

**PUURUNKOISEN SUURELEMENTIN
JA
CLT-MASSIIVIPUUELEMENTIN VERTAILU**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö
Visamäki, Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan insinööri

kevät, 2019

Jukka Toivonen

Rakennustekniikan koulutusohjelma
Visamäki

Tekijä	Jukka Toivonen	Vuosi 2019
Työn nimi	Puurunkoisen suurelementin ja CLT-massiivipuulementin vertailu	
Työn ohjaaja	Tomi Karppinen	

TIIVISTELMÄ

Tässä opinnäytetyössä vertailtiin kahta erilaista ulkoseinärakennetta. Vertailun kohteina olivat Rakennusliike Leimarakentajat Oy:n valmistama puurunkoinen suurelementti sekä rakennusalalla suhteellisen uusi tulokas cross laminated timber, eli CLT-levy ja siitä valmistettu CLT-ulkoseinäelementti.

Tällä opinnäytetyöllä ei varsinaisesti ollut toimeksiantajaa. Vahvan kannustuksen aiheeseen sain Rakennusliike Malitalot Oy:n toimitusjohtajalta, joka on aloittamassa viiden perheen CLT-rivitaloprojektia keväällä 2019. Toimin Rakennusliike Leimarakentajat Oy:n elementtitehtaalla työnjohtajana, joten minulla oli myös omat intressit vertailla niiden kahden elementtirakenteen eroja.

Valtaosan puurunkoisen suurelementin aineistosta sain käyttämällä omaa, työssäni kertynyttä materiaalia. CLT-levyn ja CLT-elementin osalta sain tuntuva apua materiaalin hankinnassa Rakennusinsinööritoimisto JM-Rakenne Oy:ltä, sekä CLT-levyä ja -elementtiä valmistavalta CLT Plant Oy:ltä, jossa kävin tehdasvierailullakin.

Koska puurakenteisen suurelementin historia ylettyy yli 100 vuoden päähän ja CLT on kehitelty vasta vuosituhannen vaihteessa, olisin olettanut, että eroavaisuuksia olisi löytynyt rakenteellisen eroavaisuuden lisäksi enemmänkin. Molemmat rakenneratkaisut osoittautuivat kuitenkin toimiviksi ja hyväiksi rakenteiksi eikä niistä suuria eroavaisuuksia tarkastelussa löytynyt. Toinen oli kustannustehokkaampi ratkaisu ja toinen hieman ekologisempi ja hiilijalanjäljeltään pienempi.

Avainsanat CLT, cross laminated timber, puurakenteinen suurelementti

Sivut 37 sivua

Author	Jukka Toivonen	Year 2019
Subject	Prefabricated element vs Cross Laminated Timber	
Supervisors	Tomi Karppinen	

ABSTRACT

The purpose of this Bachelor's thesis was to compare two different exterior wall block structures. The other one is a prefabricated element manufactured by Rakennusliike Leimarakentajat Oy and the other is Cross Laminated Timber also known as CLT.

Most of the material used in the thesis and the information on the prefabricated element is based on the material collected while working as a foreman in the element factory owned by Rakennusliike Leimarakentajat Oy. The material of the Cross Laminated Timber was received from JM -Rakenne Oy and from CLT Plant Oy that fabricates CLT -panels and CLT -elements.

Because of the history of the prefabricated element reaching over 100 years and the fact that CLT was developed only at the beginning of the century it could be assumed that more differences would have been discovered than finally were found. The results of the thesis show that both skeletal structures are very functional and no major differences were found. While the other was more cost effective the other was slightly ecological and had a smaller carbon footprint.

Keywords CLT, cross laminated timber, prefabricated element

Pages 37 pages

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	OPINNÄYTETYÖN TAUSTAVAIKUTTAJAT	2
3	PUURUNKOINEN SUURELEMENTTI	3
4	CROSS LAMINATED TIMBER (CLT)	6
5	VAATIMUKSET PUUELEMENTTIRAKENTAMISESSA	9
6	ELEMENTTILIITOKSET.....	10
6.1	Puurakenteisen suurelementin liitokset.....	11
6.2	CLT-elementin liitokset	14
7	AUKOT JA AUKONYLITYSPALKIT.....	17
8	ELEMENTTIEN VARASTOINTI, KULJETTAMINEN JA NOSTOT	18
8.1	Puurunkoisen suurelementin varastointi ja kuljettaminen	19
8.2	CLT-elementin varastointi ja kuljettaminen.....	21
8.3	Elementtien nostot.....	22
9	ENERGIATEHOKKUUS JA E-LUKU	24
9.1	E-luku puurunkoisessa elementtirakennuksessa	24
9.2	E-luku CLT-elementtirakennuksessa	25
10	LÄMPÖHÄVIÖ, U-ARVO	26
10.1	Puurunkoisen suurelementin U -arvo	27
10.2	CLT -elementin U -arvo.....	28
11	ILMATIIVEYS JA VESIHÖYRYNLÄPÄISEVYYS	28
11.1	Puurunkoinen suurelementti	29
11.2	CLT-elementti	32
12	SÄHKÖT JA TALOTEKNIikka ULKOSEINÄELEMENTISSÄ.....	32
12.1	Sähkö- ja talotekniikka puurunkoisessa suurelementissä	33
12.2	Sähkö- ja talotekniikka CLT-elementissä.....	34
13	KUSTANNUKSET.....	35
14	POHDINTA.....	35
	LÄHTEET.....	38

1 JOHDANTO

Aiheidean puurakenteisen suurelementin ja CLT-elementin (cross laminated timber) vertailulle opinnäytetyössäni sain Rakennusliike Malitalot Oy:n yrittäjä Jyrki Malinilta. Jyrki Malinilla on suunnitelmana rakentaa viiden perheen rivitalo, jonka runkona olisi CLT-elementti. Projektin on tarkoitus käynnistyä keväällä 2019. Aihe oli mielenkiintoinen, koska juuri Malinilta Rakennusliike Leimarakentajat Oy osti elementtitehtaan Parolasta ja minä työskentelen tuon elementtitehtaan työnjohtajana, markkinoijana, myyntimiehenä ja toivottavasti valmistumisen jälkeen myös elementti- ja rakennesuunnittelijana.

Tässä opinnäytetyössä vertailevana puurunkoisena suurelementtirunkoratkaisuna käytän Rakennusliike Leimarakentajat Oy:n käyttämää runkoratkaisua (kuva 1). Kävin myös tutustumassa YIT:n Hämeenlinnassa sijaitsevassa elementtitehtaassa, jossa valmistetaan puurunkoisia suurelementtejä, jonka runkoratkaisu on kuvan 2 kaltainen.

CLT -levyn ja -elementin osalta materiaalin kerääminen rajoittui aluksi internetistä saatavaan tietoon. Asuntomarkkinoiden hiljentymisen takia Malinin CLT-projekti ei tätä kirjoittaessa ole vielä alkanut, joten en saanut hänen projektistaan käyttööni sitä materiaalia, jota alkuun oletin tämän opinnäytetyön valmiiksi saattamiseen tarvitsevani. Suomessa on onnekseni useita korkean profiilin CLT -suunnittelijoita ja -valmistajia, joilta sain tarvittavat tiedot opinnäytetyöni loppuun saattamiseen.

Suunnittelupuolen avun CLT:n osalta sain Rakennusliike Leimarakentajat Oy:lle elementtisuunnitelmia tehneeltä yhteistyökumppanilta JM-Rakenne Oy:ltä. CLT -levy ja -elementtivalmistaja CLT Plant Oy antoi käyttööni oman tietotaitonsa CLT:n osalta. Pääsin myös käymään vierailulla syksyllä 2018 Kauhajoella aloittaneeseen CLT Plant Oy:n CLT-tehtaaseen. Omalta osaltaan Paloniitty Oy:n Sauli Paloniitty avusti CLT-tiedonhankinnassa. Tiedonkeruuksi katsoin myös tunnetun tv-tuottajan oman CLT-taloprojektin, josta hän on tehnyt YLE:lle 10 osaisen dokumentin *Sadan vuoden talo, 2017*. Tässä opinnäytetyössä on pyrkimyksenä vertailla kummankin elementtirakenteen hyviä puolia.

Tässä opinnäytetyössä vertailen näiden kahden elementti rakenteen elementtiliitoksia, aukonylityskeinoja, logistisia eroavaisuuksia, energiatehokkuutta ja U-arvoa, ilmatiiveyttä ja vesihöyrynläpäisevyyttä, sekä sähkö- ja talotekniikkaa elementin rakenteissa.

2 TAUSTAVAIKUTTAJAT

Rakennusliike Leimarakentajat Oy on perustettu Hämeenlinnassa vuonna 2001. Yrityksen toimialana on asuin- ja muiden uudisrakennusten rakentaminen sekä korjausrakentaminen. Toimialueena yrityksellä on Etelä-Suomi. Yritys on parhaimmillaan työllistänyt yli 30 henkilöä, sekä lukemattoman määrän aliurakoitsijoita. Tällä hetkellä (kevät 2019) Rakennusliike Leimarakentajat Oy työllistää 6 henkilöä yrityksen omalla palkkalistalla ja noin 30 työntekijää aliurakointiyrityksistä. Yrityksen liikevaihto vuonna 2018 oli noin 18 M€. Yrityksen toimitusjohtaja ja pääomistaja on Mikko Launo. Muita osakkaita yrityksessä ovat rakennusinsinööri Saku Eklöf ja työnjohtaja Jukka Toivonen.

Alkutaipaleensa yritys teki erilaista saneeraus- ja korjausrakentamista pääkaupunkiseudulla sekä pienehköjä rivitaloja Hämeenlinnassa. Rivitalot tuotettiin tuolloin ns. pitkästä, eli tehtiin alusta asti työmaalla. Kysynnän kasvaessa, oli tuotantoa tehostettava ja ratkaisu kysyntään vastaamiseen löytyi puurakenteisista suurelementeistä, jotka tuotiin pystytysvalmiina elementtitehtaalta työmaalle. Vaihtoehtona olisi ollut myös pre-cut-järjestelmä, jossa sahatavara tulee työmaalle valmiiksi sahattuna oikeaan mittaan, mutta suurelementit tulivat aikataulullisesti ja sitä myöden taloudellisesti parhaimmaksi ratkaisuksi.

Aluksi Rakennusliike Leimarakentajat Oy osti suurelementit rivitalokohteisiinsa Suomen Kodikas Talot Oy:ltä, joka toimitti elementit 240 kilometrin päästä Suolahden elementtitehtaalta. Vuonna 2014 avautui mahdollisuus vuokrata elementtitehdas Hattulan Parolasta, joka on vain 10 kilometrin päässä Hämeenlinnasta. Elementtitehtaan Rakennusliike Leimarakentajat Oy:lle vuokrasi Jyrki Malinin omistama Rakennusliike Malitalot Oy. Kesäkuussa 2016 Rakennusliike Leimarakentajat Oy päätti ostaa elementtitehtaan omaksi ja kaupat tehtaan syntymisestä syyskuussa 2016. Elementtitehdas työllistää kolme täysipäiväistä rakennusalanammattilaista, tehtaanjohtajana toimii Jukka Toivonen. Rakennusliike Leimarakentajat Oy:n elementtituotanto on tehnyt kevääseen 2019 mennessä omiin tarpeisiinsa yli 250 asunnon elementit sekä myynyt elementit useisiin ulkopuolisiin kohteisiin.

Rakennusliike Malitalot Oy on perustettu Hattulassa vuonna 2004 ja toimi aluksi nimellä Rakennusliike Hat-Rak Oy rakentaen omakotitaloja sekä pieniä rivitaloyhtiöitä Hämeenlinnassa ja lähikunnissa. Malitalot Oy:n perustaja ja toimitusjohtaja on rakennusinsinööri Jyrki Malin. Yrityksen nimenvaihdon myötä rakentamisesta tuli ammattimaisempaa ja Malin rakensi Hattulaan Mervin teollisuusalueelle elementtitehtaan, jossa valmisti elementit omaan ja muiden tarpeisiin vuoden 2013 lopulle, kunnes vuokrasi ja lopulta myi elementtitehtaan 2016. Elementtitehtaan myymisen jälkeen Rakennusliike Malitalot Oy on erikoistunut hirs- ja CLT-rakentamiseen.

Vuonna 2017 valmistui neljän perheen hirsirivitalo Hämeenlinnan Hattelmalaan ja keväällä 2019 on alkamassa viiden perheen CLT-rivitalo projekti.

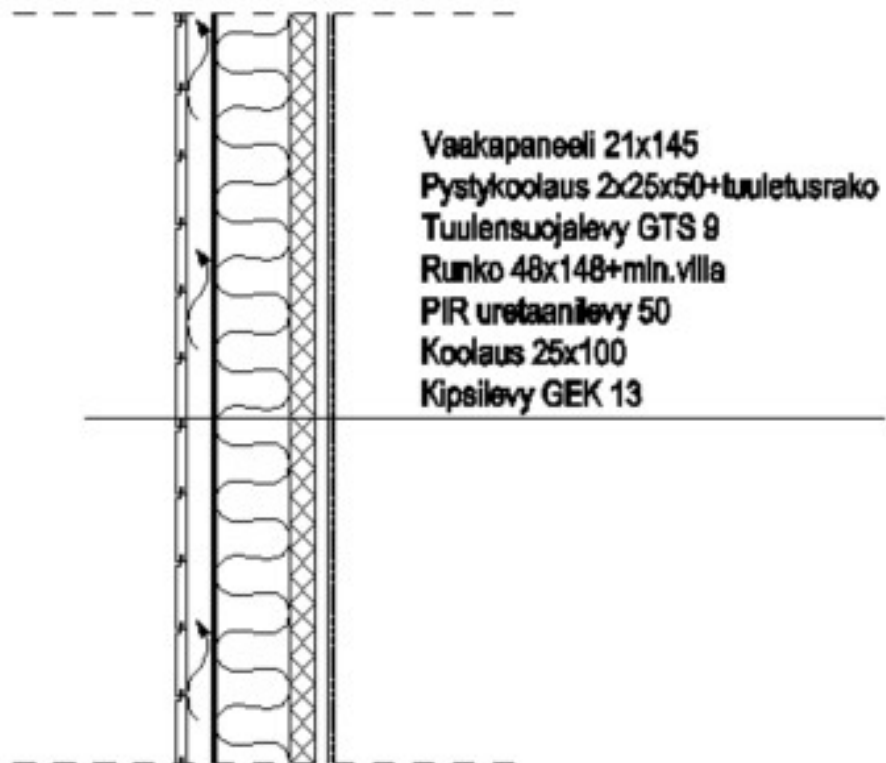
3 PUURUNKOINEN SUURELEMENTTI

Puurunkoisten esivalmistettujen talojen historia ylettyy jopa n. 200 vuoden päähän. Ensimmäiset esivalmistetut talot on tietävästi rakennettu Australiassa 1780 -luvulla. Tuolloin esivalmistelu rajoittui pääasiassa alkeelliseen etukäteissuunniteluun ja rakennusmateriaalien määrämittaan sahaamiseen, joka nykyään tunnetaan paremmin pre-cut rakentamisena (Koivuneva, 2015).

