

Tony Kataja

# Maanvastaisten seinien sisäpuolinen korjaaminen

Opinnäytetyö  
Rakennustekniikka

2019



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**

<b>Tekijä/Tekijät</b>	<b>Tutkinto</b>	<b>Aika</b>
Tony Kataja	Rakennusinsinööri (AMK)	Toukokuu 2019
<b>Opinnäytetyön nimi</b>		
Maanvastaisten seinien sisäpuolinen korjaaminen		61 sivua 23 liitesivua
<b>Toimeksiantaja</b>		
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu XAMK		
<b>Ohjaaja</b>		
Lehtori Jani Pitkänen Lehtori Juha Karvonen		
<b>Tiivistelmä</b>		
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää tiettyjen korjausmenetelmien soveltuvuutta rakennuksen maanvastaisten seinien sisäpuoliseen korjaukseen. Tavoitteena oli luoda toimivia korjausehdotuksia maanvastaisten seinärakenteiden kunnostamiseen.</p> <p>Vanhon rakenteiden yleisimmät ongelmat muodostuvat ulko- tai sisäpuolisen vedeneristeen vaurioitumisesta, jolloin kosteuden kulkeutuminen rakenteisiin on todennäköistä. Vanhoissa rakenteissa myös anturan ja seinän välistä puuttuva kapillaarikatko aiheuttaa seinän alapinnan kosteusvaurioitumisen. Vanhat kerrostalot on usein rakennettu hyvin lähelle toisiinsa, minkä vuoksi rakenteiden korjaaminen ulkopuolisilla menetelmillä on haasteellista. Tämän vuoksi sisäpuolisten korjausmenetelmien kehittäminen on ehdottoman tärkeää.</p> <p>Vanhon maanvastaisen seinärakenteiden tutkimisessa käytettiin WUFI 2D -ohjelmaa. WUFI:n avulla pystyttiin tarkastelemaan rakennuksessa liikkuvia kosteus- ja lämpöolosuhteita. Tutkimukseen valitun tarkastelujakson pituus oli neljä vuotta. Kosteus ja lämpösimuloinnista saatuja tuloksia tarkasteltiin VTT ja TTY:n kehittämällä suomalaisella homemallilla. Homemallin avulla voidaan tarkastella rakenteeseen muodostuvaa hometta eri lämpö- ja kosteusolosuhteissa.</p> <p>Tutkimukseen valitut rakenteet ovat vuoden 1891 luonnonkivinen perusmuuri ja vuoden 1963 teräsbetoninen maanvastainen rakenne. WUFI:lla pystyttiin tarkastelemaan pelkästään vuoden 1963 rakennetta. Ohjelma ei soveltunut luonnonkivirakenteen tutkimiseen. Vuoden 1963 rakenne on tutkimuksen tulosten mukaisesti riskirakenne. Seinärakenteen rakennekerrosten välinen lämmöneriste on jatkuvasti kostea, minkä vuoksi homeen muodostuminen rakenteessa on todennäköistä. Sisäpuolelta tehtävään korjaamiseen käytettiin kalsiumsilikaattilevyä ja kahta erilaista korjausvaihtoehtoa, jotka sisälsivät kosteussulut. Tulosten mukaan voidaan todeta, että sisäpuolisista korjausratkaisuista kosteussululla ja kevytsoraharkkomuurauksella toteutettu rakenne olisi toimivin ratkaisu. Anturan ja seinän liittymän kautta kulkeutuva kosteus osoittautui kaikissa rakenteissa ongelmaksi. Tämän vuoksi seinärakenteen alapintaan tulisi toteuttaa kapillaarikatko.</p>		
<b>Asiasanat</b>		
maanvastainen seinä, rakennusfysiikka, WUFI, simulointi		

<b>Author (authors)</b>	<b>Degree</b>	<b>Time</b>
Tony Kataja	Bachelor of Construction Engineering	May 2019
<b>Thesis Title</b>		
Repairing Basement Walls Inside a Building		61 pages 23 pages of appendices
<b>Commissioned by</b>		
South-Eastern Finland University of Applied Sciences		
<b>Supervisor</b>		
Jani Pitkänen, Senior Lecturer Juha Karvonen, Senior Lecturer		
<b>Abstract</b>		
<p>The aim of this thesis is to find out the suitability of certain repair methods for repairing basement walls inside a building. The goal was to create functional repair methods for basement walls inside a building.</p> <p>The most common problems with old basement structures are moisture problems, when moisture penetrates into structures due to damage of moisture barriers. The lack of capillary breaks between foundation and wall causes moisture damages on the bottom of the wall. Old apartment buildings have been built close to each other, which makes it difficult to repair basement walls outside the building. This is the reason why the development of repair methods is important.</p> <p>The hygrothermal simulation of basement walls was simulated using WUFI 2D software. The length of the reference period for the survey was four years. The hygrothermal simulation results have been examined with the Finnish mould growth model. The model can be used to view mould growth in different humidity and heat conditions.</p> <p>The investigated structures were a natural stone fundament of 1891 and of 1963's reinforced concrete basement wall. Only the structure of 1963 was possible to explore, because the program was not suitable for the simulation of natural stone fundament. Based on the simulation of the 1963's basement wall was a risky structure. The thermal insulation between the bearing courses of the wall structure was constantly moist, causing strong mould formation. Calcium silicate board and two different types of moisture barrier repairs were used in the repairing of structures. According to the results, the best way to repair a basement wall inside a building is to use a moisture barrier and block of lightweight aggregate concrete. The point of contact between foundation and wall was the problem in every structure. Therefore, a capillary break should be installed to the bottom of the wall.</p>		
<b>Keywords</b>		
basement wall, building physics, WUFI, simulation		

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	RAKENNUSFYSIKKA.....	8
2.1	Lämpö.....	8
2.1.1	Johtuminen .....	9
2.1.2	Konvektio .....	10
2.1.3	Säteily .....	10
2.2	Kosteus.....	12
2.2.1	Kapillaarisuus .....	14
2.2.2	Diffuusio.....	15
2.2.3	Rakennekosteus .....	17
2.2.4	Hygroσκοoppisuus .....	18
3	VANHAT MAANVASTAISET SEINÄRAKENTEET .....	20
3.1	Luonnonkivinen perusmuuri 1891 .....	20
3.2	Vuoden 1963 teräsbetoninen maanvastainen rakenne.....	21
3.3	Maanvastaisten rakenteiden yleisiä kosteusvaurioita .....	22
4	MAANVASTAISTEN SEINIEN ULKOPUOLINEN KORJAAMINEN .....	24
5	SISÄPUOLINEN MENETELMÄ.....	30
6	TUTKIMUSMENETELMÄT .....	33
6.1	WUFI .....	33
6.1.1	WUFI:n laskennalliset perustiedot .....	33
6.1.2	Alkuolosuhteet .....	34
6.2	Maaperän vaikutus simulointiin.....	36
6.3	Suomessa käytetyt ilmastotiedot .....	38
6.3.1	Viistosade .....	40
6.3.2	Sisäpuoliset olosuhteet.....	42
6.4	Analysoiminen .....	44
6.5	Homemalli.....	44

7	TULOKSET.....	48
7.1	Alkuperäinen rakenne.....	48
7.2	Kalsiumsilikaattilevy.....	50
7.3	Kevytsoraharkko ja kosteussulku.....	51
7.4	XPS ja kevytsoraharkko ja kosteussulku .....	52
8	POHDINTA.....	55

## LIITTEET

Liite 1. Simuloinnissa käytetyt materiaaliarvot.

Liite 2. U-arvojen laskennassa käytetyt lämmönjohtavuusarvot.

Liite 3. Simuloinnin tulokset.

Liite 4. Rakennetyypit.

## LYHENTEET JA MERKINNÄT

$T$	Lämpötila	K
$\gamma$	Vakio	-
$\alpha$	Absorptiokerroin	-
$\rho$	Heijastuskerroin	-
$\lambda$	Lämmönjohtavuus	W/(K·m)
$d$	Paksuus	m
$q$	Lämpövirran tiheys	W/m <sup>2</sup>
$\tau$	Läpäisykerroin	-
$\sigma_w$	Veden pintajännitys	N/m
$\theta$	Kontaktikulma	°, rad
$r$	Säde	m
$\rho_w$	Veden tiheys	kg/m <sup>3</sup>
$g$	Maan vetovoiman kiihtyvyys	m/s <sup>2</sup>
$g$	Kosteusvirran tiheys	kg/(m <sup>2</sup> ·s)
$D$	Diffuusiokerroin	m <sup>2</sup> /s
$v$	Vesihöyrypitoisuus	kg/m <sup>3</sup>
$x$	Pituus	m
$\delta_v$	Vesihöyrynläpäisevyys	m <sup>2</sup> /s
$v_1$ & $v_2$	Kosteuspitoisuus	kg/m <sup>3</sup>
$S$	Viistosademäärä	kg/m <sup>2</sup>
$u$	Tuulennopeus	m/s
$u_0$	Vesipisaran laskeutumisenopeus	m/s
$N$	Vaakapinnan sademäärä	kg/m <sup>2</sup>
$t$	Aika	s
$R$	Lämmönvastus	m <sup>2</sup> ·K/W

## 1 JOHDANTO

Rakennuksissa on ollut vuosien saatossa runsaasti kosteusongelmia maanvastaisissa rakenteissa. Tämän työn tarkoitus oli tutkia muutamia tapauksia maanvastaisten seinärakenteiden osalta. Pääpaino tarkasteluissa on erilaisten korjausmateriaalien käyttö sekä niiden rakennusfysikaalinen toiminta. Kerrostalojen maanvastaisten seinärakenteiden korjaaminen on hyvin raskas ja kallista toimenpide, jos se toteutetaan ulkopuolisilla menetelmillä. Tämän vuoksi on tässä työssä myös tarkasteltu maanvastaisten seinärakenteiden sisäpuolisia korjausmenetelmiä.

Vanhojen maanvastaisten rakenteiden ongelmat johtuvat suurimmilta osiltaan ulko- tai sisäpuolisen vedeneristeen rikkoutumisesta, jolloin ulkopuolinen kosteus pääsee tunkeutumaan rakenteisiin ja sitä myöten sisätiloihin. Lisäksi anturan kautta kulkeutuva kosteus aiheuttaa kapillaarisen veden nousemista perustuksiin ja sitä kautta myös sisäpuolisten rakenteiden pinnoille. Vanhojen rakenteiden lämmöneristäminen kellarikerroksissa on toteutettu usein rakennekerrosten väliin, niin sanottuna sisäkuorirakenteena. Kapillaarinen vesi ja ilmankosteuden tiivistyminen ja kerääntyminen aiheuttaa usein eristemateriaaleille homevaurioita. Siksi edellä mainittujen rakenteiden tarkasteleminen ja korjaustöiden systemaattinen pohdinta on tarpeellista. (RIL 255-1-2014, 168-169.)

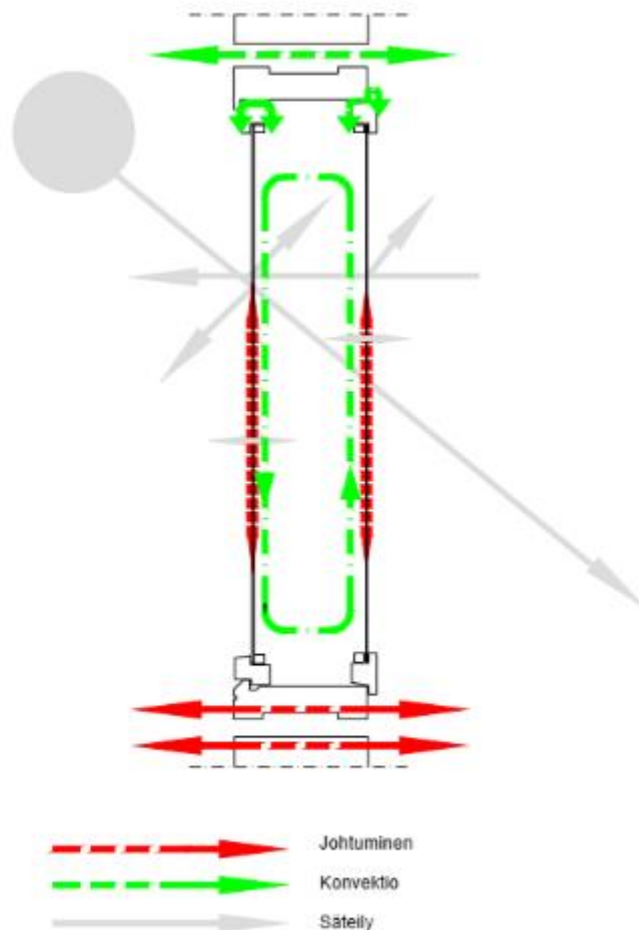
Nykyiset suunnittelumenetelmät ohjelmistosovelluksineen poikkeavat runsaasti 50–100 vuoden takaisesta suunnittelu työstä. On mielenkiintoista lähteä tutkimaan vanhoja maanvastaisia rakenteita ja niiden rakennusfysikaalista toimintaa nykymateriaaleilla ja menetelmillä. Varsinkin rakennusfysiikan merkitys ja osaamisen kehittäminen ovat motivaationa aiheen valitsemiseen.

## 2 RAKENNUSFYSIKKA

Rakennusfysiikassa keskitytään rakennuksen lämpö ja kosteusteknisiin toimintoihin. Nykypäivänä suurin osa rakenteiden ongelmista muodostuu rakennusfysikaalisista tekijöistä ja rakenteiden suunnittelusta. Rakennusfysiikan merkitys korostuu korjausrakentamisessa. (Rakentajain kalenteri 2017, 271.)

### 2.1 Lämpö

Lämpö on molekyylien ja atomien värähtelystä muodostuvaa liikettä. Lämmön siirtyminen tapahtuu kolmessa eri muodossa: konvektiona, säteilynä ja johtumalla. (Siikanen 2014, 40; Leivo & Rantala 2006, 18.)



Kuva 1. Lämmön siirtyminen ikkunassa. (Siikanen 2014, 40)



### 2.1.1 Johtuminen

Johtuminen tarkoittaa lämmönvirtaamista, jossa lämpö pyrkii tasoittumaan aina kylmempää ainetta kohtaan. Lämmönvirtaaminen tapahtuu liike-energian avulla molekyylistä toiseen. Lämmönvirtaamista tapahtuu kiinteässä ja neste-mäisessä aineessa. (Siikanen 2014, 40.)

Kuuman ja kylmän ilman tasoittumisnopeus  $q$  voidaan määrittää kaavalla 1 (Björkholtz 1997, 12):

$$q = \lambda \cdot \frac{t_1 - t_2}{d} \quad (1)$$

jossa	$q$	lämpövirran tiheys	[W/m <sup>2</sup> ]
	$\lambda$	lämmönjohtavuus	[W/K · m]
	$t_1 - t_2$	materiaalien yli vallitseva lämpötilaero	[K]
	$d$	materiaalin paksuus	[m]

Lämmönvastuksen ( $R$ ) suhde on  $d/\lambda$  ja sen kaavaksi saadaan (SFS-EN ISO 6946:2017, 11):

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (2)$$

jossa	$R$	lämmönvastus	[ $\frac{m^2 \cdot K}{W}$ ]
-------	-----	--------------	-----------------------------

Mikäli rakennuksessa on useampia homogeenisiä kerroksia, voidaan kaava kirjoittaa muotoon:

$$q = \frac{t_1 - t_2}{\Sigma m} \quad (3)$$

### 2.1.2 Konvektio

Konvektiossa lämpö liikkuu virtauksena nesteen tai kaasun muodossa. Konvektiota tavataan kahdessa eri muodossa: on luonnollista ja pakotettua konvektiota. Luonnollisessa konvektiossa neste tai kaasu liikkuu lämpötilojen tiheyserojen vaikutuksesta ja pakotetussa konvektiossa liike tapahtuu ulkopuolisten voimien avulla. Rakenteissa esiintyy useimmiten luonnollisen ja pakotetun konvektion yhdistelmiä, jossa rakennuksen sisätiloissa tapahtuva liikehdintä ja ilmanvaihto muodostavat sisäpuolisesti pakotettuja virtauksia. Rakennuksen ulkopuoliset virtaukset muodostuvat pääsääntöisesti tuulesta. (Björkholtz 1997, 13.)

### 2.1.3 Säteily

Jokainen kappale vastaanottaa ja luovuttaa säteilyä jatkuvasti. Säteilyn emission intensiivinen teho on verrannollinen suureeseen  $T^4$ , jossa  $T$  on termodynaaminen lämpötila [K]. Säteilyn lämpövirran tiheys on  $q$ , joka voidaan määrittää kaavasta (Burström 2007, 33.):

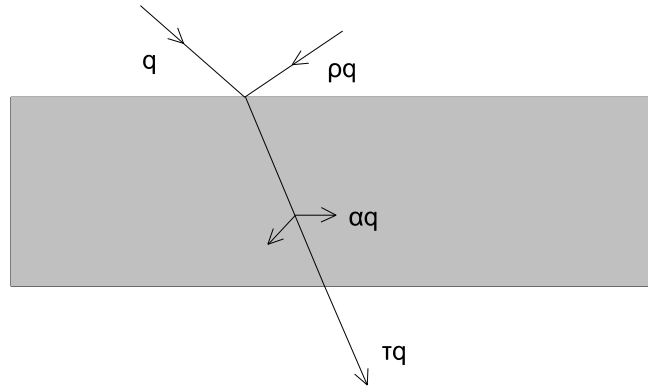
$$q = \gamma \cdot T^4 \quad (4)$$

jossa  $\gamma$  vakio, joka riippuu pinnan rakenteesta ja väristä

Yhtälö 4 ilmaisee kokonaislämpövirran tiheyden, joka on integroitu koko aallonpituudelle. Mitä korkeampi termodynaaminen lämpötila on, sitä suurempi on lämpövirran tiheyden lyhytaaltoisen säteilyn osuus. Riittävän suuressa lämpötilassa osa säteilystä muuttuu lyhytaaltoiseksi, minkä takia se näkyy pinnan hehkuntana. (Burström 2007, 33.)

Materiaaliin kosketuksessa oleva kokonaislämpövirran tiheyden osa  $\alpha$  absorboituu lämpönä, kun taas osa  $\rho$  heijastuu ja osa  $\tau$  läpäisee (kuva 2). Toisin sanoen lämpövirta kulkee kappaleen läpi ja palaa toiselta puolelta ulos säteilyinä. Valon läpäisykerroin vaihtelee aallonpituusalueen mukaisesti. Useimpien rakennusmateriaalien valon läpäisykerroin on nolla. Lasilla kerroin on kuitenkin lähempänä yhtä valon läpäisevyyden takia. Kertoimen arvo vaihtelee kuitenkin

aallonpituuden mukaan. Esimerkiksi pitkäaaltoisessa säteilyssä lasin kerroin on nolla. Tämä on tärkeää esimerkiksi rakennusten lämmityskustannusten kannalta. Lasi estää lämpösäteilyn kulkeutumisen ulospäin, vaikka se päästää sisään auringonvalon, joka sisältää myös lämpöä. (Burström 2007, 33.)



Kuva 2. Levyn sisään tulevasta lämpövirrasta osa  $\rho$  heijastuu, kun taas osa  $\alpha$  absorboituu materiaaliin ja osa  $\tau$  läpäisee. (Burström 2007, 33)

Valon läpäisykerroin voidaan määrittää kaavan 5 mukaan:

$$\tau = 1 - \alpha - \rho \quad (5)$$

jossa	$\tau$	(valon) läpäisykerroin	[-]
	$\alpha$	absorptiokerroin	[-]
	$\rho$	heijastuskerroin	[-]

Säteilyn avulla lämpö siirtyy toisiaan kohti suunnattujen pintojen välillä (kuva 3). Lämpövirran tiheys  $q$  [W/m<sup>2</sup>] voidaan määrittää kaavalla (Burström 2007, 34.):

$$q = konst (T_1^4 - T_2^4) \quad (6)$$

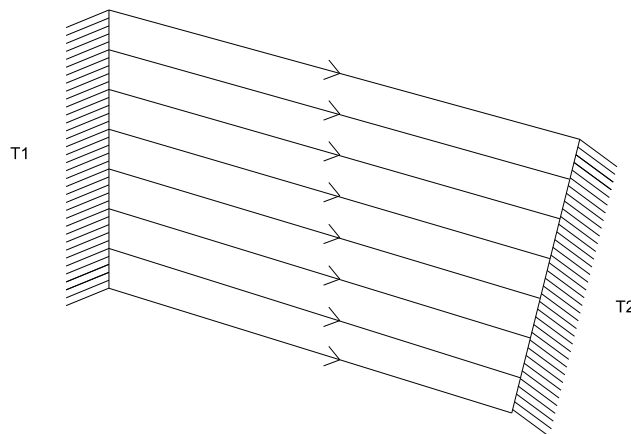
Tässäkin vakion (konstant) arvo riippuu pintojen kulmista ja niiden suunnista toisiinsa nähden. Tähän vaikuttavat myös pintojen värit ja rakenteet. Edellä mainittua kaavaa voidaan tarkentaa edelleen (Burström 2007, 34.):

$$q = konst \cdot (T_1 - T_2)(T_1 + T_2)(T_1^2 + T_2^2) \quad (7)$$

$$q = 4 \cdot konst \cdot T_{med}^3 \Delta T \quad (8)$$

$$T_{med} = \frac{T_1 + T_2}{2} \quad (9)$$

$$\Delta T = T_1 - T_2 \quad (10)$$



Kuva 3. Lämpösäteily. (Burström 2007, 34)

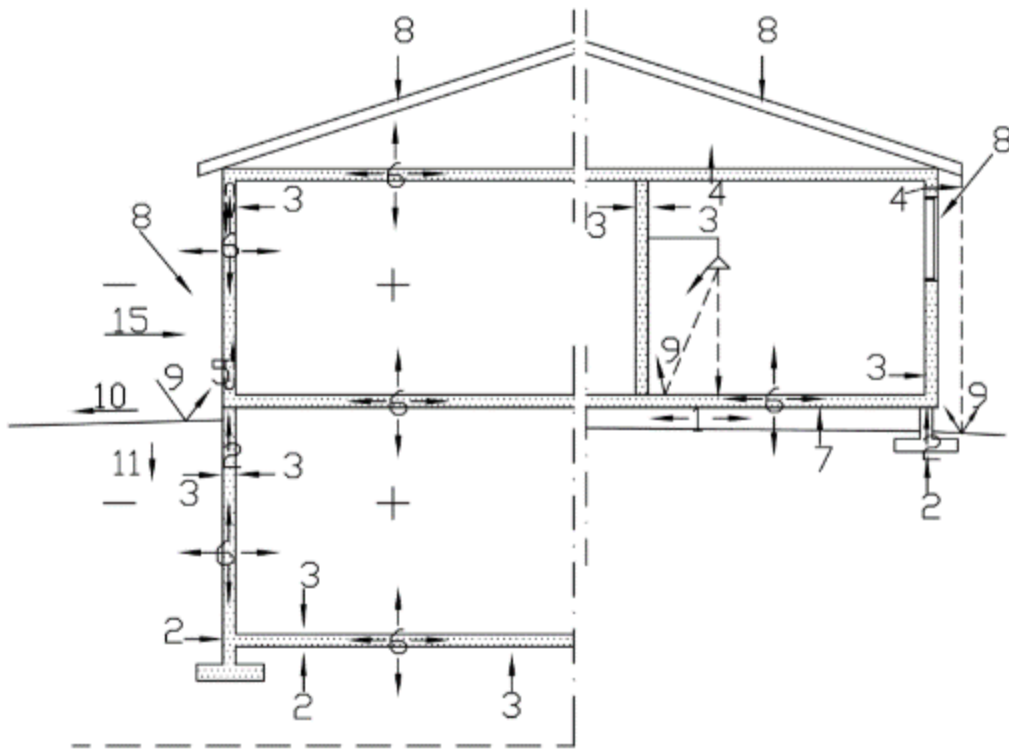
Säteilyn muodostama kahden pinnan välinen lämpövirtaus on siten verrannollinen lämpötilan muutokseen  $T^3$ . Lämmönsiirtyminen säteilyn avulla tapahtuu myös sisämateriaaleissa etenkin huokoisten seinien välillä. (Burström 2007, 34.)

## 2.2 Kosteus

Kosteus on kemiallisesti sitoutumatonta vettä (Siikanen 2014, 65).

Kosteuden kannalta merkittävintä on veden esiintyminen kolmessa eri muodossa, vesihöyrynä, nesteinä ja jäänä. Maaperässä tulee huomioida myös

vesipitoisuuden suuruus pohjaveden pinnan yläpuolellakin. Pohjaveden pinnan yläpuolisenkin maaperän kosteus voi olla myös huomattavan suuri. Maanvastaisissa rakenteissa vesi pyrkii siirtymään kapillaarisesti ja painovoiman avulla. Vesihöyry liikkuu pääosin diffuusiona, mutta se voi myös liikkua konvektion avulla. (Leivo & Rantala 2006, 18-19.)



Kuva 4. Rakennukseen kohdistuvat kosteusrasitteet. (Siikanen 2014, 65)

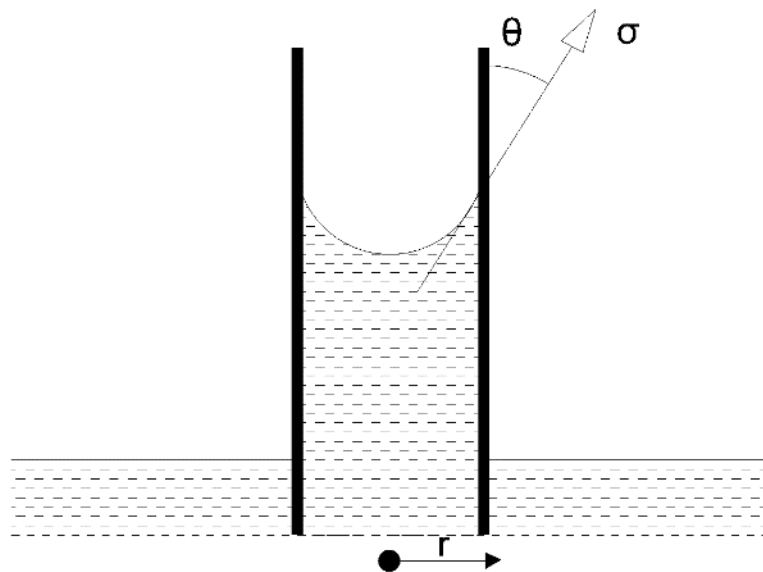
Rakennuksien tyypilliset kosteusrasitteet on esitetty kuvassa 4.

- 1. ilmakestä (absoluuttinen ja suhteellinen)
- 2. kapillaarinen vedenliike
- 3. diffuusio
- 4. pakotettu konvektio
- 5. luonnollinen konvektio
- 6. rakennekosteus
- 7. maasta haihtuva kosteus
- 8. sade (vesi, lumi ja räntäsade)
- 9. roiskevesi
- 10. pintavesi
- 11. vajovesi
- 12. pohjavesi
- 13. sisäpuolinen vedenpaine
- 14. vuodot
- 15. tuuli

### 2.2.1 Kapillaarisuus

Kapillaarista ilmiötä voidaan tarkastella kolmen muuttujan osalta, joita ovat vesi, ilma ja huokoinen materiaali. Kapillaarinen ilmiö saa alkunsa koheesiosta, joka muodostuu vesimolekyylien välille, kun huokoinen materiaali on kosketuksessa veden kanssa ja vesi imeytyy huokoiseen materiaaliin. Veden kapillaariseen liikkeeseen vaikuttaa huokos-alipaineen suuruus, joka muodostuu kapillaaristen voimien aiheuttamana. Pienemmissä huokosissa on suurempi huokos-alipaine. Kapillaarinen vedenliike voi materiaalin huokosissa tapahtua pysty- ja vaakasuunnassa. (Hens 2012, 208; YM 2016, 111.) Materiaalin ollessa vesikosketuksessa, huokosissa veden liikkuminen ei tapahdu pelkästään pienemmästä huokoisesta suurempaan päin, vaan suuremmat huokoiset imevät myös vettä pienemmistä huokosista (Hens 2012, 225).

Materiaalin kosketusta veteen voidaan kuvastaa esimerkiksi asettamalla kaapeahko putki kohtisuoraan asentoon vettä vasten. Putken sisälle työntyvä vesi muodostaa veden pinnalle pienen kaarevan osuuden. Tämä kaarevuus muodostuu nesteiden koheesivoimasta ja nesteen sekä putkenvälisestä adheesivoimasta. Veden ja lasiputken yhdistyminen keskenään nostattaa vettä putken sisällä edellä mainittujen voimien avulla. (Sandin 2010, 86.)



