2,5	-2,5	-
	Lumi	Y Keskip	Y 1,1	2,2	2,2	1,1
			X -	2,5	-2,5	-
	Lumi	O Keskip	Y 1,1	2,2	2,2	1,1
			X -	2,5	-2,5	-
	Hyöty	Keskip	Y 0,0	0,0	0,0	0,0
	Hyöty	Y Keskip	Y 0,0	0,0	0,0	0,0
	Hyöty	O Keskip	Y 0,0	0,0	0,0	0,0
	Tuuli	iv Hetkel	Y -6	,7	-2	,3
			X -	-1,0	-3	-
	Tuuli	IO Hetkel	Y ,3	-2	,7	-6
			X -	,3	1,0	-
	Tuuli	II Hetkel	Y -1	-9	-9	-1
			X -	-2	,2	-

Tukileveys		118	97	97	118
Td	Pysyvä	Y 21,4	36,8	36,8	21,4
Td	kak.tuuli	iv Hetkel	X 0,0	2,5	2,5
Td	lumi	iv Hetkel	Y 14,0	23,0	23,0
Runko	(C24)		157	269	269
Runko	(C30)		145	249	249
Runko	(G32)		93	160	160

LAATTAKEHÄSILTA BLK 2

---- Kpl K-JAKO 550

Neulojen max. pituus nurjokuus- ja jykkiälytuenteiden liittokolassa 3 m.

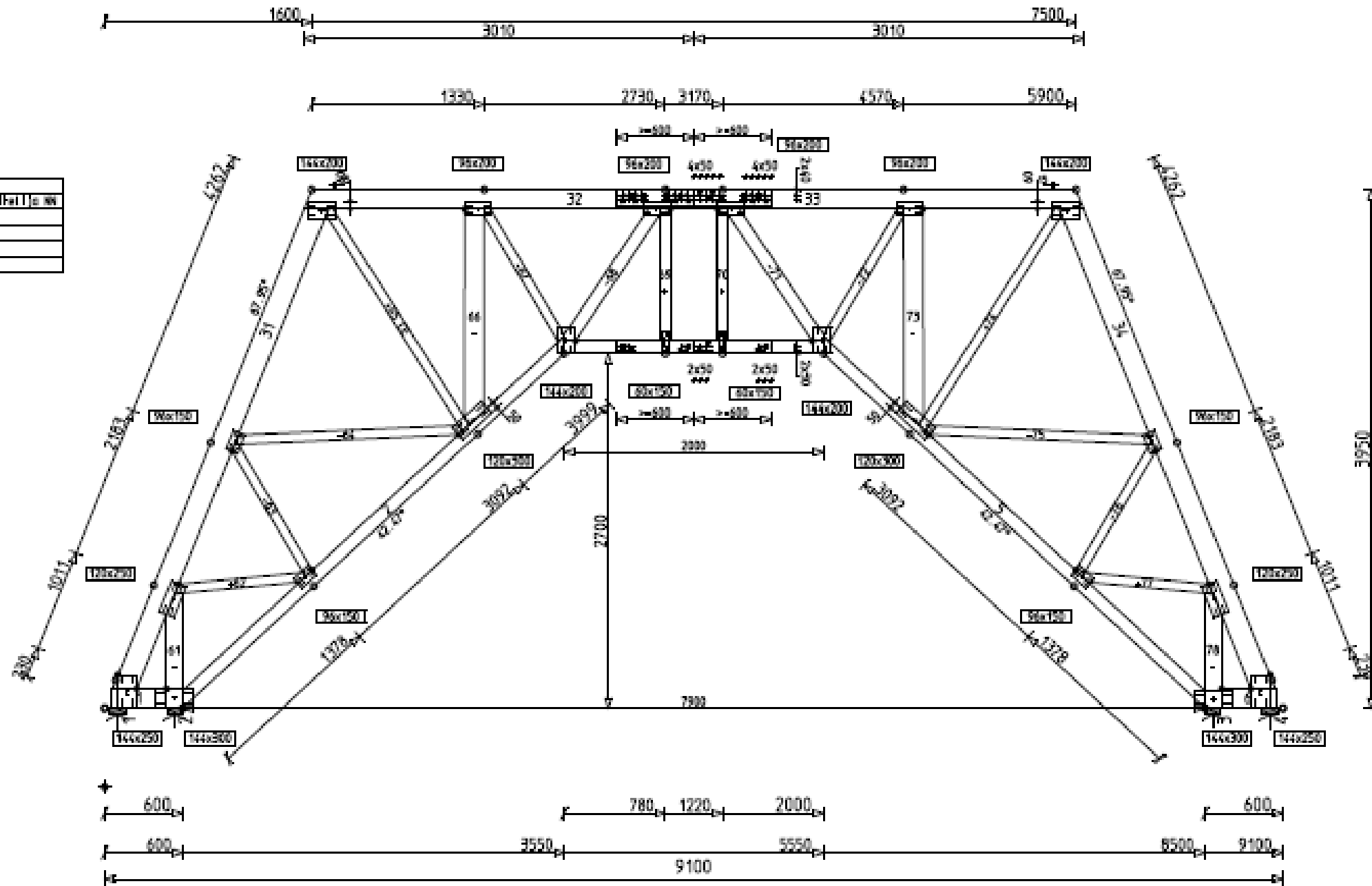
Rakenteen paino 113kg

RANKITTAJAN ASENNUS- JA LAADUNVALVONTATARKASTUS					
Tasauskaterissa 1 ko. RT-85-104951					
no	tyyppi	mitä	voim.	merk.	no

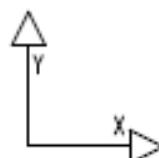
JÄRJESTYKSEN RITOTUS: Ristilin puolin laudat
 Laudat: 22x100 L=1200 C18 ktyhkoaste (R₀/R₀)+(R₀/R₀) 14,5% (0a/0a) ok
 Neulat: 4+4+4+4 3,1x90 ktyhkoaste 60,2%
 M₀: -6,21 kN ,Q₀: 0 kN ,M₀: ,03 kNm

Nurjokuuskehätilien saavojen normaali- ja
 vääntömomentit sekä yhdistetty vääntö-
 momentti huokkien saavojen max. laskennall.

