

## **Kuntotutkimus korjaussuunnittelun pohjana**



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

Insinööri (AMK)

Hämeenlinnan korkeakoulukeskus

Kevät 2021

Aaro Kivelä

## TIIVISTELMÄ

Työ tehtiin A-Insinöörit Suunnittelu Oy:lle ja se sisälsi rakenne- ja kosteusteknistä kuntotutkimusta kuuteentoista rivitaloon ja yhteen yhteiskäytössä olleeseen rakennukseen Hämeenlinnassa. Tutkimukset tehtiin Hämeenlinnan Seudun Opiskelija-asuntosäätiön toimeksiannosta. Tutkimuksilla haluttiin selvittää rakennusten kuntoa peruskorjaushankkeen hankesuunnittelua varten. Tilaajan toiveena oli parantaa rakennusten energiatehokkuutta ja vuokra-asuntojen houkuttelevuutta peruskorjausten yhteydessä.

Korjaustarvetta kartoitettiin kuntotutkimusten tulosten perusteella ja tilaajalle toimitettiin siitä erillinen raportti, jonka tuloksia on referoitu osana opinnäytetyötä. Tutkittujen rakennusten laajan peruskorjaustarpeen lisäksi niistä löydettiin kosteus- ja mikrobivaurioituneita rakenteita, joiden korjauslaajuus on merkittävä. Kuntotutkimuksen asettamista lähtökohdista annettiin korjaussuosituksia, joiden perusteella tehtiin alustava korjaussuunnitelma kolmella eri energiatehokkuutta parantavalla korjaustavalla, joiden takaisinmaksuaikoja vertailtiin.

Kaikkien korjaussuositusten mukaisten korjaustapojen suora takaisinmaksuaika ja nettonykyarvon perusteella laskettu takaisinmaksuaika olivat huomattavan pitkiä. Korjauksista aiheutuvia kustannuksia ei saatu kuoletettua yhdelläkään tutkitulla korjaustavalla, ennen kuin korjattujen rakenteiden tekniset käyttöiät tulivat vastaan.

Avainsanat Korjausrakentaminen, kuntotutkimus, kosteusvaurio, energiatehokkuus.

Sivut 92 sivua ja liitteitä 18 sivua

---

Author Aaro Kivelä

Year 2021

Subject Condition Survey as the Basis of the Repair Plan

Supervisors Riku Hyttinen (HAMK), Hannu Fagerlund (A-Insinöörit)

---

## ABSTRACT

I conducted a structural and moisture related condition survey of 16 row houses and one collective use building in Hämeenlinna as an employee of A-Insinöörit Suunnittelu Oy. The condition survey was commissioned by Hämeenlinna Student Housing Foundation HOPS. The aim of the condition survey was to study the condition of the buildings for the upcoming project planning phase. The building owner wanted to make a major improvement to all the buildings by improving the energy efficiency of the buildings and making the rental apartments more desirable.

The repair and renewing needs were reviewed according to the results of the condition survey and, as a result, the building project owner received a condition survey report. The abstract of the report is included in the thesis. The buildings required extensive repairs and some moisture and microbe related damages were found in the structures. The extent of the repairs needed was significant. Some repair and renewal options were given as a part of the condition survey. These options were based on improving the energy efficiency of the buildings and the repayment period of each option was calculated and compared.

The simple repayment periods and net present value-based repayment periods of all the repair options were significantly long. The costs of the repairs would not have been paid off during a reasonable repayment term when considering the technical life of the structures in need of repair.

Keywords Repair construction, condition survey, moisture damage, energy efficiency,

Pages 92 pages and appendices 18 pages

## Sisälllys

1	Johdanto .....	1
2	Rakenne- ja kosteustekninen kuntotutkimus .....	2
3	Kosteusmittaukset .....	4
3.1	Pintakosteuskartoitus .....	5
3.2	Porareikämittaus .....	5
4	Rakenneavaukset .....	9
4.1	Rakenneavausten suunnittelu ja toteutus .....	9
4.2	Näytteenotto rakenneavauksesta .....	10
5	Kosteus- ja mikrobivauriot .....	12
5.1	Altistumisolosuhteiden arviointi ja toimenpiteiden kiireellisyys .....	16
5.2	Toimenpiderajan ylittyminen .....	19
5.3	Kosteusvaurion ja mikrobikasvun sijainti rakenteessa .....	19
5.4	Rakennusmateriaalin vaikutus mikrobikasvuun .....	23
5.4.1	Ilmaston vaikutus mikrobikasvuun .....	25
6	Korjauskohteen energiatehokkuuden parantaminen .....	27
6.1	Asetus energiatehokkuuden parantamisesta .....	28
6.2	Asetus rakennuksen energiatodistuksesta .....	30
7	Kohteen rakenne- ja kosteustekninen kuntotutkimus .....	34
7.1	Lähtötiedot .....	35
7.2	Tutkimusmenetelmät .....	38
8	Kohteen rakenneteknisten tutkimusten tulokset .....	39
8.1	Piha-alueet, salaoja- ja sadevesijärjestelmät .....	39
8.1.1	Havainnot ja johtopäätökset .....	39
8.1.2	Toimenpide-ehdotukset .....	42
8.2	Perustukset ja sokkelit .....	43
8.2.1	Havainnot .....	44
8.2.2	Mikrobianalyysit ja johtopäätökset .....	48
8.2.3	Toimenpide-ehdotukset .....	50
8.3	Alapohjarakenteet .....	51
8.3.1	Havainnot .....	53
8.3.2	Kosteusmittaukset alapohjasta .....	54
8.3.3	Toimenpide-ehdotukset .....	55
8.4	Julkisivut: Ulkoseinät, ikkunat ja ovet .....	56

8.4.1	Havainnot ja johtopäätökset.....	56
8.4.2	Toimenpide-ehdotukset.....	57
8.5	Väliseinät.....	57
8.5.1	Havainnot ja johtopäätökset.....	57
8.5.2	Toimenpide-ehdotukset.....	58
8.6	Yläpohjat ja vesikatot.....	58
8.6.1	Havainnot ja johtopäätökset.....	59
8.6.2	Toimenpide-ehdotukset.....	61
8.7	Alakatot.....	61
8.7.1	Havainnot.....	61
8.7.2	Mikrobianalyysi ja johtopäätökset.....	63
8.7.3	Toimenpide-ehdotukset.....	64
8.8	Talotekniikkasyvennykset.....	64
8.8.1	Havainnot.....	65
8.8.2	Johtopäätökset.....	65
8.8.3	Toimenpide-ehdotukset.....	65
8.9	Ilmanvaihto- ja LVIS-järjestelmät.....	65
8.9.1	Havainnot ja johtopäätökset.....	66
8.9.2	Toimenpide-ehdotukset.....	66
8.10	Altistumisolosuhteiden arviointi.....	67
9	Peruskorjaus ja energiatehokkuuden parantaminen.....	68
9.1	Valesokkelin korjausvaihtoehdot.....	69
9.1.1	Sokkelin korotus eristysvalulla.....	69
9.1.2	Sokkelin kengittäminen ja sokkelipalkki.....	70
9.1.3	Sokkelin korotus kevytsora- tai betoniharkolla.....	72
9.2	Uudet ulkoseinärakenteet.....	74
9.2.1	Lautavuorattu ulkoseinärakenne U-US1.....	74
9.2.2	Tiilivuorattu ulkoseinärakenne U-US2.....	76
9.3	Uusi yläpohjarakenne U-YP1.....	76
9.4	Korjaustapa 1: Ulkoseinä U-US1 ja Termotuotteet.....	78
9.5	Korjaustapa 2: Ulkoseinä U-US2 ja EPS-kevytbetoni.....	80
9.6	Korjaustapa 3: Ulkoseinä U-US2 ja kevytsoraharkko.....	81
9.7	Laskennallinen energiatehokkuus ja korjauskustannukset.....	82
9.7.1	Lähtötilanne.....	83

9.7.2 Korjaustapa 1 .....	86
9.7.3 Korjaustapa 2 .....	88
9.7.4 Korjaustapa 3 .....	90
10 Päätelmät .....	91
Lähteet.....	95

## Kuvat, taulukot ja kaavat

Kuva 1. Rakennuksen kuntotutkimuksen lähtökohdat (Pitkäranta, 2016, s. 25) .....	3
Kuva 2. Yhteen suuntaan kuivuva rakenne (Vaisala Oyj, 2015, s. 17) .....	7
Kuva 3. Kahteen suuntaan kuivuva rakenne (Vaisala Oyj, 2015, s. 17) .....	7
Kuva 4. Mittapäiden tasaantuminen mitta-putkessa (RT 14-10984, s. 6). .....	8
Kuva 5. Tyypillisiä mikrobisukuja -lajeja ja -ryhmiä (Pitkäranta, 2016, s. 128) .....	13
Kuva 6. Altistumisolosuhteiden arviointi (Valvira, 2020, ss. 39-40).....	17
Kuva 7. Mikrobikasvun salliminen ulkoseinärakenteessa (RIL 250-2020, s. 117) .....	20
Kuva 8. Mikrobikasvun salliminen yläpohjarakenteessa (RIL 250-2020, s. 117).....	21
Kuva 9. Mikrobikasvun salliminen sokkelirakenteessa (RIL 250-2020, s. 119) .....	22
Kuva 10. Rakennusmateriaalien homehtumisherkkyysluokat (VTT / TTY, n.d.) .....	23
Kuva 11. Homeen kasvu eri homehtumisherkkyysluokissa (VTT / TTY, n.d.).....	25
Kuva 12. Käyttötarkoitussluokka 1d (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 1048/2017) .....	31
Kuva 13. Rakennusosien U-arvot (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 1048/2017) .....	32
Kuva 14. LTO:n vuosihyötysuhteita (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 1048/2017) .....	34
Kuva 15. Ominaislämpötehoja (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 1048/2017) .....	34
Kuva 16. Tutkittavat rakennukset ja kiinteistön rajat .....	37
Kuva 17. Kuva perusmuurista ja maanpinnan kallistuksista .....	40
Kuva 18. Kuva A-talon julkisivun vaurioista.....	41
Kuva 19. Kuva A-talon julkisivusta .....	42
Kuva 20. Kuvankaappaus alkuperäisten suunnitelmien rakennetyypistä US-1 .....	43

Kuva 21. Rakenneavauksessa todettu valesokkelin rakennetyyppi.....	44
Kuva 22. Asunnon D44 ulkoseinän rakenneavauksen paikka .....	45
Kuva 23. A-talon rakenneavauksen paikka ja lähikuva avauksesta.....	46
Kuva 24. Asunnon A1 ulkoseinän rakenneavaus ja näytekohta.....	46
Kuva 25. Asunnon A1 rakenneavauksen lähikuvat.....	47
Kuva 26. Yhteistilan ulkoseinän rakenneavaus .....	47
Kuva 27. Hulevesien puutteellinen ohjaus rakennusten ympärillä.....	48
Kuva 28. Kuvankaappaus alkuperäisien suunnitelmien AP1-rakennetyypistä.....	52
Kuva 29. Rakenneavauksen perusteella piirretty rakennetyyppi AP1-A.....	53
Kuva 30. Asunnon A8 alapohjan rakenneavaus .....	54
Kuva 31. Kosteusvauriot rakennusten yläpohjassa .....	60
Kuva 32. Läpivientien puutteita yläpohjassa .....	60
Kuva 33. Asunnon C27 talotekniikkasyvennys .....	64
Kuva 34. Patentoitu EPS-valulla tehty valesokkelikorjaus (Sisäilmasepät Oy, 2021).....	70
Kuva 35. Valesokkelin korjaus Termotuotteilla (RT 38534, 2014) .....	71
Kuva 36. Valesokkelin korjaus VSP-sokkelipalkilla (Lamox Oy, 2015) .....	72
Kuva 37. Valesokkelin korottaminen harkolla (Weijo, ym., 2019, s. 159).....	73
Kuva 38. Uusi ulkoseinärakenne U-US1 .....	75
Kuva 39. Uusi ulkoseinärakenne U-US2b .....	76
Kuva 40. Uusi yläpohjan rakennetyyppi U-YP1 ja HVS-liitos .....	78
Kuva 41. Energialaskennassa käytetty C-rakennus, kuvankaappaus ARK-kuvasta .....	83
Kuva 42. Nettonykyarvon kuvaaja korjaustavalla 1 .....	88
Kuva 43. Nettonykyarvon kuvaaja korjaustavalla 2 .....	89
Kuva 44. Nettonykyarvon kuvaaja korjaustavalla 3 .....	91
 Taulukko 1. Sokkelin näytteiden mikrobianalyysin tulokset .....	 49
Taulukko 2. Alakaton materiaalinäytteen mikrobianalyysin tulokset.....	63
Taulukko 3. Rakenneosien U-arvot ennen korjausta .....	68
Taulukko 4. Rakenneosien U-arvot Korjaustavan 1 mukaan laskettuna.....	79
Taulukko 5. Rakenneosien U-arvot Korjaustavan 2 mukaan laskettuna.....	80
Taulukko 6. Rakenneosien U-arvot Korjaustavan 3 mukaan laskettuna.....	81
Taulukko 7. C-rakennuksesta lasketun E-luvun laskennan erittely .....	84

Taulukko 8. C-rakennuksen alkuperäisen rakennusvaipan lämpöhäviöt.....	84
Taulukko 9. E-luvun laskennan erittely korjaustavassa 1.....	86
Taulukko 10. Rakennusvaipan lämpöhäviöt korjaustavassa 1 .....	87
Taulukko 11. E-luvun laskennan erittely korjaustavassa 2.....	88
Taulukko 12. Rakennusvaipan lämpöhäviöt korjaustavassa 2.....	89
Taulukko 13. E-luvun laskennan erittely korjaustavassa 3.....	90
Taulukko 14. Rakennusvaipan lämpöhäviöt korjaustavassa 3 .....	90

## Liitteet

Liite 1	Toimenpiteen taloudellinen kannattavuus: Korjaustapa 1
Liite 2	Toimenpiteen taloudellinen kannattavuus: Korjaustapa 2
Liite 3	Toimenpiteen taloudellinen kannattavuus: Korjaustapa 3
Liite 4	Korjaustapojen kannattavuuslaskennassa käytetyt tiedot
Liite 5	Vanhat rakennetyypit
Liite 6	Uudet ja rakenneavauksista mitatut rakennetyypit

## 1 Johdanto

Korjausvaihtoehtoja suunnitellaan ja toteutetaan siten, että rakenteet ovat rakennusfysikaalisesti toimivia, eivät aiheuta terveyshaittaa ja rakennus palvelee käyttötarkoitustaan. Tavoitteena on siis tehdä rakennuksesta terveellinen ja turvallinen. Tarvittaessa tehdään tarkastelu energiatehokkuuden parantamisen ja ilmanvaihdon muutostarpeiden osalta. (Weijo, ym., 2019, ss. 10-11) Korjattava rakennus ja sen ympäristö asettavat tiettyjä vaatimuksia, mikä tekee kosteusvauriokorjauksista uudisrakentamiseen verrattuna monimutkaisempaa ja kustannuksiltaan korkeampaa. (RIL 250-2020, s. 209)

Halusin tutkia, miten kuntotutkimusten tuloksia ja vaurioiden korjaamiseen liitettyä energiatehokkuuden parantamista voisi hyödyntää hankesuunnittelua edeltävässä alustavassa korjaussuunnittelussa. Tutkin erilaisten korjaussuositusten mukaisia korjaustapoja ja sitä, mitä ne käytännössä tarkoittavat ja miten niitä saadaan sovitettua yhteen energiatehokkuuden parantamisen kanssa. Hämeenlinnan Seudun Opiskelija-asuntosäätiö HOPS tilasi loppuvuodesta 2020 A-Insinöörit Suunnittelu Oy:ltä rakenne- ja kosteusteknisen kuntotutkimuksen peruskorjaushankkeen korjaustarpeen selvittämiseksi. HOPS on tuottanut vuodesta 1987 alkaen asuntoja ja asumispalveluja kaikille Hämeenlinnan seudun oppilaitosten opiskelijoille. Hämeenlinnan kaupunki on osoittanut Visakylän Visamäentie 21-25 tontin säätiölle vuonna 1987. (Hämeenlinnan seudun opiskelija-asuntosäätiö, 2021)

Tulevan peruskorjaushankkeen ja kuntotutkimuksen kohteena olivat vuosina Hämeenlinnan Visamäkeen 1987-1988 rakennetut rivitalot ja yksi yhteistilana sekä teknisenä tilana oleva rakennus, jotka olivat tutkimuksia tehdessä suurelta osin opiskelijoiden asumiskäytössä. Yhteensä pieniä rivitaloja on tutkimuskohteena olevassa I-rakennusryhmässä 16 kpl. Tutkittujen asuinrakennusten pinta-ala on yhteensä 2504 m<sup>2</sup> ja kaikki rakennukset ovat yhteen kerrokseen rakennettuja puurunkoisia, tiiliverhoiltuja, valesokkeliperustaisia harjakattoisia rivitaloja, joiden väliin on rakennettu kylmiä varastotiloja. Asuinrakennukset on jaettu neljään neljän talon ryhmään A-D ja jokainen ryhmä muodostaa oman sisäpihan, johon on kulku kahdesta suunnasta. Kohteen lämmitysjärjestelmänä on vesikiertoinen patterilämmitys ja talot lämpiävät kaukolämmöllä. Ilmanvaihtojärjestelmä on

painovoimainen ilmanvaihto, jota on tehostettu liesikupuihin kytketyillä huippuimureilla. Rakennuksiin ei ole rakentamisen jälkeen tehty kovin merkittäviä peruskorjauksia.

Riittävän perusteellinen ja kattava kuntotutkimus ja lähtötietojen kerääminen korjaussuunnittelua varten on onnistuneen peruskorjaushankkeen edellytys (Weijo, ym., 2019, s. 7). Kuntotutkimuksessa saatuja tietoja voidaan käyttää hankesuunnitteluvaiheessa ja tässä projektissa tilaajan toiveena oli, että kuntotutkimuksen korjaussuosituksen perusteella lasketaan alustavia korjauskustannuksia, joita oli tarkoitus käyttää hankkeen budjetoinnissa. Tilaajan aikoimuksena oli tilamuutosten tekeminen ja energiatehokkuuden parantaminen kohteessa peruskorjaushankkeen yhteydessä. Energiatehokkuuden parantamisella haluttiin saada kustannussäästöjä ja tilamuutoksilla vähentää soluasuntojen osuutta rakennusryhmässä. Näin haluttiin saada lisää erillisiä asuntoja ja lisätä tilojen käyttöastetta.

Korjaustapoja, energiatehokkuutta ja korjauskustannuksia tarkasteltiin yhdessä rakennusryhmän talossa, jossa on neljä soluasuntoa. Kyseinen rakennus edustaa tutkittua rakennuskantaa hyvin, koska suurin osa tutkituista rakennuksista on pohjaltaan samanlaisia, joten tuloksia voi käyttää muitakin rakennuksia arvioitaessa. Korjaustavat ja korjausasteet on valittu kolmen vaurioiden laajuudesta riippuvan altistumisolosuhteen ja niiden vaatiman korjausasteen perusteella. Laskennallista standardikäyttöön perustuvaa energiatehokkuutta tarkasteltiin näissä kolmessa eri korjausvaihtoehdossa. Korjauksessa käytettyjen materiaalien valinnassa on huomioitu kuntotutkimuksesta saadut tulokset ja lisäeristämisen vaatimukset. Takaisinmaksuaikoja vertailtiin suoran takaisinmaksuajan ja nettonykyarvon menetelmillä.

## **2 Rakenne- ja kosteustekninen kuntotutkimus**

Kuntotutkimuksen tarkoituksena on tuottaa luotettavaa tietoa tutkimuskohteesta mahdollisimman laajasti. Tiedot tuotetaan kiinteistön omistajan käyttöön ja tutkimuksen painotukset ja laajuus riippuvat selvitettävistä asioista sekä niistä tarvittavan tiedon laajuudesta. Esimerkiksi kosteusteknisessä kuntotutkimuksessa tarkemmin tutkittavat asiat määräytyvät vasta tutkimuksen aikana. Tehtyjen toimenpiteiden perusteella tehdyt johtopäätökset kuntotutkija kokoaa sellaiseen muotoon, että ne palvelevat

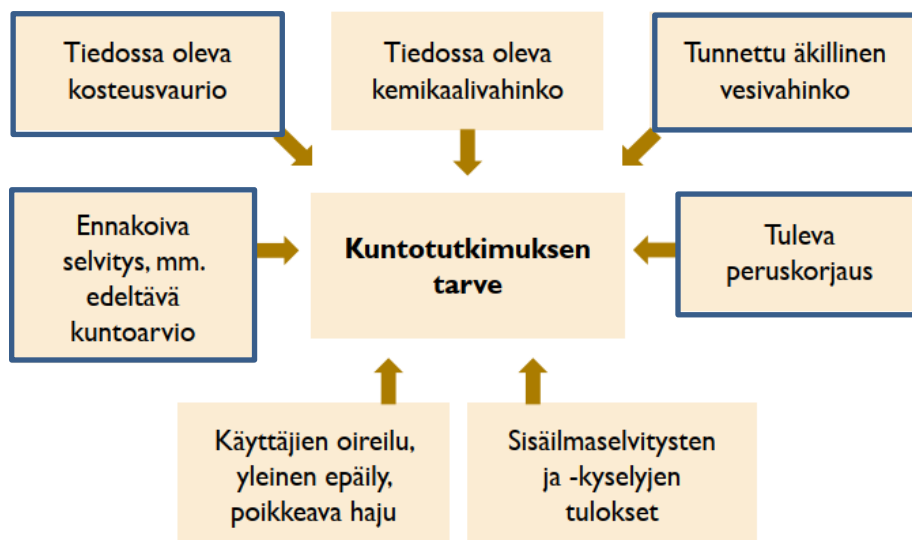
korjaussuunnittelua ja toimivat hyvänä lähtökohtana mahdollisesti myöhemmin tehtäville lisätutkimuksille. (RIL 255-1-2014, s. 378)

Kuntotutkimuksen tarve vaihtelee yleensä vesivahingon aiheuttaman akuutin vaurion kartoittamisesta suurien kiinteistöjen monitahoisien sisäilmaongelmien selvitykseen tai tulevaan peruskorjaukseen (Pitkäranta, 2016, s. 25). Kuntotutkimukset tehtiin hankesuunnittelun pohjatyöksi sekä rakenteellisten peruskorjaustarpeiden ja vaurioiden selvittämiseksi.

Kuntotutkimusta suunniteltaessa tulee määrittää kysymyksen asettelu, johon halutaan vastaus. Havainnoinnin tulee olla tarpeeksi kattavaa ja tehtyjen toimenpiteiden, kuten rakenneavausten taustalla tulee olla tutkimussuunnitelmassa määritetyt selvittävät asiat. Käytännössä tutkimuksen edetessä suunnitelma ja kysymyksen asettelu tarkentuvat ja tehdyt havainnot sekä mittaukset ohjaavat tutkimusta sen aikana. (RIL 255-1-2014, s. 378)

Kuvassa 1 on esitetty kuntotutkimuksen lähtökohdat, joista on alkuperäiseen kuvaan korostettu tämän tutkimuksen käynnistäneet seikat. Tutkimus ei perustunut RT-kortin Asuinkiinteistöjen kuntoarvio – Kuntoarvioijan ohje -mukaiseen kokonaisvaltaiseen peruskuntoarvioon, vaan rakennuksia tarkasteltiin rakennusosittain ja havainnot, johtopäätökset ja toimenpidesuosituksukset esitettiin rakennusosittain (Pitkäranta, 2016, s. 220).

Kuva 1. Rakennuksen kuntotutkimuksen lähtökohdat (Pitkäranta, 2016, s. 25)



Kohteeseen tullaan tekemään mittavia peruskorjauksia lähivuosien aikana, joten korjaustarpeen laajuutta ja painotuksia haluttiin tilaajan mukaan selvittää tarkemmin. Korjaustarpeesta riippui myös, paljonko tilamuutoksia voitiin tehdä ja miten korjaukset tullaan jaksottamaan. Rakenneavaukset dokumentoitiin valokuvaamalla, niistä otettiin materiaalinäytteitä ja tutkituista rakenteista piirrettiin rakennedetailit.

Tutkittavissa taloissa oli ainoastaan kahden solun soluasuntoja, joissa asui opiskelijoita. Asunnot oli tarkoitettu vain opiskelijoiden käyttöön opiskelun ajaksi. Sisäilmaan liittyviä ongelmia ei kohteessa ole tilaajan mukaan ollut. Tämän vuoksi käyttäjäkyselyä tai varsinaista sisäilmatutkimusta ei haluttu tutkimusten alkuvaiheessa tehdä, eikä sitä ehdotettu myöskään tilaajan puolesta, vaan tutkimuksia kohdistettiin enemmän rakennus- ja kosteusteknisiin asioihin, kuten rakenteiden todellisen toteutustavan selvittämiseen, perustusten kunnon selvittämiseen ja puurungon kunnon selvittämiseen rakenneavausten avulla.

Käyttäjäkyselyn sijasta haastateltiin tilojen käyttäjiä ja huoltomiehiä tutkimuspäivien aikana heidän tekemistään teknisistä havainnoista, jotka liittyivät esimerkiksi vuotojen yleisyyteen tai vaurioiden ikään. Tällaisen suppeamman kyselyn voi kuntotutkija tehdä itsekkin (Pitkäranta, 2016, s. 23). Märkätiloihin ja runkorakenteisiin liittyvien rakenteellisten vaurioiden ja riskirakenteiden kartoituksen tuloksista laadittiin rakenne- ja kosteustekninen kuntotutkimusraportti tilaajalle. Se on korjaussuunnittelun tärkein lähtötietodokumentti korjaussuunnitteluvaiheessa (Weijo, ym., 2019).

### **3 Kosteusmittaukset**

Rakenteiden kosteusmittaukset jaetaan tavallisesti rakenteiden pinnoista tai läheltä pintaa tehtäviin mittauksiin, rakenteiden sisältä tehtäviin mittauksiin ja rakenteesta irrotettavan näytekappaleen kosteusmittaukseen. Tarkoiksi mittauksiksi voidaan luokitella rakenteen sisältä tehtävät mittaukset ja näytepalojen kosteusmittaukset. (RIL 255-1-2014, s. 368)

### 3.1 Pintakosteuskartoitus

Pintakosteuskartoitukset ovat ainetta rikkomattomia tutkimuksia, joissa saman rakenneosan eri kohdista saatuja numeraalisia arvoja verrataan keskenään. Näin saadaan kartoitettua arvoiltaan poikkeavat alueet. Pintakosteusmittarilla saadut lukemat eivät suoraan ilmoita suhteellisen kosteuden määrää tai materiaalin kosteuspitoisuutta, vaan niitä tulee käyttää ainoastaan suuntaa antavana menetelmänä. (Pitkäranta, 2016, s. 53) Esimerkiksi tässä tutkimuksessa käytetyn Gann Hydromette Compact B -mittalaitteen suhteellinen mittausväli on 0...100 ja suuntaa antavat arvot 45-70 kertovat rakenteen olevan kostea ja 75-100 ilmoittavat sen olevan märkä (Gann Mess- U. Regeltechnik GMBH, 2020, s. 23)

Pintakosteusmittarien kosteuspitoisuuden määrittäminen perustuu mitatun materiaalin veden aiheuttamaan dielektrisyysvakion muutokseen. Määrittämisen vuoksi vääränlainen mittausote tai rakenteessa olevat putket tai raudoitteet voivat vääristää tuloksia. Mittapäitä on kahta tyyppiä: liuska-anturipää ja kuulamainen pallopää. Dielektrisyysvakio kasvaa kosteuspitoisuuden kasvaessa. Mittaussyvyys on laitteesta riippuen muutamia senttejä. (RIL 255-1-2014, s. 342) Esimerkiksi tässä tutkimuksessa käytetyn pintakosteusmittarin mittapäätä on pallon muotoinen ja sen valmistajan ilmoittama mittaussyvyys riippuu mitattavan materiaalin tiheydestä ja vaihtelee 20 mm ja 40 mm välillä (Gann Mess- U. Regeltechnik GMBH, 2020). Pintakosteusmittarin tuloksiin vaikuttaa oleellisesti myös rakenteen pintamateriaalit ja sillä voidaan kartoittaa nopeasti suuriakin alueita rakenteiden pinnoista (RIL 255-1-2014, s. 368).

Tässä tutkimuksessa pintakosteuskartoitusta tehtiin kuudessatoista asunnossa rakennusten alapohjissa keskittyen ulkoseinien liittymien läheisyyteen sekä mahdollisesti silmämääräisesti löytyviin merkkeihin vanhoista kosteusvaurioista. Pintakosteuskartoitusta tehtiin samalla periaatteella myös yhteistilarakennuksessa.

### 3.2 Porareikämittaus

Rakenteen sisältä mitataan suhteellista kosteutta kosteusvauriota tutkittaessa, koska rakenteen vaurioitumisen eteneminen riippuu sen suhteellisesta kosteudesta. Mittaustulos riippuu materiaalin kosteuspitoisuudesta ja lämpötilasta. Suhteellisen kosteuden mittauksen

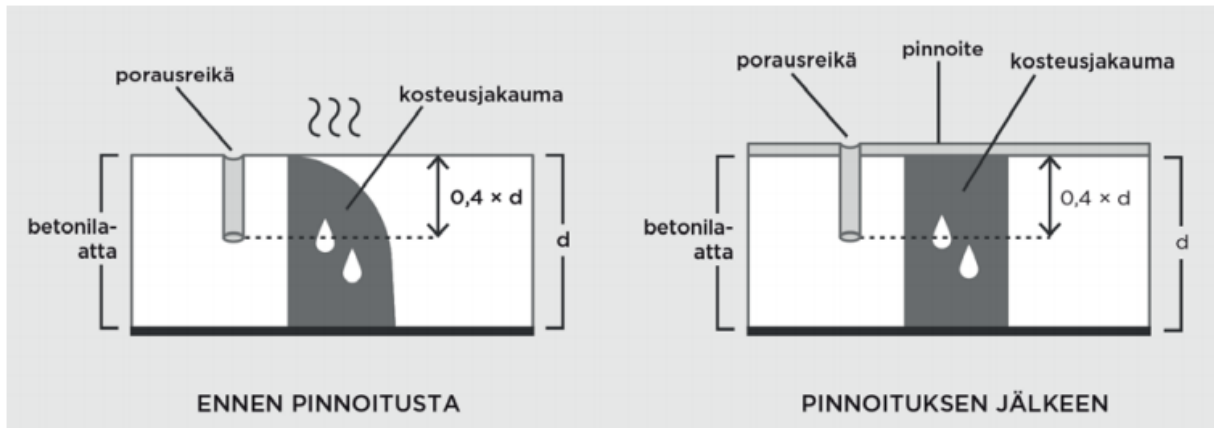
yhteydessä tulee aina mitata lämpötila samasta kohdasta mittausmenetelmästä riippumatta. Suhteellisen kosteuden mittaus tehdään usein rakenteeseen poratusta reiästä. (RIL 255-1-2014, s. 369)

Porareikämittausta tarvitaan yleensä tutkittaessa, mistä liiallinen kosteus rakenteisiin siirtyy tai mikä on rakenteen sisältämä kosteuden määrä. Kosteustarkastelua käytetään myös korjaussuunnittelun lähtötietona, kun rakenteen kuivatustarvetta ja uuden rakenteen päällystämistä harkitaan. Porareikämittauksen hyvä puoli on siinä, että mittauspisteet on mahdollista paikata melko huomaamattomaksi, kun mittaukset on suoritettu. (Pitkäranta, 2016, s. 55)

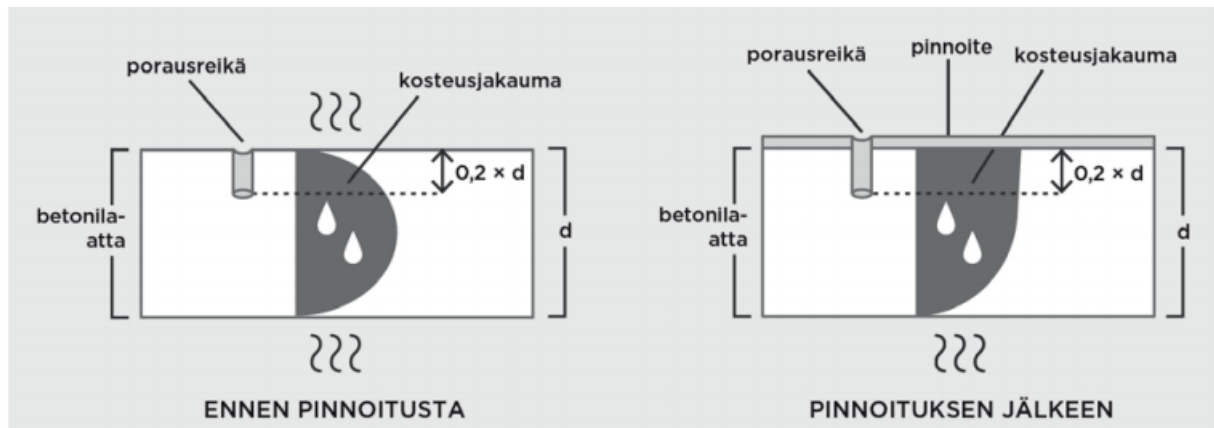
Porareikämittaus on tarkka mittausmenetelmä, jolla mitataan rakenteeseen porattavasta mittareistä materiaalin huokosilman suhteellista kosteutta. Mittausreiän poraaminen aiheuttaa materiaalin ja rakenteen kosteusolosuhteiden häiriintymisen, joten mittareiden annetaan tasaantua 3 - 5 vuorokautta, jonka jälkeen mittaus voidaan suorittaa. Esimerkiksi tässä tutkimuksessa käytetyn Vaisalan SMH40 Mittapaketin valmistajan suosittama tasaantumisaika on kolme vuorokautta (Vaisala Oyj, 2015, s. 15). Eri syvyyksiin tehdyistä rei'istä voidaan mitata betonin suhteellista kosteutta eri syvyyksiltä käyttämällä suojaputkea mittausanturin ympärillä. (RIL 255-1-2014, s. 369)

Porareikämittaus on tarkimmillaan +15...+25 C lämpötilassa, mikä vastaa hyvin normaalin asuinrakennuksen käyttölämpötilaa. Rakenteessa olevan mittapään näyttämän lämpötilan ja huoneilman lämpötilan ero ei saa ylittää 2 C astetta. Porareikämittauksen mittaussyvyys on aina vähintään 10 mm ja se tehdään yleensä 16 mm reiästä. (RT 14-10984, s. 4) Vaisalan SHM40-mittauspaketin ohjeen mukaan mittapään ja betonin lämpötilojen on oltava yhtä suuret ennen mittauksen aloittamista ja 90 %RH kosteudessa 20 C lämpötilassa 1 C asteen lämpötilaero aiheuttaa 5,4 %RH virheen mittaukseen (Vaisala Oyj, 2015, s. 19)

Kuva 2. Yhteen suuntaan kuivuva rakenne (Vaisala Oyj, 2015, s. 17)



Kuva 3. Kahteen suuntaan kuivuva rakenne (Vaisala Oyj, 2015, s. 17)

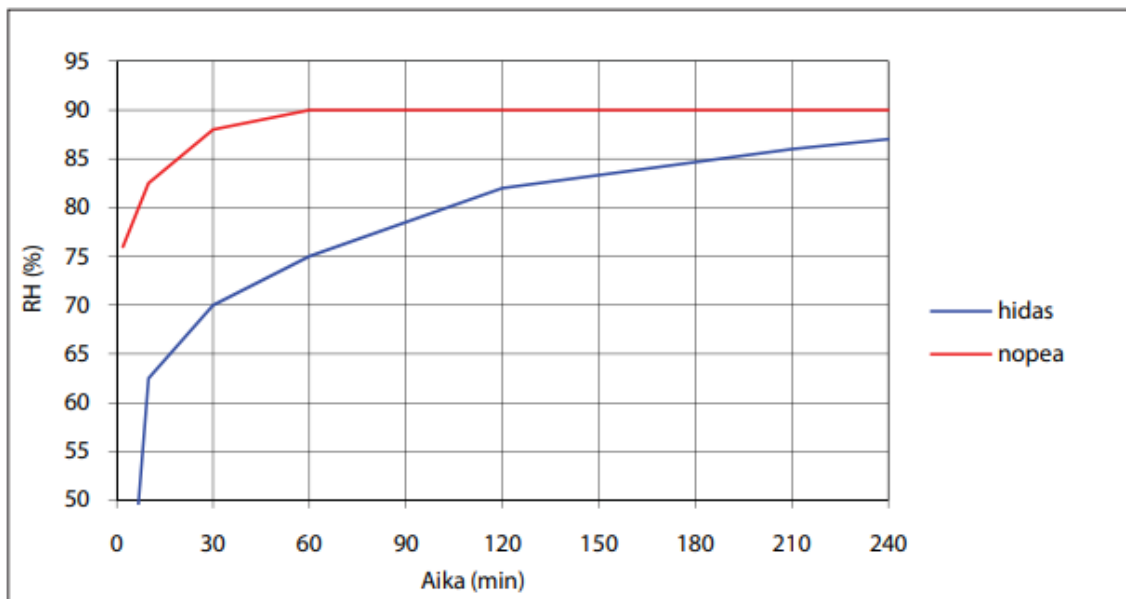


Yhteen ja kahteen suuntaan kuivuvan rakenteen kosteusjakauma on esitetty kuvissa 2 ja 3 ennen ja jälkeen materiaalin pinnoittamisen. Vaisalan SHM40 -paketin mittaussyvyys on 40% laatan syvyydestä ( $d$ ), kun kuivuminen tapahtuu vain toiselta puolelta ja 20%, kun kuivuminen tapahtuu molemmilta puolilta. Laatan kosteusjakauma riippuu betonirakenteen kuivumisolosuhteista, eli kahteen suuntaan kuivuvan betonilaatan suurin kosteus on sen keskellä. Pinnoitetun lattian kosteus leviää tasaisesti koko laattaan, jolloin se vastaa 20% syvyydessä mitattuja lukemia (Vaisala Oyj, 2015, s. 16).

Reikä puhdistetaan betonipölystä ja reikään asennetaan mittausputki, joka ylettyy reiän pohjaan asti. Putkena voidaan käyttää esimerkiksi valkoista sähköjohtojen suojaputkea, jonka ulkohalkaisija on sama kuin porareian halkaisija. Porareikä suojataan lämpötilavaihteluilta ja muilta häiriöiltä tiivistämällä putken ja mitatun pinnan liittymä sekä

putken pää vesihöyrytiivillä massalla, kuten muovailtavalla kitillä, kun putki on ensin imuroitu putkeen mahtuvalla suuttimella. Huonosti puhdistettu porareikä huonontaa mittaustarkkuutta. Kun tasapainokosteus reiässä on saavutettu, mittaus voidaan suorittaa. Useista rei'istä tehdyllä porareikämittauksella saadaan paras mittaustarkkuus. (RT 14-10984, s. 4) Useimpien mittapäiden tasaantumisaika sijoittuu kuvassa 4 olevien tasaantumiskäyrien väliselle alueelle (RT 14-10984, s. 6).

Kuva 4. Mittapäiden tasaantuminen mittausputkessa (RT 14-10984, s. 6).



Rakenteen sisäisen suhteellisen kosteuden mittauksessa käytettävää mittapäätä tulee säilyttää kuljetuksessa siten, että se ei altistu suurille lämpötilanvaihteluille, ja sen annetaan tasaantua mittauspisteen olosuhteisiin ja ympäröiviin olosuhteisiin ennen asennusta mittausputkeen. Mittausta ennen pitää vielä tarkistaa, että käytettävä mittauspää ja muu laitteisto on kalibroitu ja silmämääräisesti kunnossa. Mittaajan tehtävänä on selvittää käytetyn mittapään porareiässä vaatima tasaantumisaika, joka riippuu mittapään tyypistä ja betonin laadusta. Yleensä hyvä mittaustarkkuus saavutetaan vähintään tunnin tasaantumisajan jälkeen ja pienempi tasaantumisaika voi johtaa todellista alhaisempaan kosteusarvoon. (RT 14-10984, s. 5) Vaisalan ohjeen mukaan tyypillinen tasaantumisaika porareiässä on 30 min, kun betonin ja mittapään lämpötila on sama (Vaisala Oyj, 2015, s. 61).

Tässä tutkimuksessa kohteen pintakosteuskartoituksen perusteella tehtiin kaksi porareikämittausta tyhjillään olevan asunnon alapohjan betonilaattaan. Paikka valikoitui silmämääräisten havaintojen ja pintakosteusmittarin vertailuarvojen perusteella keittiön allaskaapin edustalta. Allaskaapissa oli vanhoja vuotojälkiä, mutta se oli tarkasteltaessa kuiva. Pintakosteusmittaus osoitti, että kosteuspitoisuus oli koholla allaskaapin edustalla.

## **4 Rakenneavaukset**

Rakenneavauksilla voidaan tarkastaa avattavan rakenteen rakennetyyppi avauskohdassa, tehdä aistinvaraisia havaintoja käytetyistä materiaaleista sekä ottaa näytteitä ja tehdä mittauksia rakenteiden sisältä. Avattujen rakenteiden toteutustapaa verrataan käytettävissä oleviin suunnitelmiin tai suunnitelmien puuttuessa rakennetyyppi voidaan määrittää.

Rakenneavaukset kohdistetaan oletettuihin riski- ja vauriokohteisiin rakennuksen sisätiloissa, vesikatolla tai julkisivulla. Ne ovat pääasiallinen keino, jolla kerroksellisten rakenteiden kunto ja toteutustapa voidaan selvittää. Rakennetyyppi ja rakennekaksuus on hyvä dokumentoida myös piirtämällä. (Pitkäranta, 2016, ss. 45-46) Rakenneavauksista tehdyt dimensiomittaukset tuottavat tärkeää tietoa korjaussuunnittelun avuksi esimerkiksi kantavien rakenteiden riittävyttä arvioitaessa (RIL 255-1-2014, s. 381).

### **4.1 Rakenneavausten suunnittelu ja toteutus**

Rakenteiden avaaminen rikkoo rakenteita ja niiden pintoja, joten avauskohtien sijoittelu ja määrä pitää harkita tarkoin. Käytettävät välineet ja menetelmät riippuvat tutkittavasta materiaalista ja itse rakenteesta. Avauksia suunniteltaessa pitää kiinnittää huomiota myös rakenteiden väliaikaiseen sulkemiseen, jotta rakenne ei vaurioidu avauskohdalta lisää eivätkä siinä mahdollisesti olevat epäpuhtaudet tai haitalliset aineet pääse kulkeutumaan sisäilmaan. Ennen rakenteen avausta pitää harkita, voiko materiaali sisältää haitallisia aineita kuten asbestia, joka voi altistaa näytteen ottajan tai saastuttaa tutkittavia tiloja. Jos tutkittavat tilat ovat käytössä rakenteita avattaessa, on osastointia suositeltavaa käyttää silloin, kun avattavissa rakenteissa epäillä olevan kosteus- tai mikrobivaurioita, haitta-aineita tai PAH-yhdisteitä. (Pitkäranta, 2016, s. 46) Osastoinnissa sovelletaan ohjekortteja Ratu 82-0383 Kosteus- ja homevaurioituneiden rakenteiden purku, Ratu 82-0347 Asbestia

sisältävien rakenteiden purku ja Ratu 82-0381 Kivihiilipikeä sisältävien rakenteiden purku sekä niissä esitetyt menetelmiä.