Kuva 5. Kapillaariputkessa tapahtuva kapillaari-imu. (Sandin 2010, 86)

Kuvan 5 mukaisesti pintajännitys muodostaa ylöspäin suuntautuvan voiman, joka imee vettä ylöspäin. Vesi imeytyy niin korkealle, että ylöspäin suuntautuvan voiman ja vedenpaineen välille muodostuu tasapaino. Nousukorkeuden tasapainosta voidaan kirjoittaa oheinen kaava (Sandin 2010, 87.):

$$H = \frac{2 \cdot \sigma_w \cdot \cos\theta}{r \cdot \rho_w \cdot g} \quad (11)$$

jossa	$\sigma_w$	veden pintajännitys	[N/m]
	$\theta$	kontaktikulma	[°, rad]
	$r$	putken säde	[m]
	$\rho_w$	veden tiheys	[kg/m <sup>3</sup> ]
	$g$	maan vetovoiman kiihtyvyys	[m/s <sup>2</sup> ]

Veden pintajännitys on riippuvainen lämpötilasta:

$$\sigma_w = 78 \cdot (1 - 0,0032 \cdot T) \cdot 10^{-3} \quad (12)$$

jossa	$T$	veden lämpötila	[K]
-------	-----	-----------------	-----

### 2.2.2 Diffuusio

Kosteuden siirtyminen diffuusion avulla tapahtuu hitaasti ja perustuu vesihöyrypitoisuserojen tasoittumiseen. Keskimääräisesti tasoittuminen tapahtuu sitä nopeammin mitä suurempi on vesihöyrypitoisuuksien välinen ero. Rakennusmateriaalien kuivumisen kannalta kosteuden kulkeutuminen diffuusiona on tärkeä tekijä. Vesihöyrypitoisuus on normaalisti sisätiloissa suurempi kuin ulkona, joten diffuusio pyrkii tasoittumaan useammin rakennuksen sisätiloista ulospäin. (Strandberg 2018, 20.)

Jokaisen diffuusiolaskelman perustana on Fickin ensimmäinen laki, jonka kaava on muotoa (Nevander & Elmarsson 2006, 397-398; Hagentoft 2001, 93):

$$g = -D \cdot \frac{dv}{dx} \quad (13)$$

jossa	$g$	kosteusvirran tiheys	$[\text{kg}/(\text{m}^2 \text{ s})]$
	$D$	diffuusiokerroin	$[\text{m}^2/\text{s}]$
	$v$	vesihöyrypitoisuus	$[\text{kg}/\text{m}^3]$
	$x$	kosteusvirran suuntainen pituus	$[\text{m}]$

Rakenteisiin kulkeutunut diffuusiosta johtuva kosteus liikkuu vesihöyryn osapaine-erojen avulla. Kosteusvirtausta tapahtuu rakenteiden ja sisäilman välillä. Kosteusvirran tiheyttä  $g$  materiaalikerroksen läpi voidaan kuvata Fickin lain mukaisella kaavalla (Hagentoft 2001, 96; Rakentajain kalenteri 2017, 300.):

$$g = -\delta_v \cdot \frac{dv}{dx} \quad (14)$$

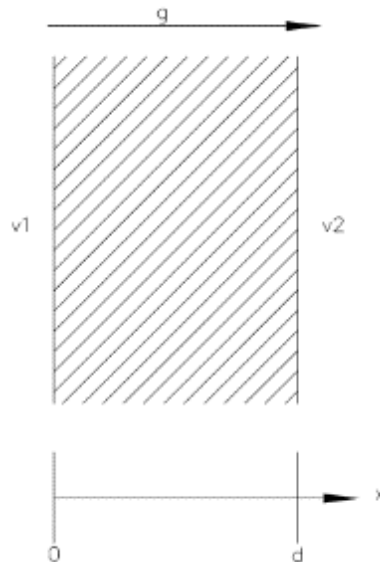
jossa	$\delta_v$	vesihöyrynläpäisevyys	$[\text{m}^2/\text{s}]$
-------	------------	-----------------------	-------------------------

Kuva 6, esittää diffuusion kulkeutumisen stationääritilassa materiaalin läpi, minkä avulla kaavaa saadaan selkeämmäksi (Hagentoft 2001, 96):

$$g = \delta_v \cdot \frac{v_1 - v_2}{d} \quad (15)$$

jossa	$v_1$ & $v_2$	kosteuspitoisuus kerroksen eri puolilla	$[\text{kg}/\text{m}^3]$
	$d$	Kerroksen paksuus	$[\text{m}]$





Kuva 6. Vesihöyryn diffuusio materiaalikerroksen läpi. (Hagentoft 2001, 97)

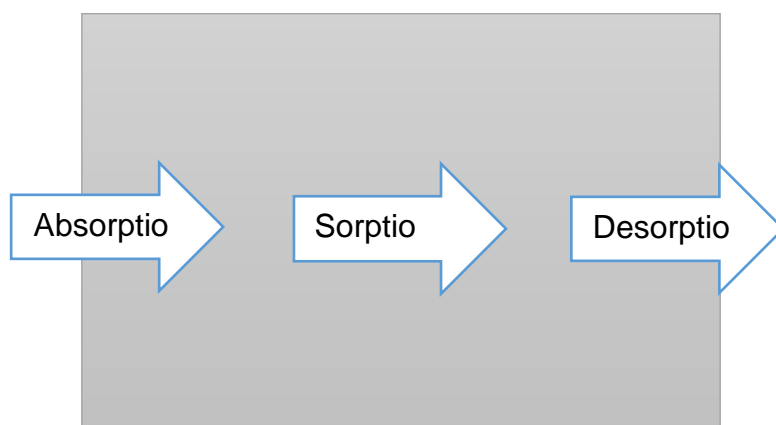
Kosteuspitoisuus vaikuttaa rakentamisessa käytettävien materiaalien vesihöyrynläpäisevyyteen. Materiaalien vesihöyrynläpäisevyyden arvo tulee valita laskelmissa oikein, jolloin pystytään arvioimaan rakenteen kosteustekninen toimivuus luotettavalla tasolla. (Rakentajain kalenteri 2017, 300.)

### 2.2.3 Rakennekosteus

Rakennekosteutta esiintyy materiaaleissa, joita on käytetty rakennuksen rakentamisvaiheessa, varastoinnissa ja tuotannossa. Rakennuskosteuden haihtumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat rakennusaika ja olosuhteet, joissa rakenteita kuivatetaan. (RIL 255-1-2014, 42; Siikanen 2014, 78.) Rakennekosteutta esiintyy muun muassa rakennusvaiheessa käytetyssä betonissa. Mikäli betonia ei kuivateta riittävästi rakentamisvaiheessa, on tuloksena useasti lattiapinnoitteiden vaurioituminen. Esimerkiksi muovimattojen vesihöyrynläpäisevyys on huono ja kuivuminen asennuksen jälkeen pysähtyy. Tämän vuoksi on tärkeää kuivattaa ylimääräinen kosteus betonista ennen betonipinnan päällystämistä. Mikäli kuivatus jätetään puutteelliseksi, voi lopputuloksena olla rakenteen kosteusvaurioituminen. (RIL 255-1-2014, 42; Ympäristöopas 29 1997, 18.) Betonin kuivatuksessa voidaan esimerkkinä todeta alapohjan paikallavalletut betonilaatat, jotka pyrkivät kuivumaan ylöspäin vesihöyryn avulla ja alaspäin diffuusion avulla. Alaspäin kuivuminen on mahdollista, mikäli alapohja rakenteessa ei ole höyrynsulkua. (Leivo & Rantala 2006, 36-38.)

## 2.2.4 Hygroσκοoppisuus

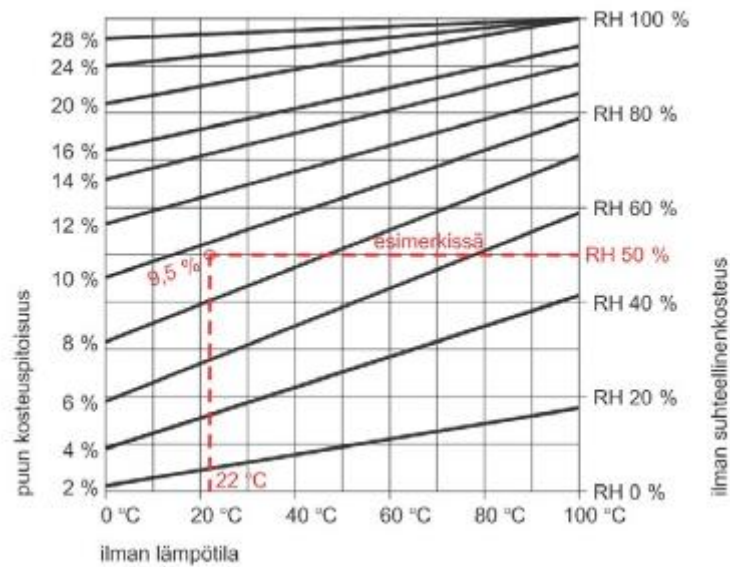
Hygroσκοoppisella materiaalilla on tapana sitoa ilman kosteutta ja luovuttaa sitä takaisin ilmaan (YM 2016, 104). Silloin, kun ilman suhteellinen kosteus ja aineen huokosten sisällä oleva ilmankosteus ovat saavuttaneet saman kosteusarvon, ilmiötä kutsutaan hygroσκοoppiseksi tasapainokosteudeksi. Hygroσκοoppinen tasapainokosteus riippuu vaihtelevista lämpötiloista ja absorptiosta (kostuminen) sekä desorptiosta eli kuivumisesta. (Björkholtz 1997, 59-60.)



Kuva 7. Aineessa tapahtuva kosteuden liikkuminen. (Siikanen 2014, 77)

Hygroσκοoppinen alue on 0–98 % välillä, kun materiaalin kosteuspitoisuus vastaa ympäröivän ilman suhteellista kosteutta. Eri materiaalien riippuvuutta ympärillä olevaan kosteuteen voidaan kuvata tasapainokosteuskäyrillä. Tasapainokosteuskäyrät muodostuvat eri lämpötiloista. Lämpötilat vaikuttavat materiaalin tasapainokosteuteen siten, että alhaisessa lämpötilassa veden sitoutuminen materiaaliin on suurempaa kuin korkeassa lämpötilassa. Tämä johtaa siihen, että kosteus kulkeutuu sisätiloissa aina kylmälle rakenteen osalle. Rakenteissa suositellaan käytettävän materiaaleja, jotka pystyvät sitomaan ympäristöstä tulevaa hygroσκοoppista kosteutta. Tällä pystytään välttämään rakennuksen toimivuuden heikkeneminen. (YM 2016, 104-105.) Hystereesi-ilmiössä kastuminen ja kuivuminen tapahtuu usein eri nopeudella, jonka vuoksi esimerkiksi puun kyseiset käyrät poikkeavat toisistaan (Leivo & Rantala 2001, 12). Hygroσκοoppisuus eroaa eri rakennusmateriaalien välillä. Puu on hyvä esimerkki materiaalista, joka toimii rajoitetusti kosteuden muutoksille, mikä mahdollistaa paremman sisäilman laadun. (Strandberg 2018, 19.) Hygro-

skoopisuutta voidaan vertailla muun muassa siten, että lisätään vettä puupohjaiseen materiaaliin noin 200 g/kg. Tämä veden määrä nostaa puupohjaisen materiaalin suhteellisen kosteuden lukemaan RH 80%:iin. Mineraalivillalla vastaava kosteusmäärä saadaan vesimäärällä 10 g/kg. (YM 2016, 105; Siikainen 2014, 77-78.)

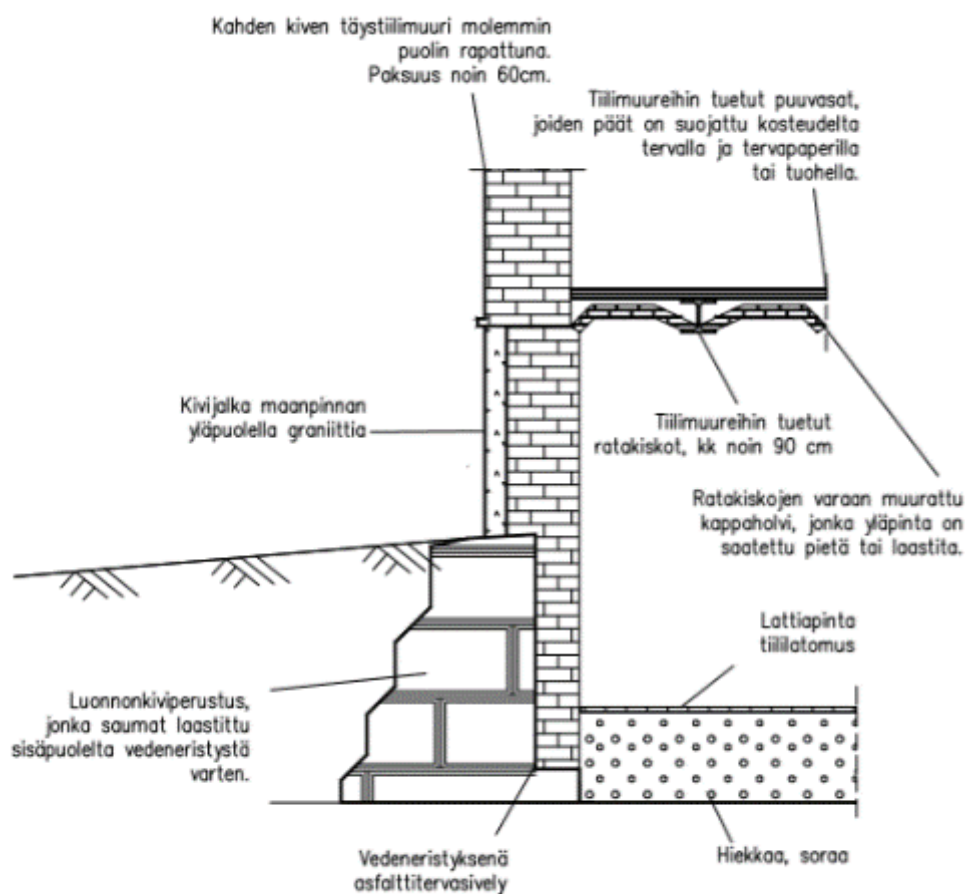


Kuva 8. Esimerkki puun tasapainokosteuskäyrästä. (YM 2016, 104)

### 3 VANHAT MAANVASTAISET SEINÄRAKENTEET

Maanvastaisten rakenteiden osiossa perehdytään ohessa vuonna 1891 rakennettuun luonnonkiviseen perusmuuriin ja vuoden 1963 rakennettuun teräsbetoniin maanvastaiseen rakenteeseen. Kappaleeseen on kuvattu myös maanvastaisten rakenteiden kosteusvaurioitumista.

#### 3.1 Luonnonkivinen perusmuuri 1891

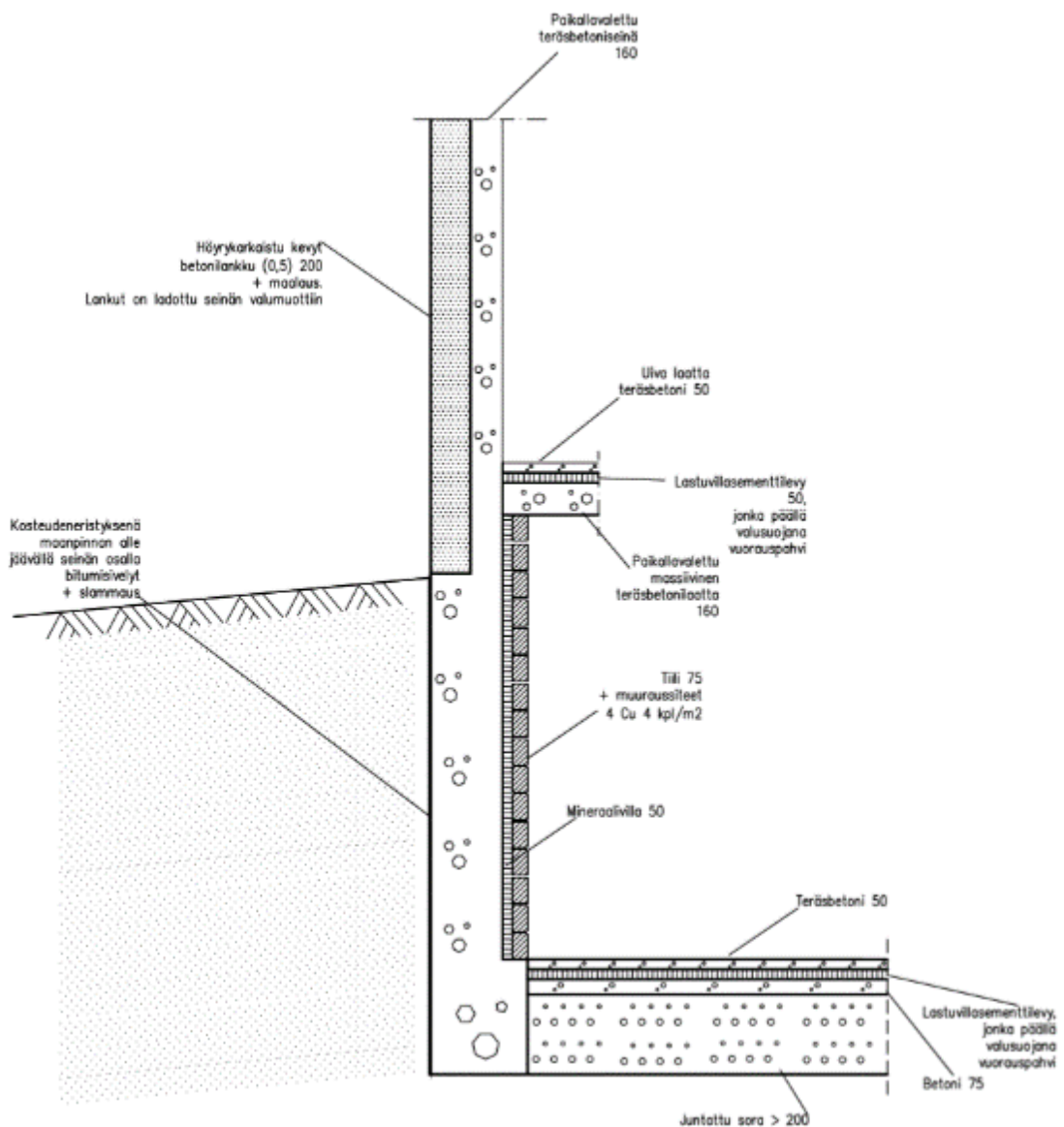


Kuva 9. Luonnonkivistä ladottu perusmuuri vuodelta 1891. (Kerrostalot 2006, 43)

Luonnonkivistä ladottua perusmuuria on käytetty tyypillisesti 1800-luvulla. Kiviladontamenetelmää käytettiin 1900-luvun alkupuolelle asti. Perusmuurin kiviai-  
neksia tuotiin luonnosta tai työmaan louhintakohteista. Perusmuurin valmistuk-  
sessa on käytetty kalkkilaastia, kylmämuurausta ja betonia. Kylmämuurauk-  
sessa kivet ladotaan päällekkäin ilman erillisiä sideaineita. Kalkkilaastia käy-  
tettäessä saatiin kivimuurista tehtyä kapeampi kuin kylmämuurauksessa.

Maanvastaisen seinän sisäpinnanmuuraus oli tehty yleensä punatiilestä. Punatiilimuuraus oli yleinen 1800-luvun puolella, 1900-luvun alkupuolella seinän sisäpinta tehtiin myös betonista. Luonnonkivistä ladotun perusmuurin vedeneristys toteutettiin sitomalla kivet toisiinsa laastilla. Useimmissa rakenteissa perusmuurin kivet käsiteltiin bitumilla tai kivihiilitervalla ennen sisäpuolista tiilimuurausta. Kuvassa 9 näkyy asfalttitervasively, joka oli yleinen menetelmä katkaista kosteudenpääsy sisätiloihin luonnonkivimuurista. (Kerrostalot 2002, 60-61.)

### 3.2 Vuoden 1963 teräsbetoninen maanvastainen rakenne



Kuva 10. Maanvastainen rakenne vuodelta 1963. (Kerrostalot 2016, 106)

Vuoden 1963 maanvastainen seinärakenne koostuu 360 mm paksusta teräs-betonista. Maan yläpuolisessa osassa seinän ulkopinnassa on höyrykarkaistu kevyt betonilankku ja sisäpuolisella osuudella teräsbetonia. Maan alapuolissa osassa seinärakenteen ulkopinnassa on kosteudeneristeenä bitumi-sively. Kellarikerroksen seinän sisäpinnassa on mineraalivilla ja tiilimuuraus. Alapohja rakenne koostuu kahdesta eri paksuisesta betonista, joiden väliin on asetettu lastuvillasementtilevy. (Kerrostalot 2016, 106.)

### **3.3 Maanvastaisten rakenteiden yleisiä kosteusvaurioita**

Maanvastaisissa rakenteissa yleisimpiä kosteusvaurioita muodostavat huonosti toimivat ja väärin asennetut salaojitukset tai niiden puuttuminen kokonaan. Perustukset on tehty runsaasti hienoainesta sisältävän kerroksen päälle, jolloin kapillaarikatko on puutteellinen perustuksen alapuolella. Vaurioitumisia aiheuttavat myös liian tiiviit materiaalipinnat, huonosti tiivistetyt läpiviennit ja rakennuksen sisäpuolisen kosteuden tiivistyminen seinärakenteisiin. (RIL 107-2012, 190; RIL 250-2011, 191; RT80-10712, 5.)

Maanvastaisten rakenteiden yleiset kosteusvaurioitumisen merkit (Hemgren & Wannfors, 63; Leivo & Rantala 2006, 50).

- Tahrat seinällä, hilseilevä maali ja tapetin irtoileminen.
- Hilseilevä rappaus tai ontto kumahdus rappaukseen kolauttaessa.
- Valkoinen sakka (suola- ja kalkkikerrokset) seinässä ja lattiassa.
- Alapohja ja seinä rakenteissa havaittavat mikrobikasvut.
- Kosteuspitoisuuden ylittäessä kriittisen rajan, josta syntyvät hajuhaitat.

Luonnonkivisen perusmuurin tyypillisimmät kosteusvauriot johtuvat tiilimuurin sisäpintaan tehtävästä kosteudeneristyksestä kuten valuasfaltista, joka ei kuitenkaan estä kosteudenpääsyä tiilimuuraukseen. 1800-luvun perusmuurin rakenteissa sisäpuolinen tiilimuuraus ulottuu maaperään asti ja sitä kautta kosteus pääsee myös kulkeutumaan rakenteisiin. (RIL 255-1-2014, 168-169.) 1900–1960-luvun alkupuolella rakennettiin betonista maanvastaisia seiniä, joiden sisäpinta usein siveltiin parantamaan kosteudeneristystä. Rakenteessa ulkopinnan betoni on jatkuvasti märkä ja tämän takia vedeneristysten tulee olla

tiivis. Useammat rakenteet ovat lämmöneristetty, joten puutteellinen kosteudeneristys aiheuttaa eristeen kostumisen. Puutteelliset salaojitukset ja pohjavedenpinnan läheisyys saattavat aiheuttaa kosteusvaurion muodostumista seinän sisämuurissa ja eristeessä. Tämä voi vahingoittaa myös rakenteissa olevia pintamateriaaleja. Ulkopuolisella bitumisivelyllä toteutetun betoniseinän kosteusvauriot johtuvat useimmiten vedeneristeen puutteellisesta tiiveydestä, jonka kautta kosteuden kulkeutuminen eristetilaan on mahdollinen. Ulko- ja sisäseinärakenne on kosketuksessa anturaan, joka on jatkuvasti alttiina kosteudelle, minkä vuoksi rakennuksen pintamateriaalit useimmiten vaurioituvat. (RIL 255-1-2014, 169.)

#### **4 MAANVASTAISTEN SEINIEN ULKOPUOLINEN KORJAAMINEN**

Tässä työssä on tutkittu kahta esimerkkiä, joilla voidaan korjata ulkopuolisesti maanvastainen seinärakenne. Ohessa painotetaan sisäpuolisia korjausmenetelmiä, joten ulkopuolisten korjausmenetelmien kehittäminen ja rakennusfysiikaalinen tarkastelu on jätetty pois työstä.

Ulkopuolinen korjausmenetelmä on kuitenkin ensisijainen suositeltava menetelmä kunnostettaessa maanvastaisia rakenteita. Tämä korjausmenetelmä ei sovellu jokaiseen kohteeseen toteutettavuuden tai kustannusten takia. Ulkopuolisen menetelmän etuna on salaojien, vedeneristyksen ja perustusrakenteiden kunnostaminen. (RIL 107-2012, 190.) Ulkopuolinen korjaaminen aloitetaan maaperän kaivu töillä, jossa varmistetaan riittävän maa-aineksen poisto perustuksen viereltä. Maa-aines voidaan kuljettaa pois työmaalta, mikäli sitä ei voida laatunsa puolesta käyttää uudelleen täyttöä varten. Seinän vierustan kaivuun yhteydessä tulee ottaa huomioon turvalliset luiskakaltevuudet. (Ratu F1-0368, 6.)

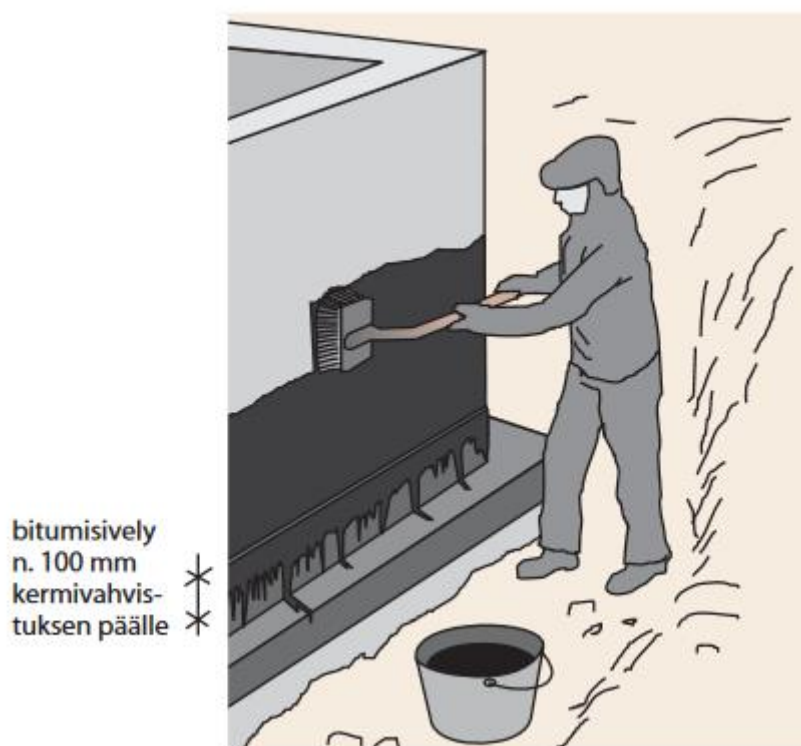
##### **Vedeneristyksen uusiminen**

Maanvastaisten seinien ulkopinnan korjauksessa tulee huomioida oikeiden materiaalien valinta. Vedeneristys voidaan toteuttaa esimerkiksi bitumisivelyllä, bitumikermillä tai perusmuurilevyllä. Oikean vedeneristyksen tyyppin valinta perustuu vallitsevaan kosteusrasitustasoon. Perustuksen pinta tulee olla kuiva, tasainen ja puhdistettu vedeneristyksen ohjeiden mukaisesti. Mikäli betonin pinta jää kosteaksi, on bitumin tarttuminen betonipintaan heikko. Seinärakenteen tulee olla alle kymmenen asteen lämpötilassa, kolme astetta lämpimämpi kuin ulkoilman, korjauksia tehdessä. Betonipinnan tasaisuus on riittävä, mikäli seinässä ei ole yli 3 mm:n korkuisia epätasaisuuksia. Seinän epätasaisuudet voidaan poistaa harjaamalla, hiomalla tai hiekkapuhaltamalla. Harkkomuurattujen perusmuurien pinta tulee tasoittaa tarkoitukseen soveltuvilla laasteilla. (Ratu F1-0368, 6; RT 83-10955, 4.)

