
PUURAKENTEISEN VÄLIPOHJALIITTYMÄN KESTÄVYYS

RunkoPES 2.0 -välipohjaliittymä DV401KR



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Rakennustekniikka

Visamäki, syksy 2014

Mikko Piirto



VISAMÄKI

Rakennustekniikan koulutusohjelma
Rakennetekniikka

Tekijä	Mikko Piirto	Vuosi 2014
Työn nimi	Puurakenteisen välipohjaliittymän kestävyys	

TIIVISTELMÄ

Tämän työn toimeksiantajana toimi Finnish Wood Research Oy, joka on voittoa tavoittelematon puutuotealan yhteistutkimusyhtiö. Työn tavoitteena oli selvittää koekuormitusten avulla välipohjaliittymän DV401KR kestävyys pysty- ja vaakakuormalle ja verrata niitä laskelmilla saatavaan kestävyteen.

Työ alkoi koesuunnitelmalla, joka piti sisällään koekappaleiden päämitat ja koejärjestelyt. Työ eteni rakennesuunnitteluun, jossa määriteltiin koekappaleiden kestävyudet ja liitoksiin soveltuvat liittimet. Koekappaleet rakennettiin tehtyjen suunnitelmien mukaan ja koekuormitukset toteutettiin koesuunnitelman mukaan kuormituskehällä.

Kuormituskokeet antoivat tietoa liittymän kokonaisuuden ja sen eri osien käyttäytymisestä. Työn päätuloksena ovat taulukot, joiden avulla voidaan verrata koekuormituksilla ja laskelmilla saatuja arvoja toisiinsa. Taulukoiden avulla nähdään kuormien aiheuttamat siirtymät ja tietoja voidaan hyödyntää puurakenteiden suunnittelussa. Jatkotutkimuksia olisi hyvä tehdä kaksinkertaisen runkotolpan rakenteelle, koska kokeissa esiintyi halkeamia.

Avainsanat Puurakentaminen, rakenteet, lujuus, vertaileva tutkimus

Sivut 53 s. + liitteet 1 s.

VISAMÄKI

Degree Programme in Building and Construction Engineering
Structural Engineering

Author

Mikko Piirto

Year 2014

Subject of Bachelor's thesis

Resistance of wooden intermediate floor connection

ABSTRACT

This Bachelor's thesis was commissioned by Finnish Wood Research Oy. The company is a non-profit wood products industry joint research company. The objective of this thesis was to study the resistance of the intermediate floor connection DV401KR to vertical and horizontal loads by test loads and to compare them to the calculated resistance.

The thesis was started by a test plan which included the main dimensions of test specimens and test arrangements. This was followed by structural design which defined the resistance of the test specimens and suitable connectors for joints. The test specimens were built according to the structural designs and load testing was conducted according to the test plan in a load frame.

The load tests gave information about the behavior of the whole connection and its various joints. As a result of the thesis tables were obtained which can be used to compare the results of the load tests to the calculated values. The tables give information about the displacement due to the load and that data can be used to design wood structures. It would be good to conduct further studies on a double stud structure because of the fractures that appeared in the load tests.

Keywords Wood construction, structures, resistance, strength, comparative research

Pages 53 p. + appendices 1 p.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	RUNKOPES 2.0.....	2
2.1	Yleistä.....	2
2.2	Tavoite.....	2
2.3	Vakiointi.....	2
2.4	Runkojärjestelmät.....	2
2.5	Moduulijärjestely	3
3	VÄLIPOHJALIITTYMÄ DV401KR	3
3.1	Yleistä.....	3
3.2	Liittymädetaljikirjasto	3
3.3	Liittymädetaljitunnus	4
3.4	Liittymädetalji DV401KR.....	5
3.5	Koekappaleiden rakennusmateriaalit	5
3.5.1	Kertopuu	5
3.5.2	Vaneri	6
3.5.3	Mitallistettu puutavara.....	6
3.5.4	Liittimet ja pelti	6
4	RAKENNESUUNNITELMA	6
4.1	Eurokoodi	6
4.2	Lujuuslaskennassa käytetyt merkinnät.....	6
4.3	Pystysuuntainen kuormitus	7
4.4	Lujuuslaskelmat pystykuormalle.....	8
4.4.1	Kerto-Q-levyn syysuuntaa vastaan kohtisuora puristuskestävyys	8
4.4.2	Kerto-Q-palkkien syysuuntaa vastaan kohtisuora puristuskestävyys.....	8
4.4.3	Puristetun runkotolpan nurjahduskestävyys (Z-suuntaan)	9
4.4.4	Johtopäätökset	9
4.5	Vaakasuuntainen kuormitus	9
4.6	Lujuuslaskelmat vaakakuormalle.....	10
4.6.1	Kulmalevyn BNV33 leikkauskestävyys ja liitossiirtymät.....	10
4.6.2	Kerto-Q-kansilevyn ja -kehäpalkin liitoksen leikkauskestävyys	11
4.6.3	Kerto-Q-kehäpalkin ja peltiprofiilin liitoksen leikkauskestävyys.....	12
4.6.4	Kerto-Q-kehäpalkin ja runkotolppien liitoksen leikkauskestävyys.....	13
4.6.5	Peltiprofiilin ja vanerin liitoksen leikkauskestävyys ja liitossiirtymät..	14
4.6.6	Vanerin ja runkotolppien liitoksen leikkauskestävyys	15
4.6.7	Koekappaleen ja alapohjan liitoksen leikkauskestävyys	16
4.7	Koekappaleiden rakennepiirustukset ja ohjeistus	17
5	KOEKAPPALEIDEN RAKENTAMINEN	20
5.1	Yleistä.....	20
5.2	Rakennuslaitteet ja työkalut	21
5.3	Kuvia	21
6	KOEKUORMITUKSET	24

6.1	Yleistä.....	24
6.2	Koekuormitukset pystykuormalle	24
6.2.1	IPE-palkki ja teräslevy	24
6.2.2	Mitta-anturit.....	24
6.2.3	Koe 1	25
6.2.4	Koe 2	26
6.2.5	Koe 3	27
6.2.6	Koe 4	28
6.3	Koekuormitukset vaakakuormalle.....	29
6.3.1	Koekappaleiden kiinnitys alapohjaan.....	29
6.3.2	Mitta-anturit.....	30
6.3.3	Koe 5	30
6.3.4	Koe 6	31
7	KOETULOKSET	33
7.1	Koe 1	33
7.1.1	Muodonmuutokset.....	33
7.1.2	Taulukot.....	34
7.2	Koe 2	36
7.2.1	Muodonmuutokset.....	36
7.2.2	Taulukot.....	37
7.3	Koe 3	39
7.3.1	Muodonmuutokset.....	39
7.3.2	Taulukot.....	40
7.4	Koe 4	42
7.4.1	Muodonmuutokset.....	42
7.4.2	Taulukot.....	43
7.5	Koe 5	45
7.5.1	Muodonmuutokset.....	45
7.5.2	Taulukot.....	46
7.6	Koe 6	48
7.6.1	Muodonmuutokset.....	48
7.6.2	Taulukot.....	49
8	JOHTOPÄÄTÖKSET	51
	LÄHTEET	53

Liite 1 Würthin yleisruuvien lujuusominaisuudet



1 JOHDANTO

Vihreäksi kullaksikin kutsuttu metsä on Suomen merkittävin luonnonvara. Maamme pinta-alasta noin 78 prosenttia on metsää. Suomessa metsät kasvavat enemmän kuin niitä hyödynnetään, joten metsänhoito on kestävä. Vuotuinen metsien kasvu Suomessa on reilut 100 miljoonaa kuutiometriä puuta, josta voitaisiin kestävästi käyttää noin 75 miljoonaa kuutiometriä. Puun käyttöä voisi huomattavasti lisätä, koska viime vuosina puuta on käytetty vain noin 55 miljoonaa kuutiometriä vuodessa. (Tolppanen, Karjalainen, Lahtela & Viljakainen 2013, 11-12.)

Puun käyttöä rakentamisessa on rajoittanut Suomen rakentamismääräykset. Yli kaksikerroksisten puurunkoisten rakennusten rakentaminen oli Suomen palomääräysten perusteella estetty 1800-luvulta asti. Palomääräykset uudistettiin vuonna 1997 koerakentamishankkeina toteutettujen puukerrostalojen hyvien kokemusten perusteella. Puun käyttö rakennusten rungoissa ja julkisivuissa tuli taulukkomitoituksella aiempaa laajemmin mahdolliseksi aina nelikerroksisiin rakennuksiin saakka. (Tolppanen ym. 2013, 16-17.)

Suomen puukerrostalorakentamista ryhdyttiin uudistamaan vuoden 2009 alusta muutaman vuoden hiljaiselon jälkeen. Yksi syy oli Ruotsin myönteiset kokemukset puukerrostalorakentamisesta. Toisena merkittävänä tekijänä oli suurten metsäyhtiöiden kiinnostuminen puurakentamisen järjestelmien kehittämisestä ja puurakentamisen nopea teollistuminen. Ymmärrys puukerrostalorakentamisen nopeudesta on vauhdittanut teollista puukerrostalorakentamista. Palomääräykset uudistettiin keväällä 2011, jolloin puu sai yhä tasapuolisemman aseman rakennusmateriaalina. Puukerrostaloja voitiin näin rakentaa aina kahdeksaan kerrokseen saakka. (Tolppanen ym. 2013, 18-19.)

Tämän opinnäytetyön aiheena on teolliseen puurakentamiseen kehitetyn avoimen puuelementtirakentamisen teollisuusstandardiin eli RunkoPESiin kuuluvan välipohjaliittymän DV401KR kestävyuden tutkiminen. Opinnäytetyön tilaajana toimi Finnish Wood Research Oy, joka on voittoa tavoittelematon puutuotealan yhteistutkimusyhtiö. Finnish Wood Research Oy suunnittelee ja toteuttaa puutuotealan yritysten liiketoiminnan kannalta oleellisen tärkeitä tuotekehitys-, tutkimus- ja innovaatiohankkeita. Yhtiön tavoitteena on suomalaisten puutuotealan yritysten liiketoiminnan kehittyminen ja kasvu. (Tolppanen ym. 2013, 11; Finnish Wood Research Oy 2014.)

Opinnäytetyön tavoitteena on saada selville koekuormituksien avulla välipohjaliittymän kestävyys pysty- ja vaakakuormalle ja verrata niitä laskelmilla saatavaan kestävyYTEEN. Tarkasteltavia asioita pystykuormalla ovat runkotolppien aiheuttama leimapaine ja muodonmuutokset välipohjan kansilevyssä sekä kehäpalkissa. Tarkasteltavia asioita vaakakuormalla ovat ruuvi- ja kulmalevyliitoksien kestävyys ja muodonmuutokset liittymässä.

2 RUNKOPES 2.0

2.1 Yleistä

RunkoPES tarkoittaa puuelementtirakentamisen yleisiä suunnitteluperiaatteita ja suosituksia. Lyhenne PES on yhtä kuin PuuElementtiStandardi. Päivitetty versio standardista on RunkoPES 2.0. RunkoPES on avoin puuelementtirakentamisen teollisuusstandardi, joka vakioi puuelementtirakentamista asuntotuotannossa. Avoimessa järjestelmässä voidaan suunnitella ja toteuttaa rakennukset käyttämällä eri valmistajien tuotteita ja ratkaisuja samassa hankkeessa. Suunnitteluperiaatteet soveltuvat käytettäväksi pienaloista kerrostaloihin voimassa olevien rakennusmääräysten mukaisesti. (Tolppanen ym. 2013, 30 ja 34; RunkoPES 2.0 osa 0 2013, 1.)

2.2 Tavoite

RunkoPES-kehitystyön tavoitteena on luoda käyttökelpoinen ja kilpailukykyinen rakennustapa tilaajille, suunnittelijoille ja toteuttajille. Tarkoituksena on saada puurakentamisen tuotantoprosessia sujuvammaksi ja yhdenmukaisemmaksi sekä parantaa tilaajan hankintamahdollisuuksia tarjoamalla samaan aikaan useamman suunnittelijan ja valmistajan ratkaisuja. Lisäksi tavoitteena on helpottaa tarvittavien viranomaishyväksyntöjen saamista ja antaa yhteiset pelisäännöt puuelementtien toimitussisältöihin ja sopimusehtoihin. Tarkoituksena on myös luoda yhtenäiset laatua koskevat kriteerit suunnittelulle ja toteutukselle sekä mahdollistaa eri valmistajien ratkaisujen liitettävyyden toisiinsa suunnittelussa ja työmaalla. (Tolppanen ym. 2013, 36; RunkoPES 2.0 osa 0 2013, 1.)

2.3 Vakiointi

RunkoPESin vakioinnin lähtökohtana on mahdollisimman joustava järjestelmä. Vakioituna on liittymien geometria, kiinnitys- ja tiivistysperiaatteet sekä moduuliviivojen asema suhteessa rakenteeseen. Järjestelmä antaa lisäksi suosituksia rakennepaksuuksien, vaakarakenteiden jännevälimittojen ja kerroskorkeuksien suhteen. Vakioinnin ansioista pääsuunnittelijat pysyvät jo suunnittelun alkuvaiheessa muodostamaan rakennuksen rungon elementtikaaviot tietämättä vielä elementtitoimittajaa. Liittymien geometrian vakiointi mahdollistaa eri valmistajien elementtien liittämisen toisiinsa ja yksinkertaistaa liittymän tiivistämisen sekä kuormien johtamisen perustuksille. (Tolppanen ym. 2013, 38; RunkoPES 2.0 osa 0 2013, 1.)

2.4 Runkojärjestelmät

Rakennuksen kantavien ja jäykistävien rakennusosien muodostamaa kokonaisuutta kutsutaan runkojärjestelmäksi. Runkoratkaisu voi olla kantavaseinäinen tai pilari-palkkirakenteinen. Kantavat seinät -järjestelmässä kantavina rakenteina toimivat seinät, joille vaakarakenteiden kuormat johdetaan kerroksittain. Se voidaan toteuttaa joko rankarakenteisina tai massiivipuisilla suurelementeillä. Pilari-palkkijärjestelmässä rakennuksen

Puurakenteisen välipohjaliittymän kestävyys

runko muodostetaan liima- tai kertopuisilla pilareilla ja palkeilla. Tuossa järjestelmässä väli- ja yläpohjatasot sekä ulkoseinät tukeutuvat palkkien varaan. (Tolppanen ym. 2013, 30, 39 ja 46.)

2.5 Moduulijärjestely

RunkoPES antaa yksinkertaiset suositukset, miten rakennus mitoitetaan ja mihin mittalinjat asetetaan. Kantavien seinäelementtien ja pilari-palkkirungon tapauksessa RunkoPES sisältää kaksi moduuliviivastoa. M-moduuli on tarkoitettu arkkitehdille, joka mitoittaa rakennuksen normaaliin tapaan valmiiden pintojen mukaan. Mitoista voidaan päätellä tilamitoituksen määräysten mukaisuus ja määrittää pinta-alat. Arkkitehtisuunnittelijalle tarkoitettu moduuliviivasto kulkee ulkoseinissä seinäelementin sisäpinnassa ja väliseinissä elementin keskellä. R-moduuli on tarkoitettu rakennesuunnittelijan ja työmaan käyttöön. Rakennesuunnittelija mitoittaa rakennuksen asennuslinjojen mukaan, jotka sijaitsevat rakenteen sisässä kerroksittain aina samassa kohdassa. Asennuslinjaa käytetään lähtötietoina, ala-, väli- ja yläpohjien sekä seinäelementtien mitoituksessa. (Tolppanen ym. 2013, 39; RunkoPES 2.0 osa 1 2013, 1.)

3 VÄLIPOHJALIITTYMÄ DV401KR

3.1 Yleistä

Tämä opinnäytetyö keskittyy RunkoPES 2.0 -materiaalissa esitettyyn välipohjaliittymään DV401KR. Kyseessä on kantavan rankarakenteisen ulkoseinän liittymä välipohjaan maksimissaan nelikerroksisessa puukerrostalossa. Kyseinen liitos on liittymädetaljikirjastosta, jossa esitetyt detaljit ovat esimerkkejä ja suunniteltu niin, että rakenteilla voidaan täyttää Suomen rakentamismääräykset käytössä olevien mitoitusmenetelmien avulla. Liittymä on suunniteltu P2-paloluokan asuinkerrostaloon ja lähtökohtana on ollut RakMK:n osan E1 taulukkomitoituksen vaatimusten täyttäminen. (RunkoPES 2.0 osa 12 2013, 1, 5.)

3.2 Liittymädetaljikirjasto

Liittymädetaljikirjaston tarkoituksena on ohjeistaa rakennusliikkeitä ja rakennuttajia sekä päärakennesuunnittelijoita elementtien reunamuodoissa ja kiinnityksissä. Lisäksi ohjeistetaan pysty- ja vaakakuormien siirtoreitit ja elementtisaumojen tiivistämiset. (RunkoPES 2.0 osa 12 2013, 1.)

Rakennusliikkeen ja rakennuttajan näkökulmasta tärkein tehtävä liittymädetaljikirjastolla on esittää, millaisia liittymädetaljeja P2-paloluokan kerrostalossa voidaan käyttää ja kuinka näiden erilaisten rakennetyyppien yhdisteleminen onnistuu. Rakennusliike ja rakennuttaja voivat näin valita omaan tuotantoonsa sopivat rakenteet ja niiden liittymät. Valitsemansa päärakennesuunnittelijan avulla rakennuttaja ja rakennusliike voivat laatia elementtikaaviot valitsemistaan rakenteista ja kilpailuttaa elementtitoimitukset eri toimijoiden kesken. (RunkoPES 2.0 osa 12 2013, 1.)

