

RISTIKKOPALKKIRAKENTEISEN KATTOELEMENTIN SUUNNITTELU LAMMILOFT -MALLISTOON

Kalle Silvonen

Opinnäytetyö
Toukokuu 2013
Rakennustekniikka
Talonrakennustekniikka

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Talonrakennustekniikka

KALLE SILVONEN:

Ristikkopalkkirakenteisen kattoelementin suunnittelu LammiLoft -mallistoon

Opinnäytetyö 77 sivua, joista liitteitä 22 sivua
Toukokuu 2013

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia uuden ristikkopalkkipohjaisen kattoelementtiratkaisun kannattavuutta silmälläpitäen LammiLoft -talomallistoa. Tavoitteena oli pyrkiä kehittämään kattoelementtirakenne, joka täyttäisi tämänhetkiset ja tulevaisuuden vaatimukset lämmönläpäisykertoimen suhteen sekä olisi yhteensopiva Lammi-Kivitalojen valettavan lämpöharkkoseinän työjärjestyksen kanssa. Työn oli tarkoitus olla jatkoa Einari M. Auteron Lammi-Kivitaloille tekemälle opinnäytetyölle kattoelementtien ja paikalla rakennettavan yläpohjan vertailusta. Tästä syystä työssä ei käsitelty muita markkinoilla olevia elementtivaihtoehtoja, eikä paikalla rakennettavaa yläpohjavaihtoehtoa, vaan pyrittiin kehittämään uutta kattorakennusratkaisua.

Rakenteen kehittäminen aloitettiin määrittämällä reunaehdot lämmönläpäisykertoimelle ja rakenteen korkeudelle. Näiden reunaehtojen puitteissa pyrittiin löytämään sellaisia rakennusratkaisuja, joita käyttämällä rakenteesta saadaan tiivis ja hyvin käsiteltävissä oleva. Työn edetessä oli havaittavissa, että kehitettävään elementtiin kohdistuvat samat ongelmatekijät kuin olemassa oleviin ratkaisuihin. Näihin ongelmiin haettiin ratkaisuja tai rakennetta pyrittiin kehittämään näiden ongelmien välttämiseksi. Rakenteen heikkoutena voidaan todeta, että sen paino verrattuna muihin markkinoilla oleviin ratkaisuihin on olennaisesti suurempi, mikä saattaa vaikeuttaa sen käyttöä.

Työn lopputulemana voitiin todeta, että kehitteillä olevalla elementtirakenteessa on mahdollisuuksia tulevaisuuden elementtirakenteena, mutta ensin on ratkaistava monia asioita, joita varten olisi tehtävä jatkotutkimusta tekemällä prototyyppejä rakenteesta. Tätä kautta pystyttäisiin selvittämään rakenteen ongelmia ja teoriatasolla käsiteltyjä ratkaisuja käytännön kokein.

Kehitetty elementtirakenne on valmistuskustannuksiltaan varsin kilpailukykyinen tuote elementtimarkkinoille. On kuitenkin tärkeää pitää mielessä, että kustannukset eivät aina ole ratkaiseva asia rakentamisen kilpailukentässä. Monesti paremmasta rakennevaihtoehdosta ollaan jopa valmiita maksamaan enemmän.

KALLE SILVONEN:

Designing a truss beam based roof element for LammiLoft -house collection

Bachelor's thesis 77 pages, appendices 22 pages

May 2013

The meaning of this thesis was to research the possibilities and profitability of a new kind of truss beam based roof element for LammiLoft -house collection. The goal was to find a way to develop an element structure that would meet the standards set for the U-values of roof structures not only today but also in the future. The thesis is an extension study for the thesis of Einari M. Autero so all the other element structures are left out of this thesis.

Developing of the structure was started with setting the boundary conditions for the U-values and the height of the structure. After setting the boundary conditions the plan was to look for structural solutions that would make the structure well insulated and easily handled.

As the study advanced it was to be noticed that the element structure under planning was meeting the same obstacles as all the other element solutions on the field. The plan was to find solutions for these problems or to develop the structure so that they could be avoided in advance.

As an outcome for this study it could be stated that this element structure could have possibilities to be used in the future. There are still many problems to be solved by tests with life sized prototypes. This way it would be possible to solve the problems of the structure and prove the theories made in this thesis. One fact concerning the structure is that it's a lot more difficult to handle the big elements than the lighter polyurethane based elements.

The cost efficiency of the structure is pretty good when it comes to production costs. This will make it able to challenge all the other element structures on the market. Still it's good to remember that the costs of the structures aren't always the most important thing. Sometimes customers are even willing to pay more if they know they're getting a more reliable solution.

Key words: roof, element

SISÄLLYS

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | JOHDANTO..... | 7 |
| 2 | TAVOITTEET | 8 |
| 2.1 | Yleistä | 8 |
| 2.2 | Rajaukset..... | 9 |
| 3 | ELEMENTIN RAKENNE | 10 |
| 3.1 | Yleistä | 10 |
| 3.2 | Korkeuden määrittäminen..... | 10 |
| 3.3 | Eriste | 14 |
| 3.3.1 | Puhalluseristeet | 15 |
| 3.3.2 | Levyvillat ja muut levyeristeet..... | 17 |
| 3.4 | Rakennekerrokset..... | 18 |
| 3.4.1 | Höyrynsulkukerros | 19 |
| 3.4.2 | Eristekerros | 21 |
| 3.4.3 | Kotelointi | 23 |
| 3.4.4 | Jäykisteet..... | 24 |
| 3.5 | Valmiusaste..... | 26 |
| 3.5.1 | Yläpinnan valmiusaste | 26 |
| 3.5.2 | Alapuolen valmiusaste | 27 |
| 3.5.3 | Räystäiden valmiusaste | 27 |
| 3.6 | Elementtimallit..... | 28 |
| 3.6.1 | Lape-elementti..... | 28 |
| 3.6.2 | Läpivientielementti | 29 |
| 3.6.3 | Päätyräystäselementti..... | 29 |
| 4 | LIITOKSET..... | 31 |
| 4.1 | Yleistä | 31 |
| 4.2 | Liitos sivuräystäällä | 31 |
| 4.3 | Liitos harjalla | 33 |
| 4.4 | Liitos yläräystäällä..... | 35 |
| 4.5 | Liitos pulpettikaton keskilinjalla | 37 |
| 4.6 | Liitos päätyseinällä | 39 |
| 4.7 | Elementtien keskinäinen liitos | 41 |
| 4.8 | Liitosten ilmanpitävyyden varmistaminen..... | 43 |
| 5 | KULJETUS- JA TYÖMAAJÄRJESTELYT | 44 |
| 5.1 | Kuljetusta koskevat vaatimukset | 44 |
| 5.2 | Välivarastointi työmaalla..... | 45 |
| 5.3 | Nostot..... | 45 |

| | |
|--|----|
| 5.4 Työ- ja asennusjärjestys..... | 46 |
| 5.5 Kiinnittäminen | 47 |
| 6 ELEMENTIN VALMISTUSKUSTANNUKSET | 48 |
| 6.1 Yleistä | 48 |
| 6.2 Valmistuskustannukset | 48 |
| 7 KANNATTAVUUDEN ARVIOINTI JA JOHTOPÄÄTÖKSET..... | 50 |
| LÄHTEET..... | 52 |
| LIITTEET | 53 |
| Liite 1. Elementtikaavio | 53 |
| Liite 2. LammiLoftin pohja- ja leikkauspiirustukset..... | 54 |

LYHENTEET JA TERMIT

| | |
|-------------|---|
| λ_d | Lämmönjohtavuuden suunnittelu-arvo (W/mK) |
| U-arvo | Lämmönläpäisykerroin W/(m ² K) |

1 JOHDANTO

Lammi-Kivitalot Oy on johtava kivirakenteisten pientalojen toimittaja Suomessa. Lammi-Kivitalot Oy:n toiminta-ajatuksena on aina ollut yksilöllisyyden korostaminen. Jokainen Lammi-Kivitalot -kohde pyritään suunnittelemaan rakennuttajan suunnitelmiin ja tavoitteiden mukaisesti. Lammi-Kivitalot Oy ei perusta toimintaansa talokirjamallistoon, vaan jokainen kohde suunnitellaan ja toteutetaan asiakkaan yksilöllisten toiveiden mukaan. Tässä konseptissa asiakkaalla ja asiakkaan tavoitteiden täyttämiseksi palkatulla suunnittelijalla on aina keskeinen rooli. Tällä hyväksi ja lopputuloksen kannalta laadukkaaksi kehitetyllä konseptilla Lammi-Kivitalot Oy on noussut kivitalojen markkinajohtajaksi Suomessa sekä saavuttanut vahvan aseman koko pientalomarkkinoilla.

Vastapainoiksi lähes rajattomalle suunnitteluvapaudelle Lammi-Kivitalot Oy on käynnistänyt LammiLoft -nimellä kulkevan kehityshankkeen, jonka tavoitteena on kehittää perinteistä, lähes rajattomaan suunnitteluvapautteen verrattuna hieman perinteisempi ja rajatumpi suunnitteluratkaisu. Tavoitteena LammiLoft -malliston ja ajattelumallin kehittämisessä on ollut suunnitella vaihtoehto lähinnä ensiasunnonostajille, aktiivisille ikääntyville rakennuttajille tai tehokas ratkaisuvaihtoehto aluerakentamisen haasteisiin. Tavoitteena on ollut keskikokoinen, mallistoltaan tehokkaaksi suunniteltu, energiatehokkuudeltaan sekä samalla kustannusten näkökulmasta tehokas ratkaisu. LammiLoft -konseptissa keskeisiä ominaisuuksia ovat rakennuksen pitkälle viety arkkitehtoninen malli ja ilme, vakioitu runkosyvyys sekä vakioidut tarkkaan harkitut rakennustekniset sekä talotekniset perusratkaisut. Vakioidulla runkosyvyydellä on mahdollista saavuttaa monta tehokasta toteutusta tehostavaa etua, joista keskeisin yläpohjan elementoiminen valmiiksi järjestelmäksi.

Tässä työssä on keskitytty LammiLoft-malliston yläpohjan elementtijärjestelmän kehittämiseen. Tavoitteeksi on asetettu selvittää, millä edellytyksin elementointi olisi mahdollista toteuttaa sekä laatia valmistussuunnitelmat elementtien valmistukselle.

Tavoitteeksi asetetaan elementin suunnitteleminen ristikkopalkin ympärille, mikä mahdollistaa elementin pituuden (runkosyvyyden), elementin korkeuden ja eri eristevaihtoehtojen vapaan tarkastelun ja ratkaisun valinnan.

2 TAVOITTEET

2.1 Yleistä

Tämän selvityksen tavoitteena oli tutkia ristikkopalkkirakenteisen kattoelementin soveltuvuutta kehitteillä olevaan LammiLoft -talomallistoon. Kyseessä on Lammi-Kivitalojen mitoiltaan vakioitu talomalli, jossa tavoitteena asetettiin yläpohjan toteuttaminen elementtirakenteisena.

Selvityksessä määritellään kehitettävän elementin eri rakennekerrosratkaisut sekä pyritään löytämään ja ratkaisemaan rakenteen mahdolliset ongelmakohdat. Elementin kehittämistä ohjaavat reunaehdot perustuvat rakentamista koskeviin määräyksiin sekä rakenteen itsensä asettamiin rajoituksiin ja vaatimuksiin. Keskeisenä rakenteellisena vakiooletuksena on, että elementti rakentuu naulalevyristikoiden ympärille.

Markkinoilta löytyy monia valmiita kattoelementtimalleja, jotka ominaisuuksiltaan olisivat suoraan valmiita käytettäväksi kyseisessä talomallissa. Koska tässä selvityksessä tavoitteeksi asetettiin erityisesti uuden vaihtoehtoisen elementtityypin kehittäminen, muita vaihtoehtoja tarkasteltiin vain verrattaessa kehitettävän rakenteen ominaisuuksia ja tuotantokustannuksia markkinoilla oleviin elementtiratkaisuihin. Tällä tavalla pyrittiin määrittelemään kehitteillä olevan elementin tuotannollinen kannattavuus. Tärkeitä vertailukohteita ovat rakenteen lämmöneristävyys liittyvät ominaisuudet, kuljetettavuus, käsiteltävyys työmaalla ja kiinnittäminen sekä luonnollisesti elementin hinta verrattuna vastaaviin tuotteisiin.

Vertailutietoina selvityksessä käytetään Einari M. Auteron Lammi-Kivitaloille tekemässään opinnäytetyössä esitettyjä tuloksia markkinoilla olevista vaihtoehtoisista elementtiratkaisuista. Rakenteen määrittelyssä jätetään tietoisesti käsittelemättä olemassa olevien tuotteiden kaltaiset rakenteet, sillä ajatuksena on pyrkiä kehittämään uudenlaista elementtimallia, eikä kopioida olemassa olevaa.

Pääpaino selvityksessä oli ratkaista

- elementin dimensiot, rakennekerrokset ja liitokset
- käytettävissä olevat eristeratkaisut ja koko elementin eristekerroksen rakenne.

- ilmanpitävyyden varmistamiseen liittyvät seikat liitoksissa.
- työteknisesti tehokkaaseen asentamiseen liittyvät kysymykset.

2.2 Rajaukset

Elementtirakenne rajattiin etukäteen toteutettavaksi siten, että kantavana rakenteena toimii naulalevyristikkopalkki. Ristikkopalkin käytöstä kantavana rakenteena muodostuu toinen rakenteellinen rajausta eli elementin kotelorakenne, jossa elementti on koteloituna yhdeksi kokonaisuudeksi. Selvityksen ulkopuolelle päätettiin jättää erikoissuunnittelua vaativien ominaisuuksien tutkiminen. Tällaisia ominaisuuksia ovat esimerkiksi ristikkopalkkirakenteen jäykistäminen ja lopullisten kiinnitysten mitoittaminen.

3 ELEMENTIN RAKENNE

3.1 Yleistä

Elementin rakenteen suunnittelussa on otettava huomioon, miten elementin toiminnalle asetetut tavoitteet ja rakenneosien tuomat rajoitukset vaikuttavat elementin määrittämiseen. Keskeisenä tehtävänä on määrittää, mikä rakenteen ominaisuus toimii suunnittelua ohjaavana tekijänä. Kun elementin raja-arvot määräävä tekijä on selvillä, muiden rakenneratkaisujen suunnitteleminen on mahdollista.

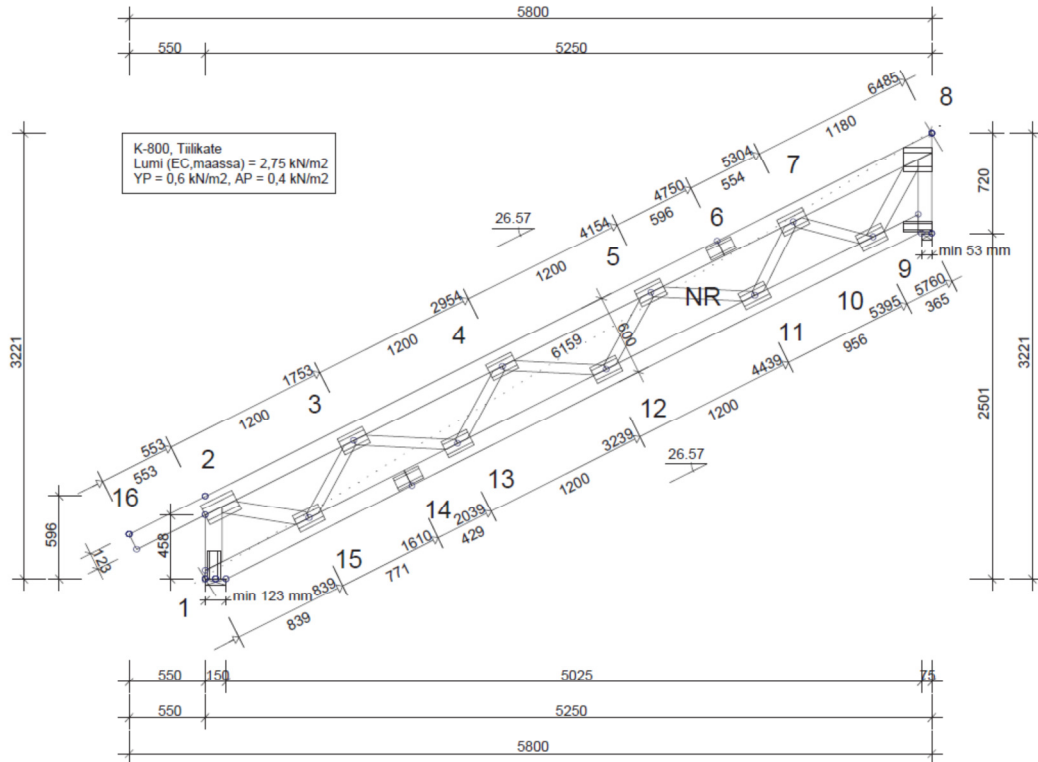
3.2 Korkeuden määrittäminen

Elementin korkeuden määrittämisen kannalta tärkeimpiä ominaisuuksia ovat käytettävän naulalevyristikkopalkin kantavuuden asettamat rajoitukset rakenteen korkeudelle ja halutun lämmönläpäisykertoimen eli U-arvon saavuttamiseksi tarvittavan eristekerroksen rakenne ja paksuus. Koska elementin jänneväli tulee olemaan yli viisi metriä, tässä tapauksessa on pääteltävissä, että määrittäväksi tekijäksi nousee ristikon korkeuden asettama raja-arvo vähimmäiskorkeudelle. Lisäksi tätä oletusta tukee se tosiasia, että eristekerroksen korkeutta pystytään säätämään haluttuun vahvuuteen yhdistelemällä eri eristeitä.

