

Marko Näsänen

Tilaelementtimalliston kehittäminen

Tilaelementtimalliston kehittäminen

Marko Näsänen
Opinnäytetyö
Kevät 2018
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma, rakennetekniikka

Tekijä: Marko Näsänen
Opinnäytetyön nimi: Tilaelementtimalliston kehittäminen
Työn ohjaajat: Pekka Kilpinen, DI; Hermanni Nylander Ins. (YAMK)
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2018
Sivumäärä: 49 + 1 liite

Lapwall Oy aloittaa tilaelementtien valmistuksen keväällä 2018. Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää tilaajalle toimivat rakenne- ja liitosratkaisut tuotantoon tulevien tilaelementtien kokoamiseen sekä työmaalle.

Tilaelementtien kehitystyö on haastava projekti, sillä esiin voi tulla ongelmia, joita ei tule vastaan perinteisessä rakentamisessa. Tilaelementtien valmiusaste tuo haasteita varsinkin liitosten ja tiiveyden suunnittelussa.

Rakenne- ja liitosratkaisuja alettiin kehittämään tilaajan jo olemassa olevien detailjien perusteella ja niitä pyrittiin muokkaamaan tilaelementtitekniikassa toimiviksi ratkaisuksi. Kehitystyössä apuna käytettiin Lapwallin Oy:n tuotantoon tulevaa rivitalokohdetta Kalajoen hiekkasärkille. Kohde mallinnettiin Cadwork-suunnitteluohjelmistolla, jotta mahdolliset ongelmat olisi mahdollista havaita jo suunnitteluvaiheessa.

Opinnäytetyössä saatiin laadittua tilaajalle toimivat ja toteutettavissa olevat rakenne- ja liitosratkaisut yksikerroksiseen tilaelementtirakentamiseen. Näiden kuvien perusteella voitiin suunnitella elementti- ja kokoonpanokuvat tilaajan tuotantolaitoksiin Pyhännälle, Pälkäneelle ja Keuruulle.

Kehitystyön aikana myös havainnoitiin tilaelementtirakentamista. Havaintojen pohjalta on helpompi päättää, millaiset kohteet ovat järkeviä toteuttaa tilaelementtitekniikalla ja mitkä asiat ovat tärkeää ottaa huomioon kohteiden suunnittelussa.

Asiasanat: Puurakentaminen, tilaelementti, tuotekehitys

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Construction Engineering, Structural Engineering

Author: Marko Näsänen

Title of thesis: Development of Modular Element Collection

Supervisors: Pekka Kilpinen, M.Sc.; Hermanni Nylander M. Eng.

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2018

Pages: 49 + 1 appendix

This thesis was initiated by on Lapwall Oy's need to start manufacturing modular element in the spring of 2018. The target of thesis was to develop practical structural solutions for the subscriber's modular elements.

The development of modular elements is a challenging project that need to solve problems that are not usually in traditional construction. The degree of readiness in modular elements cause challenges, especially in the design of joints.

Structural solutions were started to design based on the subscriber's existing details that were customized to fit the modular elements. Modular elements were designed for a row house in Kalajoki. The design work proceeded on shedule and completed in December 2017.

As a result of the development work Lapwall Oy got functional structural solutions for the modular element construction. Based on them production plans could be done for the subscriber's factories in Pyhäntä, Pälkäne and Keuruu.

During the development work, important observations were made of the modular element construction. This information can be used when new buildings are planned.

Keywords: Wood structures, modular element, product development

ALKULAUSE

Haluan kiittää Lapwall Oy:n suunnittelu- ja tuotekehityspäällikkö Hermannin Nylanderia mielekkästä opinnäytetyön aiheesta sekä Lapwall Oy:llä projektissa mukana olleita Tuomas Pääkköä ja Eero Kainuaa.

Haluan myös kiittää Oulun ammattikorkeakoulun rakentamistekniikan tutkintovastaava Pekka Kilpistä puurakenteiden opetuksesta ja opinnäytetyöni ohjaamisesta.

Oulussa 20.2.2018

Marko Näsänen

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
SANASTO	8
1 JOHDANTO	9
2 TILAELEMENTTIRAKENTAMISEN HISTORIA	10
2.1 Yleistietoa tilaelementtirakentamisesta	11
2.2 Tilaelementtien rakenteita määrääviä tekijöitä	12
2.3 Lapwall Oy:n tilaelementit	13
3 RAKENTEIDEN- JA LIITOSTEN SUUNNITTELU	16
3.1 Rakenteiden suunnittelu	16
3.2 Rakenteiden jäykistäminen	17
3.3 Rakenteiden tiiveyden suunnittelu	17
3.4 Rakenteiden ääneneristäminen	20
3.5 Rakenteiden palotekniset vaatimukset	21
4 LAPWALL OY	23
4.1 Pyhännän tuotantolaitos	23
4.2 Pälkäneen tuotantolaitos	24
4.3 Keuruun tuotantolaitos	24
5 KALAJOEN HIEKKAKUJA	26
6 TILAELEMENTIN KEHITTÄMINEN	28
6.1 Tilaelementin rakenteet	28
6.1.1 Tilaelementin alapohja	28
6.1.2 Tilaelementin ulkoseinä	31
6.1.3 Tilaelementin huoneistoväliseinä	33
6.1.4 Tilaelementin yläpohja	34
6.1.5 Kylpyhuonemuodi	34
6.2 Suurelementtien liitokset tilaelementiksi	35

6.2.1 Alapohjaelementtien liitos toisiinsa	35
6.2.2 Ulkoseinäelementin liitos alapohjaelementtiin	36
6.2.3 Huoneistoväliseinän liitos alapohjaan ja ulkoseinään	37
6.2.4 Kylpyhuonemuodulin liitos tilaelementtiin	38
6.3 Tilaelementtien liitokset toisiinsa	39
6.3.1 Suora liitos huoneistoväliseinän kohdalla	39
6.3.2 Tilaelementtien liitos porrastuksen kohdalla	41
6.4 Tilaelementtien liitos perustuksiin	43
7 YHTEENVETO	44
LÄHTEET	46
LIITTEET	
Liite 1. Alapohjan mitoitus Finnwood-ohjelmistolla	

SANASTO

CLT	Ristiinliimattu massiivipuu (cross laminated timber)
EPDM	Eteeni-, propeen- ja dieenimonomeereistä koostuva kumi, joka sopii ominaisuuksiensa johdosta hyvin tiivisteeksi
Kerto-Q	Kantava ja jäykistävä viilupuulevy
Kerto-Ripa	Kerto-Q-levyistä ja Kerto-S-palkeista rakenneliimattu elementti
Kerto-S	Viilupuusta valmistettu palkki- ja puulevytuote
Käyttörajatila	Tila, jonka ylittämisen jälkeen käyttökelpoisuusvaatimukset eivät enää täyty
LVL	Viilupuusta (laminated veneer lumber), sorvatuista viiluista liimaamalla valmistettu rakenteellinen puutuote
Murtorajatila	Tila, jolloin rakenne sortuu tai vaurioituu
OSB-levy	Suunnattu suurlastulevy (oriented strand board), valmistettu puristamalla ristiin liimatuista puulastuista
Ripa	Alapohjajaelementin Kerto-S-palkki
Suurelementti	Tehtaassa valmistettu rakennuksen valmisosa esim. ulkoseinäelementti. (1, s.21.)

1 JOHDANTO

Puuelementtirakentaminen on yleistynyt muutaman viime vuoden aikana. Perinteinen rakentaminen on siirtymässä yhä enemmän työmailta tehtaisiin. Kokonainen kylpyhuone tai esimerkiksi jopa asuinhuoneisto voidaan valmistaa tehtaassa lähes valmiiksi. Näin ollen kriittinen työmaavaihe lyhenee ja riskit vähenevät.

Tämän insinööriyön tarkoituksena on kehittää Lapwall Oy:lle puurakenteinen tilaelementtimallisto rivitalokohteisiin. Tavoitteena on luoda rakenne- ja liitosratkaisut tilaelementteihin siten, etteivät ne tarvitsisi tilauskohtaista suunnittelua. Kehitystyössä käytetään apuna oikeaa Lapwall Oy:n tuotantoon tulevaa kohdetta Kalajoen hiekkasärkille. Kalajoen kohde sisältää kymmenen yksion kokoista huoneistoa.

Kehitystyössä pyritään käyttämään hyväksi mahdollisimman paljon tilaajan jo olemassa olevia liitos- ja rakenneratkaisuja. Niitä pyritään soveltamaan tilaelementteihin sellaisinaan tai hieman muunneltuina. Uudet ratkaisut pyritään miettimään siten, että ne ovat kustannustehokkaita ja helppo toteuttaa tilaelementtirakentamisessa.

Kalajoen kohde mallinnetaan Cadwork-suunnitteluohjelmistolla. Näin havaitaan helpommin mahdolliset ongelmakohdat sekä saadaan tuotantopiirustukset tilaajan elementtitehtaisiin Pyhännälle, Pälkäneelle ja Keuruulle.

2 TILAELEMENTTIRAKENTAMISEN HISTORIA

Siirtomaiden asutuksen myötä 1600-luvulla syntyi tarve nopeille asumuksille, joita ei pystytty rakentamaan tarpeeksi nopeasti perinteisillä rakentamisen menetelmillä. Siksi valmiita rakennuskomponentteja alettiin rakentamaan Euroopassa ja vietiin laivakyydein siirtomaihin. Siirrettävät rakennukset olivat hyvin vajavaisia, mutta ne olivat kevyitä ja niitä oli helppo siirtää ja kasata työmaalla ilman erikoisia työkaluja. (2, s. 4-5.)

Tilaelementtien rakentaminen on kehittynyt vuosisatoja eri aikakausien tarpeiden ja vaatimusten mukaisiksi. Teollinen vallankumous toi 1800-luvulla uusia tuulia rakentamiseen. Rakennus muodostettiin rakennuksen rungosta ja vuorauselementeistä, joten rakennus oli helposti kasattava ja purettava. (2, s. 5.)

1900-luvulla ensimmäinen maailmansota aiheutti mittavan asuntopulan Euroopassa. Tämän seurauksena kokeiltiin tehtaissa sarjatuotettuja asuinrakennuksia, mutta tämä jäi lähinnä kokeilutasolle. Vaikka kokeilut eivät ottaneet tuulta alleen, 1900-luvun alkupuolella toteutettiin ensimmäiset tilaelementit. Kokeilujen seurauksena sopiviksi rakennusmateriaaleiksi valikoituivat teräs, puu, muovi ja komposiittirakenteet. (2, s. 6.)

Suomessa elementtirakentaminen yleistyi vasta sotien jälkeen 1940-luvun lopussa ja 1950-luvun alussa, jolloin tarvittiin nopeasti rakennuksia uudelleenrakentamiseen ja sotakorvauksien maksamiseen. 1960-luvulla alettiin valmistamaan tehtaissa kylpyhuonemoduuleita. Moduulit olivat betonista valmistettuja ja ne olivat sisäpinnoiltaan valmiita. Lisäksi niissä oli kalusteet paikoillaan. Suomessa tilaelementtirakentaminen on ollut pitkään rajoittunut kylpyhuonemoduuleihin, tilapäiskouluihin ja työmaakoppeihin. Kuitenkin viime vuosien aikana tilaelementtirakentaminen on hieman yleistynyt. Muutaman viimeisen vuoden aikana on rakennettu useita CLT-runkoisia tilaelementtikerrostaloja. Tästä hyvä esimerkki on Seinäjoelle 2013 valmistunut Lintuviita. Rakennus oli valmistuksessaan suurin CLT-tilaelementeistä valmistettu asuinkerrostalo Euroopassa. (3, s. 17,19; 4, s. 77-78; 5.)

2.1 Yleistietoa tilaelementtirakentamisesta

Tilaelementti on nimensä mukaisesti elementti, joka jo yksinään voi muodostaa tilan. Tilaelementti on yleensä seinien, lattian ja katon muodostama yhtenäinen tilakokonaisuus. Tilaelementti on yleensä yksi osa suurempaa rakennusta. Näin ollen tilaelementtien välisistä rakenteista tulee kaksoisrakenteita. Tilaelementit voidaan tehdä tehtaissa hyvinkin suurella valmiusasteella. Elementin sisätilat voivat olla täysin tai lähes valmiit. Tilaelementteihin voidaan myös asentaa talotekniikka valmiiksi tehdasolosuhteissa. Näin ollen kriittinen työmaavaihe lyhenee ja rakennus altistuu vähemmän sään aiheuttamalle rasitukselle. (6, s. 4; 7 s. 48.)

Tilaelementtitekniikkaa on mahdollista käyttää myös, jos rakennuksessa käytetään muuta rakennerunkoa. Rakennuksen kantavat rakenteet voivat olla esimerkiksi teräsbetonirakenteisia ja rakennuksen huonetilat muodostetaan tilaelementeillä. Vaihtoehtoisesti tilaelementtirakenteet voivat olla pienempiä kokonaisuuksia, kuten kylpyhuonemuodulleja. (7 s. 48.)

Tilaelementtien kantavat rakenteet ovat yleensä toteutettu pilari-palkkitekniikalla, kehärakenteena tai laattamaisilla suurelementeillä. Suurelementit voivat olla ranganrunkoisia tai massiivirakenteisia. Pilari-palkkijärjestelmä mahdollistaa suurempien ja avoimempien tilojen muodostamisen kuin laattamaiset rakenteet. Suurelementit ovat sidottu tilaelementteihin, joten pilari-palkkijärjestelmä on helpommin muovailtavissa tilojen suhteen. Näin ollen tilaelementtirakentaminen sopii parhaiten asuinrakentamiseen. Tilaelementtitekniikka sopii hyvin myös kohteissa, joissa halutaan lisäkerroksia valmiisiin rakennuksiin nopeasti. Ruotsissa tilaelementtitekniikkaa käytetään puukerrostalorakentamisessa enemmän kuin muita rakentamistapoja. (6, s. 6; 2, s. 13; 8, s. 69; 7, s. 49.)

Tilaelementeissä käytetyimpiä materiaaleja ovat teräs ja puu. Puurakentamisella on vahvat perinteet pohjoismaissa ja varsinkin pientalorakentamisen puolella. Puu soveltuu erittäin hyvin tilaelementtirakentamiseen sen saatavuuden, keveyden, muovailtavuuden ja liitettävyyden ansiosta. Puulla on myös hyvät lujuusominaisuudet painonsa nähden. Betoni- ja tiilirakenteita ei yleensä käytetä tilaelementtirakentamisessa niiden painonsa ja kuivumisaikojen takia. (2, s. 14.)

Tilaelementtien tehokas asentaminen edellyttää rakenne- ja liitosratkaisujen vakioidusta. Jokaisella valmistajalla on yleensä omat vakioidut ratkaisunsa niin liitosten kuin rakennusmateriaalien suhteen. (3, s. 74.)

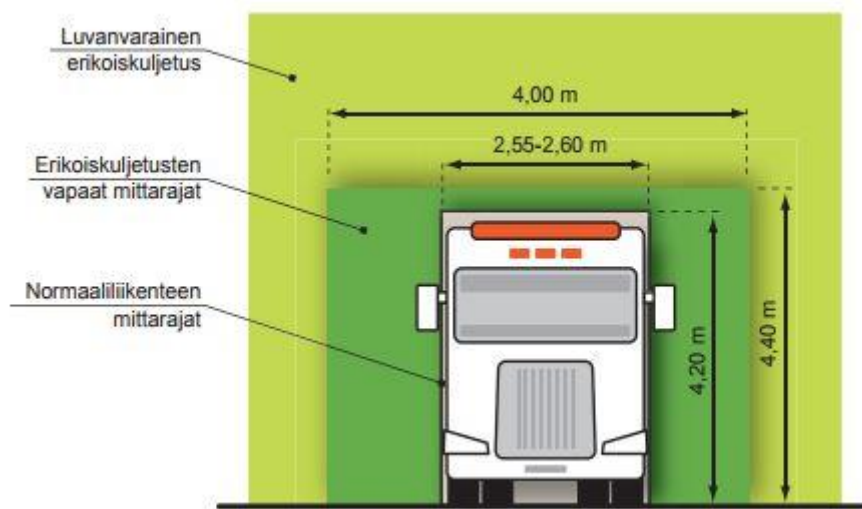
Tilaelementtirakentaminen sopii parhaiten sarjatuotantoon. Tilaelementtirakentamisessa on eduksi, jos pystytään valmistamaan samanlaisia elementtejä suuria tuotantoeriä. Suuret valmistuserät mahdollistavat rakennusmateriaalien tehokkaan käytön ja tuotannon hallinta on sujuvampaa. Suomessa kuitenkin tilaelementtien sarjatuotanto on vähäistä. Pienempiä tiloja, kuten kylpyhuoneita saadaan tehdä suurempia valmistus-eriä. Sarjatuotannon esteenä ovat esimerkiksi kaavamääräykset sekä rakennusoikeus. Määräykset pakottavat suunnittelemaan rakennuksen kullekin tontille sopivaksi, joten tilaelementtituotteiston vakiominen on tällöin hankalaa. Tämä onkin johtanut siihen, että tilaelementtitehtaat Suomessa muovautuneet yksittäistuotantoon. (7, s. 48; 3, s. 74-75.)

Tilaelementtitekniikan tavoitteena on, että tehtävää työtä jäisi mahdollisimman vähän työmaalle. Työmaalle perinteisesti jääviä töitä ovat maanrakennus- ja perustustyöt, kunnallistekniset työt, tilaelementtien asennus perustusten päälle, tilaelementtien liitosten viimeistely, vesikattojen rakentaminen ja muut lisärakenteet. (3, s. 74-75.)

