

Opinnäytetyö AMK

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Talonrakennustekniikka

2018

Eveliina Lautanala

LIIKUNTASALIN ALAPOHJAN JA ULKOSEINIEN TUTKIMUKSET SEKÄ KORJAUSSUUNNITTELU



Eveliina Lautanala

LIIKUNTASALIN ALAPOHJAN JA ULKOSEINIEN TUTKIMUKSET SEKÄ KORJAUSSUUNNITTELU

Sisäilmaongelmien määrä on ollut viime vuosina kasvussa. Yhä useammassa rakennuksessa todetaan mikrobi- ja kosteusvaurioita ja niiden arvioidaan olevan merkittävä sisäilmaongelmia aiheuttava tekijä. Muita sisäilman laatuun vaikuttavia tekijöitä ovat mm. rakennustapa ja -materiaalit, ilmanvaihtoratkaisut, sääolot ja rakennuksen käyttö. Usein sisäilmaongelmille ei löydy yhtä selittävää syytä, vaan ne syntyvät monen eri tekijän yhteisvaikutuksesta. Huono sisäilma voi aiheuttaa rakennuksen käyttäjille terveyshaittoja ja alentaa työtehoa sekä viihtyvyyttä.

Opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia ja selvittää sisäilmaongelmia aiheuttavia syitä ja seurauksia sekä pyrkiä ratkaisemaan kohteessa havaittuja ongelmia. Ymmärtämällä rakenteiden kosteusteknistä käyttäytymistä on helpompi löytää mahdolliset sisäilmaongelmia aiheuttavat syyt sekä suunnitella toimiva korjaustapa. Tämän opinnäytetyön korjaussuunnittelun pohjana toimivat ammattilaisten laatimat kuntotutkimukset sekä työn aikana suoritettut rakenneavaukset, kosteus- ja lämpötilamittaukset sekä ilman paine-eromittaukset.

Korjaussuunnittelussa on tärkeää, että osataan tunnistaa alkuperäisen rakennuksen rakennustapa ja -materiaalit sekä tunnetaan niihin soveltuvat, nykyaikaiset ja säädösten mukaiset korjaustavat. Asianmukaisella korjaussuunnittelulla varmistetaan oikeat ja taloudelliset menetelmät, pidennetään rakennuksen käyttöikää sekä mahdollistetaan teknisesti toimivat ja viihtyisät toimintaympäristöt.

Tässä opinnäytetyössä suunniteltu korjaustapa pyrkii huomioimaan riskirakenteiden muuttamisen toimiviksi rakenteiksi. Alapohjarakenteen korjaussuunnittelussa on otettu huomioon alapohjan eristetytilan tuulettavuus, mutta samalla on tiivistetty mahdolliset ilmavuotoja aiheuttavat kohdat liitoksissa ja läpiviennissä. Ulkoseinärakenteeseen on suunniteltu ulkokuoren tuuletusväli, mutta myös estetty ilmavuodot ulkoseinän kautta sisäilmaan. Ilmavuotoja hallitsemalla voidaan rakennuksen ilmanvaihto säätää oikein ja siten vaikuttaa viihtyvyyteen.

ASIASANAT:

alapohja, korjaussuunnittelu, sisäilma

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Degree programme in Civil Engineering | Structural Engineering

2018 | 42 + 2

Eveliina Lautanala

A CONDITION SURVEY AND REPAIR PLAN ON THE BASE FLOOR AND EXTERIOR WALLS OF A GYMNASIUM

The indoor air problems have been increased in the last few years. Damages caused by microorganisms and moisture are increasingly noted in buildings and they are estimated to be a significant reason for indoor air problems. Other possible factors which can impact the quality of indoor air are the way of building, construction materials, air conditioning systems, weather conditions and usage of the building. There is no single reason for indoor air problems but they are produced by many different factors together. Bad indoor air can cause health problems for the users of a building and reduce work output and habitability.

The purpose of the bachelor's thesis was to determine which reasons and consequences cause indoor air problems and try to address the problems of this case. By understanding the moisture performance of the structures is easier to determine the possible reasons for indoor air problems and design an operative way of repairing. As a basis of the repair plan in this bachelor's thesis are condition surveys conducted by professionals and structural openings, moisture and temperature measurements and measurements of pressure difference in air conducted during this thesis.

In repair planning is important to identify the way of building and construction materials in the original building and be aware of the current and common ways of repairing. By using appropriate repair planning the correct and financially viable methods are confirmed, the service life of the building is extended and a technically operative and comfortable operational environment is enabled.

The planned way of repairing in this bachelor's thesis considers the risk structure change into functional structures. In the repair planning of the base floor the insulation area ventilation in the base floor was considered, but also possible points of air leakages in joints and bushings were sealed at the same time. To new exterior wall was planned with a ventilation gap behind the exterior wall but the air leakages through the inner wall to the indoor air were also prevented. By controlling the air leakages the air conditioning system can be set properly, which has an impact on the health.

KEYWORDS:

base floor, repair planning, indoor air

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	7
2 RAKENTEIDEN ERITYISPIIRTEET	8
2.1 Maanvastainen alapohja	8
2.2 Ulkoseinät	9
3 RAKENTEIDEN KOSTEUSTEKNINEN KÄYTTÄYTYMINEN	10
3.1 Ilman kosteus ja materiaalikosteus	10
3.2 Kosteuden siirtyminen rakenteissa	11
3.2.1 Veden kapillaarinen ja painovoimainen siirtyminen rakenteissa	11
3.2.2 Kosteuden siirtyminen diffuusiolla	12
3.2.3 Kosteuden siirtyminen konvektiolla	13
3.2.4 Lämmönsiirtymisen vaikutus	13
3.3 Kosteuslähteet	14
3.3.1 Sadevesi	14
3.3.2 Rakennuspaikka ja maaperän kosteus	14
3.3.3 Ulkoilman kosteus	15
3.3.4 Sisäilman kosteus	15
3.3.5 Rakennuskosteus	16
3.3.6 Putkivuodot	16
3.4 Alapohjan kosteusvirta eri vaiheissa	16
3.4.1 Rakenteen kuivumisvaihe	16
3.4.2 Käyttötila	17
3.4.3 Vauriotilanne	17
3.5 Rakennuksen painesuhteet ja ilmatiiveys	17
4 KOHDE: HOVIRINNAN KOULUN LIIKUNTASALI	20
4.1 Tutkimuksissa havaitut ongelmat	20
4.1.1 Alapohjarakenne ja sokkelipalkki	21
4.1.2 Ulkoseinä	23

4.1.3 Ilmanvaihto	24
5 TEHDYT TUTKIMUKSET	26
5.1 Kosteusmittaukset	26
5.1.1 Hetkellinen rakenteen kosteusmittaus	26
5.1.2 Jatkuvat toimiset tallentavat lämpötila- ja kosteusmittaukset	28
5.2 Ilmavirtaus ja paine-eromittaukset	30
5.3 Rakenneaivaukset	32
6 KORJAUSSUUNNITTELU	34
6.1 Väliaikainen korjaus	34
6.2 Lopullinen korjaus	35
6.2.1 Alapohjarakenne	35
6.2.2 Tiivistyskorjaukset	37
6.2.3 Ulkoseinärakenne	39
6.2.4 Korjaussuunnittelun haasteet	40
7 JOHTOPÄÄTÖKSET	41
LÄHTEET	42

LIITTEET

- Liite 1. Kosteuden ja paine-erojen mittauspaikat sekä rakenneavauspaikat
Liite 2. Liikuntasalin alapohjan tuuletusputket

KUVAT

Kuva 1. Yleiskuvaa koulurakennuksesta.	20
Kuva 2. AP1 Liikuntasalin nykyinen alapohjarakenne.	21
Kuva 3. Maan vajoamista sokkelilinjalla.	23
Kuva 4. Liikuntasalin pääty.	24
Kuva 5. Kosteusmittaus	27
Kuva 6. Havainnekuva liikuntasalin sisäilman dataloggerimittauksesta.	28
Kuva 7. Alapohjan eristetilan ja sisäilman välinen paine-eromittaus.	32
Kuva 8. Rakenneaivaus 2.	33

Kuva 9. Liikuntasalin lattian väliaikainen korjaus pistejoustavalla urheilulattialla sekä ulkoseinäpäättyyn asennettu poistoilmakanavisto.	35
Kuva 10. AP2A Alapohjan korjaussuunnitelma.	36
Kuva 11. AP2B Alapohjan korjaussuunnitelma.	36
Kuva 12. Leikkaus alapohjan liittymästä.	38
Kuva 13. DET 1 Lattia-seinäliitoksen tiivistysdetalji.	38
Kuva 14. Uusi ulkoseinärakenne.	39

KUVAAJAT

Kuvaaja 1. Dataloggerimittaustulokset alapohjan eristetilasta.	29
Kuvaaja 2. Dataloggerimittaustulokset sisäilmasta.	29
Kuvaaja 3. Dataloggerimittaustulokset ulkoilmasta.	30

TAULUKOT

Taulukko 1. Kosteusmittaustulokset.	27
-------------------------------------	----

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tilaajana on RTC Vahanen Turku Oy. Yritys on korjausrakentamisen konsulttiyritys, jonka toiminta-aloina ovat korjaussuunnittelu, rakennusfysikaaliset tutkimukset, talotekniikka ja työmaavalvonta.

Yhä useammassa koulurakennuksessa todetaan sisäilman laadun heikentyneen. Syiden selvittämiseksi tulee tehdä perusteellinen kuntotutkimus ja selvittää mahdolliset ongelmat ja niiden aiheuttajat. Opinnäytetyön tutkimuksen kohteena on vuoden 1980-luvun alussa rakennettu Hovirinnan koulu Kaarinassa. Tässä työssä on keskitytty lähinnä liikuntasalin alapohjan ja ulkoseinien tutkimuksiin ja korjaukseen. Liikuntasalin alapohjana on paalutettu maanvastainen betonilaatta, jonka päällä on puukorotettu ja mineraalivillalla lämmöneristetty lattia. Yksikerroksisen rakennuksen ulkoseinät ovat pääosin tiiliviilla-tiili-rakenteisia. Liikuntasalissa on todettu olevan mikrobivaurioita sekä alapohjan että ulkoseinien lämmöneristeissä.

Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää liikuntasalin alapohja-, sokkeli- ja ulkoseinärakenteen kosteusteknistä käyttäytymistä ja vaikutusta sisäilmaan sekä suunnitella vaurioiduneiden rakenteiden korjaus. Tavoitteena on parantaa rakennuksen toimivuutta ja terveellisyyttä sekä lisätä sen teknistä käyttöikä.

