



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

## **Kellarin seinän lisälämmöneristäminen**

1940-1970-lukujen kerrostalot ja julkiset rakennukset

Hanna Tuominen

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2018  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Kiinteistönpitotekniikka ja korjausrakentaminen



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Kiinteistöpitotekniikka ja korjausrakentaminen

TUOMINEN HANNA

Kellarin seinän lisälämmöneristäminen  
1940-1970-lukujen kerrostalot ja julkiset rakennukset

Opinnäytetyö 68 sivua, joista liitteitä 3 sivua  
Huhtikuu 2018

---

Opinnäytetyö tutkii 1940–1970-luvuilla rakennettujen kerrostalojen ja julkisten rakennusten tyypillisiä kellarin seinärakenteita ja niiden lisälämmöneristystapoja. Työssä tutkitaan vanhojen rakenteiden kosteusriskejä sekä esitetään korjausratkaisuja, joilla energiatehokkuuden lisäksi saadaan parannettua rakenteen kosteusteknistä toimivuutta. Työn liitteenä on korjaustavoista tehty detaljitason rakennepiirustukset. Korjaustapojen lämpö- ja kosteusteknisen analysoinnin välineenä käytettiin Dof -lämpö ohjelmaa. Esi- tetyjä ratkaisuja voidaan käyttää hyväksi suunnittelutehtävissä. Ratkaisut eivät sovellu käytettäväksi suoraan, vaan jokainen kohde suunnitellaan ja sen kosteustekninen toiminta tutkitaan erikseen.

Kellarin seinän lisälämmöneristys suositellaan aina tehtävän ulkopuolisena, jolloin perusmuuri pysyy lämpimänä ja kuivana. Samalla saadaan korjattua myös puutteellinen vedeneristys. Maanvastaisten seinien lisäksi työssä tutkitaan rakennetta, jossa osa kellarin seinästä sijaitsee maan yläpuolella. Seinän yläosaan muodostuu kylmä osuus ja riski kosteuden tiivistymiseen rakenteen sisään. Työssä tutkittiin sekä ulkopuolelta että sisäpuolelta tehtäviä korjausratkaisuja, joilla kyseisen riskirakenteen syntyminen voidaan välttää.

Esimerkiksi seinän sijainnin vuoksi ei ole aina mahdollista toteuttaa ulkopuolista lämmöneristämistä. Sisäpuolisen lämmöneristyksen käyttömahdollisuuksia tutkittiin kalsiumsilikaattilevyllä, lämmöneristyslaastilla sekä laavamineraalilevyllä. Tutkittuja sisäpuolisia lämmöneristevaihtoehtoja yhdistää niiden hyvä vesihöyrynläpäisevyys sekä kyky varastoida kosteutta ja luovuttaa sitä sisäilmaan. Rakenteen toimivuus edellyttää oikein säädettyä ilmanvaihtoa ja lämmitystä. Materiaalit eivät pysty sitomaan vettä itseensä loputtomasti, minkä takia sisäpuolisia lämmöneristeitä ei pidä käyttää, jos rakenteeseen pääsee liian suuria kosteusmääriä.

Sisäpuolisen lämmöneristämisen suurimmat riskit liittyvät rakenteen kuivana pysymiseen. Lisäksi kellarin seinien sisäpuolisista lämmöneristystavoista on vain vähän tutkimustuloksia, mikä tekee suunnittelusta haastavaa. Seinään kohdistuvia suuria kosteusrasituksia ei ole aina mahdollista saada hallintaan ilman ulkopuolella tehtäviä korjaustoimenpiteitä. Pahimmassa tapauksessa tilan olosuhteita ei saada korjattua käyttöön soveltuviksi, jolloin voi olla järkevää jättää tila jopa kokonaan pois käytöstä.

---

Asiasanat: lisälämmöneristäminen, kellarinseinä, korjausrakentaminen, maanvastainen seinä

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Construction Engineering  
Facility Engineering and Renovation

HANNA TUOMINEN:  
Supplementary Insulation of Basement Wall  
Apartment house and Public Buildings from the 1940's to 1970's

Bachelor's thesis 68 pages, appendices 3 pages  
April 2018

---

This bachelor's thesis is about the supplementary insulation of basement walls. The research topic was outlined to residential and public buildings that were built in the 1940's to 1970's. In this thesis typical constructions and risks are researched from these four decades. The primary aim was to research a few different techniques to improve hygrothermal function of the basement structure. The thesis examines both outside and inside installation methods.

The hygrothermal function of the structures were analysed with Dof -thermal programme. Inspection of the results shows that the structure works best when the insulation is installed to the outside of the wall. That way structure stays warm and dry. When built this way also damp proofing and other techniques to improve the moisture capacity of the structures can be made.

This thesis presents also three different insulation products that are used inside of the basement wall. All those products have a good water vapour transmission rate and water receptivity. There is always a chance of moisture damage risk when the insulation is installed to the inside surface of the basement wall. For that reason, all the projects need to design and examine separately before the supplementary insulation is added.

---

Key words: Supplementary insulation, basement wall, repair construction

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	YLEISTÄ .....	8
	2.1 Toimeksiantaja.....	8
	2.2 Aiheen kuvaus ja tavoitteet.....	8
	2.3 Työn rajaus, menetelmät ja aineisto.....	9
	2.4 Lainsäädäntö .....	10
3	KELLARIN SEINIEN RAKENNETYYYPIT .....	12
	3.1 Runkotyypin kehitys 1940–1970-luvuilla.....	12
	3.2 Kellarin seinärakenteet 1940–1950 .....	14
	3.3 Kellarin seinärakenteet 1960-1970 .....	15
4	RAKENNUSFYSIKKA.....	16
	4.1 Rakenteiden lämpötekniikka.....	16
	4.1.1 Lämmön siirtyminen .....	16
	4.1.2 Lämmönjohtavuus.....	17
	4.1.3 Lämmönvastus .....	17
	4.1.4 Lämmönläpäisykerroin .....	18
	4.2 Rakenteiden kosteustekninen toiminta .....	19
	4.2.1 Veden olomuodot.....	19
	4.2.2 Rakennuksen kosteuslähteet .....	20
	4.2.3 Kosteuden sitoutuminen rakennusaineessa.....	21
	4.2.4 Kosteuden siirtyminen .....	22
	4.3 Kellarin seinän kosteusriskit.....	24
5	LISÄLÄMMÖNERISTÄMISEN SUUNNITTELU .....	29
	5.1 Rakenne- ja kuntotutkimukset .....	29
	5.2 Haitta-aineet ja turvallisuus .....	29
	5.3 Korjaustaso .....	31
	5.4 Kosteustekninen suunnittelu .....	31
	5.5 Lämmöneristyksen sijainti.....	32
	5.5.1 Ulkopuolinen lämmöneristys .....	32
	5.5.2 Sisäpuolinen lämmöneristys .....	33
	5.6 Energiätehokkuuden parantaminen.....	35
	5.7 Lämmöneristystuotteet.....	35
	5.8 Dof -Lämpö tarkastelut.....	36
6	KORJAUSTAVAT .....	37
	6.1 Sisäpuolinen kapillaarikatko ja rakenteiden tiivistäminen .....	37
	6.2 Ulkopuolinen lämmöneristys.....	37

6.2.1	Lämmöneriste.....	37
6.2.2	Vedeneriste.....	40
6.2.3	Maaperän kuivatus .....	40
6.2.4	Sisäpuoliset toimenpiteet .....	42
6.3	Sisäpuolinen lämmöneristys .....	42
6.3.1	Kalsiumsilikaattieristys .....	42
6.3.2	Lämmöneristyslaasti .....	47
6.3.3	Laavamineraalilevy .....	50
6.4	Yhdistetty ulko- ja sisäpuolinen lämmöneristys .....	54
7	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA .....	59
	LÄHTEET .....	63
	LIITTEET .....	66
	Liite 1. Kellarin seinän ulkopuolinen lämmöneristys .....	66
	Liite 2. Kellarin seinän sisäpuolinen lämmöneristys.....	67
	Liite 3. Kellarin seinän ulko- ja sisäpuolisen lämmöneristyksen yhdistelmä .	68

## LYHENTEET JA TERMIT

$\lambda$	Lämmönjohtavuus
$R$	Materiaalikerroksen lämmönvastus
$R_T$	Kokonaislämmönvastus
$U$	Rakennusosan lämmönläpäisykerroin
$U_c$	Korjattu rakennusosan lämmönläpäisykerroin
$\delta_p$	Vesihöyrynläpäisevyys vesihöyryn osapaine-eron avulla ilmaistuna
$Z_p$	Vesihöyrynvastus
$\mu$	diffuusiovastuskerroin
RH	Ilman suhteellinen kosteus
Hygroσκοoppisuus	Huokoisen aineen kyky sitoa kosteutta ilmasta ja luovuttaa kosteutta ilmaan.
Kapillaarisuus	Huokoisissa aineissa tapahtuvaa vaaka- tai pystysuuntaista vedenliikettä.
Diffuusio	Ulko- ja sisäilman vesihöyryn pitoisuuseroista johtuvaa kosteuden siirtymistä
Konvektio	Ilman tiheyserojen aiheuttamaa lämmön tai kosteuden siirtymistä
Kondensoituminen	Vesihöyryn tiivistyminen vedeksi
Kastepiste	Lämpötila, jossa ilmassa oleva vesihöyry tiivistyy vedeksi
EPS	Umpisoluista paisutettua polystyreenimuovi
XPS	Suulakepuristettua polystyreeniä

## 1 JOHDANTO

Tässä työssä tutkitaan kellarin seinien lisälämmöneristämistä ja korjauksen suunnittelua siten, että rakenteesta saadaan tehtyä lämpö- ja kosteusteknisesti mahdollisimman toimiva. Vanhojen kellaritilojen käyttötarkoituksen muuttuessa toisarvoisesta tilasta esimerkiksi liike- tai kerhotiloiksi, myös niiden sisäilman olosuhteille asetetut vaatimukset muuttuvat. Viileiden kellarien olosuhteista saadaan miellyttävämpiä, kun rakenteita lisälämmöneristetään. Lisäksi korjauksen avulla saadaan samalla parannettua vanhan seinärakenteen kosteusteknistä toimintaa.

Vanhat kellarin seinät ovat usein riskirakenteita ja niihin kohdistuu erityisen suuret kosteusrasitukset johtuen maasta nousevasta kosteudesta sekä maahan imeytyvistä sade- ja sulamisvesistä. Erityisesti sisäpuolisen lisälämmöneristämisen suunnittelu on useissa tapauksissa haastavaa, jos ulkopuolisia korjauksia ei päästä toteuttamaan. Lisäksi rakennekerroksien muuttaminen seinässä muuttaa samalla rakenteen rakennusfysikaalista toimivuutta. Riskinä on, että virheellisesti toteutettuun seinään muodostuu kosteutta ja mikrobikasvustoa, ja niiden seurauksena terveydelle haitallisia sisäilmaongelmia.

Työn tavoitteena on tutkia kellarin seinän lisälämmöneristämistä ja tuoda esille toimenpiteitä, jotka tulee huomioida kyseisen korjauksen suunnittelussa. Työssä tutkitaan erilaisia vaihtoehtoja kellarin seinän lisälämmöneristämiseksi. Tavoitteena ei ole tuoda esille kaikkia mahdollisia korjaustapoja, vaan työhön on valittu muutama eri korjausratkaisu ja lämmöneristysmateriaali. Työssä tutkitaan ulkopuolista ja sisäpuolista lämmöneristystä sekä näiden kahden yhdistelmästä rakentuvaa korjaustapaa. Ratkaisuista on liitteenä detaljitason rakennepiirustuksia, joihin on merkitty korjaukseen liittyviä toimenpiteitä. Esi-tetyt ratkaisut eivät sovellu käytettäväksi suoraan kaikissa tilanteissa, vaan jokainen kohde suunnitellaan ja sen kosteustekninen toiminta tutkitaan erikseen.

## 2 YLEISTÄ

### 2.1 Toimeksiantaja

Opinnäytetyön toimeksiantajana on Sweco Rakennetekniikka Oy. Sweco Finland on osa kansainvälistä Sweco-konsernia, joka palvelee asiakkaitaan rakennetekniikan lisäksi seuraavilla aloilla: asiantuntijapalvelut, projektinjohto ja rakennuttaminen, talotekniikka, teollisuus sekä ympäristö- ja yhdyskuntatekniikka. Yrityksen juuret ulottuvat vuoteen 1889, kun ruotsalainen insinööri Hugo Theorell perusti toimiston Tukholmaan. Tänä päivänä Sweco toimii 15 eri maassa. Suomessa toimipisteitä on 25 eri paikkakunnalla. (Sweco Finland Oy esittely)

### 2.2 Aiheen kuvaus ja tavoitteet

Rakennuksen energiatehokkuutta parannetaan usein kellarin seinien lisälämmöneristämällä. Lämpöä eristävä kerros estää sisäilman lämmön häviämisen rakenteen kylmälle puolelle ja kellaritilat saadaan näin lämmitettyä pienemmällä energiamäärällä. Lisälämmöneristäminen voi olla järkevää toteuttaa myös silloin, kun korjataan kellarin seinän riskirakennetta ja pyritään parantamaan seinän kosteusteknistä toimintaa.

Työn tavoitteena on tutkia erilaisia kellarinseinän lisälämmöneristystapoja ja seinän kosteudenhallintaan liittyviä korjauksia. Yhtenä tavoitteena on myös tuoda esille suunnittelussa huomioitavia aiheita, kuten haitta-aineiden ja turvallisuuden huomioiminen suunnittelussa sekä korjaustason vaikutus toimenpiteisiin. Lisäksi työhön sisältyy detaljipiirustuksia, joita voidaan käyttää hyödyksi suunnitellessa lisälämmöneristämistä tai kosteusteknisen toiminnan parantamista.

Korjausratkaisujen kohdalla esitetään rakenteen lämmöneristyskyky sekä rakenteen kosteustekninen toiminta. Lisäksi jokaisen korjaustavan kohdalla kerrotaan rakenteeseen liittyviä riskejä sekä mahdollisia käyttökohteita. Suunnitelmissa huomioidaan seinän kosteusrasitusten pienentämiseksi tehtävät korjaustyöt, kuten tiivistysratkaisut sekä seinän alaosan kapillaarikatkon asentaminen. Korjaustavoissa esitetään myös Suomessa uusia



sisäpuolisia lämmöneristysmateriaaleja, joista on vielä vähän tutkimustuloksia ja käyttökokemuksia. Materiaalien ja esitettyjen rakenteiden käyttöä todellisessa kohteessa tulee tutkia ja harkita tarkkaan jokaisen suunnittelukohteen kohdalla.

### 2.3 Työn rajaus, menetelmät ja aineisto

Opinnäytetyö rajautuu 1940–1970-luvuilla rakennettujen kivirakenteisten kerrostalojen sekä julkisten rakennusten kellarien seiniin. Työssä tutkitaan näille aikakausille tyypillisiä rakenteita sekä niihin liittyviä kosteusriskejä. Tutkittavina rakenteina on käytetty Kerrostalot 1940–1960 ja Kerrostalot 1960–1975 esitettyjä tyypillisiä rakenteita ja materiaaleja. Työn laajuuden rajaamiseksi pienkerrostalojen sekä sauna- ja märkätilojen rakenteet on jätetty pois tästä työstä. Työn korjausratkaisut rajautuvat ainoastaan kellarin seiniin eikä niissä ole huomioitu muita rakenteita. Todellisessa suunnittelutilanteessa tulee kellarin seinän korjauksen yhteydessä huomioida myös muiden rakenteiden korjaustarve. Esimerkiksi alapohjalaattaan on usein aiheellista tehdä korjauksia seinän korjauksen yhteydessä. Ratkaisuissa ei ole käsitelty eristystapojen taloudellisuutta eikä investoinnin kannattavuutta, vaan työ rajoittuu rakenteen rakennusfysikaaliseen toimivuuden ja riskien tutkimiseen.

Lisälämmöneristämisen kosteus- ja lämpöteknistä toimivuutta vanhoissa sekä korjatuissa rakenteissa on tutkittu Dof -Lämpö laskentaohjelman avulla. Dof -Lämpö ohjelman avulla saadaan selvitettyä rakenteiden kosteus- ja lämpökuvaajia, rakenteiden U-arvot, kondensaatiomäärää sekä energiankulutusta. Ohjelman avulla voidaan laskea myös mahdollisten kylmäsiltojen vaikutus rakenteen kosteus- ja lämpötekniseen toimintaan. (D.O.F. tech oy 2018.)

Sisäpuolisesta eristämisestä on melko vähän tutkittua materiaalia ja joissakin tapauksissa toteutetut eristämiset ovat olleet virheellisiä ja johtaneet sisäilmaongelmiin. Roosa Heiskanen on kirjoittanut diplomityön maanvastaisten seinien sisäpuolisesta lisälämmöneristämisestä vuonna 2015. Tutkimuksessa on homemallin avulla tutkittu erilaisten lisälämmöneristystapojen homeindeksejä ja toimivuutta eri aikakausien kellarin seinissä. Korjausratkaisussa hyödynnetään Heiskanen tekemiä tutkimuksia ja lisäksi esitetään myös muita korjaustapoja. Opinnäytetyön aineistona on käytetty edellä mainittujen lähteiden

lisäksi rakennusfysiikkaan sekä maan alapuolisiin rakenteisiin ja niiden korjaamiseen liittyvää lainsäädäntöä, kirjallisuutta, tutkimuksia, tuotevalmistajien antamia tietoja sekä Rakennustiedon kortteja.

## 2.4 Lainsäädäntö

Maankäyttö- ja rakennuslaki (132/1999) määrittelee rakentamiseen liittyviä yleisiä edellytyksiä, viranomaisvalvontaa ja lupamenettelyä. Laissa määritellään yleisellä tasolla teknisiä vaatimuksia, jotka käsittelevät rakenteiden lujuutta ja vakautta, paloturvallisuutta, terveellisyyttä, käyttöturvallisuutta, esteettömyyttä, meluntorjuntaa ja ääniolosuhteita sekä energiatehokkuutta. Maankäyttö- ja rakennuslakiin nojautuvat tarkemmat rakentamista koskevat säännökset ja määräykset kerrotaan Ympäristöministeriön ylläpitämässä Suomen rakentamismääräyskokoelmassa. Rakennushankkeessa tulee Maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999, 117c §) mukaan huolehtia, että rakennuksen sisäilma, kosteus-, lämpö- ja valaistusolosuhteet ovat terveellisesti ja turvallisesti suunniteltu ja rakennettu. Rakennuksessa ei saa olla terveydelle vaarallisia sisäilman epäpuhtauksia, jotka ovat johdettavat esimerkiksi rakenteissa olevasta kosteudesta.

Tämän opinnäytetyön pääpaino on lisälämmöneristämässä sekä kellarin seinän lämpö- ja kosteusteknisessä toimivuudessa. Rakenteiden kosteustekniseen toimivuuteen ja energiatehokkuuden parantamiseen on asetettu säädöksiä rakentamismääräyskokoelmassa, jotka tulee huomioida rakenteen suunnittelussa. Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta (782/2017) määrittelee, että suunnittelijan on rakennuksen korjaus- ja muutostyössä tai käyttötarkoituksen muuttuessa selvitettävä rakennuksen rakennusaikainen rakentamistapa ja rakenteen kosteustekninen toimivuus. Jos vanhassa rakenteessa ei ole kosteustekniseen toimivuuteen liittyvää suunnittelu- tai toteutusvirhettä, tulee ensisijaisesti noudattaa alkuperäisen rakenteen toimintatapaa. Asetusta voidaan noudattaa, jos halutaan parantaa rakenteen kosteusteknistä toimivuutta. Pakolliseksi asetuksen noudattaminen tulee niissä tapauksissa, että rakenne aiheuttaa terveyshaittaa tai vaurioita rakennuksen kosteustekniselle toimivuudelle.

Asetuksessa (782/2017) säädetään myös, että rakennuksen sisäisistä ja ulkoisista kosteuslähteistä peräisin oleva vesi ei saa missään olomuodossaan haittaa aiheuttaen kulkeutua rakenteisiin. Suunnittelussa on huomioitava esimerkiksi rakenteiden liitosten toimivuus,

jotta vesi ei pääse rakenteisiin. Jos kosteus pääsee rakenteisiin satunnaisesti, on sen päästävä pois rakenteista haittaa aiheuttamatta. Lisäksi käytettyjen materiaalien on oltava sellaisia, jotka kestävät pinnalta kastumisen (782/2017). Maanvastaisen seinärakenteen osalta asetus (782/2017) määrittelee, että maata vasten sijaitsevan ulkoseinän on estettävä ympäröivän maan kosteuden ja hulevesien tunkeutuminen seinärakenteeseen. Keinoina ovat vedeneristys, vedenpaine-eristys tai rakenteellinen vedenpoisto, joka mahdollistaa seinän kuivumisen ulospäin. Vedeneristyksen tai vedenpaineen eristyksen sijainti on asetuksen mukaan maanvastaisen seinän ulkopinnassa tai jos seinä on lämmöneristetty ulkopuolelta, tulee vedeneristys asentaa lämmöneristeen sisäpuolelle.

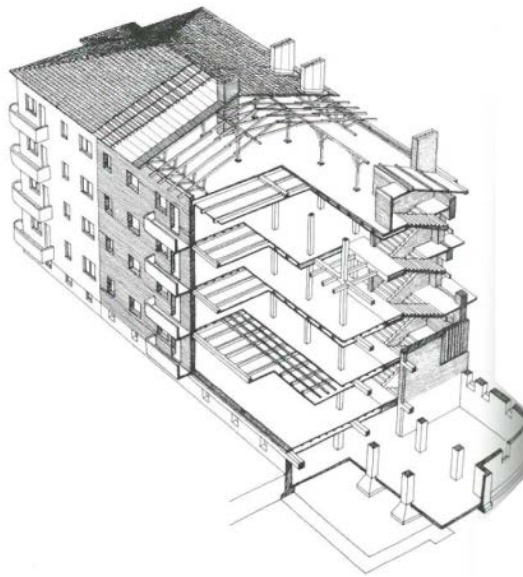
Ympäristöministeriön asetuksessa rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä (4/2013) säädetään vaatimuksia rakennusosan energiatehokkuuden parantamisessa. Ulkoseinän osalla uuden U-arvon tulee olla vähintään alkuperäinen U-arvo  $\times 0,5$ , kuitenkin enintään  $0,17 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Lisäksi asetuksessa säädetään, että ulkovaiipan energiatehokkuutta parantavien toimenpiteiden yhteydessä varmistetaan liitoksien tiivistäminen siten, että ilmavirtaukset eivät heikennä eristyskykyä.

Terveydensuojelulaissa (763/1994) säädetään asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisiä vaatimuksia. Tilojen olosuhteiden tulee lain mukaan olla sellaisia, etteivät ne aiheuta asunnossa tai sisätilassa oleskeleville terveyshaittaa. Olosuhteilla tarkoitetaan lain yhteydessä esimerkiksi puhtautta, lämpötilaa, kosteutta, melua, ilmanvaihtoa, valoa ja säteilyä. Terveydellisten olosuhteiden valvonnassa sovelletaan Sosiaali- ja terveysministeriön asetusta asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista (545/2015). Asetuksessa on fysikaalisia, kemiallisia ja biologisia altistumistekijöitä koskevia vaatimuksia sekä niiden toimenpiderajoja. Lisäksi Valvira eli Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto on laatinut asumisterveysasetuksen soveltamisohjeet, joissa annetaan tulkintoja ja esimerkkejä asumisterveysasetuksen soveltamiseen (Valvira 2016). Terveydellisistä vaatimuksista on säädetty lisäksi muun muassa säädetty työturvallisuuslaissa (738/2002).