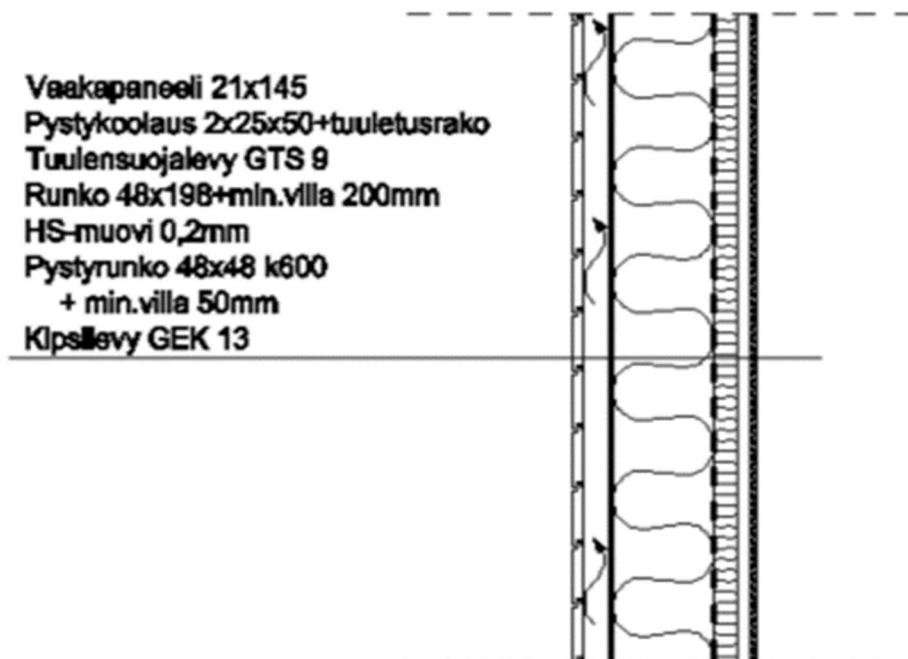
Pohjoismaista Ruotsi oli ensimmäinen, jossa puuelementtirakenteisia taloja rakennettiin. Elementtirakentaminen Ruotsissa alkoi jo 1900 -luvun alkupuolella. Suomessa elementtirakentaminen yleistyi vasta 1970 -luvun loppulla, jolloin ensimmäiset elementtitoimittajatkin ilmestyivät Suomen rakennusmarkkinoille. Aluksi tuotannosta sai vain pienelementtejä, joiden suurin leveys oli 1200 mm eli yhden levyn verran. Tuotannosta olisi isompiakin elementtejä saanut jo tuolloin, mutta elementtejä piti pystyä liikuttelemaan ja asentamaan miesvoimin, koska tämän päivän nostokalustoa ei vielä tuolloin ollut saatavilla (Koivuneva, 2015).

Pienelementtejä valmistettiin aina 1990 -luvulle asti, kunnes 1990 -luvun loppupuolella suurelementtirakentaminen alkoi vallata alaa. Suurelementtien koko ja paino on moninkertainen verrattuna pienelementtiin, joten nostotyökoneiden käyttö elementtiasentamisessa tuli välttämättömäksi. Suurelementillä on mahdollista tehdä jopa koko seinä kerralla valmiiksi ja näin ollen rakentaminen nopeutui huomattavasti (Koivuneva, 2015).

Suurelementit voidaan valmistaa työmaalla taikka keskitetysti elementtien valmistamiseen tarkoitetuissa tehtaissa tai tuotantolaitoksissa. Yleisimmät nykyrakenteet puurunkoiselle suurelementille ovat Rakennusliike Leimarakentajat Oy:n käyttämä sekä tässä opinnäytetyössä vertailevana rakenteena käytettävä 48x148 mm C24 runkoinen suurelementti, jossa rakenteen kokonaispaksuus on 316 mm (kuva 1). Elementin lisäeristeenä ja höyrinsulkuna toimii 50 mm paksu ympäripontattu uretaanilevy, jossa on diffuusiotiivis alumiinilaminaattipinta levyn molemmin puolin, esimerkiksi Finnfoam FF-PIR 50. Toinen ja ehkä yleisemmin käytetty runkorakenne on 48x198 mm C24 runko, jossa rakenteen kokonaispaksuus on 364 mm (kuva 2).

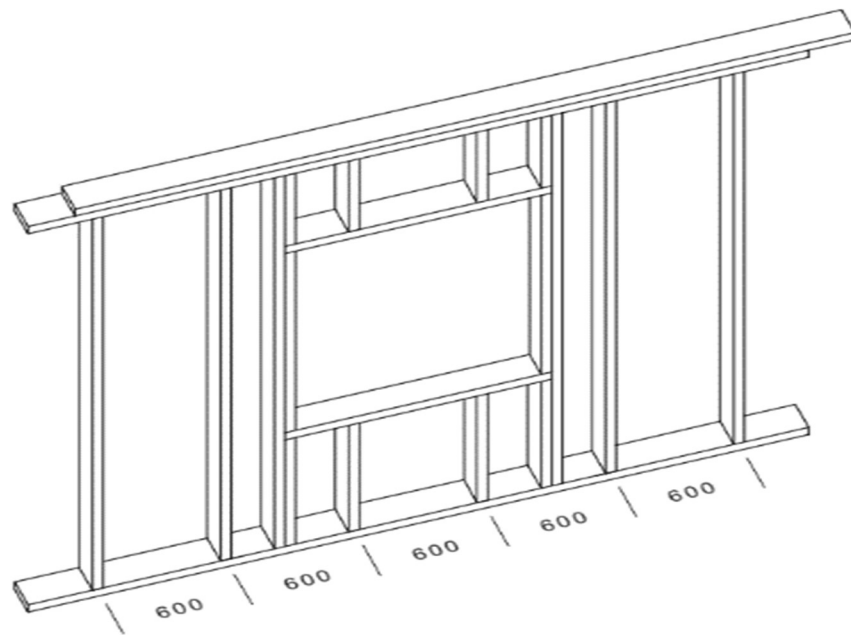


Kuva 1. 48x148 mm runko



Kuva 2. 48x198 mm runko

Elementtirakentamisen tavoitteena on esivalmistusasteen nostaminen, jolloin rakennustyön tuottavuus ja laatu paranee. Työkustannukset ovat yksi suurimmista kulueristä rakennusprojektissa. Elementtirakentamisella saadaan kokonaistyöpanosta pienennettyä ja näin ollen myös kustannukset saadaan kuriin. Tuotannon siirtämisellä kuiviin ja hallittuihin tehdasolosuhteisiin saavutetaan useita rakentamiselle kannattavia etuja, kuten rakentamisajan lyheneminen, talvirakentamisen helpottuminen, kausivaihtelujen pienentäminen, rakentamisen laadun parantaminen ja jopa työvoiman saatavuus paranee. Puurunkoisen suurelementin periaatekuva (kuva 3) ja eristettynä kuvassa 4. (Avoin Puurakennusjärjestelmä, 2001)



Kuva 3. Periaatekuva kantavan puurunkoisen ulkoseinän rakenteesta (RT 82-10804, s.4)



Kuva 4. Puurunkoinen, eristetty suurelementti

4 CROSS LAMINATED TIMBER (CLT)

CLT, cross laminated timber on Itävallassa 1990 -luvulla kehitetty tuote, joka kehitettiin yhteistyössä yritysten ja korkeakoulujen kanssa. Useiden vuosien kehitystyön tuloksena ja ekologisen rakentamisen yleistyessä CLT alkoi saada jalansijaa rakentamisessa 2000 -luvun alussa. Tähän vaikutti se, että CLT -tuotteesta oli kehittynyt taloudellisesti kannattava sekä se, että tuote sai tuotehyväksynnät viranomaisilta. Myös parantunut markkinointi ja tuotteen jakelun kehittyminen edesauttoivat tuotteen yleistymisessä. CLT kasvatti aluksi suosiotaan Amerikan ja Keski-Euroopan markkinoilla. Viime vuosina se on myös Suomessa herättänyt kiinnostusta rakennusmateriaalina niin, että Kuhmoon perustettiin Suomen ensimmäinen CLT -tehdas, OY Crosslam Kuhmo Ltd, vuonna 2014. Uusin CLT -levyä ja -elementtiä tuottava tehdas CLT Plant Oy aloitti toimitukset Suomen markkinoille loppu vuodesta 2018. (Tervo, 2015; CLT Panels USA, 2013; CLT Plant Oy, 2018; Oy CrossLam Ltd., 2014)

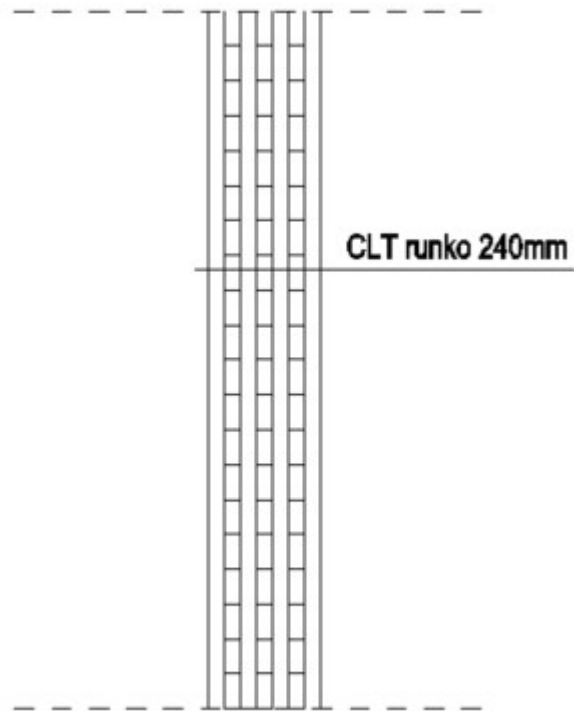
Cross laminated timber eli ristiinliimattu massiivipuua on massiivipuuraakenne, joka koostuu useista ristikkäin liimatuista lamelli- eli puulevykerroksista. Kerrokset voivat olla eri paksuisia ja niitä voi olla 3, 5, 7 tai 9 rakenteellisesta tarpeesta ja käyttökohteesta riippuen. CLT Plant Oy ilmoittaa, että heidän valmistamansa CLT-levyn enimmäismitat ovat pituudeltaan 16

m ja korkeudeltaan 3,5 m. CLT-levyn paksuus on 60-400 mm. CLT-levyt valmistetaan yleisimmin sahatusta puutavarasta, joka on lujuusluokiteltua (C14-C24). Pääasiassa valmistukseen käytetään havupuuta, esimerkiksi kuusta. Vaihtoehtoina raaka-aineeksi ovat myös mänty ja lehtikuusi, sekä lehtipuista esimerkiksi saarni, poppeli ja koivu. Elementin valmistamiseen käytetään kestävästi kasvatettua metsäpuuta, hukkapuun osuus valmistuksessa on pieni, eli tuote on myös ekologinen (CLT Plant Oy, 2018)

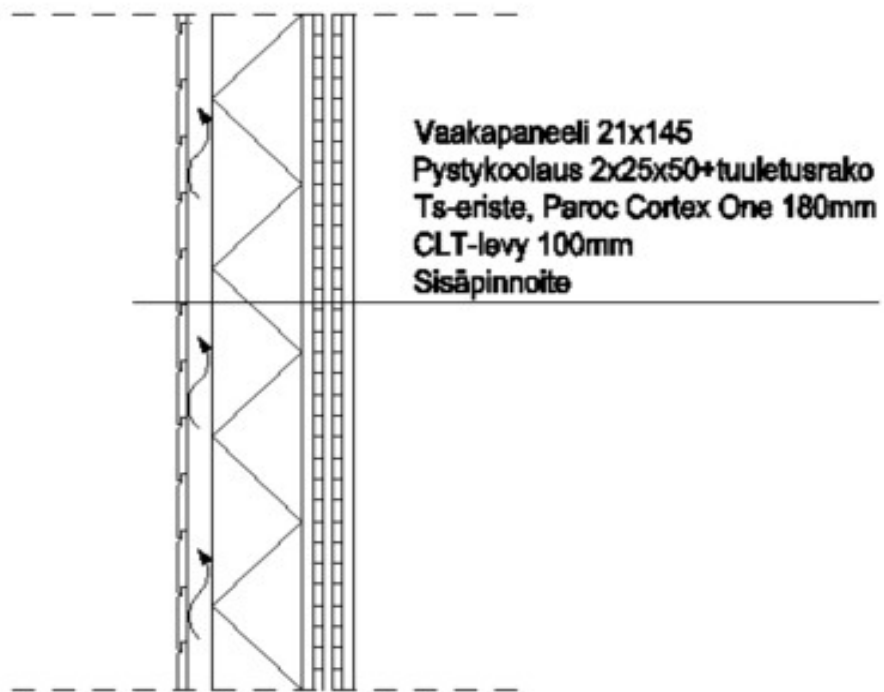
Lamellit liitetään toisiinsa, puutapeilla, naulaamalla tai liimaamalla. Liimaaminen on kuitenkin yleisin tapa liittää lamellit toisiinsa. Liimauksessa käytetään formaldehydittömiä, ympäristöystävällisiä polyuretaaniliimoja. CLT Plant Oy on tällä hetkellä ainoa, joka käyttää suomalaisen Kiilto Oy:n liimoja CLT-levyn valmistamisessa. (Tervo, 2015; Stora Enso, 2013; CLT Plant Oy, 2018)

Puun luonnollisten ominaisuuksien takia CLT-levyt ovat lujia ja kantokykyensä suhteutettuna erittäin kevyitä. CLT-levy soveltuu rakennukseen sekä vaaka- että pystyrungoksi. Koska puu on hygroskooppinen materiaali, se toimii ns. kosteuspuskurina tasaten sisäilman kosteuden ja parantaen sisäilman laadun. CLT-levyn puukerrokset ja liimakalvot muodostavat yhdessä tiiviin rakenteen, joka toimii CLT-elementin höyrynsulkuna. CLT-elementti on erittäin mittatarkka ja on valmis sisäseinä, ulkoseinä sekä kantavarakenne. CLT-elementeillä on erittäin hyvä ääni- ja lämpöeristävyys, se on jäykkä ja melkein värähtelemätön rakenne. CLT-elementti ei syty helposti ja tulipalon sattuessa se hiiltyy vain pinnasta. Hiiltynyt pinta suojaa levyn sisäkerrokset ja näin ollen levy säilyttää rakenteellisen lujuutensa. (Oy CrossLam Ltd., 2014)

Tämän opinnäytetyön vertailevana esimerkkirunkona käytän 240 mm paksua CLT-rakennetta, jota ei erikseen eristetä (kuva 5). Havainnoinnin helpottamiseksi on esitetty lisäeristetty CLT-rakenne, jonka rakennekerrokset sisältä lukien ovat: CLT-levy 100 mm, tuulensuojaeriste 180 mm (esim. Paroc Cortex One), koolaus 2x25x50 mm tuuletusraolla, julkisivuverhouspaneeli 21x145 mm. Rakenteen kokonaispaksuus on 351 mm. Rakenne esitetty kuvassa 6.



Kuva 5. CLT-elementti 240 mm, rakenne ilman lisäeristettä.