2.2 Tilaelementtien rakenteita mää rä äviä tekijöitä

Tilaelementtien koko määräytyy pääosin Suomen tieliikenteessä sallittavien kuljetusten maksimimitoista kuvan 1 mukaisesti. Tilaelementtien yleiset maksimitat ovat 12*4,2*3,2 metriä. Muita rajoituksia tilaelementtien maksimitoille asettavat järkevät välipohjien paksuudet sekä tilaelementin kokonaispaino. Käytännössä tilaelementin maksimipituus voi olla jopa 15 metriä, jolloin työmaan nostokapasiteetti on vielä riittävä. Tilaelementtien kuljetettavuus siis ei rajoita niinkään pituutta vaan leveyttä ja korkeutta. Normaaliliikenteessä suurin sallittu kuljetuksen korkeus on 4,40 metriä ja sallittu leveys 2,55/2,60 metriä. Kaikki kuljetukset, jotka ylittävät nämä mitat, ovat erikoiskuljetuksia. Yli 3,5 metriä leveällä tai yli 5

metriä korkealla kuljetuksella täytyy olla vähintään yksi varoitusauto kuljetuksen edessä. Yli neljä metriä leveällä kuljetuksella täytyy olla varoitusautot kuljetuksen edessä ja takana. Erityisreitistöä käytettäessä tilaelementin maksimileveys- ja korkeus voi olla jopa 7 metriä, mutta maanteiden opasteet ja kaupunkien keskustoiden ahtauden huomioon ottaen maksimileveys- ja korkeus olisi hyvä olla alle 5 metriä. Rajoitetut mitat asettavat haasteita sekä tila- että rakennesuunnittelussa. (6, s. 4; 8, s. 68; 9, s. 32; 10, s. 5, 13.)



KUVA 1. Suomen tieverkostossa sallitut mitat (10, s. 5)

2.3 Lapwall Oy:n tilaelementit

Tilaaajan tarkoituksena on muodostaa tilaelementtimallisto, joka ei tarvitse malliston kehittämisen jälkeen erillistä kohdekohtaista suunnittelua, vaan niitä voidaan käyttää tulevaisuudessa kohteissa ilman erillistä suunnittelua. Kehitystyössä pyritään kustannustehokkaisiin ratkaisuihin, jotka ovat järkeviä toteuttaa sekä tehdasolosuhteissa että työmaalla. Tilaelementeissä on tarkoituksena käyttää mahdollisimman paljon hyväksi tilaaajan vakioimia rakennusmateriaaleja sekä jo olemassa olevia rakenne- ja liitosratkaisuja. Tilaelementit suunnitellaan arkkitehdin

suunnitteleminen piirustuksien mukaisiksi (kuva 2). Jokainen tilaelementti muodostaa pinta-alaltaan 30,6 m² suuruisen huoneiston. Tilaelementtien ulkomitat ovat rakennuksen keskellä 3 780x9 500 mm. Päätyseinillä tilaelementit ovat hieman leveämpiä, koska toinen tilaelementin seinistä on tällöin ulkoseinä. Ulkoseinän kanssa tilaelementin leveys on 4 004 mm. Tilaelementtien korkeus on 3 149 mm.



KUVA 2. Arkkitehtikuva tilaelementistä (Ilmarinen 2017)

Tilaelementtien seinät ovat rankarakenteisia massiivi- ja kertopuurakenteita. Tilaelementtien alapohja muodostuu Kerto-Ripaelementeistä. Yläpohjan muodostaa tilaelementin poikittaissuuntainen Kerto-Q-levytys. Kylpyhuone valmistetaan kylpyhuonemoduulina Keuruun tehtaalla täysin valmiiksi ja asennetaan tilaelementtiin ennen tilaelementtien toimitusta työmaalle (kuva 3). Kylpyhuonemoduuli on mallia LW LEKO® BATH 1. Tilaelementtien valmiusaste pyritään saamaan mahdollisimman suureksi ennen työmaalle toimitusta, joten elementti on sisältä täysin tai lähes valmis. Työmaalla täytyy vain liittää elementit toisiinsa ja tehdä talotekniikkaan tarvittavat kytkennät.



KUVA 3. Kylpyhuonemuoduli asennettuna tilaelementtiin (Vikki 2018)

Tilaelementtien toimitus hoidetaan kolmen eri tuotantolaitoksen yhteistyönä. Pysty- eli seinäelementit tulevat Pyhännän tehtaalta ja alapohjaelementit Pälkäneen tehtaalta. Tilaelementit kasataan valmiiksi Keuruun tehtaalla, mistä ne toimitetaan työmaalle.

3 RAKENTEIDEN- JA LIITOSTEN SUUNNITTELU

Suunniteltavien rakenteiden tulee täyttää Eurokoodistandardien mukaiset vaatimukset lujuuden ja vakauden suhteen. Rakenteita ja liitoksia suunniteltaessa täytyy ottaa huomioon Suomen Rakentamismääräyskokoelmassa niille asetetut vaatimukset. Näitä ovat muun muassa rakennusfysikaaliset ominaisuudet, palo- ja äänitekniset vaatimukset. (7, s. 88.)

3.1 Rakenteiden suunnittelu

Puurakenteiden suunnittelussa käytetään seuraavia eurokoodeja: EN 1990 Suunnittelun perusteet, EN 1991 Rakenteiden kuormitukset ja EN 1995 Puurakenteiden suunnittelu (11 s. 23).

Yleisesti rakenne tulisi suunnitella siten, että se sopii käyttötarkoitukseensa. Suunnittelussa on myös hyvä ottaa huomioon rakennuksen suunniteltu käyttöikä sekä kustannustehokkuus. Rakenteen täytyy myös kestää todennäköisesti siihen aiheutuvien kuormitusten rasitus. Onnettomuustilanteista johtuvien vaurioiden syntymistä olisi hyvä ennalta ehkäistä, ettei koko rakennus sorru yhden rakenneosan vahingoittuessa. Kantavat puurakenteet jaetaan neljään eri vaativuusluokkaan: vähäinen, tavanomainen, vaativa ja poikkeuksellisen vaativa. Vaativa luokka on jaettu kahteen alaryhmään V ja V+. Puurakenteiden suunnittelijalla täytyy olla rakenteen vaativuusluokan mukainen pätevyys. (11, s. 24-25; 12, s. 24.)

Puurakenteiden suunnittelussa otetaan huomioon materiaalin kosteus, kuorman vaikutuksen kesto ja rakennuksen käyttötarkoitus. Rakenteita mitoittaessa perusteina käytetään murtorajatilassa rakennusmateriaalin lujuutta ja käyttörajatilassa rakenteen muodonmuutoksia. (11; s. 34.)

Tässä opinnäytetyössä mitoitetaan tilaelementin Kerto-Ripa alapohja Finnwood mitoitusohjelmiston avulla. Alapohjan rakenne vastaa välipohjien rakennetta, joten se mitoitetaan käyttörajatilassa kävelystä aiheutuvalle värähtelylle. (7, s. 88.)

3.2 Rakenteiden jäykistäminen

Rakennejärjestelmän tulee kestää siihen vaikuttavien ulkopuolisien voimien aiheuttama rasitus, kuten tuulikuorma ja rakenteiden epäkeskisyyksistä aiheutuvat kuormat. Itsenäisen rakennusosan täytyy kestää rakenteiden sisäisistä voimista sille aiheutuva rasitus. Rakenteiden jäykistämällä pyritään estämään rakenteissa syntyviä liian suuria geometrisia muutoksia. Yleisimpiä jäykistysmenetelmiä ovat kehät, mastot, ristikkojäykistys ja levyjäykistys. Levyjäykistyksessä pystytolpista ja juoksuista muodostetut rungot jäykistetään esimerkiksi kipsilevyllä, kuitulevyllä, OSB-levyllä tai vanerilla. Levyjen reunoissa olevien liittimien avulla leikkausvoimat siirretään liittimien avulla pystyrakenteisiin ja sitä kautta perustuksille. (13, s.10,14,19-20.)

Tilaelementin jäykistäminen eroaa normaaleista rakennusmenetelmistä siten, että tilaelementin täytyy olla itsenäinen jäykkä rakennusosa. Jäykistämistä suunniteltaessa on otettava erityisesti huomioon kuljetusten, nostojen ja asennuksen aikainen jäykkyys. Etenkin nostot aiheuttavat suuria rasituksia elementteihin, sillä elementin paino riippuu nostopisteistä nostoliinon varassa. Näin ollen rakenteet voivat olla ylimitoitettuja valmiin rakennuksen toimintaa ajatellen. Kun tilaelementit kytketään toisiinsa, ne toimivat omina jäykistävinä yksikköinä. Näin ollen huoneistot täytyy yhdistää siten, että vaakakuormat siirtyvät huoneistolta toiselle. Tilaelementtien liittäminen toisiinsa täytyy kuitenkin tehdä niin, että ääni- ja palotekniset vaatimukset huoneistojen välillä täyttyvät. (7, s. 48, 90.)

3.3 Rakenteiden tiiveyden suunnittelu

Ilmastonmuutoksen ja energiansäästö tavoitteiden seurauksena energiamääräykset ovat kiristyneet viimeisten vuosien aikana ja tulevat jatkossa kiristymään lisää. Rakenteiden suunnittelussa on hyvä ottaa huomioon niiden kosteustekninen toiminta ja tiiveys, jotka vaikuttavat niin sisäilman laatuun, viihtyvyyteen sekä rakenteiden kykyyn poistaa kosteutta. Rakenteita suunniteltaessa on myös hyvä

kiinnittää huomiota materiaalivalintoihin, jottei syntyisi suotuisia kasvuolosuhteita mikrobeille. (14, s. 36, 46.)

Kiristyneiden energiamääräysten vuoksi täytyy kiinnittää huomiota entistä enemmän rakennusvaipan sisäpuolen tiiveyteen. Rakennuksen tiiveyden täytyy olla riittävä, että rakennuksen sisätilat pysyvät alipaineistettuina ulkotilaan nähden. Tiiveyden parantamisella estetään rakenteille haitallisten kosteuden, ilman epäpuhtauksien ja kaasujen siirtyminen rakenteiden lävitse. Rakenteiden tiiveys parantaa rakennuksen energiatehokkuutta, koska rakennuksen sisällä oleva lämmin ilma ei pääse siirtymään yhtä tehokkaasti rakenteiden läpi kylmään ulkoilmaan. Rakennuksen sisätilojen viihtyvyys paranee, sillä kylmistä ulkotiloista rakenteiden läpi tuleva vedon tunne vähenee. (14, s. 36, 46; 15, s. 34.)

Rakenteiden tiiveys voidaan suunnitteluvaiheessa todeta kokemuseräisellä tiedolla, yleisesti hyväksytyyn ohjeistuksen perusteella, laskennallisella tarkastelulla ja testaamalla kokeellisesti. Erilaiset rakenneratkaisut ja rakennusmateriaalit sopivat paremmin erilaisissa tilanteissa kuin toiset. Myös liitosratkaisuissa on eroja rakenteellisten vaatimusten mukaan, joten suunnittelijan täytyy määrittää, mitä erityisvaatimuksia rakenteelta vaaditaan. Suunnittelija määrittelee rakenteen vaatimukset sen tavanomaisuuden ja kestävyysperusteella. Tämän perusteella päätetään, tarvitsevatko rakenteet erikoistarkasteluja. (14, s. 36-37.)

Rakennuksen vaadittavan tiiveyden saavuttamiseksi rakenteiden täytyy olla tarvittavan ilmatiiviitä. Ilmantiivistyksenä voi toimia esimerkiksi yhtenäinen riittävän tiivis rakennekerros, kuten riittävän paksu massiivipuulementti, muovikalvo tai saumoistaan tiivistetty polyuretaanilevy. Massiivipuulementtiä käytettäessä elementin saumat on tiivistettävä esimerkiksi saumanauhalla tai polyuretaanivaahdolla. Ilmansulun täytyy olla selvästi ilmatiiviimpi kuin tuulensuojan. (14, s. 46, 99-100, 141.)

Liitokset eri rakenteiden välillä on suunniteltava siten, että lämmöneristys ja ilmatiiviit rakenteet jatkuvat mahdollisimman yhtenäisinä. Esimerkiksi ryömintätillisen alapohjan eristekerros on hyvä jatkaa betonisen perusmuurin pinnoille asti

kylmäsiltojen syntymisen estämiseksi. Höyrynsulku asennetaan yleensä rakenteissa lämpimän tilan puolella niin, ettei höyrynsulun ja lämmöneristeen väliin jää ilmatilaa. Höyrynsulun liitokset pyritään tiivistämään puristamalla ne kahden jäykän pinnan väliin. Jatkokohtat on myös hyvä teipata tarkoitukseen soveltuvalla teipillä riittävän tiiveyden varmistamiseksi. Puuelementeillä rakennettaessa liitosten ilmantiiveys varmistetaan riittävän paksulla polyuretaanivaahdotuksella. Märkätiloissa seiniin asennetaan vedeneriste. (14, s. 45-47, 99-100, 123, 159-160.)

Haitallisten ilmapvirtausten kulkeutuminen rakenteiden läpi estetään esimerkiksi yhtenäisellä tuulensuojalevypinnalla. Tuulensuojalevyn materiaalin täytyy olla riittävän vesihöyryä läpäisevää. Tuulensuojan kiinnikkeet eivät myöskään saa läpäistä ilmansulkua. (14, s. 47, 136.)

Ryömintätalallisessa alapohjassa eli sokkelin ja perusmaan rajoittamassa ilmatilassa täytyy ottaa huomioon ilmankosteus- ja lämpötilat. Näihin edellä mainittuihin vaikuttavat perusmaan kosteuspitoisuus, alapohjan eristepaksuus sekä ryömintätilan ilmanvaihtuvuus. Ryömintätila on suoraan vasten perusmaata, mistä haihtuu merkittävästi kosteutta ryömintätilaan. Jos ryömintätila ei pääse tuuletumaan, siellä vallitsevat lähes samat olosuhteet kuin perusmaassa. Ryömintätilan ilmaolosuhteet vaihtelevat vuodenaikojen ja ulkoilman mukaan. Tästä johtuen alapohjatilassa vallitsevat varsinkin kesäaikoina homehtumiselle suotuisat olosuhteet. Tästä johtuen materiaalivalinnat pitää tehdä nämä seikat huomioon ottaen ja alapohjan liitokset ovat myös hyvä tehdä huolella. (14, s. 157-158.)

Rakennuksen vaipan energiatehokkuutta mitataan yleisesti lämmönläpäisykerroin U-arvolla. Rakennuksen vaipan osien lämmönläpäisykertoimien vertailuarvot annetaan Suomen rakentamismääräyskokoelma C3:n taulukossa 3.2.1. Lämpimissä tiloissa U-arvo on ulkoseinälle 0,17 W/m²K, yläpohjalle 0,09 W/m²K, ryömintätilaan rajoittuvalle alapohjalle 0,17 W/m²K. (14, s. 201; 16, s. 7.)

3.4 Rakenteiden ääneneristäminen

Ääneneristämällä pyritään estämään äänen kulkeutumista rakenteiden välillä huoneistosta toiseen. Ääni siirtyy rakenteiden välillä ilma- ja runkoäänenä. Ilmaääni on ilman välityksellä siirtyvää ääntä. Runkoääni on rakenteiden rungossa etenevää ääntä. Askelääni on askelista ja esimerkiksi huonekalujen siirtämisestä aiheutuvaa runkoääntä. Kun rakenne saa iskun esimerkiksi huonekalusta, se alkaa värähtelemään. Värähtely siirtyy rakenteessa eteenpäin ja saa myös ilman värähtelemään. Äänen kulkeutumista rakenteissa eristävät hyvin raskaat rakenteet, kaksi- tai useampi kerroksiset rakenteet sekä massiiviset rakenteet, joissa on äänensäteilyä vähentävä rakenne. Askelääntä eristävät hyvin pehmeät lattiapäällysteet ja kelluvat välipohjarakenteet. (17, s. 7; 18, s. 9, 130, 134.)

Liitoksien ääneneristävyttä suunniteltaessa on kiinnitettävä erityistä huomiota liitosten tiiviyteen. Raot heikentävät ääneneristystä, joten ne on syytä tiivistää tarkoituksen mukaisella massalla. Jos aukot ovat kooltaan suurempia, ne on hyvä täyttää samalla materiaalilla kuin kyseinen rakenne on valmistettu. Kun käytetään kaksinkertaisia erotettuja rakenteita, täytyy sivuava rakenne katkaista erottavan rakenteen kohdalta, jotta vältetään äänisiltojen syntyminen rakenteiden välille. (17, s. 25-26.)

Rakenteiden ääneneristävyysvaatimukset annetaan rakentamismääräyskokoelmasssa RakMK C1 Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa. Asuinhuoneistojen väliset ääneneristävyysvaatimukset esitetään kuvassa 4.

ASUNNOT

TAULUKKO 2.1 ASUINRAKENNUKSISSA NOUDATETTAVAT AKUSTISET VAATIMUKSET

Pienimmät sallitut ilmajääneristysluvun R'_{w} (dB) arvot	dB	Ohje
- Asuinhuoneiston ja sitä ympäröivien tilojen välillä yleensä	55	Asuinhuoneiston porrastaso-ovena käytetään vähintään luokan 30 dB ovea tai oviyhdistelmää.
- Asuinhuoneiston ja toista huoneistoa palvelevan uloskäytävän välillä, kun välissä on ovi	39	
Suurimmat sallitut askelääänitasoluvun $L'_{a,w}$ (dB) arvot	dB	Ohje
- Asuinhuoneistoa ympäröivistä tiloista keittiöön tai muuhun asuinhuoneeseen, yleensä	53	Vaatus ei koske mittausta satunnaisesti kilytettävistä huolto- ja varasto-tiloista, autosuojista tai vastaavista tiloista eikä mittausta asuinhuoneistoon kuuluvista pienistä wc-, kylpyhuone- ja löylyhuonetiloista. Näistä tiloista asuntoon mahdollisesti aiheutuva meluhäiriö on otettava huomioon suunnittelussa ja rakentamisessa niin, että asuinhuoneistossa saavutetaan edelleen hyvät ääniolosuhteet. Selostus <i>Kevyet rakenteet läpäisevät matalia ääniä, joita askelääänitasoluvun $L'_{a,w}$ määrittämisessä ei huomioida. Nämä äänet saattavat kuulua häiritsevänä kuminana.</i>
- Uloskäytävästä asuinhuoneeseen	63	Ohje Uloskäytävällä tarkoitetaan tässä sel- laista porrashuonetta ja käytävää, jos- ta on käynti toiseen huoneistoon.

