

Opinnäytetyö (AMK)

Rakennustekniikka

Tuotantojohtaminen

2014

Joni Horjanheimo

# KOSTEUS- JA MIKROBIVAURIOT JA NIIDEN SYNTYMEKANISMIT

– Turun Vähä-Heikkilän kasarit



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU  
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikka | Tuotantojohtaminen

2014 | 53

Maarit Järvinen

Joni Horjanheimo

# KOSTEUS- JA MIKROBIVAURIOT JA NIIDEN SYNTYMEKANISMIT – Turun Vähä-Heikkilän kasarit

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia kosteus- ja mikrobivaurioiden syntyyn vaikuttavia tekijöitä ja yleisimpiä vauriorakenteita. Työssä yritetään hahmottaa lisäksi syitä sisäilmaongelmiin Turun Vähä-Heikkilän kasarmeilla sekä toteutusvaiheen toimenpiteitä sisäilmaongelmien poistamiseksi vuonna 2013 valmistuneen perusparannusurakan yhteydessä.

Työ jakautuu karkeasti ottaen kahteen osaan. Teoriaosiossa esitellään kirjallisuuslähteiden kautta keskeiset tekniset laatutekijät ja rakennusfysikaaliset lähtökohdat kosteus- ja mikrobiongelmissa. Case-osiossa verrataan edellisiä Turun Vähä-Heikkilässä vuonna 2013 valmistuneeseen mikrobisaneerauskohteeseen.

Case-osiossa perehdyttiin aiemmin toteutettuihin peruskorjaustoimenpiteisiin ja käyttötapojen muutoksiin teknisten asiakirjojen kautta sekä näiden mahdollisia yhteyksiä sisäilmaongelmiin. Taustatietojen kartoittamiseksi haastateltiin kahteen uusimpaan peruskorjaukseen osallistuneita asiantuntijoita.

Vasta rakenneavausten myötä voitiin havaita mittavimmat kosteus- ja mikrobivaurioituneet rakenteet ja rakenneosat (mm. betoninen alapohjalaatta ja maapohja, välipohjat ja yläpohjan vaurioitunut palopermanto). Rakennuksen vaipan tiiviyden parantaminen uusilla ikkunoilla sekä täysin koneellistettu ilmanvaihtojärjestelmä vaikuttivat alipaineen kasvuun sisätiloissa, mikä vaikutti osaltaan mikrobien ja näiden aineenvaihduntatuotteiden leviämiseen sisäilmaan.

ASIASANAT:

Sisäilma, mikrobit, mikrobivaurio, kosteusvauriomikrobit

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Civil engineering | Production management

2014 | 54

Maarit Järvinen

Joni Horjanheimo

## MOISTURE AND MICROBIAL DAMAGE

The aim of this study was to investigate factors causing the moisture and microbial damage and the most common damage structures, as well as ways to avoid mistakes during the construction phase. In addition, the thesis sought to understand why the Vähä-Heikkilä barracks were allocated two extensive renovations within a short period of time.

The thesis is divided into two parts. The theoretical section relies on field specific literature to present the main technical and building physical factors basis related to moisture and microbial problems. The case section compares previous renovations of the Vähä-Heikkilä barracks with the one completed in 2013.

The case section examines all the renovation measures taken earlier and changes in the use of the building through technical documentation, as well as their possible links to indoor air problems. The experts involved in the two most recent renovations were interviewed to gather the necessary background information.

It was only after structural openings that the most extensive moisture and microbially damaged structures and structural components could be detected, such as the concrete base floor slab and the ground, the floors and the damaged fire floor in the roof structure. The increased airtightness of the building envelope due to new windows as well as the fully mechanized ventilation system contributed to the increase in negative pressure indoors, allowing the microorganisms and their metabolites to spread in the indoor air.

### KEYWORDS:

Indoor air, microbes, microbial damage, mould damaged indicator microbes

# SISÄLTÖ

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>7</b>
1.1 Kosteus- ja homeongelmien laajuus	8
1.2 Kehitysnäkymät	9
1.3 Tutkimuksen tavoite ja rajaukset	10
<b>2 KOSTEUS RAKENTEISSA</b>	<b>11</b>
2.1 Kosteuden siirtyminen rakenteen sisällä	12
2.1.1 Kapillaarisuus	13
2.1.2 Diffuusio	14
2.1.3 Konvektio	15
2.1.4 Veden painovoimainen siirtyminen	17
2.2 Riskirakenteet	17
2.2.1 Perustukset, alapohjarakenteet ja salaojat	17
2.2.2 Ulkoseinät	20
2.2.3 Vesikatto	21
<b>3 MIKROBIT</b>	<b>23</b>
3.1 Mikrobivaurion määrittely ja raja-arvot	24
3.2 Mikrobin aineenvaihduntatuotteet	27
3.2.1 Kaasumaiset aineenvaihduntatuotteet	27
3.2.2 Mikrobitoksiinit ja mykotoksiinit	28
<b>4 CASE TURUN VÄHÄ-HEIKKILÄN KASARMIT</b>	<b>31</b>
4.1 Kohteen taustat	31
4.2 Puhtaudenhallinta purkutöiden aikana ja P1-luokan rakentaminen	31
4.3 Homeenpoistopesu ja desinfiointi	35
4.4 Korjaustöiden pääryhmät	36
4.4.1 Ulkoseinät	36
4.4.2 Alapohja, putkikanaali ja kellari	38
4.4.3 Välipohjat	43
4.4.4 Vesikatto ja yläpohja	46
<b>5 JOHTOPÄÄTÖKSET</b>	<b>50</b>

## KUVAT

Kuva 1. Rakennuksen kosteuslähteet.	11
Kuva 2. Betonin K25, absorptio ja desorbtio T 20 °C. Ylempi käyrä kuvaa kuivumista, alempi kastumista.	13
Kuva 3. Puurunkoisen höyrynsulullisen ja -suluttoman seinän diffuusion määrä ja suunta vuoden aikana. Positiivinen määrä merkitsee virtausta sisältä ulos.	15
Kuva 4. Lämpötilaerojen, ilmanvaihdon ja tuulenpaineen vaikutukset rakennuksen painesuhteisiin.	16
Kuva 5. Salaojituksen virheitä. Liian korkea asennussyvyys ja tukkeutuneet salaojaputket saavat perustusten vierustan tulvimaan.	18
Kuva 6. Veden nousu seinään kapillaarisesti. Vesi nousee sitä korkeammalle, mitä paksumpi seinä on, tai mitä huonommin sen pinta tai pinnoite läpäisee vettä.	19
Kuva 7. Sokkelin tuuletusaukkojen tulee olla oikean kokoisia ja sijaita riittäväällä etäisyydellä maanpinnasta. Ryömintätilaan ei saa jättää orgaanisia aineita.	20
Kuva 8. Jää- ja lumipadon aiheuttama vesilammikko räystäällä.	22
Kuva 9. Materiaalien vaurioitumisen kannalta kriittiset tekijät.	23
Kuva 10. Pohjan projektio. Kuvasta katsottuna vasemmalla rakennuksen länsipääty, oikealla itä.	33
Kuva 11. Ulkoseinän sisällä kulkeva viemäriputki.	37
Kuva 12. Kattovesiviemärin hormin vuotokohta ulkoseinässä.	38
Kuva 13. Putkikanaali.	39
Kuva 14. Putkikanaalista poistettua mineraalivillajätettä. Teräksisen tarkastusluukun alapinta oli myös ruosteessa.	40
Kuva 15. Putkikanaalin kattoon jäänyttä muottilaudoitusta.	40
Kuva 16. Alapohjan ja seinän välisen irroitiskaistan korjaus.	41
Kuva 17. Kaasutiiviit huoltoluukut.	42
Kuva 18. Välipohjarakenne 1. kerroksen katosta. I-palkkien varaan valetun pintalaatan alle oli jätetty muottilaudoitustavaraa.	43
Kuva 19. Välipohjarakenne 1. kerroksen katosta. I-palkkien välissä muurattu kappaholvi ja palkkien varassa pintabetonilaatta, jonka muottimateriaali oli myös jätetty paikoilleen.	44
Kuva 20. Välipohjatilaan jätettyä muottilaudoitusta.	45
Kuva 21. Puretun pintalaatan alla olevat betonoidut I-palkit. 2. kerroksen lattia.	46
Kuva 22. Vesikatto.	47
Kuva 23. Vanha yläpohjarakenne.	47
Kuva 24. Uusi yläpohjarakenne.	48

## TAULUKOT

Taulukko 1. Merkittävien kosteus- ja homevaurioiden määrä työpaikkojen rakennuskannassa kerrosalaa kohden, niissä terveyshaitoille altistuvien määrä ja arvio korjauskustannuksista.	8
Taulukko 2. Homehtumisriski suhteellisen kosteuden ja lämpötilan mukaan.	24
Taulukko 3. Työterveyslaitoksen käyttämiä viitearvoja sisäympäristön ongelmien tunnistamisessa puhtaissa toimistotiloissa.	25
Taulukko 4. Esimerkkejä yleisesti esiintyvistä sienisuvuista ja ryhmistä sekä kosteusvaurioon viittaavista mikrobisuvuista, -lajeista ja -ryhmistä.	29
Taulukko 5. Pölykertymien maksimiarvot.	34

# 1 JOHDANTO

Kosteus- ja mikrobivauriot aiheuttavat rakennuskantaamme merkittäviä haasteita ja laatuongelmia vuodesta toiseen sekä rakentamisvaiheen että kiinteistönpidon kannalta. Syntyneet vauriot aiheuttavat mittavia korjaustoimenpiteitä taloudellisesti ja teknisesti, mutta erityisen hälyttävää on pilaantuneiden rakenteiden vaikutus sisäilmaston laatuun ja kiinteistössä asuvien ja työskentelevien ihmisten terveyteen.

On huomattava, että lisääntyneet ongelmat sisäilman laadussa johtuvat osittain myös tutkimusmenetelmien ja lainsäädännön uudistamisesta ja kehityksestä. Ongelmia voidaan mitata nykyään tehokkaammin, minkä seurauksena vauriot edelleen tilastoidaan ja niiden laajuus tiedostetaan paremmin. Lisääntyvä tietous ja tekninen osaaminen sisäilman epäpuhtauksien lähteiden määrittämiseen on johtanut aiemmin puuttuvien, työterveyslainsäädännössä nyttemmin esiintyvien ohjearvojen ja määräysten tarkempaan säätämiseen.

Sisäilmaongelmiin johtaneiden kosteus- ja mikrobivaurioiden syntyyn vaikuttaneet syyt ovat usein moninaiset, ja ulottuvat hankkeen suunnitteluvaiheen ratkaisuista aina käyttäjän ja kiinteistöhoitajan ylläpidollisiin toimiin. Rakentamisvaiheen aikana luodaan konkreettisimmillaan puitteet joko toimivalle tai toimimattomalle rakennukselle, mutta vastuu laadusta kuuluu kaikille rakentamisprosessin kulkuun osallistuneille tahoille.

Kosteudenhallintaa tulisi tarkastella jatkuvana ja kiinteänä prosessina aina hankeselvitysvaiheesta rakennuksen purkamiseen saakka, pikemmin kuin kertaluontoisina kustannuksia kasvattavina suunnittelu- ja rakennuspanoksina. Toimivan uudisrakennuksen tai peruskorjauksen toteuttamiseen vaaditut kustannukset ovat marginaaliset loppukäyttäjien ja ylläpidon saamaan taloudelliseen ja terveydelliseen hyötyyn verrattuna. (RIL 250-2011, 10.)

## 1.1 Kosteus- ja homeongelmien laajuus

Kosteus- ja homeongelmat ovat tuttuja lähes kaikissa erityyppisissä rakennuksissa: toimistot, koulut, päiväkodit ja erikokoiset asuinrakennukset kärsivät kaikki samantyyppisistä vaurioista. Homeongelmat aiheuttavat merkittävän korjausvelan kansantaloudellisesti; pelkästään sairauspoissaolojen osuus kustannuksista on yhtä suuri kuin rakennusten lämmityksestä koituvat kulut. (RIL 2011, 15.)

Eduskunta esittää tarkastusvaliokunnan tiedotteen (Rakennusten kosteus- ja homeongelmat 1/2012) mukaan kosteusvaurioiden korjauskustannusten määrän olevan vuositasolla noin 1,4 miljardia euroa. Kustannuksia terveyshaitoista puolestaan koituu vuosittain noin 450 miljoonan euron edestä. Taulukosta 1 ilmenevät kosteus- ja homevaurioituneiden työpaikkojen arvioidut määrät ja korjauskustannukset, rajoittuen siis yksinomaan kosteus- ja homevaurioihin.

Taulukko 1. Merkittävien kosteus- ja homevaurioiden määrä työpaikkojen rakennuskannassa kerrosalaa kohden, niissä terveyshaitoille altistuvien määrä ja arvio korjauskustannuksista. (Eduskunnan tarkastusvaliokunnan tiedote 1/2012).

Rakennustyyppi		Merkittäviä kosteus- ja homevaurioita		Altistuvia		Korjauskustannukset (milj. €)	
		alin arvio	ylin arvio	alin arvio	ylin arvio	alin arvio	ylin arvio
Koulut ja päiväkodit	kerrosala	2 120 000	3 180 000	172 000	259 200	212	318
	osuus (%)	12	18				
Hoitolaitokset	kerrosala	2 095 000	2 657 000	36 000*	46 800*	605	693
	osuus (%)	20	26				
Toimistot	kerrosala	461 000	922 000	27 500	55 000	46	92
	osuus (%)	2,5	5				
<b>Yhteensä</b>	<b>kerrosala</b>	<b>4 676 000</b>	<b>6 759 000</b>	<b>235 500</b>	<b>361 000</b>	<b>863</b>	<b>1 103</b>

\*Ei sisällä hoitolaitoksissa olevien potilaiden/asukkaiden määrää.



Kosteus- ja homehaitoista johtuvien seuraamusten jatkuva hoito on siis kansantaloudellisestikin kannattamattomampaa kuin rakennuskannan laadun ja kosteudensietokyvyn parantaminen. Valtioneuvosto on käynnistänyt asian tiimoilta erilaisia toimenpideohjelmia, kuten ”Valtakunnalliset kosteus- ja hometalkoot” ([www.hometalkoot.fi](http://www.hometalkoot.fi)). (RIL 2011, 16.)

## 1.2 Kehitysnäkymät

Energiankulutuksen pienentämiseen tähtäävä kestävä kehityksen malli lienee ajankohtaisesti merkittävimpiä rakentamiseen vaikuttavia tekijöitä. Hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi ja energiankulutuksen alentamiseksi tulee matala- ja nollaenergiarakentaminen olemaan vallitseva rakentamistapa. Rakentamiskonseptit matalaenergiarakennuksen tuottamiseksi ovat kuitenkin rakennusfysikaalisesti varsin haastavia. Paksu, kastunut eriste ulkopinnassa ei enää kuivukaan samalla tavalla sisältäpäin johtuvan lämmön vaikutuksesta, vaan kuivumiseen vaikuttavat enemmän ulkoilmastotekijät. Rakennuksen vaipan sisäpinnan höyry- ja ilmatiiviys ja ulkopuolisen sääsuojan merkitys kasvavat, jotta hitaammin kuivuva eristekerros pysyisi mahdollisimman kuivana.