Opinnäytetyössä selvitetään kosteusvaurioiden laajuus rakenneavauksilla ja kosteus- ja painemittauksilla sekä kosteuden aiheuttamat ongelmat ja syyt. Apuna käytetään myös aikaisemmin tehtyjä laajempia tutkimuksia ja mittauksia. Samalla perehdytään ilmanvaihdon vaikutuksiin. Kohteelle tehdään väliaikainen kevyempi korjaussuunnitelma nykyisen lattiarakenteen päälle sekä laajempi koko alapohjan sekä ulkoseinien korjaussuunnitelma.

2 RAKENTEIDEN ERITYISPIIRTEET

2.1 Maanvastainen alapohja

Maanvastainen alapohjarakenne on kosketuksissa lämpimän ja kostean salaoja- ja täytötkerroksen tai pohjamaan kanssa. Pohjamaa toimii tällöin kosteuslähteenä ja aiheuttaa siihen liittyville rakenteille jatkuvan kosteusrasituksen, kun maakosteus nousee kapillaarisesti. Muita mahdollisia syitä alapohjan korkeisiin kosteuspitoisuuksiin ovat rakennusaikainen kosteus, muutokset sisäilman lämpö- ja kosteusolosuhteissa, yläpuoliset vesivahingot sekä lämmitetyn rakennuksen aiheuttama pohjamaan lämpeneminen. Kosteuden siirtymiseen maaperästä diffuusiolla vaikuttaa alapohjarakenteen ja alapuolisen sora-kerroksen välille syntyvien lämpötilaerojen suuruus. Vesihöyryä siirtyy maapohjasta ylöspäin sitä vähemmän, mitä paksumpi lämmöneriste alapohjassa on. Suuri osa alapohjarakenteiden kosteusvaurioista on todettu aiheutuvan kosteusteknisestä suunnitteluvirheestä. (Pitkäranta 2016, 185; Leivo & Rantala 2006, 16–17.)

Maakerroksen lämpötila rakennuksen alla on ympäri vuoden noin + 10...+ 20 °C, ja huokosten suhteellinen kosteus (RH) on lähellä 100 %. Tämä luo oivat elinolosuhteet mikrobikasvulle. Korkeat lämpötilat ja kosteuspitoisuudet eivät kuitenkaan tarkoita alapohjarakenteen kosteusvauriota. Maanvastaisissa alapohjissa tulisi aina olla kapillaarikatko-kerros, kuten karkea sepelikerros, joka katkaisee maaperästä kapillaarisesti nousevan kosteuden siirtymisen alapohjarakenteisiin. Kapillaarisuuden katkovana kerroksena voidaan käyttää myös solumuovista lämmöneristettä. Salaojituksella varmistetaan vedenpinnan nousu estäminen. (Pitkäranta 2016, 185.)

Vanhoissa maanvastaisissa alapohjissa on käytetty kosteuden hallinnassa muovikalvoa joko maapohjan päällä, kiviainestäytön keskellä, lämmöneristeen alapuolella tai lämmöneristeen ja betonilaatan välissä. Nykyään höyrynsulkumuovia ei käytetä enää maanvastaisissa alapohjissa, sillä silloin rakenne ei pääse kuivumaan molempiin suuntiin. (Pitkäranta 2016, 185–186.)

2.2 Ulkoseinät

Ulkoseinät pyrkivät tasapainottelemaan sekä sisä- että ulkoilman kosteuden kanssa. Yleensä ulkoseinät toteutetaan niin, että seinien sisäpinta on vesihöyrytiiviimpää kuin ulkopinta. Käytännössä tämä tarkoittaa höyrynsulun käyttämistä lämmöneristeen sisäpinnassa tai sisäosassa, mikä rajoittaa diffuusiolla siirtyvän vesihöyryn siirtymisnopeutta rakenteeseen. Tärkeää on myös sisäpinnan ilmatiiveys. Ilmavirtaukset voivat kuljettaa vesihöyryä rakenteeseen, jossa se voi tiivistyä vedeksi. Lisäksi ilmavuodot voivat siirtää epäpuhtauksia seinärakenteista sisäilmaan. Höyrynsulku tuleekin asettaa ilmatiiviisti ja kiinnittää erityistä huomiota limitysten, liittymien ja läpivientien huolelliseen suunnitteluun ja toteutukseen. (Pitkäranta 2016, 155–156.)

1960-luvulta lähtien on käytetty tiili-villa-tiili-rakenteisia ulkoseiniä, jotka ovat yleisiä koulurakennuksissa. Vasta 1980-luvulla rakennetyypissä yleistyi ilmarako tiiliulkokuoren takana. Tuuletusvälin tehtävänä on tuuletuksen lisäksi ohjata ulkokuoren vuotovedet rakennuksen ulkopuolelle. Mikäli tuuletusväli puuttuu, se päästää viistosateella muuratun ulkokuoren saumoista ja ikkunaliittymistä vettä lämmöneristeisiin. Tällöin rakenne ei pääse kuivumaan, ja se aiheuttaa ikkunoiden ja lämmöneristeiden kosteusvaurioita. Rakennetyypin erityispiirteisiin kuuluu lisäksi sisäkuoren huono ilmatiiveys. Sisäkuorena oleva kantava puhtaaksi muurattu rappaamaton seinä aiheuttaa ilmavuotoja tiilisaumojen kautta. Seinärakenteen sisällä olevat kosteusvauriot yhdistettynä rakennetyypin sisäkuoren huonoon ilmatiiveyteen ovat usein johtaneet siihen, että rakennetyyppi on aiheuttanut sisäilmaongelmia. (Pitkäranta 2016, 157.)

Tiiliverhoukselle on tyypillistä, että se kastuu ja läpäisee sateella vettä, mikä on rakenteelle tavanomaista eikä aiheuta haittaa, mikäli se pääsee myös kuivumaan. Oikein toimiessaan rakenne tuulettuu tiilikuoren alaosan avointen pystysaumojen, tuuletusvälin ja seinän alaosan kautta. Rakenteelle on kuitenkin tyypillistä, että seinän alaosassa olevat laastipurseet saattavat tukkia avoimiksi tarkoitetut pystysaumot ja tällöin estävät kosteuden poistumisen. Lisäksi lämmöneristeessä kiinni olevat laastipurseet siirtävät tiiliverhouksen kosteutta lämmöneristeeseen. (Pitkäranta 2016, 159.)

3 RAKENTEIDEN KOSTEUSTEKNINEN KÄYTTÄYTYMINEN

Maanvastaisen alapohjan ominaisuudet, kuten täyttö-, salaojitus- ja kapillaarikatkokerrokset, ovat suhteellisen lämpimiä ja kosteita ympäri vuoden ja luovat suotuisat olosuhteet mikrobikasvulle. Alapohjan alla mahdollisesti kasvavien mikrobien sisään kulkeutuminen tulee estää tekemällä alapohjasta ilmatiivis liitoksien ja läpivientien kohdalla. (Vinha & Korpi 2007, 39.)

Alapohjan alapuolisten täyttö- ja salaojituskerrosten lämpötiloihin vaikuttavat sisä- ja ulkolämpötilojen lisäksi myös laatan ja rakennuksen sokkelin lämmöneristävyys, routaeristys, täyttökerrosten ja pohjamaan lämmönjohtavuudet ja tarkastelukohdan etäisyys ulkoseinälinjasta. Laatan reunalla ulkolämpötilan vaihtelut vaikuttavat täyttömaan lämpötilaan, joka on talvisin reunalla selvästi alempi kuin laatan keskellä. Laatan keski-osassa täytön lämpötila pysyy usein tasaisena ympäri vuoden. (Leivo & Rantala 2006, 18.)

3.1 Ilman kosteus ja materiaalikosteus

Ilman kosteus (kosteuspitoisuus) ilmoitetaan vesihöyryn määränä (g/m), vesihöyryn osapaineena (Pa) tai suhteellisena kosteutena (RH %). Kyllästyskosteus määritellään vesihöyryn määränä, joka ilman lämpötilan mukaan ilmassa voi enintään olla vesihöyryn tiivistymättä nesteeksi. Kun ilman vesihöyrypitoisuus saavuttaa maksimipitoisuutensa, on $RH = 100\%$. Lämpimämmässä ilmassa on aina enemmän vesihöyryä kuin kylmässä. Suhteellinen kosteus (RH %) on ilmassa olevan vesihöyryn määrän suhde ilman lämpötilaa vastaavaan kyllästyskosteuteen. Huoneilman kosteuteen vaikuttaa ulkoilman kosteus, sisätilojen kosteudentuotto ja sisätilojen ilmanvaihtuvuus. (RT 05-10710 1999.)

Materiaalit sisältävät eri määrän vettä. Vesi voi sitoutua materiaaliin joko fysikaalisesti tai kemiallisesti. Huokoiset materiaalit voivat sitoa kosteutta ilmasta ja luovuttaa sen takaisin. Nämä ovat hygroskooppisia materiaaleja. Kun materiaalin kosteuspitoisuus on tasapainossa ympäristön kosteuden kanssa, sanotaan materiaalin olevan *hygroskooppi-*

sessä *tasapainokosteudessa* eikä kosteuden siirtymistä tapahdu. Kun rakennusaine ottaa vettä ympäristöstään, tapahtuu kostuminen eli absorptio. Kun vettä luovutetaan, tapahtuu kuivuminen eli desorptio. (RIL 250-2011 2011, 61.)

3.2 Kosteuden siirtyminen rakenteissa

Kosteus siirtyy rakenteissa eri ilmiöillä. Ilmiöitä tarkastellaan, jotta osataan arvioida rakenteisiin kohdistuvia kosteuskuormia ja kuivumisnopeuksia. (Pitkäranta 2016, 111.)

3.2.1 Veden kapillaarinen ja painovoimainen siirtyminen rakenteissa

Kapillaarisessa siirtymisessä vesi imeytyy huokoiseen materiaaliin, jos se on kosketuksessa vapaaseen veteen tai toiseen kapillaarisella kosteusalueella olevaan materiaaliin. Kapillaarinen siirtyminen johtuu pääsääntöisesti veden pintajännitysvoimien aiheuttaman huokosalipaineen vaikutuksesta. Huokosalipaineen suuruus riippuu huokosen koosta siten, että pienemmissä huokosissa on suurempi huokosalipaine. Vesi voi siirtyä huokosissa materiaaleissa mihin suuntaan vain, ja siirtyvä kosteusmäärä voi olla hyvinkin suuri. (Pitkäranta 2016, 111.)