Puurakenteisen välipohjaliittymän kestävyys

Rakennesuunnittelun näkökulmasta liittymädetaljikirjaston tärkein tehtävä on päärakennesuunnittelijan pääseminen heti ensimmäisistä luonnoksista suunnittelemaan palo- ja lujusteknisiä seikkoja. Esimerkkidetali- jen perusteella päärakennesuunnittelija pääsee laatimaan elementtikaaviot ja mittaamaan rakennuksen jäykistystä, vaikka elementtitoimittajaa ei ole vielä valittu. Päärakennesuunnittelija voi myös valita rakennetyyppikirjasto- ta rakenteita ja yhdistellä niitä liittymädetaljikirjastossa esitetyillä periaat- teilla. (RunkoPES 2.0 osa 12 2013, 2.)

Elementtitoimittajan näkökulmasta liittymädetaljikirjaston tärkein tehtävä on esittää elementtien reunamuodot, joiden sisään elementtitoimittajan käyttämä ratkaisu sovitetaan. Elementtitoimittaja voi liittymän muodon si- sällä muunnella liittymässä olevia materiaaleja ja niiden mittoja vapaasti. (RunkoPes 2.0 osa 12 2013, 3.)

Liittymädetaljikirjastoa voidaan soveltaa niin, että arkkitehtisuunnittelija laatii normaaliin tapaan rakennuksen pohja- ja leikkauspiirustukset. Päära- kennesuunnittelija sovittaa liittymädetaljen reunamuodot arkkitehtisuun- nitelmassa sille varattuun tilaan. Näin hän pääsee laatimaan elementtikaa- viot ja tutkimaan rakenteiden lujusteknistä mitoitus- ja rakennuksen jäy- kistystä. (RunkoPES 2.0 osa 12 2013, 3.)

3.3 Liittymädetaljitus

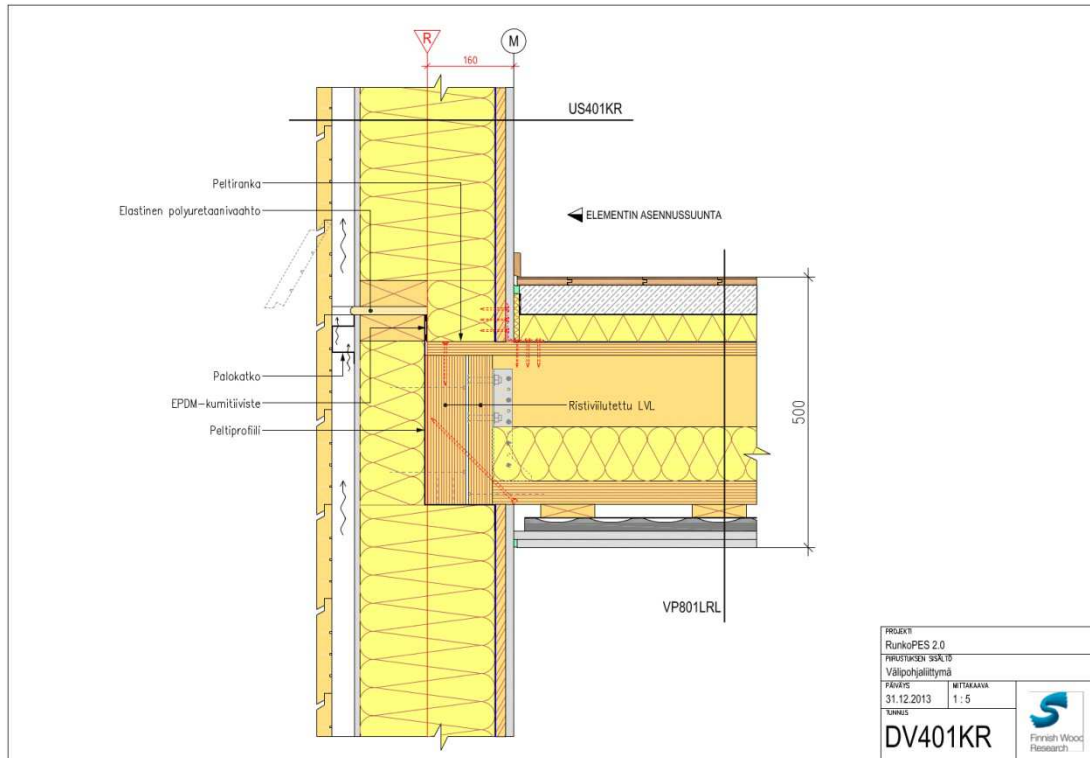
Liittymädetaljin tunnus koostuu alla olevan kuvan 1 esimerkin mukaisesti.



Kuva 1. Liittymädetaljitus (RunkoPES 2.0 osa 12 2013, 4).

3.4 Liittymädetalji DV401KR

Tutkittavan liittymän detalji näkyy alla olevassa kuvassa 2.



Kuva 2. Liittymädetalji DV401KR (RunkoPES 2.0 osa 12 2013, 23).

3.5 Koekappaleiden rakennusmateriaalit

Opinnäytetyötä varten rakennetut koekappaleet valmistettiin liittymän DV401KR lujuusteknisesti oleellisista osista eli kantavista rakenteista. Koekappaleissa käytetyt rakennusmateriaalit olivat CE-merkittyjä, joka on eurooppalainen vaatimustenmukaisuusmerkintä. CE-merkinnällä rakennustuotteen valmistaja vakuuttaa, että tuote täyttää rakennustuotedirektiivissä esitetyt turvallisuus- ja terveellisyysvaatimukset. (Siikanen 2008, 128.)

3.5.1 Kertopuu

Kertopuu valmistetaan liimaamalla yhteen jatkuvaksi palkiksi noin 3 mm paksuja sorvattuja havupuuviiluja. Koekappaleissa käytettiin kuudesta valmistettuja Metsä Woodin Kerto-Q-puulevyjä, joissa osa viiluista on liimattu pääsuuntaa nähden poikittain, sekä myös kuudesta valmistettuja Metsä Woodin Kerto-S-palkkeja, joissa viilukerrosten syysuunta on pitkitäinen. (Siikanen 2008, 106.)

Puurakenteisen välipohjaliittymän kestävyys

3.5.2 Vaneri

Vaneri on ohuista sorvatuista puuviiluista liimaamalla valmistettu puulevy, jossa päällekkäisten viilujen syyt ovat kohtisuorassa toisiaan vasten. Standardirakenteisessa vanerissa pintaviilujen syysuunta on sama, koska viiluja on pariton määrä. Koekappaleissa käytettiin havuvaneria, jonka viilupaksuus on 3 mm. (Siikanen 2008, 111.)

3.5.3 Mitallistettu puutavara

Mitallistettu puutavara on mittatarkaksi paksuudeltaan tai leveydeltään karkeahöylättyä tai hienosahattua puutavaraa. Kantavissa rakenteissa tai niiden osissa käytetylle rakennepuutavarakkeelle on asetettu vähimmäivaatimuksia lujuus- ja kimmo-ominaisuuksille. Koekappaleissa käytettiin mitallistettua lujuusluokan C-24 kuusta. (Siikanen 2008, 96.)

3.5.4 Liittimet ja pelti

Koekappaleissa käytettiin kulmalevyinä ja palkkikenkinä Simpson Strong-Tien tuotteita. Ruuvit olivat Würthin, Friulsiderin ja Simpson Strong-Tien tuotteita. Peltiranka ja peltiprofiili olivat ohutta teräspeltiä.

4 RAKENNESUUNNITELMA

4.1 Eurokoodi

Eurokoodit ovat eurooppalaisia standardeja, jotka koskevat kantavien rakenteiden suunnittelua. Eurokoodit kattavat varmuuden määrittämisperiaatteet, erilaiset kuormat kuten hyöty-, lumi- ja tuulikuormat sekä lämpö-, onnettomuus- ja nosturikuormat. Rakennusmateriaaleille on määritetty omat yksityiskohtaiset ohjeet. Standardien soveltaminen vaatii kansallisten liitteiden laatimista, joista Suomessa talonrakentamisen osalta vastaa Ympäristöministeriö. (Eurokoodi help desk 2014.)

Puurakenteiden mitoitus tehdään Eurokoodeilla: standardien EN 1990 Suunnittelun perusteet, EN 1991 Rakenteiden kuormitukset ja EN 1995 Puurakenteiden suunnittelu sekä standardien kansallisten liitteiden perusteella. Puurakenteiden mitoituksessa otetaan huomioon rakenteiden käyttöluokka ja kuormitusten aikaluokka, jotka vaikuttavat käytettävän puutavaran ja liitosten lujuusmitoitustarvoihin. Rakenteiden kuormitukset määritetään käyttäen samaa normia kuin rakenteiden mitoituksessa. (Tolppanen ym. 2013, 86.)

4.2 Lujuuslaskennassa käytetyt merkinnät

d_{ef} : ruuvin tehollinen halkaisija

d_i : ruuvin kierteisen osan sisähalkaisija

$f_{c,0,d}$: puristuslujuuden mitoitusarvo syiden suunnassa

$f_{c,0,k}$: puristuslujuuden ominaisarvo syiden suunnassa

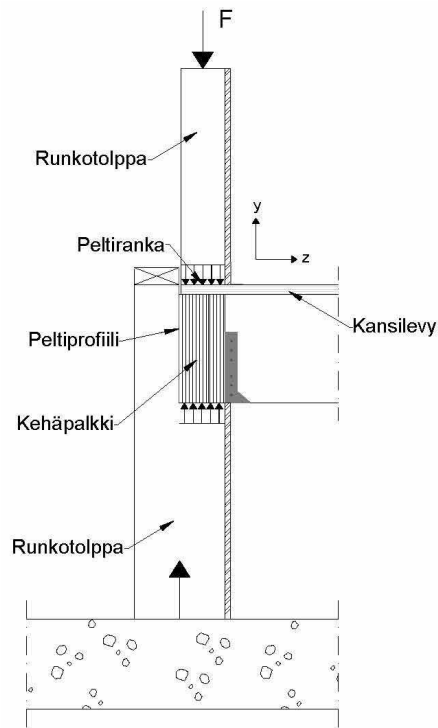
Puurakenteisen välipohjaliittymän kestävyys

$f_{c,90,d}$: puristuslujuuden mitoitusarvo kohtisuorassa syysuuntaa vastaan
 $f_{c,90,edge,k}$: puristuslujuuden ominaisarvo poikittain syrjällään
 $f_{c,90,flat,k}$: puristuslujuuden ominaisarvo poikittain lappeellaan
 $F_{ef,d}$: puun syysuuntaan sijoitettujen liittimien tehollinen liitoskestävyys
 F_d : voiman mitoitusarvo
 $f_{h,1,k}$: puuosan reunapuristuslujuuden ominaisarvo
 $F_{v,Rk}$: liitoksen kestävyuden ominaisarvo
 i_y : poikkileikkauksen jäyhyysäde y-akselin suhteen
 $k_{c,y}$: nurjahduskerroin y-akselin suhteen
 k_{mod} : kuorman keston ja kosteusvaikutuksen muunnoskerroin
 K_{ser} : siirtymäkerroin
 K_u : murtorajatilassa vaikuttavan liitoksen keskimääräinen siirtymäkerroin
 $L_{c,z}$: nurjahduspituus z-akselin suunnassa
 $M_{y,Rk}$: liittimen myötömomentin ominaisarvo
 N_d : normaalivoiman maksimiarvo
 n_{ef} : tehollisten liittimien lukumäärä liitinrivissä
 R_d : kestävyuden mitoitusarvo
 R_k : kestävyuden ominaisarvo
 γ_M : materiaalin jäykkyys- ja kestävyysominaisuuksien osavarmuusluku
 λ_y : hoikkuusluku y-akselin suhteen
 ρ_k : puutavaran ominaistiheys
 $\sigma_{c,90,d}$: kosketuspinnalla vaikuttavan puristusjännityksen mitoitusarvo
 $\sigma_{c,90,d}$: syysuuntaisen puristusjännityksen mitoitusarvo
(RIL 205-1-2009:2009, 25, 47, 50, 66, 73 ja 95; EN1995-1-1-2005:2008, 14-16.)

4.3 Pystysuuntainen kuormitus

Pystysuuntainen kuormitus kulkee runkotolppien ja peltirangan kautta kansilevyllä, josta se siirtyy kehäpalkin ja peltiprofiilin kautta alemmille runkotolpille kuvan 3 tavalla.

Puurakenteisen välipohjaliittymän kestävyys



Kuva 3. Pystysuuntainen kuormitus

4.4 Lujuuslaskelmat pystykuormalle

Lujuuslaskelmat on tehty murtorajatilassa, jolloin huomioon on otettu materiaaliominaisuudet, materiaalien ajasta riippuva toiminta ja ilmasto-olosuhteet. Mitoituksessa tarkistetaan, etteivät rakenteeseen vaikuttavien jännitysten mitoitusarvo ylitä rakenteen lujuuden mitoitusarvoja. (RIL 205-1-2009:2009, 24.)

4.4.1 Kerto-Q-levyn syysuuntaa vastaan kohtisuora puristuskestävyys

$$\gamma_M = 1,2$$

$$k_{\text{mod}} = 0,8$$

$$f_{c,90,\text{flat},k} = 2,2 \text{ N/mm}^2$$

$$A = 48 \text{ mm} \cdot 123 \text{ mm} \quad \text{runkotolpan poikkileikkauksen pinta-ala}$$

$$A = 5,9 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$f_{c,90,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{c,90,\text{flat},k}}{\gamma_M} = 1,47 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{c,90,d} = f_{c,90,d}$$

Mitoitusehto:

$$\sigma_{c,90,d} \leq f_{c,90,d}$$

$$N_d = \sigma_{c,90,d} \cdot A = 8,66 \text{ kN}$$

(RIL 205-1-2009:2009, 44 ja 66.)

4.4.2 Kerto-Q-palkkien syysuuntaa vastaan kohtisuora puristuskestävyys

$$\gamma_M = 1,2$$

$$k_{\text{mod}} = 0,8$$

Puurakenteisen välipohjaliittymän kestävyys

$$f_{c,90,edge,k} = 9,0 \text{ N/mm}^2$$
$$A = 48 \text{ mm} \cdot 123 \text{ mm} = 5,9 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$
$$f_{c,90,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,90,edge,k}}{\gamma_M} = 6,0 \text{ N/mm}^2$$
$$\sigma_{c,90,d} = f_{c,90,d}$$

Mitoitusehto:

$$\sigma_{c,90,d} \leq f_{c,90,d}$$
$$N_d = \sigma_{c,90,d} \cdot A = 35,42 \text{ kN}$$

(RIL 205-1-2009:2009, 44 ja 66.)

4.4.3 Puristetun runkotolpan nurjahduskestävyys (Z-suuntaan)

$$\sigma_{c,0,d} = 1,47 \text{ N/mm}^2$$
$$\gamma_M = 1,4$$
$$k_{mod} = 0,8$$
$$L = 600 \text{ mm} \quad \text{runkotolpan pituus}$$
$$h = 123 \text{ mm} \quad \text{runkotolpan poikkileikkauksen korkeus}$$
$$L_{c,z} = 2,5 \cdot L = 2,5 \cdot 600 \text{ mm} = 1500 \text{ mm}$$
$$i_y = \frac{h}{\sqrt{12}} = 35,5 \text{ mm}$$
$$\lambda_y = \frac{L_{c,z}}{i_y} = 42,25$$
$$k_{c,y} = 0,87$$

Nurjahduskerroin k_c saadaan kuvasta 6.9S (RIL 205-1-2009:2009, 73).

$$f_{c,0,k} = 21,0 \text{ N/mm}^2$$
$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 12,0 \text{ N/mm}^2$$

Mitoitusehto:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} = 0,14 \leq 1$$

(RIL 205-1-2009:2009, 73-74.)

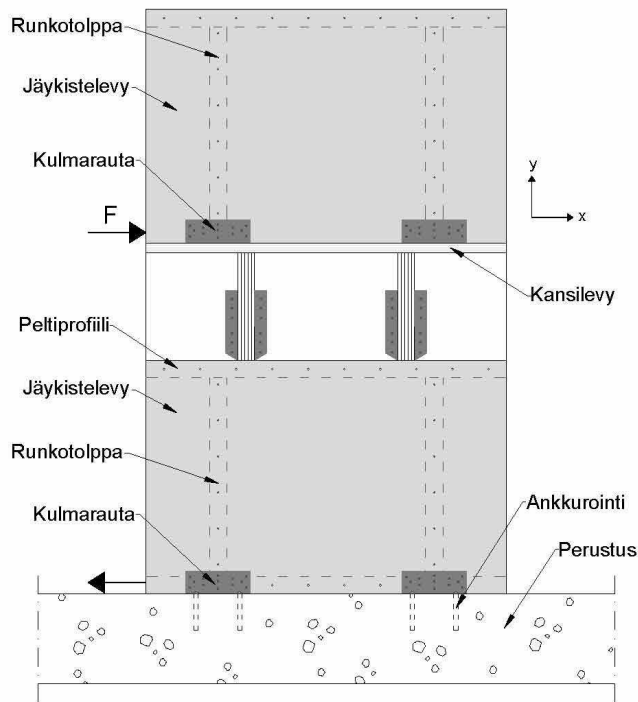
4.4.4 Johtopäätökset

Kerto-Q-levyn puristuslujuus on määrittävin osa koekappaletta. Mitoituslujuus on kahdelle runkotolpalle $8,66 \text{ kN} \cdot 2 = 17,3 \text{ kN}$ ja kahdelle tuplatolpalle $8,66 \text{ kN} \cdot 4 = 34,6 \text{ kN}$.