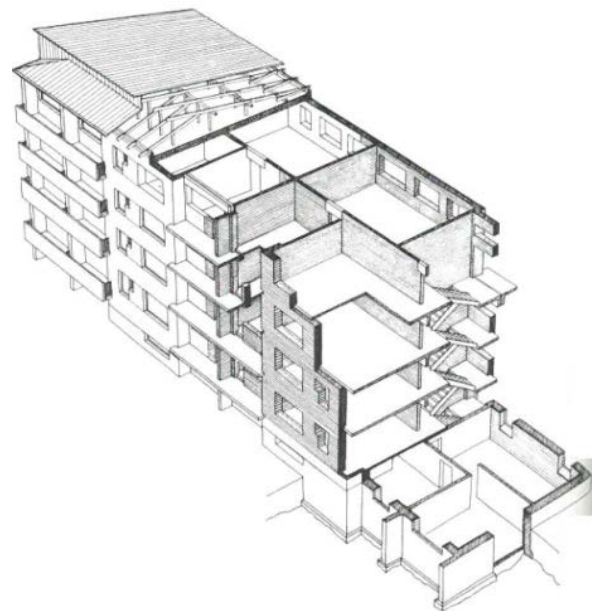
### 3 KELLARIN SEINIEN RAKENNETYYPIIT

#### 3.1 Runkotyyppien kehitys 1940–1970-luvuilla

Asuinkerrostalojen runkotyyppejä vuosina 1940–1960 olivat tiilimuurirunko, sekarunko, betonipilarirunko, betoniseinärunko, puurunko sekä kirjahyllyrunko. Yleisin kivrakenteisten asuinkerrostalojen runkotyyppi 1940-luvulla ja 1950-luvun alussa oli sekarunko (kuva 1). Sekarunkoiset kerrostalot ovat tyypillisesti 2–7 kerroksisia. Sekarungossa ulkoseinät ovat kantavia massiivisia tiilimuureja ja niissä saattaa olla myös lämmöneristeosa. Keskirungon rakenteena on betonipilaristo. Betonipilareita tehtiin joissakin tapauksissa myös ulkoseinämuuriin. Kerrostalojen väli- ja yläpohjat tehtiin alalaattapalkistoista, kunnes 1950-luvun alussa massiiviteräsbetonilaatat alkoivat yleistyä. Samana aikakautena rakennettiin myös tiilimuurirunkoisia kerrostaloja, joissa massiivitiilisten ulkoseinien lisäksi on yksi tai kaksi rakennuksen pituussuunnassa kulkevaa massiivitiilistä sydänmuuria (kuva 2). (Mäkiö ym. 1990, 64.)

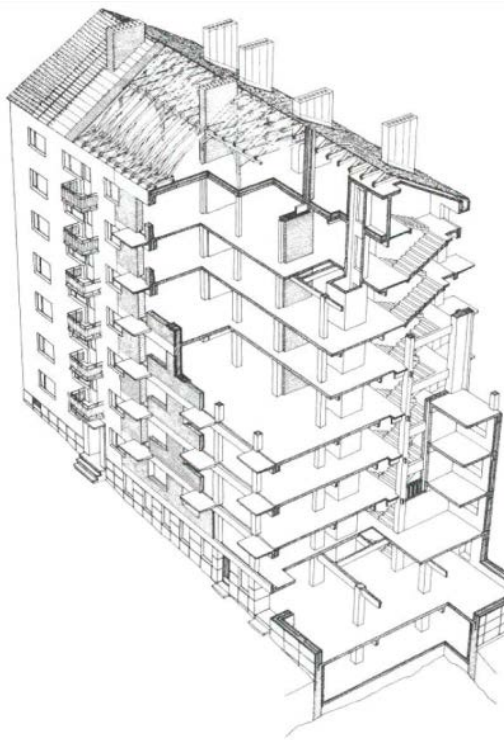


KUVA 1. Sekarunko vuodelta 1946  
(Mäkiö ym 1990, 76)

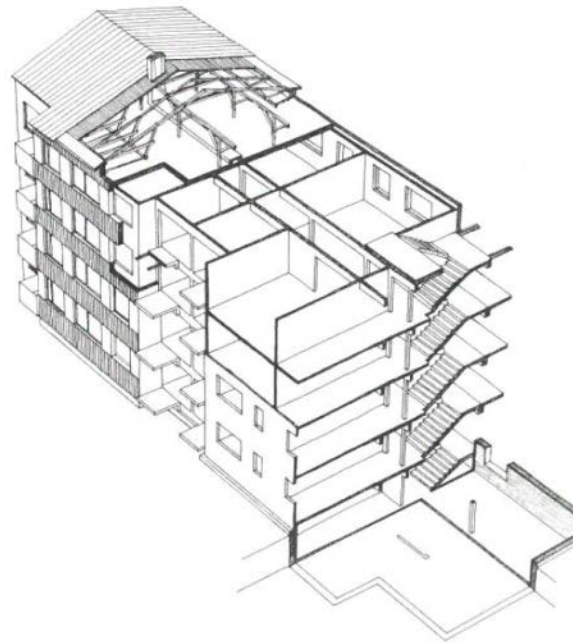


KUVA 2. Tiilimuurirunko vuodelta 1958  
(Mäkiö ym 1990, 64)

1940-luvun lopulla otettiin käyttöön betonipilarirunko, jossa ulkoseinien, keskirungon ja porrashuoneiden kantavina pystyrakenteina on teräsbetonipilarit (kuva 3). Ulkoseinissä pilareiden välit täytettiin usein muurauksella ja eristettiin kevytbetonilla. Yleisin runkorakenne 1950-luvun puolivälin jälkeisellä kaudella on betoniseinärunko, jossa kaikki kantavat pystyrakenteet ovat teräsbetoniseiniä (kuva 4). Ulkoseinien eristeinä käytettiin esimerkiksi lastuvillalevyä, lasivillaa, kivivillaa tai kevytbetonia. Väli- ja yläpohjina on massiiviteräsbetonilaatat. Kerroksia runkotyypissä on tyypillisesti neljästä kahdeksaan kappaletta, mutta joissakin tapauksissa kerroksia voi olla jopa yhdeksän. (Mäkiö ym. 1990, 65, 118–119.)

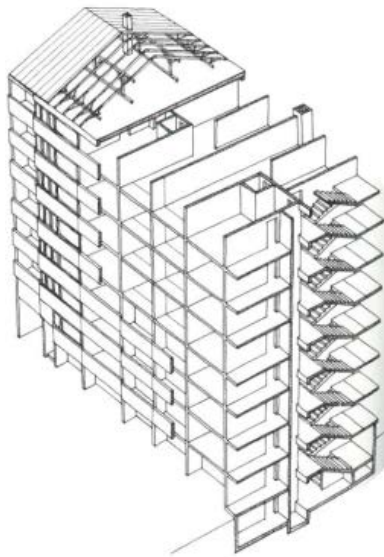


KUVA 3. Betonipilarirunko  
vuodelta 1952 (Mäkiö ym 1990, 84)

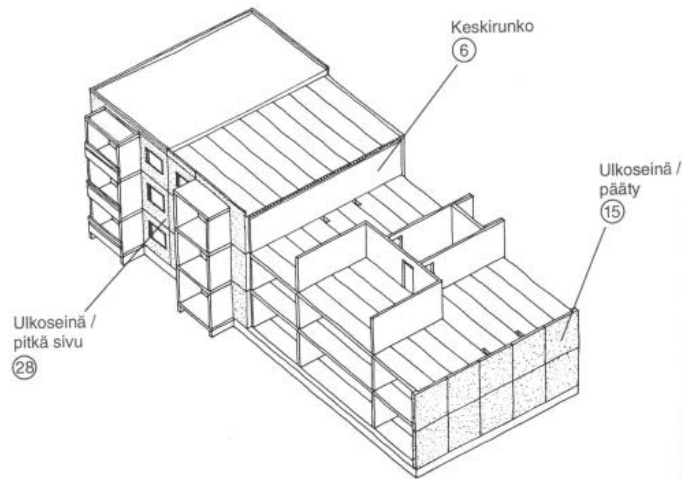


KUVA 4. Betoniseinärunko vuodelta 1959  
(Mäkiö ym 1990, 84)

Perinteisten tiilirunkoisten kerrostalojen rakentaminen väheni 1950-luvun jälkipuoliskolla ja elementtirakentaminen alkoi kehittyä. Elementtirakentamisen seurauksena kirjahyllyrunko on yleisin kerrostalojen runkotyyppi vuosina 1960–1975. Kirjahyllyrunko koostuu hyllymäisistä lokeroista, jotka rakennuksen teräsbetoniseinät muodostavat välipohjien ja yläpohjan kanssa. Kirjahyllyrakenteisia kerrostalot ovat paikallatehtyjä, osaelementtisiä nauha- tai ruutuelementtiseinäisiä ja myöhemmin täselementtisiä runkoja (kuva 5; kuva 6). (Mäkiö ym. 1994, 62–68.)



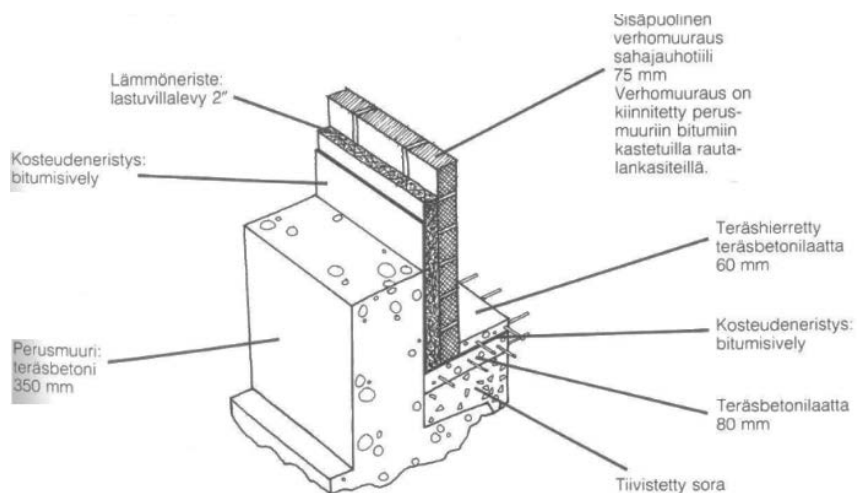
KUVA 5. Kirjahyllyrunko  
(Mäkiö ym 1990, 66)



KUVA 6. Täyselementtinen BES -kirjahyllyrunko  
1970-luvulta (Mäkiö ym 1994, 100)

### 3.2 Kellarin seinärakenteet 1940–1950

Kellareiden perusmuurit ja perustusten anturat tehtiin usein 1940–1950-luvuilla raudoitamattomasta säästöbetonista (Mäkiö ym. 1990, 119). Kellaritilan seinänä toimivan perusmuurin sisäpinta on usein kosteuseristetty bitumisivelyllä. Sisäpuolisena verhoilurakenteena on käytetty usein muun muassa  $\frac{1}{4}$ -kiven sahajauhottiilmuurausta, kalkkihiiekatiiltä tai rakennuslevyä. Verhomuuraus kiinnitettiin perusmuuriin bitumiin kastetuilla rautalankasiteillä. Verhoilun taakse on saatettu laittaa ilmarako tai lämmöneriste, kuten vuorivillaa tai lastuvillalevy (kuva 7). (Mäkiö ym 1990, 71, 85, 93, 119.) Työn tarkaste- luissa ja detaljipiirustuksissa on käytetty tätä rakennetyyppiä.



KUVA 7. Kellarinseinärakenne 1950-luvulta (Mäkiö ym 1990, 93)



## 4 RAKENNUSFYSIKKA

### 4.1 Rakenteiden lämpötekniikka

#### 4.1.1 Lämmön siirtyminen

Lämpö siirtyy kolmella eri tavalla: johtumalla, säteilemällä tai ilmavirtausten mukana eli konvektiolla (Siikanen 2014, 40).

##### **Johtuminen**

Lämpö voi siirtyä kiinteissä aineissa tai nesteissä johtumalla eli konduktiolla, jolloin liike-energia siirtyy eteenpäin molekyylistä toiseen. Lämpö pyrkii tasaantumaan ja virtaamaan lämpimästä ilmasta kylmempään. (Siikanen 2014, 40.)

##### **Säteily**

Toinen lämmön siirtymistapa on säteily eli emissio, jossa lämpö siirtyy sähkömagneettisen aaltoliikkeen välityksellä valon nopeudella. Ne kappaleet, jotka ovat absoluuttisen nollapisteen yläpuolella lähettävät säteilyä. Säteilyn osuessa pintaan osa siitä heijastuu ja osa absorboituu. Läpinäkyvissä pinnoissa osa säteilystä menee lisäksi pinnan läpi. (Björkholtz 1997, 12–13.)

##### **Konvektio**

Konvektiossa lämpö siirtyy kaasun tai virtauksen mukana. Siirtyminen voi tapahtua pakotettuna tai luonnollisesti. Pakotetussa konvektiossa neste tai kaasu siirtyy jonkun ulkopuolisen voiman pakottamana, esimerkiksi koneellisen ilmanvaihdon, tuulen tai ihmisten liikkumisen johdosta. Luonnollinen konvektio on harvinaisempaa rakenteissa. Siinä liike syntyy eri lämpötilojen aiheuttamien tiheyserojen takia. (Björkholtz 1997, 12–13.)



### 4.1.2 Lämmönjohtavuus

Lämmönjohtavuus kertoo lämpötehon, joka kulkee yhden metrin paksuisen ja yhden neliön kokoisen materiaalikerroksen läpi, kun pintojen välinen lämpötilaero on yksi aste (Lindberg 2004, 425). Eri aineilla on omat lämmönjohtavuusarvonsa. Esimerkiksi betonin lämmönjohtavuus on noin 1,7 W/(mK), kun taas mineraalivillan lämmönjohtavuus on huomattavasti alhaisempi, noin 0,050 W/(mK). Tämän materiaalin ominaisuuden vuoksi mineraalivilla sopii rakenteiden lämmöneristeeksi. Lämmönjohtavuuden  $\lambda$  yksikkö on W/(mK) tai W/(m°C). (Siikanen 2014, 41–43.)

Lämpöteknisissä laskelmissa käytetään SFS-EN-standardin tai eurooppalaisen teknisen hyväksynnän määrittelemiä materiaalien lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoja  $\lambda_U$ . Suunnitteluarvoissa on huomioitu aineen lämmönjohtavuuden mittaustulosten hajonnan, lämpötilan, kosteuspitoisuuden ja ikääntymisen vaikutukset lämmönjohtavuuteen. (Siikanen 2014, 41–43.)

### 4.1.3 Lämmönvastus

Rakenteen eri materiaalikerroksille laskettujen lämmönvastusten avulla saadaan laskettua rakenneosan kokonaislämmönvastus. Myös rakenteiden ilmakerroksilla on lämmönvastukset, jotka tulee huomioida rakenteen lämpöjakautuman laskemisessa. Lämmönvastukset ovat erilaiset riippuen siitä, onko ilmatila tuulettuva vai tuulettumaton. (Siikanen 2014, 47–52.) Materiaalikerroksen lämmönvastus  $R$  saadaan laskettua, kun kerroksen paksuus  $d$  jaetaan materiaalin lämmönjohtavuudella  $\lambda$  (1). Lämmönvastuksen  $R$  yksikkö on m<sup>2</sup>K/W ja se saadaan laskettua kaavalla

$$R = \frac{d}{\lambda}, \quad (1)$$

jossa kerroksen paksuus  $d$  ilmoitetaan metreinä.

Rakenneosan kokonaislämmönvastus  $R_T$  saadaan laskemalla yhteen kaikkien rakenneosan lämpövirran suuntaan peräkkäin sijaitsevien ainekerroksien lämmönvastukset

(1) sekä sisä- ja ulkopintojen pintavastukset. Pintavastusten suuruudet riippuvat lämpövirran suunnasta sekä pintavastuksen sijainnista. Kokonaislämmönvastus  $R_T$  lasketaan kaavalla

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}, \quad (2)$$

jossa  $R_{si}$  on sisäpuolen lämmönvastus,  $R_1, R_2, \dots, R_n$  on rakennusosan 1, 2, ..., n lämmönvastukset ja  $R_{se}$  ulkopuolen lämmönvastus. (Siikanen 2014, 51.)

Kokonaislämmönvastusta laskettaessa huomioidaan lämmönjohtavuudeltaan eroavat ainekerrokset, jotka sijaitsevat rakenneosassa lämpövirran suuntaan nähden rinnakkain. Tällöin kokonaislämmönvastus saadaan laskemalla ylä- ja alalikiarvojen keskiarvo. (Siikanen 2014, 52.)

#### 4.1.4 Lämmönläpäisykerroin

Lämmönläpäisykertoimella eli  $U$ -arvolla kuvataan rakenteen lämmöneristyskykyä. Mitä pienempi arvo on sitä paremmin se eristää lämpöä. Lämmönläpäisykerroin kertoo lämpötehon määrän, joka lävistää rakenteen yhden neliön alueella, kun pintojen välinen lämpötilaero on yksi aste. Rakennusosan lämmönläpäisykertoimen  $U$  yksikkö on  $W/(m^2K)$ .  $U$ -arvo lasketaan kokonaislämmönvastuksen  $R_T$  käänteisluvusta kaavalla

$$U = \frac{1}{R_T}, \quad (3)$$

jossa  $U$  on lämmönläpäisykerroin ja  $R_T$  on kokonaislämmönvastus (2). (Siikanen 2014, 50–51.)

Rakennusosan korjatun lämmönläpäisykerrointa eli  $U_c$ -arvoa määriteltäessä tulee lisäksi huomioida rakenteen  $U$ -arvoa heikentävät korjaustekijät. Korjaustekijöitä ovat muun muassa mekaaniset kiinnikkeet tai muut kylmäsilat sekä lämmöneristeen ilma-eristykset. Rakenteessa olevia yksittäisiä kylmäsiltoja ei tarvitse huomioida  $U_c$ -arvoa laskettaessa. Kylmäsilloilla tarkoitetaan rakennusosan eristeessä sijaitsevaa kohtaa, jonka lämmönjohtavuus on huomattavasti suurempi kuin ympäröivän rakenteen. Tällaisia ovat esimerkiksi

lämmöneristeen läpäisevä betoni tai teräsiteet. Kylmäsiilat lisäävät rakenteen lämmön- hukkaa, mutta ne voivat myös aiheuttaa kosteuden tiivistymistä rakenteeseen. (Siikanen 2014, 46, 50–51.) Korjattu lämmönläpäisykerroin  $U_c$  lasketaan kaavalla

$$U_c = U + \Delta U, \quad (4)$$

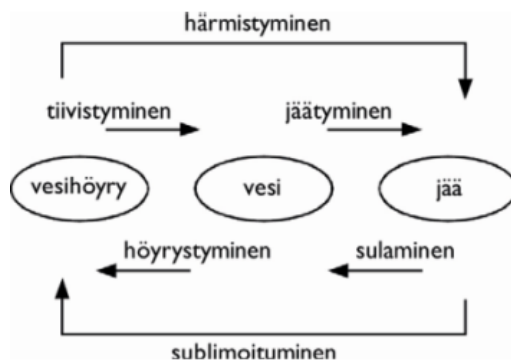
jossa  $U$  on lämmönläpäisykerroin ja  $\Delta U$  yhteenlasketut korjaustekijät. (RIL 225-2004, 28).

Nykyinen lämmönjohtavuuden suunnittelu-arvo ei sisällä lämmöneristeessä olevista ilma- raoista eikä asennuksesta tai materiaalin suuresta ilmanläpäisevyydestä johtuvaa läm- mönjohtavuuden lisäystä. Nämä tekijät tulee ottaa tarvittaessa huomioon lämmöneristettä valittaessa. (Siikanen 2014, 41–43.)

## 4.2 Rakenteiden kosteustekninen toiminta

### 4.2.1 Veden olomuodot

Vettä esiintyy kolmessa eri olomuodossa riippuen lämpötilasta: kaasumaisessa muodossa eli vesihöyrynä, nestemäisenä tai jäätyneenä kiinteässä olomuodossa (kuva 8). Rakennuksissa vettä esiintyy jokaisessa olomuodossaan. Rakennuksessa olevaa vettä ei voi aina havaita silmin, vaan se saattaa olla myös vesihöyrynä tai rakennusmateriaaleihin sitoutu- neena. (Siikanen 2014, 65–66.)

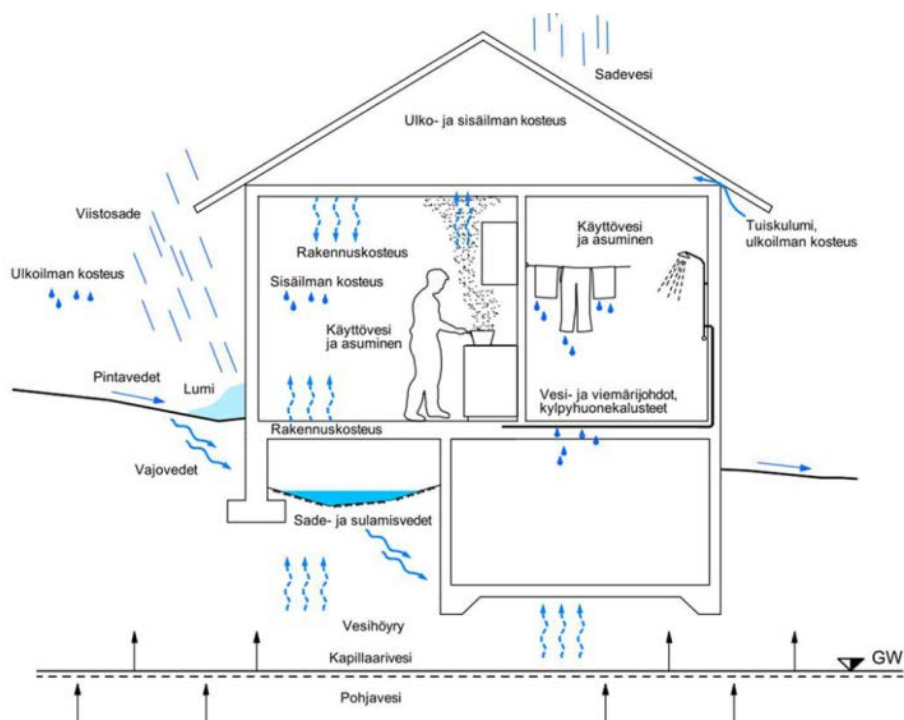


KUVA 8. Veden olomuodot (Ympäristöministeriö 2016, 101)

#### 4.2.2 Rakennuksen kosteuslähteet

Rakennuksen kosteuslähteitä on ulko- ja sisäpuolisia (kuva 9). Ulkopuolisia kosteuslähteitä ovat ilman sisältämä kosteus sekä sade, jota esiintyy vetenä, räntänä ja lumena. Sade aiheuttaa rasituksia pääasiassa rakennuksen vaakapinnoille, mutta tuulen vaikutuksesta sade kohdistuu myös viistosateena julkisivun pystysuoriin pintoihin. Vesi voi nousta tuulen vaikutuksesta pystyrakenteita pitkin ylöspäin tai roiskua seinälle maahan osuessaan. Sade- ja sulamisvedet eli vajovedet aiheuttavat rasitusta erityisesti maanpinnan alapuolisisille rakenteille.

Maaperässä on vajovesien lisäksi kosteutta pinta- ja pohjavetenä, kapillaarivetenä sekä maan huokosissa sijaitsevana kosteutena (Björkholtz 1987, 49). Maa- ja kallioperässä sijaitsevan pohjaveden pinnan korkeus vaihtelee esimerkiksi vuotuisesta sademäärästä johtuen ja siihen tulee varautua sijoittamalla kellaritilat aina pohjaveden yläpuolelle. Rakenteisiin voi tulla kosteutta myös vuodoista. Vuotoja on tyypillisesti vesi-, lämmitys- tai viemäriputkistoissa, kattojen, terassien, parvekkeiden ja märkätilojen vedeneristyksissä sekä rakenteiden liittymäkohdissa. (Siikanen 2014, 66–67.) Sisäilmaan syntyy kosteutta muun muassa ruuanlaitosta, peseytymisestä sekä ihmisistä ja eläimistä. Kosteus saattaa olla myös rakennusaineisiin sitoutunutta rakennusaikaista ylimääräistä kosteutta. Rakennuskosteus on maakosteuden ja putkivuotojen lisäksi yleisimpiä kosteuden aiheuttajia rakennuksissa (Siikanen 2014, 78).