Kuva 6. CLT-elementti 100 mm, lisäeristetty rakenne

CLT-levyä valmistetaan useilla erilaisilla vakiorakenteilla, jotka erotetaan toisistaan pintakerroksen suunnalla, vaakalamelli tai pystylamelli. Mikäli pintakerroksessa on vaakalamelli, ovat vakiorakenteet 60-360 mm paksuja levyjä, joissa on 3-9 lamellikerrosta. Lamellikerrosten paksuus on 20-40 mm ja niitä liimataan niin, että joka toinen kerros on C24 luokiteltua ja joka toinen C14 luokiteltua sahatavaraa. Lamellikerrokset ladotaan kuitenkin niin, että molempiin pintakerrokseen tulee C24 lujuusluokiteltua sahatavaraa. CLT -levyn vakiorakenteet, joiden pinnassa on pystylamellit, valmistetaan 60-200 mm paksuina levyinä, joissa on 3-7 lamellikerrosta. Lamellikerrosten paksuus on 20-40 mm ja kerrokset liimataan kuten vaakapintaisessa CLT -levyssä. CLT -levylle on myönnetty myös sertifikaatteja. CLT Plant Oy:llä on RiSe (Research Institutes of Sweden AB) sertifikaatti ja Oy CrossLam Kuhmo Ltd:llä on VTT Expert Services Oy:n myöntämä sertifikaatti. (CLT Plant Oy, 2018; Oy CrossLam Ltd, 2014)

5 VAATIMUKSET PUUELEMENTTIRAKENTAMISESSA

Ympäristöministeriön ohjeistuksen mukaisesti rakennustuotteiden tulee olla turvallisia ja kestävä kehityksen periaatteiden mukaisia. Rakennustuotteiden on täytettävä maankäyttö- ja rakennuslaissa säädetyt vaatimukset, koskien rakenteiden lujuutta ja vakautta, palo- ja käyttöturvallisuutta, terveellisyyttä, esteettömyyttä ja energiatehokkuutta.

Puurunkoisen suurelementin ja CLT -elementin valmistuksessa käytetään mitalistettua ja lujuusluokiteltua (C24) puutavaraa. CLT-levyn sisemmissä lamelleissa myös C14 lujuusluokiteltua. Ensisijaisesti puutavaran ominaisuudet tulee ilmoittaa CE -merkinnällä. CE -merkityn tuotteen ominaisuuksien on täytettävä kansalliset vaatimukset tuotteen käyttökohteissa. Elementtirakentamisessa sahatavaran tulee olla standardin SFS-EN 14081-1 mukaista ja sormijatkokset standardin SFS-EN 385 mukaisia. Kantavissa sekä jäykistävässä rakenteissa on käytettävä vähintään lujuusluokkaa C14. Mittatarkkuusluokista luokka 1 on yleisimmin käytetty ja sitä tulee käyttää asuin-, liike- ja toimistorakennusten rakennusosissa. (RunkoRYL2010, 217)

CE -merkintä on vakuutus siitä, että tuote täyttää sitä koskevien direktiivien vaatimukset. Merkintä tulee olla tuotteessa, mikäli tuotetta koskeva direktiivi niin vaatii. Merkintä ei siis ole vapaaehtoinen eikä valmistajan päätettävissä. Yli 20 eri direktiiviä vaatii CE -merkinnän käyttämistä tuotteissa. Jotkin tuotteet tulee erikseen testata ennen CE -merkinnän käyttöön ottamista tuotteessa. (SFS ry, CE-merkintä)

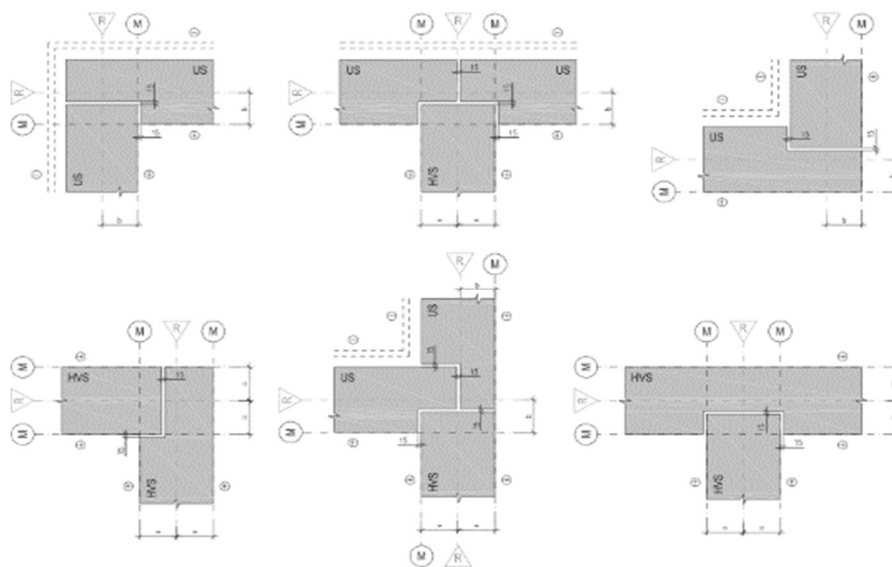
CE -merkinnästä Ympäristöministeriö sanoo näin:

”Puurakenteissa käytettävien rakennustuotteiden, aineiden ja tarvikkeiden ominaisuudet osoitetaan CE -merkinnällä, jos ne kuuluvat harmonisoidun tuotestandardin soveltumisalaan tai jos valmistaja on hankkinut tuotteelleen eurooppalaisen teknisen hyväksynnän/arvioinnin. Muutoin ne osoitetaan eräiden rakennustuotteiden tuotehyväksynnästä annetun lain 954/2012 mukaisesti” (Ympäristöministeriö. 2016. Puurakenteet, ohjeet 2016)

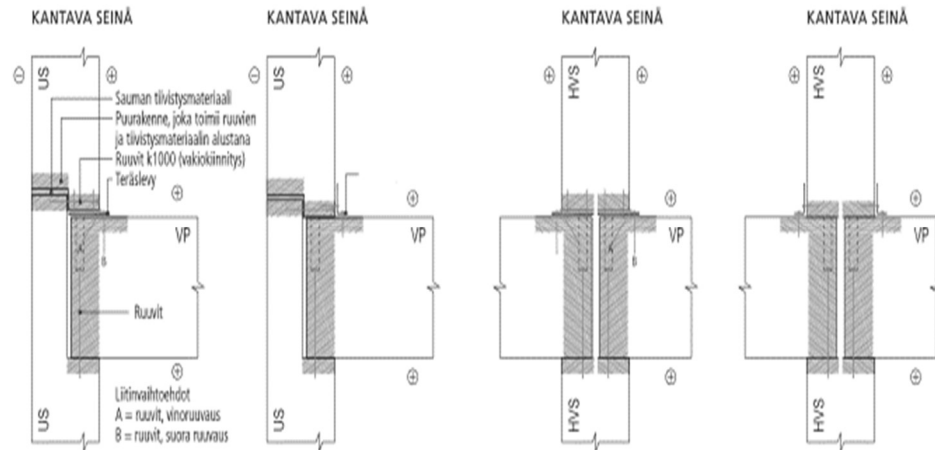
”Rakennuksen mitoituksessa on hyvä ottaa huomioon rakennustarvikkeiden standardikoot. Tämä vähentää huomattavasti materiaalihukkaa sekä rakennusmateriaalien työstämistä työmaalla.” (RT82-1084, 2)

6 ELEMENTTILIITOKSET

Elementtiliitokset, rakennuksen nurkat ja elementtiseinien jatkokset, ovat ovi- ja ikkuna-aukkojen lisäksi elementtirakentamisessa rakennuksen tiiveyden ja rungon kantavuuden kannalta suurin murheenkryyni. Elementtisaumojen tiiveyden laatuun on kiinnitettävä erityistä huomiota rakenteen energiatehokkuuden, palo- ja kosteustekniikan, ilmanpitävyyden, lämmön- ja äänieristävyyden, sekä kantavuuden säilyttämiseksi. Suurelementtien liittymien geometriaperiaatteita on esitetty kuvassa 7 sekä kantavien seinien kiinnitys- ja tiivistysperiaatteita kuvassa 8. (RunkoPes 2.0, 2018)



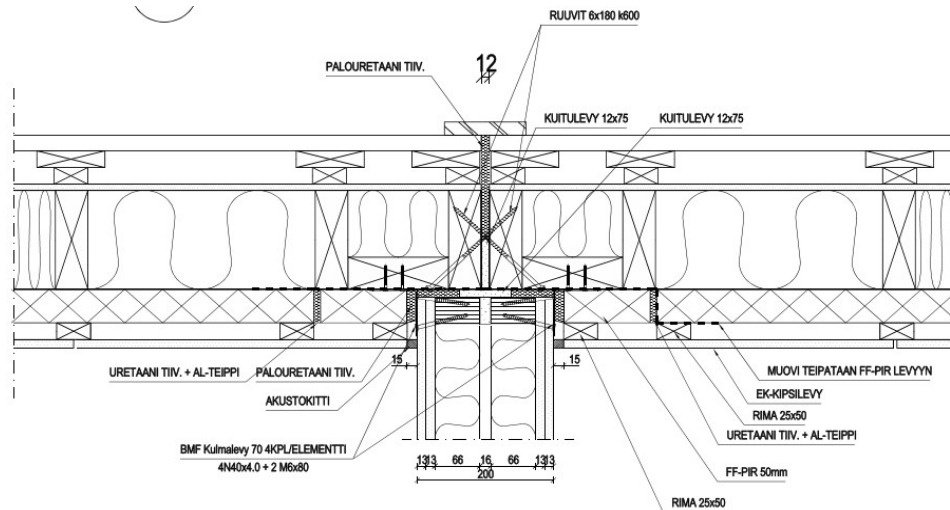
Kuva 7. Suurelementin liittymien geometria (RunkoPES 2.0, 2018).



Kuva 8. Suurelementin kiinnitys- ja tiivistysperiaatteet (RunkoPES 2.0, 2018).

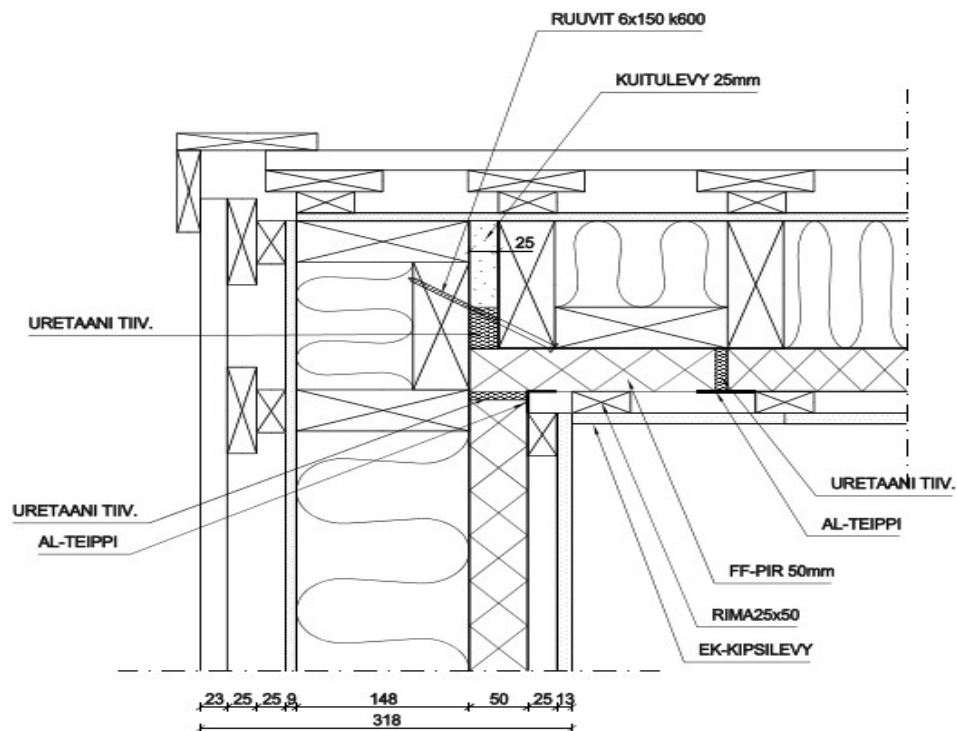
6.1 Puurakenteisen suurelementin liitokset

Elementin jatkossaumat rivitaloissa ovat yleensä huoneistojen väliseinän (HVS) kohdalla, tällöin liitoksen tulee tiiveyden lisäksi olla ääni- ja paloeristetty. Elementtiliitokset viimeistellään työmaalla asennuksen jälkeen teipaten rakennuksen sisäpuolelta höyrynsulkumuovin avulla tiiviisti ja elementtien höyrynsulun kanssa yhtenäiseksi. Lisäksi sauma eristetään ja tiivistetään ulkopuolelta palonkestävällä uretaanivaahdolla. Elementtien kiinnittäminen toisiinsa tehdään rakennesuunnittelijan ohjeen mukaisesti (Kuva 9).



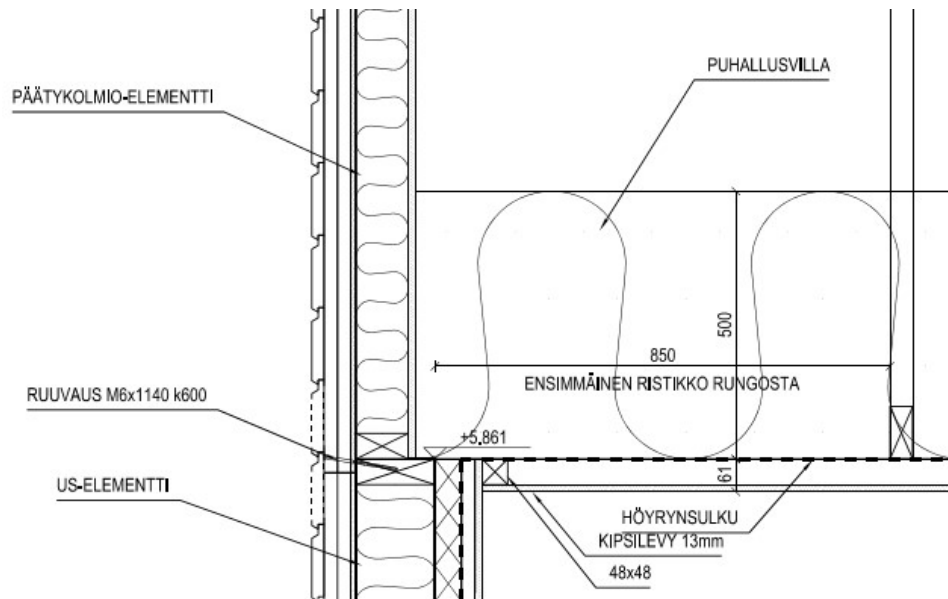
Kuva 9. US-elementtien liitos HVS:n kohdalla. (Leimarakentajat Oy, 2018).

