



CLT-tilaelementtirunkoisen puukerrosta- lon liitosten laadunvarmistus

Juho Inkeroinen

Opinnäytetyö, AMK

Toukokuu 2021

Tekniikan ala

Insinööri (AMK), rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

Inkeroinen, Juho

CLT-tilaelementtirunkoisen puukerrostalon liitosten laadunvarmistus

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Toukokuu 2021, 36 sivua.

Tekniikan ala. Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Verkkojulkaisulupa myönnetty: kyllä

Tiivistelmä

Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää toimeksiantajan työmaalla tehtävien tilaelementtien liitosten laadunvalvontaa, sekä selvittää keskeisimmät laatuvaatimukset puurakentamista ja liitoksia koskien. Lisäksi tavoitteena oli selvittää, millaisia ongelmia ja haasteita kiinnitysten työmaatoteutukseen liittyy.

Tutkimus toteutettiin kehittämistutkimuksena, yhdistelmänä kvalitatiivisia ja kvantitatiivisia tutkimusmenetelmiä. Aineiston keräämiseen käytettiin havainnointia työmaalla tilaelementtiasennuksien yhteydessä, kirjallisuuskatsausta ja haastatteluita. Teoreettinen viitekehys koostui puurakentamisen tuotantoprosessista, puurakentamisen standardeista ja laatuvaatimuksista, sekä tutkimuskohteen liitosten toimintaperiaatteista, sekä työmaatoteutukseen liittyvistä asioista.

Tutkimuksessa selvisi, että puurakentamisen, etenkin korkean puukerrostalorakentamisen, liitokset ovat hyvin yksityiskohtaisia ja niiden laadunvarmistus vaatii myös yksityiskohtaista tarkastelua. Haastatteluissa selvisi, että tavanomaisemmissa puukerrostalokohteissa, joissa käytetään värinäeristimiä, liittyy näihin yksi merkittävä valvonta osa-alue, jota tutkimuskohteessa ei ollut.

Kehittämistyön tuloksena saatiin tuotettua dokumentointipohja Microsoftin OneNote- muistikirjasovellukselle, jota voidaan hyödyntää jatkossa myös muilla alustoilla.

Avainsanat (asiasanat)

CLT, puukerrostalo, puurakentaminen, tilaelementti, laadunvarmistus, liitokset, dokumentointi

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

Liitteet 2-7 ovat salassa pidettäviä, ja ne on poistettu julkisesta työstä. Salassapidon peruste on Julkisuuslain 621/1999 24§, kohta 17, yrityksen liike- tai ammattisalaisuus.

Inkeroinen Juho

Quality assurance of the joints in the wooden apartment building made with prefabricated CLT space elements

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, May 2021, 36 pages.

Bachelor of Engineering, Degree Programme in Construction and Civil Engineering.

Permission for web publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

The purpose of the study was to develop quality control of space element for assignor and find out most important quality requirements of wood building and joints. The additional goal was to find out what kind of problems and challenges appear with joints in a site.

The study was conducted as a design research combining qualitative and quantitative research methods. The research material was gathered through at a site observation of space element installation, interviews and literature review. The theoretical framework consists of wood building production process, standards of wood building, quality requirements, and subject's production policy of joints, and matters regarding site execution.

According to the study the joints in wood building, especially high apartment building, are extremely detailed and their quality assurance also requires inspection in detail. The interviews concluded that more common wood apartment buildings that use vibration isolators require another significant area of supervision. The study subject did not cover this area.

The result of the design research was a documentation model in Microsoft OneNote notebook application that can be utilized on different platforms in the future.

Keywords/tags (subjects)

CLT, wooden apartment building, wood building, space element, quality assurance, joints, documentation

Miscellaneous (Confidential information)

The attachments 2-7 are confidential, and therefore taken away from public thesis. The argument for confidentiality is based on the law of publicity 621 621/1999 24§ part 17, commercial of professional secret of company.

Sisältö

1	Johdanto.....	3
1.1	Tausta	3
1.2	Opinnäytetyön tavoite ja tutkimuskohde	4
2	Tutkimusasetelma	6
2.1	Tutkimusongelma ja -kysymykset	6
2.2	Tutkimusmenetelmät	7
2.3	Aineistonkeruumenetelmät.....	8
3	Puurakentaminen	8
3.1	Puukerrostalorakentaminen	8
3.2	Tilaelementtirakentaminen	10
4	Puurakentamisen standardit.....	11
4.1	Puurakentamisen tuotanto/suunnitteluprosessi ja laatuvaatimukset	11
4.2	Laadunvarmistuksen suunnittelu.....	13
4.3	Eurokoodi 5.....	14
4.4	Toleranssit	14
4.5	Liitostoleranssit.....	15
5	Liitokset ja toimintaperiaatteet sekä työmaatoteutus.....	17
5.1	Tappivaarnaliitos.....	17
5.2	Teräslevyliitokset	18
5.3	Vetoliitos.....	20
6	Tutkimustulokset ja johtopäätökset.....	21
6.1	Tutkimuksen toteutustavat	21
6.2	Puurakenteiden laatuvaatimukset ja toleranssit Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.	
6.3	Laadunvarmistusmenetelmät	22
6.4	Haastatteluiden tulokset	23

7	Pohdinta	24
	Lähteet	27
	Liitteet	29
	Liite 1. Vuokaavio: tarkastusmenettely	29
	Liite 2. Dokumentointi/tarkastuspohja OneNote (salassa pidettävä)	30
	Liite 3. Betonikerroksen teräsosakaavio (salassa pidettävä)	31
	Liite 4. Vaarnatappiliitosdetalji (A-insinöörit). (salassa pidettävä)	32
	Liite 5. HVS:n seinän leikkausliitos vaakateräsosan kohdalla. (A-insinöörit, salassa pidettävä)	33
	Liite 6. Vetoliitos porraskäytävän hormin kohdalla (A-insinöörit, salassa pidettävä)	34
	Liite 7. teräslevyn korjaussuunnitelma (salassa pidettävä)	35
	Liite 8. vaarnatapin juotosvalukokeilu työmaalla	36

Kuviot

	Kuvio 1 HOAS Tuuliniitty havainnekuva ja asemakaava (puulehti)	5
	Kuvio 2 Kehittämistutkimuksen vaiheet. (Kanananen).....	7
	Kuvio 3 Tuuliniityn ensimmäinen massiivipuutilaelementti menossa paikalleen	11
	Kuvio 4 Puurakenteiden asennustoleransseja. (SFS 5978)	15
	Kuvio 5 Puurakenteiden liitostoleranssit (taul. 8.2 SFS 5978)	16
	Kuvio 6 Ruuvivalmistajan ohje vinoruuuvaukselle . (Rothoblaas)	20

1 Johdanto

1.1 Tausta

Rakennusala elää murroksen aikaa, jossa teollinen rakentaminen yleistyy ja tuotanto siirtyy yhä enemmän työmailta tehtaisiin. Ilmastopoliittisten tavoitteiden täyttämiseksi tarvitaan ratkaisuja rakentamisen hiilijalanjäljen pienentämiseksi. Puun käytön lisääminen rakentamisessa on osa ratkaisua. Ympäristöministeriön puurakentamisen ohjelman tavoitteena on puun käytön lisääminen kaupunkien rakentamisessa, niin julkisessa rakentamisessa kuin suurissa puurakenteissakin. (Puurakentamisen ohjelma n.d.)

Puurakentamiselle on suomessa hyvät tulevaisuuden näkymät. Suomen merkittävät metsävarat ja paperiteollisuuden vähenemisestä johtuva metsäteollisuuden rakennemuutos ovat osaltaan puoltamassa puurakentamisen kasvun edistämistä (Haapio 2013). Teollinen puurakentaminen mahdollistaa jopa 80% rakennustöiden viemisestä sääsuojattuihin tehdasoloihin. Näin työmaalle jäävät tehtävät vähenevät huomattavasti. Tehdasoloissa työskentely on myös turvallisempaa, joten rakentamisen työturvallisuusriskejä saadaan huomattavasti pienennettyä. Teollisella puurakentamisella on vähähiilisyysvaatimuksien lisäksi potentiaalia vastata rakentamisen laatuongelmiin, harmaan talouden kitkemiseen sekä rakennusalan tuottavuuden kasvattamiseen. (Törmänen 2020.)

CLT-rakenteinen tilaelementtitalo on rakennejärjestelmänä Suomessa melko uusi ja korkea puurakentaminen niin ikään. Vasta 15.4.2011 voimaan tulleet uudet palomääräykset mahdollistivat 8-kerroksisen puukerrostalon rakentamisen Suomessa. Vuoteen 2020 mennessä Suomeen rakennettua yli 8-kerroksisia rakennuksia on toistaiseksi vielä laskettavissa yhden käden sormilla. Puuinfon tilastojen mukaan, yli 8-kerroksisia puukerrostaloja on rakennettu suomeen neljä kappaletta (Karjalainen 2020). Toukokuussa 2021 valmistuva HOAS Tuuliniitty on siis viides tämän kerrosmäärän täyttävässä kategoriassa Suomessa.