M ₀	M ₀ ,max	L ₀	Alkoi
2	-22,1	—	R ₀
9	-6,2	—	P ₀
4	-6,2	—	P ₀
5	-22,1	—	R ₀
31	-37,3	—	P ₀
32	-17,6	—	R ₀
33	-17,6	—	R ₀
34	-37,3	—	P ₀



KAUKALOPALKKISILTA			
KÄYTTÖLUOKKA	2		
KUORMITUSLEVEYS (k-jako)	370 mm		
KUORMITUKSET (ilman kattotuolin omaa painoa)			
lumi (maassa)	2.50 kN/m2		
omapaino yläpaarre	34,25 kN/m2		
alapaarre	0,10 kN/m2		
tuulikuorma	0,60 kN/m2		
ALAP. LOPPUTAIPUMA	4 mm	L/300=	11 mm
NAULALEVYVAHVISTUS: TUET 2,3			
SYNSUUNTAINEN PYSTYTUKI: TUET 1,4			
YLÄPAARTEEN NURJAHDUSTUENTAVÄLI	1050 mm	Sivus.nurj. käyttöaste	1.00
ALAPAARTEEN NURJAHDUSTUENTAVÄLI	1450 mm	Sivus.nurj. käyttöaste	1.00



Standardit, määräykset ja ohjeet / Eurokoodin mukainen menetelmä
 EN 1990:2002, EN 1995-1-1:2004+A1:2008, EN 1995-1-2:2004
 EN 1991-1-1:2002, EN 1991-1-2:2003, EN 1991-1-3:2004, EN 1991-1-4:2005
 sekä näiden standardien kansalliset liitteet NA
 RIL 205-2009, RIL 201-2008, RIL 248-2008
 NAULALEVYRAKENTEIDEN SUUNNITTELU 16.12.2009 / Inspecta Sertifiointi Oy

SUUNNITTELUSSA KÄYTETTY OHJELMA: WoDe2000 31.03.2010

Inspecta Sertifiointi Oy on tarkastanut ja hyväksynyt tämän suunnitteluohjelman naulalevyrakenteiden suunnitteluun 19. päivänä toukokuuta 2008

NAULALEVYT VTT:n lausunto Voimassa
 TOP-W VTT-S-08481-08 31.10.2013

SIJOITUS : Ellei toisin merkitty symmetrisesti liitokseen nähden
 Levyn pääsuunta osoitettu viivoituksella --
 Sijoitustoleranssi 7mm
 Naulalevyn kahdistuspaiste (●) puun reunaan.

LAADUNVALVONTA- JA VALMISTUSPÖYTÄKIRJA			
VALMISTUKSESTA VASTAAVA ----- LUJ.LAJ.TUNNUS ---- SORMI J.TUNNUS ----			
NN-hyväksyjän nimi Toler. NN Huomautuksia			
Rakenteen pituus	+-10		
korkeus h1	+-10		
h2	+-10		
Kapuloiden sijainnit			
Puutarvan dimensiot			
Levyjen sijoitus	+- 7		
koko			
palm. puuhun			
Liitosten raot			
Korotukset			
Kosteusprosentit	MIN	MAX	
Yläpaarre			
Alapaarre			
Uumasauvat			
Lujuusluokat			
VALMISTUSPÄIVÄMÄÄRÄ ___ / ___ 20___ VUORO ----- VALM. MÄÄRÄ -----			

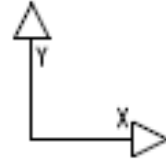
Tukireaktioiden ominaisarvot tuenta- ja kuorallustopauksilla sekä kattotuolin vailliset tukilevydet.

Tuenta	Kuora.	Alkal.	Tuki1	2	3	4		
A	Osap.	Pysyvä	Y	14,6	18,6	18,6	14,6	kN
Lumi	Keskip	Y	,9	2,0	2,0	,9	kN	
Lumi V	Keskip	Y	,5	1,8	1,8	,5	kN	
Lumi O	Keskip	Y	,9	2,0	2,0	,9	kN	
Hyöty	Keskip	Y	0,0	0,0	0,0	0,0	kN	
HyötyV	Keskip	Y	0,0	0,0	0,0	0,0	kN	
HyötyO	Keskip	Y	0,0	0,0	0,0	0,0	kN	
Tuuli IV	Hetkel	Y	-0,0	-,4	-,4	-0,0	kN	
Tuuli IO	Hetkel	Y	-0,0	-,4	-,4	-0,0	kN	
Tuuli I	Hetkel	Y	-,3	-1,4	-1,4	-,3	kN	

Tukileveys	52	168	168	52	mm		
Td	Pysyvä	Y	19,8	25,3	25,3	19,8	kN
Td kok.tuuli	Hetkel	X	,5	0,0	0,0	0,0	kN
Td lnu	Hetkel	Y	12,6	14,6	14,6	12,6	kN
Runko (C24)	145	185	185	145	mm		
Runko (C30)	134	171	172	134	mm		