Toisaalta tiiviimpi sisäpinta asettaa korkeampia vaatimuksia ilmanvaihdon toiminnalle. Pelkkä koneellinen poistoilmanvaihto ei usein toimi nykystandardein rakennetussa talossa, ja täysin koneellistettu (koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto) ilmanvaihtojärjestelmä puolestaan vaatii täsmälliset säädöt hallittujen painesuhteiden ja toimivan ilmanvaihdon luomiseksi. (RIL 2011, 17.)

Edellä mainitut muutokset ovat kosteudenhallinnan ja mikrobiongelmiin kannalta ehdottoman epäsuotuisia. Jotta kosteus- ja homevauriot eivät yleistyisi entisestään, on tärkeää tiedostaa myös muuttuvan ulkoilmasto-olojen haasteet rakenteiden kosteustekniselle toimivuudelle. (RIL 2011, 17; Björkholtz 1997, 40–41.)

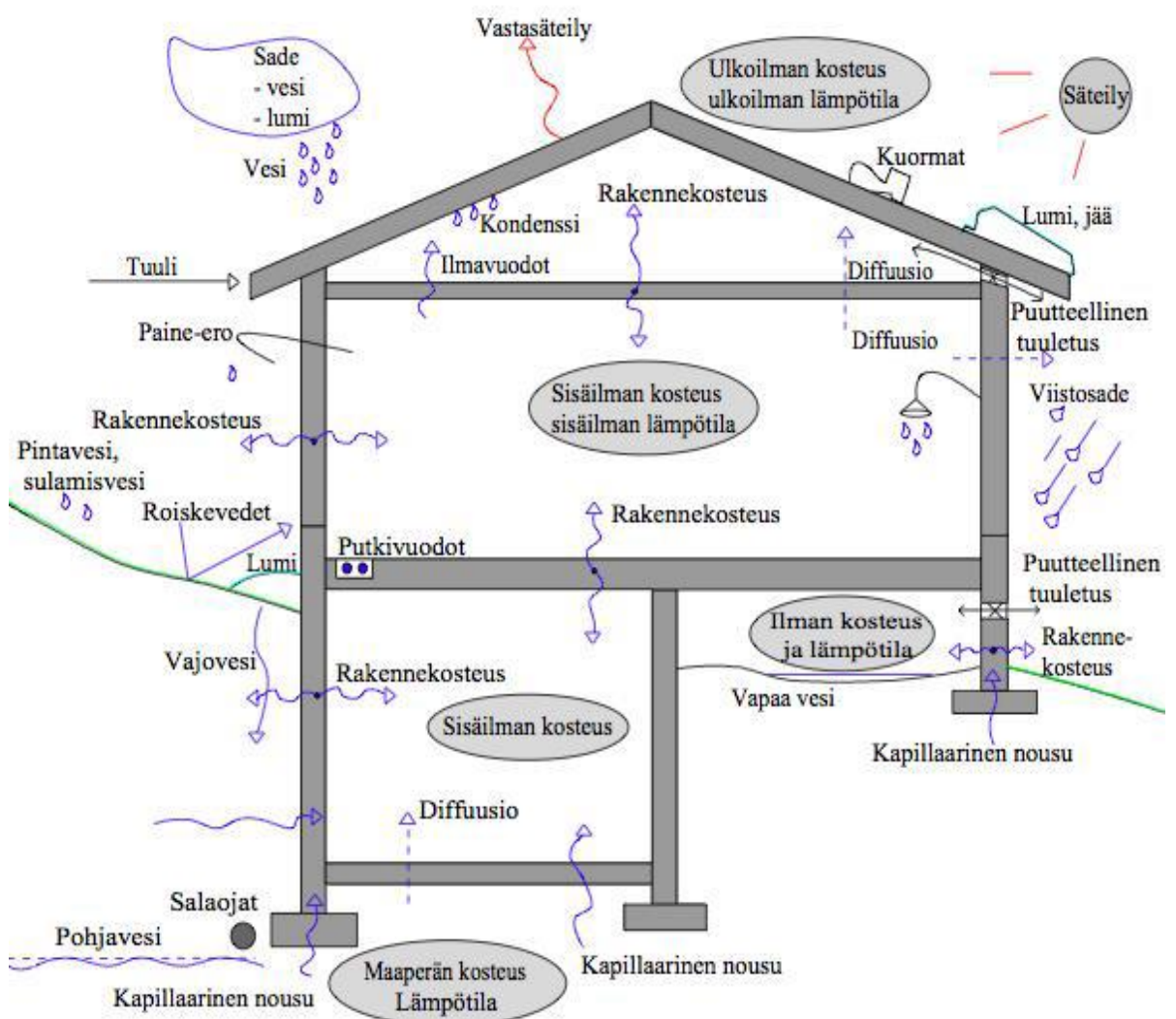
### 1.3 Tutkimuksen tavoite ja rajaukset

Tämä työ pyrkii kartoittamaan ja esittämään yleisimmät kosteus- ja mikrobivaurioitumiseen johtavat tekniset tekijät. Työssä kuvataan mikrobisaneerauskohteen korjaustöiden toteutusmalli todellisen hankkeen kautta ja selvitetään historialliselle rakennukselle ajan saatossa tehtyjen korjaustöiden osallisuutta mikrobivaurioiden syntyyn.

Opinnäytetyö kirjaa toimeksiantajalle oleellimmat työmenetelmät ja laatuvaatimukset mikrobisaneeraustyömaalle keskeisen puhtaudenhallinnan ja yleistyvän P1-rakentamisen kannalta. Toimeksiantajana opinnäytetyölle toimi case-hankkeen päätoteuttaja, Metsämäen Rakennus Oy.

## 2 KOSTEUS RAKENTEISSA

Rakennusta kuormittavat lukuisat kosteuslähteet koko sen elinkaaren ajan. Koska rakenteet kasvavat poikkeuksetta aina jossain määrin eikä kosteutta voida pitää kokonaan rakennuksen vaipan ulkopuolella, on tärkeää ymmärtää kosteuden siirtymämekanismien rakennusfysikaaliset periaatteet. Kuvassa 1 esitetään rakennuksen yleisimpiä kosteuslähteitä.



Kuva 1. Rakennuksen kosteuslähteet (Asumisterveysopas 2003).

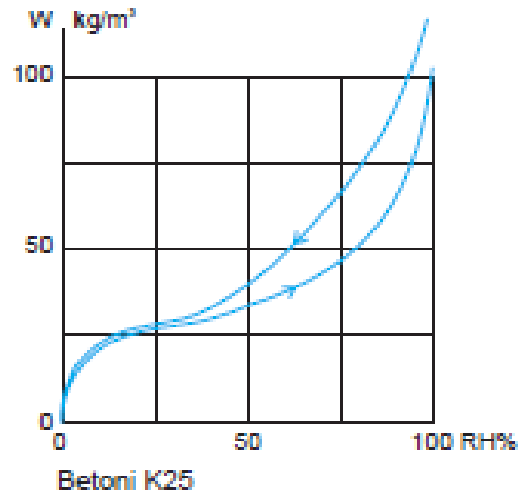
Rakennusmääräyskokoelman (Ympäristöministeriö 1998) osiossa C2 esitetään, että kosteusteknisen mitoituksen lähtökohtana on terve, kuivuva rakenne. Rakenteet suunnitellaan niin, ettei niiden sisältämä kosteus aiheuta haittaa rakenteen toiminnalle tai itse rakennuksen käytölle. Jos rakenne satunnaisesti kastuukin tai kosteusrasitus poikkeaa suunnitellusta esim. rakennuksen tai sen osan käyttötarkoituksen muutoksen vuoksi, tulisi rakenteella kuitenkin olla kyky kuivua ennen kuin kosteus ehtii aiheuttaa pysyviä vaurioita. (Viljanen 1997, 45.)

Rakennuksen elinkaaresta voidaan erottaa karkeasti kolme kosteusteknisesti eri tavalla toimivaa jaksoa. Rakentamisvaiheessa on ulkoisen ja materiaaleista vapautuvan kosteuden määrä suurimmillaan. Kosteusrasituksen aiheuttamat riskit hallitaan työteknisin ratkaisuin, kuten sääsuojin ja kastuneiden materiaalien kuivatus- ja lämmitystarpeen arvioinnilla. Rakennuksen kuivumisvaiheessa puolestaan olennaisesti suuremman riskin muodostaa diffuusiokosteusrasitus, jolloin toiminnan suunnittelu tulisi ohjata rakennusaikaisen kosteuden kuivumismahdollisuuksien mukaan. Valmiissa rakennuksessa normaalien käyttövaiheiden aikana rakennuskosteus on jo kuivunut, ja kosteuden siirtymismekanismit vaihtelevat ulko- ja sisäolosuhteiden mukaan. (RIL 250-2011, 55–57.)

## 2.1 Kosteuden siirtyminen rakenteen sisällä

Huokoiset aineet, kuten useimmat rakennusmateriaalit, pystyvät jossain määrin sekä sitomaan kosteutta ulkoilmasta että luovuttamaan sitä. Tätä ominaisuutta kutsutaan *hygroσκοoppisuudeksi*. Materiaalin huokosissa oleva ilman suhteellisen kosteuden määrä ympäröivän ilman suhteelliseen kosteuteen nähden määrittelee, sitooko materiaali vettä itseensä (absorptio) vai luovuttaako se sitä (desorbtio). Aineen huokosissa olevan suhteellisen kosteuden asettuessa samalle tasolle ilman suhteellisen kosteuden kanssa puhutaan ns. hygroσκοoppisesta tasapainokosteudesta. Tasapainokosteus vaihtelee eri aineiden kesken, minkä lisäksi se on riippuvainen lämpötilasta. Prosessia kuvataan ainekohtaisilla sorptio-, eli tasapainokäyrillä. Kuvassa 1 on RT-kortissa

05-10710 esitetty betonin tasapainokäyrä. (Björkholtz 1997, 59–60; Viljanen 1997, 46–47.)



Kuva 2. Betonin K25, absorptio ja desorbtiio T 20 °C. Ylempi käyrä kuvaa kuivumista, alempi kastumista. (RT 05-10710.)

Sisäilman suhteellinen kosteus noudattaa pääosan ajasta ulkoilman kosteusolosuhteita. Suhteellinen kosteus on suurimmillaan kosteina kesäkuukausina ja pienimmillään talvella, kun ulkoilman sisältämä absoluuttinen kosteus vastaavasti pienenee. Sisäilman kosteuteen vaikuttaa huomattavasti myös ilmanvaihdon määrä ja ihmisen toiminnasta aiheutuva kosteuslisä. (RIL 250-2011, 67.)

Rakenteisiin kohdistuva kosteusrasitus sisätiloissa muodostuu vesihöyryn diffuusiolla rakenteen läpi, vesihöyryn konvektiolla rakojen kautta ilmavirtausten mukana, roiske- ja pesuvesien kapillaarisella siirtymisellä sekä vesihöyryn kondensoitumisella vesijohtojen, kanavien ja rakenteiden kylmille pinnoille (RIL 250-2011, 68).

### 2.1.1 Kapillaarisuus

Kapillaarisuudella tarkoitetaan veden siirtymistä rakennusmateriaalin tai maaperän sisällä veden pintajännityksestä aiheutuvan huokosalipaineen

nostattamana. Huokosalipaineen suuruus ja veden nousukorkeus riippuu materiaalin huokosten koosta; mitä pienempi huokonen, sitä suurempi on huokosalipaine. Kapillaarinen siirtyminen on tiiviimmässä aineessa voimakkaampaa, mutta hitaampi prosessi huokosten kapeasta koosta johtuen. Myös tuulenpaine vaikuttaa osaltaan veden imeytymisnopeuteen, etenkin ulkoseinässä. Kapillaarivoima kykenee liikuttamaan vettä joka suuntaan, ja sen siirtämä kosteusmäärä voi olla erittäin suuri. (Björkholtz 1997, 52–54.)

Maanvaraiset rakenteet ovat erityisen riskialttiita kapillaarisen kosteuden aiheuttamille kosteusvaurioille. Esimerkiksi maanvaraisen betonilaatan alla käytetään yleensä karkeaa sepeliä ( $d = 6\text{--}32\text{ mm}$ ) kapillaarisen nousun katkaisevana kerroksena. Sepelikin on itsessään kapillaarinen materiaali, mutta sen nostama vesimäärä on varsin pieni verrattuna pesemättömään salaojasoraan. (RIL 205-2011, 72.)

Maanvaraisen laatan kosteusteknistä toimintaa voidaan parantaa myös tiiviillä lämmöneristekerroksella (esim. EPS). Polystyreenimuovi hidastaa kosteuden kulkeutumista maanvaraiseen laattaan ja osallistuu kapillaarisen nousun katkaisemiseen. (RIL 205-2011, 72.)

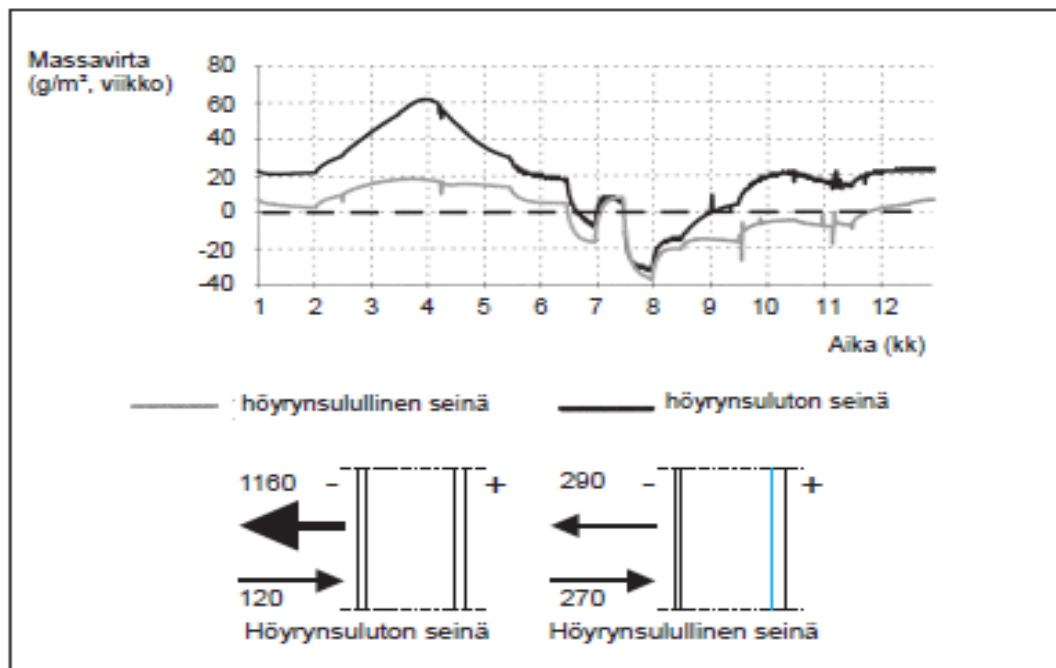
### 2.1.2 Diffuusio

Diffuusio syntyy, kun vesihöyryn osapaine-erot rakenteen eri puolilla pyrkivät tasoittumaan sen lävitse. Vesihöyryn siirtymissuunta on aina suuremmasta osapaineen pitoisuudesta pienempään. Diffuusiolla virtaavan kosteuden suuruus riippuu rakenteen eri puolilla sijaitsevien osapaine-erojen suuruudesta ja rakenteen vesihöyrynläpäisevyydestä. (RIL 205-2011, 72.)