Veden kapillaarisella nousukorkeudella tarkoitetaan tasapainotilaa, jossa kosteus on noussut korkeudelle. Tasapainotilassa myös huokosalipaineen aiheuttama kapillaarinen imuvoima ja painovoima ovat yhtä suuret. Mitä pienempiä huokoset materiaalissa ovat, sitä korkeammalle vesi kapillaarisesti nousee. (Pitkäranta 2016, 112.) Karkearakenteiseen maakerrokseen, kuten täyttö- ja salaojakerrokseen, muodostuva huokosverkosto vaihtelee maarakeiden koon ja muodon sekä massan tiiviyyden vaihtelun myötä. Nousevan kapillaariveden määrä ja nousukorkeus jokaisessa yksittäisessä huokosessa riippuvat kunkin huokosen koosta ja ominaisuuksista. (Leivo & Rantala 2006, 22.)

Veden kapillaarinen siirtyminen vaakasuuntaan on syytä ottaa huomioon etenkin rakenteiden vierustäytyksissä, jotka tulisi olla riittävän paksuja ja karkearakeisia, jotta vesi ei pääse virtaamaan kapillaarisesti laatan alapuolisiin rakennekerroksiin. Kapillaarivoimat voivat kuljettaa vettä pitkälle rakennuksen alle, mikäli vierustäyttöön muodostuu vedelle otollinen tila. (Leivo & Rantala 2006, 24.)

Painovoimaisessa siirtymisessä vesi siirtyy painovoiman vaikutuksesta alaspäin rakennuksen pystysuorilla ja kaltevilla pinnoilla sekä rakennuksen vierusmaan pinnoilla. Jos veden poisjohtaminen ulospäin rakenteista ei toimi tai rakenteiden ulkopinnat eivät ole tiiviit, vesi voi kulkeutua rakenteiden sisään painovoimaisesti. Tämä lisää rakenteiden kosteusvaurioriskiä, sillä määrät voivat olla suuria. (Pitkäranta 2016, 112–113.)

Merkittävä osa rakennuksen kosteusteknisestä toiminnasta perustuu veden painovoimaiseen siirtymiseen. Se mahdollistaa veden hallitun johtamisen pois rakenteiden ulko- ja sisäpinnoilta sekä rakennuksen vierustoilta. Lisäksi se mahdollistaa rakennuksen perustuksien kuivattamisen salaojituksella. (Pitkäranta 2016, 113.)

3.2.2 Kosteuden siirtyminen diffuusiolla

Kosteuden siirtyminen diffuusiolla perustuu vesihöyryn pitoisuuserojen tasoittumiseen rakenteiden eri puolilla. Kosteus siirtyy suuremmasta vesihöyryn osapaineesta tai pitoisuudesta pienempään. Diffuusiolla tapahtuvan virtauksen suuruus riippuu rakenteen vesihöyryläpäisevyydestä ja vesihöyryn osapaine-eron suuruudesta. (Pitkäranta 2016, 113.)

Kosteustuoton johdosta sisäilman vesihöyryn osapaine on suurempi kuin ulkoilman, jolloin sisäilman kosteus siirtyy diffuusiolla sisältä ulos. Koska sisä- ja ulkoilman välinen vesihöyryn osapaine-ero on talvella suurempi, on diffuusion merkitys silloin suurempi. Talvella rakenteessa oleva vesihöyry siirtyy ulospäin ja kesällä pääosin ulkoa sisälle. (Pitkäranta 2016, 114.)

Diffuusiovirtaus kasvaa osapaine-eron ja rakenteen vesihöyryläpäisevyyden kasvaessa. Vesihöyryn haitallinen diffuusio estetään toimivien diffuusiovastusratkaisujen avulla. (RIL 205-2011, 72.) Höyrynsulullisessa seinässä sisään ja ulos siirtyvän kosteuden määrä on vuodessa suunnilleen tasapainossa. Kosteusvaurioita syntyy yleensä, jos rakenteen sisäpuolelta pääsee vesihöyryä diffuusiolla enemmän rakenteisiin kuin niistä pääsee pois, jolloin rakenteen kosteuspitoisuus kasvaa koko ajan. (Pitkäranta 2016, 114.)

3.2.3 Kosteuden siirtyminen konvektiolla

Konvektiolla tarkoitetaan ilmavirtausta, joka syntyy rakenteen yli vallitsevan ilman kokonaispaine-eron vaikutuksesta. Ilma virtaa huokoisten materiaalien ja rakojen läpi suuremmasta paineesta pienempään. (Pitkäranta 2016, 115.)

Konvektio syntyy, jos rakenteen eri puolilla on erilaiset painesuhteet. Paine-eroja aiheuttavat tuuli, lämpötilaerot, ilmanvaihtojärjestelmät sekä näiden yhteisvaikutus. Rakennuksissa muodostuu usein ylipainetta huoneiden yläosiin, mikä aiheuttaa suurimmat konvektiosta aiheutuvat kosteusvaurioriskit seinien yläosiin ja kattorakenteisiin. Kylminä vuodenaikoina kostea sisäilma virtaa rakenteisiin ja ilman sisältämä kosteus tiivistyy rakenteisiin, mikä aiheuttaa kosteusvaurioriskin. (RIL 205-2011, 70; Pitkäranta 2016, 115.)

Suurin riski kosteusvauriolle on kylmänä vuodenaikana, kun kosteaa sisäilmaa vuotaa rakenteisiin. Tällöin lämpimän ilman sisältämä kosteus tiivistyy rakenteisiin, koska rakenteet ovat kylmempiä kuin kesällä. Ilman virtaamista rakenteisiin voidaan estää tiivistämällä liitokset ja raot oikein höyrynsululla. Kosteuskonvektion estämiseksi rakennukset suunnitellaan hieman alipaineisiksi. (RIL 205-2011, 70; Pitkäranta 2016, 116.)

3.2.4 Lämmönsiirtymisen vaikutus

Lämmönsiirtyminen vaikuttaa myös kosteudensiirtymiseen. Lämpöä siirtyy kolmella eri tavalla:

- johtumalla lämpimästä kylmään väliaineessa
 - konvektiolla, jolloin lämpöenergia siirtyy nesteeseen tai kaasun mukana
 - säteilemällä, jolloin energia siirtyy sähkömagneettisen aaltoliikkeen välityksellä.
- (Siikanen 2014, 40–41.)

Rakenteen lämpötilamuutokset vaikuttavat kosteuden siirtymiseen. Sateella tiilijulkisivuun sitoutunut sadevesi vapautuu vesihöyrynä, kun auringonsäteily lämmittää kastunutta seinärakennetta. Ellei tiilimuurauksen takana ole toimivaa ilmarakoa, siirtyy ilman kosteus sisäpuoliseen lämmöneristekerrokseen ja sisäkuoreen. Auringonsäteilyn vaikutuksesta sisäkuoren rakenteet ovat ulkopintoja viileämpiä, jolloin kosteus voi tiivistyä höyrynsulun ulkopintaan. Tällaisia kosteusvaurioita voi syntyä avoimilla paikoilla olevien,

viistosateelle ja auringonsäteilylle alttiiden tiiliulkoseinien lämmöneristekerrokseen, mikäli tiilijulkisivu on heikosti tuulettuva. (Pitkäranta 2016, 117.)

3.3 Kosteuslähteet

Rakennuksissa ja rakenteissa oleva kosteus ilmenee näkyvänä vetenä, näkymättömänä vesihöyrynä tai rakenteisiin sitoutuneena rakennekosteutena. (Siikanen 2014, 66.)

3.3.1 Sadevesi

Sade aiheuttaa kosteutta erityisesti vesikatolle, mutta myös seinien ulkoverhouksiin. Viistosade kohdistuu tuulen vuoksi myös pystysuoriin pintoihin, ja sitä voidaan pitää tärkeimpänä rakennuksen vaippaan kohdistuvana kosteusvaurioiden aiheuttajana. (Siikanen 2014, 66–67.)

Tiiliverhouksissa vedenimukyky on suuri, jolloin vesi pääsee imeytymään julkisivuun. Ulkoseinän pinnalle ei synny yhtenäistä vesikalvoa, ennen kuin tiilien huokoset ovat täyttyneet vedellä. Tuulen vuoksi sade kulkeutuu rakenteisiin myös halkeamista ja tuuletusraoista. (Björkholtz 1997, 41.) Tuulen aiheuttaman pyörteen vaikutuksesta sadevesi tai lumi voi kostuttaa myös ulkoverhouksen yläosaa. Seinän alaosa rasittaa roiskevesi. (Siikanen 2014, 67.)

Sateen aiheuttamia ongelmia pystytään vähentämään suunnittelemalla leveämmät räystäät. Varmistamalla ulkoseinärakenteen tuuletusrako julkisivuverhouksen alla voidaan verhouksen läpäissyt sadevesi johtaa pois ja samalla tuulettaa rakennuksen sisältä tulevan kosteus. (Siikanen 2014, 67.) Käyttämällä yli 4 mm leveitä avonaisia vaakasaumoja tuuletusraon kanssa voidaan varmistaa, ettei synny yhtenäistä vesikalvoa, kun ilmanpaine ulkona ja ilmaraossa ovat lähes samat (Björkholtz 1997, 41).

3.3.2 Rakennuspaikka ja maaperän kosteus

Maaperän kosteusrasitus syntyy maaperästä kapillaarisesti nousevasta vedestä, rakenteeseen kohdistuvasta vedenpaineesta ja maa-aineksen huokosilman vesihöyryn diffuusiosta (Pitkäranta 2016, 111).

Maaperän kosteusolosuhteet arvioidaan aina paikallisten olosuhteiden perusteella. Maaperän kosteuteen vaikuttavat pohjaveden korkeus, maalaji ja sen kapillaarisuus sekä kuivatus- ja salaoitusjärjestelyt. (RIL 205-2011, 64.)

Osa sadevedestä valuu maahan pintavetenä kallistusten mukaan, ja osa kulkeutuu vajovetenä perustuksiin. Pintavesien valuminen rakennusten alapohjarakenteisiin on yksi kosteusvaurioiden aiheuttajista, mutta myös estettävissä maapohjan oikeilla kallistuksilla rakennuksesta poispäin. Maaperän riittävä kuivuus varmistetaan salaoituksella ja riittäväällä soratäytöllä. (Siikanen 2014, 67.)