Tutkimuksen aihe on mielenkiintoinen, tärkeä, ajankohtainen ja tarpeellinen. Opinnäytetyön toimeksiantajan nopeasti kasvava liiketoiminta vaatii yritykselle yhdenmukaiset työmaasta ja sen sijainnista riippumattomat laadunvarmistuksen toimintaperiaatteet. Puurakentamisessa liitokset ovat keskimäärin betonirakentamista huomattavasti yksityiskohtaisemmat ja niinpä niiden laadunvarmistuskin vaatii myös yksityiskohtaisempia tarkasteluja.

1.2 Opinnäytetyön tavoite ja tutkimuskohde

Tämän opinnäytetyön keskeisenä tavoitteena on kehittää JVR-Rakenne Oy:n tilaelementtiasennusten kiinnitysten laadunvalvontaa. Tavoitteena on luoda toimivat laadunvarmistustoimenpiteet ja työkalut laadunvalvontaprosessiin, sekä tutkia puurakentamisen työmaatoteutusta koskevia laatuvaatimuksia. Tavoitteena myös tutkia liitoksien olennaisimpia toimintaperiaatteita ja sen myötä löytää liitoksien työmaatoteutuksesta ja sen laadusta riippuvaisimmat seikat. Tutkimus rajataan koskemaan työmaalla tehtävien kantavien rakenteiden liitoksien laadunvarmistusta. Kehitystyön perustana käytetään JVR-Rakenteen urakoimaa puukerrostalokohdetta Espoon Tapiolassa.

Lisäksi halutaan tutkia, kuinka yrityksen sisällä liitosten laadunvarmistusmenetelmät eroavat toisistaan ja selvittää, olisiko mahdollista luoda liitoksien laadunvarmistukseen vakioitu toimintamalli. Modulaaristen tilaelementtien asentaminen on hyvin nopeaa ja niinpä liitoksien laadunvarmistusta on suoritettava koko ajan asennusten yhteydessä, sillä tilaelementtien väliin jääviä teräsosia ei voida tarkistaa enää jälkikäteen.

JVR-Rakenne Oy toimii opinnäytetyön toimeksiantajana. JVR-Rakenne Oy on Jyväskylästä lähtöisin oleva vuonna 1998 perustettu perheyritys. Tilaelementtirunkoisten puukerrostalojen rakentamisessa JVR on alan pioneeri ja markkinajohtaja Suomessa, joka keskittyy teollisesti valmistettujen massiivipuurakenteisten kerrostalojen pääurakointiin. Yrityksessä työskentelee tällä hetkellä n. 30 työntekijää. JVR-Rakenne Oy:n liikevaihto vuonna 2019 oli 5,3 miljoonaa euroa.

Tutkimuskohteena toimiva, Espoon Tapiolaan rakennettu 13-kerroksinen asuinrakennus on Suomen toiseksi korkein puukerrostalo ja tietävästi maailman korkein tilaelementtitekniikalla rakennettu puukerrostalo. Rakennuksessa on 165 opiskelija-asuntoa, joista 154 yksiötä ja 11 perheasuntoja. Talon ensimmäinen kerros on betonia, johon sijoittuvat yhteistilat, kuten irtaimistovarastot, polkupyörävarastot ja pesutupa. Ylimmässä kerroksessa sijaitsee kerhotila, sauna ja iv-konehuone. Rakennuspaikka on haasteellinen, sillä sijainti on meren läheisyydessä; maastoluokka 0. Kohteen arkkitehtisuunnittelusta on vastannut arkkitehtitoimisto Jukka Turtiainen Oy (nyk. Arkkitehtipalvelu Oy) ja rakennesuunnittelusta A-insinöörit Oy.



Kuvio 1 HOAS Tuuliniitty havainnekuva ja asemakaava (puulehti)

2 Tutkimusasetelma

2.1 Tutkimusongelma ja -kysymykset

Etenkin korkeassa tilaelementtirakentamisessa työmaalla tehtävissä liitoksissa puhutaan tilaelementtiä kohden jopa useampien satojen ruuvien kiinnittämisestä erilaisten vaihtuvien teräslevyosien kanssa. Toimiva laadunvarmistusmenetelmä ja dokumentointi on tärkeää, jotta kiinnityksien laatu voidaan todentaa vielä tilaelementtien asennusten jälkeenkin.

Kanasen (2015) mukaan tieteellisessä työssä tutkimuksen perustana on oltava tutkimusongelma ja ongelmista johdetut tutkimuskysymykset.

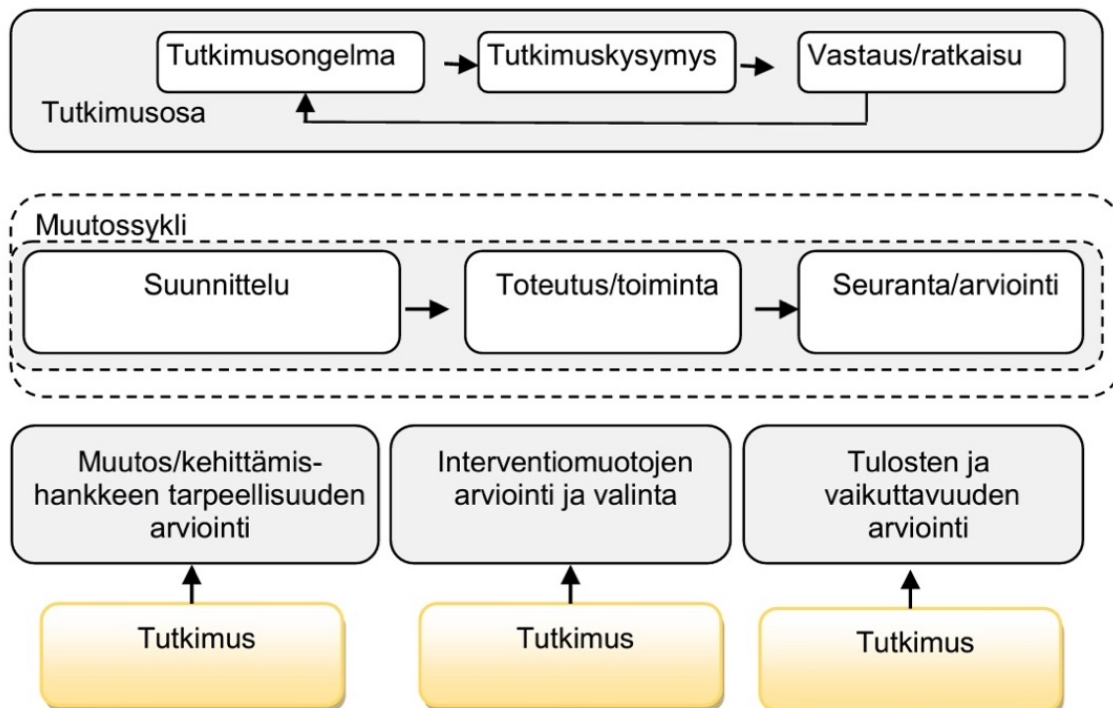
Tämän työn päätutkimuskysymykset ovat:

- Mitkä ovat tilaelementtien asennuksia koskevat keskeisimmät puurakenteiden laatuvaatimukset?
- Mitkä ovat tilaelementtien liitoksille asetetut toleranssit?
- Mitä ongelmia liitosten työmaatoteutukseen liittyy?
- Millä menetelmillä laadunvarmistus voidaan suorittaa niin, että kiinnityksiä koskevien laatuvaatimusten täytyminen voidaan mahdollisimman aukottomasti todentaa laadunvarmistusdokumenteista?
- Mitä eroja yrityksen liitoksien laadunvarmistuksessa on eri työmaiden välillä ja voitaisiinko laadunvarmistus yhdenmukaistaa työmaista ja toteuttajista riippumattomaksi yrityksen vakioiduksi laadunvarmistusmenetelmäksi?