Ulkonurkka tiivistetään kuitulevyn ja uretaanin avulla, jonka jälkeen nurkan sisäpinta eristetään, saumat teipataan höyrinsulkuteipillä ennen sisäpuolen kipsilevyn asennusta ja viimeistely töitä. Elementtien kiinnitys toisiinsa tehdään rakennesuunnittelijan ohjeen mukaisesti. Kuvassa 10 ulkonurkan liitosdetalji.

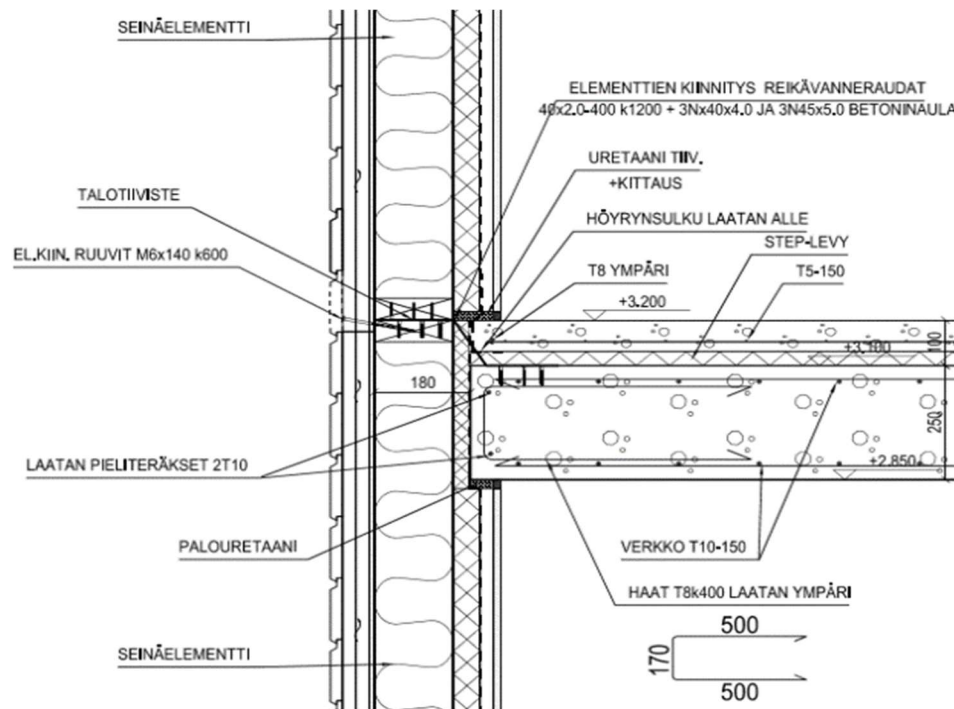


Kuva 10. Ulkonurkkanliitos ulkoseinässä (Leimarakentajat Oy,2018).

Välipohjan- ja yläpohjanliitokset tulee tiivistää huolellisesti. Höyrinsulku-muovi limitetään ja teipataan tiiviiksi. Mikäli välipohja jakaa huoneistot eri asunnoiksi, on liitoksessa huomioitava myös palo- ja äänitekniset määräykset. Liitoksissa tulee varmistaa, että höyrinsulku jatkuu yhtenäisesti niin väli- kuin yläpohjaliitoksessakin. Yläpohjan liitosdetalji kuvassa 11 ja välipohjan liitosdetalji kuvassa 12.



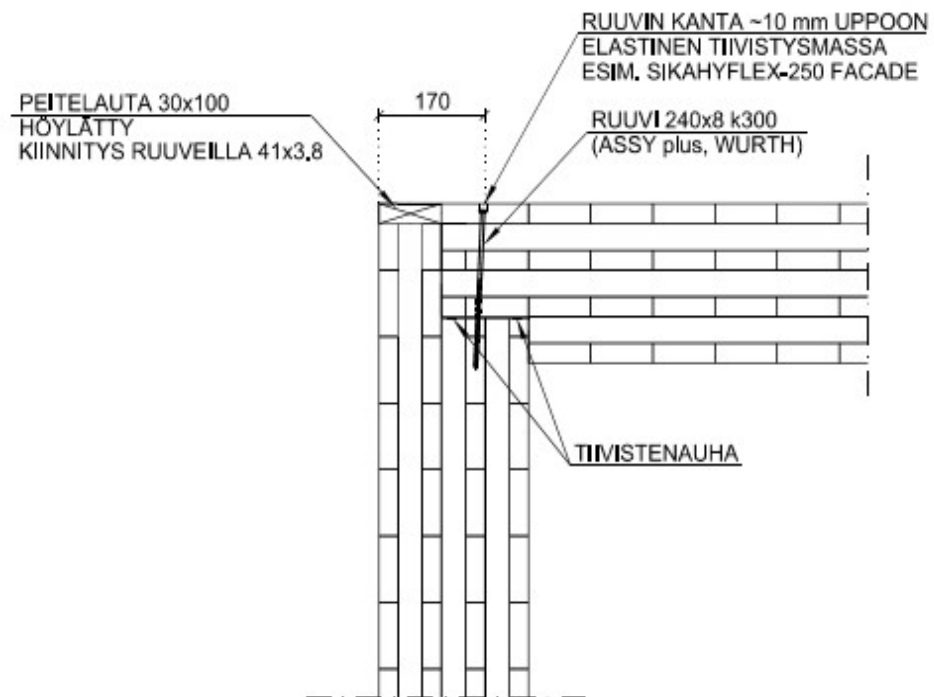
Kuva 11. Yläpohjanliitos, puurunkoinen suurelementti (Leimarakentajat Oy, 2018).



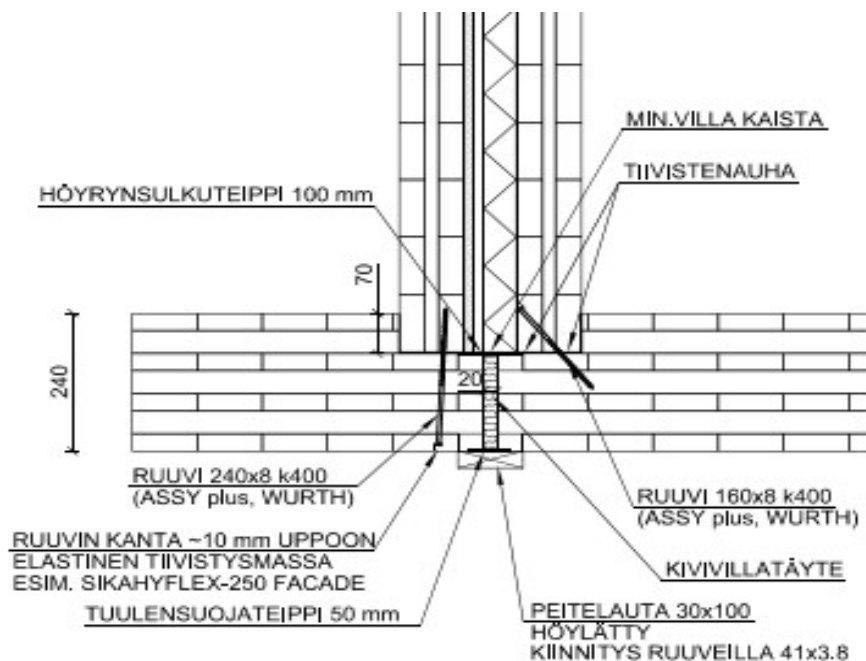
Kuva 12. Välipohjanliitos, puurunkoinen suurelementti (Leimarakentajat Oy, 2018).

6.2 CLT-elementin liitokset

Koska CLT -elementissä ei ole erillistä höyrynsulkukerrosta, tulee ulkonurkka tiivistää huolellisesti tiivistenauhalla ja ruuvata liitos tiukasti yhteen (kuva 13). HVS:n kohdalla olevat elementin saumat täytetään palamattomalla kivivillalla ja tiivistetään sisäpuolelta höyrynsulkuteipillä. Ulkopuolelta rakenne tiivistetään tuulensuojateipillä ja liitos peitetään peitelaudalla (kuva 14).



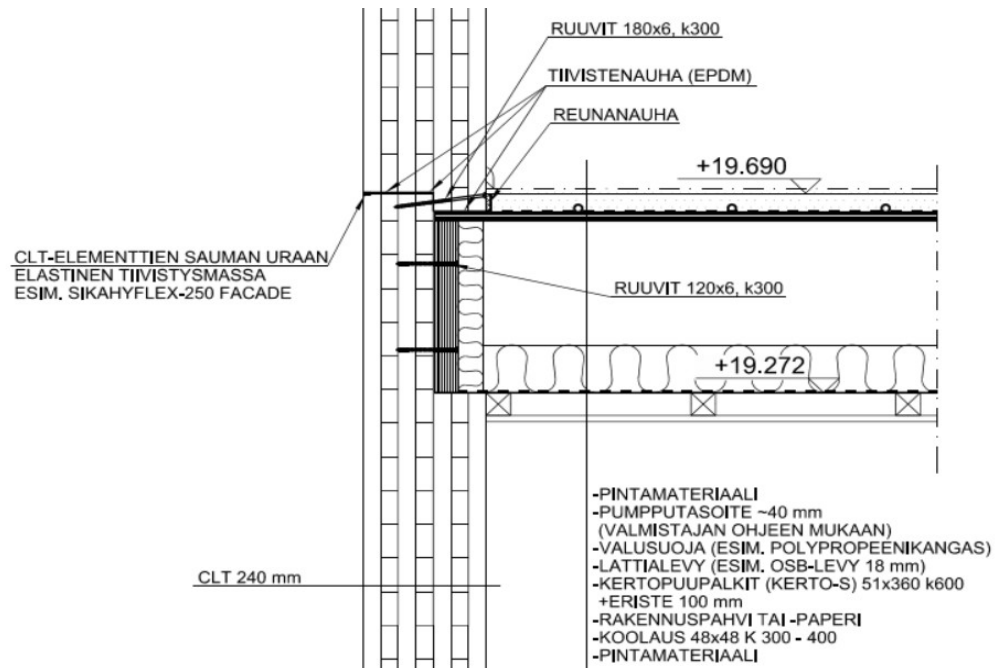
Kuva 13. CLT-elementin ulkonurkka detalji (JM-Rakenne Oy, 2019).



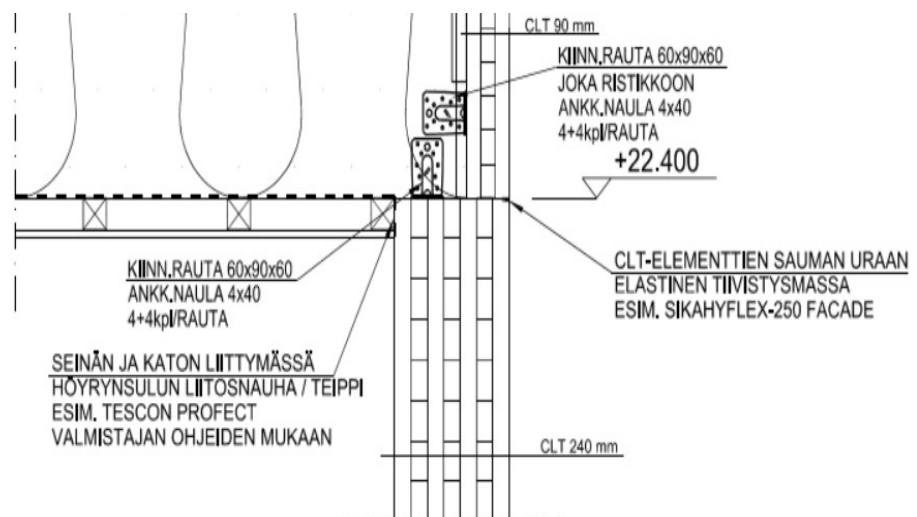
Kuva 14. CLT-elementtiliitos HVS:n kohdalla (JM-Rakenne Oy, 2019).

Väli- ja yläpohjan liitoksissa tulee höyrynsulku asentaa erityisen huolellisesti. Yläpohjan höyrynsulku tuodaan CLT -elementtiin ja teipataan liitospaikoilla tai höyrynsulkuteipillä tiiviisti niin, että tiivis teippaus jää

yläpohjan koolauksen alle piiloon. Ulkopuolelta ulkoseinän ja kitaelementin saumassa on ura, joka tiivistetään elastisella tiivistysmassalla (kuva 15). Välipohja tiivistetään reunanauhan ja eristeen avulla. Ulkopuolelle elementin sauman uraan asennetaan elastinen tiivistysmassa (kuva 16).



Kuva 15. Välipohjanliitos ja -tiivistys CLT rakenne (JM-Rakenne Oy, 2019)



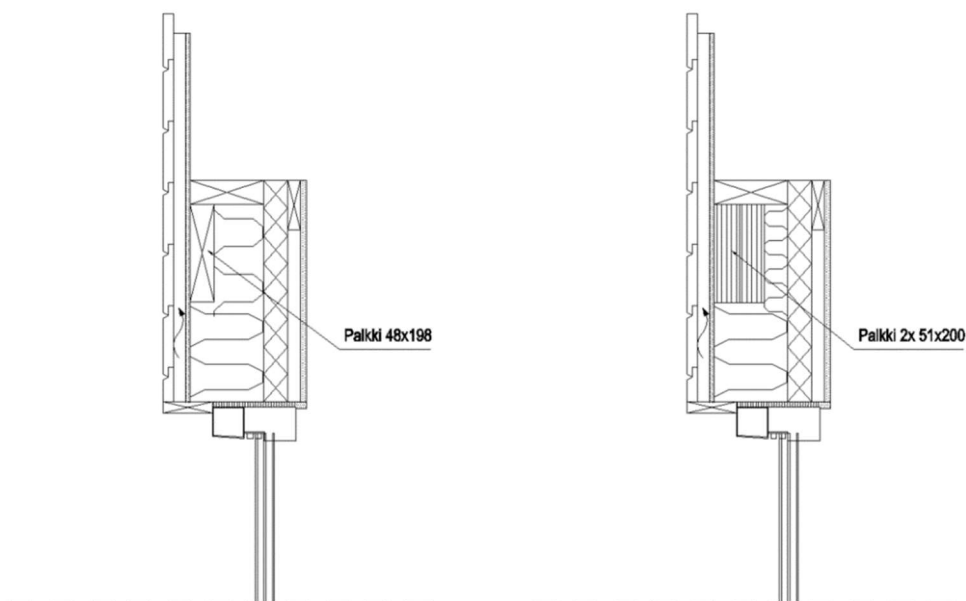
Kuva 16. Yläpohjanliitos ja -tiivistys CLT rakenne (JM-Rakenne Oy, 2019).

7 AUKOT JA AUKONYLITYSPALKIT

Rakennuksen ovet ja ikkunat eivät saa toimia kantavina eivätkä jäykistävinä rakenteina. Tästä syystä ovi- ja ikkuna-aukkojen ylitykset on tehtävä kantavia palkkirakenteita käyttäen (RunkoRYL2010, 251).