Bitumisivelyllä toteutettu vedeneristys toteutetaan kolmessa eri vaiheessa: tartuntasively, kerminvahvistus ja bitumisively. Tartuntasivelyn tarkoituksena on täyttää huokoiset kohdat seinässä. Sivelyssä käytetään bitumiliuosta noin 0,3–



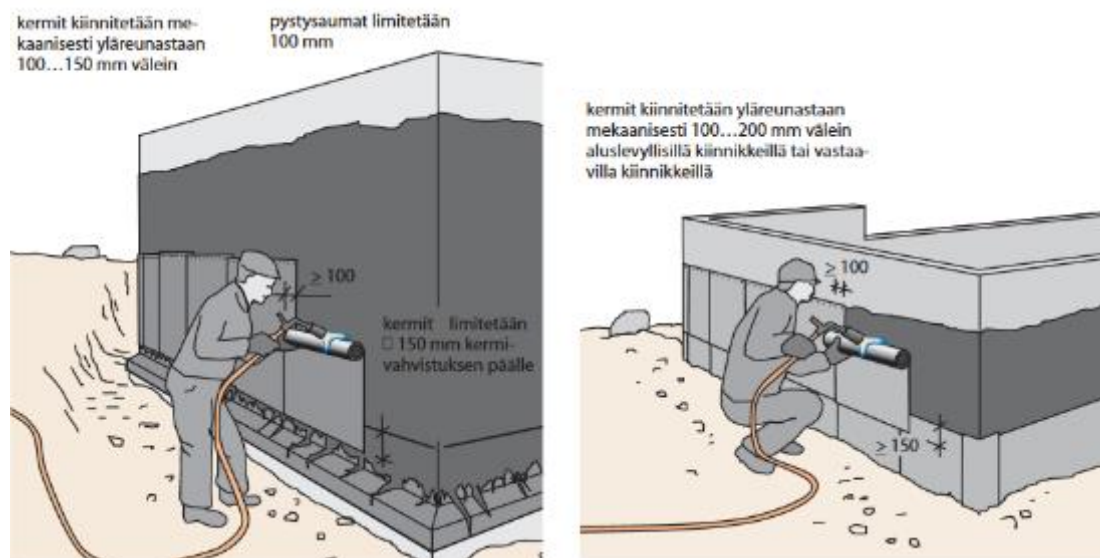
0,5 l/m<sup>2</sup>. Kermivahvistuksessa anturan ja sokkelin välinen liittymä tiivistetään kumibitumikermillä. Jatkoskohdat tulee saada asetettua tiiviiksi, jolloin kumibitumikermi asetetaan edellisen kermin päälle vähintään 100 mm:n verran. Anturan pystypinnan osuudelle tulee myös ulottaa kumibitumikermiä 100 mm:n verran. Seinärakenteen läpivientien tiivistys tehdään työnohjeiden vaatimalla tavalla. Bitumisivelyssä kerrosten määrä riippuu rakennuskohteesta. Bitumisivelyn levittämisessä on tärkeää, että seuraavan kerroksen levittäminen aloitetaan vasta edellisen kuivuttua. Sivelyn tulee ulottua anturan ja sokkelin liittokohdan kermikaistan päälle. Bitumisivelyllä toteutettuun eristeeseen ei saa jäädä ilmakuplia. (Ratu F1-0368, 6-7; RT 83-10955, 5.) Läpivientien tekemistä tulee välttää, mikäli se on mahdollista. Vedenpaineeneristyksen tulisi olla mahdollisen yhtenäinen ja tiivis, jotta kosteuden kulkeutuminen rakenteisiin estettäisiin. (RIL 255-1-2014, 163.)



Kuva 11. Havainnekuva bitumisivelyn levittämisestä. (RT 83-10955, 5)

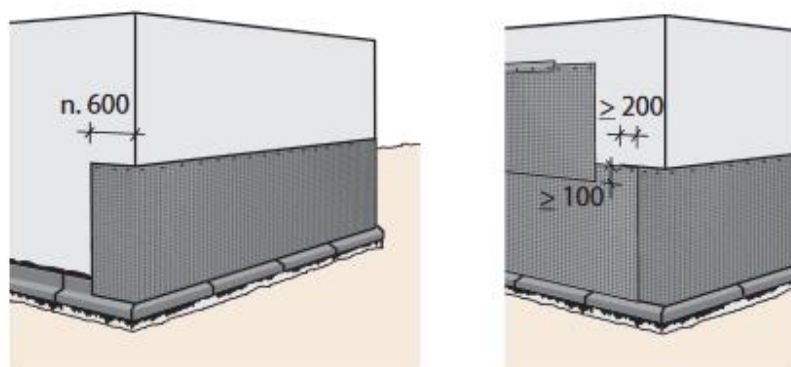
Bitumikermin asentamista ennen tulee tehdä tartuntasivelyn työvaiheet. Kermi voidaan asentaa joko hitsaamalla tai liimaamalla. Kermieristys kestää vedenpaineen, jolloin sitä voidaan myös käyttää vaativissa kohteissa. Kermin liimaukseen tarvittava määrä on noin 1,5 kg/m<sup>2</sup>. Kermieristykseen vaadittavien kermien määrä riippuu vedenpaineesta. Rakennettaessa haasteellisissa olo-

suhteissa tulee kermien olla vähintään BTL 2 -luokkaisia bitumimattoja. Kermieristyksen asennusvaiheet vastaavat bitumisivelyn työvaiheita. (Ratu F1-0368, 7.)



Kuva 12. Bitumikermin asennus ennen ja jälkeen välitötön. (RT 83-10955, 6)

Epäjatkuvaa vedeneristystä tehdään perusmuurilevyillä. Perusmuurilevytystä ei voida käyttää vaativissa olosuhteissa, vaan se soveltuu korjauskohteisiin, jossa ei esiinny pohjavettä. Rakennuspohjan olosuhteet tulee olla hyvin kuivuvat ja perustuksien tulee olla kaasutiiviitä. Perusmuurilevy voidaan asentaa betoni- ja harkkopinnalle. Levyn ja rakenteen väliin tulee jättää ilmaväli, jotta rakenteesta tuleva kosteus pääsee haihtumaan levyä pitkin maaperään. (RT 83-10955, 8.) Levyt limitetään nurkka kohdissa vähintään 600 mm:n päähän reunasta. Pystysuuntainen limitys tulee olla vähintään 100 mm ja vaakasuuntainen limitys vähintään 200 mm. Perusmuurilevyn yläpintaan tehdään lista, joka naulataan levyyn kiinni, listan tulee jäädä lopullisen maanpinnan alapuolelle. (RT 83-10955, 8; Ratu F1-0368, 7.)



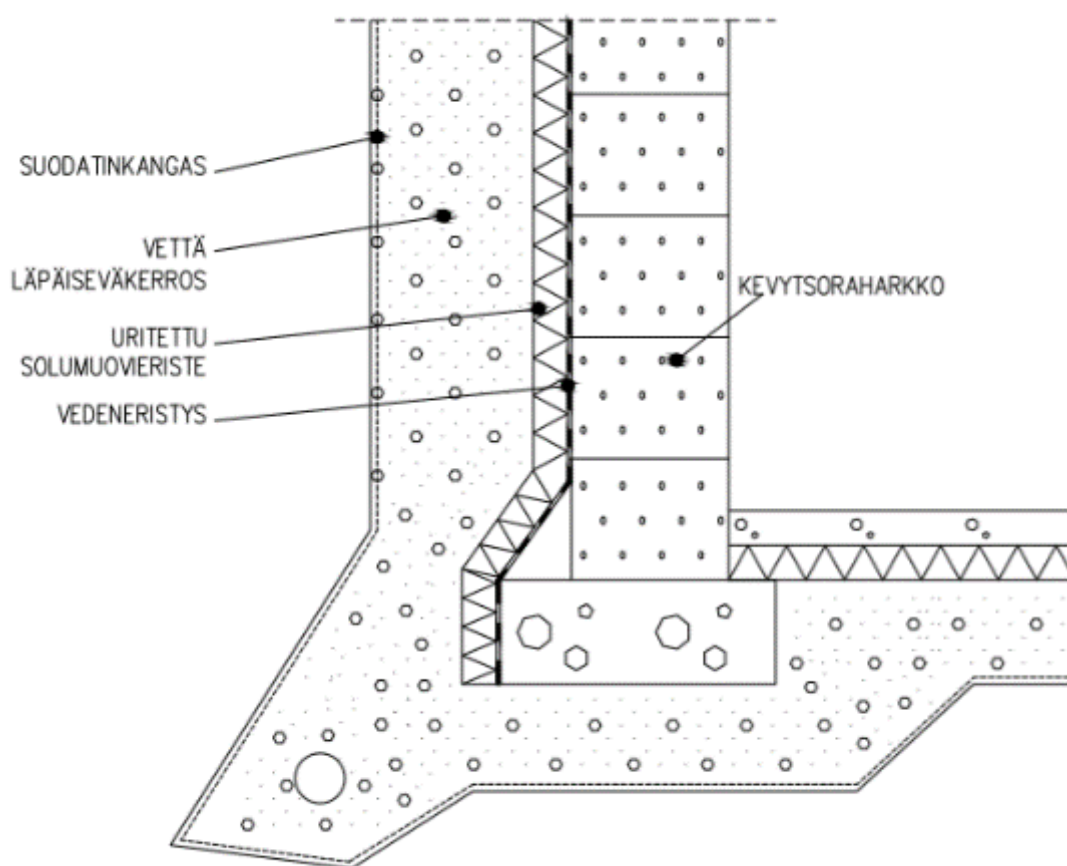
Kuva 13. Perusmuurilevyn limitys. (RT 83-10955, 8)

### Salaojituksen kunnostaminen

Salaojituksen kunnostaminen aloitetaan vanhojen salaojien poistamisella. Salaojaputkistot tulee asentaa määrättyyn syvyyteen, ja tarvittaessa ne eristetään. Ennen uusien salaojaputkistojen asentamista asennetaan salaojasora suunnitelman mukaisesti putkiston alapuolelle. Salaojien kaltevuudet tulee valita kohteen mukaisesti. Tonttien salaojitukset ja perusmuurien ulkopuolisten salaojituksien minimi kaltevuus on 1:200. Tavanomainen kaltevuus on 1:100. Uusitun salaojituksen jälkeen suositellaan routasuojauksen uudelleen tekemistä. Routasuojaus voidaan toteuttaa levytyksenä tai kevytsoralla. Lisälämmöneristyksen vuoksi routasuojauksen lisääminen on joissakin tapauksissa pakollista, mikäli lämpötekniset ominaisuudet ovat muuttuneet rakenteessa. Routasuojalevyt tulee asettaa tiiviisti toisiaan, perustuksia ja maapohjaa vasten. Ulkopuolisessa korjaamisessa on tärkeätä huomioida myös kapillaarisen veden nousun katkaiseminen. Kapillaarikatko toteutetaan seiniin tehtyihin reikiin tai uriin. Kummassakin tapauksessa käytetään tiivistävää ainetta, jolla pystytään estämään kapillaarinen vedenliike. Kapillaarikatko tehdään kunkin tuotteen valmistajan ohjeiden mukaisesti. Perusmuurin viereen tehdään lopuksi täyttö osittain työmaalle jätetyistä vanhoista maa-aineksista ja uusien maa-ainesten sekoituksella tai kokonaan uusilla maa-aineksilla. (RT 83-10955, 10; Ratu F1-0368, 8-9.)

## Käännetty rakenne

Maanvastaisille seinille hyvä ratkaisu on niin sanottu käännetty rakenne. Ulkopuolisella eristeellä on tehokas vaikutus maanvastaisiin rakenteisiin lämpö ja kosteusteknisesti. Rakenteellisesti oikein toteutettu rakenne mahdollistaa myös rakenteen kuivumisen sisäpintaa kohden, ilman sisäpuolisen kosteuden tiivistymisvaaraa. Kuvassa 14 on eristeratkaisuna käytetty uritettua solumuovieristettä, joka voidaan korvata myös salaojitetulla levyllä. Ulkopuolinen eristeratkaisu sopii erinomaisesti betoni- ja harkkoseiniä tehtäessä. (RIL 255-1-2014, 160; Sandin 2010, 170.)



Kuva 14. Kevytsoraharkkoseinä ulkopuolisella eristeellä. (Sandin 2010, 171)

## Aikaisemmat tutkimukset

Opinnäytetyötä tehtäessä on myös kannattavaa huomioida ja tuoda esille aikaisemmat tutkimukset koskien maanvastaisten rakenteiden korjaamista. Palviaisen (2010) diplomityössä on käyty läpi kosteudenhallintaa maanvastaisissa rakenteissa eri menetelmillä rakennuksen sisäpuolelta. Työssä käydään erityisesti läpi suolojen ja kosteuden kulkeutumista betoni- ja tiilirakenteissa. Tutkimuksessa kerrotaan myös eri kosteudenhallintamenetelmistä, joita voidaan käyttää maanvastaisten seinien korjauksessa. Heiskasen (2016) diplomityössä tutkitaan maanvastaisten seinien lisälämmöneristämistä. Erilaisia rakenteita on otettu tarkasteluun kolme kappaletta ja niitä tutkitaan myös rakenteiden liittymäkohdista. Maanvastaisten rakenteiden lisälämmöneristämällä on saatu tuloksia rakennuksen energiatehokkuuteen liittyen. Tutkimuksessa luotettavimmaksi lisälämmöneristeeksi osoittautui kalsiumsilikaattilevy. Työssä tuodaan myös esille, että kalsiumsilikaattilevystä on niukasti tehty tutkimuksia, korjauksia tehdessä Suomen sääolosuhteissa.

## 5 SISÄPUOLINEN MENETELMÄ

Sisäpuolista menetelmää käytetään silloin, kun ulkopuolista menetelmää ei voida käyttää tilanpuutteen vuoksi. Tilanpuutetta aiheuttavat muun muassa lähellä olevat rakennukset ja niiden kellaritilojen korkeuserot. Lahoavat puiset paalut tai arinat estävät ulkopuolelta salaojituksen kunnostamisen. (Sisäilmäyhdistys s.a; RIL 107-2012, 190.) Maanvastaisten rakenteiden korjaamiseen on erilaisia vaihtoehtoja, joita voidaan käyttää sisäpuolisina korjausmenetelminä. Korjauskohteeseen vaikuttavat monet tekijät, jotka suunnitteluvaiheessa otetaan huomioon korjausmenetelmää valittaessa.

### **Erikoislaastikorjaukset**

Betoni ja tiilirakenteisissa maanvastaisissa seinissä suolan muodostuminen rakenteiden pinnoille on hyvin yleistä. Suola muodostuu kosteuden kuivumisen myötä. Erikoislaasteilla pystytään vähentämään suolan muodostumista rakenteen pinnoilla, laastien rakennusfysikaalisten ominaisuuksien vuoksi. Suolan aiheuttamat vauriot näkyvät useimmiten rappauksen ja maalipinnan irtoiluna. Mikäli rakenteessa havaitaan runsaita kosteuslähteitä, on suositeltavaa, että näiden korjauksissa käytetään vedentiivistyslaasteja. Tiivistyslaasteilla on tarkoitus estää veden vapaa virtaaminen vuotokohdista. Laasteja on saatavilla ohuena ja paksuna laastina. Ohutta laastia ei suositella käytettäväksi huonosti lämmöneristetyissä kohteissa, koska kosteuden tiivistyminen materiaalin pinnalle on mahdollista. (RIL 107-2012, 191-192; Sisäilmäyhdistys s.a.)

### **Kotelointi ja tuuletus**

Sisäpuolisesti korjattavien maanvastaisten seinien korjauksessa voidaan käyttää myös kotelointia. Kotelointi toteutetaan seinäpinnan etupuolelle, jonka taustapuolelle tulee jättää ilmatila. Ilmatilan tuuletus toteutetaan porareikärievinä ylä- ja alapuolelle kotelointia, jolloin ilmankierto mahdollistetaan kotelon taustapuolelle. Rakennuksen poistoilma voidaan kanavoida koteloinnin yläosaan kiinni, jolloin tehostetaan kosteudenhaihtumista koteloinnin sisäpuolelta. Ennen koteloinnin toteuttamista tulee varmistaa mikrobi- ja haitta-ainei-

den purku onnistuneesti korjatusta kohteesta. Koteloinnin ideana on taustatilan tuulettuminen sisäilmaa kohden, jolloin haitallisten orgaanisten aineiden kulkeutuminen sisäilmaan on mahdollista, mikäli korjauksia ei ole toteutettu oikein. (RIL 107-2012, 193; Sisäilmayhdistys s.a.)

### **Sisäpuolinen lämmöneristäminen ja kosteuseristys**

Bitumisivelyllä toteutettu kosteudeneristys on vanha menetelmä, jota voidaan vielä nykypäivänäkin käyttää. Bitumin toiminta perustuu sen tiiveyteen, jolloin ulkopuolinen kosteus ei pääse liikkumaan sisäpintaa kohden. Ennen varsinaista kosteudeneristystä tulee vanha lämmöneristys kerros purkaa. Lämmöneristeen takaisin laittoa ei suositella asennettaessa uutta vedeneristettä, jotta seinäpinnan tuulettuminen on mahdollista. Sisäpuoliseksi lämmöneristeeksi suositellaan korjausten yhteydessä käytettäväksi hyvin vesihöyryläpäiseviä eristemateriaaleja, kuten kalsiumsilikaattilevyä. (RIL 107-2012, 192-193; Sisäilmayhdistys s.a.)

### **Pinnan puhdistus**

Betonipinta voidaan jättää paljaaksi, jolloin vanhat eristeet tulee purkaa rakenteen edestä pois. Pinta tulee puhdistaa suolavaurioituneista materiaaleista, jonka jälkeen pinta voidaan käsitellä tai jättää käsittelemättä, jolloin suolan muodostuminen seinärakenteeseen on mahdollista. Suolakerrokset voidaan poistaa seinäpinnasta harjaamalla ja imuroimalla. Seinäpinnan käsittely voidaan toteuttaa vesihöyrynläpäisevällä maalauksella, jotta suolanmuodostumista saataisiin vähennettyä. (RIL 107-2012, 194; Sisäilmayhdistys s.a.)

### **Kapillaarikatko**

Kapillaarikatko voidaan toteuttaa injektoimalla tai imeyttämällä. Imeytyksessä tarvittavaa kapillaarikatko ainetta johdetaan seinän alaosiin tehtyihin porareikiin paineettomasti, jolloin aineen tiiveys rakenteessa ei ole välttämättä paras mahdollinen. Injektoimalla aine paineenalaisena saadaan se paremmin johdettua seinärakenteen alaosiin, jolloin tiiveys on huomattavasti parempi estämään kapillaarinen vedenliike. (RIL 107-2012, 193; Sisäilmayhdistys s.a.)

## **Mineraalilevypinnoitus**

Mineraalilevypinnoituksessa käytetään kalsiumsilikaattilevyjä. Kalsiumsilikaattilevyjen huokoisuuden ansiosta levyn kosteudenvarastointikyky on niin suuri, että se pystyy varaamaan itseensä tiivistynyttä kosteutta minkä jälkeen se luovuttaa sitä sisäilmaan. Kalsiumsilikaattilevyjen asennusohjeet saattavat poiketa eri valmistajilla, jonka vuoksi on hyvä lukea tuotteen asennusohjeet valmistajan ohjeistuksesta. (RIL 107-2012, 192; Sisäilmayhdistys s.a.)



## 6 TUTKIMUSMENETELMÄT

Tutkimusmenetelmä osiossa käydään läpi WUFI 2D simulointiohjelma yleisesti ja mitä maanvastaisten seinärakenteiden simuloimisessa tulee ottaa huomioon.

### 6.1 WUFI

WUFI on lyhenne sanoista "Wärme- und Feuchtetransport instationär" eli lyhytaikainen kosteuden ja lämmön siirtyminen. WUFI:lla pystytään simuloimaan kosteuden ja lämmönsiirtymistä rakenneosissa. Menetelmä on tehty maailmanlaajuiseen käyttöön, jonka vuoksi sillä voidaan simuloida lämmön ja kosteuden liikkeitä paikkakuntakohtaisissa ilmasto-olosuhteissa. WUFI on suunniteltu laskemaan samanaikaisesti lämmön ja kosteuden siirtymisen yksi ja kaksiulotteisessa rakenteessa. (What is WUFI? 2008; What is WUFI®? 2019a; WUFI® 2D Online help 2019b.)

#### 6.1.1 WUFI:n laskennalliset perustiedot

Laskentaohjelmaan syötetään tarvittavat lähtötiedot, jonka jälkeen WUFI laskee kaksiulotteisten rakenneosien lämpötilojen ja kosteuskenttien ajallisen kehityksen. Laskennan aikana tai sen jälkeen ohjelmasta pystyy tulkitsemaan kaksiulotteisia kuvia lämpötilasta, suhteellisesta kosteudesta, vesipitoisuuksista, lämpövuodoista, kapillaari- ja diffuusiovuodoista tiettyinä ajanjaksoina. Kuvien lisäksi näitä voidaan esittää animaatioina. Alla olevaan luetteloon on esitetty pääsääntöisesti tarvittavat tiedot WUFI:n laskentamallia luodessa. (WUFI® 2D Online help 2019b.)

Pääsääntöiset tiedot laskentamallia varten:

- Alkuolosuhteet
- Materiaalitiedot
- Ilmastotiedot
- Pintasiirto

### 6.1.2 Alkuolosuhteet

Rakenneosan lämpötila- ja kosteuskentät on alustettava lämpötilan ja suhteellisen kosteuden lähtöarvoilla. Tällä hetkellä WUFI 2D sallii vain vakioarvot lämpötilasta ja suhteellisesta kosteudesta, jonka vuoksi WUFI:iin tulee määrittää eri rakenteiden kosteuspitoisuudet ja lämpötilat laskennan alussa. (WUFI® 2D Online help 2019b.)

#### Materiaalitiedot

Oheiset tiedot määrittävät lämpö- ja kosteusteknisen käyttäytymisen materiaaleissa.

Perustiedot:

- Tilavuuspaino [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]
- Huokoisuus [ $\text{m}^3/\text{m}^3$ ]
- Ominaislämpökapasiteetti [ $\text{J}/\text{kgK}$ ]
- Lämmönjohtavuus [ $\text{W}/\text{mK}$ ]
- Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin [-]

Kosteuslaajennukset:

- Kosteudenvarastoinnin funktio [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]
- Nesteen kuljetuskerroin imupaineessa [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]
- Nesteen kuljetuskerroin uudelleen jakautuessa [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]
- Kosteudesta riippuva lämmönjohtokyky [ $\text{W}/\text{mK}$ ]
- Kosteudesta riippuva vesihöyryn diffuusiovastus [-]

Perustiedot tulee aina olla minimissään käytössä matemaattisten syiden takia. Kosteuslaajennukset eivät ole pakollisia, mutta niillä pystytään tekemään simulointimalliin parannuksia ja ne saattavat olla tarpeellisia kuvaamaan kosteusteknistä tilannetta paremmin. (WUFI® 2D Online help 2019b.) Tutkimuksessa on käytetty pääsääntöisesti WUFI:sta saatuja materiaalien arvoja ja vertailtu näitä suomalaisiin kirjallaisiin sekä pyritty löytämään keskiarvollisesti sopivimmat materiaalivaihtoehdot. Materiaalien perustiedot ovat nähtävissä liitteessä 1. WUFI:n laskennallisessa osuudessa tulee myös määrittää rakennusmateriaaleille aloituslämpö- ja kosteusolosuhteet. Laskennassa valittiin

kullekin materiaalille aloituslämpötilaksi + 10 °C ja suhteelliseksi kosteudeksi 80 %.

## Ilmastotiedot

Alkuolosuhteiden jälkeen WUFI laskee lämmön ja kosteuden jakautumisen rakenteissa. Laskentaan vaikuttavat muun muassa ympäristössä tapahtuvat lämmön ja kosteuden muutokset. Ympäristössä olevat kosteudet ja lämmön virtaamat kulkevat rakenne pintojen läpi, joiden suunta ja suuruus riippuvat rakenteen ja ympäristön olosuhteista. WUFI on kehitetty erityisesti rakennusfysiikkaan soveltuvaksi ohjelmaksi ja täten ympäröivänä väliaineena toimii ympäristön ilma ulko- ja sisäpuolella rakennusta. Ohjelmalla pystytään laskemaan erilaisille sääolosuhteille alttiiden rakenteiden käyttäytyminen, joten on selvää, että meteorologiset parametrit kuten lämpötila, suhteellinen kosteus ja auringonsäteily kuuluvat laskutoimituksiin. (WUFI® 2D Online help 2019b.)

Oheiset tiedot määrittävät rajaolosuhteet rakennuksen pinnalle:

- Sadekuorma pinnalla [Ltr/m<sup>2</sup>h]
- Lyhytaaltoisen säteilyvirran tiheys [W/m<sup>2</sup>]
- Ilman lämpötila [°C]
- Suhteellinen kosteus [0..1]
- Keskimääräinen barometrinen paine [hPa]
- Ilmakehän vastasäteily [W/m<sup>2</sup>]

WUFI:ssa sateen ja säteilyn kuormitukset riippuvat yksittäisen rakennusosan suunnasta ja kaltevuudesta. Perinteiset säämittaukset tuovat laskentaan vaikeuksia, koska ne tallentavat mittaukset pelkästään vaakasuorille pinnoille. Perinteisistä säätiedoista pystytään laskemaan sadekuorma, mikäli huomioidaan tavallisen sateen lisäksi tuulen nopeus ja suunta. Vaakasuoran pinnan säteilyn määrä voidaan määrittää kokonais- tai hajasäteilynä. WUFI:iin tulee syöttää pelkästään perinteiset säätiedot, jonka jälkeen ohjelma muuttaa tulokset automaattisesti. (WUFI® 2D Online help 2019b.)

## Pintasiirto

Pinnansiirtokertoimet osoittavat, missä määrin ympäristön olosuhteet vaikuttavat rakennuskomponenttiin, erityisesti lämmön ja kosteuden liikkeessä rakennuksen pintojen läpi. (WUFI® 2D Online help 2019b).

Oheiset tiedot määrittelevät ilmastotietojen ja rakenteen väliset kytkennät:

- Lämmönsiirtokerroin [ $W/m^2K$ ]
- Suhteellinen diffuusiovastus [m]
- Lyhytaaltoisensäteilyn absorboituvuus [-]
- Pitkäaaltoisensäteilyn emissiokyky [-]
- Sadeveden absorptiokerroin [-]

Vesihöyrynsiirtokertoimet lasketaan automaattisesti lämmönsiirtokertoimista, jolloin niitä ei tarvitse määrittää erikseen. (WUFI® 2D Online help 2019b).

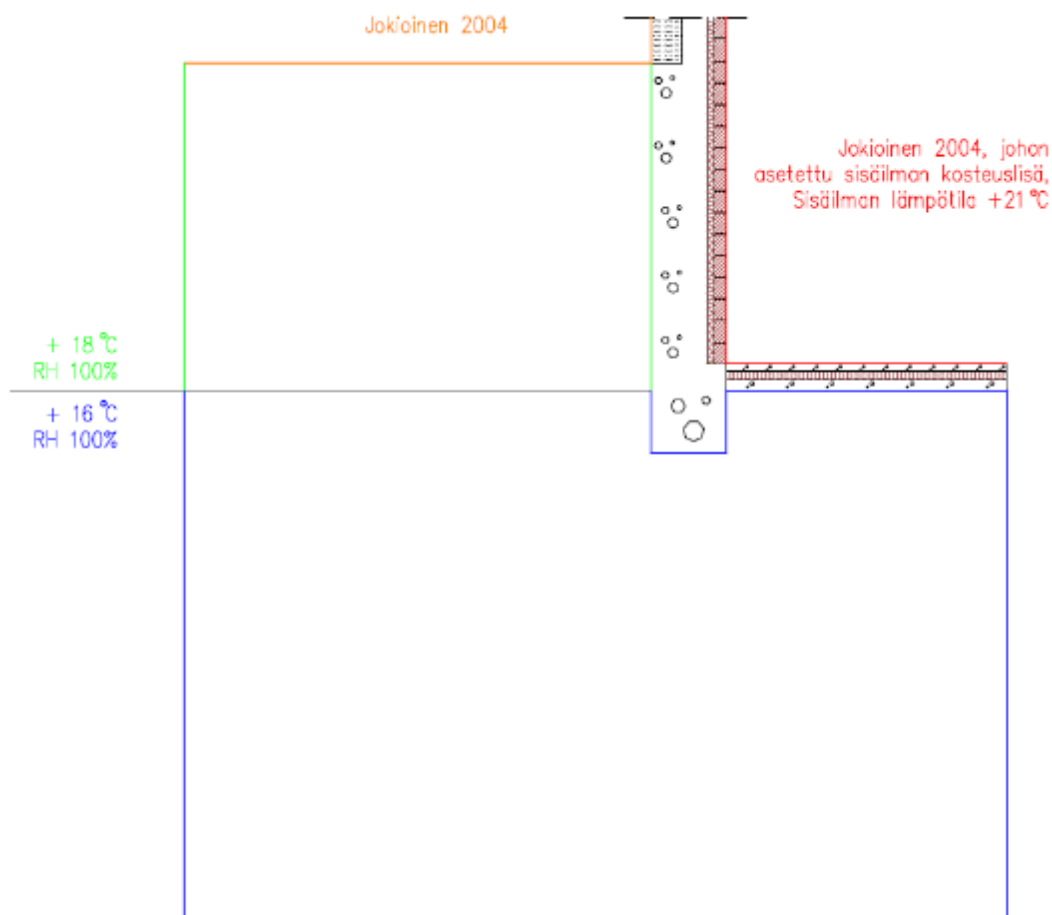
## 6.2 Maaperän vaikutus simulointiin

Maaperä muodostaa maanvastaisille rakenteille erilaisia rasitteita, jotka tulee huomioida rakennetta suunniteltaessa (RIL 255-1-2014, 151). Esimerkkinä alla on muutama huomioon otettava seikka.