Rakenneavauksia suunniteltaessa niiden laajuudesta ja sijainnista tulee tiedottaa sekä asukkaille että tilaajalle. Kaikille rakenteita rikkoville tutkimuksille pitää olla rakennuksen omistajan lupa, ja suojaustoimista sekä paikkauksesta sovitaan tilaajan kanssa. Asutuissa ja käytössä olevissa rakennuksissa avauskohdat pyritään valitsemaan siten, että ne haittaavat rakennuksen käyttöä mahdollisimman vähän. Maanvastaisten vesieristettyjen rakenteiden avauksissa tulee huomioida mahdolliset vedenpaine-eristetyt rakenteet ja käytössä olevissa pesutiloissa pyritään välttämään vesieristettä rikkovia tutkimusmenetelmiä. (Pitkäranta, 2016, s. 46)

Tässä tutkimuksessa rakenneavauksia tehtiin viiteen kohtaan rakennusten ulkoseiniin ulkopuolelta, käytöstä poistettuun ja käytöstä poistuvaan asuntoon alakattoon höyrynsulkua rikkomatta sisäkautta ja yhden käytöstä poistetun asunnon kylpyhuoneen alapohjaan. Rakenneavausten tarkoituksena oli tutkia rakennetyyppejä, ottaa näytteitä ja tutkia vaurioiden syitä. Rakenneavauksista ja muista tutkimuksista tiedotettiin isännöitsijän sähköisen tiedotusjärjestelmän kautta tiedotteella, jossa kerrottiin viikon aikana tehtävistä tutkimuksista ja niiden vaikutuksista asukkaisiin.

## **4.2 Näytteenotto rakenneavauksesta**

Mikrobikasvu pyritään osoittamaan aina ensisijaisesti rakennusmateriaalista otettavalla näytteellä esimerkiksi rakenneavauksen yhteydessä, koska se mahdollistaa mikrobipitoisuuden ja lajiston tarkastelun. (Valvira, Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto, 2016, s. 5) Tutkittavien materiaalien vaurioitumista ja niissä olevaa mikrobikasvua arvioidaan aistinvaraisesti sekä näytteiden mikrobianalyysillä. On suositeltavaa arvioida erityisesti materiaalin ulkonäköä aistinvaraista tarkastelua tehtäessä ja vaurioituneiden materiaalien voimakasta haistelua tulisi välttää, vaikka homeen ja maakellarin haju onkin selvä viite mikrobikasvusta.

Mikäli materiaalissa on selvästi näkyvissä homekasvustoa tai se on lahonnut, ei materiaalinäytteiden mikrobianalyysiä tarvita vaurion osoittamiseksi. Mikrobianalyysi voi

kuitenkin tulla kyseeseen, jos sitä tarvitaan toiseen tarkoitukseen, kuten mikrobityyppien määrittämiseen muiden altistumisen arviointiin liittyvien tutkimusten takia. Epäselvissä tapauksissa suositellaan näytteenottoa, koska mikrobikasvusto ei ole välttämättä silmin nähtävissä. (Pitkäranta, 2016, s. 48) Esimerkiksi lahovauriotapauksessa korjausten laajuuden ennakointi edellyttää tietoa rakenteissa olevista lattiasienistä, joiden aiheuttamien vaurioiden korjauslaajuus on erityisen suuri. (RIL 255-1-2014, s. 382)

Markkinoille on tullut DNA-analyysiin perustuvia menetelmiä ja suoraan mikrobien toksisuutta mittaavia menetelmiä, joiden tulkintaa varten ei ole yleisesti hyväksyttyjä tai viranomaisen vahvistamia viitearvoja. Tämän vuoksi niiden käyttäminen kuntotutkimuksessa ei ole suotavaa. (RIL 255-1-2014) DNA-määrittämiseen perustuu esimerkiksi kvantitatiiviseen polymeraasiketjureaktioon pohjaava analyysi qPCR, jolla voidaan tutkia rakennusmateriaalinäytteessä olevien elävien ja kuolleiden mikrobien määrää. Sen etuna on nopeus, mutta menetelmänä se on uusi, eikä yhtenäistä standardoitua analyysi- ja tulkintaprotokollaa vielä ole. (Pitkäranta, 2016, s. 49)

Materiaalinäyte otetaan tutkittavan materiaalin pintakerroksesta ja materiaali irrotetaan noin 5 mm syvyydeltä vähintään noin tulitikkuaskin kokoinen kappale. Näyte voidaan ottaa esimerkiksi taltalla, puukolla, mattoveitsellä tai monitoimikoneella riippuen irrotettavasta materiaalista. Näytettä ei saa kuitenkaan kuumentaa ja se tulee aina ottaa puhtailla välineillä suojahansikkaita käyttäen, jotta kontaminaatio ja epäpuhtauksien siirtyminen eri näytteenottopaikkojen välillä voidaan estää. Välineet pitää desinfioida kontaminaatoriskin vuoksi jokaisen näytteen välissä 70 - 80 % etanolilla tai isopropanolilla suihkuttamalla, pyyhkimällä tai upottamalla. Desinfioinnin jälkeen välineet kuivataan. Otettu näyte pakataan puhtaaseen suljettavaan muovipussiin, ja yhteen näytteeseen tai näytepussiin tulee ottaa vain yhtä materiaalia. Kerroksellisia rakenteita tutkittaessa rakenteet tulee imuroida eri kerrosten välissä, jotta eri kerroksista otetut näytteet eivät kontaminoi toisiaan. (Pitkäranta, 2016, s. 49)

Kun selvitetään epäiltyä mikrobikasvua tietyssä rakenneosassa, rakenne tutkitaan kohdasta, jossa vaurioitumisen todennäköisyys on suurin. Näytteenottopaikka voidaan valita ulkoisten merkkien, kuten pinnan vauriojälkien perusteella. Esimerkiksi valesokkelin vaurioituneisuus tutkitaan alaohjauspuusta kohdasta, jossa lattiapinta on lähinnä maanpintaa tai

ulkopuolinen kosteusrasitus on suurimmillaan. Ulkopuolinen kosteusrasitus voi olla voimakasta puutteellisen sadevesien ohjauksen tai maanpinnan kallistusten vuoksi. Korjauslaajuuden määrittäystä tehtäessä näytteitä otetaan eri rakennekerroksista korjaustarpeessa olevien materiaalikerrosten määrittämiseksi. (Pitkäranta, 2016, ss. 48-49) Kosteus- ja mikrobivauriot eivät sokkelirakenteessa ole juuri koskaan nähtävissä rakenteen ulko- tai sisäpinnoilta, vaan ne voivat ilmetä haju- ja terveyshaittana asukkaille (Weijo, ym., 2019, s. 44).

Sokkelin rakenneavausten tarkoituksena oli selvittää valesokkelirakenteen kuntoa jokaisessa rakennusryhmässä A-D sekä yhteistilarakennuksessa. Tutkimuksessa selvitettiin epäiltyä mikrobikasvua sokkelirakenteessa ja sokkelin korjauslaajuutta alustavasti peruskorjaushanketta varten. Rakenneavauksista otetuista näytteistä viisi rakennuskantaa parhaiten edustavaa sokkelista otettua näytettä lähetettiin mikrobianalyysiin ja näytteitä otettiin sokkelirakenteen eri osista, kuten eristeistä, runkopuusta, alaohjauspuusta ja elementin ohjauspuusta. Rakenneavausten paikat valikoitiin ulkoisen tarkastelun perusteella siten, että ne kohdistettiin pahiten vaurioituneisiin kohtiin, joissa sokkelin kosteusrasitus oli todennäköisimmin suurinta.

Alakaton rakenneavaukset kohdistettiin kahteen asuntoon, joissa veden tiedettiin vuotaneen yläpohjan höyrynsulun läpi asuntoon. Toinen vuodoista tapahtui tutkimuspäivänä ja asunnossa olleet ihmiset siirtyivät toiseen asuntoon seuraavana päivänä. Toinen vuoto oli tapahtunut jo aiemmin, eikä alakatto ollut silminnähden märkä. Molemmissa tapauksissa höyrynsulun päällä oli vettä.

## **5 Kosteus- ja mikrobivauriot**

Kosteusvauriolla tarkoitetaan kosteudesta aiheutuvaa materiaalin tai rakenteen kosteussietokyvyn ylittymistä ja sen ominaisuuksien huonontumista siten, että kyseinen rakenneosa pitää vaihtaa. Mikrobivauriolla taas tarkoitetaan bakteerien, homeiden, hiivojen ja lahottajien haitallista esiintymistä rakennuksessa. Kosteusongelmasta puhutaan, kun kosteusvauriosta syntyy ongelma, joka voi aiheuttaa homeongelman tai muun vastaavan haitan. (RIL 250-2020, s. 287)

Rakenteiden kosteusvaurioituminen saattaa luoda ihanteelliset olosuhteet home- ja sienikasvustoille. Homeiden ja muiden mikrobien, kuten aktinobakteerien kasvu voi päästä käyntiin, kun suhteellinen kosteus on jatkuvasti 70-75 % RH ja lämpötila on +10 - +55 C asteen välillä. Useiden sienten ihanteellinen kasvulämpötila on 15-30 celciusastetta, mutta alle 0 tai yli 60 °C lämpötiloissa ne eivät yleensä kasva. Pakkanen ei kuitenkaan tuhoa sienikasvustoa. Mikrobien kasvu ja homehtuminen nopeutuu merkittävästi yli 90 % RH:n olosuhteissa. Rakennuksista otetuissa näytteissä esiintyy tavallisimmin *Penicillium*-, *Aspergillus*- ja *Cladosporium* -sienisukuja sekä hiivoja. Homesienet *Aspergillus fumigatus* ja *Fusarium* sekä aktinomykeetit voivat kulkeutua asuinrakennuksiin maatalousympäristöistä, eikä niiden esiintymistä tällöin voida pitää varmana osoituksena rakenteissa esiintyvistä mikrobikasvustosta esimerkiksi sisäilmanäytteitä tutkittaessa. (Siikanen, 2014, s. 215) Ulko- ja sisäilmassa tyypillisiä sekä kosteusvaurioihin viittaavia mikrobisukuja, -lajeja ja -ryhmiä on esitetty kuvassa 5. Kosteusvaurioihin viittaavia mikrobeja kutsutaan kosteusvaurioindikaattoreiksi. (Pitkäranta, 2016, s. 128)

Kuva 5. Tyypillisiä mikrobisukuja -lajeja ja -ryhmiä (Pitkäranta, 2016, s. 128)

Ulkoilma	Sisäilma	Kosteusvauriot
<i>Cladosporium</i> , basidiomykeetit <sup>1)</sup> , <i>Penicillium</i> , <i>Aspergillus</i> , <i>Alternaria</i> , hiivat, <i>Geotrichum</i> , steriilit <sup>2)</sup>	<i>Penicillium</i> , <i>Aspergillus</i> , <i>Cladosporium</i> , hiivat, bakteerit	<i>Acremonium</i> , <i>Aspergillus fumigatus</i> , <i>A. ochraceus</i> , <i>A. penicillioides</i> / <i>A. restrictus</i> <sup>3)</sup> , <i>A. sydowii</i> , <i>A. versicolor</i> , basidiomykeetit <sup>1)</sup> , <i>Chaetomium</i> , <i>Eurotium</i> , <i>Exophiala</i> , <i>Oidiodendron</i> , <i>Geomyces</i> , <i>Paecilomyces</i> , <i>Phialophora</i> , <i>Scopulariopsis</i> , <i>Sporobolomyces</i> , <i>Sphaeropsidales</i> ( <i>Phoma</i> ), <i>Stachybotrys</i> / <i>Memnoniella</i> <sup>3)</sup> , sädesienet (mm. <i>Streptomyces</i> ), <i>Trichoderma</i> , <i>Tritirachium</i> / <i>Engyodontium</i> <sup>3)</sup> , <i>Ulocladium</i> , <i>Wallemia</i>

1) Kantasieniä, esimerkiksi useimmat tutut "metsäsienet", lahottajat, käävät ja ruostesienet, 2) lajeja, jotka eivät muodosta käytetyissä laboratorio-olosuhteissa lajitunnistuksen mahdollistavia itiörakenteita, 3) hyvin lähisukuisia ja ominaisuuksiltaan samanlaisia lajeja tai sukuja.

Tutkittavista kosteusvaurioituneista rakenteista voi löytää tavanomaisesti sisä- ja ulkoilmassa yleisesti esiintyviä mikrobeja, koska mikrobeja on kaikkialla ja ne ovat osa normaalia elinympäristöä. Terveystahetta aiheuttava mikrobialtistus johtuu siitä, että niitä on alkanut kasvaa rakennuksen tai rakenteen sisässä. Rakennusten lämpö on yleensä suotuisa mikrobikasvulle, mutta ne tarvitsevat myös kosteutta, jolloin rakenteiden pinnoilla normaalistikin olevat sisä- ja ulkoilmasta peräisin olevat mikrobit pääsevät kehittymään. Kosteusvaurioihin viittaavia mikrobeja kutsutaan kosteusvaurioindikaattoreiksi, koska niitä ei yleensä esiinny merkittävinä pitoisuuksina sisä- ja ulkoilmassa. (Pitkäranta, 2016, s. 128)

Terveydelle erityisen haitallisia homesieniä ovat erityisesti *Stachybotrus*-lajit. Muita vakavimpia ongelmia hyvin kosteissa oloissa aiheuttavia homeita ovat esimerkiksi *Ghaetomium globosum* (katkolahottaja), *Aspergillus fumigatus* ja *Trichoderma viride*. Lahottajasienistä puhutaan joskus homeina, vaikka niiden aiheuttama vaurio ja sen vaatima korjaus erityyppinen. Lahottajasienet heikentävät puun lujuutta ja voivat vioittaa myös joitain mineraalipohjaisia materiaaleja, kuten mineraalivillaa tai vanhaa huokoista betonia. Ruskolahottajasienet ovat haitallisimpia lahovaurioita aiheuttavia sieniä. (RIL 250-2020, s. 244) Lahottajasienet ja sädesienet vaativat kasvaakseen pidemmän koholla olevaa kosteuspitoisuutta. Sädesienet eli aktinomykeetit ovat itse asiassa bakteereja, joiden kasvu on homeiden kasvua hitaampaa. Niiden esiintyminen voi kertoa pidempään jatkuneesta kosteusongelmasta rakenteessa. (Pitkäranta, 2016, s. 130)

Koska homesienet ovat luonnollinen osa elinympäristöämme, niiden haittaa terveydelle on vaikea määrittää pelkästään lajiston pohjalta. Homeen kasvu ei aina tarkoita homevauriota. On materiaalien pintaan kehittyvää helposti puhdistettavaa homeen kasvua ja materiaalia vioittavaa mikrobikasvua. Vaurio tarkoittaa tilannetta, jossa rakennuksen ja rakennusosan tai materiaalin toimivuus menetetään kokonaan ja sen korjaamisessa kyseinen materiaali tai rakenteen osa on vaihdettava kokonaan. Rakennuksen ulkoilmaa ja maata vasten kosketuksissa olevilla pinnoilla homeen kasvu on luonnollista, eikä sitä voida pitää yksinään merkinä kosteusvauriosta. Homesienten aiheuttama haitta rakennuksissa riippuu: kasvun laajuudesta, mikrobisuvuista ja homekasvun sijainnista rakennuksessa, eli siitä miten ne pääsevät kulkeutumaan sisätiloihin esimerkiksi ilmapuotokohdista. (RIL 250-2020, ss. 235-236)

Kosteusvahinkoja voi syntyä kosteudenhallintatoimenpiteistä huolimatta ja osa kosteusvahingoista johtaa kosteusvaurion kehittymiseen. Kosteusvaurio voi olla myös seurausta rakennuksen käytönaikaisen kunnossapidon laiminlyönnistä. (RIL 250-2020, s. 209) Korjausten tavoitteena on poistaa kosteus- ja mikrobivaurioista aiheutuva mahdollinen terveyshaitta, mikä voi edellyttää vaurioituneen rakennusosan purkamista ja uusimista. Toisinaan rakenteiden tiivistäminen ja vaurioituneen osan kapselointi on riittävä toimenpide. Vaurion ollessa aktiivinen ja etenevä, tulee vaurioitunut rakennusosa kuitenkin aina uusaa. Kuntotutkimukset ovat yleensä pistokoeluontoisia suurissa kohteissa, jolloin korjauslaajuus voidaan joutua varmistamaan vasta korjausten yhteydessä, kun rakenteita on purettu

riittävästi. Päätös koko rakennuksen tai rakennusosan purkamisesta tehdään yleensä, jos rakenteiden korjausaste on yli 70 %. Korjausalueen rajausta riippuu vauriomekanismista, vaurioiden vakavuudesta, vaurioiden sijainnista ja korjausten tavoitekäyttöästä (Weijo, ym., 2019, ss. 32-33)

Sisäilman laatuun liittyviä tekijöitä tulee tarkastella kosteusvaurion korjaamisen yhteydessä, koska myös muut kuin kosteudesta peräisin olevat vauriot voivat vaikuttaa sisäilman laatua heikentävästi. Pitkään jatkuva korkea kosteuspitoisuus käynnistää home- ja mikrobikasvun, ja johtaa lopulta materiaalin kemialliseen vaurioitumiseen. Sisäilman laatua heikentävät mikrobit, itiöt, rihmastot tai mikrobien aineenvaihduntatuotteet, jotka voivat aiheuttaa terveyshaittaa. Korjauksia suunniteltaessa ja tehdessä rakennusta pitäisi tarkastella kokonaisuutena, jossa kaikki osatekijät otetaan huomioon. (RIL 250-2020, s. 209)

Asuntojen ja muiden oleskelutilojen olosuhteista säädetään Terveysturvallisuuslain (763/1994) 26 §:ssä ja Asumisterveysasetuksessa (545/2015). Niissä asetetaan fysikaalisille, kemiallisille ja mikrobiologisille tekijöille toimenpiderajat, joilla tarkoitetaan pitoisuutta, mittaustulosta tai ominaisuutta. Se kenen vastuulla haitta on, tulee ryhtyä Terveysturvallisuuslain 27 §:n mukaisiin toimenpiteisiin terveyshaitan selvittämiseksi, sen poistamiseksi tai rajoittamiseksi. Terveysturvallisuuslaissa terveyshaittana pidetään altistumista terveydelle haitalliselle aineelle tai olosuhteelle siten, että sairauden tai sen oireiden paheneminen tai syntyminen on mahdollista. Asumisterveysasetuksen toimenpiderajan ylitystä voidaan pitää sellaisena olosuhteena, joka yleensä aiheuttaa terveyshaittaa. (Valvira, 2020, s. 6) Terveyshaitat ilmenevät eri ihmisillä erilaisina oireina ja erityisen haitallisia sisäilman epäpuhtaudet ovat allergisille ihmisille, joita on 30% väestöstä. Yksi pahimmista allergian aiheuttajista ovat hengitysilmassa olevat mikrobien osat. (Siikanen, 2014, s. 210)

Terveysturvallisuuslain mukainen valvonta on julkisen vallan käyttöä ja julkisen vallan käyttämisessä tulee aina käyttää kokonaisharkintaa. Lain mukainen terveyshaitan arviointi ei aina tarkoita tarkkojen toimenpiderajojen soveltamista, vaan siihen liittyy aina tapauskohtaista tulkintaa. Terveyshaitan olemassaolosta päättää aina kunnan terveysturvallisuusviranomaisen saatujen tutkimustulosten ja kokonaisharkinnan perusteella. Ulkopuolinen tutkija tai asiantuntija taas arvioi rakenteissa olevia vaurioita ja epäpuhtauksia

sekä niiden mahdollisuutta kulkeutua sisäilmaan. Tuloksia verrataan terveydensuojelulaissa ja asumisterveysasetuksessa annettuihin ohjeisiin ja toimenpiderajoihin. (Valvira, 2020, s. 37)

### **5.1 Altistumisolosuhteiden arviointi ja toimenpiteiden kiireellisyys**

Toimivia korjaustapoja ja -materiaaleja on erilaisia ja lopullinen korjaustapa päätetään korjaussuunnitteluvaiheessa. Korjaustoimenpiteiden kiireellisyyden arvioinnissa käytetään apuna altistumisolosuhtearviota. (RIL 250-2020, s. 216) Terveyshaittaa aiheuttavan olosuhteen arvioinnissa huomioidaan asumisterveysasetuksen 3 §:n mukaan altistumisen todennäköisyys, toistuvuus ja kesto, mahdollisuudet välttää altistumiselta tai poistaa haitat sekä poistamisesta aiheutuvat olosuhteet ja muut tekijät. Altistumisen toistuvuudesta, kestosta ja mahdollisuudesta välttää altistumiselta haetaan tietoa rakennuksen käyttäjiltä, koska niiden arviointi perustuu rakennuksen käyttöön, mistä esimerkiksi asukkailla on paras tieto. (Valvira, 2020, s. 38)

Valviran ohjeessa asunnon terveyshaitan selittämisprosessiin määritellään, että altistumisen todennäköisyyteen vaikuttavat epäpuhtauslähteen sijainti, laajuus ja voimakkuus sekä ilmayhteydet ja paine-erot epäpuhtauslähteen ja sisätilan välillä. Epäpuhtauksilla voidaan tarkoittaa esimerkiksi haitta-aineita, pölyjä, kuituja, mikrobeja, itiöitä, VOC-yhdisteitä ja muita kaasumaisia epäpuhtauksia, kuten hiilidioksidia tai formaldehydiä. Altistumista arvioidessa on merkittävää, onko rakenteesta ilmayhteys sisätilaan esimerkiksi höyrynsulun puutteiden vuoksi. Kosteus- ja mikrobivaurioituneen materiaalin tai muun rakenteen sisällä olevan epäpuhtauden lähteen osalta arvioidaan niiden vaikutusta sisäilmaan. Rakennuksen alipaineisuus lisää tällöin ilmavuotoa höyrynsulun epäjatkuvuuskohtien läpi rakenteista sisätiloihin ja vuotoilman mukana kulkeutuu epäpuhtauksia vaurioituneesta rakenteesta sisäilmaan. (Valvira, 2020, s. 38). Sisäilman mikrobipitoisuudet saattavat olla pieniä, vaikka rakennuksessa olisikin näkyvää mikrobikasvustoa riippuen paine-eroista ja ilmanvuotoreiteistä (Pitkäranta, 2016, s. 64).

Valviran ohjeessa 7/2020 on annettu neliportainen asteikko rakenteiden mikrobivaurioiden laajuuden arvioinnista ja kokonaisarviointi perustuu seuraaviin neljään kohtaan (Valvira, 2020, ss. 38-40):

1. Rakenteissa olevien mikrobivaurioiden laajuus. Arvioinnin asteet: Rakenteessa ei ole mikrobivauriota, rakenteessa on helposti rajattavia ja korjattavia mikrobivaurioita (alle 1 m<sup>2</sup>), rakenteessa on laajoja mikrobivauriota, rakenteessa on useita mikrobivaurioituneita rakenteita ja korjauslaajuus on merkittävä useassa rakennusosassa.
2. Ilmayhteys ja ilmavuotoreitit epäpuhtauslähteestä sisäilmaan sekä rakennuksen paine-erot. Arvioinnin asteet: Ei ilmavuotoreittejä epäpuhtauslähteestä sisäilmaan, yksittäisiä tai vähäisiä ilmavuotoreittejä rakenteiden tai ympyröivien tilojen kautta sisäilmaan, ilmavuotoreitit rakenteissa tai epäpuhtauslähteestä ovat säännöllisiä, Ilmavuotoreitit epäpuhtauslähteestä ovat säännöllisiä ja tilat ovat merkittävästi alipaineisia tai rakenteen ilmanpitävyys on erittäin riskialtis.
3. Ilmanvaihtojärjestelmän vaikutus sisäilman laatuun
4. Rakennuksesta peräisin olevat sisäilman epäpuhtaudet, joita voivat olla mm. mineraalivillakuidut ja materiaaliemissiot.

Kuvassa 6 on esitetty sisäilman epäpuhtauksille altistumisen todennäköisyyden arvioinnin asteet mikrobivaurion tapauksessa. (Valvira, 2020, ss. 39-40)

Kuva 6. Altistumisolosuhteiden arviointi (Valvira, 2020, ss. 39-40)

<b>Haitallinen altistumisolosuhte epätodennäköinen</b>	
✓	Rakennuksessa ei ole todettu mikrobivaurioituneita rakenteita.
✓	Epäpuhtauslähteistä ei ole ilmavuotoreittejä oleskelutiloihin.
<b>Haitallinen altistumisolosuhte mahdollinen</b>	
✓	Rakenteessa on helposti rajattavia ja korjattavia mikrobivaurioita, vauriokorjaukset ovat alle 1 m <sup>2</sup> .

✓ Epäpuhtauslähteistä on todettu ilmavuotoreittejä oleskelutilojen sisäilmaan.
<b>Haitallinen altistumisolosuhte todennäköinen</b>
✓ Rakenteissa on laaja-alaisia mikrobivaurioita, korjauslaajuus on merkittävä ja se koskee koko rakennusosaa tai suurta osaa siitä (esim. alapohjarakenne).
✓ Vaurioituneista rakenteista tai epäpuhtaammasta tilasta on säännöllisiä ja useita ilmavuotoreittejä oleskelutilan sisäilmaan.
✓ Sisäilman laadun toimenpiderajat ylittyvät ja sisäilman epäpuhtauslähde on todettu ja paikallistettu.
<b>Haitallinen altistumisolosuhte erittäin todennäköinen</b>
✓ Rakennuksessa on useita eri rakenteita, joissa on todettu laaja-alaisia mikrobivaurioita ja rakenteiden korjauslaajuus on merkittävä useassa rakennusosassa (esim. julkisivu, alapohja).
✓ Ilmavuotoreitit epäpuhtauslähteestä ovat järjestelmällisesti toistuvia ja niitä on useita. Tilat ovat merkittävästi alipaineisia tai rakenteen ilmanpitävyys on erittäin riskialtis.
✓ Sisäilman laadun toimenpiderajat ylittyvät ja sisäilman epäpuhtauslähde on todettu ja paikallistettu.

Epäpuhtauksille altistumisen todennäköisyyttä arvioidaan aina sen laajuuden ja voimakkuuden sekä sisäilmaan kulkeutumisen todennäköisyyden perusteella (Valvira, 2020, s. 39). Niiden lisäksi tarvitaan rakennuksen tiiveyden ja painesuhteiden tutkintaa, jotta kokonaistodennäköisyys voidaan määrittää. Niitä tutkitaan mm. merkkiainetutkimuksilla ja lämpökuvauksella. (Pitkäranta, 2016, s. 32)

Tilojen käyttäjien oireilun lisääntyminen, oireiden toistuvuus ja asukkaiden sairastavuus lisäävät korjaavien toimenpiteiden kiireellisyyttä (Valvira, 2020, s. 40). Toimenpiteisiin tulee kuitenkin ryhtyä ilman tarpeetonta viivettä, vaikka oireita ei olisikaan, mutta toisaalta pelkkä oireilu ei tarkoita sitä, että rakennuksessa on terveydensuojelulain tarkoittamaa terveyshaittaa, koska se saattaa johtua myös rakennuksesta riippumattomista seikoista (Terveydensuojelulaki 763/1994). Käyttäjien terveydentilan arviointi kuuluu terveydenhuollon ammattilaisille kuten lääkäreille, vaikka terveydensuojelulain mukaiseksi terveyshaitaksi katsotaankin altistuminen terveydelle haitalliselle aineelle tai olosuhteelle siten, että sairauden tai sen oireiden ilmeneminen on mahdollista. (Valvira, 2020, s. 40)

## 5.2 Toimenpiderajan ylittyminen

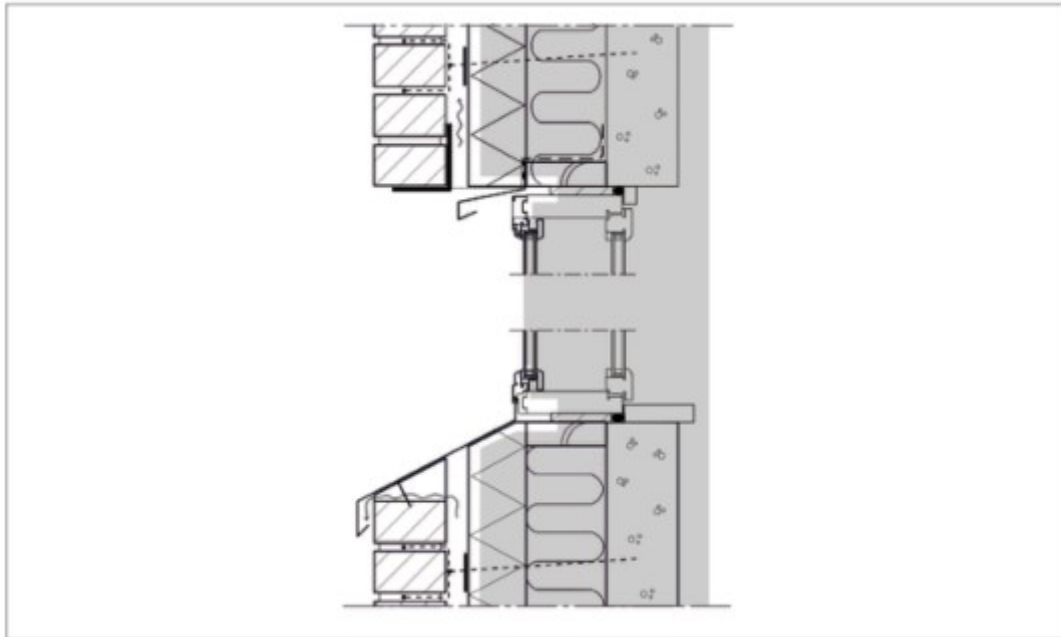
Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa (545/2015) asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista 4 §:ssä toimenpiderajan ylittymisellä tarkoitetaan altisteen pitoisuutta, mittaustulosta tai ominaisuutta, jos asetuksessa tarkoitettujen altisteiden numeeriset arvot ylittyvät mittausepävarmuus huomioon ottaen. Asetuksessa on annettu toimenpiderajoja mm. huoneilman kosteudelle, lämpötilalle, vesijohtoveden lämpötilalle, ilmanvaihdon, melulle, VOC-yhdisteille, formaldehydille, hiilimonoksidille, tupakansavulle ja hiukkasmaisille epäpuhtauksille kuten asbestille ja mikrobeille. (Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuoleisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista 545/2015)

”Toimenpiderajan ylittymisenä pidetään korjaamatonta lahovauriota tai kosteusvauriota sekä aistinvaraisesti todettua ja tarvittaessa analyysillä varmistettua mikrobikasvua rakennuksen sisäpinnalla, sisäpuolisessa rakenteessa tai lämmöneristeessä silloin, kun lämmöneriste ei ole kosketuksissa ulkoilman tai maaperän kanssa, taikka mikrobikasvua muussa rakenteessa tai tilassa, jos sisätiloissa oleva voi sille altistua. Ilmanäytteen osalta on oltava ilman mikrobipitoisuuden lisäksi myös muuta näyttöä toimenpiderajan ylittymisestä.” (Asumisterveysasetus 545/2015, 20 §)

## 5.3 Kosteusvaurion ja mikrobikasvun sijainti rakenteessa

Asumisterveysasetuksen 20 §:n mukaisesti uuden rakennuksen vaipparakenteet tulee suunnitella niin, että niissä ei kasva mikrobeja rakennuksen sisäpinnalla, rakenteiden sisällä tai lämmöneristeessä, mistä mikrobit ja niiden aineenvaihduntatuotteet pääsevät helposti sisäilmaan. Vanhoja rakennuksia ei aina saa korjattua niin, että rakenteiden sisälle ei syntyisi mikrobikasvua, mutta silloin tulisi varmistaa, että rakennuksen sisätiloissa oleskelevat ihmiset eivät altistu mikrobeille. Vanhoissa jo kuivatetuissa vauriokohdissa runsas mikrobikasvu käynnistyy materiaalin kosteuspitoisuuden noustessa huomattavasti uutta puhdasta materiaalia nopeammin (Pitkäranta, 2016, s. 135).

Kuva 7. Mikrobikasvun salliminen ulkoseinärakenteessa (RIL 250-2020, s. 117)

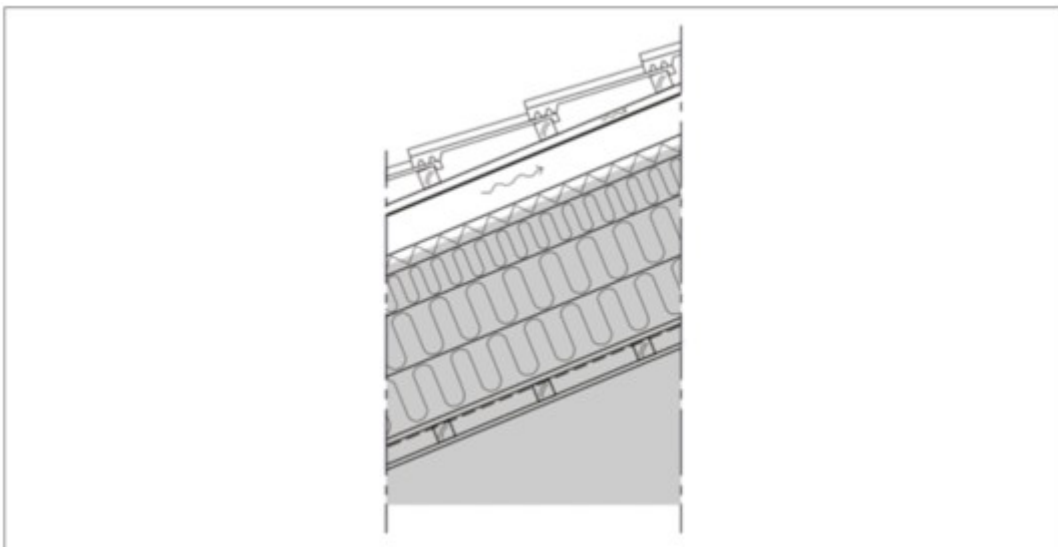


Kuvassa 7 on esitetty harmaalla pohjalla alue, jossa mikrobikasvu ei ole sallittua tiiliverhoillun kivirakenteisen ulkoseinän ja ikkunan liitoksessa (RIL 250-2020, s. 117). Mikrobikasvua ei saa esiintyä avohuokoisissa lämmöneristeissä kuten mineraalivillassa sen sisällä eikä myöskään ulkopinnoilla, koska mikrobit ja niiden aineenvaihduntatuotteet voivat siirtyä eristeestä helposti sisäilmaan eristekerroksen läpi. Mikrobikasvua ei saa myöskään esiintyä näihin eristeisiin rajoittuvan tuulensuojan sisäpinnalla. Sen sijaan umpisoluisilla lämmöneristeillä, kuten polyuretaanilla ja solumuovieristeillä homeen mikrobikasvua voi esiintyä eristeen pinnalla, jos eriste rajoittuu ulkoilmaan tai maaperään ja rakenne on toteutettu niin, että sen läpi ei tapahdu ilmavirtauksia. Umpisoluiset eristeet ovat ilmatiiviitä, joten ne eivät vaadi erillistä tuulensuojaa ulkopintaansa. (RIL 250-2020, ss. 116-117)

Kosteusturvallisuuden näkökulmasta mikrobikasvu on sallittua vesikatteen ja ulkoverhouksen ulkopinnassa ja ilmatiiviin tuulensuojan rajaamassa tuuletusvälissä. Ulkoverhous- ja tuulensuojamateriaalina on suositeltavaa käyttää hyvin kosteutta kestäviä materiaaleja, jotka eivät ole herkkiä mikrobikasvulle. Rakennusmateriaalien homehtumisriski vaihtelee riippuen homehtumisherkkyysluokasta (HHL), jota käytetään rakennusmateriaalien homehtumisriskitarkasteluissa Suomalaisessa homemallissa. (RIL 250-2020, ss. 118-120)

Mikrobikasvu ei ole sallittua tuuletetun yläpohjan tuuletustilassa, kun rakenteessa käytetään avohuokoista eristettä, jota ei ole yläpinnastaan suojattu tuulensuojalla. Avohuokoisen lämmöneristeen läpi mikrobit ja niiden aineenvaihduntatuotteet voivat siirtyä sisäilmaan. Kyseisen yläpohjarakenteen mikrobikasvua voidaan vähentää esimerkiksi käyttämällä rakenteessa puukuitueristettä, jolla on suuri kosteuskapasiteetti. Sen kosteuskapasiteetti esimerkiksi mineraalivillaan verrattuna on huomattavasti suurempi. Mikrobikasvua yläpohjassa voidaan vähentää myös asentamalla lämmöneristettä vesikatteen alle kattoristikoiden yläpuolelle, mikä lämmittää tuuletustilaa. Käytännössä lähellä yläpohjan tuuletusaukkoja on alue, jonka olosuhteet ovat hyvin lähellä ulkoilman olosuhteita, joten mikrobikasvua voidaan tästä syystä hyväksyä yläpohjassa lähellä tuuletusaukkoja. (RIL 250-2020, s. 118) Kuvassa 8 on esitetty puurakenteinen avohuokoisella lämmöneristeellä eristetty vino yläpohjarakennetyyppi, missä on harmaalla esitetty alue, jossa mikrobikasvu ei ole sallittua. (RIL 250-2020, s. 117)

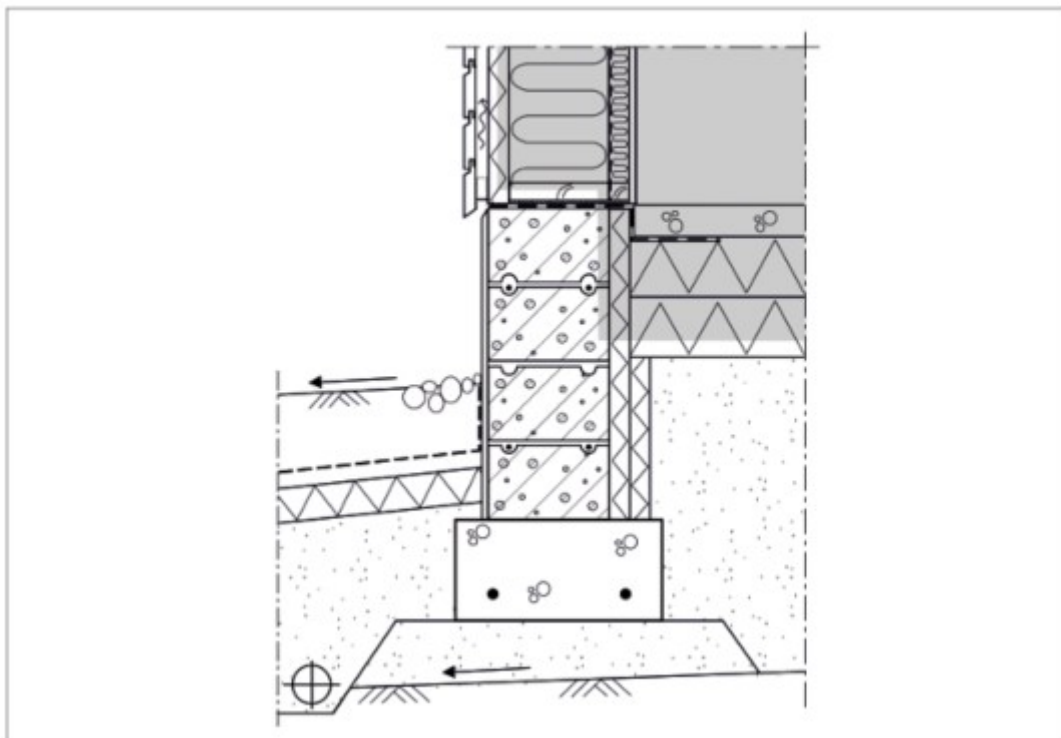
Kuva 8. Mikrobikasvun salliminen yläpohjarakenteessa (RIL 250-2020, s. 117)



Alapohjaliitoksissa alaohjauspuu voi pysyä kosteana, kun se asennetaan kapillaarikatkoa kuten bitumikermiä vasten. Se voi rakennuskosteuden vaikutuksesta pysyä kosteana useita vuosia puun alapinnan keskialueelta. Rakennusaikaisen kosteuden määrää alaohjauspuussa tulisi vähentää mahdollisimman paljon, koska ylimääräinen kosteus pääsee siirtymään alaohjauspuun läpi ulkoilmaan hitaasti. (Vinha & Raunima, 2019, s. 74)

Puurakenteisen ulkoseinän alapohjauspuu on rakennusaikana alttiina sateelle, jolloin sen alapinnassa esiintyy usein mikrobikasvua, vaikka Asumisterveysasetuksen 20 §:n (545/2015) mukaan sitä ei tulisi tässä kohdassa rakennetta sallia. Alaohjauspuun alla voidaan kuitenkin sallia mikrobikasvua, kun liitosalue tiivistetään käyttämällä sen alla joustavaa umpisoluista solumuovikaistaa ja viemällä höyryn- ja ilmansulku liitosalueen yli tiivistäen se alapohjalaatan ulkoreunaan, kuten kuvassa 9 on esitetty. Jos tiivistemateriaalin huokosverkosto on riittävän avointa, mikrobit voivat kasvaa sen sisällä, mikä tulee ottaa huomioon tarkasteltaessa materiaalien käyttäytymistä mikrobien kasvun suhteen. Myös huokoisten puukuitulevyjen sisällä voi kasvaa mikrobeja. (RIL 250-2020, s. 120) Kuvassa 9 on esitetty puurankaisen ulkoseinän ja maanvastaisen alapohjan liitos ja harmaalla pohjalla on merkitty alue, jossa mikrobikasvu ei ole sallittua. (RIL 250-2020, s. 119)

Kuva 9. Mikrobikasvun salliminen sokkelirakenteessa (RIL 250-2020, s. 119)



Mitä lähempänä höyrynsulkua kosteus- tai mikrobivaurioituneet rakenteet ovat, sitä todennäköisemmin niillä on ilmayhteys sisätiloihin, joissa oleskelee ihmisiä. Sisätiloissa mikrobikasvua ei tietenkään sallita. Myös vaurioiden sijainti suhteessa lattiakorkeuteen voi

olla merkityksellistä epäpuhtauksille altistumisen kannalta. Ulkoseinien alaosien ja alapohjan vaurioilla voi olla useammin vaikutuksia sisäilmaan, kuin yläpohjassa olevilla vaurioilla. Tämä johtuu rakennuksen painesuhteista rakennusvaipan yli. Savupiippuvaikutus on merkittävä taloissa, joissa on painonvoimainen ilmanvaihto, jolloin tilan alaosassa vallitsee alipaine ja sisäkaton tasalla ylipaine lämpimän ilman pyrkien ylöspäin. Tässä tapauksessa lähellä lattiaa olevista ilmanvuotopaikoista pyrkii ilmaa sisään eniten. Näin on erityisesti huonosti huolletuissa ja vanhemmissa rakennuksissa, joissa hallittu korvausilmansaanti on riittämätöntä tai korvausilmaventtiilit ovat likaantuneet. Yläpohjan voimakas tuulettuminen voi kuitenkin ajoittain tehdä yläpohjan ylipaineiseksi sisätilaan nähden ja tämä toi aiheuttaa epäpuhtauksien kulkeutumista sisätilaan. (Pitkäranta, 2016, s. 143)

#### 5.4 Rakennusmateriaalin vaikutus mikrobikasvuun

Rakennusmateriaalien homehtumisriski vaihtelee ja kosteutta kestävämmissä materiaaleissa mikrobien kasvu on hitaampaa. Näissä materiaaleissa kasvavat mikrobit ja niiden aineenvaihduntatuotteet ovat usein terveydelle haitallisempia, ja sama pätee homesuoja-aineilla käsiteltyihin rakennusmateriaaleihin. Homeen kasvua voidaan tarkastella laskennallisesti esimerkiksi Suomalaisella homemallilla, jossa homeen kasvua arvioidaan rakenteen pinnoilla muuttuvissa lämpötila- ja kosteusolosuhteissa ajan funktiona. Tällä hetkellä malli on maailman pisimmälle kehitetty homeriskin arviointityökalu maailmassa. (RIL 255-1-2014, s. 60) Vanhoja kosteusvaurioituneita rakenteita korvattaessa voidaan vanhoja homehtumisherkeempiä materiaaleja vaihtaa kestävämpiin materiaaleihin.

