

VAAHTOLASIN KÄYTTÖ KERROSTALORAKENTAMISESSA



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Rakennusmestari (AMK)

Hämeenlinnan korkeakoulukeskus

Syyslukukausi 2021

Marko Kilponen

Tekijä Marko Kilponen

Vuosi 2021

Työn nimi Vaahtolasin käyttö kerrostalorakentamisessa

Ohjaajat Sami Niku-Paavo (HAMK), Petri Pyhäjärvi (YIT)

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia vaahtolasin käyttöä lämmöneristeenä kerrostalorakentamisessa, sen hyötyjä ja haittoja tavanomaisesti käytettyihin rakennusmateriaaleihin nähden. Lisäksi tavoitteena oli, selvittää saavutetaanko vaahtolasin käytöllä merkittäviä etuja muihin eristemateriaaleihin verrattuna.

Työn tilaajana toimi YIT Suomi Oy, joka on Suomen suurin ja merkittävä rakennusliike Euroopassa. Tilaaja haluaa selvittää vaahtolasin käytön ympäristövaikutuksista CO2 päästöt. Selvittää materiaalin käyttöön liittyviä työturvallisuusnäkökohtia, sekä vaahtolasin kosteustekniseen käyttäytymiseen rakentamisen aikana ja lopputuotteessa.

Materiaali opinnäytetyön tueksi on haettu materiaalivalmistajien julkaisuista, työmaahaastatteluista, rakennesuunnittelijalta, alanjulkaisuista, sekä seurantakohteessa suoritetuista kosteusmittauksista.

Selvityksen perusteella voidaan todeta vaahtolasin soveltuvan hyvin eristemateriaaliksi rakenteisiin, joissa eristeet saavat kostua. Kuivissa rakenteissa eristeen kuivana säilymiseen koko asennusketjun ajan tulee kiinnittää huomiota, sillä tutkimuksissa on havaittu vaahtolasin luovan rakenteisiin varsin korkeat kosteusolosuhteet jo pienilläkin kosteusmäärillä. Lisäksi on havaittu kyseisten rakenteiden olevan verrattain hitaasti kuivuvia. Tänä päivänä, jolloin kierrätyksen merkitys myös rakentamisessa kasvaa jatkuvasti, vaahtolasi vaikuttaisi olevan ekologisempi vaihtoehto moneen muuhun eristeeseen verrattuna.

Avainsanat vaahtolasi, kerrostalorakentaminen, solulasi

Sivut 18 sivua ja liitteitä 9 sivua

Author Marko Kilponen

Year 2021

Subject The Use of Foamed Glass in Building Construction

Supervisors Sami Niku-Paavo (HAMK), Petri Pyhäjärvi (YIT)

ABSTRACT

The purpose of this Bachelor's thesis was to study how foamed glass can be used as insulation material in apartment building construction, as well as to find out its benefits, and disadvantages, compared to conventional building materials. In addition, the aim was to solve whether significant benefit can be achieved by using foamed glass compared to other insulation materials.

The thesis was commissioned by YIT Oy, which is one of the biggest construction companies in Nordic countries and it has about 7400 employees in ten different countries. The commissioner wanted to find out the environmental influences of foamed glass CO₂ emissions, as well as safety aspects of using this material and its moisture behavior during and after construction project.

According to the results of the thesis, it can be said that foamed glass is suitable insulation material to the structures that deal with moisture. In dry structures it is important to keep insulation material dry, because it has been proven that structures which include foamed glass can create quite high relative humidity by a small amount of water. This kind of structure has also proved to be quite slow to dry. Foamed glass seems to be an environmentally friendly product, which has become more important nowadays.

Pre-existing material for this thesis was retrieved from publications of material manufacturers, interview conducted at a construction site, from a structural engineer and from industry publications.

Keywords Foamed glass, building construction, cellular glass

Pages 18 pages and appendices 9 pages

Sisälllys

Lyhenteet ja määritelmät	1
1 Johdanto	2
2 Vahtolasi	3
2.1 Vahtolasin valmistus	4
3.2 Ominaisuudet.....	5
3.3 Hiilijalanjälki	7
3.4 Vahtolasin käyttö kerrostalorakentamisessa.....	8
3.4.1 Käyttökohteet	8
3.4.2 Vierustäytöt ja anturoiden alustäytöt.....	9
3.4.3 Alapohjat	9
3.4.4 Väli- ja yläpohjat.....	9
3.4.5 Autohallin kannen täyttö	10
3.5 Työmenetelmät.....	10
3.6 Kustannukset.....	11
4 Solulasi.....	12
4.1 Ominaisuudet.....	13
4.2 Käyttökohteet	13
4.3 Solulasin kustannusvertailu ja hyödyt	13
5 Seurantakohde	14
6 Yhteenveto	16
LÄHTEET	18

Liitteet

- Liite 1 Periaatepiirros sokkelinvierustäytöt
- Liite 2 Periaatepiirros kellarin vierustäytöt
- Liite 3 Periaatepiirros maanvaraisesta alapohjasta
- Liite 4 Periaatepiirros tuulettuvasta alapohjasta
- Liite 5 Periaatepiirros loiva yläpohja
- Liite 6 Periaatepiirros loiva lisäeristetty yläpohja
- Liite 7 Periaatepiirros käännettyvesikatto
- Liite 8 Periaatepiirros lisäeristetty käännettyvesikatto
- Liite 9 Periaatepiirros liikennöity pihakansi

Lyhenteet ja määritelmät

CO₂e	Hiilidoksidiekvivalentti. Suure ilmakehään vapautuvien kasvihuonekaasujen määrästä.
M1- luokiteltu	Rakennusmateriaalien päästöluokitus. Luokitus edellyttää hyväksytyyn testauslaboratorion suorittamia mittauksia.
W/mK	Lämmönjohtavuus. Kuvaa materiaalin miten hyvin materiaali johtaa lämpöä.
EPS	Paisutettu polystyreenistä valmistettu rakennuseriste. Expanded polystyrene.
XPS	Suulakepuristettu polystyreenieriste. Extruded polystyrene
Hiilijalanjälki	Tuotteen aiheuttama ilmastokuorma. Kuinka paljon kasvihuonekaasuja tuotteen käytöstä aiheutuu sen elinkaaren aikana.
Hiilikädenjälki	Kuvaa tuotteen käytöstä aiheutuvaa ilmastohyötyä, eli päästövähennysvaikutusta.
Kantavuusmoduuli	Kuvaa maapohjan kantavuutta.
p-%	Painoprosentti
RH%	Suhteellinen kosteusprosentti

1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan vaahtolasin eri käyttömahdollisuuksia kerrostalorakentamisessa ja mitä hyötyjä sen käytöllä voidaan saavuttaa perinteisiin rakennusmateriaaleihin nähden. Lisäksi tilaaja halusi selvitettävän vaahtolasin käytön ympäristövaikutuksia, sekä vaahtolasin kosteusteknisiä ominaisuuksia. Vaahtolasin käyttö on vielä melko vähäistä Suomessa, rajoittuen lähinnä infrarakentamiseen, missä se saavuttaa merkittävämpää asemaa koko ajan kustannustehokkaan käsiteltävyytensä ansiosta.

Kerrostalorakentamisessa vaahtolasia käytetään vielä monikäyttöisyyteensä nähden melko niukasti, eikä sen todellisia kustannusvaikutuksia ole vielä tutkittu. Myöskään vaahtolasin käyttömahdollisuuksia työmailla ei vielä tunneta kovinkaan laajasti.

Rakentaminen ja rakennukset tuottavat Suomessa noin kolmanneksen kasvihuonepäästöistä. Rakentamisella on keskeinen rooli Suomen tavoitellessa kansallisia ja kansainvälisiä ilmastotavoitteitaan. (Ympäristöministeriö 2018) Tähän asti on pyritty säännöksillä ohjaamaan rakennusten energiatehokkuutta ja käytönaikaisia päästöjä. Hiilineutraalisuuteen tähtäävät toimet rakentamisessa tulevat kohdistumaan tulevaisuudessa rakennusaikaisiin päästöihin, sekä elinkaaren lopussa materiaalien uudelleenkäytettävyyteen.

Uudella lainsäädännöllä rakennusten vähähiilisyttä ohjataan vuoteen 2025 mennessä. Niissä rakennuksille on laskettava hiilijalan- ja kädenjälki rakennuslupaa haettaessa. Lainsäädännöllä arvioidaan voitavan saavuttaa noin puolen miljoonan kasvihuonekaasutonnin vähennys vuosittain. Samalla yhtenäistetään käytänteitä muun Euroopan kanssa. (Ympäristöministeriö 2018)

Vaahtolasi on valmistettu 99- prosenttisesti kierrätyslasista, sekä on uudelleen käytettävissä. Sen hiilijalanjälki on markkinoiden alhaisin (0,31 kg CO₂/kg) (Foamit 2020), verrattuna muiden vastaavien eristeiden hiilijalanjälkeen. Sen koostumuksesta vain noin 8 % on kiinteää ainesta ja loppu 92 % on ilmaa.

2 Vaahtolasi

Vaahtolasi on kierrätyslasista valmistettua kevyttä kivimäistä rakennusmateriaalia. Olemukseltaan vaahtolasi muistuttaa kevyttä kiveä ennemminkin kuin lasia (kuva 1). Vaahtolasin raaka-aineeksi kelpaa lähes minkäläinen kierrätyslasi tahansa. Suomessa vaahtolasia valmistaa ainoastaan Uusioaines Oy Forssassa, joka markkinoi tuotetta nimellä Foamit. Sen valmistama vaahtolasi on M1-luokiteltua ja sillä on hyväksyntä käytettäväksi Joutsenmerkittyihin taloihin, jolloin se täyttää Joutsenmerkin talokriteereissä asetetut vaatimukset kyseiselle materiaalille. (Ympäristömerkintä Suomi Oy, n.d.)