- Maan lämpötilojen vaihtelut ovat hitaita muuttumaan, mitä syvemmälle maakerroksessa mennään.
- Kosteus ja lämpötilat vaihtelevat vallitsevien sääolosuhteiden mukaan.
- Maaperän täyttökerrokset ja niiden kaltevuudet.
- Pohjaveden pinnan korkeus.

Maanvastaisia rakenteita tutkiessa tulisi maaperän lämpö- ja kosteussimuloinnissa käyttää mitattuja maan lämpöarvoja reunaehtoina. Rakenteiden ulkopinnan lämmönsiirtokerroin tulee asettaa WUFI:n ohjeiden mukaisesti suureksi, jolloin rakenteen pinnan lämpötila vastaa maa-aineksen lämpötilaa. Mikäli ohjelmalla halutaan huomioida lämpövaikutuksia rakenneosille, tulee uloimman pinnan eteen asettaa riittävän paksu maakerros, jolle syötetään saatu maaperän lämpötila. (WUFI® 2D Online help 2019b.) Maaperän suhteellinen kosteus on useimmiten 100 %. (RIL 255-1-2014, 151). Maaperään yhteydessä olevien

rakenneosien simuloimisessa tulee käyttää muuttumatonta suhteellista kosteutta rajaehtona, jonka arvoja voidaan mukauttaa halutulla tavalla. Maanpinnan alapuolella ei tarvitse huomioida auringonsäteilyä eikä sadetta. (WUFI® 2D Online help 2019b.)



Kuva 15. Maaperän lämpötilojen simulointimalli vuoden 1963 rakenteessa.

Maaperän simulointivaihe toteutettiin kahdessa eri vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa suoritettiin maaperän lämpökentän simulointi, jonka avulla saatiin seuraavassa vaiheessa poistettua maakerros rakenteen edestä. Tämän avulla saatiin laskentaan vaadittavaa aikaakin lyhennettyä. Kuvan 15 mukaisesti luotiin reunaehdot maaperään, jolla saatiin tuotua lämpötilat rakennuksen viereen. Sinisellä merkätun alueen lämpötilakentät on toteutettu jatkuvassa + 16 °C:n lämpötilassa ja 100 %:n suhteellisessa kosteudessa. Vihreän alueen lämpötilakenttään vaikuttavat myös maanpinnan yläpuoliset olosuhteet, jonka

avulla maanpinnan lämpötilat saatiin muodostettua Jokioisella mitattujen lämpötilojen ja +18 °C:n reunaehtojen mukaisesti. Maanpinnan yläpuolisella osuudella käytetyissä ilmastotiedoissa on huomioituna myös viistosade.

### **6.3 Suomessa käytetyt ilmastotiedot**

Rakennusfysiikan osalta Suomessa on hyvä käyttää laskennassa niin sanottuja rakennusfysikaalisia testivuosia, joissa kosteusrasitus on ulkoilmassa suurin. Testivuosien sääolosuhteiden mittaus ajanjakso on toteutettu 1980–2009 välisenä aikana. Näiden vuosien sisältä etsittiin rankimmat ilmastotiedot, joiden mukaan määriteltiin ulkoilman kosteuden kondensoitumisen ja homeen kasvun suotuisimmat testivuodet. Ilmastotietojen mukaan kriittisimmät testivuodet löytyivät tutkimuksessa vuonna 2004 Jokioiselta ja Vantaalta vuonna 2007. Mittauksia suoritettiin myös Sodankylässä ja Jyväskylässä, mutta näiden paikkakuntien sääolosuhteet eivät olleet yhtä kriittiset, kuin Vantaan ja Jokioisen. Testivuosien määrittäminen oli osa FRAME-hanketta, jonka on toteuttanut Tampereen teknillinen yliopisto rakennetekniikan puolelta. (RIL 255-1-2014, 67-68; Ilmatieteen laitos 2014.)

Taulukko 1. Rakennusfysikaaliset testivuodet eri vaipparakenteiden kosteusteknisissä tarkasteluissa. (RIL 255-1-2014, 68)

Rakennetyypit	Testivuosi		
	Nykyilmasto	2050 ilmasto	2100 ilmasto
<p>Rakenteet, joissa ulkoilman suhteellinen kosteus vaikuttaa niiden sisäosan kosteustekniseen toimintaan.</p> <p>Esimerkkirakenteita:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Puu- ja metalliverhotut ulkoseinät</li> <li>- betonisandwich-rakenteet <sup>1</sup></li> <li>- harkkorakenteet <sup>1</sup></li> <li>- sisäpuolelta eristetyt massiivirakenteet</li> <li>- yläpohjat, joissa on vesikate</li> <li>- ryömintätilaiset alapohjat</li> </ul>	<p>Jokioinen 2004</p> <p>Ilmansuunta seinärakenne tarkasteluissa: pohjoinen <sup>2</sup></p>	<p>Jokioinen 2050</p> <p>Ilmansuunta seinärakenne tarkasteluissa: pohjoinen <sup>2</sup></p>	<p>Jokioinen 2100</p> <p>Ilmansuunta seinärakenne tarkasteluissa: pohjoinen <sup>2</sup></p>
<p>Rakenteet, joissa sade ja ulkoilman suhteellinen kosteus vaikuttavat niiden sisäosan kosteustekniseen toimintaan</p> <p>Esimerkkirakenteita:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- tiiliverhotut ulkoseinät</li> <li>- eristerapatut ulkoseinät</li> <li>- betonisandwich-rakenteet <sup>1</sup></li> <li>- harkkorakenteet <sup>1</sup></li> <li>- käännetyt katot</li> </ul>	<p>Vantaa 2007</p> <p>Ilmansuunta seinärakenne tarkasteluissa: etelä</p>	<p>Vantaa 2050</p> <p>Ilmansuunta seinärakenne tarkasteluissa: etelä</p>	<p>Vantaa 2100</p> <p>Ilmansuunta seinärakenne tarkasteluissa: etelä</p>

<sup>1</sup> Rakenteesta riippuen kumpi tahansa testivuosista voi olla kriittisempi. Rakenteen toiminta on syytä tarkistaa kummallakin testivuodella.

<sup>2</sup> Rakenteen ulkopinnan kosteusteknistä toimintaa tarkasteltaessa kriittisin ilmansuunta voi olla myös jokin muu, kun pohjoinen

Opinnäytetyössä käytettiin Jokioisen testivuotta, koska ulkoilman suhteellinen kosteus vaikuttaa enemmän maanvastaisiin rakenteisiin kuin viistosade tai normaali sade. Nämä vuoden 2004 ja 2007 ilmastotiedot on suunniteltu eteenpäin vuosille 2030, 2050 ja 2100 asti. Vuosien ideana on, että niitä ei ole säädetty erikseen toimimaan tietyn säävyöhykkeen alaisena, vaan niiden tarkoituksena onkin kattaa koko Suomen alue. Ilmaston testivuodet kuuluivat ilmatieteen laitoksen hankkeeseen ja tulokset laadittiin REFI-B hankkeessa. (RIL 255-1-2014, 68-69; Ilmatieteen laitos 2014.)

### 6.3.1 Viistosade

Viistosateet vaikuttavat julkisivuun muun muassa seuraavilla tavoilla (Nevander & Elmarsson 2006, 132):

- Sateen voimakkuus ja sen ajallinen pituus
- Julkisivumateriaalin kapillaarinen imukyky
- Halkeamat ja niiden leveydet
- Julkisivupinnan rakenne ja sen karkeus
- Rakennuksen ja ympäristön vaikutus virtauksien ominaispiirteisiin

Viistosade muodostaa nopeasti työntövoimalla liikkuvan vesikalvon pinnoille, joilla ei ole kapillaarista imukykyä. Esimerkkinä julkisivumateriaaleja, joilla ei ole kapillaarista imukykyä ovat pelti ja muovimateriaalit. Julkisivuissa on harvoin täysin tiiviitä saumoja, jonka vuoksi liitosten ja mahdollisten ilmavälien yksityiskohtainen suunnitteleminen on erittäin tärkeää. Monilla tavallisilla julkisivumateriaaleilla on huomattavan suuri kapillaarinen imukyky. Tiilet kuuluvat materiaaleihin, joilla on suuri imukyky, kun taas betonielementit, joissa on korkea betonin laatu ovat vähemmän imukykyisiä. Edellä mainitut materiaalit ovat ääripäitä ja niiden väliin kuuluvia materiaaleja ovat esimerkiksi kevytbetoni, kipsi, puu ja kalkkihiekkakivi, joka tunnetaan myös nimellä kalkkihiekkatiili. (Nevander & Elmarsson 2006, 132.)

Sade ja samanaikaisesti vaikuttava tuuli saavat sadepisarat liikkumaan vaakaja pystysuorassa suunnassa ja täten ne voivat osua rakennuksen seiniin ja muihin pystysuoriin rakenteisiin. Sateen osaa  $N$ , joka osuu kuvitteelliseen pystysuoraan pintaan, kutsutaan viistosateeksi (kuva 16). (Nevander & Elmarsson 2006, 272.)

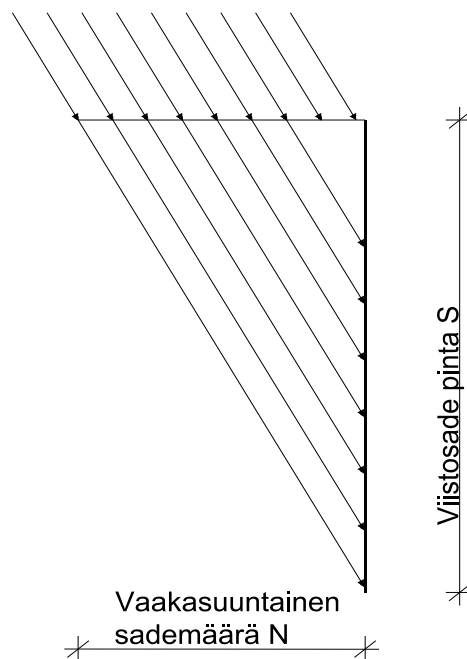
Viistosademäärä voidaan määrittää kaavasta 16:

$$S = \frac{u}{u_0} \cdot N \quad (16)$$

jossa	$S$	viistosademäärä	[kg/m <sup>2</sup> ]
	$u$	tuulennopeus	[m/s]



$u_0$	vesipisaran pystysuora laskeutumisnopeus [m/s]
$N$	vaakasuoran pinnan sademäärä [kg/m <sup>2</sup> ]



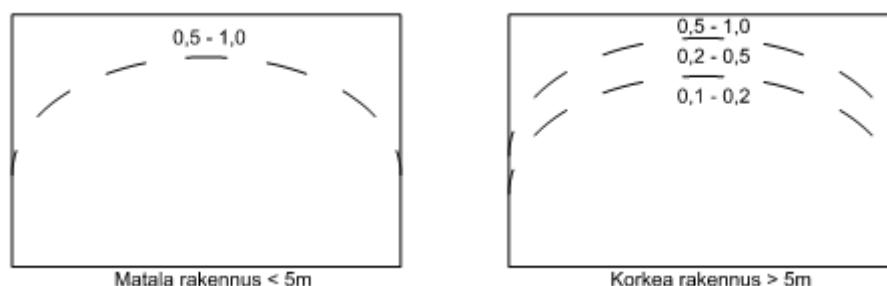
Kuva 16. Viistosade pystysuoralla pinnalla. (Nevander & Elmarsson 2006, 272)

Yhtälön (16) mukaan on haastava laskea viistosateen määrää, koska kolmen muuttujan arvot eivät ole usein käytettävissä. Muuttujia ovat tuulen nopeus, sademäärä sekä vesipisaroiden laskeutumisnopeus. Viistosademäärien mittausta on toteutettu vähäisissä määrin. Viistosademäärät voivat poiketa huomattavasti julkisivupinnoilla. Tämä johtuu siitä, että rakennus vaikuttaa suuresti virtauksen ominaispiirteisiin. Kuvasta 17 voidaan todeta, että julkisivun keskellä viistosademäärät pienenevät, kun taas julkisivun reunaosissa sademäärät saattavat olla suurempia. Usein viistosademääriä tarkastellaan suhteessa julkisivumateriaalin imukykyyn. (Nevander & Elmarsson 2006, 272-273.)

$$a = \frac{S}{t} \quad (17)$$

jossa	a	keskimääräinen intensiteetti ajanhetkellä t [kg/m <sup>2</sup> ·s]
	S	viistosademäärä ajanhetkellä t [kg/m <sup>2</sup> ]
	t	kesto aika [s]

Keskimääräisellä intensiteetillä a voidaan arvioida missä määrin vesi voi virrata julkisivulla, tämä on myös tärkeää lyhyille ajanjaksoille. Laskelmissa ja mittauksissa on yhteistä, että eri vuosien välillä voi olla hyvin suuria vaihteluja sääolosuhteissa, minkä vuoksi viistosateiden määriä on vaikea arvioida. (Nevander & Elmarsson 2006, 273-274.)



Kuva 17. Viistosateen jakautuminen julkisivupinnalla. Viistosateen olleessa yhdensuuntainen on arvo silloin 1,0. (Nevander & Elmarsson 2006, 273)

### 6.3.2 Sisäpuoliset olosuhteet

Rakennusfysikaalisissa tarkasteluissa on hyvä huomioida sisäilmasta riippuvat olosuhteet. Kesäaikana tapahtuvia sisäilman ilmavirtauksia ja lämpötilamuutoksia on hyvä käyttää toimintakriteereinä, kun huomioidaan esimerkiksi ulkoilman vaikutus rakenteeseen. Laskentatarkasteluiden tärkeimmät olosuhteet muodostuvat sisäilman kosteudesta, lämpötilasta ja ulko- ja sisäpuolisista paine-eroista. Sisäilman lämpötilaksi valittiin + 21 °C, joka on suositeltu lämpötila rakennusfysikaalisissa tarkasteluissa. (RIL 255-1-2014, 70.) Sisäilman laskennallisissa tarkasteluissa tulee myös huomioida sisäilman kosteuslisä. Kosteuslisä kertoo vesihöyrypitoisuuksien erot sisä- ja ulkoilman välillä. Sisäilman kosteuslisälle on Suomessa määriteltynä omat mitoitusarvot, jotka poikkeavat kansainvälisistä normeista. Taulukon 2 ja kuvan 18 arvoista voidaan valita laskennallisiin tarkasteluihin rakennustyyppin mukainen kosteusluokitus. Mikäli rakennuksen kosteusolosuhteet ovat suuremmat, kuin taulukon arvot

tulee valinta tehdä suurempien kosteusluokkien mukaisesti. Sisäilman kosteuslisä vaihtelee talvi ja kesäaikoihin. Kesäaikana kosteuslisä pienenee rakennuksen ikkunoiden ja ovien ollessa enemmän auki kuin talvisin, jolloin rakennus pääsee tuulettumaan paremmin sisätiloista. (RIL 255-1-2014, 70-71; RIL 107-2012, 23-24.)

Taulukko 2. Rakennustyyppien kosteusluokat 1-3. (RIL 255-1-2014, 71)

Kosteusluokka	Kosteuslisän mitoitusarvo talvella ( $T \leq 5 \text{ °C}$ )	Rakennustyyppi <sup>3), 4)</sup>
1	$> 5 \text{ g/m}^3$	Kylpylät, uimahallit, laitoskeittiöt, pesulat, pannimot, kirjapainot, kasvihuoneet, kostutetut tilat, ratsastusmaneesit, maatalouden tuotantorakennukset, eläinsuojat, teollisuuden kosteusrasitetut tilat
2	$5 \text{ g/m}^3$	Asuinrakennukset, toimisto- ja liikerakennukset, hotellit ja majoitusrakennukset, ravintolat, kokoontumis- ja juhlatilat, opetusrakennukset ja päiväkodit, sairaalat ja hoitolaitokset, museot, liikuntahallit ja tilat, jäähallit ja jäähdytetyt liikuntatilat <sup>5), 6)</sup> , kylmä- ja pakkahuoneet <sup>5), 6)</sup> , talviasuttavat vapaa-ajan asunnot
3	$3 \text{ g/m}^3$ <sup>2)</sup>	Vapaa-ajan asunnot, puolilämpimät tai kylmillään olevat rakennukset, varastot ja säilytystilat, ajoneuvosuojat, tekniset tilat, väliaikaiset ja siirrettävät rakennukset

<sup>1</sup> Kosteusluokan 1 rakennuskohteissa sisäilman kosteuslisä ja lämpötila on aina arvioitava kohdekohtaisesti erikseen mitoituksen yhteydessä. Kosteuslisä voi vaihdella rakennuksen käyttötarkoituksesta riippuen välillä  $6\text{-}20 \text{ g/m}^3$ .

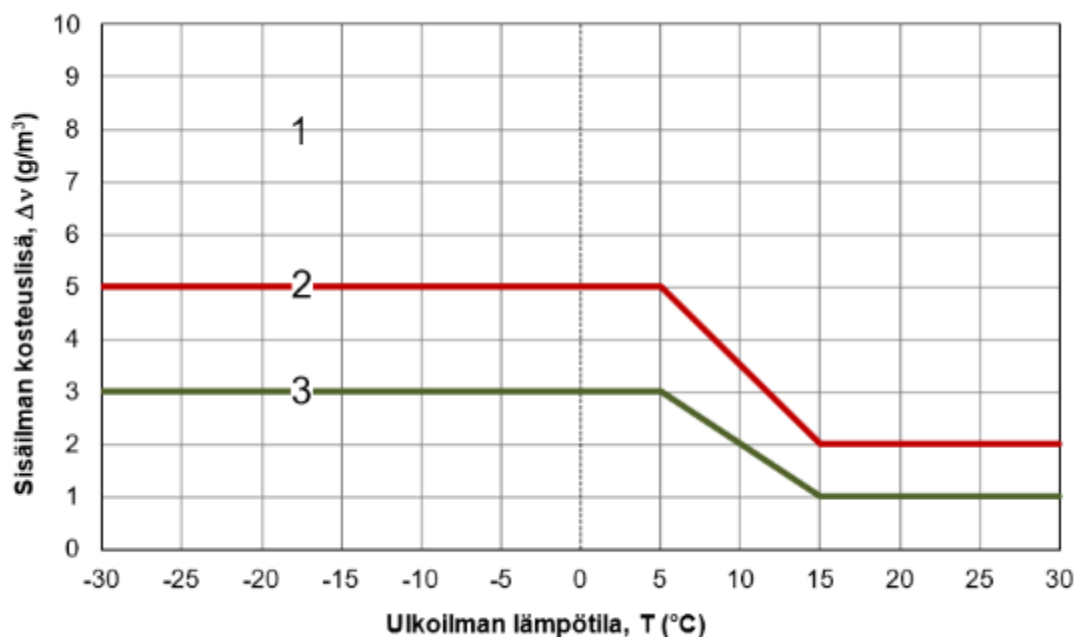
<sup>2</sup> Kosteusluokan 3 rakennuskohteissa kosteustekninen mitoitus tehdään käyttäen talvella kosteuslisän arvoa  $3 \text{ g/m}^3$ , ellei voida luotettavasti osoittaa, että pienempikin kosteuslisä riittää tarkasteltavassa kohteessa.

<sup>3</sup> Eri rakennustyyppeihin kuuluvia rakennuksia on lueteltu tarkemmin RakMK D3:ssa.

<sup>4</sup> Rakennusta suunniteltaessa tulisi ottaa huomioon, että rakennuksen käyttötarkoitusta saatetaan joskus myöhemmin muuttaa, jolloin myös sen kosteusluokka voi muuttua.

<sup>5</sup> Jäähdytettyjen tilojen kosteusluokkaa valittaessa on otettava huomioon, että sisäilman kosteuslisä voi nousta suureksi sisätilan mahdollisten lämpötilamuutosten yhteydessä. Jäähallit ja muut jäähdytetyt liikuntatilat, joiden lämpötila nostetaan ajoittain korkeaksi ja joita käytetään ajoittain kosteusluokan 1 mukaisissa tarkoituksissa, kuuluvat kosteusluokkaan 1.

<sup>6</sup> Jäähdytettyjen tilojen vaipparakenteiden mitoituksessa on otettava huomioon myös ulkoa sisälle päin siirtyvä vesihöyry, joka voi aiheuttaa kosteuden kondensoitumista ja homeen kasvulle otollisia olosuhteita lähellä rakenteen sisäpintaa.



Kuva 18. Mitoittava kosteuslisä ulkoilman funktiona. (RIL 107-2012, 24)

## 6.4 Analysoiminen

Ennen virallisia korjausvaihtoehtoja on hyvä tulkita WUFI mallin antamat analyysit vanhoista rakenteista ja verrata niitä uudempiin korjauksiin. Tällä voidaan varmistaa se, että rakenteiden toimivuus on parantunut vanhasta rakenteesta. On myös huomioitava, että epävarmojenkin lähtötietojen muuttaminen ja uudelleen laskeminen parantaa tulosten analysoimista. (RIL 255-1-2014, 84-85.) WUFI ohjelman simuloinnin ideana onkin, että sillä saadaan tarvittavat tiedot tulosten analysointiin kuten tulokset kosteuspitoisuuksista ja lämpötiloista. Näistä muodostuvat numeraaliset tiedot tulee analysoida, jotta niistä voidaan tehdä toiminnallisia johtopäätöksiä. (WUFI® 2D Online help 2019.)

## 6.5 Homemalli

Suomalaisen homemallin ovat yhteistyönä kehittäneet Tampereen teknillinen yliopisto ja VTT. Homeen kasvun laskennallinen muodostuminen huomioidaan Excel laskentapohjaan kehitetyssä taulukossa, johon tulee syöttää rakennusmateriaalien tutkittujen pisteiden muuttuvat lämpötila ja kosteusolosuhteet. Homemallissa on ideana kuvastaa homeen kasvua eri materiaalien pinnoilla. Nykypäivän homemallissa pystytään laskemaan homeen muodostuminen

kaikkiin materiaaleihin, joiden homeherkkyysluokat tiedetään. (Tampereen yliopisto s.a.)

Taulukko 3. Homemäärän lisääntyminen materiaalin pinnoilla homeindeksin asteikolla 0-6. (Tampereen yliopisto s.a)

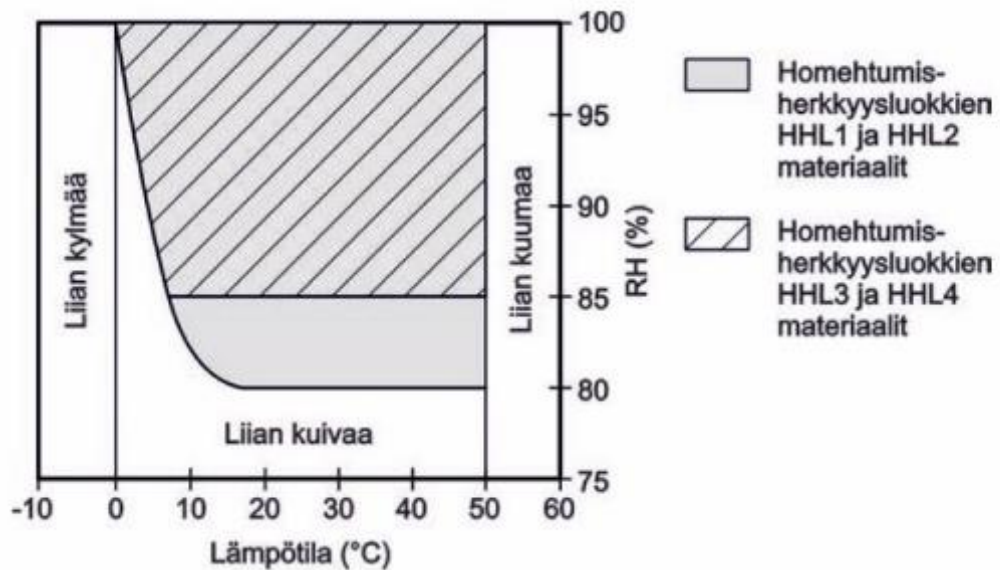
Home-indeksi M	Havaittu homeenkasvu	Huomautuksia
0	Ei kasvua	Pinta puhdas
1	Mikroskoopilla havaittava kasvu	Paikoin alkavaa kasvua, muutama rihma
2	Selvä mikroskoopilla havaittava kasvu	Homerihmasto peittää 10 % tutkittavasta alasta (mikroskoopilla). Useita rihmastopesäkkeitä muodostunut.
3	Silmin havaittava kasvu Selvä mikroskoopilla havaittava kasvu	Alle 10 % peitto alasta (silmillä) Alle 50 % peitto alasta (mikroskoopilla) Uusia itiöitä alkaa muodostua
4	Selvä silmin havaittava kasvu Runsas mikroskoopilla havaittava kasvu	Yli 10 % peitto alasta (silmällä) Yli 50 % peitto alasta (mikroskoopilla)
5	Runsas silmin havaittava kasvu	Yli 50 % peitto alasta (silmillä)
6	Erittäin runsas kasvu	Lähes 100 % peitto, tiivis kasvusto

Homeindeksin tarkastelu tapahtuu tunnin välisinä jaksoina. Indeksissä on huomiotuna myös homeen taantuminen kuivissa ja kylmissä oloissa, jolloin laskennallinen homeen arvo pienenee. Alle 0 °C:n lämpötilassa homeen kasvu pysähtyy. Homeen kasvun pysähtymiseen vaikuttavia tekijöitä on myös suhteellisen kosteuden laskeminen alle 80–85 %:n, huomioon otettava myös materiaalien homehtumisherkkyys. Lämpötilan ja kosteusolosuhteiden kannalta on kuvassa 19 huomiotuna materiaalien homeen kasvulle suotuisat olosuhteet eri homehtumisherkkyysluokissa. (Tampereen yliopisto s.a.)

Taulukko 3. Homehtumisherkkyyssuokat. (Tampereen yliopisto s.a)

Homehtumisherkkyyssuokka	Rakennusmateriaalit	
HHL1	Hyvin herkkä	Karkeasahattu ja mitalistettu puutavara (mänty ja kuusi), höylätty mänty, käsittelemätön huokoinen puukuitulevy
HHL2	Herkkä	Höylätty kuusi, paperipohjaiset tuotteet ja kalvot, kipsilevy, vaneri, lastulevy, bitumoidut/käsitellyt huokoiset kuitulevyt
HHL3	Kohtalaisen herkkä	Mineraalivillat, muovipohjaiset materiaalit, kevytbetoni*, kevytsorabetoni, karbonatisoitunut vanha betoni, sementtipohjaiset tuotteet, tiili
HHL4	Kestävä	Alkalininen uusi betoni, lasi ja metallit, tehokkaita homesuoja-aineita sisältävät materiaalit

\* Kevytbetoni kuuluu homehtumisominaisuuksiltaan kahteen eri homehtumisherkkyyssuokkaan. Homeen kasvunopeus vastaa homehtumisherkkyyssuokkaa HHL2, mutta homeindeksin maksimiarvo jää homehtumisherkkyyssuokan HHL3 tasolle.



Kuva 19. Homeenkasvulle otolliset lämpö ja kosteusolosuhteet. (Tampereen yliopisto s.a)

Homehtumiseen vaikuttavia ominaisuuksia arvioidaan homeen muodostumisen alkamisajankohdan maksimitason ja taantuman avulla. Homeindeksiin vaikuttavat tekijät muodostuvat homeen äkillisestä muodostumisesta ja taantumisesta. Taantumisella tarkoitetaan tilaa, jossa olosuhteet eivät ole homeen kasvun muodostumiselle suotuisat. (Tampereen yliopisto s.a.)