KUVA 4. Huoneistojen välisten rakenteiden ääneneristävyysvaatimukset asuin- rakennuksissa (19, s. 5)

Kalajoelle tuleva rivitalokohde on yksikerroksinen ja siinä ei ole yhteisiä uloskäy- täviä asuntojen kesken. Siksi ainoa ääneneristävyysvaatimus on huoneistojen välisellä seinällä. Huoneistoväliseinän ääneneristävyysvaatimus kohteessa on 55 dB.

3.5 Rakenteiden palotekniset vaatimukset

Rakennukset jaetaan paloteknisesti kolmeen eri luokkaan; P1, P2 ja P3. P3 on vaatimuksiltaan vaivattomin luokka, ja P1 on vaatimuksiltaan vaativin luokka. Pientalot kuuluvat lähes poikkeuksetta paloluokkaan P3. (20, s.7.)

Pientaloissa noudatetaan, kuten muissakin rakennuksissa kerros-, käyttötapa- ja pinta-alaosastointia. Suomen rakentamismääräyskokoelman osan E1 mukaan P3 luokassa rakennuksen korkeus saa olla maksimissaan 9 metriä korkea ja kerroksia rakennuksessa saa olla enintään 2. Rakennuksen kerrosala saa olla yksi kerroksisena 2 400 m² ja kaksi kerroksisena enintään 1 600 m². Kalajoen rivitalokohde täyttää nämä vaatimukset, joten rakennus kuuluu paloluokkaan P3. (20, s. 9-10, 16.)

P3-luokkaiselle pientalolle ei aseteta kantavien rakenteiden osalta palonkestovaatimuksia. Rivitalokohteessa osastointi tehdään huoneistojen välille jakamalla rivitalo pystysuuntaisiin osastoihin ja se jatketaan vesikatteeseen saakka. Asuntojen välissä oleva räystäs osastoidaan vaatimusten mukaisella materiaalilla. P3-luokan rakennuksessa palo-osastointivaatimus on EI30, missä E tarkoittaa tiiviyttä, I eristystä ja numeroluku kertoo minuutteina ajan, kuinka kauan rakenteen täytyy olla osastoiva. Jos rakennuksessa on ilmanvaihtokonehuone, joka palvelee useita eri palo-osastoja, myös se täytyy osastoida vaatimuksen EI30 mukaisesti. (20, s. 9-10, 16.)

4 LAPWALL OY

Lapwall Oy on vuonna 2011 perustettu puuelementoinnin suunnannäyttävä yritys. Yrityksellä on tuotantolaitokset Pyhännällä, Pälkäneellä ja Keuruulla. Yrityksen pääkonttori sijaitsee Pyhännällä ja sivukonttorit sijaitsevat Oulussa, Vantaalla sekä Borlängessä Ruotsissa, minne on tarkoitus myös perustaa tuotantolaitos vuonna 2018. Lapwall Oy on muutaman vuoden aikana noussut Suomen ja pohjoismaiden suurimmaksi puuelementtien toimittajaksi. Vuonna 2016 yhtiön liikevaihto oli 30 miljoonaa ja vuoden 2017 budjetoitu liikevaihto on 63 miljoonaa euroa. Yhtiön kehitys jatkuu myös tulevaisuudessa vahvana, sillä tavoitteena on ylittää 100 miljoonan euron liikevaihto vuonna 2018 ja vuodelle 2023 asetettu liikevaihtotavoite on 360 miljoonaa euroa. Suomen lisäksi yhtiö toimittaa elementtejä pääasiassa Ruotsiin, Norjaan ja Baltiaan. Noin 20 % liikevaihdosta tulee viennistä. (21.)

Lapwall Oy tarjoaa asiakkailleen kustannustehokkaan kokonaispalvelun rakentaa puurakenteisista elementeistä rivi-, luhti-, omakoti- ja paritaloja ja myös päivä- ja hoivakoteja. Elementit valmistetaan tehdasolosuhteissa täysin säältä suojassa. LapWall LEKO® rakentamisen kokonaispalvelu mahdollistaa suurienkin kohteiden läpi viennin jopa kolmessa viikossa. LapWall LEKO®-tuotekortistossa on yli 100 suurelementtituotetta. Tuotteita kehitetään koko ajan eteenpäin, joten tuotekortistoa päivitetään muutaman kerran vuodessa. (22, s. 5-7; 23.)

4.1 Pyhännän tuotantolaitos

Pyhännän tuotantolaitos on Lapwall Oy:n ensimmäinen tuotantolaitos. Elementtitoimitukset tehtaalta käynnistyivät huhtikuussa 2012. Heinäkuussa 2015 Lapwall Oy:llä oli töissä jo lähes sata työntekijää ja se oli Suomen suurin puuelementtien valmistaja tuotantomäärältään. (24.)

Vuoden 2015 lopussa Pyhännälle valmistui toinen tuotantohalli, jonka tavoitteena oli kaksinkertaistaa elementtituotanto. Pyhännän tehtaan kolmella robotisoidulla

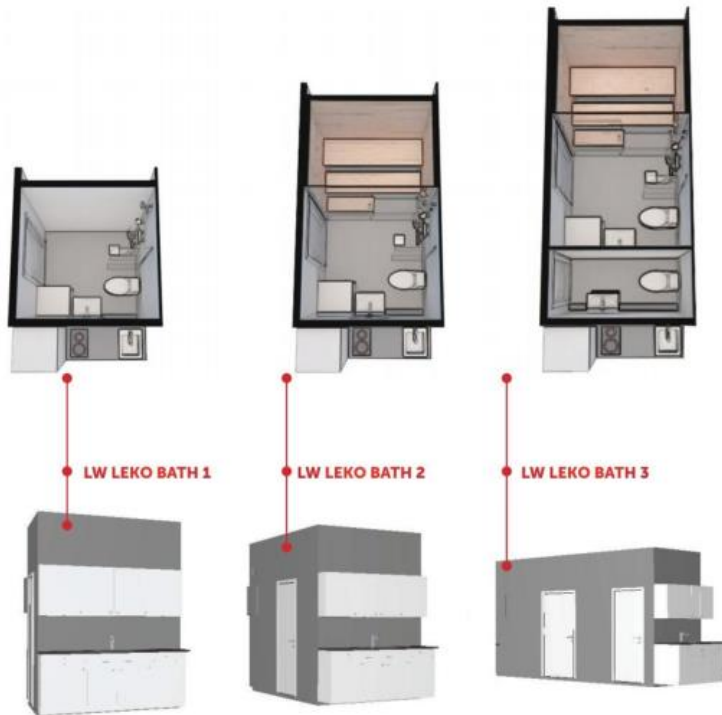
tuotantolinjastolla on mahdollista valmistaa kymmenen omakotitalon tai viiden päiväkodin puuelementit päivässä. (25.)

4.2 Pälkäneen tuotantolaitos

Tammikuussa 2017 Lapwall Oy osti Metsä Woodilta Pälkäneellä sijaitsevan puuelementtitehtaan liiketoiminnan. Pälkäneen elementtitehdas on kooltaan 6 500 neliometriä ja työllistää noin 50 työntekijää. Pälkäneen yksikön tuotteita ovat kattoelementit, ala- ja välipohjaelementit sekä liimapuurungot. Tehdas tuottaa vaa- kaelementtejä noin 200 000 neliometriä vuodessa. (26; 27, s. 3-4.)

4.3 Keuruun tuotantolaitos

Lapwall Oy:n kolmas tuotantolaitos aloitti toimintansa Keuruulla helmikuussa 2017. Keuruun tuotantolaitoksella työllistää tällä hetkellä noin 10 työntekijää. Keuruun tuotantolaitos on keskittynyt valmistamaan tilamoduuleita. Keuruun tehdään tuotevalikoimassa on jo LapWall LEKO® Bath-kylpyhuonemoduulit. Kylpyhuonemoduuleita on saatavilla kolme erilaista kuvan 5 mukaista vaihtoehtoa. Kylpyhuoneisiin on mahdollista valita sauna ja erillinen WC. Kylpyhuonemoduulit sisältävät myös keittiön sekä talotekniikan. Kylpyhuone on yleensä rakennuksen hitain osa rakentaa työmaalla, joten kylpyhuoneen valmistaminen tehdasolosuhteissa valmiiksi talotekniikkaa myöten mahdollistaa työmaan läpi viennin jopa kolmessa viikossa. (28.)

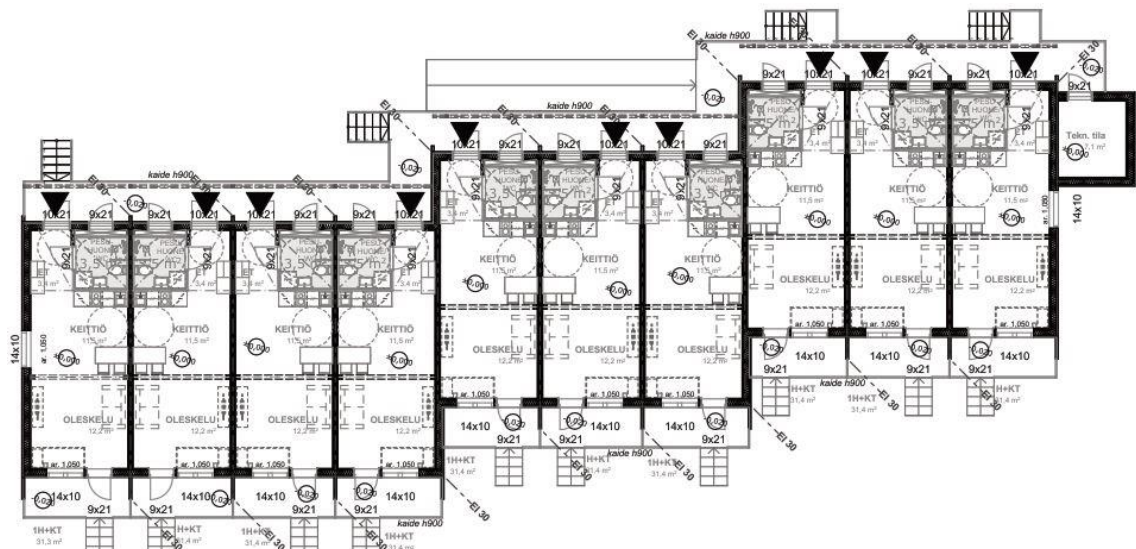


KUVA 5. Lapwall LEKO® BATH -kylpyhuonemoduulit (28, s.7)

Vuonna 2018 Keuruun tehtaalla on tarkoitus aloittaa huoneistotilaelementtien valmistus, mihin tämän opinnäytetyön tavoitteet tähtäävät.

5 KALAJOEN HIEKKAKUJA

Tilaelementtitekniikalla toteutettava kohde on Kalajoen hiekkasärkille toimitettava rivitalo, joka muodostuu kymmenestä yksion kokoisesta asunnosta. Huoneistot muodostuvat yhdestä tilaelementistä, joissa on tupakeittiö sekä kylpyhuonemuoduli. Rivitalon pohjaratkaisu on yksinkertainen, kuten kuvasta 6 nähdään. Rakennuksen runko porrastaa kahdesta kohdasta, joka tuo lisähaasteita tilaelementtitekniikan käyttämiselle. Huoneistojen pohjaratkaisut ovat samanlaiset, mutta toisiensa peilikuvia. Rakennuksen päädyissä ja porrastuksen kohdalla olevat tilaelementit poikkeavat rakennuksen keskellä olevista tilaelementeistä, sillä näiden tilaelementtien toinen sivuseinä on kokonaan tai osittain ulkoseinä.



KUVA 6. Kalajoen rivitalon pohjakuva (Ilmarinen 2017)

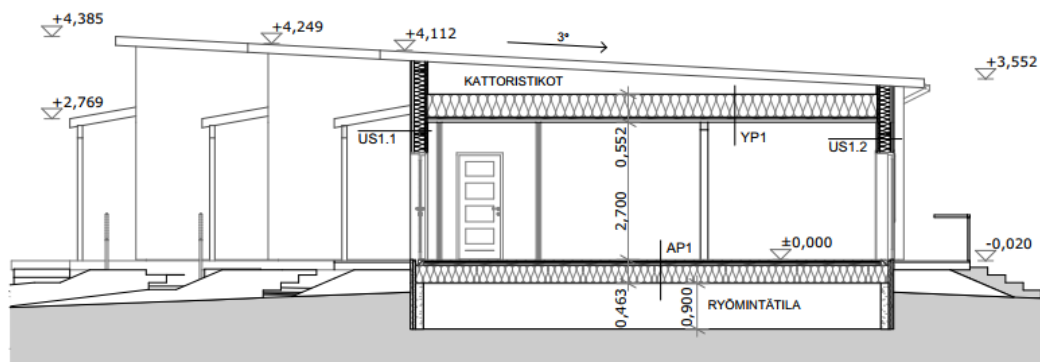
Kuvassa 7 on rakennuksen julkisivukuva, josta käy ilmi, että rakennuksen ulko-verhouksena on päätyseinissä vaakapanelointi ja sivuseinissä pystypanelointi. Talon sivuseinillä julkisivua kiertävät terraselementit, jotka kiinnittyvät tilaele-

menttien alapohjiin. Julkisivun pohjoispuolella sivuseinillä on sisäänkäyntien kohdalla katokset. Idän puolen päätyseinällä on erillinen tekninen tila, joka liittyy tilaelementin julkisivuun.



KUVA 7. Kalajoen rivitalon julkisivukuvat (Ilmarinen 2017)

Rakennuksen vesikatto on pulpettikaton mallinen. Se rakennetaan työmaalla erikseen ristikkorakenteisena. Ristikkorakenne ja ryömintätalallinen alapohja näkyvät leikkauskuvassa 8.



KUVA 8. Kalajoen rivitalon leikkauskuva (Ilmarinen 2017)

6 TILAELEMENTIN KEHITTÄMINEN

Liitosten ja rakenteiden suunnittelu yksikerroksiseen tilaelementeillä toteutettavaan rakennukseen ei rakennusfysikaalisesti ja rakenteellisesti juurikaan poikkea tavanomaisista rakennusmenetelmistä. Suurimman haasteen etenkin liitoksiin tuovat sisäpintojen korkea valmiusaste, joka vaikeuttaa työmaalla tehtäviä tilaelementtien välisiä liitoksia toisiinsa. Pitkälle viety valmiusaste nopeuttaa työmaavaihetta merkittävästi ja vähentää ympäristölle aiheutuvia häiriöitä, mutta tuo myös mukanaan haasteita liitosten suunnittelussa.

Myös kehitystyössä pilottikohteena käytetyn Kalajoen rivitalon pohjaratkaisu tuo ongelmia rakenne- ja liitosratkaisuiden vakioinnissa. Rakennuksen runko porrastaa, jolloin tilaelementit olivat haasteellisempia suunnitella samanlaisiksi keskenään. Porrastaviin kohtiin joudutaan suunnittelemaan omat rakenne- ja liitosratkaisunsa.

Rakennerratkaisuja suunniteltaessa täytyy ottaa rakenteiden kantavuuksien, jäykkyyden ja ilmatiiveyden lisäksi huomioon myös ääni- ja palotekniset asiat. Edellä mainitut asiat huomioon ottaen saadaan toteutettua toimivia ratkaisuja.

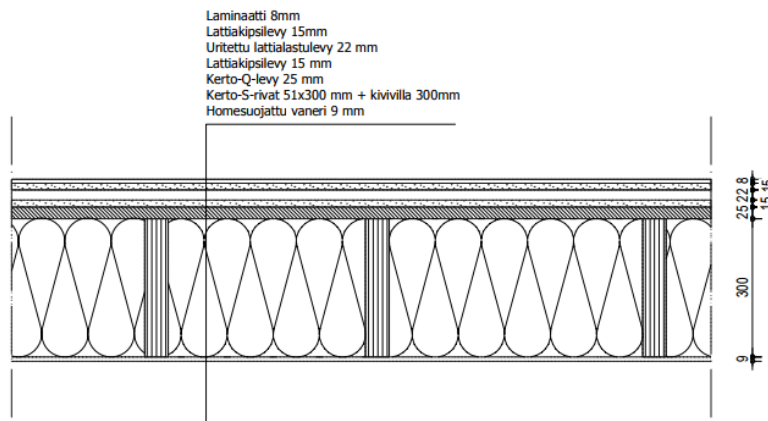
6.1 Tilaelementin rakenteet

Tilaelementeissä pyrittiin käyttämään Lapwall Oy:n tuotekortin mukaisia ulkoseiniä sekä huoneistoväliseinäelementtejä. Alapohjan rakenne tehdään Kerto-Ripalaatastona, joten se mitoitettiin erikseen.

6.1.1 Tilaelementin alapohja

Tilaelementin alapohjan rakenne on kuvan 9 mukainen. Tilaelementtien alapohja muodostuu Kerto-Ripa-laatasta. Kerto-Ripa-laatasto sisältää Kerto-S 51x300 mm:n rivat ja ylälevyn, joka on 25 mm vahva Kerto-Q-levy. Ripojen välit on täytetty mineraalivillalla 300 mm vahvasti. Alapohja on tuulettuva, joten ryömintätilan

puolelle laitetaan 9 mm vahva homesuojattu vaneri. Alapohja ei tarvitse erillistä höyrynsulkua, sillä alapohjaelementissä oleva 25 mm vahva LVL-levy on riittävän tiivis toimimaan höyrynsulkuna. Kuivien huonetilojen lattiassa on kaksi 15 mm vahvaa kipsilevyjä, joiden päälle asennetaan 22 mm paksu uritettu lattialastulevy lattialämmitysputkistoa varten. Lattialastulevyn päälle tulee vielä yksi kipsilevykerros, jonka päälle asennetaan lattiapintana oleva laminaatti. Rakenteen U-arvo on 0,14 W/m²K.