Kuva 1. Vaahtolasi muistuttaa kivimursketta



Vaahtolasin valmistusprosessi on keksitty Neuvostoliitossa vuonna 1932. Pian tämän jälkeen Yhdysvalloissa Pittsburgh Corning Corporation aloitti valmistusprosessin kehittämisen ja valmistus aloitettiin 1940-luvulla ja Euroopassakin ja 1950-luvulla. Yhtiön kehittämä solulasieristettä myydään edelleenkin Foamglas- tuotemerkillä Suomessakin. Pohjoismaissa Norjassa ja Ruotsissa vaahtolasia on käytetty infrarakentamisessa jo vuosia. Norjassa on ollut omaa vaahtolasimurskeen tuotantoa jo 1990-luvulta lähtien. (Kuisma 2013) Suomessa vaahtolasimurskeen tuotannon aloitti Uusioaines Oy 2011, joka valmistaa ja markkinoi tuotettaan Foamit- tuotemerkillä. Yritys on edelleen ainoa kotimainen vaahtolasin tuottaja.

2.1 Vaahtolasin valmistus

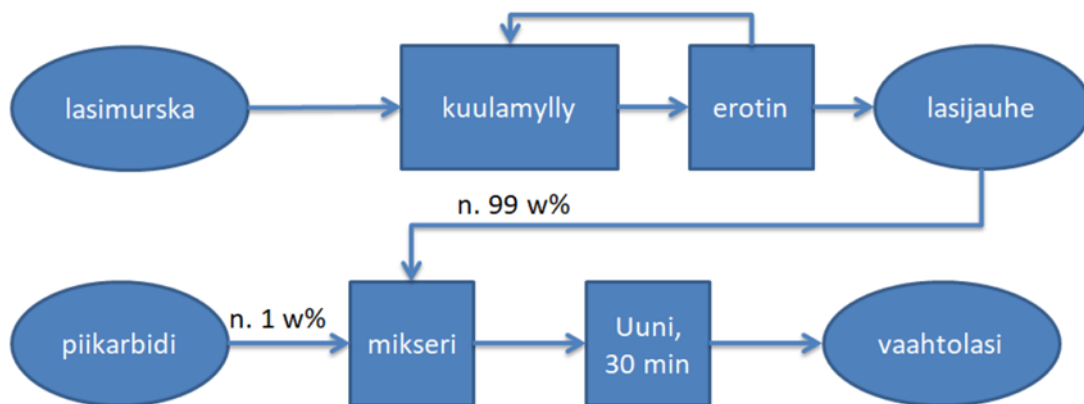
Vaahtolasia valmistetaan pääasiassa neljällä erilaisella menetelmällä. Sulaan ja viskositeetiltaan matalaan lasimassaan johdetaan kaasukuplia, jotka jäävät seoksen sisälle. Toisessa menetelmässä sulassa lasimassasta vapautuvat kaasut paisutetaan alipaineen avulla. Lisäksi vaahtolasia valmistetaan lisäämällä sulaan massaan tai jauhetun lasin sekaan vaahdotus agenttia, tätä seosta kuumennetaan myöhemmin.

Suomessa Uusioaines Oy valmistaa vaahtolasin lisäämällä lasijauheeseen vaahdotusagentin ja kuumentamalla seosta. Prosessissa vaahtolasi saa muotonsa, kun hienojakoiseen lasijauheen joukkoon on lisätty vaahdotusagentti ja seos kuumennetaan uunissa 900 asteiseksi, jossa seos paisuu vaahdotusagentin ansiosta lähes viisinkertaiseksi. Ilmakuplat sitoutuvat sulaan massaan tasaisesti erilleen toisistaan siten, että niitä erottavat toisistaan vain hyvin ohuet lasiseinämät. (Foamit, n.d.)

Vaahdotusagenttina käytetään piikarbidia (SiC), joka prosessissa antaa hyvän kontrollin ja tuottaa tasalaatuisia kaasukuplia lasimassaan. Piikarbidin korkea hinta muodostaa suurimman osan vaahtolasin materiaalikustannuksista. Muita vaihtoehtoja vaahdotusagenteiksi ovat kalsiumsulfaatti (CaSO_4), kalsiumkarbonaatti (CaCO_3), natriumkarbonaatti (Na_2CO_3), sekä lentotuhka. (Potila 2018)

Prosessissa lämpötilan hallinta on tärkeässä asemassa, jotta kaasukuplat eivät pääse nousemaan lasinesteen pintaan, jolloin ne eivät muodosta solumaista rakennetta. Jäähtyessään massa alkaa lohkeilla äkillisen kutistumisensa johdosta, koska vaahtolasin ulkopinta jäähtyy nopeammin kuin sisäpuoli pienen lämmönjohtavuutensa vuoksi. Näin vaahtolasi saada lopullisen murskemaisen muotonsa, jonka raekoko on 0–60 mm. Valmiina rakenne on sienimäinen ja huokoinen. Valmiin tuotteen ominaispainosta 8 prosenttia on lasia ja 92 prosenttia ilmaa.

Kuva 2. Prosessikaavio vaahtolasinvalmistuksesta Uusioaines Oy:ssä, kuvaan on merkitty lasijauheen ja piikarbidiin määrät massaprosentteina.



3.2 Ominaisuudet

Vaahtolasin hyvinä ominaisuuksina ovat muun muassa sen keveys $110\text{--}175\text{ kg/m}^3$, suhteellisen hyvä puristuslujuus $0,5\text{--}1,6\text{ N/mm}^2$, sekä matala lämmönjohtokyky $0,040\text{--}0,045\text{ W/mK}$. Vaahtolasi on yksiaineinen ja epäorgaaninen aine, joten se ei tarjoa kasvualustaa mikrobeille ja tuholaisille. Lisäksi se on palamatonta ja sillä on hyvät kosteustekniset ominaisuudet. Umpisoluisen rakenteensa ansiosta vaahtolasimurske ei ime itseensä vettä, ilman ulkoista vedenpainetta. Jatkuvassa kosteusrasituksessa vaahtolasi kuitenkin imee huomattavia määriä vettä, voidaan jopa nelinkertaistaa ominaisuuspainonsa (taulukko 1). Vaahtolasi kuitenkin säilyttää eristyskykynsä kosteanakin varsin hyvin (taulukko 2) ja siksi se on monilta rakennusteknisiltä ominaisuuksiltaan parempi kuin vaikkapa lasivilla tai EPS eriste verrattuna. (Foamit, n.d.)

Taulukko 1. Vaahtolasin ominaispaino arvoja eri kosteusolosuhteissa. (Foamit, n.d.)

Rakenne, jossa toimiva kuivatus	$3,5\text{ kN/m}^3$
Rakenne ajoittain veden alla, $\leq 1\text{ kk}$	6 kN/m^3
Rakenne pitkäaikaisesti veden alla, $> 1\text{ v}$	10 kN/m^3

Tutkimuksissa on selvinnyt vaahtolasin luovan 90 % suhteellisen kosteuden jo hyvinkin pienellä vesimäärällä (alle 1 p-%). Täten tutkimuksissa on voitu todeta, ettei vaahtolasi ole hydroskooppinen kosteutta vesihöyryn muodossa sitova materiaali. Siten kuiviin rakenteisiin tulisi käyttää ehdottoman kuivaa vaahtolasimursketta. (Paloniitty Oy 2021)

Vaahtolasi on pääasiassa piioksidista (kvartsi) koostuva amorfinen aine, joka kestää hyvin kemikaaleja, joita sen tavanomaisessa käytössä esiintyy. Vaahtolasin koostumuksesta ja valmistusprosessista johtuen, se ei sisällä haituvia yhdisteitä eikä orgaanisia haitta-aineita. Siitä ei liukene tavanomaisessa käytössä merkittäviä määriä ympäristölle haitallisia aineita arseenia ja antimonia, joiden on todettu aiheuttavan pohjavesien pilaantumista. (Ramboll 2011) Vaahtolasin PH-arvo on 10 joten se on lievästi emäksinen, se ei edistä korroosiota, mutta esimerkiksi yläpohjarakenteissa suositellaan teräsosat suojaamaan kaksinkertaisella muovikalvolla teipaten. (Foamit, n.d.)

Vaahtolasilla on hyvä kantokyky ja rikkonaisen raemuotonsa vuoksi hyvä kitkakerroin. Sen kitkakulmaa voidaan verrata murskeeseen ja siitä voidaan tehdä verrattain jyrkkiä 1:1 kantavia penkereitä. Vaahtolasi säilyttää lämpö- ja kosteusominaisuutensa myös ikääntyessään, minkä vuoksi se on pitkäikäinen eristemateriaali. Vaahtolasille voidaan suunnitella kaikissa olosuhteissa 50 vuoden käyttöikä.

Vauriotapauksissa vaahtolasimurske voidaan kuivattaa koneellisella tehokuivatuksella. Tämä on tutkimuksissa osoittautunut kuitenkin varsin hitaaksi menetelmäksi, joten pahoin (kosteus yli 1–2 painoprosenttia) kastunut vaahtolasimurske on katsottu järkevämmäksi kokonaan vaihtaa. (Paloniitty Oy 2021) Yksiaineisena ei-orgaanisena se ei kuitenkaan yksinään toimi kasvualustana mikrobeille. Lisäksi vaahtolasi ei aiheuta märkänäkään metallirakenteille korroosiota samalla tavoin kuin esimerkiksi kevytsora.

Vaahtolasin kosteutta mitattaessa tulee huomioida, että eristeen kosteuden määrä on yli 95 RH% joten sitä ei voida mitata suhteellisen kosteuden mittarilla. Suhteellisen kosteuden mittarilla mitattaessa tuloksen ollessa ≤ 70 RH% voidaan olla varmoja eristeen riittävästä kuivuudesta. (Paloniitty 2021)

Vaahtolasimurske luokitellaan kevytkiviaineeksi. Eurooppalaisen harmonisoidun tuotestandardin mukaisesti se on CE-merkittävä (EN 13055-2 Kevytkiviaineekset).