Taulukko 5. Homeen taantumaluokat. (Tampereen yliopisto s.a)

Homehtumis-herkkyyssluokka	Homeen taantumaluokka
HHL1	HTL2 Merkittävä taantuma
HHL2	HTL3 Kohtalainen taantuma
HHL3	HTL4 Vähäinen taantuma
HHL4	HTL4 Vähäinen taantuma

Tutkimuksessa käytettiin Suomalaista homemallia rakenteiden kosteus ja lämpöolosuhteiden analysoinnin lisäksi.

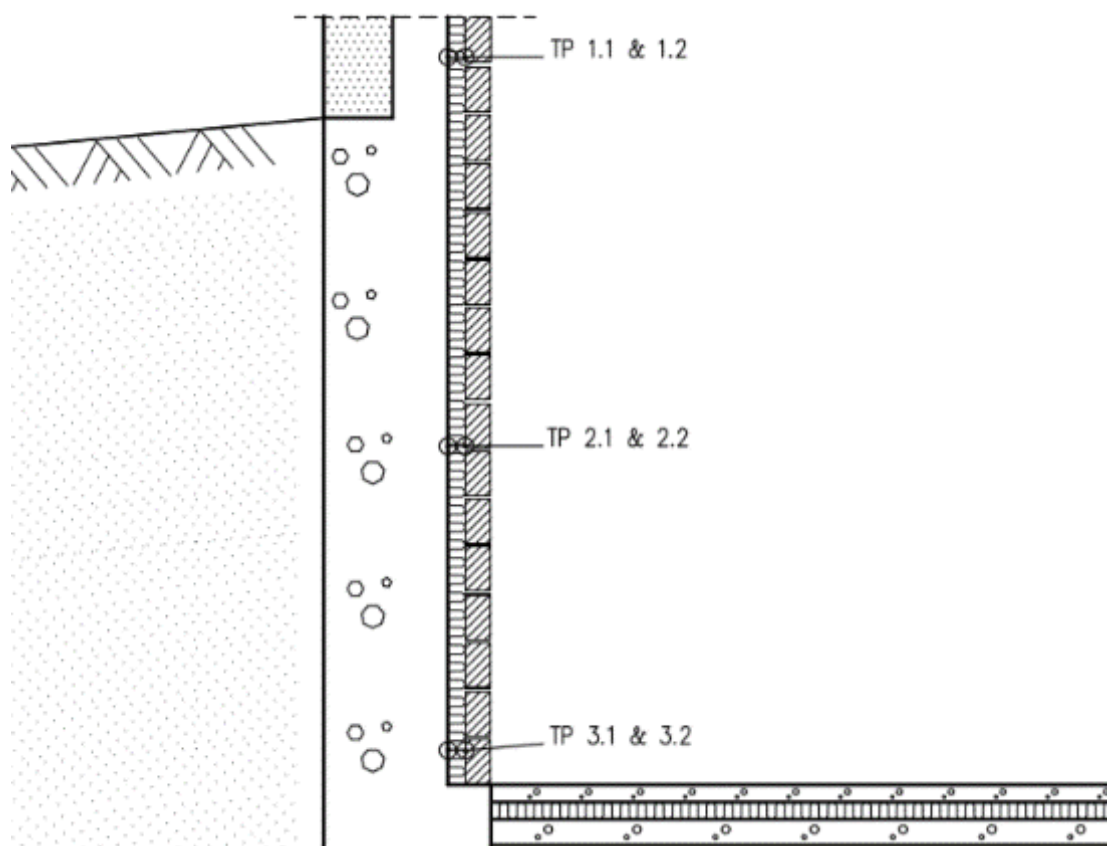
## 7 TULOKSET

Opinnäytetyössä tutkittiin ainoastaan betoninen rakenne, koska simulointiohjelman soveltuvuus luonnonkiviseen perusmuurin todettiin huonoksi. Tulokset osiossa tarkastellaan alkuperäistä vuoden 1963 teräsbetonista maanvastaista seinärakennetta ja sisäpuolisia korjausratkaisuja WUFI:n ja homeindeksin avulla. Rakenteen ulkopinnasta oli poistettu vedeneristys, jolloin rakennetta päästiin tutkimaan tilassa, jossa vanha vedeneristys on menettänyt täysin vedeneristyskykynsä. Teräsbetonisen maanvastaisen seinärakenteen rakennetyypit ovat nähtävissä liitteessä 4.

### 7.1 Alkuperäinen rakenne

Maanvastaisen seinärakenteen ulkopinnan vedeneristyksen puuttuminen aiheuttaa rakenteen sisäpinnoille huonommat kosteusolosuhteet kuin vedeneristeen ollessa toimiva. Vanhan ja korjattujen rakenteiden vertailemiseksi on hyvä myös laskea rakenteelle U-arvot. U-arvot olisi hyvä saada korjatuissa rakenteissa pienemmiksi, kuin alkuperäisessä rakenteessa. Työssä pyrittiin kuitenkin luomaan rakennusfysikaalisesti toimivampi ratkaisu, verrattuna alkuperäiseen rakenteeseen. Tällöin U-arvot saattavat jäädä suuremmiksi, kuin alkuperäisen rakenteen arvot.





Kuva 20. Alkuperäisen rakenteen tarkastelupisteet.

Rakenteiden U-arvot laskettiin standardin SFS-EN ISO 13370:2017 ja rakentamismääräyskokoelma C4 luonnos lämmöneristys ohjeen mukaisesti (RakMk C4 2012, 6-32; SFS-EN ISO 13370:2017, 26). Rakenteiden U-arvojen laskentaan käytettyjen materiaalien tiedot ovat liitteessä 2. Vanhan rakenteen U-arvoksi saatiin  $0.421 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Sisäpuolinen seinäpinta on oletettu kaikissa rakenteissa 2100 mm korkeaksi. Alkuperäisen rakenteen tarkastelupisteet 1.1 ja 1.2 sijaitsevat 200 mm maanpinnan yläpuolella ja 2.1 ja 2.2 seinän puolella välissä ja 3.1 ja 3.2 rakenteen lattian alapintaa 50 mm ylempänä. Betonin ja mineraalivillan rajapinnan tarkastelupisteiden suhteelliset kosteudet pysyvät koko neljän vuoden tarkastelujakson ajan yli 97 %:n. Sisäpuolisten tarkastelupisteiden kriittisin tarkastelupiste oli 3.2, jossa suhteellinen kosteus pysyy lähes samana, kuin pisteessä 3.1. Tarkastelupisteiden lämpötilojen vaihteluväli oli suurimmillaan pisteessä 1.1, jossa alhaisin lämpötila tarkastelu jakson aikana oli  $+2 \text{ }^\circ\text{C}$  ja ylin lämpötila  $+21\text{--}22 \text{ }^\circ\text{C}$ :n välillä. Suhteellisten kosteuksien ja lämpötilojen grafiikat ovat nähtävissä liitteessä 3.

Homeindeksi tarkastelussa betonin ja mineraalivillan rajapinnan tarkastelupisteissä pääsi muodostumaan silmin havaittavaa homeenkasvua. Homeen kasvua muodostui myös tarkastelupisteessä 3.2.

Taulukko 4. Maksimi homeindeksi [-] tarkastelupisteissä.

Materiaalit rajapinnassa ja tarkastelupisteet	HHL 1 & HTL 2	HHL 2 & HTL 3	HHL 3 & HTL 4	HHL 4 & HTL 4	Maksimi homeindeksi [-]
Betoni & mineraalivilla					
TP 1.1			x		3,430778
TP 2.1			x		3,499603
TP 3.1			x		3,456002
Mineraalivilla & tiili					
TP 1.2			x		0,030984
TP 2.2			x		0,059745
TP 3.2			x		3,245034

## 7.2 Kalsiumsilikaattilevy

Kalsiumsilikaattilevyä suositellaan korjausratkaisuksi maanvastaisissa seinissä sekä sen vesihöyrynläpäisevyyden ansiosta, että homeen kestokyvyn vuoksi. Tämän vuoksi valittiin kalsiumsilikaattilevyllä toteutettu sisäpuolinen korjaus mukaan tutkimukseen. Vanhat lämmöneristemateriaalit ja tiilimuuraus puretaan, jonka jälkeen asennetaan 50 mm paksu kalsiumsilikaattilevy valmistajan ohjeiden mukaisesti. 50 mm:n kalsiumsilikaattilevyn kanssa U-arvoksi saatiin 0.443 W/m<sup>2</sup>K. U-arvo oli heikompi, kuin alkuperäisessä rakenteessa. Suhteelliset kosteudet ja lämpötilat oli mitattu samoista tarkastelupisteistä, kuin alkuperäisestäkin rakenteesta, kalsiumsilikaattilevyn ja betonin rajapinnoilta. Kaikissa tarkastelupisteissä suhteellinen kosteus vuoden jälkeen oli yli 95 %. Lämpötilojen vaihtelevuus oli suurimmillaan pisteessä 1.1, jossa

matalin lämpötila kävi noin + 5–6 °C:n välillä ja korkein lämpötila nousi noin + 22 °C:seen.

Homeindeksi tarkastelussa kalsiumsilikaattilevyn ja betonin rajapintojen väliin pääsi muodostumaan kussakin tarkastelupisteessä silmin havaittavaa homeen kasvua.

Taulukko 5. Maksimi homeindeksi [-] tarkastelupisteissä.

Materiaalit rajapinnassa ja tarkastelupisteet	HHL 1 & HTL 2	HHL 2 & HTL 3	HHL 3 & HTL 4	HHL 4 & HTL 4	Maksimi homeindeksi [-]
Betoni & kalsiumsilikaattilevy					
TP 1.1			x		3,184139
TP 2.1			x		3,366863
TP 3.1			x		3,380063

### 7.3 Kevytsoraharkko ja kosteussulku

Sisäpuolisena korjausratkaisuna kokeiltiin myös sisäpintaan asennettavaa 150 mm:stä kevytsoraharkkoa. Työvaiheessa vanhat rakenteet purettiin, jonka jälkeen asennettiin märkätilatasoite, kosteussulku ja kevytsoraharkkomuuraus tuotteiden valmistajan ohjeiden mukaisesti. Rakenteen U-arvoksi saatiin 0.522 W/m<sup>2</sup>K. U-arvo oli siis heikompi, kuin alkuperäisessä rakenteessa. Suhteelliset kosteudet ja lämpötilat oli mitattu samoista tarkastelupisteistä, kuin alkuperäisestäkin rakenteesta, kevytsoraharkon ja kosteussulun rajapinnoista. Tarkastelupisteessä 1.1 suhteellisen kosteuden vaihteluväli oli 73–92 %. Seinärakenteen puolessavälissä pisteessä 2.1 vaihtelevuus oli 65–77 %:n välillä. Tarkastelupisteessä 3.1 suhteellinen kosteus pysyy samana, kuin alkuperäisessäkin rakenteessa. Kevytsoraharkon ja kosteussulun rajapinnassa pisteessä 1.1 lämpötila kävi pienimmillään + 4 °C:ssa ja korkeimmillaan + 22 °C:ssa.

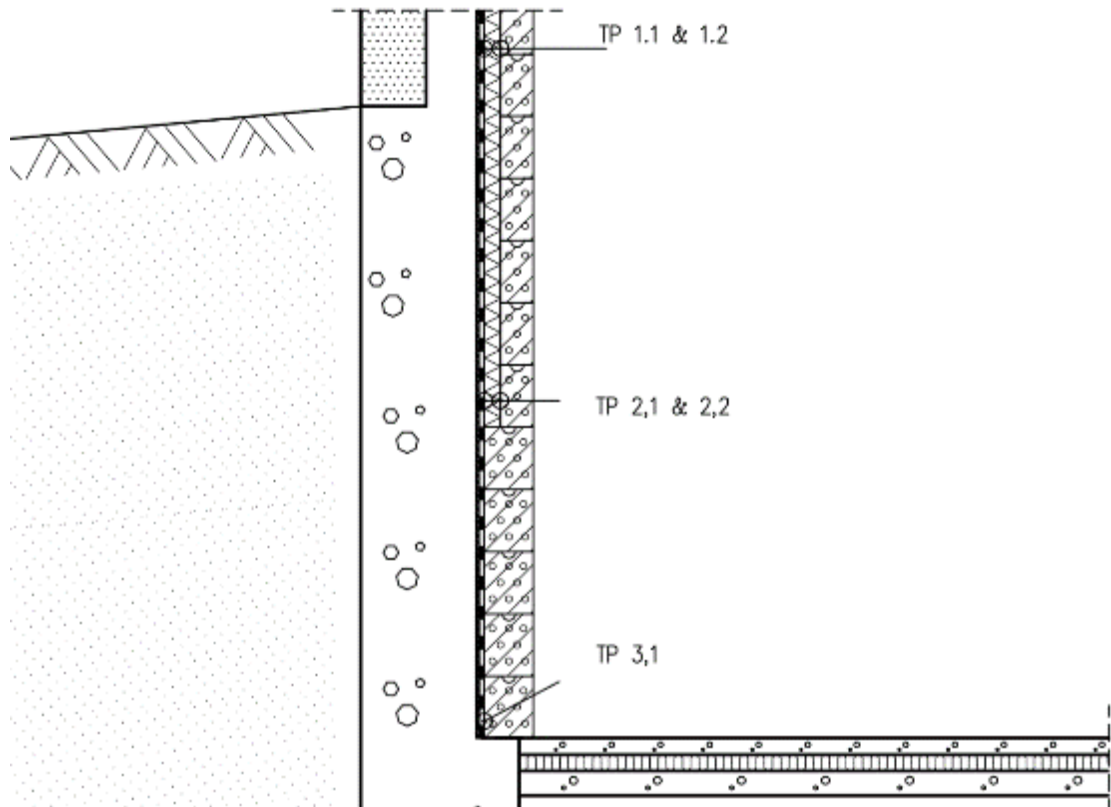
Homeindeksi tarkastelussa harkon ja kosteussulun rajapintojen tarkastelupisteissä 1.1 ja 2.1 ei päässyt muodostumaan homeen kasvua. Pisteessä 3.1 homeen kasvu oli silmin havaittavaa.

Taulukko 6. Maksimi homeindeksi [-] tarkastelupisteissä.

Materiaalit rajapinnassa ja tarkastelupisteet	HHL 1 & HTL 2	HHL 2 & HTL 3	HHL 3 & HTL 4	HHL 4 & HTL 4	Maksimi homeindeksi [-]
Kevytsoraharkko & kosteussulku					
TP 1.1			x		0,196448
TP 2.1			x		0,054713
TP 3.1			x		3,357048

#### 7.4 XPS ja kevytsoraharkko ja kosteussulku

Kevytsoraharkon lisäksi maan yläpuoliselle osuudelle ja reuna-alueelle (1 metri maanpinnasta) asennettiin XPS-levy. Vanhat rakenteet purettiin, jonka jälkeen koko seinärakenteen matkalle asennettiin märkätilatasoite ja kosteussulku. Reuna-alueelle asennettiin kosteussulkua vasten 50 mm:n XPS-levy ja 100 mm:n kevytsoraharkkomuuraus. Rakenteen sisäalueelle kosteussulkua vasten asennettiin 150 mm:n kevytsoraharkkomuuraus. Rakenteen U-arvoksi saatiin 0.371 W/m<sup>2</sup>K. Tässä rakenne ratkaisussa U-arvoa saatiin kasvatettua paremmaksi.



Kuva 21. Tarkastelupisteet ja XPS-levyn suunnittelu reuna-alueelle.

Suhteelliset kosteudet mitattiin reuna-alueella ja maanyläpuolisella osuudella XPS-levyn ja kosteussulun rajapinnoista ja XPS-levyn ja kevytsoraharkon rajapinnoista. XPS-levyn ja kosteussulun rajapinnassa pisteessä 1.1 suhteellinen kosteus kävi tarkastelu jakson aikana 70 ja 100 %:n välillä. XPS-levyn alapinnasta mitattu pisteen 2.2 suhteellinen kosteus vaihteli välillä 70–90 %. Tarkastelupisteessä 3.1 kosteusolosuhteet pysyivät samana, kuin muissakin rakenteissa.

Homeindeksi tarkasteluissa tarkastelupisteen 1.1 ja 3.1 pinnoille pääsi muodostumaan silmin havaittavaa hometta. Pisteessä 2.1 homeindeksit olivat alle 1, mutta homeen muodostuminen oli silti mahdollista. Pisteissä 1.2 ja 2.2 ei ollut havaittavissa homeen kasvua materiaalien pinnoilla.

Taulukko 7. Maksimi homeindeksi [-] tarkastelupisteissä.

Materiaalit rajapinnassa ja tarkastelupisteet	HHL 1 & HTL 2	HHL 2 & HTL 3	HHL 3 & HTL 4	HHL 4 & HTL 4	Maksimi homeindeksi [-]
XPS & kosteus-sulku					
TP 1.1			x		3,436011
TP 2.1			x		0,458645
Kevytsojaraharkko & kosteussulku					
TP 3.1			x		3,306706
Kevytsojaraharkko & XPS					
TP 1.2			x		0
TP 2.2			x		0

## 8 POHDINTA

Tässä tutkimuksessa alkuperäisen betonisen rakenteen kosteustekninen toimivuus oli hyvin heikko ilman ulkopuolista vedeneristettä. Homehtumisriskiä kuvaava homeindeksi nousi kriittiselle tasolle jokaisessa tarkastelupisteessä. Antura oli alkuperäisessä rakenteessa jatkuvassa kosketuksessa maaperään, jolloin kapillaarinen kosteus pääsi anturan kautta nousemaan seinän sisäpuolisiin rakennekerroksiin seinän alaosissa. Rakenne kostui ulkopuolisen vedeneristeen puutteesta johtuen koko seinän matkalta, jolloin kussakin tarkastelupisteessä havaittiin liiallinen suhteellinen kosteus. Kunkin tarkastelupisteen lämpötilat ja kosteuspitoisuudet olivat koko neljän vuodenajan otolliset homeen muodostumiselle rakenteessa. Rakenne oli riskirakenne, jonka vuoksi sisäpinnan materiaalit tulee purkaa korjaustöissä.

Vanhan seinärakenteen korjaukseen oli valittu kolme erilaista korjausvaihtoehtoa, joista ensimmäisenä oli sisäpuolinen korjaus kalsiumsilikaattilevyllä. Kalsiumsilikaattilevyn tausta toteutettiin diffuusioavoimena, jolloin simulointi vaiheen toteutuksessa käytettiin pelkästään kalsiumsilikaattilevyä betonin pinnalla. Anturan ja seinän kautta kulkeutuva kosteus osoittautui ongelmaksi tässäkin rakenteessa, jonka vuoksi levyn ominaisuudet eivät riittäneet luovuttamaan kosteutta tarpeeksi nopeasti sisäpuolelle rakennetta. Suotuisten lämpötilojen ja runsaiden kosteusolosuhteiden vuoksi tässä rakenteessa, kunkin tarkastelupisteen rajapintojen homeindeksit olivat korkealla. Kalsiumsilikaatilla korjattu rakenne ei tässä tutkimuksessa osoittautunut toimivaksi ratkaisuksi. Taustaselvittelyjen avulla päädyttiin valitsemaan kalsiumsilikaattilevyn sisäpuoliseksi korjausmenetelmäksi levyn rakennusfysikaalisten ominaisuuksien takia. Tulee kuitenkin muistaa, että levyjä on erilaisia eri ominaisuuksilla. Tulos voisi parantua, mikäli käytetään rakennusfysikaalisesti parempilaatuista levyä rakenteen sisäpinnalla.

Ulkopuolisen vedeneristeen rikkoutumisen vuoksi työssä käytiin läpi myös kaksi kosteussululla toteutettua korjausratkaisua. Tulee kuitenkin korostaa, että kosteussululla toteutettu rakenne ei ole ikuinen. Ajansaatossa kosteussulku voi päästä irtoamaan suolojen ja kalkin vaikutuksesta. Toisena korjausratkaisuna oli sisäpuolinen kevytsoraharkkomuuraus. Anturasta nouseva kapillaarinen kosteus osoittautui myös kevytsoraharkolla korjatun rakenteen

haasteeksi, jonka vuoksi homeindeksi nousi yli kolmen alapohjan läheisyydessä. Seinän maanvastaisen osan keskialueella suhteelliseen kosteuteen vaikutti pelkästään sisäilman kosteus, joka ei perusmaan kohdalla pääse vaikuttamaan yhtä suuresti, kuin maanpinnan yläpuolisella osuudella.

Maan yläpuolisella osuudella suhteellinen kosteus kävi ajoittain lukemassa 90 %. Korkea kosteuspitoisuus muodostaa harkon ja kosteussulun väliin ajoittain homeen kasvulle suotuisat olosuhteet, mutta laskennan mukaan hetkellinen 90 %:n suhteellinen kosteus rakenteen pinnalla ei aiheuta homeen muodostumisen vaaraa. Harkkomuurattua rakennetta voitaisiin pitää toimivana ratkaisuna tarkastelupisteissä 1.1 ja 2.1. Kokonaisuudessaan rakenne saataisiin toimivaksi toteuttamalla kapillaarikatko seinän ja anturan väliin. Kevytsoraharkko otettiin työn tarkasteluihin mukaan sen rakennusfysikaalisten ominaisuuksien vuoksi.

Kolmannessa vaihtoehdossa reuna-alueen ja maan yläpuolisen osan XPS-levy osoittautui huomattavan riskialttiiksi ratkaisuksi. Ennen tarkasteluja oli oletus, että XPS-levy olisi itsessään niin tiivis, että sisäpuolinen kosteus ei pääsisi levyn läpi kulkeutumaan kosteussulun ja XPS-levyn rajapintaan. Kuitenkin WUFI tarkastelun jälkeen todettiin se, että XPS-levy ei ohjelman simuloinnin mukaisesti ollut täysin tiivis, jonka vuoksi sisäpuolinen kosteus pääsi tiivistymään tarkastelupisteeseen 1.1. Tiivistyneen kosteuden painovoimainen valuminen ajan kanssa levyn ja kosteussulun välissä mahdollistaisi huonommat kosteusolosuhteet pisteessä 2.1, jolloin homeindeksin arvo nousisi. Tiivistymisen vuoksi voidaan jo todeta, että rakenne ei ollut toimiva ratkaisu tässä tutkimustyössä. Korjausratkaisuissa ei ole otettu huomioon pohjavedestä aiheutuvia kosteusrasituksia eikä alapohjan alapuolista kapillaarikerrosta. Tuloksellisesti voidaan todeta, että ulkopuolisen vedeneristeen puutteellisuus tuottaa suuria vaikeuksia toteuttaa hyvin toimiva ratkaisu sisäpuolisilla menetelmillä. Ulkopuolisilla menetelmillä saataisiin korjattua vedeneristeen puutteellisuus, salaojat, ja voitaisiin toteuttaa työ käännettynä rakenteena, jolloin rakenne olisi rakennusfysikaalisesti toimivampi. Tutkimuksessa tutkittujen rakenteiden lämpö, kosteus ja homeindeksin käyrät ovat nähtävissä liitteessä 3.

Työssä tarkasteltavaksi oli myös tarkoitettu vuoden 1891 maanvastainen seinärakenne. Rakennetta tutkiessa WUFI 2D ohjelmalla tuli esille, että ohjelma



ei ollut soveltuva toteuttamaan luonnonkivisen perusmuurin kosteus- ja lämpösimulointia. Luonnonkivisen perusmuurin simuloimiseen tulisi käyttää WUFI:n 3D simulointia, jolla pystyttäisiin toteuttamaan luonnonkivien väliset pystysaumatkin. Luonnonkivi materiaalina on itsessään tiivis, jolloin veden kulkeutuminen luonnonkiven läpi ei ole mahdollista ilman isoja halkeamia. 2D ohjelmalla pystytään ainoastaan simuloimaan vaakasaumojen kautta kulkeutuva kosteus, minkä vuoksi saumoissa tulisi käyttää sen ajan kalkkisementtilaastia simuloinnin toteuttamiseen. Tulokset eivät olisi todenmukaisia, mikäli simuloitaisiin pelkillä vaakasaumoilla. Simuloinnin alkuvaiheessa pyrittiin myös etsimään tietoja luonnonkivistä ja sen rakennusfysikaalisista ominaisuuksista. Tämä kuitenkin osoittautui suureksi haasteeksi, jonka vuoksi simulointia kehitettiin vaakasaumoilla WUFI:n materiaalikirjaston avulla. Simuloinnin avulla todettiin, että graniitin ominaisuudet eivät olisi olleet työhön soveltuvat. Ohjelman sisäisten materiaalien rakennusfysikaaliset arvot oli asetettu siten, että kiven suhteellinen kosteus nousi 100 %:n simulointi vaiheessa, vaikka käytännössä kiven pitäisi olla kosteutta läpäisemätön materiaali. Arvojenmuokkaaminen ei tuntunut oikealta vaihtoehdolta, joten luonnonkivi rakennetta ei enempää tarkasteltu.

### **Lisätutkimusehdotukset**

Työssä tuli esille tarve jatkotarkasteluille. Ensimmäinen lisätutkimusehdotus liittyy XPS-levyllä korjattuun rakenteeseen. XPS-levyllä toteutettuun rakenteeseen voitaisiin tehdä maanpinnan yläpuoliselle osalle tarkastelu, jossa kosteussulku sijoitettaisiin pelkästään maanvastaiselle osalle ja maanyläpuolinen osa jätettäisiin ilman kosteussulkua. Kosteussulku mahdollistaa sisäpuolisen kosteuden tiivistymisen XPS-levyn ja kosteussulun rajapintaan. Mikäli kosteussulkua ei olisi, pystyisi kosteus liikkumaan betonirakenteeseen, minkä vuoksi tätä ratkaisua olisi hyvä tarkastella. Toiseksi tutkimusehdotukseksi osoittautui vanhan maanvastaisen luonnonkivisen perusmuurin perusteellinen tutkiminen WUFI:n 3D simulointi ohjelmalla tai vastaavalla ohjelmalla, korjauksineen. Tutkimuksen edetessä nousi esiin kysymys, että kuinka käyttökelpoinen WUFI 2D ohjelma olisi pohjavedenpinnan tason ollessa esimerkiksi 1 metrin päässä anturan alapinnasta.

## LÄHTEET

Aaltonen, A., Huttunen, P., Jokisalo, J., Kero, P., Koskenvesa, A., Kuhno, V., Köliö, A., Lahdensivu, J., Laukkarinen, A., Lähdesmäki, K., Manelius, E., Mäkitalo, M., Nurmi, S., Pakkanen, T., Palolahti, T., Piironen, J., Pirinen, M., Suonketo, J., Teriö, O & Vinha, J. 2013. Ilmastonmuutoksen ja lämmöneristykseen lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja rakennusten energiankulutuksessa. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://tutcris.tut.fi/portal/fi/publications/ilmastonmuutoksen-ja-lammoeneristykseen-lisayksen-vaikutukset-vaipparakenteiden-kosteusteknisessa-toiminnassa-ja-rakennusten-energiankulutuksessa\(9092ab78-5ecf-4dc1-a53f-8eb20ad62d3c\).html](https://tutcris.tut.fi/portal/fi/publications/ilmastonmuutoksen-ja-lammoeneristykseen-lisayksen-vaikutukset-vaipparakenteiden-kosteusteknisessa-toiminnassa-ja-rakennusten-energiankulutuksessa(9092ab78-5ecf-4dc1-a53f-8eb20ad62d3c).html) [viitattu 18.4.2019].

Björkholtz, D. 1997. Lämpö ja kosteus rakennusfysiikka. 4. painos. Saarijärvi: Gummerus.

Fraunhofer IBP. 2008. What is Wufi?. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://www.wufi-wiki.com/mediawiki/index.php/2D:Wufi\\_2D](https://www.wufi-wiki.com/mediawiki/index.php/2D:Wufi_2D) [viitattu 28.1.2019].

Fraunhofer IBP. 2019a. What is WUFI®?. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://wufi.de/en/software/what-is-wufi/> [viitattu 28.1.2019].

Fraunhofer IBP. 2019b. WUFI® 2D online help. WUFI:n sisäinen-ohje.

Fraunhofer IBP. 2019c. WUFI® 2D. WUFI:n sisäiset materiaalit.

Hagentoft, C. 2001. Building physics. United States of America: Lightning source

Heiskanen, R. 2016. Maanvastaisten seinien sisäpuolinen lisälämmöneristämisen. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:ty-201606014206> [viitattu 16.4.2019].

Hemgren, P. & Wannfors, H. 2018. Husets abc. Värnamö: JK Morris AB.

Hens, H. 2012. Building physics heat, air and moisture. 3. painos. Mörlenbach: Strauss GmbH.

Ilmatieteen laitos. 2014. Rakennusfysiikan ilmastolliset testivuodet. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ilmatieteenlaitos.fi/rakennusfysiikan-ilmastolliset-testivuodet> [viitattu 31.1.2019].