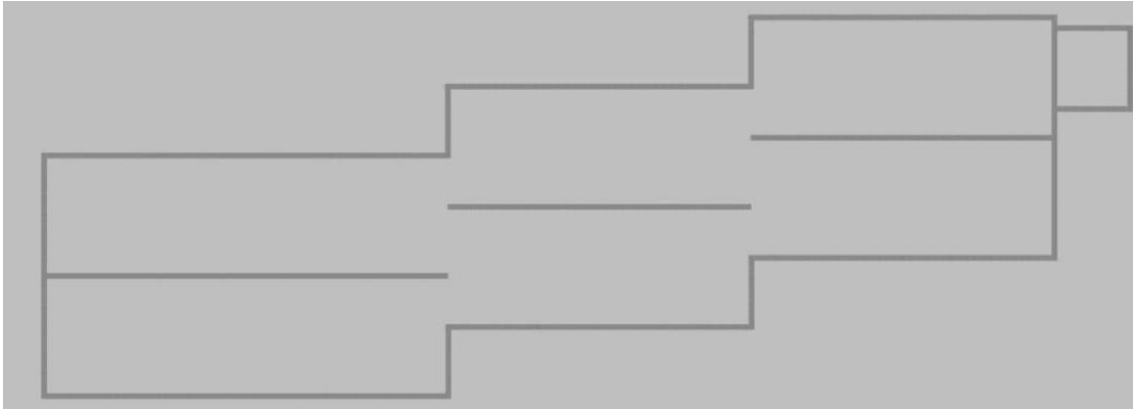


KUVA 9. Tilaelementtien alapohjan rakenne

Alapohjaelementit valmistetaan Lapwall Oy:n Pälkäneen tehtaalla, mistä ne kuljetetaan Lapwall Oy:n Keuruun tehtaalle kasattaviksi. Pälkäneen tehtaalla lattiaan asennetaan valmiiksi yksi 15 mm:n kipsilevy. Loput lattialevyt päätettiin jättää asennettaviksi Keuruulla. Alapohjaelementti tulee rakennuksen ulkoreunoilla ulkotilaa vasten, joten alapohjaelementtien ulkotilaan tuleville pinnoille täytyi lisätä eristettä, jotta eristys pysyisi jatkuvana koko rakenteessa. Alapohjan ulkopinnalle asennetaan tuulensuojalevy ja 48x48 mm:n koolaus. Koolaustila täytetään 50 mm vahvalla kivivillalla.

Alapohja on saman kokoinen kuin tilaelementin pohjan pinta-ala. Alapohjan Kerto-Ripa-laatasto mitoitettiin Finnwood mitoitusohjelmiston avulla. Ohjelmistosta saatiin liitteen 1 mukaiset laskentatulokset. Alapohjan Kerto-Ripa-laatasto oli liian heikko yksiaukkoisena, joten alapohjan keskelle täytyi tehdä perustuslinja

(kuva 10). Perustuslinja oli vastaava kuin rakennuksen perustus eli 200 mm leveä. Perustuslinja porrastaa samaan tapaan kuin rakennus ja kulkee sen keskellä koko matkalla. Kerto-Ripa-laatastosta tuli näin ollen kaksiaukkoinen ja mitoitus oli riittävä. Tällöin alapohjan keskiripa kuormittui enemmän kuin reunaripa. Kes-kivirvan käyttöaste oli 85,8 % ja reunarivan 72,8 %.



KUVA 10. Mallinnuskuva perustuksista

Alapohja on liian leveä valmistettavaksi yhden huoneiston levyisenä Pälkäneen tehtaalla, joten se päätettiin valmistaa kahdessa osassa. Alapohjajaelementit kuljetetaan Pälkäneeltä Keuruun tehtaalle, missä alapohjajaelementit ja koko tilaelementti kasataan valmiiksi. Alapohjan päätyrivat päätettiin myös jättää asentamatta Pälkäneen tehtaalla, sillä päätyrivat asennetaan Keuruun tehtaalla koko alapohjajaelementin mittaisena, jotta tilaelementit kestävät paremmin nostamisen. Päätyrivat täytyi vinoruuvata tilaelementin pituussuunnassa oleviin Kerto-S-palkkeihin kiinni, jotta nostosta aiheutuvat kuormat siirtyisivät mahdollisimman hyvin koko rakenteelle.

Alapohjan reunarivat siirrettiin tilaelementin sisäänpäin 15 mm:n verran. Näin alapohjajaelementin lattiassa olevaa Kerto-Q-levyä voidaan loveta nostoliinoja varten. Loveaminen näkyy kuvassa 11. Tilaelementin nostaminen tapahtuu mahdollisimman läheltä tilaelementin reunaa, joten loveaminen tehtiin sokkelin sisäreunasta 150 mm rakennuksen sisälle päin.

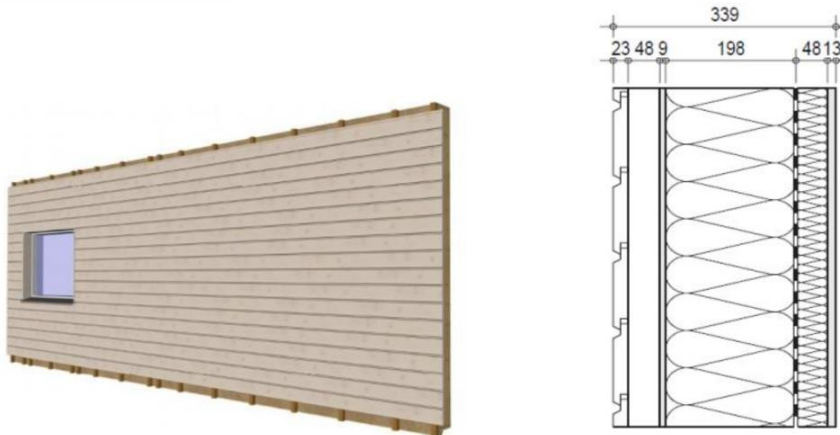


KUVA 11. LVL-levy lovetuna nostoliinujen kohdalta

6.1.2 Tilaelementin ulkoseinä

Kohteen ulkoseinät muodostuvat Lapwall Oy:n tuotekortiston mukaisesta ulkoseinäelementistä LWUS42198 (kuva 12). Ulkoseinä muodostuu 42x198 mm:n rungon ympärille, joka toimii kantavana rakenteena. Rungon ilmatila on täytetty mineraalivillalla. Ulkopuolella on 9 mm paksu tuulensuojalevy. Tuulensuoja levy toimii rakenteessa jäykisteenä. Tuulensuojalevyn päälle on asennettu koolaus pystyyn tai ristiin riippuen siitä, onko julkisivussa pysty vai vaakapanelointi. Rungon sisäpuolella on höyrynsulkumuovi, 48x48 mm:n koolaus, 50 mm:n lisäeristys, 13 mm:n kipsilevy ja sisäseinämateriaali asiakkaan valinnasta riippuen. Rakennuksen rungon porrastuksien kohdalla päätettiin muuttaa sisäkoolaus vastamaan huoneistoväliseinän rakennetta, jolloin sisäkoolaus oli 39x66 mm ja lisäeriste 70 mm. Rakenteen paloluokka on EI60, ääneneristävyys 42 dB ja U-arvo on 0,16 W/m²K. Ulkoseinäelementit valmistetaan Lapwall Oy:n Pyhännän tehtaalla.

Ulkoseinäelementti



KUVA 12. LWUS42198 (29, s. 1)

Tilaelementeissä olevat ulkoseinät muodostivat niiden päätyseinät. Myös niissä tilaelementeissä, jotka olivat rivitalorakennuksen päädyissä, tilaelementin toinen sivuseinä on ulkoseinä. Kyseinen ulkoseinärakenne soveltui tilaelementtirakentamiseen ilman suurempia muutoksia.

Kalajoen rivitalokohteen sivuseinissä on pystyverhous ja päätyseinissä vaakaverhous. Vaakaverhouksen todettiin olevan helposti toteutettavissa tilaelementeissä, mutta pystyverhous toi tilaelementtitekniikassa haasteita. Julkisivupaneelien täytyisi jatkua kokonaisina ulkoseinäelementin yläosasta aina alapohjaelementin alaosaan asti. Se on logistisesti mahdotonta, sillä ulkoseinäelementin alaosa ylimenevät paneelit rikkoontuisivat kuljetuksen aikana. Myös tilaelementin ulkoseinän yläosa tilaelementin yläpinnasta rakennetaan erillisenä työmaalla vesikatteeseen asti, joten pystyverhous katkeaisi kahdesta kohdasta. Näin ollen pystyverhous päätettiin jättää asennettavaksi työmaalle. Pystyverhouksella olevien kohteiden osalta tilaelementtitekniikkaa menettää hieman merkitystään, sillä tehtaassa tehtävän työn osuus vähenee ja työtä siirtyy enemmän työmaalle tehtäväksi. Vaakaverhous toimi tilaelementtirakentamisessa paremmin, eikä pa-

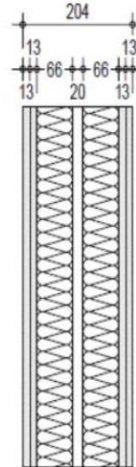
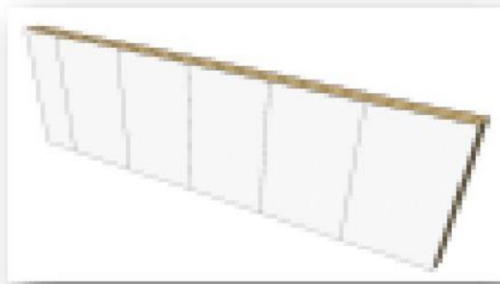
nelointisaumoja tule käytännössä muualle kuin tilaelementtien saumoihin. Pystysuuntaisissa liitoksissa voitiin jättää tehtaalla paneeleita laittamatta paikoilleen liitosten kohdalta. Irtopaneelit voidaan asentaa liitoksiin työmaalla.

6.1.3 Tilaelementin huoneistoväliseinä

Huoneistojen välinen seinä on Lapwall Oy:n tuotekortiston huoneistoväliseinäelementti LWHVS3966 (kuva 13). Kyseisen seinän runko muodostuu Kerto-S 39x66 mm:n runkotolpista. Rungon ilmatila on täytetty 70 mm paksulla kivivillalla. Huoneiston puolella rungosta on kaksi 13 mm paksua kipsilevyä. Rakenteen alempi kipsilevy on normaali kipsilevy ja ylempi on erikoiskova kipsilevy. Huoneistojen välinen seinä muodostuu kahdesta edellä mainitusta seinästä. Seinien välissä on 20 mm:n ilmarako. Seinän paloluokka on EI60 ja ääneneristävyys 55 dB, joten se täyttää Suomen rakentamismääräyskokoelman palo-osastointi- ja äänitekniiset vaatimukset Kalajoen rivitalokohteessa. Huoneistoväliseinät valmistetaan Lapwall Oy:n Pyhännän tehtaalla.

LWHVS3966

Huoneistoväliseinäelementti



KUVA 13. LWHVS3966 (29, s. 25)

Huoneistojenvälisen seinäelementin ylä- ja alajuoksut täytyi loveta 15 mm nostoliinoiden kohdalta, jotta nostoliinat saadaan pois työmaalla tilaelementtien saumoista niiden asennuksen jälkeen. Huoneistoväliseinän runkojen tolpat ovat vakioseinässä tilaelementin pituussuunnassa eri kohdilla. Jos runkotolpat olivat näin, loveaminen ei onnistunut. Runkotolpat täytyi siis siirtää tilaelementin pituussuunnassa vierekkäin, jolloin loveaminen onnistui.

6.1.4 Tilaelementin yläpohja

Tilaelementin katto muodostui 57 mm paksusta Kerto-Q-levystä, joka toimii sekä tilaelementin jäykisteenä että palokatkona. Rakennuksen yläpohja on pulpettimallinen ristikkorakenne. Ristikkojen tuelle täytyi lisätä korokelauta, joka nostaa ristikkoja ylös Kerto-Q-levytyksen yläpinnasta. Näin ristikot pääsevät taipumaan vapaasti, eivätkä ne näin ollen aiheuttaa ylimääräistä kuormaa Kerto-Q-levytyspinnalle.

Kerto-Q-levyysaumoihin jätettiin 15 mm:n väli. Välit tiivistetään palonkestävällä polyuretaanivaahdolla. Sauma teipataan molemmin puolin höyrynsulkuteipillä. Sauman alapuolelle asennetaan 24x98 mm:n lauta.

6.1.5 Kylpyhuonemuoduli

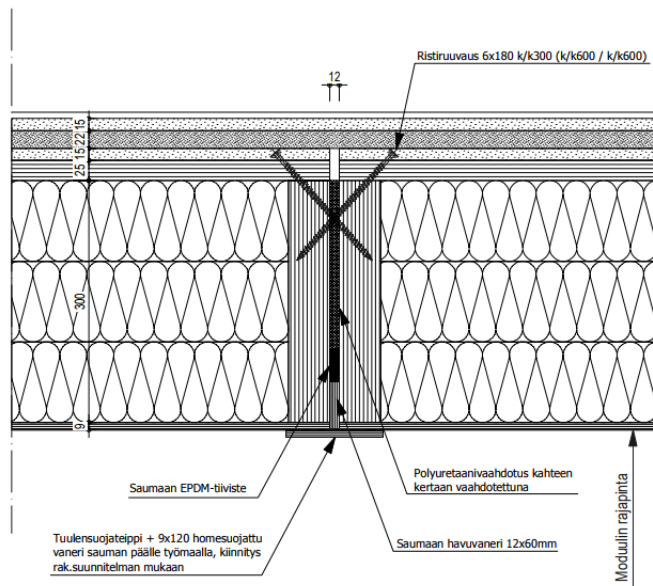
Kalajoen rivitalossa kylpyhuonemuoduli on mallia LW LEKO® BATH 1. Se sisältää WC:n, suihkutilat ja keittiön. Kylpyhuonemuodulin runko on valmistettu Kerto-Q-levyistä. Kylpyhuonemuodulit mahdollistavat märkätilojen valmistamisen valmiiksi ennen tilaelementtien kasauksen aloitusta. Näin saadaan aikaa vievimmät tilat tehtyä valmiiksi jo aikaisemmin ja tilaelementtien kasaus hoituu nopeammin. Tilaelementin talotekniikka tuodaan kylpyhuonemuodulissa koko tilaelementtiin kylpyhuoneessa olevan tekniikkakuilun kautta.

6.2 Suurelementtien liitokset tilaelementiksi

Suurelementtien liittäminen tilaelementeiksi tapahtuu Lapwall Oy:n Keuruun tuotantolaitoksessa. Suurelementit toimitetaan Keuruulle Pyhännän ja Pälkäneen tuotantolaitoksista. Näin saadaan käytettyä paremmin hyödyksi usean tehtaan tuotantokapasiteettiä.

6.2.1 Alapohjaelementtien liitos toisiinsa

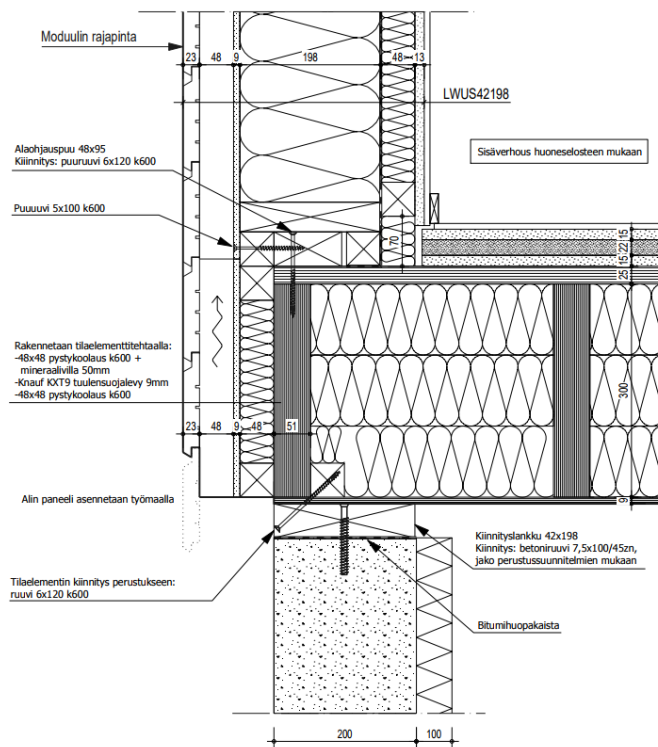
Suurelementtien liittäminen toisiinsa ja tilaelementin muodostaminen tapahtuu tilaelementtitehtaalla Keuruulla. Tilaelementin alapohja muodostuu kahdesta eri suurelementistä, jotka liitetään toisiinsa kiinni kuvan 14 mukaisesti. Alapohjaelementtien päätyrivat päätettiin jättää asentamatta Pälkäneen tehtaalla ja alapohjaelementit yhdistetään toisiinsa niiden avulla. Päätyrivat vinoruuvataan pituussuunnassa oleviin ripoihin kiinni 45 asteen kulmassa. Elementtien väliin jää 12 mm leveä sauma. Sauman alaosaan asennetaan havuvaneri ja EPDM-tiiviste nauha. Sauman yläosa täytetään polyuretaanivaahdolla kahteen kertaan vaahdotettuna. Alapohjaelementtien homesuojavanerin päälle asennetaan liitoksessa tuulensuoja teippi ja 9 mm vahva homesuojattu vaneri. Nämä estävät ei toivotun ilmavirtauksen alapohjaelementtien saumassa. Elementit kiinnitettiin ylhäältä ristiruuvamalla reunarivat kiinni toisiinsa. Alapohjan sisäpuolen lattiapinta asennetaan valmiiksi tilaelementtitehtaalla.