Maaperässä kosteus voi olla esim. pohjavettä tai vajovettä. Maahuokosten ilma oletetaan täydellisesti vesihöyryllä kyllästetyksi, ja siten vesihöyryn suhteellinen kosteus RH on 100 %. (RIL 250-2011, 64.)

3.3.3 Ulkoilman kosteus

Ulkoilman kosteuspitoisuus vaihtelee vuodenaikojen mukaan. Kesällä ulkoilmassa on enemmän vesihöyryä kuin talvella, koska lämmin ilma pystyy sitomaan suuremman määrän kosteutta. Rakennusten ja rakenteiden toiminnan kannalta merkittävintä on ilman kosteussisältö talvikuukausina. Vaikka suhteellinen kosteus on talvella keskimäärin korkea, sen vesipitoisuus on vähäinen, jolloin huonetilojen korvausilmana käytettävä ulkoilma kuivattaa huoneilmaa. (Pitkäranta 2016, 109.)

Vesihöyryä siirtyy ulkoilmasta rakenteisiin, jolloin vesihöyry tiivistyy ulko- tai tuuletusvälipintoihin ja/tai sitoutuu hygroskooppisesti. Ulkoilman kosteus siirtyy ilmanvaihdon kautta rakennuksen sisätiloihin. (RIL 250-2011, 65.)

3.3.4 Sisäilman kosteus

Huoneilman kosteus riippuu ulkoilman kosteudesta, huonetilan kosteudesta ja ilman vaihtuvuudesta. Huoneilman kosteus vaihtelee pääosin seuraten ulkoilman kosteusvaihteluja. Kosteuspitoisuuteen vaikuttaa kuitenkin ulkoilman kosteuden lisäksi hetkellisesti myös muita tekijöitä, mm. ilmanvaihdon määrä, peseytyminen, ruoanlaitto ja tiskaaminen. (RIL 250-2011, 65, 67.)

3.3.5 Rakennuskosteus

Rakennusaineissa sekä rakenteissa on vielä rakennuksen valmistumis- ja käyttöönotto- vaiheessa rakennuskosteutta, joka on peräisin materiaalien valmistusprosesseissa käytetystä vedestä ja rakennustuotteiden kuljetuksen, varastoinnin ja rakennustyön aikana tapahtuneesta kastumisesta. Rakennuskosteus pyrkii poistumaan rakenteesta ja materiaalista niin kauan, kunnes se on saavuttanut tasapainokosteuden ympäristön kanssa. (RIL 250-2011, 68.)

Poistuva kosteusmäärä voi olla hyvinkin suuri, ja esimerkiksi betonirakenteet tulee kuivattaa hyvin ennen niiden pinnoitusta. Mikäli betoni pinnoitetaan ennen kuin se on saanut kuivua riittävästi, voi tiiviin pinnoitteen alle kerääntyä kosteutta, joka aiheuttaa homevaaran. (RIL 250-2011, 68.)

3.3.6 Putkivuodot

Vuotojen aiheuttaja on yleensä rakenteellinen virhe. Vuodot esiintyvät usein käyttövesi-, lämmitys- ja viemäriputkistoissa tai huonosti tehdyissä vedeneristyksissä. (Siikanen 2014, 67.)

3.4 Alapohjan kosteusvirta eri vaiheissa

3.4.1 Rakenteen kuivumisvaihe

Rakennusaikaisen rakennekosteuden on päästävä poistumaan kuivuvista rakenteista. Heti rakentamisen jälkeen merkittävin kosteuslähde alapohjarakenteissa on paikalla valettujen betonirakenteiden rakennuskosteus. Tavalliset rakennebetonit sisältävät paljon seosvettä, ja rakenteesta poistuukin vettä kymmeniä litroja/m³. Rakenne saavuttaa tasapainokosteuden ympäristönsä kanssa vasta, kun ylimääräinen rakennekosteus on poistunut siitä. Rakennuskosteus poistuu vesihöyryinä haihtumalla ylöspäin ja diffuusiolla alaspäin, mikäli rakenteessa ei ole höyrynsulkua. Jos rakenne pinnoitetaan vesihöyryä läpäisemättömällä pinnoitteella ennen kuin rakennuskosteus on päässyt poistumaan, se

ei voi kuivua ylöspäin ja jatkaa siten kuivumistaan alaspäin. Rakenteen alapuolinen pohjamaa alkaa lämmetä, jolloin kyllästyskosteuspitoisuus maassa suurenee ja kosteusvirta alaspäin pienenee. Rakennuskosteuden poistumisen kesto riippuu rakenteen eri puolilla vaikuttavista olosuhteista, rakennevalinnoista ja poistuvan kosteuden määrästä. (Leivo & Rantala 2006, 36.)

3.4.2 Käyttötila

Käyttötilanteessa alapohjarakenteen kosteustasapaino muodostuu ympäristöolosuhteiden reunaehtojen ja rakenteen materiaalikerrosten vesihöyryläpäisevyyksien sekä lämmönjohtavuuksien perusteella. Normaaleissa käyttöolosuhteissa maanvastaisen alapohjarakenteen olosuhteet ovat tasaantuneet pitkällä aikavälillä. Lämpötila sekä sisäilman RH voivat vaihdella vuodenajan mukaan. Tyypillisesti pohjamaan lämpötila on niin korkea, että vesihöyryn osapaine on suurempi kuin sisäilman vesihöyryn osapaine, jolloin kosteus siirtyy diffuusiolla alhaalta ylös. Tässä tilanteessa rakenteiden kosteustekninen toiminta riippuu vesihöyryn osapaineiden erosta, rakenne- ja materiaalivalinnoista sekä rakenneosien vesihöyryvastuksista. (Leivo & Rantala 2006, 38–39.)

3.4.3 Vauriotilanne

Vauriotilanteella tarkoitetaan alapohjarakenteisiin tulevaa odottamatonta kosteuslisää, jolloin rakennekerrosten kosteuspitoisuus nousee yli käyttötilan kosteustasapainotilan. Yleinen vauriotilanne on putkivuoto laatassa olevissa vesiputkissa. Tällöin RH nousee 100 %:iin ja ylimääräinen vesi sitoutuu rakenteisiin. Ylimääräinen vesi poistuu joko diffuusiona ylös- tai alaspäin riippuen vesihöyryn osapaineista ja rakenteen diffuusiovastuksista laatan molemmin puolin. (Leivo & Rantala 2006, 40.)

3.5 Rakennuksen painesuhteet ja ilmatiiveys

Rakennuksen painesuhteet ja rakenteiden ilmatiiveys vaikuttavat ilmavirtauksiin rakennuksissa. Ilma virtaa korkeammasta paineesta matalampaan eli ylipaineesta alipaineeseen. Ilmavirtaukset kuljettavat vesihöyryä sekä mahdollisesti ilman epäpuhtauksia, kuten homeen hajua. (Sisäilmäyhdistys ry 2018.)

Rakennuksen painesuhteet määräytyvät ilmanvaihdon, tuulen, savupiippuvaikutuksen ja tilojen käytön yhteisvaikutuksesta. Rakennuksen painesuhteet tulee selvittää, jotta voidaan arvioida rakennuksen ilmavirtauksien suuruutta ja suuntaa sekä ilman mukana siirtyvän kosteuden, lämmön ja epäpuhtauksien merkitystä sisäilmalle ja rakenteiden rakennusfysikaaliselle toiminnalle. Ilmavirtaukset kuljettavat lämpöä ja kosteutta, mutta myös epäpuhtauksia, kuten hiukkasia ja mineraalivillakuituja, hajuja ja radonia. (Pitkäranta 2016, 118.)

Ympäristöministeriön asetuksessa uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta (2018) ilmavirroista aiheutuvat paineet ja rakenteiden ilmanpitävyys on määritelty seuraavasti:

Erityissuunnittelijan on suunniteltava rakennuksen ulko- ja ulospuhallusilmavirrat siten, ettei rakenteisiin aiheudu ylipaineen vuoksi rakenteita vaurioittavaa pitkäaikaista kosteusrasitusta eikä alipaineen vuoksi epäpuhtauksien siirtymistä sisäilmaan. Pääsuunnittelijan, erityissuunnittelijan ja rakennussuunnittelijan on tehtäviensä mukaisesti suunniteltava rakennuksen vaipan ja sisä rakenteiden ilmanpitävyys ja hormivaikutuksen hallinta siten, että edellytykset ilmanvaihdon toiminnalle voidaan varmistaa ja vältetään rakenteissa olevien epäpuhtauksien, maaperässä olevien epäpuhtauksien ja radoninsiirtymistä sisäilmaan ja vältetään kosteuden siirtymistä rakenteisiin. (Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017.)

Asetus koskee uutta rakennusta, mutta sitä voidaan soveltaa myös korjausrakentamiseen teknisesti toimivan lopputuloksen saamiseksi.

Suomen oloissa asuinrakennukset tehdään hieman alipaineisiksi kosteuskonvektion aiheuttaman rakenteiden vaurioitumisriskin takia. Ilma virtaa siis tavanomaisesti ulkoa ja maaperästä sisälle päin. Ulkovaipparakenteissa ja maaperässä on lähes aina epäpuhtauksia, jotka heikentävät sisään päästessään sisäilman laatua. Korvausilmaa ei kuitenkaan tulisi ottaa rakenteista tai rakennuksen alta, vaan hallitusti tuloilmaventtiilien tai raitisilmanottoaukkojen kautta. Rakenteiden liitoskohdat, kuten alapohjan ja ulkoseinän liitokset sekä ikkunoiden liitokset ulkoseinään, ovat tyypillisiä rakenteita, jotka eivät usein ole riittävän tiiviitä. (Pitkäranta 2016, 118.)

Rakennuksen tiivistäminen vaikuttaa seuraaviin asioihin:

- kosteuskonvektion estyminen

- energiankulutuksen väheneminen
- epäpuhtauksien kulkeutumisen estyminen sisäilmaan
- vedontunteen väheneminen ja asumisviihtyvyyden paraneminen
- ilmastäneristävyyden paraneminen (Pitkäranta 2016, 118–119.)

Tuuli aiheuttaa rakennukseen painetta, joka riippuu tuulen nopeudesta ja suunnasta sekä rakennuksen geometriasta. Ylipainetta muodostuu tuulen kohtaaman pinnan puolelle ja sivuseinille ja tuulen vastaiselle seinälle alipainetta eli imua. (Pitkäranta 2016, 119.)