LIITTORAKENTEINEN SILTA

KÄYTTÖLUOKKA	2		
KUORMITUSLEVEYS (k-jako)	600 mm		
KUORMITUKSET (Ilman kattotuolin omaa painoa)			
lumi (maassa)	2,50 kN/m ²		
onapaino yläpaarre	7,50 kN/m ²		
alapaarre	0,30 kN/m ²		
tuulikuorma	0,60 kN/m ²		
ALAP. LOPPUTAIPUMA	2 mm	L/300-	12 mm
NAULALEVYVAHVISTUS: TUET 1.2			
YLÄPAARTEEN NURJAHDUSTUENTAVÄLI	1200 mm	Sivus.nurj. käyttöaste	.94
ALAPAARTEEN NURJAHDUSTUENTAVÄLI	2650 mm	Sivus.nurj. käyttöaste	.99



Standardit, määräykset ja ohjeet / Eurokoodin mukainen menetelmä
 EN 1990:2002, EN 1995-1-1:2004+A1:2008, EN 1995-1-2:2004
 EN 1991-1-1:2002, EN 1991-1-2:2003, EN 1991-1-3:2004, EN 1991-1-4:2005
 sekä näiden standardien kansalliset liitteet NA
 RIL 205-2009, RIL 201-2008, RIL 248-2008
 NAULALEVYRAKENTEIDEN SUUNNITTELU 16.12.2009 / Inspecta Sertifiointi Oy

SUUNNITTELUSSA KÄYTETTY OHJELMA: WoDe2000 31.03.2010

Inspecta Sertifiointi Oy on tarkastanut ja hyväksynyt tämän suunnittelu-ohjelman naulalevyrakenteiden suunnitteluun 19. päivänä toukokuuta 2008

NAULALEVYT VTT:n lausunto Voimassa
 TOP-W VTT-S-08481-08 31.10.2013

SIJOITUS : Ellei toisin merkitty symmetrisesti liitakseen nähden
 Levyn pääsuunta osoitettu viivoituksella --
 Sijoitustoleranssi 7mm
 Naulalevyn kohdistuspiste (•) puun reunaan.

LAADUNVALVONTA- JA VALMISTUSPÖYTÄKIRJA			
VALMISTUKSESTA VASTAAVA		LUJ.LAJ.TUNNUS	SORMIJ.TUNNUS
NN-hyväksyjän nimi Toler. NN Huomautuksia			
Rakenteen pituus	±10		
korkeus h1	±10		
h2	±10		
Kapulojen sijoitus			
Puutavaran dimensiot			
Levyjen sijoitus	±7		
koko			
palin. puuhun			
Liitosten raot			
Korotukset			
Kosteusprosentit	MIN	MAX	
Yläpaarre			
Alapaarre			
Uunsausot			
Lujuusluokat			
VALMISTUSPÄIVÄMÄÄRÄ	___ / ___ 20___	VUORO	VALM.MÄÄRÄ

Tukireaktioiden ominisarvot tuento- ja kuormitustapauksittain sekä kattotuolin vaativat tukileveydet.

Tuenta Kuorm. Alkoi. Tukit	2
A Onap. Pysyvä	Y 8,7 8,7 kN
	X 5,0 -5,0 kN
Lumi Keskip	Y 2,2 2,2 kN
	X 1,2 -1,2 kN
Lumi V Keskip	Y .8 .3 kN
	X .3 -.3 kN
Lumi O Keskip	Y .3 .8 kN
	X .3 -.3 kN
Tuuli IV Hetkel	Y -5 -5 kN
	X -2 .2 kN
Tuuli IO Hetkel	Y -5 -5 kN
	X -2 .2 kN
Tuuli III Hetkel	Y -1,5 -1,5 kN
	X -.8 .8 kN

Tukileveys	75 75 mm
Td Pysyvä	Y 11,9 11,9 kN
Td kok.tuuli Hetkel	X 1,2 1,2 kN
Td lmu Hetkel	Y 5,7 5,7 kN
Runko (C24)	87 87 mm
Runko (C30)	80 80 mm
Runko (G32)	52 52 mm

Kapula nro	leh. luokka	Od	Od/Rd	side kpl	kc	Ni kN	Ns/Rd	Ni Ms/Rd Nm	Summa
Alapaarre:									
1	42x98 C24	.28	.06	—	.92	-2.32	.07	79 .10	.17
Yläpaarre:									
31	42x129 C24	3.74	.63	—	.98	-6.62	.15	781 .58	.67
Uunsausot:									
61	42x98 C24	-.08	.02	0	.25	-1.96	.25	-67 .08	.32
62	42x175 C24	.39	.05	0	.20	-10.59	.85	-350 .08	.91
63	42x70 C24	.02	.01	0	1.00	3.92	.19	-12 .08	.22
64	42x98 C24	.01	0.00	0	.29	-5.84	.70	0 0.00	.70
65	42x70 C24	.02	.01	0	1.00	3.92	.19	12 .08	.22
66	42x175 C24	.39	.05	0	.20	-10.59	.85	350 .08	.91
67	42x98 C24	.08	.02	0	.25	-1.96	.25	67 .08	.32