KUVA 14. Alapohjajaelementtien liitos huoneiston sisällä

6.2.2 Ulkoseinäelementin liitos alapohjajaelementtiin

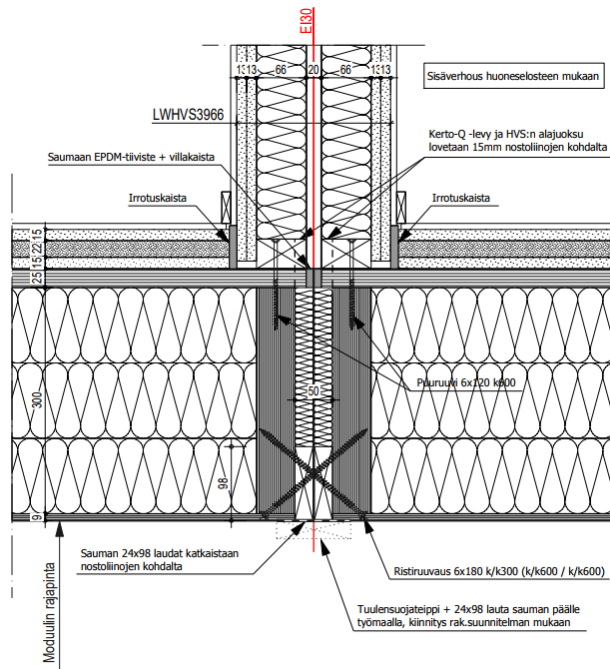
Ulkoseinäelementti kiinnityksen apuna päätettiin käyttää Lapwall Oy:n vakioliitoksien mukaista 48x95 mm:n alapohjauspuuta (kuvassa 15). Alaohjauspuu helpottaa ulkoseinäelementin asennusta alapohjajaelementtiin. Alaohjauspuu kiinnitetään ruuvaamalla alapohjan ripoihin kiinni. Ulkoseinäelementin pohjassa on Pyhännän tehtaalla asennetut 48x48 mm:n rimat molemmin puolin ulkoseinäelementin alajuoksua. Näin saadaan sopiva tila alaohjauspuuta varten. Päätyseinien vaakapaneloinnissa neljä paneelia päätettiin jättää asentamatta Pyhännän tehtaalla, jotta ulkoseinäelementti voidaan helpommin ruuvata kiinni alaohjauspuuhun. Alin julkisivupaneeli jätettiin asennettavaksi työmaalla, jotta tilaelementti olisi helpompi ruuvata kiinni perustuksiin. Ulkoseinäelementissä oleva höyrynsulkumuovi täytyi taittaa ulkoseinän alajuoksussa olevan 48x48 mm:n riman alle, jolloin ulkoseinän paino puristaa muovin tiiviisti vasten LVL-levy.



KUVA 15. Ulkoseinäelementin liitos alapohjaelementtiin

6.2.3 Huoneistoväliseinän liitos alapohjaan ja ulkoseinään

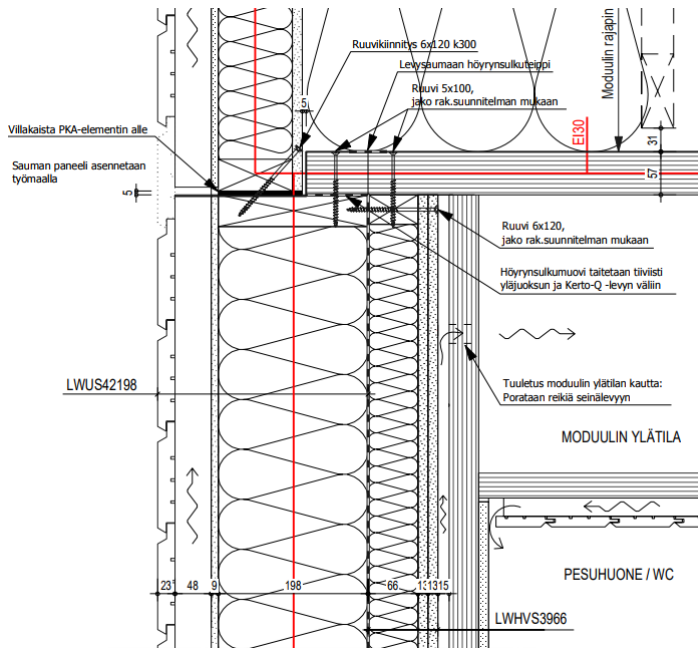
Huoneistonvälinen seinä kiinnitetään alapohja elementtiin ilman erillistä alaohjauspuuta. Elementin alajuoksut ruuvataan kiinni alapohjaelementissä oleviin reunaripoihin kuvan 16 mukaisesti. Huoneistoväliseinä ruuvataan kiinni ulkoseinään huoneistoväliseinän sisäpuolelta sen reunimmaisena runkotolpan läpi kiinni ulkoseinän runkotolppaan kuvan 18 mukaisesti.



KUVA 16. Huoneistoväliseinän liitos alapohjaelementtiin/tilaelementtien liitos

6.2.4 Kylpyhuonemoduulin liitos tilaelementtiin

Valmis kylpyhuonemoduuli asennetaan suoraan alapohjaelementin Kerto-Q-levyn päälle. Huoneistoissa kylpyhuone sijoittuu yhtä asuntoa lukuun ottamatta huoneistoväliseinän viereen. Asennuksessa jätetään kuitenkin kylpyhuoneen ja huoneistoväliseinän väliin 15 mm:n ilmaväli, jolloin mahdollinen kosteus pääsee tuulettumaan pois ilmatilasta. Yhdessä huoneistossa kylpyhuone on ulkoseinän vieressä porrastuksen kohdalla. Ulkoseinässä on porrastuksen kohdalla huoneistoväliseinäelementti lisäeristeenä sisältäen höyrynsulkumuovin. Tällöin höyrynsulkumuovin ja kylpyhuonemoduulin välissä oleva huoneistoväliseinäelementti on kahden tiiviin pinnan välissä, joten ilmatila täytyy tuulettaa kylpyhuonemoduulin ylätilaan. Siksi moduulin ylätilan Kerto-Q-levyyn täytyy porata tuuletusreikiä kuvan 17 mukaisesti. Ulkoseinäelementissä oleva höyrynsulkumuovi taitetaan yläpohjan Kerto-Q-levyn ja ulkoseinän yläjuoksun väliin.



KUVA 17. Kylpyhuonemoduulin ja ulkoseinän liitos porrastuksen kohdalla

6.3 Tilaelementtien liitokset toisiinsa

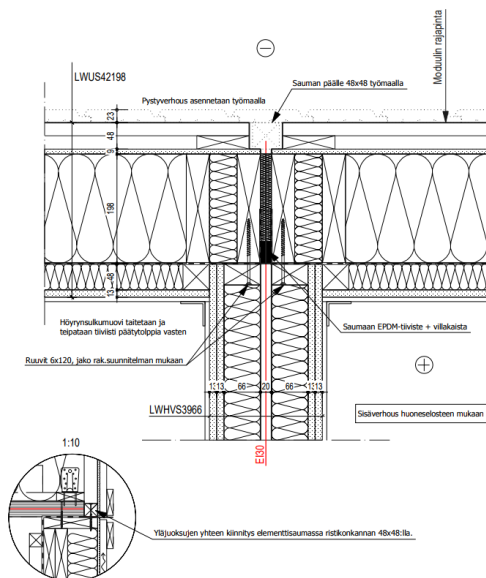
Tilaelementtien liittäminen toisiinsa tapahtuu työmaalla. Tilaelementtien sisäpinnat ovat lähes valmiit työmaalle saapuessaan. Tämä tarkoittaa sitä, että liitosten tekeminen työmaalla sisäpuolelta rikkomatta valmiita pintoja on mahdotonta. Siksi kaikki liitokset työmaalla täytyy tehdä rakennuksen ulkopuolelta. Tilaelementit täytyy myös saada kytkettyä toisiinsa, jotta kuormat voivat siirtyä tilaelementiltä toiselle ja valmiista rakennuksesta saadaan jäykkä kokonaisuus.

6.3.1 Suora liitos huoneistoväliseinän kohdalla

Tilaelementtien liitokset suunniteltiin alapohjien kohdalta toteutettaviksi ryömintätilan puolelta, mistä ne ruuvataan toisiinsa kiinni. Kummankin tilaelementin alapohjiin asennetaan liitoksen kohdalla 24x98 mm:n laudat. Laudat täytyy katkaista nostoliinojen kohdilta, jotta ne saadaan pois asennuksen jälkeen. Laudat toimivat

myös osittain ohjainpuina asennusvaiheessa. Tilaelementit painetaan vasten lautoja, jolloin tilaelementtien saumaan jää 20 mm:n ilmaväli, joka vastaa huoneistoväliseinän ilmaväliä. Sauman yläosaan asennetaan alapohjien Kerto-Q-levyn reunoihin EPDM-tiiviste varmistaamaan liitoksen ilmatiiveys (kuva 16).

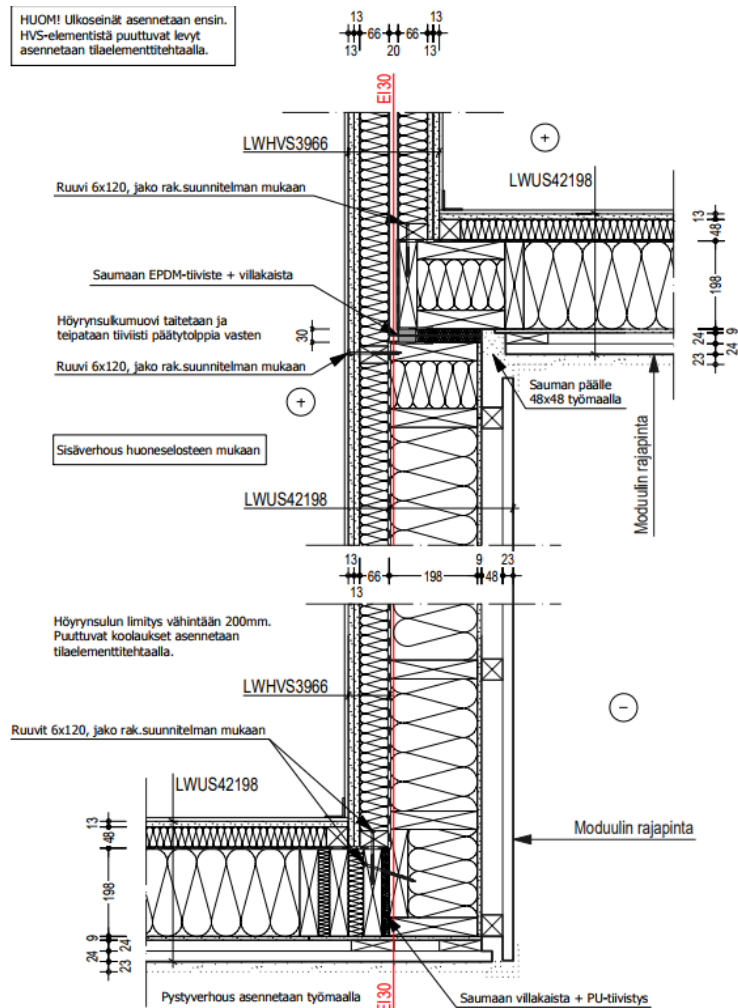
Elementtien suora liitos huoneistojen välisen seinän kohdalla toimii myös tilaelementtien liitoksena. Tilaelementtien liitoksessa ulkoseinien höyrnsulkumuovi jouduttiin katkaisemaan huoneistojen kohdalla ja se täytyi taittaa ja teipata tiiviisti ulkoseinän päätytolppia vasten. Tilaelementtien väliin jää 20 mm paksu ilmatila, joka tiivistettiin ulkoseinien runkotolppien kohdalla EPDM-tiivisteellä ja mineraalivillakaistan avulla. EPDM-tiivisteiden tarkoituksena on puristaa ulkoseinistä limitetty höyrnsulkumuovi tiiviisti ulkoseinän runkotolppia vasten. Sauman ulkopuolelle asennetaan tilaelementtien liitoskohtaan 48x48 mm:n rima, jonka päälle voidaan asentaa julkisivun pystyverhous liitoksen kohdalla. Ulkoseinien yläjuoksut kiinnitetään toisiinsa ristikonkantaelementissä kiinni olevan 48x48 mm:n riman avulla, jotta sivuttaiset kuormat pääsevät siirtymään tilaelementiltä toiselle (kuva 18).



KUVA 18. Suora liitos huoneistoväliseinän kohdalla

6.3.2 Tilaelementtien liitos porrastuksen kohdalla

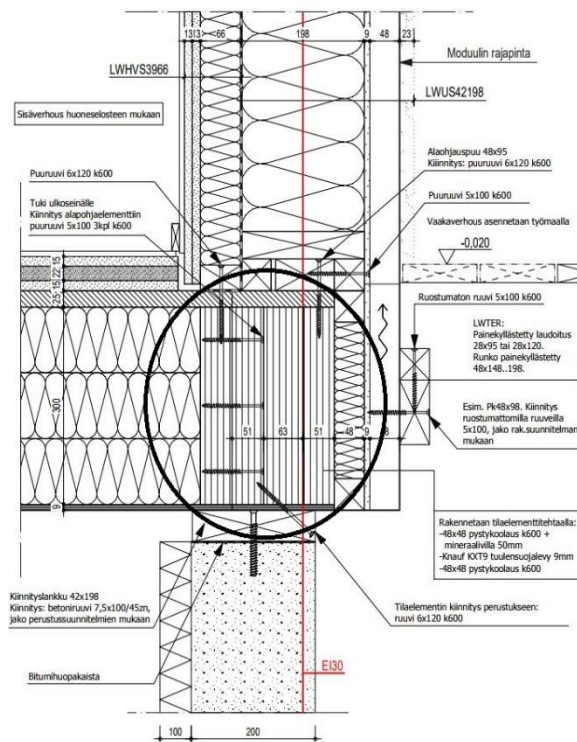
Tilaelementtien sauma porrastuksen kohdalla oli vaikein liitos suunnitella ja luultavasti myös toteuttaa työmaalla. Porrastuksen kohdalla jouduttiin muuttamaan ulkoseinän rakennetta, jotta liitos olisi mahdollista toteuttaa tilaelementtitekniikalla. Liitoksessa tilaelementtien pitkällä sivulla olevat huoneistoväliseinien täytytys jatkaa koko tilaelementin pituisena, vaikka seinä muuttuukin ulkoseinäksi. Näin ollen päätettiin ratkaista ongelma vaihtamalla sisäpuolen vakio 48x48 mm:n koolaus ja eriste vastaamaan huoneistoväliseinän rakennetta. Ulkoseinä kiinnitetään tilaelementin huoneistoväliseinään ruuvaamalla sisältäpäin (kuva 19).



KUVA 19. Tilaelementtien liitos porrastaen

Toinen tilaelementti liitetään porrastavan tilaelementin ulkoseinää huoneistoväliseinää vasten. Tilaelementtien höyrinsulkumuovit limitetään liitoksessa vastakkain syntyvässä nurkkaliitoksessa. Sauman päälle asennetaan 48x48 mm:n rima työmaalla. Liitokseen asennetaan EPDM-tiiviste vastaavasti kuin suorassa liitoksessa huoneistoväliseinien kohdalla.

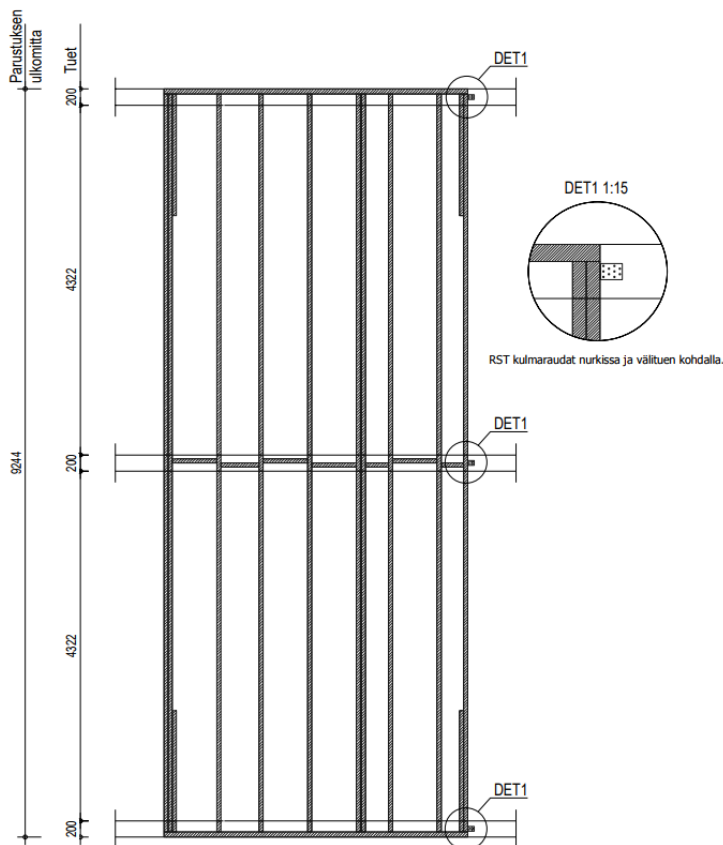
Ulkoseinäelementti ei mahdu porrastuksessa alapohjaelementin päälle, joten sille täytyi suunnitella kuvan 20 mukainen tuki perustuksien päälle. Tuki rakennetaan alapohjaelementin kylkeen Kerto-S-palkeista. Palkit ruuvataan kiinni alapohjaelementin reunaripaan. Kuvassa näkyy myös alapohjaelementin ulkotilaa vasten tulevien pintojen eristetty koolauspinta, joka tehdään jatkuvana perusmuuriin saakka. Tällä tavoin rakenteiden eristeet pysyvät jatkuvina rakenteiden läpi eikä kylmäsiltoja pääsisi syntymään.