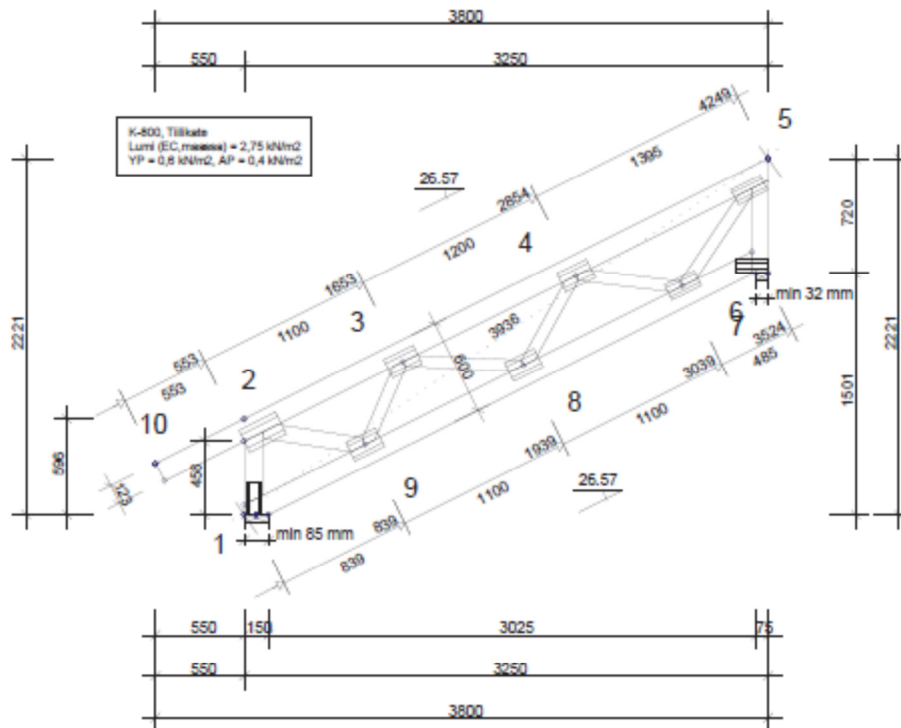
Elementissä tullaan käyttämään Kotasen Puutyö Oy:n valmistamia naulalevyristikkopalkkeja, joten käytettävän naulalevyristikon korkeus on varmistettava tehtaan ristikkosuunnittelijalta. LammiLoft -malliston vaihtoehtoisista eri runkoratkaisuista huolimatta kattoelementit pystytään toteuttamaan kolmena erimittaisena elementtinä talon runkosyvyyden pysyessä aina samana. Kantavan ristikkorakenteen kannalta määrävänä tekijänä toimii käytettävä ristikon alapaarten mitta, joka on 5250 mm.

Annettujen lähtötietojen perusteella Kotasen Puutyö Oy on tehnyt laskelmat ristikkopalkkirakenteen minimikorkeudesta käyttäen k800 mm ristikkojakoa. Alustavassa mitoituksessa on huomioitu 2,75 kN/m² eurokoodin mukainen lumikuorma maassa, 0,6 kN/m² kuorma yläpaarteelle ja 0,4 kN/m² kuorma alapaarteelle. Näiden lähtötietojen pohjalta ristikkorakenteen vähimmäiskorkeudeksi muodostui 600 mm.

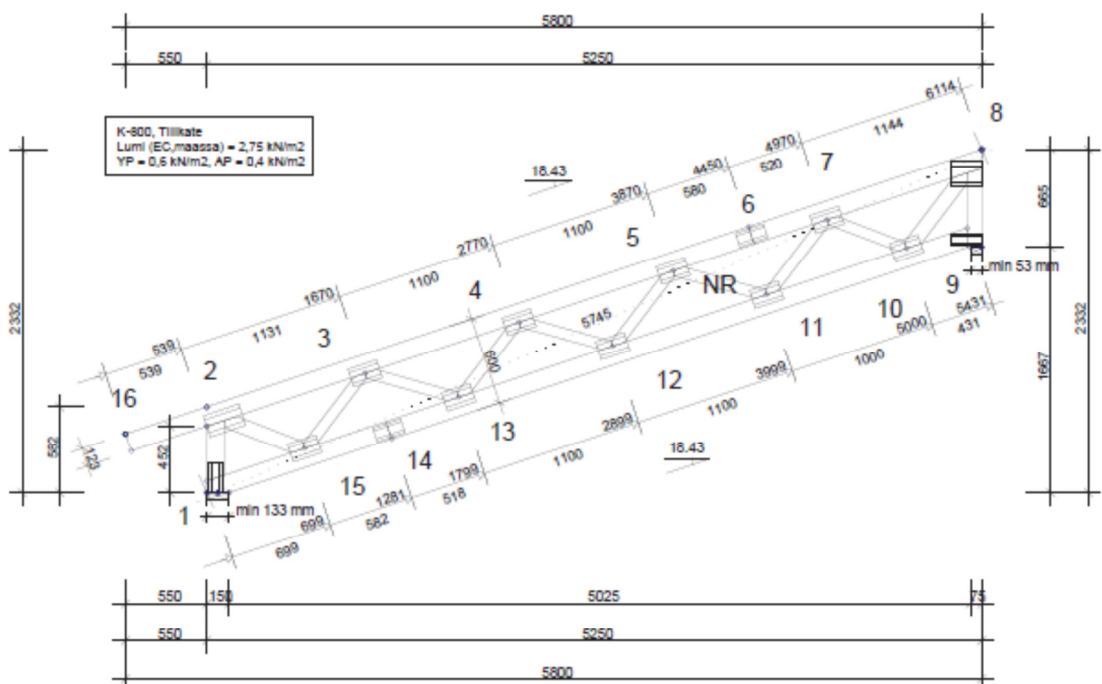
Selvityksen tavoitteeksi tarkentui tällöin selvittää, olisiko mahdollista suunnitella rakenne edellä esitetylle minimikorkeudelle siten, että rakenteen U-arvolle tässä selvityksessä asetetut tavoitteet täyttyvät. Kuvissa 1-5 on esitetty kaikkien LammiLoft -mallien naulalevyristikkopalkkien mitoitustiedot ja vähimmäismitat.



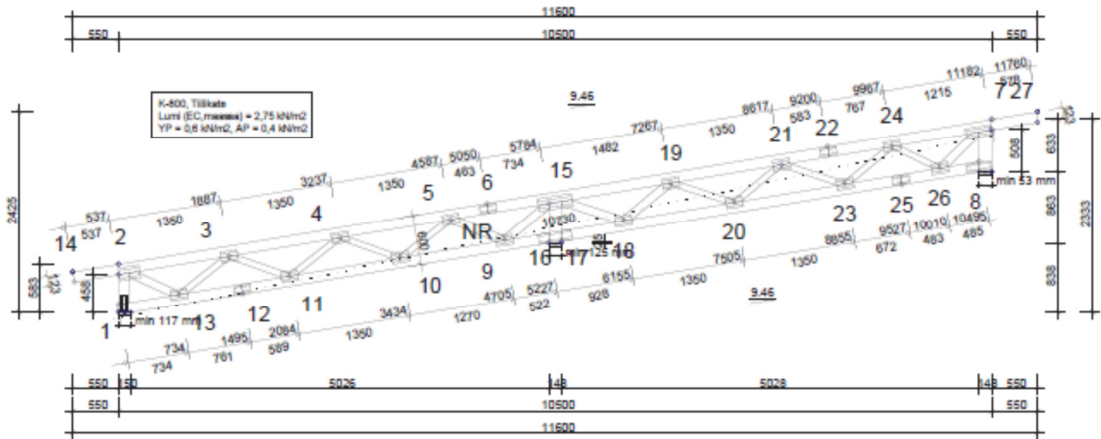
KUVA 1. Naulalevyristikon mittapiirustus, jyrkemmän harjakaton pidempi laperistikko (Kotasen Puutyö Oy)



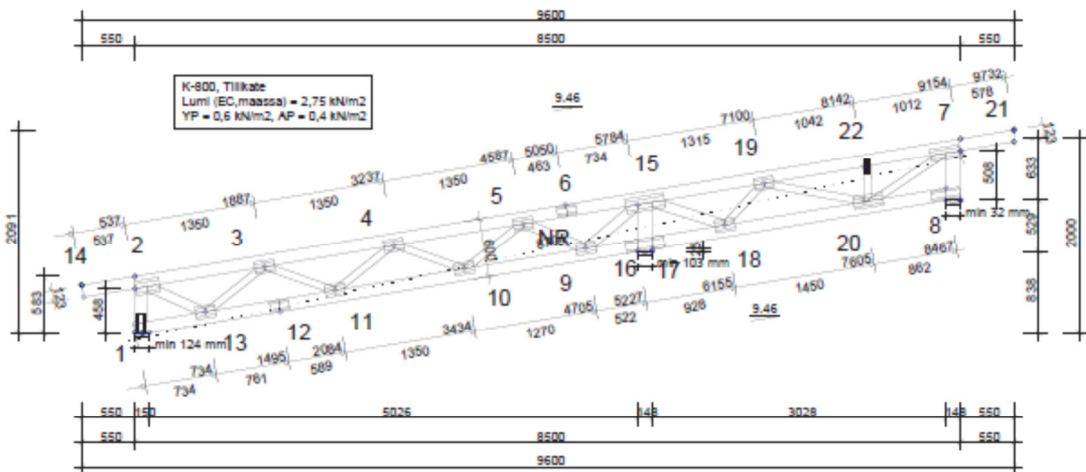
KUVA 2. Naulalevyristikon mittapiirustus, jyrkemmän harjakaton lyhempi laperistikko (Kotasen Puutyö Oy)



KUVA 3. Naulalevyristikon mittapiirustus, loivemman harjakaton laperistikko (Kotasen Puutyö Oy)



KUVA 4. Naulalevyristikon mittapiirustus, leveämmän lapekaton laperistikko (Kotasen Puutyö Oy)



KUVA 5. Naulalevyristikon mittapiirustus, kapeamman lapekaton laperistikko (Kotasen Puutyö Oy)

Alustavien laskelmien perusteella voidaan arvioida, että elementin vähimmäiskorkeus 600 mm voisi olla riittävä tavoitteiden näkökulmasta. Yhdistelemällä eri eristemateriaaleja ja ominaisuuksia, myös nykyistä vertailuarvoa paremman U-arvon saavuttaminen on valitulla elementin korkeudella saavutettavissa. Toisaalta tarve myöskään matalammalle rakenteelle ei ole perusteltua, sillä vertailu U-arvon 0,09 W/m²K (RakMk D3 2012) saavuttamiseksi perinteisellä puhallusvillaeristeellä 600 mm:n eristerkerros riittää. Elementin rakennekorkeutta ei myös kannata nostaa ilman perusteltua syytä, sillä rakenteen korottaminen lisää rakenteen painoa, mikä taas vaikeuttaa elementtirakenteen käsittelyä.

Edellä esitetty alustava tarkastelu ja lähtökohdaksi asetettu elementin tavoitteellinen korkeus 600 mm toimii siis reunaehtona rakenteen suunnittelua ohjaavana lähtöarvona.

3.3 Eriste

Lämmöneristeiden tulee olla käyttötarkoituksiinsa soveltuvia ja asetettujen vaatimusten mukaisia. Eristeiden tulee säilyttää ominaisuutensa rakenteen käyttöiän ajan. Suunnitelmissa esitetään vaatimusten täyttymisen kannalta riittävät tiedot käytettävistä lämmöneristeistä, lämmöneristysten rakenteesta ja mitoista sekä tarvittaessa eristystyön suorittamisen yksityiskohdista. (Suomen rakentamismääräyskokoelma C4. Lämmöneristys, ohjeet. 2003, 7.)

Eristeiden valinnassa tärkeänä tekijänä on tavoiteltava lämmönläpäisykerroin (U-arvo). Tällä hetkellä (2013) yläpohjan voimassa oleva vertailu U-arvo on $0,09 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Tulevaisuuden rakentamisessa huomio rakennetun ympäristön energiatehokkuutta kohtaan kuitenkin kasvaa. Rakennuttajat ovat jo nyt alkaneet tiedostaa tulevaa trendiä ja ovat siksi entistä kiinnostuneempia matalaenergiaratkaisuista. Siksi tulevaisuuden rakennukselta vaaditaan tulevaisuudessa nykyistä enemmän.

Yläpohjaelementin tavoitteelliseksi U-arvoksi vertailuarvon lisäksi asetettiin tässä selvityksessä arvo $0,05 \text{ W}/(\text{m}^2\text{k})$. Tämä yläpohjan lämmönläpäisykerroimen arvo valittiin tavoitteelliseksi raja-arvoksi siksi, että se riittänee lähes nollaenergiatasoisen kokonaisratkaisun toteuttamiseksi, kun ulkoseinän U-arvona käytetään arvoa $U=0,11 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$. Tämä ulkoseinän lämmönläpäisevyyden arvo on saavutettavissa Lammin betonin LL500 ulkoseinärakenteella. Koska energiatehokkuus on aina riippuvainen myös rakennuksen suunnitteluratkaisusta, ei pelkästään laskennallista suunnitteluarvoista, jokainen kohde tulee kuitenkin aina suunnitella yksilöllisenä ratkaisuna.

Koska valitulla elementin rakennekorkeudella ja perinteisellä puhallusvillakerroksella eristekerros riittää varmasti täyttämään tämän hetkisen vertailu U-arvon, selvityksen keskeiseksi tavoitteeksi tarkentui parempaan ääriarvoon ($U=0,05 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$) riittävän rakennusratkaisun kehittäminen. Lisäksi tarvittaessa kaikki esitettyjen tavoitearvojen väliset arvot ovat luonnollisesti saavutettavissa säätelämällä eristekerrosten ominaisuuksia.

Toisena merkittävänä tekijänä valinnan kannalta on eristeiden asennettavuus. Jotta päästäisiin kustannustehokkaaseen elementtiratkaisuun, eristeiden on oltava asennettavissa nopeasti ja vaivattomasti. Lisäksi luotettava asennettavuus takaa sen, että inhimillisen erehdyksen aiheuttamat lämpövuodot rakenteessa pystytään eliminoimaan.

Kolmantena huomioimisen arvoisena asiana on valittavien eristeiden kuljetuksen kestävyys. Käytettävän eristeen tulee kestää muodossaan siirrot välivarastointiin tehtaalla, kuljetukset tehtaalta työmaalle sekä asennuksen aikana aikaiset rasitukset.

3.3.1 Puhalluseristeet

Puhalluseristeellä tarkoitetaan rakenteeseen koneellisesti puhallettavaa kuitueristettä. Puhalluseristeen keskeisenä etuna on erityisesti asennuksessa saavutettava merkittävä työnsäästö. Puhalluseristeitä löytyy markkinoilta kahta lajia, mineraali- ja puukuitueriste. Puhallettavat mineraalieristeet jakautuvat lisäksi lasi- ja vuorivilloihin. Puhallettavaa lasivillaeristettä ei kuitenkaan valmistajan puolelta suositella käytettäväksi ontelopuhallukseen, joten sitä ei käsitellä tässä tutkimuksessa mahdollisena eristeratkaisuna. Puhallettavia puukuitu- ja vuorivillaeristeitä valmistetaan monella tuotemerkillä. Tähän selvitukseen on kuitenkin valittu vain osa tuotemerkeistä tuotteiden ominaisuuksien ollessa lähes samat kaikkien valmistajien tuotteilla. Tuotemerkeistä on valittu mukaan rakentamisessa yleisimmin käytettyjä ja hyväksi havaittuja tuotteita.

Mikäli rakenteessa käytetään puhallettavaa kuitueristettä, eristeen kuljetuksen kestävyys on huomioitava käyttämällä riittävää puhalluspainetta, jolloin tuote saadaan rakenteeseen riittävän tiiviisti. Lisäksi on huomioitava, että puhalluseristekerroksen ylittäessä 500 mm korkeuden, tulee ottaa huomioon 10-15%:n painuma tuotteesta riippuen. Tämä painuma huomioidaan puhaltamalla ylimääräinen eriste rakenteeseen riittävällä puhalluspaineella, jolloin jälkipainumaa ei tapahdu. Vaadittavat puhalluspaineet ja muut kuljetuksenkestävyyteen vaikuttavat asiat tulee selvittää tuotekohtaisesti valmistajalta. Eristeen riittävä tiiveys ja eristepaksuus rakenteessa on tarkistettava mittauksin satunnaisotoksilla.