Kuva 10. Rakennusmateriaalien homehtumisherkeysluokat (VTT / TTY, n.d.)

Homehtumisherkeysluokka		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	Alkalinen uusi betoni, lasi ja metallit, tehokkaita homesuoja-aineita sisältävät materiaalit

\* Kevytbetoni kuuluu homehtumisominaisuuksiltaan kahteen eri homehtumisherkeysluokkaan. Homeen kasvunopeus vastaa homehtumisherkeysluokkaa HHL2, mutta homeindeksin maksimi-arvo jää homehtumisherkeysluokan HHL3 tasolle.

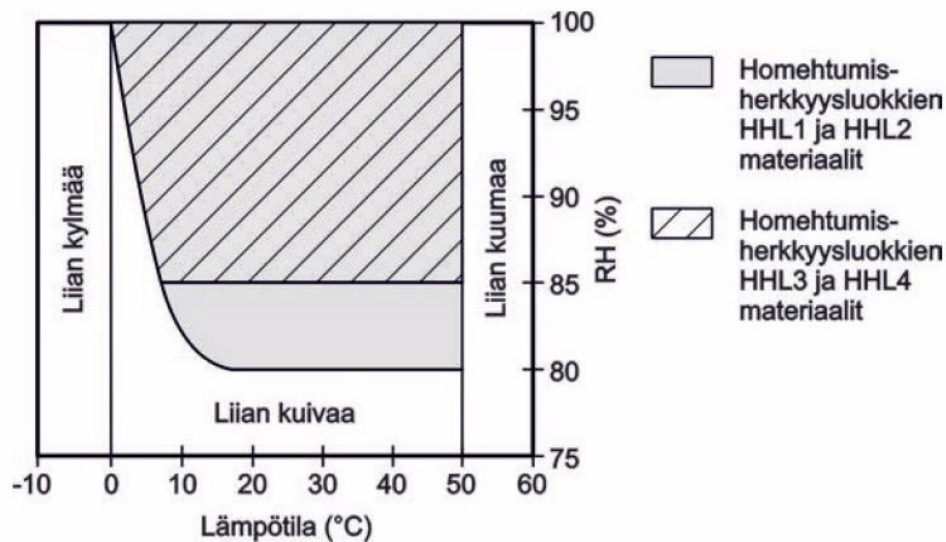
Rakennusmateriaalien luokittelu eri homehtumisherkkyyssluokkiin parannetussa homemallissa on esitetty kuvassa 10. Luokittelua päivitetään materiaaleille tehtävien homehtumiskokeiden perusteella. (VTT / TTY, n.d.) Suomalaisen homemallin mukaan rakennusmateriaalien homehtumisriski jaotellaan neljään eri homehtumisherkkyyssluokkaan (HHL). Tarkastelu tehdään pääsääntöisesti homehtumisherkemman materiaalin mukaan, jos tarkasteltavassa kohdassa on kahta eri homehtumisherkkyyssluokan materiaalia. (RIL 255-1-2014, s. 62) Koska materiaalien homehtumisherkkyyttä tutkitaan jatkuvasti, taulukkoa päivitetään uusimman tutkimustiedon mukaisesti. Esimerkiksi käsittelemätön huokoinen puukuitulevy ja kartonkipintainen kipsituulensuojalevy ovat aiemman tiedon perusteella kuuluneet homehtumisherkkyyssluokkaan HHL2 tai HHL3, mutta uudemman tutkimuksen perusteella ne kuuluvat homehtumisherkkyyssluokkaan HHL1, eli ne ovat puutakin herkemmin homehtuvia rakennusmateriaaleja. (Vinha & Raunima, 2019, s. 523)

VTT:n ja TTY:n rakennusfysiikan tutkimusryhmän yhdessä kehittämä Suomalainen homemalli ei ota kantaa mikrobien ja niiden aineenvaihduntatuotteiden toksisuuteen, vaan se kuvastaa mikrobien määrää materiaalin pinnalla. Suomalaisen homemallin mukaisessa homehtumisriskitarkastelussa tarkastelukohdista saatujen lämpötilan ja suhteellisen kosteuden arvoista lasketaan homeindeksin M maksimiarvo, joka vaihtelee välillä 0 - 6, mikä tarkoittaa vaihtelua välillä ”täysin puhdas pinta” – ”kauttaaltaan mikrobikasvun peittämä pinta” tarkoittaen homeen määrän lisääntymistä materiaalin pinnalla. Rakenteen sisällä ja sisäpinnoilla homeindeksin maksimiarvon pitää olla  $< 1,0$ , kun niissä ei esiinny home- ja mikrobikasvustoa. (RIL 250-2020, s. 120) Suomalaisen homemallin laskentapohja on ladattavissa Excel-muodossa Tampereen yliopiston rakennusfysiikan tutkimusryhmän kotisivuilta (VTT / TTY, n.d.).

Suomalaisen homemallin homehtumisriskiä kuvaava homeindeksi voidaan laskea kaikille rakennusmateriaaleille ja eri materiaaleja sisältäville rakenteille, kun niiden homehtumisherkkyyssluokka tunnetaan. Homehtumisherkkyyttä arvioidaan myös homeen taantumisen suhteen ja kullekin taantumaluokalle on määritetty niitä kuvaavat kertoimet. Materiaalin pinnan työstö, pinnoitus ja eri materiaalien välisen kosketuksen vaikutus voidaan ottaa huomioon näiden homehtumisherkkyyss- ja taantumaluokkien avulla. Homeindeksiluokissa 3 ja 4 homeen kasvua on tutkittu silmämääräisen tarkastelun lisäksi mikroskoopilla ja mallin soveltuvuus on verifioitu laboratoriokokein eri materiaaleille,

rakenteelle ja materiaalien rajapinnoille. Homeen kasvun kannalta suotuisat kosteus- ja lämpötilaolosuhteet eri homehtumisherkkyysluokissa vaihtelevat, ja ne on esitetty kuvassa 11. (VTT / TTY, n.d.)

Kuva 11. Homeen kasvu eri homehtumisherkkyysluokissa (VTT / TTY, n.d.)



#### 5.4.1 Ilmaston vaikutus mikrobikasvuun

Rakennusfysikaalisissa tarkasteluissa tulee ottaa huomioon myös ennustetun ilmastomuutoksen vaikutukset rakenteiden toiminnalle, koska uudet rakennukset suunnitellaan kestäväksi vähintään 50 vuotta. Merkittävien sekä kalliiden perusrakennushankkeiden uusittujen rakenteiden suunniteltu tekninen käyttöikä määrittää pitkälti investoinnin kannattavuutta. Esimerkiksi kalliin muutostyön yhteydessä tehdyn lisäeristämisen ja uuden julkisivurakenteen rakentamisen laskennallinen takaisinmaksuaika perustuu siihen, että rakennetta ei jouduta ilmaston muuttuessa uusimaan laskentaperiodilla. Ilmastomuutoksen vaikutus rakennusfysikaalisiin tarkasteluihin otetaan huomioon tekemällä muutoksia laskentamalleihin, jotta ne vastaavat ennustettuja muutoksia lähivuosikymmeninä. (RIL 255-1-2014, s. 66)

Ilmatieteenlaitos on Ympäristöministeriön tilauksesta yhdessä Aalto-yliopiston, Tallinnan teknillisen yliopiston ja Tampereen teknillisen yliopiston kanssa kehittänyt rakennusten lämmitys- ja jäähdytysenergiankulutuksen laskentaa sekä rakennusfysikaalisia tarkasteluja varten ilmastollisia testivuosia. Niiden laskennassa on arvioitu millaisiin tulevaisuuden

sääolosuhteisiin rakennetussa ympäristössä tulisi varautua ilmaston muuttuessa. (Jylhä, ym., 2020) Suomen ulkoilman olosuhteisiin on määritetty kosteuden kondensoitumisen ja homeen kasvun osalta kriittiset testivuodet, jotka ovat käytössä rakennusfysikaalisissa tarkasteluissa. (RIL 255-1-2014, 2014) Nykyisen ilmaston säätiedot kerätään neljältä vyöhykkeeltä ja säähavaintoasemat ovat (I-IV): Vantaa, Jokioinen, Jyväskylä ja Sodankylä. Tulevaisuudelle on kolme vaihtoehtoista kasvihuonekaasujen skenaariota ja kolme tulevaisuuden ajanjaksoa 2030, 2050 ja 2100.

Ilmastonmuutoksella ennustetaan olevan seuraavia vaikutuksia rakenteiden ja rakennusten toiminnalle (RIL 255-1-2014, s. 66):

- Viistosateen aiheuttama kosteusrasitus julkisivupinnoille kasvaa. Myös tuulen voimakkuus lisääntyy.
- Kosteuden kondensoitumiselle ja homeen kasvuun otolliset olosuhteet lisääntyvät erityisesti rakenteiden ulko-osissa.
- Kosteuden siirtyminen ulkoa sisälle päin lisääntyy varsinkin julkisivuissa, joihin imeytyy sadevettä. Esimerkkinä tällaisista julkisivuista voidaan mainita tiilivuorattu julkisivu puurunkoisessa talossa.
- Poutajaksojen lyhentyessä ja pilvisyyden lisääntyessä rakenteiden kuivumiskyky vähenee ja hidastuu.
- Vanhojen lisähuokostamattomien betonijulkisivujen pakkasrapautuminen lisääntyy sateen ja pakkasen yhteisvaikutuksesta.
- Rakennusten jäähdytystarve lisääntyy lämmitystarpeen vähentyessä.

Vuotuisten sademäärien kasvu ei jakaannu tasaisesti vuoden ympäri, koska talvella sataa tulevaisuudessa enemmän ja yhtä suurempi osa siitä tulee vetenä. Suomen ilmastolle kuuluu suuri luonnollinen kausivaihtelu ja ilmaston lämpenemisen voimakkuus riippuu kasvihuonekaasupäästöistä. (Jylhä E. K., 2020) Suurimmat muutokset tapahtuvat talvella ja loppusyksystä. Syksy on jo nykyisin ongelmallinen rakenteiden kosteusteknisen toimivuuden näkökulmasta, joten nämä olosuhdemuutokset vaikuttavat rakenteisiin erityisen paljon. (RIL 255-1-2014, s. 66) Suomessa on mitattu sellaisia homehtumisolosuhteita vuonna 2015 Jokioisissa, mitkä vastaavat Jokioisten 2050 vuoden ilmasto-olosuhteita ilmastomallin perusteella. Meillä on siis jo 35 vuotta aikaisemmin mitattu nykyilmastossa

rakennusfysikaalisten tulevaisuuden testivuosien ilmastoja. Näitä testivuosia ollaankin nyt päivittämässä ja uudet testivuodet tuleviin rakennusfysikaalisiin tarkasteluihin pitäisi olla käytettävissä 2021 vuoden lopussa (Juha Vinha, Luento 24.11.2020)

## **6 Korjauskohteen energiatehokkuuden parantaminen**

Rakennuksen energiatehokkuutta on parannettava luvanvaraisen korjaus- ja muutostyön tai rakennuksen käyttötarkoituksen muutoksen yhteydessä, jos se on toteutettavissa teknisesti, toiminnallisesti ja taloudellisesti. Ympäristöministeriön asetuksessa rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä (4/2013) säädetään siitä tarkemmin. (Weijo, ym., 2019, s. 15)

Vaikka korjaushankkeen tavoitteena on palauttaa rakennus teknisesti ja terveydellisesti käyttötarkoitustaan vastaavaan kuntoon, voi vanhaa rakennusta korjattaessa olla hyvä mahdollisuus parantaa sen energiatehokkuutta. Energiatehokkuuden näkökulmasta kosteus- ja mikrobivaurioituneiden rakenteiden korjaus on yksi tällainen mahdollisuus. Kosteus- ja mikrobivaurioituneita rakenteita korjattaessa vaihdetaan usein ulkoilmaan rajautuvia rakenteita, jolloin voidaan samalla lisätä eristystä, pienentää johtumishäviöitä ja säästää lämmityskustannuksissa. Tällaisen korjaushankkeen yhteydessä tehtävällä ulkoseinien ja ikkunoiden lämmöneristyksen parantamisella on suurin vaikutus rakennuksen kokonaisenergiankulutukseen. (Weijo, ym., 2019, s. 91)

Rakenteiden uusimisen yhteydessä on tutkimusten mukaan kannattavaa tarkastella myös taloteknisiä järjestelmiä, koska samassa yhteydessä tehdyllä ilmanvaihdon uusimisella ja säädöllä on merkittävä vaikutus rakennuksen kokonaisenergian kulutukseen.

(Boström;Uotila;Linne;Hilliaho;& Lahdensivu, 2012) Usein pelkkä ilmanvaihdon parantaminen lisää energiankulutusta, mutta energiaa saadaan säästöön ilmanvaihdon säätöjen kautta (Weijo, ym., 2019, s. 91). Myös rakennuksen käyttäjillä on merkittävä vaikutus todellisen energiankulutuksen muodostumisessa (Boström;Uotila;Linne;Hilliaho;& Lahdensivu, 2012).

Ongelmien alkaminen on toisinaan yhdistetty myös vanhan rakennuksen painovoimaisen ilmanvaihdon muuttamiseen koneelliseksi. Näissä tapauksissa rakennuksen muuttuneet

painesuhteet ja tiiveys ilmeisesti voimistavat vanhoissa rakenteissa olleiden epäpuhtauksien kulkeutumista sisäilmaan niin paljon, että sisäilman laatu heikkenee merkittävästi.

(Pitkäranta, 2016, s. 145) Kaikkien rakennusosien korjaamisen yhteydessä ei ole mahdollista parantaa energiatehokkuutta järkevin kustannuksin siten, että kaikki korjatut rakenteet ja järjestelmät toimisivat myös rakennusfysikaalisesti oikein. Rakennusta tulee siis korjauksia suunnitellessa tarkastella kokonaisuutena, jossa otetaan huomioon kaikki rakenteiden rakennusfysikaaliseen toimivuuteen vaikuttavat seikat. (Weijo, ym., 2019, s. 91)

## 6.1 Asetus energiatehokkuuden parantamisesta

Ympäristöministeriön asetusta rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta (4/13) sovelletaan kaikkiin rakennuksiin, joissa tehdään rakennusluvanvaraista korjaus- tai muutostyötä. Siinä säädetään, että energiatehokkuuden parantamisen vaikutusten laskennassa sovelletaan ympäristöministeriön asetusta rakennusten energiatehokkuudesta (2/11). Kaikkien korjaus- ja muutostöihin ryhtyvien on rakennuslupa- tai tarvittavan suunnittelun yhteydessä esitettävä toimenpiteet, joilla energiatehokkuutta parannetaan joko rakennusosittain, järjestelmittäin tai koko rakennuksessa. Kun rakennuksen energiatehokkuutta parannetaan rakennusosakohtaisesti, noudatetaan asetuksen U-arvovaatimuksia rakennusosittain. (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä 4/13, 2013)

Energiatehokkuusasetuksen (4/13) 4 §:n rakennusosakohtaiset vaatimukset uusitulle rakennusosalle energiatehokkuuden parantamiseksi:

- Ulkoseinän U-arvo tulee olla enintään 0,17 W/m<sup>2</sup>K
- Yläpohjan U-arvo tulee olla enintään 0,09 W/m<sup>2</sup>K
- Alapohjan energiatehokkuutta parannetaan mahdollisuuksien mukaan
- Uusien ikkunoiden ja ulko-ovien U-arvon on oltava 1,0 W/m<sup>2</sup>K tai parempi ja vanhoja ikkunoita korjattaessa lämmönpitävyyttä on mahdollisuuksien mukaan parannettava.

Asetus energiatehokkuuden parantamisesta säätelee myös taloteknisiä järjestelmiä ja niiden energiatehokkuusvaatimuksia, kun niitä peruskorjataan, uudistetaan tai uusitaan. Tällöin noudatetaan näitä 5 §:n vaatimuksia:

- Rakennuksen ilmanvaihdon poistoilmasta on otettava lämpöä talteen lämpömäärä, joka vastaa vähintään 45 % ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemasta lämpömäärästä
- Koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän ominaissähköteho saa olla enintään 2,0 kW/(m<sup>3</sup>/s) ja poistoilmanjärjestelmän ominaissähköteho enintään 1,0 kW/(m<sup>3</sup>/s)
- Ilmastointijärjestelmän ominaissähköteho saa olla enintään 2,5 kW/(m<sup>3</sup>/s)
- Lämmitysjärjestelmien hyötysuhdetta parannetaan niiden korjauksen ja uusimisen yhteydessä mahdollisuuksien mukaan.
- Vesi- ja viemärijärjestelmien uusimiseen sovelletaan uudisrakentamisen säännöksiä.

Energiatohokkuusasetuksen (4/13) mukaan rakennuksen energiatohokkuusvaatimukset voidaan täyttää myös rakennusluokittain, jolloin asetuksen 6 §:n mukaan pien-, rivi ja ketjutalon energiankulutus tulee olla korkeintaan 180 kWh/m<sup>2</sup>. Tällöin energiatohokkuuden parantaminen tapahtuu rakennuksen standardikäyttöön perustuvaa energiankulutusta pienentämällä. Energiatohokkuusasetuksen 7 §:n mukainen pien-, rivi ja ketjutalon E-lukuvaatimus saadaan laskemalla alkutilanteen E-luku, eli standardikäyttöön perustuva kokonaisenergiankulutus Ympäristöministeriön asetuksen energiatodistuksesta liitteen 1 mukaan ja kertomalla se luvulla 0,8. E-luvun yksikkö on kWh/m<sup>2</sup>. (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatohokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä 4/13) Laskennallisen energiatohokkuuden vertailuluku, eli E-luku lasketaan energiatodistukseen aina Ympäristöministeriön energiatodistusasetuksen liitteen 1 mukaan ja laskennassa noudatetaan pääosin energiatohokkuusasetuksen säännöksiä. (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 1048/2017, 2017)

Rakennuksen energiatohokkuutta parantavien korjaussuunnitelmien osana on esitettävä energiatohokkuutta parantavien toimien kokonaisvaikutus. Tästä voidaan poiketa, jos korjaushankkeessa on noudatettu rakennusosakohtaisia 4 §:n vaatimuksia ja teknisten järjestelmien osalta 5 §:n vaatimuksia sellaisenaan. Kokonaisvaikutusta ei tarvitse esittää, jos energiatohokkuuden parantamisen vaikutus rakennuksen energiatohokkuuteen on vähäinen tai olematon. (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatohokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä 4/13, 2013)

## 6.2 Asetus rakennuksen energiatodistuksesta

Energiatodistus vaaditaan kaikilta uudisrakennuksilta, mutta myös vanhoilta kiinteistöiltä silloin, kun kiinteistön tiloja myydään tai vuokrataan. Energiatodistus kertoo rakennuksen energiatehokkuuden verrattuna muihin vastaaviin rakennuksiin ja pohjautuu E-lukuun. Energiatodistus sisällytetään rakennuslupa-asiakirjoihin ja lupaviranomainen arkistoi sen. Energiatodistuksen saa laatia henkilö, joka on rekisteröitynyt energiatodistuksen laatijoista pidettävään rekisteriin. Pätevyys on voimassa seitsemän vuotta, minkä aikana pätevyyttä on pidettävä yllä laatimalla energiatodistuksia tai kouluttautumalla. Pätevyyttä haetaan pätevyyden toteajalta, joka toteaa laatijalta vaadittavan koulutuksen tai työkokemuksen ja järjestää, arvioi tai hylkää pätevyyksikokeen. (Laki rakennuksen energiatodistuksesta 50/2013)

Energiatodistus on hankittava pätevältä energiatodistuksen laatijalta. FISE toteaa energiatodistuksen laatijoiden pätevyydet, jotka merkitään Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus ARA:n energiatodistusrekisteriin. Pätevyysvaatimuksena perustasoon on rakennus-, talotekniikka- tai energiatekniikka-alan ylempi korkeakoulututkinto tai ammattikorkeakoulututkinto tai aikaisempi rakennusinsinöörin, rakennusarkkitehdin, lvi-, kone- tai sähköinsinöörin, LVI- tai sähkötekniikan taikka rakennusmestarin tutkinto. Ylempään tasoon ei riitä sähkötekniikan tai rakennusmestarin tutkinto. Ylempää tasoa edellytetään, jos energiatodistus lasketaan jäähdytetylle rakennukselle tai rakennuksen osalle tai sen laskemiseen käytetään dynaamista laskentamenetelmää. (FISE, 2021)

Laskennallisen energiatehokkuuden vertailuluku määritetään energiatodistusasetuksen (1048/2017) liitteessä 1: ”Rakennuksen tai sen osan E-luku ( $\text{kWh/m}^2$ ) lasketaan jakamalla energiamuotojen kertoimilla painotettu rakennuksen vakioituun käyttöön perustuva laskennallinen ostoenergian kulutus rakennuksen lämmitettyä nettoalaa kohden ( $A_{\text{netto}}$ ) vuodessa.” E-luku ilmoitetaan rakennuksen energiatodistuksessa.

Energiamuotojen kertoimet on määritetty erillisellä maankäyttö- ja rakennuslain nojalla annetulla asetuksella rakennuksessa käytettävien energiamuotojen kertoimien lukuarvoista (Ympäristöministeriön asetus rakennuksissa käytettävien energiamuotojen kertoimien lukuarvoista 788/2017):

- Sähkö 1,2
- Kaukolämpö 0,5
- Kaukojäähdytys 0,28
- Fossiiliset polttoaineet (mm. öljylämmitys) 1,0
- Uusiutuvat polttoaineet 0,5

Rakennuksen ympäristöstä otetusta energiasta, kuten aurinko- tai tuulisähköstä otetaan laskennassa huomioon vain se osuus, joka voidaan rakennuksessa käyttää hyödyksi vakioituun käyttöön perustuvan energiankulutuksen kattamiseksi. Näistä saatua energiaverkkoon tuotettua ylimääräistä energiaa ei oteta laskennassa huomioon. Laskennallinen ostoenergiankulutus on laskettava energiatodistusasetuksen liitteen 1 mukaisilla ulkoilman säätiedoilla, sisäilmasto-olosuhteiden, rakennuksen ja sen käyttö- ja käyntiaikojen sekä sisäisten lämpökuormien lähtöarvoilla, eli rakennustyyppin standardikäytön perusteella. (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 1048/2017)

Rivitalojen ja 2-kerroksisten asuinkerrostalojen käyttötarkoituusluokka on energiatodistusasetuksen liitteen 1 mukaan 1d. Käyttötarkoituusluokka on määritelty energiatehokkuusasetuksen 4 §:n mukaisesti. Laskennallinen energiatehokkuuden vertailuluku ilmoitetaan ylöspäin pyöristettynä kokonaislukuna. Tässä työssä tutkittavien rivitalojen käyttötarkoituusluokat on esitetty kuvassa 12. (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä 4/13)

Kuva 12. Käyttötarkoituusluokka 1d (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 1048/2017)

Energiatehokkuusluokka	E-luku (kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> vuosi))
A	E-luku ≤ 80
B	81 ≤ E-luku ≤ 110
C	111 ≤ E-luku ≤ 150
D	151 ≤ E-luku ≤ 210
E	211 ≤ E-luku ≤ 340
F	341 ≤ E-luku ≤ 410
G	411 ≤ E-luku

Korjauskohteen ja uudiskohteen E-luvun laskennassa käytetään rakennuksen suunnitelmista mitattuja koko- ja geometriatietoa. Rakennusosien pinta-alat mitataan niistä

kokonaissisämittojen mukaan ja lämpöhäviön (W/K) laskennassa käytetään suunniteltuja rakennusosakohtaisia U-arvoja ja ikkunapinta-aloja. Muut energialaskennassa vaadittavat tiedot otetaan rakennuksen suunnitteluasiakirjoista. Lämmittämättömät tilat eivät kuulu tarkasteluun, eikä niitä huomioida E-luvun laskennassa. Jos rakenteiden U-arvoja ei saada suunnitelmista selville, voidaan ne selvittää erillisen tarkastuksen yhteydessä tai rakennushankkeessa noudatettujen ohjeiden sekä rakennusluvan myöntämisen aikaan voimassa olleiden rakentamismääräysten perusteella. Jos mistään näistä asiakirjoista ei voida selvittää rakenteiden ominaisuuksia, eikä niitä saada arvioitua tarkastuksen yhteydessä, käytetään energiatodistusasetuksen liitteen 1 taulukon 1 mukaisia U-arvoja. (Ympäristöministeriö, 2018) U-arvot, eli lämmönläpäisykertoimet on esitetty kuvassa 13. (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 1048/2017)

Kuva 13. Rakennusosien U-arvot (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 1048/2017)

Rakennusosa	Rakennusluvan vireilletulovuosi								
	-1969	1969-	1976-	1978-	1985-	10/2003-	2008-	2010-	2012-2018-
<b>Lämpimät tilat</b>									
Ulkoseinä	0,81	0,81	0,70	0,35	0,28	0,25	0,24	0,17*	0,17*
Maanvarainen alapohja	0,47	0,47	0,40	0,40	0,36	0,25	0,24	0,16	0,16
Ryömintätilainen alapohja	0,47	0,47	0,40	0,40	0,40	0,20	0,20	0,17	0,17
Ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,35	0,35	0,35	0,29	0,22	0,16	0,16	0,09	0,09
Yläpohja	0,47	0,47	0,35	0,29	0,22	0,16	0,15	0,09	0,09
Ovi	2,2	2,2	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,0	1,0
Ikkuna	2,8	2,8	2,1	2,1	2,1	1,4	1,4	1,0	1,0
<b>Puolilämpimät tilat</b>									
Ulkoseinä	0,81	0,81	0,70	0,60	0,45	0,40	0,38	0,26*	0,26*
Maanvarainen alapohja	0,60	0,60	0,60	0,60	0,45	0,36	0,34	0,24	0,24
Ryömintätilainen alapohja	0,60	0,60	0,60	0,60	0,40	0,30	0,28	0,26	0,26
Ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,60	0,60	0,60	0,60	0,45	0,30	0,28	0,14	0,14
Yläpohja	0,60	0,60	0,60	0,60	0,45	0,30	0,28	0,14	0,14
Ovi	2,2	2,2	2,0	2,0	2,0	1,8	1,8	1,4	1,4
Ikkuna	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	1,8	1,8	1,4	1,4

\* Taulukkoarvoja käytettäessä hirs- ja massiivipuuseinien U-arvona käytetään vuoden 2010 jälkeen lämpimien tilojen osalta 0,4 W/m<sup>2</sup>K ja puolilämpimien tilojen osalta 0,6 W/m<sup>2</sup>K.

Rakennusten kylmäsiltojen lämpöhäviöt huomioidaan laskennassa määrittämällä liitosten kylmäsiltojen ominaislämpöhäviöt ja pituudet suunnitelma-asiakirjoista tai niiden puuttuessa käytetään ominaislämpöhäviönä energiatehokkuuden laskentaohjeen luvussa 3 (Ympäristöministeriö, 2018) annettuja taulukkoarvoja, jotka on esitetty kuvassa 12. Olemassa oleville rakennuksille kylmäsiltojen vaikutus voidaan arvioida yksinkertaistetusti lisäämällä 10% ulkovaipan johtumislämpöhäviöön. (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 1048/2017)

Ikkunoiden ja ovien aukkojen pinta-alat vähennetään ulkoseinien pinta-alaa laskettaessa ja kattoikkunoiden pinta-alat yläpohjan pinta-alaa laskettaessa. Ikkunoiden ja ovien pinta-alat lasketaan karmirakenteiden ulkomittojen mukaan. Ikkunan valoaukon kohtisuoran auringonsäteilyn kokonaisläpäisykertoimena ( $g_{\text{kohtisuora}}$ ) käytetään ikkunoiden tuotetiedoissa ilmoitettuja arvoja, mutta jos niitä ei ole käytettävissä, käytetään arvoa 0,6. Käytettäessä energiatehokkuuden laskentaohjeen mukaista laskentamenetelmää (Ympäristöministeriö, 2018), läpäisyn kokonaiskertoimena ( $F_{\text{läpäisy}}$ ) käytetään arvoa 0,5 tai tarkempaa arvoa, jos sellainen on käytettävissä. (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 1048/2017)

Ilmanvaihdon käyntiaikoina ja ilmamäärinä käytetään energiatehokkuusasetuksen käyttötarkoitukseluokan mukaisia arvoja ja lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteena ja ominaissähkötehona suunnitelmien arvoja. Vanhoille rakennuksille käytetään rakennusaikaisista asiakirjoista saatuja arvoja. Jos niitä ei voida selvittää, tulee käyttää energiatehokkuusasetuksen liitteen 1 taulukoiden 2 ja 3 mukaisia vuosihyötysuhteen ja ominaissähkötehojen arvoja. (Ympäristöministeriö, 2018) Asetuksen mukaiset ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteet on esitetty kuvassa 14 ja ilmanvaihtolaitteiston

ominaissähkätehot kuvassa 15 (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 1048/2017).

Kuva 14. LTO:n vuosihyötysuhteita (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 1048/2017)

Rakennusluvan vireilletulovuosi	- 1969	1969-	1976-	1978-	1985-	10/2003-	2008-	2010-	2012-	2018-
Vuosihyötysuhde	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	30 %	30 %	45 %	45 %	55 %

Kuva 15. Ominaisähkätehoja (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 1048/2017)

Ilmanvaihtojärjestelmä	Rakennusluvan vireilletulovuosi		
	-2012	2012-	2018-
Painovoimainen	0,0 kW/m <sup>3</sup> /s	0,0 kW/m <sup>3</sup> /s	0,0 kW/m <sup>3</sup> /s
Koneellinen poisto	1,5 kW/m <sup>3</sup> /s	1,0 kW/m <sup>3</sup> /s	0,9 kW/m <sup>3</sup> /s
Koneellinen tulopoisto	2,5 kW/m <sup>3</sup> /s	2,0 kW/m <sup>3</sup> /s	1,8 kW/m <sup>3</sup> /s

Yleisesti voidaan todeta, että energiatodistuksen laskennassa on käytettävä sellaisia lähtöarvoja, jotka parhaiten kuvaavat kohteena olevaa rakennusta, rakennusosia ja teknisiä järjestelmiä todistuksen laatimisen aikaan. Lähtöarvot voivat olla peräisin suunnitelmista, tuotetiedoista, tarkastuksen yhteydessä selvitettyjä, tietomalleista tai piirustuksista selvitettyjä arvoja. Lähtöarvot voivat perustua myös rakennusaikaiseen voimassa olleeseen rakentamismääräykseen tai hankkeessa noudatettuun ohjeeseen. Mikäli lähtöarvoa ei muuten ole saatavissa tai selvitettävissä, on käytettävä energiatehokkuusasetuksen liitteen 1 mukaisia oletusarvoja riippuen rakennusluvan myöntämisen ajasta. Jos myöntämisaika ei ole tiedossa, voidaan valmistumisvuodesta vähentää kaksi vuotta. (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 1048/2017)

## 7 Kohteen rakenne- ja kosteustekninen kuntotutkimus

Kohteen vastuuhenkilönä toimi esimieheni projektipäällikkö Hannu Fagerlund A-Insinöörit Suunnittelu Oy:stä. Tutkimussuunnitelman, kohdekäynnit, dokumentoinnin ja

kuntotutkimukset kohteessa tein itse. Rakenne- ja kosteusteknistä kuntotutkimusta tehtiin loppuvuodesta 2020 useana päivänä. Tutkimuksia tehtiin jokaiseen neljään rakennusryhmään ja tutkimukset kohdistettiin ulkoseinien avausten osalta jokaisen rakennusryhmän pahiten vaurioituneen rakenteen kohdalle. Vaurion astetta arvioitiin ulkopuolelta silmämääräisesti tarkasteltuna. Alakaton rakenneavaukset tehtiin tunnettuihin vuotokohtiin, joissa vuotokohta oli alakaton levypinnassa näkyvissä. Alapohjan kosteuskartoituksen perusteella valikoitiin kohteet, joihin porareikämittaukset tehtiin. Jokaisen rakennusryhmän vesikatolla ja yläpohjassa suoritettiin aistinvaraisia tarkastuksia, joissa selvitettiin mahdollisia yläpohjan ilmavuotoja ja vesikaton tiiveyttä.

Ennen kohdekäyntiä tilaajalta saatiin alkuperäisiä rakenne- ja ARK-piirustuksia sekä vanhoja PTS-arvioita ja kuntotutkimusraportteja kohteesta. Paikalle tehtiin kohdekäynti 4.11.2020. Kohdekäynnillä kartoitettiin vaurioiden laatua, tutkittavia kohteita ja näiden perusteella laadittiin tutkimussuunnitelma. Ulkoseinien ja alakattojen rakenneavaukset tehtiin 23.11.2020 ja niistä otetusta näytteistä valikoitiin suoraviljelyyn 24.11.2020 menneet näytteet. Kosteuskartoitus ja alapohjan rakenneavaus tehtiin 25.11.2020. Porareikämittaukset alapohjasta tehtiin 30.11.2020. Tilaajan kanssa käytiin tammikuussa 2021 tutkimuksen tulokset läpi ja ehdotettiin tiiviysmittauksia lämpökamerakuvauksen avulla kohdistetuilla merkkiainekokeilla, joiden tarkoituksena on selvittää ilmavuotoreittejä sisätiloihin ulkovaipan läpi.

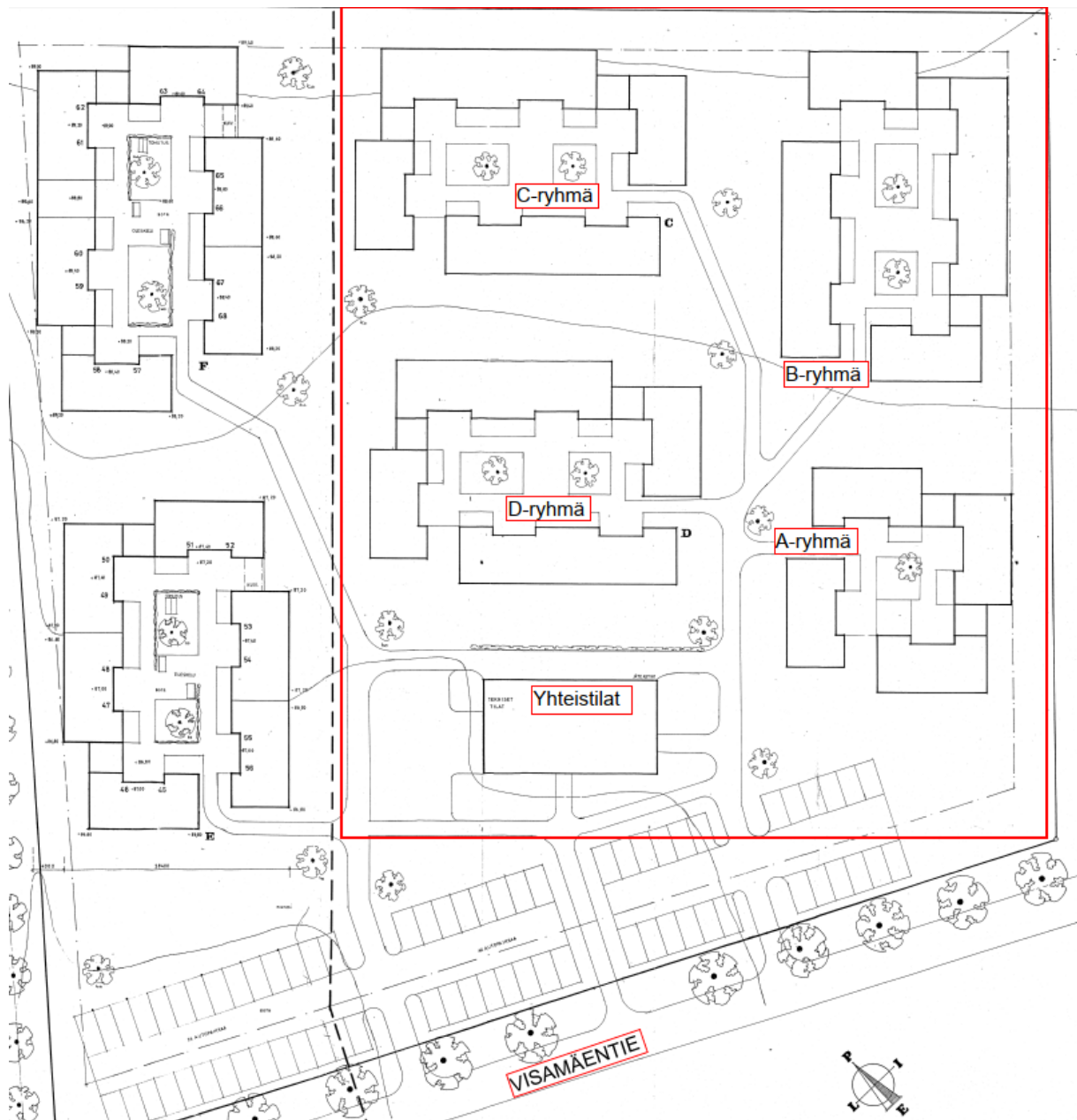
## **7.1 Lähtötiedot**

Ennen tutkimuksia perehdyttiin huolellisesti lähtötietoihin. Käytettävissä oli runsaasti vanhoja kuntotutkimusraportteja ja PTS-arvioita, joiden perusteella saatiin selville, mihin kohdekäynnillä kannattaa kiinnittää huomiota. Tutkittavana oli useita rakennuksia ja asuntoja, joten asiakirjoihin tutustuminen tutkimusprojektin alkuvaiheessa oli tärkeää tutkimussuunnitelman laatimisen ja kenttätutkimuksen kannalta, koska näin säästettiin rajallista kenttätutkimusaikaa ja siten rahaa. (Weijo, ym., 2019) Tutkimussuunnitelmaa laatiessa oli käytössä tilaajan toimittamia asiakirjoja tutkituista rakennuksista:

- Pääpiirustukset:
  - ARK-julkisivupiirustukset, pohjapiirustukset ja asemapiirustus vaiheen I-II toteutuksesta, Rakennussuunnittelutoimisto Hannu Elfving Oy, 2.6.1987
- LVI -piirustukset:
  - LV-asemapiirustus, LVI-toimisto Hämeenlinnan Calor Oy, 14.8.1987
  - Salaojakaavio II-vaiheen rakennuksista, Insinööritoimisto Jouko Rouhento Oy, 26.9.1988
- RAK-piirustukset:
  - Huoneistojen välisein seinän ala- ja yläpohjaleikkaukset, ulkoseinäleikkaukset (2kpl) asuinrakennuksista ja yhteistilasta, yhteistilan väliseinän leikkaus ja yhteistilan perustuksen pohjakuva, Insinööritoimisto Jouko Rouhento Oy, 14.8.1987
- Raportit ja arviot:
  - Tarkastusraportti, Japira Rakennuspalvelu Oy, 27.9.2019
  - Kuntokartoitusraportti, Peruskorjauskeskus Oy Häme / K-H-Sähkösuunnittelu Oy, 16.8.2000
  - LVIRS-tekniinen kuntoarvio, Tekmanni Service Oy, 30.11.2006
  - Peruskuntoarvio, Jouni Leivo, 4.7.2000
  - PTS-arviot: Jouni Leivo, 17.1.2006 ja 17.1.2019

Kiinteistön vanhoissa raporteissa ja arvioissa oli nähtävissä paljon samankaltaisuuksia ja suurin osa niissä mainituista puutteista oli jätetty korjaamatta. Esimerkiksi vesikaton puutteista ja yhteistilan seinän kosteusvaurioista oli raportoitu useita vuosia aikaisemmin. Tilaajalta tai tilojen käyttäjiltä ei saatu tutkimuksen aikana tietoa tilojen käyttäjien mahdollisesti kokemista sisäilmaongelmista korkeita huoneistojen lämpötiloja lukuun ottamatta.

Kuva 16. Tutkittavat rakennukset ja kiinteistön rajat



Lisätietoja: Tutkimusalue punaisella korostettuna kuvassa 16 ja rakennusryhmät eritelty kirjaimittain. Kuva muokattu kohteen vuoden 1988 ARK-asemapiirustuksesta otetusta kuvankaappauksesta.

## 7.2 Tutkimusmenetelmät

Pintakosteuskartoitusta tehtiin talojen alapohjissa kaikissa rakennusryhmissä yhteensä kuudessatoista soluasunnossa ja yhteistilassa. Pintakosteuskartoituksella tutkittiin kosteuden siirtymistä perustuksista lattiarakenteisiin ja selvitettiin mahdollisesti näkyvien alapohjan kosteusvaurioiden laajuutta. Pintakosteuskartoitus keskittyi pääasiassa alapohjiin lähelle rakennusten ulkoseiniä. Pintakosteuskartoitus tehtiin Gann Hydromette Compact B - pintakosteusmittarilla.

Porareikämittaukset tehtiin pintakosteuskartoituksessa tehtyjen havaintojen perusteella. Pintakosteuskartoituksessa ei löytynyt kohonneita kosteuslukemia alapohjien ja ulkoseinien liittymien läheisyydestä, mutta asunnon C27 keittiön lattiasta löytyi kohonneita pintakosteuslukemia. Tälle alueelle tehtiin kaksi porareikää mittauksia varten.