Savupiippuvaikutuksella tarkoitetaan huoneilman lämpenemisestä johtuvaa paine-erojen muodostumista. Lämmin ilma pyrkii nousemaan ylöspäin ja aiheuttaa näin ylipaineen huoneen yläosaan ja alipaineen alaosaan. Savupiippuvaikutuksen merkitys on suurin talvella, jolloin sisä- ja ulkoilman välinen lämpötilaero on suuri. (Siikanen 2014, 35; Pitkäranta 2016, 120.)

Ilmanvaihdon aiheuttama paine-ero rakennuksen sisä- ja ulkopuolen välillä riippuu rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmästä. Ilmanvaihtojärjestelmä voi olla koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä, painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä, koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä tai kahden edellisen yhdistelmä. Koneelliset ilmanvaihtojärjestelmät aiheuttavat painesuhteen, joka riippuu järjestelmän tehokkuudesta ja säädöstä, rakennuksen tiiveydestä sekä tulo- ja poistoilmaventtiilien määrästä ja sijainnista. Koneellinen ilmanvaihtojärjestelmä tulee aina säätää niin, että rakennuksen sisällä on alipainetta. (Pitkäranta 2016, 121.)

Rakennuksen painesuhteet määräytyvät edelle esitettyjen seikkojen yhteisvaikutuksesta sekä lisäksi tilojen käytöllä. Painesuhteet vaihtelevat eri vuorokauden- ja vuodenaikoina. Kokonaispaine-eron aiheuttama ilman virtaaminen aiheuttaa kosteusvaurioriskin, jos kylmä ilma pääsee jäähtymään virratessaan rakenteen läpi. (Pitkäranta 2016, 122.)

4 KOHDE: HOVIRINNAN KOULUN LIIKUNTASALI

Tutkimukset ja korjaussuunnittelu koskevat koulurakennuksen liikuntasalia. Rakennus on rakennettu 1980-luvun alussa. Sen ulkoseinät ovat tiili-villa-tiili-rakenteisia. Alapohjarakenteena on paalutettu maanvastainen betonilaatta, jonka alla ei ole lämmöneristettä. Betonilaatan päällä on mineraalivillaeriste ja puukorotettu laualattia. Perusmuurina on sokkelielementti, jonka lämmöneriste on toteutettu sokkelihalkaisussa. Rakennus on yksikerroksinen (kuva 1).



Kuva 1. Yleiskuvaa koulurakennuksesta.

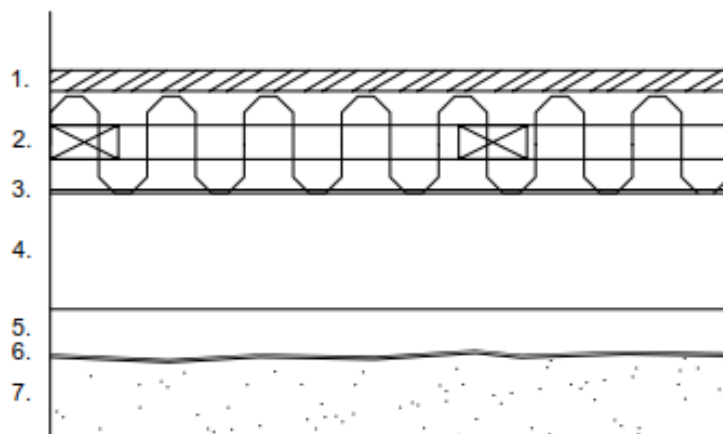
4.1 Tutkimuksissa havaitut ongelmat

Tässä opinnäytetyössä esitetyt tiedot ja tutkimustulokset perustuvat RTC Vahanen Turku Oy:n vuosina 2014–2017 tekemiin tutkimuksiin ja opinnäytetyön aikana tehtyihin rakenneavauksiin, kosteusmittauksiin ja ilman paine-eromittauksiin.

4.1.1 Alapohjarakenne ja sokkelipalkki

Liikuntasalin nykyinen alapohjarakenne (AP1) on esitetty kuvassa 2. Alapohjan kantavan betonilaatan alla ei ole lämmöneristettä, vaan lämmöneristeenä oleva mineraalivilla sijaitsee betonilaatan päällä. Betonilaatan ja lämmöneristeen välissä on bitumisively sekä kermi.

Maan pinta on vajonnut rakennuksen alla sen vieressä siten, että rakennuksen alle on syntynyt vajoamisen seurauksena n. 30–100 mm korkea tyhjä ilmatila. Rakennus ei ole painunut. Maan vajoaminen on mahdollistanut ilmayhteyden ulkoa rakennuksen alle sokkelipalkin alta. Ilmayhteyden seurauksena alapohjan rakenteet pääsevät jäähtymään ulkoseinien vierustoilla kylminä vuodenaikoina, ja rakenteiden jäähtyminen on saattanut johtaa rakenteiden mikrobivaurioitumiseen. (H. Teivainen & T. Hautalampi, henkilökohtainen tiedonanto 16.1.2018.)



- AP1 180 mm
1. lautalattia 30 mm
 2. puukoolaukset 3x50x100 mm ja mineraalivilla n. 140 mm
 3. bitumisively + kermi
 4. teräsbetonilaatta 170 mm
 5. maan painumisesta aiheutunut ilmatila 30-100 mm
 6. muovi
 7. hiekkatäyttö

Kuva 2. Liikuntasalin nykyinen alapohjarakenne AP1.

Tutkimuksissa on havaittu, että alapohjasta tai sen alla olevasta ilmatilasta tulee mikrobikasvustoon viittaavaa hajua sisätiloihin. Rakenneausten perusteella laatan yläpuolisena lämmöneristeenä on mineraalivilla. Tutkimusten yhteydessä mineraalivillasta löydettiin mikrobikasvustoa sekä todettiin alimpien puukannattajien kohonnut kosteusluku ulkoseinäpäädyssä. Keskeimmällä olevasta rakenneavauksesta löydettiin pieniä määriä kosteuteen viittaavaa sienilajistoa, mutta ei mikrobikasvustoa. (H. Teivainen & T. Hautalampi, henkilökohtainen tiedonanto 27.3.2018.)

Alapohjan eristetilan kosteusvauriot saattavat johtua monesta syystä. Toteutetussa alapohjarakenteessa vesieristeenä ovat bitumisively sekä kermi muodostavat vesihöyrytiivin rakenteen, joka sijaitsee alapohjan lämmöneristeen alapuolella (rakenteen kylmällä puolella). Tällaisessa rakenteessa riskinä on, että sisäilman kosteus tiivistyy vesihöyrytiivin vesieristeen pintaan aiheuttaen lämmöneristeen alapintaan kosteusvaurioita. (J. Vuohijoki, henkilökohtainen tiedonanto 17.4.2018.)

Yhtenä vaurioitumisen syynä on todennäköisesti se, että maaperästä siirtyy kosteutta kapillaarisesti perustusten ja sokkelipalkkien kautta. Sokkelipalkki on toteutettu sokkelielementtinä, ja lämmöneriste on sokkelihalkaisussa. Riskinä on, että alapohjan alta pääsee sokkelihalkaisun kautta vuotoilmaa ulkoseinän eristetilaan ja sieltä sisäkuoren tiiliverhouksen saumojen läpi edelleen sisälle. Tämän ilmayhteyden, alapohjan läpivientien sekä lattia-seinäliitoksen kautta liikuntasaliin saattaa päästä sisäilman laatua heikentäviä mikrobeja ja muita epäpuhtauksia.

On hyvin mahdollista, että kosteutta kulkeutuu rakenteisiin myös ulkoseinän tiiliverhouksen sekä sokkelin saumojen kautta. Alapohjan lämmöneristeet ovat saattaneet vaurioitua aikoinaan myös pohjabetonilaatan kosteuden seurauksena.

Salaojia ei ole liikuntasalin kohdalta kuvattu. Maanpinta ei kallista selkeästi pois päin rakennuksesta ja on maanvajoamisen vuoksi kuopalla sokkelilinjalla. (H. Teivainen & T. Hautalampi, henkilökohtainen tiedonanto 28.3.2018.) Sokkelilinjan maanvajoamista on yritetty korjata maataytöillä, mutta ilmayhteys on edelleen paikoittain avoin (kuva 3).



Kuva 3. Maan vajoamista sokkelilinjalla.

4.1.2 Ulkoseinä

Ulkoseinärakenne on tiili-villa-tiili-rakenteinen (kuva 4). Tutkimuksissa on havaittu, että ulkokuoren tiiliverhouksen takainen ilmarako on puutteellinen, mikä saattaa olla osasy syy havaittuihin mikrobiongelmiin. Ulkoseinän eristeenä oleva mineraalivilla on todennäköisesti päässyt ajoittain kastumaan. (J. Vuohijoki, henkilökohtainen tiedonanto 14.3.2018.) Puutteellisen tuuletusraon vuoksi rakenteen kuivuminen on ollut kastumisen jälkeen hidasta, mikä on johtanut lämmöneristeen mikrobivaurioitumiseen. Tiilijulkisivun laasteissa havaittiin olevan tiiveyspuutteita, ja tiilisaumat ovat osittain auenneet.



Kuva 4. Liikuntasalin pääty.

4.1.3 Ilmanvaihto

Rakennuksessa on koneellinen tulo- ja poistoilmavaihto sekä lämmöntalteenotto. Ontelolaattojen onteloita on aikaisemmin käytetty tuloilmakanavana, mutta vuosien varrella ontelokanavat on poistettu käytöstä ja muutettu kierresaumakanavistoiksi päätelaitteille. Saneerauksen yhteydessä tuloilmakanavistoja ja päätelaitteita on pääosin uusittu. Ilmavaihto on toteutettu useammalla koneella ja ilmanvaihtokoneita on uusittu vuodesta 2010.

Kanaviston ilmamäärät on säädetty viimeksi vuonna 2014. Ilmamäärät on aikoinaan säädetty väärin, minkä vuoksi rakennuksen ilmanvaihto ei ole ollut tasapainossa. Väärin säädettyjen ilmavirtojen vuoksi osa rakennuksesta on ollut voimakkaasti alipaineinen ja osa rakennuksesta ylipaineinen. Rakenteiden kautta on virrannut vuotoilmaa sisälle paine-erojen vaikutuksesta, ja vuotoilman mukana rakenteiden sisältä ja alapohjan alta

on päässyt sisäilmaan epäpuhtauksia. (J. Vuohijoki, henkilökohtainen tiedonanto 17.4.2018.)