Ekovillan puhallettava puukuitueriste on ensimmäinen elementtirakennetta varten tutkitavista puhalluseristeistä. Rakennustieto Oy:n tarviketietokortin 2012 mukaan Ekovilla

valmistetaan sanomalehtikeräyspaperista ja hajuttomista ja haihtumattomista palonestoaineista. Sanomalehtipaperi kuidutetaan kuivaprosessissa, minkä jälkeen lisätään palonestoaineet. (Rakennustieto Oy Tarviketietokortti. Ekovilla -lämmöneristeet. 2012, 4.) Ekovilla -puhalluseristeiden toimivuudesta elementtirakenteessa tiedusteltiin Ekovillan asiantuntijalta. Valmistajan mukaan Ekovilla puhallusvilla kestää koteloon puhallettuna kuljetuksen aiheuttamat rasitukset pitäen muotonsa.

Toisena puhallettavana kuitueristeenä tarkastellaan Paroc BLT6 -puhalluskivivillaa. Paroc® -puhalluskivivillat ja -villapuru ovat kotimaisia uusiotuotteita, jotka valmistetaan hyödyntämällä muun kivivillatuotannon yhteydessä syntyviä leikkauskaistoja (Paroc® -puhalluskivivilla -esite 2011, 2.). Paroc® -kivivilla on luokiteltu palamattomaksi materiaaliksi. Se ei kuitenkaan sisällä palonesto- tai muita kemikaaleja, joten sen kierrätettävyys tai loppusijoitettavuus käytöstä poistettaessa on hyvä.

Tutkittavat puhalluseristeet eivät poikkea olennaisesti toisistaan valmistajan ilmoittamien lämmönjohtavuuden suunnitteluarvojensa osalta. Taulukossa 1 on listattu muita elementoinnin kannalta merkittäviä asioita.

TAULUKKO 1. Puhallettavien kuitueristeiden ominaisuuksia

| | Ekovilla puhallusvilla | Paroc BLT6 |
|---|------------------------|------------|
| λ_d (W/mK) kotelopuhalluksessa | 0,04 | 0,038 |
| Tiheys rakenteessa (kg/m ³) | 45 | 60 |
| Europaloluokka P3-luokassa | D-s2, d2 | A1 |

Taulukossa esitettyjen arvojen pohjalta voidaan todeta, että elementoinnin kannalta suunnitteluun vaikuttavana ominaisuutena tulee huomioida kivivillan 25% suurempi tiheys rakenteessa. Elementtiä suunniteltaessa tavoitteena on pyrkiä rakenteen helppoon käsiteltävyyteen, jolloin rakenteen paino on olennaisessa osassa.

Paroc -puhalluskivivilla on luokiteltu palamattomaksi materiaaliksi ja vastaavasti Ekovilla -puhallusvilla on luokiteltu luokkaan D-s2, d2. Europaloluokassa P3 puhalluskivivillan selvästi paremmalla paloluokalla ei kuitenkaan ole merkitystä.

3.3.2 Levyvillat ja muut levyeristeet

Rakenteessa voidaan käyttää myös levyvillaeristeitä puhallettavan eristeen sijaan. Levyvillaeristeet säilyttävät kuljettaessa muotonsa puhallettavia eristeitä paremmin, mutta vaativat asennettaessa enemmän käsityötä ja asentajan huolellisuutta. Edellisessä kohdassa käsitellyt vuorivilla- ja puukuitueristevaihtoehdot ovat saatavissa myös levyvilloina ja lisäksi nyt vaihtoehtona on myös edellisessä kohdassa pois jäänyt lasivillaeriste.

Kolmanneksi eristeeksi tarkasteltaessa levyvillaeristeitä on valittu ISOVER KL-33 pinnoittamaton eristevillalevy. ISOVER KL-33 on valmistettu epäorgaanisesta ja kemiallisesti neutraalista materiaalista, eikä se sisällä korroosiota aiheuttavia ainesosia (ISOVER KL-33 -tuoteseloste. 2013).

Levyvillaeristeiden vertailu perustuu samoihin kriteereihin kuin puhallettavien kuitueristeiden. Eri levyvillatuotteiden kohdalla lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoissa on kuitenkin jonkin verran enemmän hajontaa, ja siksi eri ominaisuuksien tarkempi tarkastelu eristeittäin on elementoinnin kannalta perusteltua. Taulukossa 2 on esitetty elementoinnin kannalta olennaisia arvoja.

TAULUKKO 2. Levyvillaeristeiden ominaisuuksia

| | Ekovilla –levy | Paroc Extra | Isover KL-33 |
|---|----------------|-------------|--------------|
| λ_d (W/mK) | 0,039 | 0,036 | 0,033 |
| Tiheys rakenteessa (kg/m ³) | 30 | 30 | 25 |
| Europaloluokka P3-luokassa | E | A1 | A1 |

Levyvillaeristeiden lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoissa on hieman enemmän hajontaa verrattuna puhalluseristeisiin. Merkitys rakenteen lopullisen lämmönläpäisykerroimen suhteen on kuitenkin hyvin pieni. Lisäksi on syytä ottaa huomioon, että asennettaessa levyvillaeristeitä on suurempi mahdollisuus, että eristekerrokseen jää rakoja asennusta vaikeuttavien elementtien, kuten ristikon vinosauvojen kohdalle. Tästä syystä valittaessa puhallettavan tai levyeristeen väliltä viisaampaa on käyttää puhallettavaa eristettä elementtituotannon tasalaatuisuuden varmistamiseksi sekä asennustyön minimoimiseksi.

Kattorakenteen elementointia suunniteltaessa on perusteltua tarkastella myös solu-
muovi- ja polyuretaanilevyeristeitä. Tutkimuksessa keskitytään kuitenkin tarkastele-
maan vain polyuretaanilevyeristettä, koska sillä on tässä eristeryhmässä selkeästi paras
lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo.

Käyttämällä kovia eristelevyjä puhallettavien tai levyvillaeristeiden lämpimällä puolella
yläpuolisille pehmeille eristeille saadaan tukeva alusta, mikä edesauttaa eristekerrosten
kuljetuksenkestävyyttä. Lisäksi polyuretaanilevyn käyttö eristekerroksen alapinnassa
pienentää lämmönvaihtelua yläpuolisessa eristekerroksessa, jolloin kosteuden tiivisty-
minen eristekerrokseen on epätodennäköisempää ilmankosteuden ollessa korkea.

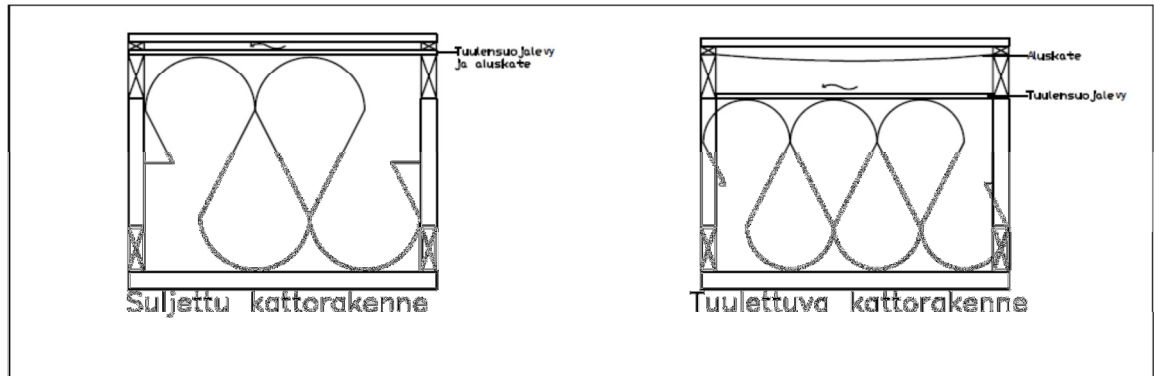
Polyuretaanilevyeristeillä on hyvä lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo $\lambda_d = 0,023$
W/mK. Jos rakenteessa käytetään polyuretaanilevyeristettä yhdessä muiden eristeiden
kanssa, rakenteella on mahdollista saavuttaa tavoiteltu lämmönläpäisykerroin $0,05$
W/m²K ilman, että rakenteen korkeutta tarvitsee lähteä kasvattamaan. Lisäksi levyn
jäykkyyden vuoksi polyuretaanieristelevyä voidaan hyödyntää elementin jäykistyksen
suunnittelussa.

3.4 Rakennekerrokset

Elementin rakennekerrokset on suunniteltava siten, että ne täyttävät Suomen rakenta-
mismääräyskokoelmassa yläpohjarakenteille asetetut määräykset. Lisäksi rakenneker-
rosten suunnittelulle asettaa erityisiä haasteita se, että rakenteen tulee kestää kuljetusta
nostoja ja muita rasituksia, joita siihen mahdollisesti kohdistuu ennen varsinaiseen käyt-
tökohteeseensa asentamista.

Tärkeää elementin rakennekerrosten suunnittelun kannalta on ratkaista, onko rakenne
tuulettuva vai suljettu. Suljetussa kattorakenteessa höyrynsulun ja aluskatteen välinen
tila on yhtä eristetilaa ja rakenne tuulettuu vain vesikatteen ja aluskatteen välisessä tilas-
sa. Suljetussa rakenteessa aluskate ja tuulensuojalevy ovat sama rakennekerros. Sulje-
tussa kattorakenteessa on varmistettava, että aluskatteena käytettävällä materiaalilla on
korkea vesihöyryn läpäisevyys ja että rakenteen höyrynsulkukerros on ehdottoman tii-
vis.

Perinteisessä avoimessa kattorakenteessa aluskatteen ja eristekerroksen välissä on tuuletustila, jossa ilma pääsee kiertämään. Koska elementin rakenteeksi määritettiin kotelorakenne, selvityksessä tarkastellaan vain suljettua kattorakennratkaisua. Tällä ratkaisulla on mahdollista välttää myös koko rakennuksen korkeuden tarpeeton kasvattaminen. Lisäksi tiiviimmin pakattu rakenne saattaa mahdollisesti parantaa elementin jäykkyyttä ja kuljetuskestävyyttä. Kuvassa 6 on selvennetty suljetun ja tuulettuvan yläpohjarakenteen eroja tuuletuksen suhteen.



Kuva 6. Suljetun ja tuulettuvan kattorakenteen periaate

3.4.1 Höyrynsulkukerros

Yläpohjarakenteeseen asennetaan Suomen olosuhteissa höyrynsulku, joka estää kosteuden siirtymisen rakenteen läpi (diffuusio) sekä toimii samalla myös ilmansulkuna (Kattoliitto ry. Toimivat katot 2013). Oikein asennettu ja ehjä höyrynsulku on tärkeä yläpohjan kuivana pysymisen kannalta. Elementoinnissa erityisen haasteen höyrynsululle asettavat rakenteessa kuljetuksen ja nostojen aikana mahdollisesti tapahtuvat liikkeet, joiden johdosta herkkä höyrynsulku saattaa revetä, jolloin siitä tulee epätiivis. Revennyttä höyrynsulkumuovia tai -kangasta on mahdoton korjata täydellisesti.

Höyrynsulku toimii materiaalista riippuen yksi- tai kaksitoimisesti. Yksitoiminen höyrynsulku, esimerkiksi höyrynsulkumuovi (0,2 mm polyeteenimuovi), estää vesihöyryn ja ilman liikkumisen suuntaan tai toiseen. Kaksitoiminen tai kosteutta ohjaava höyrynsulku sallii kosteuden ja ilman liikkumisen rakenteen kannalta edullisella tavalla. Kosteutta ohjaava höyrynsulku toimii niin, että talvella höyrynsulut eivät päästä kosteutta rakenteisiin ja kesällä höyrynsulun kosteudenläpäisykyky sallii kosteuden poistumisen rakenteista (Tiivistalo. Tuoteluettelo, höyrynsulut. 2013).

LammiLoft -mallistossa talotekniikka on sijoitettu kokonaan höyrynsulkukerroksen lämpimälle puolelle rakennuksen mahdollisimman hyvän ilmanpitävyyden varmistamiseksi. Elementin läpi viedään vain yksi ilmastointiputki, joka kulkee suoraan rakennekerroksen läpi. Lisäksi yläpohjan läpi viedään takan teräselementtihormi. Läpivientejä varten höyrynsulkuun tehdyt reiät tiivistetään huolellisesti läpivientien asennuksen jälkeen.

Elementoinnin kannalta höyrynsulkukerroksena eräänä vaihtoehtona on käyttää yhtenäistä polyuretaanilevykerrosta. SPU Systems Oy:n Pientalojen jäykistäminen höyrynsulkulevyllä, suunnitteluohje 23.3.2008:ssa talonrakennustekniikan professori Ralf Lindberg on esittänyt yhtenäisen polyuretaanilevykerroksen käyttöä pientalon yläpohjan jäykistämiseksi rakenteeksi. Tällaisella rakenteella on teoriassa mahdollista ratkaista elementin alapinnan jäykistysongelma ja lisäksi saada kestävä yhtenäinen höyrynsulkukerros. Lisäksi polyuretaanieristelevyllä toteutettu höyrynsulkukerros toimii osana lämmöneristekerrosta.

Käytettäessä tiiviitä höyrynsulkumateriaaleja on suunnittelussa huomioitava mahdolliset riskitekijät kosteuden siirtymisen ja rakenteeseen kertymisen suhteen. Mikäli riskitekijät voidaan eliminoida, esteitä tiiviin höyrynsulun käyttämiselle ei ole.

Muoviset höyrynsulkukalvot ovat erittäin tiheitä ja ne pidättävät hyvin vesihöyryä. Ongelmaksi saattaa tällöin muodostua kesäajan jäähditys. Kesällä eristeessä olevan ilman lämpötila voi usein olla sisäilmaa korkeampi erityisesti, kun huoneilmaa viilennetään keinotekoisesti esimerkiksi ilmastoinnin tai lämpöpumpun avulla. Koneellisen jäähdityksen ansiosta sisäilman ja eristeessä olevan ilman lämpötilojen ero voi kasvaa lämpiminä päivinä jopa yli kymmeneen asteeseen. Kriittinen ajankohta on silloin, kun ulkolämpötila ja ilman suhteellinen kosteus ovat korkeita.

Kun lämmin kostea ulkoilma siirtyy eristeessä sisäänpäin kohti höyrynsulkua, eristeessä oleva ilma viilenee sisäilman jäähdityksen vuoksi ja ilman suhteellinen kosteus nousee. Kun lämpötila saavuttaa kastepisteen, ylimääräinen vesihöyry alkaa lauhtua viileän höyrynsulun pintaan rakenteen väärälle puolelle. Kun diffuusiotiivis höyrynsulku estää kosteuden poistumisen rakenteesta, vesihöyry lauhtuu höyrynsulun pintaan ja muihin sisäpuolisiin rakenteisiin. (Tiivistalo. Kosteusvauriot. 2013, 3.)

Polyuretaanieristelevyllä tehtävä tiivis höyrynsulkukerros vähentää kuitenkin kosteuden tiivistymisriskiä höyrynsulun pintaan, sillä lämmöneristyskykynsä ansiosta eristelevy tasoittaa lämpötilaeron lauhduttavaa vaikutusta lämmöneristekerroksen ja höyrynsulun rajapinnassa eristetilan puolella. Tällöin voidaan varmistaa, että rakenteeseen ei pääse tiivistymään kosteutta vesihöyryn lauhtumisen johdosta.

3.4.2 Eristekerros

Tavoitteena selvityksessä oli määrittää eristekerroksessa käytettävät eristemateriaalit ja niiden vahvuus rakenteessa edellä määriteltyjen lämmönläpäisykertoimien ja rakennekorkeuden reunaehtojen sekä eri eristevaihtoehtojen ominaisuuksien puitteissa.

Eristekerroksen vahvuus suljetulla yläpohjarakenteella voi siis olla 600 millimetriä, mikäli tavoitteena on kantavan naulalevyristikkopalkin korkeuden minimoiminen. Tällä rakennekorkeudella tulisi lisäksi kyetä myös saavuttamaan yläpohjan tavoitteeksi asetettu U-arvo $0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$ eri eristevaihtoehtoja yhdistämällä ja rakennevahvuuksia optimoimalla.

Koska vertailuarvon $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$ saavuttaminen 600 mm:n rakennekorkeudella on mahdollista saavuttaa perinteisellä puhallettavalla eristekerroksella, tässä selvityksessä tämän rakenneratkaisun tarkastelu on jätetty vähemmälle tarkastelulle. Rakenteen alapintaan kiinnitettävä polyuretaanieristelevy höyrynsulukuksi ja elementtiä jäykistäväksi rakennekerrokseksi on kuitenkin perusteltu valinta myös vertailuarvon $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$ täyttävässä rakenteessa.

Mikäli U-arvolle asetettu ääriarvotavoite $0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$ olisi tarkoitus saavuttaa käyttämällä vain yhtä eristemateriaalia sekä pitää elementin korkeus mahdollisimman pienenä, elementin eristeenä olisi tarkoituksenmukaista käyttää yksinomaan polyuretaanilevyeristettä. Koska markkinoilla kuitenkin on jo runsas valikoima toimivia polyuretaanieristeeseen pohjautuvia elementtiratkaisuja, tässä selvityksessä ei tutkita tällaista rakennetta vaan tavoitteena on uudenlaisen ratkaisun löytäminen.

Koska rakennuksen rungon määräämänä rakenteen korkeus on rajattu 600 mm:iin, keskeisenä haasteena on löytää eristeratkaisu U-arvon $0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$ saavuttamiseksi, ilman elementin rakennekorkeuden korottamista.