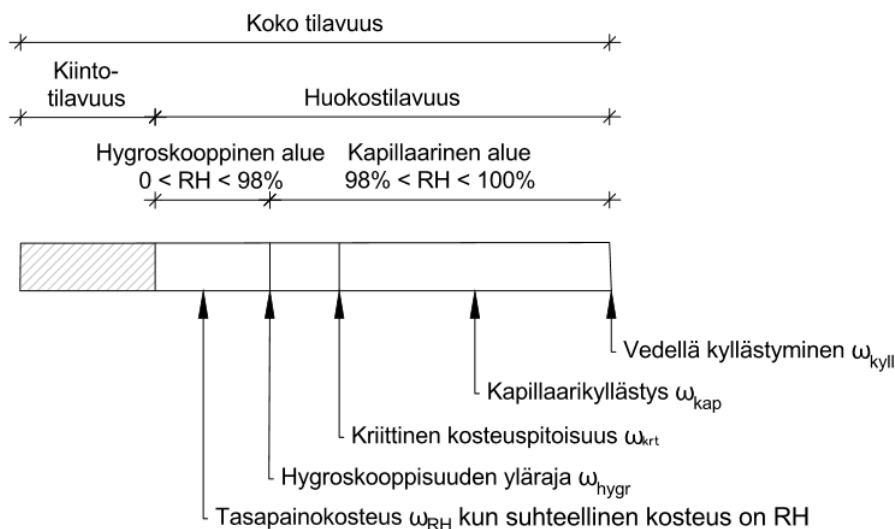


KUVA 9. Rakennuksen kosteuslähteitä (Ympäristöministeriö 2016, 107)

### 4.2.3 Kosteuden sitoutuminen rakennusaineissa

Huokoisissa materiaaleissa ja ympäröivässä ilmassa on aina jonkin verran kosteutta. Kosteuden määrä riippuu materiaalin ominaisuuksista sekä ilman lämpötilasta ja kosteudesta. Huokoisilla aineilla on kyky sitoa kosteutta ilmasta ja luovuttaa kosteutta ilmaan. Tätä kutsutaan hygroskooppiseksi kosteudeksi. Aineen kosteus pyrkii ympäristönsä kanssa tasapainotilaan, jolloin sillä on hygroskooppinen tasapainokosteus. Hygroskooppisuus vaihtelee eri aineilla. Esimerkiksi kellarin seinissä käytetty tiili pystyy sitomaan itseensä paljon kosteutta, kun taas mineraalivillan hygroskooppisuus on hyvin pieni. Kosteuden määrä ilmoitetaan yleensä painoprosentteina eli kosteuden massan ja kuivan massan välisenä suhteena. Materiaaleihin sitoutunut vesi voidaan ilmoittaa myös veden määränä materiaalikuutiota kohden  $\text{g/m}^3$ . (Siikanen 2014, 77.)

Rakennusaineiden hygroskooppinen yläraja saavutetaan, kun rakennusainetta säilytetään tilassa, jonka ilman suhteellinen kosteus on 98% (kuva 10). Kosteuden siirtyminen tapahtuu kaasuna huokoisen aineen kriittisen kosteuspitoisuuden täyttymiseen saakka, jonka jälkeen kosteus siirtyy nestemäisessä olomuodossa. Kriittinen kosteuspitoisuusraja on useimmiten suurempi kuin hygroskooppisuuden yläraja. Kun rakennusaine on ollut tarpeeksi pitkään veden kanssa kosketuksissa, saavuttaa se kapillaarikyllästyksen. Rakennusaine on saavuttanut kyllästymispisteensä, kun sen koko huokostilavuus on täyttynyt vedellä. Tämän saavuttaminen vaatii ilman poistamista huokosista tyhjiökäsittelyllä tai keittämällä. (Björkholtz 1987, 52–53.)



KUVA 10. Rakennusaineen kastumisen vaiheet. (Björkholtz 1997, 53, muokattu)

#### 4.2.4 Kosteuden siirtyminen

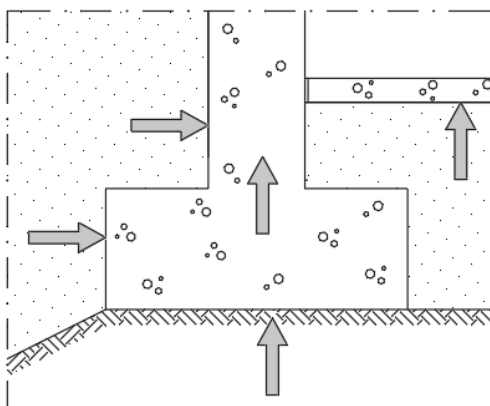
Nestemäisessä olomuodossa oleva kosteus voi siirtyä rakenteissa painovoimaisesti tai kapillaarisesti. Kaasumaisessa olomuodossa oleva vesihöyry voi sen sijaan siirtyä rakenteissa kahdella eri tavalla: vesihöyryn osapaine-erojen aiheuttamalla diffuusiolla tai ilmanpaine-eroista johtuvan konvektion kuljettamana. (Ympäristöministeriö 2016, 111–117.)

##### Painovoimainen siirtyminen

Vesi voi liikkua rakenteissa painovoiman vaikutuksesta alaspäin. Painovoiman aiheuttama veden kulkeutuminen tapahtuu erityisesti silloin, kun materiaalilla on heikko kyky imeä itseensä vettä kapillaarisesti. Esimerkiksi karkeassa sorassa kosteus siirtyy pääasiassa painovoimaisesti alaspäin. (Ympäristöministeriö 2016, 112–113.)

##### Kapillaarinen siirtyminen

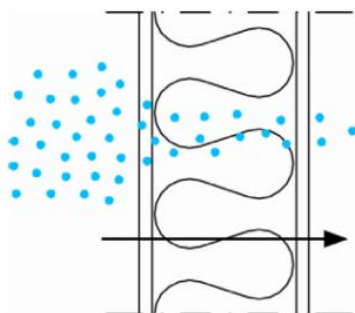
Kapillaarista vedenliikettä tapahtuu huokoisissa rakennusaineissa ja maaperässä niiden ollessa kosketuksissa vapaaseen veteen tai toiseen kapillaariseen aineeseen. Aineessa olevista huokosalipaineen paikallisista eroista johtuva kapillaarinen veden siirtyminen voi tapahtua aineessa pysty- ja vaakasuunnassa (kuva 11). (Ympäristöministeriö 2016, 111–112.) Esimerkiksi puu, tiilet ja harkot ovat rakennusaineita, jotka imevät helposti kapillaarisesti vettä. Huokoisten materiaalien kohdalla veden kulkeutuminen tulee estää kapillaarin katkaisevalla materiaalilla, kuten kermillä. Maaperän kanssa kosketuksissa olevat rakenteet ovat erityisesti alttiina maaperässä kapillaarisesti kulkeutuvalla vedelle. Kapillaarisen vedennousun katkaisemiseksi rakenteiden lähellä käytetään tarpeeksi karkeita materiaaleja, jotka katkaisevat vedennousun ja pitävät rakenteet riittävän kaukana määrästä maaperästä. (Siikanen 2014, 68.)



KUVA 11. Kapillaarinen vedenliike perustuksissa

## Diffuusio

Ilman sisältämät vesimolekyylit pyrkivät liikkumaan siten, että vesihöyryn pitoisuuserot pääsevät tasaantumaan ja kaasuseoksesta tulee tasaisesti jakautunutta (kuva 12). Ilman sisältämä vesihöyry pyrkii siirtymään rakenteiden läpi suuremmasta vesihöyryn osapaineesta tilaan, jossa vesihöyryn osapaine on pienempi. Tätä kosteuden siirtymistapaa kutsutaan rakennustekniikassa diffuusioksi. Diffuusio pyrkii yleensä kulkemaan lämpimästä tilasta kylmempään, johtuen lämpimän ilman kyvystä sitoa suurempi määrä kosteutta itseensä. Diffuusion suunta voi olla myös toisin päin, jos kosteuspitoisuus on suurempi kylmässä tilassa kuin lämpimässä. (Siikanen 2014, 70–71.)



KUVA 12. Kosteus siirtyy rakenteessa suuremmasta vesihöyrypitoisuudesta pienempään päin. (Ympäristöministeriö 2016, 113)

Vesihöyryn virtaamisen suunta voi vaihdella kellaritiloista maaperään tai toisinpäin, riippuen ilman vesihöyryn pitoisuuksista. Maaperän huokosissa olevan ilman suhteellinen kosteuden RH oletetaan olevan 100 % eli se on kyllästetty vesihöyryllä (RIL 250-2011 2011, 64). Ulkoilmassa olevan vesihöyryn määrä vaihtelee vuodenajoittain. Yleensä vesihöyryn määrä on suurempi kesäisin kuin talvisin johtuen lämpimän ilman kyvystä sitoa suurempi määrä vesihöyryä. Ilman suhteellinen kosteus on keskimäärin talvikuukausina 90 % RH ja kesäkuukausina 65 % RH. (Ympäristöministeriö 2016, 109.)

## Konvektio

Diffuusion lisäksi vesihöyry voi siirtyä rakenteissa konvektiolla, jossa ilman sisältämä vesihöyry siirtyy rakenteen eri puolilla olevien ilmanpaine-erojen aiheuttaman ilmavirtausten kuljettamana. Rakennuksessa ilma pääsee virtaamaan huokoisten ja hyvin ilmaa läpäisevien aineiden sekä rakenteissa olevien rakojen läpi. Kosteuden konvektio voi olla pakotettua, jolloin vesihöyry siirtyy rakenteessa olevien ilmarakojen ja reikien kautta ilmanpaine-erojen vaikutuksesta. Seinärakenteen sisällä voi tapahtua ilman tiheyseroista johtuvaa ilman virtausta eli luonnollista konvektiota. (Siikanen 2014, 71–72.)

Vesihöyryn tiivistymistä vedeksi kutsutaan kondensoitumiseksi. Kondensoitumista tapahtuu, kun pinnan lämpötila on alle ympäröivän ilman kastepistelämpötilan (Ympäristöministeriö 2016, 101). Kosteuden tiivistymistä tapahtuu rakenteissa esimerkiksi kylmäsilloissa tai kylmän pinnan rajautuessa lämpimään huonetilaan (Siikanen 2014, 72).

Lähes kaikki materiaalit läpäisevät kosteutta. Rakennusaineen ominaisuutta päästää vesihöyryä lävitseen kutsutaan vesihöyrynläpäisevyydeksi  $\delta_p$  ( $\text{kg}/\text{m}^2\text{sPa}$ ). Vesihöyrynvastus  $Z_p$  ( $\text{m}^2\text{sPa}/\text{kg}$ ) on käänteinen suure vesihöyrynläpäisevyydelle ja kuvaa aineen kykyä vastustaa vesihöyryn virtausta. Erityisesti puupohjaisten rakennuslevyjen ja rakennuspapereiden vesihöyrynvastus riippuu tilan suhteellisesta kosteudesta. Kuivissa olosuhteissa niiden höyrynvastus on merkittävästi suurempi kuin kosteissa olosuhteissa. Rakenteissa tapahtuvaa diffuusiokosteuden liikkumista ja kondensoitumista määriteltäessä täytyy tietää rakenteen eri osien lämpötilat, ainekerrosten vesihöyrynvastukset, lämpötilat ja niitä vastaavat kyllästymispaineet sekä rakenteen molemmiin puolelleen suhteellinen kosteus. (Siikanen 2014, 72–74.)

### 4.3 Kellarin seinän kosteusriskit

#### Mikrobit rakenteissa

Rakenteiden sisältämä liiallinen kosteus voi aiheuttaa terveydelle haitallisia mikrobiongelmiä, kuten säde- ja homesienten kasvua. Mikrobien kasvun edellytyksistä tärkein on kosteus eivätkä mikrobit pysty kasvamaan kuivissa olosuhteissa. Kosteuden lisäksi mikrobit tarvitsevat kasvaakseen lämpöä ja ravintoa. Erityisesti puupohjaiset materiaalit ovat homeherkkiä materiaaleja, mutta myös hyvin hometta kestävän materiaalin, kuten alkalisen betonin, pinnan liassa ja pölyssä voi kasvaa mikrobeja. Homesienet kasvavat, kun ilman suhteellinen kosteus on pitkään yli 70–85 % RH ja lämpötila  $+5$ – $50^\circ\text{C}$ . Lahottajasieni ja bakteerit, kuten sädesieni kasvavat vasta, kun ilman suhteellinen kosteus on 95% RH (taulukko 1). Lyhytaikainen korkea ilman suhteellinen kosteus tai rakenteiden kastuminen, esimerkiksi vuodon johdosta, eivät aiheuta mikrobiriskiä, jos rakenteet pääsevät kuivumaan nopeasti. (Ympäristöministeriö 2016, 130–135.)



TAULUKKO 1. Mikrobiryhmien kasvun edellyttämät kosteusvaatimukset rakennusmateriaaleissa. (Ympäristöministeriö 2016, 131)

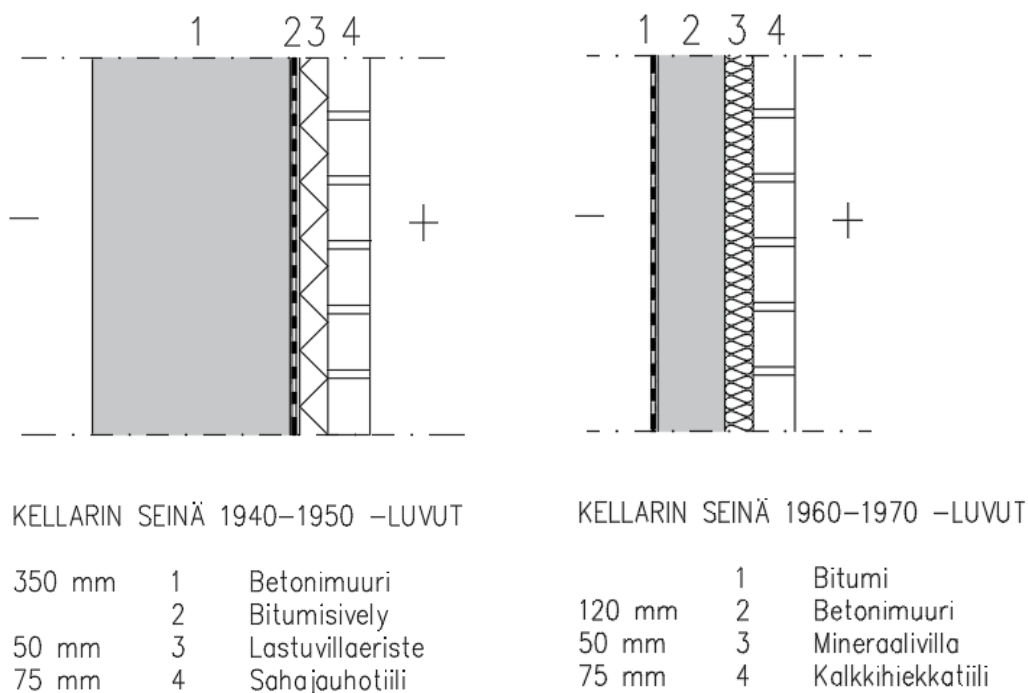
Mikrobiryhmä	Ilman suhteellinen vähimmäiskosteus
Homesienet	70...85 %
Bakteerit ja sädesienet	95 %
Sinistäjä- ja lahottajasienet	95 %

### Rakenteen suolat

Kiviaineisissa rakenteissa esiintyy yleensä kosteusvaurioiden yhteydessä suolojen kiteytymistä. Vauriot ilmenevät tyypillisesti seinän rapautumisena, maali- ja rappauspinnan vaurioina sekä pinnoille kerääntyvänä suolana. (Palviainen 2009, 24.) Betonista peräisin olevat suolat ja kalkki saattavat paikoitellen irrottaa kellarin seinän sisäpuolelle asennettua bitumisivelyä, jolloin on todennäköistä, että sisäpuolisiin lämmöneristeisiin ja sisäverhouksiin syntyy kosteus- ja homevaurioita. (Kärki & Öhman 2007, 17.)

### Riskirakenteita

Rakenteiden kosteusteknisessä suunnittelussa on tärkeää tunnistaa kosteusriskit ja niiden vaikutus sekä varmistaa rakenteen kuivuminen (Nieminen & Virta 2016, 35–36). Usein kellarin kosteusvaurioihin ei ole vain yhtä syytä, vaan rakenteiden ongelmien taustalla voi olla useita eri syitä. Joitakin ajalleen tyypillisiä rakennustapoja on myöhemmin todettu virheelliseksi ja kosteusvaurioille alttiiksi rakenteiksi. Esimerkiksi 1940–50-luvuille tyypillinen riskirakenne on vedeneristeen sijainti kellarinseinän sisäpuolella, jolloin se ei toimi perusmuuria kosteudelta suojaavana kapillaarikatkona. 1940–50-luvuilla oli tyypillistä, että myös lämmöneriste asennettiin rakenteen sisäpuolelle (kuva 13) (Mäkiö ym 1990, 119). Lämmöneristeenä saatettiin käyttää homeherkkiä puupohjaisia materiaaleja, kuten lastuvillaa, joka kastuessaan on aiheuttanut sisäilmaan ongelmia. 1960-luvulta lähtien ohjeistettiin ulkopuolisen vedeneristeen ja sisäpuolisen lämmöneristeyksen käyttöön (kuva 13) (Mäkiö ym. 1994, 106). Nykypäivänä vedeneriste tulee asentaa maanvastaisen ulkoseinärakenteen ulkopintaan tai ulkopuolisen maata vasten olevan lämmöneristeyksen sisäpuolelle (RIL 107–2012, 54).



KUVA 13. Aikakausille tyypillisiä kellarinseinärakenteita

Kellarin rakenteita rasittavia ulkopuolisia kosteuslähteitä ovat muun muassa maaperästä kapillaarisesti nouseva pohjavesi ja maahan imeytyvät sade- ja sulamisvedet. Väärään korkoon asennettu, kokonaan puuttuva tai huonosti toimiva salaojitus on tyypillinen kellarin rakenteiden kosteusvaurion aiheuttajia. Salaojat on saatettu rakentaa virheellisesti esimerkiksi siten, että pohjaveden pinta pääsee nousemaan kellarin seinän alaosaan asti. Joissakin tapauksissa sadevedet on ohjattu salaojaverkostoon, jolloin vesi on aiheuttanut salaojien tulvimisen. (Sisäilmäyhdistys ry. 2008.)

Kosteusriskejä aiheutuu usein myös silloin, kun ulkopuolelta tuleva kosteus pääsee rakenteisiin, esimerkiksi huonosti toimivan sadevesijärjestelmän, rakennusta kohti ohjattujen pintavesien tai huonosti toimivan kapillaarikatkon seurauksena. Ulkopuolelta tulevat kosteusmäärät voivat olla niin suuret, että väärin toteutetut vedeneristeet, halkeamat ja liitoskohdat päästävät veden lävitseen, jolloin kellarin seinän lämmöneriste kastuu tai vesi jopa vuotaa kellaritilaan seinän läpi. Rakenteen sisään päässyt vesi voi nousta myös kapillaarisesti ylöspäin ja aiheuttaa kosteusvaurioita myös ylemmän kerroksen seinärakenteeseen. (Tunnista ja tutki riskirakenne 2012, 66–76.)

Kellarin seinien halkeamien, läpivientien ja liitoskohtien tiivistäminen on tärkeää vesivuotojen estämisen lisäksi myös muiden syiden takia. Epätiiveysskohdissa tapahtuu konvektion aiheuttamaa ilmavirtausta, jolloin lämpimän ilman sisältämä kosteus saattaa tiivistyä kylmille pinnoille ja aiheuttaa kosteusvaurioita (RIL 250-2011 2011, 75). Lisäksi epätiiveysskohdista saattaa virrata huonetilaan epäpuhtauksia, kuten maaperän mikrobeja sekä radonia (RIL 107–2012, 53).

Kellarin seinärakenteiden läpi diffuusiolla kulkeutuva vesihöyry voi virheellisesti suunnitellussa rakenteessa kondensoitua rakenteen sisälle ja aiheuttaa kosteusvaurioriskin. Yleisperiaatteen mukaan sisäilman kosteuden tunkeutuminen seinärakenteisiin tulee estää suunnittelemalla rakenne, jossa lämmöneristeen ja lämpimän sisätilan väliin tulee riittävän vesihöyrytiivis kerros ja lisäksi rakenteen vesihöyrynvastus pienenee kylmälle puolelle mentäessä. (Siikanen 2014, 71.) Kellarin maanvastaisessa seinässä kyseinen ratkaisu voi kuitenkin aiheuttaa ongelmia, jos rakenteen sisään päässyt kosteus ei pääse kuivumaan sisäilmaan tiiviin rakennekerroksen läpi. Maanvastaisessa seinässä kosteuden kuivumisen takia sisäpintaan valitaan hyvin vesihöyryä läpäiseviä pinnoitus- ja lämmöneristysmateriaaleja.

### Dof- Lämpö tarkastelut

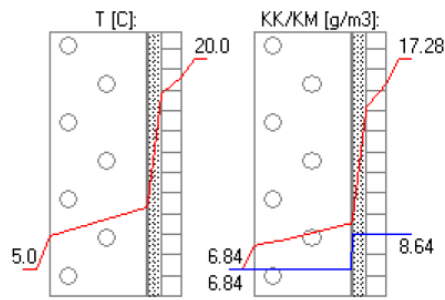
1940-1950-luvuille ja 1960-1970-luvuille tyypillisten kellarin seinien toimintaa tutkittiin Dof -lämpö ohjelmalla (kuva 14). Tarkasteluihin asetetut lämpötilat ja suhteelliset kosteudet on esitetty taulukossa 2. Kuvaajista nähdään, että 1940–1950-luvun rakenteessa maanvastaiselle seinän osuudelle ei synny kastepistettä asetetuissa tarkastelulämpötiloissa. Lämpötilan laskiessa on kuitenkin mahdollista, että rakenteeseen tiivistyy kosteutta. 1960–1970-luvun esimerkkirakenteen seinän yläosassa syntyy kastepiste, mutta alaosassa kosteuden tiivistymistä ei tapahdu. Maan yläpuolisessa osuudessa seinään tiivistyy kosteutta talvikuukausina molemmissa esimerkkirakenteissa. Kastepiste sijaitsee rakenteessa siinä kohdassa, jossa ilman kosteusmäärä saavuttaa kyllästyskosteuden.

TAULUKKO 2. Dof-tarkasteluihin asennetut olosuhteet.

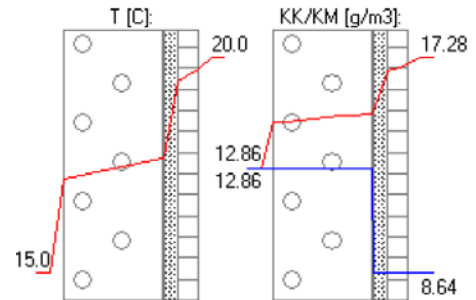
Tarkkailukohta	Ukolämpötila [°C]	Sisälämpötila [°C]	Ulkopuolinen RH %	Sisäpuolinen RH %
Maan yläpuolinen seinän osuus	-20	20	85	50
Maanvastainen seinä (yläosa)	5	20	100	50
Maanvastainen seinä (alaosa)	15	20	100	50

## 1940-1950-lukujen rakenne

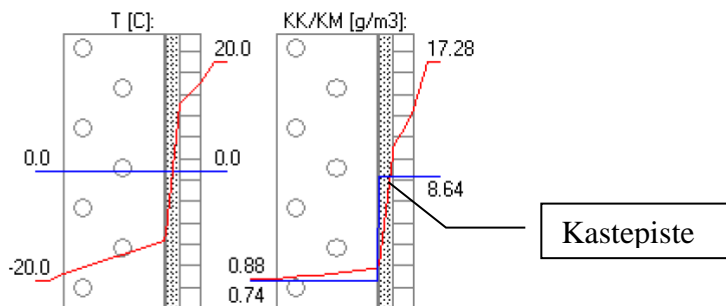
Maanvastainen seinä, yläosa



Maanvastainen seinä, alaosa

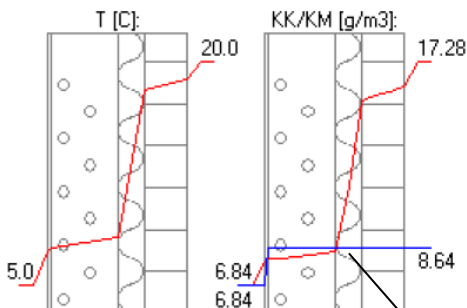


Maan yläpuolinen seinä

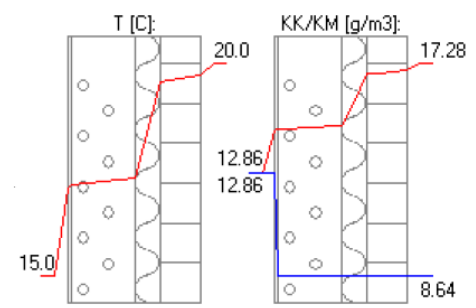


## 1960-1970-lukujen rakenne

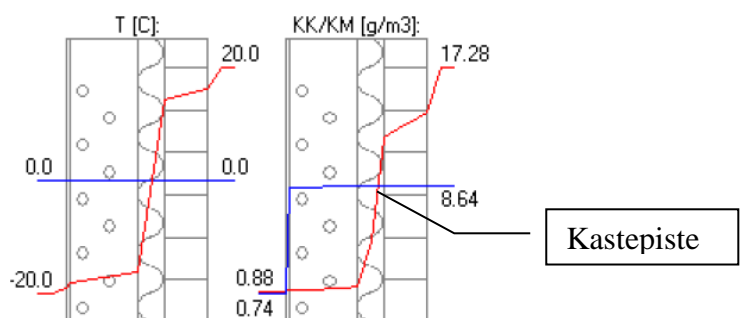
Maanvastainen seinä, yläosa



Maanvastainen seinä, alaosa



Maan yläpuolinen seinä



KUVA 14. Dof -Lämpö kuvaajat. Kastepisteet sijaitsevat punaisen ja sinisen kuvaajan risteyskohdassa. T=lämpötila, KK=Kyllästyskosteus (punainen), KM=Kosteusmäärä (sininen)

## 5 LISÄLÄMMÖNERISTÄMISEN SUUNNITTELU

### 5.1 Rakenne- ja kuntotutkimukset

Kellarin seinän lisälämmöneristämisen korjaussuunnittelun lähtötietoina käytetään rakennuksen korjaushistoriatietoja, vanhoja piirustuksia sekä kunto- ja haitta-ainetutkimuksia. Jos tiloissa on havaittu kosteus- tai sisäilmaongelmia, tulee tarvittaessa tehdä laajempia lisätutkimuksia ongelman aiheuttajasta ja sen laajuudesta ennen korjaustöiden aloittamista. Rakenteiden kokonaisuuden ja korjaustarpeen laajuuden selvittämiseksi tulee tutkia seinän lisäksi myös muut kellarin rakenteet sekä niiden korjaustarve.