2.2 Tutkimusmenetelmät

Tämä tutkimus toteutettiin kehittämistutkimuksena, eli yhdistelmänä kvalitatiivista ja kvantitatiivista tutkimusta. Kehittämistutkimusta ei pidetä erillisenä omana tutkimusmenetelmänä, vaan joukkona erilaisia tutkimusmenetelmiä, joita kehittämiskohteen tilanteen mukaisesti koostetaan. Kehittämistutkimuksessa ongelma voidaan muuttaa kehityskohteeksi, jolloin ongelma joko poistetaan, tai sitä pienennetään. Ongelman poistamisen edellytyksenä on ongelman syiden löytäminen ja keinojen valinta, joilla todettu ongelma saadaan poistettua. Tämä on myös kehittämistutkimuksen ja perinteisen, eli laadullisen ja määrällisen tutkimuksen välinen ero. Kehittämistutkimus tuottaa käyttökelpoisia ratkaisuja käytännön työelämään, joiden toimivuus myös yleensä varmistetaan. Lisäksi ratkaisun toimivuus testataan käytännössä. (Kananen 2015)

Kehittämistutkimukseen kuuluu myös ongelman poistaminen, siksi se on enemmän kuin perinteinen laadullinen tai määrällinen tutkimus. Ongelman määrittelyyn ja ratkaisun tuottamiseen tarvitaan tietoa, mikä edellyttää tutkimustyötä. Muutoksen ja ongelman poistamisen onnistuminen riippuu siitä, kuinka hyvin ongelma voidaan määrittää ja asettaa tutkimuskysymyksiä, joiden avulla tuotetaan tietoa ongelman ratkaisemiseksi. (Kananen 2015)



Kuvio 2 Kehittämistutkimuksen vaiheet. (Kananen)

Kehittämistutkimuksen kohteena on prosessi, tuote, toiminto, tai mikä tahansa, johon voidaan vaikuttaa ja jota halutaan kehittää. Tutkija toteuttaa kehittämistyön käytännössä, tehden samalla aineistonkeruuta havainnoiden, haastatellen ja kysellen, sekä muutosprosessin läpiviemistä arvioiden (Kananen 2015). Tämän kehittämistutkimuksen prosessi on aloitettu keväällä 2020, kun tutkimuskohteena olevalla puukerrostalotyömaalla Espoon Tapiolassa asia oli ajankohtainen ke-sällä alkavien, yrityksen tähän mennessä vaativimpien tilaelementtiasennuksien myötä.

2.3 Aineistonkeruumenetelmät

Aineistonkeruumenetelmiä on useampia ja ne usein määräytyvät tutkimusmenetelmän mukaan. Laadullisen tutkimuksen aineistokeruumenetelmät voidaan jakaa sekundääri-, ja primääriaineis-toon. Sekundääriaineistoon lukeutuvat dokumentit ja erilaiset tutkimusongelmaan tai ilmiöön liit-tyvät kuvat ja tallenteet. Primääriaineistoon katsotaan kuuluvan havainnoinnin ja erilaisten haas-tattelujen tai kyselyjen avulla tuotetut aineistot. (Kananen 2015)

Tässä tutkimuksessa käytetään aineistonkeruumenetelminä kirjallisuuskatsauksen ja havainnoi-nin lisäksi avointa haastattelua sähköpostin tai puhelimen välityksellä. Avoimessa haastattelumuo-dossa tutkittavalle ei esitetä tarkkoja kysymyksiä, vaan annetaan aihe ja tutkija tekee haastattelun pohjalta tarkennuksia. Todellisen ongelman ja sen syiden löytäminen voi helpottua haastattele-malla eri osapuolten näkemyksiä ongelman täsmennysvaiheessa. (Kananen 2015)

3 Puurakentaminen

3.1 Puukerrostalorakentaminen

Puukerrostalorakentaminen ja puun käytön lisääminen rakentamisessa on ollut paljon otsikoissa muutamien viime vuosien ajan. Puukerrostalorakentaminen sanana koetaan usein paljon tunteita herättävämmäksi, kuin vaikka vain puun käytön lisäämisestä rakentamisessa puhuttaessa. Puuker-rostalon ja betonikerrostalon välillä käydään jatkuvaa kilpailua, vertaillen milloin näiden rakenta-misnopeutta, kustannuksia ja milloin taas ilmastovaikutuksia. Puurakentamisen edistäminen ja etenkin sen takana oleva vahva poliittinen tuki ärsyttävät puurakentamisen vastustajia (Laukka-nen, M. 2012). Puurakentamisen ohjelman päällikkö Petri Heinon mukaan puurakentamisen kehit-

tymisessä on nyt menossa vaihe, jossa kysyntä on suurta ja rakentamista kehitetään suurella vo-lyymilla, alan yritykset tekevät onnistuneita kohteita ja rakennusalan yritykset pohtivat, mitä puu-rakentamisen lisääntyminen heidän kannaltaan tarkoittaa. (Puurakentamisen ohjelman väliarvi-ointi, 2021)

Tolppasen, Karjalaisen, Lahtelan ja Viljakaisen (2013, 10) mukaan puukerrostalon määritelmänä voidaan pitää taloa, jossa on vähintään kaksi kerrosta ja jonka kantavat runkorakenteet ovat pää- osin puuta. Julkisivu puukerrostalossa voi olla puinen, tai muulla julkisivumateriaalilla verhottu.

Keskeisimpiä eroja puukerrostalolla esimerkiksi betonirakenteiseen kerrostaloon verrattuna on pa- kollinen sammutusjärjestelmä kaikissa yli kaksikerroksisissa rakennuksissa. Puurakentamista kos- kevat valmistus- ja asennustoleranssit ovat tarkemmat, kuin muussa rakentamisessa. (Puukerros- talojen suunnittelu, 2021)

Puukerrostalon rakentamisessa työmaalla tarvittava työmäärä on perintäistä rakentamista huo- mattavasti pienempi, etenkin tilaelementtirakentamisessa, koska suurin osa työstä tehdään teh- dasoloissa, säältä suojassa. Kasvukeskuksissa, etenkin pääkaupunkiseudulla vallitsevaan työvoima- pulaan puurakentaminen tuo helpotusta ja työllisyys kasvaa muualla Suomessa, puutuotteiden valmistuspaikkakunnilla (Tolppanen ym. 2013, 13). Keskeisiksi puurakentamisen eduiksi voidaan mainita myös vahva rakentamisen aikainen kosteudenhallinta, rakentamisen nopeus, paloturvalli- suus ja ekologisuus.

Tämän päivän puukerrostalorakentamisen historia Suomessa ei ulotu kovinkaan kauas, toisaalta syyt siihen ulottuvat vuoteen 1800-luvulle, kun Turun massiivisessa tulipalossa tuhoutui lähes koko kaupunki ja puutalot saivat väistyä kivitalojen tieltä, kun kaupunkien kaavoituksella kiellettiin yli yksikerroksinen puurakentaminen keskustoissa. Suomalaista puukerrostaloa alettiin kehittää vasta 1990-luvun alkupuolella, kun ympäristötietoisuus lisääntyi ja ekologiset arvot alkoivat nostaa pää- tään. Nelikerroksisen puukerrostalon rakentaminen mahdollistui muuttuneiden palomääräysten myötä vuonna 1997. Palomääräyksiä uudistettiin jälleen 2011, jonka jälkeen mahdollistui puuker- rostalon rakentaminen kahdeksaan kerrokseen saakka. Nykyiset voimassa olevat paloturvallisuus- asetukset tulivat voimaan 1.1.2018.

Puurakennejärjestelmiä on useampia. Pilari-palkkijärjestelmä, rankarakenteiset suurelementit, CLT-massiivipuulevyt ja tilaelementit, joiden kantava rakenne voidaan tehdä esimerkiksi rankarakenteisilla tasoelementeillä tai CLT-levyillä. Lisäksi on erilaisia yhdistelmä-rakenteita, eli ns. hybridimalleja, joissa puukerrostalon runko tehdään eri materiaaleja yhdistämällä.

3.2 Tilaelementtirakentaminen

Tilaelementtirakentamisella tarkoitetaan rakennustapaa, jossa rakennus kootaan tehtaalla esivalmistetuista tilakomponenteista. Tilaelementtirakentaminen mahdollistaa rakennuksen valmistamisen tehdasoloissa, paikkakunnilla, joissa työvoimaa ja materiaaleja on helpommin saatavilla. Tehdasoloissa rakentaminen ei ole riippuvainen vallitsevista sääoloista, joten tasaisen laadun ja kuivaketjun ylläpitäminen on paikallarakentamista helpompaa. Elementtirakentamisessa käytetään tasomaisia seinä- ja laattaelementtejä, mutta tilaelementtirakentaminen mahdollistaa hyvin korkean esivalmistusasteen, joka voi tarkoittaa kokonaista asuntoa, joka on pintoja myöten tehtaalla valmiiksi rakennettu ja työmaalle jää parhaimmillaan asunnon osalta tehtäväksi vain talotekniikan liitostyöt.