KUVA 20. Tuki ulkoseinälle

6.4 Tilaelementtien liitos perustuksiin

Tilaelementtien kiinnitys perustuksiin suunniteltiin tapahtuvan kulmarauodoilla sekä ruuvaamalla ne kiinni alajuoksussa olevaan 42x198 mm:n alaohjauspuuhun. Alaohjauspuu ankkuroidaan perustuksiin betoniruuvien avulla. Kulmaraudat asennetaan kuva 21 mukaisesti jokaiselle kolmelle perustuslinjalle. Kulmarautoja voidaan kuitenkin asentaa vain tilaelementin toiselle pitkälle sivulle, koska toinen tilaelementti on aina edessä toisella puolella. Jokainen tilaelementti voidaan kuitenkin ruuvata kiinni alaohjauspuuhun. Ruuvaus tehdään viistosti alaohjauspuun alareunasta ylöspäin alapohjaelementtiin. Alapohjaelementtiin on asennettu elementtitehtaalla ruuvausta varten 48x48 mm:n rimat, jotta ruuvaus onnistuu (kuva 15). Porrastuksen kohdalla ruuvi ruuvataan kiinni ulkoseinää varten rakennettuun tukeen (kuva 20).



KUVA 21. Tilaelementin kiinnitys perustuksiin kulmarauodoilla

7 YHTEENVETO

Aloittaessani tätä opinnäytetyötä minulla ei juurikaan ollut käsitystä tilaelementtirakentamisesta. Olin ollut kaksi kesää töissä Lapwall Oy:llä, joten minulla oli kuitenkin hyvät perustiedot yrityksen käyttämistä rakenneratkaisuista. Pääsin seuraamaan läheltä tilaelementtien koko tuotekehitysprosessin kulkua ja osallistumaan niiden suunnittelutyöhön.

Liitosten muodostaminen tilaelementtimallistoon oli vaativin osuus koko kehitystyössä. Liitosten suunnittelussa täytyi ajatella liitosten toimivuutta ja toteutettavuutta monesta eri näkökulmasta. Siksi todella usein täytyi ajatella kirjaimellisesti laatikon ulkopuolelta. Liitosten täytyi olla toteutettavissa tehdasolosuhteissa, missä suurelementit kasataan tilaelementeiksi, ja myös työmaalla, jolloin tilaelementit liitetään toisiinsa niin, että ne muodostavat kokonaisen rakennuksen. Suurelementtirakentamiseen tarkoitetut vakioratkaisut muuttuivat joissakin tilanteissa erittäin haastaviksi toteuttaa, joten ne tarvitsivat tilalle uusia toteutustapoja.

Kalajoen rivitalo ei ollut ihan optimaalinen kohde toteuttaa tilaelementtitekniikalla. Rakennuksen runko porrasti kahdesta eri kohdasta. Tilaelementtien liitoksista tuli näissä kohdissa erittäin haastavia ja rakenteita täytyi hieman muuttaa, jotta liitokset voitiin toteuttaa. Asennustoleranssit kyseisissä kohdissa ovat pienet ja tuottavat todennäköisesti haasteita myös työmaa-asennuksen kannalta. Lisäksi ulkoseinän lisääminen huoneistoväliseinän viereen lisäsi elementtien leveyttä sen verran, että ulkoseinälliset elementit joudutaan kuljettamaan luvanvaraisena erikoiskuljetuksena. Rakennuksen julkisivuna oli pystypanelointi, jota ei voitu asentaa tehtaalla ulkoseinäelementteihin valmiiksi. Pystypanelointi täytyi jättää työmaalle asennettaviksi. Tämä pienensi tilaelementtien valmiusastetta ja tilaelementtien ideaalinen toteutus jäi puutteelliseksi. Tämä osoittaa sen, että tilaelementtirakentaminen sopii hyvin rakennuksiin, joiden pohjakuva on mahdollisimman yksinkertainen, esimerkiksi suorakulmion mallinen. Suorakulmion mallisissa kohteissa liitokset ovat helpompia vakioita ja tilaelementtejä päästään helposti asentamaan vierekkäin ilman suurempia yllätyksiä. Tällöin tilaelementtien leveys

pystytään pitämään vakiona ainakin rakennuksen sisemmissä tilaelementeissä ja erikoiskuljetusta vaatisivat korkeintaan rakennuksen päädyissä sijaitsevat tilaelementit. Myös julkisivupaneelia käytettäessä julkisivumateriaalina olisi hyvä suosia enemmän vaakaa asennusta kuin pystyyn asennusta.

Tilaelementtitekniikkaa on vaikea vielä saada toteutumaan ilman tilauskohtaista suunnittelua. Vielä tällä hetkellä tilaelementtien rakenteellista soveltuvuutta täytyy tarkastella kohdekohtaisesti. Suunnittelun poisjääminen vaatisi sitä, että saataisiin todella tarkasti vakioidut rakennusratkaisut, joilla pystytään toteuttamaan monipuolisemmin asiakkaiden vaatimuksia. Tällöin myös mahdollisesti joudutaan ylivoimittamaan rakenteita, jotta ne täyttäisivät useimmat vaatimukset.

Tämä opinnäytetyö oli todella opettavainen kokonaisuus, jonka aikana täytyi syventyä todella moneen rakentamisen osa-alueeseen ja oppia ymmärtämään paremmin minulle vielä tuntemattomampia asioita. Työn tekemistä kuitenkin vaikeutti erityisesti kirjallisen informaation puute. Yllätyin, kuinka vähän asiasta on saatavilla hyödyllistä tietoa suomenkielisissä teoksissa. Tilaelementtirakentamista sivutaan useissa eri teoksissa, mutta lähes kaikki sisältävät saman tiedon. Olisi tarpeellista saada tuoretta tietoa tilaelementtien rakentamisesta erityisesti Suomessa.

LÄHTEET

1. RIL 201-1-2011. 2011. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL.
2. Jokimäki, Sanna 2010. Näkökohtia tilaelementtiarkkitehtuuriin, sovelluksena koulu. Diplomityö. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, Arkkitehtuurin koulutusohjelma.
3. Laitinen, Eero 1995. Teollinen puurakentaminen. Helsinki: Rakennustieto Oy.
4. Hytönen, Yki – Seppänen, Matti 2009. Tehdään elementeistä. Jyväskylä: SBK-säätiö.
5. Suomen korkeimman CLT-puukerrostalon rakentaminen alkaa. 2013. Puuinfo. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/tiedote/suomen-korkeimman-clt-puukerrostalon-rakentaminen-alkaa>. Hakupäivä 16.1.2018.
6. Laakkonen, Pekka 2016. 4-kerroksisen CLT-tilaelementtitornin jäykistyskapasiteetti. Diplomityö. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan koulutusohjelma.
7. Tolppanen, Janne – Karjalainen, Markku – Lahtela, Tero – Viljakainen, Mikko 2013. Suomalainen puukerrostalo - rakenteet suunnittelu ja rakentaminen. Opetushallitus, Helsinki.
8. Kryssi, Elmeri 2013. Puukerrostalo. Diplomityö. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan koulutusohjelma.
9. Kotilainen, Sini – Hedman, Markku 2015. Asukaslähtöinen puukerrostalokortteli tilaelementeistä, esimerkkinä Kokkolan Nukkumatin tontin suunnitelma. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, Arkkitehtuurin laitos.

10. Erikoiskuljetukset. 2010. Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Saatavissa: http://www.ely-keskus.fi/documents/10191/139801/erikoiskuljetukset_esite_2010_erikoiskuljetusluvan_tarve_hakeminen_ja_kaytannon_toimenpiteet.pdf/cbcf0229-5b1f-4e7e-8d9b-9bad0a271b51. Hakupäivä 18.1.2018.
11. RIL 205-1-2009. 2009. Puurakenteiden suunnitteluohje. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL.
12. RIL 120-2004. 2004. Puurakenteiden suunnitteluohje. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL.
13. RIL 244-2007. 2007. Puurakenteiden jäykistyksen ja halkeilun hallinta, suunnittelu ja valmistusohjeet. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL.
14. RIL 255-1-2014. 2014. Rakennusfysiikka 1, rakennusfysikaalinen suunnittelu ja tutkimukset. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL.
15. D2 (2012). 2011. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2012. D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Saatavissa: www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012_Suomi.pdf. Hakupäivä 13.1.2018.
16. C3 (2008). 2010. Rakennusten lämmöneristys. Määräykset 2012. C3 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Saatavissa: <https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwi1qpqpq-LYAhXphaYKHZZ-qBVMQFggIMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ym.fi%2Fdownload%2Fno-name%2F%257B7BF051A7-6436-4724-A1FD-7688A56FB09B%257D%2F102966&usq=AOv-Vaw0xRfLnEcTNRdADQM9ue8-Z>. Hakupäivä 17.1.2018.
17. Ääneneristys rakennuksessa. 2003. Helsinki: Ympäristöministeriö ja Rakennustieto Oy.

18. RIL 129. 2003. Ääneneristysten toteuttaminen. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL.
19. C1 (1998). 1998. Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa. Määräykset ja ohjeet 1998. C1 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. 1998. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/data/normit/1917-c1.pdf>. Hakupäivä 13.1.2018.
20. RIL 195-1-2005. 2005. Rakenteen paloturvallisuus, pientalo. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL.
21. Lapwall Oy:n kasvu jatkuu vahvana. 2017. Saatavissa: <https://www.lapwall.fi/uutiset/lapwall-oy-n-kasvu-jatkuu-vahvana>. Hakupäivä 9.1.2018.
22. Nylander, Hermanni 2017. Tekninen rakentaminen, mitä tarkoittaa puusta rakentaminen Lapwall Oy:n näkökulmasta. Saatavissa: https://kalajoki.fi/wp-content/uploads/2017/06/LapWall_PUUTIETOSEMINAARI_1.6.2017.pdf. Hakupäivä 10.1.2018.
23. Lapwall Oy – Laadukkaat puuelementit modernilta tehtaalta. Puuinfo. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/tuote/lapwall-oy-laadukkaat-puuelementit-modernilta-tehtaalta>. Hakupäivä 10.1.2018.
24. Leiviskä, Pekka 2015. Kolmessa vuodessa suomen suurimmaksi. Saatavissa: <https://www.kauppalehti.fi/uutiset/kolmessa-vuodessa-suomen-suurimmaksi/uiHhU64S>. Hakupäivä 10.1.2018.
25. Pietarila, Päivikki 2016. Lapwall tähtää kiihkeällä kasvulla sataan miljoonaan. Saatavissa: <https://www.kauppalehti.fi/uutiset/lapwall-tahtaa-kiihkealla-kasvulla-sataan-miljoonaan/wUJy6NRM>. Hakupäivä 10.1.2018.
26. Liljedahl, Tommi 2017. Suomen suurin puuelementtivalmistaja osti Pälkäneen tehtaan. Saatavissa: <https://shl.fi/2017/01/20/suomen-suurin-puuelementtivalmistaja-osti-palkaneen-tehtaan/>. Hakupäivä 10.1.2018.

27. Lapwall Oy Pälkäneen yksikkö. 2017. Lapwall Oy. Saatavissa: https://issuu.com/lapwall2016/docs/lapwall_palkane. Hakupäivä 10.1.2018.
28. LapWall LEKO® Bath -esite. 2017. Lapwall Oy. Saatavissa: https://issuu.com/lapwall2016/docs/lapwall_leko_bath_esite. Hakupäivä 10.1.2018.
29. LapWall LEKO® Tuoteluettelo 11/2017. 2017. Lapwall Oy. Saatavissa: https://issuu.com/lapwall2016/docs/lapwall_20leko_20tuoteluettelo_11.2. Hakupäivä 10.1.2018.

Finnwood 2.4 (2.4.084)

© Copyright 2017 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä

18.1.2018

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

Finnwood 2.4 (2.4.084)

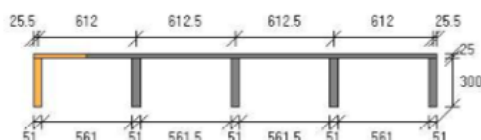
RIL 205-1-2017 (23.10.2017)

Rakennemittoitus ilman onnettomuus-/palotilannetta



PROJEKTITIEDOT:

C:\Users\marko.nasanen\Desktop\Kotityöt\Kerto-Ripa_alapohja.s01



RAKENNETIEDOT:

 Rakennetyyppi: Lattiapalkki/laatta
 Poikkileikkaus: R325-2500x25-5(1)x51x300
 Käyttöluokka: 2
 Seuraamusluokka: CC2 (KFI=1.0)
 Jako/kuormituslev.: 332 mm (pintakuormille)

Uloke-/jännevälipituudet:

Uloke/jänneväli: Vaakamitta [mm]:
 Jänneväli 1: 4750.0
 Jänneväli 2: 4750.0
 Yhteensä: 9500.0

 Tuki: Sijainti x [mm]: Leveys [mm] Tyyppi:
 1: 0 200 Kiinteä niveltuki (X,Z)
 2: 4750 200 Liukutuki (Z)
 3: 9500 200 Liukutuki (Z)

Laatan osat:

Ylälevy: 2500x25 0.025 m³/m²KERTO-Q (27-69)
 Rivat: 5x51x300 0.031 m³/m²KERTO-S

Finnwood 2.4 (2.4.084)

© Copyright 2017 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä

18.1.2018

Mitoitettu ripa: Ripa 1 (= 51.0x300.0)
 Kokonaispaino: 31 kg/m² sisältää levyt, rivat ja poikittaiset rakenneosat

Teholliset jäykkyydet:

Uloke-/jänneväli: EI,ef,MRT: EI,ef,KRT:
 Jänneväli 1 3059.4 kNm² 3059.4 kNm²
 Jänneväli 2 3059.4 kNm² 3059.4 kNm²

	Ylälevy:	Ripa:
fm,k (My):	36.00 N/mm ²	44.00 N/mm ²
fc,0,k:	26.00 N/mm ²	35.00 N/mm ²
fc,90,k:	2.20 N/mm ²	6.00 N/mm ²
ft,0,k:	25.29 N/mm ²	34.05 N/mm ²
fv,k (Vz):	1.30 N/mm ²	4.10 N/mm ²
E,mean:	10500 N/mm ²	13800 N/mm ²
G,mean:	120 N/mm ²	600 N/mm ²
E 0.05:	8800 N/mm ²	11600 N/mm ²
fv,k(sauma):	1.30 N/mm ²	4.10 N/mm ²

Varmuuskertoimet:

Ylälevy: 1.20
 Ripa: 1.20

Kmod kerroin:

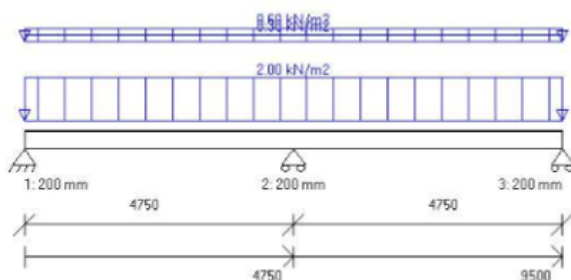
	Ylälevy:	Ripa:
Aikaluokka:	0.600	0.600
Pysyvä:	0.700	0.700
Pitkäaikainen:	0.800	0.800
Keskipitkä:	0.900	0.900
Lyhytaikainen:	1.100	1.100
Hetkellinen:		

	Ylälevy:	Ripa:
Kdef kerroin:	0.800	0.800

Finnwood 2.4 (2.4.084)

© Copyright 2017 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä

18.1.2018

**KUORMITUSTIEDOT:**

Omapaino (Omapaino, Pysyvä):
 Rakenneosan paino: $QZ = 0.120 \text{ kN/m} = 0 - 9500 \text{ mm}$
 Pintakuorma: 1: $QZ = 0.600 \text{ kN/m} = 0 - 9500 \text{ mm}$
 Pintakuorma: 2: $QZ = 0.300 \text{ kN/m} = 0 - 9500 \text{ mm}$

Hyötykuorma (Hyötykuorma A, Keskipitkä, MRT/KRT-liikkuvuus = 100.0 %):
 Pintakuorma: 1: $QZ = 2.000 \text{ kN/m} = 0 - 9500 \text{ mm}$

KUORMITUSYHDISTELMÄT:

Yhdistelmä 1 (MRT, Pysyvä)
 $1.00 * 1.35 * \text{Omapaino}$

Yhdistelmä 2 (MRT, Keskipitkä)
 $1.00 * 1.15 * \text{Omapaino} + 1.00 * 1.50 * \text{Hyötykuorma}$

Yhdistelmä 3 (MRT, Keskipitkä)
 $0.90 * \text{Omapaino} + 1.00 * 1.50 * \text{Hyötykuorma}$

Yhdistelmä 5 (MRT, Keskipitkä)
 $1.00 * 1.15 * \text{Omapaino} + 1.00 * 1.50 * 0.70 * \text{Hyötykuorma}$

Finnwood 2.4 (2.4.084)

© Copyright 2017 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä

18.1.2018

Yhdistelmä 9 (MRT, Pysyvä)
1.00*1.15*Omapaino

Yhdistelmä 10 (MRT, Pysyvä)
0.90*Omapaino

Yhdistelmä 13 (KRT)
1.00*Omapaino

Yhdistelmä 14 (KRT)
1.00*Omapaino + 1.00*Hyötykuorma

Yhdistelmä 16 (KRT)
1.00*Omapaino + 1.00*0.70*Hyötykuorma

MITOITUS:

Mitoitusstandardi: EN 1995-1-1:2004 + A1:2008 + A2:2014 + RIL 205-1-2017
Kokonaiskäyttöaste: 72.8 %

MITOITUSPARAMETRIT:

Taipumaraja Winst: L/400
Taipumaraja Wnet,fin: L/300
Korotuskerroin, vasen uloke: 2.00
Korotuskerroin, oikea uloke: 2.00
Nurjahdus on estetty molempiin suuntiin (y ja z)
Kiepahdus on estetty