Sisäilman vesihöyryn osapaine on lähes poikkeuksetta ulkoilman osapainetta suurempi, joten diffuusio pyrkii siirtämään kosteutta sisältä ulospäin. Kesällä kosteusteknisellä käyttäytymisellä ei ole niinkään paljon eroa kuin talvella, jolloin diffuusion merkitys kasvaa sisä- ja ulkoilman välisten osapaine-erojen suuruuden vuoksi. Höyrynsulullisessa seinässä sisään ja ulos siirtyvän kosteuden määrä on likipitään tasapainossa, kun taas höyrynsuluttomassa

seinässä ulospäin siirtyvä kosteus on moninkertainen sisäänpäin virtaavaan kosteuteen nähden. Kuva 3 esittää diffuusion määrää ja suuntaa vuoden aikana höyrinsulullisessa ja -suluttomassa seinässä. (Viljanen 1997, 55.)

Eri materiaalien suurten vesihöyrynläpäisevyyserojen vuoksi kerroksellisen rakenteen kosteustekninen toiminta tulee aina miettiä tapauskohtaisesti. Nyrkkisääntönä voidaan kuitenkin pitää vesihöyrynvastuksen pienenemistä sisältä ulospäin mentäessä. Muutoin rakenteen kosteuspiitoisuus kasvaa ajan mittaan ilman ulospäin tapahtuvaa luonnollista kuivumista, ja vesihöyry saattaa tiivistyä vedeksi ja saavuttaa kapillaarisen kosteusalueen, esim. mineraalivillan tapauksessa. (Viljanen 1997, 55–56.)



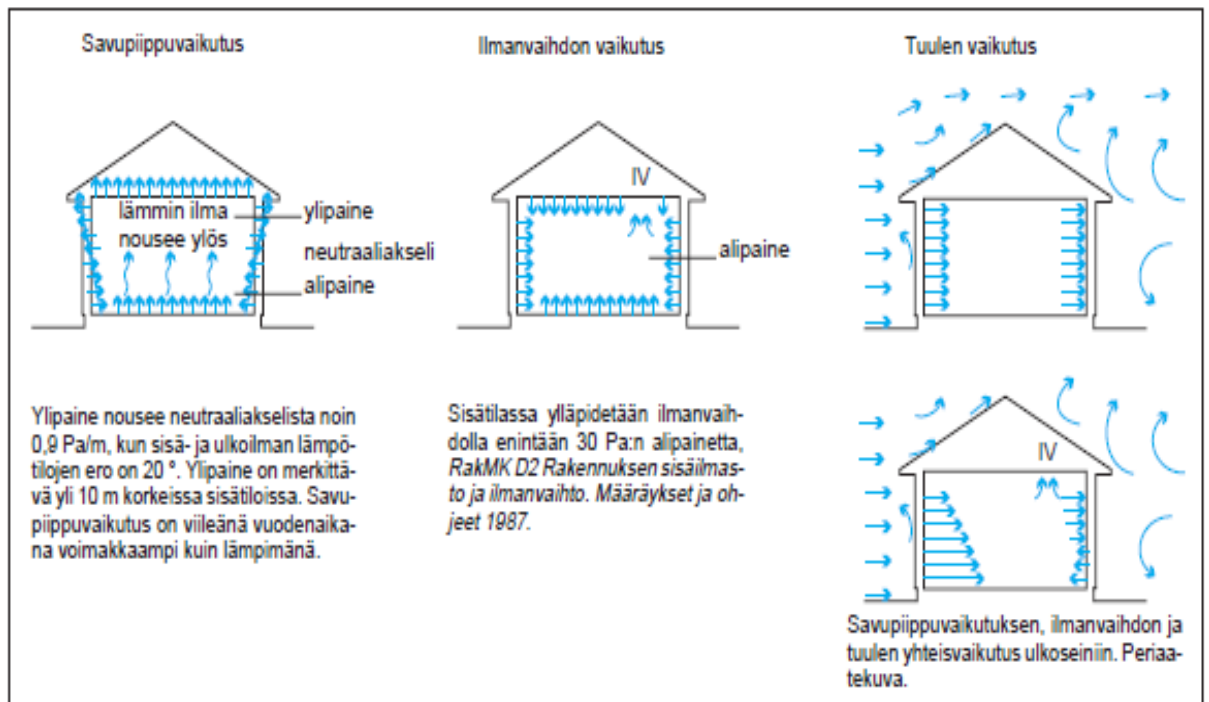
Kuva 3. Puurunkoisien höyrinsulullisen ja -suluttoman seinän diffuusion määrä ja suunta vuoden aikana. Positiivinen määrä merkitsee virtausta sisältä ulos. (Lehtonen 1999 TKK, RT-kortissa 05-17010).

### 2.1.3 Konvektio

Vesihöyryn siirtyessä ilman liikkeen mukana ilman osakaasuna puhutaan konvektiosta. Konvektiota syntyy, kun ilmanpaine-erot pyrkivät tasaantumaan yläpohja-, katto- ja seinärakenteiden ilmavuotojen kautta. Paine-eroja

aiheuttavat pääasiassa tuuli, lämpötilaerot sisä- ja ulkoilman välillä sekä ilmanvaihtojärjestelmä. Konvektion kosteusrasitus rakenteeseen on usein moninkertainen diffuusion verrattuna. (RIL 205-2011, 70–71.)

Konvektion aiheuttamaa riskiä arvioidaan lämpötilan ja suhteellisen kosteuden kautta. Huoneiden yläosiin muodostuu usein ylipainetta ns. savupiippuvaikutuksen avulla (kuva 4), mistä aiheutuu suuri kosteusvaurioriski seinien ylänurkkiin ja kattorakenteisiin kylminä vuodenaikoina. Kosteaa sisäilmaa virtaa kylmää ilmaa kevyempänä ylöspäin ja rakojen kautta edelleen viileitä rakennepintoja vasten, jossa vesihöyry kastelee rakenteet kondensoituaan vedeksi. (Viljanen 1997, 56.)



Kuva 4. Lämpötilaerojen, ilmanvaihdon ja tuulenpaineen vaikutukset rakennuksen painesuhteisiin (RT 05-10710).

Höyrynsulun tiiveys, saumakohtien teippaukset ja liittymät sekä erilaisten läpivientien ja kiinnikkeiden reikien huolellinen tiivistäminen ovat ensisijaiset keinot haitallisen konvektion torjumiseksi (RIL 205-2011). Höyrynsulkumuovi voidaan korvata myös ilmansululla (esim. tervapaperi) sellaisissa huonetiloissa joissa kosteusrasitus on pieni.



#### 2.1.4 Veden painovoimainen siirtyminen

Vesi kulkeutuu rakennuksen pystysuorilla ja kaltevilla pinnoilla alaspäin painovoiman vaikutuksesta. Painovoimaisen siirtymisen merkitys kosteuden kokonaissiirtymässä on vähäinen kapillaarisissa materiaaleissa, kuten betonissa ja tiilessä. Tällaisissa materiaaleissa painovoimaista siirtymistä tapahtuu lähinnä saumoissa, liitoksissa ja halkeamissa. Kapillaarisesti heikosti vettä imevissä suurihuokoisissa materiaaleissa, kuten sorassa, painovoimainen siirtyminen on päinvastoin hallitseva siirtymismuoto. (Viljanen 1997, 54.)

Rakennusten kosteusteknistä toimintaa ohjallaan pääosin juuri painovoimaisen siirtymisen hallinnalla. Vesi ohjataan rakennuksen sisä- ja ulkopinnoilta ja seinän ja perustusten vierustoilta pois päin räystäskouruilla, salaojilla, viemäreillä ym. veden painovoimaiseen siirtymiseen perustuvilla kuivatusjärjestelmillä. (RIL 205-2011, 71.)

Vahingollisinta painovoimaista siirtymistä tapahtuu rakenteiden raoissa, liittymissä ja halkeamissa, joiden kautta valuvesi aiheuttaa rakenteisiin huomattavan kosteus- ja homevaurioriskin (Viljanen 1997, 54; RIL 205-2011, 71).

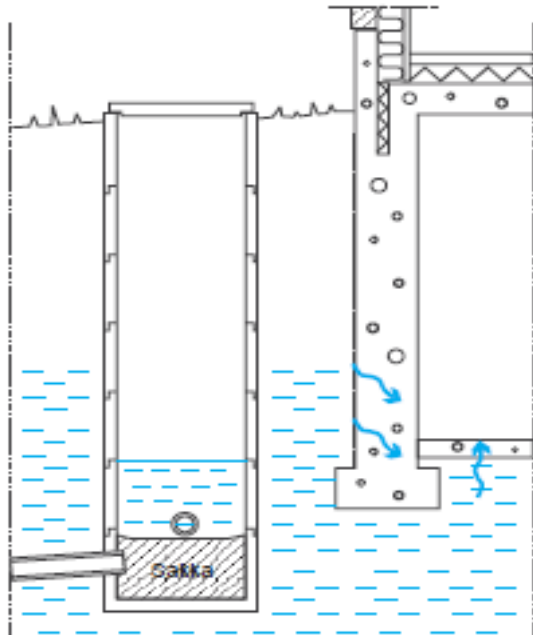
### 2.2 Riskirakenteet

Mikrobi- ja kosteusvauriorakennuksista kerätyn tutkimusaineiston perusteella voidaan erottaa muutamia rakenteita ja teknisiä laatutekijöitä, jotka ovat erityisen alttiita em. vaurioille. Seuraavissa luvuissa on esitelty niistä yleisimpiä.

#### 2.2.1 Perustukset, alapohjarakenteet ja salaojat

Salaojien tyypillisempiä ongelmia ovat vääränlainen asennus, niiden tukkeutuminen maa-aineksesta, roskista tai seinänvierustoilla kasvavien kasvien ja puiden juurista (kuva 5). Täyttömaa saattaa sisältää hienojakoista, huonosti vettä läpäisevää maa-ainesta, jolloin salaojat alkavat tulvia. Salaojat

voivat myös jäätyä kun roudaneristys on puutteellinen, eikä rakennuksesta pääse maahan riittävästi lämpöä pitämään niitä sulana. (RIL 205-2011, 189.)



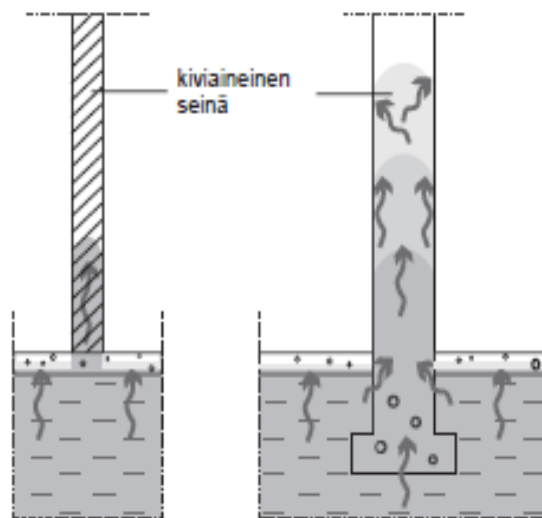
Kuva 5. Salaojituksen virheitä. Liian korkea asennussyvyys ja tukkeutuneet salaojaputket saavat perustusten vierustan tulvimaan. (RT 80-10712.)

Salaojatäyttönä tulee käyttää pestyä salaojasepeliä, jonka raekoko on 6...30 mm ja kapillaarisuus enintään 100 mm. Salaojat pitää tarkastaa väliajoin ja varmistua niiden tyhjenemisestä sekä routasuojauksen riittävydestä. Salaojaputkiin voidaan tarvittaessa asentaa lämmityskaapeli. (RT 80-10712.)

Maanvaraisen alapohjan vauriot ilmenevät yleensä lattiapäällysteiden lohkeilulla ja irtoamisena sekä puurakenteisten seinien alaosien home- ja lahovaurioina. Betonilaatan alla on saatettu käyttää liian hienorakeista salaojasoraa, tai salaojakerros puuttuu jopa kokonaan, jolloin kosteus nousee kapillaarisesti täytemaata pitkin laatan alapintaan. Lämmöneristyksen puuttuminen voi kapillaarisen kosteuden nousun lisäksi johtaa maaperän liialliseen lämpenemiseen, jolloin kosteus imeytyy betonilaattaan diffuusion avulla. Kun puurakenteisen lattian koolauksen ja seinien alajuoksun välistä puuttuu lisäksi kermikaista, siirtyy kosteus edelleen betonilaatasta seinään ja sattaa aiheuttaa

home- ja lahovaurioita. Kuvassa 6 on esitetty kosteuden nousu laatan kautta seinään. (RT 80-10712.)

Paksut betonilaatat ovat sinällään riski jo sisältämänsä rakennekosteuden takia, sillä betonin kuivuminen on hidasta, ja lattiapäällyste asennetaan usein joko tietämättömyyttä tai ajan säästämiseksi ennen kun betoni on ehtinyt riittävästi kuivua (RT 80-10712).

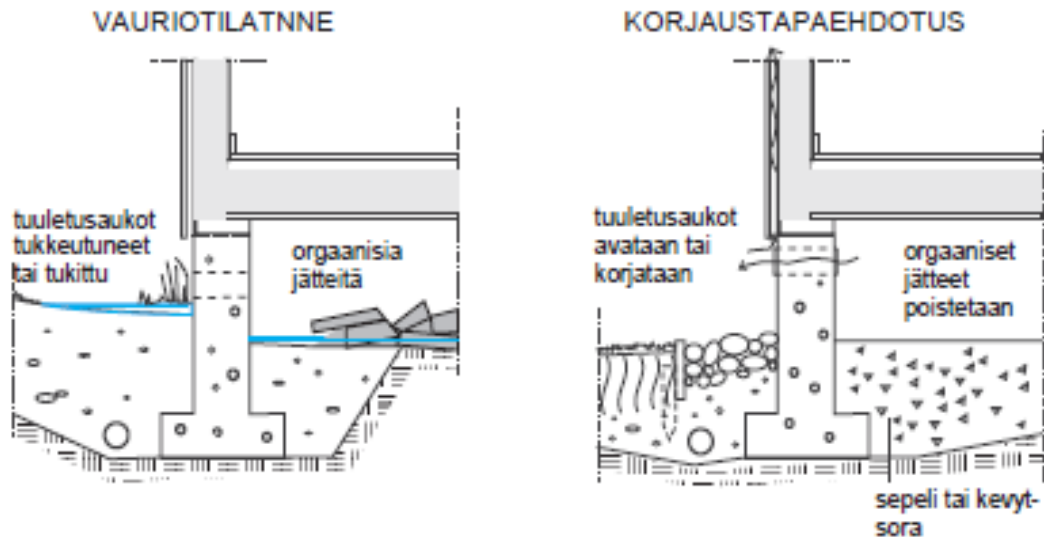


Kuva 6. Veden nousu seinään kapillaarisesti. Vesi nousee sitä korkeammalle, mitä paksumpi seinä on tai mitä huonommin sen pinta tai pinnoite läpäisee vettä. (RT 80-10712.)