Suunnittelijan tulee selvittää kellarin vanhat rakenteet ja niiden kosteustekninen toimivuus. Rakenneavauksien avulla saadaan selville seinän paksuus, materiaalit ja niiden rakennepaksuudet sekä mahdollisten veden- ja lämmöneristeiden olemassaolo. Lisäksi rakenneavauksien yhteydessä saadaan aistinvaraisesti tutkittua materiaalien kunto. Myös ulkopuolisten rakenteiden selvittäminen on tärkeää, jotta saadaan selville mahdolliset seinän ulkopuoliset lämmön- ja vedeneristeet sekä salaojien olemassaolo ja niiden toiminta.

Kellarin maanvastaisesta seinästä mitataan rakenteen suhteellinen kosteus (RH%) porareikämittausmenetelmällä. Mittaustuloksista saadaan jo suunnitteluvaiheessa selville rakenteen kosteustilanne sekä mahdollisen vedeneristeen toiminta. Tuloksien avulla voidaan määrittää purkutöiden jälkeinen kuivatustarve ja toimiva lämmöneristystapa.

### 5.2 Haitta-aineet ja turvallisuus

Ennen rakenteisiin tehtäviä muutos- ja korjaustöitä tulee tilaajan teettää kohteeseen haitta-ainetutkimus, jolla selvitetään mahdolliset rakenteissa olevat terveydelle vaaralliset ja haitalliset aineet ja rakennustarvikkeet. Tutkimuksesta saatuja tietoja tarvitaan korjaus- ja purkutöiden suunnittelussa, jonka avulla korjaustyöt ja jätteiden käsittely voidaan tehdä ohjeiden mukaan hallitusti ja turvallisesti.

Haitta-aineita, kuten PAH-yhdisteitä, asbestia ja lyijyä, voi löytyä muun muassa vanhoista maaleista, tasoitteista, rakennuslevyistä, liimoista ja eristeistä. Esimerkiksi kellarin

seinissä on ollut tyypillistä käyttää vedeneristeenä kreosootitervaa, joka sisältää asbestia ja polysyklisiä aromaattisia hiilivetyjä eli PAH-yhdisteitä. (RT 18-11245 2016, 2, 4–19.)

Erityisesti asbestityön turvallisuuteen ja jätteiden käsittelyyn liittyy paljon lainsäädäntöä ja viranomaismääräyksiä. Suomessa on käytetty asbestia rakentamisessa vuosien 1910-1992 välisenä aikana. Asbestia sisältävien tuotteiden valmistus ja maahantuonti kiellettiin vuonna 1993. Vuonna 1994 myös sen myyminen ja käyttöönotto kiellettiin. Asbesti on ohutta kuitua, joka hengitysteihin ja keuhkoihin päästessään altistaa asbestisairauksille, kuten keuhkosityövälle ja asbestipölykeuhkolle. Rakennusmateriaalit eivät aiheuta vaaraa niin kauan, kun materiaalit ovat ehjiä ja pölyämättömiä. Suurin vaara altistua asbestille syntyy, kun asbestia sisältävät rakennusmateriaalit pölyävät purku- ja korjausvaiheessa. (RT 18-11246, 1-3)

Haitta-aineiden purkaminen tehdään mahdollisimman pölyttömästi ennen muita purkutöitä. Käytettävä purkumenetelmä riippuu purettavan rakenteen sisältämästä haitta-aineesta, sen sijainnista, muodosta ja koosta. Purkumenetelmiä ovat muun muassa osastointi-, purkupussi- ja kohdepoistomenetelmät sekä ulkotiloissa tehtävä purku. Sisätiloissa pääasiallinen purkumenetelmä on osastointimenetelmä, jossa tila eristetään ilmastollisesti muista tiloista ja alipaineistetaan koneellisesti. Alipaineistuksella purkuosastoon ohjataan hallitusti ilmavirtaa puhtaista tiloista ja likainen ilma ohjataan ilmanpuhdistimen kautta yleensä ulkoilmaan. Pölyn leviämistä rajoitetaan lisäksi kohdepoistomureilla. Haitta-aineita sisältävät materiaalit pakataan huolellisesti varoitusteksteillä merkittyihin ilmatiiviisiin säkkeihin tai tynnyreihin. Jätteet kuljetetaan peitetyillä jätelavoilla tai sulje- tuilla jätekonteilla haitta-aineita vastaanottavalle kaatopaikalle. (Ratu 82-0347, 1–11.)

Ulkotiloissa tehtävissä haitta-aineiden poistoissa käytetään mahdollisimman vähän pölyävää menetelmää. Tarvittaessa pölyämistä rajoitetaan kastelemalla pintaa vedellä tai pölynsidonta-aineilla. (Ratu 82-0347, 3–4.) Korjaustöiden aikainen työturvallisuus, ympäristön suojaus ja puhtaudenhallinta tulee huomioida jo suunnitteluvaiheessa myös siinä tapauksessa, että rakenteissa on kosteus- ja homevaurioita (RT 18-11238 2016, 2).

### 5.3 Korjaustaso

Kellarin korjauksia on eri tasoisia, riippuen tilan käyttötarkoituksesta, rakenteen vaurioista ja korjausten laajuudesta. Maanvastaista kellarinseinää korjattaessa tulee huomioida, että uuden rakenteen kosteus- ja lämpötekniisiä ominaisuuksia ei välttämättä voida saada nykyisiä rakentamismääräyksiä vastaavaan tasoon. Tällainen tilanne on esimerkiksi silloin, kun maanvastainen seinä sijaitsee rakennuksen keskellä. (Opetushallitus 2011, 56–59.) Muun muassa käyttötarkoituksen muuttaminen, esimerkiksi opetus-, toimisto- tai asuinkäyttöön vaatii korjaustason, joka täyttää rakentamismääräysten vaatimukset (782/2017).

Jos tiloissa ei juurikaan oleskella, voidaan käyttää kevyempiä korjaustapoja. Esimerkiksi varastotiloissa olosuhteiden vaatimustaso on kevyempi kuin opetustilojen olosuhteilta vaadittu taso. Käyttötarkoitus on merkittävä suunnitelmiin eikä tiloja saa käyttää jatkossa olosuhdevaatimuksiltaan vaativammassa tarkoituksessa. Jos tilassa on mikrobiongelmia, joita ei saada poistettua, voi olla järkevää jättää tila kokonaan pois käytöstä. Tällainen tilanne on esimerkiksi silloin, kun rakenteisiin kohdistuvia kosteusrasituksia ei saada pienennettyä. Tässä tapauksessa tilan tiiveys ja ilmanvaihto tulee varmistaa suunnitelmien mukaisesti, jotta epäpuhtaudet eivät pääse kulkeutumaan muihin käytössä oleviin tiloihin. (Opetushallitus 2011, 56–59.)

### 5.4 Kosteustekninen suunnittelu

Rakenteiden kosteusteknisessä mitoituksessa huomioidaan kaksi lähtökohtaa. Rakenteisiin ei saa muodostua niin suurta kosteuspitoisuutta, että siitä aiheutuu haittaa rakenteen toiminnalle tai rakennuksen käytölle. Lisäksi rakenne suunnitellaan sellaiseksi, että se pääsee kuivumaan riittävän nopeasti satunnaisen kastumisen jälkeen. (RIL 250-2011 2011, 57.) Oleellista näiden suunnittelun lähtökohtien toteuttamiselle on selvittää kohdekohtaisesti eri kosteuslähteet ja kuinka hyvin kellarin rakenteet on suojattu kosteudelta.

Lisälämmöneristämistä voidaan pitää yleensä myös sisäilmakorjauksena, sillä korjaukseen sisältyy riskirakenteiden, kuten vanhojen sisäpuolisten veden- ja lämmöneristysma-

terialien poistaminen. Lisäksi korjauksen yhteydessä rakenteisiin kohdistuvia kosteusrasituksia pyritään poistamaan mahdollisimman tehokkaasti, jolloin kosteus- ja mikrobivaurioiden syntyminen saadaan mahdollisimman hyvin estettyä.

Mahdollisten vanhojen vesi- ja lämmöneristeiden toimivuus uudessa rakenteessa tulee tutkia ja tarvittaessa ne tulee purkaa. Kellarin seinän sisäpintaan valitaan hyvin vesihöyryä läpäisevät pintamateriaalit, jolloin rakenteen kosteus pääsee kuivumaan sisäilmaan. Kuivumista tehostetaan oikein säädetyllä ilmanvaihdolla ja lämmityksellä.

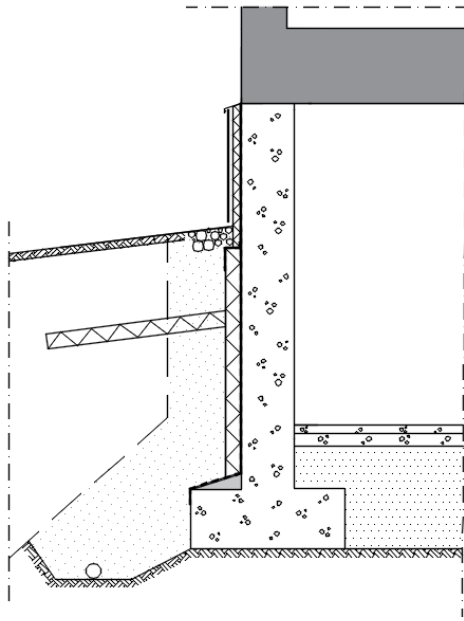
Suunnitelmiin sisällytetään myös korjaustyöt, joilla vähennetään seinän kosteusrasituksia, kuten seinän läpi kulkevaa kosteutta, kapillaarisesti nousevaa kosteutta sekä liitos ja läpivienneistä aiheutuvia haittoja (RIL 250-2011 2011, 57). Korjausrakentamisessa tulee lisäksi ottaa huomioon vanhan rakenteen kuivumisaika sekä mahdollisesti erilaiset kuivaustoimenpiteet. (RIL 250-2011 2011, 62.)

## **5.5 Lämmöneristyksen sijainti**

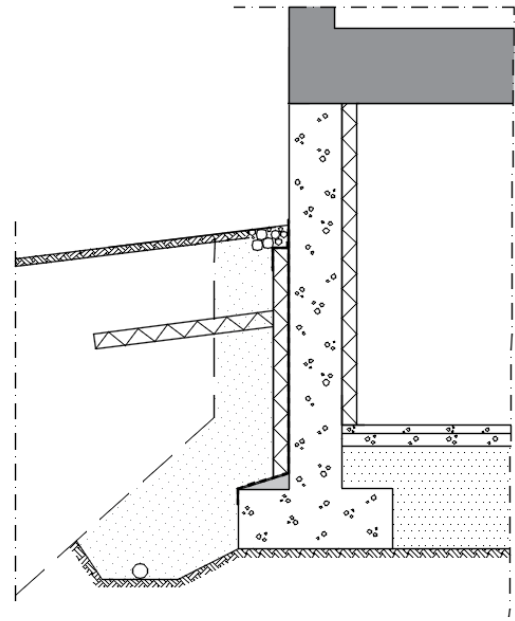
### **5.5.1 Ulkopuolinen lämmöneristys**

Ulkopuolinen lämmöneristys on suositeltava eristystapa kellarin seinän energiatehokkuutta sekä kuivumista parannettaessa (kuvat 15 & 16) (RIL107–2012, 54). Ulkopuolinen lämpöä eristävä kerros pitää kellarin seinän lämpimällä puolella, jolloin seinän kuivuminen sisäilmaan tehostuu. Jos kellarin ulkoseinä ei sijaitse kokonaan maan alla, tulee seinän yläosaan syntyvän kylmän osuuden estäminen ottaa huomioon korjaussuunnittelussa. Maan yläpuolella olevan osuuden ulkopuolinen lämmöneristys muuttaa rakennuksen ulkonäköä, minkä takia sen toteuttaminen voi olla mahdotonta toteuttaa esimerkiksi suoje-lukohteissa. Myöhemmin esitetyissä korjausratkaisuissa on vaihtoehto vastaavaan tapaukseen.





KUVA 15. Ulkopuolelta lämmöneristetty kellarin seinärakenne.



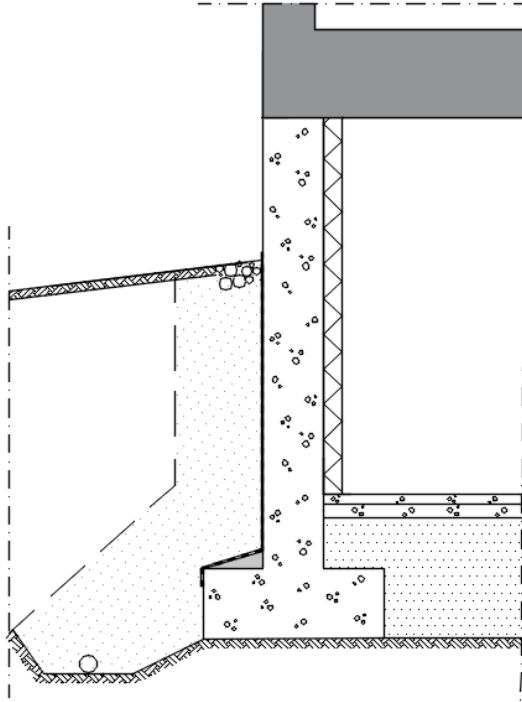
KUVA 16. Ulko- ja sisäpuolelta lämmöneristetty rakenne.

### 5.5.2 Sisäpuolinen lämmöneristys

Ulkopuolinen lämmöneristäminen voi olla joissakin kohteissa mahdotonta toteuttaa esimerkiksi arkkitehtonisista syistä, seinän sijainnista johtuen tai ulkopuolisen kaivannon ollessa mahdotonta toteuttaa. Silloin tulee kohdekohtaisesti tarkastella mahdollisuutta käyttää sisäpuolista eristettä (kuva 17). Käytettäessä sisäpuolista lisälämmöneristettä tulee eteen useita haasteita. Suurimmat haasteet syntyvät, kun ulkopuoliset seinän kosteudenhallintaan liittyvät korjaustyöt jäävät toteuttamatta ja kellarin seinään kohdistuu suuria kosteusrasituksia.

Kellarin sisäpuolisessa lämmöneristyksessä on riskinä, että eristeen ulkopuolisten, kylmälle puolelle jäävien märkien seinärakenteiden kuivuminen on liian hidasta. Näin voi olla jopa silloin, kun seinän sisäpinnassa ei ole höyrynsulkua. (Sisäilmayhdistys ry. 2008.) Diffuusiolla kulkeutunut sisäilman kosteus voi tiivistyä eristeen takana olevalle kylmälle pinnalle. Hyvin vesihöyryä läpäisevä pinta mahdollistaa kosteuden kulkeutumisen sisäilmasta ulommissa rakenteita kohti, jolloin on riskinä, että kosteus kerääntyy ra-

kenteeseen. Toisaalta rakenteen kuivumisen edellytyksenä sisäpinnasta tulee tehdä vesihöyryä hyvin läpäisevä. Kellarin seinän kosteusrasitusten vähentäminen on usein hankalaa eikä rakenteesta ole yleensä ole edes mahdollista tehdä sellaista, ettei siihen pääsisi mistään kosteutta.



KUVA 17. Sisäpuolelta lämmöneristetty seinärakenne.

Rakenteeseen ei ole suositeltavaa asentaa kahta liian tiivistä pintaa, jolloin niiden välinen rakenne ei pääse kuivumaan. Vaikka ulkopinnassa olisi vedeneriste, voi rakenteeseen tulla kosteutta esimerkiksi vuotavista halkeamista ja liitoskohdista tai perustusten kautta nousevasta kapillaarikosteudesta. Rakenne on liian tiivis esimerkiksi silloin, kun ulkopuolelta eristämättömän kellarin seinän sisäpintaan asennetaan heikosti vesihöyryä läpäisevä kerros, kuten EPS tai XPS – eriste.

Heiskanen (2015) on tutkinut maanvastaisten seinien sisäpuolista lisälämmöneristämistä homemallin avulla. Tuloksien mukaan enintään 50 mm paksu EPS-eriste voi toimia sisäpuolisena eristeenä vain siinä tapauksessa, että kellarin seinä on eristetty lisäksi ulkopuolelta maan ala- sekä yläpuolisilta osuuksilta (Heiskanen 2015, 68–71). Näin ulkoseinä pysyy lämpimänä eikä sisäpuolisen eristeen taakse muodostu riittävän hyviä kosteusolosuhteita homeen muodostumiselle. Edellytyksenä rakenteen toimivuudelle on, että vedeneristeet ja maaperän kuivatus sekä muut rakenteen kuivumista edellyttävät toimenpiteet ovat toimivat ja ohjeiden mukaiset.

## 5.6 Energiatohokkuuden parantaminen

Suunnitellessa energiaterohokkuuden parantamista luvanvaraisissa korjaus- ja muutostöissä tulee vanhan rakenteen U-arvon puolittaa. Seinän U-arvon ei tarvitse kuitenkaan olla pienempi kuin 0,17 W/(m<sup>2</sup>K). Käyttötarkoituksen muuttuessa rakenteen uuden U-arvon tulee olla myös puolet vanhasta arvosta, mutta kuitenkin vähintään 0,60 W/(m<sup>2</sup>K). Jos rakennusosan uusi U-arvo ei täytä vaatimuksia, voidaan sitä kompensoida tekemällä muut energiaterohokkuutta parantavat toimenpiteen vaatimuksia ylittävään tasoon. (4/13.)

Vanhojen kellarinseinien U-arvoja laskettiin Dof -lämpö ohjelmalla (taulukko 3.) Laskelmien rakennetyypeinä käytettiin 1940–1950-luvuille ja 1960–1970-luvuille tyypillisiä rakennetyyppejä (kuva 13). Maanvastaisen seinän U-arvojen laskennassa on huomioitu maan lämmönvastukset. Lämmönvastuksena käytettiin salaojittamatonta moreenia vastaavaa lämmönvastusarvoa. Perusmuurin viereisessä maassa reuna-alueella, alle metrin syvyydessä, lämmönvastuksena käytettiin 0,25 m<sup>2</sup>K/W. Sisäalueella, yli metrin syvyydessä, lämmönvastuksen arvona käytettiin 1,00 m<sup>2</sup>K/W. (C4 Lämmöneristys 2003, 18–19). Lopullinen U-arvo maanvastaisen seinän osuudelta laskettiin näiden kahden U-arvon keskiarvosta.

TAULUKKO 3. Dof -lämpö ohjelmalla lasketut U-arvot

Maanvastaisen seinän osuus			Maan yläpuolisen seinän osuus		
Rakennetyyppi	Laskettu U-arvo [W/m <sup>2</sup> K]	U-arvotavoite [W/m <sup>2</sup> K]	Rakennetyyppi	Laskettu U-arvo [W/m <sup>2</sup> K]	U-arvotavoite [W/m <sup>2</sup> K]
1940-1950	0,6	0,3	1940-1950	0,87	0,43
1960-1970	0,51	0,26	1960-1970	0,7	0,35

## 5.7 Lämmöneristystuotteet

Tässä työssä on esitelty korjausvaihtoehtoja ulko- ja sisäpuoliseen eristämiseen sekä niiden yhdistelmään. Markkinoilla on useita lämmöneristystuotteita, joista on valittu muutamia tässä työssä esitettyihin korjaustapoihin soveltuvia tuotevaihtoehtoja. Ulkopuolisina lämmöneristemateriaaleina on käytetty EPS- ja XPS-eristelevyjä. Sisäpuolisen eristämisen korjaustavoiksi valittiin kolme hyvin vesihöyryä läpäisevää lämmöneristystuotetta: lämmöneristyslaasti, kalsiumsilikaattilevy sekä laavamineraalilevy. Korjaustapaeh-

dotuksissa esitettyjen eristevaihtoehtojen vaihtaminen vaikuttaa seinän lämpö- ja kosteustekniseen toimintaan ja niiden soveltuvuus rakenteessa tulee tutkia ennen käyttöä. Korjaustyössä käytettävien rakennustarvikkeiden ja -aineiden tulee kestää kellarin seinän kosteus ilman, että rakenteiden tai tarvikkeiden toimintakelpoisuus heikkenee haitallisessa määrin (RIL 107–2102, 14).

## 5.8 Dof -Lämpö tarkastelut

Työssä esitettyjen korjausvaihtoehtojen lämpö- ja kosteusteknisissä tarkasteluissa käytettiin välineenä Dof -Lämpö laskentaohjelmaa. Seinärakenteen toimivuutta tarkasteltiin kolmessa eri kohdassa: ulkoilmaan yhteydessä olevassa seinän yläosassa sekä maanvastaisen seinän osuuden ylä- ja alaosassa. Ilman suhteelliseksi kosteudeksi RH % ja lämpötiloiksi asennettiin taulukossa esitetyt arvot (taulukko 4). Maanvastaisen seinän alaosassa maan lämpötilaa nostaa sisäilmasta maaperään siirtynyt lämpöhäviö. Tästä johtuen seinän alaosan Dof-tarkkailuissa ulkolämpötilaksi on asennettu muita tarkkailukohtia korkeampi lämpötila.

TAULUKKO 4. Dof-tarkasteluissa käytetyt olosuhteet

Tarkkailukohta	Ulkolämpötila [°C]	Sisälämpötila [°C]	Ulkopuolinen RH %	Sisäpuolinen RH %
Maan yläpuolinen seinän osuus	-20	20	85	50
Maanvastainen seinä (yläosa)	5	20	100	50
Maanvastainen seinä (alaosa)	15	20	100	50

## **6 KORJAUSTAVAT**

### **6.1 Sisäpuolinen kapillaarikatko ja rakenteiden tiivistäminen**

Perustuksien alapuolisen kapillaariveden nousu katkaistaan asentamalla sementtipohjainen laastituote seinän alaosaan porattuihin reikiin. Kapillaarikatkona toimivia tuotteita ovat esimerkiksi betonille tarkoitettu Xypex Concentrate. Tuote sopii myös seinässä olevien halkeamien tiivistämiseen. Tiili- tai harkkorakenteiden kapillaarikatkoksi sopiva tuote on esimerkiksi jäädytettävä silikonaattiliuos Freeztecq, joka asennetaan alimmaiseen muurausriviin porattuihin reikiin. (Kosteuskatko.)