Tilaelementti koostuu aina vähintään ala- ja yläpohjasta, sekä päätyseinistä. Modulaarinen tilaelementti koostuu näiden lisäksi myös molemmista sivuseinistä, mutta tilaelementti voi olla myös vaakarakenteiden lisäksi pelkistä päätyseinistä koostuva. Tilaelementin kantava runkorakenne voidaan toteuttaa useammallakin eri tekniikalla. Runko voi olla esimerkiksi pilari-palkki järjestelmällä, kehärakenteella tai laattamaisilla CLT-suurelementeillä toteutettu. Massiivipuisia CLT-tilaelementtejä Suomessa valmistaa tällä hetkellä mm. ProModules Oy Kauhajoella ja Elementti Sampo Oy Kuhmossa. Modulaarinen massiivipuusta valmistettu tilaelementti on vääntöjäykkä ja kestää kuljetusta erittäin hyvin, ilman muodonmuutoksia. Tilaelementin kokoon vaikuttavat kuljetustekniset seikat. Tilaelementin maksimileveys on 5,5m, maksimipituus 12m ja maksimikorkeus 3,4m (Tilaelementit n.d).

Kuviossa 3 näkyvässä tilaelementissä ulkoseinäeristeiden kohdalla on varaukset (asennuskolot) kiinnitysteräksosille. Tilaelementin nosto tapahtuu vetoliitosteräksistä, joihin on pulteilla kiinnitetty erilliset teräksiset nostokorvakkeet. Tutkimuskohteen julkisivu koostuu erilaisista puisista julkisivulevyistä ja -paneeleista, jotka on päätetty toteuttaa paikalla rakennettuna työmaalla.



Kuvio 3 Tuuliniityn ensimmäinen massiivipuutilaelementti menossa paikalleen

4 Puurakentamisen standardit

4.1 Puurakentamisen tuotanto/suunnitteluprosessi ja laatuvaatimukset

Puukerrostalohanke eroaa prosessina huomattavasti ns. perinteiseen betonielementtirakenteeseen kerrostaloon verrattuna. Puurakentamisen tuotantoprosessin sujuvoittamiseksi ja yhdenmuikaistamiseksi on luotu RunkoPES, eli puuelementtirakentamisen avoin teollisuusstandardi. PES tulee sanoista PuuElementtiStandardi. RunkoPES:n tarkoitus on luoda suunnittelun ja toteutuksen

laatua koskevat yhtenäiset kriteerit ja täten mahdollistaa eri valmistajien ratkaisujen liitettävyyden toisiinsa niin suunnittelu-, kuin työmaavaiheessa.

Puurakentamiselle on laadittu Rakennustuoteteollisuus ry:n toimesta kansallinen standardi, jossa on esitetty vaatimukset puurakenteiden toteutukselle. Standardi edellyttää rakennustyön suorittamista työhön tarvittavalla ammattitaidolla sekä riittäväillä varusteilla ja resursseilla. Standardin tavoitteena on toimia linkkinä rakennesuunnittelijan ja rakennustyön toteuttajan välillä, siirtää suunnittelun aikana esitetyt vaatimukset urakoitsijalle ja esittää standardoidut tekniset vaatimukset puurakenteen toteutukselle, sekä varmistaa että puurakentamisen toteuttaja saa suunnittelijalta kaikki olennaiset toteutukseen vaadittavat tekniset tiedot. (SFS 5978)

Laadukas rakentaminen lähtee hyvästä suunnittelusta. Rakentamisen laatu syntyy harkittujen tavoitteiden asettelulla, toimivalla tuotantotavalla sekä riittäväillä resursseilla ja laadun todentamistoimenpiteillä. Rakentamisen laatu voidaan jakaa prosessin laatuun ja lopputuotteen laatuun. Rakentamisen laatu varmistetaan muun muassa laatimalla asiakirjoja, joihin kirjataan laatuvaatimukset ja kuvataan toteutustapa, jolla laatu saavutetaan. (RIL 240-2006)

Suunnitelmien noudattamisen valvonta kuuluu rakennuttajan tehtäviin, joka on samalla myös rakennuttajan edun valvomista. Tähän tehtävään rakennuttajan on nimitettävä erikseen valvoja. Parhaan tuloksen saavuttamiseksi pitää rakennuttajan käyttää myös suunnittelijoitaan toteutuksen valvonnassa. Valvonnan laaja-alaisuudesta ja toteutustavasta sovitaan rakennesuunnittelijan, rakennusvalvonnan, rakennuttajan sekä urakoitsijan välillä. Tulosten varmistamiseksi voidaan käyttää ja vaatia myös katselmuksia ja koeistuksia. (RIL-240-2006)

Työmaaorganisaation tietämyksen ja ymmärryksen varmistamiseksi työmaalla tehtävistä liitoksista pitää työmaalla järjestää asennusvaiheen aloituskokous. Näin varmistetaan työohjeiden ja laadunvarmistusmenettelyjen noudattamisesta, sekä kaikista asennusvaiheeseen liittyvistä ohjeista ja suunnitelmista. (RIL 240-2006)

SFS-EN 1995 standardin luvussa 10 on määritetty rakenteen yksityiskohtien suunnittelun ja valvonnan vaatimukset, jotka ovat edellytyksenä standardin mitoitussääntöjen käyttämiselle.

Valvontasuunnitelman oletetaan sisältävän tuotannon ja työsuorituksen valvonnan työmaalla ja sen ulkopuolella ja valvonnan rakenteen valmistuttua. Rakentamisen valvontaan kuuluu rakenteen yksityiskohtien tarkistus, eli kiinnittimien määrät, reikien koot, esiporaukset, liitinvälit, etäisyydet ja halkeilu. (SFS-käsikirja 205)

Tutkimuskohde kuuluu vaativuusluokaltaan vaativiin kohteisiin, joissa tulee käyttää rakennusmääräyskokoelman määrittelemää rakenteellisen turvallisuuden erityismenettelyä. Erityismenettelyyn kuuluu erilaiset toimenpiteet, joilla varmistetaan, ettei mahdolliset riskit toteudu. Rakennesuunnittelun osalta erityismenettelyn yksi toimenpide on rakennesuunnitelmien ulkopuolinen tarkastus tekijäosapuolista riippumattoman asiantuntijan toimesta. (RIL 240-2006)

Suunnitelmien noudattamisen valvonnan suorittaa rakennuttajan nimittämä yleisvalvoja. Paras tulos saavutetaan, kun rakennuttaja käyttää myös suunnittelijoita toteutuksen valvontaan. Valvonnan toteutus ja laajuus neuvotellaan rakennesuunnittelijan, rakennuttajan, urakoitsijan ja rakennusvalvonnan välillä. (RIL 240-2006)

4.2 Laadunvarmistuksen suunnittelu

SFS 5978 standardin mukaan pääurakoitsijan ensimmäisiä toimenpiteitä ovat toteutuksen työsuunnitelman laatiminen, johon kuuluu puurakenteita koskevan laatusuunnitelman, asennussuunnitelman ja kosteudenhallintasuunnitelman laatiminen. Laatusuunnitelmaan tulee sisällyttää vähintään seuraavat seikat:

- asetettuihin vaatimuksiin nähden riittävien pätevyyksien todentaminen ja pätevöidyn henkilöstön tunnistaminen
- organisaatiokuvaus, sisältäen vastuuhenkilöt
- osapuolten tehtävien tunnistaminen
- projektin vaatimusten vaikutukset laadunhallintamenettelyihin
- noudatettavat työmenetelmät ja ohjeet
- tarkastus- ja testaussuunnitelma, sekä katselmukset ja dokumentointi
- menettelytavat rakennesuunnitelmista poikettaessa
- poikkeamien korjaamisen menettelytavat (SFS 5978)

Standardi velvoittaa noudattamaan näitä laatusuunnitelmaan sisällytettyjä asioita.

4.3 Eurokoodi 5

Eurokoodit ovat kantavien rakenteiden suunnittelua koskevia eurooppalaisia standardeja. Niiden laatimisen taustalla on eurooppalaisen teollisuuden kilpailukyvyyn parantaminen teknisten vaatimusten yhdenmukaistamisella ja ne on laadittu Euroopan komission toimeksiannosta. Eurokoodisarja kattaa tällä hetkellä 58 standardia, näitä ovat suunnittelun perusteet, kuormat, materiaali-kohtaiset suunnittelustandardit ja standardisarjat. Standardeja sovelletaan eri maissa laadittujen kansallisten liitteiden mukaisesti. Kansallisten liitteiden laatiminen talonrakentamisen osalta on Suomessa ympäristöministeriön vastuulla. (SFS-käsikirja 205)

Standardin EN 1995 soveltamisala on määritelty koskemaan rakennusten suunnittelua käytettäessä puuta, eli sahatavaraa, liimapuuta tai muita puisia rakennustuotteita, esim. LVL:ää tai puulevyjä, jotka on koostettu mekaanisilla liittimillä tai liimaamalla. (SFS-käsikirja 205)

4.4 Toleranssit

Puurakentamisessa käytetään betonirakentamista huomattavasti tiukempia valmistus-, liitos-, ja asennustoleransseja. Asennustoleransseihin liittyvät suurimmat sallitut poikkeamat on määritelty SFS 5978 standardissa. Toleranssiluokkia on kolme. Toleranssiluokka 3 on tiukin toleranssiluokka ja koskee rakennusosia, joilta vaaditaan erityistä mittatarkkuutta ja joille asetetaan erityisen korkeat ulkonäkövaatimukset. Toteutusasiakirjoissa voi olla kuitenkin määritettynä myös toleranssiluokkaa 3 tiukempia asennustarkkuuksia. Tutkimuskohteena oleva HOAS Tuuliniitty kuuluu puurakenteiden (ei koske ulkonäkövaatimuksia) osalta toleranssiluokkaan 3.