Maanvaraisen laatan alla on käytettävä noin 200 mm paksua salaojakerrosta, minkä lisäksi orgaanista tai hienojakoista maata sisältävän täytemaan päälle tulee asentaa suodatinkangas. Radon- ja hajuhaittojen takia alapohjan läpiviennit ja saumakohtat tiivistetään huolellisesti tiivistyskaistoilla ja elastisella massalla. (RT 80-10712.)

Tuulettuvien ja ryömintätalallisten alapohjien ongelmat johtuvat monesti joko tuuletuksen puutteesta tai ryömintätilan ja alapohjan välisten rakojen ja saumojen huolimattomasta tiivistyksestä. Pintavedet valuvat ryömintätilaan riittämättömästä kallistuksesta tai tukkeutuneista salaojista johtuen. Kosteutta saattaa nousta myös maaperästä diffuusiolla, jolloin rakennusjäte ja muu orgaaninen aines levittää homehtuessaan ryömintätilaan homeitiöitä. Jos

alapohjassa on myös epätiiveydenkohtia, mikro-organismit saattavat levitä sieltä sisäilmaan. Kuvassa 7 on esitetty alapohjan tuuletuksen periaate.



Kuva 7. Sokkelin tuuletusaukkojen tulee olla oikean kokoisia ja sijaita riittäväällä etäisyydellä maanpinnasta. Ryömintätilaan ei saa jättää orgaanisia aineita. (RT 80-10712.)

Kesällä on syytä kiinnittää huomiota myös ryömintätilan lämpötekniiseen toimintaan; mikäli alapohja on eristetty tehokkaasti, voi paljon absoluuttista kosteutta sisältävä tuuletusilma kondensoitua vedeksi viileässä ryömintätilassa. Tällöin on syytä eristää myös maaperä. (RIL 205-2011, 190.)

### 2.2.2 Ulkoseinät

Ulkoseiniin vaurioita aiheuttavat yleisesti vesivuodot räystäs- ja ikkunapelleistä, sadevesikouruista ja syöksytorvista. Kun Ikkunoiden, ovien ja parvekerakenteiden seinäliittymät on tiivistetty huonosti, ja pellitysten ulottumat seinäpinnasta tehty puutteellisesti, valuu vesi sisälle rakennukseen ja rakenteisiin rakojen kautta. Maanpinnan korkeusasema lattiapintaan nähden ja puutteelliset tai jopa väärään suuntaan tehdyt kallistukset kuljettavat huleveden ja poisjohdetut kattovedet ulkoseinän alaosa vasten.

Kiviaineiset seinät kärsivät usein pakkasrapautumista, ja pinnoitteiden ja maalien irtoamisesta. Jos uloin pinta kestää huonosti pakkasta tai siinä on liian tiivis pinnoite, ei rakenne pääse kuivumaan ulospäin. (RIL 205-2011, 192.)

Ulkoeritys saattaa ulottua liian lähelle maanpintaa, eikä puu-erityksen alareunaan ole viistetty tippanokkia, jolloin vesi imeytyy kapillaarisesti erityksen alaosaan pitkin. Tuuletusvälin puuttuminen tai tukkeutuminen johtaa veden tunkeutumisen sisemmälle ulkoseinään ilmankierron puutteesta. Kun ilmansulku on väärässä paikassa tai huolimattomasti asennettu, sähköasennusten, kanavien ja putkien läpivientien kautta kulkeutuva sisäilman kosteus tiivistyy ulkoseinän rakenteisiin. (RT 80-10712.)

Ulkoseiniin liittyvien pellitysten suositeltu kaltevuus on noin 30 astetta, mutta kuitenkin vähintään 15°. Tuuletusvälin tulee olla yhtenäinen ja tiiliverhousalareunasta avataan joka kolmas pystysauma. Liian tiivis pintakerros poistetaan tarvittaessa, ja korvataan rakenteeseen sopivalla hengittävällä materiaalilla. Elementtien saumoihin ja liikuntasaumojen saumaussmassan kuntoon kiinnitetään huomiota, sekä risteyskohtien vedenpoisto- ja tuuletusputkiin. Ilman- tai höyrynsulku asennetaan lämmöneristyksen sisäpintaan ja limitetään yläpohjan höyrynsulun kanssa 100 mm. (RT 80-10712.)

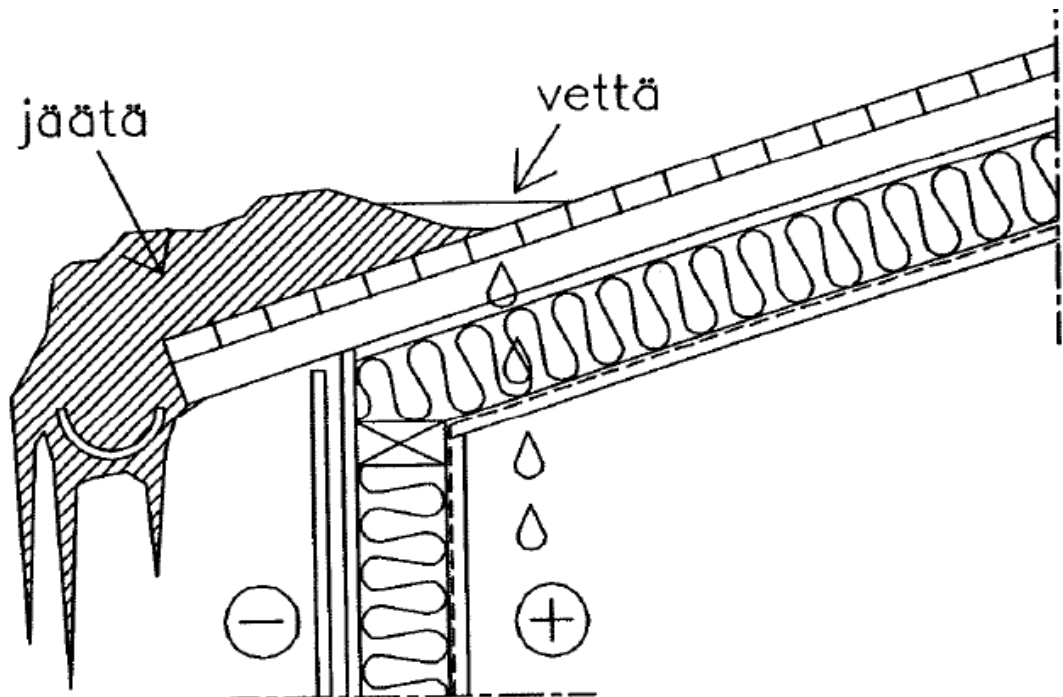
### 2.2.3 Vesikatto

Vesikaton vaurioiden ilmenemiseen voi kulua pitkäkin aika, mikäli vesi valuu sellaiseen rakenteeseen jossa sitä ei voi heti havaita, tai jos rakennusmateriaalit sitovat paljon kosteutta. Läpivientien, kuten savupiippujen, viemärin tuuletusputkien ja ilmastointikanavien saumat saattavat vuotaa. Tuulisella säällä vesi voi kulkeutua kатteen päällä myös ylöspäin ja kulkeutua rakenteisiin ylösnostojen epätiivisyyskohdista. Kattokaivojen ja räystäiden tukkeutuminen johtaa nopeasti veden tulvimiseen ja tunkeutumiseen katon ja seinän rakenteisiin. (Viljanen 1997, 86.)

Suomessa kатteen vaurioitumiseen johtavat usein jään patoutumisesta ja jäänpoistosta aiheutuneet mekaaniset vauriot. Jäätä yritetään irrottaa katolta

petkeleellä tai lapiolla, jolloin kate rikkoutuu liian kovakouraisesta käsittelystä. Vesi lammikoituu katolla helposti myös kuoppiin ja taipumien kohdalle.

Läpiviennit voivat toimia lämpösiltoina ja siirtää sisäilman lämpöä läpiviennin ympäristöön, jolloin lumi sulaa ja virtaa edemmäs kylmälle alueelle. Jäätyessään vesi patoutuu ja estää hulevesien hallitsemattomia virtauksia ja jopa katevaurioita. Kuvassa 8 on esitetty räystäälle patoutuvan jään ja sen aiheuttaman vuodon periaate. (Viljanen 1997, 87.)



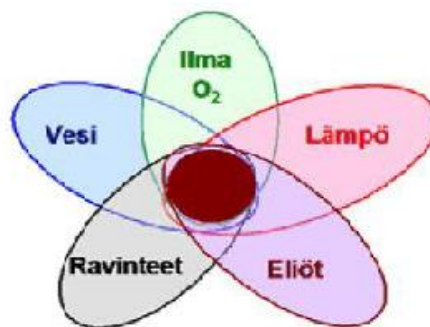
Kuva 8. Jää- ja lumipadon aiheuttama vesilammikko räystäällä (Viljanen 1997, 88).

Yläpohjan kosteuspitoisuus riippuu pitkälti vesikaton toimivuudesta ja vuodoista, mutta siihen vaikuttavat myös tuuletustilan ja ulkoilman väliset lämpötilaerot, ulkoilman kosteuspitoisuus, korkea rakennuskosteus ja puutteellinen tuuletus, sekä sisäilman kautta johtuva diffuusio- ja konvektiokosteus (Viljanen 1997, 89).

### 3 MIKROBIT

Mikrobit, kuten bakteerit, home- ja lahottaj sienet ja virukset ovat luonnollinen osa ihmisen elinympäristöä. Selkeästi haitallisille pitoisuuksille onkin rakennuksessa vaikea asettaa ehdottomia raja-arvoja, sillä sisäilman mikrobilähteet ovat lukuisat ja ne ulottuvat ihmisistä, rakennusmateriaaleista ja ruoka-aineista aina tekstiileihin. Näiden lisäksi mikrobeja kulkeutuu rakennuksiin ulkoilmasta mm. ilmanvaihtokanavien, ovien ja ikkunoiden kautta. (RIL 205-2011,151.)

Mikrobien kasvun mahdollistavat ympäröivät kosteus-, ravinne- ja lämpötilaolosuhteet. Suuri osa sienistä ja bakteereista ovat kasvuedellytyksiltään valittavan vaatimattomia, ja menestyvät kasvun alettua hyvin tavallisten asuintalojen ja julkisten tilojen tarjoamissa sisäolosuhteissa. Ravinnoksi mikrobien kasvun käynnistymiseen riittää puu, kipsilevy tai jopa pöly betonin tai teräksen pinnalla. Mikrobit pärjäävät yleisesti 5–40 °C lämpötila-alueella, eli jo rakennusten tavanomainen noin 20 °C käyttölämpötila mahdollistaa mikrobien kasvun. Tärkeimmäksi mikrobikasvustoa sääteleväksi tekijäksi jää siten tilojen ja pintojen sisältämä kosteus. Kuvassa 9 esitetään mikrobien kasvuun vaikuttavat olosuhdetekijät. (Asumisterveysopas 2003, 146–147.)



**+ VAIKUTUSAIKA!**

Kuva 9. Materiaalien vaurioitumisen kannalta kriittiset tekijät (RIL 205-2011).

Ympäristöministeriö on koonnut (taulukko 2) ohjeelliset arvot rakennusosien homehtumisriskille materiaalin kosteuspitoisuuden ja vaikutusajan perusteella. Kun lasketaan miten pitkään rakenne on tietyssä kosteuspitoisuudessa vuositasolla, saadaan kosteuspitoisuutta vastaava vaikutusaika. Homehtumisriski kertoo vaikutusajan ja homehtumiseen vaaditun ajan suhteen. (Viljanen 1997, 38.)

Taulukko 2. Homehtumisriski suhteellisen kosteuden ja lämpötilan mukaan (Viljanen 1997, 39).

Rakennusosa	Homehtumisriski suhteellinen kosteus			
	< 70 %	70...80 %	80...90 %	> 90 % ja kapillaarialue
Rakennuksen ulkovaipan sisäosat, väliseinät ja välipohjat	vähäinen, vaikka kosteusrasitus on jatkuva	vähäinen, jos kosteusrasitus esiintyy lyhyinä jaksoina	*vähäinen, jos kosteusrasitus esiintyy lyhyinä jaksoina	rakennusosa on pääsääntöisesti korjattava, ellei kosteuspitoisuus esiinny vain lyhyinä jaksoina, esimerkiksi märkätilojen sisäpinnolla
Rakennuksen ulkovaipan ulko-osat	vähäinen, vaikka kosteusrasitus on jatkuva	vähäinen, jos kosteusrasitus esiintyy lyhyinä jaksoina tai pidempiaikaisesti vuoden kylmimpänä aikana	*vähäinen, jos kosteusrasitus esiintyy lyhyinä jaksoina tai vuoden kylmimpinä aikoina	*rakennusosa on pääsääntöisesti korjattava, jos kosteuspitoisuus esiintyy jaksoina, ellei rakenteen lämpötila ole samanaikaisesti alle 0 °C.

\* Edellyttää laskennallista analyysia

Hapen tai ilman puute rakenteissa ei joidenkin tutkimuksien mukaan mikro-organismien kasvua juuri rajoita (RIL 205-2011, 152–153).

### 3.1 Mikrobivaurion määrittely ja raja-arvot

Mikrobilähteiden tunnistamisessa käytetään apuna mikrobien ohje- ja viitearvoja sekä tietoja eri mikrobilajistojen esiintymisestä. Ohje- ja viitearvoista ei voida kuitenkaan vielä tehdä lopullisia päätelmiä sisäilman terveellisyyden laadusta. Kosteusvaurioituneissa rakennuksissa on saatettu löytää lukuisia eri mikrobilajeja, mutta mitatut pitoisuudet eivät kuitenkaan aina ole suuria.



Mikrobipitoisuudet korreloivat huonosti havaittujen terveyshaittojen kanssa, vaikka on ilmeistä että ne vaikuttavat suoraan tai välillisesti mm. erilaisten hengitysongelmien ja -sairauksien syntyyn. Osa mikrobeista aiheuttaa ihmiselle kiistattomasti oireita ja terveyshaittoja, kun taas joidenkin mikrobien haitallisuudesta on runsaasti viitteitä, muttei selkeitä tutkimustuloksia. Kaikkiaan eri mikrobien vaikutusmekanismit terveydelle ovat erilaisia, minkä lisäksi oireiden synty on riippuvainen ihmisten yksilökohtaisista eroista. Työterveyslaitos on koonnut viitearvoja toimistojen sisäympäristön ongelmien tunnistamisen avuksi (taulukko 3).

Sosiaali- ja terveysministeriö rajaa Asumisterveysoppaassa (2003) haitallisen kosteus- ja mikrobivaurion tilanteeseen, jossa ”mikrobikasvustoista irtoaa itiöitä, muita hiukkasia, hajua aiheuttavia ja muita haihtuvia yhdisteitä huoneilmaan” (Asumisterveysopas 2003, 146).

Taulukko 3. Työterveyslaitoksen käyttämiä viitearvoja sisäympäristön ongelmien tunnistamisessa puhtaissa toimistotiloissa. ([www.tyoterveyslaitos.fi](http://www.tyoterveyslaitos.fi)).