5 TEHDYT TUTKIMUKSET

Tämän opinnäytetyön tutkimustulokset perustuvat RTC Vahanen Turku Oy:n vuosina 2014–2017 tekemiin kuntotutkimuksiin ja erilaisiin mittauksiin. Opinnäytetyön aikana suoritettiin kosteusmittauksia, ilman paine-eromittauksia ja rakenneavauksia.

5.1 Kosteusmittaukset

Kosteusmittauksia suoritettiin alapohjan eristetilasta hetkellisenä sekä jatkuvana useamman päivän mittauksena dataloggerilla.

5.1.1 Hetkellinen rakenteen kosteusmittaus

Alapohjan eristetilan suhteellista kosteutta mitattiin hetkellisinä mittauksina. Mittaukset suoritettiin asentamalla mittapää eristekerroksen alapintaan lattialautaan poratun reiän kautta. Porareikä tiivistettiin vesihöyrytiivillä elastisella massalla, ja mittapään annettiin tasaantua vallitseviin olosuhteisiin 15 minuuttia. (kuva 5.) Menetelmällä mitataan materiaalihuokosten ilmatilan suhteellista kosteuspitoisuutta. (Pitkäranta 2016, 56.)

Alapohjan eristetilan ilman suhteellinen kosteus mitattiin kuudesta eri paikasta. Kosteusmittauspaikat on merkattu pohjapiirustukseen (liite 1). Mittaustulokset on koottu taulukkoon 1.



Kuva 5. Kosteusmittaus.

Taulukko 1. Kosteusmittaustulokset.

Hovirinnan koulu 19.10.2017 Kosteusmittaustulokset			
reikä	RH (%)	T(°C)	abs. Kosteus (g/m ³)
1	60	16,8	8,5
2	47	20,7	8,4
3	55	17,5	8,1
4	50	18,0	7,7
5	35	23,9	7,5
6	53	18,1	8,2
sisäilma	36	17,9	5,5
ulkoilma	56	10,8	5,4

Sisäilmastoluokituksen luokan S1 mukaan käyttäjien kannalta sisäilman suhteellisen kosteuden tulisi talvella olla 25...45 % (Sisäilmayhdistys 2008). Tämän ohjeen mukaan

sisäilman suhteellinen kosteus on tavanomainen. Yleensä vähimmäiskosteus homekasvulle rakennusmateriaaleilla on noin 75...80 %. (Pitkäranta 2016, 130.) Eristetilan korkein lukema on $RH = 60\%$. Kosteusmittausten perusteella alapohjan eristetilassa ei ollut mittaushetkellä otolliset olosuhteet mikrobikasvustolle. Reiät kaksi ja viisi sijaitsevat lähellä lämpöpattereita, joten näiden kohdalla mittaustulos saattaa olla vääristynyt.

5.1.2 Jatkuvatoimiset tallentavat lämpötila- ja kosteusmittaukset

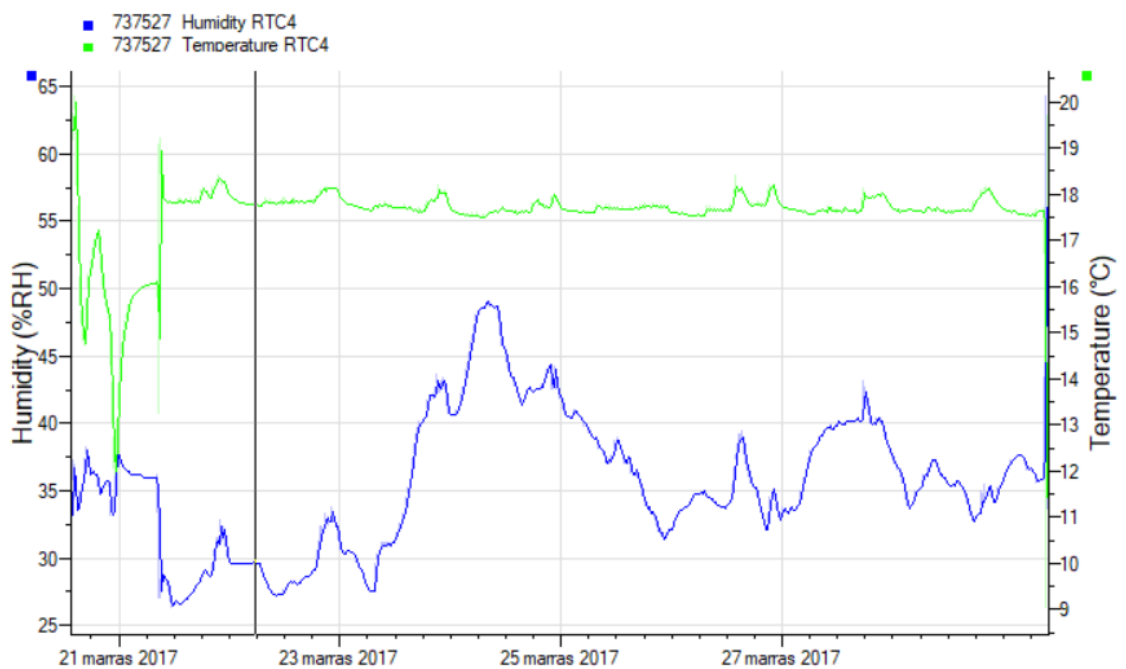
Ilman olosuhteita (lämpötilaa ja suhteellista kosteutta) saadaan mitattua jatkuvatoimisilla ja tallentavilla lämpötila- ja kosteusmittauksilla. Dataloggeri on tiedonkeruulaite, joka mittaa ja tallettaa jatkuvasti mittaustiedon dataloggerin muistiin. Dataloggeri koostuu mitausnaturista ja loggaavasta tiedonkeruuyksiköstä (kuva 6). Rakennusfysikaalisissa mittauksissa dataloggerilla mitataan yleensä lämpötilaa ja suhteellista kosteutta. (RIL 255-1-2014, 376.) Tässä mittauksessa käytettiin tallennusvälinä 10 minuuttia. Mittaustulokset saatiin ulos kuvaajina, joissa lämpötila ja suhteellinen kosteus ovat ajan funktioina. Mittauksia tehtiin alapohjan eristetilasta (kuvaaja 1), sisäilmasta (kuvaaja 2) ja ulkoilmasta (kuvaaja 3).



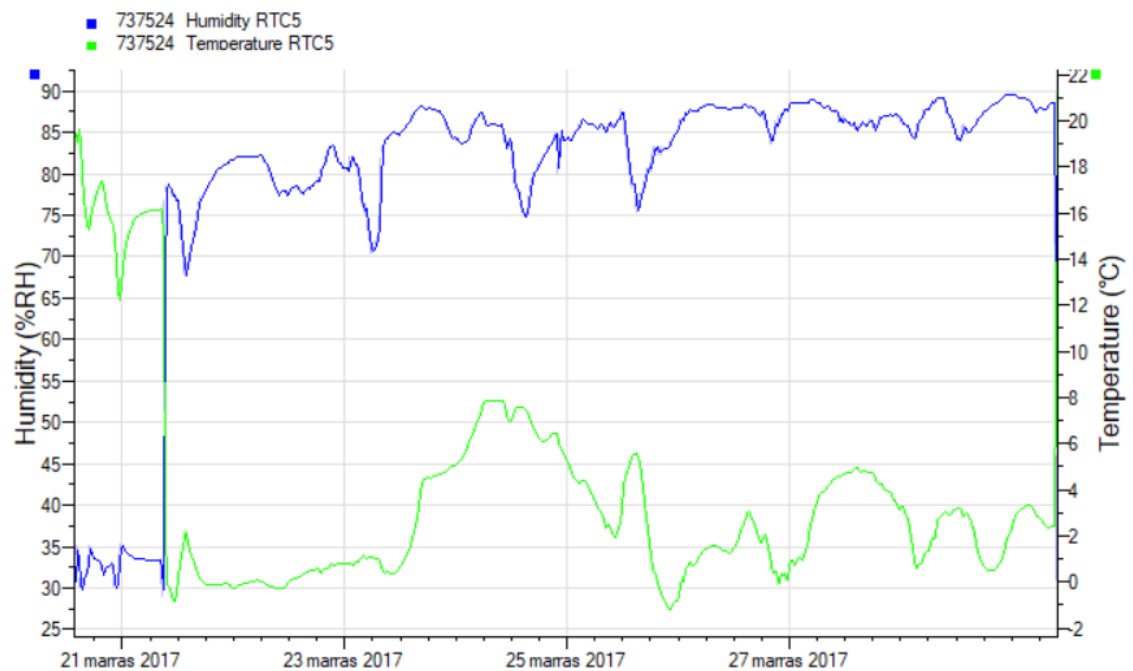
Kuva 6. Havainnekuva liikuntasalin sisäilman dataloggerimittauksesta.



Kuvaaja 1. Dataloggerimittaustulokset alapohjan eristetilasta.



Kuvaaja 2. Dataloggerimittaustulokset sisäilmasta.



Kuvaaja 3. Dataloggerimittaustulokset ulkoilmasta.

Mittaus suoritettiin marraskuussa. Alapohjan eristetilän suhteellinen kosteus nousee mittausjaksolla korkeimmillaan n. 52 %:iin, mikä jää alle homeen kasvulle suotuisien olosuhteiden. Mittausten perusteella alapohjan eristetilään ei kohdistunut mittaushetkellä merkittävää kosteusrasitusta.

Ulkoilman lämpötilassa havaitaan lämpimämpi ajankohta, joka vaikuttaa heti sisäilman ja eristetilän suhteelliseen kosteuteen. Tulosten perusteella sisäilma on kuitenkin sisäilmastoluokituksen S1 mukainen koko mittausjakson ajan.

5.2 Ilmavirtaus ja paine-eromittaukset

Ilmavirtaus- ja paine-ero mittaukset tehdään yleensä ns. normaaliolosuhteissa, eli ilmanvaihto on normaalisti käynnissä ja ikkunat ovat suljettuina. Tutkittavassa huonetilassa havaitut sisäilmaongelmat voivat aiheutua muualta rakennuksesta kulkeutuvista epäpuhtauksista. Ilmavirtaus- ja paine-eromittausten tavoitteena on selvittää epäpuhtauksien

kulkeutumismahdollisuuksia rakennuksessa sekä selvittää, onko mahdollista, että vesihöyryn siirtyminen ilmavirtauksien mukana aiheuttaa kosteusvaurioita kohteessa. (Sisäilmäyhdistys ry 2018.)