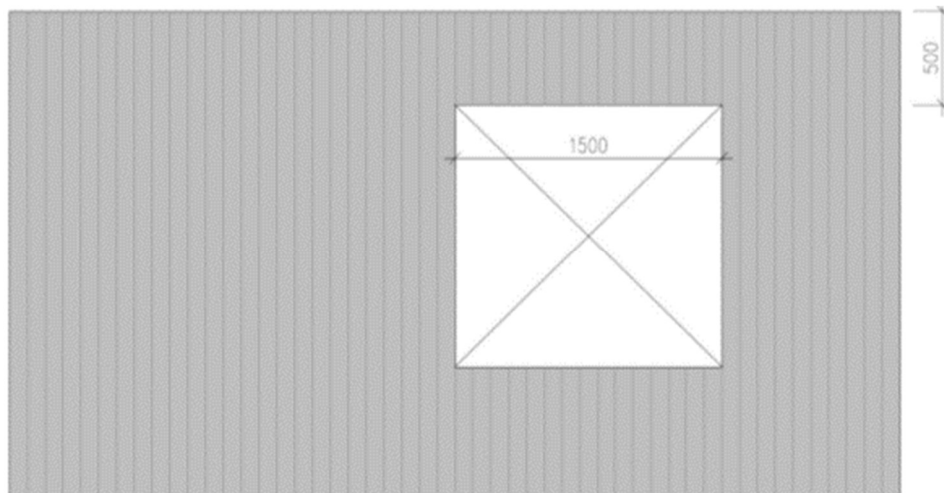
Puurunkoisen suurelementin valmistamisessa aukoilla on suuri merkitys elementtituotannossa. Seinäelementtiin, jossa on esimerkiksi yksi ovi-aukko ja kaksi ikkuna-aukkoa menee tuotannossa noin 30 % enemmän työaikaa, kuin esimerkiksi talon päätyelementtiin, jossa ei ole aukkoja lainkaan. Työstöaikaan vaikuttavat mm. aukkojen ylä- ja alapuiden asentamiset, levyjen loveamiset ja palkin työstö. Kustannuksia elementin valmistamiseen tuovat myös aukonylityspalkit, jotka siirtävät katolta tulevat kuormat aukkojen reunoilla olevien runkotolppien kautta kivijalkaan ja estävät aukkojen muodonmuutokset kuormien alla. Kustannuksiin vaikuttaa myös aukkojen koko. Mitä isommat ikkunat arkkitehti on rakennukselle suunnitellut, sitä raskaampitekoiset palkit rakennesuunnittelija suunnittelee aukkojen ylitykseen.

Normaalikokoisiin aukkoihin omakoti- ja rivitalorakennuksissa riittää yleensä yksi tai kaksi kappaletta 48x198 mm C24 palkkia ja suurempiin aukkoihin 1-2 kpl 51x200 mm kertopuupalkkia (kuva 17). Palkin koko tulee kuitenkin aina mitoittaa ja varmistaa laskemalla.



Kuva 17. Malliesimerkinä leikkauskuvat elementin aukkopalkkeista.

CLT -elementtiin aukot tehdään suunnitelmien mukaisesti niin, että levyn yläreunaan jää tarvittava paksuus ehjää CLT -levyä. Erillisiä palkkeja ei tarvitse asentaa, koska CLT -elementti massiivipuuisena rakenteena toimii myös aukkojen yläpuolisina palkkeina. Kuvassa 18 on esitetty rakenne, jossa aukon päälle jätetty ehjää CLT -levyä 500 mm aukonylityspalkiksi. Mikäli aukko on niin suuri, ettei CLT -elementin oma kantavuus aukkopalkiksi riitä, on elementtiin mahdollista jyrsiä loveus esimerkiksi liimapuupalkille. Kysyessäni aiheesta JM-Rakenne Oy:n rakennesuunnittelijalta, hän vastasi, että vielä ei hänen kohdalleen ole tullut sellaista tilannetta, että aukkojen päälle olisi lisäjäykistystä tarvittu. Hän myös kertoi, että CLT -elementin osalta aukkojen lisäjäykistämiseen ei ole mitään yhtenäistä ohjetta, vaan kukin tilanne käsitellään tapauskohtaisesti. Aukkopalkin kestävyys on kuitenkin mitoitettava ja varmistettava laskennalla.



Kuva 18. Periaatekuva aukosta CLT-elementissä (Oy CrossLam Kuhmo Ab, 2018).

8 ELEMENTTIEN VARASTOINTI, KULJETTAMINEN JA NOSTOT

Suomen ilmasto-olosuhteista johtuen, puutavara tulee aina suojata erityisen hyvin kastumista ja likaantumista vastaan. Huomioitavaa elementin suojaamisessa on myös se, etteivät elementit kolhiinnu eivätkä naarmuunnu varastoidessa tai kuljetusten yhteydessä. Puutavara ja puusta valmistetut elementit tulee varastoida niin, että ne ovat irti maasta. Puutavaraan ei saa muodostua varastoinnin eikä kuljetuksen aikana tuotteen ulkonäköä haittaavia virheitä. Puutavaran kosteus ei saa lisääntyä kuljetusten tai varastoinnin yhteydessä, varastoidessa tulee huolehtia riittävästä tuuletuksesta (RunkoRYL2010, 2010).

Elementtien varastoinnissa, kuljetuksessa ja nostoissa tulee huomioida asennusjärjestys. Mikäli mahdollista, elementtien valmistuksesta alkaen on hyvä ottaa asennusjärjestys huomioon. Tällöin tehtaalla tai työmaalla vältetään ylimääräisiltä siirtonostoilta. Jokainen ylimääräinen nosto lisää kustannuksia ja riskiä vaurioittaa elementtiä. Omakoti- ja rivitaloihin nostot voidaan suorittaa autonostureilla, mikäli nosturin kantokyky ja ulottuvuus riittävät. Mikäli nostotyössä on kuljetusteknisesti suuret etäisyydet siirtää elementti kuljetuskalustosta työmaalla paikalleen, tulee nostotyössä käyttää siihen tarkoitettuja pyörä- tai lavettinostureita.

8.1 Puurunkoisen suurelementin varastointi ja kuljettaminen

Puurunkoisen suurelementin valmistamisen enimmäismitat muista kuin tuotannollisista syistä ovat enimmäispituudeltaan noin 12 m ja enimmäiskorkeudeltaan noin 3,2 m. Puurunkoisen suurelementin paino on noin 40 kg/m². Pisimmät elementin kuljettamiseen tarkoitetut peräkärret ovat yleensä noin 12 m pitkiä ja suurin sallittu kuorman korkeus ilman erityisiä liikennejärjestelyitä on 4,4 m. Peräkärren ja kuljetuskehikon yhteiskorkeus on noin 1,20 m, eli elementin maksimikorkeus tällä kuljetusyhdistelmällä on 3,2 metriä. Puurunkoiset suurelementit kuljetetaan pääsääntöisesti ns. pystykuljetuksella, koska valmiiksi paneloitujen ja sisäpuolelta kipsilevyt asennettujen suurelementtien päällekkäin lastaaminen ei elementtejä rikkomatta onnistu. Jotkin elementtitoimittajat asentavat myös ikkunat ja ikkunapellit tehtaalla valmiiksi paikoilleen. Suurin haaste elementin pystykuljetuksille on kasvanut huonekorkeus, joka kasvattaa myös elementin korkeutta. Joillakin elementtitoimittajilla on käytössään ns. matalarengas-perävaunuja, joilla voidaan toimittaa noin 4 metriä korkeita elementtejä. Suurelementit valmistetaan suurissa tehdashalleissa kuivissa oloissa. Elementit suojataan kuljetusta ja varastointia varten suojausmuoveilla, tällöin tuotteen laatu pysyy tasaisena eikä kuivaketju katkea (Tieliikennelaki 1310/2018, 25§).

Puurunkoisten elementtien varastoinninaikaista kosteudenmuutosta tulee välttää. Elementin suojaukset tulee pitää ehjinä ja ne poistetaan vasta asennuksen yhteydessä tai mahdollisuuksien mukaan vasta asennuksen jälkeen. Elementti varastoidaan tukevalle ja tasaiselle alustalle, noin 30 cm korkeudelle maasta. Elementti tulee tukea elementtitelineeseen niin, ettei se pääse varastoinnin aikana vääntymään eikä kaatumaan. Suojatun elementin varastoiminen ja tukeminen vinotuella on esitetty kuvassa 19 ja asennettu, suojattu elementti kuvassa 20.



Kuva 19. Varastoitu, suojattu suurelementti.



Kuva 20. Asennettu, suojattu elementti

8.2 CLT-elementin varastointi ja kuljettaminen

CLT Plant Oy:n tuotepäällikön mukaan he valmistavat elementit niin, ettei ulkovarastointia tarvita vaan elementit voidaan varastoida tehdasoloissa, kunnes ne toimitetaan työmaalle. Heidän valmistamansa CLT -levyn enimmäispituus on 16 m ja enimmäiskorkeus 3,5 m. Käytännössä CLT -elementtiä tehdään 2,7 m korkeana. CLT Plant Oy:n sopimuskumppani kuljetuksissa on luvannut tarvittaessa toimittaa 16 m pitkiä elementtejä. Kustannustehokkain tapa kuljettaa CLT -elementit tehtaalta työmaalle on elementin vaakakuljetus (kuva 21). Koska tieliikennelain mukaan kuljetuksen suurin sallittu leveys ilman kuljetuksen erityisjärjestelyjä on 2,7 metriä, on elementtisuunnittelulla suuri merkitys kuljetuksen taloudelliseen onnistumiseen.

CLT-elementti painaa noin 2 kertaa enemmän kuin puurunkoinen suurelementti. Kuusen tiheys on 300-470 kg/m³ ja CLT-elementin paino perustuu elementin rungon paksuuteen, tässä opinnäytetyössä vertailevana esimerkkeinä on runkovahvuudeltaan 240 mm paksu CLT -elementti, jonka paino on noin 96 kg/m².



Kuva 21. CLT-elementit lastattu vaakakuormaksi ja kuorma lähdössä työmaalle (Paloniitty Oy, 2018).

8.3 Elementtien nostot

Nostotyön suunnittelusta voimassaolevan lainsäädännön mukaan vastaa päätoteuttaja. Elementtinosot ovat yksi suurimmista riskitekijöistä työmaalla. Työmaalla suoritettavat nostot on suoritettava erityistä varovaisuutta noudattaen ja on huolehdittava, ettei nostotyöstä aiheudu vaaraa muille työmaalla työskenteleville (Rakennustieto, 2017. Ohjeet turvallisuudelle nostotyölle).

Puurunkoiseen suurelementtiin nostoja varten asennetaan elementin valmistamisen yhteydessä nostolenkit, joita tulee asentaa tarvittava määrä elementin kokoon ja painoon nähden. Nostolenkit tulee asentaa elementin runkopuihin (kuva 22). Kuvassa 23 on esitetty suurelementin nosto työmaalla.

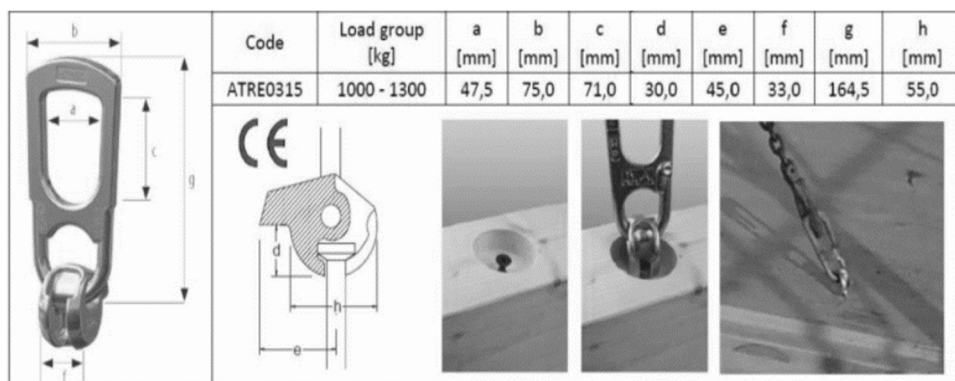


Kuva 22. Umpinostovyöt asennettuna runkotolppiin.



Kuva 23. Puurunkoisen suurelementin nosto autonosturilla työmaalla.

CLT -elementtien osalta nostolenkkien asennus on tehtävä niin, ettei elementtiin jää nostojen jälkeen näkyviä asennusjälkiä. Nostolenkeille ei siis voi tehdä reikiä elementtiin, kuten puurunkoisessa elementissä runkotolppiin. CLT -elementtien nostoon on kehitetty erilliset nostoraksit ja nostoruuvit, jotka nopeuttavat elementtien nostoa, asennusta ja muutakin käsittelyä. Nostoraksi ja -pultti esitetty kuvassa 24. (PUUKET, 2018)



Kuva 24. Nostoraksi ja nostopultti (Paloniitty Oy, 2018).

9 ENERGIATEHOKKUUS JA E-LUKU

E-luku on energiatehokkuuden vertailuluku, jonka yksikö on kWh_E/(m²a). Energiamuotojen kertoimilla painotetaan rakennuksen laskennallinen ostoenergiankulutus rakennuksen lämmitettyä nettoalaa kohden vuodessa (Suomen Säädöskokoelma 1010/2017, §4, 3).

E-luku lasketaan energiamuodoittain eritellystä rakennusten laskennallisesta ostoenergiankulutuksesta, käyttäen energiamuotojen kertoimia. E-luvun laskentakaava esitetty kuvassa 25.

$$E = \frac{f_{\text{kaukolämpö}} Q_{\text{kaukolämpö}} + f_{\text{kaukojäähdytys}} Q_{\text{kaukojäähdytys}} + \sum_i f_{\text{polttoaine},i} Q_{\text{polttoaine},i} + f_{\text{sähkö}} W_{\text{sähkö}}}{A_{\text{netto}}}$$

Kuva 25. E-luku laskentakaava (Suomen Säädöskokoelma 1010/2017, §7).

jossa:

E	energiatehokkuuden vertailuluku, kWh _E /(m ² a)
Q _{kaukolämpö}	lämmönkulutus vuodessa, kWh/a
Q _{kaukojäähdytys}	kaukojäähdytyksen kulutus vuodessa, kWh/a
Q _{polttoaine, i}	polttoaineen i sisältämän energiankulutus vuodessa, kWh/a
W _{sähkö}	vähennykset huomioitu sähkönkulutus vuodessa, kWh/a
f _{kaukolämpö}	kaukolämmön energiamuodon kerroin
f _{kaukojäähdytys}	kaukojäähdytyksen energiamuodon kerroin
f _{polttoaine, i}	polttoaineen i energiamuodon kerroin
f _{sähkö}	sähkön energiamuodon kerroin
A _{netto}	rakennuksen lämmitetty nettoala, m ²

Energiamuotojen kertoimien lukuarvoina on käytettävä lukuarvoja, jotka on säädetty maankäyttö- ja rakennuslaissa (Suomen Säädöskokoelma 1010/2017, §7).

9.1 E-luku puurunkoisessa elementtirakennuksessa

E-luvun laskemiseen on tässä opinnäytetyössä käytetty rakennusta, johon Rakennusliike Leimarakentajat Oy toimitti ulkoseinäelementit syksyllä 2018. Rakennus sijaitsee Hämeenlinnassa. Runkona E -luvun laskennassa

on käytetty kuvan 1 runkorakennetta, jonka U-arvo on $0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$. CADs suunnitteluohjelmalla laskettuna rakennuksen E-luku on $102 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ ja energialuokka on B. Vaatimustaso E-luvulle Suomen Säädöskokoelman 1010/2017 §4:n mukaan tällä rakennuksella on $105 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Rakennus täyttää E-luku vaatimuksen ja tasauslaskelman mukaan vaatimukset suunnitteluratkaisuille (kuva 26).