<b>Bioaerosolit</b>		
<sup>2</sup> 100% sisäilman pitoisuuksista on alle ko. pitoisuustason kosteusvaurioitumattomissa toimistorakennuksissa (aineisto Etelä-Suomesta)		
<b>Mikrobit</b>		
<b>-Ilmanäytteet, talviaikana (tarvittaessa ulkoilmanäyte ja vertailu siihen)</b>	<p><b>Homeet:</b>  <math>&gt; 50 \text{ cfu/m}^3</math></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>kohonnut sieni-itiöpitoisuus, viittaa sisäilman epätavanomaiseen mikrobilähteeseen<sup>2</sup> (mikrobikasvuston esiintyminen rakenteissa todennäköistä)</li> </ul>	<p>Salonen ym. (2007). Fungi and bacteria in mould-damaged and non-damaged office environments in a subarctic climate. Atmos Environ 41 (2007) 6797-6807.</p> <p>Salonen ym. Homeet ja bakteerit homevaurioituneissa ja elvaurioituneissa toimistotyö-</p>
(keräys- ja analysointi Asumisterveysohjeen 2003 mukaan)	<p><b>Bakteerit:</b>  <math>&gt; 600 \text{ cfu/m}^3</math></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>kohonnut bakteeripitoisuus, viittaa riittämättömään ilmanvaihtoon tai sisäilman epätavanomaiseen mikrobilähteeseen<sup>2</sup></li> </ul> <p><b>Aktinobakteerit:</b>  <math>&gt; 5 \text{ cfu/m}^3</math></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>kohonnut pitoisuus, viittaa sisäilman epätavanomaiseen mikrobilähteeseen taso<sup>2</sup></li> </ul>	<p>ympäristöissä pääkaupunkiseudulla. Sisäilmastoseminaari 2008.</p>
<b>- materiaalinäytteet</b>	<p><b>Sieni-itiöpitoisuus:</b>  10 000 cfu/g</p> <p>Rakennusmateriaalissa voidaan katsoa esiintyvän sienikasvustoa, kun näytteen sieni-itiöpitoisuus on suurempi kuin 10 000 cfu/g. Jos näytteen sieni-itiöpitoisuus on pienempi kuin 10 000 cfu/g, yksinomaan sieni-itiöpitoisuuden perusteella ei voida tehdä johtopäätöstä materiaalin kasvustosta, vaan myös lajistoa on tarkasteltava.</p> <p>Sieni-itiöpitoisuus:  +++ tai ++++</p> <p>Materiaalinäytteen mikrobiologisen viljelyn tulos viittaa materiaalin kostumiseen ja vaurioitumiseen, mikäli materiaalinäytteessä on elinkykyisiä sieni-itiöitä runsaasti (+++/++++) tai näytteessä esiintyy kosteusvaurioon viittaavia mikrobeja. Yksittäisten kosteusvauriomikrobien esiintyminen on kuitenkin normaalia.</p> <p><b>Bakteeripitoisuus:</b>  100 000 cfu/g</p> <p>Näytteen bakteeripitoisuus vähintään 100 000 cfu/g viittaa bakteerikasvuun materiaalissa.</p>	<p>Asumisterveysohje. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaia 2003:1</p> <p>Reiman ym. 1999. Laimennossarja- ja suoraviljelymenetelmien käyttö rakennusmateriaalinäytteiden mikrobipitoisuuksien ja mikrobiston määrittämiseksi. Sisäilmastoseminaari 1999.</p>

Homevauriorakennuksissa esiintyvien mikrobin tunnistamisessa käytetään ilma-, pinta- ja materiaalinäytteitä. Näillä selvityksillä pyritään tunnistamaan tavanomaisesta poikkeavat mikrobipitoisuudet ja -lajistot, jotka tyypillisesti viittaavat olemassa olevaan kosteusvaurioon. (Asumisterveysopas 2003, 148.)

Sisäilmassa oleva mikrobipitoisuus voi olla raja-arvojen sisällä ja samalla tasolla kuin terveessä rakennuksessa, mutta poikkeava mikrobilajisto indikoida merkittävään home- ja kosteusvaurioon. Tämän vuoksi sisäilman sisältävien mikrobipitoisuuksien tulkinta vaatii aina erityisosaamista. (Asumisterveysopas 2003, 148-149.)

Ilma-, pinta- ja materiaalinäytteiden tulkinnanvaraisuuden vuoksi mikrobi- ja homevaurioiden todentamiseksi tarvitaan poikkeuksetta myös asiantuntijan suorittama rakennustekninen arvio (EK tarkastusvaliokunta 1/2012, 80-81).

## 3.2 Mikrobin aineenvaihduntatuotteet

### 3.2.1 Kaasumaiset aineenvaihduntatuotteet

Homeen tai maakellarimaisen hajun tunnistaminen sisäilmassa viittaa usein mikrobikasvustoon talon rakenteissa. Kosteusvauriorakenteessa pesivät mikrobit levittävät ilmaan kaasumaisia aineenvaihduntatuotteita, jotka syntyvät näiden hajoittaessa orgaanista materiaalia. Näitä yhdisteitä kutsutaan MVOC-yhdisteiksi (*Microbial volatile organic compounds*). (Asumisterveysopas 2003, 151; Viljanen 1997, 66.)

MVOC aiheuttaa käsitteenä ongelmia mikrobivaurion tunnistamisessa, sillä em. yhdisteiden lähteet voivat olla hyvin monet mahdollisen mikrobikasvuston lisäksi. Eräät alkoholit, rakennusmateriaalit, elintarvikkeet ja jopa siivouksessa käytettävät puhdistusaineet sisältävät samoja yhdisteitä. Tämän vuoksi yksinomaan MVOC-pitoisuuksista on mahdoton todeta kosteus- ja homevauriota. (Asumisterveysopas 2003, 151).

### 3.2.2 Mikrobitoksiinit ja mykotoksiinit

Eräät homeet, hiivasienet ja bakteerit voivat tuottaa ilmaan voimakkaasti haitallisia, myrkyllisiä aineenvaihduntatuotteita eli toksiineja. Sekä kosteusvaurioiden indikaattorimikrobit että huoneilmassa yleisesti esiintyvät mikrobit voivat tuottaa ilmaan toksisia aineita. Mikrobitoksiinit eivät yleensä esiinny sisäilmassa kaasumaisessa olomuodossa, mutta voivat kuitenkin bioaerosoleina kiinnittyä sisäilmassa pieniin hiukkasiin, kuten huonepölyyn, jota pitkin ne kulkeutuvat ihmisen elimistöön. Keskenään erilaisia aineenvaihduntatuotteita tunnetaan jopa useita tuhansia, joista kaikki eivät kuitenkaan ole ihmiselle myrkyllisiä. (Asumisterveysopas 2003, 151–152; EK 2012/1, 85-86.)

Mykotoksiinit ovat mikrosienten, eli home- ja hiivasienten tuottamia myrkyllisiä aineenvaihduntatuotteita (sekundäärimetaboliitteja). Mykotoksiinien määrä ja laatu vaihtelevat eri homesienilajien välillä, minkä lisäksi niiden tuottoon vaikuttavat kasvualusta (rakennusmateriaali), kosteuden ja lämpötilan suuruus, mikrobilajien keskinäinen kilpailu elinympäristöstä sekä hapen ja hiilidioksidin saanti. (Asumisterveysopas 2003, 152.)

Mykotoksiinien joukko on lajiteltu yli kahteenkymmeneen luokkaan niiden kemiallisen rakenteen mukaan. Homeiden tuottamista toksiineista haitallisimpina mainittakoon esimerkiksi trikotekeenit, joita tuottavat mm. *Stachybotrys*, *Fusarium* ja *Trichoderma*-lajit, joita löydettiin case-osion kohteen rakenneavauksista, sekä *strerigmatokysteeni*, joka on kosteusvaurioituneessa rakennuksessa monesti tavattavan, niin ikään case-kohteesta löydetyn *Aspergillus versicolorin* aineenvaihduntatuote. Bakteereista sekundäärimetaboliitteja ja toksiineja tuottavat nk. aktinomykeetit. (Asumisterveysopas 2003, 151–152; EK 2012, 86.)

Vuonna 1992 julkaistiin kansainvälisen asiantuntijaryhmän laatima ”Baarnin lista”, johon koottiin kosteus- ja homevauriorakennuksissa yleisimmin tavatut indikaattorimikrobit. Näitä mikrobeja tavataan harvemmin vauriottomien verrokkirakennusten ilma- tai materiaalinäytteistä. Listaa on sittemmin

täydennetty Työterveyslaitoksen ja Terveiden ja hyvinvoinnin laitoksen tuloksilla indikaattorimikrobeista ja näiden todennäköisyydestä tuottaa toksineja, taulukko 4.

Taulukko 4. Esimerkkejä yleisesti esiintyvistä sienisuvuista ja ryhmistä sekä kosteusvaurioon viittaavista mikrobisuvuista, -lajeista ja -ryhmistä (Asumisterveysopas 2003, 172).

Ulkoilmassa yleisiä sienisukuja ja -ryhmiä	Sisäilmassa yleisiä sienisukuja ja -ryhmiä	Kosteusvaurioon viittaavia mikrobisukuja, -lajeja ja -ryhmiä
Cladosporium *	Penicillium *	Acremonium *
basidiomykeetit	Aspergillus *	Aspergillus fumigatus *
Penicillium *	Cladosporium *	A. ochraceus *
Aspergillus *	hiivat	A. Penicilliodes/A. Restictus
Alternaria		A. Sydowii *
hiivat		A. Terreus *
steriilit **		A. Versicolor *
		Chaetomium *
		Eurotium
		Exophila
		Fusarium *
		Oidiodendron
		Geomyces
		Paecilomyces *
		Phialophora
		Scopulariopsis
		Sporobolomyces
		Sphaeropsidales (Phoma)
		Stachybotryn/Memnoniella *
		Sädesienet *
		Trichoderma *
		Tritirachium/Engyodontium
		Ulocladium
		Wallemia

\*mahdollisesti toksineja tuottavia mikrobeja

\*\*pesäkkeitä, jotka eivät käytettävillä kasvualustoilla muodosta itiöitä

Mykotoksiinien pitoisuudet sisäilmassa ovat yleisesti ottaen varsin pieniä, mistä johtuen tarkempi analysointi on vaikeaa ja kallista, ja käytettävissä olevaa tutkimustietoa on hyvin vähän. Toksiinien pitoisuutta voidaan verrata vain

teoreettisesti pitoisuuksien osuuteen huonepölyssä tai homeitiöissä. (EK 2012, 86.)

Mykotoksiinien pitoisuus jää kosteus- ja homeaurioituneissa kodeissa ja työpaikoilla nykytiedon valossa yleensä alle 30 ng/m<sup>3</sup> (1 ng = milligramman miljoonasosa). Etenkin toimistoympäristöön sovellettavat viitearvot ovat huomattavasti alemmat kuin teollisissa ja tuotannollisissa työympäristöissä tilojen erilaisista käyttötavoista ja ilmanvaihdon eroavaisuuksista johtuen. Mikäli mykotoksiinien raja-arvoja kuitenkin määritettäisiin kosteus- ja homeauriorakennuksille toksikologisella arvioinnilla, päädyttäisiin todennäköisesti huomattavasti pienempiin pitoisuuksiin kuin 30 ng/m<sup>3</sup>. (EK 2012, 86.)

Mykotoksiinien määrä huonepölyssä pitäisi olla vähintään satakertainen toistaiseksi julkaistuihin tuloksiin verrattuna, jotta niiden ilmakeräys ja tarkka toksikologinen määrittäminen nykylaitteilla ja -menetelmillä olisi edes mahdollista. Olennaisinta onkin arvioida poikkeako altistuminen tavanomaisesta ympäristön, tai kokonaisuuden kautta tapahtuvasta altistumisesta. (Säteri & Backman 2011, 93-94; Asumisterveysopas 2003, 152–153; EK 2012, 85-87.)

## 4 CASE TURUN VÄHÄ-HEIKKILÄN KASARMIT

### 4.1 Kohteen taustat

Turun Vähä-Heikkilässä sijaitsevan entisen kasarmirakennuksen rakentaminen aloitettiin venäläisvoimin 1800- ja 1900-lukujen taitteessa. Rakennuksen piti alun perin valmistua Venäjän Itämeren laivaston sairaalaksi, mutta se otettiin kuitenkin kasarmikäyttöön heti valmistumisensa jälkeen vuonna 1917.

Rakennus on pääosin kolmikerroksinen. Sen keskellä sijaitsee korkeampi torniosa, jossa sijaitsevat kerrokset 4–6. Kantavat ulkoseinät ovat massiivitiiltä, ja välipohjat ovat I-teräspalkkien varaan valettua kotelolaattaa. Julkisivu on pääosin rapattu, osittain tiilipintainen. Vesikatto on monimuotoinen harjakatto, jonka katemateriaalina on konesaumattu pelti.

Rakennukseen on tehty kaksi laajempaa peruskorjausta ennen 2013 lopulla valmistunutta saneerausta; 1970 uusittiin vesikatto, alapohja ja välipohjien pintalaatat, minkä jälkeen rakennus muutettiin vuonna 2007 toimistokäyttöön lähes kymmenen vuoden tyhjiällä olon jälkeen. Tuolloin rakennuksessa uusittiin mm. kaikki pinnat, tekniset järjestelmät ja ikkunat, katon kuivatusjärjestelmiä muutettiin, ja ilmanvaihto koneellistettiin kokonaan. Ullakkotiloihin rakennettiin IV-konehuoneet.

Vuonna 2013 valmistunut saneeraus käynnistyi 2011 loppuvuodesta henkilökunnan oireilun ja havaittujen kosteusvaurioiden vuoksi. Seuraavissa osioissa esitellään kohteen kosteus- ja mikrobivaurioiden syntymistapoja sekä hankkeen toteutusmalli kyseisten korjaustöiden osalta.

### 4.2 Puhtaudenhallinta purkutöiden aikana ja P1-luokan rakentaminen

Rakennustöiden puhtaudenhallinnan merkitys korostuu merkittävästi mikrobisaneerauskohteessa. Purettavista rakenteista irtoava hienojakoinen

rakennuspöly saattaa kuljettaa mukanaan mikro-organismeja ja itiöitä, jotka voivat kulkeutua ilman mukana työntekijöiden hengityselimiin tai levitä osastoista ja tiloista toiseen kun rakennuksen ilmanapainesuhteita ei ole hallitusti ohjattu.

Rakennustöiden puhtausluokituksen tarkoituksena on varmistaa että tilat ovat valmistuessaan niin puhtaat, että ne voidaan ottaa käyttöön välittömästi vastaanoton jälkeen. Vaatimusten laajuus ja taso määräytyvät rakennukselle asetetusta sisäilmastoluokasta. Vähä-Heikkilän päärakennuksen sisäilmastoluokka on S2, mikä edellyttää Sisäilmastoluokitus 2008 (RT 07-10946) -dokumentin mukaisia P1-luokan rakennus- ja ilmanvaihtotöitä. Hankkeessa käytettiin M1-päästöluokan rakennusmateriaaleja.