Rakenneavauksia tehtiin rakennusten valesokkelirakenteen läpi ulkokautta poraamalla yhteensä viisi. Niitä tehtiin myös kahden asunnon sisäkaton levyrakenteeseen monitoimityökalulla yhteensä kaksi. Näiden lisäksi tehtiin yksi rakenneavaus yhden huoneiston alapohjaan kylpyhuoneen lattiaan, josta tutkittiin maanvaraisen pohjalaatan täyttömaan koostumusta ja rakennetta sekä pintalaatan paksuutta ja eristeitä. Jokaisen rakenneavauksen kohdalta tutkittiin aistinvaraisesti rakenteiden toteutustapaa, mittoja, materiaaleja ja kuntoa. Tämän lisäksi kaikista rakenneavauksista otettiin näytteitä, joista yhteensä viisi valikoitiin lähetettäväksi laboratorioon mikrobianalyysiin tutkittavaksi suoraviljelymenetelmällä. Analysoitavaksi lähetetyt näytteet valikoitiin niin, että ne edustaisivat kattavasti koko tutkittavaa rakennuskantaa ja näytteitä tutkittaisiin rakenteiden eri osista mahdollisimman kattavasti.

Maaperän kallistuksia ja korkeutta suhteessa valesokkelirakenteeseen arvioitiin silmämääräisesti ja olemassa olevat istutukset rakennusten seinustoilla dokumentoitiin asemapiirustukseen. Vesikattojen ja yläpohjarakenteiden kuntoa tarkasteltiin silmämääräisesti ja neljän eri rakennuksen yläpohjaan tehtiin tarkastuskäynti huoltoluukun kautta. Yläpohjissa tutkittiin aistinvaraisesti rakenteiden toteutustapaa, mittoja, materiaaleja ja kuntoa.

Julkisivujen kuntoa arvioitiin aistinvaraisesti. Vähäistä suuremmat vauriot tai puutteet sekä niiden paikka kirjattiin ylös ja raportoitin tilaajalle. Esimerkiksi törmäysjälki A-talon tiiliseinässä, haljenneet sokkelit ja tiilivuorauksen liikuntasaumot dokumentoitiin rakennusryhmien ARK-pohjapiirroksiin ja nämä tiedot toimitettiin tilaajalle tutkimusraportin mukana.

## **8 Kohteen rakenneteknisten tutkimusten tulokset**

### **8.1 Piha-alueet, salaoja- ja sadevesijärjestelmät**

Alustavien tietojen mukaan suurimmat puutteet liittyivät pintamaan kallistuksiin, sadevesien pois johtamiseen ja salaojien toimintaan. Salaojia oli korjattu osissa joskus aiemmin ja korjatuista osuuksista oli käsin tehtyjä merkintöjä kohteesta löytyneissä salaojapiirustuksissa, joihin oli yliviivaustussilla merkitty korjatut osuudet.

#### **8.1.1 Havainnot ja johtopäätökset**

Talojen sokkelit ovat ns. valesokkelirakenteita ja paikoin maanpinta oli vain 50 mm tiiliverhouksen alapinnan alapuolella ja yhdessä kohdassa sen tasalla. Rakenneavausten ja rakennepiirustusten mukaan alaohjauspuun alapinta on noin 200 mm tiiliverhouksen alapinnan alapuolella. Tontti kallistaa pääsääntöisesti loivasti kohti Visamäentien vieressä sijaitsevaa paikoitusaluetta. Pintavesien poistossa on ongelmia ja kallistukset ovat puutteellisia tai olemattomia lähes jokaisen rakennuksen ympäristössä. Vedet eivät imeydy maastoon ja piha-alueella havaittiin lammikoitumista lähellä rakennuksia. Erityisen ongelmallisia paikkoja olivat sisäpihojen alueet, joista vesi ei kunnolla pääse poistumaan.

Salaojakaivoista tehtiin paikoittain havaintoja rakennusten nurkilla, mutta suurta osaa kaivoista ei ollut näkyvissä tai niitä ei saatu auki. Löydettyistä kaivoista avattiin kaksi betonista salaojakaivoa, joissa molemmissa oli huomattava määrä styroksia pohjalla. Vedenpinta kaivoissa oli alle siihen liitettyjen salaojaputkien alatasen. Avatut kaivot olivat rakennusryhmän C rivitalon nurkalla tontin takaosassa. Kiinteistön lämmönjakohuoneesta löytyneen piirustuksen mukaan salaojia on korjattu rakentamisen jälkeen kyseisestä paikasta ja sen ympäristöstä. Avattujen salaojakaivojen kannet olivat osin jo peittyneet maan alle,

joten on todennäköistä, että löytymättä jääneet salaojakaivot ovat maanpinnan alapuolella. Löydetyt salaojakaivot olivat huomattavan kaukana perustuksista. Kuvasta 17 nähdään, että sadevesien puutteellinen ohjaus on aiheuttanut perustuksille kosteusrasitusta. Betoninen salaojakaivo etualalla kuvassa vasemmalla.

Kuva 17. Kuva perusmuurista ja maanpinnan kallistuksista



Sadevedet imeytettiin tontilla maastoon. Niitä oli ohjattu rakennusten kulmilta betonisilla kouruilla, joista suuri osa oli tukkeutunut roskista, lehdistä ja sammaleesta. Osa betonisista kouruista ohjasi puutteellisista maanpinnan kallistuksista tai asennustavasta johtuen sadeveden suoraan sokkeliin. Syöksytorvien kohdalla rakennusten sokkeleissa oli havaittavissa tummentumaa, sammaloitumista ja halkeilua. Rakennusryhmien keskellä sisäpihoilla kallistukset eivät riittäneet sadevesien poisjohtamiseksi, eikä sadevesijärjestelmää ole asennettu sisäpihoillekaan. Syöksytorvien liitosten tiiveydessä oli puutteita ja sadevettä oli paikoin valunut avonaisista liitoksista rakennuksen seinään tai seinustalle. Vuotavien liitosten kohdilla oli sammaloitumista sekä tiiliverhouksen tummentumista ja halkeilua.

Kuvasta 18 näkyy, että maanpinta oli lähellä tiilivuorauksen alapintaa erityisesti A-talon nurkalla, jossa oli myös näkyvissä törmäysjälkiä tiilivuorauksessa. Vastaavia pienempiä vaurioita oli myös muissa tutkituissa rakennuksissa.

Kuva 18. Kuva A-talon julkisivun vaurioista



Istutuksia oli liian lähellä rakennusten seinustaa jokaisessa rakennusryhmässä, kuten A-talon seinustalta otetusta kuvasta 20 voidaan nähdä. Osa puista kasvoi myös erittäin lähellä rakennusta ja yksi suurempi kuusi oli jo kasvanut kiinni C-rakennukseen. Istutuksiin käytettyä multaa oli myös rakennuksen seinustalla katkaisten sorastuksen ainakin maan pinnassa. Sorastuksen ja virealueiden välissä ei ollut suodatinkangasta tai erotuskaistaa.

Kuva 19. Kuva A-talon julkisivusta



### 8.1.2 Toimenpide-ehdotukset

Kohteessa tehtyjen havaintojen perusteella suositeltiin, että perustusten viereen uusitaan salaojitus, routaeristys ja sokkelin vesieristys. Vedeneristyksenä suositeltiin käytettävän patolevyä. Samassa yhteydessä suositeltiin muotoilemaan pintamaan kaadot siten, että ne kallistavat vähintään 1:20 suhteessa kolmen metrin etäisyydellä rakennuksesta pois päin. Ylärinteessä sade- ja sulamisvedet suositeltiin ohjattavan pois riittävällä vastakallistuksella rakennusten sivuitse. Myös sadevesijärjestelmän rakentamista suositeltiin, jotta katoilta tuleva vesi saadaan ohjattua pois perustuksilta ja näin vähennettyä perustuksille aiheutuvaa kosteusrasitusta. Kaikki istutukset suositeltiin poistettavaksi rakennusten läheisyydestä ja siirrettävän ainakin metrin etäisyydelle rakennuksista. (RT 81-11000) Julkisivun kasvillisuuden määrä pitäisi aina pitää vähäisenä, koska kasvit voivat heikentää seinärakenteen kuivumista, tukkia tuuletusaukkoja ja vaurioittaa salaojajärjestelmää. (Pitkäranta, 2016, s. 163) Puiden ja pensaiden etäisyys tulisi olla vähintään 3 m ja pienten kukkaistutusten vähintään 1 m etäisyydellä sokkelista. (RIL 250-2020, s. 33)

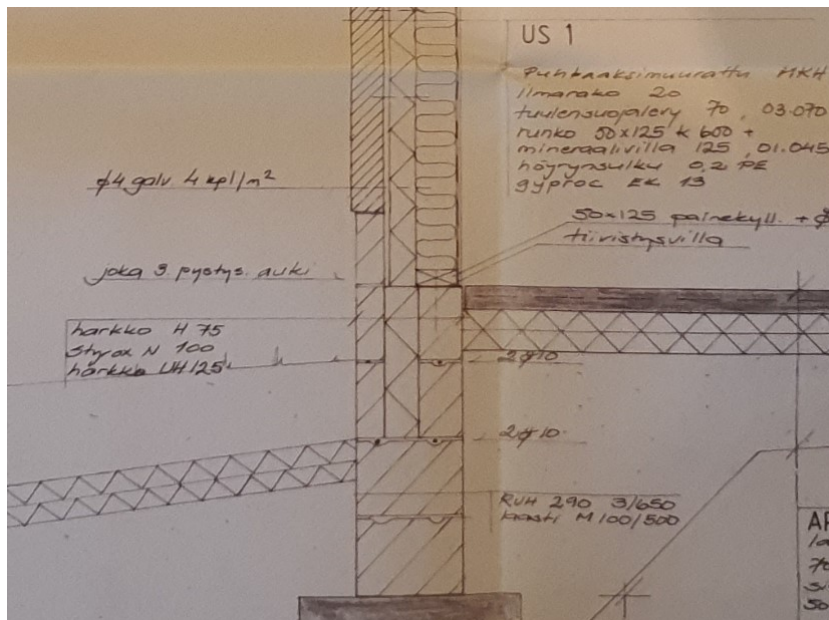
Välittöminä korjaavina toimenpiteinä suositeltiin betonisten sadevesikourujen puhdistusta ja uudelleen asennusta. Myös irronneet sadevesikourut suositeltiin korjattavaksi heti ja

vuotavat liitokset paikattavaksi välittömästi. Näin haluttiin välittömästi vähentää perustusten kosteusrasitusta kaikkien rakennusten osalta.

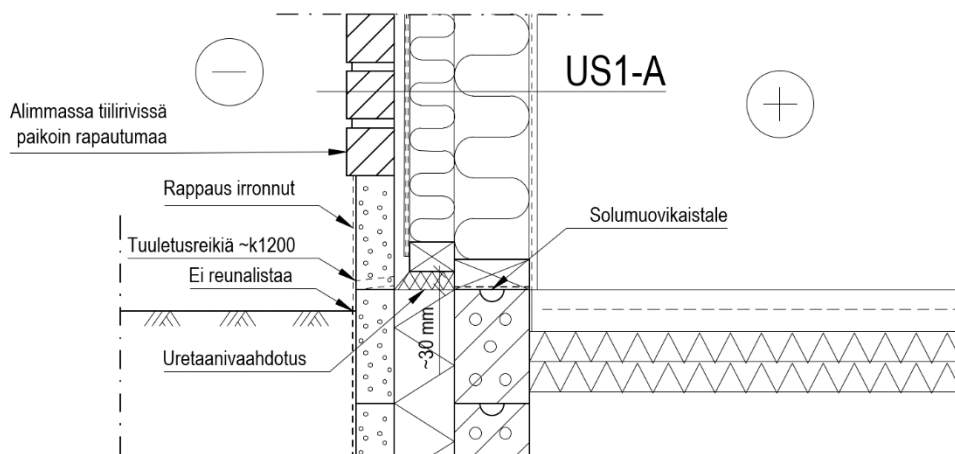
## 8.2 Perustukset ja sokkelit

Käytettävissä olleiden suunnitelmien mukaan rakennukset on perustettu teräsbetonianturoiden päälle ja sokkelirakenne on ns. valesokkeli -tyyppinen. Valesokkeli on toteutettu muuraamalla 200 mm korkea H75 kevytbetoniharkko alaohjauspuun alapinnan korkeuteen. Perustukset on tehty H75 ja UH125 sekä RUH 290 -harkoista, jotka on muurattu anturan päälle. Piirustusten mukaan kahden ylimmän harkkorivin välissä on 100 mm styrox-eristys. Puurungon alaohjauspuu on alkuperäisten suunnitelmien mukaan painekyllästetty ja sen alle on asennettu tiivistysnauha. Tiilivuorauksessa on jätetty suunnitelmien mukaan joka kolmas pystysauma auki ja anturan alapinta on noin 800 - 1000 mm maanpinnan tämänhetkistä pintaa alempana. Alkuperäisten rakennepiirustusten mukainen kuvassa 21 esitetty sokkeli- ja ulkoseinärakenne ei vastannut rakenneavauksessa todettua rakennetta täysin.

Kuva 20. Kuvankaappaus alkuperäisten suunnitelmien rakennetyypistä US-1



Kuva 21. Rakenneavauksessa todettu valesokkelin rakennetyyppi



Kuvassa 21 on esitetty valesokkelirakenne, joka on kuvattu tarkemmin liitteessä 2.

Rakenneavauksen kohdalta otettiin mittoja, joiden perusteella valesokkelirakenne piirrettiin.

### 8.2.1 Havainnot

Sokkeli ei ollut kauttaaltaan vedeneristetty ulkopuolelta ja patolevy oli vain osin näkyvissä rakennusten ympärillä. Rakenneavausten kohdalta ei myöskään havaittu sokkelin sisäpuolista vedeneristystä, kuten kumibitumisivelyä. Perusmuuria vasten oli asennettu kahta eri patolevytyyppiä: aaltokuvioitu alkuperäinen patolevy ja nyppyläkuviainen uusittu patolevy, jonka yläpinnassa oli suojalista. Uutta patolevyä oli asennettu vain pienelle osuudelle perusmuuria.

Rakenneavauksista tehtyjen mittausten perusteella rungon alaohjauspuu oli 200 mm alimman tiilirivin alapinnan alapuolella ja lattiapinta oli samalla tasolla. Maanpinnan korkoasema suhteessa lattiapintaan oli paikoin erittäin matala tai lattiapinta oli jopa maanpinnan alapuolella. Pahimmillaan lattiapinta oli 150 – 200 mm alempana kuin maanpinta. Tämä lisää ulkoseinien alaosien ja alapohjarakenteen kosteusrasitusta, mikä oli nähtävissä tummentumana ja sokkeli rappauksen halkeiluna tutkituissa rakennuksissa (RIL 250-2020, s. 265)

Kaikkien tutkittujen rakennusten sokkeleissa oli havaittavissa halkeilua. Pystysuuntaisia halkeamia oli rakennusten pitkällä sivuilla ja sokkelin nurkkien halkeamia erityisesti kuljetuilla alueilla ja niillä alueilla, missä pinta- ja sadevesien ohjaus oli puutteellisinta. Sokkeleiden ja tiilivuorauksen rapautumaa oli havaittavissa erityisesti D-rakennusryhmän talon päädyssä asunnon 44 ulkoseinällä, mihin tehtiin yksi rakenneavauksista.

Rakennusten ulkopuolella oli havaittavissa merkkejä pystysuuntaisesta salaojituserroksesta, kuten sepelikerroksesta, mutta istutetut alueet katkaisivat sorastuksen monessa kohdassa. Sokkelien ja alaseinärakenteen toteutustapa oli kaikkien rakenneavausten kohdalla yhteneväinen. Sokkelin ulkopuolisesta lämmöneristyksestä ei tehty havaintoja.

Kaikissa ulkoseinissä otetuissa näytteissä oli silmämääräisesti tarkasteltuna viitteitä kosteusvaurioista, eli tummunutta villaa, valumajälkiä puurakenteissa tai homepilkkuja puun pinnassa. Alaohjauspuut olivat silmämääräisen tarkastelun perusteella kunnossa rakenneavausten kohdilta.

Kohdekäynnillä otettiin paljon valokuvia ja tehtiin muistiinpanoja, joiden perusteella rakenneavausten paikat määritettiin. Kuvassa 22 näkyy asunnon D44 ulkoseinään tehdyn rakenneavauksen paikka, jossa on sokkelin pinnassa merkkejä kosteudesta ja rapautumasta. Alaohjauspuun alapinnan korkeudella on nähtävissä tuuletusreikä, joka on lähes maanpinnan tasalla.

Kuva 22. Asunnon D44 ulkoseinän rakenneavauksen paikka



Kuvassa 23 on rakenneavauksen kohdalta näkyvissä tuulensuojalevy, jossa ei ollut nähtävissä merkkejä vaurioista.

Kuva 23. A-talon rakenneavauksen paikka ja lähikuva avauksesta



Samasta rakenneavauksesta otetussa kuvassa Kuvassa 24 näkyy tuulensuojalevyn takana oleva villakerros, joka on tummunutta ja alaohjauspuun alapinnassa ja elementin ohjauspuussa on merkkejä kosteudesta.

Kuva 24. Asunnon A1 ulkoseinän rakenneavaus ja näytekohta



Kuvassa 25 on yhteistilan ulkoseinän rakenneavauksen kohdalla tuulensuojalevyn ulkopinnassa merkkejä kosteudesta ja sen takana rakenneavauksessa näkyy merkkejä kosteusvauriosta.

Kuva 25. Asunnon A1 rakenneavauksen lähikuvat



Kuvassa 26 pellitys kallistaa rakennukseen päin ja tuulensuojalevyn pinnassa on kosteusvaurioita.

Kuva 26. Yhteistilan ulkoseinän rakenneavaus



Kuvassa 27 vasemmalla kuvassa sokkelin vierustaa on kivetetty, mutta sisäpihan puutteellinen vedenohjaus kastelee sokkeliä edelleen. Oikealla maanpinta on korkealla ja sadevedet ohjautuvat perusmuuria pitkin.

Kuva 27. Hulevesien puutteellinen ohjaus rakennusten ympärillä



### 8.2.2 Mikrobianalyysit ja johtopäätökset

Sokkeleihin tehdyistä rakenneavauksista otettiin materiaalinäytteitä, joista viisi lähetettiin mikrobianalyysiin. Kaikissa alaohjauspuusta, elementin ohjauspuusta ja ulkoseinän mineraalivillaeristeistä otetuissa näytteissä todettiin vahva viite kosteus- ja mikrobivauriosta. Kaikissa näissä näytteissä oli kosteusvaurioon viittaavia mikrobeja, eli kosteusvaurioindikaattorimikrobeja, joiden esiintyminen viittaa seinärakenteen mikrobikasvuun. Näitä mikrobeja ei yleensä esiinny merkittävinä pitoisuuksina sisä- tai ulkoilmassa ja niiden esiintyminen viittaa kosteusvaurioihin (Pitkäranta, 2016, s. 128) A-talon runkotolpasta otetussa näytteessä oli vähäinen määrä kosteusvaurioon viittaavaa mikrobikasvustoa. Kun näytteestä löytyy vähäisempikin pitoisuus kosteusvaurioindikaattorilajeja, eli näytevastauksessa on +/- -pitoisuuksia, kuten Taulukon 1 näytteessä 001, se voi vähäisestä määrästä riippumatta viitata mikrobikasvuun materiaalilla (Pitkäranta, 2016, s. 51).

Taulukko 1. Sokkelin näytteiden mikrobianalyysin tulokset

Näytenumero	Tila	Rakenne	Materiaali	Tulkinta
001	A-talon ulkoseinä	Runkotolppa	Puutavara	Heikko viite vauriosta
002	D-talon ulkoseinä	Elementtiorjuri	Puutavara	Vahva viite vauriosta
003	C-talon ulkoseinä	Alaohjauspuu	Puu (paineekyllästetty)	Vahva viite vauriosta
004	C-talon ulkoseinä	Ulkoseinän eriste	Mineraalivilla	Vahva viite vauriosta
005	Yhteistilan ulkoseinä	Elementtiorjuri	Puutavara	Vahva viite vauriosta

Kaikki sokkelin rakenneavausten näytteet otettiin höyrynsulun ulkopuolelta, joten höyrynsulun tiiveydestä ja rakennuksen painesuhteista riippuu, kuinka rakenteissa olevat epäpuhtaudet kulkeutuvat sisäilmaan. Rakennuksissa on painovoimainen ilmanvaihto, mikä yleensä tarkoittaa sitä, että lattianrajassa on alipainetta ja katon rajassa on ylipainetta vaipan yli ulkoilmaan nähden. Jos höyrynsulussa on epäjatkuvuuskohtia, reikiä tai muita puutteita, asukkaat saattavat altistua sokkelirakenteesta sisäilmaan pääseville epäpuhtauksille. Epäpuhtauksien kulkeutumiseen vaikuttaa myös liesikupuihin kytkettyjen huippuimurien toiminta, koska niiden ollessa päällä asuntojen painesuhteet vaipan yli muuttuvat alipaineisen suuntaan. (Valvira, 2020, s. 38)

Rakennusten vierustoilla on paikoin nähtävissä salaojasoraa, mutta yhdessä puutteellisten maanpinnan kallistusten ja rakennuksesta kaukana sijaitsevien salaojien kanssa se siirtää kosteutta perustuksiin, koska tiivistävä pintamaan kerros puuttuu. Perustuksista kosteus nousee kapillaarisesti sokkeliä ylöspäin, mikä on nähtävissä sokkelin ulkopinnan alaosien tummumisena. Sokkelin rakenteisiin kertynyt vesi rikkoo pakkasella jäätyessään sokkelin rappaista sekä tiilivuorauksen ulkopintaa. Rakennuksien sokkelin pinnoissa oli havaittavissa merkkejä vanhoista korjauksista rappauksen pinnassa, joten rapautumista on todennäköisesti tapahtunut jo pidemmän aikaa.

Kulkuväylillä on talvella niiden talvikunnossapidon vuoksi vain ohut lumikerros, mikä lisää roudan tunkeutumissyvyyttä vähälumisilla alueilla rakennusten seinustoilla. Puutteellinen pinta- ja sadevesien ohjaus aiheuttaa yhdessä routiintumisen kanssa routimista maan huokosissa olevan veden jäätyessä ja maan tilavuuden kasvaessa. (Siikanen, 2014, s. 28)

Routimisesta oli merkkejä rakennusten sokkeleissa, missä se näkyi erityisesti sokkelin kulmien halkeamina vähälumisilla alueilla.

Routaeristyksestä ei ollut saatavilla tarkkaa tietoa alkuperäisistä rakennuspiirustuksista tai salaojakorjausten yhteydessä tehdyistä merkinnöistä. Rakennepiirustusten mukaan routaeristeenä rakennuksissa on yksi 50 mm styroxlevy 1,2 m etäisyydellä ja yksi 50 mm styroxlevy 1,5 m etäisyydellä perustuksista. Talojen nurkkien lisäeristämisestä tai kuljettujen alueiden routaeristämisestä ei ollut mainittu suunnitelmissa.

### 8.2.3 Toimenpide-ehdotukset

Kosteusvarioituneet ja haitallisia mikrobeja sisältävät eristeet ja runkorakenteet suositeltiin purettavaksi RT-ohjekortin Ratu 82-0383 mukaisesti. Ulkoseinän ilmantiiveyttä suositeltiin parannettavaksi, jotta epäpuhtauksien kulkeutuminen sisäilmaan saadaan estettyä. Rakennusten painesuhteita pitäisi tutkia sekä mahdollisesti säätää niin, että ne eivät ole voimakkaasti alipaineisia.

Sokkelirakenteen ja kantavan puurungon alaosan korjaukseen on periaatteessa kaksi vaihtoehtoa: Sokkelin kengittäminen eri menetelmillä tai seinärakenteen tiivistäminen. Pelkällä tiivistämisellä ei saavuteta kovin pitkää elinkaarta, eikä sen onnistumisesta ole koskaan täyttä varmuutta. Tiivistämisen tulisi olla vain turvaava toimenpide ja siihen pitäisi aina liittää korjauksen varmentaminen merkkiainekokeella (RIL 250-2020, s. 221). Vaurioitunutta materiaalia ei saisi jättää rakenteeseen. Valesokkelikorjauksen yhteydessä julkisivun tuuletusvälit täytyy korjata riittäviksi, jotta rakenteen kosteustekninen toimivuus voidaan varmistaa.

Kengitys voidaan tehdä sisäkautta esimerkiksi kevytbetoniharkoilla muuraamalla, betonilla valamalla, teräsrakenteisella valesokkelikengällä, terästassulla tai eristetyllä valesokkelipalkilla sekä näiden yhdistelmillä. Seinärakenne voidaan myös korjata ulkokautta purkamalla tiilivuoraus ja korvaamalla se lisälämmöneristuksen yhteydessä esimerkiksi puuverhouksella. Kengitys voidaan tehdä vain osaan sokkelirakennetta vaurioiden laajuudesta riippuen.

Kengittämisessä ja eristepalkilla korjaamisessa puurungon painekyllästetty alajuoksun sidepuu poistetaan ja 50 x 125 mm pystypuut katkaistaan ikkunoiden alapinnan korkeudelta tai matalammalta riippuen käytettävästä järjestelmästä ja vaurioiden laajuudesta korjatussa seinärakenteessa. Teräksisien valesokkelikenkien ja eristettyjen sokkelipalkkien huonona puolena on materiaalien kalleus, mutta valmistajat kuten Lamox Oy mainostavat yleisesti, että työaika lyhenee verrattuna perinteiseen muuraamalla toteutettuun ratkaisuun (Lamox Oy, 2015) Kohteisiin käytettävät työajat ovat pitkälti liikesalaisuuksia, eikä niitä ole juurikaan saatavissa julkisista lähteistä.

Kaikkien rakennusten routaeristeet tulisi uusida, koska jokaisessa rakennusryhmässä on nähtävissä routavaurioita sokkelirakenteissa ja sisäänkäyntien laattojen ympäristössä. Routaeristykseen paksuus suositeltiin tehtävän RIL:n routamitoituksen mukaan (RIL 261-2013). Perustussyvyys mitataan kaivuun yhteydessä ja routasuojaus tehdään salaojien uusimisen yhteydessä. Vaihtoehtoisesti routaeristeet voisi uusida vain kaikkien rakennusryhmien sisäpihojen ja kulkuväylien alueilta, missä routimista tapahtuu eniten. Tätä ei kuitenkaan suositeltu, koska routimisesta oli merkkejä myös näiden alueiden ulkopuolella, eikä routaeristeiden paikallinen uusiminen ole kovin kustannustehokasta.

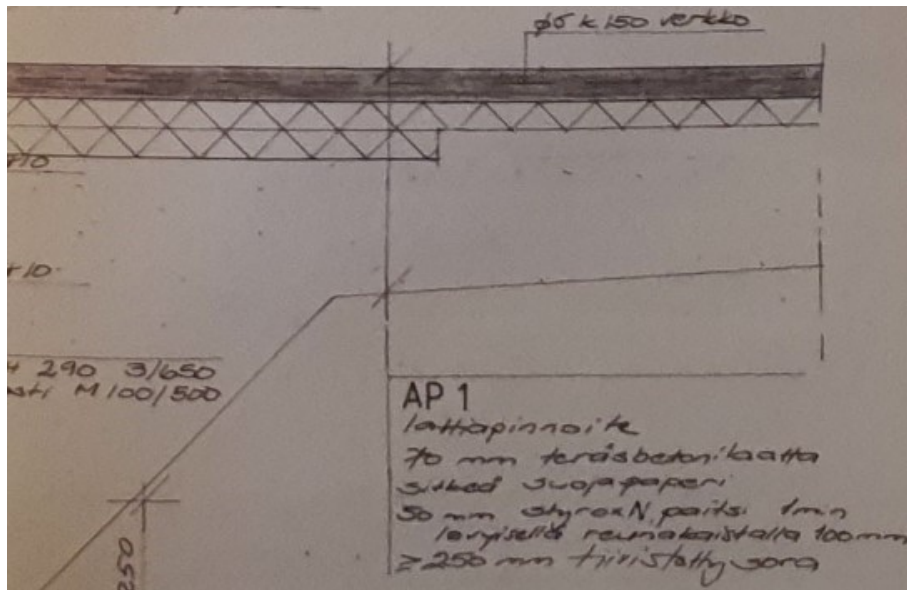
Sokkelin ympärille suositeltiin asentamaan uusi perusmuurilevy ja sen yläpintaan maanpinnan tasaan uusi reunalista. Vaihtoehtoisesti perusmuurilevy voitaisiin asentaa vain niille osuuksille, missä sitä ei ole aikaisemmin uusittu. Koska uusittujen osuuksien määrä on pieni ja niitä on rakennuksen vierustoilla erillisissä paikoissa, tämä ei ole kovin kustannustehokas tai toimiva vaihtoehto.

### **8.3 Alapohjarakenteet**

Joissain asunnoissa oli havaittu vinoja lattiakaivoja, jotka olivat joko painuneet lattiapinnan alapuolelle tai asennettu alun perin sen alapuolelle. Alapohjan täytön laadun ja tiiveyden selvittämiseksi tehtiin yksi rakenneavaus alapohjarakenteeseen yhden käytöstä poistetun asunnon kylpyhuoneeseen poraamalla timanttiporalla reikä alapohjalaattaan. Tämän lisäksi haluttiin pintakosteuskartoituksella selvittää kosteuden siirtymistä perustuksista alapohjaan.

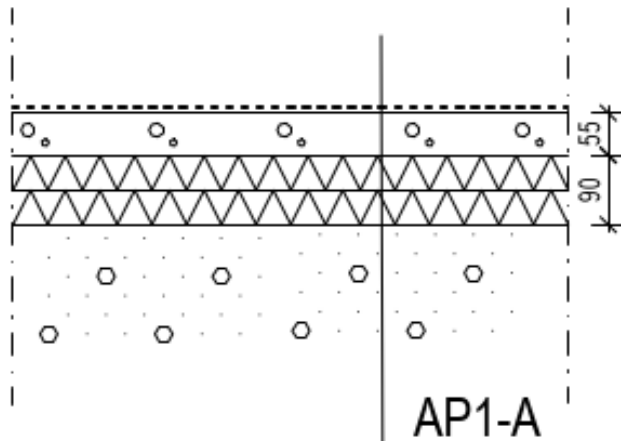
Kaikissa tarkastelluissa rakennuksissa oli maanvarainen alapohjarakenne. Alkuperäisten suunnitelmien mukaan kaikkien tarkasteltujen rakennusten alapohjien pintalaatta on 70 mm paksu teräsbetoni-laatta, jossa on keskeinen 5 mm vahvuinen #150 mm teräsverkko. Pintalaatan alla on suunnitelmien mukaan sitkeä suojapaperi, 50 mm styrox-levy ja noin 250 mm tiivistyssoraa. Rakennuksen ulkoseinien vieressä pintalaatan alla on lisäksi yksi 50 mm styrox levykerros lisää.

Kuva 28. Kuvankaappaus alkuperäisien suunnitelmien AP1-rakennetyypistä



Asunnon A8 kylpyhuoneen lattiaan alle 1 m etäisyydelle ulkoseinästä tehdyn rakenneavauksen perusteella pintalaatan paksuus on 50 mm ja 55 mm välissä. Suojapaperia tai muovikelmua ei ole käytetty laatan alla. Pintalaatan alla on kaksi styrox-levyä, joiden yhteispaksuus oli 90 mm, eli levyt ovat painuneet noin 10 %. Styroxin alla oli tiivistyssoraa, joka oli tiiviisti kiinni styroxin alapinnassa. Soratäytön painumisesta tai huonosta täyttöaineksestä ei tehty havaintoja. Kylpyhuoneen lattiapinnoitteena oli muovimatto, jonka liima oli väriltään vaaleaa. Lattian vesieristyksestä ei tehty havaintoja. Kuvassa 29 näkyy alapohjan rakenneavauksesta tehtyjen havaintojen perusteella piirretty rakennetyyppi, joka on esitetty tarkemmin liitteessä 2.

Kuva 29. Rakenneavauksen perusteella piirretty rakennetyyppi AP1-A



### 8.3.1 Havainnot

Kaikissa kuntotutkimusten aikana tarkastelluissa asunnoissa oli kylpyhuoneen lattiassa muovimatto. Poikkeuksena tästä oli yhteistilan kylpyhuone, jossa oli laatoitus. Kaikissa rakennusryhmissä tehtiin pintakosteuskartoitusta alapohjarakenteisiin noin 50 – 300 mm etäisyydelle ulkoseinistä. Käytössä olleiden kylpyhuoneiden alapohjien pintakosteuskartoitusta ei tehty. Kohonneita kosteuspitoisuuksia ei mitattu ulkoseinien läheisyydessä yhdessäkään kuudestatoista asunnosta tai yhteistiloista. Yhteistilan keskellä olevan kantavan seinän läheisyydestä mitattiin kohonneita pintakosteuslukemia, joista oli mainittu myös tilaajalta saaduissa lähtötiedoissa.

Asunnon A8 lattiakaivo oli vinossa ja näytti painuneelta suhteessa lattian pintaan.

Alapohjaan tehtiin 100 mm timanttiporanterällä rakenneavaus, mutta painumasta ei tehty havaintoja lattialaatan alapuolisessa täytössä. Rakennekerrokset mitattiin ja dokumentoitiin.

Kuva 30. Asunnon A8 alapohjan rakenneavaus



### 8.3.2 Kosteusmittaukset alapohjasta

Kaikissa tarkastelluissa asunnoissa ja huoneissa oli lattian pintamateriaalina muovimatto. Kaikissa rakennusryhmissä tehtiin alapohjarakenteiden pintakosteuskartoitus. Jokaisesta rakennusryhmästä A-D valittiin neljä asuntoa kartoitettavaksi. Pintakosteutta mitattiin Gann Hydromette Compact B -pintakosteusmittarilla, jonka mittaussyvyys on maksimissaan 40 mm. Sen mittausasteikko on 0...100 yksikköä. Kosteusmittaukset kohdistettiin ulkoseinien läheisyyteen 50-300 mm etäisyydelle ulkoseinästä ja niihin paikkoihin, missä näkyi merkkejä kosteudesta alapohjassa. Yhteistilassa pintakosteusmittauksia tehtiin ulkoseinien läheisyydessä ja kantavan väliseinän läheisyydessä.

Porareikämittauksia tehtiin pintakosteuskartoituksen tulosten perusteella vain asunnossa C27, jossa keittiön allaskaapin edustalta mitattiin yli 90 pintakosteuslukemia. Keittiön kaapin sokkelissa oli jälkiä kosteusvauriosta, mutta sen pinta sekä lattia sen edessä oli koskettaessa kuiva. Asunto oli ollut tyhjänä jo pidemmän aikaa, eikä keittiökaapissa tai vesijohdoissa havaittu merkkejä vuodoista.

Allaskaapin edustalle porattiin kaksi porareikää noin 30 mm ja 50 mm syvyyksille ja rei'istä mitattiin suhteellista kosteutta ja lämpötilaa Vaisalan HM40 -mittarilla ja HMP40S-

mittapäillä. Vertailun vuoksi mitattiin Vaisalan HM42PROBE -mittapäällä huonetilan suhteellista kosteutta ja lämpötilaa noin metrin korkeudelta lattiasta.

Kuva 33. Alapohjan porareikämittaukset asunnossa C27



Allaskaapin pohjalevy oli kitattu paikoilleen, kun taas muissa tarkastelluissa asunnoissa se oli asennettu ilman kittautusta tai tiivistystä. Allaskaapin viereisen siivouskaapin takalevy oli irrotettu ja huoneistoon tulevat muoviset vesijohdot olivat näkyvissä kaapin takana. Keittiössä on todennäköisesti tapahtunut vesivahinko, joka on korjattu, mutta kosteutta on päässyt muovimaton alle, eikä se ole päässyt kuivumaan. Suhteellisen kosteuden arvot olivat mittauspisteissä 91,7 %RH ja 91,8 %RH lämpötilassa 22,8 °C. Huonetilan vertailukosteus oli 24,6 %RH ja lämpötila 23,5 °C, eli alapohjan betonilaatta oli täysin märkä.

### 8.3.3 Toimenpide-ehdotukset

Routaeristystä pitäisi parantaa salaojien uusimisen yhteydessä ja hulevesien ohjausta parantaa erityisesti sisäpihojen alueilla, missä roudan vaikutus on ohuesta lumipeitteen vuoksi suurinta. Asunnon C27 keittiön muovimatto pitäisi poistaa ja alapohjalaatan pinnalta jyrsiä pois kaikki liima sekä muu kuivumista hidastava kerros. Vanhan betonin kuivuminen on selvästi hidastunut uuteen verrattuna, mikä tulisi huomioida vanhoja betonirakenteita kuivattaessa (Sisäilmäyhdistys ry, 2021).

## 8.4 Julkisivut: Ulkoseinät, ikkunat ja ovet

Kaikkien tutkittujen rakennusten kantavana runkona on puurunko, joka on tiiliverhoiltu. Eristeenä on käytetty mineraalivilla ja ulkoseinien yläosat on laudoitettu puupaneelilla. Laidoitettujen osien ylimmät tiilirivit on pellitetty. Tiiliverhoilun alimpaan riviin on rakennepiirustusten mukaan jätetty joka kolmas pystysauma auki, mutta tiiliverhoilussa ei todellisuudessa ollut lainkaan tuuletusrakoja. Sen sijaan sokkeliin on porattu noin 1200 mm välein alaohjauspuun korkeudelle noin 15 mm kokoisia reikiä, joista osa oli putkitettu. Tiilivuoraukseen on tehty liikuntasauvoja ikkuna-aukkojen kohdille.

Rakennusten kaikki ikkunat ovat 3-puitteisia puuikkunoita, joiden sisäpuitteet on kytketty yhteen. Ikkunat on tilaajan toimittaman PTS-raportin mukaan huoltomaalattu vuonna 2001. Ulko-ovet ovat pääosin ikkunallisia lämpölaselementillä varustettuja puuovia.

### 8.4.1 Havainnot ja johtopäätökset

Tiilivuoraukseen tehdyt liikuntasaumat olivat haljenneet ja räystäään puurakenteet paikoin lahonneet kaikissa tutkituissa rakennuksissa. Tiilivuorauksessa oli havaittavissa normaalista liikkumisesta aiheutuneita pieniä halkeamia ja törmäysten aiheuttamia suurempia vaurioita. Liikuntasauvoja oli tehty eri värisillä sauma-aineilla, mikä viittaa siihen, että niitä on korjattu rakentamisen jälkeen. Myös sokkelia oli korjattu paikka- ja paikkarappaamalla kaikissa rakennusryhmissä. Tiilivuorauksessa oli myös paikoin pakkasen ja kosteuden aiheuttamaa rapaamaa, eikä tuuletusrakoja ollut lainkaan, vaikka alkuperäisissä rakennepiirustuksissa ne oli esitetty. Ulkoseinän vanha rakennetyyppi on kuvattu liitteessä 1 ja rakenneavauksista todettu rakennetyyppi liitteessä 2.

Ikkunat olivat tyydyttävässä kunnossa ja auringon rasittamilla puolilla taloja maali oli hilseillyt niistä irti. Ikkunoiden pellitykset olivat pääosin kunnossa, mutta yhteistilan pellitykset kaatoivat rakennukseen päin. Tästä oli merkkejä yhteistilan sokkeliin tehdyn rakenneavauksen kohdalla, missä tiilivuoraus oli tummunut ja tuulensuojalevyn ulkopinnassa oli valumajälkiä.

#### **8.4.2 Toimenpide-ehdotukset**

Ulkoseinien osalta suositeltiin kokonaisvaltaista korjaus- ja energiatehokkuussuunnittelua. Suosituksen tarkoituksena oli kuolettaa kosteus- ja mikrobivaurioiden korjausten sekä peruskorjausten kustannuksia parantamalla energiatehokkuutta, jolloin rakennusten käyttökustannukset pienenevät. Ikkunat kaipasivat vähintään maalauskunnostusta.

#### **8.5 Väliseinät**

Saatujen lähtötietojen perusteella huoneistojen väliseinärakenteena on 280 mm leveä ja 200 mm korkea Saka-harkko. Huoneistojen väliset seinät on perustettu teräsbetonianturoiden päälle, eikä alimman harkon ja anturan välissä ole rakennepiirustusten mukaan eristyskaistaa tai bitumikermiä. Huoneistojen välisen seinän yläpohjan palo-osastoivana rakenteena on piirustusten mukaan 50x125 mm k600 puurunko, joka on rakennettu Saka-harkko -seinän päälle. Puurunko on levytetty 13 mm paksulla gyproc-kipsilevyllä molemmin puolin ja eristetty alaosastaan mineraalivillalla rakennepiirustusten mukaan.

Yhteistilarakennuksen kantava seinärakenne on rakennepiirustusten mukaan perustettu kahden UH150 kevytbetoniharkkorivin päälle, eikä välissä ole bitumikermiä tai muuta kosteussulkua. Kevytbetoniharkot on muurattu maanvaraisen teräsbetonianturan päälle ja lattiapinta on 400 mm anturan yläpinnan yläpuolella. Kantava seinä rakentuu NRT 130 - tiilistä ja on 130 mm paksu. Kohteessa tehtyjen havaintojen perusteella yhteistilan seinärakenne vastaa tarkastelluin osin piirustuksissa esitettyä rakennetta.

##### **8.5.1 Havainnot ja johtopäätökset**

Yhteistilarakennus on tontin alimmassa kohdassa ja hulevesien ohjaus on erityisen puutteellista sen ympäristössä. Yhteistilan kantavassa tiiliseinässä oli havaittavissa pinnoitteen irtoamista ja pintakosteusmittauksella siitä mitattiin kohonneita kosteuslukemia. Perustuksista tuleva kosteus siirtyy todennäköisesti kapillaarisesti kantavaan seinään ja sitä ylös yhteistilaa, koska siinä ei ole kosteussulkua alaosassa. Väliseinän rakenne on esitetty liitteessä 1.

Huoneistojen välisten seinien ympäristöstä mitattiin pintakosteuksia pistokokeenomaisesti, mutta kohonneita pintakosteuslukemia ei esiintynyt niiden läheisyydessä tai pinnoilla.

Huoneistojen välisten seinien ympäristössä oli yläpohjassa havaittavissa merkkejä ilmavuodoista eristetilan yläpinnassa, missä palo-osastoiva kipsilevyseinä oli tummunut. Huoneistojen välinen seinä on esitetty liitteessä 1.

### **8.5.2 Toimenpide-ehdotukset**

Yhteistilan kantavan väliseinän alaosaan suositeltiin asennettavaksi kosteussulku, kuten kumibitumikermi tai kosteussulkuna toimiva massaus. Perustusten kosteusrasitusta suositeltiin vähennettäväksi muilla toimenpiteillä, jotka vähentävät myös kantavan väliseinän kosteusrasitusta.

## **8.6 Yläpohjat ja vesikatot**

Saatujen lähtötietojen mukaan vesikattona oli tiilikate, mutta jo kohdekäynnillä huomattiin, että vesikatteena on profiilipeltikate. Suunnitelmien mukaan aluskate on pahvinen Panssari-aluskate ja yläpohjan kantavana rakenteena toimivat kattotuolit k900-jaolla. Yläpohjan reuna-alueille on asennettu 30 mm tuulensuojaeriste ja yläpohjan eristeenä on 250 mm paksu kerros mineraalivillaa höyrynsulun päälle. Yläpohjaa on lisäeristetty rakennepiirustusten mukaan huoneistojen välisten seinien kohdilta.