The screenshot shows the CADs - Energialaskenta 2018 software interface. The main window displays the following information:

- Kohteen yleistiedot:** Rakennuskohde: As.Oy.Pellonkierto, Puurakenteiset suurelementit; Katuosoite: Pellonkierto 4; Rakennustunnus: Talo B; Kiinteistönumeros: ; Postinumero: 13500; Postitoimipaikka: HML.
- Laskennan lähtötiedot:** Laitesähkö, Yleistiedot, Lämpökuorma, Perustiedot, Jäähdytys, Johtuminen, Yhteenveto, selvitys, Vuotoilma, Yhteenveto, todistus, Lämmitysjärjestelmä, Yhteenveto, RE-todistus, Käyttövesi, Ilmanvaihto.
- Käyttötarkoitukseluokka:** 1 Pienet asuinrakennukset, rivitalot ja 2-kerroksiset asuinrakennukset.
- Todistus on laadittu:** Uudelle rakennukselle rakennuslupaa haettaessa.
- Tarkenne:** Asuinrakennus; Asuntojen ikm: 3.
- Luokkatarkenne:** Rivitalot (RT); Kerrosten ikm: 1.
- Henkilömäärä:** (Max. 6 asunon rakennustyyppiä henkilömäärä on makuuhuoneiden lukumäärä +1): 0 hlö.
- Alat ja tilavuudet:**
 - Lämmitetty nettoala: 260 m^2 ; Rakennustilavuus: 936 m^3
 - Rakennusvaipan ala: 711 m^2 ; Ilmatilavuus: 702 m^3
 - Maanpäälliset kerrostasosalat yhteensä: 260 m^2 ; Keskisäälämpötila: 21 $^{\circ}\text{C}$
- Lämmöntuotto:**

Lämmöntuottotapa	Vuosityyosuus	SFPtilat/SFPilko	Sähkö	%	Energiamuutokerto
Poistilämälämpöpumppu	0	2,4/2,4	0	100	-
- E-luvun laskennassa käytettävät säävyöhykkeet:**
 - Helinki-Vantaa: -26 $^{\circ}\text{C}$
 - Tehon laskennassa käytettävä todellinen säävyöhyke: II Jokoinen: -29 $^{\circ}\text{C}$
- Muilla tuottojärjestelmillä tuotettu energia:** Qmuu,tuotto: 0 kWh/a
- Tulokset:** Rivitalot ja 2-kerroksiset asuinrakennukset; E=102; Energiaselvitys; E-luku, vaatimus: 105 $\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$; E-luku täyttää vaatimuksen. Tasauslaskelma: Suunnitteluratkaisu täyttää vaatimukset. Energiatodistus: B. Energialuokan raja-arvot: $81 \leq E\text{-luku} \leq 110$.

Kuva 26. E-luku, puurakenteinen suurelementti

9.2 E-luku CLT-elementtirakennuksessa

Saadakseen tasavertaisen vertailun näiden rakenteiden välillä, laskelmassa on käytetty saman rakennuksen perustietoja. CLT:n osalta laskennassa käytetty ulkoseinärakenne on kuvan 5 runkoratkaisu, CLT -runko 240 mm. Perustietoihin on vaihdettu, että kyseessä on hirsirakennus, koska mikäli massiivipuisen CLT -rungon paksuus keskimäärin on yli 180 mm, on rakennetta käsiteltävä kuin hirsirakennusta. Johtumistietoihin on ulkoseinärakenteeksi muutettu hirsiseinä, jonka U-arvo on $0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$. Tällä rakenteella CADs ohjelma laski E-luvuksi $115 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ ja energialuokaksi tuli B, joka täyttää vaatimuksen massiivipuorakenteelle. Massiivipuorakennuksen E-luku vaatimus on $121 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ (kuva 27).

CAD5 - Energialaskenta 2018

Kohteen yleistiedot
 Rakennuskohde: As.Oy.Pellonkierto, CLT-elementit Katusoitte: Pellonkierto 4
 Rakennustunnus: Talo B Kiinteistötunnus: Postinumero: 13500 Postitoimipaikka: HML

Laskennan lähtötiedot
 Laitesähkö Lämpökuorma Jäähdytys Yhteenvedo, selvitys Yhteenvedo, todistus Yhteenvedo, RE-todistus
 Yleistiedot Perustiedot Johtuminen Vuotoilma Lämmitysjärjestelmä Käyttövesi Ilmanvaihto

Käyttökäytösluokkia: 1 Pienet asuinrakennukset, rivitalot ja 2-kerroksiset asuinrakennukset
 Todistus on laadittu: Uudelle rakennukselle rakennuslupaa haettaessa Havaintointi pvm:
 Tarkenne: Asuinrakennus, hirsii Asuntojen lkm: 3
 Luokkatarkenne: Yhden asunnon talot (YAT) Kerrosten lkm: 1
 Henkilömäärä (Max. 6 asunnon rakennustyyppissä henkilöitä on makuuhuoneiden lukumäärä +1): 0 hlö

Alat ja tilavuudet
 Lämmitetty nettoala: 260 m² Rakennustilavuus: 936 m³
 Rakennusvaipan ala: 711 m² Ilmatilavuus: 702 m³
 Maanpäälliset kerrostasoalet yhteensä: 260 m² Keskissäälämpötila: 21 °C

Lämmöntuotto
 Lämmöntuototapa Vuosihyötysuhde SPFilät/SPFiko Sähkö % Energiamuotokerroin
 Poistoinväliämpöpuurppu 0 2,4/2,4 0 100 -

E-luvun laskennassa käytettävät säävyöhykkeet
 I Helsinki-Vantaa -26 °C
 Tehon laskennassa käytettävä todellinen säävyöhyke
 II Jokioinen -29 °C

Muilla tuottojärjestelmillä tuotettu energia
 Qmuu,tuotto: 0 kWh/a

Tulokset
 Hirsitalot, nettoala 150-600m²
E=115
 Energiaselvitys
 E-luku, vaatimus: 121 kWh/(m²a)
 E-luku täyttää vaatimuksen.
 Taususkeskelma: Suunnitteluratkaisu täyttää vaatimukset.
 Energiatodistus
B
 Energialuokan raja-arvot: 78 ≤ E-luku ≤ 120

Kuva 27. E -luku, CLT-elementti.

10 LÄMPÖHÄVIÖ, U-ARVO

Rakennuksen lämpöhäviö lasketaan vaipan, vuotoilman ja ilmanvaihdon yhteenlasketusta lämpöhäviöstä. Rakennuksen lämpöhäviö ei saa olla suurempi kuin vertailuarvoilla määritetty lämpöhäviö.

Rakennuksen vaipan lämpöhäviö tulee laskea pinta-alojen ja lämmönläpäisykerroimien perusteella kaavalla:

$$\Sigma H_{\text{joht}} = \Sigma (U_{\text{ulkoseinä}} A_{\text{ulkoseinä}}) + \Sigma (U_{\text{yläpohja}} A_{\text{yläpohja}}) + \Sigma (U_{\text{alapohja}} A_{\text{alapohja}}) + \Sigma (U_{\text{ikkuna}} A_{\text{ikkuna}}) + \Sigma (U_{\text{ovi}} A_{\text{ovi}})$$

ΣH_{joht}	rakennuksen vaipan lämpöhäviö, W/K
U	rakennusosan lämmönläpäisykerroin, W/(m ² K)
A	rakennusosan pinta-ala

Lämpimän tai jäähdytettävän kylmän tilan rakennuksen vaipan lämpöhäviön vertailuarvot on laskettava käyttämällä seuraavia lämmönläpäisykerroimien vertailuarvoja.

- ulkoseinä	0,17 W/(m ² K)
- massiivipuuseinä, paksuus vähintään 180 mm	0,40 W/(m ² K)

(Suomen Säädoskokoelma 1010/2017, §23, 11)

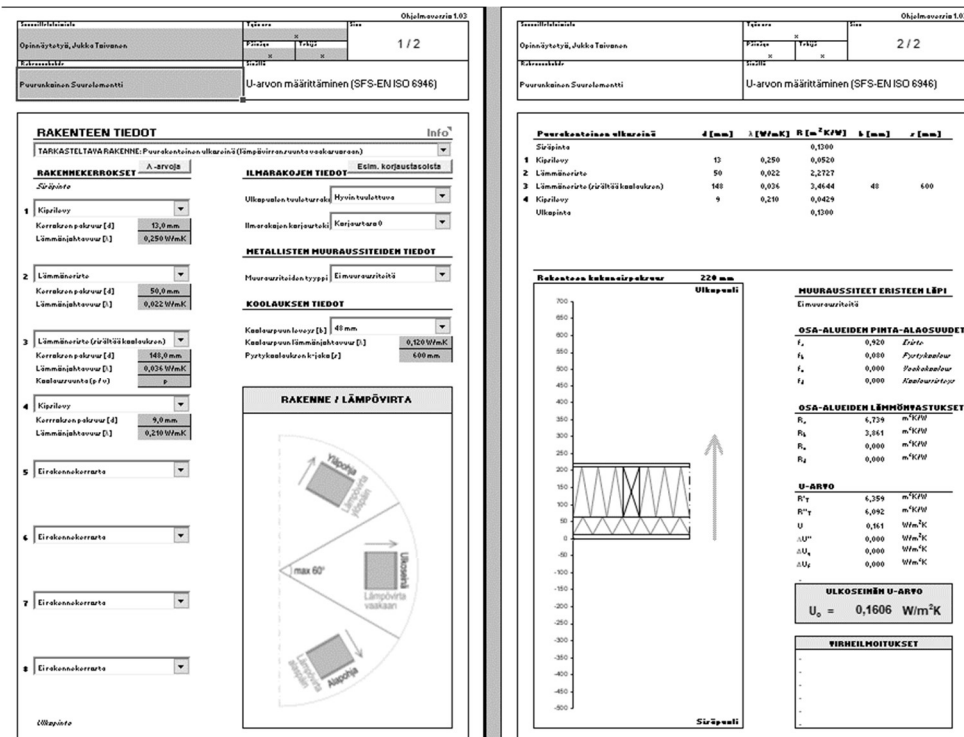
Yleisesti hyväksytty ja TTY:n tarkastama U -arvo laskuri on vapaasti käytettävissä osoitteessa: <https://www.puuinfo.fi/mitoitusohjelmat/puurakenteen-u-arvon-m%C3%A4%C3%A4ritt%C3%A4minen>. Puurakenteen *U-arvon määrittäminen*-ohjelmalla voi laskea ylä- ja alapohjien sekä ulkoseinien U -arvon. Ohjelma soveltuu myös hirsirakenteiden laskentaan (Puuinfo, 2012).

10.1 Puurunkoisen suurelementin U -arvo

Ympäristöministeriön asetus, Suomen Säädoskokoelman 1010/2017 §23 mukaan:

”Rakennuksen lämpöhäviö on rakennuksen vaipan, vuotoilman ja ilmanvaihdon yhteenlaskettu lämpöhäviö. Rakennuksen lämpöhäviö voi olla enintään yhtä suuri kuin vertailuarvoilla rakennukselle määritelty vertailulämpöhäviö.” (Suomen Säädoskokoelma 1010/2017, §23, 11)

Ulkoseinälle Suomen Säädoskokoelma 1010/2017 asetus antaa vertailuarvoksi 0,17 W/(m²K). Kuvassa 28 on laskettu puurunkoisen suurelementin U -arvo, käyttäen puuinfo.fi sivuston ylläpitämää ohjelmaa, joka on tarkastettu Tampereen teknisen yliopiston toimesta (Lausunto N:o TRT/1945/2011). U-arvoksi puurunkoiselle suurelementille Puuinfon laskuri sai 0,1606 W/m²K.



Kuva 28. Puurunkoisen suurelementin U -arvo.

10.2 CLT -elementin U -arvo

CLT -runkoiselle ulkoseinäelementille Suomen Säädoskokoelman 1010/2017 asetus antaa vertailuarvoksi $0,17 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Mikäli massiivipuu-seinä on keskimäärin vähintään 180 mm paksu, käytetään vertailuarvona $0,40 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$. (Suomen Säädoskokoelma 1010/2017, §23, 11)

Kuvassa 29 on laskettu CLT -elementin U -arvo. U -arvoksi puurunkoiselle suurelementille, jonka CLT -runkovahvuus on 240 mm Puuinfon laskuri sai $0,4095 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$.

The screenshot shows a software interface for calculating the U-value of a CLT wall. The interface is split into two panels.

Left Panel: Input Fields

- RAKENTEEN TIEDOT**
 - TARKASTELTAVA RAKENNE: Puurakenteinen ulkoseinä (Energiaeristysvaatetuoreena)
 - RAKENNEKERROKSET: A-ARVO
 - ILMAKOKOJEN TIEDOT: Esim. korjaustasoista
 - 1 CLT: Korkeusvahvuus [d] 240,0 mm; Lämmönjohtavuus [λ] 0,118 W/mK
 - 2 Eräosakerrosta
 - 3 Eräosakerrosta
 - 4 Eräosakerrosta
 - 5 Eräosakerrosta
 - 6 Eräosakerrosta
 - 7 Eräosakerrosta
 - 8 Eräosakerrosta
- ILMAKOKOJEN TIEDOT**
 - Ulkopuolen tuuletus: Minin tuuletus
 - Ilmarajojen korjaukset: Korjattuna 0
- METALLISTEN MUURAUSSITEIDEN TIEDOT**
 - Muurauksien tyyppi: Eriomateriaaliksi
- KOOLAUKSEN TIEDOT**
 - Kaistavahvuus [d]: Eteläpuolelta
- RAKENNE / LÄMPÖVIRTA**
 - Diagram showing heat flow through the wall with labels: Ulkopuoli, Sisäpuoli, Lämpövirta väliin, max 60°, and various material layers like Vahvuus, Ilmaraja, and Aluspuu.

Right Panel: Results and Diagrams

- Puurakenteinen ulkoseinä**

	d [mm]	λ [W/mK]	R [m²K/W]
Sisäpuoli			0,1500
1 CLT	240	0,118	2,0319
Ulkopuoli			0,1500
- Rakenteen kokonaisvahvuus**: 240 mm
- MUURAUSSITEET ERISTEEN LÄPI**
 - OSA-ALUEIDEN PINNAT-ALASUUDET: f_s 1,000, f_e 0,000, f_e 0,000, f_s 0,000
 - OSA-ALUEIDEN LÄMPÖVASTUKSET: R_s 2,442, R_e 0,000, R_e 0,000, R_s 0,000
 - U-ARVO: R_T 2,442, R_T 2,442, U 0,409, ΔU₁ 0,000, ΔU_e 0,000, ΔU₂ 0,000
- ULKOSEINÄN U-ARVO**: U₀ = 0,4095 W/m²K
- VIRHEILMOITUKSET**: Empty table.

Kuva 29. CLT -elementin U -arvo.