Urakoitsijan on hyvä olla tietoinen myös tehdasvalmistusta koskevista toleransseista, ymmärtääkseen työmaalle kuljetettavan puutuotteen mittatarkkuuden. Jokaisen osatoteuttajan vastuulla on oman tuoteosan ja työvaiheensa mittaaminen. Koko rakennuksen mittaaminen on pääurakoitsijan

vastuulla. Asennustoleransseissa on huomioitava, että mittapoikkeamat eivät saa kertaantua esimerkiksi kerroksittain, vaan tarkemittauksilla tulee valvoa, että rakennuksen mittamaailma pysyy asetetuissa toleransseissa rakennuksen moduuliverkkoon nähden. (SFS 5978)

Ulottuvuus ja sijainti	Suurin sallittu poikkeama		
	Toleranssiluokka 3	Toleranssiluokka 2	Toleranssiluokka 1
<i>Seinät</i>			
Sivusijainti perussuorasta	±3 mm	±5 mm	±10 mm
Runkotolppien väli	±3 mm	±5 mm	±10 mm
Ikkuna- ja oviaukon koko	±3 mm	±5 mm	±10 mm
Ikkuna- ja oviaukon sijainti	±3 mm	±5 mm	±10 mm
Vapaa väli (vastakkaiset seinät)	±3 mm	±5 mm	±10 mm
Seinärungon suoruus ¹⁾	±1,5 ‰	±1,5 ‰	±1,5 ‰
Seinärungon poikkeama pystysuorasta			
— korkeus enintään 3 m	±5 mm	±5 mm	±5 mm
— korkeus yli 3 m	±8 mm	±8 mm	±8 mm

Kuvio 4 Puurakenteiden asennustoleransseja. (SFS 5978)

4.5 Liitostoleranssit

Puurakenteiden liitoksille on asetettu toleranssit, jotka koskevat kaikkia toleranssiluokkia. Sallitut poikkeamat suunniteltuun asemaan nähden koskevat siis kaikkea puurakentamista, mikäli rakennesuunnitelmassa ei ole muuta esitetty. (SFS 5978)

Mekaanisille liittimille yleisesti asetetut vaatimukset ovat: puun minimipaksuudet ja minimi reuna- ja keskiöetäisyydet sekä sijoitustoleranssit. Ruuviliitoksissa on erityisesti huomioitava, että puuta ei halkaista, ruuvi ei katkea eikä myötää ruuvattaessa. Mahdollinen tarve esirei'itykselle on myös huomioitava. Lisäksi liitosten alueella tulee rajoittaa, oksia, halkeamia ja muita liitoksen kestävyttä alentavia vikoja. Tappivaarnaliitoksissa on huomioitava niille asetetut reikätoleranssit.

Liitostekniikka	Toleranssi	Erittely/ohjearvo	Sallittu poikkeama tai rako
Naulaliitos puu-puu Ruuviliitos puu-puu	Liittimen sijoitus	Liitinvälit a_1, a_2 ¹⁾	$\pm \max(10\%; d)$
		Päätyetäisyys a_3	$-0/+10$ mm
		Reunaetäisyys a_4	$-d/+10$ mm
	Kannan upotus	Kanta puun pintaan	$-0/+3$ mm
Naulauslevyliitos (myös ruuvattavat)	Reiän sijainti	Reiät metallilevyssä	± 3 mm
	Naulauslevyn sijoitus	Molemmissa suunnissa	± 5 mm
Muotolevy-kiinnikeliitos	Kiinnikkeen sijoitus	Yleensä	± 5 mm
		Kontaktipinnasta	± 2 mm ⁹⁾
	Liittimien etäisyys puun reunasta ja päädyistä		$-d$
	Rako puupintaan	Kiinnike kontaktissa	vino rako max 3 mm
Pulttiliitos	Pultin sijainti	Samanaikainen poraus ²⁾	± 5 mm ⁵⁾
	Reiän sijainti	Erikseen poraus	$\pm 1,5$ mm ³⁾
	Kiristys	Osat kontaktiin	Vino rako max 3 mm
Tappivaarnaliitos	Liittimen sijainti ⁴⁾	Samanaikainen poraus	± 3 mm
	Reiän sijainti ⁴⁾	Erikseen poraus	± 1 mm ⁶⁾
	Tappivaarnan sileän osan pituus puulamellissa t		$-\max(2 \text{ mm}; 0,05 t)$ ⁷⁾
	Rako liitosleikkeissä	Urat tai listoitettut sauvat	$\leq \min(3 \text{ mm}; 0,25 t)$ ⁸⁾
Vinoruuviliitos	Ruuvauskulma		$\pm 5^\circ$
Liimatankoliitos	Tangon sijainti	Asema ulostulon kohdalla	± 5 mm
Liimaruuviliitos	Reiän vinous	Porauspituudella L_a	$\pm L_a/50$
Kontaktiliitokset/ tukipituudet	Rako	Kontakti vaaditaan	Vino rako max 3 mm
	Tukipituus	Tukipinnan pituus	-10%
	Loveuspituus	Puun syiden suunnassa	$+10\%$
	Loven/viisteen syvyys	Poikittain syitä vastaan	± 5 mm

Kuvio 5 Puurakenteiden liitostoleranssit (taul. 8.2 SFS 5978)

Kuviossa 5 on esitetty puurakenteiden liitoksille asetetut toleranssit, ellei rakennesuunnitelmissa ole toisin esitetty, esimerkiksi väljempiä toleransseja, jotka on otettu huomioon liitoskestävyyden mitoituksessa rakenteiden suunnittelussa (SFS 5978).

5 Liitokset ja toimintaperiaatteet sekä työmaatoteutus

5.1 Tappivaarnaliitos

Tappivaarnaliitos- termin määritelmä SFS-käsikirjassa 205: ”liitos, joka tehdään ympyräsylinterin muotoisin, tavallisesti teräksestä valmistetuin kannallisoin tai kannattomin tappivaarnaoin, jotka sopivat tiukasti esiporattuihin reikiin ja joita käytetään kuormien siirtämiseen tappivaarnan akselia vastaan kohtisuorassa suunnassa.”

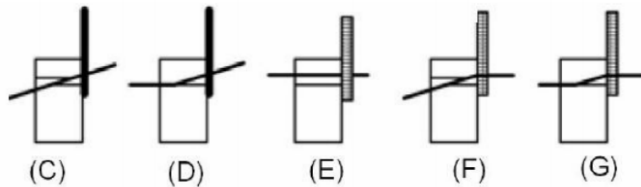
Kaksoisrunkoisen tilaelementin molempien seinien kiinnittäminen ruuviliitoksin alempaan tilaelementtiin on luonnollisesti mahdotonta, koska tilaa tällaiselle asennustyölle ei enää elementin paikalleen nostamisen jälkeen ole. Tässä kohteessa tilaelementtien toisen huoneiston välisen seinän kiinnittämiseksi oli suunniteltu teräksiset vaarnatappiliitokset, jotka valettiin tilaelementin asentamisen jälkeen huoneiston puolelta juotosvalulla.

Vaarnatappiliitos on työmaatoteutuksen osalta melko yksinkertainen, vaarnatappi on tehtaalla asennettu kitkaliitoksella, eli lyötynä CLT:hen esiporattuun reikään. Kun tapit on tehtaalla asennettu ”alemman” tilaelementin seinän pintaan, on päälle tulevan tilaelementin paikalleen mentäessä varmaa, että vaarnatappi löytää ylemmässä tilaelementissä olevan juotosreiän. Tapin sijaintitoleranssi korkeussuunnassa on $\pm 5\text{mm}$ ja asennuskulmassa ± 5 astetta. Mikäli kitkaliitoksella asennettu vaarnatappi on liian ylhäällä, voidaan se asentaa syvemmälle oikealle sijainnilleen toleranssivaatimuksen mukaisesti. Liian syvällä oleva vaarnatappi voidaan korjata hitsattavalla jatkeella tai asentamalla oikeaan syvyyteen ankkurointimassalla.