4.5 Vaakasuuntainen kuormitus

Vaakasuuntainen kuormitus kulkee seinän jäykistelevyn kulmaraudan kautta kansilevyllä, josta kuorma siirtyy kehäpalkin kautta peltiprofiiliin, josta taas alemman jäykistelevyn kautta perustuksille kuvan 4 tavalla.

Puurakenteisen välipohjaliittymän kestävyys



Kuva 4. Vaakasuuntainen kuormitus

4.6 Lujuuslaskelmat vaakakuormalle

Lujuuslaskelmat on tehty murtorajatilassa, jolloin huomioon on otettu materiaaliominaisuudet, materiaalien ajasta riippuva toiminta ja ilmasto-olosuhteet. Mitoituksessa tarkistetaan, etteivät rakenteeseen vaikuttavien voimien mitoitusarvo ylitä rakenteen kestävyuden mitoitusarvoja. (RIL 205-1-2009:2009, 24.)

4.6.1 Kulmalevyn BNV33 leikkauskestävyys ja liitossiirtymät

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

$$k_{\text{mod}} = 1,1$$

$$\gamma_M = 1,4$$

$$R_d = k_{\text{mod}} \cdot \frac{R_k}{\gamma_M} = 8,4 \text{ kN}$$

Kaksi kulmalevyä metrin matkalla

$$a = 110 \text{ mm}$$

päätetyäisyys

$$t = 15 \text{ mm}$$

vanerin paksuus

$$d = 1,5 \text{ mm}$$

kulmalevyn paksuus

$$n_{\text{ef}} = \min \left\{ \begin{array}{l} n_i \\ n_i^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a \cdot t}{50 \cdot d^2}} \end{array} \right.$$

$$n_{\text{ef}} = \min \left\{ \begin{array}{l} 2 \\ 3,65 \end{array} \right.$$

$$F_{\text{ef},d} = n_i \cdot R_d = 16,8 \text{ kN}$$

$$F_d = 16,8 \text{ kN}$$

Puurakenteisen välipohjaliittymän kestävyys

(Puurakennuskiinnikkeet 2014, 7 ja 40; RIL 205-1-2009:2009, 95 ja 115-116.)

Liitossiirtymä koekappaleen yläpuolisen vanerin ja kansilevyn välillä

$$\rho_{m,1} = 460 \text{ kg/m}^3 \quad \text{vanerin keskitiheys}$$

$$\rho_{m,2} = 510 \text{ kg/m}^3 \quad \text{Kerto-Q-levyn keskitiheys}$$

$$\rho_m = \sqrt{\rho_{m,1}\rho_{m,2}}$$

$$\rho_m = 484,36 \text{ kg/m}^3$$

$$d_i = 3,15 \text{ mm}$$

$$d_{ef} = 1,1 \cdot d_i = 3,47 \text{ mm}$$

$$K_{ser} = \rho_m^{1,5} d_{ef} / 23$$

$$K_{ser} = 1608,25 \text{ N/mm}$$

$$K_u = \frac{2}{3} K_{ser}$$

$$K_u = 1072,17 \text{ N/mm}$$

(RIL 205-1-2009:2009, 25, 89 ja 121; ETA-04/0013: 2009, 9.)

4.6.2 Kerto-Q-kansilevyn ja -kehäpalkin liitoksen leikkauskestävyys

Liittimenä 2,8 mm x 75 mm lankanauha.

$$k_{mod} = 1,1$$

$$\gamma_M = 1,2$$

$$\rho_k = 480 \text{ kg/m}^3$$

$$d = 2,8 \text{ mm} \quad \text{naulan paksuus}$$

$$t_1 = 27 \text{ mm} \quad \text{kansilevyn paksuus}$$

$$t_2 = 75 \text{ mm} - 27 \text{ mm} \quad \text{naulan tunkeuma kehäpalkissa}$$

$$t_2 = 48 \text{ mm}$$

$$t_1 \geq 8d$$

$$27 \text{ mm} \geq 22,4 \text{ mm}$$

$$t_2 \geq 12d$$

$$48 \text{ mm} \geq 33,6 \text{ mm}$$

(RIL 205-1-2009:2009, 50 ja 101.)

Naulojen esiporaaminen kansilevyyn kaavan 8.18 mukaan:

$$t = \max \left\{ \begin{array}{l} 7d \\ (13d - 30) \frac{\rho_k}{400} \end{array} \right.$$

$$t = \max \left\{ \begin{array}{l} 19,6 \\ 7,68 \end{array} \right.$$

$$t < t_1$$

(EN1995-1-1-2005:2008, 58.)

Naulojen esiporaaminen kehäpalkkiin kaavan 8.19 mukaan:

$$t = \max \left\{ \begin{array}{l} 14d \\ (13d - 30) \frac{\rho_k}{200} \end{array} \right.$$

$$t = \max \left\{ \begin{array}{l} 39,2 \\ 15,36 \end{array} \right.$$

$$t < t_2$$

(EN1995-1-1-2005:2008, 59.)

Naulat kiinnitetään esiporaamattomina

Puurakenteisen välipohjaliittymän kestävyys

$$R_k = 120d^{1,7}$$

$$R_k = 690,79 \text{ N}$$

$$k_p = \sqrt{\frac{\rho_k}{350}}$$

$$k_t = \max \left\{ \begin{array}{l} 1 + 0,3 \cdot \frac{t_1 - 8d}{8d} \\ 1 + 0,3 \cdot \frac{t_2 - 12d}{6d} \end{array} \right.$$

$$R_d = \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M} \cdot k_p \cdot k_t \cdot R_k$$

$$R_d = 933,5 \text{ N}$$

$$\frac{F_d}{22} = \frac{16,8 \text{ kN}}{22} = 763,6 \text{ N} < R_d = 933,5 \text{ N}$$

(RIL 205-1-2009:2009, 103-104.)

Kulmaraudan ja Kerto-Q-kehäpalkin välillä on epäkeskisyyttä. Momentti otetaan vastaan palkin päätyjen reunimmaisilla nauloilla, joiden välinen etäisyys on:

$$h = 1000 \text{ mm} - (70 + 70 + 70) \text{ mm} = 790 \text{ mm}$$

$$e = 120 \text{ mm} \quad \text{epäkeskisyyttä}$$

$$F_d = 16,8 \text{ kN}$$

$$Q_M = \frac{e}{h} \cdot F_d \quad \text{momentista aiheutuva leikkausvoima}$$

$$Q_M = \frac{120 \text{ mm}}{790 \text{ mm}} \cdot 16800 \text{ N}$$

$$Q_M = 2551,9 \text{ N}$$

$$Q_T = 763,64 \text{ N} \quad \text{leikkausvoima jokaisessa naulassa}$$

$$Q = \sqrt{Q_M^2 + Q_T^2} \quad \text{uloimpien naulojen resultoiva leikkausvoima}$$

$$Q = 2663,7 \text{ N}$$

Voima jaetaan neljälle uloimmalle naulalle:

$$\frac{Q}{4} = 665,9 \text{ N} < R_d = 933,5 \text{ N}$$

(Outinen, Salmi & Vulli 2007, 163.)

4.6.3 Kerto-Q-kehäpalkin ja peltiprofiilin liitoksen leikkauskestävyys

Liittimenä 2,8 mm x 75 mm lankanaula.

$$k_{\text{mod}} = 1,1$$

$$\gamma_M = 1,25$$

$$\rho_k = 480 \text{ kg/m}^3$$

$$d = 2,8 \text{ mm} \quad \text{naulan paksuus}$$

$$t = 75 \text{ mm} - 0,7 \text{ mm} \quad \text{naulan tunkeuma kehäpalkissa}$$

$$t = 74,3 \text{ mm}$$

$$t \geq 12d$$

$$74,3 \text{ mm} \geq 33,6 \text{ mm}$$

$$t_t = 0,7 \text{ mm} \quad \text{ohut teräslevy}$$

$$t_t \leq 0,5d$$

$$0,7 \text{ mm} \leq 1,4 \text{ mm}$$

Naulat kiinnitetään esiporaamattomina ja teräslevy esiporataan 2 mm:n terällä. Naulan ominaisleikkauskestävyys kerrotaan kertoimella:

Puurakenteisen välipohjaliittymän kestävyys

$$k_s = 1,1 \cdot k_p = 1,28$$

$$k_p = \sqrt{\frac{\rho_k}{350}} = 1,17$$

$$R_k = 120d^{1,7}$$

$$R_k = 690,79 \text{ N}$$

$$R_d = \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M} \cdot k_s \cdot R_k$$

$$R_d = 783,3 \text{ N}$$

$$\frac{F_d}{18} = \frac{16,8 \text{ kN}}{18} = 763,6 \text{ N} < R_d = 783,3 \text{ N}$$

Kehäpalkin ja runkotolppien ruuvit ottavat myös leikkausvoimaa, joten mitoitus varmalla puolella.

(RIL 205-1-2009:2009, 108.)

4.6.4 Kerto-Q-kehäpalkin ja runkotolppien liitoksen leikkauskestävyys

Liittimenä kooltaan 5 mm x 120 mm Würthin yleisruuvi.

$$M_{y,Rk} = 6\,647 \text{ Nmm}$$

$$k_{\text{mod}} = 1,1$$

$$\gamma_M = 1,4$$

$$t_1 = (120 - 69 - 0,7) \text{ mm} \quad \text{ruuvin tunkeuma runkotolpassa}$$

$$t_1 = 50,3 \text{ mm}$$

$$d_i = 3,2 \text{ mm}$$

$$d = 5 \text{ mm} \quad \text{ruuvin ulkohalkaisija}$$

$$d_{\text{ef}} = 1,1 \cdot d_i = 3,52 \text{ mm}$$

$$\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3 \quad \text{runkotolpan tiheys}$$

Ruuvit esiporataan 3 mm:n terällä, jotta sallittu reunaetäisyys täyttyy.

(RIL 205-1-2009:2009, 121; liite 1.)

Reunapuristuslujuuden ominaisarvo määritetään kaavan 8.32 mukaan:

$$f_{h,1,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d_{\text{ef}}) \cdot \rho_k$$

$$f_{h,1,k} = 27,69 \text{ N/mm}^2$$

(EN1995-1-1-2005:2008, 64.)

Ruuvin ominaisleikkauskestävyys määritetään kaavan 8.11 mukaan:

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} t_1 d_{\text{ef}} \\ f_{h,1,k} t_1 d_{\text{ef}} \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d_{\text{ef}} t_1^2} - 1} \right] \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,1,k} d_{\text{ef}}} \end{array} \right.$$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 4903 \text{ N} \\ 2215 \text{ N} \\ 1851 \text{ N} \end{array} \right.$$

(EN1995-1-1-2005:2008, 54.)

$$R_d = \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M} \cdot F_{v,Rk}$$

$$R_d = 1,45 \text{ kN}$$

(RIL 205-1-2009:2009, 95.)

Puurakenteisen välipohjaliittymän kestävyys

4.6.5 Peltiprofilin ja vanerin liitoksen leikkauskestävyys ja liitossiirtymät

Liittimenä kooltaan 4,5 mm x 35 mm Friulsiderin yleisruuvi.

$$M_{y,Rk} = 4\,344 \text{ Nmm}$$

$$k_{\text{mod}} = 1,1$$

$$\gamma_M = 1,25$$

$$t_1 = 15 \text{ mm} \quad \text{ruuvien tunkeuma vanerissa}$$

$$d_i = 3 \text{ mm}$$

$$d = 4,5 \text{ mm} \quad \text{ruuvien ulkohalkaisija}$$

$$d_{\text{ef}} = 1,1 \cdot d_i = 3,3 \text{ mm}$$

$$\rho_k = 400 \text{ kg/m}^3 \quad \text{vanerin tiheys}$$

(RIL 205-1-2009:2009, 117 ; Declaration of Performance: 2013.)

Reunapuristuslujuuden ominaisarvo määritetään kaavan 8.36 mukaan:

$$f_{h,1,k} = 0,11 \cdot (1 - 0,01 \cdot d_{\text{ef}}) \cdot \rho_k$$

$$f_{h,1,k} = 42,5 \text{ N/mm}^2$$

(EN1995-1-1-2005:2008, 54.)

Ruuvien ominaisleikkauskestävyys määritetään kaavan 8.9 mukaan:

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,4 f_{h,1,k} t_1 d_{\text{ef}} \\ 1,15 \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,1,k} d_{\text{ef}}} \end{array} \right.$$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 842,4 \text{ N} \\ 1270 \text{ N} \end{array} \right.$$

(EN1995-1-1-2005:2008, 54.)

$$R_d = \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M} \cdot F_{v,Rk}$$

$$R_d = 741,3 \text{ kN}$$

$$\frac{F_d}{18} = \frac{16,8 \text{ kN}}{18} = 763,6 \text{ N} > R_d = 741,3 \text{ N}$$

(RIL 205-1-2009:2009, 95.)

Kehäpalkin ja runkotolppien ruuvit ottavat yli menevän voiman.

$$R_d \cdot 18 = 13\,343 \text{ N}$$

$$F_d - 13\,343 \text{ N} = 3\,456 \text{ N}$$

$$h = 600 \text{ mm} \quad \text{ruuvien välinen etäisyys}$$

$$e = 150 \text{ mm} \quad \text{epäkeskisyyttä}$$

$$Q_M = \frac{e}{h} \cdot 3\,456 \text{ N} \quad \text{momentista aiheutuva leikkausvoima}$$

$$Q_M = \frac{150 \text{ mm}}{600 \text{ mm}} \cdot 3\,456 \text{ N}$$

$$Q_M = 864 \text{ N}$$

$$Q_T = \frac{3\,456 \text{ N}}{4} = 864 \text{ N} \quad \text{leikkausvoima jokaisessa naulassa}$$

$$Q = \sqrt{Q_M^2 + Q_T^2} \quad \text{ruuvien resultoiva leikkausvoima}$$

$$Q = 1\,222 \text{ N}$$

Voima jaetaan kahdelle uloimmalle naulalle:

$$\frac{Q}{2} = 611 \text{ N} < R_d = 1\,450 \text{ N}$$

(Outinen ym. 2007, 163.)

Puurakenteisen välipohjaliittymän kestävyys

Liitossiirtymä koekappaleen alapuolisen vanerin ja peltiprofiilin välillä

$$\rho_m = 460 \text{ kg/m}^3 \quad \text{vanerin keskitiheys}$$

$$d_i = 3 \text{ mm}$$

$$d_{ef} = 1,1 \cdot d_i = 3,3 \text{ mm}$$

$$K_{ser} = \rho_m^{1,5} d_{ef} / 23$$

Teräksen ja puun välisissä liitoksissa arvo K_{ser} kerrotaan kahdella

$$K_{ser} = 1415,54 \text{ N/mm} \cdot 2$$

$$K_u = \frac{2}{3} K_{ser}$$

$$K_u = 1887,39 \text{ N/mm}$$

(RIL 205-1-2009:2009, 25, 89.)

4.6.6 Vanerin ja runkotolppien liitoksen leikkauskestävyys

Liittimenä kooltaan 4,5 mm x 45 mm Friulsiderin yleisruuvi.

$$k_{mod} = 1,1$$

$$\gamma_M = 1,4$$

$$t_1 = 15 \text{ mm} \quad \text{ruuvin tunkeuma vanerissa}$$

$$t_2 = 30 \text{ mm} \quad \text{ruuvin tunkeuma runkotolpassa}$$

$$S = 9 \text{ mm} \quad \text{ruuvin kannan halkaisija}$$

$$d_i = 3 \text{ mm}$$

$$d = 4,5 \text{ mm} \quad \text{ruuvin ulkohalkaisija}$$

$$d_{ef} = 1,1 \cdot d_i = 3,3 \text{ mm}$$

$$R_k = 120 d_{ef}^{1,7}$$

$$R_k = 913,3 \text{ N}$$

Jos ruuvin kierteisen osan pituus kärjen puoleisessa puussa on vähintään $8d_{ef}$ ja ruuvin kannan alla on vähintään $2d_{ef}$ paksu vaneri ja kannan halkaisija on vähintään $2d$, voidaan ominaisleikkauslujuutta korottaa kertoimella 1,15.

$$R_k = 913,3 \text{ N} \cdot 1,15 = 1\,050 \text{ N}$$

$$R_d = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot k_1 \cdot R_k \cdot \min \left\{ \begin{array}{l} 1,0 \\ \frac{t_2}{12d_{ef}} \end{array} \right.$$

$$k_1 = 1$$

$$R_d = \frac{1,1}{1,4} \cdot 1 \cdot 1\,050 \text{ N} \cdot 0,75$$

$$R_d = 618,75 \text{ N}$$

(RIL 205-1-2009:2009, 103, 121.)

Ruuveille tulee leikkausvoimaa:

$$L = 1000 \text{ mm} \quad \text{vanerin leveys}$$

$$h = 600 \text{ mm} \quad \text{jäykistävän vanerin korkeus}$$

$$F_d = 16,8 \text{ kN} \quad \text{leikkausvoiman suuruus}$$

$$Q = \frac{h}{L} \cdot F_d$$

$$Q = \frac{600 \text{ mm}}{1000 \text{ mm}} \cdot 16,8 \text{ kN}$$

$$Q = 10 \text{ kN}$$

Ruuveja 17 kappaletta

$$\frac{10 \text{ kN}}{17} = 592,9 \text{ kN} < R_d = 618,75 \text{ N}$$

Puurakenteisen välipohjaliittymän kestävyys

4.6.7 Koekappaleen ja alapohjan liitoksen leikkauskestävyys

Koekappaleen kiinnitys alapohjan betoniin tapahtuu Simpson Strong-Tien THD12-betoniruuveilla.