11 ILMATIIVEYS JA VESIHÖYRYNLÄPÄISEVYYS

Ympäristöministeriön maankäyttö- ja rakennuslaki 782/2017, luku 6, §24 määrittelee rakennuksen kosteusteknisen toimivuuden ulkoseinien osalta seuraavasti:

”Ulkoseinän ja sen eri kerrosten on muodostettava kokonaisuus, joka estää veden haitallisen kulkeutumisen rakenteiden sisään. Ulkoseinän ja sen eri kerrosten sekä ulkoseinään liittyvien rakenteiden ja ulkoseinän liitosten vesihöyrynvastuksen ja ilmatiivyyden on oltava sellainen, ettei seinän kos-

teuspitoisuus sisäilman diffuusion tai konvektion vuoksi muodostu rakenteen kosteusteknisen toimivuuden kannalta haitalliseksi. Jos rakenteessa on käytetty ilmansulkua tai höyrynsulkua, on saumojen, reunojen ja läpivientien oltava tiiviitä.” (YM, maankäyttö- ja rakennuslaki 782/2027, luku 6, §24)

Höyrynsulun tärkeimpänä tehtävänä on estää rakenteen läpi tapahtuva haitallinen diffuusio. Diffuusiosta vesihöyry kulkeutuu rakenteissa sisältä ulospäin. Höyrynsulku tulee sijoittaa rakenteen lämpimälle puolelle. Höyrynsulkuna voi olla mikä tahansa ainekerros. Ainekerroksen tulee olla tiivis, yhtenäinen ja sillä on oltava riittävä vesihöyryn vastus. Höyrynsulkuna voi toimia esimerkiksi kalvo, levy tai massiivipuorakenne. Vesihöyrynvastus höyrynsuluille esitetään nykystandardeilla osapaine-eroon perustuvana vesihöyrynvastuksena Z_p (m^2sPa/kg) (RIL 107-2012, 27).

Ilmansulun tärkeimpiä tehtäviä on estää haitalliset ilmavirtaukset rakenteissa. Tärkein ominaisuus ilmansululle on liitoskohtien ja läpivientien tiivistettävyyden ja saumattomuus. Ilmansulkuna, kuten höyrynsulkuna voidaan käyttää kalvoa, levyä tai massiivipuorakennetta, joka on vaipparakenteen lämpimällä puolella. Höyryn- ja ilmansulkuna toimii yleensä sama ainekerros. Massiivirakenteisessa ulkoseinässä, jossa ei ole lämmöneristeitä, toimii koko rakenne ilmansulkuna. Tässä tapauksessa on elementin saumat ja -liitoskohdat tiivistettävä huolellisesti. Tuulensuojan tehtävänä on estää haitalliset ilmavirtaukset eristekerroksissa (RIL 107-2012, 27).

Tuulensuoja tulee asentaa lämmöneristekerroksen ulkopintaan. Tuulensuojaksi sopii kalvo, levy tai massiivipuorakenne (RIL 107-2012, 28).

11.1 Puurunkoinen suurelementti

Tässä opinnäytetyössä vertailevana puurunkoisena suurelementtinä (kuva 1) käytettävän rakenteen höyryn- ja ilmansulkuna toimii 50 mm paksu, ympäröity uretaanilevy, joka on pinnoitettu diffuusiotiiviillä alumiinipinnoitteella levyn molemmilla puolilla. Vaihtoehtona höyryn- ja ilmansulkukerrokseksi on esimerkiksi höyrynsulkumuovi kuten vaihtoehtoisessa, kuvan 2 rakenteessa on esitetty. Eri rakennusmateriaaleilla on erilainen kyky läpäistä vesihöyryä ja rakenteen eri kerroksissa on erilainen vesihöyryn osapaine, joka pyrkii tasaantumaan rakenteissa. Diffuusiolaskennalla voidaan selvittää, tiivistyykö rakenteissa kulkeva vesihöyry jonkin rakennekerroksen pinnassa nesteeksi.

Diffuusiolaskentaesimerkissä (kuva 30), on rakenteena käytetty kuvan 1 rakennetta. Esimerkkilaskelma on tehty tammikuun keskiarvo lämpötilojen ja ilman suhteellisen kosteuden mukaan. Rakenteen kostein rajapinta esimerkkilaskennan mukaan on tuulensuojan ja lämmöneristeen välissä,

jossa vesihöyry ei kuitenkaan tiivisty nesteeksi. Rakenne siis toimii Ympäristöministeriön asetuksen mukaisesti myös laskennallisesti.

Taulukko 1. Puurunkoisen suurelementin diffuusiolaskelma

	Paksuus		Lämmönjohtavuus (λ_v)	Lämmönvastus R	R/Rkok	Lämpötilan muutos ΔT		T	Pk	$Z_p \cdot 10^9$	Z_p/Z_{pkok}	Δp	p	RH		
	(d) m	Lämmönjohtavuus (λ_v)				sisälämpötilasta										
								20	2337,8				930,1	39,8 %	Sisälämpötila	20
Sisäpinta				0,13	0,023	0,65		19,4	2252,9				930,1	41,3 %	Ulkoilman lämpötila	-8
Kipsilevy	0,013	0,21	0,06	0,011	0,31			19,0	2197,8	0,50	0,02	12,3			Ulkoilma vesihöyrypitoisuus	2,18
Finfoam PIR50	0,05	0,022	2,27	0,403	11,30			7,8	1065,2	25,00	0,94	616,1			RHu	86 %
Mineraalivilla 150mm	0,15	0,05	3,00	0,533	14,91								301,6	28,3 %	Pk	319,2
+runko								-7,2	342,4				283,1	82,7 %	Kosteuslisä	5
Tuulensuojakipsilevy	0,009	0,23	0,04	0,007	0,19					0,75	0,03	18,5			Pu	274,5
								-7,4	336,5				274,5	81,6 %	vk(20C)	17,28
Ulkopinta				0,13	0,023	0,65									vs	6,9
								-8,0	319,2				274,5	86,0 %	RHs	39,8 %
Tuuletusväli	0,05														Ps	930,1

Rakennuksen vaipan ilmanvuotolukuna (q_{50}) on suunnittelussa käytettävä arvoa $4 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$, pois lukien rakennukset, joihin ilmavuotoluku on osoitettu mittaamalla. Esimerkkirakenteella (kuva 1) rakennetun Vihdin Lastensuojeluyksikön päärakennuksen ilmanvuotoluvuksi on Insinööritoimisto Makrotek Oy mitannut 28.5.2018 $q_{50} = 0,9 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$. Elementit tuohon kohteeseen toimitti Rakennusliike Leimarakentajat Oy.

Vertailevan rakenteen (kuva 1) höyryn- ja ilmansulku varmistetaan liimamalla diffuusiotiiviin, ympäröidyttyä uretaanilevyn pontit uretaanivaahdolla, sekä teippaamalla saumat tiiviiksi alumiiniteipillä (kuvat 31 ja 32). Yläpohjan tiivistämiseksi elementin yläreunaan asennetaan elementin valmistuksen yhteydessä höyrinsulkumuovin kaistale, joka limitetään ja teipataan yläpohjan höyryn- ja ilmansulun kanssa yhtenäiseksi (kuva 33). Tällöin yläpohjan ja ulkoseinän yhtenäiseksi ja tiiviiksi saattaminen on työmaalla mahdollista. Yläpohjan höyrinsulku limitetään ja teipataan tiiviiksi ja yhtenäiseksi ulkoseinäelementin kanssa.



Kuva 30. Uretaanivaaho uretaanilevyn ponttiin.



Kuva 31. Höyryn- ja ilmansulun tiiviiksi teippaaminen



Kuva 32. Ulkoseinäelementin höyrynsulun limitysvaraus yläpohjan höyrynsulkuun.

11.2 CLT-elementti

Koska CLT on massiivipuurakenne, se omalta osaltaan vaikuttaa positiivisesti sisäilman laatuun. Puu on ns. hygroskooppinen materiaali ja toimii rakenteessa kosteuspuskurina tasaten rakennuksen sisäilman kosteutta. Massiivipuu imee huoneilmasta kosteutta itseensä ja huoneilman kuivussa vapauttaa kosteuden takaisin huoneilmaan. Yksiaineisena rakenteena CLT -runko sallii osapaineiden tasaantua diffuusiona rakenteen läpi, eikä diffuusiolaskentaa tarvita. Vaikka CLT on rakenteena hengittävä, se on silti myös tiivis (Oy CrossLam Ltd, 2014).

12 SÄHKÖT JA TALOTEKNIikka ULKOSEINÄELEMENTISSÄ

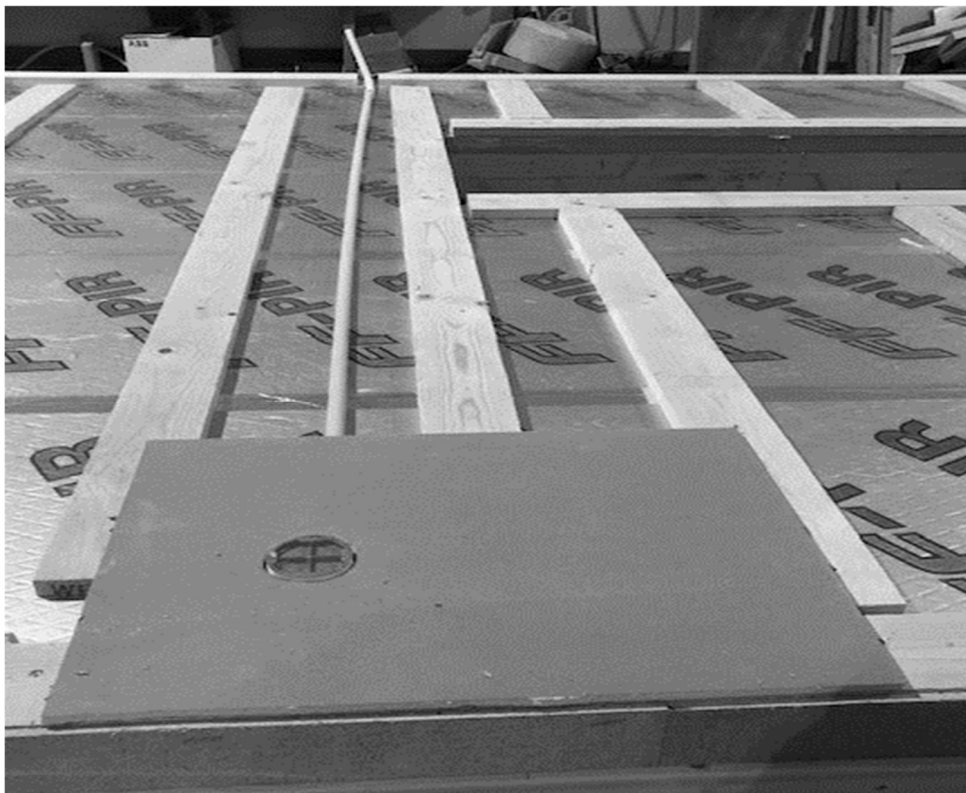
Nykypäivänä sähköä, sähköjärjestelmiä ja datakaapelia tarvitaan jokaiseen huoneeseen ja tilaan. Sähköjohtoja ei enää asenneta entisajan malliin pinta-asennuksena, vaan kaiken tekniikan on kuljettava seinien ja muiden rakenteiden sisällä näkymättömissä. Myös sähkörsiat ja katkaisimet upotetaan siististi rakenteisiin.

Sähkösuunnittelu ja – toteutus tulee rakennuskohteissa suunnitella niin, ettei työstä aiheudu sähkö- tai paloturvallisuutta vaarantavia tekijöitä.

Sähkösuunnitelmat on tehtävä niin, että ne täyttävät rakennuksen käyttöön suunnitellut vaatimukset ja mahdollisuuksien mukaan on otettava huomioon rakennuksen elinkaaren aikana odotettavissa olevat muutokset (TalotekniikkaRYL, 2002, 93).

12.1 Sähkö- ja talotekniikka puurunkoisessa suurelementissä

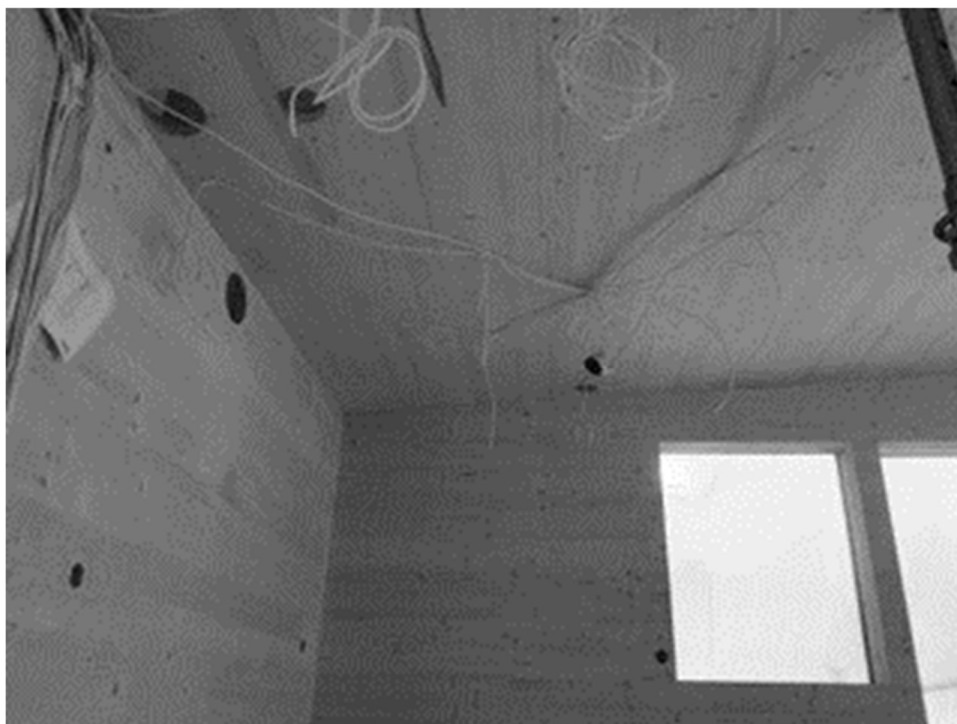
Puurunkoisessa suurelementissä sähkö- ja muun talotekniikan vieminen ja asentaminen rakenteissa on melko helppoa niin elementin ulko- kuin sisäpuolellakin, koska elementin molemmat valmiit pinnat tarvitsevat koolaukset. Sisäpuolen kipsilevypinnalle kuvan 2 rakenteessa koolauspuuna on 25x100 mm lauta, joka mahdollistaa koolauksien välissä 20 mm sähköputken viemisen ja 38 mm korkean kojerasian asentamisen sähkövaraukseksi rakenteeseen. Ulkopuolen sähkövarauksiin jää enemmän pelivaraa, koska kuvan 2 rakenteessa julkisivupaneelille koolaus tehdään 2x25x50 mm koolausrimalla. Tällöin tuuletusväliin on helppoa asentaa 20 mm sähköputki ja kojerasia, jonka syvyys on 47 mm. Elementin yläpään asentetaan taipuisa sähköputki sähköasennuksien jatkotöiden helpottamiseksi. Kuvassa 34 on havainnekuva sisäpuolen sähkövarauksesta puurunkoisessa suurelementissä.