Kosteus- ja mikrobivaurioituneiden rakenteiden purkutöiden päämenetelmänä käytetään osastointia, jossa työkohte ja sitä ympäröivä tila eristetään ilmastollisesti muista tiloista ja alipaineistetaan. Osastoon synnytetään alipaine mikro-suodattimilla varustetuilla alipaineistajilla. Osaston sisällä mikrobipitoisen pölyn poistamista tehostetaan kohdepoistolla varustetuilla työkaluilla sekä H-luokitelluilla, karkeasuodattimella (G4) ja HEPA-suodattimella (H13) varustetuilla teollisuusimureilla.

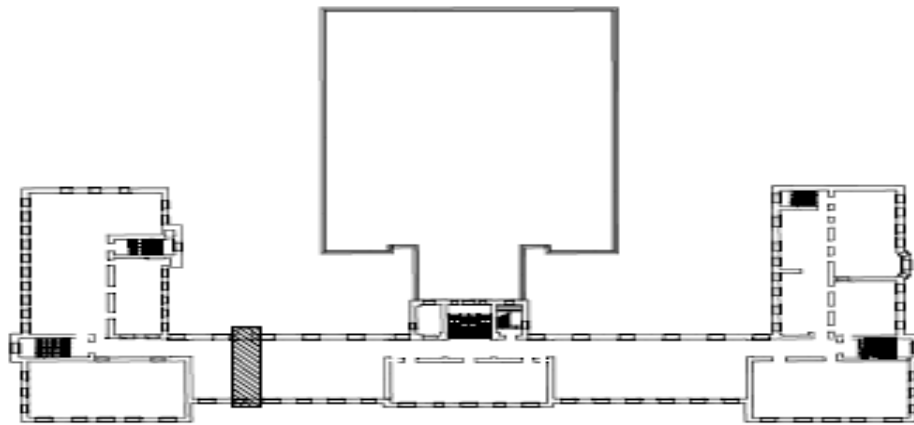
Alipaineistettujen tilojen korvausilman virtaussuunta on aina puhtaasta tilasta likaiseen päin. Alipaineistajien määrää ja tehoa vaihtelemalla luotiin osastoittain olosuhteet, joissa ilma vaihtui noin 6–10 kertaa tunnissa. Poistoilma johdettiin suoraan ulkoilmaan alipaineistajiin liitettävien karkeasuodattimien (G4) ja HEPA-suodattimien (H13) kautta.

Koneellinen ilmanvaihto suljettiin ennen purkutöiden käynnistämistä kulloiseltakin korjausalueelta. Ilmanvaihtokanavien venttiilit peitettiin muovikalvoilla ja teipillä homepölyn leviämisen estämiseksi.

Ennen purkutöiden aloittamista tyhjennettiin tiloista myös kaikki kiinto- ja irtokalusteet. Säilytettävät varusteet ja laitteet, kuten lämpöpatterit, jäähdytinlaitteet, sähkökeskukset ja -kourut, huoltoluukut sekä muut pölylle alttiit laitteet suojattiin huolellisesti muovilla ja teipillä.



Korjauskohteen kolme kerrosta osastoitettiin rakennuksen luonnollisen huonejaon lisäksi kukin kolmeen eri osastoon itä-länsisuunnassa: itäpäätyyn, länsipäätyyn ja keskiosaan, jossa sijaitsi ensimmäisestä kerroksesta kolmanteen ulottuva porraskäytävä. Rakennuksen pohjan projektio on esitetty kuvassa 10. Päädyistä keskiosaan johtavat ovet varustettiin ylipaineistetuilla, puurankaisilla ja suojamuovista rakennetuilla suojaseinillä. Samanlaisista suojaseinistä rakennettiin myös tilapäiset osastot erityisen pölyäville rakennustöille, kuten laastien ja massojen sekoitukselle sekä kipsilevyn ja puun työstämiselle. Osastojen ovet, ikkunat, hormit ja läpiviennit suljettiin pölytiiviiksi muovilla ja teipillä.



Kuva 10. Pohjan projektio. Kuvasta katsottuna vasemmalla rakennuksen länsipääty, oikealla itä.

Työmaan osastointi ja alipaineistus säilytettiin aina homeettomaksi siivoukseen saakka. Poistoilman määrä osastoissa saattoi rakennustyövaiheen pölyävyydestä riippuen olla pienempi kuin purkutöiden aikana, mutta kuitenkin selvästi alipaineinen aina siihen saakka, kunnes työmaa oli samassa puhtaustasossa ympäröivien tilojen kanssa. Erityisen paljon pölyä tuottavat työvaiheet, kuten betonin piikkaus, poraus- ja hiontatyöt suoritettiin ennen uusien pintojen rakentamista ja puhtaita asennusolosuhteita vaativia asennustöitä (IV).

Työmaalla työskenteli vähintään yksi rakennussiivoaja koko purku- ja rakennusvaiheen ajan. Rakennussiivouksella ehkäistiin pölyn, irtolian ja muiden

epäpuhtauksien leviäminen ympäristöön. Työskentelyalueet puhdistettiin päivittäin lattiakuivaimella ja H-luokan teollisuusimurilla. Harjaamista ei käytetty lainkaan sen nostattaman pölyn vuoksi. Rakennustöiden aikana tavoitteena oli pitää lattiapinnat kokonaan puhtaana karkeasta irtoliasta, joskin rakentamisesta syntynyttä hienompaa pölyä oli pakko sietää jossain määrin.

Purkutöiden jälkeen imuroitiin kaikki katto-, seinä- ja lattiapinnat sekä kiinteiden alakattojen ja koteloiden yläpuolelle jäävät pinnat (IV-kanavien ulkopinnat, putket ja alakattorungot ym.) ja muut tasot kauttaaltaan karkeasuodattimella ja HEPA-suodattimella varustetulla H-luokan teollisuusimurilla, minkä jälkeen pintojen puhtaus todennettiin visuaalisesti ennen seuraavia työvaiheita. Alakatot ja kotelot suljettiin lopullisesti vasta homeettomaksi siivouksen jälkeen.

Homeettomaksi siivous suoritettiin korjaustöiden jälkeen viimeistenkin pinta- ja asennustöiden valmistuttua, ja IV-kanaviston nuohouksen jälkeen. Ennen siivouksen aloittamista poistettiin tiloista pintojen suojaukset ja rakennusjätteet. Kaikki näkyvät ja ei-näkyvät pinnat imuroitiin vielä kertaalleen, minkä jälkeen ne pyyhittiin nihkeällä mikrokuitupyhkeellä. Kovien pintojen puhdistukseen käytettiin yleispuhdistusainetta, sekä paikoittain desinfioivia puhdistusaineita. Siivouksessa edettiin huone kerrallaan ylhäältä alaspäin ja puhtaammasta tilasta likaiseen. Puhdistuksen jälkeen tilat suljettiin kululta ja merkittiin siivotuiksi.

Homeettomaksi siivouksen jälkeen kaikki pinnat ja tilat tarkistettiin silmämääräisesti. Pintojen pölykertymä mitattiin myös geeliteippimenetelmällä INSTA 800 -laadunarviointijärjestelmän mukaisesti. Taulukossa 5 on esitetty P1-puhtausluokan sallitut pölykertymät (RT 07-10946).

Taulukko 5. Pölykertymien maksimiarvot (RT 07-10946).

Tarkastusajan-kohta	Arvioitavat pinnat	Pölykertymä %
Ennen ilmanvaihdon toimintakokeita	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alakaton yläpuoli</li> <li>Pinnat yli 180 cm korkeudella</li> <li>Pinnat alle 180 cm korkeudella (pl. lattiapinnat)</li> </ul>	5,0
Ennen rakennuksen luovutusta	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pinnat yli 180 cm korkeudella</li> <li>Pinnat alle 180 cm korkeudella</li> </ul>	1,0
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lattiapinnat</li> </ul>	3,0

### 4.3 Homeenpoistopesu ja desinfiointi

Kosteus- ja mikrobivaurioituneen rakennuksen ensisijainen korjausmenetelmä on poikkeuksetta vaurioituneen materiaalin poisto rakenteista. Kantavat rakenteet, sekä kerrokselliset rakenteet ja näiden rajapinnat saattavat kuitenkin joissain tapauksissa vaatia lisäksi kemiallista käsittelyä. Mikro-organismit ja itiöt saattavat tunkeutua jopa useita senttimetrejä rakenteen sisälle purkualueen ulottumattomiin, etenkin kohteen kaltaisissa massiivitiiliseinäisessä rakennuksessa. Tästä syystä Vähä-Heikkilässä päädyttiin toteuttamaan myös pintojen homeenpoistopesu ja desinfiointikäsittely.

Homeenpoistopesu ja ULV-savutus suoritettiin osastoittain purkutöiden loputtua, kun rakenteiden pinnat olivat puhdistettuja ja kaikkein avoimimmillaan. Pinnoilla olevat mahdolliset kasvustojen jäämät käsiteltiin Ratu 85-0333 - homeenpoistopesuohjekortin mukaisesti harjaamalla ja ruiskuttamalla pinnoille biofilmiä poistavaa ja desinfioivaa homepesuainetta.

Homeenpoistopesulla pyritään ensisijaisesti poistamaan rakenteesta mikrobikasvusto ja homeitiöt. ULV-savutuksen peroksidipohjaisella desinfiointi- ja hajunpoistoaineella taas pyrittiin vähentämään mahdollisesti allergisia oireita aiheuttavia hajuja sekä alentamaan mikrobien aineenvaihduntatuotteiden ja rakennusmateriaalien hajoamistuotteiden (MVOC) päästötasoja.

ULV-savutuksessa käytettävien tehoaineiden määrä on varsin pieni muissa desinfiointimenetelmissä käytettäviin verrattuna, joten aineiden leviämisen kontrollointi on helpompaa. Savutuksessa käytettävän aineen pisarakoko on useimmiten vain 0,5–10 mikrometriä (millimetrin tuhannesosa), minkä lisäksi pisara hajoaa aineeseen törmätessään vielä pienemmiksi osiksi ja tunkeutuu kapillaarisesti huokoiseen aineeseen.

Käsiteltävä alue merkittiin varoituskyltein, joissa mainittiin A2/P3-luokan hengityssuojaimen käyttöpakosta sekä käytettyjen aineiden erityisvaatimuksista. Osastointien tiiveys, pölynhallinnan taso ja siivouksen riittävyys tarkistettiin vielä silmämääräisesti, minkä jälkeen pinnat käsiteltiin

mekaanisesti homepesuaineilla ja suoritettiin märkä ULV-savutus. Menettelyn tehostamiseksi käsiteltiin tilat vielä kuiva ULV-savutuksella, minkä jälkeen osasto pidettiin suljettuna vähintään 24 tuntia ja luovutettiin rakennusurakoitsijan käyttöön.

Rakennustöiden valmistuttua käytettiin ULV-kuivasavutusta vielä kertaalleen homeettomaksi siivouksen yhteydessä. Työmenetelmä on käytännössä samanlainen purkutöiden jälkeiseen desinfiointiin verrattuna, mutta IV-laitteisto pidettiin savutuksen ajan päällä myös ilmanvaihtokanavien sisäpuolisten osien käsittelemiseksi ja desinfiointiaineen leviämisen tehostamiseksi.

#### 4.4 Korjaustöiden pääryhmät

Tässä osiossa käsitellään rakenteittain entisen kasarmirakennuksen kosteus- ja mikrobivaurioita, syitä vaurioiden syntyyn ja niihin kohdistettuja korjaustoimenpiteitä. Pääpaino on vuoden 2013 lopussa valmistuneen urakan laajimmin kosteusvaurioituneiden rakenteiden saneeraustöissä, mutta ajoittain sivutaan aiemmissa remonteissa tehtyjen toimenpiteiden mahdollisia vaikutuksia vaurioiden syntyyn.

##### 4.4.1 Ulkoseinät

Rakennuksen ulkoseinärakenne on massiivinen tiiliseinä. Ulkopinta on pääosin rapattu ja osittain tiilipintainen. Paksuus on alemmissa kerroksissa 2½–3 tiiltä, mutta kapenee kuormitusten vähentyessä ylöspäin mentäessä.

Ulkoseinän ulkopinta, rakennuksen julkisivu, oli yleisesti ottaen hyvässä kunnossa vähäisiä pakkasrapautumisia lukuun ottamatta. Ulkoseinärakenteen sisäpinnoissakaan ei ollut merkkejä laaja-alaisista kosteusvaurioista, mutta havaitut maalipinnan ja tasoitteen lohkeilut ja hilseilyt toistuivat samassa kohtaa joka kerroksessa (kuva 12).

Vauriot johtuivat yläpohjasta ensimmäiseen kerrokseen asti ulottuvista, nyt jo käytöstä poistettujen kattoviemärien viemärikuiluista. Vesikaton kuivatus oli aiemmin johdettu kattokaivojen kautta ulkoseinän sisässä kulkevien viemärien kautta, jotka olivat ajan mittaa vuotaneet kattovuotovesiä kuilun seinämiin. Jalkarännien ja sisäpuolisten valurautaisten kattoviemärien kautta tapahtuva kuivatus korvattiin jo 2007 toteutetussa peruskorjauksessa ulkopuolisilla syöksytorvilla, mutta kastuneita materiaaleja ei vielä silloin poistettu. Putkien eristeet sisälsivät myös orgaanista materiaalia, jotka olivat ruokkineet mikrobikasvustoa pitkäaikaisen kosteuden myötävaikutuksella. Kuvassa 11 näkyy käytöstä poistettu viemäriputki.



Kuva 11. Ulkoseinän sisällä kulkeva viemäriputki.

Ulkoseinien tasoteista ja putkien eristeistä otettujen materiaalinäytteiden analyysitulokset viittasivat aktiiviseen mikrobikasvuun. Näytteissä esiintyi runsaasti mikrobivaurioon viittaavia mikrobilajistoja sekä aktinomykettejä (Chaetomium, Stachybotrys, Aspergillus versicolor). Em. mainitut mikrobit

erittävät ”maakellarintuoksuisia” aineenvaihduntatuotteita, jollaisia oltiin havaittu mm. kolmannen kerroksen käytävillä. Merkkisavun avulla ilman todettiin virtaavan viemärihormista sisälle kerrokseen. Kuivista tasoitteista otetuissa materiaalinäytteissä ei löytynyt viitteitä mikrobeista.



Kuva 12. Kattovesiviemäriin hormin vuotokohta ulkoseinässä.

Käytöstä poistetut sadevesiviemärit purettiin eristeineen joka kerroksesta, minkä jälkeen seinät muurattiin uudelleen umpeen. Tiilimuurauksen annettiin kuivua RH 65 % tasoon, ja seinät pintakäsiteltiin ympäröivien pintojen mukaisesti. Hormien sisäpuoli käsiteltiin lopuksi vielä ULV-kuivasavutuksella.

#### 4.4.2 Alapohja, putkikanaali ja kellari

Alapohjarakenteena rakennuksessa on maanvarainen betonilaatta. Alapohjan materiaalikerrosten paksuudet vaihtelevat jonkin verran paikasta riippuen, mutta ne olivat timanttikoralla tehtyjen avauksien mukaan jotakuinkin seuraavanlaiset:

- Pintamateriaali (muovimatto tai -laatta)

- betonilaatta, noin 80–120 mm
- muovi
- lecabetoni, noin 50 mm
- lecasora, noin 150 mm
- alustäyttö hiekkaa.