$h = 600 \text{ mm}$ ruuvien välinen etäisyys

$e = 1000 \text{ mm}$ epäkeskisyys

$F_d = 16,8 \text{ kN}$

$Q_M = \frac{e}{h} \cdot F_d$ momentista aiheutuva leikkausvoima

$Q_M = \frac{1000 \text{ mm}}{600 \text{ mm}} \cdot 16800 \text{ N}$

$Q_M = 28 \text{ kN}$

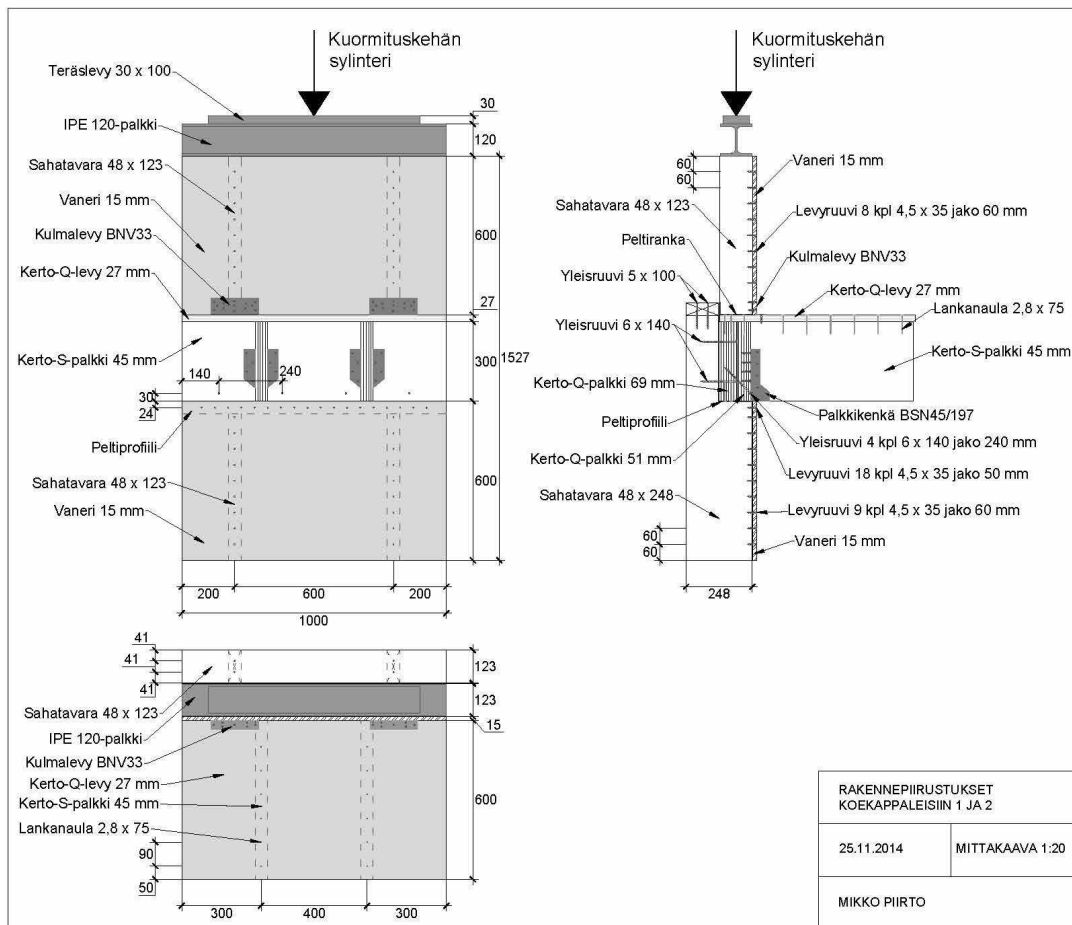
$Q = \frac{Q_M}{4}$ leikkausvoima jokaisessa ruuvissa

$Q = 7 \text{ kN}$

$\frac{Q}{4} = 7 \text{ kN} < V_{REC} = 18 \text{ kN}$

(Outinen ym. 2007, 163; Heavy Duty Fixings and Resins For Concrete and Masonry 2013, 16.)

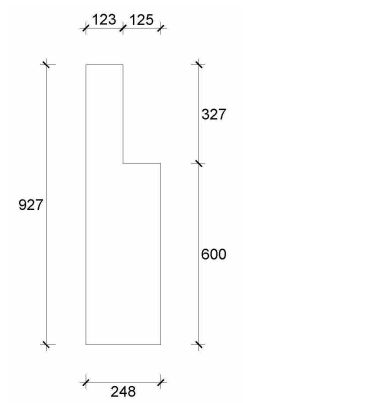
4.7 Koekappaleiden rakennepiirustukset ja ohjeistus



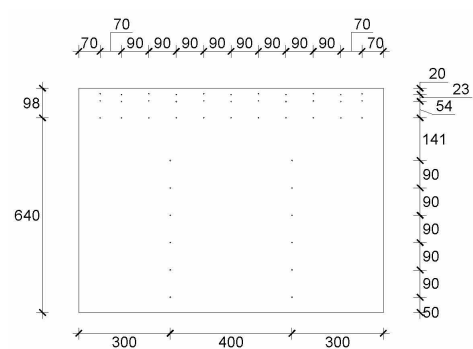
Kuva 5. Rakennepiirustukset koekappaleisiin 1 ja 2

Vanereiden ruuvit esiporataan 3 mm paksulla terällä ruuvien pituuden verran. Kulmalevy BNV33 ja palkkikenkä BSN45/197 ruuvataan CSA, 5x35 -ruuveilla Simpson Strong-Tien -ohjeiden mukaan. Runkotolpat 48x248 sahataan kuvan 6 mukaan. Kerto-Q-levy naulataan Kerto-S- ja Kerto-Q-palkkeihin ilman esiporausta kuvan 7 mukaan. Naulaaminen Kerto-Q-palkkiin tehdään lomittain kuvan 12 mukaan. Peltiranka ja -profiili rakennetaan kuvan 8 mukaan. Peltiprofiili esiporataan 2 mm:n terällä ja kiinnitetään nauloilla esiporaamattomaan Kerto-Q-palkkiin kuvan 9 mittojen mukaan. Peltiprofiili naulataan lomittain kuvan 12 mukaan. Kerto-Q-palkin ruuvit esiporataan 3 mm:n paksulla terällä ruuvien pituuden verran ja kiinnitetään kuvan 9 mukaan. Vinoruuvaus Kerto-Q-palkkien välillä tehdään ilman esiporausta 45 asteen kulmassa.

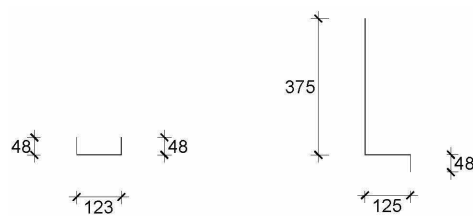
Puurakenteisen välipohjaliittymän kestävyys



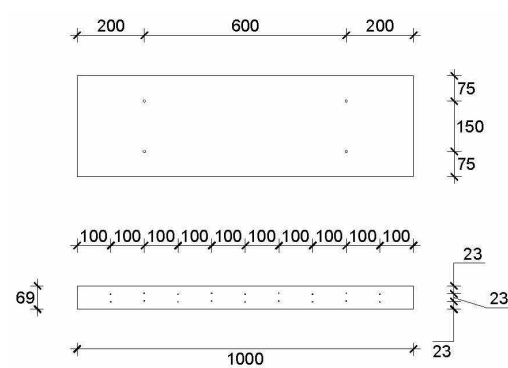
Kuva 6. Runkotolppa



Kuva 7. Kerto-Q-levy

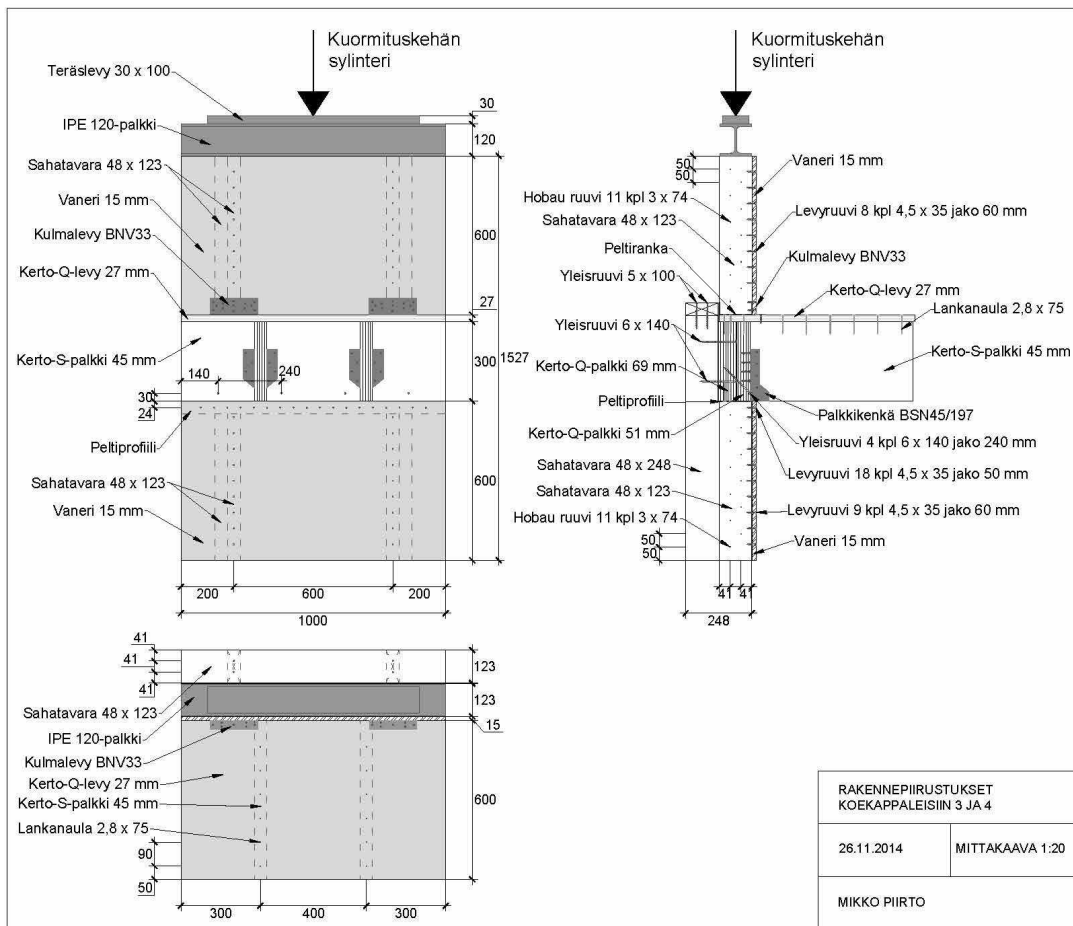


Kuva 8. Peltiranka ja -profiili



Kuva 9. Kerto-Q-palkki

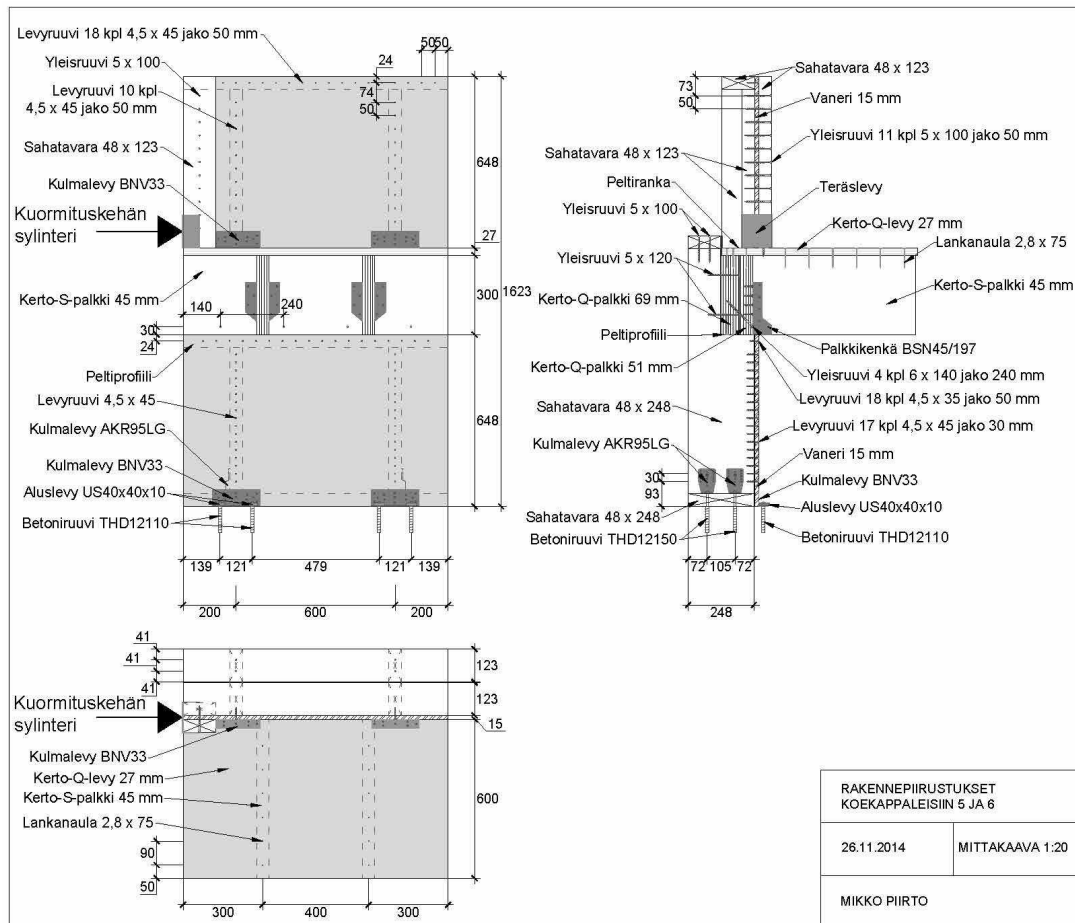
Puurakenteisen välipohjaliittymän kestävyys



Kuva 10. Rakennepiirustukset koekappaleisiin 3 ja 4

Koekappaleiden 3 ja 4 rakentaminen tehdään koekappaleiden 1 ja 2 tavalla, sillä erotuksella, että runkotolppien kylkeen ruuvataan kiinni 48 x 123 -kokoinen sahatavara ilman esiporausta.

Puurakenteisen välipohjaliittymän kestävyys



Kuva 11. Rakennepiirustukset koekappaleisiin 5 ja 6

Vanereiden ruuvit esiporataan 3 mm paksulla terällä ruuvien pituuden verran. Kulmalevy BNV33 ja palkkikenä BSN45/197 ruuvataan CSA, 5x35-ruuveilla koekappaleisiin ja THD-betoniruuveilla betoniin Simpson Strong-Tien -ohjeiden mukaan. Runkotolpat 48x248 sahataan kuvan 6 mukaan. Kerto-Q-levy naulataan Kerto-S- ja Kerto-Q-palkkeihin ilman esiporausta kuvan 7 mukaan. Naulaaminen Kerto-Q-palkkiin tehdään lomittain kuvan 12 mukaan. Peltiranka ja -profiili rakennetaan kuvan 8 mukaan. Peltiprofiili esiporataan 2 mm:n terällä ja kiinnitetään nauloilla esiporaamattomaan Kerto-Q-palkkiin kuvan 9 mittojen mukaan. Peltiprofiili naulataan lomittain kuvan 12 mukaan. Kerto-Q-palkin ruuvit esiporataan 3 mm:n paksulla terällä ruuvien pituuden verran ja kiinnitetään kuvan 9 mukaan. Vinoruuvaus Kerto-Q-palkkien välillä tehdään ilman esiporausta 45 asteen kulmassa.

5 KOEKAPPALEIDEN RAKENTAMINEN

5.1 Yleistä

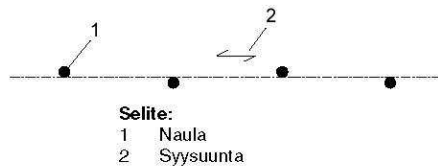
Koekappaleet rakennettiin Ohutlevykeskuksen tiloissa Hämeenlinnan Mooreenin teollisuusalueella. Rakennusaikana lämpötila hallissa oli noin 20 °C ja suhteellinen kosteus noin 40 %. Koekappaleiden osat olivat mittoihin

Puurakenteisen välipohjaliittymän kestävyys

valmiiksi sahattuina. Rakentaminen koostui osien valmistamisesta ja koostamisesta. Peltityöt koostuivat mittojen mukaisesta leikkaamisesta ja taivuttamisesta määritettyyn muotoon. Puutyöt koostuivat runkotolppien muotoon sahauksesta ja levyjen esiporauksesta. Koekappaleiden kokoaminen tapahtui kiinnikkeiden avulla suunnitellussa järjestyksessä. Yhteensä koekappaleita rakennettiin kuusi kappaletta, kaksi samanlaista rakennetta.