Seinän ja laatan välinen ilmarako tiivistetään, jolloin estetään maaperästä tulevien epäpuhtauksien pääsy sisäilmaan. Tiivistystuotteeksi sopii tarkoitukseen sopiva vedeneristejärjestelmä, esimerkiksi Ardex 8+9 vedeneriste sekä Ardex SK 12- vahvistusnauha (Ardex 2016). Tiivistyksessä voidaan käyttää myös, esimerkiksi tarkoitukseen soveltuvaa liitosnauhaa, kuten Tiivistalon Solido SL-liitosnauhaa (Tiivistalo 2016). Tuotteita valitessa tulee varmistaa valmistajalta, että ne sopivat käytettäväksi kohteen rakennusmateriaalien ja kyseisten rakenteiden kohdalla.

### **6.2 Ulkopuolinen lämmöneristys**

#### **6.2.1 Lämmöneriste**

Maanvastaisen seinän ulkopuoliseen eristämiseen on erilaisia tuotteita useilta eri valmistajilta. Seinän ulkopuoliseen eristämiseen voidaan käyttää esimerkiksi EPS- tai XPS-eristeitä. Markkinoilla on myös erityisesti kellarin seinään tarkoitettuja lämmöneristeitä, jotka hyvin tiivistettynä toimivat samalla myös patolevynä. Eristeiden sokkelia vasten olevassa pinnassa voi olla myös uritus, joita pitkin sisäilmasta tullut kosteus valuu salaojia kohti (Finnfoam CW-300).

Korjaustavan maanvastaisen seinän ulkopuoliseen eristämiseen on valittu 100 mm EPS -routaeriste, esimerkiksi ThermiSol Super 200 routaeriste (kuva 18). EPS on umpisoluista

paisutettua polystyreenimuovia, jonka lämmöneristävyys perustuu liikkumattomaan ilmaan. Eriste kestää myös kosteissa olosuhteissa eikä se menetä lämmöneristyskykyään vanhetessaan tai lämpötilan laskiessa. (EPS-tuotteiden ominaisuudet 2016.) Maanvastaisen seinän U-arvo on esitetty taulukossa 5. Materiaalin lämmönjohtavuusarvona  $\lambda_D$  on käytetty 0,033 W/(mK). EPS-eristeen tilalla voidaan käyttää myös esimerkiksi 120 mm XPS-eristettä, jonka lämmönjohtavuusarvot vastaavat korjausehdotuksessa käytetyn EPS-eristeen arvoja. Ulkopuolisen eristepaksuuden kasvattaminen lisää lämmöneristävyttä ja pitää sisäpuolelle jäävän seinän lämpimämpänä ja samalla myös kuivempana. Ulkopuolisen lämmöneristykseen korjaustavan detaljipiirustus on esitetty liitteessä 1.

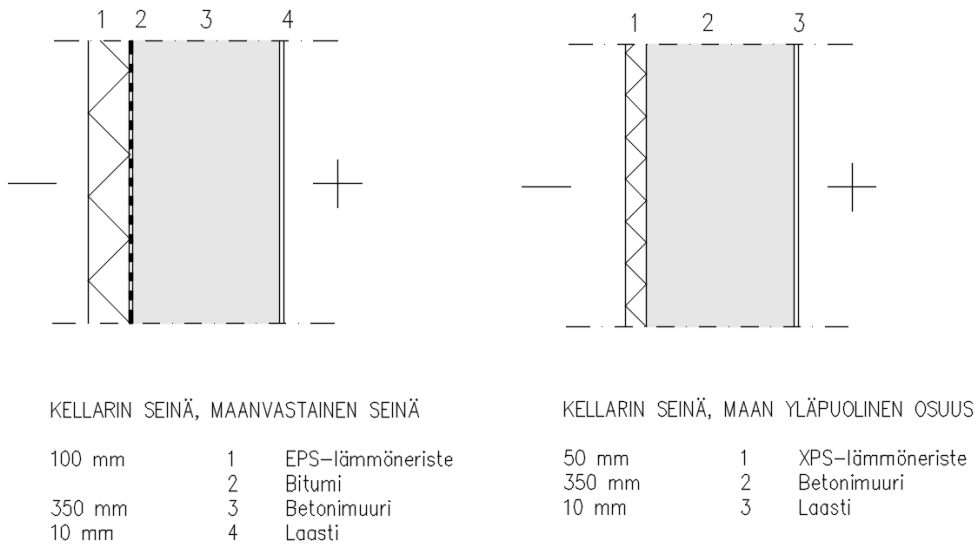
Jos kellarin seinä ei sijaitse kokonaan maanpinnan alapuolella, myös maan päällä olevaan seinän osuuteen asennetaan lämmöneriste. Näin estetään kylmän seinän osuuden muodostuminen seinän yläosaan. Eristeenä käytetään esimerkiksi suulakepuristettua polystyreeniä eli XPS-lämmöneristettä. XPS-levyt ovat lujia, hyvin lämpöä eristäviä ja ne päästävät hyvin heikosti vesihöyryä lävitseen (Finnfoam). Tässä korjausratkaisussa maan yläpuolisen osuuden eristämiseen käytetään 50 mm paksuista XPS-eristettä (kuva 18). Maan yläpuolisen rakenteen U-arvo on esitetty taulukossa 5. Materiaalin lämmönjohtavuusarvona on käytetty  $\lambda_D = 0,034$  W/(mK).

Eristettäessä myös maan yläpuolinen seinän osuus, sokkelin näkyvä osa peitetään esimerkiksi vettähylykivillä laastikerroksella tai julkisivulevyillä. Julkisivulevyjen taakse tulee asentaa ilmarako ja koolaus syöpymättömillä listoilla. (RVP-S-RF-67 2017.) Verhoilumateriaalin valinta ja käyttö tulee harkita kohdekohtaisesti esimerkiksi kulttuurihistoriallisesti arvokkaissa kohteissa sekä silloin, jos pinnalta vaaditaan erityistä mekaanista kestävyyttä.

TAULUKKO 5. Ulkopuolelta lämmöneristetyn kellarin seinän U-arvo. Rakenteesta on poistettu vanhat sisäpuoliset eristeet.

Maanvastainen seinä, EPS		Maan yläpuolinen seinä, XPS	
Eristepaksuus	U-arvo [W/m <sup>2</sup> K]	Eristepaksuus	U-arvo [W/m <sup>2</sup> K]
100 mm	0,23	50 mm	0,52

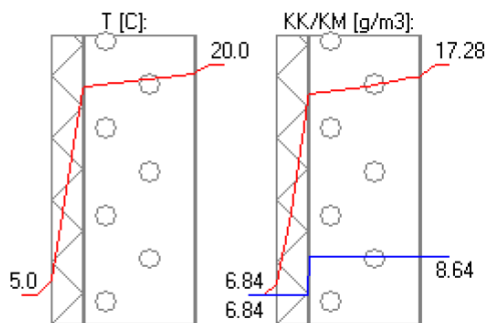
Rakenteiden lämpö- ja kosteusteknistä toimivuutta tutkittiin Dof -Lämpö ohjelmalla. Molemmissa tarkasteluissa seinämuuri pysyy lämpimänä eikä rakenteeseen muodostu kaste-pistettä (kuva 19).



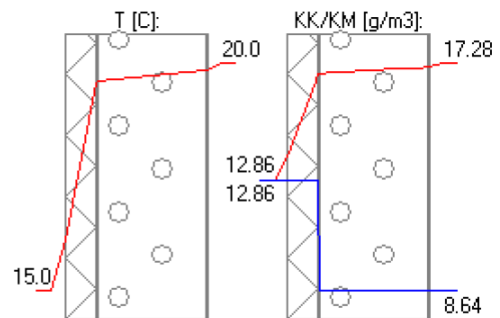
KUVA 18. Tarkasteltavat rakenteet.

### 100 mm EPS

Maanvastaisen seinän yläosa

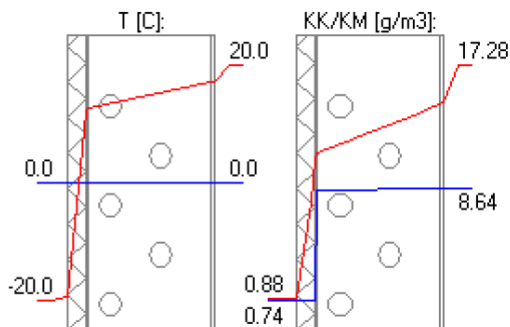


Maanvastaisen seinän alaosa



### 50 mm XPS

Maan yläpuolinen seinä



KUVA 19. Dof- lämpö ohjelmalla tehdyt lämpö- ja kosteuskuvaajat maan alapuolisesta rakenteesta sekä maan yläpuolelta. KK= Kyllästyskosteus, KM= Kosteusmäärä, T= Lämpötila

### 6.2.2 Vedeneriste

Kellarin seinään asennettavalla vedeneristeellä tai vedenpaine-eristeellä estetään veden haitallinen tunkeutuminen seinärakenteeseen. Vedeneriste asennetaan maanvastaisen seinän ulkopintaan lämmöneristeen sisäpuolelle sekä laastilla viistetyn anturan ympärille. (RIL 107-2012, 54.) Uuden vedeneristeen hyvä tartunta alustaan saadaan poistamalla tartuntaa heikentävät pintakerrokset, varmistamalla alustan riittävä kuivuus ja tekemällä vedeneristeen vaatimat tartunta-ainekäsittelyt (RIL107–2012, 54).

Jatkuvan vedeneristykseen voi tehdä esimerkiksi luokan TL2 kumibitumisilla aluskermeillä, vedeneristys massaeristeillä tai eristyslaasteilla. Massa- ja laastieristeet sopivat käytettäväksi erityisesti ahtaissa asennustiloissa. (RT 83-10955 2009, 4–7.) Jos pohjaveden pinta nousee rakenteiden yläpuolelle, tarvitaan rakenteeseen vedenpaineen eristys, joka voi olla bitumikermillä toteutettuna 2-, 3- tai 4- kerroksinen bitumikermi (RIL 107-2012, 61–63). Perusmuurilevyt eli patolevyt ovat epäjatkuvia vedeneristeitä eivätkä niiden saumat ole vesitiiviitä vedenpaineen vaikutuksen alaisena (RT 83-10955 2009, 2). Epäjatkuvat vedeneristeet sopivat käytettäväksi vain silloin, kun rakennuksen vierustäyttö ja rakennuspohjan kuivatus toimivat hyvin ja vedenpinnan tiedetään olevan jatkuvasti perustamistason alapuolella (RIL 107-2012, 54).

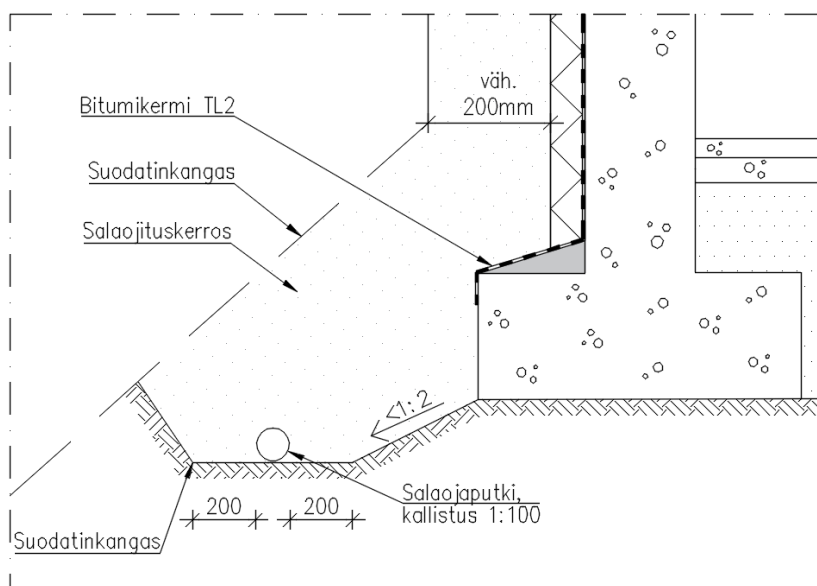
### 6.2.3 Maaperän kuivatus

Ulkopuolisen veden- ja lämmöneristämisen yhteydessä ulkopuolella tehdään korjaustoimenpiteitä maaperän kuivana pitämiseksi. Rakennuksen ympärille lisätään salaojitus, jolla saadaan katkaistua veden kapillaarivirtaus ja pidettyä pohjavedenpinta rakenteiden alapuolella. Tarvittaessa salaojitus lisätään myös alapohjalaatan alle. Salaojitus koostuu salaojaputkijärjestelmästä sekä salaojituskerroksista, jotka tehdään hyvin vettä läpäisevästä materiaalista, kuten sepelistä tai kevytsorasta. (RIL107–2012, 50–51.)

Salaojaputki asennetaan siten, että putken yläpinta on joka kohdassa anturan alapintaa alempana (kuva 20). Korkeuseron maanvaraisen lattian alapinnan ja putken yläpinnan välillä suositellaan olevan vähintään 0,4 metriä. Salaojat asennetaan routarajan alapuolelle tai eristetään siten, että ne eivät pääse jäätymään. Salaojat asennetaan perusmuurin ulkopuolella vähintään 1:200 kaltevuuteen. Normaalisti kaltevuus on 1:100. Sadevesijär-



jestelmään kuuluu putkien lisäksi vähintään yksi lietepesällinen kokoojakaivo sekä verkoston jokaiseen kulmapisteeseen asennettavat tarkastuskaivot- tai putket. Salaojien ympärille ja perusmuurin viereen asennetaan salaojituskerros. Kerroksen tulee ulottua vähintään 200 mm putken sivuille sekä yläpuolelle. Putken alapuolelle voidaan asentaa salaojituskerros tai se voidaan asentaa suodatinkankaalla peitetyn, huolellisesti tasatun pohjamaan päälle. Perusmuurin viereisen salaojituskerroksen tulee olla myös vähintään 200 mm paksuinen. Salaojakerroksen alle asennettavalla suodatinkankaalla erotetaan hienorakeinen maa-aines ja karkeasta salaojakerroksesta. (RIL107–2012, 50–51.)



KUVA 20. Salaojituksen detaljipiirros

Salaojajärjestelmään ei saa ohjata pintavesiä tai katolta tulevia vesiä, vaan sade- ja sulamisvedet eli hulevedet ohjataan pois päin rakennuksesta maanpintaa muokkaamalla sekä toimivan sadevesijärjestelmän avulla. Salaojavedet ja hulevedet ohjataan yleensä kunnalliseen sadevesiviemäriverkostoon, imeytetään tontille tai ohjataan avo-ojaan. Hulevesien valuminen rakenteita kohti estetään muokkaamalla maanpintaa rakennuksesta pois päin viettäväksi. Suosituksena on muokata maanpintaa kolmen metrin etäisyydellä perusmuurista vähintään 1:20 kaltevuuteen. (RIL107–2012, 50–51.) Maanpinnan tulee olla vettä pidättävää lukuun ottamatta aivan rakennuksen vierustaa, johon asennetaan vettä läpäisevä salaojituskerros (liite 1). Jos rakennus on kiinni päällystetyssä pihassa tai kadussa, viereiset alusrakenteet ja kallistukset tehdään päällystetyypin vaatimusten mukaisesti.

## 6.2.4 Sisäpuoliset toimenpiteet

Kellarin seinän vanhat veden- ja lämmöneristeet puretaan. Vanhoissa sisäpuolisissa rakenteissa voi olla kosteusvaurion aiheuttamia mikrobiongelmia. Lisäksi vanhan tiiviin pinnan jättäminen seinärakenteen sisäpuolelle vaikeuttaa seinän kuivumista. Mikrobivaurioituneet materiaalit pyritään poistamaan. Jos vaurio ylettyy myös kantaviin rakennesiiniin tai muihin osiin, joiden poistaminen ei ole mahdollista, puhdistetaan pintakerrosta mekaanisesti. Homevaurioituneen betonimuurin pinnasta poistetaan hiomalla, piikkaamalla tai jyrsimällä noin 3–5 mm paksuinen kerros, kunnes jäljelle jää puhdas materiaali. (RT 18-11238 2016, 4–5.)

Kellarin sisäpuolella tehdään seinän alaosaan kapillaarikatko, jolla estetään perustuksen kautta nousevan kapillaariveden nousu seinärakenteeseen. Toimenpidettä ei tarvitse, jos ollaan varmoja perustuksen alapuolisen kapillaarikatkon toimivuudesta. Lisäksi perusmuurissa olevat halkeamat sekä laatan ja seinän välinen rako tiivistetään ilmapirran ja epäpuhtauksien kulkeutumisen estämiseksi. Kapillaarikatkon ja tiivistyksen asentamisesta kerrotaan lisää kappaleessa 6.1 Sisäpuolinen kapillaarikatko ja rakenteiden tiivistäminen. Seinät pinnoitetaan sisäpuolelta vedenkestävällä, vesihöyryä läpäisevällä M1-luokan laastilla ja pinnoitteella.

## 6.3 Sisäpuolinen lämmöneristys

### 6.3.1 Kalsiumsilikaattieristys

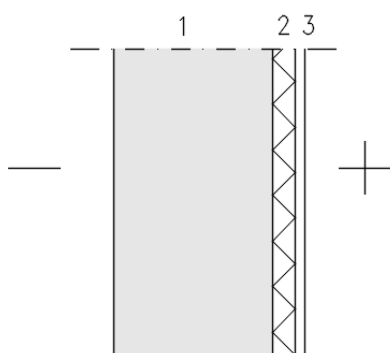
#### Lämmöneriste

Kalsiumsilikaattilevy on mineraalinen ja epäorgaaninen eristemateriaali, josta löytyy levypaksuuksia 50–200 mm välillä (Sulin Oy). Rakenteen lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa tutkittiin Dof -lämpö ohjelmalla. Tarkastelut tehtiin 50 mm, 100 mm ja 200 mm paksuisilla kalsiumsilikaattilevyillä sekä sisäpuolisella 20 mm paksuisella laastilla (kuva 21). Rakenteesta on poistettu vanhat sisäpuoliset veden- ja lämmöneristeet. Eristemateriaalin lämmönjohtavuusarvona  $\lambda_D$  käytettiin 0,042 W/(mK) (Sulin Oy). Rakenteen U-arvot on esitetty taulukossa 6 maanvastaisen seinän osuudelta sekä maan yläpuoliselta osuudelta. Sisäpuolelta kalsiumsilikaattilevyllä lämmöneristetyn kellarin seinän korjaustoimenpiteet on esitetty liitteenä olevassa detaljipiirustuksessa (liite 2).

TAULUKKO 6. Kalsiumsilikaattilevyn U-arvot eri levypaksuuksilla.

Maanvastainen seinä		Maan yläpuolinen seinä	
Eristepaksuus	U-arvo [W/m <sup>2</sup> K]	Eristepaksuus	U-arvo [W/m <sup>2</sup> K]
50 mm	0,49	50 mm	0,66
100 mm	0,32	100 mm	0,38
200 mm	0,18	200 mm	0,21

U-arvon puolittuminen tässä esitetyssä rakenteessa toteutuu maanvastaisen seinän kohdalla ainoastaan 200 mm levypaksuudella. 100 mm paksuisella levyllä päästään hyvin lähelle alkuperäisen rakenteen U-arvon puolittumista. Maan yläpuolisella osuudella 100 mm ja 200 mm paksuilla kalsiumsilikaattilevyillä saadaan yli puolet pienempi U-arvo kuin vanhassa rakenteessa.



KELLARIN SEINÄ

350 mm	1	Betonimuuri
50/100/200 mm	2	Laavamineraalilevy
20 mm	3	Laasti

KUVA 21. Tarkasteltava rakennetyyppi.

### Kosteustekninen toimivuus

Lämpö- ja kosteustoiminnan tarkastelussa toteutettiin eri levypaksuuksilla (kuvat 22 & 23). Tarkastellun kalsiumsilikaattilevyn diffuusiovastuskerroin  $\mu$  on 2. Kuvaajista on nähtävissä, että tarkastelulämpötiloissa maanvastaisen seinän yläosassa syntyy kastepiste 100 mm ja 200 mm eristepaksuuksilla. Ohuemmalla 50 mm eristepaksuudella kastepistettä ei synny 5 °C lämpötilassa, mutta Dof -tarkastelujen mukaan alhaisemmassa lämpötilassa myös tässä rakenteessa kosteuden tiivistyminen on mahdollista.

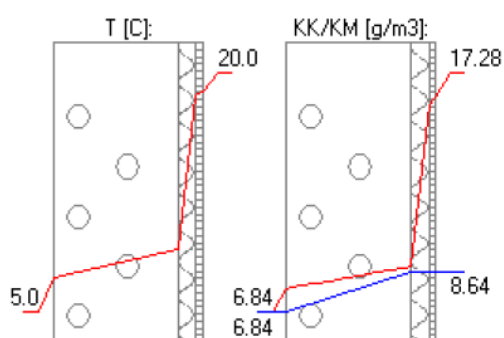
Asetetuissa olosuhteissa maanvastaisen seinän alaosassa ei synny kastepistettä, johtuen maaperän korkeammasta lämpötilasta. Maanvastaisen seinän yläosaan sekä maan yläpuo-

liseen seinän osaan syntyy talvikuukausina riski kosteuden tiivistymiselle. Tuloksien mukaan eristepaksuudella on vaikutusta kastepisteen muodostumiseen. Suuri sisäpuolinen eristepaksuus pitää muurin kylmempänä kuin ohut eriste. Tämän johdosta kosteus tiivistyy kylmälle pinnalle pienemmälläkin kosteusmäärällä.

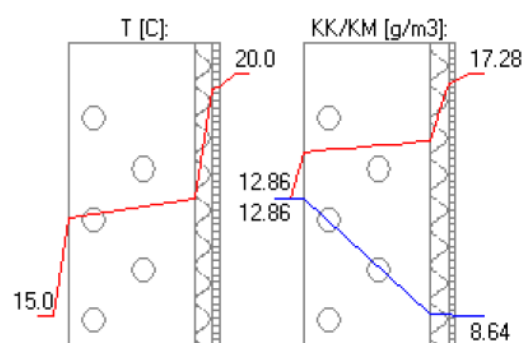
Kastepisteen muodostuminen kyseiseen rakenteeseen ei tarkoita, että seinään muodostuisi välttämättä kosteusvauriota edellyttäen, että rakenne pääsee välillä kuivumaan. Kalsiumsilikaattilevyllä on hyvä veden imukyky. Lisäksi sen ominaisuutena on kyky varastoida vettä itseensä ja luovuttaa sitä kuivempaan sisäilmaan. Rakenteen toimivuuden edellytyksenä on, että eristemateriaalin kapillaarinen vedenimukyky on tehokkaampi kuin viereisen betonin. Myös sisäpuolisten laastien ja pinnoitteiden tulee läpäistä hyvin vesihöyryä, jolloin kuivuminen sisäilmaan on mahdollista. Seinän kuivuminen hankaloituu myös, jos ulkopuolelta tulevien vesien määrä kasvaa liian suureksi eikä levy pysty siirtämään kaikkea kosteutta sisäilmaan.