EC nral	levy nro	Kapula	Po.ed kN	Mo.ed Nm	Alifa aste	Beta aste	Aef m ²	Awaad mm	L mm	Lvsod L	Nd.rox kN	Nd.nin kN
W 180x250												
61	.62	-44.81	39.98	50.02	6057	.18	85	.49	0.00	-2.22		
62	3.95	-180.18	64.02	3.88	9908	.38	85	.49	0.00	-11.97		
1	3.85	-265.07	55.05	55.05	19522	.23	248	.25	0.00	-2.55		
W 60x150												
61	.68	0.00	90.00	90.00	3191	.16	60	.16	0.00	-2.22		
51	.48	-15.84	4.98	85.02	3359	.21	60	.16	0.00	-7.44		
W 144x200												
62	4.26	-76.43	60.44	7.46	10905	.28	70	.75	0.00	-11.97		
63	2.41	-1.57	61.17	5.42	2182	.74	37	.99	4.38	0.00		
31	3.63	82.01	25.98	25.98	8299	.35	195	.26	0.00	-7.44		
W 60x150												
64	1.45	0.00	0.00	0.00	3191	.27	60	.26	0.00	-6.67		
51	1.45	-0.00	0.00	90.00	3359	.48	60	.26	0.00	-7.44		
W 120x200												
63	1.95	2.51	55.44	-.31	1980	.60	50	.48	4.38	0.00		
64	2.88	0.00	90.00	0.00	4418	.52	50	.48	0.00	-6.67		
65	1.95	-2.51	55.44	-.31	1980	.60	50	.48	4.38	0.00		
1	.68	0.00	90.00	90.00	8299	.06	199	.02	0.00	-2.55		
W 144x200												
65	2.41	-1.57	61.17	5.42	2182	.74	37	.99	4.38	0.00		
66	4.26	-76.43	60.44	7.46	10905	.28	70	.75	0.00	-11.97		
31	3.63	82.01	25.98	25.98	8299	.35	195	.26	0.00	-7.44		
W 60x150												
66	.68	0.00	90.00	90.00	3191	.16	60	.16	0.00	-2.22		
31	.48	-15.84	4.98	85.02	3359	.21	60	.16	0.00	-7.44		
W 180x250												
66	3.95	-180.18	64.02	3.88	9908	.38	85	.49	0.00	-11.97		
67	.62	44.81	40.05	49.97	6057	.18	85	.49	0.00	-2.22		
1	3.85	-265.07	55.05	55.05	19522	.23	248	.25	0.00	-2.55		

KPM Software 2013

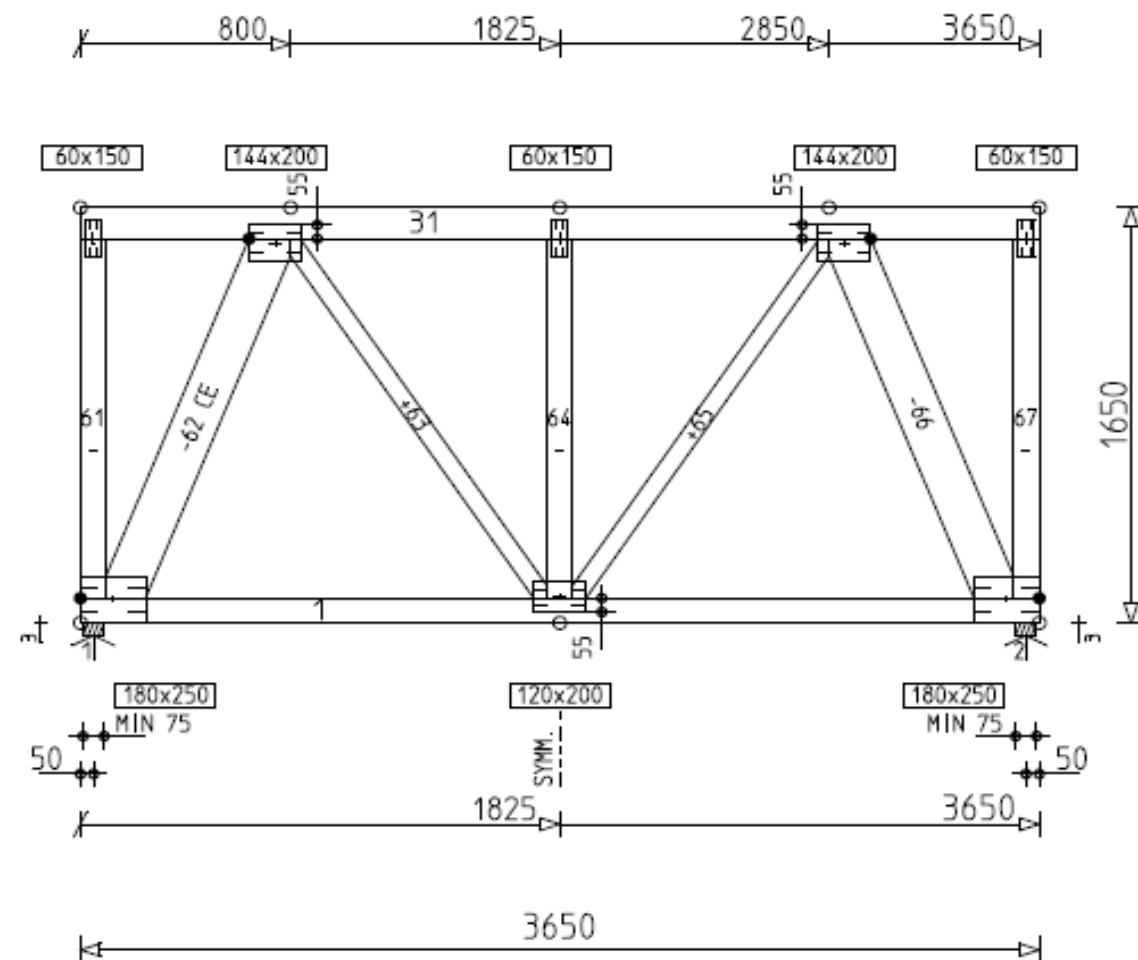
LIITTORAKENTEINEN SILTA

---- Kpl K-JAKO 600

Naulojen max.paksuus nurjahdus- ja jäykistystuentojen liitoksissa 3 mm.