Tilaelementtirakentamisessa poikkeuksellisen tappivaarnaliitoksien juotosvalun toteuttamista haettiin harjoitella laadunvarmistustoimenpiteenä jo ennen asennuksia. Tilaelementtitoimittaja toimitti työmaalle työstämiään CLT-osia, joihin urakoitsija teki juotosvalukokeilun samalla tekniikalla, kuin varsinaiset asennuksetkin. Tämän jälkeen CLT-levy halkaistiin ja voitiin todeta, että juotosvalu onnistui ja juotosvalutekniikka havaittiin toimivaksi.

5.2 Teräslevyliitokset

Tilaelementtirakentamisessa työmaalla tehtävät liitokset ovat usein metalliliittimin ja teräslevyin tehtyjä yksileikkeisiä liitoksia. Rakennesuunnittelun osalta tavanomaisemmissa tilaelementtipuu-kerrostalokohteissa saatetaan käyttää myös puulevyjä teräksisten sijaan.



Kuvio 6 Yksileikkeisiä puu-teräsliitoksia (RIL 205-1-2017)

Teräslevyn ja puun välisen liitoksen kestävyden ominaisarvo riippuu teräksen paksuudesta. Teräslevyn kestävyys tulee tarkistaa erikseen. Ruuvien kestävyden ominaisarvona leikkaustasoa ja liittintä kohti käytetään Eurokoodi 5 lausekkeesta 8.10 tai 8.11 saatavaa pienintä arvoa, riippuen teräslevyn paksuudesta. Teräslevyn paksuuden luokittelu riippuu reiän halkaisijasta. Ohueksi levyksi luokitellaan teräslevy, jonka paksuus on enintään $0,5d$. Paksuksi levyksi luokitellaan teräslevy, jonka paksuus on vähintään d ja reiän halkaisijan toleranssi enintään $0,1d$.

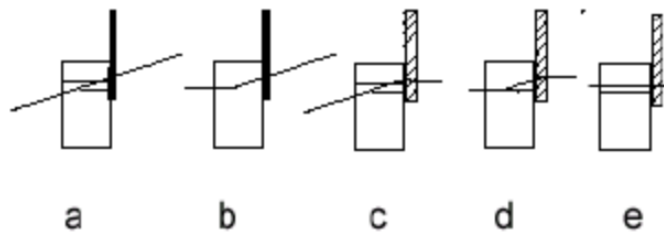
Yksileikkeisellä ohuella teräslevyllä:

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,4 f_{hk} t_1 d \\ 1,15 \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{hk} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$

(Kaava 8.9. SFS-EN 1995)

Yksileikkeisen teräslevyruuviliitoksen kestävyden mitoitukseen CLT-tilaelementtirakentamisessa vaikuttavat tekijät ovat:

- CLT:n reunapuristuslujuuden ominaisarvo $f_{h,k}$
- Puisen sivukappaleen paksuus tai tunkeuma t_1
 - o eli CLT seinän paksuus ja ruuvien tunkeuma, kumpi on pienempi
- liittimen paksuus tai halkaisija
- liittimen myötömomentin ominaisarvo
- liittimen ulosvetokestävyden ominaisarvo (SFS-EN 1995-1-1 + A1 + A2 + AC:2014).



Kuvio 7 Teräksen ja puun välisen liitoksen murtumistavat yksileikkeisessä liitoksessa.

Työmaatoteutus

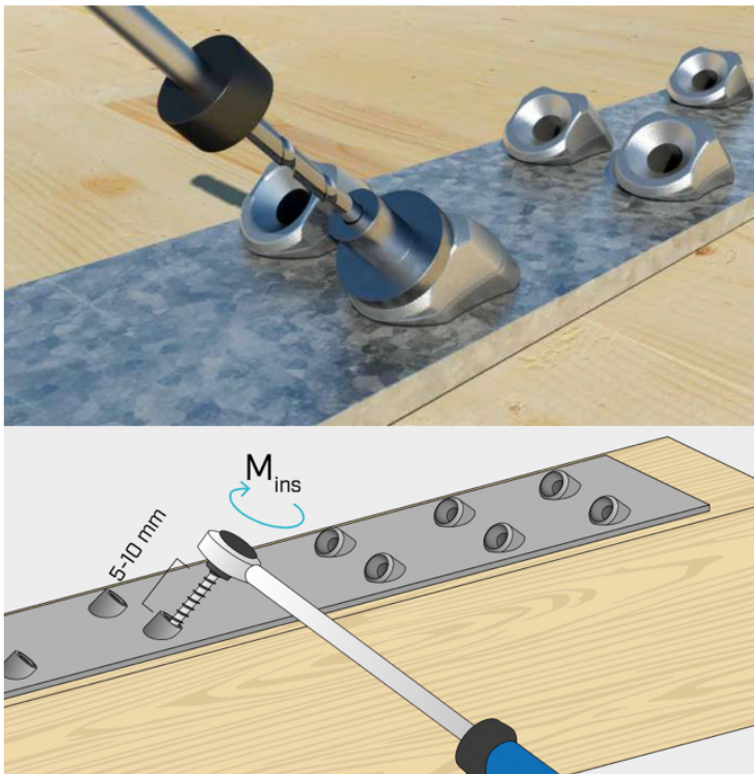
Tilaelementin valmistusmittatoleranssi on ± 3 mm. Tämä mittaero toteutuessaan mahdollistaa 6 mm:n pituuseron kahden tilaelementin välillä, kun esimerkiksi alempi tilaelementti on 3mm liian lyhyt ja ylempi 3mm liian pitkä. Tilaelementit tulee ulkoseinän mukaan asentaa samaan linjaan, käytävän puolella pykällys voidaan häivyttää. Tästä johtuen elementit ovat suotavaa mitata ennen asennusta ja mikäli päälle tuleva tilaelementti on yli 2mm alempaa pidempi on CLT:tä höylättävä teräsosan kohdalta. Leikkausteräsosan kohdalta höyläys suoritetaan tasaisesti, vetoliitoksen kohdalla voidaan höylätä puuhun viiste. Höyläys tulee suorittaa jo ennen asennusta, jotta teräsosia ei tarvitse irrottaa. Toispäin oleva pituusero voidaan korjata esimerkiksi laittamalla erillinen teräslevy puun ja teräsosan väliin.

5.3 Vetoliitos

Vetoliitoksissa vinoon poratuilla ruuveilla on kyseessä pitkittäin kuormittuvat ruuvit. Pitkittäin kuormittuvien ruuvien kestävyden mitoittamisessa otetaan suunnitteluohjeen mukaisesti huomioon seuraavat murtumistavat:

- ruuvin kierteisen osan ulosvetomurtuminen
- kannan irtoaminen teräslevyjen yhteydessä
- ruuvin vetomurtuminen
- ruuvin nurjahtaminen (puristettu ruuvi)
- ruuvien murtuminen pitkin ruuviryhmän piiriä (SFS-EN 1995-1-1 + A1 + A2 + AC:2014).

Kannan irtoamiskestävyys edellytetään suunnitteluohjeen mukaan ruuvien vetokestävyttä suuremmaksi. Ruuvien vetomurtuminen tarkoittaisi ruuviliitintä kohti liian suuren kuormituksen, jolloin ruuvi murtuisi pitkittäisessä vetorasituksessa. Pitkin ruuviryhmän piiriä tapahtuva lohkeamis- tai palamurtuminen ei ole CLT-rakenteelle kovin suuri riski, sillä CLT-rakenteessa lamellien syysuunnat vaihtelevat.



Kuvio 6 Ruuvivalmistajan ohje vinoruuvaukselle . (Rothoblaas)

Vetoliitoksen ruuvaus 45 asteen kulmaan Rothoblaasin VGU-aluslevyillä voidaan tehdä joko esiporauksella, tai ilman esiporausta. Esiporaus ruuvausohjurin kanssa helpottaa ruuvaamista oikeassa kulmassa. Sallittu poikkeama vinoruuvien kulmalle on vain 5 astetta. Viimeiset 5-10mm kiristetään momenttiavaimella oikeaan kireyteen.

6 Tutkimustulokset ja johtopäätökset

6.1 Tutkimuksen toteutustavat

Tutkimuksen tavoitteena oli luoda toimeksiantajalle laadunvarmistustoimenpiteet, joilla vaativan puukerrostalokohteen työmaalla tehtävät liitokset voitaisiin sujuvasti varmistaa. Lisäksi tavoitteena oli selvittää olennaisimmat vaatimukset ja toleranssit, sekä löytää toimivin työkalu liitosten dokumentointiin.