### 50 mm Kalsiumsilikaattilevy

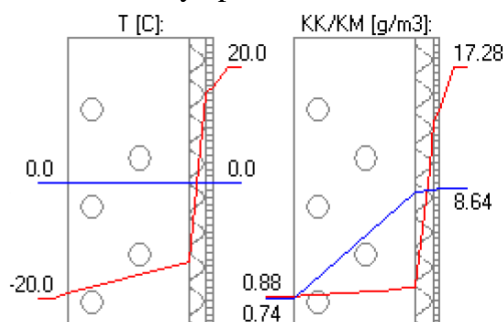
Maanvastainen seinä, yläosa



Maanvastainen seinä, alaosa



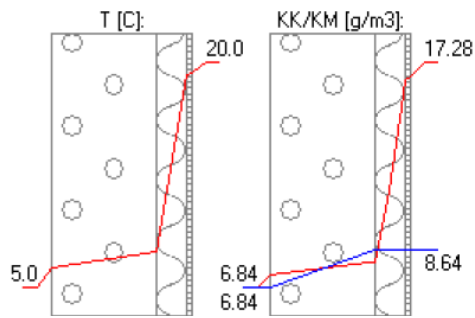
Maan yläpuolinen seinä



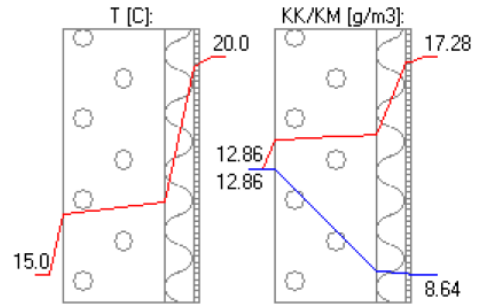
KUVA 22. Kellarin sisäpuolisen kalsiumsilikaattilevyn lämpö- ja kosteuskuvaajat 50 mm levyepaksuudella. T= Lämpötila, KK= Kyllästyskosteus, KM= Kosteusmäärä

## 100 mm Kalsiumsilikaattilevy

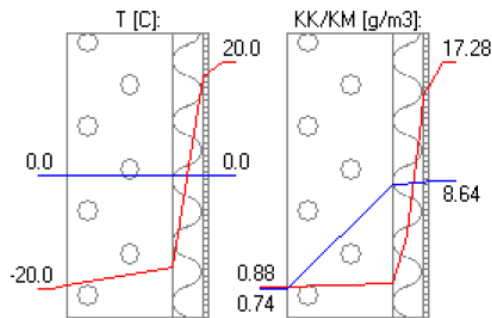
Maanvastainen seinä, yläosa



Maanvastainen seinä, alaosa

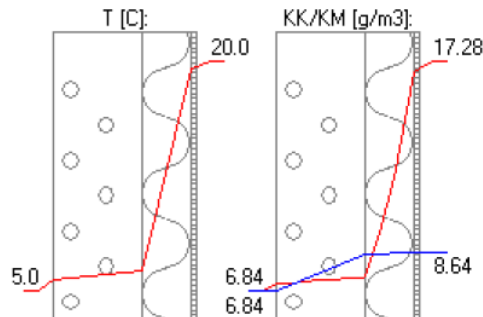


Maan yläpuolinen seinä

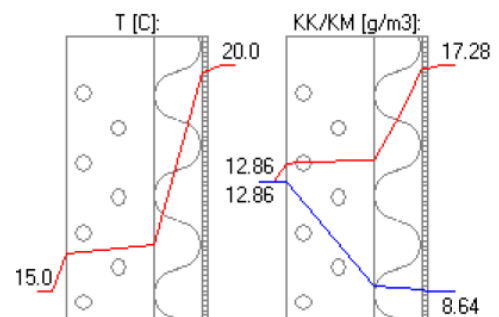


## 200 mm Kalsiumsilikaattilevy

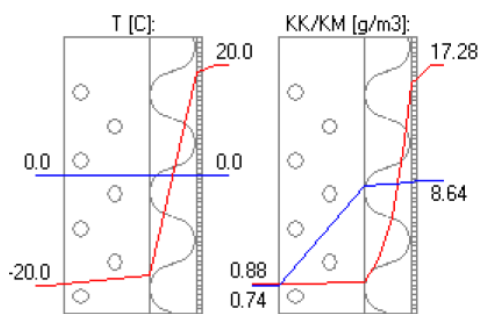
Maanvastainen seinä, yläosa



Maanvastainen seinä, alaosa



Maan yläpuolinen seinä



KUVA 23. Kellarin sisäpuolisen kalsiumsilikaattilevyn lämpö- ja kosteuskuvaajat 100 mm ja 200 mm levyaksuuksilla. T=Lämpötila, KK=Kyllästyskosteus, KM=Kosteusmäärä

Jos seinän ulkopuolella on veden- ja lämmöneriste, on sisäpuolinen lämmöneristäminen kalsiumsilikaattilevyillä turvallinen toteuttaa jopa 200 mm eristepaksuuksilla. (Heiskanen 2015, 78.) Usein vanhassa seinässä ei kuitenkaan ole ulkopuolella lämmöneristettä tai edes vedeneristettä, jolloin maanvastainen seinä on kylmä ja märkä. Mitä paksumpi sisäpuolinen eristekerros on, sitä hitaammin kosteus pääsee kuivumaan eristeen takaa sisäilmaan. Tutkimuksen mukaan ulkopuolelta lämmöneristämättömässä rakenteessa voidaan käyttää sisäpuolella maksimissaan 50 mm paksuista kalsiumsilikaattilevyä (Heiskanen 2015, 77–78). Korkein suhteellinen kosteus on tyypillisesti kapillaariveden johdosta seinän alaosassa ja kapillaarikatkon asentaminen saattaisi mahdollistaa myös 100 mm paksuisen kalsiumsilikaattilevyn käytön. (Heiskanen 2015, 51, 63.)

Suomen markkinoilla on saatavilla kalsiumsilikaattieristeitä muutamalta eri tuotevalmistajalta. Tuotteilla on laadullisia eroja, minkä takia lämmöneristettä valittaessa tulee varmistaa tuotteen tekniset ominaisuudet sekä sen soveltuvuus maanvastaisen seinän eristämiseen. Mitä kosteammat olosuhteet rakenteessa on, sitä suuremmat vaatimukset ovat materiaalin kosteustekniselle toiminnalle. Maanvastaisen seinän sisäpuoliseksi lämmöneristeeksi valitaan tuote, jolla on mahdollisimman hyvä kapillaarinen vedenimukyky ja vesihöyrynläpäisevyys (Heiskanen 2015, 78).

Rakenteen kosteusteknisen toiminnan kannalta on oleellista, että kosteusrasitukset ovat mahdollisimman pienet. Rakenteen toimivuuden kannalta on tärkeää huolehtia riittävästä ilmanvaihdosta. Sisäpuolista lämmöneristämistä ei tule käyttää, jos maanvastaiset rakenteet ovat suorassa kosketuksessa pohjaveteen tai paineelliseen veteen. (Heiskanen 2015, 78.) Ulkopuolisen vedeneristeen puuttuessa seinän kosteusrasitus kasvaa ja rakenteen käyttämistä kohteessa tulee tutkia tarkkaan. Korjauksen yhteydessä pienennetään kosteusrasituksia tekemällä seinän alaosaan kapillaarikatko sekä tiivistämällä rakenteet kapaleen, 6.1 Sisäpuolinen kapillaarikatko ja rakenteiden tiivistäminen, mukaisesti.

### 6.3.2 Lämmöneristyslaasti

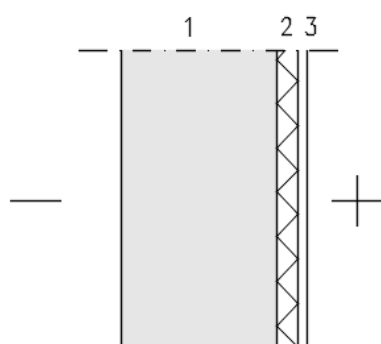
#### Lämmöneriste

EPS-palloja sisältävä kalkkisementtipohjainen lämmöneristyslaasti soveltuu käytettäväksi betoni-, kevytbetoni-, Lecaharkko- ja tiiliseinäpinnoilla. Laastilla voidaan tehdä 20–100 mm paksuinen eristekerros. (Weber 2018) Eristeen U-arvoa tutkittiin Dof - Lämpö ohjelmalla (taulukko 7). Tarkasteltavasta rakenteesta on poistettu vanhat sisäpuoliset veden- ja lämmöneristekerrokset. Lämmöneristyslaastin lämmönjohtavuusarvona  $\lambda_D$  käytettiin 0,066 W/(mK) (Weber 2018). Rakenteen U-arvoa tarkasteltiin 50 mm sekä 100 mm lämmöneristelaastikerroksilla sekä 20 mm paksuisella sisäpuolisella laastikerroksella (kuva 24). Sisäpuolelta lämmöneristelaastilla lämmöneristetyin kellarin seinän korjaustoi-  
menpiteet on esitetty liitteenä olevassa detaljipiirustuksessa (liite 2).

TAULUKKO 7. Lämmöneristyslaastin U-arvot.

Maanvastainen seinä		Maan yläpuolinen seinä	
Eristepaksuus	U-arvo [W/m <sup>2</sup> K]	Eristepaksuus	U-arvo [W/m <sup>2</sup> K]
50 mm	0,61	50 mm	0,87
100 mm	0,41	100 mm	0,52

Kummallakaan eristepaksuudella ei saavuteta U-arvon puolittumista maanvastaisella seinän osuudella eikä maan yläpuolisella seinän osuudella. Pelkällä sisäpuolisella lämmöneristyslaastilla eristettäessä ei siis saada tehtyä rakenteeseen tehokkaita energiatehokkuuden parannuksia.



KELLARIN SEINÄ

350 mm	1	Betonimuuuri
50/100 mm	2	Lämmöneristyslaasti
20 mm	3	Laasti

KUVA 24. Rakennetyyppi

### Kosteustekninen toimivuus

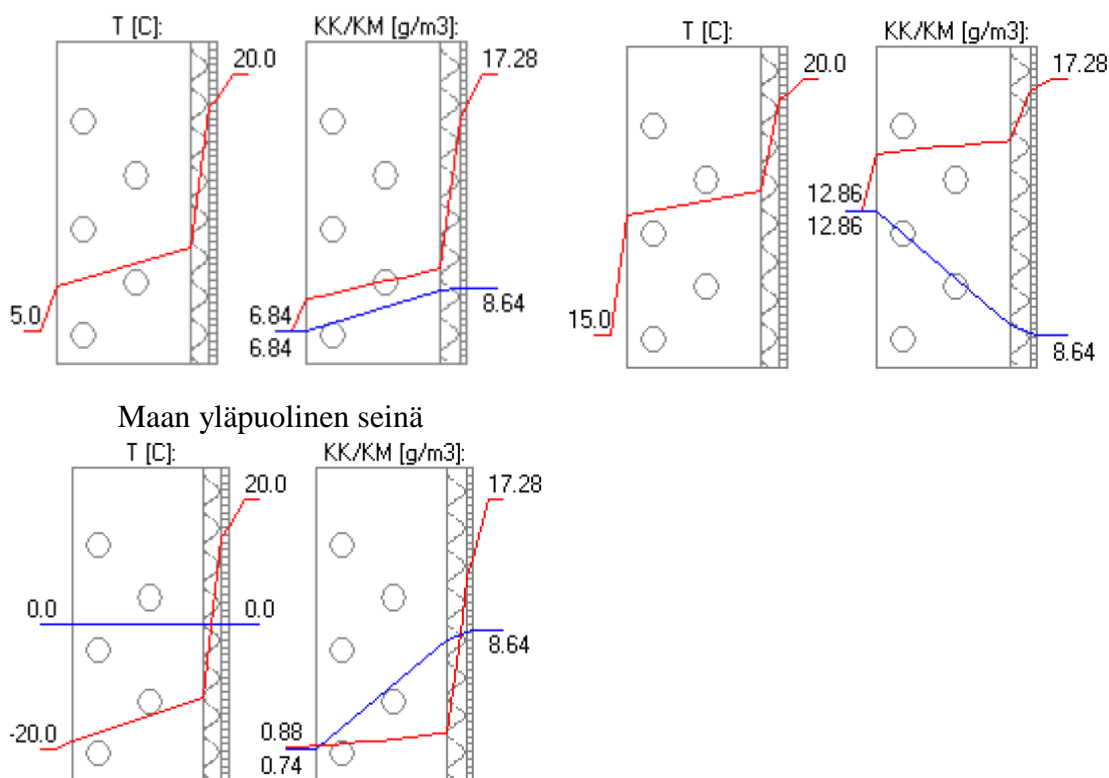
Rakenteen lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa tutkittiin Dof -lämpö ohjelmalla (kuvat 25 & 26). Tarkastellun lämmöneristyslaastin diffuusiovastuskerroin  $\mu$  on  $\leq 15$ . Lämpökuvaajista havaittiin, että sisäilman lämpö siirtyy lämmöneristyslaastin läpi ja lämmittää kellarin perusmuuria. Lämmöneristyslaastin heikommasta lämmöneristysominaisuudesta johtuen lämpötila on korkeampi kuin esimerkiksi kalsiumsilikaattilevyllä eristettäessä.

Tarkasteluissa havaittiin, että talvikuukausina kosteuden tiivistyminen on mahdollista maan yläpuolisen seinän osuuden kohdalla molemmilla eristepaksuuksilla. Maanvastaisella seinän kohdalla 50 mm eristepaksuudella ei synny kosteuden tiivistymistä asetetuissa olosuhteissa. Tarkasteluissa havaittiin, että maan lämpötilan laskiessa lähelle  $0^{\circ}\text{C}$ , kastepisteen syntyminen betonin sisäpintaan on kuitenkin mahdollista. Paksummalla 100 mm eristeellä maanvastaisella seinän osuudella syntyi kastepiste seinän yläosassa.

### 50 mm Lämmöneristyslaasti

Maanvastainen seinä, yläosa

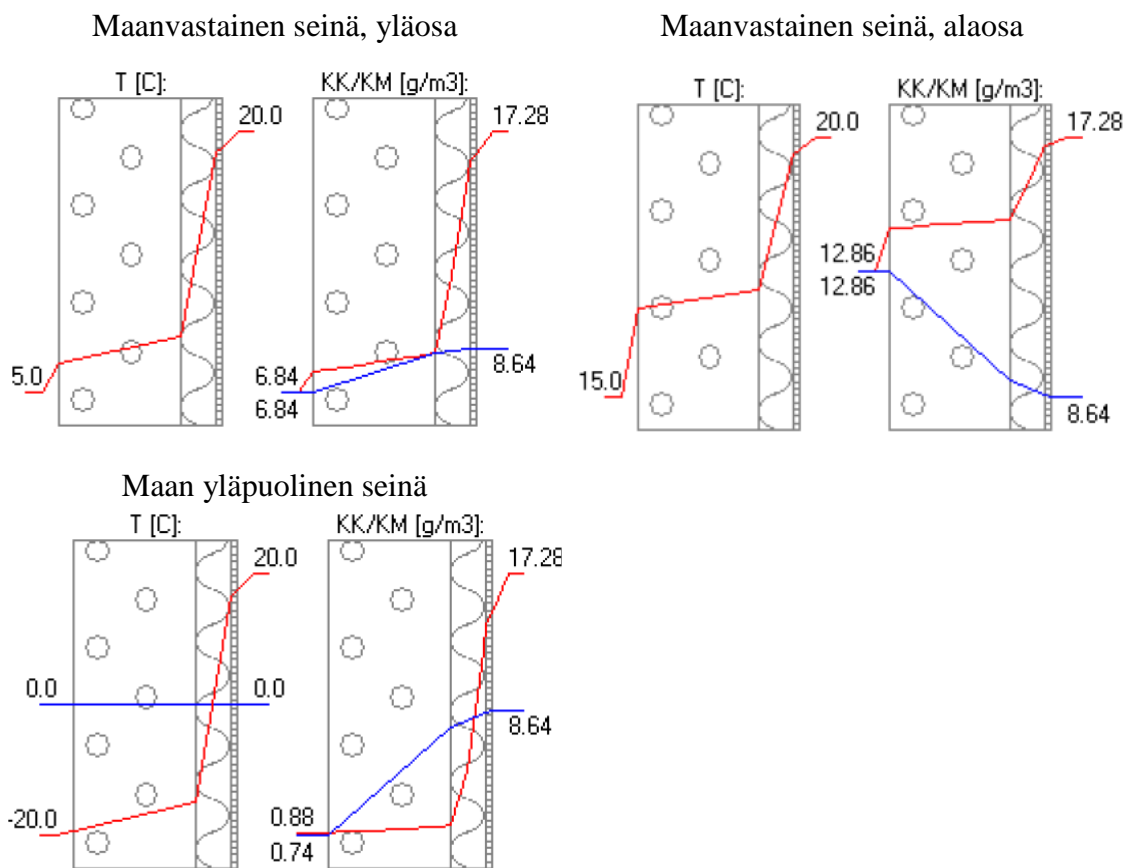
Maanvastainen seinä, alaosa



KUVA 25. Kellarin sisäpuolisen lämmöneristyslaasti lämpö- ja kosteuskuvaajat 50 mm eristepaksuudella. T= Lämpötila, KK= Kyllästyskosteus, KM= Kosteusmäärä



## 100 mm Lämmöneristyslaasti



KUVA 26. Kellarin sisäpuolisen lämmöneristyslaastin lämpö- ja kosteuskuvaajat.

T= Lämpötila, KK= Kyllästyskosteus, KM= Kosteusmäärä

Lämmöneristyslaasteilla on kalsiumsilikaattilevyjen tapaan hyvä veden imukyky sekä vesihöyrynläpäisevyys. Ominaisuuksien takia laasti pystyy varastoimaan itseensä kosteutta ja luovuttamaan sitä sisäilmaan. Kalsiumsilikaattilevyn ja lämmöneristyslevyjen ominaisuuksissa on kuitenkin eroavaisuuksia. Esimerkiksi tarkasteltavan lämmöneristyslaastin diffuusiovastus on suurempi kuin kalsiumsilikaattilevyllä, minkä takia lämmöneristyslaastin vesihöyrynläpäisevyys jää heikommaksi. Kastepisteen syntyminen seinään ei välttämättä johda rakenteen kosteusvaurioon, jos lämmöneristyslaastin kapillaarinen imukyky on voimakkaampi kuin viereisen betonin.

Lämmöneristyslaastista ja sen käytöstä kellarinseinän lisälämmöneristämässä löytyy vielä hyvin vähän tutkimustietoa. Esimerkiksi materiaalin toimivuudesta ulkopuolelta vedeneristämättömissä maanvastaisissa seinärakenteissa ei ole varmuutta. Kuten muidenkin

sisäpuolisten lämmöneristeiden kohdalla, myös lämmöneristyslaastia käyttäessä tulee ensin tutkia, kuinka suuria määriä kosteutta seinään kohdistuu. Sisäpuolista lämmöneristämistä ei tule käyttää esimerkiksi silloin, kun rakenteet ovat kosketuksissa pohjaveteen tai paineelliseen veteen.

Lämmöneristyslaastin käyttö kellarin seinien sisäpuolisena lämmöneristeenä voi olla toimiva vaihtoehto esimerkiksi silloin, kun seinän ulkopuolella on jo vanha ulkopuolinen veden- ja lämmöneriste. Kyseisessä tapauksessa sisäpuolisella lämmöneristeellä saadaan hyvin parannettua vanhan seinärakenteen lämmöneristävyttä. Palviaisen (2009, 50) mukaan lämmöneristyslaastit pystyvät sitomaan alustastaan pieniä määriä suolaa, joten materiaali sopii myös kohteisiin, joissa on lieviä suolavaurioita. Korjaustyön yhteydessä tutkitaan seinän alaosaan tehtävän kapillaarikatkon tarpeellisuutta. Kapillaarikatko sekä rakenteiden tiivistäminen toteutetaan kappaleen, 6.1 Sisäpuolinen kapillaarikatko ja rakenteiden tiivistäminen, mukaisesti.

### 6.3.3 Laavamineraalilevy

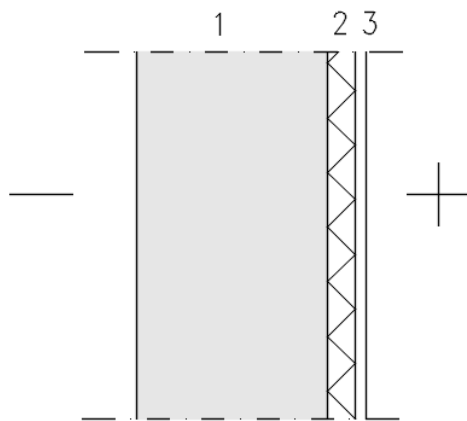
#### Lämmöneriste

Laavamineraalilevy on Suomen markkinoille saapuva sisäpuolinen lämmöneristysmateriaali, jota on saatavilla 50–200 mm paksuisina levyinä. Laavamineraalia sisältävän, alkalisen ja palamattoman iPor–Lava -tuotteen lämmönjohtavuus on  $\lambda = 0,045 \text{ W/(mK)}$ . (Sulin Oy, tekninen esite.) Rakenteen U-arvon laskennassa käytettiin 50 mm, 100 mm ja 200 mm paksuisia levyjä ja 20 mm paksuista laastikerrosta (kuva 27). Rakenteesta on poistettu vanhat veden- ja lämmöneristeet. Arvot laskettiin Dof -Lämpö ohjelmalla erikseen maanvastaiselle seinän osuudelle sekä maan yläpuoliselle osuudelle (taulukko 8). Sisäpuolelta laavamineraalilevyllä lämmöneristetyn kellarin seinän korjaustoimenpiteet on esitetty liitteenä olevassa detaljipiirustuksessa (liite 2).

TAULUKKO 8. Laavamineraalilevyn U-arvot eri levypaksuuksilla.

Maanvastainen seinä		Maan yläpuolinen seinä	
Eristepaksuus	U-arvo [W/m <sup>2</sup> K]	Eristepaksuus	U-arvo [W/m <sup>2</sup> K]
50 mm	0,50	50 mm	0,67
100 mm	0,32	100 mm	0,39
200 mm	0,19	200 mm	0,21

U-arvon puolittumistavoite täyttyy 200 mm paksuisella levyllä sekä maanvastaisella ja maan yläpuolisella osuudella. Maanvastaisella seinällä 100 mm levyllä jäädyään 0,04 W/(m<sup>2</sup>K) päähän U-arvon puolittumisesta, mutta maan yläpuolisella osuudella 100 mm levyllä rakenteen U-arvo saadaan puolittumaan. 50 mm levypaksuudella U-arvon puolittumista ei saavuteta maan alapuolisella eikä yläpuolisella seinän osuudella.



#### KELLARIN SEINÄ

350 mm	1	Betonimuuri
50/100/200 mm	2	Laavamineraalilevy
20 mm	3	Laasti

KUVA 27. Tarkasteltava rakennetyyppi

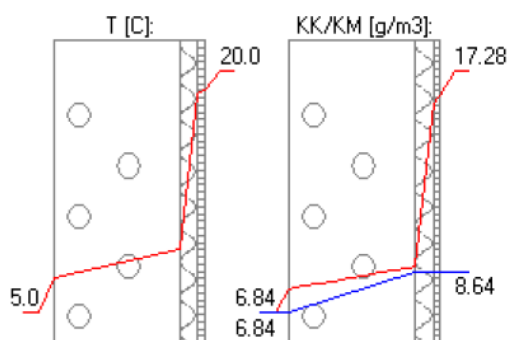
#### Kosteustekninen toimivuus

Laavamineraalilevy on Suomessa uusi materiaali eikä sen toiminnasta kellarin seinässä ole saatavilla vielä tutkimustuloksia tai käyttökokemuksia. Tässä työssä esitetyn kosteusteknisen toimivuuden analysointi perustuu tuotteen teknisiin tietoihin sekä Dof -lämpö ohjelmalla tehtyihin lämpö- ja kosteuslaskelmiin. Laavamineraalilevyn käyttäminen vaativissa kohteissa tarvitsee vielä varmistusta ja lisätutkimuksia sen toimivuudesta esimerkiksi ulkopuolelta vedeneristämättömissä kellarin seinissä.

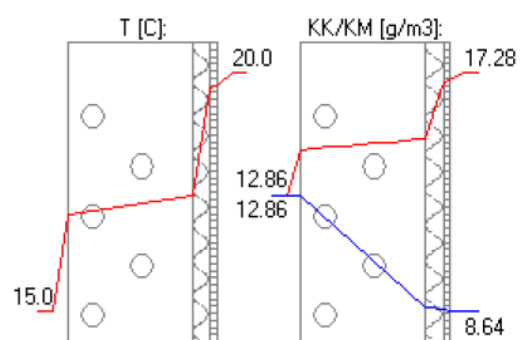
Materiaalin lämpö- ja kosteuskuvaajia tutkittiin Dof -lämpöohjelmalla (kuvat 28 & 29). Tuloksista nähdään, että mitä paksumpi sisäpuolinen eriste on, sitä kylmempi on myös sen takana olevan betonin pinta. Maanpinnan yläpuolisella osuudella tiivistymistä tapahtuu asetetuissa olosuhteissa kaikilla levypaksuuksilla. Asetetuissa olosuhteissa ainoastaan 50 mm paksuisella levyllä ei synny kastepistettä maanvastaisella osuudella. Tarkastelujen perusteella maaperän lämpötilan laskiessa myös tällä levypaksuudella on mahdollista, että betonin sisäpintaan tiivistyy kosteutta.