Vuonna 2000 tehdyn kuntokartoitusraportin perusteella rakennusten vesikatteena toimiva peltikate on uusittu pellinvalmistajan toimesta takuutyönä, joten se ei ole alkuperäinen. Vesikatteen ikää ei saatu selville. Kattoristikoiden päälle oli asennettu poikittain 30x100 mm koolaus, jonka päälle peltikate oli suoraan asennettu. Koolauksen ja ristikoiden välissä oli pahvinen aluskate. Vesikatteelle asennetut tarkastusluukut vaikuttivat jälkiasenteisilta, koska niiden läpivientien ympäristössä on jälkiä vanhoista kiinnikkeistä ja niiden kaulukset on asennettu peltikaton päälle ilman peltisuojusta harjan välissä.

Yläpohjan eristeenä oli kohdekäynnillä tehtyjen havaintojen perusteella mineraalipuhallusvillaa. Puhallusvillaa oli vaihtelevasti eri kohdissa yläpohjaa ja paikoin

höyrynsulkumuovi oli näkyvässä. Tuulensuojalevyjä oli asennettu seinälinjoille yläpohjassa ja tuulenohjauslevyjä ei ollut.

### **8.6.1 Havainnot ja johtopäätökset**

Vesikattoja ja yläpohjia tarkastettiin aistinvaraisesti neljästä rakennuksesta ja jokaisessa vesikatteessa oli puutteita läpivientien tiivistyksissä. Jokaisessa yläpohjassa oli havaittavissa höyrynsulun ilmavuotojen tekemiä kosteusjälkiä eristeissä ja yläpohjan puurakenteissa. Ilmavuotoja oli erityisesti huoneistojen välisten seinien ja yläpohjan liittymissä.

Kohteessa tehtyjen havaintojen perusteella kaikkien tarkistettujen vesikattojen läpivientien tiivistyksissä oli paljon puutteita, ja ne vuotivat vettä eristeiden päälle. Läpivientien ja tarkastusluukkujen tiiveyden puutteista oli raportoitu jo vuoden 2006 LVIRS-kuntoarvion yhteydessä, missä niiden todettiin vuotavan vettä kattorakenteisiin. Aluskatteena oli pahvinen vanha aluskate, joka oli vesikaton vuotojen vuoksi paikoin kosteuden ja mikrobikasvuston värjäämä. Aluskatteessa oli aukkoja ja peltikatteen koolauksen kiinnityksen naulat olivat paikoin lävistäneet sen.

Erityisesti ilmavuotoja oli huoneistojen välisen seinän, yläpohjan ja palo-osastoivien yläpohjan rakenteiden liittymissä. Niiden rakennetyyppi on kuvattu liitteessä 1. Ilmavuotoja oli nähtävissä myös yhteistilan yläpohjassa tasoeron kohdalla. Yhteistilan korotetun osan yläpohjatyypin on kuvattu liitteessä 1.

Rakennusten yläpohjissa havaittiin ilmavuotoja huoneistojen välisten seinien kohdalta. Ilmavuodot olivat värjänneet yläpohjan eristeitä ja palo-osastoivaa kipsilevyseinää. Myös vuoden 2006 LVIRS-kuntotutkimuksen yhteydessä on raportoitu alapohja- ja seinärakenteiden sekä tiilirakenteisten väliseinien ja yläpohjarakenteiden liittymäkohdissa olevasta rakoilusta.

Yläpohjissa oli merkkejä vuotojen aiheuttamien kosteusvaurioiden paikallisista korjauksista. Vesikaton vuotojen aiheuttamia vesivahinkoja oli korjattu villaa poistamalla ja siirtämällä. Puhallusvillaa oli pöyhitty ja siirretty yläpohjissa ja höyrynsulkumuovi oli paikoin näkyvässä. Näkyvän yläkaton höyrynsulun päällä oli veden jättämiä jälkiä.

Kuva 31. Kosteusvauriot rakennusten yläpohjassa



Harjan tiivistyksiä oli irronnut kaikista tarkastelluista vesikatoista, ja harjalla oli yläpohjassa havaittavissa vuotojälkiä. Myös kaikki vesikatolle tehtyt yläpohjan tarkastusluukut vuotivat. Vesivuodot olivat värjänneet puhallusvillaa ja kattorakenteita. Tarkastusluukkujen ympäristöissä näkyi merkkejä niihin tehdyistä väliaikaisista korjauksista. Kuvassa 32 on esitetty läpivientien puutteista johtuvaa kosteusvauriota kantavissa rakenteissa ja vuotavan tarkastusluukun läpiviennin värjäämää vesikattorakennetta.

Kuva 32. Läpivientien puutteita yläpohjassa



### 8.6.2 Toimenpide-ehdotukset

Yläpohjan kastuneet eristeet suositeltiin poistettavaksi ja vesikaton läpivientien tiivistystä harjalle ulottuvilla pellityksillä suositeltiin ensimmäiseksi toimenpiteeksi, jotta lisävaurioilta vältytään. Höyrynsulun puutteiden korjaaminen yläpohjassa voidaan tehdä lisälämmöneristämisen yhteydessä, kun sisäkattojen vaurioituneet alueet puretaan. Vettä oli vuotanut eristeille useasta paikasta ja vesi on saattanut mennä höyrynsulkumuovia pitkin laajallekin alueelle ennen kuin se on päätynyt sisäkaton levytykseen höyrynsulun teippaamattomasta saumasta. Vesikaton läpivientien tiivistyskorjaukset aloitettiin kohteessa jo tutkimusten ollessa käynnissä.

Rakennusten energiatehokkuutta suositeltiin parannettavaksi yläpohjaa lisälämmöneristämällä. Yläpohjan lämmöneristekerroksen kasvattamisella saadaan kuoletettua osa peruskorjauksen sekä kosteus- ja mikrobivaurioiden korjausten kustannuksista. Yläpohjaa voidaan lisälämmöneristää eristeiden uusimisen yhteydessä, kun räystäälle asennetaan tuulenohjaimet ja reunoille tulee eristetty tuulensuojalevy eristekerroksen pintaan. Kohdekäynnillä tehtyjen havaintojen perusteella eristeitä on todennäköisesti uusittava merkittävästi ja tässä yhteydessä tehtävä lisälämmöneristys on todennäköisesti kustannustehokasta.

## 8.7 Alakatot

Kaikkien asuntojen huonetilojen alakattorakenne on ristiin koolattu ja kipsilevytetty. Puhallusvilla on puhallettu suoraan höyrynsulkumuovin päälle.

### 8.7.1 Havainnot

Alakatoissa havaittiin kosteusjälkiä kahdessa asunnossa. Vuotojälkien kohdalle tehtiin alakaton levypintaan rakenneavaukset vuodon syyn ja laajuuden selvittämiseksi. Vesikatolla havaittiin useita puutteita läpivientien ja harjatiivistysten asennuksissa, joten on mahdollista, että vuotoja on päässyt muissakin asunnoissa kastelemaan alakattojen levypintaa. Asunnon C27 vuotojälki oli tiedossa jo tutkimussuunnitelmaa tehdessä, koska tilaajan edustaja oli

esitellyt kyseistä asuntoa tutustumiskäynnin yhteydessä. Asunnon C21 vuodosta tuli ilmoitus huoltoyhtiöltä samana päivänä, kun rakenneavauksia tehtiin sokkeleihin.

Asunnon C27 keittiön alakatossa oli pieni noin 150x150cm -kokoinen kosteuden jättämä läikkä, ja kipsilevy oli yläpuolelta kädellä kostettaessa kuivaa. Kosteutta oli havaittavissa höyrynsulun päällä avauskohdassa.

Kuva 36. Asunnon C27 keittiön alakaton rakenneavaus



Asunnon C21 vuotojäljet olivat asukkaiden kertoman mukaan osittain ainakin noin kahdeksan kuukautta vanhoja. Vettä alkoi vuotamaan vuotojälkien kohdalta uudestaan sadepäivän iltana, jolloin asiasta ilmoitettiin huoltoyhtiöön. Asunnon C21 alakattoon tehtiin toinen rakenneavaus ja asukkaat pääsivät toiseen asuntoon korjausten ajaksi.

Kuva 37. Asunnon C21 makuuhuoneen alakaton rakenneavaus



### 8.7.2 Mikrobianalyysi ja johtopäätökset

Asunnon C21 vuotokohdan yläpuolella on yläpohjan tarkastusluukku, joka vuosi yläpohjan eristeiden päälle, mistä vesi kulkeutui teippaamattoman höyrynsulun saumasta alakaton levytyksen päälle. Asunnon C27 vanhemman vuodon syy jäi epäselväksi, mutta on todennäköistä, että siinäkin oli kyse vesikaton vuotamisesta, koska vesikaton vuotoja havaittiin kaikissa tarkastetuissa yläpohjissa.

Otetuista kahdesta näytteestä pahimmin silmämääräisesti vaurioitunut C21 alakaton kipsilevynäyte vietiin mikrobianalyysiin. Näytteestä todettiin vahva viite vauriosta ja näytteessä oli runsaasti kosteusvaurioindikaattorimikrobeja. Tulos kertoi sisäkaton rakenteisiin pidemmän aikaa kohdistuneesta kosteusrasituksesta, mitä puoltaa myös asukkaiden kertomus vuotojälkien iästä. Mikrobivaurioituneet rakenteet ovat höyrynsulun sisäpuolella, eli niillä on suora yhteys sisäilmaan riippumatta rakennuksen painesuhteista yli vaipan.

Taulukko 2. Alakaton materiaalinäytteen mikrobianalyysin tulokset

Näytenumero	Tila	Rakenne	Materiaali	Tulkinta
006	Asunto C21 makuuhuone	Alakatto	Kipsilevy	Vahva viite vauriosta

### 8.7.3 Toimenpide-ehdotukset

Kosteus- ja mikrobivaurioituneet rakenteet piti purkaa ja höyrynsulun päällä olevat kastuneet eristeet poistaa Ratu-kortin 82-0289 mukaisin työmenetelmin. Useiden talojen yläpohjissa oli tapahtunut vuotoja jo pidemmän aikaa ja oli selvää, että osa vuodoista on kulkeutunut höyrynsulun epäjatkuvuuskohdista sisätiloihin aiheuttaen kosteus- ja mikrobivaurioita alakattorakenteissa. Höyrynsulun tiiveys voidaan varmistaa vain, jos yläpohjan eristeet poistetaan tai kaikki alakatot puretaan. Jos levykattorakenteita ei pureta riittävän laajalti, on riskinä, että uusitun pinnan alle jää kosteusvaurioitunutta materiaalia ja sisäilman epäpuhtauslähteitä.

### 8.8 Talotekniikkasyvennykset

Soluasuntojen käyttövesijohdot oli tuotu asuntoihin alapohjan kautta noin 500 mm syvien talotekniikkasyvennysten läpi. Asunnon C27 keittiössä oli tehty korjauksia, koska allaskaapin viereisen siivouskaapin taustalevy oli purettu ja talotekniikkasyvennys oli näkyvissä huoneistojen välisen seinän vieressä. Kuvassa 33 näkyy oikealla peltiverhouksen pinnassa keittiön kaapista tulleita vuotojälkiä.

Kuva 33. Asunnon C27 talotekniikkasyvennys



### **8.8.1 Havainnot**

Käyttövesiputket oli toteutettu PEX-muoviputkillä ilman suojaputkia tai putkien ankkurointia liitoskohtien läheisyydestä. Tekniikkasyvennyksen reunassa allaskaapin puolella näkyi valumajälkiä, jotka olivat peräisin keittiökaapista. Keittiökaapin pohjalevy vaikutti silmämääräisesti uudelta ja se oli tiivistetty paikalleen. Muissa asunnoissa keittiökaappien pohjalevyn asennustapa oli erilainen ja siivouskaappien taustalevyt olivat paikoillaan.

### **8.8.2 Johtopäätökset**

Saman asunnon lattiasta mitattiin kohonneita kosteuspitoisuuksia porareikämittauksella, mikä viittaisi siihen, että keittiössä tapahtunutta vuotoa korjattaessa on purettu siivouskaapin rakenteita, mutta lattiaa ei ole kuivatettu tarpeeksi hyvin. Keittiön kaapissa oli myös uusittu pohjalevy ja vuotojälkiä näkyi kaapin rakenteissa.

Vastaavat talotekniikkasyvennysten asennukset mahdollistavat veden vuotamisen alapohjaan keittiön tiskialtaan kaapin kautta tai putkien liitoskohdista. Veden on mahdollista levitä laajalle alueelle ennen kuin vuoto huomataan. Asunnossa C27 vesi oli kastellut allaskaapin sokkelia, jolloin vuoto oli huomattu.

### **8.8.3 Toimenpide-ehdotukset**

Määräysten mukaan rakenteiden sisällä olevat muoviputket tulisi asentaa siten, että vuototapauksissa vuoto tulee näkyviin tai käytetään vuodonilmaisinta (Ympäristöministeriön asetus rakennusten vesi- ja viemärlaitteistosta 1047/2017). Liitoskohdissa putken tulisi olla kiinnitetty rakenteeseen, jotta paineiskun voima ei kohdistu putken liitokseen (RT 84-10818, 2004, s. 2).

## **8.9 Ilmanvaihto- ja LVIS-järjestelmät**

Tutkituissa rakennuksissa on painovoimainen ilmanvaihto ja huoneistojen ulkoseiniin on asennettu korvausilmaventtiilejä. Soluasunnoissa ilmanvaihtoa on tehostettu keittiön

liesikupuihin kytketyillä huippuimureilla. Kiinteistö on liitetty Loimua Oy:n kaukolämpöverkkoon ja asuntojen lämmitys on toteutettu vesiradiaattorilämmityksellä.

### **8.9.1 Havainnot ja johtopäätökset**

Soluasunnoissa tarkastellut korvausilmaventtiilit olivat likaisia ja asuntojen huonelämpötilat olivat koholla. Esimerkiksi tyhjillään olevan huoneiston C27 sisälämpötila oli 24 C astetta. Asukkaat tuulettivat pakkasaamuna asuntoja ulko-ovet auki useissa asunnoissa kohdekäynnin aikana. Liesikupujen rasvansuodattimien puhtautta ei arvioitu kohdekäynnin aikana.

Ilmanvaihto on asunnoissa puutteellista, koska korvausilmaventtiilit ovat likaisia ja osittain tukossa. Ilmanvaihdon riittämättömyydestä ja korkeista huonelämpötiloista kertoo toistuva huoneistojen tuulettaminen.

### **8.9.2 Toimenpide-ehdotukset**

Ilmanvaihtojärjestelmä voidaan peruskorjauksen sekä kosteus- ja mikrobivaurioiden korjauksen yhteydessä saneerata kokonaisuudessaan ja muuttaa nykyaikaiseksi lämmöntalteenotolla varustetuksi tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmäksi. Näin säästetään lämmityskuluissa ja asumisviihtyvyys paranee. Ilmanvaihdon parantamisen yhteydessä riskinä on rakenteista imetyn epäpuhtauksia sisältävän vuotoilman päätyminen sisäilmaan, jos kaikkea vaurioitunutta materiaalia ei poisteta rakenteista ja tiivistystä tehdä kunnolla. Myös ilmanvaihdon tasapainotus on erityisen tärkeää ja sillä pystytään hallitsemaan haitallisia vuotoreittejä pitkin kulkeutuvan ilman määrää.

Käyttövesiputkistot huoneistoissa ja yhteistilassa ovat teknisen käyttöikänsä loppupuolella. Märkätilat olivat silmämääräisesti tarkasteltaessa huonossa kunnossa ja vesieristeet teknisen käyttöikänsä lopussa. (RT 103098, 2019) Huoneistojen sisäiset käyttövesiputket tulisi uusia kylpyhuoneiden saneerauksen yhteydessä.

Mahdollisia ilmanvuotoreittejä ja painesuhteita suositeltiin kartoitettavaksi, jotta ulkoseinissä olevien epäpuhtauksien kulkeutumista sisäilmaan voidaan tutkia.

Lisätutkimuksilla saadaan myös tietoa korjauslaajuudesta korjaussuunnittelua silmällä pitäen. Vuotoreittien kuvaus suositeltiin tehtäväksi lämpökameralla, josta saadaan ilmanvuotoreittien mahdolliset paikat selville. Ilman kulkusuunta voidaan määrittää merkkiainekaasulla paikallisesti lämpökamerakuvauksen osoittamista kohdista.

## **8.10 Altistumisolosuhteiden arviointi**

Tutkimustulosten perusteella soluasuntojen tiloissa tavanomaisesta poikkeava Valviran ohjeistaman asunnon terveyshaitan selvittämisprosessin mukainen altistumisolosuhte on todennäköinen tai mahdollinen. Altistumisolosuhteen todennäköisyys riippuu painesuhteista, ilmanvaihdosta ja ilmanvuotoreiteistä, joita voidaan selvittää lisätutkimuksilla.

Ulkoseinärakenteen lämmöneristeistä löydettiin mikrobivaurioituneita eristeitä ja vaurioiden korjauslaajuus on merkittävä, koska se koskee oletetusti koko rakenneosaa kaikissa tutkituissa rakennuksissa. Tarkempi tieto korjauslaajuudesta saadaan vain purkamalla lisää rakenteita. Rakennuksen painesuhteet vaihtelevat todennäköisesti lievän ylipaineisuuden ja lievän alipaineisuuden välillä riippuen asunnoissa käytettävästä liesikupuun kytketyn huippuimurin käyntiajoista. Ulkoseinien ilmanvuotoreittejä pitäisi kartoittaa korjaussuunnittelun yhteydessä.

Kosteusmittausten perusteella asuintalojen alapohjarakenteissa ja niiden seinäliittymissä ei ollut laajalti alueita, joissa kosteuspitoisuus olisi koholla. Yhteistilan alapohjarakenteessa kantavan seinän ympäristössä havaittiin kohonneita pintakosteuden arvoja ja seinän pinnassa oli silmin nähtäviä kosteusvaurioita. Yhden asunnon keittiön vesivuodosta aiheutunut kosteusvaurio oli aiheuttanut pinnoitteen irtoamisen alustastaan ja se vaati ainakin lattiarakenteen kuivatuksen.

Valesokkelirakennetta pidetään yleisesti riskirakenteena ja kaikista sokkeliin tehdyistä rakenneavauksista löytyi kosteusvaurioindikaattorimikrobeja, mikä kertoo pitkään jatkuneesta kosteusrasituksesta ja mikrobivauriosta rakenteessa. Asunnon terveyshaitan selvitysprosessin mukaista tavanomaisesta poikkeavan altistumisolosuhteen vakavuusastetta voidaan alentaa rakenteisiin tehtävillä rakennusten käyttöä turvaavilla toimenpiteillä:

- Ulkoseinien ja yläpohjien epätiividiiden rakenneliittymien tiivistys
- Asunnon C27 kastuneen alapohjan pinnoitteen purkaminen ja kuivatus
- Kosteus- ja mikrobivaurioituneiden sisäkattorakenteiden purkaminen ja rakenteiden kuivatus
- Kosteusvaurioituneiden eristeiden vaihto yläpohjissa
- Läpivientien tiivistykset yläpohjissa
- Huoneistojen välisten seinien ja ympäröivien rakenteiden liitosten tiivistäminen
- Rakennusten painesuhteiden hallinta siten, että ne ovat mahdollisuuksien mukaan hiukan ylipaineisia ulkoilmaan nähden ja poistoilmanvaihtoa ei ainakaan saisi merkittävästi lisätä

Koska vaurioita löytyi laajalti erityisesti valesokkelirakenteesta, ei pelkkää tiivistyskorjausta suositeltu kuin väliaikaiseksi käyttöä turvaavaksi toimenpiteeksi, kunnes vaurioituneet rakenteet on poistettu ja korvattu puhtailla rakenteilla. Vaurioiden todellinen korjauslaajuus selviää rakenteita purettaessa.

## 9 Peruskorjaus ja energiatehokkuuden parantaminen

Peruskorjausvaihtoehdot on valittu kohteen kuntotutkimuksella saatujen tietojen perusteella arvioidun korjauslaajuuden ja energiatehokkuuden parantamisen näkökulmasta. Uusissa rakennetyypeissä ja korjaustavoissa on pyritty käyttämään alkuperäistä rakennetta paremmin kosteutta kestäviä materiaaleja. Suurimmat korjausta vaativat rakenneosat ovat kosteus- ja mikrobivaurioitunut valesokkelirakenne ja kastunut yläpohjarakenne sekä vuotava vesikatto. Kaikissa korjausvaihtoehdoissa energiatehokkuutta parannetaan eristystä lisäämällä ja ikkunoita vaihtamalla. Ikkunat vaativat kaikissa rakennuksissa joka tapauksessa vähintään maalauskunnostuksen, mikä pitää huomioida ikkunoiden vaihdon kustannuksia laskettaessa. Rakenneosien U-arvot ennen korjausta on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Rakenneosien U-arvot ennen korjausta

	Ulkoseinä	Alapohja	Yläpohja	Ikkunat	Ovet
U-arvo [W/m <sup>2</sup> K]	0,23	0,4	0,17	2,1	1,4

## 9.1 Valesokkelin korjausvaihtoehdot

Valesokkelin korjausvaihtoehtoja ja kaupallisia toteutuksia on markkinoilla useita, kuten esimerkiksi Lamox Oy:n Termotuotteet, Transpordix OU:n tai Prima-Rakentajien RST-valesokkelikengät, Sisäilmaseppien EPS-kevytbetoni -menetelmä ja perinteiset kevytbetoni- tai valuharkkoon perustuvat kengitysmenetelmät. Yleisesti on esitetty arvioita, että valesokkelirakenteen kengittäminen maksaa 600 – 1200 euroa per juoksumetri ja korjaustapojen sekä kohteiden erityispiirteiden vuoksi niiden vertailu on hankalaa. Kaupallisten ratkaisujen myyjät lupaavat pienemmän asennusajan tuomia säästöjä verrattuna perinteiseen kengittämiseen. Niiden vaatimat valmisosat, kuten teräskengät ja asennuselementit ovat kuitenkin huomattavasti kalliimpia kuin rautakaupasta tavallisesti saatavat materiaalit.

Valesokkelin korjausmenetelmistä kustannus- ja energiatehokkuustarkasteluun valittiin perinteisen menetelmän lisäksi kaksi uudempaa menetelmää, jotka soveltuivat käytettyihin rakennetyyppeihin, ja olivat laskettavissa käytettävissä olevalla tiedolla. Vertailussa käytetyt menetelmät olivat:

- Perinteinen harkolla kengitetty sokkelirakenne
- Valulla tehtävä kengitys käyttäen EPS-kevytbetonia Sisäilmaseppien menetelmäpatentilla 20175009 suojatulla täyttövaluun perustuvalla korjausmenetelmällä ja
- Lamox Oy:n Termotuote, joka perustuu teräskengien ja eristettyihin sokkelipalkkeihin.

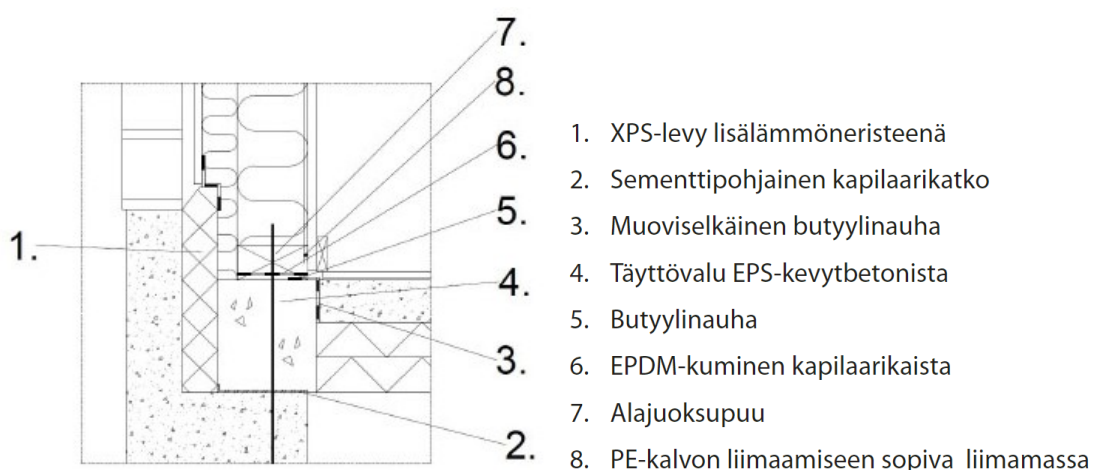
### 9.1.1 Sokkelin korotus eristysvalulla

Sisäilmaseppien ja Juha Lappalaisen kehittämä ja patentoima menetelmä ei edellytä valmiiden asennuselementtien käyttöä, eikä huonon seinärakenteen lämmöneristävyyttä aiheuttamalla kylmäsiltoja rakenteeseen. (Sisäilmasepät Oy, 2021). Tämä korotuskorjausmenetelmä tehdään lämpöä eristävällä täyttövalulla ja se on ollut ehdolla Kosteusturvallisen rakentamisen Tampereen yliopiston ja RIL:in järjestämässä rakennusfysiikkaseminaarissa kuuden voittajaehdokkaan joukossa kilpailemassa Kosteusturvallisen rakentamisen palkinnosta vuonna 2017. Menetelmässä on kiinnitetty

erityistä huomiota rakenteiden tiiviiksi saamiseen, kylmäsiltojen minimointiin ja asennettavuuteen. Menetelmässä huoneiston yläpohja kannatellaan kokonaisuudessaan holvituilla ja seinärungot katkaistaan koko korjattavalta alueelta. (Vinha & Kivioja, Rakennusfysiikka 2017 Osa 1, 2017)

Kapillaarinen kosteuden nousu runkorakenteisiin estetään ja vaiheistettu korjaus tehdään koko korjausalueelle, kun kaikki vaurioitunut materiaali on poistettu. Mekaanisesti varmistetut ja rakenteiden elämistä kestävät tiivistykset sekä kerroksittain tehtävät massiivirakenteet estävät ilmavuotoreitit. Menetelmä sopii kaiken tyyppisiin valesokkelirakenteisiin. (Sisäilmasepät Oy, 2021)

Kuva 34. Patentoitu EPS-valulla tehty valesokkelikorjaus (Sisäilmasepät Oy, 2021)



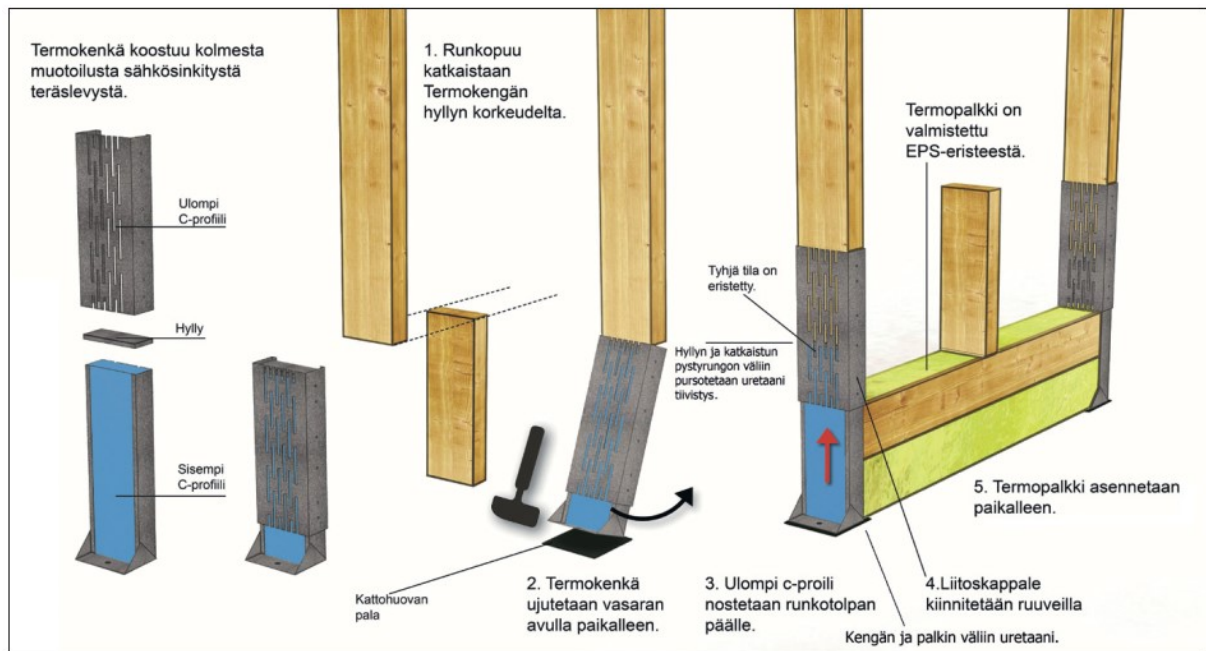
### 9.1.2 Sokkelin kengittäminen ja sokkelipalkki

Termokenkä- ja Termopalkkiratkaisut ovat saaneet Tampereen teknillisen yliopiston ja RIL:n myöntämän kosteusturvallisen rakentamisen palkinnon vuonna 2013. Termokenkämenetelmän U-arvo on 125 mm puurunkoa kengitettäessä 50 mm mineraalivillalla lisäeristettäessä valmistajan mukaan  $0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$ , eli selvästi parempi kuin harkkorakenteen U-arvo. Suositeltava asennustapa on avata koko seinä ylös asti ja parantaa tuulettusta julkisivumateriaalin takana. Samalla suositellaan parannettavaksi ulkoseinän vesihöyryn tiiveyttä. Kattorakenteita ei tarvitse tukea työn aikana, kun noudatetaan valmistajan asennusohjetta, jossa kaksi vierekkäistä pystytolppaa katkaistaan kerrallaan ja jätetään muut pystytolpat kantamaan. (RT 38534, 2014, s. 1)

Termokenkä koostuu kolmesta muotoillusta kuumasinkitystä teräslevystä, joita saa 100 mm ja 125 mm puurungoille. Puurungon vaurioituneet pystytolpat katkaistaan Termokenkien kantavan hyllyn korkeudelta ja Termokengät asennetaan runkopuihin. (RT 38534, 2014)

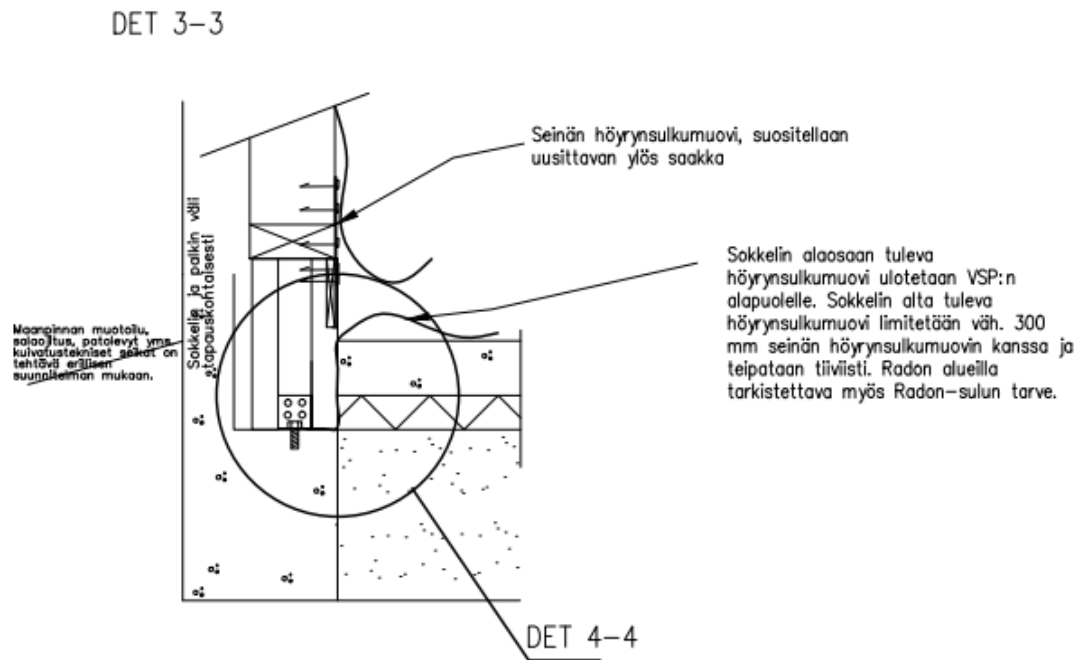
Valesokkelipalkki VSP soveltuu käytettäväksi erityisesti rakennusten nurkissa ja ovien pielissä. Se on valmistettu EPS-eristeestä, jota on vahvistettu profiloidulla eristeeseen upotetulla pellillä. Valmistaja suosittaa, että Valesokkelipalkin etu- tai takapuolelle asennetaan XPS-eristelevy sokkelin kokonaiseristävyuden parantamiseksi ja seinän alaosan korjauksen yhteydessä suositellaan koko seinän lisäeristämistä ja höyrynsulun tiivistämistä. (Lamox Oy, 2015)

Kuva 35. Valesokkelin korjaus Termotuotteilla (RT 38534, 2014)



Lamox Oy:n VSP-sokkelipalkin asennusohjeen detaljipiirustus on esitetty kuvassa 36. Siinä on esitetty höyrynsulun tiiveyden varmistamiseen liittyvät työvaiheet sokkelikorjauksen yhteydessä.

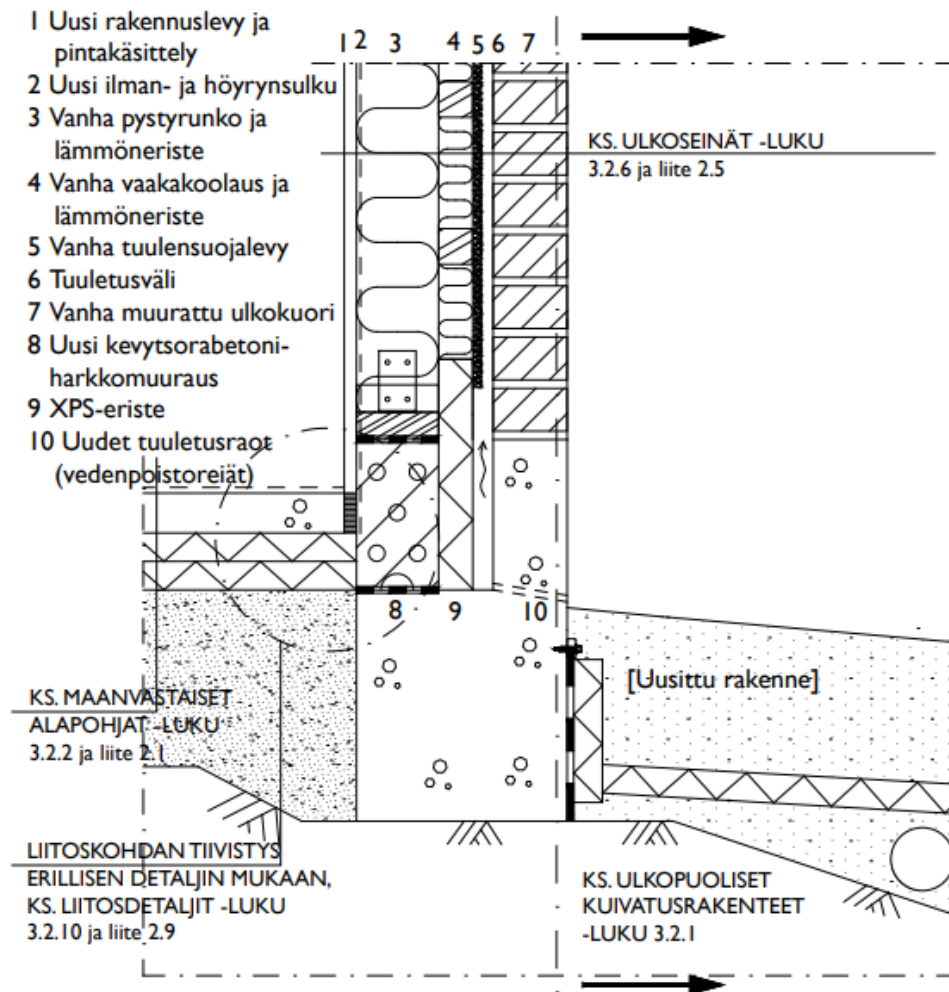
Kuva 36. Valesokkelin korjaus VSP-sokkelipalkilla (Lamox Oy, 2015)



### 9.1.3 Sokkelin korotus kevytsora- tai betoniharkolla

Valesokkelin korotus harkolla on niin sanottu perinteinen tapa, jossa perusmuurin rungon päälle muurataan harkkokerros, minkä päälle asennetaan uusi alajuoksupuu. Harkkoina toimivat betoniharkot, joiden leveys mitoitetaan seinärakenteen leveyden mukaisesti niin, että sokkeli saadaan lämmöneristettyä ja sokkelin tuuletusrako ei umpeudu. Tässä menetelmässä ei tarvitse tukea koko yläpohjan painoa, jos katolla ei ole lumikuormaa ja työ tehdään vaiheittain. (Weijo, ym., 2019)

Kuva 37. Valesokkelin korottaminen harkolla (Weijo, ym., 2019, s. 159)



Vaurioituneet materiaalit voidaan poistaa sisäkautta ja seinän alaosa avatessa pitää huomioida, että puurunkoisessa rakennuksessa sisäpuolen levytys toimii runkoa jäykistävänä rakenteena. Sisäpuolinen levytys poistetaan noin 500 – 700 mm korkeudelta vaurioiden laajuudesta riippuen, mutta seiniä lisäeristettäessä seinälevyt ja höyrynsulku puretaan kattoon asti. Runkotolpat tuetaan työn aikana tarvittaessa niihin kiinnitettävällä palkkirakenteella ja pystyrakenteiden vahvistuksilla, kuten holvituilla. Alasidepuun kantavia rakenteita jäykistävä vaikutus pitää huomioida korjausta suunniteltaessa, eikä sitä saa heikentää korjauksella. Seinän alaosa korvataan kevytsorabetoniharkoilla ja harkon ulkopuolelle asennetaan solumuovilämmöneriste, kuten EPS tai XPS -eriste. Sokkelin tuuletus varmistetaan jättämällä 25 mm tuuletusväli ja poraamalla sokkeliin tuuletusreikiä ulkopuolelta yläviistoon. Höyrynsulun tiiveys varmistetaan viemällä höyrynsulkumuovi tai tiivistenauha betonilaatan ja harkon väliseen liitokseen.

## 9.2 Uudet ulkoseinärakenteet

Uusien ulkoseinän rakennetyyppien suunnittelussa lähtökohtana oli kosteus- ja mikrobivaurioiden korjaus, höyrynsulun jatkosten tiivistäminen ja ulkoseinien energiatehokkuuden parantaminen korjauksen yhteydessä. Uusien rakennetyyppien suunnittelussa on pyritty huomioimaan eri materiaalien homehtumisherkkyys sekä muuttuvan ilmaston asettamat vaatimukset rakenteille ja niiden kosteustekniselle toiminnalle. Uusien ulkoseinärakenteiden periaatepiirustukset on esitetty liitteessä 2.

Mikrobivaurioituneet eristeet tulisi aina poistaa ulkoseinän rakenteista sokkelin korjauksen yhteydessä. Rakenteen rakennusfysikaalista toimintaa parannetaan valesokkelirakenteen korjaamisella joko kevytsoraharkolla tai eri valmistajien tarjoamilla menetelmillä ja valmisosilla. Tämä estää kosteuden tunkeutumisen rakenteisiin jatkossa, eikä sama vauriomekanismi pääse uusiutumaan. Sokkelihalkaisun korjaamiseen tulisi aina liittää myös salaojien ja sadevesijärjestelmien rakentaminen tai uusiminen, jotta kosteuden nousua sokkeliin alapohjan ja perustusten kautta vähennetään mahdollisimman paljon. Kokonaisuuden hallintaan liittyvät myös ilmanvaihdon järjestäminen ja maanpinnan muotoilu korjatuilla alueilla. (Weijo, ym., 2019, ss. 160-161) Näiden järjestelmien uusimisesta ja vaurioituneiden rakenteiden purusta aiheutuneet kustannukset on huomioitu korjauskustannusten laskennassa.

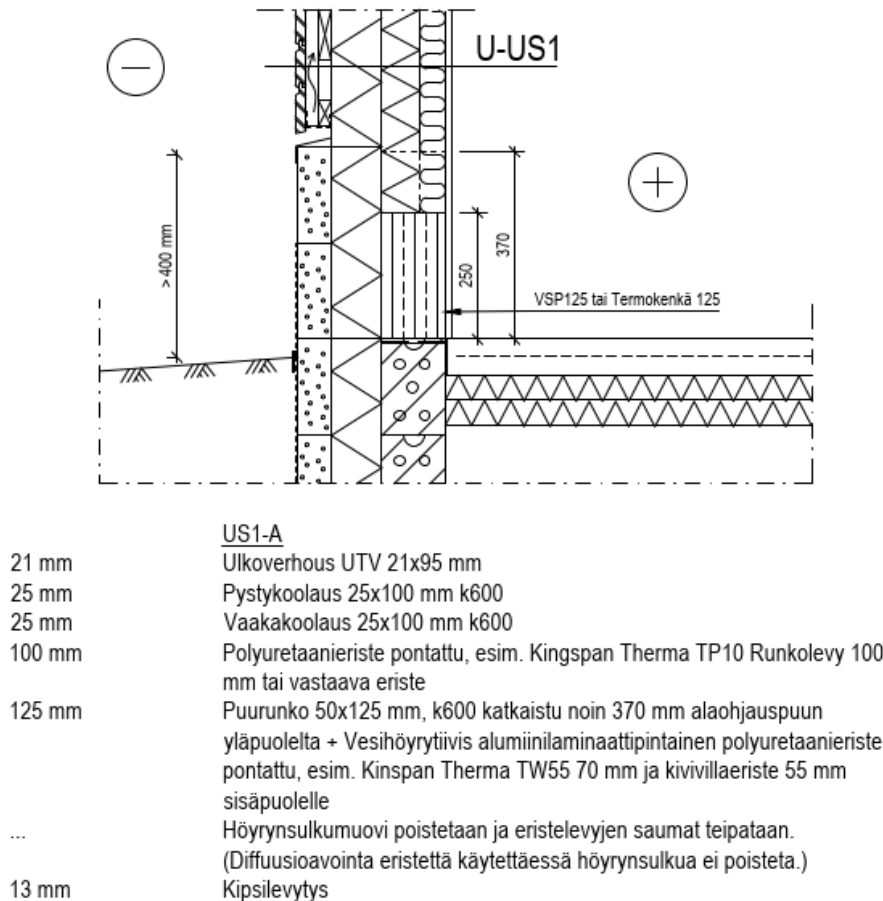
Työkustannukset on laskettu käyttäen kirjojen Korjausrakentamisen kustannuksia 2020 ja Rakennusosien kustannuksia 2020 -työaikoja ja materiaalikustannuksia sekä tuotevalmistajien esitteistä ja suunnitteluohjeista löytyviä tietoja. Valesokkelirakenteen korjausten tarkat menetelmäkohtaiset työajat ja kustannukset ovat korjauksia tekevien yritysten liikesalaisuuksia, eikä niitä ole vapaasti saatavilla.