Rakenteen paino 42kg

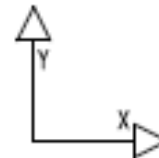
KANNATTAJAN ASENNUKSEN LAADUNVALVONTAPÖYTÄKIRJA (asennustoleranssit ks. RT-85-10495)				
NN-Hyväksyjän nimi	vast. mestari NN	valvoja NN	rak.tarkastaja NN	vast. rak.suunnittelija NN
Nurjahdustukien asennus ok				
Pystysuoruus ok				
Alapaarteen käyryys ok				
Yläpaarteen käyryys ok				



KPM Software 2013

RAK 3655-15061-1 MUOTTIRISTIKKO KALLANSILLAT

KÄYTTÖLUOKKA	3	
KUORMITUSLEVEYS (k-jako)	500 mm	
KUORMITUKSET (ilman kattotuolin omaa painoa) lumi (maassa)	2,50 kN/m ²	
omapaino yläpaarre	10,25 kN/m ²	
alapaarre	0,00 kN/m ²	
tuulikuorma	0,60 kN/m ²	
ALAP. LOPPUTAIPUMA	5 mm	L/300= 0 mm
ALAPAARTEEN PÄIDEN VAAKASIIRTYMIEN SUMMA	1 mm	



NAULALEVYVAHVISTUS: TUKI 1			
YLÄPAARTEEN NURJAHDUSTUENTAVÄLI	1200 mm	Sivus.nurj. käyttöaste	.59
ALAPAARTEEN NURJAHDUSTUENTAVÄLI	2600 mm	Sivus.nurj. käyttöaste	1.00

Standardit, määräykset ja ohjeet / Eurokoodin mukainen menetelmä
 EN 1990:2002, EN 1995-1-1:2004+A1:2008, EN 1995-1-2:2004
 EN 1991-1-1:2002, EN 1991-1-2:2003, EN 1991-1-3:2004, EN 1991-1-4:2005
 sekä näiden standardien kansalliset liitteet NA
 RIL 205-2009, RIL 201-2008, RIL 248-2008
 NAULALEVYRAKENTEIDEN SUUNNITTELU 16.12.2009 / Inspecta Sertifiointi Oy

SUUNNITTELUSSA KÄYTETTY OHJELMA: MoDe2000 31.03.2010

Inspecta Sertifiointi Oy on tarkastanut ja hyväksynyt tämän suunnitteluohjelman naulalevyrakenteiden suunnitteluun 19. päivänä toukokuuta 2008

NAULALEVYT VTT:n lausunto Vainassa
 LL13 VTT-S-03259-12 31. 5.2017

SIJOITUS :Etelä toislin merkitty symmetrisesti liitokseen nähden
 Levyn pääsuunta osoitettu viivolluksella --
 Sijoitustoleranssi 7mm
 Naulalevyn kohdistuspiste (*) puun reunaan

LAADUNVALVONTA- JA VALMISTUSPÖYTÄKIRJA		
VALMISTUKSESTA VASTAAVA	LUJ.LAJ.TUNNUS	SORMIJ.TUNNUS
NN-hyväksyjän nimi	Toler.	NN
Rakenteen pituus	+-10	
korkeus h1	+-10	
h2	+-10	
Kapuloiden sijoitt.		
Puutavaran dimensiot		
Levyjen sijoitus	+- 7	
koko		
paln.puuhun		
Liitosten raot		
Korotukset		
Kosteusprosentit	MIN	MAX
Yläpaarre		
Alapaarre		
Uunoauvat		
Lujuusluokat		
VALMISTUSPÄIVÄMÄÄRÄ	--- / --- 20---	VUORO ----- VALM.MÄÄRÄ -----

Tukireaktioiden ominaisarvot tuento- ja kuormitustapauksittain sekä kattotuolin vaatimat tukileveydet.

Tuenta Kuorm. Aikaj. Tuk11	2
A Omp. Pysyvä Y	8,6 - kN
X	6,6 -6,6 kN
Lumi Keskip Y	2,5 - kN
X	2,4 -2,4 kN
TuuliV Hetkel Y	-7 - kN
X	-7 ,6 kN
TuuliD Hetkel Y	-7 - kN
X	-7 ,6 kN
TuuliI Hetkel Y	-1,7 - kN
X	-1,7 1,7 kN

Tukileveys	67	0 mm
Td Pysyvä Y	11,7	0,0 kN
Td kok.tuuli Hetkel X	,9	0,0 kN
Td lumi Hetkel Y	5,2	-0,0 kN
Runko (C24)	105	1 mm
Runko (C30)	95	1 mm

PUUTAVARAN HITOITUS

Kapula nro	bth luokka	td	td/Rd	side kpl	kc	Nd kN	Nd/Rd	Md Nd/Rd	Summa
Alapaarre:									
1	42x123 C24	.19	.02	—	.92	-3.37	.07	80 .07	.14
Yläpaarre:									
31	42x98 C30	2.97	.76	—	1.00	7.89	.27	-501 .59	.80
32	42x98 C24	.50	.10	—	1.00	.09	0.00	54 .09	.09
Uunoauvat:									
61	42x173 C30	-1.10	.16	0	.98	-3.16	.05	-937 .42	.47
62	42x148 C30	.24	.04	0	.21	-9.66	.90	172 .05	.95
63	42x98 C18	.03	.01	0	1.00	2.98	.17	17 .04	.21
64	42x123 C24	.18	.04	0	.07	-2.52	.89	140 .07	.96
65	42x73 C18	.01	.01	0	.58	-.59	.04	-6 .01	.06
66	42x123 C24	-.02	0.00	0	.09	-.07	.02	0 0.00	.02