3.3 Hiilijalanjälki

Ympäristöministeriön toimeksiannosta Suomen ympäristökeskus on lanseerannut kaikille avoimen ja ilmaisen kansallisen tietokannan mahdollistamaan rakennuksen hiilijalanjäljen ja hiilikädenjäljen laskenta. Näitä laskelmia tarvitaan, kun vuoteen 2025 mennessä suomessa aletaan lainsäädännöllä ohjaamaan rakennusten vähähiilisyttä. Niissä uusille rakennuksille on laskettava niiden vähähiilisyys elinkaarensa aikana jo rakennuslupaa haettaessa.

(Ympäristöministeriö 2017) Rakennusmateriaalien päästöjen normeilla ohjaaminen on jo käytössä Ranskassa, Hollannissa ja Belgiassa. Monissa Euroopan valtioissa harjoitetaan kuitenkin vapaaehtoista päästöohjausta. (Bionova Oy 2017)

Tällä hetkellä suurin osa rakennuksien hiilijalanjäljestä syntyy käytönajan energiasta. Rakennusmateriaalien osuus asuinkerrostalon 50 vuoden elinkaaren hiilijalanjäljestä on 26 %. (VTT 2013) Rakennuksien energiatehokkuuden parantuessa materiaalien osuus rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljestä kasvaa.

Materiaalien hiilijalan- ja hiilikädenjäljen määrittelyyn siihen vaikuttavat materiaalin raaka-aineiden ja tuotteiden hankinnan, jalostuksen, käsittelyn aiheuttamat CO₂-kuormitukset, tuotteiden elinkaari ja hyödyntämisen skenaariot käyttöään lopussa. (Suomen ympäristökeskus, n.d) Vaahtolasieristeitä käytettäessä saavutetaan tässä laskennassa merkittäviä etuja muihin eristeisiin nähden.

Rakentamisen päästötietokantaan on koottu yleisimpien ja tyyppillisimpien rakennustuotteiden keskimääräisiä tietoja. Palvelusta löytyvät tiedot rakennustuotteiden haitallisista ja hyödyllisistä ympäristövaikutuksista, kierrätyksen ja hyödyntämisen vaihtoehtoista elinkaaren lopussa, työmailla syntyvän hävikin määrästä sekä usein vaihdettavien tuotteiden teknisestä käyttöiästä. Tiedot perustuvat pääosin tuotteiden ympäristöselosteisiin, joiden pohjalta on tehty keskiarvolaskentaa rakennusteollisuuden asiantuntijoiden avustuksella. (Rakentamisen päästötietokanta 2021)

Taulukko 2. Eristemateriaalien hiilijalanjälkiä laskentaan (Rakentamisen päästötietokanta 2021)

Materiaali	konservatiivinen arvo rakentamisluvan hakemiseen	uusiutuviin materiaalien osuus	kierrätysmateriaalien osuus	hukkakerroin	loppusijoitus
EPS	3,5 kg CO ₂ e/kg	0	0 %	1,03	kierrätys 30%, energia 70%
PIR	4,2 kg CO ₂ e/kg	0	0 %	1,03	energia 100%
XPS	3,1 kg CO ₂ e/kg	0	0 %	1,03	energia 100%
KIVIVILLA	1,5 kg CO ₂ e/kg	0	0 %	1,03	jäte 100%
LASIVILLA	1,2 kg CO ₂ e/kg	0	50 %	1,03	jäte 100%
KEVYTSORA	0,4 kg CO ₂ e/kg	0	0 %	1,05	uusio 100%
VAAHTOLASI	0,36 kg CO ₂ e/kg	0	98 %	1,05	jäte 100%

3.4 Vaahtolasin käyttö kerrostalorakentamisessa

3.4.1 Käyttökohteet

Vaahtolasin yleisimmät käyttökohteet ovat maanrakennuksessa, jossa sitä käytetään korvaamaan levyristeitä routa- ja lämmöneristeenä, sekä maankevennysaineena ja kuivatuskerroksena. Vaahtolasia käytetään myös sisäpuolisissa täytöissä, kuten väestönsuojien päällisissä, sekä vesikatoissa korvaamaan perinteisempää kevytsoraa. Vaahtolasi soveltuu myös salaojituksiin tehokkaan vedenläpäisykykynsä ansiosta, jos rakenne suunnitellaan myös routaeristeeksi, tällöin täytyy kuitenkin huomioida kosteuden aiheuttamat heikentävät vaikutukset lämmönjohtavuuteen (taulukko 3). Vaahtolasin ja maan aineksen väliin on aina asennettava suodatinkangas, sillä vaahtolasi luokitellaan teollisesti valmistetuksi materiaaliksi eikä se saa sekoittua muun luonnonmateriaalin kanssa. Puhdas vaahtolasi voidaan uudelleen käyttää kohteissa, joissa ei vaadita CE- todistusta, muutoin se käsitellään rakennusjätteenä. (Foamit, n.d.)

Taulukko 3. Foamit- vaahtolasimurskeen lämmönjohtavuuden λ - arvot eri kosteuksissa.

kuiva	0,1 W/mK	SFS-EN 12667
kosteaa***	0,15 W/mK	
märkä	0,23 W/mK	

*** vesipitoisuus 25 paino-%

3.4.2 Vierustäytöt ja anturoiden alustäytöt

Vaahtolasilla voidaan korvata käsin levitettävät levyeristeet rakennuksien vierustoilla. Sillä saadaan toteutettua routaeristys-, salaoja- ja kevennyskerrokset yhdellä koneella tehtävällä työkerralla, joka säästää työkustannuksissa. Työmaalle kuljetettavat materiaalivirrat ja varastoitavien tarvikkeiden määrä vähentyy, jolloin varastointi ja hallinta helpottuu.

Hyvän vedenläpäisy- ja kapilaarisen vedennousun katkaisuominaisuuksien vuoksi, vaahtolasi soveltuu seinän vierustäyttö materiaaliksi. Tutkimuksissa kapilaarinen veden nousukorkeus vaihtelee 100 mm ja 200 mm välillä. Suunnitteluarvona suositellaan käytettäväksi 300 mm. Vaahtolasimurskeen kantavuusmoduli on 55–70 MPa, jonka ansiosta se toimii erinomaisesti perustusten vierus- ja alustäytöissä. Periaatepiirrokset esitetty liitteissä 1 ja 2. (Foamit 2020)

3.4.3 Alapohjat

Alapohjarakenteissa vaahtolasimursketta voidaan käyttää kevennyksiin, täyttöaineeksi ja kapilaarikatkerrokseksi. Vaahtolasilla saadaan toteutettua alapohjarakenteen salaojitus-, kapilaarikatko- ja routasuojakerrokset yhdellä täyttökerralla. Maanvaraisissa lattioissa solulasikerroksen päälle tulee asentaa kuitenkin EPS- tai XPS- solueristelevyt, jotka toimivat betonivalun ja vaahtolasin erotuskerroksena sekä diffuusiokatkona. Tiivistämättömällä vaahtolasimurskeella on kokeissa saavutettu alle 200 mm:n kapilaarinen veden nousu. Kapilaarikatkon suunnittelupaksuudeksi suositellaan 300 mm kerrosta. Periaatepiirrokset ovat liitteissä 3 ja 4. (Foamit, n.d.)

3.4.4 Väli- ja yläpohjat

Vaahtolasimurskeesta saadaan kantava valu- ja työskentelyalusta. Alusta on tiivistämättömänäkin tukeva ja kantava suojaten samalla mahdollisia tekniikka-asennuksia. Asennuksessa on kuitenkin huomioitava kanava- ja viemäriasennuksien alapuolinen täytyminen. Suuren kitkakulmansa ansiosta se ei tarvitse työaikana erillisiä tukirakenteita ja murske on helppoa tiivistää, mikä mahdollistaa työnaikaisen liikkumisen ilman upottamista. Kantava rakenne mahdollistaa pinnan muotoilun ja oikein tiivistettynä pintarakenteeseen ei muodostu hankalasti korjattavia painumia. Pinnasta tulee tasainen ja betonin menekki on

helpommin hallittavissa. Vaahtolasikerros jakaa kuormaa ja vähentää siten yläpohjarakenteissa olevien tekniikka- asennuksien vaurioita jo asennusvaiheessa. Periaatepiirrokset esitetty liitteissä 5 ja 6.

Kuivana toimitettava vaahtolasimurske ei tarvitse erillistä kuivatusta, edellyttäen että rakenteet ovat muutoin kuivia. Umpisoluisen rakenteensa vuoksi vaahtolasi ei sido itseensä kosteutta, jollei siihen kohdistu ulkoista vedenpainetta. Siten yläpohjarakenne kuivuu tehokkaasti, kun se suunnitellaan tuulettuvaksi. Vaahtolasilla ei ominaisuuksiensa puolesta ole korroosiota edistävää vaikutusta, mutta kuitenkin suositellaan teräsosien suojaamista esimerkiksi muovikalvolla tai muulla käsittelyllä. (Foamit, n.d.)

3.4.5 Autohallin kannen täyttö

Pihakansirakenteissa käytetään usein ns. käännettyä kattorakennetta. Siinä vesieriste kiinnitetään kantavan rakenteen pintaan, lämmöneristeet ja pintarakenteet ovat sen päällä.

Vaahtolasilla saadaan kannelle tehtyä kantava ja kevyt täyttö, joka toimii oikein mitoitetuna myös samalla lämmöneristeenä. Vesieristeen päälle on kuitenkin asennettava esimerkiksi 50 mm lämmöneristelevy suojaamaan vesieristettä yläpuolisten kerrosten mekaaniselta rasitukselta. (Foamit, n.d.)