### 50 mm Laavamineraalilevy

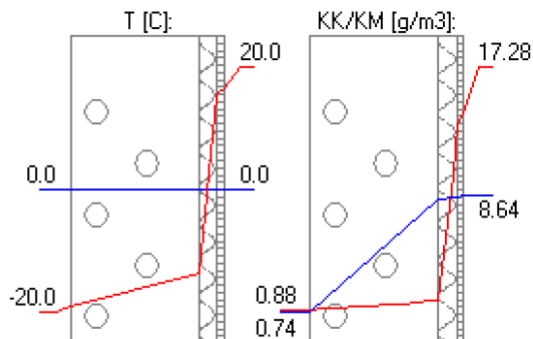
Maanvastainen seinä, yläosa



Maanvastainen seinä, alaosa



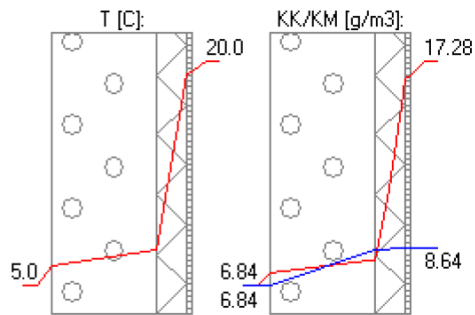
Maan yläpuolinen seinä



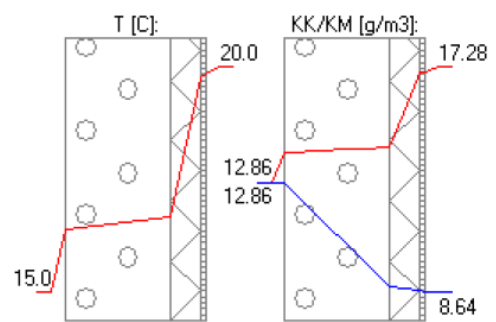
KUVA 28. Dof -lämpö kuvaajat 50 mm laavamineraalilevyllä. KK= Kyllästyskosteus, KM= Kosteusmäärä, T= Lämpötila

## 100 mm Laavamineraalilevy

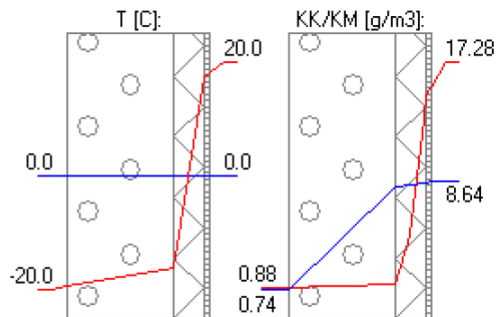
Maanvastainen seinä, yläosa



Maanvastainen seinä, alaosa

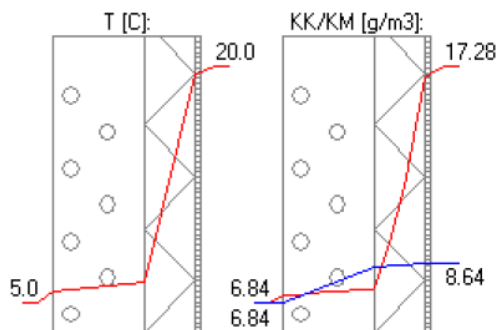


Maan yläpuolinen seinä

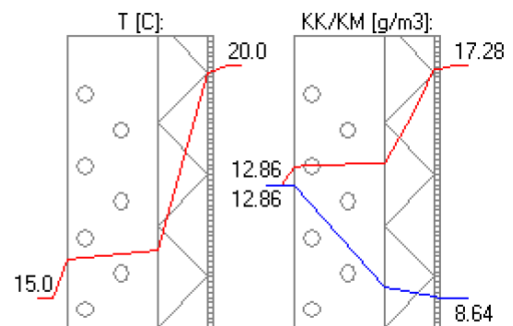


## 200 mm Laavamineraalilevy

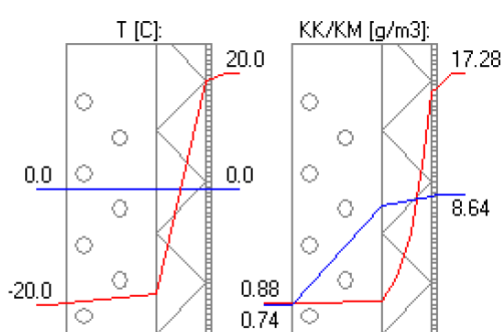
Maanvastainen seinä, yläosa



Maanvastainen seinä, alaosa



Maan yläpuolinen seinä



KUVA 29. Dof -lämpö kuvaajat 100 mm ja 200 mm sisäpuolisella laavamineraalilevyllä.

KK= Kyllästyskosteus, KM= Kosteusmäärä, T= Lämpötila

Myöskään tässä rakenteessa kastepisteen syntyminen ei aiheuta ongelmaa, jos seinä pääsee kuivumaan välillä. Laavamineraalilevy läpäisee hyvin vesihöyryä ja sen vedenimukyky on hyvin voimakas, jonka takia se pystyy imemään itseensä nopeastikin rakenteesta kosteutta ja luovuttamaan sitä kuivempaan sisäilmaan. Materiaalin diffuusiovastuskerroin  $\mu$  on 5-6 (Keim iPor- lava-Raumklimaplatte.) Myös tämän materiaalin toiminnan edellytyksenä on, että materiaalin kapillaarinen imukyky on tehokkaampi kuin vieressä olevan betonin tai muun runkorakenteen.

Kosteusteknisten ominaisuuksiensa perusteella materiaali voi soveltua hyvin sisäpuoliseen lämmöneristämiseen ja sopii erityisesti kosteusvaurioituneiden kellarin seinien korjaamiseen. Lämmöneristämisen yhteydessä kapillaarinen vedennousu ja rakenteiden tiivistäminen toteutetaan kappaleen, 6.1 Sisäpuolinen kapillaarikatko ja rakenteiden tiivistäminen, mukaisesti.

#### 6.4 Yhdistetty ulko- ja sisäpuolinen lämmöneristys

##### Lämmöneriste

Yhdistetyn ulko- ja sisäpuolisen lämmöneristysten käyttöä tulee harkita kohteissa, joissa maan yläpuolista kellarin seinän osuutta ei voida eristää ulkopuolelta, esimerkiksi ulkonäöllisistä syistä. Ulkopuolinen eristys toteutetaan maan alapuolisiin osiin esimerkiksi 100 mm EPS-routaeristeellä. Seinän yläosaan syntyvän kylmemmän osuuden estämiseksi seinä eristetään sisäpuolelta hyvin vesihöyryä läpäisevällä lämmöneristeellä, kuten esimerkiksi 100 mm paksuilla kalsiumsilikaattilevyillä tai lämmöneristyslaastilla. Ulko- ja sisäpuolelta lämmöneristettävän kellarin seinärakenteen rakennepiirros on esitetty liitteessä 3.

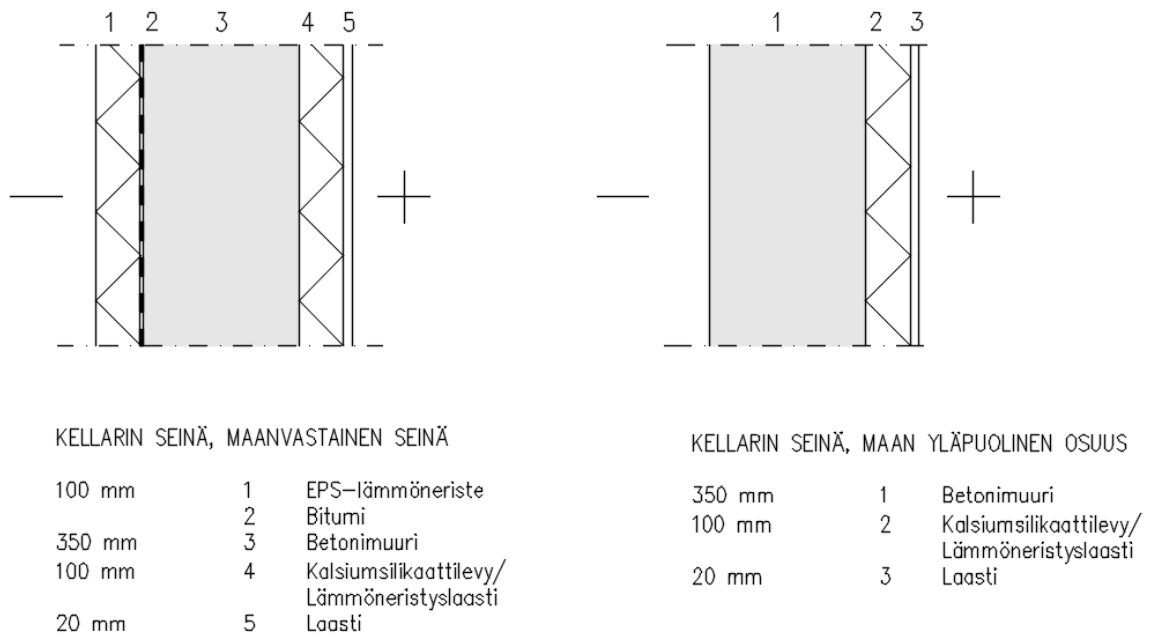
Dof -lämpö tutkimuksissa käytettiin 350 mm paksuista betoniseinää, josta on poistettu vanhat veden- ja lämmöneristeet (kuva 30). Rakenteen U-arvot laskettiin erikseen maanvastaiselle seinän osuudelle sekä maan yläpuoliselle osuudelle (taulukko 9). Lämmönjohdavuusarvoina käytettiin:

- Lämmöneristyslaasti  $\lambda_D = 0,066 \text{ W/(mK)}$
- Kalsiumsilikaattilevy  $\lambda_D = 0,042 \text{ W/(mK)}$
- EPS  $\lambda_D = 0,033 \text{ W/(mK)}$ .

TAULUKKO 9. Yhdistetyn ulko- ja sisäpuolisen lämmöneristyksen U-arvot.

Maanvastainen seinä		Maan yläpuolinen seinä	
Eriste	U-arvo [W/m <sup>2</sup> K]	Eriste	U-arvo [W/m <sup>2</sup> K]
100 mm EPS + 100 mm Kalsiumsilikaattilevy	0,16	100 mm Kalsiumsilikaattilevy	0,38
100 mm EPS + 100 mm Lämmöneristelaasti	0,18	100 mm Lämmöneristelaasti	0,52

Tuloksien mukaan kalsiumsilikaattilevyllä saadaan seinälle parempi lämmöneristävyys edellyttäen, että käytettyjen tuotteiden lämmönjohtavuudet vastaavat näissä laskelmissa käytettyjä arvoja. Sekä lämmöneristyslaastilla että kalsiumsilikaattilevyllä saatiin maanvastaisille seinänosuuksille hyvät U-arvot, johtuen yhdistetyn ulko- ja sisäpuolisen eristeen tehokkaasta lämmöneristyskyvystä. Molemmat sisäpuoliset lämmöneristystavat täyttävät U-arvon puolittumisen tavoitteet maan alapuolisilta osuuksilta. Näistä kahdesta eristystavasta vain 100 mm kalsiumsilikaattilevy täyttää U-arvotavoitteen maan yläpuolisessa seinän osuudessa. Rakenteen todellinen lämpöhäviö riippuu kuitenkin siitä, mikä on maanvastaisen ja maan yläpuolisen seinien osuuksien pinta-alojen suhde.

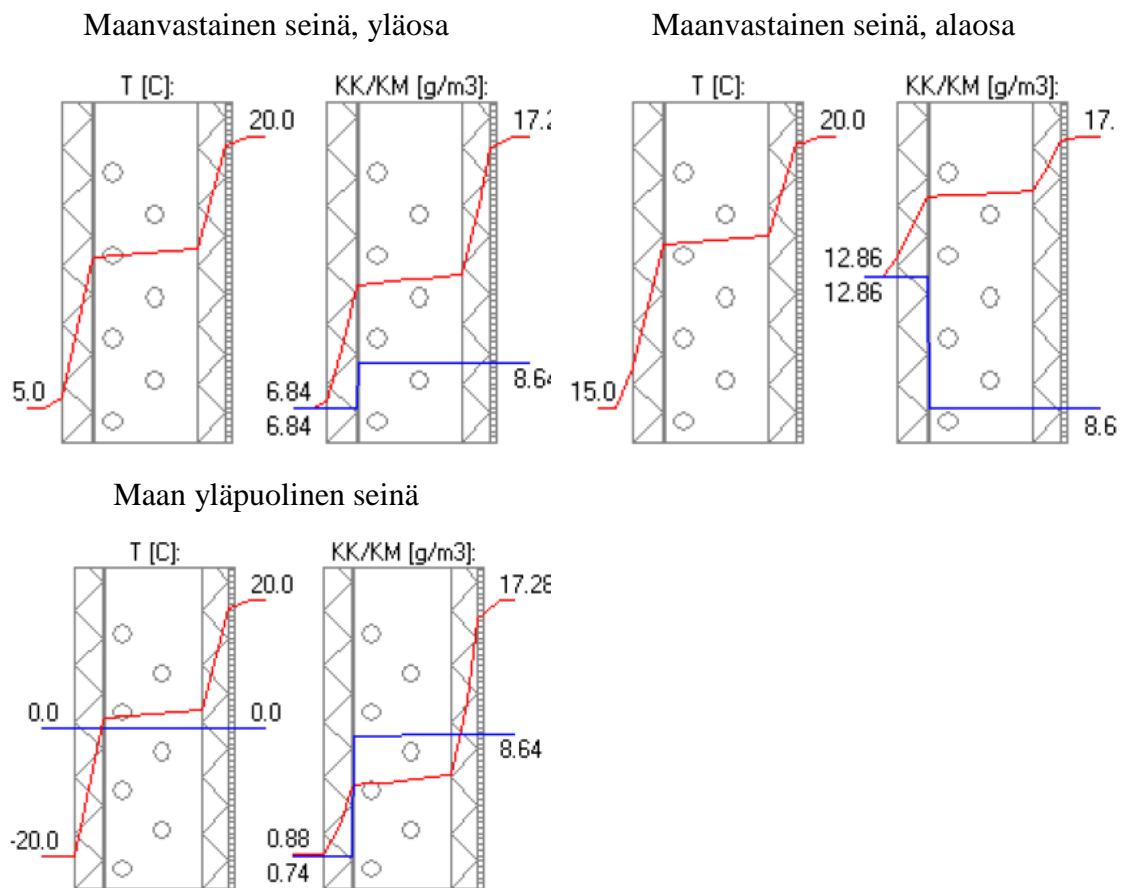


KUVA 30. Tarkastelujen rakennetyypit

### Kosteustekninen toimivuus

Yhdistetyn ulko- ja sisäpuolisen lämmöneristyksen lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa tutkittiin Dof -lämpö ohjelmalla (kuvat 31 & 32). Tarkasteluissa maan alapuoliseen rakenteeseen ei muodostu kastepistettä, vaan rakenteiden kosteusmäärä pysyy kyllästyskosteutta pienempänä. Maan yläpuolisessa rakenteessa on olemassa tiivistymisen riski talvikuukausina. Kastepisteen syntyminen ei johda kosteusvaurioon, jos rakenne pääsee kuivumaan välillä. Rakenteen kuivumisen edistämiseksi tilan tuuletuksen tulee olla riittävä ja jatkuvasti päällä. Sisäpintaan ei tule myöskään asentaa laastia tai pinnoitetta, joka estää vesihöyryn poistumisen rakenteesta sisäilmaan.

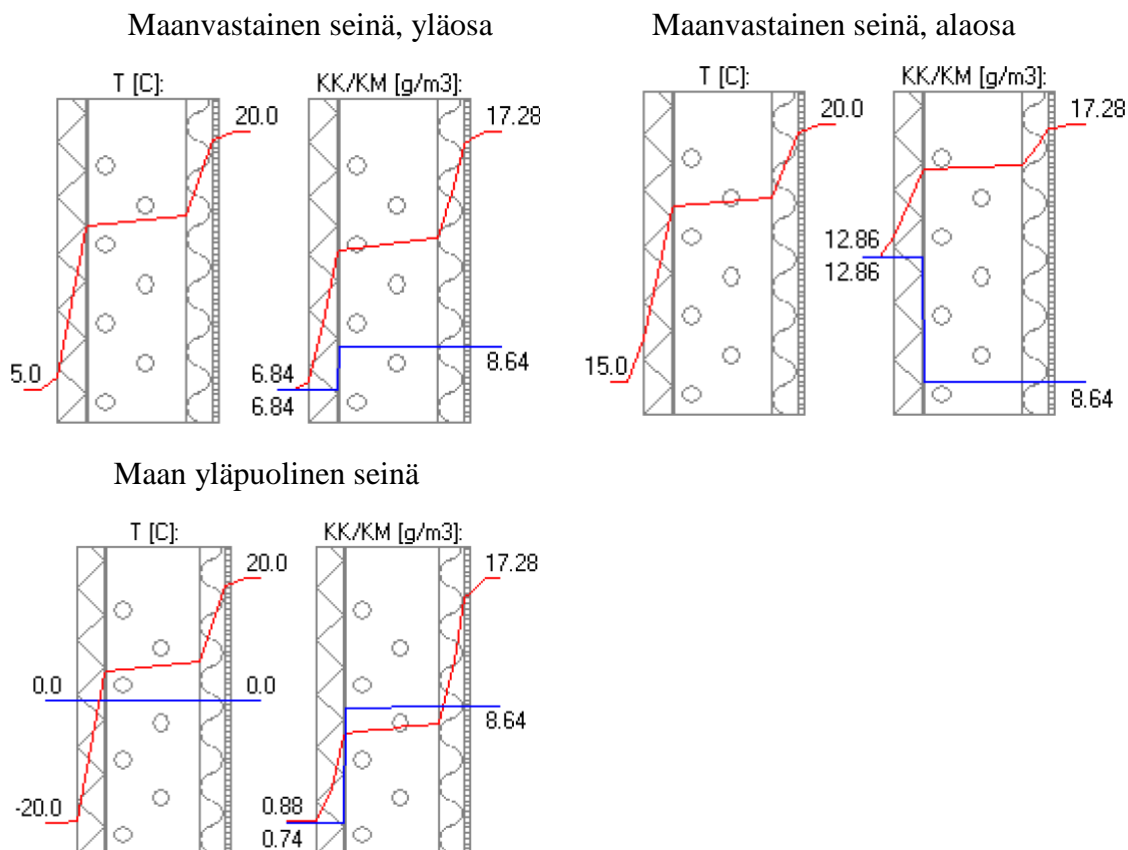
### 100 mm EPS + 100 mm kalsiumsilikaattilevy



KUVA 31. Dof -lämpö kuvaajat 100 mm EPS - routaeristyksellä ja 100 mm kalsiumsilikaattilevyillä. KK= Kyllästyskosteus, KM= Kosteusmäärä, T= Lämpötila



## 100 mm EPS + 100 mm lämmöneristyslaasti



KUVA 32. Dof -lämpö kuvaajat 100 mm EPS - routaeristyksellä ja 100 mm lämmöneristyslaastilla. KK= Kyllästyskosteus, KM= Kosteusmäärä, T= Lämpötila

Heiskanen (2015, 63–73) on tutkinut 1990-luvulle tyypillisen kellarin seinän lisälämmöneristämistä, jossa vanha lämmöneriste sijaitsee ulkopuolella maanvastaisella sekä maan yläpuolisella seinän osuudella. Tutkimuksen mukaan sisäpuolinen kalsiumsilikaattieriste ei aiheuta homehtumisriskiä kyseisessä rakenteessa edes 200 mm paksuisena. (Heiskanen 2015, 63–73.) Tässä työssä esitetyssä ulko- ja sisäpuolisen lämmöneristysten yhdistelmässä maanvastaisen seinän eristäminen toimisi näin ollen myös paksummalla lämmöneristeellä.

Seinän yläosan kosteusteknisen toiminnan tarkastelussa on sovellettu myös Heiskasen tekemää tutkimusta. Kyseisessä tutkimuksessa on tarkasteltu rakennetta, jossa maanvastaisen seinän ulkopuolella on vedeneriste, mutta ei lämmöneristettä. Eristettäessä sisäpuolisella 50–200 mm paksuisella kalsiumsilikaattilevyllä kyseisessä rakenteessa muodostuu homehtumisriski ainoastaan seinän alaosassa, mutta ei seinän yläosassa eikä keskiosassa. (Heiskanen 2015, 55, 63.) Seinän alaosan homehtumisriski on yhdistetyssä ulko- ja sisäpuolisessa korjaustavassa pienempi kuin Heiskasen tutkimassa rakenteessa. Tämä johtuu

siitä, että seinän alaosan kosteusrasitukset ovat pienemmät ulkopuolisen lämmöneristyksen sekä seinän alaosaan asennettavan kapillaarikatkon johdosta. Sisäpuolisen kalsiumsilikaattilevyn käyttäminen yhdistetyssä ulko- ja sisäpuolisessa lämmöneristystavassa pitäisi siis tutkimustuloksien mukaan olla kosteusteknisesti toimiva rakenneratkaisu.

Lämmöneristyslaastilla tehdyistä sisäpuolisista lämmöneristyksistä ei löydy huomattavasti parempaa tutkimusta, jolla voidaan todeta rakenteen toimivuus. Tuotteella on hyvä vesihöyrynläpäisevyys ja vedenimukyky, jotka edesauttavat rakenteen kuivumista lämmöneristekerroksen läpi sisäilmaan. Tässä tutkimuksessa käytetyllä lämmöneristyslaastilla on suurempi vesihöyrynvastus kuin tutkimuksen kalsiumsilikaattilevyllä. Lämmöneristyslaastin diffuusiovastuskerroin  $\mu$  on  $\leq 15$ , kun taas tutkitulla kalsiumsilikaattilevyllä  $\mu$  on 2. Ominaisuuden takia lämmöneristyslaastin vesihöyrynläpäisevyys on jonkin verran heikompi. Sisäpuolisista lämmöneristystavoista kalsiumsilikaattilevyllä saadaan siis tehtyä paremmin lämpöä eristävä ja kosteusteknisesti haasteellisiin kohteisiin mahdollisesti toimivampi rakenne kuin lämmöneristyslaastilla.

### **Korjaustoimenpiteet**

Korjaustyön yhteydessä maan alapuoliset rakenteet vedeneristetään ulkopuolelta ja lisäksi tehdään maan kuivatusta edistävät korjaustoimenpiteet, kuten on esitetty kappaleessa 6.2 Ulkopuolinen lämmöneristys. Sisäpuoleisen eristyksen käytössä on tärkeää varmistaa perustusten kautta nousevan kapillaarikosteuden pysäyttäminen, jolloin seinä ei pääse kastumaan liian kosteaksi. Kapillaarikatkon asennus seinän alaosaan sekä maanvaraisen laatan ja seinän välinen tiivistys toteutetaan kappaleen, 6.1 Sisäpuolinen kapillaarikatko ja rakenteiden tiivistäminen, mukaisesti. Korjaustoimenpiteitä on esitetty myös liitteenä olevissa detaljikuvissa (liite 3).

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Kellarin seiniin kohdistuu suuria kosteusrasituksia, kuten maasta nouseva kosteus sekä maan alapuolisia rakenteita kohti imeytyvät sulamis- ja sadevedet. Puutteellisesti toimiva tai kokonaan puuttuva salaojitus sekä maanpinnan kallistus rakennusta kohti lisäävät maan alapuolisten rakenteiden kosteusrasituksia. Kosteusrasitusten lisäksi vanhoissa kellarin seinissä esiintyy kosteusteknisiä riskirakenteita, kuten puutteellisesti toimivia veden- ja lämmöneristyksiä. Kun kellarin seiniä lisäksi lisälämmöneristetään virheellisin tavoin, on suuri riski, että seinään muodostuu sisäilman laatua heikentäviä ja terveydelle haitallisia kosteus- ja mikrobiongelmia.