LIITOSTEN HITOITUS

EC nro	levy	Kapula nro	Fa,ed kN	Mu,ed Na	Alfa aste	Beta aste	Aef m ²	AeF mm	L mm	Lvsad L	Nd,max kN	Nd,min kN
L13	240x250	61	1.13	-195.41	85.43	85.43	21589	.11	159	.31	0.00	-3.46
		62	4.38	74.17	40.94	3.39	9191	.40	90	.66	0.00	-11.38
		1	5.24	363.82	49.65	24.67	18839	.40	249	.42	.05	-3.37
L13	144x200	61	4.02	-444.78	78.69	78.69	11946	.78	144	.67	0.00	-3.46
		31	4.02	52.79	78.69	11.31	11782	.35	144	.67	9.93	-.09
L13	144x200	62	3.83	71.56	46.18	6.22	8290	.41	65	.50	0.00	-11.38
		63	1.87	17.45	44.42	4.76	4849	.35	65	.50	3.88	0.00
		31	4.25	-16.86	20.03	20.03	8299	.43	196	.37	9.93	-.09
L13	96x250	64	1.22	69.25	86.86	3.14	10057	.19	96	.20	0.00	-3.04
		31	1.15	5.19	88.85	88.85	4139	.37	96	.20	9.93	-.09
		32	.08	27.34	56.18	56.18	4139	.20	96	.10	.37	-0.00
L13	120x250	65	1.93	.75	55.58	.21	3101	.40	65	.22	3.88	0.00
		64	1.19	-6.91	75.42	1.19	6514	.17	65	.22	0.00	-3.04
		65	.64	0.00	89.30	89.30	2408	.21	61	.08	0.00	-.59
		1	1.70	-55.32	7.74	7.74	9234	.12	247	.09	.05	-3.37
L13	120x150	65	.64	0.00	45.00	89.94	2789	.18	35	.07	0.00	-.59
		66	.64	0.00	0.00	90.00	7119	.07	35	.07	.10	-.07
		32	.64	0.00	90.00	90.00	2690	.17	66	.06	.37	-0.00
L13	60x150	66	.64	0.00	90.00	90.00	3138	.15	62	.01	.10	-.07
		1	.64	0.00	15.00	89.30	3277	.15	62	.01	.05	-3.37

KPM Software 2013

KPM Software 2013

MUOTTIRISTIKKO KALLANSILLAT

RAK 3655-15061-1

93 Kpl K-JAKO 500

Naulojen max.paksuus nurjahdus- ja jätkeistystuentejen
liittoksissa 3 mm.

PUUTAVARA JA LUJUUSLUOKAT

Alapäärre-

1 42x123 C24

Yläpäärre-

31 42x98 C30

32 42x98 C24

Uunisauvat:

61 42x173 C30

62 42x148 C30

63 42x98 C18

64 42x123 C24

65 42x73 C18

66 42x123 C24

NAULALEVYT:

Levy LeveysPituus Kpl Sarja 93

LL13 60x150 2 186

96x250 2 186

120x150 2 186

120x250 2 186

144x200 4 372

240x250 2 186

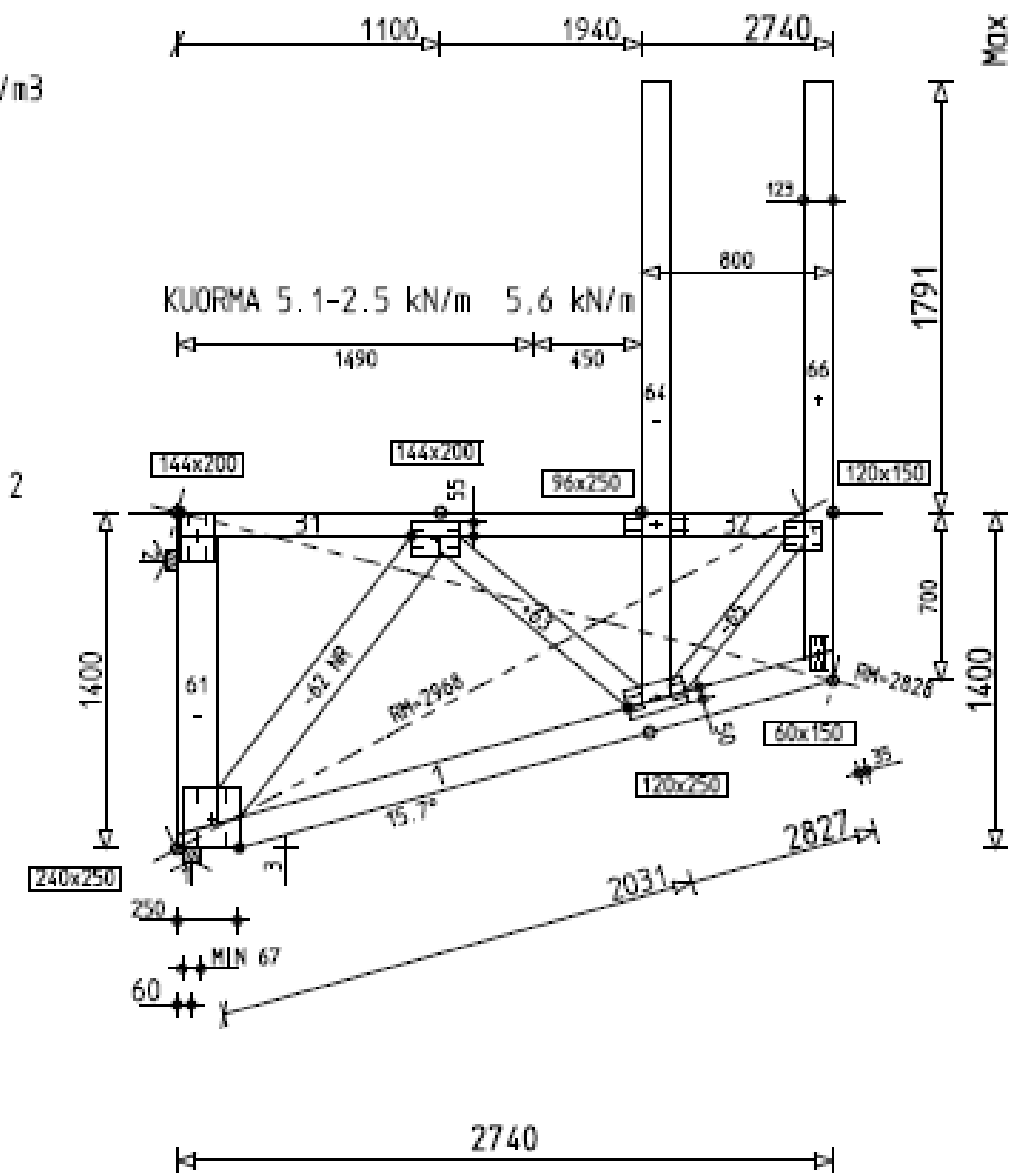
Rakenteen paino 37kg

KANNATTAJAN ASENNUKSEN LAADUNVALVONTAPÖYTÄKIRJA (asennustoleranssit ks. RT-85-10495)				
NN-Hyväksyjän nimi	vast. mestari NN	valvoja NN	rak.tarkastaja NN	vast. rak.suunnittelija NN
Nurjahdustukien asennus ok				
Pystysuoraus ok				
Alapäärteen käyryys ok				
Yläpäärteen käyryys ok				

MITOITUKSESSA KÄYTETTY TERÄSBETONIN TILAVUUSPAINOA 25 kN/m³

Nurjahduslevyjen sauvojen normaaliavoima
nurtorajatilassa [kN] sekä yhdellä vinolautau-
parilla tuettavien sauvojen max lukumäärä.

Nro	Nd,max	Lm	Alkoluok
1	-3,4	--	Ke
31	-,1	--	Py

ANKKUROITAVA VAAKAVOIMA $F_d=12,5$ kN TUELLA 2

KPM Software 2013

KPM Software 2013

KPM Software 2013

RAK 3655-15247-1 MUOTTIRISTIKKO KALLANSILLAT

KÄYTTÖLUOKKA

3

KUORMITUSLEVEYS (k-jako)

500 mm

KUORMITUKSET (ilman kattotuolin omaa painoa)

lumi (maassa)

2,50 kN/m²

omapaino yläpaarre

9,00 kN/m²

alapaarre

0,00 kN/m²

tuulikuorma

0,60 kN/m²

ALAP. LOPPUTAIPUMA

2 mm L/300= 0 mm

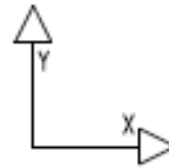
NAULALEVYVAHVISTUS: TUKI 1

YLÄPAARTEEN NURJAHDUSTUENTAVÄLI

1200 mm Sivus.nurj. käyttöaste .08

ALAPAARTEEN NURJAHDUSTUENTAVÄLI

3000 mm Sivus.nurj. käyttöaste .10



Standardit, määräykset ja ohjeet / Eurokoodin mukainen menetelmä

EN 1990:2002, EN 1995-1-1:2004+A1:2008, EN 1995-1-2:2004

EN 1991-1-1:2002, EN 1991-1-2:2003, EN 1991-1-3:2004, EN 1991-1-4:2005

sekä näiden standardien kansalliset liitteet NA

RIL 205-2009, RIL 201-2008, RIL 248-2008

NAULALEVYRAKENTEIDEN SUUNNITTELU 16.12.2009 / Inspecta Seriffiointi Oy

SUUNNITTELUSSA KÄYTETTY OHJELMA: WoDe2000 31.03.2010

Inspecta Seriffiointi Oy on tarkastanut ja hyväksynyt tämän suunnittelu-ohjelman naulalevyrakenteiden suunnitteluun 19. päivänä toukokuuta 2008

NAULALEVYT

VTT:n lausunto

Vaimassa

LL13

VTT-S-03259-12 31. 5.2017

SIJOITUS : Ellei toisin merkitty symmetrisesti liitokseen nähden

Levyn pääsuunta osoitettu viivoituksella --

Sijoitustoleranssi 7mm

Naulalevyn kohdistuspiste (●) puun reunaan.

LAADUNVALVONTA- JA VALMISTUSPÖYTÄKIRJA			
VALMISTUKSESTA VASTAAVA	LUJ.LAJ.TUNNUS	SORMI J.TUNNUS	
NN-hyväksyjän nimi	Toler.	NN	Huomautuksia
Rakenteen pituus	±10		
korkeus h1	±10		
h2	±10		
Kapuloiden sijoitt.			
Puutavaran dimensiot			
Levyjen sijoitus	±7		
koko			
paikn. puuhun			
Liitosten raot			
Korotukset			
Kosteusprosentit	MIN	MAX	
Yläpaarre			
Alapaarre			
Uumasauvat			
Lujuusluokat			
VALMISTUSPÄIVÄMÄÄRÄ	___ / ___ 20___	VUORO	VALM. MÄÄRÄ

KPM Software 2013

KPM Software 2013

Tukireaktioiden ominaisarvot tuenta- ja kuormitustapauksittain sekä kattotuolin vaativat tukilevytydet.