Lämmitettyjen tilojen yläpuolisissa pihakansirakenteissa on huomioitava eristekerroksien paksuuden riittävän lämmönläpäisykertoimen saavuttamiseksi. Periaatepiirrokset esitetty liitteissä 7–9.

3.5 Työmenetelmät

Vaahtolasimurske toimitetaan työmaalle rekoilla 114–150 m³:n kuormissa. Pienempiin tarpeisiin on saatavilla 1 m³ ja 50 l säkkejä. Mursketta voidaan levittää normaaleilla maanrakennuskoneilla, nostolaatikoilla, suurtehopuhaltamalla tai käsin.

Suurtehopuhalluksella vaahtolasimursketta voidaan siirtää vaivattomasti rakennuksen sisällä ja vesikatolle. Puhallettaessa vaahtolasi murskautuu kevytsoraa vähemmän, mikä vähentää pölyävyyttä ja ominaisuuksien heikkenemistä. Sisätiloissa työskenneltäessä riittävä osastointi

ja ilmanvaihto on suunniteltava ennakolta. Mursketta käsiteltäessä on käytettävä hengityssuojaimia ja käsineitä pölyämisen vuoksi. Vaahtolasimurskeesta ei irtoa elimistölle haitallisia aineita.

Kuormitetuilla alueilla täyttö on aina tiivistettävä huolellisesti riittävän kantavuuden saavuttamiseksi ja painumien ehkäisemiseksi. Tiivistys voidaan suorittaa tela-alustaisella kaivinkoneella tai sopivan kokoisella tärylevyllä. Tiivistyksessä ei tulisi käyttää kalustoa, joka aiheuttaa yli 50 kPa pintapaineen suoraan vaahtolasimurske kerroksen päällä, liiallisen murskaantumisen ehkäisemiseksi. (Foamit, n.d.)

3.6 Kustannukset

Vaahtolasin varsin korkea hankintahinta nostaa sen käyttökustannuksia käytettäessä pelkästään rakennuksen routaeristeenä. Kustannukset ovat hyvin samankaltaisia kevytsoran kanssa.

Taulukossa 4 on esitetty anturoiden routaeristyksen kustannuksia eri materiaaleilla. Vaahtolasin ja kevytsoran työmenekissä ja työkustannuksissa on huomioitu työssä käytettävän kaivinkoneen ja apumiehen työmenekit ja kustannukset. Työkustannuksissa on kaivinkoneelle käytetty tuntihintana 70 €/h ja miestyökustannuksina 35 €/h alv 0 %.

Pelkästään kustannuksia tarkasteltaessa voidaan todeta perinteisten levyeristeiden olevan käytössä edullisempia. Vaahtolasimurskeen käyttö routaeristeenä on perusteltua varsinkin, jos sitä käytetään myös muissa tarkoituksissa. Mikäli kohteessa täytyy tehdä myös maapohjan kevennysrakenteita, hintaero muihin eristeisiin tasoittuu. Työmaan logistiikka ja varastointi helpottuu, kun ei tarvita lukuisia eri artikkeleita. Työn tehokkuus parantuu ja sitä kautta saadaan myös kustannussäästöjä.

Taulukko 4. Routaeristyksen neliöhintoja eri materiaaleilla.

KUSTANNUSVERTAILU

Ominaisuus	Foamit 60	Leca 4-32	Thermisol EPS 120 Routa	Finnfoam F-300
Lämmönjohtavuus (W/mk)	0,11	0,15	0,039	0,04
Tiheys (kuivana) kg/m ³	210	275	20	32
Puristuslujuus (EN 826)	600 kPa	500 kPa	120 kPa	250 kPa
Vedenimeytymiskorkeus	200 mm	100 mm (vaatii lisäainekäsittelyn)	0	0
Hiilijalanjälki(CO ₂ /kg)	0,3	0,4	3,5	3,1
Rakennevahvuus (m)	0,3	0,4	0,1	0,1
Työmenekki (tth/m ²)*	0,0348	0,0464	0,148	0,148
Työkustannukset (€/m ²)	6,09	8,12	5,18	5,18
Materiaalikustannus/ m ²	23,4	28,96	7,7	11,32
Kustannukset/m ²	29,49	37,08	12,88	16,5

*Työmenekit perustuvat Ratu menekkeihin

4 Solulasi

Vaikka solulasi valmistetaan lähes kuten vaahtolasikin, se poikkeaa olomuodoltaan ja ominaisuuksiltaan vaahtolasista. Solulasissa on kaksikolmasosaa kierrätyslasia ja yksikolmasosa puhdasta lasia, vaahtodusagenttina käytetään puhdashiilijauhetta. Solulasi on VOC- vapaa eikä sisällä haitallisia aineita. Prosessissa massan annetaan jäähtyä hitaasti, jolloin massa ei murene nopean lämpötilan vaihtelun vuoksi. Tämä mahdollistaa suurien levymäisten eristeiden valmistuksen. (Foamglas 2013)

Solulasi on Suomessa varsin vähän käytetty lämmöneristysmateriaali, vaikka sille on myönnetty patentti jo vuonna 1933. Solulasieristeitä valmistavia tehtaita ja tuotemerkkejä Euroopassa on useampia muun muassa Belgiassa Foamglas ja Saksassa Liaver.

Kuva 3. Foamglas eristelevy (Foamglas)



4.1 Ominaisuudet

Solulasilla on hyvä puristuslujuus kuten vaahtolasilla, 500–2750 kPa käytettävästä tuotteesta riippuen. Samoin lämmönjohtavuus vaihtelee 0,036–0,058 W/mK tuotteiden välillä. Eriste on täysin diffuusiotiivis, eikä se kondensoi, joten rakenteeseen ei tarvita erillistä höyrysulkua. Solulasieristeellä on pysyvästi muuttumaton lämmöneristyskyky. (Steiner 2006)

Solulasieristeen lämpölaajenemiskerroin (9×10^{-6} 1/K) on hyvin lähellä betonin (11×10^{-6} 1/K) ja teräksen (12×10^{-6} 1/K) lämpölaajenemiskertoimien kanssa. Täten voimakkaita lämpöliikkeitä ei ilmene, mikä varmistaa homogeenisen eristekerroksen pitkäikäisyyden.

4.2 Käyttökohteet

Solulasista voidaan valmistaa eri muotoisia levyjä eristeitä käyttötarkoituksen mukaan. Levymäisen muotonsa ansiosta solulasia voidaan käyttää muiden perinteisten levyeristeiden tavoin. Siitä voidaan rakentaa esimerkiksi vettä imemättömiä sandwich- elementtejä. (Foamglas, n.d.) Solulasia käytetään teollisuudessa putkieristeinä palo- ja lämmöneristysominaisuuksiensa vuoksi.

Hyvien kosteusteknisten ominaisuuksien, verrattain korkean puristuslujuutensa ja pitkäikäisyytensä ansiosta solulasi soveltuu hyvin varsinkin rakennuksien erikoisrakenteisiin, kuten palosuojaukseen, kylmäsiltojen katkaisuun, lisäeristeeksi rakenteisiin, joissa tiiviyden ja kosteuden kestävyden merkitys on suuri.

4.3 Solulasin kustannusvertailu ja hyödyt

Solulasin käytöllä voidaan toteuttaa hyvin kosteutta kestäviä ja pitkäikäisiä rakenteita. Se soveltuu kohteisiin, joissa eristeeltä vaaditaan muotonsa pitävyyttä ja hyvää puristuksen kestävyttä. Taulukossa 4 esitetään sandwich- elementin eristeiden kustannuksia ja ominaisuuksia neliötä kohden. Varsin kallis solulasi ei pärjään vertailussa muihin eristeisiin nähden, jos otetaan huomioon vain eristeiden hinta. Solulasin käytön hyötyjä rakenteissa tulisi tarkastella sen käytön kokonaisvaikutuksilla rakenteen kosteus- ja rakennustekniseen toimivuuteen, sekä elinkaariajatteluun. (Foamglas 2013)

Solulasieristeillä voidaan toteuttaa esimerkiksi vettymätön julkisivupinnoitus alusta työmaalla, jolloin eristeitä ei tarvitse erikseen suojata ja kuivattaa ennen pinnoitusta. Liimakiinnitysliima vaatii vähintään +5°C lämpötilan.

Taulukko 5. Eristeiden ominaisuuksia

MATERIAALI VARTAILU

Sarake1	PAROC COS 5 ggt	FOAMGLAS T3+	THERMISOL PLATINA SÄNKKÄRI	THERMISOL 100/100 S BETONI	KINGSPAN THERMA TW58
λ	$\leq 0,035$ W/mK	$\leq 0,036$ W/mK	$\leq 0,031$ W/mK	$\leq 0,036$ W/mK	0,022 W/mK
Puristuslujuus (EN 826)	5 kPa	500 kPa	≥ 70 kPa	100 kPa	≥ 100 kPa
Taivutuslujuus (EN 12089)		≤ 450 kPa	≥ 125 kPa	150 kPa	
Vesihöyrynläisevyys (EN 12086)	0,12 m ² hPa/mg	∞	5,5x10 ⁻¹² kg/msPa	5-7x10 ⁻¹² kg/msPa	0,1x10 ⁻¹² kg/msPa
Paloluokitus (EN 13501-1, EN ISO 11925-2)	A1	A1	E	F/E	D
Levykoko	600x1500 mm	600x1200 mm	600x1000 mm	1200x2000 mm	600x1200 mm
Vaadittu eristepaksuus U-arvo 0,17W/m ² K	210 mm	200 mm	180 mm	210 mm	130 mm
Hinta/ m ²	36	102	37		45

5 Seurantakohde

Seurantakohteessa vaahtolasia käytettiin väestöntilan yläpuolisen tekniikkatilan täyttömateriaalina. Rakenne oli kokonaisuudessaan 350 mm paikallavalettu teräsbetonilaatta, tekniikkatila noin 750 mm vaahtolasitäyttö, 80 mm raudoitettu pintabetonilaatta ja pintamateriaalit.