### 9.2.1 Lautavuorattu ulkoseinärakenne U-US1

Tässä korjaustavassa puretaan suurin osa vanhasta seinärakenteesta. Tiilivuoraus puretaan kaikkien talojen julkisivuista ja julkisivut vuorataan ulkovuorauspaneelilla. Samalla sokkelia korotetaan siten, että lautavuorauksen alapinta on vähintään 400 mm maanpinnan yläpuolella. Ulkoseinien eristeet uusitaan kokonaisuudessaan ja korvataan

polyuretaanieristeillä. Sisäpuolelle asennetaan kivivillaeriste ja vanha höyrynsulkumuovi puretaan pois seinistä. Sisempien eristelevyjen saumat teipataan ja seinän höyrynsulku liitetään ympäröivään höyrynsulkuun. Rakennetyypin U-arvo on 0,13 W/m<sup>2</sup>K.

Kuva 38. Uusi ulkoseinärakenne U-US1

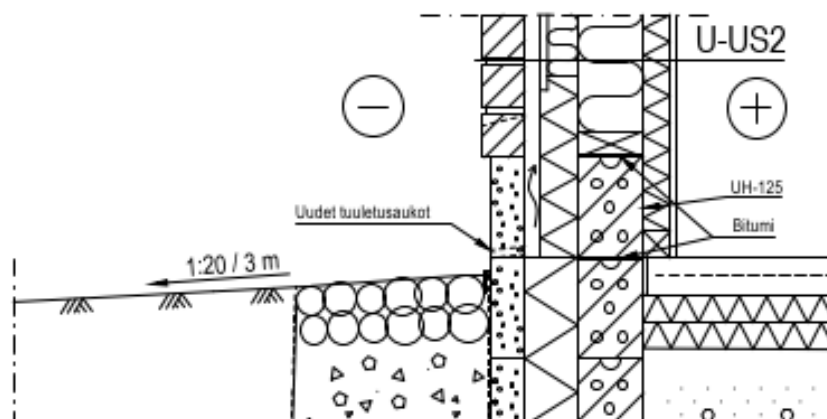


Kivivillaeriste vaimentaa ääntä ja suojaa uuden höyrynsulun pintaa seinäkiinnityksiä tehtäessä. Langattomien verkkojen kuuluvuus varmistetaan käyttämällä alumiinilla päällystämättömiä eristelevyjä valmistajan ohjeiden mukaisesti. Yksi lautavuoraton ulkoseinärakenteen hyvä puoli on se, että ulkoverhouksen tuuletus pystytään toteuttamaan riittäväksi. Tiiliverhouksen tuuletusta on lähes mahdotonta lisätä purkamatta koko ulkoseinää sisältä päin ja tuuletusvälin lisääminen vähentää eristeiden vaatimaa tilaa seinärakenteessa.

### 9.2.2 Tiilivuorattu ulkoseinärakenne U-US2

Tässä korjaustavassa uusitaan vain seinän alaosan vaurioituneet rakenteet. Vanhan rakennetyypin energiatehokkuutta parannetaan asentamalla sisäpuolelle alumiinipintainen polyuretaanieristys, jonka saumat teipataan. Vanha höyrynsulkumuovi poistetaan ja yläpohjan höyrynsulku liitetään uuteen seinärakenteeseen. Alumiinipintainen polyuretaanieriste on vesihöyrytiivis ja toimii höyrynsulkuna. Jos seinärakenteen lisäeristämässä haluttaisiin käyttää diffuusioavointa eristettä kuten kivivillaa, ja säilyttää sama lämmönjohtavuus, pitäisi sen paksuutta kasvattaa sisäänpäin ja höyrynsulkua ei voisi poistaa.

Kuva 39. Uusi ulkoseinärakenne U-US2b



	U-US2
85 mm	Puhtaaksimuurattu MKH-tiili, joka 3. pystysauma alarivissä avataan
20 mm	Ilmarako
70 mm	Mineraalivilla-eriste (uusitaan alaosa) + tuulensuojalevy (poistetaan alaosa) ja korvataan alumiinipintaisella polyuretaanieristeellä)
125 mm	Puurunko 50x125, k600 + Mineraalivilla 125 mm (höyrynsulkumuovi pois)
50 mm	Pinnoitettu polyuretaanieriste tiivistetään ja saumat teipataan
13 mm	Kipsilevytys

### 9.3 Uusi yläpohjarakenne U-YP1

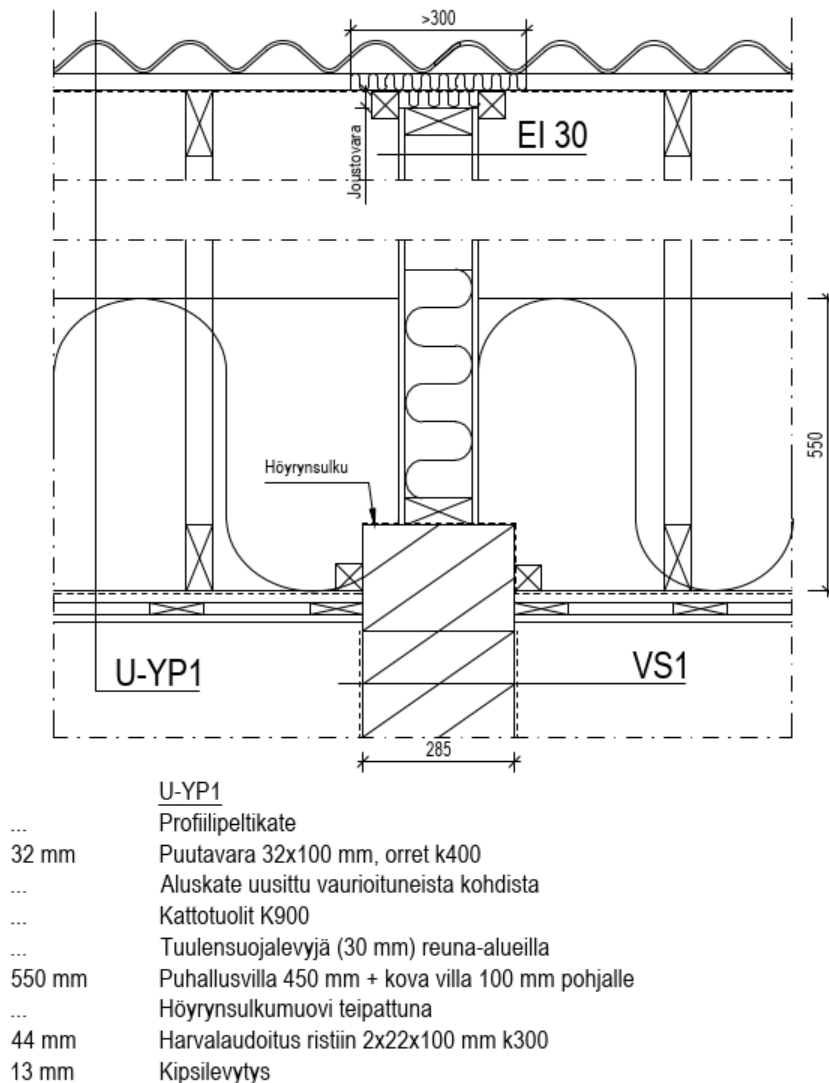
Uudella yläpohjarakenteella pyritään parantamaan rakennuksen energiatehokkuutta. Lisälämmöneristys tai eristeiden vaihto kokonaan yläpohjassa tehtävien tiivistystoimenpiteiden yhteydessä kannattavaa, koska rakenneosan lämmöneristävyyden parantaminen säästää lämmityskustannuksissa ja tiivistetyn yläpohjan kosteustekninen toimivuus ei vaarannu. Yläpohjan kattoristikoiden kunto on samalla helppo tarkastaa, kun

vanhat kosteusvaurioituneet eristeet on poistettu ja liittymät tiivistetty. Lämmöneristeiden poisto on suositeltavaa tehdä kesällä, jotta yläpohjan höyrynsulkuun kondenssivesi ei kastele korjattuja alakaton rakenteita. Samassa yhteydessä voidaan korjata aluskatteen paikalliset puutteet vesikatolla.

Uuden rakennetyypin eristeenä käytetään puhallettavaa puukuitueristettä, koska sen sisäinen konvektio on pienemmän ilmanläpäisevyyden vuoksi pienempää kuin puhalletun mineraalivillaeristeen. Pienempi ilmanläpäisevyys johtuu siitä, että puukuitueriste painuu enemmän kuin mineraalivillaeriste. Sisäistä konvektiota vähennetään myös asentamalla puhalletun puukuitueristeen alle höyrynsulun päälle kova 100 mm paksu kivivillakerros, joka samalla jakaa puukuitueristeen painoa kattotuolien välissä ja estää höyrynsulkua painumasta tai repeämästä kiinnityskohdistaan. Puukuitueriste on hygroskooppinen materiaali, eli se pystyy vastaanottamaan ja luovuttamaan kosteutta tehokkaasti, mikä parantaa tuuletetun yläpohjan kosteusteknistä toimintaa (Vinha, Muuttuvan ilmaston vaikutukset rakenteille - koulutusluento, 2020).

Puukuitueristeissä käytetään palonestoaineiden lisäksi homeen- ja lahottajasienten estoaineita. Puukuitueristeitä puhallettaessa jätetään tyypillisesti noin 20 % painumavara ja se voidaan puhaltaa vanhan mineraalivillan päälle. (RT-38803)

Kuva 40. Uusi yläpohjan rakennetyyppi U-YP1 ja HVS-liitos



Lämmöneristeitä lisätessä pitää huomioida räystäiden tuuletuksen säilyminen.

Minimituuletusväli 1:3 hyvin tuulettuvalle harjakatolle on 100 mm. Aluskate on suurelta osin vedetty harjan yli ja sitä voidaan avata harjalta vähintään 100 mm puuttuvien harjantiivisteiden asentamisen jälkeen. Ilmanottoaukkojen ja poistoaukkojen suhde tulisi olla 1:1 ja niiden koon vähintään 2,0 promillea/katto-m<sup>2</sup>. (Kattoliitto Ry, 2019, s. 17)

Lisälämmöneristäminen laskee yläpohjan lämpötilaa, joten riittävän tuuletuksen varmistaminen on tärkeää.

#### 9.4 Korjaustapa 1: Ulkoseinä U-US1 ja Termotuotteet

Taulukkoon 1 on koottu kaikkien rakenneosien U-arvot korjaustavan 1 mukaan laskettuna.

Taulukko 4. Rakenneosien U-arvot Korjaustavan 1 mukaan laskettuna

	Ulkoseinä	Alapohja	Yläpohja	Ikkunat	Ovet
U-arvo [W/m <sup>2</sup> K]	0,13	0,4	0,08	0,7	0,5

Korjaustavan 1 mukaan lasketut kustannukset ja energiatehokkuus on laskettu seuraavilla oletuksilla:

- Valesokkelirakenne korjataan koko matkaltaan Termotuotteella:
  - Nurkkiin ja oviaukkoihin asennetaan VSP125-palkit.
  - Suorilla osuuksilla käytetään T125 teräskenkää ja Termopalkkia.
  - Yläpohjaa ei tarvitse tukea.
  - Sokkelirakenteen kosteusrasitusta pienennetään maanpinnan muotoilulla, salaojituksella, perusmuurilevyn asentamisella ja sadevesijärjestelmän rakentamisella.
- Tiiliverhouksen purkaminen ja korvaaminen puuverhouksella:
  - Tiilivuoraus puretaan ylös asti.
  - Julkisivut verhotaan vaakaponttilaudoituksella, jonka alla on 25x100 mm ristiin koolaus.
  - Sokkelin ulkokuorta korotetaan 200 mm ja yläpintaan asennetaan vesipelti.
- Seinän kaikki eristeet korvataan polyuretaanipohjaisilla alumiinipäällysteisillä eristeillä:
  - Laskennassa on käytetty polyuretaanilevytuotteita valmistajan suunnitteluohjeiden mukaisesti.
- Yläpohjan lisäeristys:
  - Yläpohjan kaikki eristeet poistetaan, koska ne ovat kastuneet.
  - Yläpohja eristetään 450 mm puukuitueristeellä ja 100 mm kivivillaeristeellä rakennetyypin U-YP1 mukaan.
  - Sisäkatot uusitaan ja höyrynsulku teipataan.
  - Palo-osastoivat yläpohjan rakenteet uusitaan asuntojen välissä.
- Ikkunoiden ja ovien vaihto:
  - Kaikki ikkunat korvataan MSE 2+2 eristyslaseilla, joiden U-arvo on 0,7.
  - Kaikki ulko-ovet vaihdetaan eristettyihin ulko-oviin, joiden U-arvo on 0,5.
- Alapohjan rakenteet säilytetään.

- Ilmanvaihtojärjestelmä uusitaan tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmäksi lämmöntalteenotolla.

## 9.5 Korjaustapa 2: Ulkoseinä U-US2 ja EPS-kevytbetoni

Taulukkoon 5 on koottu kaikkien rakenneosien U-arvot korjaustavan 2 mukaan laskettuna.

Taulukko 5. Rakenneosien U-arvot Korjaustavan 2 mukaan laskettuna

	Ulkoseinä	Alapohja	Yläpohja	Ikkunat	Ovet
U-arvo [W/m <sup>2</sup> K]	0,15	0,4	0,08	0,7	0,5

Korjaustavan 2 mukaan lasketut kustannukset ja energiatehokkuus on laskettu seuraavilla oletuksilla:

- Valesokkelirakenne korjataan koko matkaltaan valamalla EPS-kevytbetonilla:
  - Koko yläpohja tuetaan asunto kerrallaan holvitukien päälle.
  - Työmenetelmät ja materiaalit laskettu menetelmäpatentin haltijan ohjeiden mukaisesti.
  - Sokkelirakenteen kosteusrasitusta pienennetään maanpinnan muotoilulla, salaojituksella, perusmuurilevyn asentamisella ja sadevesijärjestelmän rakentamisella.
- Tiiliverhous säilytetään:
  - Tiilivuorauksen liikuntasaumat uusitaan.
  - Rikkoutuneet tiilet vaihdetaan uusiin.
  - Tuuletusta parannetaan avaamalla joka 3. alin pystysauma.
- Ulkoseinien lisäeristys:
  - Ulkoseinän eristystä parannetaan asentamalla sisäpuolelle 50 mm paksu alumiinipintainen polyuretaanieriste.
  - Seinän alaosan eristeet ja levytys vaihdetaan 1 m korkeudelta lattiapinnasta ylöspäin vastaamaan vanhaa rakennetta.
  - Höyrynsulku uusitaan sisäkautta.
- Yläpohjan lisäeristys:

- Yläpohjan eristeitä poistetaan keskimäärin 50 mm, koska ne ovat kastuneet vuotopaikoista ja eristettä lisätään 300 mm.
- Sisäkatot uusitaan ja höyrynsulku teipataan sisäkautta.
- Palo-osastoivat yläpohjan rakenteet uusitaan huoneistojen välissä.
- Ikkunoiden ja ovien vaihto
  - Kaikki ikkunat korvataan MSE 2+2 eristyslaseilla, joiden U-arvo on 0,7
  - Kaikki ulko-ovet vaihdetaan eristettyihin ulko-oviin, joiden U-arvo on 0,5
- Alapohjan rakenteet säilytetään
- Ilmanvaihdon ei tehdä muutoksia ja kanavat sekä venttiilit puhdistetaan

### 9.6 Korjaustapa 3: Ulkoseinä U-US2 ja kevytsoraharkko

Taulukkoon 6 on koottu kaikkien rakenneosien U-arvot korjaustavan 3 mukaan laskettuna.

Taulukko 6. Rakenneosien U-arvot Korjaustavan 3 mukaan laskettuna

	Ulkoseinä	Alapohja	Yläpohja	Ikkunat	Ovet
U-arvo [W/m <sup>2</sup> K]	0,15	0,4	0,08	0,7	0,5

Korjaustavan 3 mukaan lasketut kustannukset ja energiatehokkuus on laskettu seuraavilla oletuksilla:

- Valesokkelirakenne korjataan vain osittain:
  - Yläpohja tuetaan korjausalueelta.
  - Sokkelirakennetta korjataan 10 % pahiten vaurioituneista kohdista:
    - Kaikki seinän alaosan eristeet vaihdetaan ja alin elementin ohjauspuu poistetaan sisäkautta.
    - Sokkelin korotus tehdään vain pahimpien vaurioiden alueelle.
  - Työmenetelmä ja käytetyt materiaalit on laskettu U-US2b mukaisesti.
  - Sokkelirakenteen kosteusrasitusta pienennetään maanpinnan muotoilulla, salaojituksella, perusmuurilevyn asentamisella ja sadevesijärjestelmän rakentamisella.
- Tiiliverhous säilytetään:
  - Tiilivuorauksen liikuntasaumat uusitaan.

- Rikkoutuneet tiilet vaihdetaan uusiin.
- Tuuletusta parannetaan avaamalla joka 3. alin pystysauma.
- Ulkoseinät:
  - Ulkoseinän eristystä parannetaan asentamalla sisäpuolelle 50 mm paksu alumiinipintainen polyuretaanieriste.
  - Seinän alaosan eristeet ja levytys vaihdetaan 1 m korkeudelta lattiapinnasta ylöspäin vastaamaan vanhaa rakennetta U-US2 mukaisesti.
- Yläpohjan lisäeristys:
  - Eristettä lisätään 350 mm ja lopullinen eristepaksuus on 550 mm.
  - Yläpohjan eristeitä poistetaan keskimäärin 50 mm, koska ne ovat kastuneet vuotopaikoista.
  - Sisäkatot uusitaan ja höyrynsulku teipataan sisäkautta.
  - Palo-osastoivat yläpohjan rakenteet uusitaan huoneistojen välissä.
- Ikkunoiden ja ovien vaihto:
  - Kaikki ikkunat korvataan MSE 2+2 eristyslaseilla, joiden U-arvo on 0,7.
  - Kaikki ulko-ovet vaihdetaan eristettyihin ulko-oviin, joiden U-arvo on 0,5.
- Alapohjan rakenteet säilytetään.
- Ilmanvaihtojärjestelmä uusitaan tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmäksi lämmöntalteenotolla.

## 9.7 Laskennallinen energiatehokkuus ja korjauskustannukset

Energiatodistukset, energiaselvitykset ja rakenteellinen energiatehokkuus eri energiatehokkuutta parantaville korjausvaihtoehdoille laskettiin voimassa olevien säännösten ja ohjeiden mukaan käyttäen Cadmatic 18 Draw –ohjelman Energialaskenta 2018 -toimintoa. Pinta-aratiedot laskettiin käytettävissä olevien lähtötietojen ja piirustusten perusteella. Energiatehokkuuden paranemisen myötä rakennuksen lämmitysenergian tarve pienenee. E-luvun laskennassa käytettiin C-rakennusten taloa, jossa sijaitsevat huoneistot C29, C30, C31 ja C32. Muiden rakennusryhmien suuremmat talot ovat pohjapiirustukseltaan identtisiä.

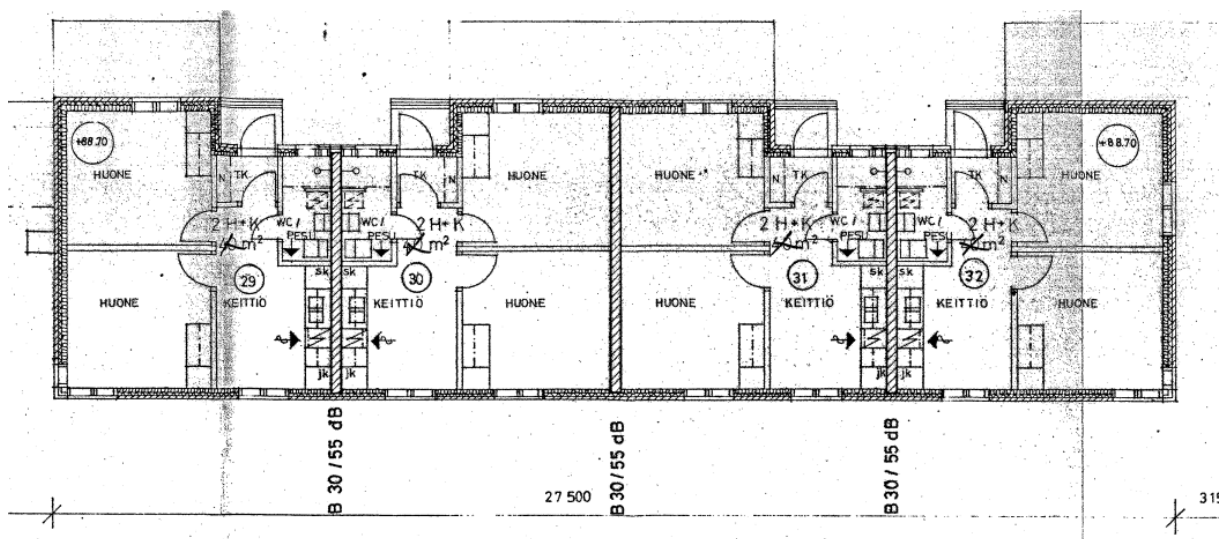
Energiatehokkuuden parantamisen vaikutusta investoinnin kannattavuuteen vertailtiin suoran takaisinmaksun ja nettonykyarvon menetelmillä. Suoran takaisinmaksun menetelmä

ei huomioi korkokuluja tai energian hinnanmuutoksia tarkasteluvälillä. Nettonykyarvolla lasketaan energiakustannussäästöjen nykyarvon sekä lämmityskustannusten nousun ja korkokustannusten kustannuksien nykyarvon erotus. Investointi on kannattava, kun käytetyllä laskentakorolla saatu hankkeen nettonykyarvo on suurempi kuin nolla. Mitä suurempi nykyarvo on, sitä kannattavampi hanke on kyseessä. (Motiva Oy, 2021)

Tarkasteltavan rakennuksen lämmitysjärjestelmänä on kaukolämpö ja se on liitetty Loimua Oy:n kaukolämpöverkkoon. Loimua Oy:n Hämeenlinnan kaukolämmön energiamaksu oli tarkasteluhetkellä 0,0681 €/kWh (Loimua Oy, 2021).

Sähkön siirron hinta Elenia Oy:n sähköverkossa oli kuluvalta kuukaudelta tarkasteluaikana 22.1.2020 keskimäärin 0,1272 €/kWh ja sähkön tarjoushintojen painotettu keskiarvo 0,0711 €/kWh sisältäen sähköveron ja arvonlisäveron (Energiavirasto, 2021). Kotitaloussähkön hintana on laskelmassa käytetty pyöristettyä lukemaa 0,20 €/kWh.

Kuva 41. Energialaskennassa käytetty C-rakennus, kuvankaappaus ARK-kuvasta



### 9.7.1 Lähtötilanne

Rakennuksen laskennallinen energiatehokkuuden vertailuluku, eli E-luku oli 160 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a) Ympäristöministeriön asetusten ja ohjeiden mukaisesti käyttäen tilaajalta saatuja lähtötietoja ja mittoja alkuperäisistä piirustuksista. Vastaavan uuden rakennuksen E-

lukuvaatimus on  $105 \text{ kWh}_E/(\text{m}^2\text{a})$ . Cadmaticilla laskettu energiatodistuksen mukainen energiatehokkuusluokka oli  $D_{2018}$ .

Taulukko 7. C-rakennuksesta lasketun E-luvun laskennan erittely

E-luvun erittely				
Käytettävät energiamuodot	Vakioidulla käytöllä laskettu ostoenergia $\text{kWh}/\text{vuosi}$	Energiamuodon kerroin -	Energiamuodon kertoimella painotettu energiankulutus	
			$\text{kWh}_E/\text{vuosi}$	$\text{kWh}_E/(\text{m}^2\text{vuosi})$
Sähkö	3880	1.2	4656	27.7
Kaukolämpö	44412	0.5	22206	132.2
<b>YHTEENSÄ</b>	<b>48292</b>		<b>26862</b>	<b>160</b>

Vakioidulla käytöllä laskettu lämmitysenergian nettotarve oli kaukolämmön osalta 27672 kWh vuodessa. Nettotarve lasketaan vähentämällä lämmitysenergian tarpeesta rakennukseen tulevan auringon säteilyn energia, poistoilmasta talteen otettu energia ja sisäisten lämpökuormien energia. Lämmitysenergian nettotarve vastaa energiaa, joka tuodaan lämmitysjärjestelmällä tiloihin, tuloilmaan ja käyttöveteen. (Ympäristöministeriö, 2018) Tarkasteltavassa rakennuksessa ei ole poistoilman lämmön talteenottoa ja tilojen sekä käyttöveden lämmitys hoidetaan kaukolämmöllä. Vakioidulla käytöllä lasketun ostoenergian tarve yhteensä oli 48292 kWh vuodessa ja kaukolämmön osuus siitä oli 44412 kWh. Käyttöveden lämmityksen osuus energian nettotarpeesta oli 5880 kWh kaikissa tarkasteluissa.

Taulukko 8. C-rakennuksen alkuperäisen rakennusvaipan lämpöhäviöt

Rakennusvaippa				
Ilmanvuotoluku $q_{50}$	4.8	$\text{m}^3/(\text{hm}^2)$		
	A	U	UxA	Osuus lämpöhäviöistä
	$\text{m}^2$	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	$\text{W}/\text{K}$	%
Ulkoseinät	154	0.23	35	17
Yläpohja	168	0.17	29	14
Alapohja	168	0.4	67	32
Ikkunat	21	2.1	44	21
Ulko-ovet	11	1.4	15	7
Kylmäsilat	-	-	19	9

Alapohjan osuus lämpöhäviöistä oli selkeästi suurin, mutta sen energiatehokkuuden parantaminen olisi huomattavan kallista. Toiseksi eniten lämpöhäviöitä tulee ikkunoista,

joiden lämpöhäviöt olivat laskennallisesti 21 % rakennuksen vaipan lämpöhäviöistä. Seuraavaksi eniten lämpöhäviöitä tuli ulkoseinistä (17 %) ja yläpohjasta (14 %).

Tutkittavien rakennusten ilmanpitävyyttä ja tiiveyttä ei tutkittu kokeellisesti.

Ilmanvuotolukuna käytettiin energiatodistusasetuksen (1048/2017) taulukon 4 mukaista rakennusvuodesta määräytyvää ilmanvuotolukua  $n_{50}$ , joka on 6,0 l/h. Pientaloissa hyväksi katsottu tiiviystaso  $n_{50}$ -luvulla ilmaistuna on 1,0 l/h (Ympäristöministeriö, 2018). Yhden l/h-yksikön ilmanvuotoluvun vähentäminen vähentää lämmitysenergian kulutusta 4-6 % tyypillisessä pientalossa (Kauppinen, 2011, s. 130).

Ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on laitteiston vuodessa talteen ottavan ja hyödynnettävän energian suhde ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemaan energiaan, jos lämmöntalteenottoa ei olisi. Korjaustapojen laskennassa on käytetty 75 % vuosihyötysuhteen A+ ristivirtakennolla toimivaa LTO-konetta, jonka ominaissähköteho (SFP) on 1,0 kW/(m<sup>3</sup>/s), lämpötilasuhde 0,5 ja jäteilman minimilämpötila 5 C astetta. (Ympäristöministeriö, 2018, s. 24)

Takaisinmaksuaika laskettiin Motivan laskurilla, jolla voi laskea yksittäisen energiainvestoinnin nykyarvon ja sisäisen korkokannan sekä suoran takaisinmaksuajan. Kyseessä on Työ- ja elinkeinoministeriön tukema malli energiaparannusinvestoinnin kannattavuuden laskemiseksi. Mitään ohjeellista niin sanottua oikeaa takaisinmaksuaikaa ei ole olemassa, vaan jokaista investointia tulisi tarkastella omilla kriteereillään ja rakennuksen omistajan asettamilla vaatimustasoilla suhteessa takaisinmaksuikaan. (Motiva Oy, 2021) Laskurilla laskettiin suora takaisinmaksuaika ja nettonykyarvo 3 %:n reaalisella laskentakorolla 60 vuoden tarkastelujaksolla. Energianhinnan nousuksi arvioitiin 2 % tarkastelujaksolla. Huolto- ja korjauskustannuksia ei ole huomioitu laskelmassa.

Suora takaisinmaksuaika ei huomioi korkokuluja eikä energian hinnan nousua tarkastelujaksolla. Takaisinmaksuaikaa laskettaessa suunnittelun ja valvonnan osuus kokonaiskustannuksista arvioitiin 10 prosenttiin. Tähän on laskettu mukaan myös hankesuunnittelussa syntyvät suunnittelukustannukset. Hankkeeseen käytettävän rahoituksen korko pidentää todellista takaisinmaksuaikaa erityisesti, jos lainaosuus on suuri.

Kustannuksiin ei ole laskettu vesikaton korjaukseen tai uusimiseen liittyviä kuluja, koska vesikaton korjauksia alettiin tehdä jo heti kuntotutkimuksien jälkeen.

Peruskorjausta suunniteltaessa katsotaan myös rakennusosien teknisiä käyttöiä, jotka on laskettu sillä oletuksella, että rakennusta on huollettu ja käytetty asianmukaisesti. Lautaverhouksen tekninen käyttöikä on 50 vuotta normaalirasituksessa ja sitä pitää huoltaa 5 - 20 vuoden välein. Tiiliverhoukset kestää koko rakennuksen eliniän, kun sen saumoja tarvittaessa huolletaan ja paikataan. Myös ulkoseinän eristeet ja yläpohjan eristeet kestävät käytännössä rakennuksen koko eliniän, kun niitä ei päästetä kastumaan. Profiilipeltikatteen pitäisi kestää 40 vuotta, kun sitä huolto-maalataan 10 – 15 vuoden välein. (RT 18-10922, 2008, s. 6) Kun investoinnin takaisinmaksuaika ylittää rakennusosan teknisen käyttöiän, voidaan perustellusti sanoa, että investointi ei ole kannatta ainakaan taloudellisessa mielessä. Kaikilla peruskorjaustoimenpiteillä ei voida parantaa energiatehokkuutta, mutta ne ovat välttämättömiä rakennuksen rakennusfysikaalisen toimivuuden ja rakenteiden kestävyysnäkökulmasta.

### 9.7.2 Korjaustapa 1

Rakennuksen laskennallinen energiatehokkuuden vertailuluku, eli E-luku oli  $90 \text{ kWh}_E/(\text{m}^2\text{a})$ . Cadmaticilla lasketun energiatodistuksen mukainen energiatehokkuusluokka oli B<sub>2018</sub>.

Taulukko 9. E-luvun laskennan erittely korjaustavassa 1

E-luvun erittely				
Käytettävät energiamuodot	Vakioidulla käytöllä laskettu ostoenergia $\text{kWh}/\text{vuosi}$	Energiamuodon kerroin -	Energiamuodon kertoimella painotettu energiankulutus $\text{kWh}_E/\text{vuosi}$ $\text{kWh}_E/(\text{m}^2\text{vuosi})$	
Sähkö	5213	1.2	6256	37.2
Kaukolämpö	17433	0.5	8717	51.9
<b>YHTEENSÄ</b>	<b>22646</b>		<b>14972</b>	<b>90</b>

Vakioidulla käytöllä lasketun ostoenergian tarve laski 53,1 % tai 25646 kWh vuodessa.

Kaukolämmön ostoenergian tarve pieneni 60,8 % ja vastaavasti sähkön ostoenergian tarve nousi 34,4 % LTO-koneen vaatiman sähkön vuoksi. Sähkönkulutuksen noususta huolimatta ostoenergian tarve laski alle puoleen siitä, mitä se oli ennen korjausta, koska

sähkökulutuksen osuus kokonaisenergiankulutuksesta kaukolämmitteisessä talossa on pieni.

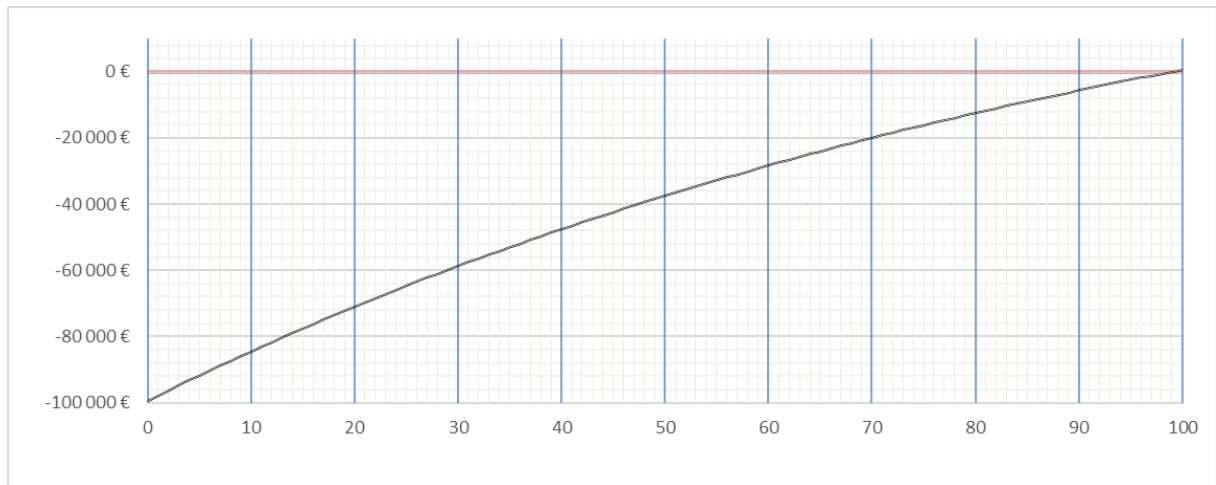
Taulukko 10. Rakennusvaipan lämpöhäviöt korjaustavassa 1

Rakennusvaippa					
Ilmanvuotoluku q50	1	m <sup>2</sup> /(hm <sup>2</sup> )			
	A m <sup>2</sup>	U W/(m <sup>2</sup> K)	UxA W/K	Osuus lämpöhäviöistä %	
Ulkoseinät	154	0.13	20	15	
Yläpohja	168	0.08	13	10	
Alapohja	168	0.4	67	50	
Ikkunat	21	0.7	15	11	
Ulko-ovet	11	0.5	6	5	
Kylmäsilat	-	-	12	9	

Alapohjan osuus lämpöhäviöistä oli korjauksen jälkeen ylivoimaisesti suurin, mutta sen energiatehokkuuden parantaminen olisi huomattavan kallista. Toiseksi eniten lämpöhäviöitä tulee ulkoseinistä, joiden lämpöhäviöt olivat laskennallisesti 15 % rakennuksen vaipan lämpöhäviöistä. Seuraavaksi eniten lämpöhäviöitä tuli ikkunoista (11 %) ja yläpohjasta (10 %). Alapohjan osuus lämpöhäviöistä on näillä korjaustoimenpiteillä jo niin merkittävä, että muiden osien energiatehokkuuden parantaminen ei todennäköisesti enää kannattaisi ilman muutoksia alapohjan rakenteisiin, koska korjauslaajuus on tällä korjaustavalla muutenkin merkittävä.

Tiiliverhouksen purkamisen sisältävä korjausvaihtoehto, jossa kaikki ulkoseinien eristeet vaihdetaan, on erittäin raskas ja kallis korjaustapa. Eristeitä vaihtamalla saadaan parannettua rakennuksen energiatehokkuutta, mutta takaisinmaksuaika venyy ilman korkokustannuksia yli 50 vuoteen. Korjaustavan 1 suora takaisinmaksuaika on 63,17 vuotta. Nettonykyarvomenetelmällä 60 vuoden tarkastelujakson lopussa investoinnista on maksamatta 28 301 euroa, vaikka nettonykyarvo olikin positiivinen. Energian hinnannousu ja rahoituskustannuksen huomioiden investointi on maksanut itsensä takaisin yli 90 vuoden kuluttua.

Kuva 42. Nettonykyarvon kuvaaja korjaustavalla 1



### 9.7.3 Korjaustapa 2

Rakennuksen laskennallinen energiatehokkuuden vertailuluku, eli E-luku oli 114 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a).

Cadmaticilla lasketun energiatodistuksen mukainen energiatehokkuusluokka oli C<sub>2018</sub>.

Taulukko 11. E-luvun laskennan erittely korjaustavassa 2

E-luvun erittely				
Käytettävät energiamuodot	Vakioidulla käytöllä laskettu ostoenergia kWh/vuosi	Energiamuodon kerroin -	Energiamuodon kertoimella painotettu energiankulutus kWh <sub>E</sub> /vuosi kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> vuosi)	
Sähkö	3880	1.2	4656	27.7
Kaukolämpö	28832	0.5	14416	85.8
<b>YHTEENSÄ</b>	<b>32712</b>		<b>19072</b>	<b>114</b>

Vakioidulla käytöllä lasketun ostoenergian tarve laski 32,3 % tai 15580 kWh vuodessa.

Kaukolämmön ostoenergian tarve pieneni 35,1 % ja vastaavasti sähkön ostoenergian tarve pysyi ennallaan.

Taulukko 12. Rakennusvaipan lämpöhäviöt korjaustavassa 2

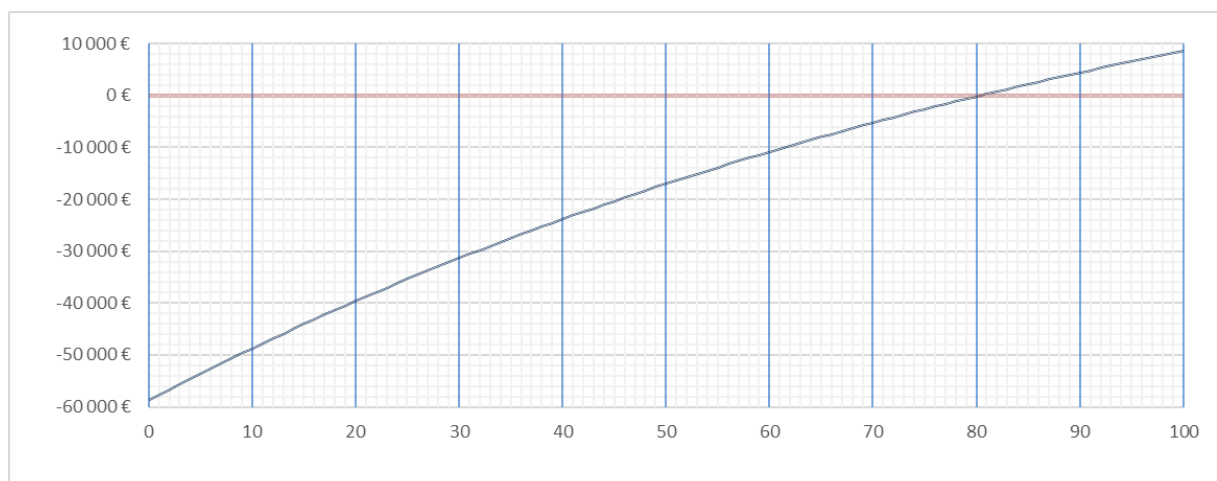
Rakennusvaippa					
Ilmanvuoтолuku q50	1	m <sup>3</sup> /(h·m <sup>2</sup> )			
	A	U	UxA	Osuus lämpöhäviöistä	
	m <sup>2</sup>	W/(m <sup>2</sup> ·K)	W/K	%	
Ulkoseinät	154	0.15	23	17	
Yläpohja	168	0.08	13	10	
Alapohja	168	0.4	67	49	
Ikkunat	21	0.7	15	11	
Ulko-ovet	11	0.5	6	4	
Kylmäsiilat	-	-	12	9	

Alapohjan osuus lämpöhäviöistä oli korjauksen jälkeen edelleen ylivoimaisesti suurin.

Toiseksi eniten lämpöhäviöitä tulee ulkoseinistä, joiden lämpöhäviöt olivat laskennallisesti 17 % rakennuksen vaipan lämpöhäviöistä. Seuraavaksi eniten lämpöhäviöitä tuli ikkunoista (11 %) ja yläpohjasta (10 %). Seinän lämpöhäviön osuus kasvoi vain 2 %. Eroa E-luvuissa suhteessa korjaustapaan 1 kasvatti ilmanvaihto, koska se säilytettiin tässä korjaustavassa painovoimaisena.

Ulkoseinien korjaustapa on kevyempi kuin korjaustavassa 1, mutta sokkelin korjauskustannukset nostavat korjauskustannuksia huomattavan paljon. Eristeitä vaihtamalla saadaan parannettua rakennuksen energiatehokkuutta, mutta takaisinmaksuaika venyy raskaiden peruskorjausten vuoksi ilman korkokustannuksiakin yli 50 vuoteen. Korjaustavan 2 suora takaisinmaksuaika on 55,4 vuotta ja investointia on 60 vuoden tarkastelujakson lopussa maksamatta 10 841 euroa, vaikka nettonykyarvo olikin positiivinen.

Kuva 43. Nettonykyarvon kuvaaja korjaustavalla 2



### 9.7.4 Korjaustapa 3

Rakennuksen laskennallinen energiatehokkuuden vertailuluku, eli E-luku oli  $91 \text{ kWh}_E/(\text{m}^2\text{a})$ .

Cadmaticilla lasketun energiatodistuksen mukainen energiatehokkuusluokka oli B<sub>2018</sub>.

Taulukko 13. E-luvun laskennan erittely korjaustavassa 3

E-luvun erittely				
Käytettävät energiamuodot	Vakioidulla käytöllä laskettu ostoenergia kWh/vuosi	Energiamuodon kerroin -	Energiamuodon kertoimella painotettu energiankulutus	
			kWh <sub>E</sub> /vuosi	kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> vuosi)
Sähkö	5213	1.2	6256	37.2
Kaukolämpö	17968	0.5	8984	53.5
<b>YHTEENSÄ</b>	<b>23181</b>		<b>15240</b>	<b>91</b>

Vakioidulla käytöllä lasketun ostoenergian tarve laski 52 % tai 25111 kWh vuodessa.

Kaukolämmön ostoenergian tarve pieneni 60,8 % ja vastaavasti sähkön ostoeYKnergian tarve nousi 34,4 % LTO-koneen vaatiman sähkön vuoksi. Sähkönkulutuksen noususta huolimatta ostoenergian tarve laski myös korjaustavalla 3 alle puoleen siitä, mitä se oli ennen korjausta, koska sähkönkulutuksen osuus kokonaisenergiankulutuksesta kaukolämpitteisessä talossa on pieni.