Perusmaa oli kosteaa, ja se sisälsi hienojakoista maa-ainesta joka mahdollistaa kosteuden kapillaarisen nousun. Alapohjassa havaittiin pintakosteusilmmaisimella alueita lattiapinnoitteen alla ja seinien alaosassa, joissa kosteus oli selvästi koholla.

Rakennuksen alla kulkee putkikanaali itä-länsisuunnassa (kuva 13). Putkikanaalissa oli havaittu selvä mikrobiperäinen haju, ja sen pohja oli paikoitellen märkä. Kanaaliin oli jätetty myös runsaasti orgaanista rakennusjätettä; sivuilta tulevat vanhat viemäriinjat oli katkaistu ja tukittu mineraalivillalla sekä kanaalin katossa oli jäljellä muottilauoituksia (kuvat 14 ja 15).



Kuva 13. Putkikanaali.

Käytössä olevien putkien eristeet ja mineraalivilla olivat paikoin tummuneet ja kastuneet pahasti. Vesi oli ilmeisesti päässyt kanaaliin tarkastusluukkujen kautta siivousvesien ja tulipalon sammutusvesien mukana, joita sinne oli valunut huomattavia määriä huoltomiehen kertoman mukaan.



Kuva 14. Putkikanaalista poistettua mineraalivillajätettä. Teräksisen tarkastusluukun alapinta oli myös ruosteessa.

Putkikanaali oli alipaineinen ensimmäisen kerroksen itäpäädyssä, ja ylipaineinen länsipäädyssä. Itäpään tarkastusluukkuihin virtasi ilmaa käytävältä, kun taas länsipään luukuista virtasi ilmaa ja ”maakellarin tuoksua” käytävän suuntaan.



Kuva 15. Putkikanaalin kattoon jäänyttä muottilaudoitusta.

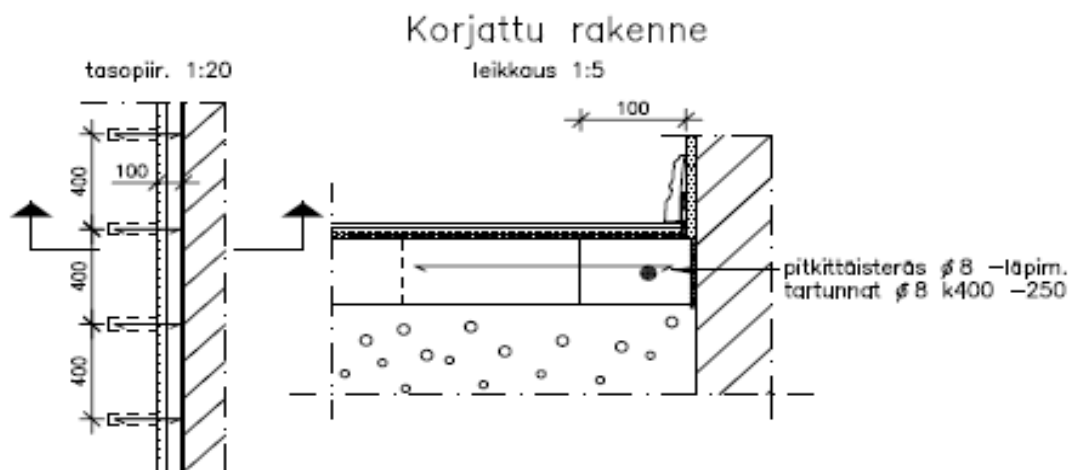


Orgaaninen materiaali, runsas kosteus ja putkikanaalissa kulkeva lämpöä hohkaava kaukolämpöputki muodostivat selkeän sisäilmariskin, varsinkin kun painesuhteita sisäilmaan nähden ei ollut hallittu.

Kerroksen verran maanpinnan alapuolella sijaitsevassa kellarissa havaittiin myös mikrobiperäistä hajua. Kosteus oli koholla osassa maanvastaisia seiniä ja lattiaa, ja näiden maalipinnat hilseilivät. Kellariin johti huolto-ovi suoraan putkikanaalista rakennuksen länsipäädyssä.

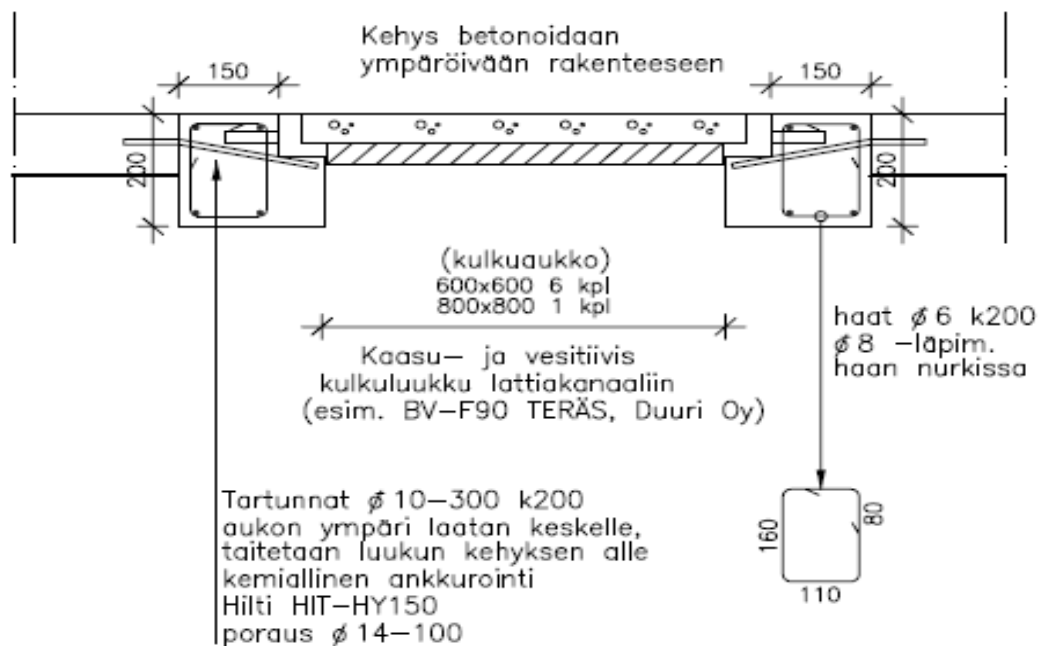
Putkikanaalin kattoon jätetyistä muottilauodoista ja kanaalin pohjalta löytyneistä laudoista otettiin materiaalinäytteet, joista löytyi aktinomykeettejä ja terveydelle haitallista *Stachyotrys*-suvun homesientä.

Alapohjalaatasta päädyttiin purkamaan kauttaaltaan kaikki tasoitteet ja pintamateriaali. Laatan seinävastaisesta reunasta irrotettiin vanha pahvinen irroituskaisista ja sahattiin pois betonia 100 mm:n leveydeltä. Seinän ja uuden valun väliin laitettiin solukuminen irroituskaisista. Seinän ja lattian välinen rajakohta tiivistettiin valun jälkeen vahvistusnauhalla ja ardex-vedeneristeellä rakennesuunnittelijan ohjeen mukaisesti (kuva 16). Lattiat tasoitettiin ja pinnoitettiin uudelleen reunaavalujen saavutettua riittävän kuivuuden.



Kuva 16. Alapohjan ja seinän välisen irroituskaisistan korjaus (J. Sillanpää, henkilökohtainen tiedonanto 24.4.2014).

Putkikanaalista poistettiin vanhat muottilaudoitukset ja käytöstä poistettujen viemärien mineraalivillatulpat sekä muut kastuneet putkieristeet. Viemärit tulpattiin uudelleen massalla, ja käytössä olevat putket eristettiin uudelleen. Kaikki putkikanaalista johtavat läpiviennit valettiin umpeen ja tiivistettiin elastisella massalla. Kanaaliin johtaneet vanhat huoltoluukut vaihdettiin uusiin vesi- ja kaasutiiviisiin luukkuihin vesivuotojen ja mahdollisten ilman epäpuhtauksien kulkeutumisen estämiseksi (kuva 17).



Kuva 17. Kaasutiiviit huoltoluukut (J. Sillanpää, henkilökohtainen tiedonanto 24.4.2014).

Kun putkikanaali oli saatu tiivistettyä, ja siivottua rakennusjätteistä ja pölystä, käsiteltiin se lopuksi muihin tiloihin vastaavalla homeenpoistopesu- ja ULV-savutus-menettelyllä.

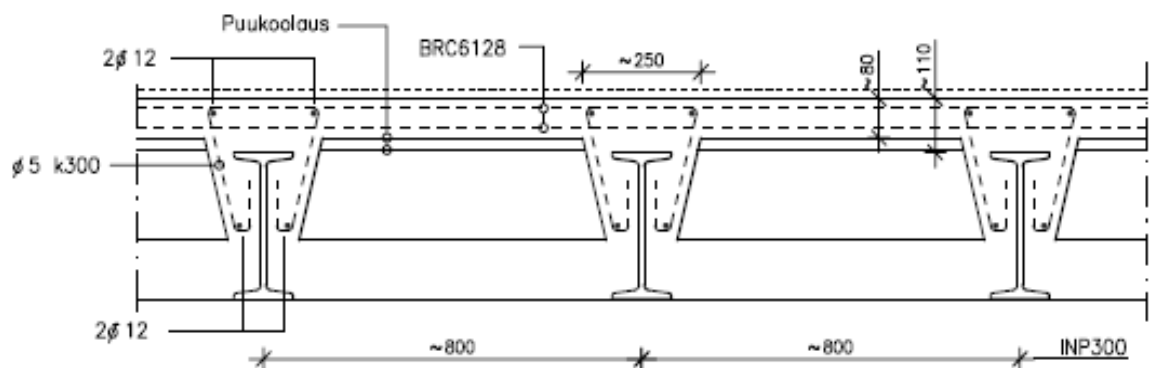
Kellarissa purettiin hilseilevien maalipintojen ja pintakosteusilmaisimella havaittujen kosteiden seinien ja lattioiden paikat betoni- ja tiilipintaan asti, kuivatettiin ja pintakäsiteltiin uudestaan. Kellarin lattiaan levitettiin myös pölynsidonta-aine.

#### 4.4.3 Välipohjat

Rakennuksen välipohjarakenteiden välillä on keskenään eroavaisuuksia. Kantavana osana kaikissa välipohjissa on I-palkit, joiden päälle on valettu betonilaatta kuvien 18 ja 19 mukaisina kevennettyinä kotelorakenteina. Osassa välipohjia on I-palkkien välissä käytetty tiiliholvirakennetta. Kuvissa 18 ja 19 on esitetty vanhojen välipohjien rakenne.

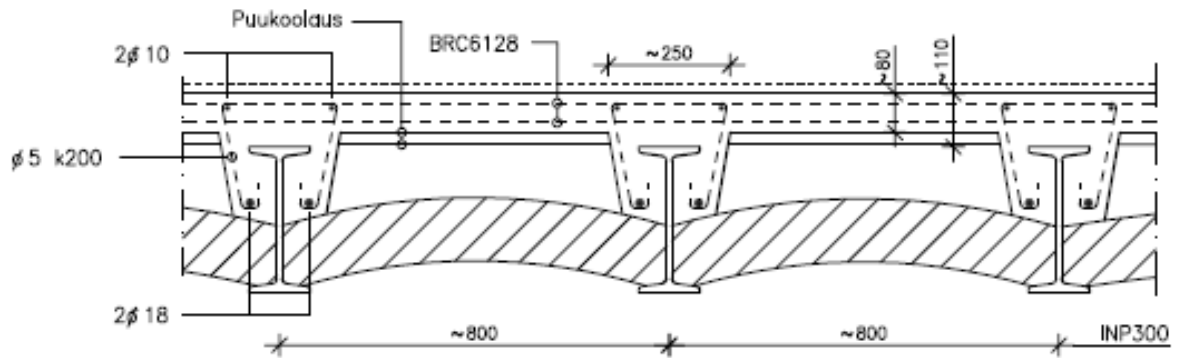
Toisen ja kolmannen kerroksen lattioihin tehtiin ennen saneeraustoimenpiteitä yhteensä 27 rakenneavausta, joiden avulla oli tarkoitus määrittää välipohjien tarkka rakenne sekä mahdollisten eloperäisten materiaalien esiintyminen betonilaattojen välissä. Vuoden -68 remontin yhteydessä oli rakennuksen kaikkien välipohjien pintalaatat valettu uudestaan.

15 paikassa löydettiin kahden betonilaatan väliin jäänyttä muottilaudoitusta, joita ei vanhoihin rakennepiirustuksiin ollut merkitty. Puutavara oli kastunut ainakin pintalaatan valun yhteydessä, minkä lisäksi välipohjatilaa on todennäköisesti vuotanut vettä lattian pesuvesinä. Tuulettumattoman välipohjan ilmatilan kosteus on ajoittain saattanut nousta korkeaksi myös ulkoilman kosteusolosuhteiden ja sisäilman sisältämän kosteuskuorman myötä.



Kuva 18. Välipohjarakenne 1. kerroksen katosta. I-palkkien varaan valetun pintalaatan alle oli jätetty muottilaudoitustavaraa. (J. Sillanpää, henkilökohtainen tiedonanto 24.4.2014).

Välipohjassa ollut muottitavara ja pintalaatan valun sisältämä kosteus oli todennäköisesti mahdollistanut mikrobikasvun alkamisen laattojen välissä, jota ajoittaisesti esiintyneet kosteusrasitteet olivat sittemmin ruokkineet.



Kuva 19. Välipohjarakenne 1. kerroksen katosta. I-palkkien välissä muurattu kappaholvi, palkkien varassa pintabetonilaatta, jonka muottimateriaali oli myös jätetty paikoilleen. (J. Sillanpää, henkilökohtainen tiedonanto 24.4.2014).

Materiaalinäytteitä otettiin muottilautojen ylä- ja alapinnasta (kuva 20). Kuudessa avauskohdassa todettiin selviä viitteitä aktiivisesta mikrobikasvustosta aktinomykeettien ja kosteusvaurioon viittaavien sienisukujen (mm. *Aspergillus versicolor*) perusteella. Yhdessä avauskohdassa mikrobikasvun mahdollisuutta ei voinut täysin sulkea pois, ja kahdeksassa kohdassa ei löydetty kosteus- ja mikrobivaurioon viittaavaa kasvustoa. Otettujen näytteiden perusteella oli mahdotonta rajata vaurion laajuutta, sillä mikrobikasvustoa sisältänyttä materiaalia löytyi kummankin kerroksen rakenneavauksista, ja näytemäärät edustivat vain pientä osaa välipohjien sisältämästä puutavarasta.



Kuva 20. Välipohjatilaan jätettyä muottilaudoitusta.

Välipohjien sisältämän orgaanisen aineksen vaikutukset sisäilman laadun heikkenemiseen oli selkeä mikrobivaurioituneiden alueiden laajuuden vuoksi, minkä lisäksi tiloissa havaittiin paikoittaisia ilmavuotoja alalaattojen halkeamissa ja kantavien seinien ja välipohjien rajakohdissa.