Väestönsuojanholvi valettiin keväällä 2019, vaahtolasi puhallettiin tekniikkatilaan lokakuun puolivälissä. Tilaan asennettiin 110 mm salaojaputkesta tuuletuskanavisto, joiden päät nostettiin huonetilaan. Vaahtolasia kostutettiin valmistajan ohjeiden mukaisesti pölyämisen ehkäisemiseksi. Pintabetonilattia valettiin 17.10.2019. Pintabetonilaatan kuivumista seuraavissa porareikämittauksessa 3.12.2019 pintabetonilaatan suhteellisen kosteuden todettiin olevan 85,2 RH% kylpyhuoneen osalta.

Kuva 4. Tekniikkatilan asennuksia ja tuuletusputkisto



16.12.2019 tehdyissä mittauksissa mittapistet porattiin pintabetonilaatan läpi tekniikkatilan suhteellisen kosteuden selvittämiseksi. Kahdessa mittauspisteessä tulokset olivat 96,1 RH% ja 94,6 RH%. Voitiin todeta tekniikkatilan suhteellisen kosteuden olevan varsin korkea ja kanavistoon asennettiin absorptiokuivaimet.

Vahtolasitilan kosteus mitattiin uudestaan 24.1.2020. Tuloksista todettiin tilanteen säilyneen lähes muuttumattomana. Kanaviston loppupäihin päätettiin lisätä vielä simpukkapuhaltimet tehostamaan ilmankiertoa. Tehostettua kuivatusta jatkettiin, kunnes 13.3.2020 tehdyissä mittauksissa tekniikkatilan suhteellisiksi kosteuksiksi saatiin kahdesta pisteestä 67,2 RH% ja 65,1 RH%. Tällöin voitiin olettaa tekniikkatilan olevan riittävän kuiva.

Kohteessa vahtolasilla täytetyn tekniikkatilan kuivatus todettiin työlääksi ja hitaaksi prosessiksi. Täyttötilan kuivatus kesti kokonaisuudessaan kolme kuukautta. Tuolloin oletettiin ympäröivien rakenteiden luovuttavan niin paljon kosteutta, jotta eristelilan suhteellinen kosteus pysyy pitkään korkeana. Vaahtolasin kosteutta ei mitattu puhalluksen jälkeen, koska saatavilla olleen tiedon pohjalta ei voitu olettaa pölynsidontaan käytetyllä vedellä olevan merkittävää vaikutusta vaahtolasiin kuivumiseen. Kaiken kaikkiaan seurannan perusteella ei voida olla täysin varmoja mikä oli merkittävin tekijä eristelilan hitaalle kuivumiselle.

6 Yhteenveto

Opinnäytetyöni tavoitteena oli selvittää vaahtolasin käyttöä ja sen mahdollisuuksia kerrostalorakentamisessa. Vaahtolasin käyttömahdollisuudet tiedetään Suomessa vielä melko huonosti. Työn alkuvaiheessa havaitsin mielestäni tähän varsin merkittävästi vaikuttavan tekijän, sillä tiedon kerääminen osoittautui varsin haastavaksi ja saatavilla oleva tieto oli usein vieraskielistä. Lähdeteksteistä oli hankala tulkita, oliko kyseessä levymäinen solulasi vai vaahtolasi. Tuotteiden ominaisuuksissa on kuitenkin merkittäviä eroja, jolloin virheellisten tulkintojen vaara oli olemassa. Työn edetessä sain kuitenkin kerättyä varsin kattavan tiedon vaahto- ja solulasista ja niiden ominaisuuksista.

Vaahtolasin mahdollisuuksia ei hyödynnetä nykyisellään kovinkaan laajasti, mikä johtunee tuotteiden korkeammista hankintahinnoista tai siitä ettei tuotteiden mahdollisuuksia ja ominaisuuksia tunneta. Kustannuserot kuitenkin tasoittuvat, jos ajatellaan kokonaisuutta yksittäisen kustannuksen sijaan.

Uudet asetukset rakennusten hiilijalanjäljen määrittämiseksi johtaa varmastikin uusien menetelmien ja tuotteiden kehittämiseen, sekä käyttöönottoon. Solu- ja vaahtolasituotteiden käytön rakentamisessa voidaan arvioida lisääntyvän pienen hiilijalanjälkensä ansiosta. Kierrätysmateriaalien käyttöä tulisi muutoinkin lisätä rakentamisessa, vaikkakin edelleen suurimmat kuormitukset rakennuksilla tulevat edelleen sen elinkaaren aikaisen käytöstä. Energiatehokkuuden parantuessa rakentamisaikaisen ja käytettyjen materiaalien aiheuttaman CO₂-kuormituksen merkitys korostuu. Tämä avaa mahdollisuuden materiaalien elinkaariajattelun tehostamiselle.

Vaahtolasista on selvinnyt uusia ominaisuuksia vasta käytöstä myötä, kuten monien muidenkin uusien materiaaleille kohdalla. Puhallettaessa pölynsidontaa varten kostutettu vaahtolasimurske oli luonut liittyviin rakenteisiin mikrobikasvuston mahdollistavat olosuhteet. Lisäksi on osoittautunut kastuneen tuotteen kuivattamisen varsin hitaaksi. Täten voidaankin todeta vallitsevan työtavan, jossa vaahtolasia kostutetaan pölynsitomiseksi, olevan virheellinen kuiviin rakenteisiin. Kuiviin rakenteisiin vaahtolasi tulisi asentaa ehdottoman kuivana. (Paloniitty Oy 2021) Samaisesta tutkimuksesta voi todeta, että kuiviin

rakenteisiin asennettavaksi tarkoitetun vaahtolasin kuljetukseen ja varastointiin tulee kiinnittää huomiota tuotteen kuivana pysymisen takia.

Vaahtolasia voidaan kuitenkin käyttää turvallisesti rakenteissa, joissa eristeen kostumisesta ei aiheudu haittaa, kuten maata vasten olevissa rakenteissa. (Paloniitty 2021) Näidenkin rakenteiden suunnittelussa tulee huomioida liittyvät rakenteet, esimerkiksi maanvaraisen laatan diffuusiokatko.

Rakennuksen sisällä olevissa rakenteissa vaahtolasin käytöllä ei ole merkittäviä vaikutuksia rakenteiden paksuuksiin. Eikä sen käytöllä nykyisillä materiaalihinnoilla saavuteta oleellisia säästöjä. Vaahtolasin edut korostuvat nykytiedon valossa edelleen sen ominaisuuksiin ja kustannustehokkaaseen käyttöön maanrakennuksessa.

Solulasilla vaikuttaisi olevan paljon potentiaalia kerrostalorakentamisessa, jos sillä voitaisiin kustannustehokkaasti korvata nykyisin käytettyjä kivi- ja lasivillaeristeitä elementeissä. Vettä imemättömänä ja epäorgaanisena sen käyttö voisi tuoda ratkaisuja työmaiden ainaiseen ongelmaan rakenteiden työaikaiseen kosteudenhallintaan. Saatavilla oli kuitenkin varsin niukasti ainakaan julkista tutkimustietoa solulasin käytöstä betonielementtien eristeinä.

Solulasieristetyissä elementeissä on ilmennyt joissakin tapauksissa kuljetuksen- ja asennuksenaikaisia mikrohalkeamia, joihin voi käytönaikana kertyä vettä, joka jäätyessään aiheuttaa rakenteiden rapautumista, toteaa projektipäällikkö Jarkko Vitikainen (henkilökohtainen tiedonanto 25.2.2021) haastattelussa. Tarkempaa tutkimustietoa asiasta ei ollut saatavilla, eikä mielestäni tämän pohjalta voi poissulkea solulasia sandwich-elementtien valmistuksessa. Työmaalla asennettaessa solulasi soveltuu julkisivujen rappausalustaksi.

Matkalla kohti uusia ekologisempia, terveellisempiä ja kustannustehokkaampia rakennusmateriaaleja, sekä rakenteita, tulisi tuotekehittelyssä keskittyä materiaalien ja rakenteiden pitkäaikaisvaikutuksiin sekä rakennuksien asumisterveellisyyteen ja ekologisuuteen.