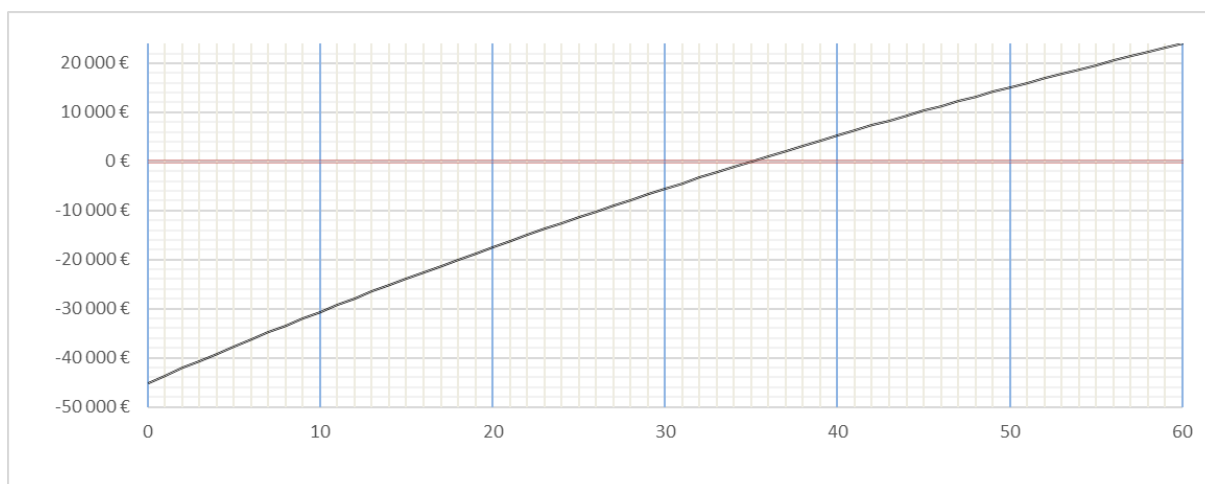
Taulukko 14. Rakennusvaipan lämpöhäviöt korjaustavassa 3

Rakennusvaippa					
Ilmanvuotoluku q50	1	m <sup>3</sup> /(hm <sup>2</sup> )			
	A m <sup>2</sup>	U W/(m <sup>2</sup> K)	UxA W/K	Osuus lämpöhäviöistä %	
Ulkoseinät	154	0.15	23	17	
Yläpohja	168	0.08	13	10	
Alapohja	168	0.4	67	49	
Ikkunat	21	0.7	15	11	
Ulko-ovet	11	0.5	6	4	
Kylmäsilat	-	-	12	9	

Alapohjaan ei tehty muutoksia ja sen osuus lämpöhäviöistä on luonnollisesti suurin. Toiseksi eniten lämpöhäviöitä tulee ulkoseinistä, joiden lämpöhäviöt olivat laskennallisesti 15 % rakennuksen vaipan lämpöhäviöistä. Seuraavaksi eniten lämpöhäviöitä tuli ikkunoista (11 %) ja yläpohjasta (10 %).

Ulkoseinien korjaustapa on sama kuin korjaustavassa 1, mutta sokkelin korjauskustannukset ovat huomattavasti pienemmät, kun arvioitu korjauslaajuus on 10 %. Eristeitä vaihtamalla saadaan parannettua rakennuksen energiatehokkuutta, mutta takaisinmaksuaika venyy raskaiden peruskorjausten vuoksi ilman korkokustannuksia yli 50 vuoteen. Korjaustavan 3 suora takaisinmaksuaika on 29,5 vuotta ja investointi on maksanut itsensä takaisin 36 vuoden kohdalla, kun energian hinta ja korkokulut on huomioitu. Investoinnin lopulliseen kannattavuuteen vaikuttavat vielä tarkastelujaksolla tehtävät huoltotoimenpiteet ja korjauskustannukset. Esimerkiksi ikkunoita tulee kunnostaa tarkastelujaksolla vähintään kerran.

Kuva 44. Nettonykyarvon kuvaaja korjaustavalla 3



## 10 Päätelmät

Korjaustarvetta ja vaurioiden laajuutta selvitettiin kuntotutkimuksilla ennen hankesuunnitteluvaihetta. Rakenne- ja kosteusteknisen kuntotutkimuksen tulosten esittelyn yhteydessä annettiin kiinteistön omistajalle korjaussuosituksia, jotka perustuivat tutkimustuloksiin ja käyttöikä tarkasteluun. Kosteus- tai mikrobivaurion osalta tehtiin lakiin, asetuksiin ja ohjeeseen perustuva arvio altistumisolosuhteista. Tämä arvio vaikuttaa erityisesti korjausten kiireellisyyteen sekä korjaustapojen ja korjauslaajuuden suositukseen. Jos suurimmasta osasta otetuista näytteistä löytyy merkkejä kosteus- ja mikrobivaurioista, suositeltu korjauslaajuus voi kasvattaa kustannusarviota merkittävästi. Kustannusarvion kasvaessa takaisinmaksuaika pitenee ja voidaan olla pisteessä, jossa ennen

takaisinmaksuajan saavuttamista tulisi tehdä uusia rakenteiden normaaliin kulumiseen liittyviä korjauksia.

Korjaussuosituksia antaessa tulisi huomioida uusissa rakenteissa käytettyjen rakennusmateriaalien ominaisuudet ja niiden kestävyys muuttuvassa ilmastossa. Vanhoissa rakennuksissa käytetyt rakennetyypit on suunniteltu kestämaan sään vaikutuksia rakennusaikana käytössä olleen tiedon perusteella. Vaikka ne olisivat kestäneet Suomen ilmastoa kohtuullisesti aikaisemmin, eivät ne välttämättä vastaa tulevaisuuden asettamia vaatimuksia rakenteille nykyisen tiedon valossa. Korjaustapoja puntaroidessa on uusien rakenteiden lisäksi kiinnitettävä huomiota siihen, että säilytettävät rakenteet ovat rakennusfysikaalisesti toimivia myös tulevaisuudessa. Erityisen tärkeää tämä on silloin, kun tehdään kallis investointi, jonka takaisinmaksuaika on pitkä. Siinä tapauksessa ei ole toivottavaa, että kiinteistön omistaja joutuu rahoittamaan toista laajaa peruskorjaushanketta, vaikka edellisen kustannuksia ei ole vielä saatu maksettua.

Korjauskustannuksista aiheutuvaa lovea kiinteistön omistajan lompakkoon voidaan pienentää energiatehokkuutta parantamalla. Energiatehokkuuden parantamista pitää tarkastella kokonaisuutena, jossa kaikki uusitut rakenneosat ja talotekniset järjestelmät toimivat rakennusfysikaalisesti yhdessä. Yksittäiset rakenneosiin kohdistuvat energiaremontit vaativat käytännössä myös muita muutoksia rakenteisiin, jotta kokonaisuudesta saadaan toimiva. Nämä muutokset pidentävät energiatehokkuuden parantamishankkeen takaisinmaksuaikaa.

Yläpohjan lisälämmöneristäminen ja ilmanvaihtojärjestelmän uusiminen ovat helpoimpia tapoja parantaa rakennuksen energiatehokkuutta kohtuullisilla kustannuksilla. Jos yläpohjan lisälämmöneristämisestä halutaan täysi hyöty, pitää ottaa huomioon eristetilan sisäinen konvektio, mikä vähentää sen lämmöneristävyyttä. Käytännössä tämä tarkoittaa esimerkiksi kovan eristelevykerroksen asennusta puhallettavan eristeen pohjalle, jolloin vanhat eristeet pitää ensin poistaa. Pelkällä yläpohjan eristeiden lisäämisellä vanhojen eristeiden päälle ei saavuteta todellisuudessa yhtä suurta energiatehokkuuden paranemista kuin pelkkää energiatodistusta tarkasteltaessa voisi olettaa.

Kosteus- ja mikrobivaurioituneen rakennuksen ilmanvaihdon uusiminen painovoimaisesta ilmanvaihdosta tehokkaaseen nykyaikaiseen LTO-järjestelmään voi pilata sisäilman laadun, jos vaurioituneita rakenneosia ei uusita ja tiivistyskorjaus jää tekemättä.

Ilmanvaihtojärjestelmän uusimisen kustannukset ovat todellisuudessa paljon suurempia kuin pelkästä ilmanvaihtojärjestelmästä suoraan aiheutuvat kustannukset. Rakennusvaipan ilmanpitävyyden parantamisella saavutetaan energiankulutuksen pienentymistä, kosteusvaurioiden vähentymistä ja sisäilmaston paranemista, kun se yhdistetään tasapainotettuun ja riittävään ilmanvaihtolaitteistoon.

Ulkoseinien lisälämmöneristäminen joko rakenteita uusimalla tai sisäkautta lämmöneristettä lisäämällä ovat suhteessa kalliimpia tapoja parantaa energiatehokkuutta, mutta siitä voi kosteus- ja mikrobivaurioituneita rakenteita korjattaessa olla muuta hyötyä. Ulkoseinien lisäeristämisen yhteydessä voidaan helposti uusita tai tiivistää seinän höyrynsulku ja sen liittymät, eli siihen liittyy paljon samoja työvaiheita, joita tiivistämiskorjaus vaatii. Samalla voidaan arvioida seinärakenteen kuntoa myös niistä paikoista, mihin kuntotutkimuksia ei ole tehty. Seinärakenteen massiivinen purkaminen ja rakenteiden uusiminen ei ole pelkästään taloudellisessa mielessä kannattavaa, koska ulkoseinien lämmönjohtavuuden vaikutus lämmityskustannuksiin ei ole tarpeeksi suuri. Jos rakenteita purettaessa havaitaan, että vaurioita on suuressa osassa ulkoseinärakenteita, voi niiden uusiminen kuitenkin tulla kysymykseen.

Ikkunoiden ja ovien pinta-ala on pieni osa tavanomaisen asuinrakennuksen rakennusvaipan pinta-alasta. Energiatodistuksessa ikkunoiden vaihtamisella saatiin todellisuutta suurempi vaikutus, koska vuonna 1988 valmistuneen esimerkkikohteen ikkunoiden U-arvona käytettiin taulukoitua U-arvoa 2,0. Esimerkkikohteessa 1980-luvun ikkunoiden vaihtaminen MSE 2+2 ikkunoihin, joiden U-arvo on 0,7, maksoi 63 €/m<sup>2</sup>. Vertailun vuoksi esimerkiksi yläpohjan lisälämmöneristäminen maksoi 17 €/m<sup>2</sup>.

Alustavassa suunnittelussa vertailtiin eri rakennetyyppejä ja valesokkelirakenteen korjaustapoja. Kohteessa oli useita rakenteiden kosteustekniseen toimintaan vaikuttavia puutteita, joita korjattaessa ei voida parantaa rakennuksen energiatehokkuutta. Korjauskustannukset olivat suuria jokaisella korjaustavalla ja eniten toteutuviin korjauskustannuksiin tulee vaikuttamaan valesokkelirakenteen vaurioiden korjausten

laajuus. Maanpinnan muotoiluun ja kohteessa tehtäviin muihin maanrakennustöihin kuluu myös suuri osa budjetista, mutta nämä ovat välttämättömiä toimenpiteitä, kun perustusten kosteusrasitusta halutaan pienentää.

Korjaustapoja tarkasteltaessa huomattiin, että suositelluista korjauksista aiheutuvia kustannuksia ei saatu kuoletettua järkevällä takaisinmaksuajalla yhdelläkään korjaustavalla. Jokaisella korjaustavalla takaisinmaksuaika venyi yli monien rakennusosien teknisen käyttöiän, mikä entisestään pidentää todellista takaisinmaksuaikaa. Nettonykyarvo oli kaikilla korjaustavoilla positiivinen ja vaihteli välillä 598 – 23 991 euroa. Kannattavimmalla korjaustavalla 3 vaatisi yli 36 vuoden teknistä käyttöikää korjatuille rakenneosille ja ilmanvaihtojärjestelmälle, jotta investointi olisi kannattava. Tämä ei ole realistista. Energian hinnannousun ja rahoituskulut huomioiden investointi ei siis todennäköisesti olisi kannattava. Positiivinen nettonykyarvo ei siis riitä energiatehokkuusinvestointeja laskettaessa, vaan huomioon pitää aina ottaa rakenneosien tekniset käyttöiät, jotka määrittävät investoinnin suurimman mahdollisen pitoajan.

Tilojen muutosmahdollisuuksia tai niiden tuomia tuottoja ei tarkasteltu tässä opinnäytetyössä. Tilamuutoksilla voitaisiin parantaa asuntojen käyttöastetta ja saada lisää vuokratuloja suhteessa vuokrattuihin neliöihin. Tilanjakoa kannattaa tarkastella yhdessä energiatehokkuuden parantamisen kanssa, jos rakennuksia päädytään korjaamaan suositellussa laajuudessa. Jos valesokkelirakenne vaatii kokonaisuudessaan raskasta korjaustapaa ja se pitää uusia täysin, voi halvempi vaihtoehto olla rakennusten purkaminen ja uusien helpommin vuokrattavien tilojen rakentaminen. Tätä vertailua ei tehty tässä opinnäytetyössä.

Peruskorjaustarpeilla, rakenteiden vaurioiden korjaustarpeella, energiatehokkuuden parantamisella ja tilamuutostarpeilla on paljon päällekkäisyyksiä sekä erilaisia vaikutuksia korjausinvestoinnin kannattavuuteen tässä kiinteistössä. Suunnitellun korjaustarpeen ollessa näin merkittävä, on erittäin tärkeää, että nämä kaikki tarpeet sekä niiden asettamat vaatimukset saadaan hankesuunnitteluvaiheessa sovitettua yhteen. Näin minimoidaan takaisinmaksuaika, saadaan rakennusfysikaalisesti toimivat rakennukset ja lisätään asuntojen vuokratuottopotentiaalia pitkälle tulevaisuuteen.

## Lähteet

- Boström, S.;Uotila, U.;Linne, S.;Hilliaho, K.;& Lahdensivu, J. (2012). *Erilaisten korjaustoimien vaikutuksia lähiökerrostalojen todelliseen energiankulutukseen*. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos.  
[https://tutcris.tut.fi/portal/files/1220328/bostrom\\_erilaisten\\_korjaustoimien\\_vaiikutuksia\\_lahiokerrostalojen.pdf](https://tutcris.tut.fi/portal/files/1220328/bostrom_erilaisten_korjaustoimien_vaiikutuksia_lahiokerrostalojen.pdf)
- Energiavirasto. (22. Tammikuu 2021). *Sähkön hintatilastot, verkonhaltijakohtaiset keskihinnat kuluvalta kuukaudelta*.  
<https://energiavirasto.fi/sahkon-hintatilastot>
- FISE. (18. Tammikuu 2021). *Energiatodistuksen laatija*.  
<https://fise.fi/patevyyspalvelu/hae-patevyytta/energia-ja-kuntoasiantuntijat/energiatodistuksen-laatija/>
- Gann Mess- U. Regeltechnik GMBH. (2020). Käyttöohje. *Gann Hydromette Compact B*. Suomi.
- Hämeenlinnan seudun opiskelija-asuntosäätiö. (12. Tammikuu 2021). *HOPS - Ajankohtaista*.  
<http://www.hops.fi/etusivu>
- Jylhä, E. K. (2020). *Seminaariesitys 5.11.2020 (Teams)*. (Ilmatieteenlaitos, Esiintyjä)  
<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/rakennettu-ymparisto-hanke>
- Jylhä, K.;Ruosteenoja, K.;Böök, H.;Lindfors, A. P.;Laapas, M.;& Antti, M. (15. Tammikuu 2020). *Ilmatieteenlaitos*. Noudettu osoitteesta Rakennusten energialaskennan ilmastolliset testivuodet: <http://ilmatieteenlaitos.fi/rakennusten-energialaskennan-testivuosi>
- Kattoliitto Ry. (2019). *Toimivat katot 2019*. Vaasa: Kattoliitto Ry.  
[https://www.kattoliitto.fi/wp-content/uploads/pdf/Toimivat\\_katot\\_2019\\_nettti.pdf](https://www.kattoliitto.fi/wp-content/uploads/pdf/Toimivat_katot_2019_nettti.pdf)
- Kauppinen, T. (2011). Rakennusten ilmanpitävyys. *Rakentajan kalenteri*, 123 - 131.  
[http://kosteusvauriokorjaus.savonia.fi/jdownloads/Muut%20julkaisut/Rakentajain%20kalenteri/Rakennnusten\\_ilmanpitavyys\\_-\\_Kauppinen\\_2011.pdf](http://kosteusvauriokorjaus.savonia.fi/jdownloads/Muut%20julkaisut/Rakentajain%20kalenteri/Rakennnusten_ilmanpitavyys_-_Kauppinen_2011.pdf)
- Laki rakennuksen energiatodistuksesta 50/2013*. (2013).  
<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130050>
- Lamox Oy. (8. Huhtikuu 2015). *VSP Valesokkelipalkki*. Suunnittelu- ja asennusohje:  
<https://lamox.fi/wp-content/uploads/2015/09/385-VSP-suunnittelu-ja-asennusohjeet-1.pdf>

Loimua Oy. (22. Tammikuu 2021). *Loimua, Kaukolämmön hinnat ja ehdot.*

<https://www.loimua.fi/hinnat-ja-ehdot/>

Mittaviiva Oy. (2020). *KOR 2020, Korjausrakentamisen kustannuksia.* Helsinki: Rakennustieto Oy.

Mittaviiva Oy. (2020). *ROK 2020, Rakennusosien kustannuksia.* Helsinki: Rakennustieto Oy.

Motiva Oy. (27. Tammikuu 2021). *Laskentatyökalu energiatehokkuustoimien taloudellisen kannattavuuden tarkasteluun.*

[https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiakatselmustoiminta/tem\\_n\\_tukemat\\_energia\\_katselmukset/laskentatyokalu\\_energiatehokkuustoimien\\_taloudellisen\\_kannattavuuden\\_tarkasteluun](https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiakatselmustoiminta/tem_n_tukemat_energia_katselmukset/laskentatyokalu_energiatehokkuustoimien_taloudellisen_kannattavuuden_tarkasteluun)

Pitkäranta, M. (2016). *Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus.* Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto.

RIL 250-2020. (2020). *Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen.* Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RIL 255-1-2014. (2014). *Rakennusfysiikka I.* Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

RIL 261-2013. (2013). *Routasuojaus - rakennukset ja infrarakenteet.* Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RT 103098. (2019). *Kiinteistön kuntoarvio, kuntoluokan määrytyminen.* Helsinki: Rakennustieto Oy.

<https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%20103098>

RT 14-10984. (2010). *Betonin suhteellisen kosteuden mittaus.* Helsinki: Rakennustieto Oy.

<https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2014-10984>

RT 18-10922. (2008). *Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot.* Helsinki: Rakennustieto Oy.

<https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2018-10922>

RT 38534. (2014). *Valesokkelin korjausmenetelmä.* Rakennustieto Oy / Lamox Oy.

<https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2038534>

RT 38964. (2018). *RST-valesokkelikenkä.* Rakennustieto Oy / Transpordix OÜ.

<https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2038964>

RT 81-11000. (2010). *Rakennuspohjan ja tonttialueen kuivatus.* Helsinki: Rakennustieto Oy.

<https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2081-11000>

RT 84-10818. (2004). *Putkistojen ja kanavien kannakointi*. Helsinki: Rakennustieto Oy.

<https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2084-10818>

RT-38803. (Elokuu 2016). *Polarvilla-puukuitueriste*. Helsinki: Rakennustieto Oy.

[https://www.rttuotetieto.fi/pub/media/resources/37825\\_RT-tuotekortti\\_38803.pdf](https://www.rttuotetieto.fi/pub/media/resources/37825_RT-tuotekortti_38803.pdf)

Siikanen, U. (2014). *Rakenusfysiikka, Perusteet ja sovelluksia*. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Sisäilmasepät Oy. (20. Tammikuu 2021). *Sisäilmasepät - Ratkaisu valesokkelirakenteiden korjauksiin*. <https://www.sisailmasepat.fi/>

Sisäilmayhdistys ry. (19. Tammikuu 2021). *Terveelliset tilat*. Noudettu osoitteesta

Rakenteiden kuivattaminen: <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kunnossapito-ja-korjaaminen/Purku-kuivaus-ja-puhdistus/Rakenteiden-kuivattaminen>

Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuoleisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista 545/2015. (2015). *Sosiaali- ja terveysministeriö*.

<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150545>

Terveydensuojelulaki 763/1994. (1994). *Sosiaali- ja terveysministeriö*.

<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1994/19940763>

Vaisala Oyj. (2015). Käyttöohje: SHM40 kosteusmittalaitepaketti. *Rakenteiden kosteusmittalaitepaketti SHM40*. Helsinki.

Valvira. (16. Lokakuu 2020). Ohje 7/2020. *Ohje asunnon terveyshaitan selvittämismenettelyyn*. Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto.

<https://www.valvira.fi/-/ohje-asunnon-terveyshaitan-selvittamismenettelyyn>

Valvira, Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto. (2016). Asumisterveysasetuksen soveltamisohje. *Osa I - V, pykälät 1 - 21*. Valvira.

[www.valvira.fi/-/asumisterveysasetuksen-soveltamisohje-1](http://www.valvira.fi/-/asumisterveysasetuksen-soveltamisohje-1)

Weijo, I.;Lahdensivu, J.;Turunen, T.;Ahola, S.;Sistonen, E.;Vornanen-Winqvist, C.;& Annala, P. (2019). *Kosteus- ja mikrobivaurioituneiden rakennusten korjaus*. Vantaa:

Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto.

Vinha, J.;& Kivioja, H. (2017). Rakennusfysiikka 2017 Osa 1. *Uusimmat tutkimustulokset ja hyvät käytännön ratkaisut* (ss. 1 - 368). Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikka, Rakennusfysiikka.

Vinha, J.;& Raunima, T. (2019). *Uusimmat tutkimustulokset ja hyvät käytännön ratkaisut, Osa 1* (ss. 1 - 338). Tampere: Tampereen yliopisto, Rakennustekniikka ja rakennusfysiikka.

VTT / TTY. (n.d.). *Tampereen yliopiston rakennusfysiikan tutkimusryhmä*. Noudettu osoitteesta Suomalainen homemalli:

<https://research.tuni.fi/rakennusfysiikka/suomalainen-homemalli/>

Ympäristöministeriö. (2018). *Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, Ohjeet 2018*.

[https://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/Ohje\\_Rakennuksen\\_energiankulutuksen\\_ja\\_lammitystehontarpeen\\_laskenta\\_20-12-2017.pdf](https://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/Ohje_Rakennuksen_energiankulutuksen_ja_lammitystehontarpeen_laskenta_20-12-2017.pdf)

Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä 4/13. (2013). Helsinki.

<http://www.finlex.fi/fi/viranomaiset/normi/700001/43242>

Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 1048/2017. (2017).

[www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171048](http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171048)

Ympäristöministeriön asetus rakennuksissa käytettäien energiamuotojen kertoimien lukuarvoista 788/2017. (2017).

<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170788>

Ympäristöministeriön asetus rakennusten vesi- ja viemärlaitteistosta 1047/2017. (2017).

<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171047>

## Toimenpiteen taloudellinen kannattavuus korjaustavalla 1



## TOIMENPITEEN TALOUDELLINEN KANNATTAVUUS

TOIMENPIDE:	Korjaustapa 1
PÄIVÄMÄÄRÄ/TEKIJÄ:	Aaro Kivelä 22.1.2021

## LASKENTA-ARVOT

Tarkasteluaika	100 a
Reaalinen laskentakorko	3,0 %

## TOIMENPITEEN SÄÄSTÖVAIKUTUKSET

Kaukolämpö	Energian säästö	27,0 MWh/a
	Yksikköhinta	68,0 €/MWh
	Energian hinnan nousu	2,0 %/a
Sähkö	Energian säästö	-1,3 MWh/a
	Yksikköhinta	200,0 €/MWh
	Energianhinnan nousu	2,0 %/a
Energialaji 3	Energian säästö	MWh/a
	Yksikköhinta	€/MWh
	Energianhinnan nousu	%/a
Vesi	Veden säästö	m <sup>3</sup> /a
	Yksikköhinta	€/m <sup>3</sup>
	Veden hinnan nousu	%/a
Muut kuin energiaan liittyvät säästöt vuodessa	Summa	€/a

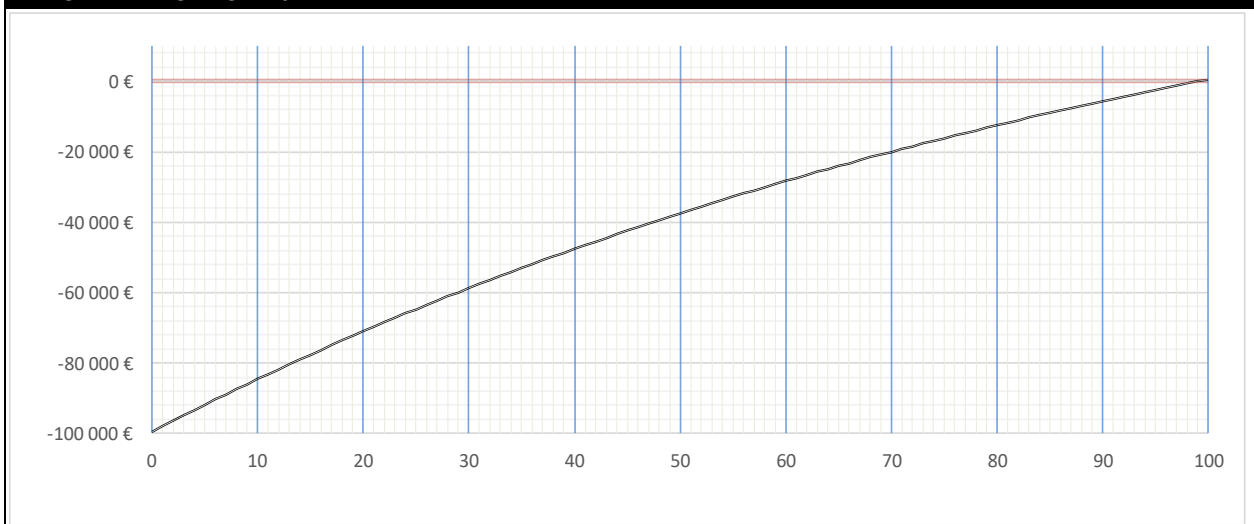
## TOIMENPITEEN KUSTANNUKSET

Investoinnin suuruus	99 466 €
Huolto- ja korjauskustannukset vuosittain	0 €/a
Kertaluonteinen huolto- ja korjauskustannus	€/a
Huolto- ja korjauskustannuksen toteutusvuosi	a

## TALOUDELLISET TUNNUSLUVUT LASKENNAN TULOKSENA

Energia- ja vesikustannusten nettosäästöt vuodessa	1 575 €/a
Toimenpiteen nettosäästö vuodessa	1 575 €/a
Suora takaisinmaksuaika	63,17 a
Nettonykyarvo	598 €
Sisäinen korkokanta	3,01 %

## NETTONYKYARVON KUVAAJA



## Toimenpiteen taloudellinen kannattavuus korjaustavalla 2



## TOIMENPITEEN TALOUDELLINEN KANNATTAVUUS

TOIMENPIDE:	Korjaustapa 2
PÄIVÄMÄÄRÄ/TEKIJÄ:	Aaro Kivelä 22.1.2021

## LASKENTA-ARVOT

Tarkastelu aika	100 a
Reaalin laskentakorko	3,0 %

## TOIMENPITEEN SÄÄSTÖVAIKUTUKSET

Kaukolämpö	Energian säästö	15,6 MWh/a
	Yksikköhinta	68,0 €/MWh
	Energian hinnan nousu	2,0 %/a
Sähkö	Energian säästö	MWh/a
	Yksikköhinta	€/MWh
	Energianhinnan nousu	%/a
Energialaji 3	Energian säästö	MWh/a
	Yksikköhinta	€/MWh
	Energianhinnan nousu	%/a
Vesi	Veden säästö	m <sup>3</sup> /a
	Yksikköhinta	€/m <sup>3</sup>
	Veden hinnan nousu	%/a
Muut kuin energiaan liittyvät säästöt vuodessa	Summa	€/a

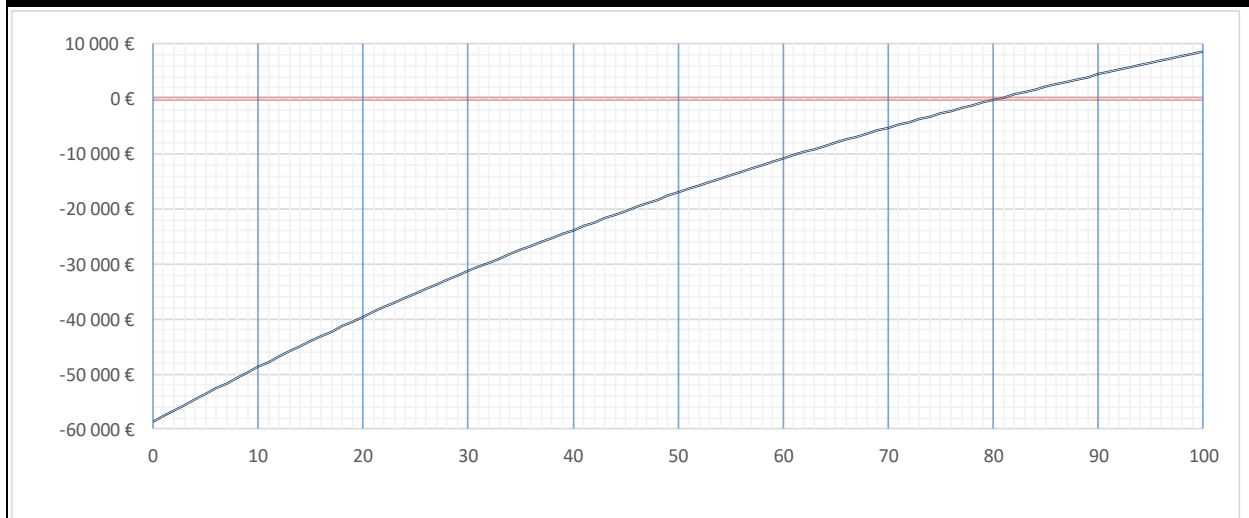
## TOIMENPITEEN KUSTANNUKSET

Investoinnin suuruus	58 785 €
Huolto- ja korjauskustannukset vuosittain	0 €/a
Kertaluonteinen huolto- ja korjauskustannus	€/a
Huolto- ja korjauskustannuksen toteutusvuosi	a

## TALOUDELLISET TUNNUSLUVUT LASKENNAN TULOKSENA

Energia- ja vesikustannusten nettosäästöt vuodessa	1 061 €/a
Toimenpiteen nettosäästö vuodessa	1 061 €/a
Suora takaisinmaksuaika	55,42 a
Nettonykyarvo	8 629 €
Sisäinen korkokanta	3,34 %

## NETTONYKYARVON KUVAAJA



## Toimenpiteen taloudellinen kannattavuus korjaustavalla 3



## TOIMENPITEEN TALOUDELLINEN KANNATTAVUUS

TOIMENPIDE:	Korjaustapa 3
PÄIVÄMÄÄRÄ/TEKIJÄ:	Aaro Kivelä 22.1.2021

## LASKENTA-ARVOT

Tarkastelu aika	60 a
Reaalin laskentakorko	3,0 %

## TOIMENPITEEN SÄÄSTÖVAIKUTUKSET

Kaukolämpö	Energian säästö	26,4 MWh/a
	Yksikköhinta	68,0 €/MWh
	Energian hinnan nousu	2,0 %/a
Sähkö	Energian säästö	-1,3 MWh/a
	Yksikköhinta	200,0 €/MWh
	Energianhinnan nousu	2,0 %/a
Energialaji 3	Energian säästö	MWh/a
	Yksikköhinta	€/MWh
	Energianhinnan nousu	%/a
Vesi	Veden säästö	m³/a
	Yksikköhinta	€/m³
	Veden hinnan nousu	%/a
Muut kuin energiaan liittyvät säästöt vuodessa	Summa	€/a

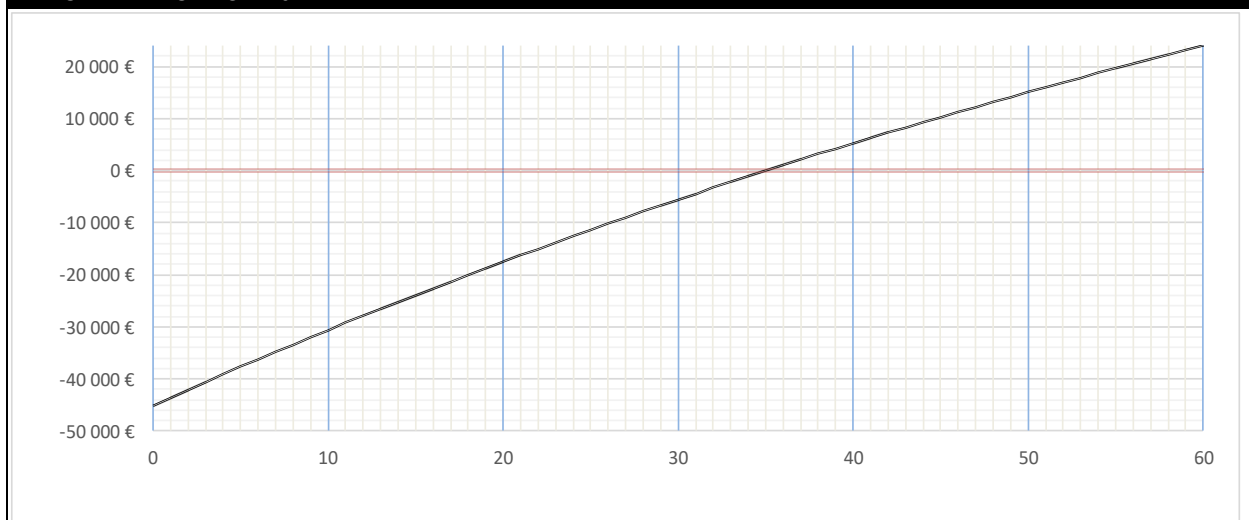
## TOIMENPITEEN KUSTANNUKSET

Investoinnin suuruus	45 123 €
Huolto- ja korjauskustannukset vuosittain	0 €/a
Kertaluonteinen huolto- ja korjauskustannus	€/a
Huolto- ja korjauskustannuksen toteutusvuosi	a


## TALOUDELLISET TUNNUSLUVUT LASKENNAN TULOKSENA

Energia- ja vesikustannusten nettosäästöt vuodessa	1 529 €/a
Toimenpiteen nettosäästö vuodessa	1 529 €/a
Suora takaisinmaksuaika	29,51 a
Nettonykyarvo	23 991 €
Sisäinen korkokanta	4,76 %

## NETTONYKYARVON KUVAAJA

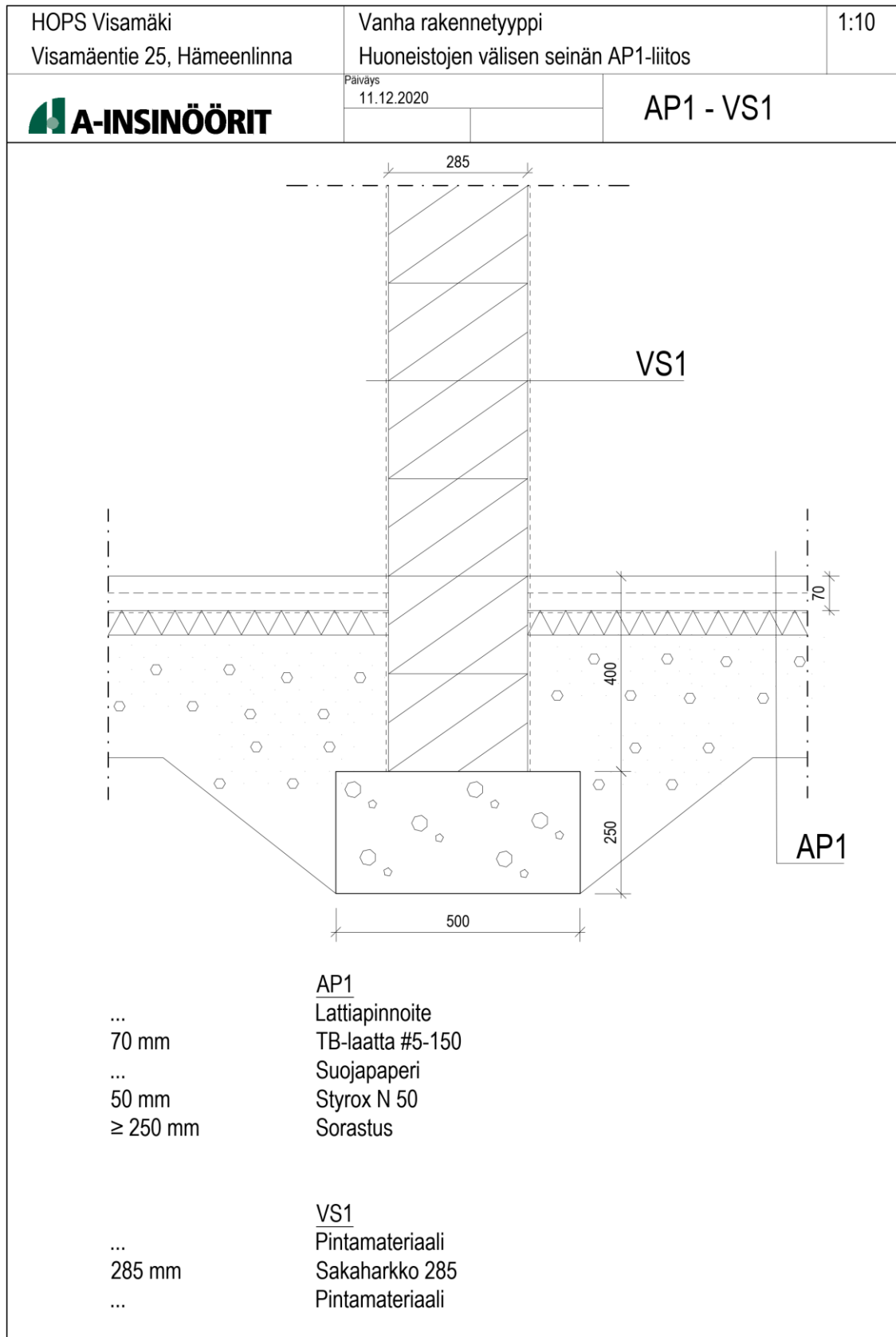



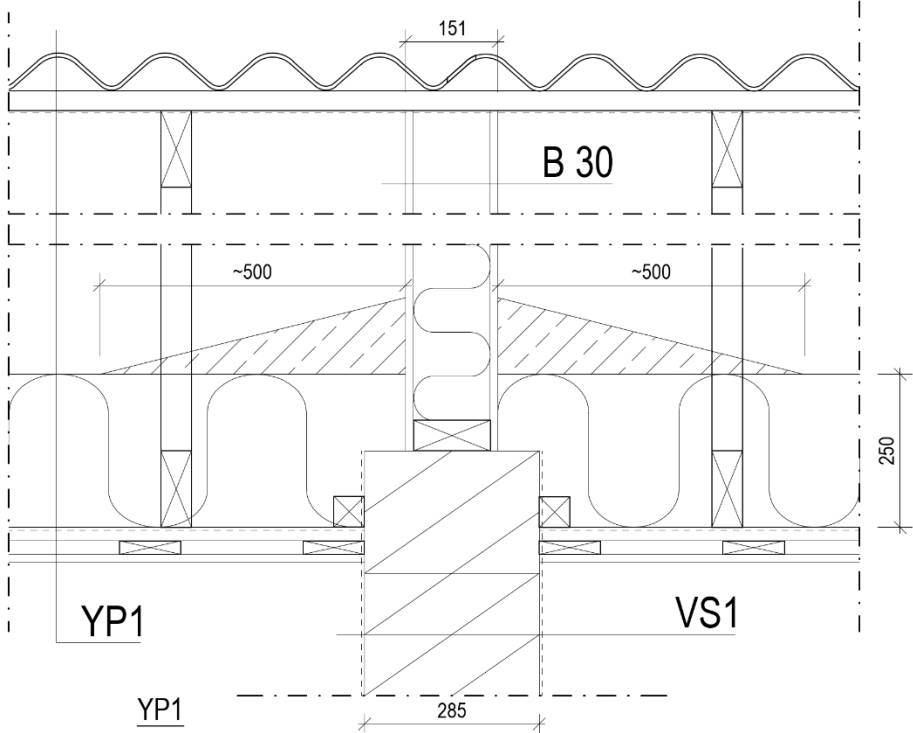
## Korjaustapojen kannattavuuslaskennassa käytetyt tiedot