Tutkimus toteutettiin kirjallisuuskatsauksella, havainnoinnilla, sekä avoimella haastattelulla ongelman määrittämiseksi ja ratkaisun tuottamiseksi. Opinnäytetyön tutkimuskysymykset olivat moninaisia ja vaativat myös erilaisia tutkimustapoja. Haastattelulla oli tarkoitus täydentää ja saada varmistusta havainnoinnilla kerättyyn aineistoon. Haastattelun pohjana toimi muutaman kysymyksen runko, mutta haastattelut toteutettiin yksilöllisesti ja vapaamuotoisesti. Haastattelujen tavoite oli erityisesti löytää vastauksia kysymyksiin:

- Onko työmaiden välillä suuria eroja liitoksien laadunvarmistustoimenpiteissä?
- Voitaisiinko liitosten laadunvarmistustoimenpiteet yhdenmukaistaa tuottamalla vakioitu toimintatapa liitoksien laadunvarmistamiseksi?

Näiden kysymysten lisäksi tavoitteena oli saada laajempaa tutkimustietoa mahdollisista liitoksien työmaatoteutukseen, tai laadunvarmistukseen liittyvistä ongelmista ja ratkaisuista. Haastateltavat olivat JVR-Rakenne Oy:n työnjohtajia. Haastateltavien joukossa oli niin ensimmäisellä puukerrostalotyömaallaan työskenteleviä rakennusmestareita, kuin myös jo lähes kymmenen puukerrostaloprojektia läpivieneitä konkareita.

Haastateltaville lähetettiin ennen haastattelua ennakkotietoina opinnäytetyön aihe ja haastattelun pääteemat. Haastatteluiden alkuun opinnäytetyön sisältöä avattiin tarkemmin. Kaikki haastattelut toteutettiin puhelimitse.

Puurakenteiden laatuvaatimusten, standardien ja toleranssien selvittämiseksi käytettiin luonnollisesti tutkimusmuotona kirjallisuuskatsausta.

6.2 Laadunvarmistusmenetelmät

Tutkimuskohteen liitosten dokumentointi hoidettiin Microsoftin OneNote ohjelmalla. Liitoksien dokumentointi suoritettiin betoni-puu liitoksien osalta liitoskohtaisesti, merkitsemällä pohjakuvaan yksilöllinen tunnus jokaiselle teräsosalle (Liite 3). Ylemmät tilaelementtien liitokset dokumentoitiin tilaelementtikohtaisesti. Tutkimuskohteessa liitoksien tarkistamiseen käytettiin visuaalisen tarkastuksen lisäksi aina vähintään 10% vaarnatapeista, teräslevyistä ja ruuveista tarkastettiin tarkemmin.

Visuaalisella tarkastelulla tarkastettavia asioita olivat, liittimen tyyppi, sijainti ja määrä. Tarkempi tarkastelu sisälsi ruuvien kireyden tarkastamisen.

Tappivaarnejon kohdalla tarkastettiin, ettei tapeissa ole välyksiä. Mikäli välystä löytyi, poistettiin se tiivistämällä reikä suunnitelmien mukaisella liimamassalla. Lisäksi tarkistettiin tappien lukumäärän täsmääminen suunnitelmiin ja tappien korkeusasema.

Tilaelementtien pystysaumoihin kiinnitettävät havuvanerit (12x160x2400) naulattiin suunnitelmien mukaisesti 2.9x75 kampanuloilla k50 jaolla. Tiukan kiinnitysjaon toteutus oli helppo käyttämällä naulatessa yksinkertaista mittatikkua vanerin vieressä, johon oli merkattu kiinnityskohta 50mm välein.

Tutkimuskohteessa havaittiin liitoksien toteuttamisessa seuraavia ongelmia:

Tappivaarnat

Osassa tappivaarnoista havaittiin välyksiä. Välys poistettiin suunnitelmien mukaisesti liimamassalla. Lisäksi joidenkin vaarnatappien korkeusasema ei ollut sallitussa toleranssissa. Korkeusasemat saatiin korjattua ilman, että tappeihin olisi tarvinnut hitsata jatkoksia. Tappien juotosvalut olivat työläästi toteuttaa, mutta niiden toteuttamisessa ei ollut suurempia haasteita.

Teräslevyliitokset

Teräslevyliitoksissa havaittiin ongelmia heti asennusten aloittamisen yhteydessä. Tilaelementtitoimittaja oli tehtaalla kasannut muutamat tilaelementit päällekkäin äänimittauskokeita varten. Testiasennuksissa oli käytetty teräslevyjä, joiden koot ja ruuvimäärät olivat viitteellisiä. Äänimittauksissa käytetyt teräsosat olivat jääneet tehtaalla vaihtamatta ja ne olivat tilaelementeissä kiinni vielä saapuessaan työmaalle. Erehdys huomattiin ajoissa ja teräsosat saatiin vaihdettua oikeisiin.

Vetoliitoksissa tilaelementtien lähtökerroksen ja ensimmäisen betonikerroksen liitoksissa havaittiin haaste alimpien vinoruuvien toteutuksessa, sillä ruuvaustilaa oli hyvin vähän. Tilanpuute tarkoitti alimpien ruuvien kohdalla esireiän pois jäämistä ja ruuvien kiinnittämiseen tarvittiin ahtaaseen tilaan soveltuvia ruuvauskoneita ja momenttiavaimia.

CLT:ssä olevia ruuvien kantoja sattui muutama leikkausliitosteräslevyn liittimen kohdalle, jolloin ruuvien kiinnittäminen ei onnistunut. Tällaisia tilanteita havaittiin kuitenkin ainoastaan muutama koko talossa, joten liitoksien suunnittelun varmuuskertoimet kestävät yhden ruuvien puuttumisen n. 60:n ruuvien teräslevyliitoksesta.

Teräslevyliitoksissa ruuvien asennustiukkuus tarkastettiin momenttiavaimilla. Liitteen 5 detaljissa näkyy vaakateräsosaliitoksessa CLT:n syrjään syitä vastaan kohtisuoraan ruuvattava HBS 10X120 ruuvi. Tämä toimii tartuntana, eikä sen kiinnitystiukkuutta voida tarkistaa muiden liitoksien tavoin.

6.3 Haastatteluiden tulokset

Työmaiden ja työnjohtajien välillä havaittiin eroja liitoksien laadunvarmistustoimenpiteissä ja menetelmissä. Suurin ilmennyt ero oli dokumentointiin käytettävissä alustoissa.

Haastattelemalla muita työnjohtajia, vahvistui helposti pääteltävissäkin oleva käsitys siitä, miten eri mittaluokan liitoksista puhutaan, kun verrataan 13-kerroksista puukerrostalokohdetta vaikkapa 4-8 kerroksisiin kohteisiin. Viimeksi mainitun kokoluokan korkeammassa päässä liitokset ovat hyvin saman tyyppisiä, mutta paljon pienemmässä mittakaavassa. Matalammissa kohteissa tilaelementtien työmaalla tehtävät liitokset voivat olla huomattavan kevyitä, esim. naulattavia tai ruuvattavia vanerilevyliitoksia, jolloin ei esimerkiksi kiinnityksien momentteja käytännössä edes voida tarkistaa.

Yksi poikkeavuus tutkimuskohteen ja muiden tilaelementtipuukerrostalojen välillä on värinäeristimien kohdalla. Kohteissa, joissa värinäeristimiä käytetään, on yksi merkittävä valvontaosa-alue lisää. Värinäeristinkumien kovuudet ovat erilaisia ja ne on koodattu kumilaaduittain eri väreillä. Samassa kohteessa saatetaan käyttää eri paikoissa eri värisiä värinäeristimiä, jolloin mahdollisuus niiden sekoittumiseen on olemassa. Laadunvarmistuksen tarkastusmenetelmä on vaatimattomissa kohteissa lähinnä liitoksien visuaalinen tarkastus ja dokumentointi.

Dokumentointialustojen käytössä oli eroja. Haastateltavat olivat kiinnostuneita Congrid-ohjelmistoon tutustumisesta, jossa erityisesti kuvan yhteyteen helposti merkattavissa olevan sijainnin merkintätapa herätti kiinnostusta.

7 Pohdinta

13-kerroksinen puukerrostalo, jonka kantavana rakenteena toimii CLT-tilaelementit kuulostaa kunnianhimoiselta hankkeelta. Kohde ei varmasti ollut helppo suunnitella ja haasteita riitti myös toteutuksen puolella. Täysin stressitön projekti tuskin on ollut myöskään rakennuttajalle.