Elementin 600 mm:n rakennekorkeus ja tavoiteltu vertailu U-arvo on mahdollista saavuttaa käyttämällä polyuretaanieristelevyä rakenteen alapinnassa (höyrynsulkuna ja jäykistävänä lisäeristeenä) ja alapaarteiden välissä sekä pääeristeenä jotain edellä käsitellyistä pehmeistä eristevaihtoehdoista. Materiaalihukan minimoinnin ja tuotannon sujuvuuden kannalta elementissä on järkevintä käyttää puhallettavaa eristettä pehmeiden levyeristeiden sijaan. Puhalluseristeet ovat nopeasti ja luotettavasti asennettavia, eikä niiden käytössä synny hukkapaloja, kuten sovitettaessa villalevyjä rakenteeseen. Eristeistä ja niiden ominaisuuksista kerätyn tiedon perusteella polyuretaanieristelevyjen lisäksi rakenteen suunnittelussa käytetään Ekovillan puhalluseristettä. Katon läpivientien kohdalla olevassa elementissä tulisi kuitenkin olla läpivientejä leikattaessa muotonsa pitävää eristettä, joten erillinen läpivientielementti toteutetaan Ekovilla -levyeristeellä.

Sopivan eristeyhdistelmän löytämiseksi tutkitaan laskennallisesti kahta eri polyuretaani- ja puhalluseristevaihtoehtoa. Valmistajan taulukkoarvoihin perustuvan arvion pohjalta voidaan arvioida, että tavoiteltuun $0,05 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ U-arvoluokkaan on mahdollista päästä käyttämällä ristikkorakenteen väleissä 120-150 mm:n polyuretaanieristelevykerrosta ja tämän päällä noin 450-500 mm:n kerrosta puhallettua selluvillaa. Lisäksi eristekerroksen U-arvon laskennassa voidaan huomioida höyrynsulkukerroksessa käytettävä polyuretaanieristelevykenttä. Samalla tavoin myös puhalluseristeiden koteloinnissa käytettävä levy voidaan huomioida U-arvon laskennassa.

Mikäli lähes nollaenergiatasoinen suunnitteluratkaisu ei ole ehdoton tavoite, eristekerrosta voidaan muokata halutun kaltaiseksi. Tällöin alapinnassa ja paarteiden välissä olevan polyuretaanieristelevyn paksuutta voidaan pienentää ja vastaavasti lisätä puhalluseristeen määrää. Jo pelkkää puhalluseristettä ja höyrynsulkukerroksen polyuretaanieristelevykerrosta käyttämällä rakenteen eristekerros riittää $0,09 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ lämmönläpäisykertoimen saavuttamiseksi.

Tutkittavat rakenteet on määritetty Rakennusmääräyskokoelma C4 luvun 2 ohjeen mukaisin U-arvolaskelmin. Laskelmien perusteella on todettu, että yhdistelmä, jossa on 30

mm polyuretaanieristelevy höyrynsulkulevynä, 120 mm:n polyuretaanieristelevy alapaarteiden välissä, 500 mm puhallettua selluvillaa sekä yläpinnan aluskatelevy, riittää tavoiteltuun U-arvoon 0,05 W(m²K). Laskelmassa on huomioitu naulalevyristikot epähomogeenisenä aineena rakenteessa.

3.4.3 Kotelointi

Elementissä käytettävän puhalluseristeen alapuolen kotelointi ratkaistaan edellä esitetyn perusteella elementin alapinnassa olevalla polyuretaanieristelevyllä. Levyrakenne antaa puhalluseristeelle tukevan pohjan ja säilyttää muotonsa elementtiä liikuteltaessa. Tällöin myös puhalluseriste pysyy muodossaan, eikä eristekerrokseen synny eristekerroksen painumien aiheuttamia epätiiveyskohtia.

Elementin sivut ja päädyt voidaan koteloida käyttäen Hunton 12 mm tuulensuojalevyä. Elementissä tuulensuojalevyt pitää asentaa rakenteen ulkopintaan, jolloin levyä ei kuitenkaan voida kiinnittää levyn molemmin puolin asennettavien kiinnitysrimojen avulla, koska elementin päihin asennetut kiinnitysrimat vaikeuttaisivat vierekkäisten ja vastakkaisien elementtien kiinnitystä toisiinsa. Tällöin on käytettävä leveäkantaisia kiinnitysruuveja tai ohutta listaa kiinnityksen paineen levittämiseksi, ettei tuulensuojalevy murru kiinnitysten kohdalta puhallettaessa eristettä tai kuljetusten aikana.

Yläpuolen kotelointilevyn valinnassa kannattaa huomioida myös kotelorakenteeseen käytettävän levyn muut ominaisuudet, joita voidaan hyödyntää elementtirakenteessa. Kotelointiin voidaan käyttää jäykkää niin ikään Huntonin aluskatelevyä, jolloin elementin tuotannon vaiheita pystytään vähentämään yhdistämällä koteloinnin ja aluskatteen asennustyö.

Hunton Sarket on VTT:n sertifioima, bitumilla impregnoitu ja reunoistaan pontattu aluskatelevy. Se on vesitiivis, tuulenpitävä, diffuusioavoin, jäykistävä ja erittäin hyvin lämpöä eristävä (RT Tarviketieto. Hunton-Tuotteet. 2013. 3.). Hunton Sarket aluskatelevy soveltuu asennettavaksi kiinni eristekerrokseen ja sitä suositellaan aluskatteen päältä tuuletettaviin, eli suljettuihin, yläpohjarakenteisiin, joten ominaisuuksiltaan se on sopiva tuote käytettäväksi kehitettävässä elementtiratkaisussa. Elementissä käytetään 25x595x2720 mm levykokoa, joka soveltuu käytettäväksi enintään k900 ristikkojaolla.

Aluskatelevyt asennetaan elementin yläpintaan Huntonin asennusohjeen mukaisesti kohtisuoraan kattoristikoihin nähden. Elementin leveyssuuntaiset pontit takaavat aluskatelevyjen tiiviit liitokset toisiinsa. Yksi levy riittää kattamaan yhden lape-elementin leveyden. Aluskatelevykerroksen tiiveys kattolapteen leveys suunnassa varmistetaan elementtiliitoksen suunnittelun yhteydessä.

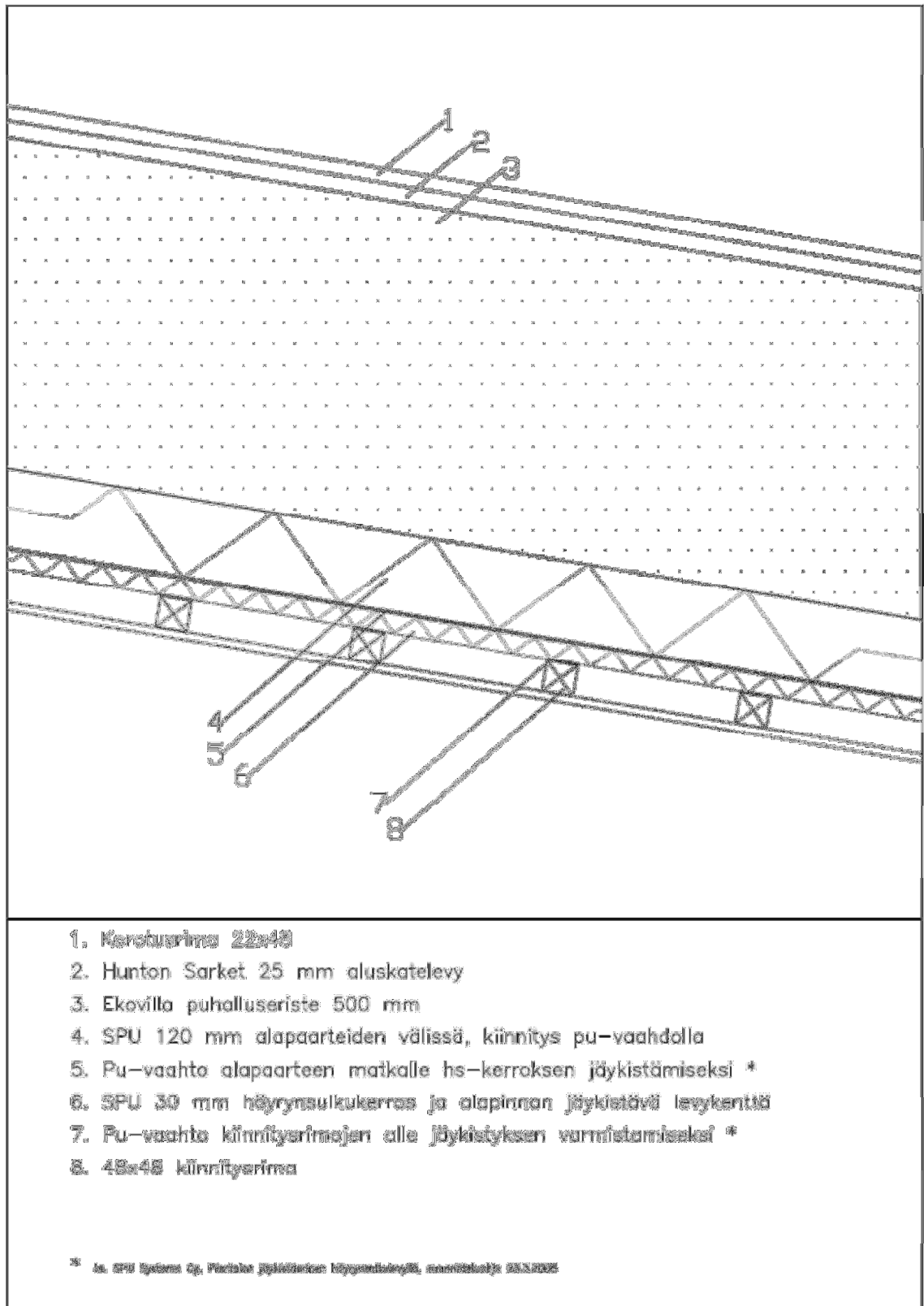
3.4.4 Jäykisteet

Yksittäisten rakennusosien tulee kestää rakenteen sisäisistä voimista syntyvät rasitukset. Tällaisia rasituksia syntyy rakenteeseen, kun rakenteiden geometria poikkeaa joko geometrisesti tai fysikaalisilta ominaisuuksiltaan ideaalisesti virheettömästä rakenteesta. Näitä voimia ei tarvitse siirtää perustuksille, vaan riittää, että ne on otettu vastaan rakennesysteemin sisällä. (VTT. Puurakenteiden jäykistys suunnittelun ohje. 2006. 4.) Tässä selvityksessä yksityiskohtaisia laskelmia jäykisteiden riittävydestä ei kuitenkaan ole tehty, vaan lopulliset jäykistysmenetelmät tarkentuvat kohdekohtaisen rakennesuunnittelun myötä.

Elementin sisällä tapahtuvia taipumia pyritään rajoittamaan ristikon diagonaaleihin kiinnitettävien vinositein. Vinositeet sijoitetaan ristikoiden diagonaalien kylkeen ristikkosuunnittelijan ohjeen mukaisesti. Vinositeinä voidaan käyttää esimerkiksi 22x100 (AB) sahatavaraa. Vinositeiden asennuksessa on tärkeää varmistaa liitoksen täydellinen pito suorittamalla naulaus huolellisesti käyttäen oikeanlaisia kiinnitysnauloja. Lisäksi tulee varmistua sahatavaran korkeasta laadusta, jotta itse jäykistysrima ei aiheuta muodonmuutoksia elementtirakenteessa.

Ylä- ja alapaarretason jäykistys toteutetaan hyödyntäen edellisissä kohdissa käsitellyjä materiaaleja jäykistävinä elementteinä. Alapaarretason jäykistys suunnitellaan Ralf Lindbergin SPU Systems Oy:lle toteuttaman Pientalojen jäykistäminen höyrinsulkulevyllä, suunnitteluohjeen mukaisesti. Tällöin höyrinsulkukerroksen polyuretaanieristelevyt muodostavat alapaarretasoon yhtenäisen jäykistävän levykentän, joka siirtää kattorakenteiden vaakakuormia päätyseinille. Yläpaarretason jäykistys toteutetaan käyttäen jäykistävänä materiaalina Hunton Sarket -tuulensuojalevykerrosta. Tuote soveltuu jäykistäväksi levyrakenteeksi ja sen asennus suunnitellaan valmistajan ohjeen sekä VTT:n

puurakenteiden jäykistysohjeen mukaisesti. Kuormien tulee siirtyä päätyseinille elementtien välityksellä. Elementtien kiinnityksessä toisiinsa tulee huomioida kuormien siirtyminen riittävän pitävällä liitoksella.



Kuva7. Elementin rakenneleikkaus

3.5 Valmiusaste

Elementin valmiusaste määrittää, miten paljon töitä on tehtävä elementin katolle nostamisen jälkeen, että rakennuksen yläpohja on täysin valmis. Elementti pyritään saamaan mahdollisimman korkeaan valmiusasteeseen sen lähtiessä tehtaan linjalta. Joissakin tapauksissa on kuitenkin mahdollista, että rakenteen valmiudesta joudutaan tinkimään esimerkiksi kuljetuksen tai työmaalla tehtävien asennusten ja nostojen helpottamiseksi.

Eräänä tärkeänä tekijänä toimitettavan elementin valmiusasteen suhteen on yläpinnan valmiusaste. Koska rakennus olisi suotavaa saada mahdollisimman nopeasti säältä suojaan, aluskatelevyä on mahdollista hyödyntää asennusaikana säältä suojaavana rakenteena. Pidempiaikainen suojaaminen ei sillä kuitenkaan ole suotavaa.

3.5.1 Yläpinnan valmiusaste

Valmiissa elementissä yläpinnan valmiusaste kannattaa rajoittaa siihen rajapintaan, mistä alkaen eri katemateriaalien vaatimukset eroavat toisistaan. Sekä tiili- että peltikatteilla ruoteiden alle asennetaan kannattajien pituussuuntainen korotusrima, joka mahdollistaa ruodevälin tuuletuksen ja päästää vesikatteen alle kulkeutuneen tai tiivistyneen kosteuden valumisen aluskatteen pintaa pitkin alaräystäälle. Tiilikaton ja peltikaton ruoteet poikkeavat toisistaan, joten järkevintä on rajoittaa elementin valmiusaste aluskatteen korotusrimaan. Käytettäessä huopakatetta katteen alle tuleva umpilaudoitus tai katelevykenttä voidaan asentaa korokerimojen päälle. Elementtien reunimmaisista korokerimoista ei voida asentaa valmiiksi, sillä elementtien keskinäiset liitokset täytyy tiivistää aluskatteen saumakohdista ennen korokerimojen asentamista. Elementin keskellä olevat korokerimat on kuitenkin hyvä asentaa tehtaalla niin, että aluskatelevykerros ei ole kuljetuksen aikana kiinni vain nauлаustensa varassa.

3.5.2 Alapuolen valmiusaste

Myös alapinnan valmiusaste kannattaa rajoittaa siihen vaiheeseen, jossa rakennuksen yksilölliset valinnat alkavat vaikuttaa rakenteeseen. Höyrinsulkukerroksen kannalta välttämättömät höyrinsulun kiinnitysrimat ovat hyvä kohta rajata rakenteen alapinnan valmiusaste. Tällöin rakenteen alapinnassa ei ole ylimääräisiä työtä haittaavia rakenteita, jotka voivat tiellä ollessaan särkyä tai muuten hankaloittaa elementin käsittelyä. Alapinnan verhouslevyjä ei kannata asentaa valmiiksi myöskään siitä syystä, että alas lasketun katon osalla ei tarvita verhouslevyjä elementin alapinnassa. Tällöin vältetään turhilta kustannuksilta.

Kiinnitysten mahdollistamiseksi höyrinsulkukerroksen reuna-alueelle on jätettävä noin 300 mm:n kaista, jolle ei ole asennettu höyrinsulkulevyä. Tämän lisäksi myös osa höyrinsulun kiinnitysrimoista reunakentissä asennetaan jälkiasennuksena elementtien kiinnityksen jälkeen. Nämä työt voidaan valmistella työmaalla ennen asennustyön aloitusta siten, että rakenteen täydentämiseen tarvittavat tuotteet ovat käsillä ja valmiiksi oikeissa mitoissaan. Tällöin rakenteen täydentäminen voidaan suorittaa nopeasti ja tehokkaasti heti elementtiasennuksen jälkeen.

3.5.3 Rästaiden valmiusaste

Sivurästaiden kannattajat tulevat valmistuslinjalta valmiiksi kiinni elementissä. Lapelementin sivurästään muodostavat naulalevyristikon 42x123 mm yläpaarteet, jotka jatkuvat ulkoseinälinjan yli. Ulkoseinän maskiharkot lovetaan tarvittaessa kannattajien kohdalta. Päätyrästää toteutetaan räystäselementtinä, joka kiinnitetään lape-elementin kylkeen erillisen ristikkovalmistajan kiinnitysohjeen mukaisesti.

LammiLoft -mallistossa on umpirästää. Rästäs- ja verhouslaudat olisi mahdollista kiinnittää valmiiksi tehtaalla, jolloin välttyttäisiin telineitä vaativilta asennustöiltä. Rästäslautojen kiinnitys etukäteen ei kuitenkaan ole välttämättä kannattavaa, sillä verhouslaudat saattavat likaantua ja kolhiutua kuljetuksessa tai siirroissa. Lisäksi räystäslinjan rappaaminen vaikeutuu, mikäli kaikki rästäslaudat ovat paikoillaan rappausvaiheessa.