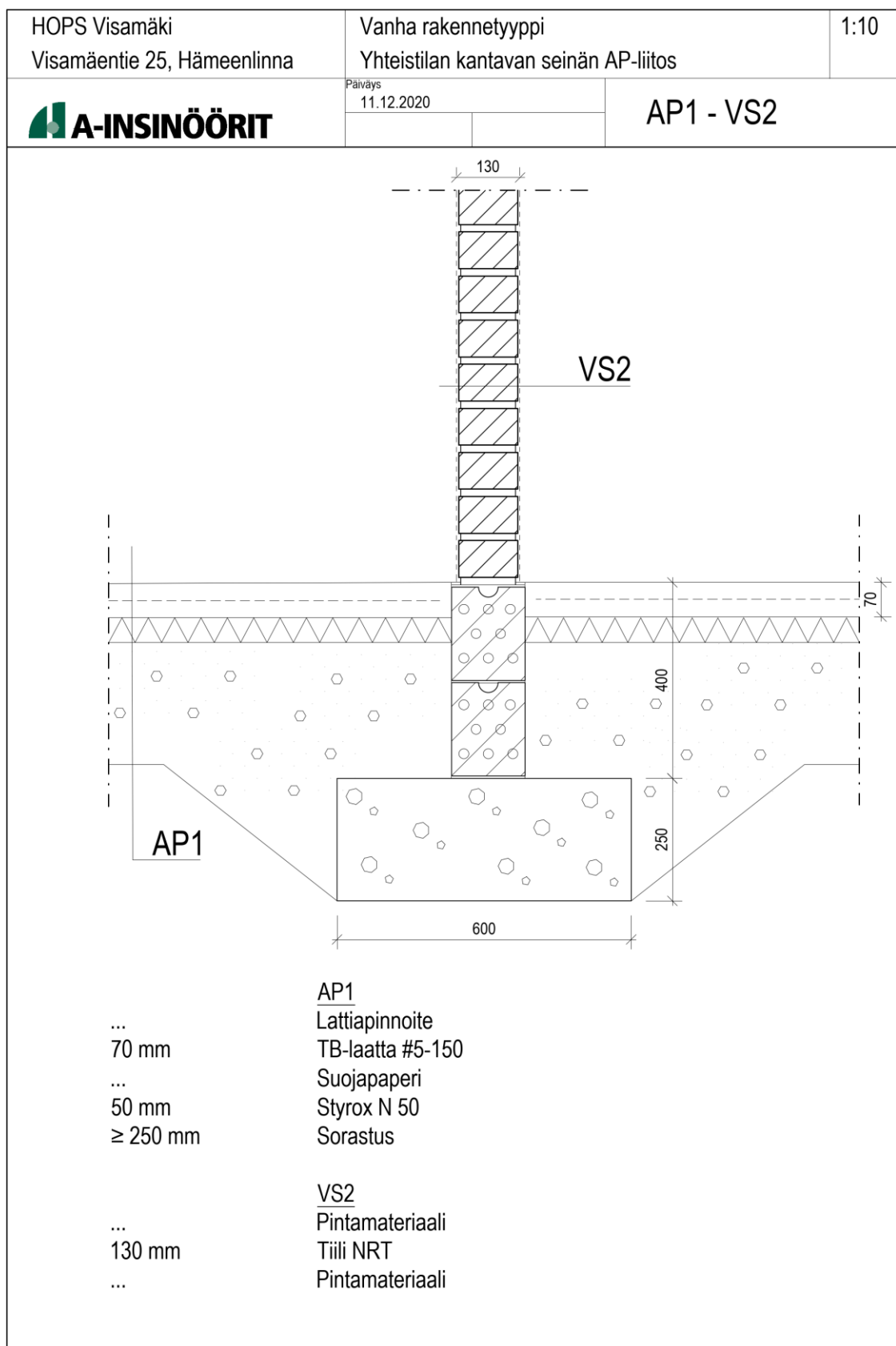
<b>HOPS Visamäentie 25, C-talo</b> 				Sähkö [kWh]	Kaukolämpö	Yhteensä					
				Ostoenergia / a	3880	44412,000	48292,00				
				Hinta / kWh	0,2	0,068	0,27				
				Yhteensä [€]	776	3024,457	3800,46 €/a				
							22,621769 €/m²a				
				Työn hinta		35 e/tth					
				Kengitys		7,1 tth/jm					
				Suunnittelu ja valvonta		10 %					
Kustannukset eri korjaustavoilla (suunnittelu ja valvonta laskettu):											
				Neliöhinta		YHTEENSÄ			C-Rakennuksen mitat:		
Korjaustapa 1		592 e/m2		99466	euroa				Liikuntasaumat	4	jm
Korjaustapa 2		350 e/m2		58785	euroa				Rakennuksen laajuus	168	m²
Korjaustapa 3		269 e/m2		45123	euroa				Sokkeli	72	jm
									Yläpohja	168	m²
Routaeristys, salaojat ja sadevesijärjestelmät		82 e/m2		15099	euroa				Ulkoseinät	154	m²
LTO-järjestelmä: Laitteet ja kanavat		57 e/m2		9591	euroa				Ikkunat	17	kpl
Yläpohjan lisälämmöneristys, osittainen purku		17 e/m2		2796	euroa				Ulko-ovet	4	kpl
Pelkkä tiivistyskorjaus seinäliittymiin		42 e/m2		7095	euroa				Talon kulmat	12	kpl
Sokkelin kengitys tyypillisesti eri vaurioasteilla ja korjaustavoilla		257-514 e/m2		n. 600-1200	e/jm				Huonekorkeus	2,5	m
Ikkunoiden vaihto MSE 2+2 U=0,7		63 e/m2		10609	euroa						
Lämmityskustannukset standardikäytöllä E-luvun mukaan											
		Sähkö	Kaukolämpö	Ostoenergian kustannus tarkasteluvuodella, vrt. kulutus ilman korjauksia							
		kWh/vuosi	kWh/vuosi	T+1 vuosi [€]	Erotus	15 vuotta [€]	Erotus	30 vuotta	Erotus	50 vuotta	Erotus
Korjaustapa 1, E=90		5213	17433	2230	-1571	33446,8095	-23560,05	66894	-47120	111489,4	-78533,5
Korjaustapa 2, E=114		3880	28832	2739	-1061	41091,888	-15914,97	82184	-31830	136973	-53049,9
Korjaustapa 3, E=91		5213	17968	2266	-1534	33993,312	-23013,55	67987	-46027	113311	-76711,8
Nykytilanne ennen muutoksia, E=160		3880	44412	3800		57006,858		114014		190022,9	


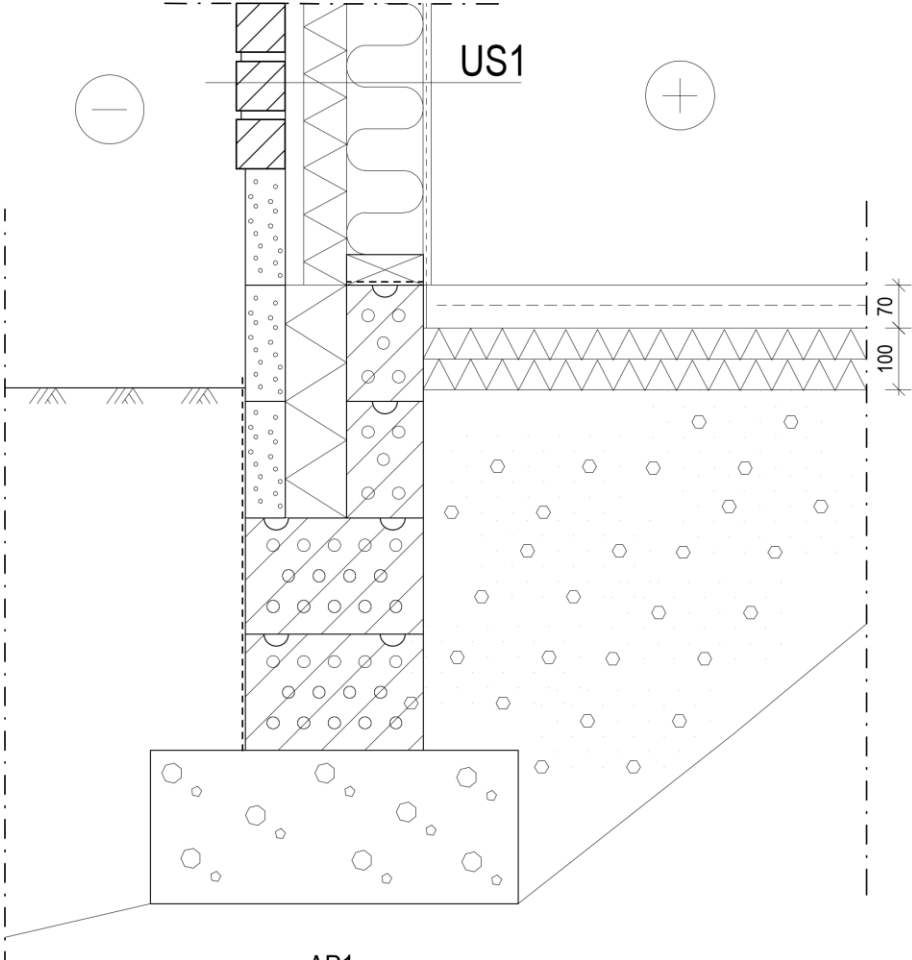
		Kaikissa korjaustavoissa: Perustusten kuivatus, sadevesijärjestelmä ja routaeristys									
Talo 2000	Lähde	Nimike	Määrä	Yksikkö	Materiaali €/yks.	Työ €/yks.	Lisäkerroin	1 €/yks	ALV 0%	Euroa	
121 KOR s.32		Betonisokkelin korjaus (sis. Pinnan puhdistus, rappaus ja maalaus)	72	jm	11,22	16,13	1	27,35	1969,2		
121 KOR s.29		Perusmuurilevy, reunalista ja naulauslevy	72	jm	4,08	3,24	1	7,32	527,04		
121 KOR s.31		Routasuojaus 50+50 mm, salaoja, sepelitäyttö (ei sis. Maa-ainesten kuljetusta)	72	jm	44,2	12,15	1	56,35	4057,2		
111 KOR s.22		Perusvesien kokoajakaivon asennus (ei sis. maankaivua)	1	kpl	538,4	37,9	1	576,3	576,3		
111 KOR s.112		Salaojakaivo	4	kpl	61,3	0	1	61,3	245,2		
11 KOR s.22		Sadevesikaivon uusiminen	1	kpl	984	162,25	1	1146,25	1146,25		
111 KOR s.22		Sadevesiviemäriputkiston uusiminen	100	jm	28,39	20,5	1	48,89	4889		
252 KOR s. 112		Rännikaivo sadevesille	6	kpl	16,84	32,11	1	48,95	293,7		
11 KOR s.24		Pensaiden siirto ja takaisin istutus	2	kpl		11,01	1	11,01	22,02		
								YHTEENSÄ	13725,91 euroa		
									81,70185 euroa/m2		
		Korjaustapa 1: Termotuotteella teräskengitetty puuverhottu sokkelirakenne U-U51									
Talo 2000	Lähde	Nimike	Määrä	Yksikkö	Materiaali €/yks.	Työ €/yks.	Lisäkerroin	1 €/yks	ALV 0%	Euroa	
131 KOR s.68		Tiiliseinän purku piikkaamalla	154	m2		30,04	1	30,04	4626,16		
ROK s. 79		Kattolevytyksen purku	168	m2		9,24	1	9,24	1552,32		
131 KOR s.68		Kevyen palo-osastoivan levyseinän purku (yläpohja)	15,5	m2		16,5	1	16,5	255,75		
123 KOR s.38		Ulkoseinän lämmöneristekerroksen purku	154	m2		5,61	1	5,61	863,94		
131 KOR s.68		Seinän alaosan rungon purkutytöt	72	m2		16,5	1	16,5	1188		
133 KOR s.113		Mikrobivaurioituneen jätteen pussitus ja kuljetus	2	erä		200	1	200	400		
123 KOR s.39		Kevytsojarahkko H-75 kuoriharkon päälle muurattuna H-75 harkko, ohutsaumamuuraus, teräs 8 mm 1,0 kg, muurausside 4 mm	72	jm	4,79	6,62	1	11,41	821,52		
1241 ROK s.148		Ulkoverhouslaudoitus, vaakaponttilaudoitus 28 mm, ristiinkoalaus 25x100 mm	154	m2	19,48	16,35	1	35,83	5517,82		
1262 ROK s.161		Lintueste/pieneläinverkko	72	jm	4,08	0	1	4,08	293,76		
126 ROK s.66		Pelti, myrskypelti sokkelin päälle 150 mm	72	jm	13,75	5,53	1	19,28	1388,16		
124 ROK s.103		U-U51-seinärakenne: ulkoseinän uudet eristeet	72	jm	121,224	8,43	1	129,654	9335,088		
		Polyuretaani runkolevy 100 mm	2,8	m2/jm	49,84	2,2					
		Polyuretaani runkoon 70 mm	2,8	m2/jm	53,2	2,2					
		ROK s. 71 Kivivillaeriste tms. 50-55 mm ääntä ja paloa eristävä eriste	2,8	m2/jm	16,604	4,03					
		hinnasto Polyuretaanivaahdotus / tuotevalmistajan ohje	1	jm	1,58						
1232 ROK s.67		Seinälevytys 1-kertainen 13 mm	154	m2	4,22	7,65	1	11,87	1827,98		
123 hinnasto		Sokkelin kengitys Termopalkilla ja teräskengillä	72	jm	188,9	248,5	1	437,4	31492,8		
		Termopalkki-125 1100mm	1	jm	31,3						
		Termokenkä 125mm T125	1	jm	27,7						
		Kiinnitystarvikkeet: Asennussarja, poraruuvit ym.	1	jm	2,9						
		Termopalkki VSP125	26	kpl	127		1	127	3302		
124 KOR s.106		ikkunan purku 12x12M, MSE 2+2 asennus, listoitus, tiivistys U=0,8	17	kpl	477,07	90,25	1	567,32	9644,44		
124 KOR s.56		Ulko-oven purku	4	kpl		20,13	1	24,13	96,52		
124 ROK s.158		Ulko-ovi, paneeliovi 10x21M eristetty U=0,5			229,22	44,38	1	273,6	1094,4		
22 ROK s.212		IV-kanavat ja kanavaosat, rivitalo	168	m2	20,23	9,89	1	30,12	5060,16		
22 ROK s.212		IV-koneet ja asennukset, rivitalo	168	m2	19,81	1,97	1	21,78	3659,04		
131 KOR s.68		Palo-osastoivan yläpohjan väliseinän rakentaminen	15,5	m2	21,33	20,62	1	41,95	650,225		
KOR s.105		Vanhana 300 mm eristekerroksen poisto ja uusi puukuituvilla 550 mm puhallettuna	168	m2	30,91		1	30,91	5192,88		
ROK s.205		Kipsilevy 13 mm 1-kertainen levytyksen sisäkattoihin	168	m2	5,18	7,36	1	12,54	2106,72		
123 KOR s.39		Höyrynsulkumuovi huoneistojen väliin yläpohjaan	20	m2	1,38	1,32	1	2,7	54		
								YHTEENSÄ	90423,68 euroa		
									538,2362 euroa/m2		




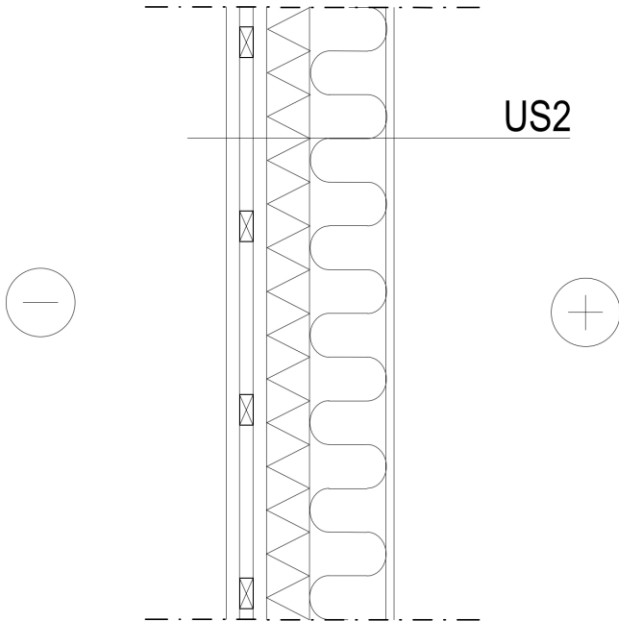


HOPS Visamäki Visamäentie 25, Hämeenlinna	Vanha rakennetyyppi HVS ja YP1 liitos	1:10
 <b>A-INSINÖÖRIT</b>	Päiväys 11.12.2020	<b>HVS - YP1</b>
 <p><b>YP1</b></p> <p><b>B 30</b></p> <p><b>VS1</b></p> <p>151</p> <p>~500</p> <p>~500</p> <p>250</p> <p>285</p> <p><u>YP1</u></p> <p>...</p> <p>32 mm</p> <p>...</p> <p>...</p> <p>...</p> <p>~250 mm</p> <p>...</p> <p>44 mm</p> <p>13 mm</p> <p><u>B 30 Palokatko</u></p> <p>13 mm</p> <p>125 mm</p> <p>13 mm</p> <p>Aluskate oli paikoin repeytynyt, käpristynyt ja puuttui osasta kattoa. Alkuperäisten rakennepiirustusten mukainen lisävilla 500 mm etäisyydeltä palokatkosta oli huomattavasti painunut. Palokatkon piirustusten mukaisesta alapuolen villoituksesta ei saatu varmuutta. Palokatko ulottuu ruoteisiin asti. YP1-rakenne myös yhteistilassa matalissa osissa. Rakennesuunnitelmien mukainen U-arvo 0,17 W/m<sup>2</sup>K</p>		




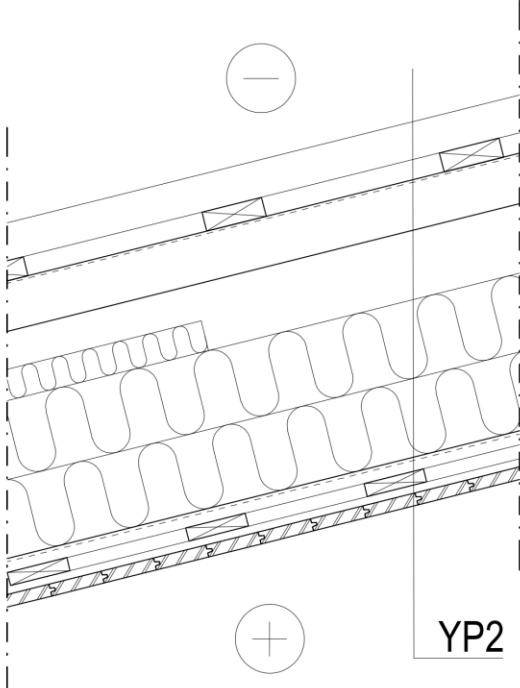
HOPS Visamäki Visamäentie 25, Hämeenlinna	Vanha rakennetyyppi Asuintalojen US - AP -liitos	1:10
 <b>A-INSINÖÖRIT</b>	Päiväys 11.12.2020	US1 - AP1
 <p data-bbox="395 1400 1102 1899"> <b>AP1</b>  ...  70 mm Lattiapinnoite  ... TB-laatta #5-150  ... Suojapaperi  50+50 mm Styrox N 50+50, 1000 mm reunakaistalla  ≥ 250 mm Sorastus </p> <p data-bbox="395 1653 1086 1899"> <b>US1</b>  85 mm Puhtaaksimuurattu MKH-tiili  20 mm Ilmarako  70 mm Tuulensuojalevy-eriste  125 mm Puurunko 50x125, k600 + Mineraalivilla  ... Höyrynsulkumuovi  13 mm Gyproc EK 13 levytys </p>		


HOPS Visamäki Visamäentie 25, Hämeenlinna	Vanha rakennetyyppi Lautavuorattu ulkoseinä	1:10
	Päiväys 11.12.2020	US2

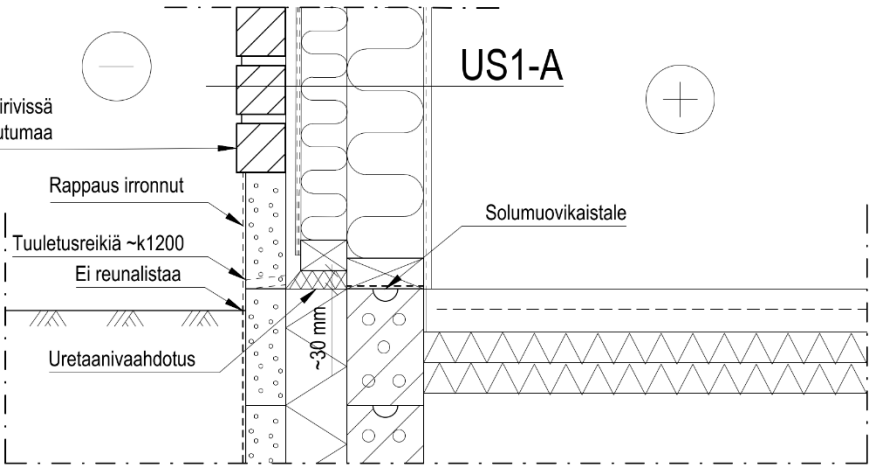


	<u>US2</u>
21 mm	Pystylauditus UTV 21x120, valkoinen
22 mm	Vaakarimat 22x50
22 mm	Pystyrimat 22x50, ilmarako
70 mm	Tuulensuojalevy-eriste
125 mm	Puurunko 50x125, k600 + Mineraalivilla 125 mm
...	Höyrynsulkumuovi
13 mm	Gyproc EK 13 levytys

Rakennesuunnitelmien mukainen U-arvo 0,23 W/m<sup>2</sup>K

HOPS Visamäki Visamäentie 25, Hämeenlinna		Vanha rakennetyyppi Yhteistilan korotetun osan yläpohja		1:10
	Päiväys 11.12.2020		YP2	
				
<p>YP2</p> <p>Profiilipeltikate Puutavara 32x100, orret k400 Aluskate Panssari Tuuletusrako Kattopalkki 66x360, k900 + Mineraalivilla 250 mm + Reunoilla 1000 mm etäisyydellä 30 mm tuulensuojalevy Höyrynsulkumuovi Ristiinkoolaus 2x22x100, k300 Paneli</p>				

HOPS Visamäki Visamäentie 25, Hämeenlinna	Ulkoseinärakenne rakenneavausten kohdalta Sokkelin rakenneavaus	1:10
	Päiväys 11.12.2020	US1-A ja AP1




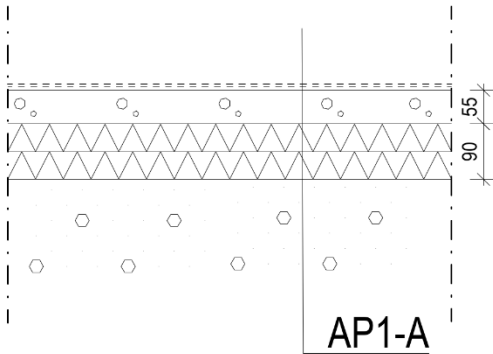
US1-A	
85 mm	Puhtaaksimuurattu MKH-tiili
5...20 mm	Ilmarako, osittain laastipurseiden tukkima
9 mm	Kipsilevy tuulensuoja
75 mm	Elementin ohjauspuu 50x75 mm, mineraalivilla ja alapuolella uretaanitiivistys
125 mm	Puurunko 50x125, k600 + Mineraalivilla, alasidepuu painekyllästetty
...	Höyrynsulkumuovi
13 mm	Gyproc-levytys


Alasidepuun alla oli musta solumuovikaistale perusmuurin ylimmän harkon päällä. Elementin ohjauspuun ja ylimmän täyden harkkorivin väliin oli pursotettu runsaasti uretaania, joka oli osin tukkinut seinän alaosan tuuletusta. Seinän alaosassa oli myös laastipurseita ja suurin osa tuuletusputkista ja rei'istä oli tukossa. Alimmassa tiilirivissä ei ollut tuuletusreikiä pystysaumoissa, kuten alkuperäisissä rakennepiirustuksissa oli esitetty.

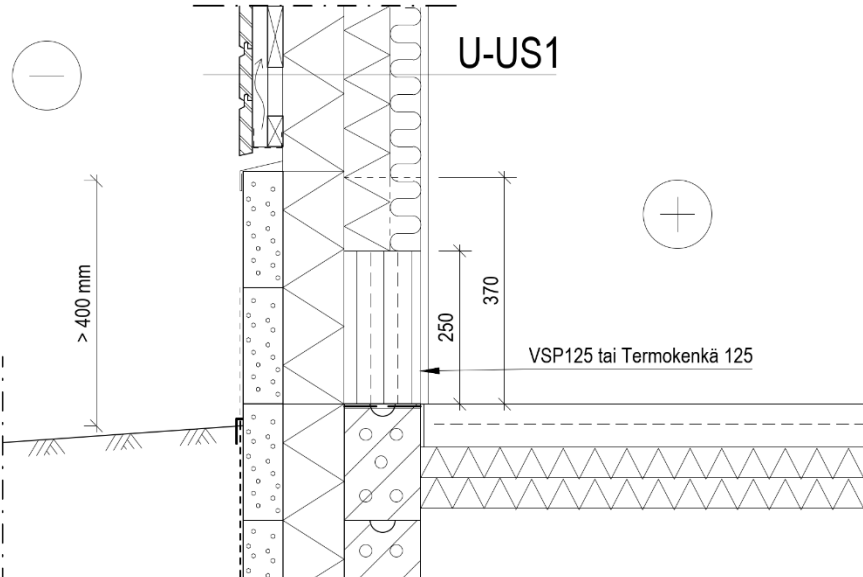
Villa oli tummunut kaikkien rakenneavausten kohdalta ja joissakin paikoissa tummumista oli erityisesti ulomman ja sisemmän villakerroksen välissä. Kaikissa elementin ohjauspuissa oli kosteuden jättämää tummentumaa.

Maanpinnan kaadot olivat pääosin riittämättömät tai maanpinta kallisti sokkeliin päin. Rakennuksen vierustalla oli havaittavissa lammikoitumista. Alkuperäisissä patolevyissä ei ollut reunalistaa yläpäässä.

Valesokkelin yläpinnan korkeus maanpinnasta vaihteli rakenneavausten kohdissa 200 mm ja 250 mm välillä. Muualla rakennusryhmän I alueella se vaihteli pääasiassa 50 mm ja 460 mm välillä.

HOPS Visamäki Visamäentie 25, Hämeenlinna	Alapohjarakenne rakennesaauksen kohdalta Kylpyhuoneen alapohja, asunto A8	1:10
 <b>A-INSINÖÖRIT</b>	Päiväys 11.12.2020	AP1-A
		
...	<u>AP1</u>	
...	Muovimatto	
...	Vaalea liima	
50...55 mm	TB-laatta #5-150	
90 mm	Styrox 2 kpl reuna-istalla	
... mm	Sorastus täyttö	
<p>Muovia tai suojapaperia ei rakennesaauksen kohdalta löytynyt. Asunnon A8 kylpyhuoneen lattiapinnoitteena oli muovimatto, jonka alla oli vaalea ohut liimakerros. Eristeet olivat painuneet siten, että niiden yhteispaksuus oli 90 mm. Betonilaatta oli ohuempi kuin alkuperäisissä rakennepiirustuksissa oli kuvattu.</p> <p>Täyttömaan laatu oli hyvää ja täyttömaa oli aistinvaraisesti havainnoituna hyvin tiivistetty. Ainekerrosten välissä ei ollut tyhjää tilaa, joka viittaisi lattian painumiseen.</p> <p>Kylpyhuoneen kaivon yläpinta oli lattiapinnan alapuolella ja kaivo oli vinossa lattiapintaan nähden.</p> <p>DOF-lämmöllä laskettu rakennesuunnitelmien mukainen U-arvo keskellä yhdellä 50 mm eristekerroksella 0,72 W/m<sup>2</sup>K ja reuna-alueilla 0,40 W/m<sup>2</sup>K.</p>		

HOPS Visamäki Visamäentie 25, Hämeenlinna		Uusi rakennetyyppi Teräskengitetty sokkelirakenne	1:10
<div>A-INSINÖÖRIT</div>		Päiväys pp.kk.vvvv	U-US1



21 mm

25 mm

25 mm

100 mm

125 mm

...

13 mm

US1-A

Ulkoverhous UTV 21x95 mm

Pystykoolaus 25x100 mm k600

Vaakakoolaus 25x100 mm k600

Polyuretaanieriste pontattu, esim. Kingspan Therma TP10 Runkolevy 100 mm tai vastaava eriste

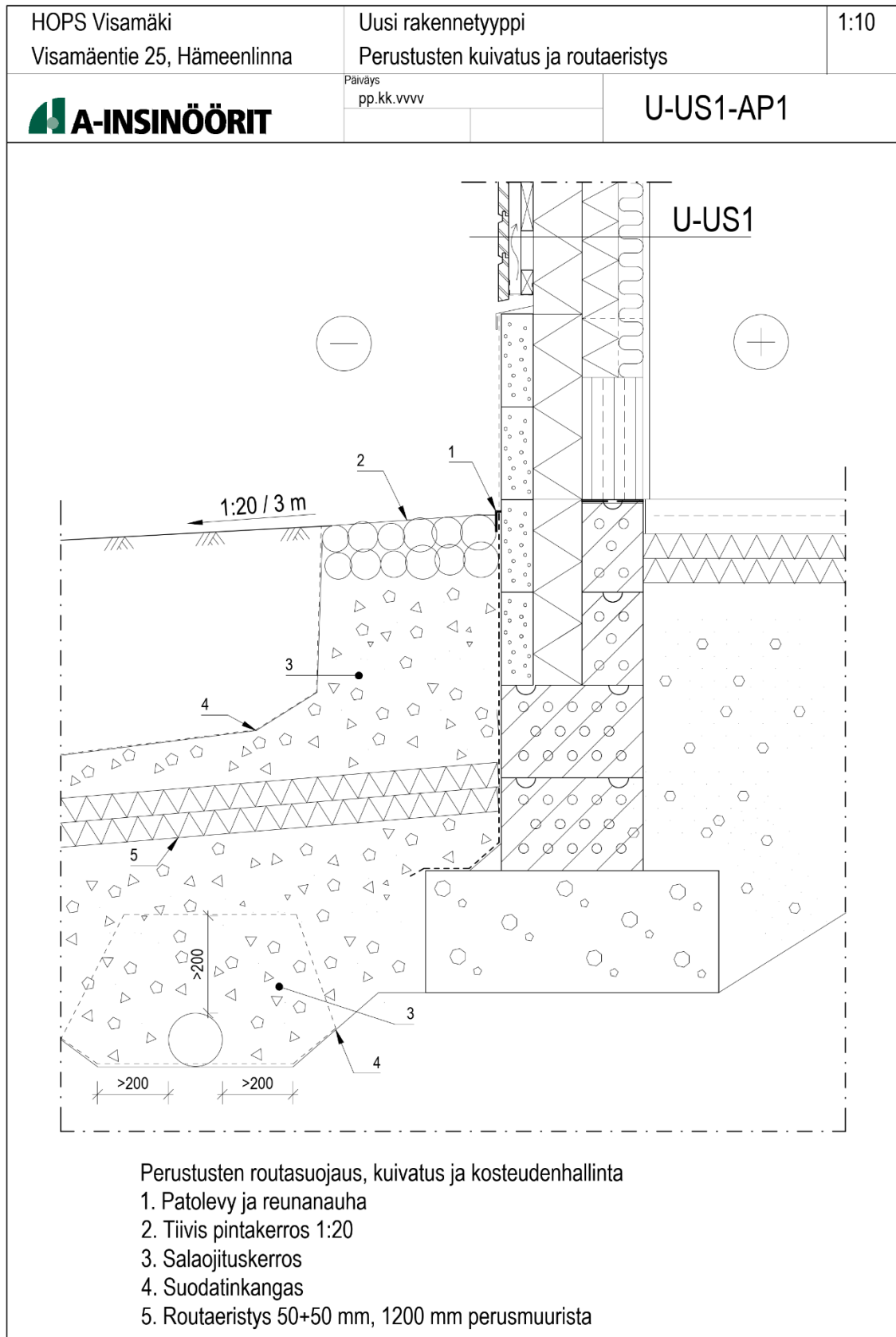
Puurunko 50x125 mm, k600 katkaistu noin 370 mm alaohjauspuun yläpuolelta + Vesihöyrytiivis alumiinilaminaattipintainen polyuretaanieriste pontattu, esim. Kinspan Therma TW55 70 mm ja kivivillaeriste 55 mm sisäpuolelle


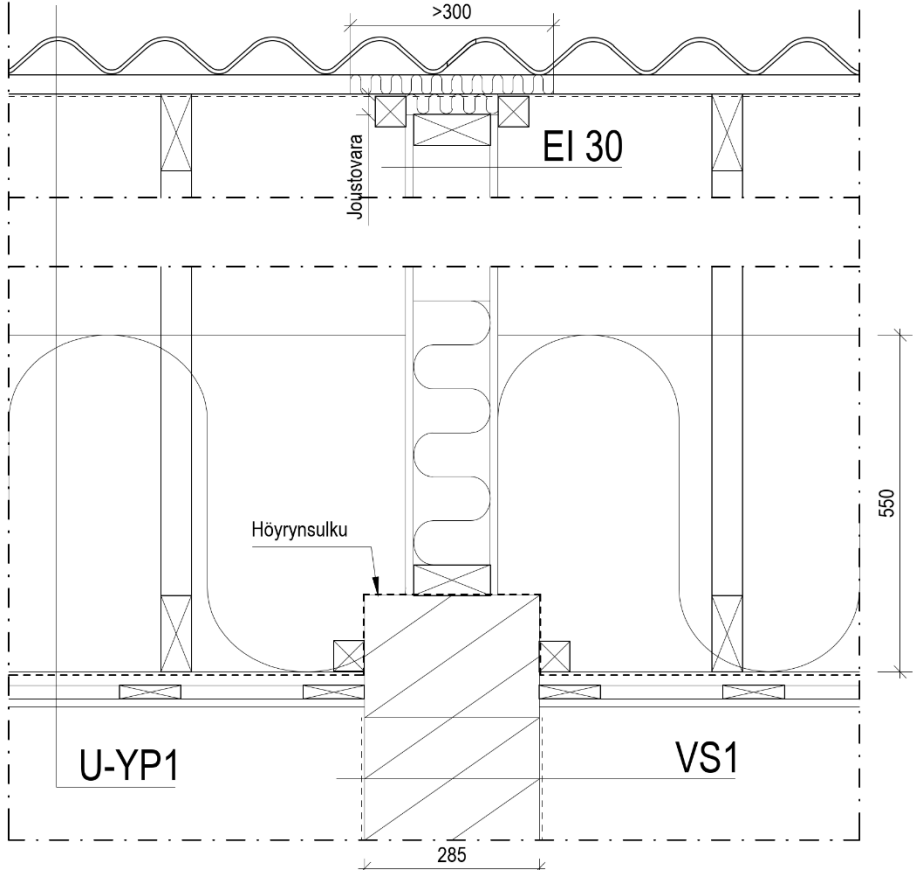
Höyrynsulkumuovi poistetaan ja eristelevyjen saumat teipataan. (Diffuusioavointa eristettä käytettäessä höyrynsulkua ei poisteta.)


Kipsilevytys

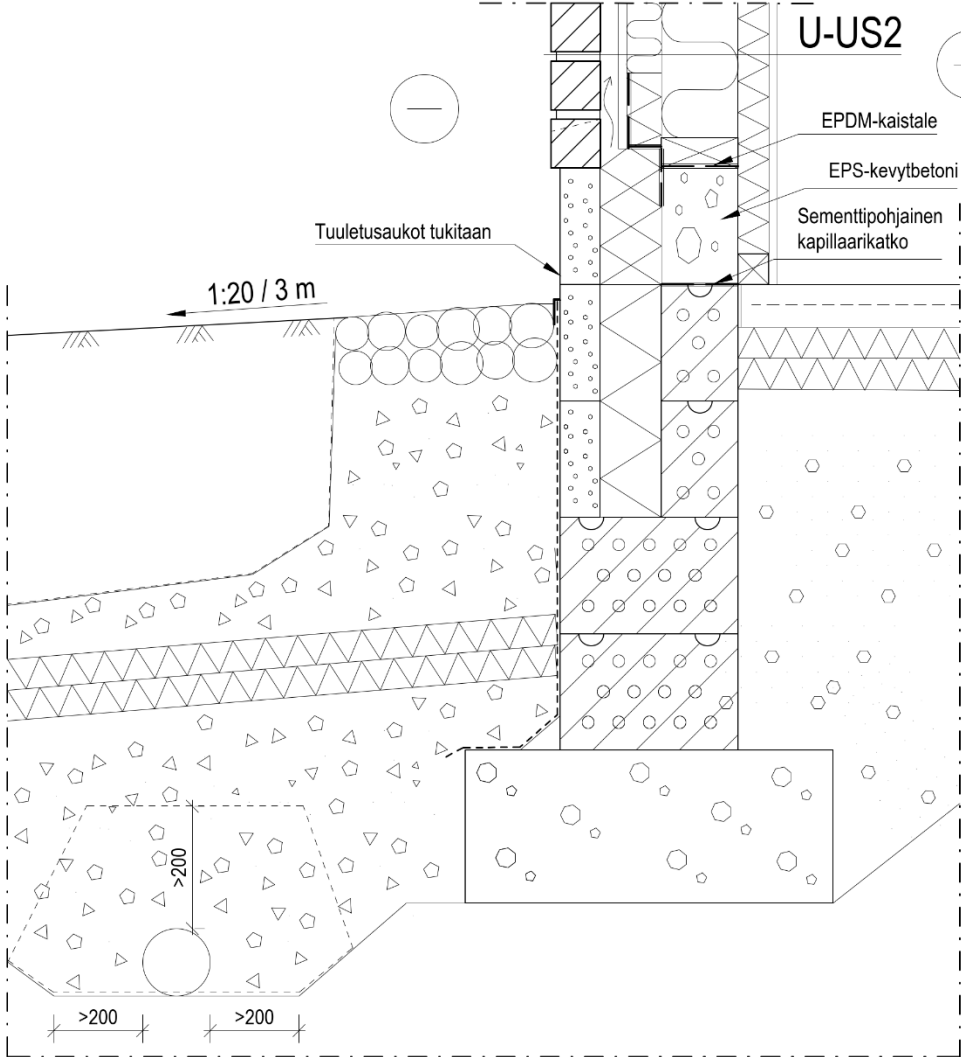
Tiilivuoraus puretaan, tuulensuojalevy puretaan ja kaikki vanhat mineraalivillaeristeet puretaan.

Rungon 50x125 mm katkaistut pystypuut liitetään valmistajan ohjeiden mukaan solumuovilämmöneristeillä täytettyihin teräskappaleisiin. Voidaan käyttää esim. Termotuotteen Termokenkää T125, joiden väliin asennetaan eristetty Termopalkki-125 h=250 mm. Termorakenteen valmistajan ilmoittama U-arvo on 0,28 W/m<sup>2</sup>K. Seinärakenteen U-arvo polyuretaanieristeitä käytettäessä on 0,13 W/m<sup>2</sup>K, kun teräskengien kylmäsiltojen vaikutusta ei ole huomioitu. Seinärakenteen U-arvon laskennassa on otettu huomioon k600 puurungon kylmäsilta-vaikutus.



HOPS Visamäki Visamäentie 25, Hämeenlinna	Uusi rakennetyyppi Yläpohjan lisäeristys ja palo-osastointi	1:10
 <b>A-INSINÖÖRIT</b>	Päiväys pp.kk.vvvv	<b>U-HVS-YP1</b>
		
<p><b>U-YP1</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>... Profiilipeltikate</li> <li>32 mm Puutavara 32x100 mm, orret k400</li> <li>... Aluskate uusittu vaurioituneista kohdista</li> <li>... Kattotuolit K900</li> <li>... Tuulensuojalevyjä (30 mm) reuna-alueilla</li> <li>550 mm Puhallusvilla 450 mm + kova villa 100 mm pohjalle</li> <li>... Höyrynsulkumuovi teippattuna</li> <li>44 mm Harvalaudoitus ristiin 2x22x100 mm k300</li> <li>13 mm Kipsilevytyk</li> </ul>		
<p>Palo-osastoivat seinät uusitaan EI 30 mukaisiksi ja yläpään jätetään painumavara. Höyrynsulkumuovi tuodaan huoneistojen välisen seinän ylitse uuden palo-osastoivan seinän alaohjauspuun alle, johon tehdään limitys, puristusliitos ja teippaus.</p>		
<p>Uuden yläpohjarakenteen U-arvo on 0,08 W/m<sup>2</sup>K.</p>		

HOPS Visamäki Visamäentie 25, Hämeenlinna	Uusi rakennetyyppi Valesokkelikorjaus EPS-kevytbetonilla + eristys	1:10
	Päiväys pp.kk.vvvv	U-US2a



**U-US2**

85 mm Puhtaaksimuurattu MKH-tiili, joka 3. pystysauma alarivissä avataan

20 mm Ilmarako


70 mm Mineraalivilla-eriste + tuulensuojalevy (poistetaan alaosasta ja korvataan alumiinipintaisella polyuretaanieristeellä)

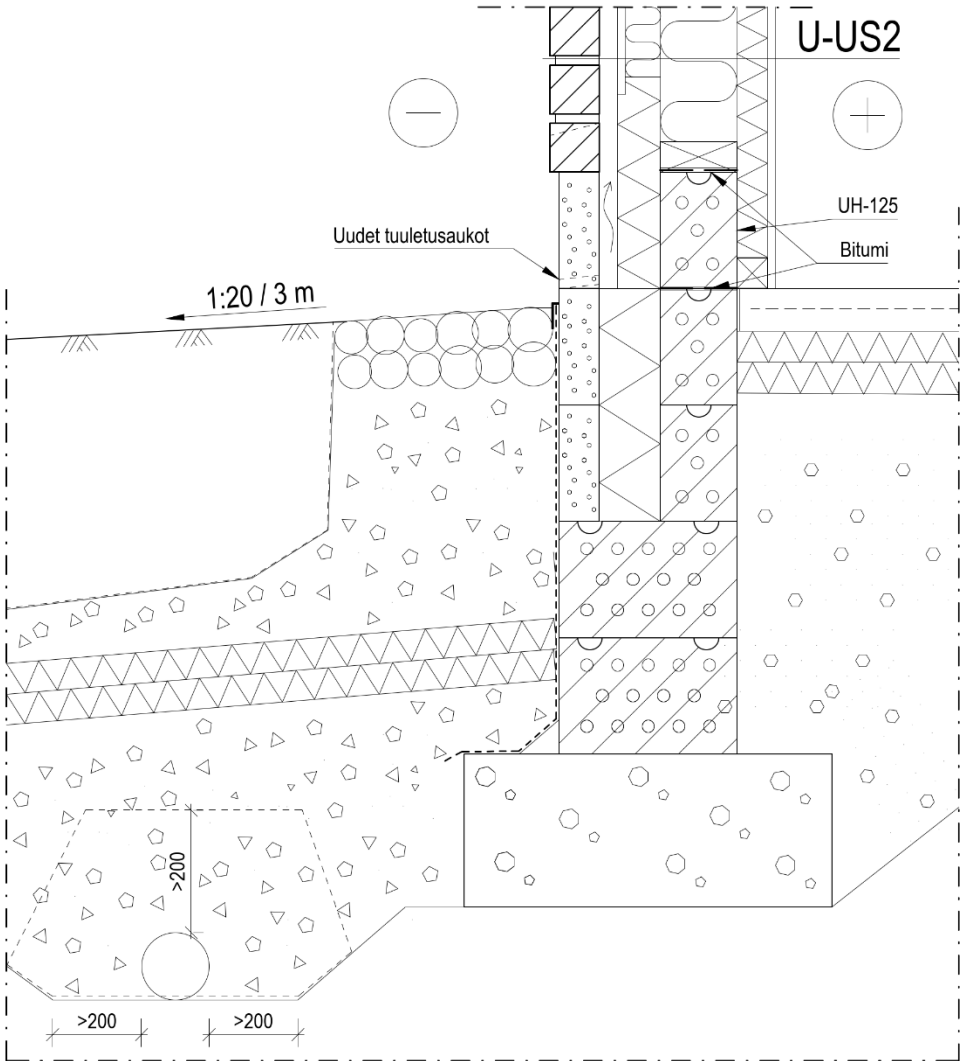
125 mm Puurunko 50x125, k600 + Mineraalivilla 125 mm (höyrynsulkumuovi pois)

50 mm Pinnoitettu polyuretaanieriste tiivistetään ja saumat teipataan

13 mm Kipsilevytys

Alaohjauspuu poistetaan ja pystyrunko katkaistaan n.250 mm korkeudelta. Kantava EPS-kevytebetoni valesokkelipalkki valetaan ylimmän harkkorivin päälle.

HOPS Visamäki Visamäentie 25, Hämeenlinna	Uusi rakennetyyppi UH-125 harkkoperustus ja lisäeristys sisäpuolelle	1:10
	Päiväys pp.kk.vvvv	U-US2b



85 mm

20 mm

70 mm

125 mm

50 mm

13 mm

U-US2

Puhtaaksimuurattu MKH-tiili, joka 3. pystysauma alarivissä avataan

Ilmarako

Mineraalivilla-eriste (uusitaan alaosasta) + tuulensuojalevy (poistetaan alaosasta ja korvataan alumiinipintaisella polyuretaanieristeellä)

Puurunko 50x125, k600 + Mineraalivilla 125 mm (höyrynsulkumuovi pois)

Pinnoitettu polyuretaanieriste tiivistetään ja saumat teipataan

Kipsilevytys

Alaohjauspuu poistetaan ja pystyrunko katkaistaan n.250 mm korkeudelta. UH-125 harkkorivi muurataan perusmuurin päälle ja sen päälle asennetaan uusi alaohjauspuu.