5.2 Rakennuslaitteet ja työkalut

Koekappaleiden rakentamisessa käytettiin Ohutlevykeskuksen laitteita. Teräslevyt leikattiin mittoihin Götenedsin levyleikkurilla ja taivutettiin muotoon Bernardo-kanttikoneella. Runkotolpat työstettiin Makitan akkupyörösahalla. Ruuvien esiporaukset ja vääntämiset tehtiin Makitan akkuruuvinvääntimellä. Naulat naulattiin käsin vasaralla naulan halkaisijan verran lomittain sivuun kuvan 12 mukaan. Koekappaleiden suoruus tarkistettiin käsin vesivaa'an avulla.



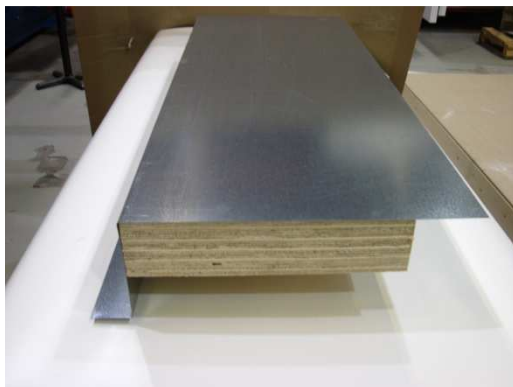
Kuva 12. Halkaisijan verran syysuunnasta sivussa olevat peräkkäiset naulat (EN1995-1-1-2005: 2008, 57.)

5.3 Kuvia

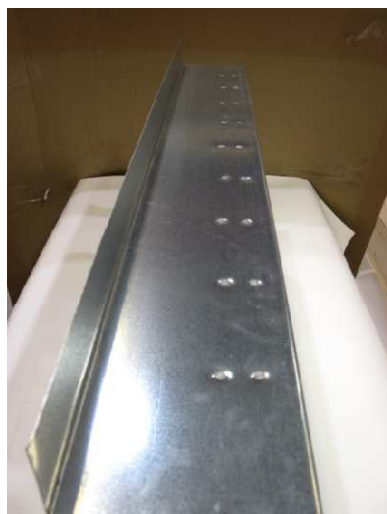


Kuva 13. Peltiranka leikattuna ja taivutettuna

Puurakenteisen välipohjaliittymän kestävyys



Kuva 14. Peltiprofiili leikattuna ja taivutettuna



Kuva 15. Peltiprofiilin ja kehäpalkin naulaliitos



Kuva 16. Runkotolppa 48 x 248 -kokoon sahattuna

Puurakenteisen välipohjaliittymän kestävyys



Kuva 17. Runkotolpat 48 x 248 ja ohjauspuu 48 x 123



Kuva 18. Kehäpalkin, peltiprofiilin ja runkotolppien liitos



Kuva 19. Kerto-S-palkkien kiinnitys palkkikengillä Kerto-Q-palkkiin



Kuva 20. Koekappale valmiiksi rakennettuna

6 KOEKUORMITUKSET

6.1 Yleistä

Koekuormitukset suoritettiin Ohutlevykeskuksen tiloissa Hämeenlinnan teollisuusalue Moreenissa. Kokeiden aikana hallin lämpötila oli 19,0–19,8 °C sekä suhteellinen kosteus 30–40 %. Kokeet suoritettiin Ohutlevykeskuksen liikeohjatuilla hydraulisilla sylintereillä. Pystykuormituskokeissa käytettiin maksimikuormituskapasiteetiltaan 250 kN:n sylinteriä ja vaakuormituskokeissa käytettiin maksimikuormituskapasiteetiltaan 25 kN:n sylinteriä.

6.2 Koekuormitukset pystykuormalle

6.2.1 IPE-palkki ja teräslevy

IPE-palkin ja teräslevyn kuorma 0,45 kN huomioitiin ohjelmoinnissa vähentämällä kuorman suuruus mitoituslujuudesta ja lisäämällä se kokeista saatuun dataan myöhemmin.

6.2.2 Mitta-anturit

Kuvassa 21 näkyvä ylempi mitta-anturi asennettiin kansilevyn syrjään mitaamaan ylempien runkotolppien painumaa kansilevyyn. Alempi mitta-anturi asennettiin kehäpalkin pätyyn mitaamaan alempien runkotolppien painumaa kehäpalkkiin.

Puurakenteisen välipohjaliittymän kestävyys



Kuva 21. Mitta-antureiden asentaminen

6.2.3 Koe 1

Kuormituskehän sylinteri asennettiin liikkumaan $\frac{2 \text{ mm}}{\text{min}}$ ja dataa kopioitiin 2 hertsin taajuudella eli 0,5 sekunnin välein. Sylinteri ohjelmoitiin pysähtymään mitoituslujuuteen eli 17,32 kN:iin.



Kuva 22. Kokeen alkutilanne

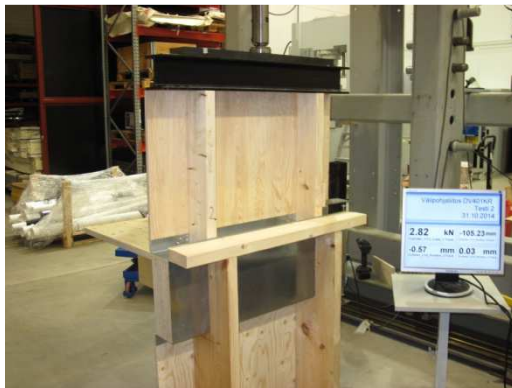
Puurakenteisen välipohjaliittymän kestävyys



Kuva 23. Tilanne kokeen loppupuolella

6.2.4 Koe 2

Kuormituskehän sylinteri asennettiin liikkumaan $\frac{2 \text{ mm}}{\text{min}}$ ja dataa kopioitiin 5 hertsin taajuudella eli 0,2 sekunnin välein. Sylinterin annettiin liikkua koekappaleen murtolujuuteen asti.



Kuva 24. Kokeen alkutilanne



Kuva 25. Kokeen tilanne puolivälissä

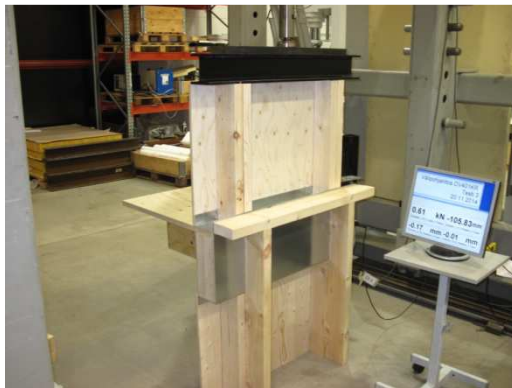
Puurakenteisen välipohjaliittymän kestävyys



Kuva 26. Kokeen lopputilanne

6.2.5 Koe 3

Kuormituskehän sylinteri asennettiin liikkumaan $\frac{2 \text{ mm}}{\text{min}}$ ja dataa kopioitiin 5 hertsin taajuudella eli 0,2 sekunnin välein. Sylinteri ohjelmoitiin pysähtymään mitoituslujuuteen eli 34,6 kN:iin ja pysymään yhden minuutin ajan samassa kuormitustasossa.



Kuva 27. Kokeen alkutilanne



Kuva 28. Tilanne kokeen puolivälissä

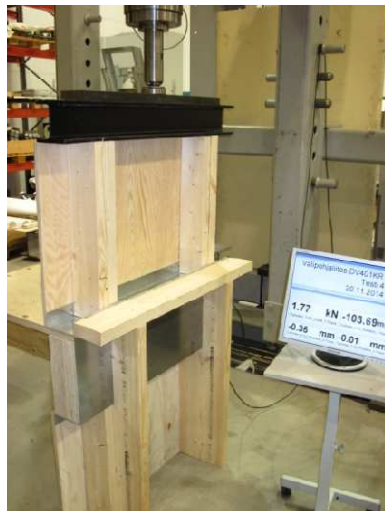
Puurakenteisen välipohjaliittymän kestävyys



Kuva 29. Kokeen lopputilanne

6.2.6 Koe 4

Kuormituskehän sylinteri asennettiin liikkumaan $\frac{2 \text{ mm}}{\text{min}}$ ja dataa kopioitiin 5 hertsin taajuudella eli 0,2 sekunnin välein. Sylinterin annettiin liikkua koekappaleen murtolujuuteen asti.



Kuva 30. Kokeen alkutilanne

Puurakenteisen välipohjaliittymän kestävyys



Kuva 31. Kokeen tilanne puolivälissä



Kuva 32. Kokeen lopputilanne

6.3 Koekuormitukset vaakakuormalle

6.3.1 Koekappaleiden kiinnitys alapohjaan

Alapohjan betoniin porattiin Hiltin kombivasaralla 12 mm:n betoniterällä 105 mm syviä reikiä. Reikien puhdistuksen jälkeen koekappaleet kiinnitettiin kahdeksalla M12-betoniruuvilla. Ankkuroinnin syvyys jokaisella ruuvilla oli 100 mm. Ruuvit kiristettiin momenttiavaimella vääntömomenttiin 150 Nm. (Heavy Duty Fixings and Resins For Concrete and Masonry 2013, 17.)

Puurakenteisen välipohjaliittymän kestävyys



Kuva 33. Koekappaleen kiinnitys betoniin

6.3.2 Mitta-anturit

Kuvassa 34 näkyvät mitta-anturit asennettiin jäykistelevyihin kiinni mitataamaan vaakasuuntaista siirtymää.



Kuva 34. Mitta-antureiden kiinnitys

6.3.3 Koe 5

Kuormituskehän sylinteri asennettiin liikkumaan $\frac{3 \text{ mm}}{\text{min}}$ ja dataa kopioitiin 2 hertsin taajuudella eli 0,5 sekunnin välein. Sylinterin annettiin liikkua koekappaleen mitoituslujuuteen eli 16,8 kN:iin.



Kuva 35. Tilanne kokeen alkupuolella

Puurakenteisen välipohjaliittymän kestävyys



Kuva 36. Tilanne kokeen loppupuolella



Kuva 37. Tilanne kokeen lopussa

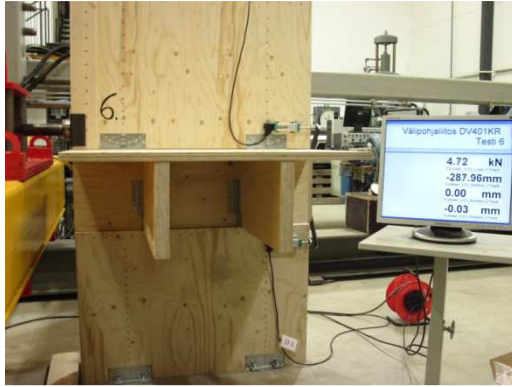
6.3.4 Koe 6

Laakeri kiinnitettiin sylinterin ja koekappaleen väliin vähentämään ko-
keessa viisi tapahtunutta sylinterin ylöspäin kääntymistä. Sylinteri asen-
nettiin liikkumaan $\frac{3 \text{ mm}}{\text{min}}$ ja dataa kopioitiin 2 hertsin taajuudella eli 0,5
sekunnin välein. Sylinterin annettiin liikkua koekappaleen murtolujuuteen
saakka.

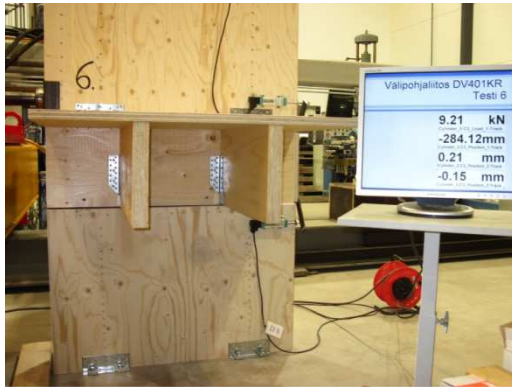


Kuva 38. Laakeri

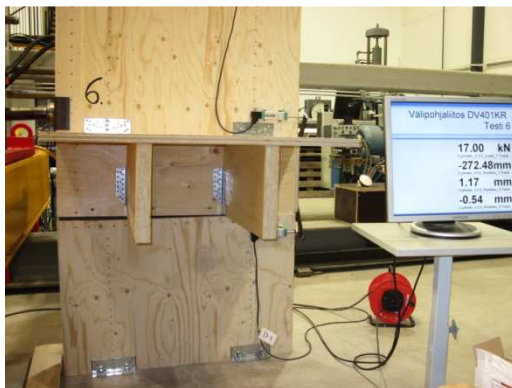
Puurakenteisen välipohjaliittymän kestävyys



Kuva 39. Tilanne kokeen alkupuolella



Kuva 40. Tilanne kokeen puolivälissä



Kuva 41. Tilanne kokeen lopussa

7 KOETULOKSET

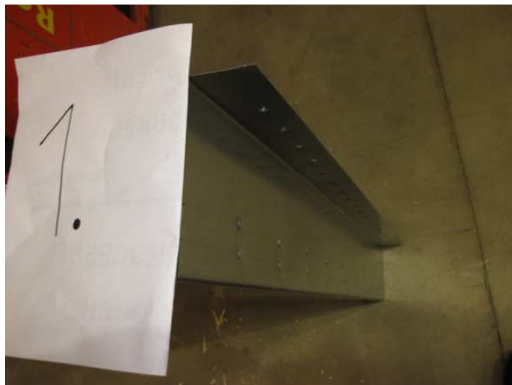
7.1 Koe 1

7.1.1 Muodonmuutokset

Koekappaletta tutkittaessa silmämääräisesti ei löytynyt havaintoja muodonmuutoksista peltirangassa, kansilevyssä, peltiprofiilissa tai kehäpalkissa, kuten kuvista 42 ja 43 voi nähdä.



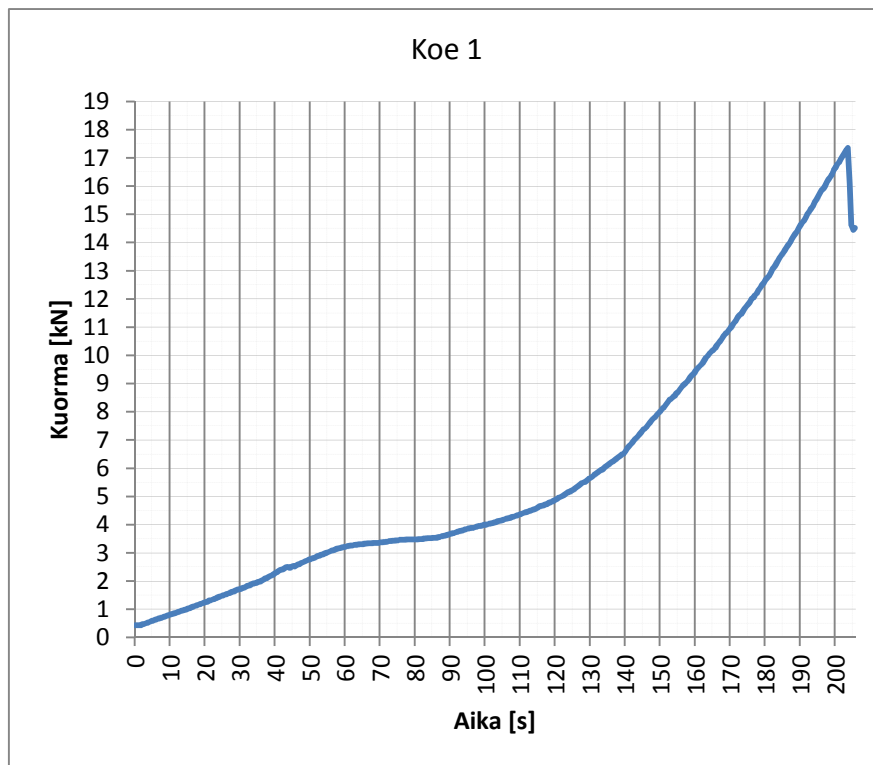
Kuva 42. Runkotolpat ja peltiranka



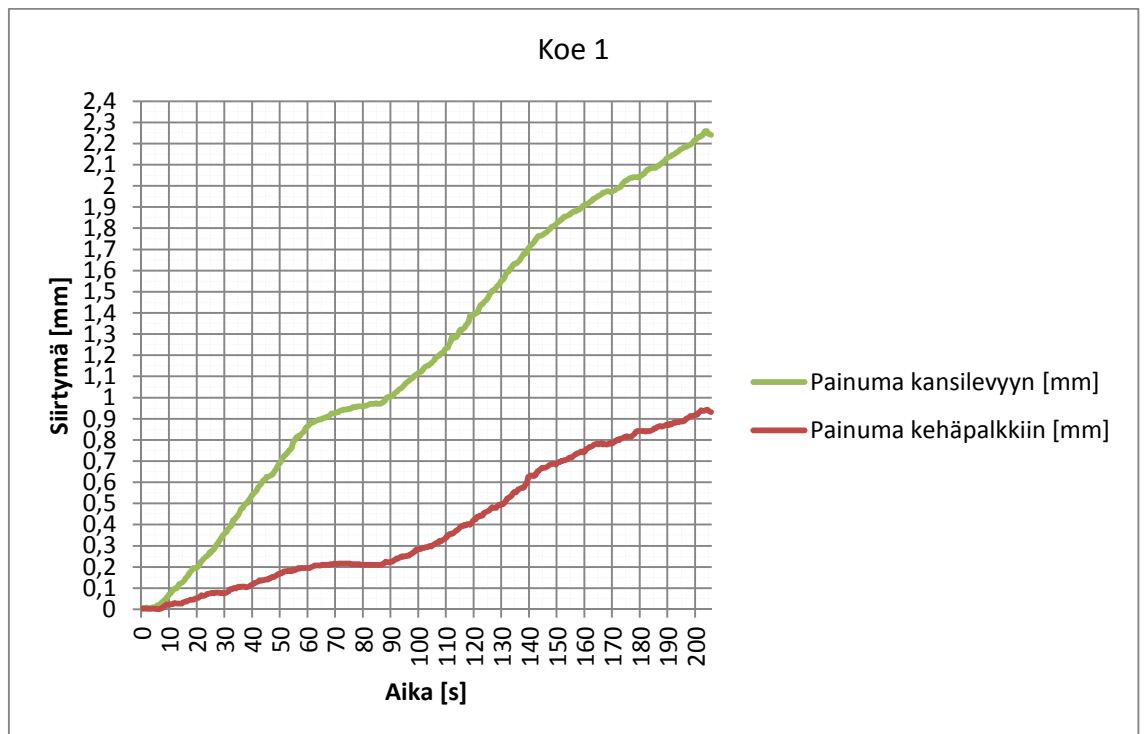
Kuva 43. Peltiprofiili

Puurakenteisen välipohjaliittymän kestävyys

7.1.2 Taulukot



Taulukko 1. Kokeen 1 kuorman suuruus suhteessa aikaan



Taulukko 2. Kokeen 1 siirtymien suuruus suhteessa aikaan

Puurakenteisen välipohjaliittymän kestävyys

Taulukon 1 ja 2 perusteella voidaan todeta, että koekappaleen välykset ovat poistuneet 85 sekunnin kohdalla. Tuosta kohdasta voidaan määrittää nollakohta, mistä painumat alkavat kansilevyssä ja kehäpalkissa.