Paine-eromittauksilla voidaan selvittää sisä- ja ulkoilman välistä paine-eroa tai eri tilojen välisiä paine-eroa. Mittauksilla saadaan tietoa ilmavirtauksia aiheuttavien paine-erojen suuruudesta rakenteiden läpi tai rakenteiden liittymäkohdista kulkevien ilmavirtausten suunta. Paine-eromittauksia tehtäessä on otettava huomioon, että rakennuksen vaipan yli olevan paine-eron suuruus vaihtelee korkeussuunnassa. Mittauksessa muita huomiota otettavia asioita ovat sisä- ja ulkoilman lämpötila, tuulen suunta ja nopeus, ilmanvaihto ja rakennuksen korkeus. Paine-eromittauksia voidaan tehdä hetkellisinä tai jatkuvatoimisina loggaavina mittauksina. Paine-eromittauksia tehdään tyypillisesti sähköisillä paine-eromittareilla tai nestemanometreillä. Rakennuksen eri osien väliset ja ulkovaipan yli vaikuttavat paine-erot ovat yleensä luokkaa 0...50 Pa. (Sisäilmäyhdistys ry 2018; RIL 255-1-2014, 374.)

Liikuntasalin alapohjan eristetilassa mitattiin olevan 0 Pa:n paine-ero sisäilmaan nähden (kuva 7). Mittaukset tehtiin samoista rei'istä kuin kosteusmittaukset (liite 1). Paine-eromittaus suoritettiin myös rakennuksen vaipan yli liikuntasalin päädyssä olevan tuuletusikkunan kautta. Paine-eroksi sisä- ja ulkoilman välillä saatiin 2 Pa. Mittaushetkellä liikuntasali oli alipaineinen ulkoilmaan nähden.



Kuva 7. Alapohjan eristetilän ja sisäilman välinen paine-eromittaus.

5.3 Rakenneavaukset

Opinnäytetyön aikana suoritettiin kaksi rakenneavausta liikuntasalin alapohjaan (liite 1). Avauksien avulla päästiin näkemään alapohjan rakenteet ja niiden kunto. Rakenneavaus kaksi tehtiin ulkoseinälinjalle, joka on todettu pahiten mikrobivaurioituneeksi alueeksi. Avausten perusteella rakenteet olivat kuivia eikä mikrobiperäistä hajua havaittu.



Kuva 8. Rakenneavaus 2.

6 KORJAUSSUUNNITTELU

Suurimpana ongelmana tässä kohteessa on rakenteiden kautta tapahtuvat ilmapuodot ja niiden mukana sisäilmaan kulkeutuvat epäpuhtaudet. Vuotoja esiintyy niin alapohjasta kuin ulkoseinienkin kautta. Lisäksi maan vajoaminen sokkelipalkin vierustalla ja tästä aiheutuva ilmayhteys alapohjaan ovat korjaussuunnittelun perustana. Korjaussuunnittelun yksi keskeisimmistä tavoitteista on rakenteiden tiiviiden parantaminen ja sitä kautta ilmapuotojen estyminen sisäilmaan.

6.1 Väliaikainen korjaus

Jotta liikuntasali saatiin käyttöön nopeammin, suoritettiin tilassa väliaikainen korjaus nykyisen lattiarakenteen päälle. Korjaus suoritettiin asentamalla lautalattian päälle pistejoustava, 8,3 mm:n urheilulattia Omnisports Excel. (Tarkett 2018.) Urheilulattia asennettiin jalkalistojen alle ja lista tiivistettiin vielä elastisella massalla (kuva 9).

Tiiviin urheilumaton lisäksi liikuntasaliin asennettiin poistoilmakanavisto muodostamaan alipaine alapohjan eristetilaan (kuva 9). Tarkoituksena on ilmanvaihtokoneen avulla imeä alapohjan eristetilasta ilmaa ja saada siten eristetilasta sisäilmaan nähden alipaineiseksi. Eristetilaan muodostetun alipaineen avulla pyritään vähentämään sisäilmaan paine-erojen vuoksi syntyviä ilmapuotoja. Alapohjan eristetilan jatkuvasti toimivalla, tallentavalla paine-eromittauksilla pystyttiin seuraamaan, että pelkästään urheilulattian asentamisella saatiin alapohjan alipainetta kasvatettua eli ilmapuotoja pienennettyä. Alapohjan eristetilaan asennettua poistoilmakanavistoa on mahdollista käyttää myös lopullisessa korjausratkaisussa.



Kuva 9. Liikuntasalin lattian väliaikainen korjaus pistejoustavalla urheilulattialla sekä ulkoseinäpäättyyn asennettu poistoilmakanavisto.

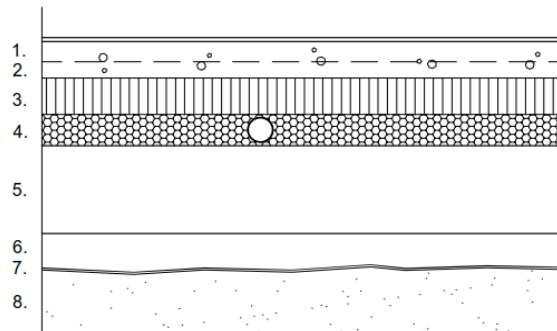
6.2 Lopullinen korjaus

Lopullinen korjaussuunnitelma on tehty tämän hetken tietojen ja korjaustilanteen mukaan. Mikäli rakennus korjataan, korjaussuunnittelua täydennetään mm. painehäviölaskelelmilla, joiden jälkeen suunnitelmia mahdollisesti tarkennetaan. Mahdollisten muutoksien ilmaantuessa korjaussuunnitelmien soveltuvuus kohteelle tulee tarkistaa.

6.2.1 Alapohjarakenne

Korjaussuunnitelmassa lähdetään siitä, että nykyinen kantava maanvastainen betoni-laatta säilytetään. Nykyiset alapohjarakenteet puretaan puhtaaseen betonipintaan asti ja korjataan uudella rakenteella. Tässä työssä on esitetty kaksi eri vaihtoehtoa alapohjan korjaukseen AP2A ja AP2B. AP2A:ssa (kuva 10) on käytetty pinnoitteena samaa urheilulattiaa, jota on käytetty väliaikaisessa korjauksessa. AP2B-suunnitelmaan pinnoitteeksi on valittu Pulastic Elite Performance 90-lattia. (Urheilulattiat-Indoors Oy 2018.) Suunnitelman rakennekerrokset on esitetty kuvassa 11. B-vaihtoehto on yhdistelmäjäoustava

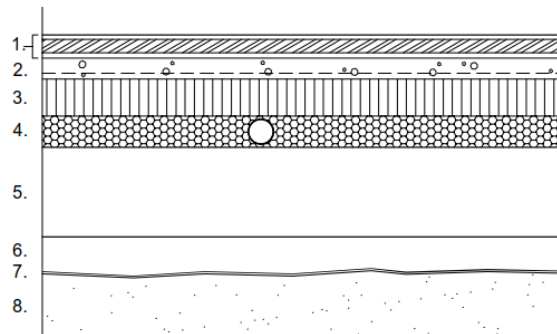
lattia, mikä mahdollistaa paremman iskunvaimennuskyvyn kuin A-vaihtoehdon pistejoustavassa lattiassa. Tämä tekee lattiasta joustavamman ja monipuolisemman eri urheilulajeille.



AP2A 208 mm

1. pinnoite, joustolattia Omnisport Excel 8,3 mm
2. pintabetonivalu, teräsverkkovahvistus 70 mm
3. PU-eriste, pontattu 70mm
4. kevytsorakerros 60 mm + salaojaputket 50 mm IV-kanavina
5. teräsbetonilaatta 170 mm
6. maan painumisesta aiheutunut ilmatila 30-100 mm
7. muovi
8. hiekkatäyttö

Kuva 10. Alapohjan korjaussuunnitelma AP2A.



AP2B 214 mm

1. pinnoite, joustolattia Pulastic Elite Performance 90 44 mm
2. pikatasoite Weber Vetonit 120 Reno 40 mm + lasikuituverkkovahvistus
3. PU-eriste, pontattu 70mm
4. kevytsorakerros 60 mm + salaojaputket 50 mm IV-kanavina
5. teräsbetonilaatta 170 mm
6. maan painumisesta aiheutunut ilmatila 30-100 mm
7. muovi
8. hiekkatäyttö

Kuva 11. Alapohjan korjaussuunnitelma AP2B.

Alapohjan tuuletuksen toteuttamiseksi helpoin ratkaisu on asentaa liikuntasalin varastotilaan tulo- ja poistoilmakone. Tuloilma siirtyy ilmanvaihtokanavistoa pitkin liikuntasalin sisäkaton rajassa ja laskee pilarien vierestä alas jokaisessa haarakohdassa. Alapohja tuuletetaan lecasorakerrokseen asennettavien salaojaputkien (50 mm) kautta. Poistoilman periaate on samanlainen kuin tuloilman. Poistoilma imetään samalla periaatteella alapohjan lecasorakerroksesta salaojaputkia pitkin. Tuuletuksputkien asettelu on esitetty liitteessä 2. Alapohjan tuuletuksella pyritään varmistamaan rakennekerrosten kuivana pysyminen sekä poistamaan mahdollinen ilman siirtyminen sisäilmaan paine-erojen vaikutuksesta.