Korjausrakentamisessa tulee huomioida siihen liittyvä lainsäädäntö. Laissa on säädetty muun muassa rakennuksen terveellisyyteen ja energiatehokkuuteen liittyviä vaatimuksia. Rakennuksen energiatehokkuutta parannettaessa uuden ulkoseinä rakenteen U-arvon tulisi puolittua alkuperäisen rakenteen arvosta. Sen ei kuitenkaan tarvitse olla pienempi kuin  $0,17 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Rakenne tulee lain mukaan tehdä sellaiseksi, ettei se aiheuta terveydelle haittaa. Veden pääsy rakenteisiin tulee estää ja jos rakenne pääsee satunnaisesti kastumaan, tulee veden päästä poistumaan haittaa aiheuttamatta. Lisäksi käytettyjen materiaalien tulee olla sellaisia, jotka kestävät pinnalta kastuminen.

Kellarin seinää lisälämmöneristettäessä tulee huomioida muun muassa korjauksen taso, muiden rakenteiden korjaustarve sekä talotekniikkaan liittyvät vaatimukset. Esimerkiksi ilmanvaihdon merkitys rakenteiden toimivuudelle on merkittävä ja riittävä ilmanvaihto tulee huomioida korjauksessa. Tilan olosuhteita on pidettävä yllä, myös silloin kun tilat eivät ole käytössä. Jos ilmastointi sammutetaan välillä, on sillä vaikutusta mahdollisesti myös rakenteiden kuivumiseen.

Joskus voidaan joutua tilanteeseen, ettei tilaan saada toteutettua käyttötarkoituksen edellyttämiä olosuhteita. Tällainen tilanne on esimerkiksi silloin, kun ulkopuolista salaojitusta, vedeneristämistä ja muita kosteudenhallintaan liittyviä korjaustoimenpiteitä ei päästä toteuttamaan. Syy tähän voi olla, että ulkopuolisia kaivantoja ei päästä toteuttamaan esimerkiksi seinän sijaitessa liian ahtaassa paikassa tai rakennuksen keskellä. Sei-

nään kosketuksessa oleva paineellinen vesi tai pohjavesi rajaavat lämmöneristysmahdollisuuksia ja näissä tapauksissa pelkän sisäpuolisen lämmöneristysten käyttäminen voi muodostua riskirakenteeksi.

Tässä työssä on tutkittu seinän lisälämmöneristämisen vaihtoehtoja, joilla saadaan parannettua kellaritilan energiatehokkuutta. Työssä käsitellään lämmöneristystoimenpiteiden lisäksi rakenteen kosteusrasitusten estämiseen liittyviä toimenpiteitä, kuten ulkopuoliset veden- ja kosteudeneristystyöt, perustusten kautta nousevan kapillaariveden nousun estämisen sekä rakenteiden ilmarakojen tiivistämisen.

Tähän työhön valittiin lisälämmöneristystavoiksi ulkopuolinen lämmöneristys, sisäpuolinen lämmöneristys sekä näiden kahden yhdistelmä. Korjausratkaisut soveltuvat hieman eri tilanteisiin. Kellarin seinän lisälämmöneristämässä lähdetään ensimmäisenä selvittämään, onko korjaus mahdollista toteuttaa ulkopuolisena. Tällä tavoin korjattuna rakenne saadaan lämmöneristysten avulla pysymään lämpimänä ja samalla pystytään tekemään ulkopuoliset kosteudenhallintaan liittyvät toimenpiteet, kuten salaojitukseen ja vedeneristämiseen liittyvät korjaukset.

Ulkopuolinen lämmöneristys yletetään mahdollisuuksien mukaan myös maan yläpuoliseen sokkeliosuuteen. Maan yläpuolinen osuus on kosteusteknisesti kannattavaa eristää ulkopuolelta, jolloin seinärakenne jää eristeen lämpimälle puolelle. Ulkopuolinen eristäminen ei kuitenkaan ole aina mahdollista toteuttaa, esimerkiksi ulkonäöllisistä syistä. Työssä esitetty yhdistelmäratkaisu, jossa maanvastainen seinän osuus lämmöneristetään ulkopuolelta ja sisäpuolelle asennetaan koko seinän korkeudelle hyvin vesihöyryä läpäisevä lämmöneristysmateriaali. Tässä työssä on tarkasteltu kyseistä korjaustapaa kahdella eri materiaalilla, kalsiumsilikaattilevyllä sekä lämmöneristyslaastilla.

Seinän yhdistetyllä ulko- ja sisäpuolisella lämmöneristämällä saadaan aikaiseksi energiatehokas rakenne. Seinän yläosassa U-arvo jää luonnollisesti heikommaksi, koska ulkopuolinen lämmöneriste sijaitsee ainoastaan maanvastaisella seinän osuudella. Maan yläpuolisessa seinän osuudessa havaittiin Dof -lämpö ohjelmalla tehdyissä tarkasteluissa muodostuvan riski kosteuden tiivistymiselle.

Kastepisteen syntyminen rakenteeseen ei aiheuta kosteusvauriota, jos rakenne pääsee välillä kuivumaan. Kun sisäpuolelle valitaan hyvin kapillaarivettä imeviä sekä vesihöyryä

läpäiseviä materiaaleja, saadaan mahdollinen kosteus rakenteesta kuivumaan sisäilmaan. Sisäpuolisen eristemateriaalin kapillaarisen imukyvyn tulee olla tehokkaampi kuin siinä kiinni olevan runkorakenteen. Siinä tapauksessa eriste pystyy imemään mahdollisen tiivistyneen veden ja luovuttamaan sen sisäilmaan. Materiaalien kapillaarisista vedenimukyvyistä ei saatu tätä työtä varten vertailukelpoisia arvoja, joten sisäpuolisten lämmöneristeiden toiminnan arvioimiseksi tarvitaan vielä lisätutkimuksia.

Sisäpuolisen lämmöneristeen hyvä kapillaarinen imukyky ja vesihöyrynläpäisevyys eivät vielä takaa rakenteen kuivana pysymistä. Rakenteen kuivumisessa tulee lisäksi ottaa huomioon, että veden haihtuminen sisäilmaan on hitaampaa kuin sen imeytyminen kapillaarisesti materiaaliin. Haihtumisen nopeuteen vaikuttavat muun muassa sisäilman lämpötila, suhteellinen kosteus ja ilman virtausnopeus materiaalin pinnalla. (RIL 250-2011, 61). Lisäksi sisäpinnan laastien ja pinnoitteiden tulee olla hyvin vesihöyryä läpäiseviä, jolloin vesi pääsee haihtumaan sisäilmaan.

Työssä tutkittiin myös sisäpuolista lämmöneristämistä siinä tapauksessa, että ulkopuolisia korjaustöitä ei voida toteuttaa. Sisäpuolisen lämmöneristämisen tutkimiseen on valittu kolme eri materiaalia: kalsiumsilikaattilevy, lämmöneristyslaasti sekä laavamineraalilevy. Näitä kaikkia materiaaleja yhdistää hyvä vesihöyrynläpäisevyys sekä vedenimukyky. Materiaalien lämpö- sekä kosteustekniset ominaisuudet eroavat hieman keskenään. Eroavaisuudet voivat olla suuret myös saman materiaalin kohdalla, eri valmistajien kesken, joten tuotteen tiedot tulee aina tarkistaa suunnitteluvaiheessa. Rakennusvaiheessa on myös hyvä tarkistaa, että on käytetty suunnitelmien mukaisia materiaaleja.

Tuloksien mukaan kalsiumsilikaatti- ja laavamineraalilevyillä saatiin vanhan rakenteen U-arvot puolittamaan 200 mm levypaksuuksilla koko seinän kohdalla. Myös 100 mm paksuisilla levyillä saatiin hyvä lämmöneristävyys, mutta maanvastaisella seinän osuudella U-arvo jäi molemmilla materiaaleilla hieman vajaaksi puolittumisesta. Ohuemmalla 50 mm levypaksuudella ei päästy U-arvon puolittumistavoitteisiin. Lämmöneristyslaastilla tehdyssä sisäpuolisessa lämmöneristyksessä ei tavoitettu U-arvon puolittumista.

Dof -lämpö ohjelman avulla tehdyissä lämpö- ja kosteustarkasteluissa havaittiin kaikissa sisäpuolelta lämpöeristetyissä korjausvaihtoehdoissa kosteuden tiivistymisen riski maan yläpuolisilla osuuksilla. Kastepiste syntyi talvikuukausina ulkolämpötilan ollessa matala. Asetetuissa olosuhteissa 50 mm eristepaksuus oli ainoa, jolla ei syntynyt kastepistettä

maanvastaisen seinän yläosassa. Kosteuden tiivistyminen tälläkin eristepaksuudella on mahdollista talvella, kun maan lämpötila laskee lähelle 0°C. Seinän alaosassa lämpötila on korkeampi, joten siinä kohtaa kastepistettä ei syntynyt yhdelläkään tutkitulla sisäpuolisella eristemateriaalilla.

Lämmöneristyslaasti soveltuu hyvin käytettäväksi esimerkiksi silloin, kun ulkopuolella on jo olemassa lämmöneristys tai jos tilan käyttötarkoitus ei vaadi kovin tehokkaita lämmöneristysominaisuuksia. Materiaalin diffuusiovastus on myös suurempi kuin muilla tässä työssä esitetyillä sisäpuolisilla lämmöneristeillä, joten sillä voi olla vaikutusta rakenteen kuivumiseen.

Laavamineraali on uusi lämmöneristemateriaali, josta ei ole vielä Suomesta käyttökokeuksia. Sillä on hyvin voimakas vedenimukyky, jonka avulla levy pystyy siirtämään seinän takana olevaa kapillaarivettä kuivempaan sisäilmaan. Materiaalin vesihöyrynläpäisevyys on myös hyvä, mutta ei kuitenkaan niin hyvä kuin kalsiumsilikaattilevyllä. Ominaisuuden vaikutuksesta kellarin seinän kuivumiseen tulisi tutkia vielä lisää.

Kalsiumsilikaattilevyn toimintaa kellarin seinien sisäpuolisessa lämmöneristämässä on tutkittu myös aikaisemmin. Rakenteen lämpötila- ja kosteusolosuhteet on simuloitu Delphin 5.8.3-ohjelmalla FRAME-hankkeessa, jonka jälkeen kyseisen rakenteen kuivumista ja homeenkasvua arvioitiin homemallin avulla (Heiskanen 2015, 21–25). Lämmöneristyslaastista ja laavamineraalilevystä ei löytynyt tutkimustuloksia, joiden avulla voitaisiin arvioida rakenteen kuivumista. Vastaavanlaisten simulaatioiden ja homemallin mukaisten tutkimusten avulla saataisiin lisävarmuutta uusien sisäpuolisten lämmöneristysmateriaalien käyttöön. Tällä hetkellä lämmöneristyslaastin ja laavamineraalilevyn käyttö kosteusteknisesti hankalissa kohteissa, vaatii vielä lisätutkimuksia.

## LÄHTEET

Ardex Oy. 2016. Lattia-seinäliittymän tiivistys. Viitattu 10.03.2018. <http://www.ar-dex.fi/wp-content/uploads/2016/12/Lattia-sein%C3%A4liittym%C3%A4n-tiivistys-DET1.pdf>

Asumisterveyden soveltamisohje. 2016. Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto Valvira. Julkaistu 18.02.2016. Päivitetty 08.09.2016. Luettu 10.03.2018. <http://www.valvira.fi/ymparistoterveys/terveydensuojelu/asumisterveys>

Björkholtz, D. 1997. Lämpö ja kosteus. Rakennusfysiikka. 2. Painos. Helsinki: Rakennustieto Oy.

C4 lämmöneristys. 2003. Ympäristöministeriön asetus lämmöneristyksestä. Ohjeet 2003. Julkaistu 30.10.2002. <https://www.finlex.fi/data/normit/1931/C4s.pdf>

D.O.F.tech Oy. 2018. DOF -Lämpö. Luettu 01.02.2018. <http://www.doftech.fi/www/index.php?lang=fin&page=proglampo>

Finnfoam. 2017. Finnfoam lämmöneristyslevyjen tekniset tiedot. <https://www.finnfoam.fi/tuotteet/finnfoam-eristelevyt/ominaisuudet/>

Heiskanen, R. 2015. Maanvastaisten seinien sisäpuolinen lisälämmöneristäminen. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö.

Kellarin seinät. 2008. Sisäilmayhdistys ry. Luettu 03.03.2018. <http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kunnossapito-ja-korjaaminen/Maanvastaiset-rakenteet/Kellarin-seinat>

Kosteuskatko. Sulin Oy. Luettu 28.2.2018. <http://www.sulinoy.fi/sivu.asp?sivu=1005>

Kärki J-P. & Öhman H. 2007. Homevaurioiden korjausopas. Kuopion yliopisto.

Lindberg, R. 2004. Rakennusosien rakennusfysikaalinen toiminta. Rakentajain kalenteri. Luettu 20.02.2018. [https://www.rakennustieto.fi/bin/get/id/631CStSjs%3A\\$47\\$RK040302\\$46\\$pdf/RK040302.pdf](https://www.rakennustieto.fi/bin/get/id/631CStSjs%3A$47$RK040302$46$pdf/RK040302.pdf)

Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132

Mäkiö, E., Malinen, M., Neuvonen, P., Sinkkilä, J., Tuunanen, A-M. & Saarenpää, J. 2016. Kerrostalot 1940–1960. 2. Painos. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Mäkiö, E., Malinen, M., Neuvonen, P., Vikström, K., Mäenpää, R., Saarenpää, J. & Tähti, E. 2016. Kerrostalot 1960–1975. 2. Painos. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Nieminen, J. & Virta, J. 2016. Rakennusten lisälämmöneristäminen. 1. Painos. Kiinteistöalan Kustannus Oy ja Ympäristöministeriö.

Palviainen, T. 2009. Maanvastaisten rakenteiden kosteuden hallinta sisäpuolisilla korjausmenetelmillä. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö.

Ratu 82-0347. 2009. Asbestia sisältävien rakenteiden purku. Helsinki: Rakennustieto Oy.

RIL 107-2012. 2012. Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RIL 225-2004. 2004. Rakennusosien lämmönläpäisykertoimien laskenta. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RIL 250-2011. 2011. Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RT 18-11238. 2016. Homevaurioituneet rakenneosan puhdistusohje. Helsinki: Rakennustieto Oy.

RT 18-11245. 2016. Haitta-ainetutkimus. Rakennustuotteet ja rakenteet. Rakennustuotteet ja rakenteet. Helsinki: Rakennustieto Oy.

RT 18-11246. 2016. Asbesti rakentamisessa. Helsinki: Rakennustieto Oy.

RT 83-10955. 2009. Perustusten ja perusmuurien veden- ja kosteudeneristys. Helsinki: Rakennustieto Oy.

RVP-S-RF-67. 2017. Fise virhekortit: Kellarin seinän sisäpuolisen lämmöneristyksen vaurioituminen. Julkaistu 11.10.2017. Luettu 14.03.2018. <http://fise.fi/virhekortti/kellarin-seinan-sisapuolisen-lammoneristyksen-vaurioituminen/>

Siikanen, U. 2014. Rakennusfysiikka. Perusteet ja sovelluksia. Helsinki: Rakennustieto Oy

Sulin Oy. Silikaattilevy rakenne Keim iPor. Viitattu 3.3.2018. <http://www.sulinoy.fi/sivu.asp?sivu=833>

Sweco Finland Oy esittely. Luettu 03.02.2018.

Tiivistalo 2016. Alapohjan liitoksen tiivistysratkaisut. Luettu 05.03.2018. <http://www.tiivistalo.fi/alapohjan-ja-ulkoseinan-liitokset-2/>

Technisches merkblatt. 2018. Keim iPor-Lava-Raumklimaplatte. Viitattu 6.3.2018. [https://www.keim.com/fileadmin/user\\_upload/download-center/de/technische-merkblaetter/keim-ipor-lava-raumklimaplatte.pdf](https://www.keim.com/fileadmin/user_upload/download-center/de/technische-merkblaetter/keim-ipor-lava-raumklimaplatte.pdf)

ThermiSol. 2016. EPS-tuotteiden ominaisuudet. Luettu 01.03.2018. <http://www.thermisol.fi/eristeet/eps.html#tuoteominaisuudet>

Tunnista ja tutki riskirakenne. 2012. Pientalojen riskirakenteet. Opetusmateriaali. Kosteus- ja hometalkoot. Tulostettu 12.02.2018. <http://www.hometalkoot.fi/file/15814.pdf>

Weber. 2018. Weber.therm 507. Luettu 20.02.2018. <http://www.e-weber.fi/tekniset-laastit-sisaeilmakorjaus/tuotteet/saneerauslaastit/webertherm-507.html>



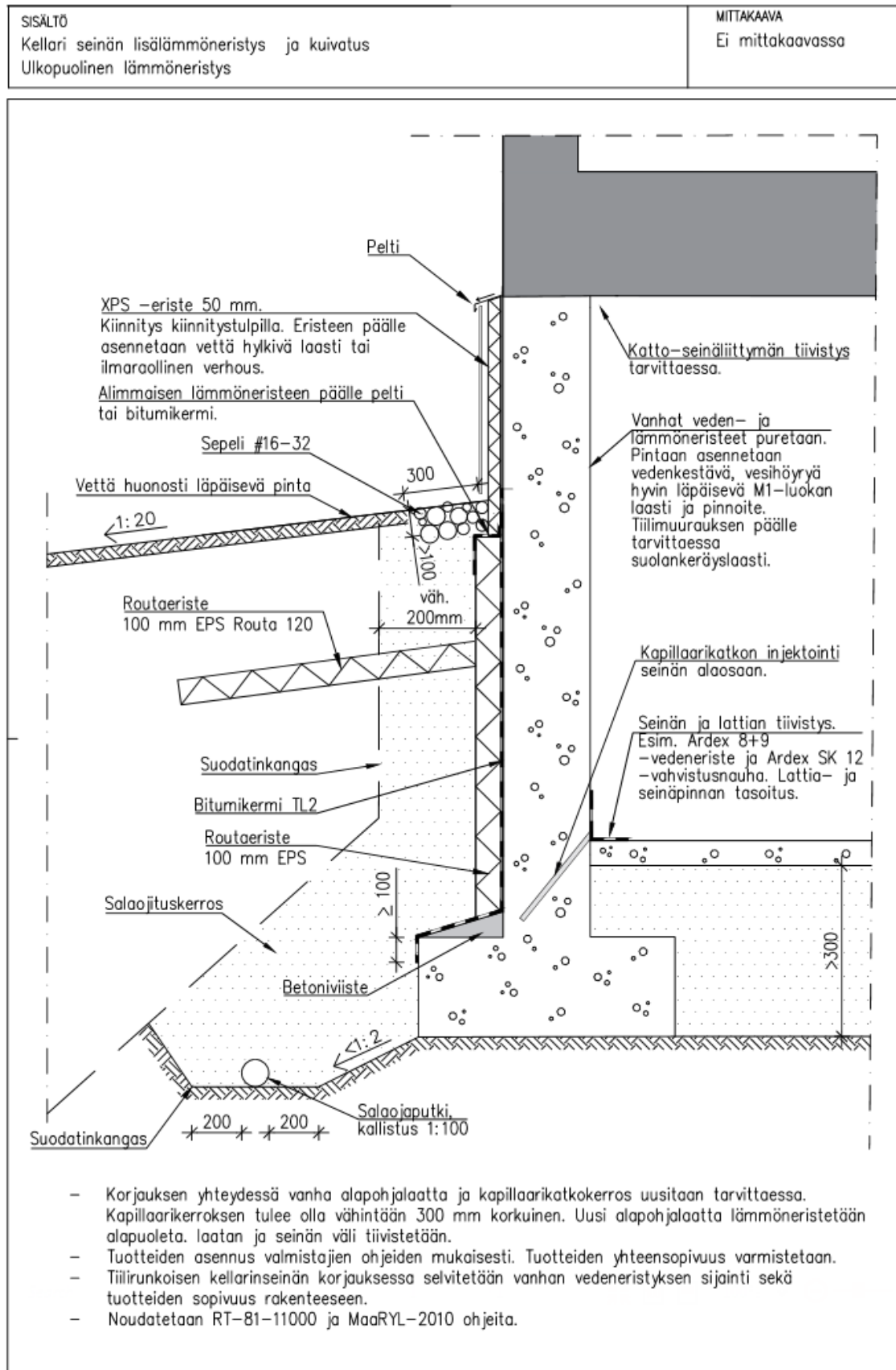
Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä 27.2.2013. 4/13.

Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta 24.11.2017/782.

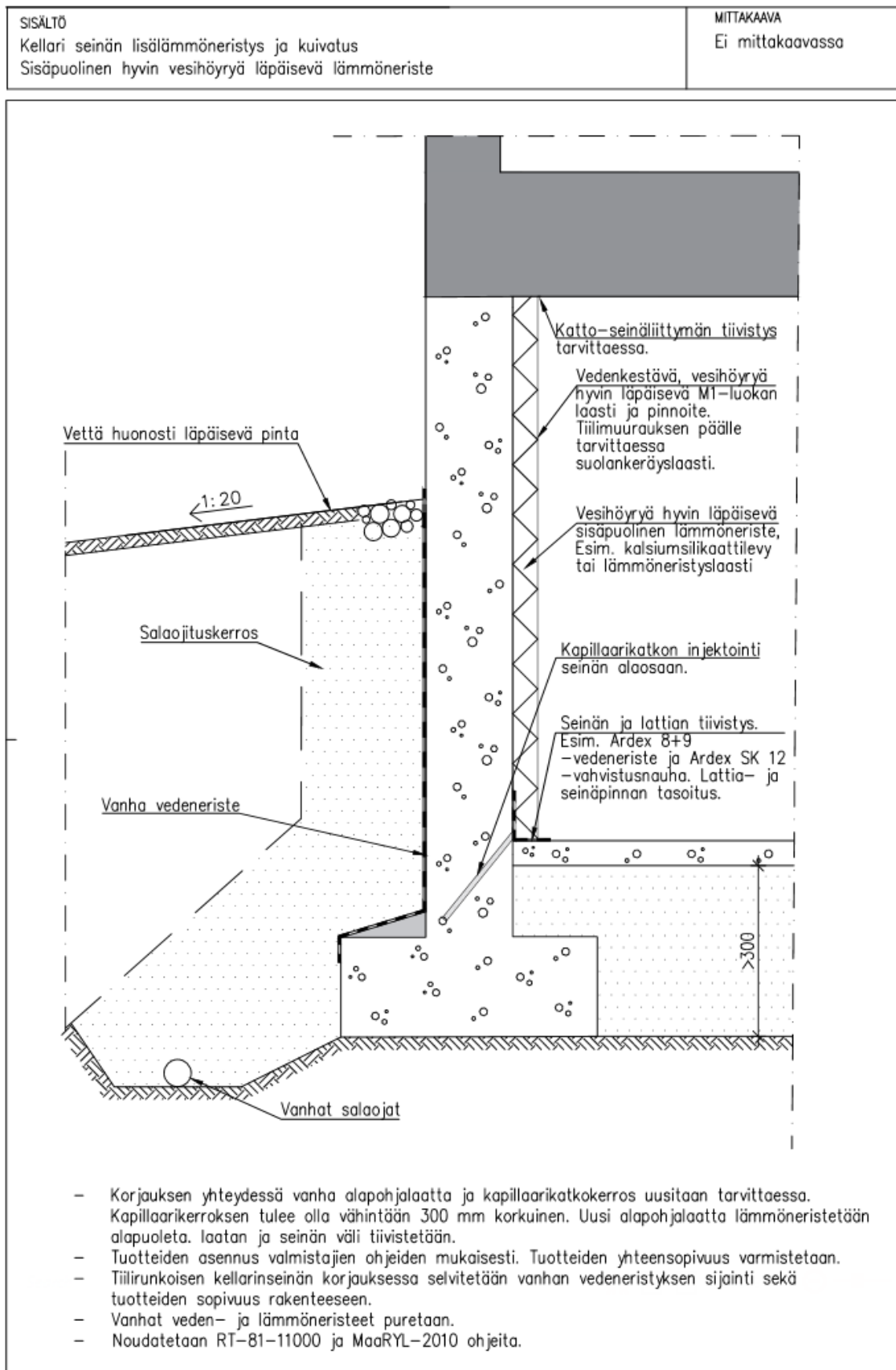
Ympäristöministeriö. 2016. Ympäristöopas 2016. Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. Helsinki.

## LIITTEET

## Liite 1. Kellarin seinän ulkopuolinen lämmöneristys



## Liite 2. Kellarin seinän sisäpuolinen lämmöneristys



## Liite 3. Kellarin seinän ulko- ja sisäpuolisen lämmöneristyksen yhdistelmä