Kokeen kuorma	Runkotolpan kuorma	Kokeen siirtymä (painuma)		Kestävyys murtorajatilassa	Lisätietoja
		kansilevy	kehäpalkki		
kN		mm	mm	kN	yhdet tolpat k 600
3,54	1,77	0,00	0,00		
4,01	2,01	0,15	0,07		
4,49	2,24	0,31	0,15		
5,05	2,52	0,47	0,23		
5,52	2,76	0,56	0,28		
6,03	3,01	0,66	0,34		
6,51	3,26	0,74	0,42		
7,00	3,50	0,78	0,43		
7,46	3,73	0,81	0,46		
8,03	4,01	0,85	0,48		
8,51	4,26	0,89	0,50		
9,00	4,50	0,91	0,52		
9,54	4,77	0,94	0,55		
10,07	5,03	0,97	0,57		
10,50	5,25	1,00	0,57		
11,06	5,53	1,01	0,58		
11,46	5,73	1,03	0,60		
12,04	6,02	1,07	0,60		
12,50	6,25	1,07	0,63		
13,06	6,53	1,10	0,63		
13,53	6,77	1,12	0,64		
14,01	7,00	1,13	0,66		
14,51	7,26	1,16	0,66		
15,01	7,51	1,18	0,67		
15,52	7,76	1,20	0,68		
16,01	8,00	1,22	0,69		
16,55	8,28	1,25	0,70		
17,06	8,53	1,26	0,73		
17,35	8,67	1,29	0,73	8,66	48x248 leimapaine-kestävyys

Taulukko 3. Kokeen 1 kuormien ja siirtymien tarkastelu

Puurakenteisen välipohjaliittymän kestävyys

7.2 Koe 2

Kuormituskoe keskeytettiin 136,6 kN kohdalla, koska ylempi seinä alkoi vääntyä voimakkaasti kuvassa 3 näkyvän z-akselin suunnassa.

7.2.1 Muodonmuutokset

Koekappaletta tutkittaessa silmämääräisesti ylempien runkotalppien painuma peltirankaan ja kansilevyyn oli hyvin selkeää, kuten kuvasta 44 voi nähdä. Koekappaleen yläpuolinen seinärakenne oli vääntynyt taaksepäin kuvan 26 mukaisesti. Kehäpalkissa ja peltiprofilissa ei näkynyt merkkejä muodonmuutoksesta.



Kuva 44. Runkotalpat ja peltiranka

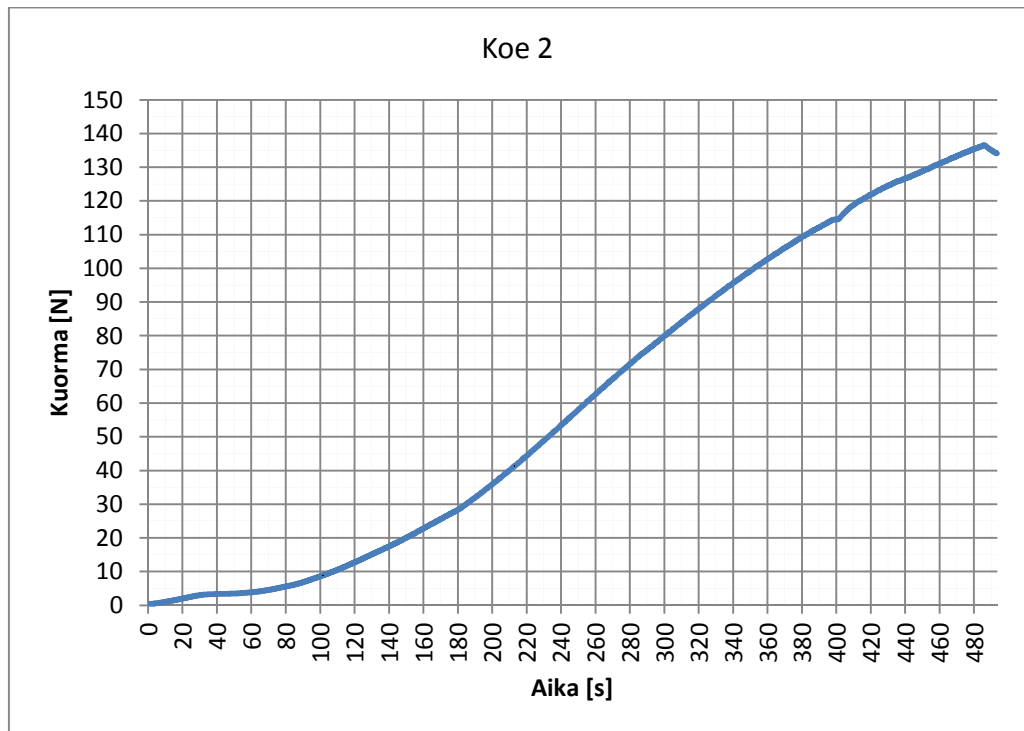


Kuva 45. Peltiprofiili

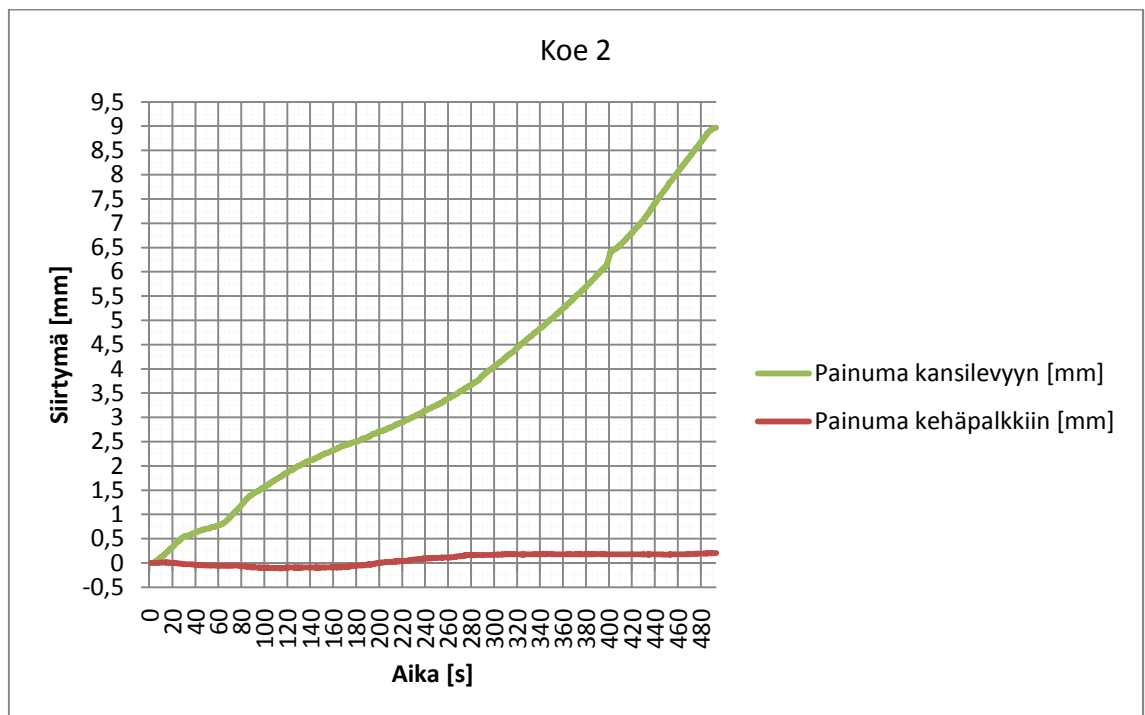
Puurakenteisen välipohjaliittymän kestävyys

7.2.2 Taulukot

Taulukoissa 400 sekunnin kohdalla oleva muutos johtuu kuormitusko-
keessa tuona ajanhetkenä pidetystä tauosta, joka kuvaajan selkeyden
vuoksi poistettiin.



Taulukko 4. Kokeen 2 kuorman suuruus suhteessa aikaan



Taulukko 5. Kokeen 2 siirtymien suuruus suhteessa aikaan

Puurakenteisen välipohjaliittymän kestävyys

Taulukon 4 ja 5 sekä datan perusteella voidaan todeta, että koekappaleen yläpuolisten runkotolppien välykset ovat poistuneet 50,4 sekunnin kohdalla. Tuon kohdan perusteella voidaan määrittää nollakohta, mistä painumat alkavat kansilevyssä.

Kokeen kuorma	Runkotolpan kuorma	Kokeen siirtymä (painuma)		Kestävyys murtorajatilassa		Lisätietoja
		kansilevy	kehäpalkki	kansilevy	runkotolppa	
kN	kN	mm	mm	kN	kN	yhdet tolpat k 600
3,46	1,73	0,00	0,00			
5,00	2,50	0,35	0,05			
10,01	5,00	0,97	0,10			
15,03	7,51	1,29	0,10			
17,29	8,64	1,41	0,09	8,66		48x248 leimapainekestävyys
20,00	10,00	1,51	0,09			
25,02	12,51	1,71	0,09			
30,01	15,01	1,83	0,05			
35,03	17,52	1,96	0,00			
40,05	20,03	2,08	0,02			
45,01	22,51	2,21	0,04			
50,06	25,51	2,34	0,08			
55,08	27,54	2,47	0,09			
60,09	30,04	2,59	0,11			
65,09	32,55	2,75	0,12			
70,01	35,00	2,91	0,16			
75,09	37,54	3,11	0,16			
80,02	40,01	3,34	0,17			
85,10	42,55	3,58	0,18			
90,01	45,01	3,83	0,17			
95,05	47,52	4,09	0,18			
100,05	50,03	4,37	0,18			
105,07	52,54	4,68	0,18			
110,01	55,01	5,04	0,18			
115,07	57,53	5,71	0,18			
120,02	60,01	5,94	0,18			
123,29	61,64	6,23	0,18			
130,05	65,02	7,20	0,18			
136,60	68,30	8,16	0,20		68,00	48x248 nurjahduskestävyys, koe keskeytettiin seinän vääntymisen johdosta

Taulukko 6. Kokeen 2 kuormien ja siirtymien tarkastelu

Puurakenteisen välipohjaliittymän kestävyys

7.3 Koe 3

7.3.1 Muodonmuutokset

Koekappaleiden silmämääräisen tutkimisen perusteella kansilevyssä tai kehäpalkissa ei löytynyt havaittavia muodonmuutoksia. Koekappaleen alemman runkotolpan ja kehäpalkin nurkkaliitoksessa oli noin 1,5 mm:n halkeama, kuten kuvasta 46 ja 47 voi todeta.



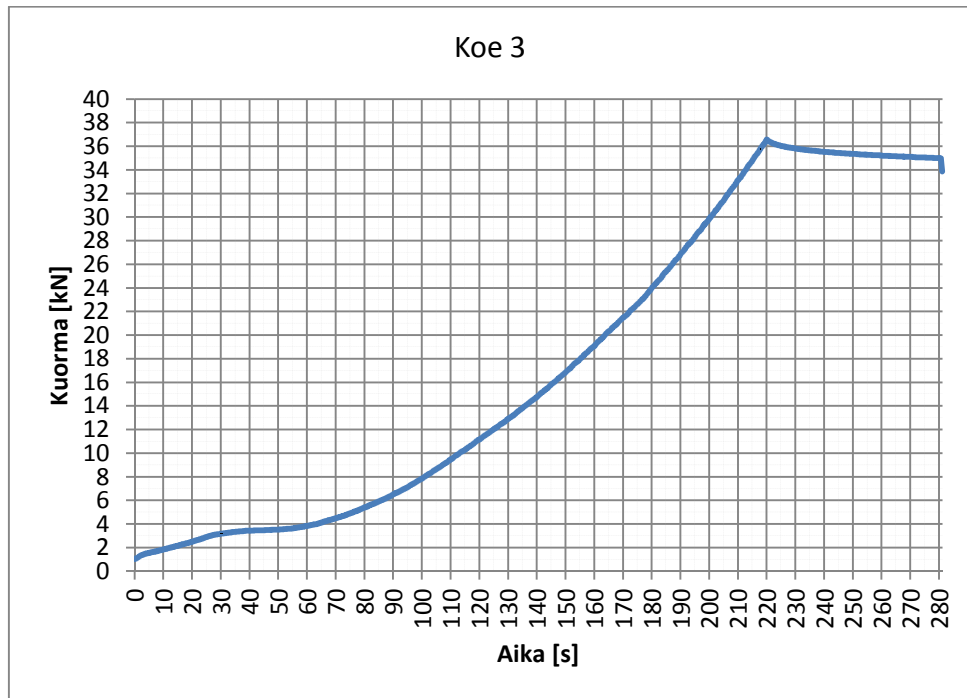
Kuva 46. Halkeama



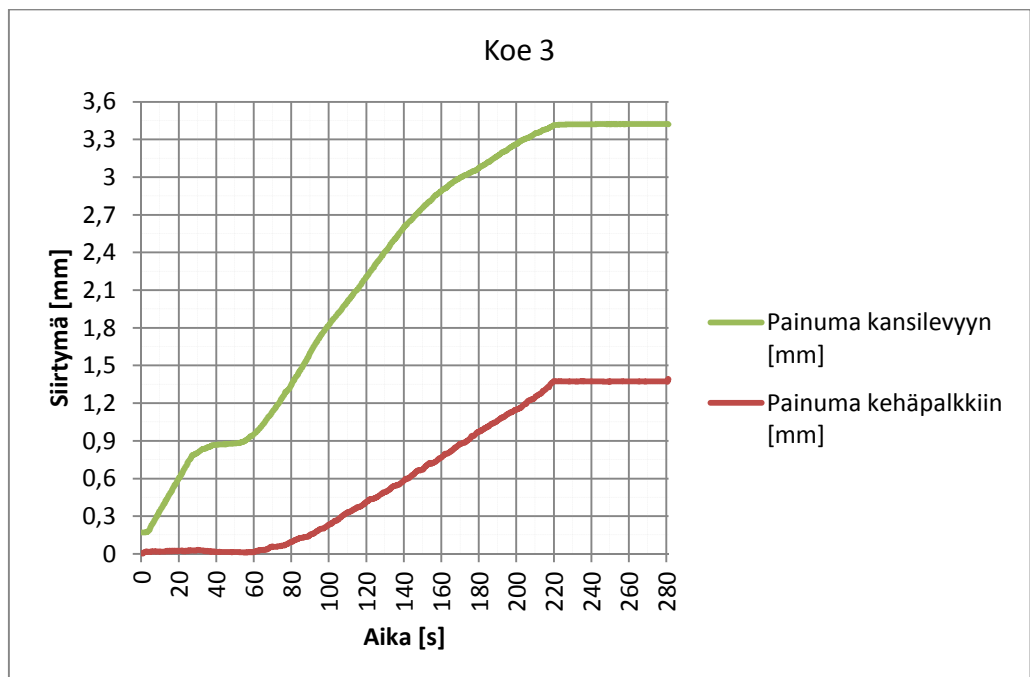
Kuva 47. Halkeama

7.3.2 Taulukot

Kuormituskokeessa ajanhetkenä 220 sekuntia oli ohjelmoituna minuutin tauko, jolloin kuormaa pidettiin tasaisena.



Taulukko 7. Kokeen 3 kuorman suuruus suhteessa aikaan



Taulukko 8. Kokeen 3 siirtymien suuruus suhteessa aikaan

Puurakenteisen välipohjaliittymän kestävyys

Taulukon 6 ja 7 sekä datan perusteella voidaan todeta, että koekappaleen yläpuolisten runkotolppien välykset ovat poistuneet 47,6 sekunnin kohdalla. Tuon kohdan perusteella voidaan määrittää nollakohta, mistä painumat alkavat kansilevyssä.