Kuva 33. Puurakenteisen suurelementin sisäpuolen sähkövaraus.

12.2 Sähkö- ja talotekniikka CLT-elementissä

CLT -elementin massiivipuurakenteen vuoksi sähkö- ja talotekniikan vieminen rakenteissa on huomattavasti haasteellisempaa kuin puurunkoisessa suurelementissä, jossa voi hyödyntää koolauspuiden välejä. Rakennuskoh-teissa, joissa runkoratkaisuna on CLT -elementti, tulee sähkö- ja talotekniikkasuunnitteluun kiinnittää erityistä huomiota. CLT -elementtiinkin on mahdollista tuottaa sähkötekniikka rakenteisiin piilotettuna. Mikäli sähkö-asennus ja -rasiat halutaan perinteisiin paikkoihin, on niille jyrjittävä CLT -elementin runkoon tila, joka ei ole kustannustehokasta. Sähkö- ja talotekniikan vaatimiin urituksiin on CLT Plant Oy:llä erillinen työstö-/porauslaite, joka toimii tietokoneohjelman avulla asentaen sähkörasian yms. varaukset millilleen haluttuun paikkaan. Porassa on 2 metriä pitkä terä, joten halutusta rasian paikasta riippuen, varaus sähköjohdoille työstetään joko elementin ylä- tai alapuolelta. Virheellisesti työstettyä rasianpaikkaa ei CLT -elementissä voida puurunkoisen suurelementin tavoin paikata, joten sähkösuunnittelu tulee tehdä tarkasti ja huolellisesti. Vaihtoehtona massiivipuun jyrjimiselle on esimerkiksi hyödyntää valokatkaisijoissa langatonta tekniikkaa, jolloin säästytään turhalta elementin työstöltä. Sähkörasiat on mahdollista sijoittaa esimerkiksi lattiaan. Hyvin suunniteltuna CLT -elementtiä ei välttämättä tarvitse jyrjiä, eikä muutoin työstää sähkö- ja talotekniikan vuoksi. Sähkövarauksia CLT -elementissä kuvassa 34. CLT Plant Oy:n tuotantotiloissa oli kuvaaminen kielletty, joten tähän opinnäytetyöhön ei saatu kuvaa sähkövarauksia poraavasta työstölaitteesta (CLT Plant OY, 2018).



Kuva 34. Sähkövaraukset CLT -Elementissä. (Hermelin, 2018)

13 KUSTANNUKSET

Kustannukset ovat suurin yksittäinen peruste valita runkorakenneratkaistu. Kahden erilaisen tuotteen sekä eri toimittajien tuottamien tuotteiden tasavertainen hintavertailu on suhteellisen haastavaa. Saadakseen hintavertailusta mahdollisimman tasavertaisen, tulisi kummankin tuotteen olla valmistusasteeltaan samankaltaisessa tilassa. Puurunkoinen suurelementti on elementtitehtaalta työmaalle lähtiessä sisäpuolelta kipsilevypinnassa, joka minimissään tarvitsee tasoite- ja maalipinnan asennuksen jälkeen. Mikäli julkisivu paneloidaan, paneeli asennetaan yleensä pohjamaalattuna ja se maalataan valmiiksi vasta työmaalla. Puurunkoisen suurelementin hinta koostuu useasta eri rakennekerroksesta ja niihin vaadittavista työpanoksista. Suurelementin ulosmyyntihinta on noin 97 €/m², riippuen esimerkiksi paneelin laadusta ja koosta tai muista asiakkaan toivomista erityistoi-veista. Sähkö- ja talotekniikan osalta puurunkoiseen suurelementtiin ei juurikaan tule lisäkustannuksia, koska niiden asentamiseen ei tarvitse erikseen työstää mitään varauksia.

CLT -levy hinnoitellaan kuutio hinnalla, joten CLT -seinäelementin neliöhinta on suoraan verrannollinen elementin runkopaksuuteen. CLT -elementti voidaan viimeistellä, hioa ja pintakäsitellä niin ulko- kuin sisäpuoleltakin jo tehdasoloissa. Tällöin CLT -elementti lähtee tehtaalta käyttäjälle täysin valmiina tuotteena. CLT -levyn ulosmyyntihinta on CLT Plant Oy:n tuotantopäällikön mukaan n. 550 €/m³, riippuen levyn pintojen valmistusasteesta. Laskennallisesti tässä opinnäytetyössä vertailussa olevan 240 mm paksun CLT -seinäelementin (kuva 5) neliö hinnaksi tulisi noin 132 €/m². CLT-seinäelementin hintaan vaikuttavat myös sähkö- ja talotekniikkaan tarvittavien töstöjen määrä, sekä ovi- ja ikkuna-aukkojen sahaukset. Kustannusarvioihin ei ole sisällytetty ovia tai ikkunoita, eikä niiden asennus-työstä koituvia kustannuksia (CLT Plant Oy).

CLT -elementti jäisi näin laskettuna jonkin verran puurunkoista suurelementtiä kalliimmaksi. Se, onko hintaero ekologisuutensa tai jonkun muun seikan takia syy tehdä ostopäätöksiä vertailussa olevien rakenteiden puolesta tai vastaan, jää aina asiakkaan päätettäväksi.

14 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli selvittää puurunkoisen suurelementin ja CLT -levystä valmistetun massiivipuu-ulkoseinäelementin eroja ja laitteita mahdollisesti paremmuusjärjestykseen. Vertailin näiden kahden elementti rakenteen elementtiliitoksia, aukonilytyskeinoja, logistisia eroavai-

suuksia, energiatehokkuutta ja U-arvoa, ilmatiiveyttä ja vesihöyrynläpäisevyyttä, sekä sähkö- ja talotekniikkaa elementin rakenteissa. Rajasin aiheet pääsääntöisesti niihin kysymyksiin, joista mahdolliset erot syntyivät. Rajasin ulkopuolelle tietoja esimerkiksi huoneistojen väliseinien rakenteista, ylä- ja alapohjarakenteista, koska ne ovat toteutettavissa samalla tavalla riippumatta onko seinäelementtinä puurunkoinen suurelementti vai CLT -elementti.

CLT -levy ja CLT -elementti ovat melko tuore tuote rakentamismarkkinoilla verrattuna puurunkoiseen suurelementtiin, jota alkeellisesti on valmistettu yli sata vuotta ja kehitettykin jo useita kymmeniä vuosia. Kokonaisuutena arvioiden niin puurunkoinen suurelementti kuin CLT -elementti ovat erittäin hyviä ja kestävä kehityksen omaavia rakentamisen muotoja. Molempien rakentamistapojen hiilijalanjälki on suhteellisen pieni.

Tutkimukseni mukaan CLT -elementillä rakentaminen tulisi aavistuksen verran kalliimmaksi verrattuna puurunkoiseen suurelementtiin. Kuitenkin, mikäli on uskomisen CLT -levy- ja CLT -elementtitoimitukseen, CLT:n edut ovat hintansa väärä. CLT -levy on massiivipuorakenteensa takia käyttöikänsä ylivertainen, sekä ekologisuutensa vuoksi tulevaisuuden rakennusmateriaali. Puurunkoisen suurelementin edut sen sijaan ovat taloudellisuus ja know-how, koska sillä on pitkät perinteet rakennusmarkkinoilla.

Näiden vertailussa olevien elementtien valmistuksen suurimpia eroja on se, että CLT -levy ja CLT -elementit voidaan valmistaa käytännössä alusta loppuun automaation avulla, kun taas puurunkoisen suurelementin valmistamisessa on työvaiheita, joita automaatio ei kykene tekemään. Yksi ja ehkä tärkein työvaihe, johon tarvitaan harjaantunutta silmää, on elementin eristäminen ja siihen ei robotti pysty. CLT -elementin etuina on sen mittatarkkuus, joka myös mahdollistaa sen, ettei CLT -rakennuksessa välttämättä tarvita lattia-, ovi- tai ikkunalistoja laisinkaan. CLT -elementillä päästään noin 1 mm mittatarkkuuteen.

Molempien elementtirakenteiden liitokset ovat varsin samankaltaiset. Puurunkoisen suurelementin tiivistäminen valmiiksi asennettujen höyrynsulun limitsvarausten ansiosta on paremmin toteutettavissa. Aukkojen ylitykseen CLT -elementti on erinomainen, koska se massiivipuorakenteena toimii myös aukonylityspalkkina.

Logistiikan kannalta CLT -elementtien kuljettaminen on taloudellisempaa kuin puurunkoisen suurelementin. Mikäli CLT -elementit suunnitellaan 2,7 m korkeiksi voidaan ne lastata vaakakuormaksi, jolloin yhteen kuormaan mahtuu huomattavasti enemmän elementtejä kuin pystykuormalla vietynä. Puurunkoiset suurelementit on toimitettava pääasiassa pystykuormina.

Kummankin rakenteen E -luku ja U -arvo olivat laskelmien mukaan Ympäristöministeriön vaatimusten mukaisia. Ilmatiiveydestä en saanut tähän

opinnäytetyöhön vertailevaa laskelmaa CLT -rakennuksen osalta. Ilmatiiheyden mittaamisessa on yhtä suuri merkitys ikkuna- ja oviaukkojen tiiviiksi saamisella, kuin seinärakenteen ja sen liitosten tiiveydellä.

Sähkö- ja talotekniikan tuominen ulkoseinän rakenteissa on jonkin verran vaivattomampaa puurunkoisessa suurelementissä, mutta ei kovin hankalaa myöskään CLT -elementissä. CLT -elementin osalta sähkövarausten suunnittelun ja toteutuksen tulee olla millintarkkaa, koska CLT -elementtiä ei voida paikata kuten esimerkiksi virheellistä sähköasianreikää kipsilevyssä.

Loppujen lopuksi tässä opinnäytetyössä vertailussa olleet elementtirakentamisen muodot on vaikea laittaa paremmuusjärjestykseen. Molemmissa rakenteissa kun on omat hyvät ja huonot puolensa. Puurunkoinen suurelementti oli kustannustehokkaampi ratkaisu ja CLT -massiivipuelementti hieman ekologisempi ja hiilijalanjäljeltään pienempi.

LÄHTEET

CLT Panels USA. (2013). *History of CLT*.

Haettu 31.8.2018 osoitteesta

<https://research.cnr.ncsu.edu/blogs/cls-panels/history-of-cross-laminated-timber/>

CLT Plant Oy. (2018).

Haettu 2.2.2018 osoitteesta

<https://www.cltplant.com/>

Koivuneva, J. (2015). *Puuelementtien asennus sekä niitä ohjaavat määräykset*. Opinnäytetyö. Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma. Oulun Ammattikorkeakoulu.

Haettu 4.11.2018 osoitteesta

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/100993/opinnaytetyo_joonakoivuneva.pdf?sequence=1

Oy CrossLam Kuhmo Ltd. (2014). *CLT-levyn tekniset tiedot*.

Haettu 28.1.2019 osoitteesta

<https://www.crosslam.fi/tuotteet/tekniset-tiedot.html>

Paloniitty Oy. (2018) *PUUKET Puurakentamisen kehittäminen ja tuotteistaminen*.

Haettu 20.2.2019 osoitteesta

<http://paloniitty.fi/files/Puuket%20Loppuraportti%20CLT%20tutkimus%20versio%202.pdf>

Puuinfo. (2001). *Avoin Puurakennusjärjestelmä*. Elementtirakenteet.

Haettu 24.1.2019 osoitteesta

<https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/avoin-puurakennusjarjestelma-elementtirakenteet/elementtirakenteet.pdf>

Puuinfo. (2012). *Puurakenteen U-arvon määrittäminen*. Excel laskentaohjelma: Puurakenteen U-arvo versio 1.03.

Haettu 29.1.2019 osoitteesta

<https://www.puuinfo.fi/mitoitusohjelmat/puurakenteen-u-arvon-m%C3%A4%C3%A4ritt%C3%A4minen>

Rakennustieto. (2017). *Ohjeet turvalliselle nostotyölle*.

Haettu 19.2.2019 osoitteesta

https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/oppaat-ohjeet/ohje_turvalliselle_nostotyolle_2017.pdf

RIL 107-2012. (2013). 3. painos. *Rakennusten veden- ja kosteudeneristys-ohjeet*. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
Haettu 16.2.2019

RunkoPES 2.0. (2018). *Avoim puuelementtistandardi*.
Haettu 1.3.2019 osoitteesta
<https://www.puuinfo.fi/suunnitteluohjeet/runkopes-20>

RunkoRYL. (2010). *Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset*. RT 14-11016.
Haettu 24.1.2019 osoitteesta
https://kortistot-rakennustieto-fi.ezproxy.hamk.fi/kortit/RT%2014-11016?query=RunkoRyl%202010&external_system=Juha&page=1

Stora Enso.2013. *CLT-Massiivipuुरakentaminen*.
Haettu 18.1.2019 osoitteesta
<http://www.clt.info/fi/tuote/clt-massiivipuुरakentaminen/tuotanto/>

Suomen Standardisoimisliitto, SFS ry. (2013). *CE-merkintä*.
Haettu 24.1.2019 osoitteesta
https://www.sfs.fi/julkaisut_ja_palvelut/standardi_tutuksi/ce-merkinta

TalotekniikkaRYL. (2002). *Talotekniikan rakentamisen yhteiset laatuvaatimukset, osa 2*.
Haettu 9.2.2019 osoitteesta
https://kortistot-rakennustieto-fi.ezproxy.hamk.fi/kortit/LVI%2001-10356?query=Talotekniikkaryl&external_system=Juha&page=1

Tervo, J. (2015). *Materiaalihukan pienentäminen CLT rakentamisessa*. Opinnäytetyö. Puutekniikan koulutusohjelma. Savonia Ammattikorkeakoulu.
Haettu 30.8.2018 osoitteesta
<https://docplayer.fi/38801299-Materiaalihukan-pienentaminen-clt-elementtien-valmistuksessa.htm>

Tieliikennelaki 1310/2018 §25 Muut päämitat. Valtioneuvoston asetus ajoneuvojen käytöstä tiellä annetun asetuksen muuttamisesta
Haettu 8.3.2019 osoitteesta
<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2018/20181310>

Ympäristöministeriö. (2016). *Rakentamismääräyskokoelma. Rakenteiden lujuus ja vakaus. Puurakenteet, ohjeet, 2016*.
Haettu 17.2.2019 osoitteesta
[http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismääräyskokoelma/Rakenteiden_lujuus_ja_vakaus](http://www.ym.fi/fi/FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismääräyskokoelma/Rakenteiden_lujuus_ja_vakaus)

Ympäristöministeriö. (2017). Suomen Säädöskokoelma 1010/2017. Energiatohokkuus.

Haettu 28.1.2019 osoitteesta

<http://www.ymp.fi/fi->

[FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismääräyskokoelma/Energiatohokkuus](http://www.ymp.fi/fi-Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismääräyskokoelma/Energiatohokkuus)

Ympäristöministeriö. (2017). 782/2017 Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta.

Haettu 16.2.2019 osoitteesta

<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170782>