3.6 Elementtimallit

Elementtimallien suunnittelussa on huomioitava kaikki LammiLoft -mallistossa esiintyvät kattomuodot, rakenteen läpi vietävät läpiviennit sekä rakennuksen muunneltavuus. Jokaisessa elementtimallissa tulee täyttyä ne tavoitteet, mitä elementtirakenteelle on yleisesti asetettu U-arvon, mittamaailman sekä muiden rakenteellisten tavoitteiden suhteen. Lisäksi kaikki elementtimallit tulee suunnitella siten, että ne täyttävät niille asetetut erikoisvaatimukset, jotka vaikuttavat lopullisen kattorakenteen täydelliseen toimivuuteen.

LammiLoft -malliston elementtimalleja ovat lape-elementti, läpivientielementti ja päätyräystäselementti. Kaikista näistä pääelementtimalleista on suunniteltu riittävä määrä erimittaisia elementtejä kattamaan kaikkien LammiLoft -malliston runkovaihtoehtojen tarpeet. Liitteessä 1 on esitetty eri elementtimallien mitat.

3.6.1 Lape-elementti

Lape-elementtejä joudutaan valmistamaan monilla eri leveyksillä, jotta kaikki LammiLoft -malliston talot voidaan toteuttaa elementein. Lape-elementtejä valmistetaan neljää eri leveyttä, jotka ovat 2400 mm, 1700 mm, 1600 mm ja 1400 mm. Näillä leveyksillä valmistetaan useita elementtivaihtoehtoja kattamaan eri runkosyvyyksien ja katon muotojen tarpeet. Lisäksi näiden elementtien leveyksien rajoissa kohteen rakennuttajan on mahdollista muuttaa oman LammiLoft talonsa pituutta. Tällöin pysytään vielä rakenteellisesti vakioidussa talomallissa, mutta voidaan kuitenkin säilyttää Lammi-Kivitalolle ominainen yksilöllisyys.

Elementtien koko on suunniteltu niin, että ne mahtuvat normaaliin maantiekuljetukseen. Tällöin joudutaan kuitenkin sulkemaan pois joitakin mahdollisia vaihtoehtoja leveämmistä elementeistä. Mikäli käytettäisiin ainoastaan yhtä kokoa olevia pienempiä elementtejä, elementoinnin hyöty olisi melko pieni. Näistä seikoista johtuen on päädytty neljän elementtikoon ratkaisuun.

3.6.2 Lämpivientielementti

Hormin sekä ilmastoinnin poisto- ja ottoputkille tarvitaan erillinen läpivientielementti, joka kestää läpivientiaukkojen tekemisen työmaalla. Lämpivientivarausten tekeminen normaaliin lape-elementtiin tehtaalla käyttäen läpivientikauluksia olisi mahdollista, mutta koska asennusryhmä voi tehdä mittavirheitä asentaessaan tulisijan hormia tai ilmasointiputkien liitoskappaleita ei pystytä takaamaan, että hormit ja läpivientivaraukset kohtaavat. Tästä syystä tulisi suunnitella läpivientielementti, jossa puhalluseriste on korvattu levyeristeellä. Muilta osin läpivientielementti ei poikkea lape-elementin perusmallista.

Lämpivientien aukot tehdään työmaalla. Ensin elementtiin mitataan läpivientien kohdat, minkä jälkeen puhkaistaan tarvittavan kokoinen läpivientiaukko, josta hormi pujotetaan läpi. Tämän jälkeen läpiviennin ympärille eristetilaan jäävä aukko täytetään käsin villoittamalla ja polyuretaanieristekerros paikataan polyuretaanivaahdolla. Tämän jälkeen elementin ylä- ja alapinnan levykerrokset tiivistetään läpiviennin ympäriltä yleisten läpiviennin tiivistysohjeiden mukaan.

Tehtäessä läpivientiä on tärkeää huomioida paloturvallisuuteen liittyvät määräykset, joita käsitellään Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa RakMk E1. Kevythormeja käytettäessä on myös tutustuttava valmistajan oheisiin hormin asentamisesta. Hormivalmistajilta löytyy omia läpivientieristeitä tuotteilleen, joilla voidaan taata hormin paloturvallinen yläpohjan läpivienti.

3.6.3 Päätäräystäselementti

Päätäräystäään kannattajat valmistetaan elementiksi tehtaalla ja ne voidaan liittää lape-elementin kylkeen ruuvikiinnikkeillä. Päätäräystäitä ei kannata kiinnittää tehtaalla lape-elementtiin, sillä hyöty on hyvin pieni verrattuna siihen, miten paljon esiasennetut päätäräystäät vaikeuttaisivat asennusta. Lisäksi ulokkeena olevat esikiinnitetyt päätäräystäät saattaisivat vaurioitua kuljetuksen aikana, jolloin koko lape-elementti voisi olla käyttökelvoton.

Päätyräystäselementti koostuu ohjauspuusta ja päätyräystään kannattajista, jotka on liitetty ohjauspuun kylkeen. Päätyräystäselementin räystäskannattajat tukeutuvat keski-vaiheiltaan maskiharkon yläpintaan. Liitos lape-elementtiin tehdään naula- tai ruuviliitoksella, joka mitoitetaan elementin rakennesuunnittelun yhteydessä. Päätyräystään yläpinnassa on muiden elementtimallien tavoin Hunton Sarket -aluskaatelevy ja aluskatteen korotusrimat. Päätyräystäselementin asennus tehdään juuri ennen ruoteiden asennusta. Tällä vältetään, että räystäselementti ei lepää ainoastaan vaakaan tehdyn ruuvikiinnityksen varassa. Kun ruoteet kiinnitetään katon pituussuuntaisesti, ne antavat päätyräystäselementille tuen taivutusta vastaan. Kuvassa 8 on esitetty päätyräystäselementin kiinnittyminen ristikkoon. Elementtirakenteessa hölpät tukeutuvat kuvasta poiketen maskikivien päälle. Esimerkkikuvan rakenteessa on myös käytetty elementtirakenteesta poiketen kevyttä aluskatetta aluskaatelevyn sijaan.



Kuva 8. Päätyräystäselementin kiinnittyminen ristikkoon (Kotasen Puutyö Oy)

4 LIITOKSET

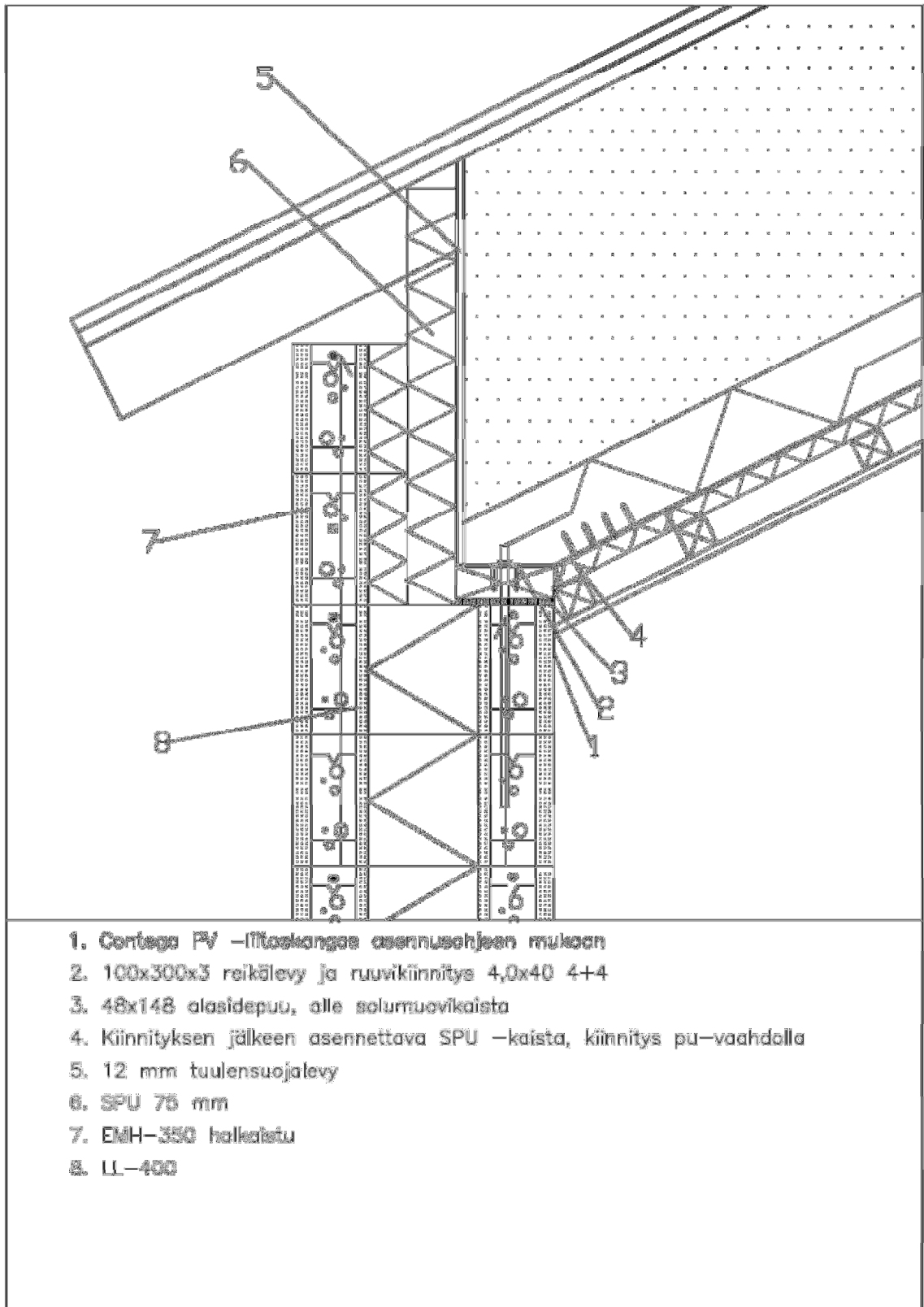
4.1 Yleistä

Liitosten suunnittelussa tavoitteena on löytää kaikkiin liitoskohtiin kestävä ja tiivis liitosratkaisu. Erityisiä haasteita elementin liitoksille aiheuttavat pieni työskentelytila ja liitoksen tiiveyden varmistaminen. Rungon ja kattorakenteen liitosta suunniteltaessa on huomioitava höyrynsulkukerroksen jatkuvuus, ilman pitävyyden varmistaminen sekä riittävä kiinnitys rakennuksen runkoon. Harjalla liitosten suhteen suurimpana haasteena on harjaliitoksen tiiveyden varmistaminen. Elementtien keskinäisessä liitoksessa on löydettävä ratkaisu aluskatteen jatkuvuuden varmistamiseksi ja elementtien liittämiseksi yhtenäiseksi levymäiseksi rakennekerrokseksi.

4.2 Liitos sivuräystäällä

Elementti kiinnitetään sivuräystäälle 48x148 alasidepuun päälle. Elementin kiinnittämiseen käytetään reikälevystä taitettavaa kulmakiinnikettä, joka ruuvataan alasidepuuhun ennen elementin paikalleen nostamista. Kun elementti on laskettu paikalleen, reikälevy taivutetaan naulalevyristikon alapaarretta vasten ja kiinnitysruuvit ruuvataan alapaarteeseen. Asennuksessa käytetään hieman ylileveitä reikälevyjä, jotta kiinnitysreiät osuvat varmasti alapaarteen kohdalle mahdollisen mittavirheenkin sattuessa. Lopullinen, riittävä ruuvikiinnitys mitoitetaan rakennesuunnittelijan toimesta.

Elementin höyrynsulkukerroksesta on jätetty reunalta kaista asentamatta, jotta kiinnitys alapaarteeseen on mahdollista. Ruuvikiinnityksen jälkeen asennetaan viimeinen SPU -kaista paikalleen ja tiivistetään levykerroksen saumat polyuretaanivaahdolla. Sivuräystään liitosdetalji on esitetty kuvassa 9.



Kuva 9. Liitos sivuräystäällä

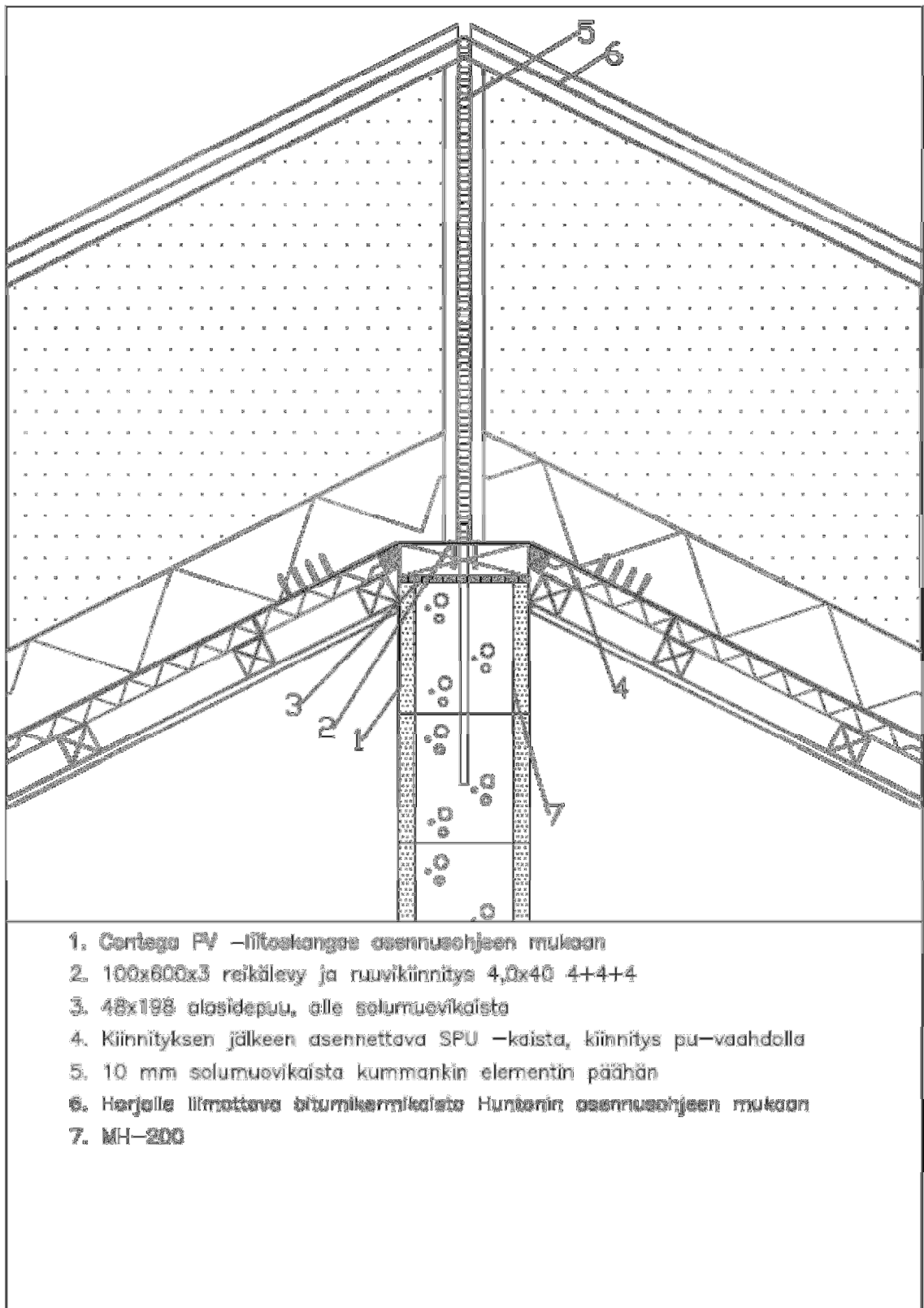
4.3 Liitos harjalla

Elementti kiinnitetään harjalta 48x198 alasidepuun päälle. Elementin kiinnittämiseen käytetään reikälevystä taitettavaa kulmakiinnikettä, joka ruuvataan kantavaan seinälinjaan kiinnitettyyn alasidepuuhun ennen elementin paikalleen nostamista. Kun elementti on laskettu paikalleen, reikälevy taivutetaan naulalevyristikon alapaarretta vasten ja kiinnitysruuvit ruuvataan alapaarteeseen. Asennuksessa käytetään hieman ylileveitä reikälevyjä, jotta kiinnitysreiät osuvat varmasti alapaarteen kohdalle mahdollisen mittavirheenkin sattuessa. Lopullinen, riittävä ruuvikiinnitys mitoitetaan rakennesuunnittelijan toimesta.

Myös harjalla elementin höyrynsulkukerroksesta on jätetty reunalla kaista asentamatta, jotta kiinnitys alapaarteeseen on mahdollista. Ruuvikiinnityksen jälkeen viimeinen polyuretaanieristelevykaista asennetaan paikalleen ja tiivistetään levykerroksen saumat polyuretaanivaahdolla.

Elementtien päittäisliitoksessa elementtien väliin asennetaan solumuovikaista, joka varmistaa elementtien tiiviin liitoksen. Solumuovikaistat nidotaan kumpaankin elementtiin tehtaalla. Kaistojen kunto tulee tarkistaa ennen asennusta ja mahdollisesti vioittuneet tai irronneet kaistat korvata.