Leivo, V. & Rantala, J. 2001. Maanvaraisten alapohjarakenteiden kosteuskäyttäytyminen. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://tutcris.tut.fi/portal/fi/publications/maanvaraisten-alapohjarakenteiden-kosteuskayttaytyminen\(b021e34e-e6c5-47a8-ace3-ac5e6f5fe36d\).html](https://tutcris.tut.fi/portal/fi/publications/maanvaraisten-alapohjarakenteiden-kosteuskayttaytyminen(b021e34e-e6c5-47a8-ace3-ac5e6f5fe36d).html) [viitattu 3.5.2019].

Leivo, V. & Rantala, J. 2006. Maanvastaisten alapohjarakenteiden lämpö ja kosteus. Jyväskylä: Gummerus.

Mäkiö, E., Malinen, M., Neuvonen, P., Vikström, K., Mäenpää, R., Saarenpää, J. & Tähti, E. 2016. Kerrostalot 1960-1975. 2. painos. Viro: Meedia Zone oÜ.

Neuvonen, P., Mäkiö, E. & Malinen, M. 2002. Kerrostalot 1880-1940. Hämeenlinna: Karisto Oy.

Neuvonen, P. (toim.) 2006. Kerrostalot 1880-2000. Tampere: Tammer-paino Oy.

Palviainen, T. 2010. Maanvastaisten rakenteiden kosteuden hallinta sisäpuolisilla menetelmillä. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:tty-201704111297> [viitattu 16.4.2019].

Pitkäranta, P. (toim.) 2016. Rakennuksen kosteus ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. WWW-dokumentti. Saatavissa: [http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/75517/YO\\_2016\\_Kuntotutkimusopas.pdf](http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/75517/YO_2016_Kuntotutkimusopas.pdf) [viitattu 24.10.2018].

Rakentajain kalenteri. 2017. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Ratu F1-0368. 2010. Perustusten vedeneristyksen, salaojituksen ja routasuojauksen korjaaminen. Helsinki: Rakennustieto Oy.

RT 80-10712. 1999. Rakennuksen kosteus- ja mikrobivauriot. Helsinki: Rakennustieto Oy.

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

RIL 107-2012. 2012. Rakennusten veden ja kosteudeneristysohjeet. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry. Saarijärvi: Offset Oy.

RIL 250-2011. 2011. Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry. Saarijärvi: Offset Oy.

RIL 255-1-2014. 2014. Rakennusfysiikka 1, Rakennusfysikaalinen suunnittelu ja tutkimukset. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry. Helsinki: Tammerprint Oy.

Sandin, K. 2010. Praktisk byggnadsfysik. Hungary: Elanders Hungary Kft

Siikanen, U. 2014. Rakennusfysiikka perusteet ja sovelluksia. Tampere: Tammerprint Oy.

Sisäilmayhdistys ry. s.a. Kellarin seinät. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kunnossapito-ja-korjaaminen/Maanvastaiset-rakenteet/Kellarin-seinat> [viitattu 15.1.2019].

Strandberg, B. 2018. Bygga hus. Poland: Dimograf.

Suomen standardisoimisliitto SFS ry. 2017. Thermal performance of buildings. Heat transfer via the ground. Calculation methods (ISO 13370:2017). WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://kaakkuri.finna.fi/>, SFS Online [viitattu 6.5.2019].

Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 2017. Building components and building elements. Thermal resistance and thermal transmittance. Calculations methods (ISO 6946:2017). WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://kaakkuri.finna.fi/>, SFS Online [viitattu 3.5.2019].

Tampereen yliopisto. s.a. Suomalainen homemalli. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://research.tuni.fi/rakennusfysiikka/kosteusanalysointimenetelma/suomalainen-homemalli/> [viitattu 25.2.2019].

Ympäristöopas 29. 1997. Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen korjaus. WWW-dokumentti. saatavissa: [www.ym.fi/download/Kosteus...29...1997\\_s...29...1997.../118696](http://www.ym.fi/download/Kosteus...29...1997_s...29...1997.../118696) [viitattu 14.2.2019].

Ympäristöministeriö. 2012. Luonnos C4 Suomen rakentamismääräyskoelma. Lämmöneristys ohjeet 2012. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ym.fi/download/noname/%7BE3549160-2ED6-4807-8556-230BDC60275B%7D/30749> [viitattu 6.5.2019].

Liite 1: Simuloinnissa käytettyjä materiaaliarvoja.

Materiaali	Tiheys [kg/m <sup>3</sup> ]	Huokoi- suus [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	Ominais- lämpöka- pasideetti [J/(kg·K)]	Lämmön- johta- vuus [W/(m·K)]	Vesihöyryn dif- fuusiovastusker- roin [-]
Betoni <sup>(1)</sup>	2200	0,18	850	1,6	248
Hiekka / sora <sup>(1)</sup>	1507	0,429	850	0,488	50
Kalsiumsi- likaattilevy <sup>(2)</sup>	300	0,842	1162	0,062	4,6
Kevytora- harkko <sup>(1)</sup>	700	0,67	850	0,13	7
Kevytbe- toni <sup>(1)</sup>	400	0,81	850	0,1	7,9
Kosteus- sulku <sup>(1)</sup>	130	0,001	2300	2,3	100000
Mineraali- villa <sup>(1)</sup>	60	0,95	850	0,04	1,3
Lastuvilla sementti- levy <sup>(1)</sup>	450	0,55	1400	0,08	9
Tiili <sup>(1)</sup>	800	0,6	850	0,18	15
XPS <sup>(2)</sup>	60	0,95	1500	0,037	150

1) WUFI:n sisäiset materiaalit (WUFI® 2D 2019c).

2) Materiaalit otettu lähteestä: (Aaltonen ym. 2013, 355).

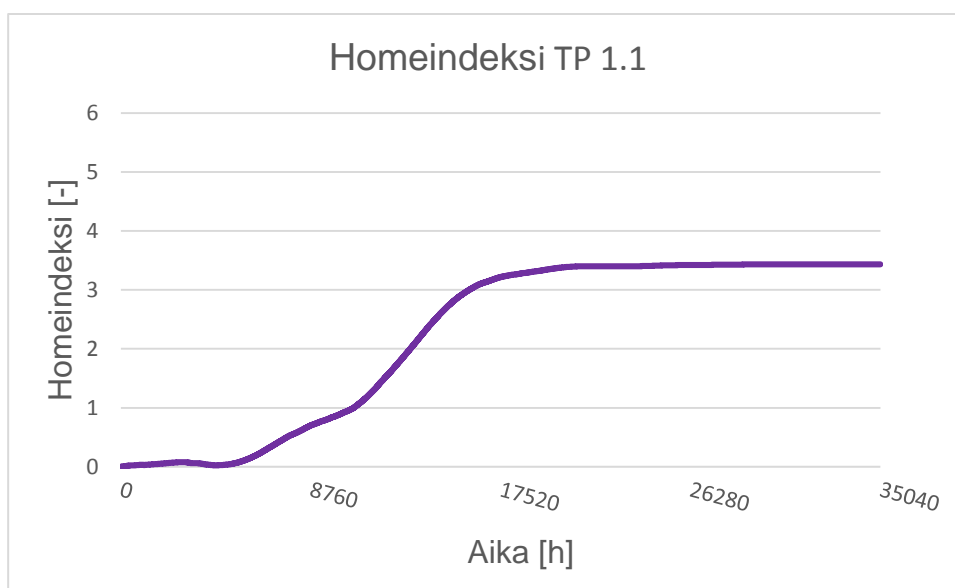
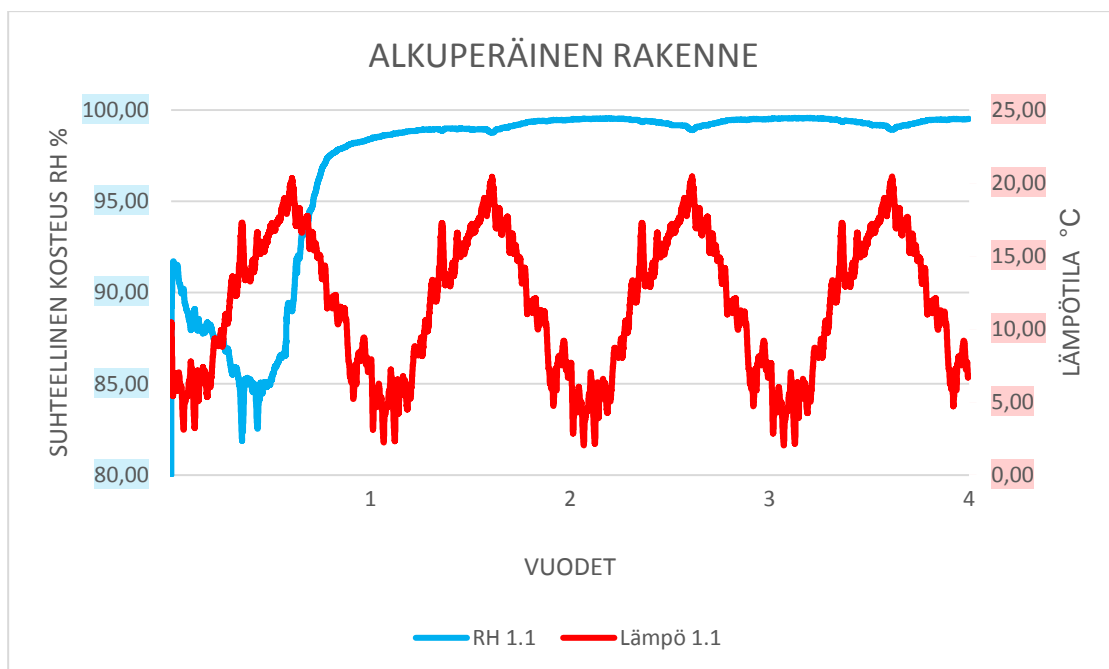
Liite 2: U-arvojen laskennassa käytetyt lämmönjohtavuusarvot.

Materiaalit	Lämmönjohtavuuden suunnittelu-arvo $\lambda_u$
Betoni <sup>(1)</sup>	2,5
Kalsiumsilikaattilevy <sup>(1)</sup>	0,050
Kevytsoraharkko <sup>(1)</sup>	0,20
Laasti <sup>(1)</sup>	1,2
Mineraalivilla <sup>(1)</sup>	0,050
Tiili <sup>(1)</sup>	0,7
XPS <sup>(1)</sup>	0,035

1) Lämmönjohtavuuden suunnittelu-arvot (RakMk C4 2012 luonnos, 17-21).

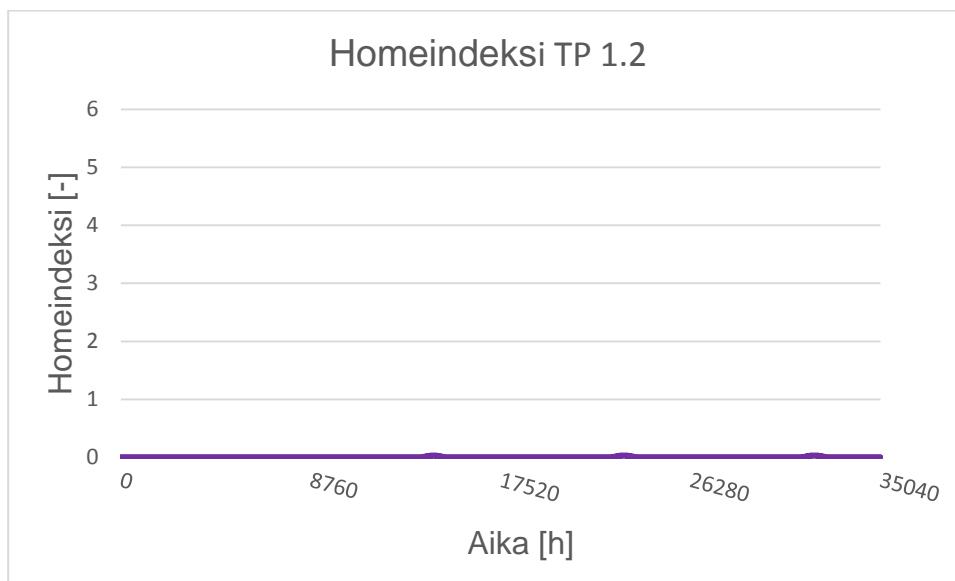
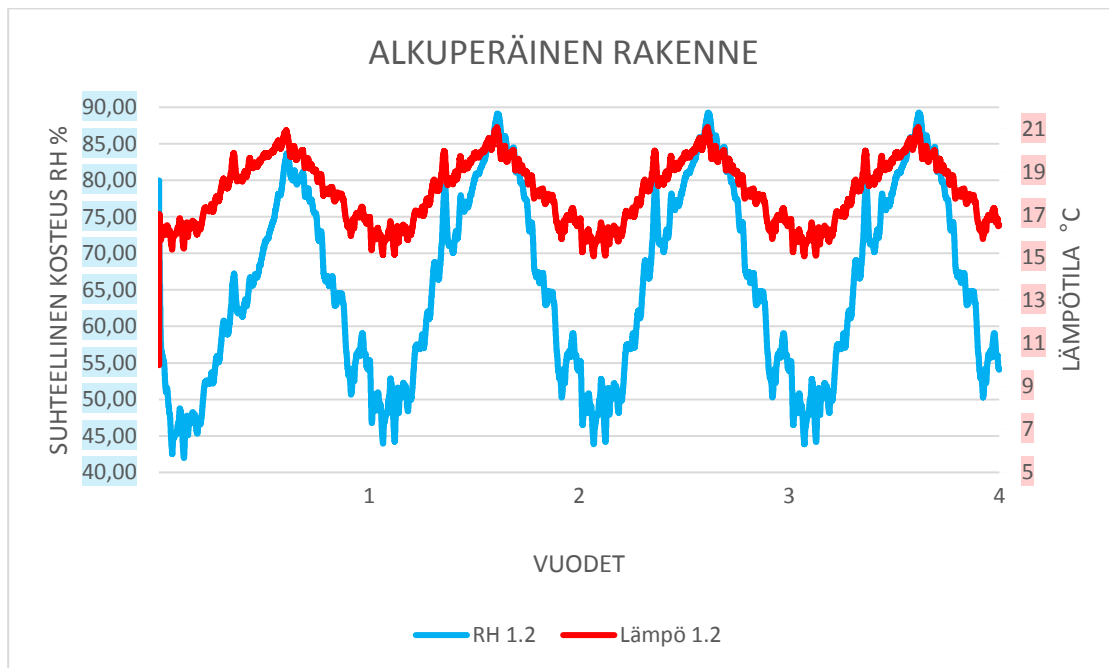
## Liite 3: Simuloinnin tulokset

## Vuoden 1963 alkuperäisen maanvastaisen seinän tulokset

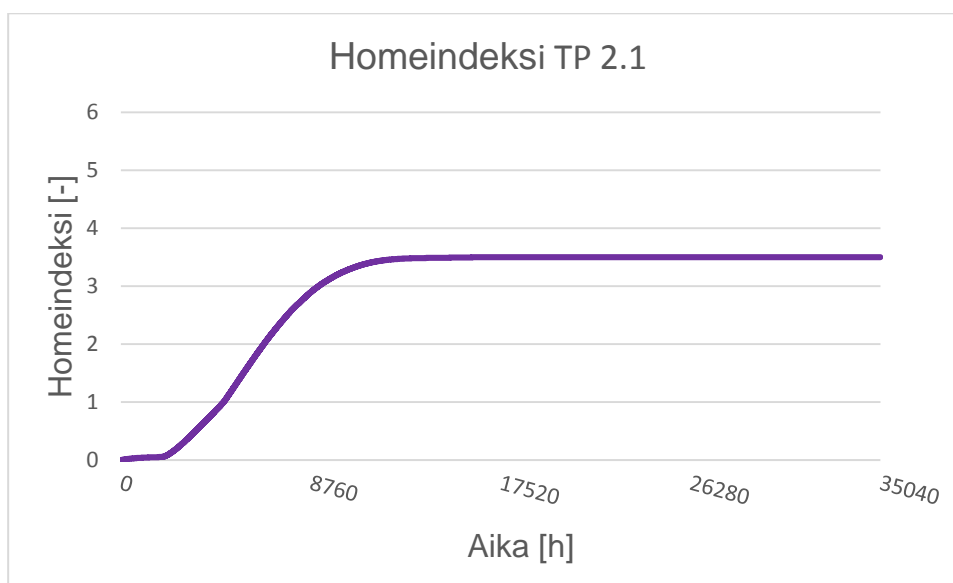
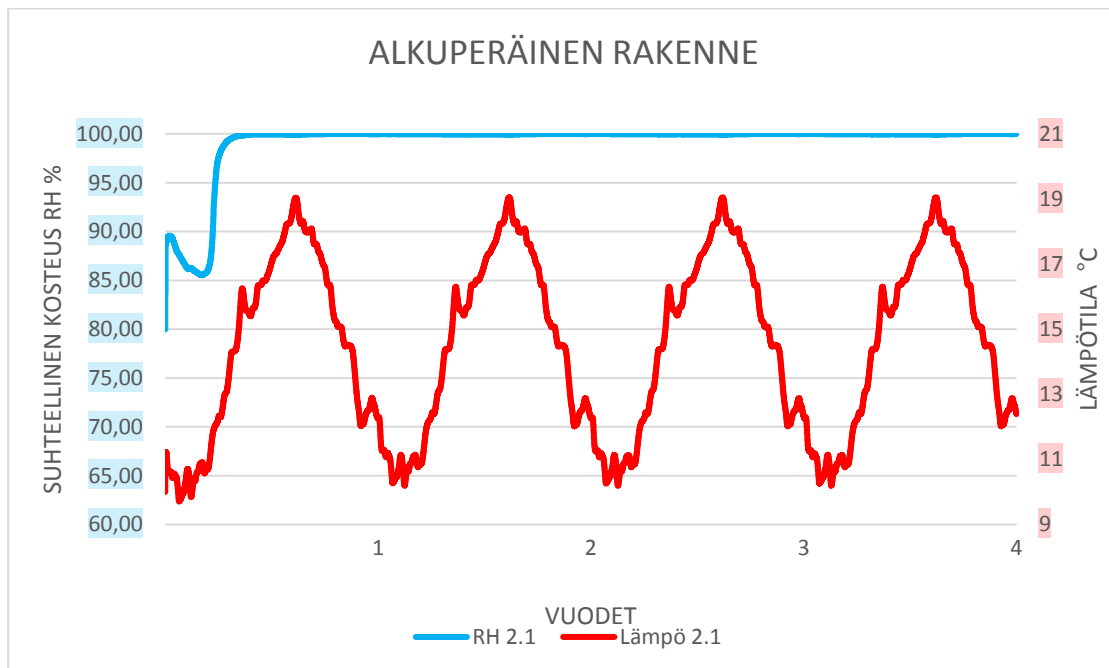


TP 1.1

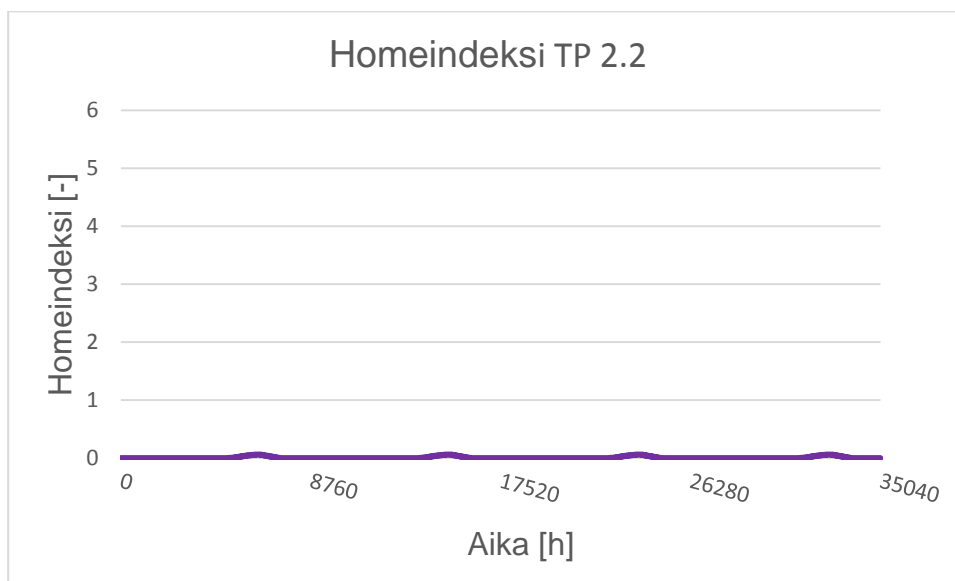
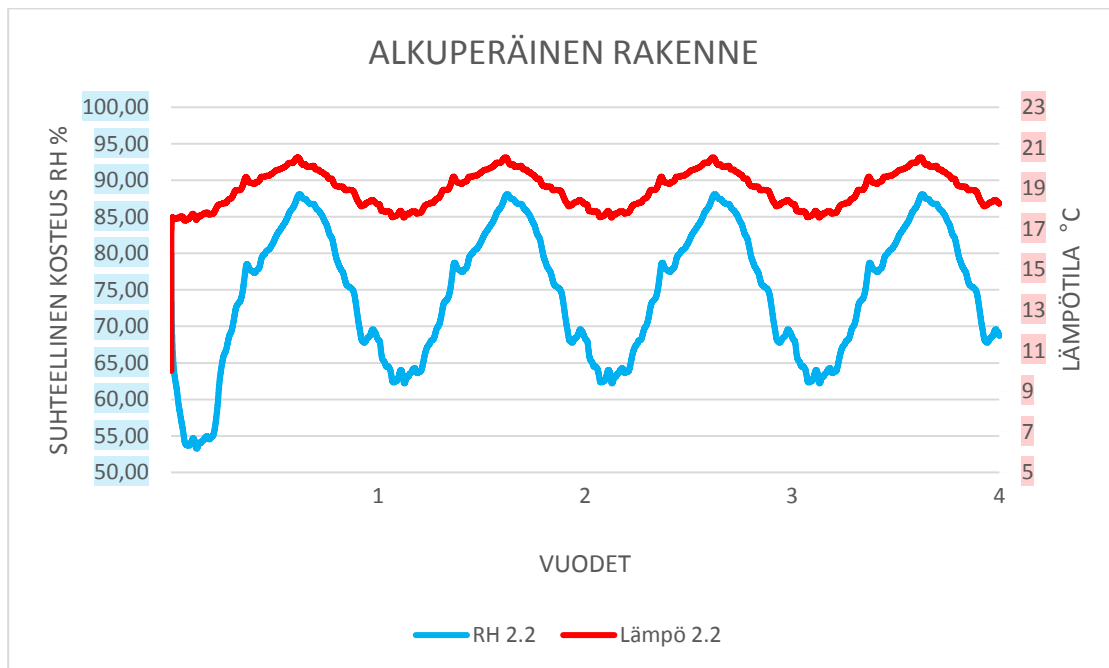




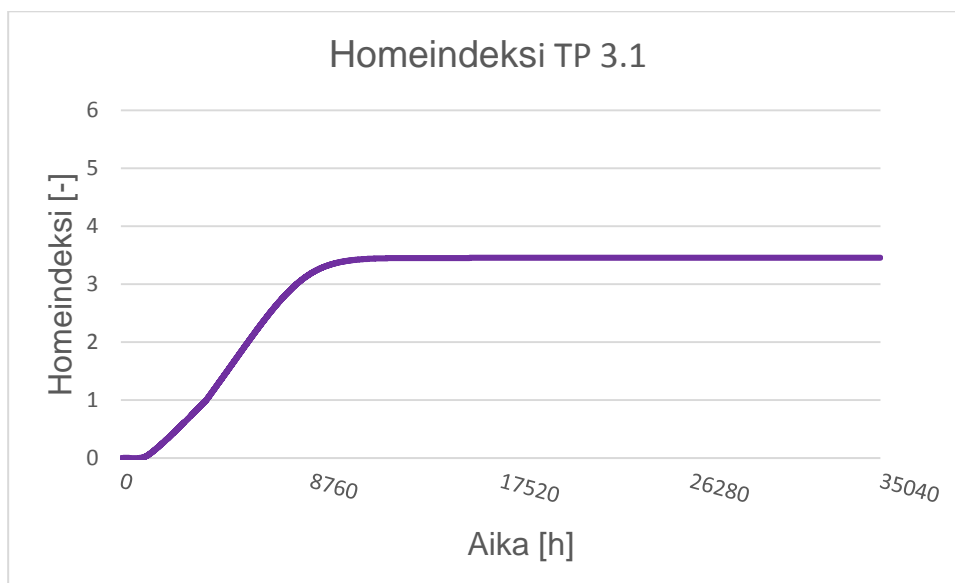
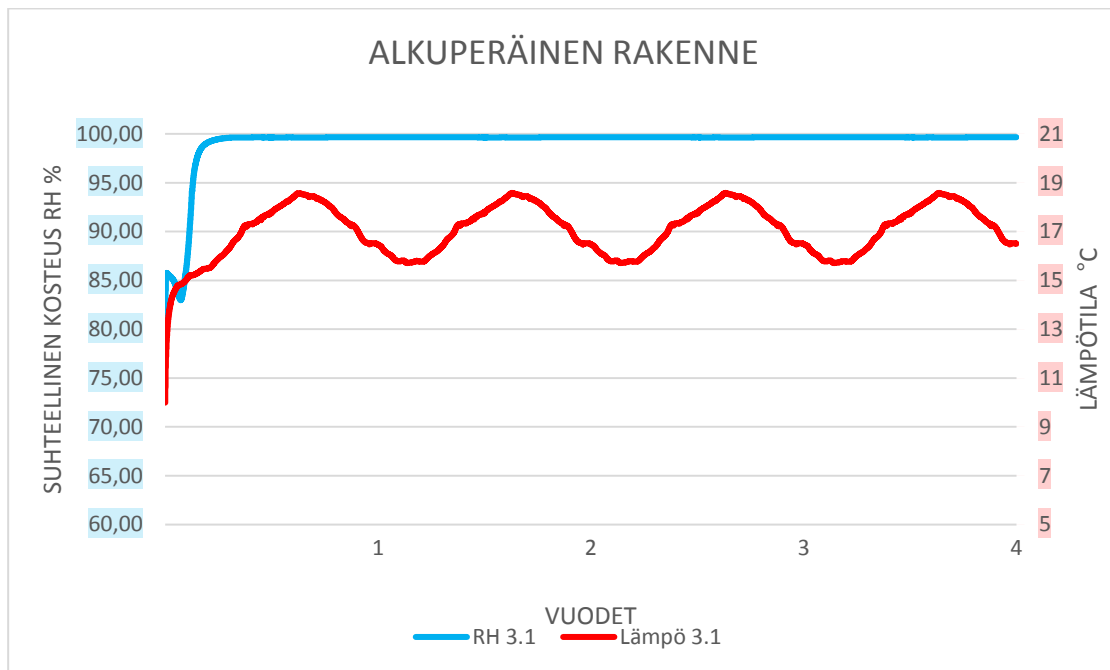
TP 1.2