Kokeen kuorma	Runkotolpan kuorma	Kokeen siirtymä (painuma)		Kestävyys murtorajatilassa	Lisätietoja
		kansilevy	kehäpalkki	kansilevy	tuplatolpat k 600
kN	kN	mm	mm	kN	
3,49	1,75	0,00	0,02		
4,01	2,01	0,13	0,03		
5,02	2,51	0,39	0,07		
6,03	3,01	0,62	0,13		
7,00	3,50	0,83	0,19		
8,03	4,01	0,97	0,24		
9,02	4,51	1,08	0,31		
10,04	5,02	1,20	0,35		
11,02	5,51	1,31	0,40		
12,01	6,00	1,43	0,45		
13,01	6,51	1,54	0,50		
14,02	7,01	1,64	0,55		
15,01	7,51	1,74	0,60		
16,01	8,00	1,82	0,65		
17,06	8,53	1,90	0,69		
18,02	9,01	1,95	0,72		
19,04	9,52	2,01	0,77		
20,05	10,02	2,06	0,80		
21,01	10,51	2,10	0,85		
22,05	11,02	2,14	0,89		
23,02	11,51	2,17	0,94		
24,00	12,00	2,20	0,97		
25,08	12,54	2,23	1,01		
26,03	13,02	2,27	1,04		
27,04	13,52	2,30	1,07		
28,06	14,03	2,33	1,10		
29,04	14,52	2,37	1,13		
30,04	15,02	2,39	1,15		
31,08	15,54	2,42	1,19		
32,04	16,02	2,44	1,22		
33,00	16,50	2,47	1,24		
34,59	17,30	2,50	1,30	17,32	48x248 + 48x123 leimapainekestävyys

Taulukko 9. Kokeen 3 kuormien ja siirtymien tarkastelu

Puurakenteisen välipohjaliittymän kestävyys

7.4 Koe 4

Kuormituskoe keskeytettiin 171 kN:n kohdalla, koska ylempi seinä alkoi vääntyä voimakkaasti kuvassa 3 näkyvän z-akselin suunnassa.

7.4.1 Muodonmuutokset

Koekappaleiden silmämääräisen tutkimisen perusteella pystyi selkeästi havaitsemaan painumat kansilevyssä ja peltirangassa. Kehäpalkissa ei ollut havaittavissa muodonmuutoksia. Koekappaleen yläpuolinen seinärakenne oli vääntynyt taaksepäin kuvien 31 ja 32 mukaisesti. Koekappaleen runkotolppien ja kehäpalkin nurkkaliitoksissa oli halkeamat. Kuvasta 30 katsoen vasemmanpuoleisessa 17,5 cm halkeama ja oikeanpuoleisessa 8,5 cm halkeama.

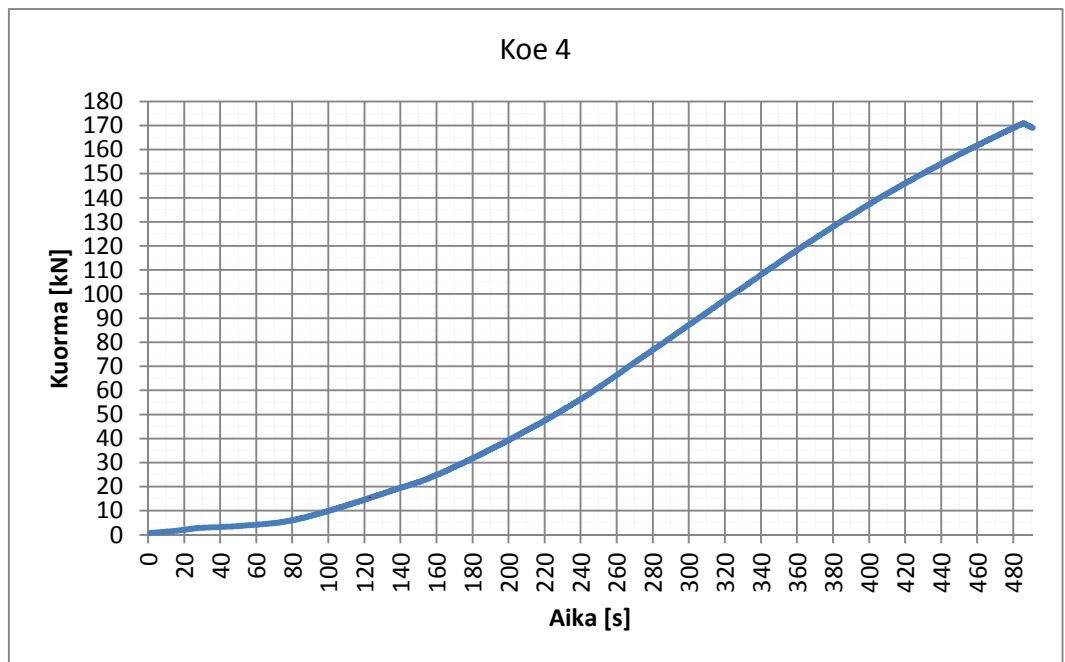


Kuva 48. Vasemmanpuoleiset runkotolpat

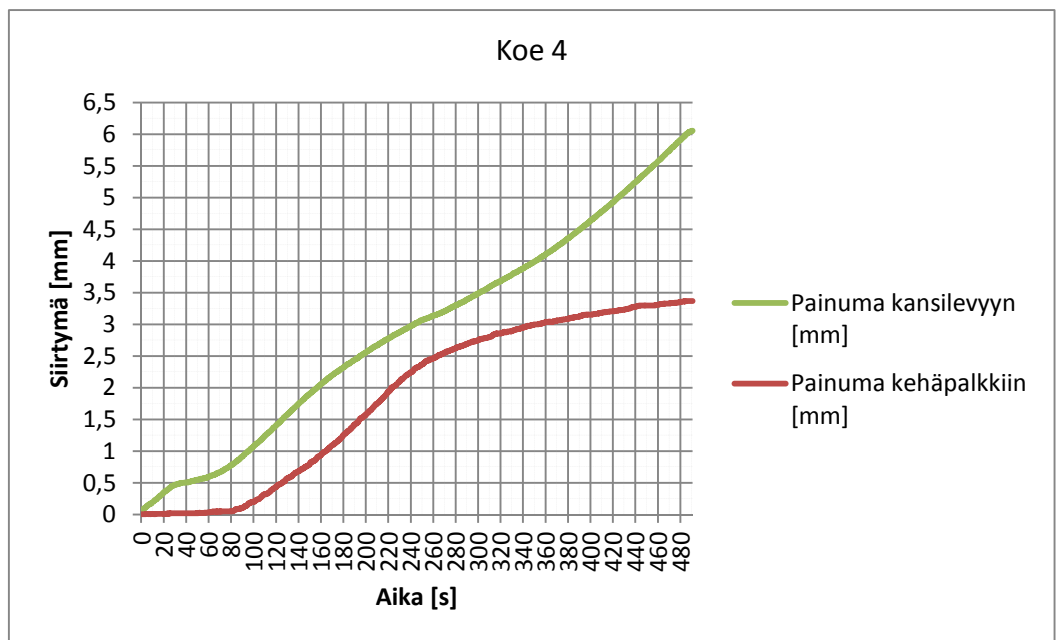


Kuva 49. Oikeanpuoleiset runkotolpat

7.4.2 Taulukot



Taulukko 10. Kokeen 4 kuorman suuruus suhteessa aikaan



Taulukko 11. Kokeen 4 siirtymien suuruus suhteessa aikaan

Puurakenteisen välipohjaliittymän kestävyys

Taulukon 10 ja 11 sekä datan perusteella voidaan todeta, että koekappaleen yläpuolisten runkotolppien välykset ovat poistuneet 41,4 sekunnin kohdalla. Tuon kohdan perusteella voidaan määrittää nollakohta, mistä painumat alkavat kansilevyyn.

Kokeen kuorma	Runkotolpan kuorma	Kokeen siirtymä (painuma)		Kestävyys murtorajatilassa		Lisätietoja
		kansilevy	kehäpalkki	kansilevy	runkotolppa	
kN	kN	mm	mm	kN	kN	tuplatolpat k 600
3,25	1,62	0,00	0,02			
5,00	2,50	0,18	0,05			
10,01	5,00	0,57	0,20			
15,04	7,52	0,93	0,47			
20,03	10,02	1,28	0,71			
25,07	12,53	1,55	0,95			
30,01	15,01	1,75	1,16			
34,64	17,32	1,91	1,37	17,32		48x248 + 48x123 leimapainekestävyys
40,04	20,02	2,07	1,61			
45,03	22,51	2,21	1,82			
50,02	25,01	2,33	2,03			
55,04	27,52	2,44	2,21			
60,09	30,04	2,54	2,33			
64,99	32,49	2,61	2,44			
70,02	35,01	2,68	2,53			
75,06	37,53	2,76	2,60			
80,06	40,51	2,85	2,67			
85,02	42,51	2,94	2,73			
90,07	54,04	3,03	2,78			
95,00	47,50	3,13	2,84			
100,02	50,01	3,23	2,87			
105,04	52,52	3,32	2,92			
110,05	55,02	3,42	2,98			
115,02	57,51	3,52	3,00			
123,24	61,62	3,72	3,06			
125,01	62,51	3,77	3,07			
130,05	65,02	3,91	3,11			
135,07	67,53	4,06	3,15		68,00	48x248 nurjahduskestävyys
140,06	70,03	4,22	3,17			
145,06	72,53	4,39	3,20			
150,05	75,03	4,57	3,23			
155,04	77,52	4,77	3,29			
160,05	80,02	4,99	3,30			
165,01	82,50	5,22	3,33			
171,00	85,50	5,50	3,37			Koe keskeytettiin seinän vääntymisen johdosta

Taulukko 12. Kokeen 4 kuormien ja siirtymien tarkastelu

Puurakenteisen välipohjaliittymän kestävyys

7.5 Koe 5

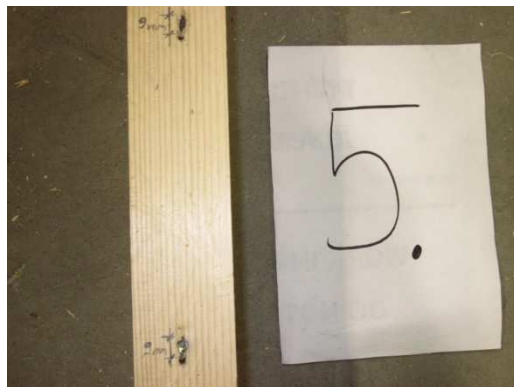
Kuormituskoetta keskeytettiin 14,53 kN:n kohdalla, koska sylinteri alkoi vääntyä voimakkaasti ylöspäin. Koe jouduttiin siis keskeyttämään ennen mitoitusslujuuden saavuttamista.

7.5.1 Muodonmuutokset

Koekappaleen tarkastelun perusteella pystyi havaitsemaan kehäpalkin alemman ruuvimurtumisen ja ylemmän ruuvimurtumisen. Sylinterin puoleisesta runkotolpasta pystyi havaitsemaan ruuvien kohdalla 9 mm:n muodonmuutoksen. Silmämääräisen tarkastelun perusteella muissa rakennosissa ei näkynyt muodonmuutoksia.



Kuva 50. Kehäpalkki

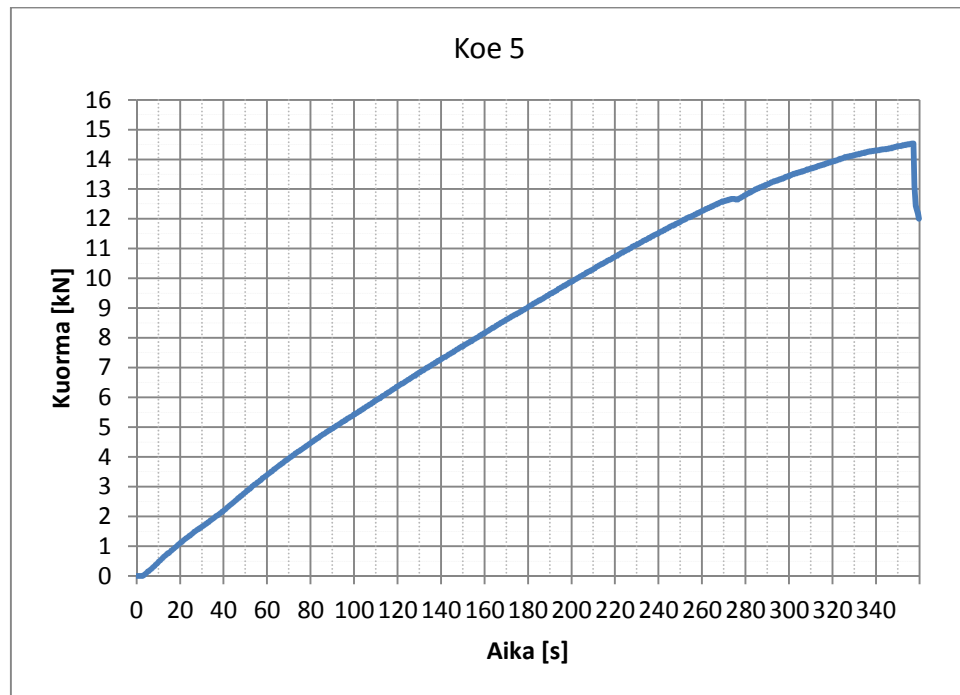


Kuva 51. Runkotolppa

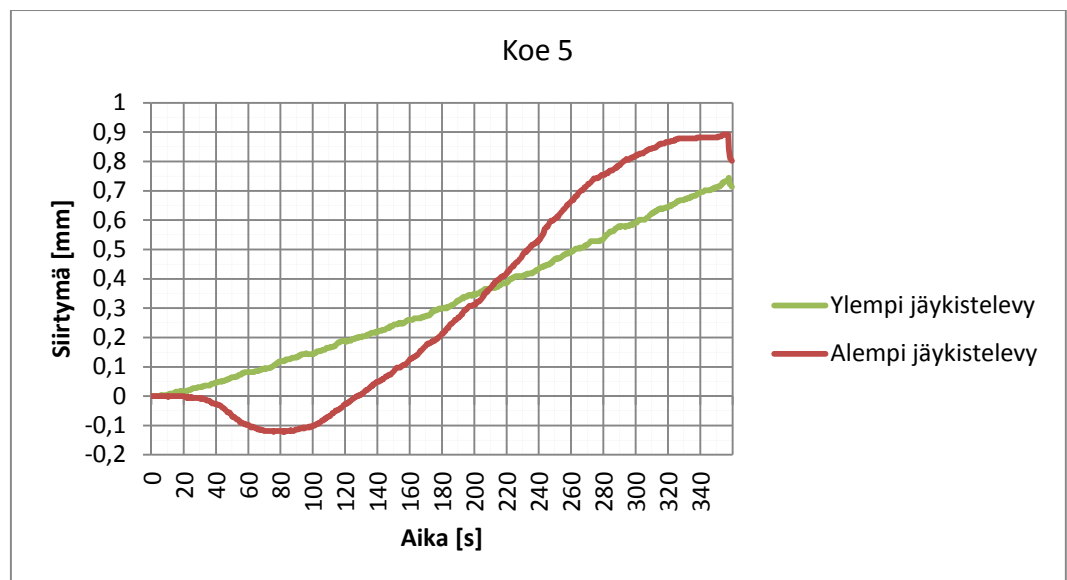
Puurakenteisen välipohjaliittymän kestävyys

7.5.2 Taulukot

Taulukosta näkee muodonmuutoksen ajanhetkellä 275 sekuntia, joka ilmeisesti näyttää kehäpalkin sylinterinpuoleisen alemman ruuvin murtumakohdan.



Taulukko 13. Kokeen 5 kuorman suuruus suhteessa aikaan



Taulukko 14. Kokeen 5 siirtymien suuruus suhteessa aikaan

Puurakenteisen välipohjaliittymän kestävyys

Laskennallinen kuorma on kulmaveyvien BNV33 leikkauskestävyys. Laskennallinen siirtymä jäykistelevyille lasketaan kokeen kuorman suhteena siirtymäkertoimeen.

Kokeen kuorma	Kokeen siirtymä		Kestävyys murtorajatilassa	Siirtymä murtorajatilassa		Lisätietoja
	ylempi jäykistelevy	alempi jäykistelevy		ylempi jäykistelevy	alempi jäykistelevy	
kN	mm	mm	kN	mm	mm	
0,52	0,01	0,00		0,01	0,02	
1,02	0,02	0,00		0,02	0,03	
1,51	0,03	0,01		0,04	0,04	
2,01	0,04	0,02		0,05	0,06	
3,01	0,07	0,08		0,07	0,09	
3,49	0,08	0,11		0,08	0,10	
4,02	0,09	0,12		0,09	0,12	
4,50	0,12	0,12		0,10	0,13	
5,01	0,13	0,11		0,12	0,15	
5,50	0,15	0,10		0,13	0,16	
6,02	0,17	0,06		0,14	0,18	
6,51	0,19	0,02		0,15	0,19	
7,00	0,21	0,02		0,16	0,21	
7,51	0,23	0,07		0,18	0,22	
8,01	0,25	0,11		0,19	0,24	
8,51	0,27	0,16		0,20	0,25	
9,02	0,30	0,21		0,21	0,27	
9,50	0,33	0,27		0,22	0,28	
10,00	0,35	0,32		0,23	0,29	
10,49	0,37	0,39		0,24	0,31	
11,02	0,41	0,46		0,26	0,32	
11,49	0,43	0,52		0,27	0,34	
12,01	0,47	0,62		0,28	0,35	
12,51	0,51	0,70		0,29	0,37	
13,01	0,56	0,77		0,30	0,38	
13,51	0,60	0,82		0,31	0,40	
14,01	0,65	0,87		0,33	0,41	
14,53	0,74	0,89		0,34	0,43	
Ei saavutettu			16,8			Koe keskeytyi sylinterin vääntymisen johdosta

Taulukko 15. Kokeen 5 kuormien ja siirtymien tarkastelu

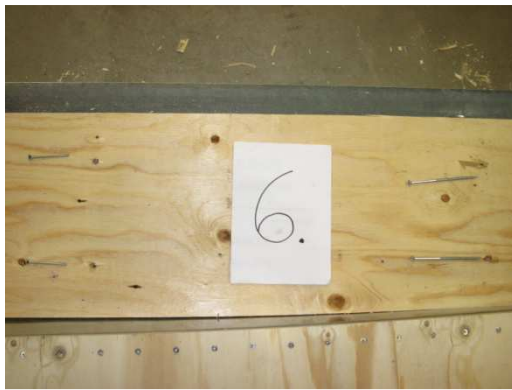
Puurakenteisen välipohjaliittymän kestävyys

7.6 Koe 6

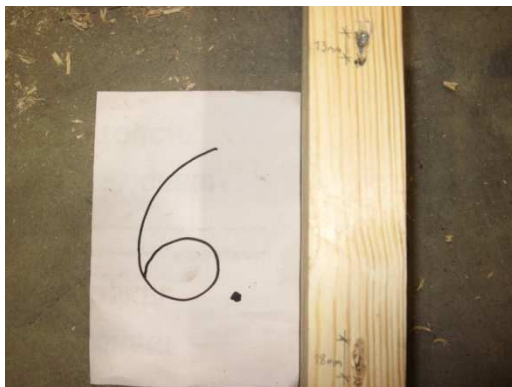
Sylinterin kääntymistä ylöspäin kuormituskokeen aikana vähennettiin asentamalla laakeri sylinterin päähän, joten koe pystyttiin suorittamaan murtoon saakka.