Aluskatelevyjien harjaliitokseen asennetaan liimattava bitumikermikaista, joka tekee aluskatekerroksesta yhtenäisen. Vastakkaiset elementit liitetään toisiinsa harjalla reikänauhalla tai harjan mukaan valmistetulla kulmaraudalla. Elementtien liitos harjalla on esitetty kuvassa 10.

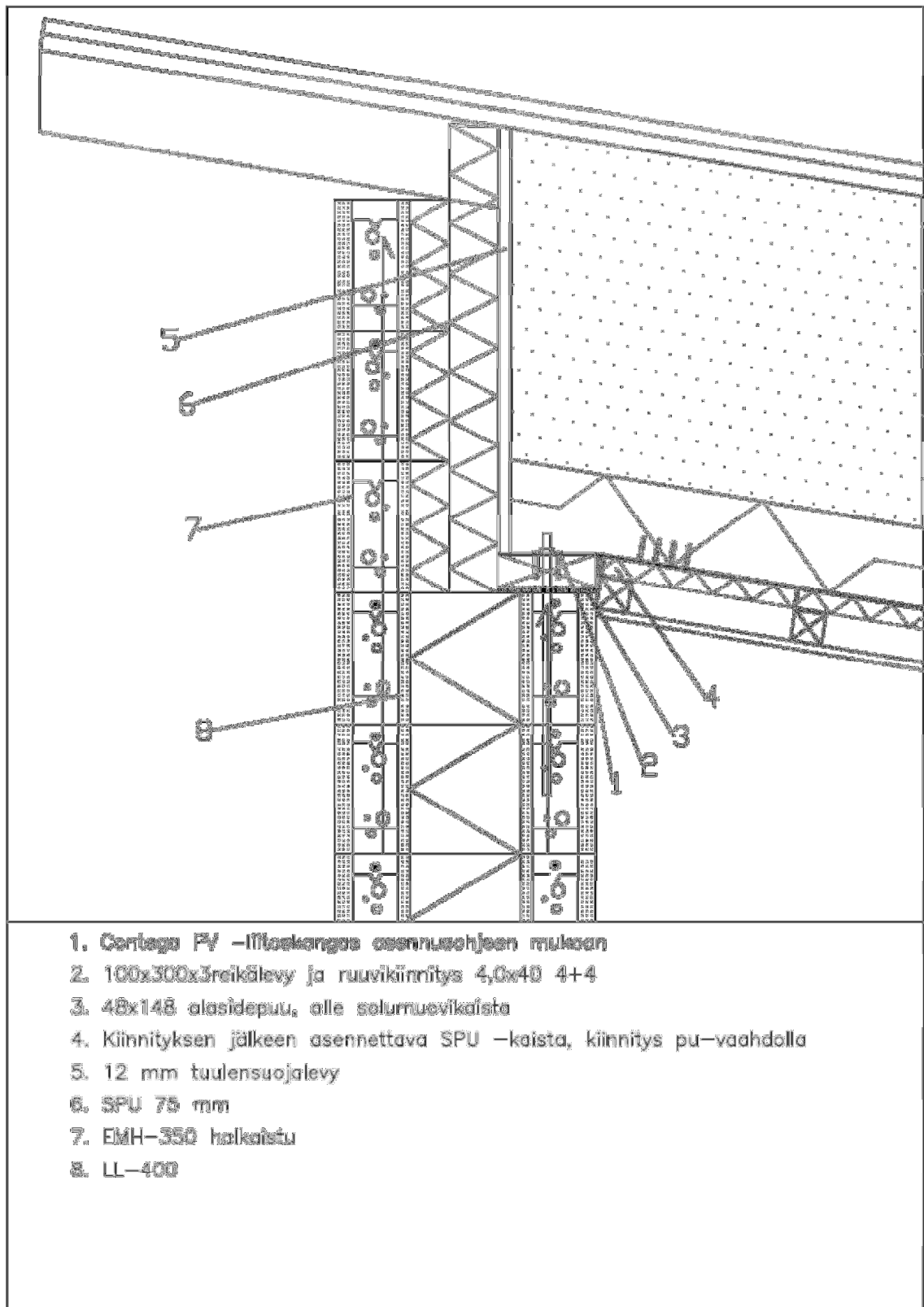


Kuva 10. Liitos harjalla

4.4 Liitos yläräystäällä

Lapekatoissa elementti kiinnitetään yläräystäällä 48x148 alasidepuun päälle. Elementin kiinnittämiseen käytetään reikälevystä taitettavaa kulmakiinnikettä, joka ruuvataan alasidepuuhun ennen elementin paikalleen nostamista. Kun elementti on laskettu paikalleen, reikälevy taivutetaan naulalevyristikon alapaarretta vasten ja kiinnitysruuvit ruuvataan alapaarteeseen. Asennuksessa käytetään hieman ylileveitä reikälevyjä, jotta kiinnitysreiät osuvat varmasti alapaarteen kohdalle mahdollisen mittavirheenkin sattuessa. Lopullinen, riittävä ruuvikiinnitys mitoitetaan rakennesuunnittelijan toimesta.

Kuten sivuräystäällä ja katon harjalla, elementin höyrynsulkukerroksesta on jätetty reunalta kaista asentamatta, jotta kiinnitys alapaarteeseen on mahdollista. Ruuvikiinnityksen jälkeen asennetaan viimeinen polyuretaanieristelevykaista paikalleen ja tiivistetään levykerroksen saumat polyuretaanivaahdolla. Liitos yläräystäällä on esitetty kuvassa 11.

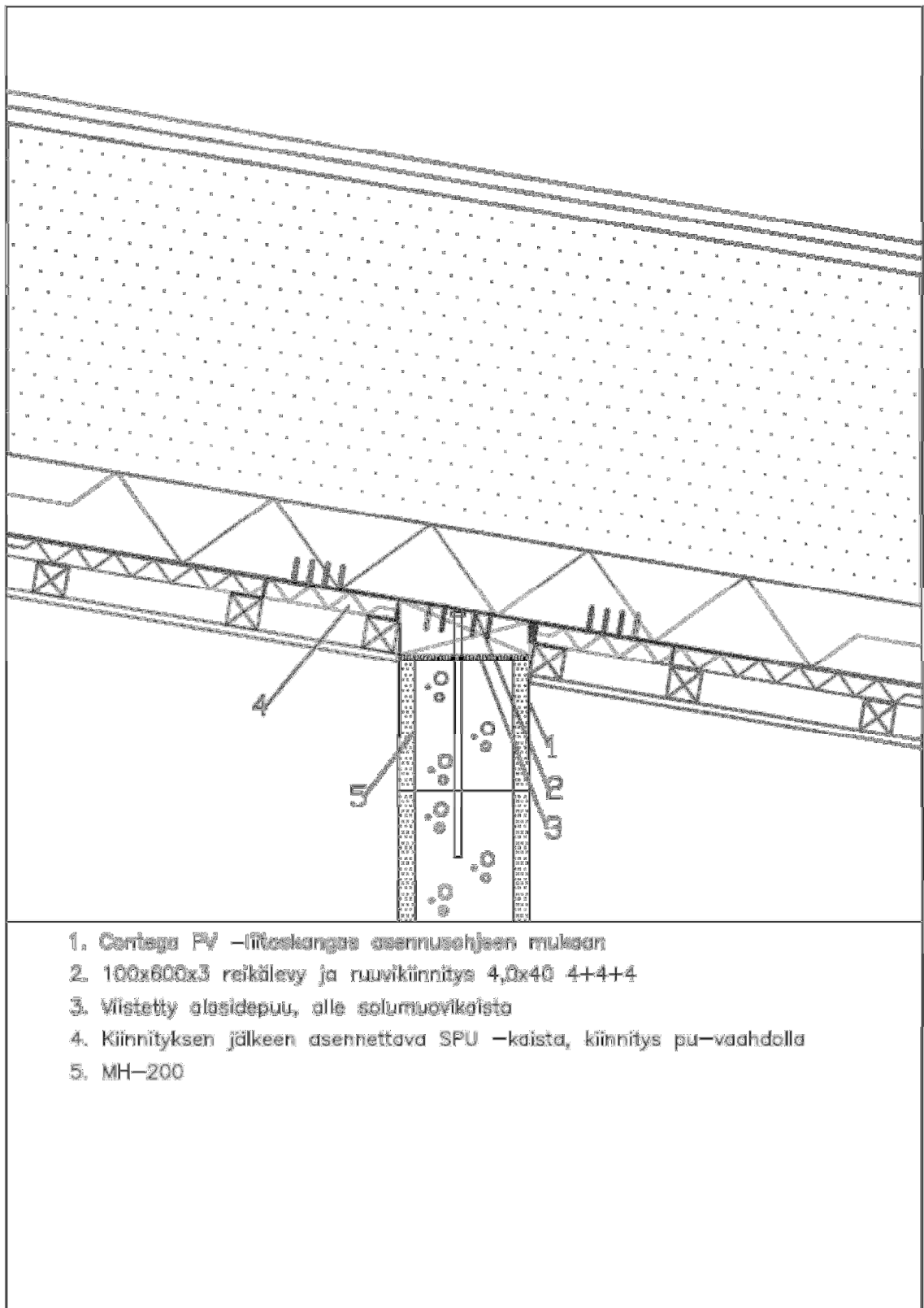


Kuva 11. Liitos yläräystäällä

4.5 Liitos pulpettikaton keskilinjalla

Elementti kiinnitetään pulpettikaton keskilinjalla viistetyn 48x198 alasidepuun päälle. Elementin kiinnittämiseen käytetään reikälevyä, joka ruuvataan alasidepuuhun ennen elementin paikalleen nostamista. Kun elementti on laskettu paikalleen, kiinnitysruuvit ruuvataan alapaarteeseen. Asennuksessa käytetään hieman ylileveitä reikälevyjä, jotta kiinnitysreiät osuvat varmasti alapaarteen kohdalle mahdollisen mittavirheenkin sattuesssa. Lopullinen, riittävä ruuvikiinnitys mitoitetaan rakennesuunnittelijan toimesta.

Elementin höyrinsulkukerroksesta on jätetty reunalta kaista asentamatta, jotta kiinnitys alapaarteeseen on mahdollista. Ruuvikiinnityksen jälkeen asennetaan viimeinen polyuretaanieristelevykaista paikalleen ja tiivistetään levykerroksen saumat polyuretaanivaahdolla. Elementin liitos lapekaton keskilinjalla on esitetty kuvassa 12.



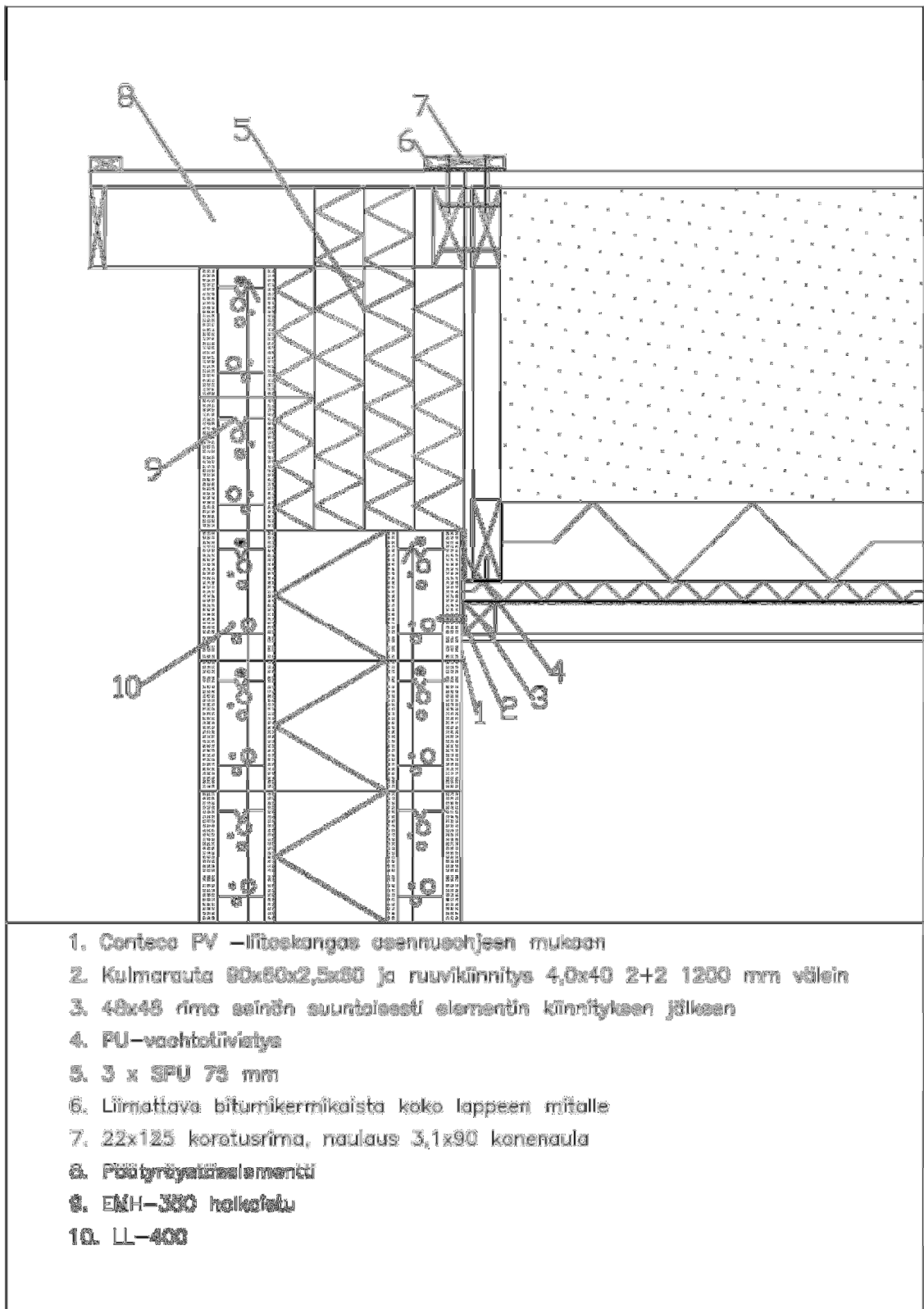
Kuva 12. Liitos pulpettikaton keskilinjalla

4.6 Liitos päätyseinällä

Elementin liitos päätyseinällä tehdään kulmarautoja käyttäen ulkoseinälinjan sisäpintaan. Kulmaraudat voidaan esikiinnittää tehtaalla, jolloin höyrynsulkukerrosta ei tarvitse jättää päätyseinällä auki. Kulmaraudat jäävät höyrynsulkukerroksen koolausväliin, joten ne eivät ole tiellä kuljetuksessa.

Elementti lasketaan paikoilleen, minkä jälkeen elementin reuna-alue tiivistetään pursotamalla polyuretaanivaahtoa elementin ja seinän väliin jäävään tilaan. Tämän jälkeen elementti kiinnitetään ruuvikiinnityksellä betoniseinään. Kun Contega PV –liitoskangas on asennettu, reunimmainen seinän suuntainen höyrynsulun kiinnitysrima voidaan kiinnittää. Kiinnitysrima ohjaa liitoskankaan tasaisesti seinälle.

Elementin asentamisen jälkeen päätyräystäselementti voidaan kiinnittää paikoilleen. Päätyräystäselementti kiinnitetään lape-elementin yläpaarten kylkeen ruuvikiinnityksellä. Päätyräystäseen ja lape-elementin aluskatelevykerrosten sauma tiivistetään liimattavalla bitumikermikaistalla, jonka päälle asennetaan leveämpi korokerima, joka kiinnitetään elementtien paarteisiin naulaamalla. Elementin liitos päätyseinälle on esitetty kuvassa 13.