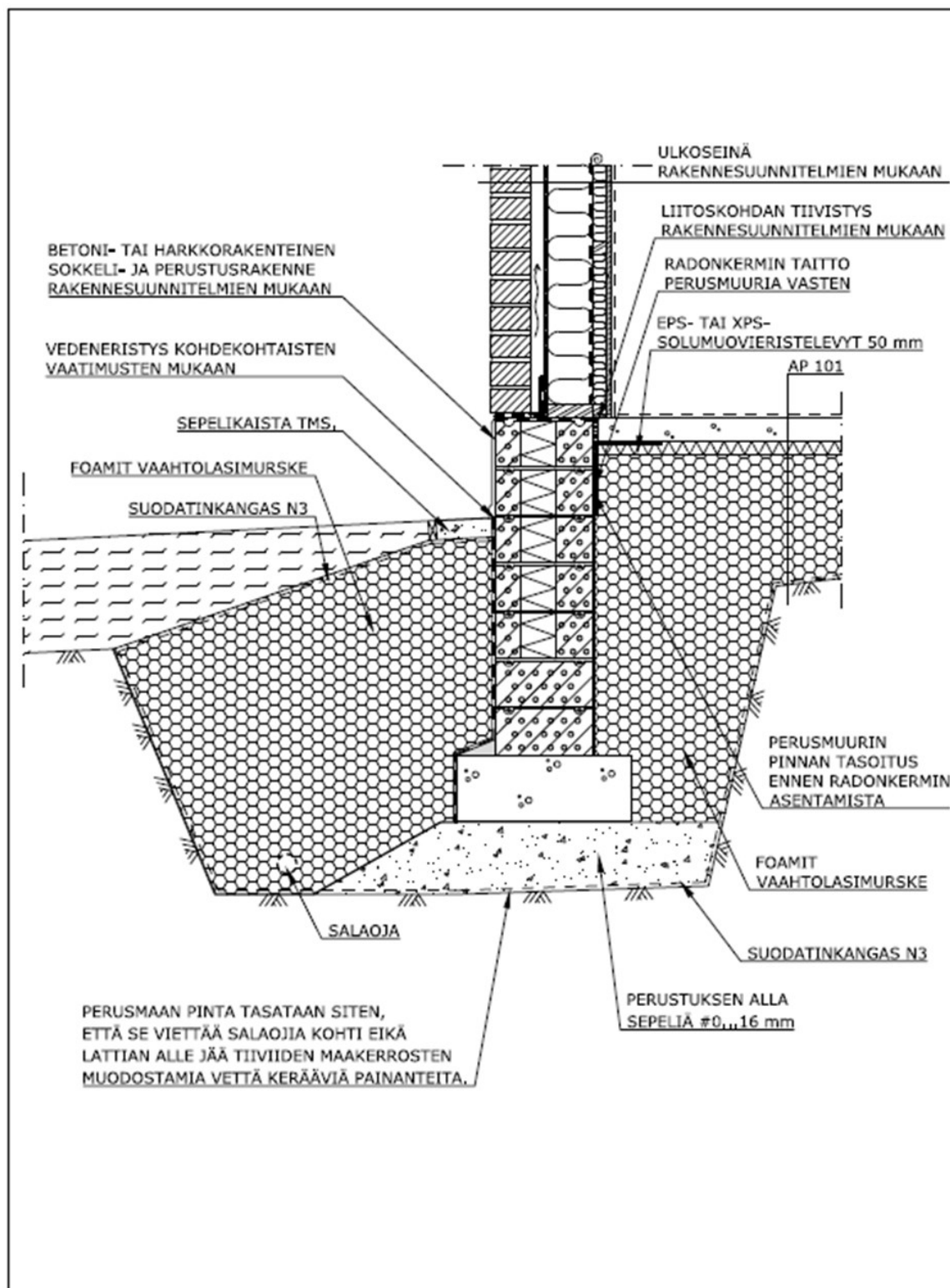
LÄHTEET

- Bionova Oy (2017). *Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa*. Haettu osoitteesta <https://ym.fi/vahahiilisen-rakentamisen-tiekartta>
- Foamit (n.d.). *Foamit suunnitteluohje talonrakentamiseen*. Haettu osoitteesta www.Foamit.fi
- Foamglas (n.d.). Haettu osoitteesta www.Foamglas.com
- Foamglas (2013). *Solulasieristys rakennuksissa*. Haettu osoitteesta <https://www.foamglas.com/-/media/project/foamglas/public/corporate/foamglascom/files/brochures/building-envelope/cellglas-fi.pdf?la=fi-fi>
- Suomen ympäristökeskus (n.d.). Haettu osoitteesta 10.3.2021 www.hiilineutraalisuomi.fi
- Paloniitty S. (2021). *Tutkimusraportti*. Sauli Paloniitty Oy
- Potila P. (2018). *Lisättävien aineiden vaikutus vaahtolasin lujuteen*, [Tekniikan kardinaalityö, Lappeenrannan teknillinen yliopisto]. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2018073033129>
- Rakentamisen päästötietokanta (2021), Haettu 15.3.2021 osoitteesta www.CO2data.fi
- Ramboll Finland Oy (2011). *Foamit- vaahtolasin käyttö pohjavesialueilla*, Riskiarvio 11.1.2011
- Steiner A. (2006). *Foam glass production from vitrified municipal waste fly ashes*, [Technische Universiteit Eindhoven].
- Ritola J. & Vares S. (2008). *Kierrätyslasin hyötykäyttö vaahtolasituotteina*. VTT Oy
- Ruuska A. & Häkkinen T (2013). *Rakennusmateriaalien ympäristövaikutukset*. VTT Oy
- Ympäristömerkintä Suomi Oy (n.d). haettu 24.4.2021 osoitteesta www.ioutsenmerkki.fi/teemat/rakentaminen
- Ympäristöministeriö, haettu 15.3.2021 osoitteesta www.ym.fi/vahahiilinen-rakentaminen

Liite 1: Periaatepiirros sokkelinvierustäytöt

DET 101

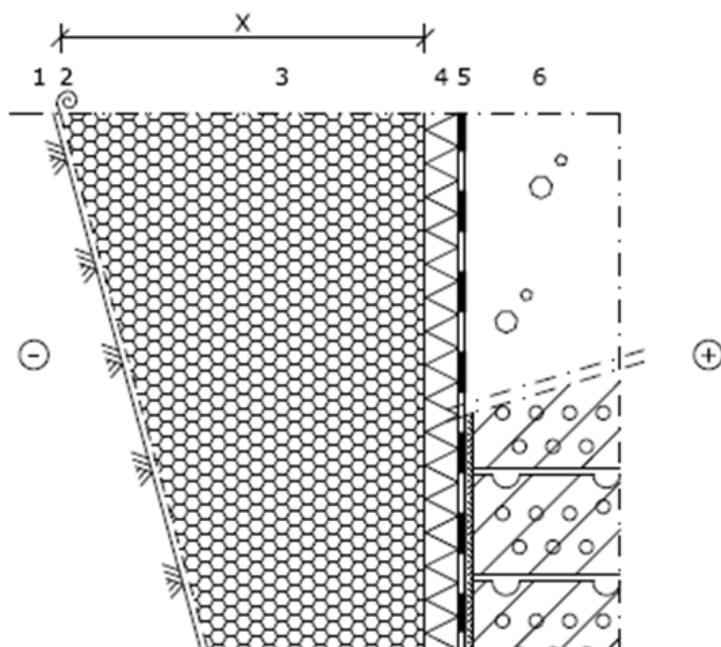
Matalaperustuksen vierus- ja alustatäyttö



Liite 2: Periaatepiirros kellarin vierustäytöt

KS101

Kellarin seinän ulkopuolinen lämmöneristys ja salaojitus vaahtolasimurskeella



- 1 Perusmaa, kallio tai tilvistetty täyttömaa. Kaivannon luiskaus maalajin ja pohjarakennesuunnitelmien mukaan.
- 2 Suodatinkangas KL2, saumat limitetään vähintään 200 mm
- X mm 3 Lämmöneriste- ja salaojituseros, FOAMIT 30 vaahtolasimurske #20...30 mm. Eristekerroksen alaosassa salaojitus rakenne- ja LVI-suunnitelmien mukaan, Eristekerroksen yläosassa suodatinkangas tai muu eristekerros estämässä maa-ainesten sekoittumisen vaahtolasimurskekerrokseen.
- 50 mm 4 EPS solumuovieristelevyt. Eristekerros toimii vedeneristyksen ja vaahtolasin erotuskerroksena.
- 5 Vedeneristys, Bitumikermi-, bitumiemulsiomassa-, PU-elastomeerieristys, perusmuurilevy tai muu vedeneristys rakennesuunnitelmien mukaan,
- 6 Kantava seinärakenne rakennesuunnitelmien mukaan

Lämmönläpäisykerroin (U-arvo, W/m²K) riippuen vaahtolasimurskekerroksen keskimääräisestä paksuudesta (X):

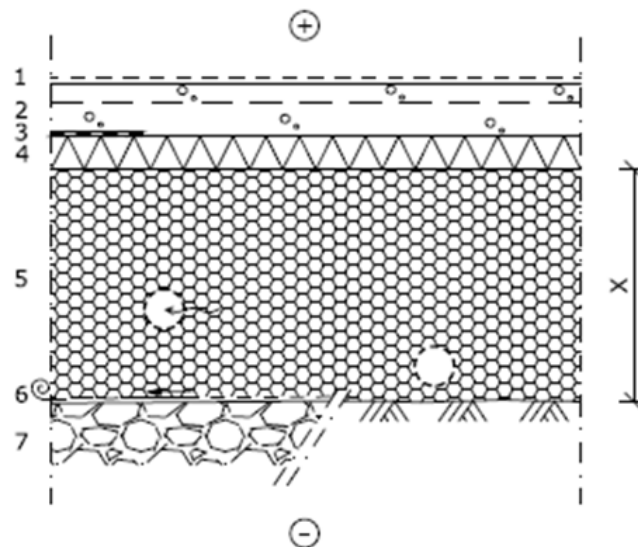
	600 mm	700 mm	800 mm	900 mm	1000 mm
Reuna-alue: (Alle 1,0 m syvyydellä maanpinnasta)	≤0,14	≤0,12	≤0,11	≤0,10	≤0,09
Sisäalue: (Yli 1,0 m syvyydellä maanpinnasta)	≤0,13	≤0,12	≤0,11	≤0,10	≤0,09

U-arvot on laskettu käyttäen kuivan vaahtolasimurskeen lämmönjohtavuutena arvoa (λ) 0,113 W/mK (FOAMIT 30), täydentävän solumuovieristeen lämmönjohtavuutena arvoa (λ) 0,036 ja perusmuurin ulkopuoliselle maaperälle kalliin lämmönvastusta,

Liite 3: Periaatepiirros maanvaraisesta alapohjasta

AP101

Maanvarainen alapohja (Mittakaava 1:10)



- 1 Lattianpäällyste huoneselostuksen mukaan

Matala-alkalinen tasoite tarvittaessa rakennusselostuksen mukaan

≥ 80 mm

- 2 Teräsbetoni-laatta rakennussuunnitelmien mukaan, rauditus betoniteräsverkolla tai kuidulla, Lattian reunoilla ja läpivientien kohdilla erotuskerroksena noin 5 mm paksu solumuovikaista. Seinän ja laatan välin tiivistys rakennussuunnitelmien mukaan. Betonilaatassa lattialämmitysputket tai -kaapelit tarvittaessa LVIS-suunnitelmien mukaan,

- 3 Radontitiivistyskermi betonilaatan ja pystyrakenteen liitoksessa rakennussuunnittelijan mukaan,

50 mm

- 4 EPS-, XPS-solumuovieristelevyt tai vaahtolasieristelevy, Eristelevyt toimivat betonivalun ja vaahtolasin erotuskerroksena ja diffuusioikatkona.