Kaikista puu-ainesta sisältävistä välipohjista päädyttiin purkamaan pintalaatta ja poistamaan kaikki orgaaninen materiaali (kuva 21). Kaikkiaan välipohjien pintalaatoista purettiin koko rakennuksesta noin 60 %. Pintalaatan purkamisen jälkeen palkit ja niiden väliset ”kanaalit” käsiteltiin homeenpoistoaineilla. Palkkien välitilan tiiveys varmistettiin pumpaamalla pohjalle vähintään 10 mm:n kipsi- tai plaanokerros alueesta riippuen, minkä jälkeen kanaalit täytettiin styroxilla, joiden päälle valettiin uusi pintalaatta. Betonilaatan saavutettua 75 % suhteellisen kosteuden pumpattiin sen päälle tasoite ja asennettiin uudet muovimatot. Seinän ja lattian välinen ilmavuoto tiivistettiin umpeen kittaamalla palko sekä jalkalistan alle että päälle.

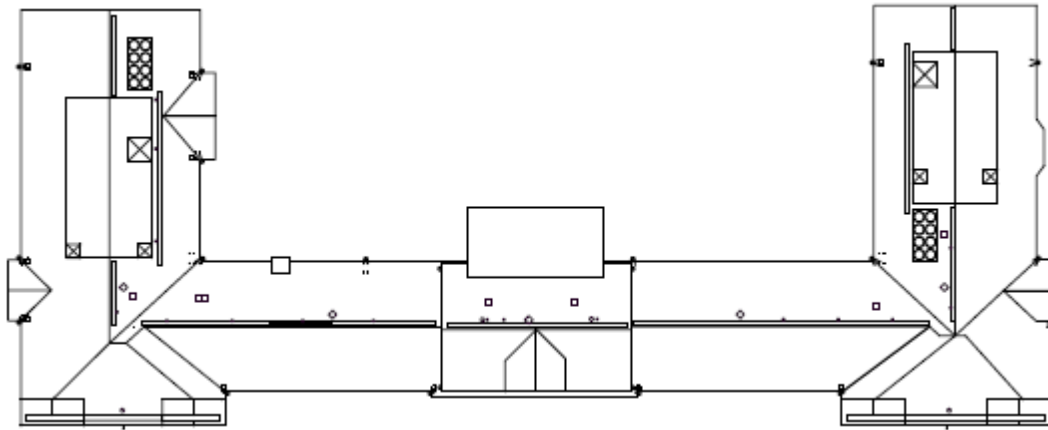


Kuva 21. Puretun pintalaatan alla olevat betonoidut I-palkit. 2. kerroksen lattia.

Välipohjien huonetilojen sekä näiden alla sijaitsevien kerrosten alakatot purettiin kaikkialta, ja piiloon jäävän kattopinnan tiiveyttä parannettiin maalaamalla ne kauttaaltaan Akrostop-eristyspohjamaalilla. Alakatot rakennettiin uudestaan pohjamaalatun pinnan alapuolelle. Välipohjien läpiviennit, kuten lämmityspatterien putket yms. tiivistettiin elastisella massalla mahdollisten ilmavuotojen estämiseksi.

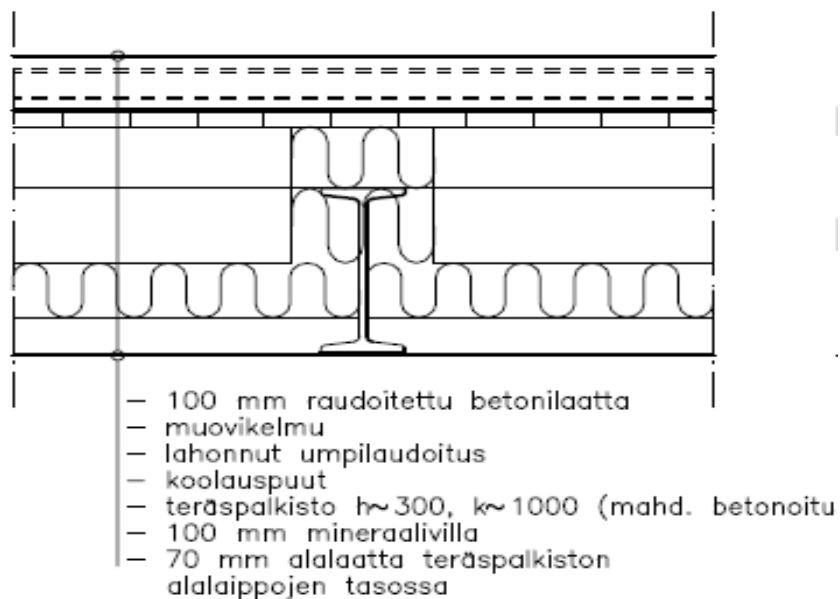
#### 4.4.4 Vesikatto ja yläpohja

Rakennuksen konesaumattu peltikate oli asennettu vesikatolle 1968–1970 tehdyn peruskorjauksen yhteydessä, minkä jälkeen sille oli tehty vuosien varrella vähäisiä huolto- ja korjaustöitä. Vuonna 2007 valmistunut laajempi peruskorjaus käsitti mm. IV-konehuoneiden rakentamisen ullakolle ilmanvaihdon koneellistamisen yhteydessä, jolloin konehuoneiden ympäriltä uusittiin samalla kate. Kuvassa 22 esitetään vesikaton tasokuva. Vuoden 2007 remontissa poistettiin kattokaivojen ja ulkoseinän sisällä kulkevien kattovesiviemärien kautta rakennettu kuivatusjärjestelmä, ja hulevedet johdettiin jalkarännien kautta syöksytorviin. Räystäältä ei ole lainkaan tuuletusta kylmään ullakkotilaan.



Kuva 22. Vesikatto (J. Sillanpää, henkilökohtainen tiedonanto 24.4.2014).

Yläpohjan vanha rakenne on esitetty kuvassa 23. Vesikaton kannattajat tukeutuivat alapäistään betonisen palopermannon yläpintaan ja ulkoseiniin. Kattokannattajien päälle oli rakennettu ruoteet, vino aluslaudoitus ja konesaumattu rivipeltikate. Katossa ei ollut höyrynsulkumuovia.

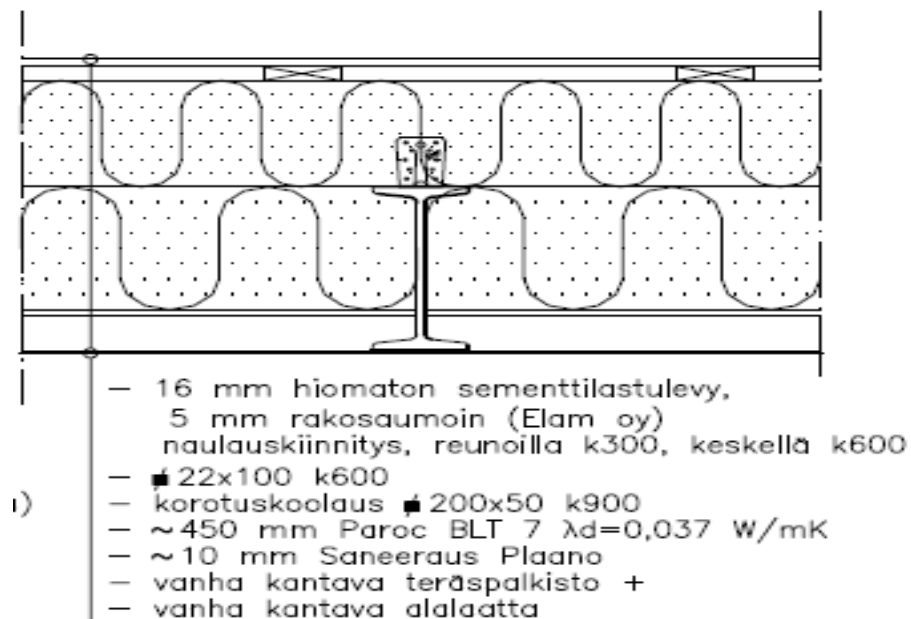


Kuva 23. Vanha yläpohjarakenne (J. Sillanpää, henkilökohtainen tiedonanto 24.4.2014).

Ullakon katonkannattajista löydettiin paikallisia kosteusvaurioita ja lahoa. Kattovuotoja oli ollut pääasiassa rakennuksen takaseinustan nurkissa, jotka olivat aiheutuneet jään mekaanisesta poistosta. Vesi oli päässyt tunkeutumaan

alapuolella oleviin tiloihin myös kattokaivojen keräysaltaiden ja käytöstä poistettujen viemärien putkikuiluja pitkin, joiden vaurioista on kerrottu laajemmin ”Ulkoseinät”-osiossa. Rakennuksen länsipäädyn yläpohjassa muotiksi jätetty laudoitus oli lahoa, kuten myös suuri osa palopermannon alla olevista puupalkeista. Itäpäädyssä vauriot eivät olleet aivan yhtä laajoja. Muovitettu paperi oli kuitenkin betonilaatan alla paikoin selkeästi mikrobivaurioitunut, sekä vuotopaikkojen vieressä olevat laudat olivat lahonneet ja niissä havaittiin sinistymää.

Purkutyöt aloitettiin yläpohjan palopermannosta, jonka rakenne uusittiin kokonaisuudessaan rakennesuunnittelijan ohjeen mukaan (kuva 24). Kattokannattajat ja näiden alajuoksut uusittiin lahonneista paikoista.



Kuva 24. Uusi yläpohjarakenne (J. Sillanpää, henkilökohtainen tiedonanto 24.4.2014).

Vanha peltikate purettiin ja uusittiin sääsuojan sisällä, jotteivät rakenteet kastu uudestaan rakennustöiden aikana. Alustan vaurioituneet laudat vaihdettiin kastuneilta osin, ja taitteiden, räystäiden, harjojen, kattoluukkujen ja savupiippujen kohdille tehtiin umpilaudoitukset. Monimuotoinen katto on aina haasteellinen kattovesien poistamisen kannalta, joten jiirien kohdalle



peltikatteen alle asennettiin eristysmatto kosteusteknisen toimivuuden varmistamiseksi.

Jalkaränneihin asennettiin sulanapitokaapelit ja viemärien tuuletusputket lämpöeristettiin pakkasmanttelein. Kaikki hormit varustettiin hattupelleillä. Kattovarusteet säilytettiin ennallaan, mutta katon harjalle asennettiin alipainetuulettimet, marionetit, ullakotilan tuuletuksen toimivuuden varmistamiseksi.

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Turun Vähä-Heikkilän kasarmien kosteus- ja mikrobivaurioiden syntymekanismit olivat rakennusteknisesti hyvin samankaltaisia alan julkaisuissa esitettyihin ja muihin sisäilmaongelmista kärsiviin rakennuksiin verrattuna. Vesikaton vuodot, lattianpesuvesien suuri määrä, kapillaarisen nousun mahdollistava perusmaa pohjalaatan alla ynnä muut kosteuskuormia kohottavat tekijät yhdistettynä epätiivisiin, orgaanisia aineita sisältäviin tuulettumattomiin rakenteisiin johtavat ennen pitkää mikrobipesäkkeiden kasvuun. Välipohjavaurioiden paikallisuudesta kuitenkin selvisi, että hetkellisesti kastunut rakenne ei ehdottomasti muodosta hometta tai lahoa. Mikrobien kasvun alkamiseen ja kasvun jatkumiseen vaikuttavat oleellisesti kaikki olosuhdetekijät yhdessä: kosteus, ravinteet, oikeanlainen lämpötila sekä näiden yhteinen vaikutusaika.

Kohteen vauriot eivät luultavasti syntyneet hetkessä, mutta sisäilman laatuun vaikuttaneiden vauriorakenteiden havaitsemista aikaisemmassa vaiheessa hankaloittivat muutamat selkeät asiat; rakennuksen käyttötarkoitus ja -tavat muutettiin kasarmirakennuksesta toimistokäyttöön, minkä lisäksi painovoimainen ilmanvaihto korvattiin kokonaan koneellistetulla tulo- ja poistoilmanvaihdolla. Rakennuksen ilmanpainesuhteiden muutoksiin vaikutti merkittävästi myös vuoden 2007 urakan yhteydessä vaihdetut tiiviimmät ikkunat, jotka tekivät vaipan huomattavasti tiiviimmäksi. Vasta alipaineisempi rakennus toisin sanoen mahdollisti ja edesauttoi mikrobitoroksiinien ja mykotoksiinien leviämisen rakenteiden epätiiviysskohdista sisäilmaan. Tilat olivat lisäksi olleet useita vuosia tyhjiillään ennen nykyisiä käyttäjiä, mikä vaikutti osaltaan rakennuksen lämpö- ilma- ja kosteuskäyttämiseen. Mahdollisesti oireilevia ihmisiä ei rakennuksessa myöskään tänä aikana työskennellyt.

Laajempia rakenteita rikkovia tutkimuksia tehtiin vasta 2013 valmistuneen urakan yhteydessä, joissa todettiin mm. rakenteisiin jätettyjen orgaanisten materiaalien olemassaolo ja sijainti, ja kulloistenkin korjaustöiden yhteydessä sovelletut rakennustavat ja -materiaalit. Näiden tutkimusten avulla voitiin jo

tarkemmin rajata vauriot ja päättää saneeraustöiden sisällöstä. Saneeraustöissä on rakenteiden kunnon, rakennekerrosten ja rakennusmateriaalien tarkka selvittäminen ensisijaisen tärkeää, etenkin Vähä-Heikkilän kaltaisten vanhojen rakennusten korjaustarvetta määriteltäessä, joissa yhdistyvät eri aikakausien rakentamistrendit yli sadan vuoden ajalta. Mikrobiologinen tai toksikologinen tutkimus ei yksistään kykene luotettavasti ennustamaan mikrobivaurion laajuutta.

## LÄHTEET

- Björkholtz, D. 1997. Lämpö ja kosteus: rakennusfysiikka. Helsinki: Rakennustieto.
- Reijula, K.; Ahonen, G.; Alenius, H.; Holopainen, R.; Lappalainen, S.; Palomäki, E. & Reiman, M. 2012. Rakennusten kosteus- ja homeongelmat. Eduskunnan tarkastusvaliokunnan julkaisu 1/2012. Espoo: Kopijyvä Oy.
- RIL. 2011. RIL 250-2011 Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry.
- RT 05-10710. 1999. Kosteus rakennuksissa. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- RT 07-10946. 2009. Sisäilmastoluokitus 2008. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- RT 80-10712. 1999. Rakennuksen kosteus- ja mikrobivauriot. Korjausrakentaminen. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- RT RakMK-21099. C2 Kosteus. Määräykset ja ohjeet 1998. Ympäristöministeriö, asunto- ja rakennusosasto. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- Sosiaali- ja terveysministeriö. 2003. Asumisterveysopas. Sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysohjeen soveltamisopas. Pori: Ympäristö ja Terveys-lehti.
- Säteri, J.& Backman, H. 2011. Sisäilmastoseminaari 2011. Espoo: Sisäilmayhdistys.
- Työterveyslaitos. 2012. Viitearvoja sisäilmaongelmien tunnistamiseen. Viitattu 15.1.2014 [http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/sisailma\\_ja\\_sisaymparisto/Documents/viitearvoja.pdf](http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/sisailma_ja_sisaymparisto/Documents/viitearvoja.pdf).
- Viljanen, M. 1997. Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus. Helsinki: Rakennustieto Oy.