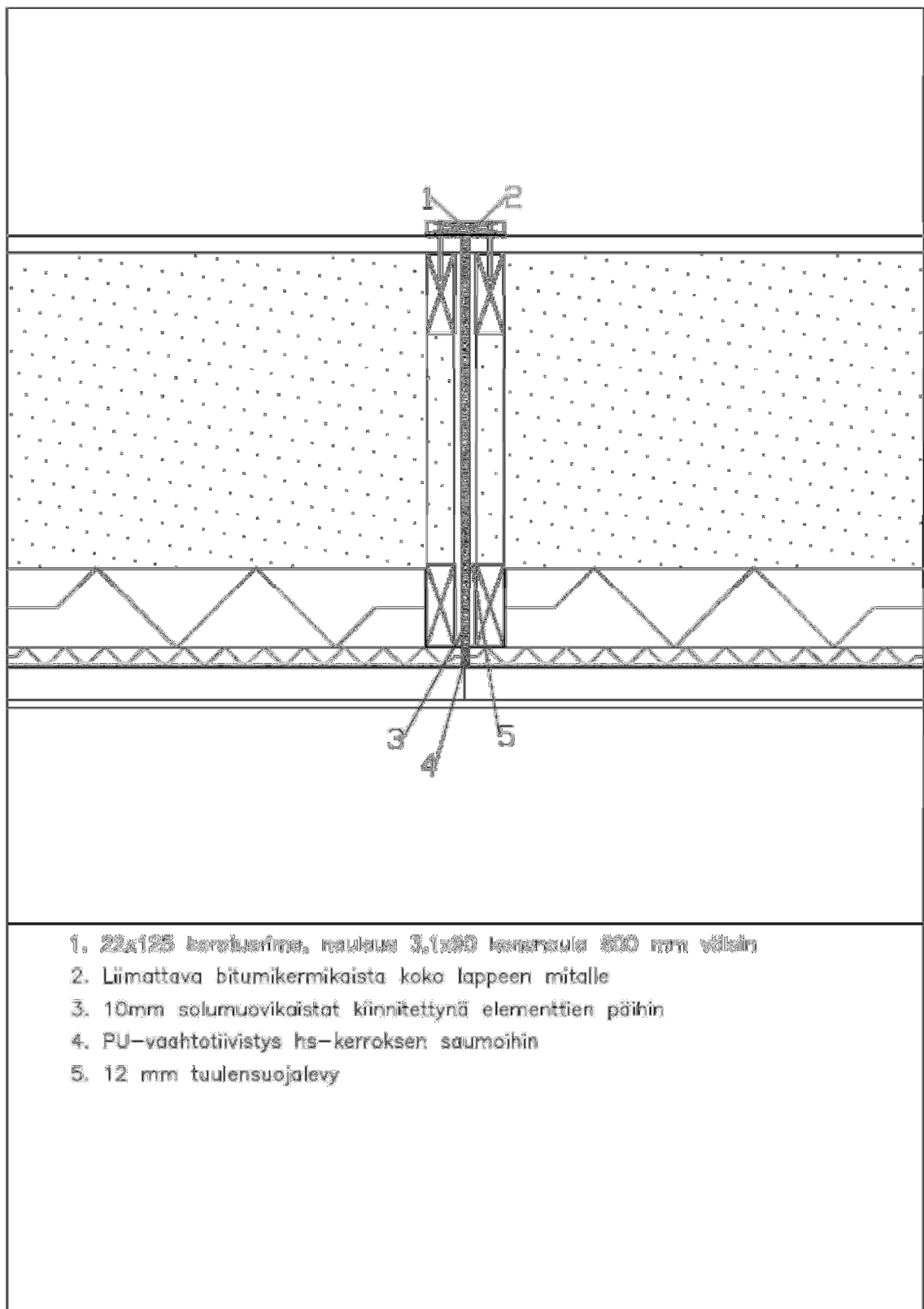
Kuva 13. Liitos päättyseinällä

4.7 Elementtien keskinäinen liitos

Elementtien keskinäinen liitos yläpaarteella tehdään normaalia leveämmän korokeriman avulla. Elementtien aluskatelevykerrosten saumaan asennetaan liimattava bitumikermitausta, jonka päälle asennetaan 22x125 korokerima. Elementtien yläpaarteet liitetään toisiinsa naulaamalla korokeriman läpi. Tällöin viereisten elementtien yläpinnat liittyvät tukevasti toisiinsa ja muodostavat yhtenäisen rakenteen.

Alapaarteella elementit kiinnitetään toisiinsa höyrynsulun kiinnitysrimojen jatkoksilla. On tärkeää muistaa, että kiinnitysriman ja höyrynsulkukerroksen väliin pursotetaan polyuretaanivahto ennen naulaamista naulalevyristikon alapaarteeseen, jotta elementit muodostavat yhtenäisen jäykistävän levykerroksen.

Elementtien väliin asennetaan solumuovikaista, joka varmistaa elementtien tiiviin liitoksen. Solumuovikaistat nidotaan kumpaankin elementtiin tehtaalla. Kaistojen kunto tulee tarkistaa ennen asennusta ja mahdollisesti vioittuneet tai irronneet kaistat korvata. Elementtien keskinäinen liitos on esitetty kuvassa 14.



Kuva 14. Elementtien keskinäinen liitos

4.8 Liitosten ilmanpitävyyden varmistaminen

Liitoksen ilmanpitävyyden varmistamiseksi asennus- ja tiivistystyö on aina tehtävä huolellisesti ja asennusohjeita noudattaen. Reuna-alueilla tehtävät polyuretaanitiivistykset tulee tarkastaa asennustyön edetessä ja mahdolliset virheet on korjattava.

Höyrynsulkukerroksen reunakenttään asennetaan Contega PV -liituskangas, jolla tiivistetään höyrynsulku seinälinjalla. Contega PV -liituskangas tulee aina asentaa valmistajan ohjeen mukaisesti ja työn tulos tarkastaa asentamisen jälkeen.

Vastakkaisten ja vierekkäisten elementtien väliin asennettavat solumuovikaistat tulee tarkastaa mahdollisten virheiden varalta ennen asennusta. Mikäli puutteita havaitaan, ne täytyy korjata liitoksen hyvän ilmanpitävyyden saavuttamiseksi.

Harjalle asennettava bitumikermikaista tulee asentaa valmistajan ohjeen mukaisesti ammattitaitoisen henkilön toimesta. Kaistaa asennettaessa tulee varmistua, että tartunta on kaikilta osin moitteeton, jotta saadaan täydellinen lopputulos.

Elementtien keskinäisessä liitoksessa höyrynsulkukerroksen yhtenäisyys saumakohdissa varmistetaan pursottamalla polyuretaanivaahtoa saumaan. Sauma teipataan vielä huolellisesti vaahdotuksen jälkeen.

5 KULJETUS- JA TYÖMAAJÄRJESTELYT

5.1 Kuljetusta koskevat vaatimukset

Elementtejä kuljettaessa ja kuljetusta suunniteltaessa on huomioitava monien lakien ja asetusten vaikutukset. Alla on listattuna keskeisimpiä lakeja ja asetuksia, joita tulee huomioida kuljetuksen suunnittelussa.

- Tieliikennelaki
- Asetus ajoneuvojen käytöstä tiellä (4.2.1992/1257)
- Tiekuljetussopimuslaki
- Asetus autojen ja perävaunujen rakenteesta ja varusteista (1248/2002)
- Liikenneministeriön päätös erikoiskuljetuksista ja erikoiskuljetusajoneuvoista (1715/1992)
- Liikenneministeriön päätös ajoneuvojen kuormakoreista, kuormaamisesta ja kuorman kiinnittämisestä (940/1982)
- Työturvallisuuslaki

Suomen kuljetusalaliiton julkaisun mukaan suurin sallittu leveys normaalille maantiekuljetukselle on 2,6 metriä mukaan lukien kuorma. Kuljetusyhdistelmän sallittu pituus riippuu käytettävän yhdistelmäajoneuvon tyypistä. Suurin sallittu korkeus normaalissa maantiekuljetuksessa on 4,2 metriä. Kuljetuksen suurin sallittu massa riippuu käytettävästä kuljetuskalustosta ja luonnollisesti myös mahdollisista tiestön kantavuuden aiheuttamista rajoituksista matkan varrella.

Elementtien kuormaus tulee suunnitella kuormaussuunnittelijan toimesta siten, että Suomen laissa ja muissa kuljetuksia koskevissa ohjeissa asetetut vaatimukset täyttyvät. Lisäksi kuorman suunnittelussa on otettava huomioon kaupunkien asuinalueiden asettamat haasteet, kuten ahtaat risteysalueet ja mahdollisesti normaalia matalammalla kulkevat sähkö- tai muut linjat. Jokainen kuljetus suunnitellaan siten, että matkan aikana välttäisiin yllätyksiltä, jotka voivat johtaa viivästyksiin.

5.2 Välivarastointi työmaalla

Työmaan kannalta optimaalista olisi, että elementit olisi mahdollista nostaa suoraan kuormasta paikoilleen katolle. Tällöin vältetään ylimääräisiltä nostoilta ja rakennustyömaa pystytään pitämään esteettömänä. Varsinkin pienillä kaupunkitonteilla välivarastointi on yleensä hankalaa pienten tonttikokojen takia. Toisinaan kiireen ja sääolojen aiheuttamat viivästykset saattavat aiheuttaa sen, että kaikki ei ole vielä valmista elementtien nostamiseksi katolle. Mikäli viivästys on tiedossa riittävän aikaisessa vaiheessa, elementtien toimitusta voidaan lykätä myöhempään ajankohtaan. Mikäli kuljetuksen peruminen on kuitenkin jo myöhäistä tai uuden kuljetuksen järjestyminen siirtyisi liian kauas eteenpäin, elementtien välivarastointi saattaa olla järkevää suorittaa tontilla.

Elementit voidaan varastoida päällekkäin lappeelleen siten, että niiden välit pääsevät tuulettumaan riittävän tehokkaasti. Pohjimmaisena olevan elementin on oltava riittävällä korkeudella maanpinnasta, jotta rakenteeseen ei pääse siirtymään kosteutta varastointialustasta. Kannatteluun voidaan käyttää kuormalavoja tai sahatavarasta valmistettua arinarakennetta. Varastointipohjan on oltava mahdollisimman suora. Pohjalle ja elementtien väliin asetettavien tukien asennuksessa tulee huomioida, että elementit ovat tuettuna tasaisin välein siten, ettei kuormien epätasaisesta jakautumisesta aiheudu vahingollisia pistekuormia elementtirakenteelle. Mikäli elementit varastoidaan pidemmäksi aikaa, elementit tulee suojata sään vaikutuksilta suojapeittein. Suojapeitteen alle on asennettava tuuletusrimat, jotta ilma pääsee kiertämään esteettömästi peitteen ja rakenteen välissä. Elementit varastoidaan siten, että ne ovat asennuksen kannalta oikeassa järjestyksessä päällimmäisestä elementistä alkaen.

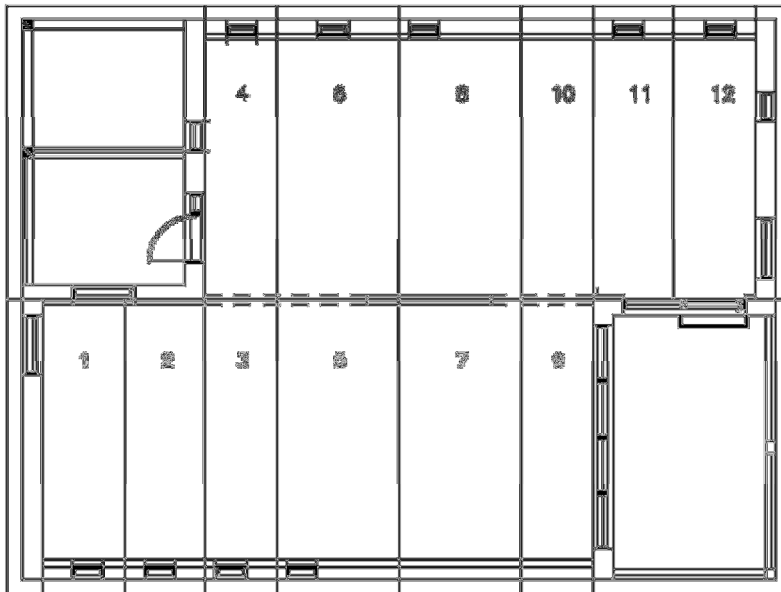
5.3 Nostot

Elementtien nostot suoritetaan aina valmistajan ohjeen mukaisesti elementtiin asennetuista nostolenkeistä tai muuten määrättyistä nostokohdista. Väärin suoritettu nosto voi aiheuttaa vaurioita rakenteessa. Epäonnistuneen noston takia syntyneet vauriot viivästyttävät vesikatteen asentamista ja jättävät jo paikallaan olevat elementit sääälle alttiiksi. Tästä syystä nostot tulee suorittaa ammattilaisen toimesta, ohjeiden mukaan ja oikeanlaisella nostokalustolla.

Nostokaluston valintaan vaikuttavat nostettavan elementin painon ja mittojen lisäksi rakennuskohteen aiheuttamat vaatimukset. Mikäli nostokalustoa ei pystytä sijoittamaan rakennusrungon välittömään läheisyyteen tilanpuutteen vuoksi, nostoissa joudutaan käyttämään tehokkaampaa nostokalustoa. Nostot tulee aina suunnitella tapauskohtaisesti, jotta työ sujuu ilman hankaluuksia. Nostoja suunniteltaessa on hyvä tutustua rakennustiedon ohjekortteihin Ratu 04-3009 Nosto- ja siirtokalusto, suunnitteluohje ja Ratu S-1211 Nostot ja siirrot. Lisäksi nostojen suunnittelussa on huomioitava työturvallisuuden kannalta tärkeä ohjeet ja määräykset.

5.4 Työ- ja asennusjärjestys

Asennustyö suoritetaan aloittaen päätyseinältä ja päättyen päätyseinälle. Vastakkaiset elementit asennetaan pareittain, jolloin voidaan havaita mahdolliset ongelmat ajoissa. Elementtien kiinnitys voidaan suorittaa, kun kaikki elementit on nostettu paikoilleen. Tällöin elementtien liikuttelu on vielä mahdollista, mikäli paikalleen sovittamisen kanssa tulee ongelmia. Kuvassa 15 on esitetty esimerkki elementtien asennusjärjestyksestä harjakattoisessa LammiLoft -mallissa.



Kuva 15. Esimerkki asennusjärjestyksestä.

5.5 Kiinnittäminen

Elementtien kiinnittämisessä juoksuihin käytetään 100x600x3 ja 100x300x3 reikälevyjä sekä 4,0x40 ruuveja. Päätyseinällä elementti kiinnitetään 90x60x2,5x60 kulmaraudalla ja 4,0x40 ruuvein. Päätyräystä kiinnitetään lape-elementin kylkeen 4,0x90 ruuvein. Yläpaarteilla tehtävät elementtien väliset kiinnitykset tehdään 3,1x90 konenauloin.

Lopulliset kiinnitykset mitoitetaan rakennesuunnittelun yhteydessä. Kaikki kiinnitykset tulee tehdä rakennesuunnitelmien mukaisesti ja äärimmäistä huolellisuutta noudattaen. Kiinnitysten suunnittelussa tulee huomioida kiinnityksiin kohdistuva tuulen aiheuttama imuvoima, joka pyrkii nostamaan rakennetta ylöspäin.

6 ELEMENTIN VALMISTUSKUSTANNUKSET

6.1 Yleistä

Kappale on salattu.

6.2 Valmistuskustannukset

Kappale on salattu.

7 KANNATTAVUUDEN ARVIOINTI JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Suoraa vertailukohdetta rakenteen lämmönläpäisykertoimen osalta on vaikea löytää. Myös elementin rakenne poikkeaa muista markkinoilla olevista elementtituotteista niin paljon, että rakennetta voidaan vertailla vain kustannustehokkuuden, painon, käsiteltävyyden ja kuljetuksenkestävyyden kannalta. Vertailtaessa rakenteen hintaa Einari M. Auteron opinnäytetyössään saamiin tuloksiin voidaan todeta, että kehitelty elementti on valmistuskustannustensa puolesta kilpailukykyinen ratkaisu elementtimarkkinoille ollessaan alustavan kustannusarvion mukaan yläpohjaelementtien hintahaarukan keskivaiheilla.

Toisena kilpailua helpottavana tekijänä voidaan pitää elementille saatua $0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$ lämmönläpäisykerrointa, mikä on parempi vertailtaessa rakennetta SPU 320 - passiivikattoelementtiin tai Thermisol Platina Pi-Ka -yläpohjaelementtiin, joilla voidaan saavuttaa $0,07 \text{ W/m}^2\text{K}$ lämmönläpäisykerroin. Tavoiteltaessa kyseisillä elementtirakenteilla $0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$ U-arvoa näitä rakenteiden eristekerrosta täytyy täydentää, mikä lisää rakenteiden kustannuksia ja asennuksen työvaiheita. On kuitenkin syytä tarkastella tätä saatua hyötyä siltä kannalta, mitä rakenteen muut ominaisuudet ovat verrattaessa muihin elementtiratkaisuihin. Esimerkiksi kuljetuksenkestävyyttä ja asennettavuutta on tarpeen testata huolellisesti ennen elementtirakenteen tuotteistamista. Kaikki elementtirakenteen suunnittelussa käytetyt osamateriaalit ovat itsessään hyvin rasituksia kestäviä, mutta on vaikea tietää, miten näistä useista eri rakennekerroksista koottu elementtirakenne reagoi kuljetuksen ja nostojen aiheuttamiin rasituksiin. Nämä vastaukset voidaan saada vain käytännön testauksen tuloksina.