Tuenta	Kuorm.	Aikat.	Tuki1	2
A	Onap.	Pysyvä	Y 5,8	- kN
			X 2,5	-2,5 kN
Lumi	Kesklp	Y 1,7	- kN	
		X 1,1	-1,1 kN	
Tuuli V	Hetkel	Y -5	- kN	
		X -3	,3 kN	
Tuuli O	Hetkel	Y -5	- kN	
		X -3	,3 kN	
Tuuli I	Hetkel	Y -1,2	- kN	
		X -8	,8 kN	

Tukileveys	40	0 mm
Td	Pysyvä	Y 7,8 0,0 kN
Td kok.tuuli	Hetkel	X ,9 0,0 kN
Td lau	Hetkel	Y 3,4 -0,0 kN
Runko (C24)	69	1 mm
Runko (C30)	64	1 mm

PUUTAVARAN MITOITUS

Kapula nro	leh	lujuus luokka	Od	Od/Rd	slide kpl	lc	Nd kN	Nd/Rd	Md Nd/Rd	Suunn
Alapaarre:										
1	42x123	C24	.12	.03	--	1.00	.03	0.00	-.59	.05
Yläpaarre:										
31	42x98	C30	3.43	.88	--	1.00	2.79	.10	515	.66
32	42x98	C24	.58	.11	--	1.00	.02	0.00	80	.13
Uumasauvat:										
61	42x148	C24	-.64	.11	0	.30	-3.63	.26	-356	.30
62	42x123	C24	.15	.03	0	.20	-5.21	.66	101	.08
63	42x123	C24	.26	.05	0	.47	-.05	0.00	233	.25
64	42x73	C24	.06	.02	0	1.00	.04	0.00	37	.10
65	42x123	C24	-.02	0.00	0	.07	-.28	.08	5	0.00

LIITOSTEN MITOITUS

EC nimi	levy nro	Kapula nro	Fo,ed kN	Mo,ed kN	Alfa aste	Beta aste	Aef mm ²	Avoad mm	L mm	Lvoad mm	Nd,max kN	Nd,min kN
L13	240x200	61	.88	-89.07	48.88	48.88	12370	.16	133	.24	0.00	-3.87
		62	2.40	32.33	42.64	5.13	7597	.28	109	.33	0.00	-6.40
		1	3.28	281.14	44.32	29.97	18837	.29	242	.29	.27	-.18
L13	144x200	61	1.66	-274.53	57.42	57.42	11510	.48	144	.38	0.00	-3.87
		31	1.66	134.90	57.42	32.58	11111	.28	144	.38	3.77	0.00
L13	60x150	63	.59	0.00	90.00	90.00	3138	.14	62	.04	0.00	-.12
		1	.59	0.00	15.00	89.29	3277	.14	62	.04	.27	-.18
L13	180x300	62	1.61	61.31	47.60	4.89	6130	.34	101	.33	0.00	-6.40
		63	.19	115.83	6.19	83.81	19549	.09	70	.31	0.00	-.12
		64	.13	18.46	34.20	20.64	3904	.16	45	.29	.43	0.00
		31	1.74	-133.75	36.59	36.59	7441	.48	101	.76	3.77	0.00
		32	.06	40.26	77.42	77.42	5235	.22	98	.12	.02	-0.00
L13	120x200	64	.59	0.00	90.00	84.84	3589	.13	40	.06	.43	0.00
		65	.59	0.00	90.00	3885	.12	40	.06	.10	-.28	
		1	.59	0.00	90.00	74.29	8789	.05	181	.02	.27	-.18
L13	96x150	65	.59	0.00	90.00	90.00	5607	.08	96	.03	.10	-.28
		32	.59	0.00	90.00	90.00	5117	.09	96	.03	.02	-0.00

KPM Software 2013

MUOTTIRISTIKKO KALLANSILLAT
 RAK 3655-15247-1
 26 Kpl K-JAKO 500

Naulojen max.paksuus nurjahdus- ja jöykistystuentejen liittoksissa 3 mm.

PUUTAVARA JA LUJUUSLUOKAT

Alapaarre:

1 42x123 C24

Yläpaarre:

31 42x98 C30

32 42x98 C24

Umasauvat:

61 42x148 C24

62 42x123 C24

63 42x123 C24

64 42x73 C24

65 42x123 C24

NAULALEVYT:

Levy LeveysPituus Kpl Sarja 26

LL13 60x150 2 52

96x150 2 52

120x200 2 52

144x200 2 52

180x300 2 52

240x200 2 52

Rakenteen paino 31kg

KANNATTAJAN ASENNUKSEN LAADUNVALVONTAPÖYTÄKIRJA (asennustoleranssit ks. RT-85-10495)				
NN-Hyväksyjän nimi	vast. mestari NN	valvoja NN	rak.tarkastaja NN	vast. rak.suunnittelija NN
Nurjahdustukien asennus ok				
Pystysuoruus ok				
Alapaarrien käyryys ok				
Yläpaarrien käyryys ok				

MITOITUKSESSA KÄYTETTY TERÄSBETONIN TILAVUUSPAINOA 25 kN/m³

Nurjahdustuettavien sauvojen normaaliavoima nurjarahdusliitoksissa [kN] sekä yhdellä vinolautaparilla tuettavien sauvojen max lukumäärä.

Nro	Nd,max	Lkm	Alkaik
1	-0.2	--	Ke

ANKKUROITAVA VAAKAVOIMA $F_d=4,53$ kN TUELLA 2