Läpivientien tiivistys rakennussuunnitelmien ja materiaalivalmistajan mukaan,

X mm

- 5 Lämmöneriste- ja kapillaarikatkos, FOAMIT 20 vaahtolasimurske #10...20 mm tai FOAMIT 30 vaahtolasimurske #20...30 mm. Eristekerroksessa tarvittaessa salaojitus sekä radontuuletus rakenne- ja LVI-suunnitelmien mukaan,

- 6 Suodatinkangas (ainoastaan hienorakeisen maa-aineksen kohdalla)

- 7 Perusmaa, täyttömaa tai kallio. Pinnan kallistus salaojia kohti siten, että lattian alle ei jää tiiviiden maakerrosten muodostamia vettä kerääviä painanteita,

Lämmönläpäisykerroin (U-arvo, W/m²K) riippuen vaahtolasimurskekerroksen keskimääräisestä paksuudesta (X):

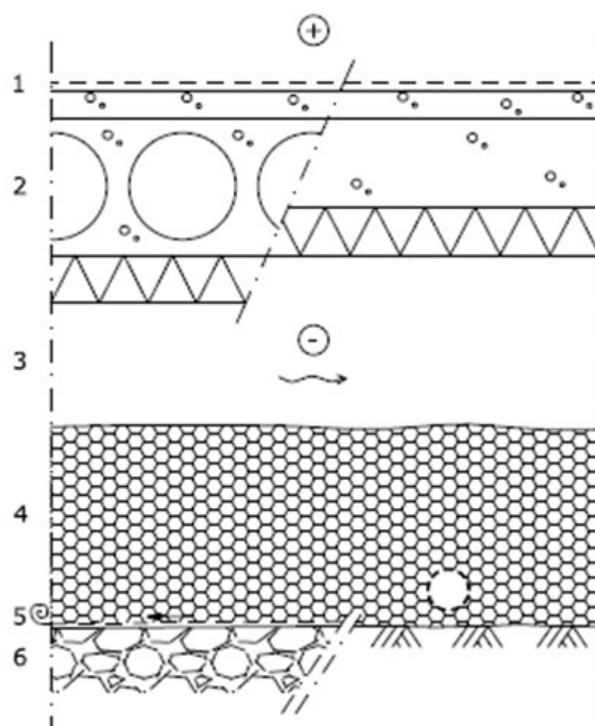
	200 mm	300 mm	400 mm	500 mm	600 mm
Reuna-alue:	≤0,24	≤0,19	≤0,16	≤0,13	≤0,12
Sisäalue:	≤0,20	≤0,16	≤0,14	≤0,12	≤0,11

U-arvot on laskettu käyttäen kuivan vaahtolasimurskeen lämmönjohtavuutena arvoa (λ) 0,091 W/mK (FOAMIT 20) ja täydentävän solumuovieristeen lämmönjohtavuutena arvoa (λ) 0,036 W/mK ja lisäksi maaperälle kallion lämmönvastusta,

Liite 4: Periaatepiirros tuulettuvasta alapohjasta

AP 201

Alustatilan maapohjan lämmöneristys ja kapillaarikatkokerros (Mittakaava 1:10)



1 Lattianpäällyste huoneselostuksen mukaan

Matala-alkalinen tasoite tarvittaessa rakennusselostuksen mukaan

2 Kantava alapohjarakenne ja lämmöneristys rakennesuunnitelmien mukaan

≥ 800 mm

3 Tuuletettu alustila

≥ 300 mm

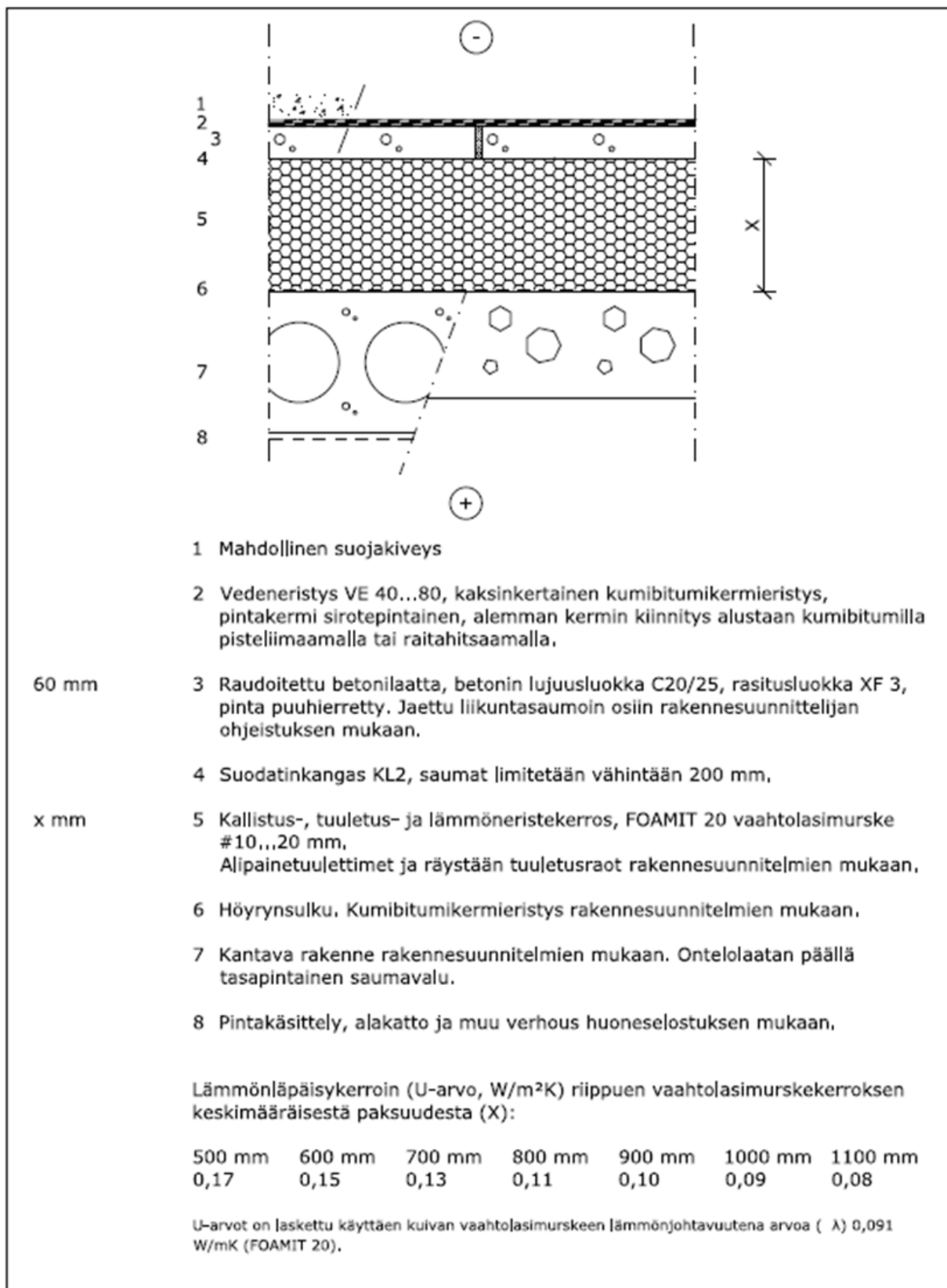
4 Lämmöneriste- ja kapillaarikatkokerros, FOAMIT 20 vaahtolasimurske #10...20 mm tai FOAMIT 30 vaahtolasimurske #20...30 mm. Eristekerroksessa tarvittaessa salaojitus rakenne- ja LVI-suunnitelmien mukaan,

5 Suodatinkangas (ainoastaan hienorakeisen maa-aineksen kohdalla)

6 Perusmaa, täyttömaa tai kallio. Pinnan kallistus salaojia kohti siten, että maanpinnalle ei jää tiiviiden maakerrosten muodostamia vettä kerääviä painanteita.

Liite 5: Periaatepiirros loiva yläpohja

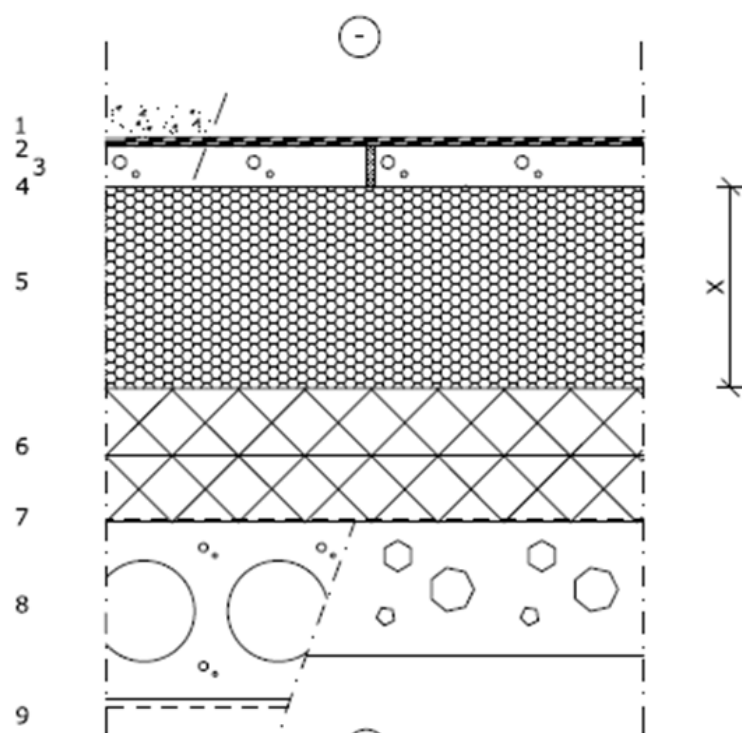
YP 102

Loiva yläpohja, katteen alustana
betonilaatta (Mittakaava 1:10)