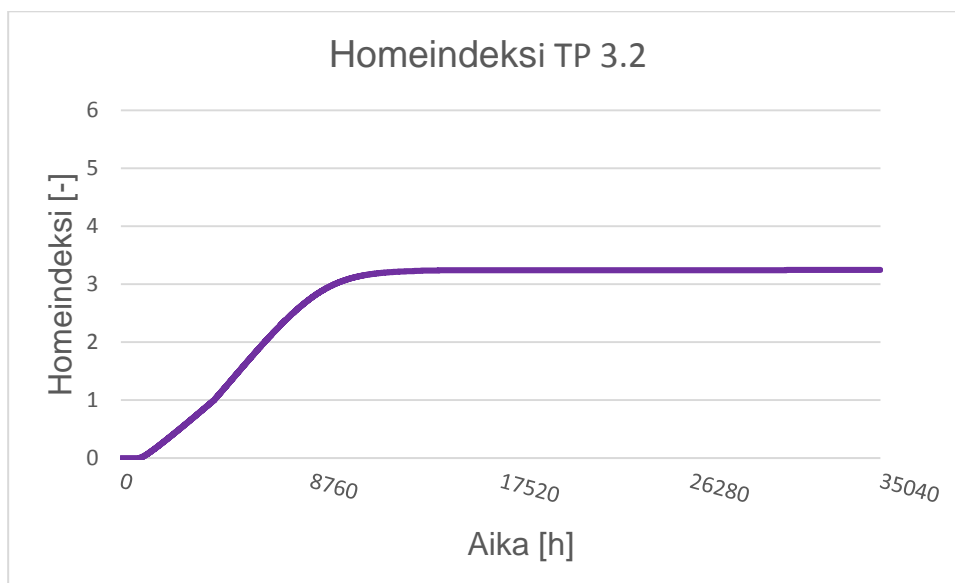
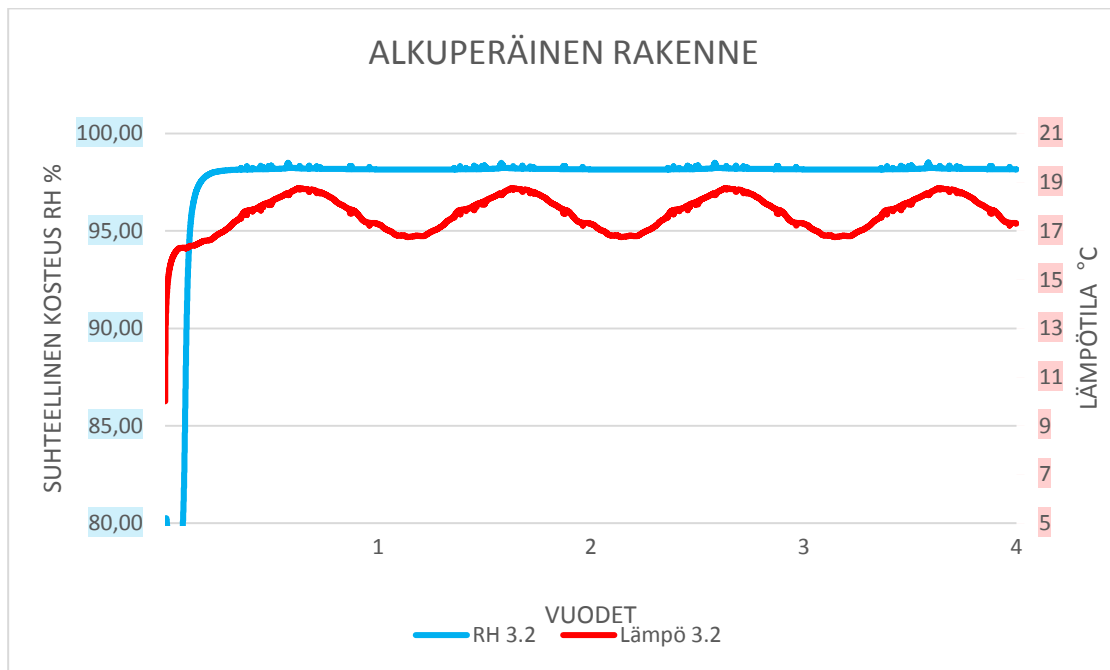
TP 2.1



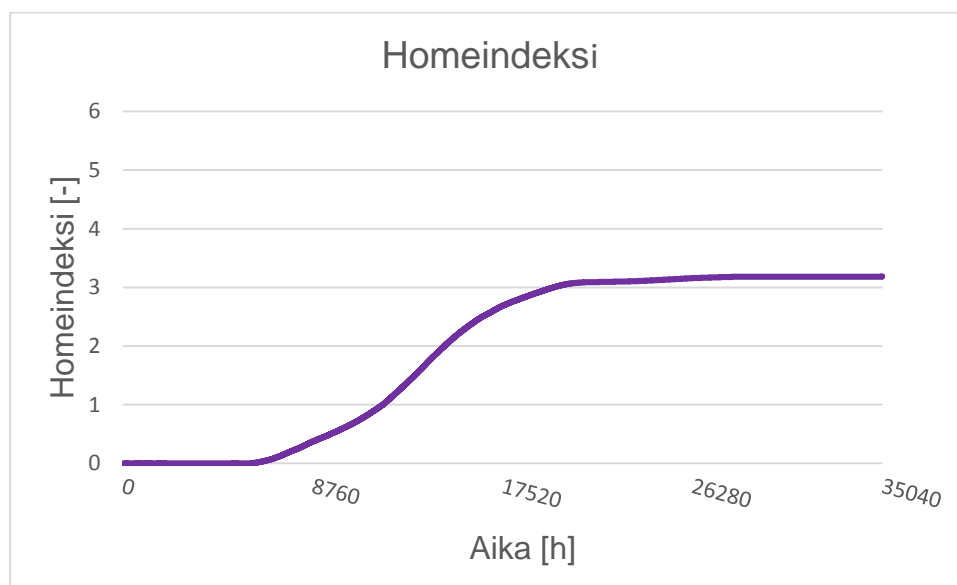
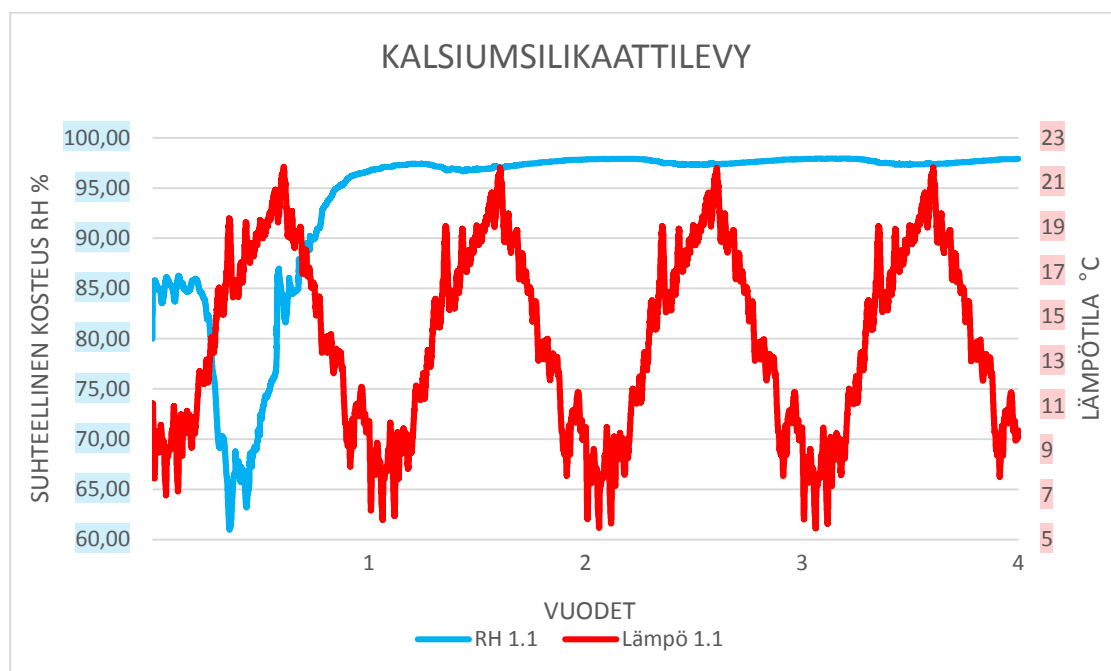
TP 2.2



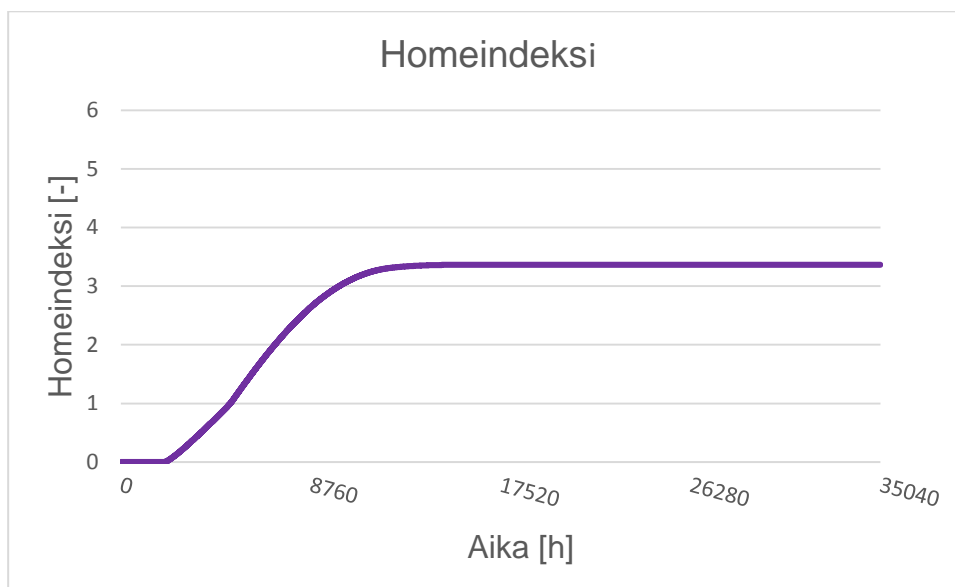
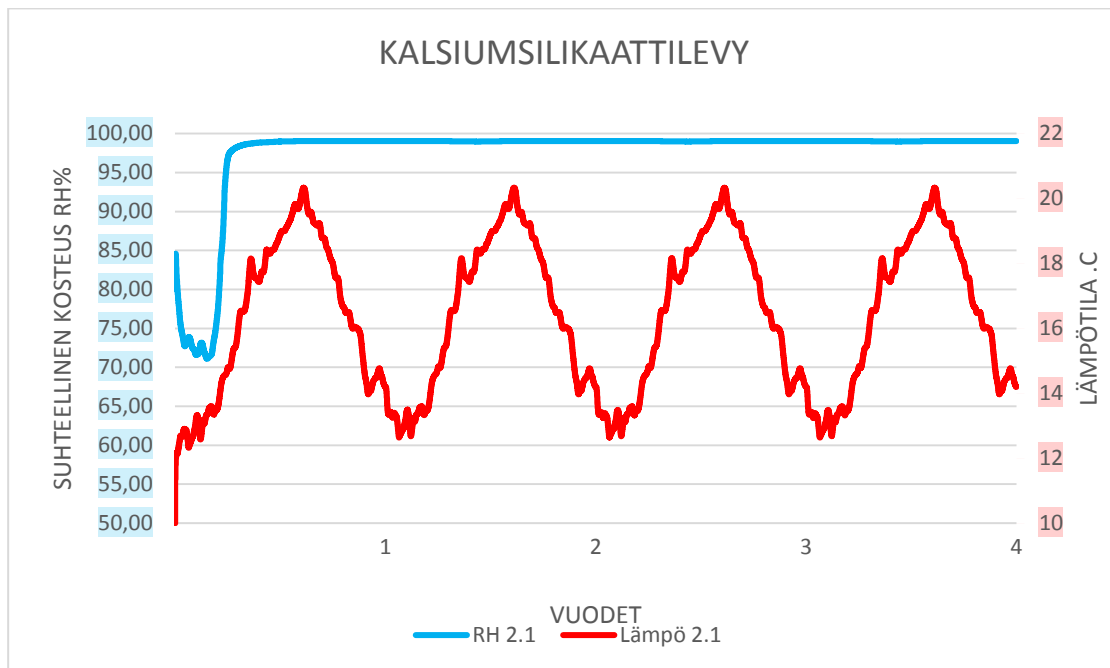
TP 3.1



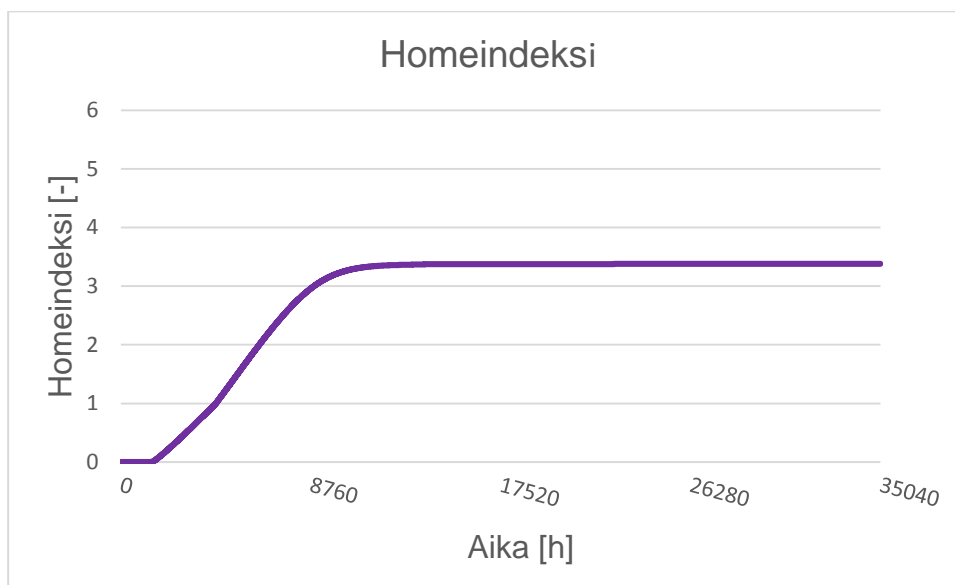
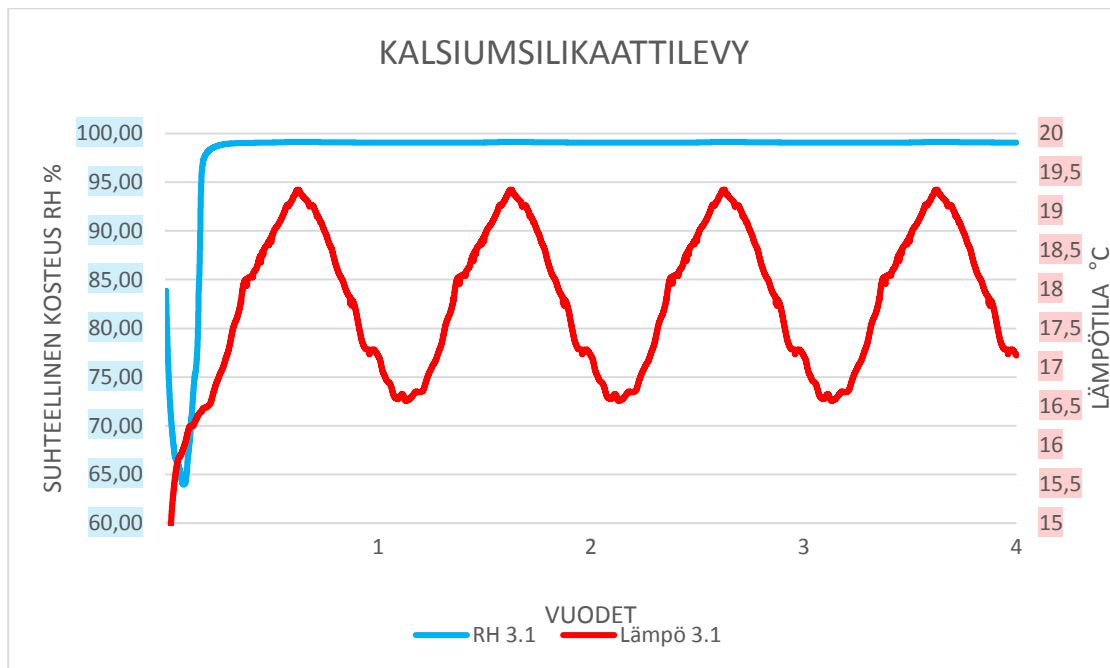
TP 3.2

**Kalsiumsilikaattilevyllä korjattu rakenne.**

TP 1.1

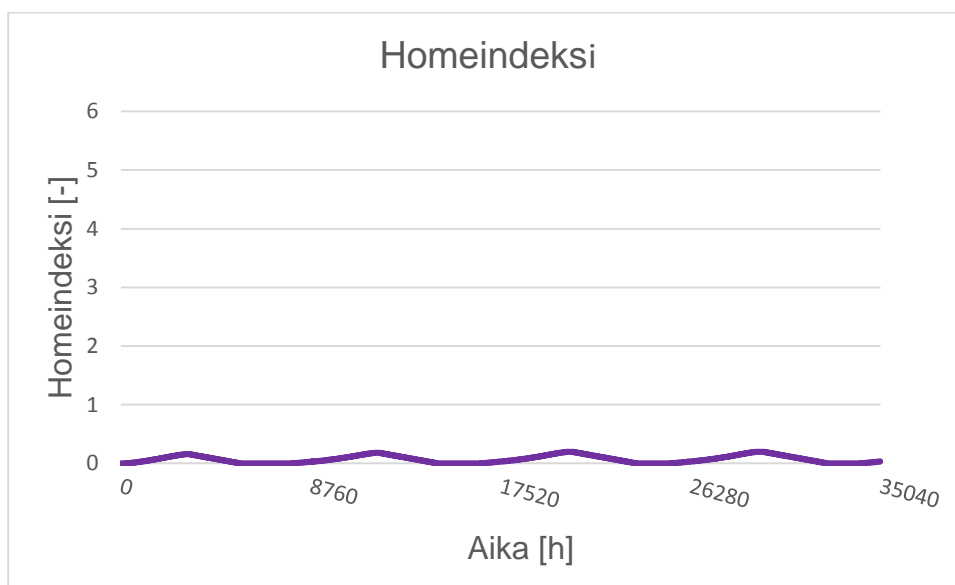
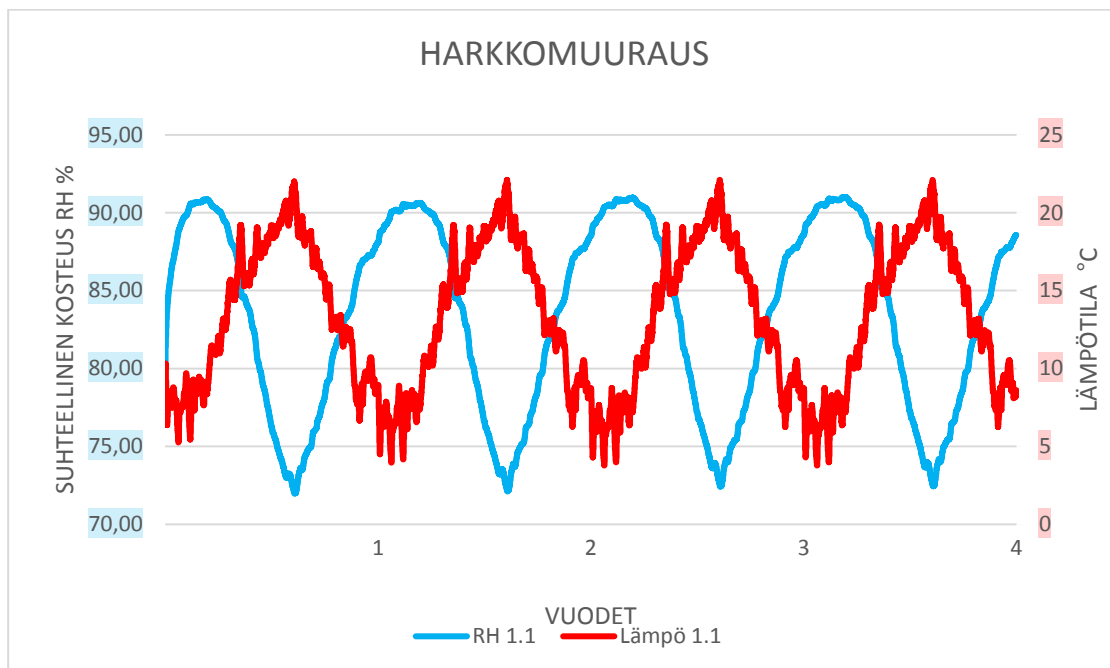


TP 2.1

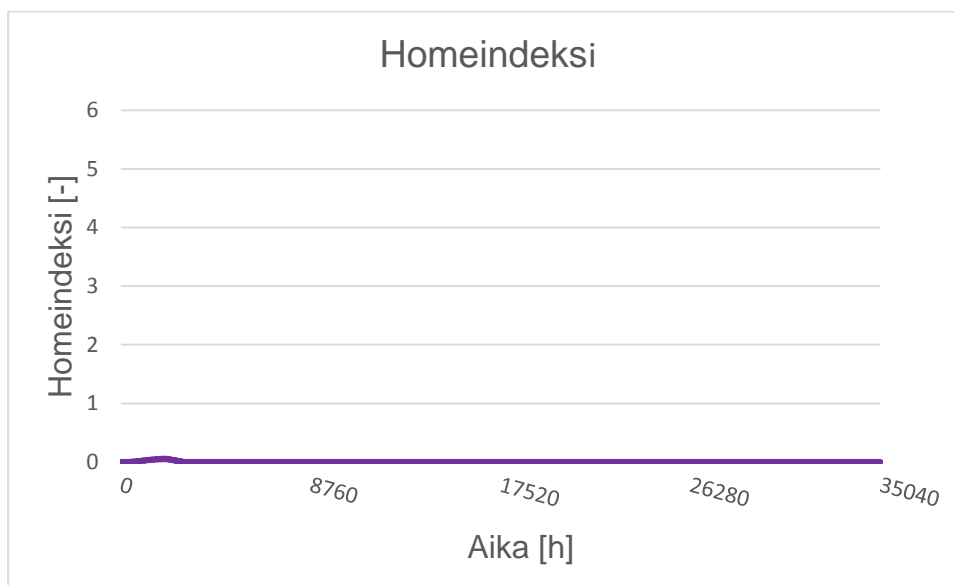
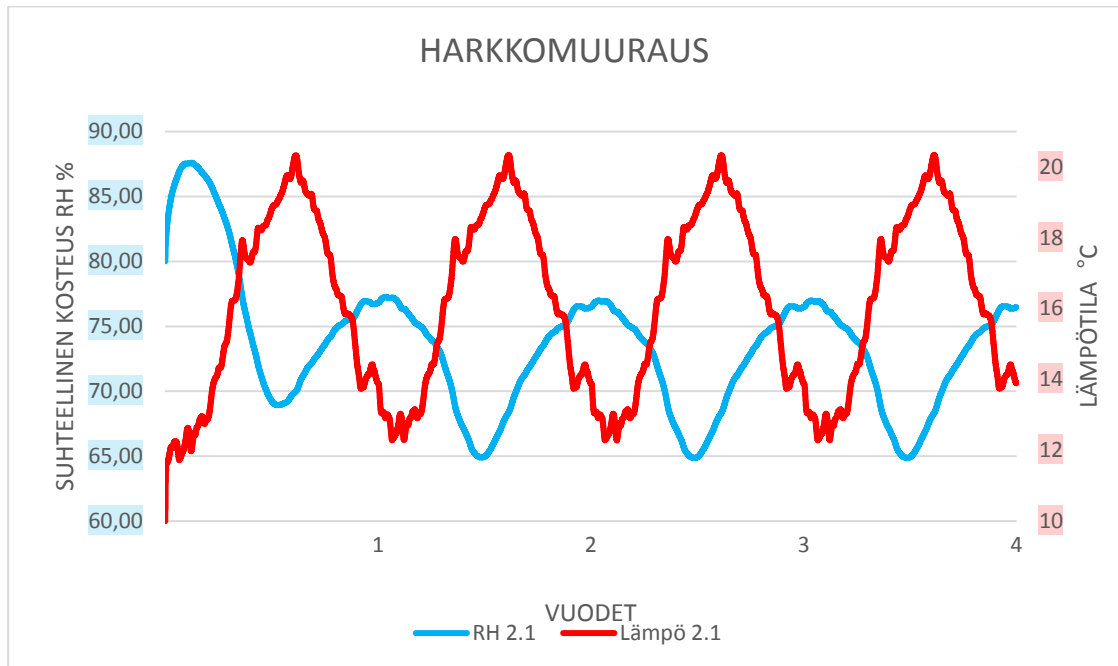


TP 3.1

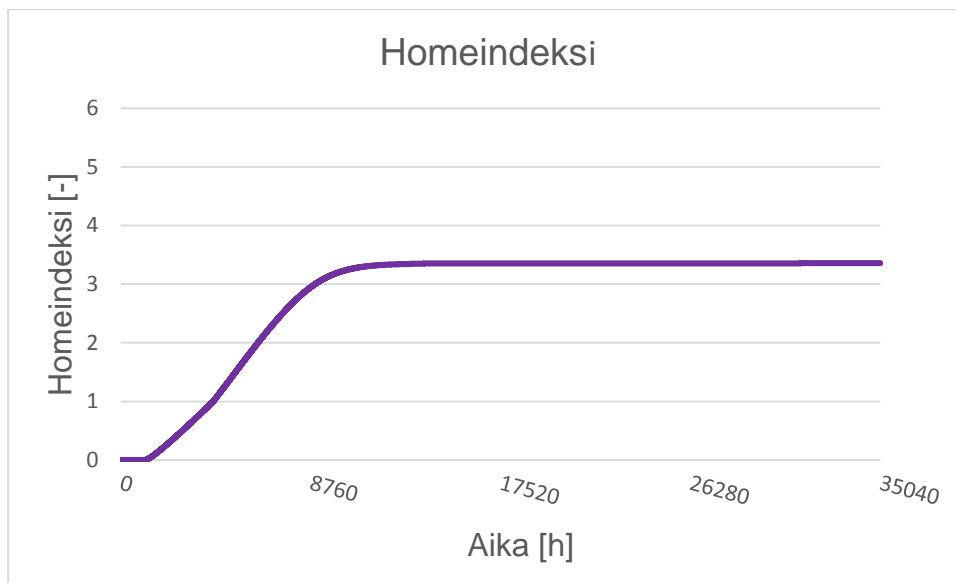
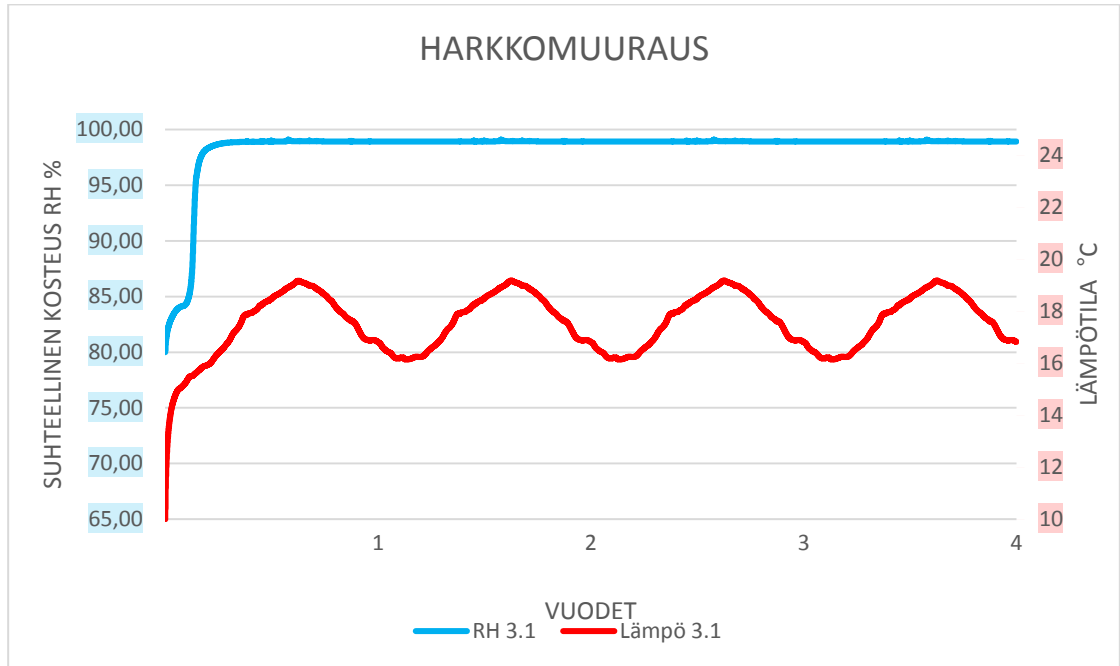