7.6.1 Muodonmuutokset

Koekappaleen tarkastelun perusteella pystyi havaitsemaan kehäpalkin alemman ja ylemmän ruuvin murtumisen. Sylinterin puoleisesta runkotolpasta pystyi havaitsemaan alemman ruuvin kohdalla 18 mm:n ja ylemmän ruuvin kohdalla 13 mm:n muodonmuutokset. Silmämääräisen tarkastelun perusteella ei muissa rakenneosissa ollut havaittavissa muodonmuutoksia.



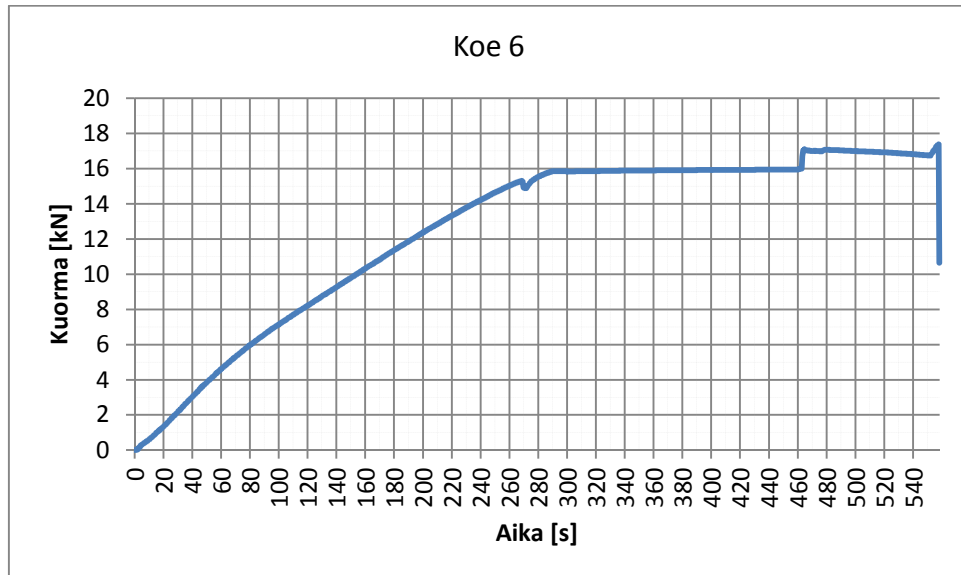
Kuva 52. Kehäpalkki



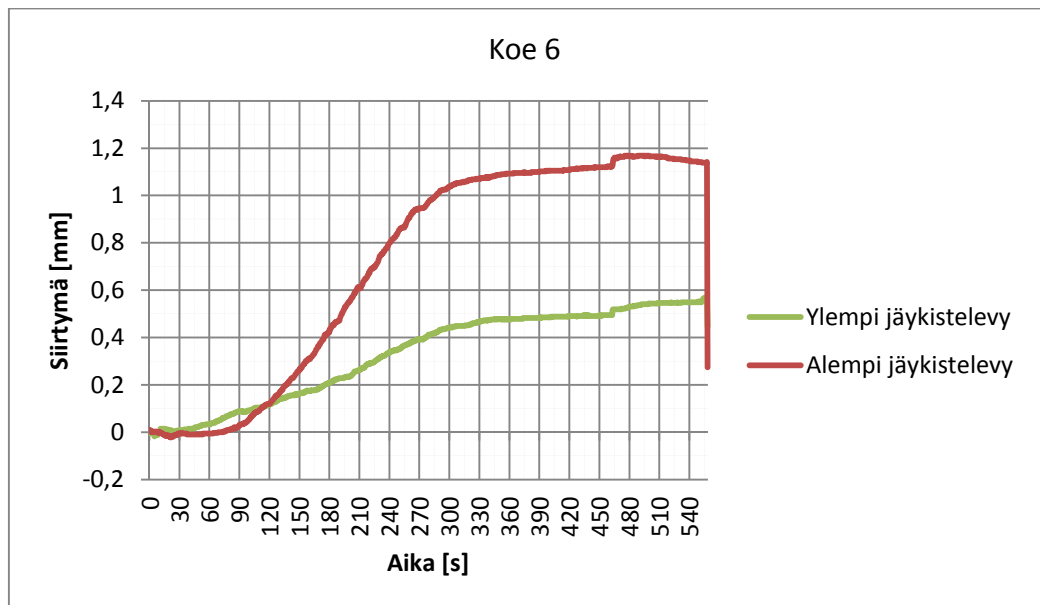
Kuva 53. Runkotolppa

7.6.2 Taulukot

Taulukosta näkee muodonmuutoksen ajanhetkellä 270 sekuntia, joka ilmeisesti näyttää kehäpalkin sylinterinpuoleisen alemman ruuvin murtumakohdan. Kuormituskokeessa pidettiin ajanhetkellä 300 - 460 sekuntia tauko, jolloin kuorman suuruus pysyi tasaisena. Ajanhetkillä 460 ja 554 sekuntia kuormituslaitteeseen lisättiin painetta manuaalisesti, jolloin kuorman suuruus nousi voimakkaasti ja koekappale saavutti murtolujuuden.



Taulukko 16. Kokeen 6 kuorman suuruus suhteessa aikaan



Taulukko 17. Kokeen 6 siirtymän suuruus suhteessa aikaan

Puurakenteisen välipohjaliittymän kestävyys

Laskennallinen kuorma on kulmaveyvien BNV33 leikkauskestävyys. Laskennallinen siirtymä jäykistelevyille lasketaan kokeen kuorman suhteena siirtymäkertoimeen.

Kokeen kuorma	Kokeen siirtymä		Kestävyys murtorajatilassa	Siirtymä murtorajatilassa		Lisätietoja
	ylempi jäykistelevy	alempi jäykistelevy		ylempi jäykistelevy	alempi jäykistelevy	
kN	mm	mm	kN	mm	mm	
0,50	0,01	0,00		0,01	0,01	
1,02	0,02	0,02		0,02	0,03	
1,52	0,01	0,02		0,04	0,04	
2,02	0,01	0,01		0,05	0,06	
2,54	0,01	0,01		0,06	0,07	
3,00	0,01	0,01		0,07	0,09	
3,50	0,02	0,01		0,08	0,10	
4,01	0,03	0,01		0,09	0,12	
4,52	0,03	0,01		0,11	0,13	
5,04	0,04	0,00		0,12	0,15	
5,49	0,06	0,00		0,13	0,16	
6,02	0,07	0,01		0,14	0,18	
6,52	0,09	0,02		0,15	0,19	
7,02	0,09	0,05		0,16	0,21	
7,51	0,10	0,09		0,18	0,22	
8,01	0,11	0,12		0,19	0,24	
8,49	0,13	0,15		0,20	0,25	
9,01	0,15	0,20		0,21	0,27	
9,51	0,16	0,23		0,22	0,28	
10,01	0,16	0,29		0,23	0,29	
10,50	0,18	0,33		0,24	0,31	
11,01	0,20	0,39		0,26	0,32	
11,50	0,21	0,45		0,27	0,34	
12,01	0,23	0,51		0,28	0,35	
12,49	0,24	0,57		0,29	0,37	
13,02	0,27	0,63		0,30	0,38	
13,50	0,30	0,70		0,31	0,40	
14,01	0,32	0,77		0,33	0,41	
14,50	0,34	0,83		0,34	0,43	
15,00	0,39	0,95		0,35	0,44	
15,49	0,41	0,97		0,36	0,46	
15,99	0,49	1,12		0,37	0,47	
16,82	0,56	1,14	16,80	0,39	0,50	
17,37	0,57	1,14		0,40	0,51	Kehäpalkin liitos murtui

Taulukko 18. Kokeen 6 kuormien ja siirtymien tarkastelu

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Välipohjaliittymä on useasta rakenneosasta koostuva kokonaisuus ja rakennettaessa jokaisesta koekappaleesta muodostuu yksilöllinen. Koekappaleita rakennettiin kaksi samanlaista liittymää. Kokeet antavat tietoa kyseisten rakenteiden käyttäytymisestä eikä koetuloksia voi pitää kokonaisvaltaisena tietona. Tuloksien pohjalta voidaan nähdä kestävyuden suuruusluokat ja mahdolliset ongelmakohdat. Koejärjestelyjen ja rakennetun rakennuksen välillä on suuria eroja, ja useat kokeiden ongelmat eivät vaivaa oikeassa rakennuksessa.

Pystysuuntaisten koekuormitusten tuloksien pohjalta voidaan nähdä, että ylempien runkotolppien käyttäytyminen on samankaltaista jokaisella koekappaleella. Siirtymien tarkastelun perusteella näyttäisi siltä, että kaksinkertaiset runkotolpat eivät vähennä painuman määrää verrattuna yksittäisiin runkotolppiin. Kaksinkertaisilla runkotolpilla kokeissa esiintynyt halkeilu johtui ilmeisesti ylempien runkotolppien vääntymisen aiheuttamasta vaakavoimasta. Tolppien vetovoima ylitti sahatavaran syysuuntaa vastaan kohtisuoran vetolujuuden. Kokeessa kaksi ylemmät runkotolpat vääntyivät myös, mutta alemmissa runkotolpissa ei esiintynyt halkeilua, joka antaa viitteitä siitä, että rakenteeseen lisätty runkotolppa voi edesauttaa halkeamista. Oikeassa rakennuksessa vaakavoimat ovat hallittuna jäykisterakenteiden avulla, joten koetilanne ei siltä osin vastaa täysin oikeaa rakennusta. Koetuloksien perusteella painumat kehäpalkkiin vaihtelivat suuresti. Yhdenäinen tulkinta kehäpalkin käyttäytymisestä pystysuuntaiselle kuormalla voidaan saavuttaa kokeiden määrää lisäämällä. Kehäpalkin painumat pysyivät selvästi kansilevyyn verrattuna alhaisempina, mikä tukee lujuusominaisuuksien tietoja.

Vaakasuuntaisten koekuormitusten tuloksien pohjalta voidaan todeta, että koekappaleiden jäykistelevyjen siirtymät olivat samansuuntaisia. Ylemissä jäykistelevyissä siirtymät pysyivät pääsääntöisesti alhaisempina verrattuna alempiin jäykistelevyihin. Tieto tukee kappaleiden jäykkyysominaisuuksia. Alemmat jäykistelevyt saavuttivat tasapainon siirtymien suhteen saman suuruusluokan kuormilla. Kokeellisten ja laskennallisten siirtymien vertailussa laskennalliset arvot pysyivät enimmäkseen alhaisempina verrattuna kokeellisiin arvoihin. Kuormituskokeiden tulokset eivät antaneet välipohjaliittymälle kokonaisvaltaista kestävyuden arvoa johtuen momentin aiheuttamasta nostavasta voimasta kehäpalkissa. Oikeassa rakennuksessa kehäpalkille tuleva momentti hallitaan yläpuolisen kuorman avulla, joka tuottaa alaspäin suuntautuvan vastavoiman. Tarkempi kestävyuden arvo voidaan saavuttaa, mikäli koejärjestelyssä huomioitaisiin oikeassa rakennuksessa oleva alaspäin suuntautuva voima. Kestävyuden arvo voi siis olla suurempikin, nyt koetuloksien perusteella nähdään vaakasuuntaisen kuorman suuruus, jonka liittymä ainakin kestää.

Kokonaisuutta arvioitaessa välipohjaliittymä DV401KR toimi pääsääntöisesti lujuusominaisuuksiltaan kestävästi. Jatkotutkimuksia olisi hyvä tehdä laajemmalla kokeiden määrällä, jolloin tulokset olisivat tarkempia. Kaksinkertaisen runkotolpan rakenteelle lisätutkimukset antaisivat selemmän kuvan rakenteen soveltuvuudesta liittymässä. Tarkemman kestävyuden arvon määrittämistä varten täytyisi koejärjestelyjä vaakasuuntaiselle voimal-

Puurakenteisen välipohjaliittymän kestävyys

le muuttaa. Koejärjestelyssä täytyisi todennäköisesti käyttää useampaa kuormituskehän sylinteriä. Laskennassa huomioon otetut kuormat siirtyivät oletettuja liitoksia pitkin ja siirtymät pysyivät mitoituslujuuksilla kohtuullisina. Kuormituskokeiden taulukot antavat tietoa siitä, minkälaisissa olosuhteissa tutkittua liittymää voidaan käyttää ja tietoja voidaan hyödyntää puurakenteiden suunnittelussa.

LÄHTEET

Declaration of Performance. 2013. VBU PRO. Friulsider. Viitattu 14.11.2014.

http://www.friulsider.com/upload/docs/1/830_Friulsider_DoP_vbupro_01.pdf

EN1995-1-1. 2008. Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Viitattu 13.11.2014.

<http://sales.sfs.fi/sfs/servlets/ProductServlet?action=showproduct&productid=211774>

ETA-04/0013. 2009. CNA connector nails, PCR connector nails and CSA connector screws. Viitattu 19.11.2014.

http://www.strongtie.de/media/Amended ETA_040013_rev_2_2009.08.12.pdf

Eurokoodi help desk. 2014. Eurokoodit. Suomen standardisoimisliitto SFS ry. Viitattu 13.11.2014. <http://www.eurocodes.fi/index.htm>

Finnish Wood Research Oy. 2014. Finnish Wood Research Oy. Viitattu 1.12.2014. <http://www.fwr.fi/>

Heavy Duty Fixings and Resins For Concrete and Masonry. 2013. C-ANCHORS-13. Simpson Strong-Tie. Viitattu 14.11.2014.

http://www.strongtie.co.uk/pdf/Heavy_Duty_and_Specialist_Anchor_Bolts%20Catalogue.pdf

Outinen, H., Salmi, T. & Vulli, P. 2007. Lujuusopin perusteet. Tampere: Pressus Oy.

Puurakennuskiinnikkeet. 2014. C-FI-2014. Simpson Strong-Tie. Viitattu 13.11.2014. <http://www.strongtie.fi/Tuotteet.800.aspx>

RIL 205-1-2009. 2009. Puurakenteiden suunnitteluohje, Eurokoodi EN 1995-1-1. 2009 Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

RunkoPES 2.0. 2013. Puuelementtistandardi. Finnish Wood Research Oy. Viitattu 10.11.2014.

<http://www.puuinfo.fi/rakentaminen/suunnitteluohjeet/runkopes-20>

Siikanen, U. 2008. Puurakentaminen. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Tolppanen, J., Karjalainen, M., Lahtela T. & Viljakainen, M. 2013. Suomalainen puukerrostalo. Helsinki: Opetushallitus.

Würthin yleisruuvien lujuusominaisuudet

Table 1-1 Carbon steel:

Product	Length	Characteristic yield moment $M_{y,k}$ [Nmm]		characteristic withdrawal parameter $f_{ax,k}$ [N/mm ²]		Characteristic head pull-through parameter $f_{head,k}$ [N/mm ²]	Characteristic tensile capacity $f_{tens,k}$ [kN]	Characteristic torsional ratio
				Loading across the fibre	Loading along the fibre			
Screw ϕ 2.5mm	16-20 mm	791		24,24	18,19	39,55	1,86	3,85
Screw ϕ 3.0 mm	20-40 mm	1 978		24,69	17,50	30,69	3,71	4,34
Screw ϕ 3.5 mm	25-40 mm	2 429		19,87	14,35	24,16	4,27	5,22
Screw ϕ 4.0 mm	25-70 mm	3 630		20,47	15,96	See Table 2	5,18	4,12
Screw ϕ 4.5 mm	30-80 mm	4 792		20,10	13,59		6,05	3,52
Screw ϕ 5.0 mm	30-120 mm	6 647		19,11	15,15		7,74	3,67
Screw ϕ 6.0 mm	36-240 mm	thread part	Smooth part	18,62	15,95		9,87	2,29
		10032	13451					
Material	Carbon Steel							
Corrosion resistance	Service Class 1 acc. to EN 1995-1-1							