VÄRÄHTELYN LASKENTA-ASETUKSET:

Rivan tyyppi: Väli-ripa
Huoneen suurin mitta L [m]: 6.0
Lattiarakenteen leveys B [m]: 5.0
Välipohjan tuentatapa: 2 reunaa tuettu
Ulokkeen lyhennys [mm]: 0.0
Poikittaisjäykisteet: Ei jäykisteitä
Kelluva rakenne / poikittaiskoolaus+levyillä: Kelluva rakennetta
Alapuoliset poikittaiskoolaukset: Ei alapuolista poikittaiskoolausta
Pinta-alayksikön massa [kg/m²]: 156
HUOM! Vierekkäiset Kerto-Ripa -ripalaatat on kiinnitettävä toisiinsa sekä ylä- että alapinnasta
HUOM! Lattiapalkin jatkuvuus on huomioitu laskelmissa käyttämällä ekvivalenteja jännevälejä seuraav:
Reunajännevälit 0.90xL

MITOITUKSEN ÄÄRIARVOT:

Tarkastelu:	Mitoitusarvo:	Raja-arvo:	Käyttöaste *)	Sijainti x:	
V, yläsauma, leikkaus:	0.22 N/mm ²	0.87 N/mm ²	25.7 %	4750 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
V, uuma, leikkaus:	0.37 N/mm ²	2.73 N/mm ²	13.5 %	4750 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä

Finnwood 2.4 (2.4.084)

© Copyright 2017 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä

18.1.2018

M, ylälevy, kesk. puristus:	19 N/mm ²	17.33 N/mm ²	26.8 %	1900 mm	Yhdistelmä 2/3, Keskipitkä
M, ylälevy, kesk. veto:	1.71 N/mm ²	16.86 N/mm ²	210.1 %	4750 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
M, uuma, reunataivutus:	62 N/mm ²	29.33 N/mm ²	212.3 %	4750 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
M, uuma, kesk. puristus:	81 N/mm ²	23.33 N/mm ²	23.5 %	4750 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
M, uuma, kesk. veto:	0.56 N/mm ²	22.70 N/mm ²	22.5 %	1900 mm	Yhdistelmä 2/3, Keskipitkä
Tukipaine, tuki 1:	2.92 kN	48.25 kN	6.1 %	0 mm	Yhdistelmä 2/3, Keskipitkä
Tukipaine, tuki 2:	8.76 kN	51.61 kN	17.0 %	4750 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
Tukipaine, tuki 3:	2.92 kN	48.25 kN	6.1 %	9500 mm	Yhdistelmä 2/4, Keskipitkä
jänneväli 1, Wz,inst:	1.8 mm	11.9 mm	15.4 %	2138 mm	Yhdistelmä 14/2
jänneväli 1, Wz,net,fin:	2.6 mm	15.8 mm	16.2 %	2138 mm	Yhdistelmä 14/2
jänneväli 2, Wz,inst:	1.8 mm	11.9 mm	15.4 %	7362 mm	Yhdistelmä 14/3
jänneväli 2, Wz,net,fin:	2.6 mm	15.8 mm	16.2 %	7362 mm	Yhdistelmä 14/3
Taipuma U:	0.4 mm	0.5 mm	72.8%		(Värähtelytarkastelu)
Taajuus f1:	16.9 Hz	9.0 Hz	53.1%		(Värähtelytarkastelu)

ÄÄRIARVOJEN KUORMITUSYHDISTELMÄT

Yhdistelmä 2/1 (Keskipitkä):

1.15*Omapaino + 1.50*Hyötykuorma, jänneväli 1 + 1.50*Hyötykuorma, jänneväli 2

Yhdistelmä 2/3 (Keskipitkä):

1.15*Omapaino + 1.50*Hyötykuorma, jänneväli 1

Yhdistelmä 2/4 (Keskipitkä):

1.15*Omapaino + 1.50*Hyötykuorma, jänneväli 2

Yhdistelmä 14/2 :

1.00*Omapaino + 1.00*Hyötykuorma, jänneväli 1

Yhdistelmä 14/3 :

1.00*Omapaino + 1.00*Hyötykuorma, jänneväli 2

VOIMASUUREIDEN ÄÄRIARVOT:

Tulos:	Maksimiarvo:	Sijainti x:
Vz,max	4.38 kN	4750 mm
My,max	4.16 kNm	4750 mm

TUKIREAKTIOT:

Tuki:	MRTmax:	MRTmin:	KRTmax:	KRTmin:
1:	2.92 kN	0.38 kN	2.12 kN	0.55 kN
2:	8.76 kN	2.24 kN	6.42 kN	2.49 kN
3:	2.92 kN	0.38 kN	2.12 kN	0.55 kN

- KRT tukireaktiot ovat vain vertailua varten

TUKIREAKTIOT KUORMITUSTAPAUKSITTAIN (OMINAISARVOT):

Kuormitustapaus:	Omapaino
Tuki:	FZ [kN]:
1:	0.75
2:	2.49

Finnwood 2.4 (2.4.084)

© Copyright 2017 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä

18.1.2018

3:	0.75

Kuormitustapaus:	Hyötykuorma, jänneväli 1
Tuki:	FZ [kN]:
1:	1.38
2:	1.97
3:	-0.20

Kuormitustapaus:	Hyötykuorma, jänneväli 2
Tuki:	FZ [kN]:
1:	-0.20
2:	1.97
3:	1.38

HUOMIOT:

-
- EN 1995-1-1-standardin, sen täydennysosien A1:2008, A2:2014 ja Suomen kansallisten liitteiden sekä RIL 205-1-2017 -suunnitteluohjeen mukainen laskenta
 - VTT on tehnyt kolmannen osapuolen tarkistuksen ohjelmalle (VTT-S-03665-17 ja VTT-S-05393-17)
 - MRT = Murtorajatila, KRT = Käyttörajatila
 - *) Yhteisvaikutustarkasteluissa %-luku tarkoittaa mitoitusarvon ja raja-arvon suhdetta, ei todellista käyttöastetta
 - Liittyvän alapuolisen rakenteen tukipainekestävyys tulee tarkistaa erikseen
 - Mitoituksessa ei huomioida ulokkeiden alle 20 mm taipumaa ylöspäin
 - Värähtely- ja taipumatarkastelua ei tehdä alle 200 mm pituisille ulokkeille
 - Leikkausmuodonmuutos on mukana käyttörajatilamitoituksessa
 - Leikkausmuodonmuutos ei ole mukana voimasuureiden laskennassa
 - Värähtelyn minimoimiseksi tulee varmistaa ankkurointi myös välituella/tuilla
 - Kerto-Ripa -laatan mitoitus noudattaa ETA-07/0029 mukaista suunnitteluohjetta
 - Kerto-Ripa -laamalla rakenneseosien koon vaikutus lujuteen on otettu huomioon ominaisarvoissa kertoimilla kh ja kl
 - Yllä esitetty mitoitus koskee vain valittua ripaa, muut rivat on tarkasteltava erikseen
 - Jatkuvalle Kerto-Ripa -ripalaatalla ripojen puristettu alareuna on kiepahdustuettava
 - Aksiaalisesti puristetun Kerto-Ripa -elementin nurjahdus laatan tasosta pois päin tulee tarkistaa erikseen
 - Kerto-Ripa -laatan mitoitus ei sisällä pintalevyyn taiputuskestävyys-, leikkauskestävyys- ja taipumatarkastelua poikittain ripoihin nähden
 - Kerto-Ripa -elementin päissä ja välituilla on aina oltava joko yhtenäiset päätypalkit tai välipuut
 - Kerto-Ripa -elementissä on poikittaiskapuloita myös nostopisteiden kohdalla ja jäykistyksen takia
 - Kerto-Ripa -elementin poikittaisosien painoksi on oletettu 10% ylä- ja alalevyjen sekä ripojen painosta
-

Finnwood 2.4 (2.4.084)

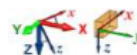
© Copyright 2017 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä

18.1.2018

Finnwood 2.4 (2.4.084)

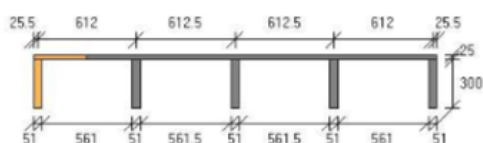
RIL 205-1-2017 (23.10.2017)

Rakennemitoitus palotilanteelle (treg=30 min)



PROJEKTITIEDOT:

C:\Users\marko.nasanen\Desktop\Kotityöt\Kerto-Ripa_alapohja.s01



RAKENNETIEDOT:

Rakennetyyppi: Lattiapalkki/laatta
 Poikkileikkaus: R325-2500x25-5(1)x51x300
 Käyttöluokka: 2
 Seuraamusluokka: CC2 (KFI=1.0)
 Jako/kuormituslev.: 332 mm (pintakuormille)

Uloke-/jännevälipituudet:

Uloke/jänneväli: Vaakamitta [mm]:
 Jänneväli 1: 4750.0
 Jänneväli 2: 4750.0
 Yhteensä: 9500.0

Tuki:	Sijainti x [mm]:	Leveys [mm]	Tyyppi:
1:	0	200	Kiinteä niveltuki (X,Z)
2:	4750	200	Liukutuki (Z)
3:	9500	200	Liukutuki (Z)

Laatan osat:

Ylälevy:	2500x25	0.025 m ³ /m ² KERTO-Q (27-69)
Rivat:	5x51x264	0.027 m ³ /m ² KERTO-S
Mitoitettu ripa:	Ripa 1	(= 51.0x264.3)
Kokonaispaino:	31 kg/m ²	sisältää levyt, rivat ja poikittaiset rakenneosat

Finnwood 2.4 (2.4.084)

© Copyright 2017 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä

18.1.2018

Teholliset jäykkyydet:

Uloke-/jänneväli:	EI,ef,MRT:	EI,ef,KRT:
Jänneväli 1	2213.2 kNm2	2213.2 kNm2
Jänneväli 2	2213.2 kNm2	2213.2 kNm2

	Ylälevy:	Ripa:
fm,20 (My):	39.60 N/mm2	49.14 N/mm2
fc,0,20:	28.60 N/mm2	38.50 N/mm2
fc,90,20:	2.42 N/mm2	6.60 N/mm2
ft,0,20:	27.82 N/mm2	37.45 N/mm2
fv,20 (Vz):	1.43 N/mm2	4.51 N/mm2
E,mean:	10500 N/mm2	13800 N/mm2
G,mean:	120 N/mm2	600 N/mm2
E 0.20:	9680 N/mm2	12760 N/mm2
fv,20(sauma):	1.43 N/mm2	4.51 N/mm2

Varmuuskertoimet:

Ylälevy:	1.00
Ripa:	1.00

Kmod kerroin:

kmod,fm,fi (palo +M puo)	0.81
kmod,fm,fi (palo -M puo)	0.70
kmod,t,fi:	0.81
kmod,c,fi:	0.70
kmod,E,z,fi:	1.00

	Ylälevy:	Ripa:
Kdef kerroin:	0.600	0.600

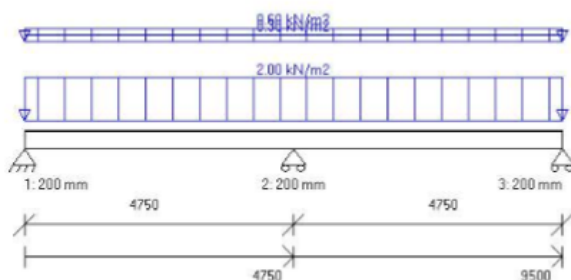
Palomitoituksen asetukset:

Palonkesto (min):	30
Suojaus:	Ei suojausta

Finnwood 2.4 (2.4.084)

© Copyright 2017 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä

18.1.2018

**KUORMITUSTIEDOT:**

Omapaino (Omapaino, Pysyvä):
 Rakennesosan paino: $QZ = 0.120 \text{ kN/m} = 0 - 9500 \text{ mm}$
 Pintakuorma: 1: $QZ = 0.600 \text{ kN/m} = 0 - 9500 \text{ mm}$
 Pintakuorma: 2: $QZ = 0.300 \text{ kN/m} = 0 - 9500 \text{ mm}$

Hyötykuorma (Hyötykuorma A, Keskipitkä, MRT/KRT-liikkuvuus = 100.0 %):
 Pintakuorma: 1: $QZ = 2.000 \text{ kN/m} = 0 - 9500 \text{ mm}$

KUORMITUSYHDISTELMÄT:

Yhdistelmä 19 palo-/onnettomuusmitoitukseen (MRT, Keskipitkä)
 $1.00 \cdot 1.00 \cdot \text{Omapaino} + 1.00 \cdot 1.00 \cdot 0.30 \cdot \text{Hyötykuorma}$

Yhdistelmä 22 palo-/onnettomuusmitoitukseen (MRT, Pysyvä)
 $1.00 \cdot 1.00 \cdot \text{Omapaino}$

Yhdistelmä 25 palo-/onnettomuusmitoitukseen (KRT)
 $1.00 \cdot \text{Omapaino} + 1.00 \cdot 0.30 \cdot \text{Hyötykuorma}$

MITOITUS:

Mitoitusstandardi: EN 1995-1-1:2004 + A1:2008 + A2:2014 + RIL 205-1-2017

Finnwood 2.4 (2.4.084)

© Copyright 2017 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä

18.1.2018

Kokonaiskäyttöaste: 7.7 %

MITOITUSPARAMETRIT:

Korotuskerroin, vasen uude:

Korotuskerroin, oikea uude:

Nurjahdus on estetty molempiin suuntiin (y ja z)

Kiepahdus on estetty

Värähtelymitoitusta ei ole tehty

MITOITUKSEN ÄÄRIARVOT:

Tarkastelu:	Mitoitusarvo:	Raja-arvo:	Käyttöaste *)	Sijainti x:	
V, yläsauma, leikkaus:	0.11 N/mm ²	1.43 N/mm ²	7.7 %	4750 mm	Yhdistelmä 19/1, Keskipitk
V, uuma, leikkaus:	0.17 N/mm ²	4.51 N/mm ²	3.8 %	4750 mm	Yhdistelmä 19/1, Keskipitk
M, ylälevy, kesk. puristus:	5.53 N/mm ²	20.04 N/mm ²	2.6 %	1900 mm	Yhdistelmä 19/3, Keskipitk
M, ylälevy, kesk. veto:	0.85 N/mm ²	22.51 N/mm ²	3.8 %	4750 mm	Yhdistelmä 19/1, Keskipitk
M, uuma, reunataivutus:	1.89 N/mm ²	39.76 N/mm ²	4.8 %	4750 mm	Yhdistelmä 19/1, Keskipitk
M, uuma, kesk. puristus:	0.45 N/mm ²	26.97 N/mm ²	1.7 %	4750 mm	Yhdistelmä 19/1, Keskipitk
M, uuma, kesk. veto:	0.28 N/mm ²	30.30 N/mm ²	0.9 %	1900 mm	Yhdistelmä 19/3, Keskipitk
Tukipaine, tuki 1:	1.16 kN	79.61 kN	1.5 %	0 mm	Yhdistelmä 19/3, Keskipitk
Tukipaine, tuki 2:	3.67 kN	85.16 kN	4.3 %	4750 mm	Yhdistelmä 19/1, Keskipitk
Tukipaine, tuki 3:	1.16 kN	79.61 kN	1.5 %	9500 mm	Yhdistelmä 19/4, Keskipitk
jänneväli 1, Wz, inst:	1.2 mm	-- mm	-- %	2138 mm	Yhdistelmä 25/3
jänneväli 2, Wz, inst:	1.2 mm	-- mm	-- %	7362 mm	Yhdistelmä 25/4

ÄÄRIARVOJEN KUORMITUSYHDISTELMÄT

Yhdistelmä 19/1 (Keskipitkä):

1.00*Omapaino + 0.30*Hyötykuorma, jänneväli 1 + 0.30*Hyötykuorma, jänneväli 2

Yhdistelmä 19/3 (Keskipitkä):

1.00*Omapaino + 0.30*Hyötykuorma, jänneväli 1

Yhdistelmä 19/4 (Keskipitkä):

1.00*Omapaino + 0.30*Hyötykuorma, jänneväli 2

Yhdistelmä 25/3 :

1.00*Omapaino + 0.30*Hyötykuorma, jänneväli 1

Yhdistelmä 25/4 :

1.00*Omapaino + 0.30*Hyötykuorma, jänneväli 2

VOIMASUUREIDEN ÄÄRIARVOT:

Tulos:	Maksimiarvo:	Sijainti x:
Vz,max	1.83 kN	4750 mm
My,max	1.74 kNm	4750 mm

TUKIREAKTIOT:

Tuki:	MRTmax:	MRTmin:	KRTmax:	KRTmin:
1:	1.16 kN	0.69 kN	1.16 kN	0.69 kN
2:	3.67 kN	2.49 kN	3.67 kN	2.49 kN

Finnwood 2.4 (2.4.084)

© Copyright 2017 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä

18.1.2018

3: 1.16 kN 0.69 kN 1.16 kN 0.69 kN
 - KRT tukireaktiot ovat vain vertailua varten

TUKIREAKTIOT KUORMITUSTAPAUKSITTAIN (OMINAISARVOT):

 Kuormitustapaus: Omapaino
 Tuki: FZ [kN]:
 1: 0.75
 2: 2.49
 3: 0.75

 Kuormitustapaus: Hyötykuorma, jänneväli 1
 Tuki: FZ [kN]:
 1: 1.38
 2: 1.97
 3: -0.20

 Kuormitustapaus: Hyötykuorma, jänneväli 2
 Tuki: FZ [kN]:
 1: -0.20
 2: 1.97
 3: 1.38

HUOMIOT:

-
- EN 1995-1-1-standardin, sen täydennysosien A1:2008, A2:2014 ja Suomen kansallisten liitteiden sekä RIL 205-1-2017 -suunnitteluohjeen mukainen laskenta
 - VTT on tehnyt kolmannen osapuolen tarkistuksen ohjelmalle (VTT-S-03665-17 ja VTT-S-05393-17)
 - MRT = Murtorajatila, KRT = Käyttörajatila
 - *) Yhteisvaikutustarkasteluissa %-luku tarkoittaa mitoitusarvon ja raja-arvon suhdetta, ei todellista käyttöastetta
 - Liittyvän alapuolisen rakenteen tukipainekestävyys tulee tarkistaa erikseen
 - Mitoituksessa ei huomioida ulokkeiden alle 20 mm taipumaa ylöspäin
 - Värähtely- ja taipumatarkastelua ei tehdä alle 200 mm pituisille ulokkeille
 - Leikkausmuodonmuutos on mukana käyttöraja-tilamitoituksessa
 - Leikkausmuodonmuutos ei ole mukana voimasuureiden laskennassa
 - Värähtelyn minimoimiseksi tulee varmistaa ankkurointi myös välituella/tuilla
 - Kerto-Ripa -laatan mitoitus noudattaa ETA-07/0029 mukaista suunnitteluohjetta
 - Kerto-Ripa -laatalla rakenneosien koon vaikutus lujuuteen on otettu huomioon ominaisarvoissa kertoimilla kh ja kl
 - Yllä esitetty mitoitus koskee vain valittua ripaa, muut rivat on tarkasteltava erikseen
 - Jatkuvalle Kerto-Ripa -ripalaatalla ripojen puristettu alareuna on kiepahdustuettava
 - Aksiaalisesi puristetun Kerto-Ripa -elementin nurjahdus laatan tasosta pois päin tulee tarkistaa erikseen
 - Kerto-Ripa -laatan mitoitus ei sisällä pintalevyn taivutuskestävyys-, leikkauskestävyys- ja taipumatarkastelua poikittain ripoihin nähden
 - Kerto-Ripa -elementin päissä ja välituilla on aina oltava joko yhtenäiset päätypalkit tai välipuut

Finnwood 2.4 (2.4.084)

© Copyright 2017 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä

18.1.2018

- Kerto-Ripa -elementissä on poikittaiskapuloita myös nostopisteiden kohdalla ja jäykistyksen takia
- Kerto-Ripa -elementin poikittaisosien painoksi on oletettu 10% ylä- ja alalevyjen sekä ripojen painosta

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

Finnwood-ohjelmistolla tehdyt laskelmat ja tulosteet ovat voimassa vain ohjelmistoon tallennettujen Met Osuuskunta, Metsä Woodin tuotteiden kanssa. Nämä tuotteet on tarvittaessa osoitettava rakennuspaika osapuolille sekä viranomaisille. Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood tai sen tytäryhtiöt eivät vastaa käy kolmannelle osapuolelle muiden valmistajien tuotteista tai niiden käytöstä Finnwood-ohjelmistossa, ohje perusteella näin tehdyistä laskelmista ja tulosteista tai kolmansien valmistajien tuotteista tai niiden käyt aiheutuneista virheistä, menetyksistä tai vahingoista. Näitä ehtoja ei saa poistaa tulosteesta.

Finnwood 2.4 (2.4.084)

© Copyright 2017 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä

25.1.2018

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

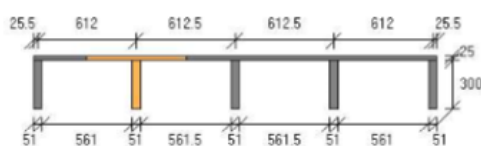
Finnwood 2.4 (2.4.084)

RIL 205-1-2017 (23.10.2017)

Rakennemitoitus ilman onnettomuus-/palotilannetta



PROJEKTITIEDOT:



RAKENNETIEDOT:

Rakennetyyppi: Lattiapalkki/laatta
 Poikkileikkaus: R325-2500x25-5(2)x51x300
 Käyttöluokka: 2
 Seuraamusluokka: CC2 (KFI=1.0)
 Jako/kuormituslev.: 612 mm (pintakuormille)

Uloke-/jännevälipituudet:

Uloke/jänneväli: Vaakamitta [mm]:
 Jänneväli 1: 4750.0
 Jänneväli 2: 4750.0
 Yhteensä: 9500.0

Tuki:	Sijainti x [mm]:	Leveys [mm]	Tyyppi:
1:	0	200	Kiinteä niveltuki (X,Z)
2:	4750	200	Liukutuki (Z)
3:	9500	200	Liukutuki (Z)

Laatan osat:

Ylälevy:	2500x25	0.025 m ³ /m ² KERTO-Q (27-69)
Rivat:	5x51x300	0.031 m ³ /m ² KERTO-S
Mitoitettu ripa:	Ripa 2	(= 51.0x300.0)
Kokonaispaino:	31 kg/m ²	sisältää levyt, rivat ja poikittaiset rakenneosat

Finnwood 2.4 (2.4.084)

© Copyright 2017 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä

25.1.2018

Teholliset jäykkyydet:

Uloke-/jänneväli:	EI,ef,MRT:	EI,ef,KRT:
Jänneväli 1	3795.2 kNm2	3795.2 kNm2
Jänneväli 2	3795.2 kNm2	3795.2 kNm2

	Ylälevy:	Ripa:
fm,k (My):	36.00 N/mm2	44.00 N/mm2
fc,0,k:	26.00 N/mm2	35.00 N/mm2
fc,90,k:	2.20 N/mm2	6.00 N/mm2
ft,0,k:	25.29 N/mm2	34.05 N/mm2
fv,k (Vz):	1.30 N/mm2	4.10 N/mm2
E,mean:	10500 N/mm2	13800 N/mm2
G,mean:	120 N/mm2	600 N/mm2
E 0.05:	8800 N/mm2	11600 N/mm2
fv,k(sauma):	1.30 N/mm2	4.10 N/mm2

Varmuuskertoimet:

Ylälevy:	1.20
Ripa:	1.20

Kmod kerroin:

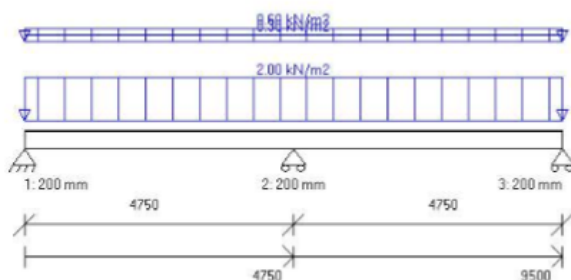
Aikaluokka:	Ylälevy:	Ripa:
Pysyvä:	0.600	0.600
Pitkäaikainen:	0.700	0.700
Keskipitkä:	0.800	0.800
Lyhytaikainen:	0.900	0.900
Hetkellinen:	1.100	1.100

	Ylälevy:	Ripa:
Kdef kerroin:	0.800	0.800

Finnwood 2.4 (2.4.084)

© Copyright 2017 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä

25.1.2018

**KUORMITUSTIEDOT:**

Omapaino (Omapaino, Pysyvä):
 Rakenneosan paino: $QZ = 0.156 \text{ kN/m} = 0 - 9500 \text{ mm}$
 Pintakuorma: 1: $QZ = 0.600 \text{ kN/m} = 0 - 9500 \text{ mm}$
 Pintakuorma: 2: $QZ = 0.300 \text{ kN/m} = 0 - 9500 \text{ mm}$

Hyötykuorma (Hyötykuorma A, Keskipitkä, MRT/KRT-liikkuvuus = 100.0 %):
 Pintakuorma: 1: $QZ = 2.000 \text{ kN/m} = 0 - 9500 \text{ mm}$

KUORMITUSYHDISTELMÄT:

Yhdistelmä 1 (MRT, Pysyvä)
 $1.00 \cdot 1.35 \cdot \text{Omapaino}$

Yhdistelmä 2 (MRT, Keskipitkä)
 $1.00 \cdot 1.15 \cdot \text{Omapaino} + 1.00 \cdot 1.50 \cdot \text{Hyötykuorma}$

Yhdistelmä 3 (MRT, Keskipitkä)
 $0.90 \cdot \text{Omapaino} + 1.00 \cdot 1.50 \cdot \text{Hyötykuorma}$

Yhdistelmä 5 (MRT, Keskipitkä)
 $1.00 \cdot 1.15 \cdot \text{Omapaino} + 1.00 \cdot 1.50 \cdot 0.70 \cdot \text{Hyötykuorma}$

Finnwood 2.4 (2.4.084)

© Copyright 2017 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä

25.1.2018

Yhdistelmä 9 (MRT, Pysyvä)
1.00*1.15*Omapaino

Yhdistelmä 10 (MRT, Pysyvä)
0.90*Omapaino

Yhdistelmä 13 (KRT)
1.00*Omapaino

Yhdistelmä 14 (KRT)
1.00*Omapaino + 1.00*Hyötykuorma

Yhdistelmä 16 (KRT)
1.00*Omapaino + 1.00*0.70*Hyötykuorma

MITOITUS:

Mitoitusstandardi: EN 1995-1-1:2004 + A1:2008 + A2:2014 + RIL 205-1-2017
Kokonaiskäyttöaste: 85.8 %

MITOITUSPARAMETRIT:

Taipumaraja Winst: L/400
Taipumaraja Wnet,fin: L/300
Korotuskerroin, vasen uloke: 2.00
Korotuskerroin, oikea uloke: 2.00
Nurjahdus on estetty molempiin suuntiin (y ja z)
Kiepahdus on estetty

VÄRÄHTELYN LASKENTA-ASETUKSET:

Rivan tyyppi: Väli-ripa
Huoneen suurin mitta L [m]: 6.0
Lattiarakenteen leveys B [m]: 5.0
Välipohjan tuentatapa: 2 reunaa tuettu
Ulokkeen lyhennys [mm]: 0.0
Poikittaisjäykisteet: Ei jäykisteitä
Kelluva rakenne / poikittaiskoolaus+levyillä: Kelluva rakennetta
Alapuoliset poikittaiskoolaukset: Ei alapuolista poikittaiskoolausta
Pinta-alayksikön massa [kg/m²]: 145
HUOM! Vierekkäiset Kerto-Ripa -ripalaatat on kiinnitettävä toisiinsa sekä ylä- että alapinnasta
HUOM! Lattiapalkin jatkuvuus on huomioitu laskelmissa käyttämällä ekvivalentteja jännevälejä seuraav:
Reunajännevälit 0.90xL

MITOITUKSEN ÄÄRIARVOT:

Tarkastelu:	Mitoitusarvo:	Raja-arvo:	Käyttöaste *)	Sijainti x:	
V, yläsauma, leikkaus:	0.33 N/mm ²	0.87 N/mm ²	38.0 %	4750 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
V, uuma, leikkaus:	0.66 N/mm ²	2.73 N/mm ²	24.0 %	4750 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä

Finnwood 2.4 (2.4.084)

© Copyright 2017 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä

25.1.2018

M, ylälevy, kesk. puristus:	42 N/mm ²	17.33 N/mm ²	28.2 %	7600 mm	Yhdistelmä 2/4, Keskipitkä
M, ylälevy, kesk. veto:	2.03 N/mm ²	16.86 N/mm ²	21.0 %	4750 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
M, uuma, reunataivutus:	5.82 N/mm ²	29.33 N/mm ²	219.8 %	4750 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
M, uuma, kesk. puristus:	1.75 N/mm ²	23.33 N/mm ²	27.5 %	4750 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
M, uuma, kesk. veto:	1.22 N/mm ²	22.70 N/mm ²	25.4 %	7600 mm	Yhdistelmä 2/4, Keskipitkä
Tukipaine, tuki 1:	5.27 kN	48.25 kN	10.9 %	0 mm	Yhdistelmä 2/3, Keskipitkä
Tukipaine, tuki 2:	15.73 kN	51.61 kN	30.5 %	4750 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
Tukipaine, tuki 3:	5.27 kN	48.25 kN	10.9 %	9500 mm	Yhdistelmä 2/4, Keskipitkä
jänneväli 1, Wz, inst:	2.8 mm	11.9 mm	23.6 %	2138 mm	Yhdistelmä 14/2
jänneväli 1, Wz, net, fin:	3.9 mm	15.8 mm	24.8 %	2138 mm	Yhdistelmä 14/2
jänneväli 2, Wz, inst:	2.8 mm	11.9 mm	23.6 %	7362 mm	Yhdistelmä 14/3
jänneväli 2, Wz, net, fin:	3.9 mm	15.8 mm	24.8 %	7362 mm	Yhdistelmä 14/3
Taipuma U:	0.4 mm	0.5 mm	85.8%		(Värähtelytarkastelu)
Taajuus f1:	14.4 Hz	9.0 Hz	62.5%		(Värähtelytarkastelu)

ÄÄRIARVOJEN KUORMITUSYHDISTELMÄT

Yhdistelmä 2/1 (Keskipitkä):

1.15*Omapaino + 1.50*Hyötykuorma, jänneväli 1 + 1.50*Hyötykuorma, jänneväli 2

Yhdistelmä 2/4 (Keskipitkä):

1.15*Omapaino + 1.50*Hyötykuorma, jänneväli 2

Yhdistelmä 2/3 (Keskipitkä):

1.15*Omapaino + 1.50*Hyötykuorma, jänneväli 1

Yhdistelmä 14/2 :

1.00*Omapaino + 1.00*Hyötykuorma, jänneväli 1

Yhdistelmä 14/3 :

1.00*Omapaino + 1.00*Hyötykuorma, jänneväli 2

VOIMASUUREIDEN ÄÄRIARVOT:

Tulos:	Maksimiarvo:	Sijainti x:
Vz,max	7.87 kN	4750 mm
My,max	7.47 kNm	4750 mm

TUKIREAKTIOT:

Tuki:	MRTmax:	MRTmin:	KRTmax:	KRTmin:
1:	5.27 kN	0.59 kN	3.80 kN	0.90 kN
2:	15.73 kN	3.78 kN	11.47 kN	4.20 kN
3:	5.27 kN	0.59 kN	3.80 kN	0.90 kN

- KRT tukireaktiot ovat vain vertailua varten

TUKIREAKTIOT KUORMITUSTAPAUKSITTAIN (OMINAISARVOT):

Kuormitustapaus:	Omapaino
Tuki:	FZ [kN]:
1:	1.26
2:	4.20

Finnwood 2.4 (2.4.084)

© Copyright 2017 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä

25.1.2018

3:	1.26

Kuormitustapaus:	Hyötykuorma, jänneväli 1
Tuki:	FZ [kN]:
1:	2.54
2:	3.64
3:	-0.36

Kuormitustapaus:	Hyötykuorma, jänneväli 2
Tuki:	FZ [kN]:
1:	-0.36
2:	3.64
3:	2.54

HUOMIOT:

-
- EN 1995-1-1-standardin, sen täydennysosien A1:2008, A2:2014 ja Suomen kansallisten liitteiden sekä RIL 205-1-2017 -suunnitteluohjeen mukainen laskenta
 - VTT on tehnyt kolmannen osapuolen tarkistuksen ohjelmalle (VTT-S-03665-17 ja VTT-S-05393-17)
 - MRT = Murtorajatila, KRT = Käyttörajatila
 - *) Yhteisvaikutustarkasteluissa %-luku tarkoittaa mitoitusarvon ja raja-arvon suhdetta, ei todellista käyttöastetta
 - Liittyvän alapuolisen rakenteen tukipainekestävyys tulee tarkistaa erikseen
 - Mitoituksessa ei huomioida ulokkeiden alle 20 mm taipumaa ylöspäin
 - Värähtely- ja taipumatarkastelua ei tehdä alle 200 mm pituisille ulokkeille
 - Leikkausmuodonmuutos on mukana käyttörajatilamitoituksessa
 - Leikkausmuodonmuutos ei ole mukana voimasuureiden laskennassa
 - Värähtelyn minimoimiseksi tulee varmistaa ankkurointi myös välituella/tuilla
 - Kerto-Ripa -laatan mitoitus noudattaa ETA-07/0029 mukaista suunnitteluohjetta
 - Kerto-Ripa -laatalta rakenneseosien koon vaikutus lujuteen on otettu huomioon ominaisarvoissa kertoimilla kh ja kl
 - Yllä esitetty mitoitus koskee vain valittua ripaa, muut rivat on tarkasteltava erikseen
 - Jatkuvalle Kerto-Ripa -ripalaatalla ripojen puristettu alareuna on kiepahdustuettava
 - Aksiaalisesti puristetun Kerto-Ripa -elementin nurjahdus laatan tasosta pois päin tulee tarkistaa erikseen
 - Kerto-Ripa -laatan mitoitus ei sisällä pintalevyyn taiputuskestävyys-, leikkauskestävyys- ja taipumatarkastelua poikittain ripoihin nähden
 - Kerto-Ripa -elementin päissä ja välituilla on aina oltava joko yhtenäiset päätypalkit tai välipuut
 - Kerto-Ripa -elementissä on poikittaiskapuloita myös nostopisteiden kohdalla ja jäykistyksen takia
 - Kerto-Ripa -elementin poikittaisosien painoksi on oletettu 10% ylä- ja alalevyjen sekä ripojen painosta

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

Finnwood-ohjelmistolla tehdyt laskelmat ja tulosteet ovat voimassa vain ohjelmistoon tallennettujen Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Woodin tuotteiden kanssa. Nämä tuotteet on tarvittaessa osoitettava rakennuspaikalla.

Finnwood 2.4 (2.4.084)

© Copyright 2017 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä

25.1.2018

osapuolille sekä viranomaisille. Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood tai sen tytäryhtiöt eivät vastaa käy kolmannelle osapuolelle muiden valmistajien tuotteista tai niiden käytöstä Finnwood-ohjelmistossa, ohje perusteella näin tehdyistä laskelmista ja tulosteista tai kolmansien valmistajien tuotteista tai niiden käyt aiheutuneista virheistä, menetyksistä tai vahingoista. Näitä ehtoja ei saa poistaa tulosteesta.