**Kevytsoraharkkomuurauksella korjattu rakenne.**

TP 1.1

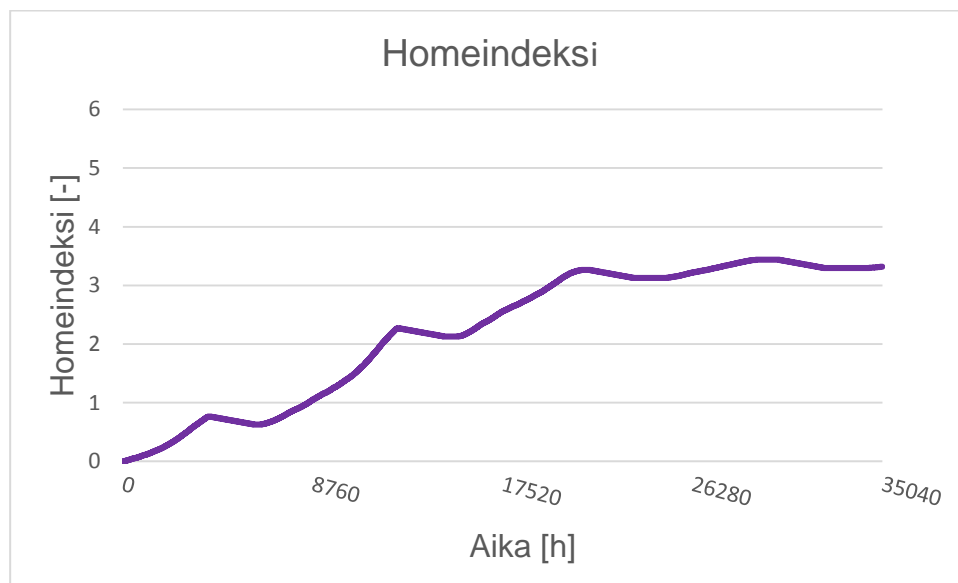
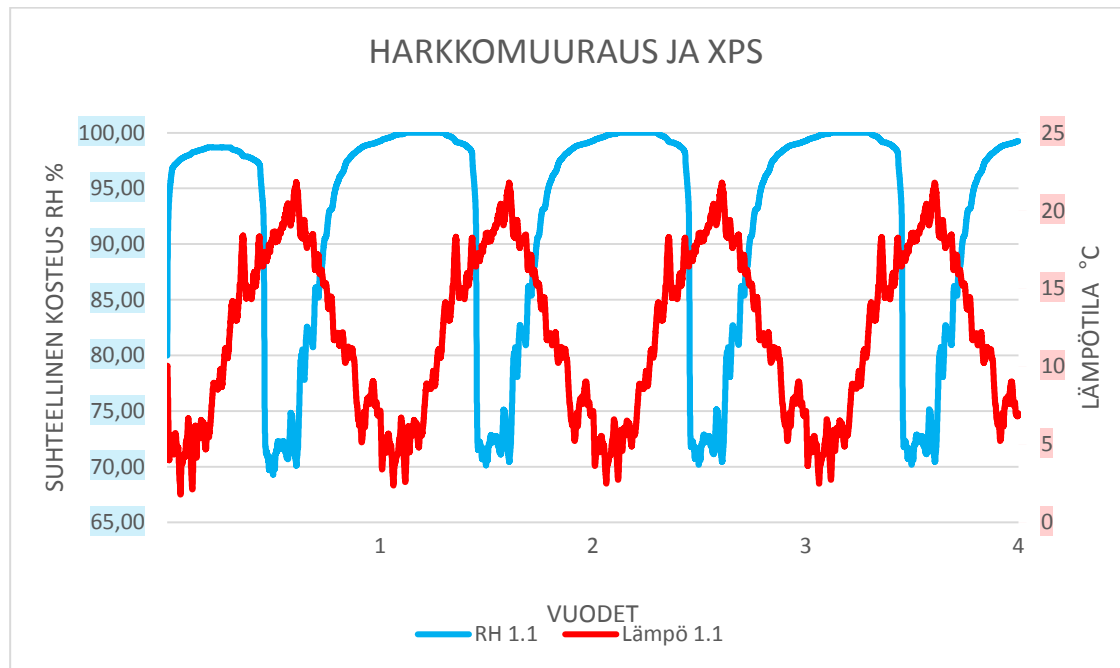


TP 2.1

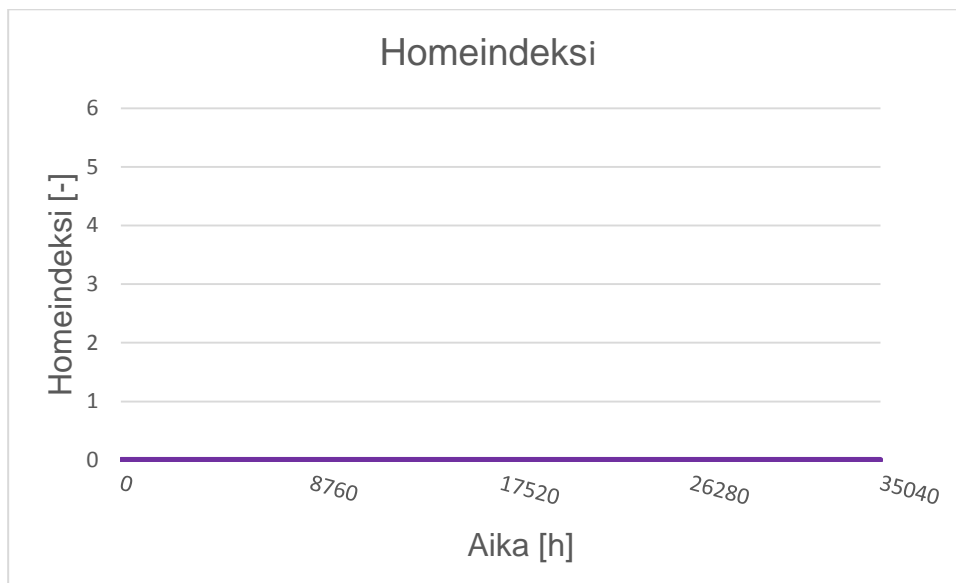
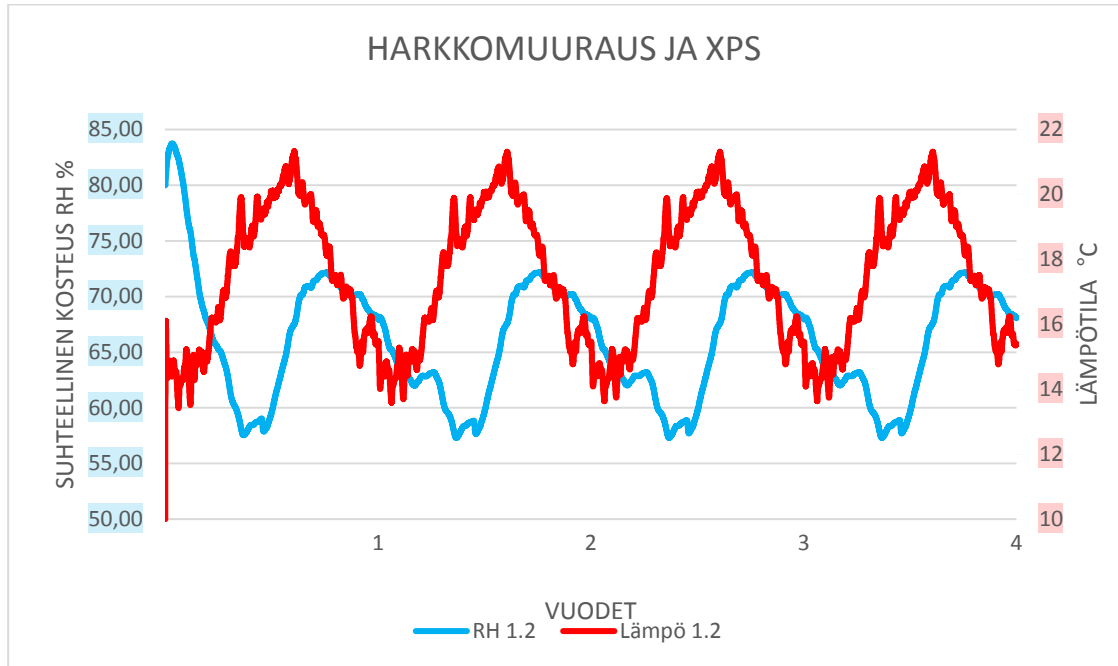


TP 3.1

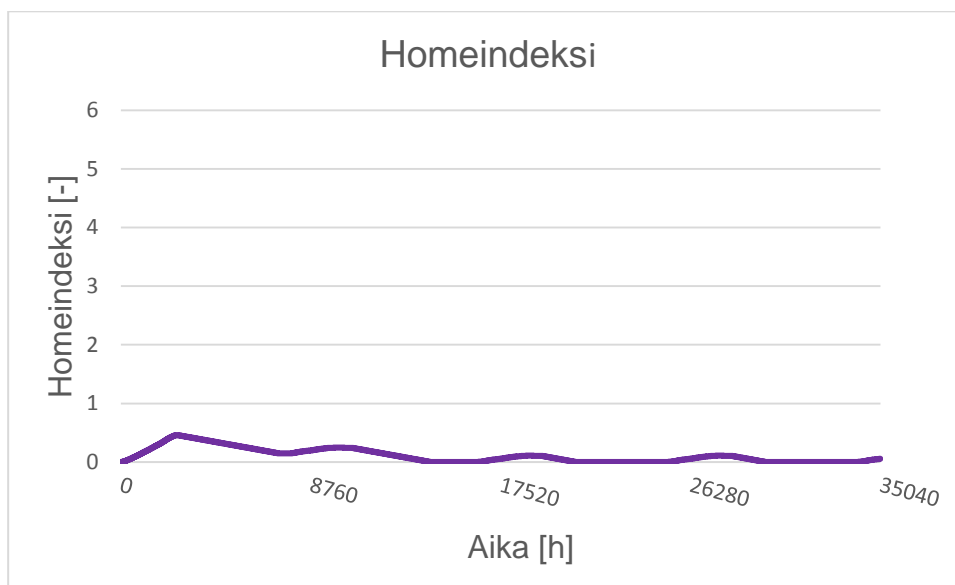
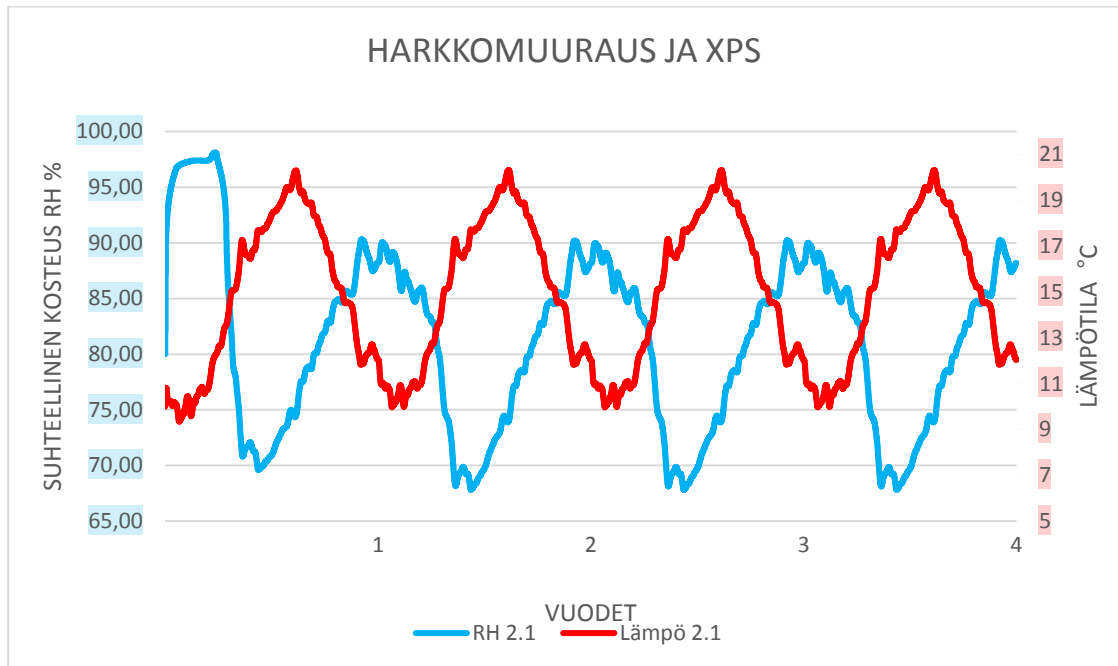
## XPS ja kevytsoraharkko ja kosteussulku



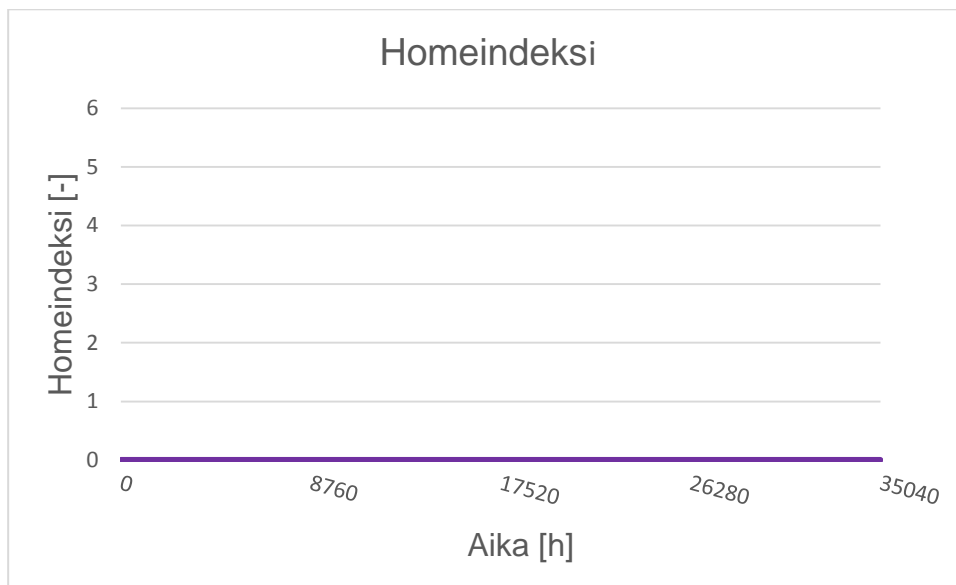
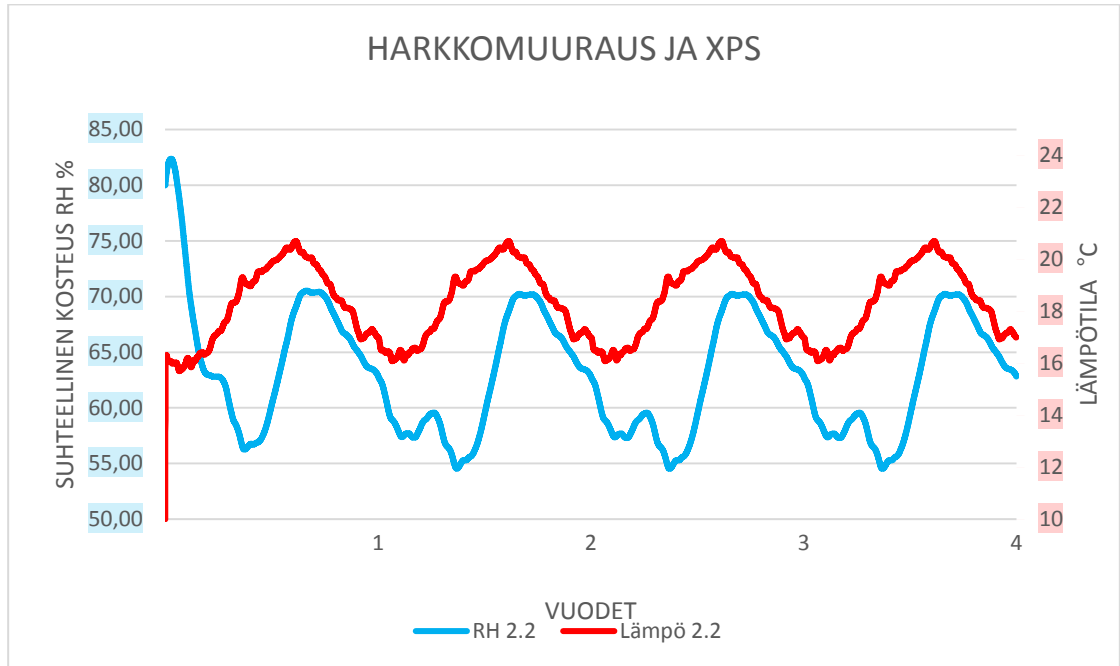
TP 1.1



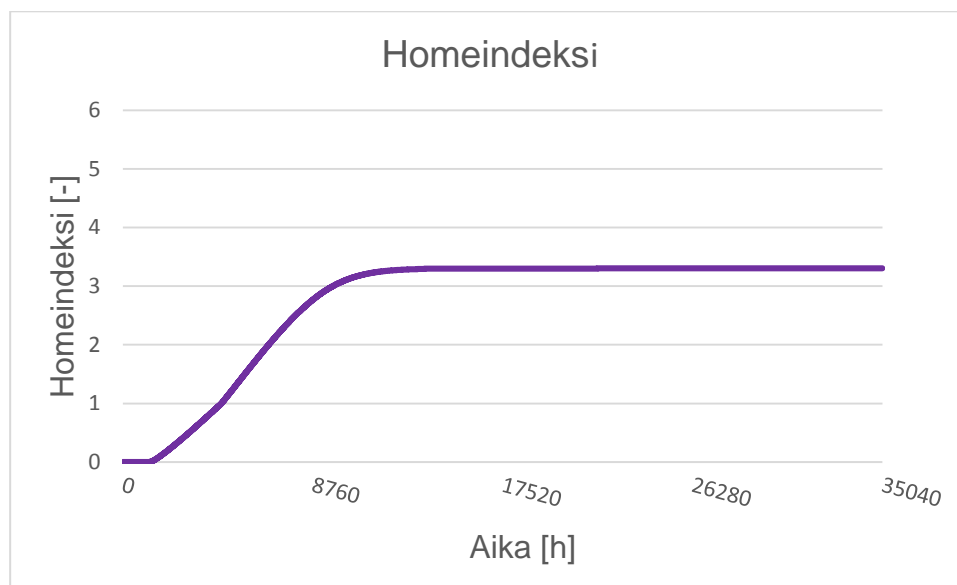
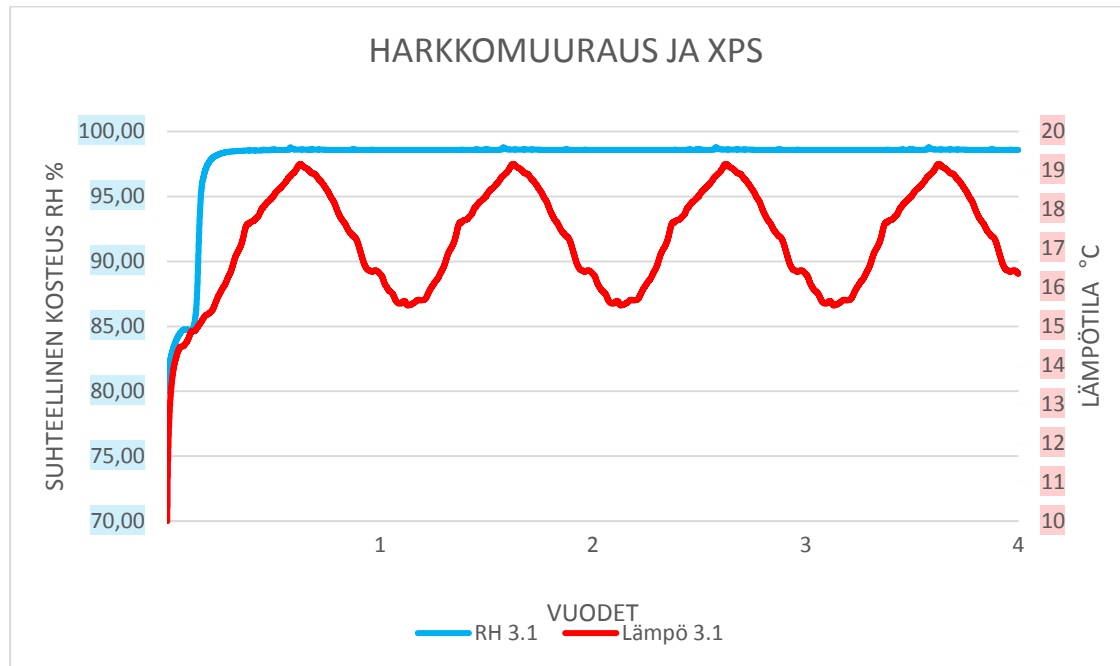
TP 1.2



TP 2.1



TP 2.2



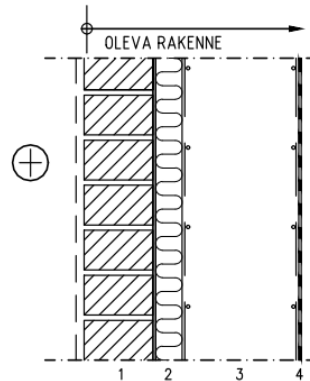
TP 3.1



## Liite 4: Rakennetyypit

OPINNÄYTETYÖ	Sisältö	
	Vuoden 1963 teräsbetoninen maanvastainen seinä	
Maa- ja maanrakennustieteiden tutkimuskeskus Maanvastaisten seinien sisäpuolinen korjaaminen	Päiväys	Tekijä
	06.05.2019	Tk
MS 1		

1:10

RAKENNE:

- |        |                   |
|--------|-------------------|
| 75 mm  | 1. TIILIMUURAUUS  |
| 50 mm  | 2. MINERAALIVILLA |
| 360 mm | 3. TB-PERUSMUURI  |
|        | 4. BITUMISIVELY   |

OMINAISUUDET:

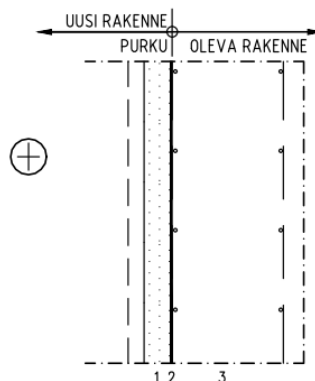
LÄMMÖNLÄPÄISYKERROIN U: VANHA – 0,421 W/m<sup>2</sup>K

OLETETTU VAURIOITUMINEN:

- TB-PERUSMUURIN ULKOPUOLINEN BITUMISIVELY ON AJAN SAATOSSA MENETTÄNYT KOSTEUDENERISTYSOMINAISUUDET, TÄTEN KOSTEUS PÄÄSEE KULKEUTUMAAN SISÄPUOLISIIN RAKENTEISIIN

OPINNÄYTETYÖ	Sisältö	
	Teräsbetonisen maanvastaisen seinän sisäpuolinen purku / korjaus	
Maanvastaisten seinien sisäpuolinen korjaaminen	MS 2	
	Päiväys 06.05.2019	Tekijä Tk

1:10

PURKU:

- TIILIMUURAUUS 75 mm
- MINERAALIVILLA 50 mm

UUSI RAKENNE:

- 50 mm
- 1. KALSIIUMSILIKAATTILEVY
- 2. OHUTRAPPAUSLAASTI

OLEVA RAKENNE:

- 360 mm
- 3. TB-PERUSMUURI, ULKOPUOLELLA VANHA BITUMISIVELY, JOKA ON MENETTÄNYT AJAN SAATOSSA KOSTEUDENERISTYSOMINAISUUDET

OMINAISUUDET:

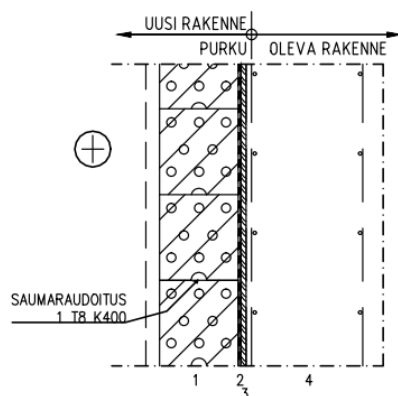
LÄMMÖNLÄPÄISYKERROIN U: VANHA - 0,421 W/m<sup>2</sup>K  
 UUSI - 0,443 W/m<sup>2</sup>K

TOTEUTUS- JA SUUNNITTELUOHJEET:

- KALSIIUMSILIKAATTILEVYT JÄTETÄÄN LATTIASTA IRTI 2-2,5cm JA KIINNITETÄÄN OHUTRAPPAUSLAASTI-LLA LEVYTYKSEN KIINNITYSTÄ ENNEN TULEE LEVYN PINTA KÄSITELÄ ESIM. WEBER MD16 DISPERSILLÄ
- LEVYJEN VÄLISTEN PUSKUSAUMOJEN MAX LEVEYS. 3 mm
- LEVYJEN KÄYTTÖTARKOITUKSEN MUKAAN PINTAPUOLI VOIDAAN OIKAISTA OHUTRAPPAUSLAASTILLA JONKA JÄLKEEN HIENTASOITUS, POHJAMAALUS, TASOITEKITTAUS JA VIIMEISTELYMAALAUUS SUUNNITELMIEN MUKAISESTI
- KAIKKIEN TUOTTEIDEN OSALTA NOUDATETTAVA VALMISTAJAN OHJEITA ASENNUKSESSA

OPINNÄYTETYÖ	Sisältö Teräsbetonisen maanvastaisen seinän sisäpuolinen purku / korjaus	
	Maanvastaisten seinien sisäpuolinen korjaaminen	Päiväys 06.05.2019
	Tekijä Tk	MS 3

1:10

PURKU:

- TIILIMUURAUUS 75 mm
- MINERAAIVILLA 50 mm

UUSI RAKENNE:

- |          |  |
|----------|--|
| 150 mm   | 1. KEVYTSORAHARKKO + RAPPAUS + VESIHÖYRYNLÄPÄISEVÄ MAALAUS ESIM, SILIKAATTIMAALI |
|          | 2. KOSTEUSSULKU  |
| 5..10 mm | 3. MÄRKÄTILATASOITE  |

OLEVA RAKENNE:

- |        |  |
|--------|--|
| 360 mm | 4. TB-PERUSMUURI, ULKOPUOLELLA VANHA BITUMISIVELY, JOKA ON MENETTÄNYT AJAN SAATOSSA KOSTEUDENERISTYSOMINAISUUDET |
|--------|--|

OMINAISUUDET:

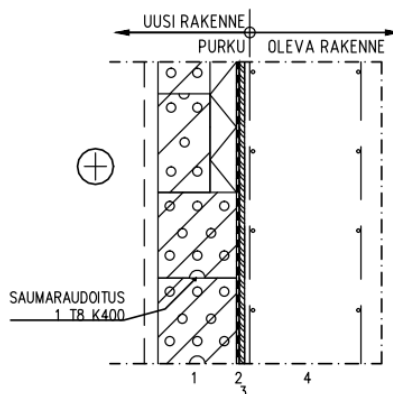
LÄMMÖNLÄPÄISYKERROIN U: VANHA - 0,421 W/m<sup>2</sup>K  
 UUSI - 0,522 W/m<sup>2</sup>K

TOTEUTUS- JA SUUNNITTELUOHJEET:

- UUDELLE KOSTEUSSULULLE TEHDÄN TASAINEN ALUSTA MÄRKÄTILALAASTILLA
- HARKKOA MUURATESSA EI SAA JÄTTÄÄ ILMARAKOJA SEINÄN VÄLIIN, RAOT TÄYTETÄÄN MUURATESSA LAASTIPURSEELLA
- KAIKKIEN TUOTTEIDEN OSALTA NOUDATETTAVA VALMISTAJAN OHJEITA ASENNUKSESSA

OPINNÄYTETYÖ	Sisältö	
	Teräsbetonisen maanvastaisen seinän sisäpuolinen purku / korjaus	
Maanvastaisten seinien sisäpuolinen korjaaminen	Päiväys	MS 4
	06.05.2019	

1:10

PURKU:

- TIILIMUURAUUS 75 mm
- MINERAALIVILLA 50 mm

UUSI RAKENNE:

- |          |   |
|----------|---|
| 150 mm   | 1. KEVYTSORAHARKKO + RAPPAUS + VESIHÖYRYNLÄPÄISEVÄ MAALAUUS ESIM, SILIKAATTIMAALI, REUNA-ALUEELLA KEVYTSORAHARKKO 100mm + 50 mm XPS |
|          | 2. KOSTEUSSULKU   |
| 5..10 mm | 3. MÄRKÄTILATASOITE   |

OLEVA RAKENNE:

- |        |  |
|--------|--|
| 360 mm | 4. TB-PERUSMUURI, ULKOPUOLELLA VANHA BITUMISIVELY, JOKA ON MENETTÄNYT AJAN SAATÖSSÄ KOSTEUDENERISTYSOMINAISUUDET |
|--------|--|

OMINAISUUDET:

LÄMMÖNLÄPÄISYKERTOIN U: VANHA - 0,421 W/m<sup>2</sup>K  
 UUSI - 0,371 W/m<sup>2</sup>K

TOTEUTUS- JA SUUNNITTELUOHJEET:

- UUELLE KOSTEUSSULULLE TEHDÄÄN TASAINEN ALUSTA MÄRKÄTILALAASTILLA
- HARKKOA MUURATESSA EI SAA JÄTTÄÄ ILMARAKOJA SEINÄN VÄLIIN, RAOT TÄYTETÄÄN MUURATESSA LAASTIPURSEELLA
- KAIKKIEN TUOTTEIDEN OSALTA NOUDATETTAVA VALMISTAJAN OHJEITA ASENNUKSESSA