Tuotteen mahdollinen kilpailukyky perustuu sen hyvään lämmönläpäisykertoimeen ja eristekerroksen tarpeenmukaiseen muunneltavuuteen. Elementtirakenne vaatii kuitenkin loppuun asti viedyn suunnittelutyön, sillä keskeneräisenä sillä ei tule olemaan mahdollisuuksia markkinoilla olemassa olevia yksinkertaisella ja vähemmän virhealttiilla rakenteella toteutettuja elementtiratkaisuja vastaan. On mahdollista, että kuluttajien on vaikea ottaa vastaan elementtiä, joka muistuttaa rakennepoikkileikkaukseltaan pitkälti paikalla rakennettua yläpohjaa. Rakenne ei kuitenkaan ole millään muotoa vertailtavissa paikalla rakennettuun yläpohjarakenteeseen, sillä tämänkaltainen levyristeiden ja puhalluseristeiden yhdistely ei ole tehokasta työmaaolosuhteissa. Paikalla rakennettava yläpohja

tulisi ensisijaisesti eristää kokonaan puhalluseristeellä tai levyeristeellä. Kokonaan levyeristeillä toteutettava yläpohjarakenne olisi lämmönläpäisykertoimeltaan vastaava ratkaisu, mikäli puhalluseriste korvattaisiin vastaavalla levyeristeellä, mutta tällöin työ määrä ja työvirheiden mahdollisuus kasvaisi huomattavasti. Kokonaan puhalluseristeellä toteutettu rakenne taas kasvaisi korkeudeltaan kohtuuttomiin mittoihin

Tämän selvityksen johtopäätöksenä voidaan pitää, että ristikkopalkkirakenteisen kattoelementtijärjestelmän kehittäminen standardoitujen pientalojen kattorakenteeksi voi olla kannattavaa. Tähän johtopäätökseen pääseminen on kuitenkin kehitystyön ja asetettujen kysymysten ratkaisemisen aikana herättänyt useita uusia kysymyksiä, jotka vaativat vastauksia. Mikäli elementtijärjestelmää halutaan päästä käyttämään lähitulevaisuudessa, on tarpeen, että tuotteesta valmistetaan prototyyppisiä ja rakennetta kehitetään edelleen niin kauan, että kaikki rakenteen kestävyys- ja asennettavuuteen liittyvät kysymykset on ratkaistu.

LÄHTEET

Suomen rakentamismääräyskokoelma C4. Lämmöneristys, ohjeet. 2003, 7. Luettu 16.4.2013. <http://www.finlex.fi/data/normit/1931-C4s.pdf>

Rakennustieto Oy Tarviketietokortti. Ekovilla -lämmöneristeet. 2012, 4. Luettu 16.4.2013. <http://www.rakennustieto.fi/Downloads/Tarviketieto/pdf/38196.pdf>

Paroc® -puhalluskivivilla -esite. 2011, 2. Luettu 16.4.2013.
http://www.paroc.fi/~media/Files/Brochures/Finland/Paroc_blowing_wool_brochure_FI.ashx

ISOVER KL-33 -tuoteseloste. 2013. Luettu 16.4.2013.
<http://www.isover.fi/tuoteseloste/2558/isover-kl-33.pdf>

Kattoliitto ry. Toimivat katot 2013, 2013. Luettu 26.4.2013.
http://www.kattoliitto.fi/files/504/Toimivat_Katot_2013_reduced_size_.pdf

Tiivistalo. Tuoteluettelo, höyrynsulut. 2013. Luettu 3.5.2013.
<http://www.tiivistalo.fi/tuotteet/default.asp?sivu=h%F6yrynsulut>

Tiivistalo. Kosteusvauriot. 2013, 3. Luettu 5.5.2013.
<http://www.tiivistalo.fi/docs/kosteusvauriot.pdf>

RT Tarviketieto. Hunton-Tuotteet. 2013. 3. Luettu 8.5.2013.
<http://www.rakennustieto.fi/Downloads/Tarviketieto/pdf/38363.pdf>

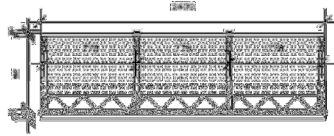
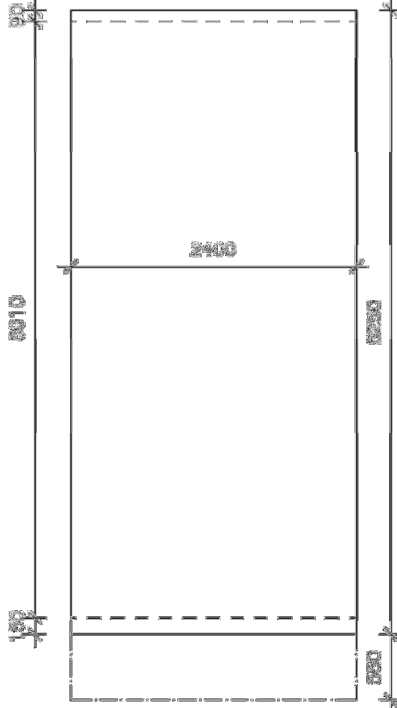
VTT. Puurakenteiden jäykistyssuunnittelun ohje. 2006. 4. Luettu 16.5.2013.
http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2006/jaykistys_2006.pdf

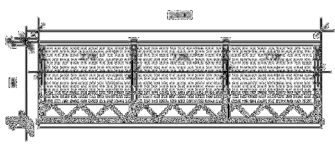
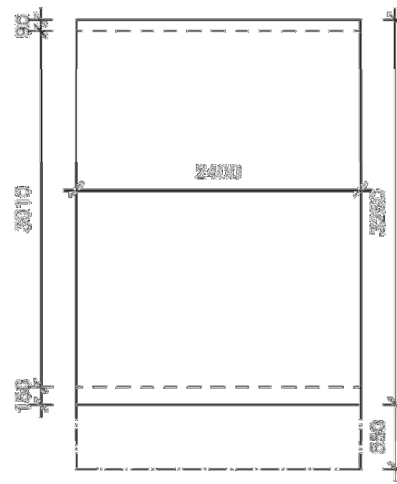
LIITTEET

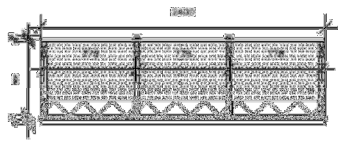
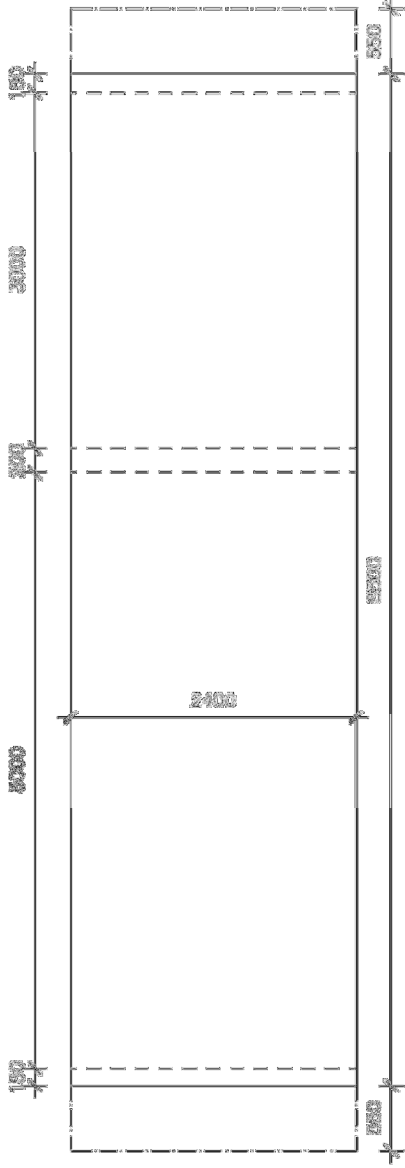
Liite 1. Elementtikaavio

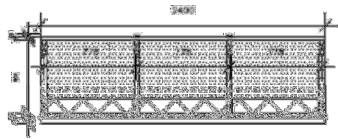
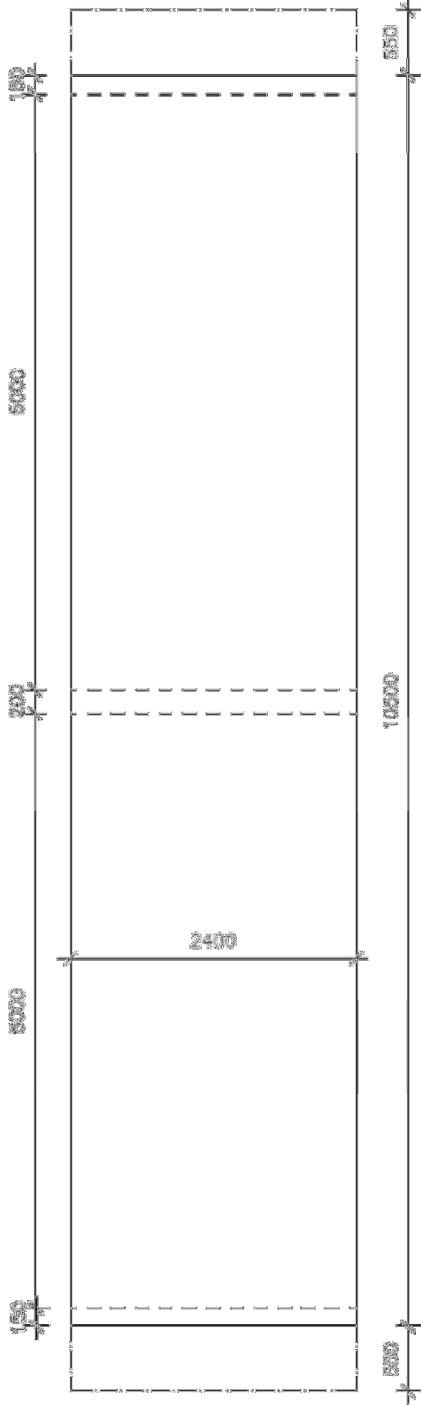
Liite 2. LammiLoftin pohja- ja leikkauspiirustukset

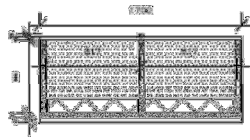
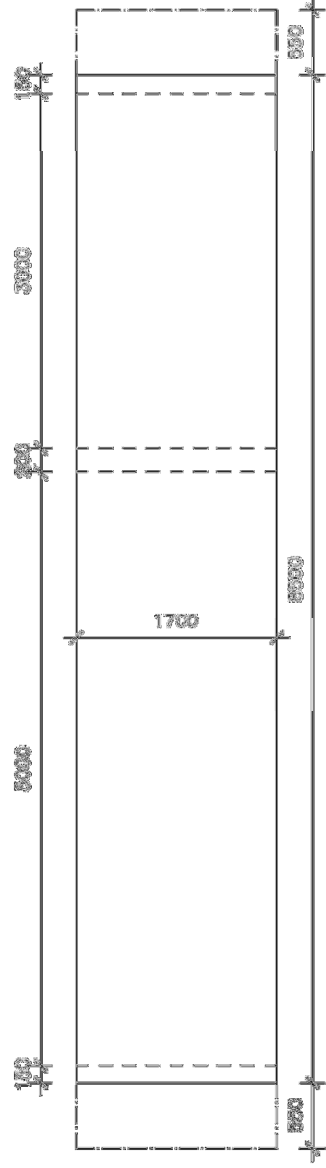
Liite on salattu.

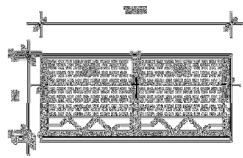
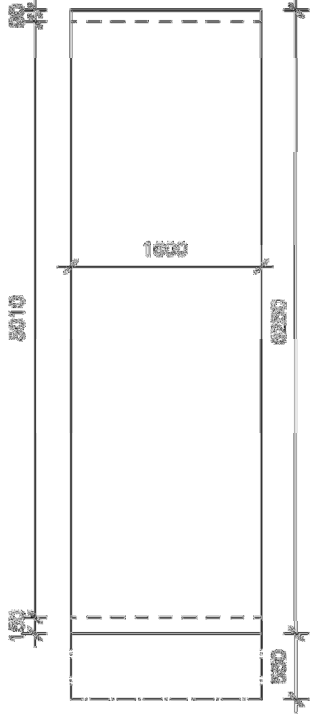
| LammiLoft | Elementin numero 101 |
|---|--|
|  |  |

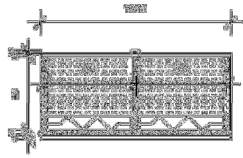
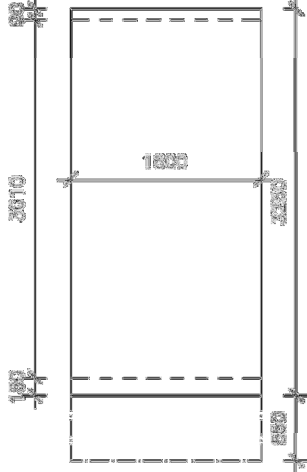
| Lammiloft | Elementin numero 102 |
|---|--|
|  |  |

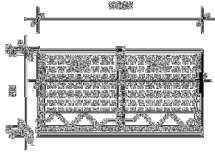
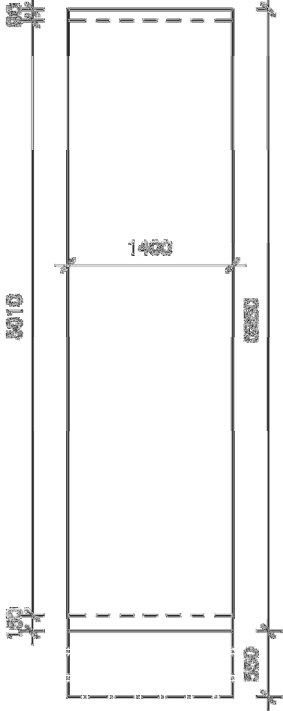
| LammiLoft | Elementin numero 103 |
|---|---|
|  |  |

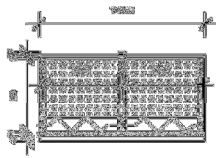
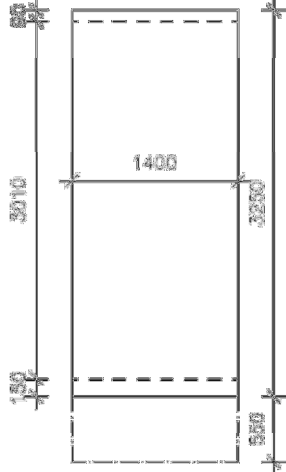
| LammiLoft | Elementin numero 104 |
|---|---|
|  |  |

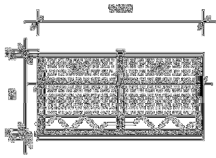
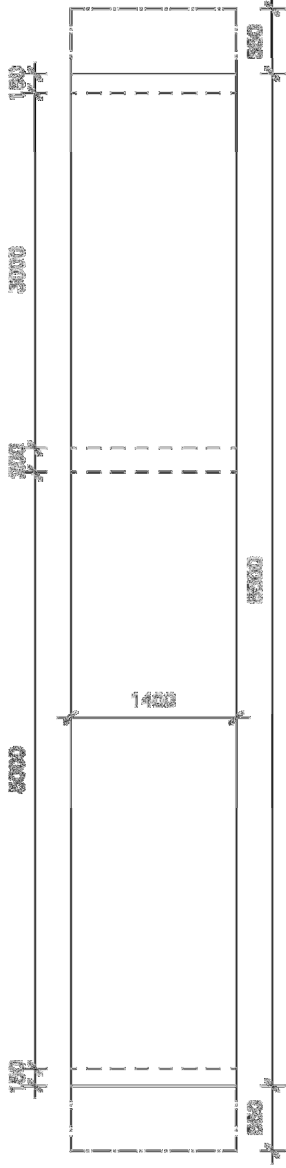
| LammiLoft | Elementin numero 201 |
|---|---|
|  |  |

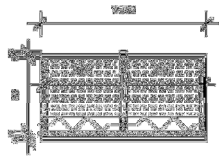
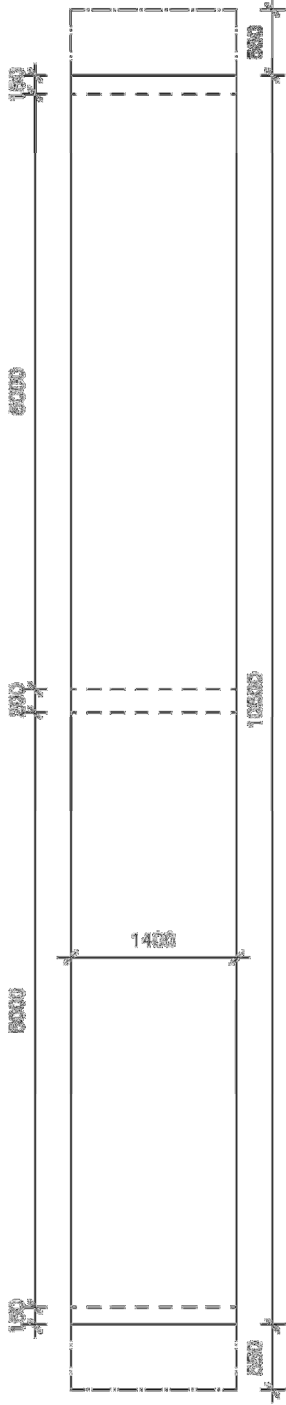
| Lammiloft | Elementin numero 301 |
|---|--|
|  |  |

| LammiLoft | Elementin numero 302 |
|---|--|
|  |  |

| Lammiloft | Elementin numero 401 |
|---|--|
|  |  |

| Lammiloft | Elementin numero 402 |
|---|---|
|  <p>A technical drawing showing a cross-section of a Lammiloft element. It features a grid pattern of small squares. Dimensions include a width of 1920 and a height of 3010. There are also smaller dimensions of 150 and 110 indicated on the left side.</p> |  <p>A technical drawing showing a top view of a Lammiloft element. It is a rectangle with a width of 1400 and a height of 3010. There are dashed lines indicating a larger outer rectangle with a width of 3250 and a height of 150. There are also smaller dimensions of 110 and 150 indicated on the left side.</p> |

| LammiLoft | Elementin numero 403 |
|---|---|
|  |  |

| LammiLoft | Elementin numero 404 |
|---|---|
|  |  |