Ympäristöministeriön uutisen (2016) mukaan niin rakennuttajat, kuin rakentajatkin odottavat muiden ryhtyvän puukerrostalorakentamisen alan pioneeriksi. Puurakentamisen alan toimijat ovat myös toivoneet avointa kokemusten ja tiedon vaihtamista puurakentamisen kehittämiseksi. HOAS Tuuliniitty on jälleen yksi puukerrostalorakentamisen pioneerien näyte puurakentamisosaamisesta, korkeasta sellaisesta. Kaivattua puurakentamiskokemusta ja hankepuolten osaamista puurakentamisesta saadaan kasvatettua vain tekemällä. Ympäristöministeriön puurakentamisen ohjelman yhtenä keskeisenä tavoitteena on alueellisen osaamisen kasvattaminen. Tavoitteessa

linjataan, että rakennushankkeiden kautta osaaminen ja kokemus siirtyvät kaikille osapuolille rakennusliikkeestä viranomaisiin, rakennuttajia ja puutuoteosatoimittajia unohtamatta. (Puurakentamisen ohjelma. n.d.)

Teolliseen puurakentamiseen kuuluu keskeisesti vakioidut ratkaisut. Tämä oli yksi yrityksen laadunvarmistustoimenpiteiden yhdenmukaisuuden tutkimista tukeva perustelu.

Luotettavuustarkastelu

Tutkimuksen luotettavuuden ja laadun tarkastelua voidaan tehdä luotettavuusmittareiden validiteetin ja reliabiliteetin perusteella, mutta kehittämistutkimuksen luotettavuustarkastelu on haasteellista, sillä kehittämistutkimus on ongelman ratkaisun tuottamiseksi laadittu kooste laadullisesta ja määrällisestä tutkimuksesta. Tästä johtuen luotettavuutta tulee arvioida käytettävien menetelmien avulla. (Kananen, 2015)

Teoreettinen viitekehys rakentui pitkälti tutkimuskysymysten ohjaamina. Teoriapohjana käytetty lähdekirjallisuus on luotettavaa, sillä se perustuu suurelta osin standardeihin ja puurakenteiden suunnitteluohjeisiin. Kirjallisuuskatsauksella saatiin tuotettua tiivis ja silti oleellisimmilta osin kattava kokonaisuus puurakentamisen laatuvaatimuksista ja tärkeimmistä työmaatoteutuksen toleransseista.

Tutkimustulokset vastaavat tutkimuskysymyksiin ja tutkimusongelmaan. Työstä koitua suurin hyöty on varmasti kirjoittajalle, joka sai opinnäytetyöprosessin aikana paljon merkityksellistä tietoa liitoksien mitoitusperusteista ja toimintaperiaatteista, mikä auttaa ymmärtämään liitoksien työmaatoteutuksen laadun merkityksen. Tutkimuksesta voi olla hyötyä myös lukijalle tiedon löytämisessä ja yhdistämisessä, sekä esimerkiksi liitoksien työmaatoteutukseen liittyvien ongelmien ennakoinnissa.

Opinnäytetyön aiheajaus osoittautui onnistuneeksi, aihe ei ollut liian suppea, muttei myöskään liian laaja-alainen. Onnistunut aiheajaus mahdollisti aihealueeseen riittävän paneutumisen käytettävissä olleilla rajallisilla aikaresursseilla.

Jatkotutkimusaiheet

OneNote ohjelmisto toimi liitosten dokumentointialustana melko hyvin, mutta jatkotutkimusaiheena voisi olla dokumentointityökalujen/alustan kehittäminen tai vaihtoehtoisten ratkaisujen etsiminen. Lukuisten teräsosien nimeäminen betonikerroksen osalta osoittautui työlääksi. Suuri etu olisi, jos dokumentoitavaa liitososaa ei tarvitsisi erikseen yksilöllisesti nimetä, vaan liitoksen sijainnin voisi osoittaa merkitsemällä sen dokumentoinnin yhteydessä pohjakuvaan. Tämä nopeuttaisi ja helpottaisi dokumentointiprosessia huomattavasti. Tähän tarkoitukseen voisi soveltua erinomaisesti esimerkiksi Congrid-tai Infomaatti-ohjelmisto, joihin tutustuminen ja käyttöönoton valmistelu sekä toimintatapojen yhdenmukaistaminen yrityksessä on jo aloitettu.

Eri rakennusmateriaaleja ja tekniikoita, muun muassa hiilijalanjäljen, kustannusten, rakentamisnopeuden ja laadun osalta tulee vertailla, kuitenkin liiallista vastakkainasettelua välttämällä. Se on varmasti koko rakennusalan kehittymisen etu. Vaikka puukerrostalorakentamisen lisäämistä vauhditetaan vahvasti poliittisien tukien siivittämänä, uskon puurakentamisen saavan hyvin pian myös täysin markkinaehtoisien jalansijan rakennusalalla. Tämän päivän puukerrostalorakentamisella luodaan jo vahvaa pohjaa uudelle tulevaisuuden rakentamisvalle.

Lähteet

- Haapio, A. 2013. Puurakentamisen tulevaisuuden näkymät. Viitattu 14.3.2021 <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2013/T141.pdf>
- Kananen, J. 2015. Kehittämistutkimuksen kirjoittamisen käytännön opas: Miten kirjoitan kehittämistutkimuksen vaihe vaiheelta. Jyväskylän ammattikorkeakoulu.
- Kananen, J. 2015. Opinnäytetyön kirjoittajan opas: näin kirjoitan opinnäytetyön tai pro gradun alusta loppuun. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu.
- Karjalainen 2020. Suomalaiset puukerrostalot 1995-2020. Viitattu 2.4.2021 https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2021/02/Suomalaiset-puukerrostalot-13.9.2020_Karjalainen.pdf
- Laukkanen, M. 2012. Puheenvuoroja puurakentamisesta. Puuinfo. Viitattu 6.4.2021. <https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/06/Puheenvuoroja-puurakentamisesta.pdf>.
- Puukerrostalojen suunnittelu, 2020. Puuinfon laatima puukerrostalojen suunnittelun tietopaketti puuinfon sivustolla. Viitattu 1.3.2021. <https://puuinfo.fi/rakenteet/yhdistelmarakenteet/suunnittelu/>
- Puurakentamisen ohjelma N.d. Ympäristöministeriön julkaisema puurakentamisen ohjelma vuosina 2016-2022 ympäristöministeriön sivustolla. Viitattu 5.4.2021 <https://ym.fi/puurakentaminen>
- Puurakentamisen ohjelman väliarviointi: puurakentamisella jo vahva tuki, mutta kunnianhimon tasoa vara nostaa. Ympäristöministeriö, 2021. Viitattu 5.4.2021 <https://valtioneuvosto.fi/-/1410903/puurakentamisen-ohjelman-valiarviointi-puurakentamisella-jo-vahva-tuki-mutta-kunnianhimon-tasoa-varaa-nostaa>.
- SFS-EN 1995-1-1 + A1 + A2 + AC:2014. Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 16.6.2014.
- SFS 5978. Puurakenteiden toteuttaminen, Rakennuksien kantavia rakenneosia koskevat säännöt, 2014. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
- Siikanen, U. (2016). Puurakentaminen (2., uudistettu painos.). Rakennustieto Oy.
- Suomen rakennusinsinöörien liitto & Hakkarainen, J. 2006. *Puurakenteiden laadunvarmistus: Suunnittelu, valmistus, työmaatoteutus, käyttö*. Helsinki.
- Tolppanen, J., Karjalainen, M., Lahtela, T. & Viljakainen, M. (2013). Suomalainen puukerrostalo: Rakenteet, suunnittelu ja rakentaminen. Opetushallitus.
- Tuotteet: tilaelementit. N.d. Puuelementtituotetietoa Elementti Sampo Oy:n nettisivuilla. Viitattu 10.4.2021 <https://www.elementtisampo.fi/tuotteet/>.

Työkaluja puurakennushankkeen valmisteluun N.d. Puuinfon tuottama palvelu. Viitattu 13.3.2021 <https://epuu.fi>

Törmänen, E. 2020. Teolliset tilaelementit ratkaisevat puurakentamisen 4 yleistä ongelmaa – tästä on kyse. Tekniikka&Talous 17.9.2020. Viitattu 5.4.2021 <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/teolliset-tilaelementit-ratkaisevat-puurakentamisen-4-yleista-ongelmaa-tasta-on-kyse/1dccb0e4-b1ea-476c-a3f7-24cb189cd902>

Ympäristöministeriö, 2016. Puuta kerrostaloihin – rakennusmääräyksistä puretaan puurakentamisen esteitä. Viitattu 10.4.2021 https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Puuta_kerrostaloihin_rakentamismaarayks

Liitteet

Liite 1. Vuokaavio: tarkastusmenettely



Liite 2. salassa pidettävä

Liite 3. salassa pidettävä

Liite 4. salassa pidettävä

Liite 5. salassa pidettävä

Liite 6. salassa pidettävä

Liite 7. salassa pidettävä

Liite 8. vaarnatapin juotosvalukokeilu työmaalla