Liite 6: Periaatepiirros loiva lisäeristetty yläpohja

YP 104

**Loiva yläpohja, katteen alustana betonilaatta,
lisälämmöneristeenä solumuovi- tai
vaahtolasilevyeriste (Mittakaava 1:10)**



- 1 Mahdollinen suojakiveys
- 2 Vedeneristys VE 40...80, kaksinkertainen kumibitumikermieristys, pintakermi sirotepintainen, alemman kermin kiinnitys alustaan kumibitumilla pisteliimaamalla tai raitahitsaamalla.
- 60 mm 3 Raudoitettu betonilaatta, betonin lujuusluokka C20/25, rasitusluokka XF 3, pinta puuhierretty. Jaettu liikuntasaumoin osiin rakennesuunnittelijan ohjeistuksen mukaan
- 4 Suodatinkangas KL2, saumat limitetään vähintään 200 mm.
- x mm 5 Kallistus-, tuuletus- ja lämmöneristekerros, FOAMIT 20 vaahtolasimurske #10...20 mm. Tuuletus rakennesuunnitelmien mukaan.
- 200 mm 6 EPS- tai XPS-solumuovieriste, tyhjiöeristepaneelit tai vaahtolasieristelevy.
- 7 Höyrynsulku, Kumibitumikermieristys, rakennesuunnitelmien mukaan.
- 8 Kantava rakenne rakennesuunnitelmien mukaan.
- 9 Pintakäsittely, alakatto ja muu verhous huoneselostuksen mukaan.

Lämmönläpäisykerroin (U-arvo, W/m²K) riippuen vaahtolasimurskekerroksen keskimääräisestä paksuudesta (X):

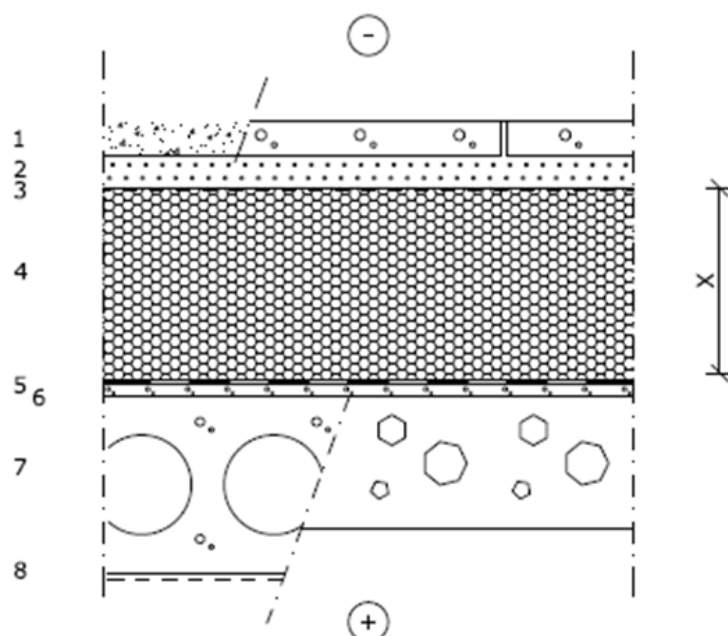
100 mm	200 mm	300 mm	400 mm	500 mm	600 mm	700 mm
0,14	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07

U-arvot on laskettu käyttäen kuivan vaahtolasimurskeen lämmönjohtavuutena arvoa (λ) 0,091 W/mK (FOAMIT 20).

Liite 7: Periaatepiirros käännetty vesikatto

YP 201

Loiva yläpohja, käännetty vesikattorakenne (katolla ainoastaan satunnaista henkilöliikennettä) (Mittakaava 1:10)



50 mm	1	Betoni- tai luonnonkivilaatat, suojakiveys tai lasimurska
30...50 mm	2	Asennushiekka, sora tai murske, raekoko 0...8 mm
	3	Suodatinkangas KL2, saumat limitetään vähintään 200 mm
X mm	4	Lämmöneriste-/salaojituskerros, FOAMIT 60 vaahtolasimurske #0...60 mm
	5	Vedeneristys, tyyppi VE80R, liimattuna kauttaaltaan alustaan bitumilla B95/35
>20 mm	6	Puu- tai teräshierretty kallistusbetoni, BY 45 2018 luokka A-3-III, kallistukset jirissä >1:80. Alueet, joissa kerrospaksuus <30 mm, voidaan tehdä laastilla. Sementtiliima ja epäpuhtaudet poistettava pinnasta.
xxx mm	7	Kantava rakenne rakennepiirustusten mukaan
	8	Pintamateriaali tai -käsittely rakennus-/huoneselostuksen mukaan

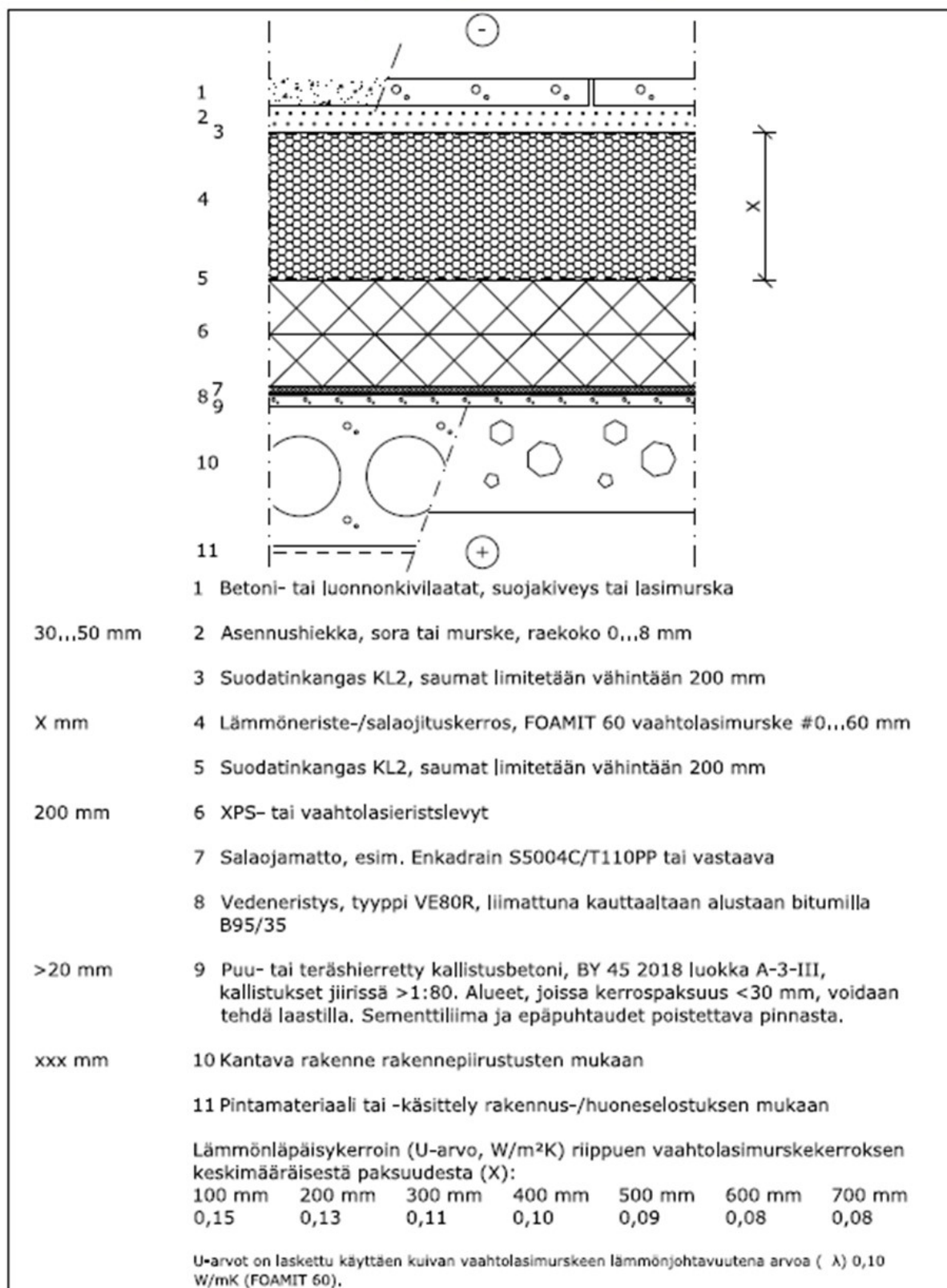
Lämmönläpäisykerroin (U-arvo, W/m²K) riippuen vaahtolasimurskekerroksen keskimääräisestä paksuudesta (X):

100 mm	200 mm	300 mm	400 mm	500 mm	600 mm	700 mm
0,76	0,43	0,30	0,23	0,19	0,16	0,14

U-arvot on laskettu käyttäen kuivan vaahtolasimurskeen lämmönjohtavuutena arvoa (λ) 0,10 W/mK (FOAMIT 60).

Liite 8: Periaatepiirros lisäeristetty käännetty vesikatto

YP 202

Loiva yläpohja, käännetty vesikattorakenne
lisälämmöneristeenä solumuovi- tai
vaahtolasilevyeriste (Mittakaava 1:10)

Liite 9: Periaatepiirros liikennöity pihakansi

YP 302

**Liikennöity pihakansi, käännetty rakenne,
lisälämmöneristeenä solumuovi- tai
vaahtolasilevyeriste (Mittakaava 1:10)**