6.2.2 Tiivistyskorjaukset

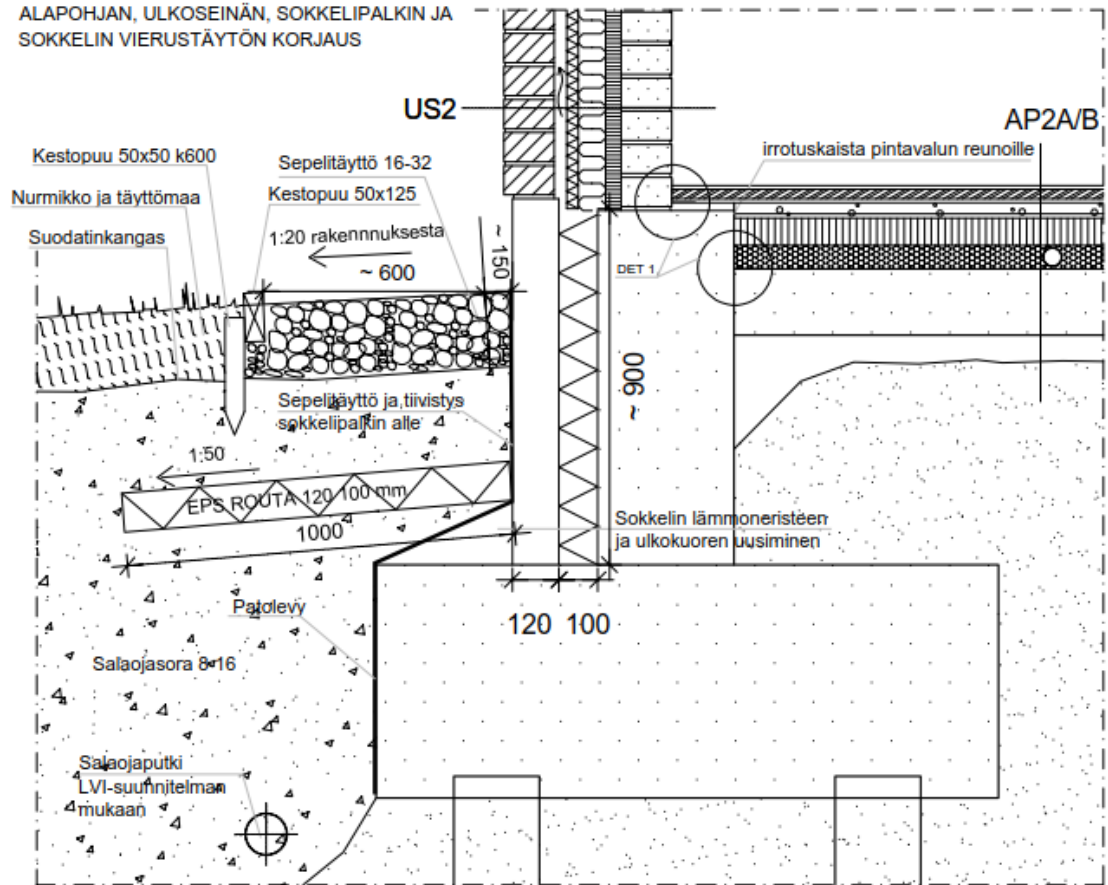
Rakennusvaipan ilmanpitävyyden parantamisen tavoitteena on estää rakenteiden läpi hallitsemattomasti tapahtuvat vuotoilmavirtaukset. Rakennusvaipan ilmatiivyyden parantamiseksi tehtäviä toimenpiteitä kutsutaan *yleisesti tiivistyskorjauksiksi*. Näillä korjauksilla pyritään estämään maaperästä kulkeutuvien epäpuhtauksien pääsy sisäilmaan. Ulkovaipparakenteissa ja rakennuksen alapuolisessa maaperässä on lähes aina mikrobiperäisiä epäpuhtauksia sekä radonia, jotka huonetilaan päästessään voivat heikentää sisäilman laatua. Siten rakennuksen sisäkuoren ilmanpitävyydellä voidaan estää terveyshaittaa aiheuttavan olosuhteen syntyminen. (Laine. 2014, 174.)

Tässä suunnitelmassa tiivistyskorjaukset on tehty lattia-seinäliitoksessa sekä kantavan betonilaatan ja seinän että pintatasoitteen ja seinälinjan rajassa (kuvat 12 ja 13). Suunnitelmissa on käytetty Ardexin 8+9-vedeneristysmassaa sekä vahvikenauhaa. Myös alapohjan läpiviennit tiivistetään samalla vedeneristysmassalla valmistajan ohjeen mukaan.

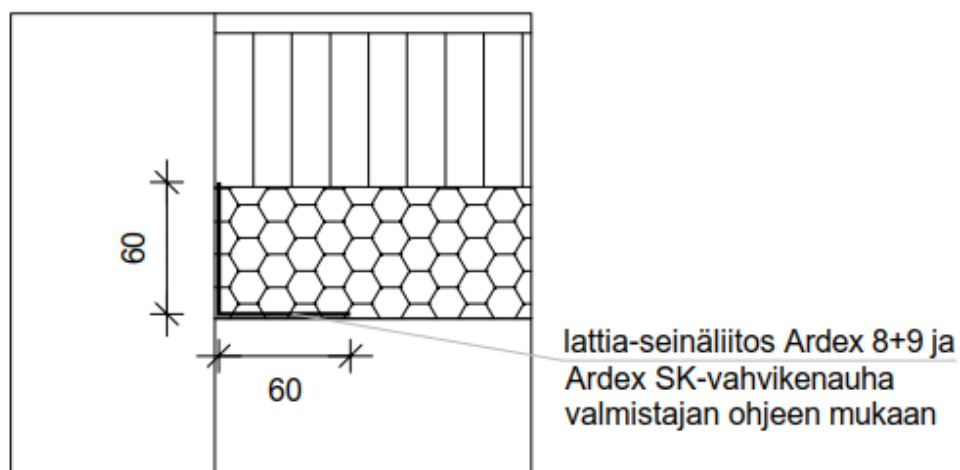
Rakenteiden ilmatiivyyden parantamisella pyritään seuraaviin tavoitteisiin:

- energiankulutuksen vähenemiseen
- kosteuskonvektion estämiseen
- epäpuhtauksien kulkeutumisen estämiseen vuotoilmavirtausten mukana
- koneellisen ilmanvaihtojärjestelmän toiminnan ilmanpitävän rakennusvaipan vuoksi
- asumisviihtyvyyden parantumiseen (Laine 2014, 176.)

LEIKKAUS 1 - 1
 LIIKUNTASALIN LEIKKAUS ALAPOHJAN
 LIITTYMÄSTÄ
 ALAPOHJAN, ULKOSEINÄN, SOKKELIPALKIN JA
 SOKKELIN VIERUSTÄYTÖN KORJAUS



Kuva 12. Leikkaus alapohjan liittymästä.

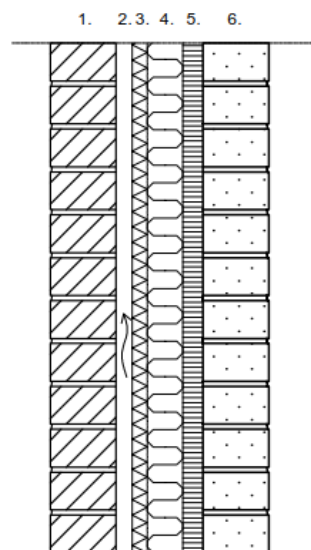


Kuva 13.

Korjaussuunnitelmassa (kuva 12) on uusittu alapohja, ulkoseinä sekä sokkelipalkki. Sokkelipalkin mahdollinen korjaustarve selviää vasta lisätutkimusten jälkeen. Sokkelipalkin vierustäytöt korjataan joka tapauksessa, jotta alapohjan ja ulkoilman välinen ilmayhteys saadaan katkaistua.

6.2.3 Ulkoseinärakenne

Koska ulkoseinärakenteen ulkokuoren takainen ilmarako on puutteellinen ja mineraalivillat ovat kastuneet, tulee ulkoseinärakenne uusia osittain. Ulkotiiiverhous sekä mineraalivilla puretaan, mutta sisätiiiverhous säilytetään. Uusi ulkoseinärakenne on esitetty kuvassa 14. Sisätiiiverhouksen ulkopinnalle on suunniteltu ruiskutettava polyuretaanieriste. Tämä toimii samalla ulkoseinän höyrysulkuna sekä estää mahdollisten epäpuhtauksien pääsyn tiiverhousen saumojen läpi sisäilmaan.



US2 432 mm

1. julkisivutiiliuuraus 130 mm
2. tuuletusväli 32 mm
3. tuulensuojalevy, mineraalivilla 30 mm
4. lämmöneriste, mineraalivilla 70 mm
5. ruiskutettava PU-eriste 40 mm, toimii myös höyrysulkuna
6. kalkkihiekkatiiliuuraus 130 mm, kantava rakenne

Kuva 14. Uusi ulkoseinärakenne.

6.2.4 Korjaussuunnittelun haasteet

Liikuntasali on haastava korjauskohde. Alapohjan tulee olla tuulettuva ja tarpeeksi joustava eri urheilulajeille. Nykyisen alapohjarakenteen korkeus kantavasta betonilaatan pinnasta on vain n. 180 mm. Tässä opinnäytetyössä esitetyillä suunnitelmaratkaisuilla uudeksi alapohjarakenteen korkeudeksi saatiin 208 mm (AP2A) tai 214 mm (AP2B). Nyky päivän vaatimukset asettavat omat haasteensa suunnittelulle. Suurin mahdollinen tuuletusputkisto, joka saatiin alapohjarakenteen eristetilaan mahtumaan, on 50 mm:n salaojaputki. Tilan kokoon nähden suhteellisen pienet putket aiheuttavat niiden sisäisen virtausvastuksen kasvamisen, mikä taas aiheuttaa suuret painehäviöt. Painehäviöiden vuoksi ilman vaihtuvuus putkilinjojen loppuosissa saattaa jäädä huomattavasti pienemmäksi kuin alkuosissa. Tämän vuoksi putkilinjojen alkuosiin tulee tehdä kuristuksia, jotta ilma ei pääse salaojaputken sisään.

Alapohjan eristetilan epätasainen ilmanvaihto saattaa aiheuttaa eristetilan eri alueiden epätasaiset lämpö- ja kosteusolosuhteet, jotka voivat muodostaa alapohjan eri alueiden välille erilaisia muodonmuutoksia. Näiden muodonmuutosten seurauksena kantaviin betonirakenteisiin voi syntyä jännityksiä ja halkeamia, ja ne voivat siten vaikuttaa alapohjan pintarakenteiden vaurioitumiseen. (J. Vuohijoki, henkilökohtainen tiedonanto 25.4.2018.)

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Nykyisen alapohjarakenteen on todettu olevan lämpö- ja kosteusteknisesti riskirakenne. Alapohjan ja sokkelipalkin alla olevan ilmayhteyden vuoksi alapohjarakenteet pääsevät jäähtymään kylmällä säällä ja voivat johtaa rakenteiden mikrobivaurioitumiseen kosteus-konvektion vuoksi. Alapohjan bitumisively sekä kermi on sijoitettu lämmöneristeen alapuolelle, mikä mahdollistaa sisäilman kosteuden tiivistymisen vesihöyrytiivisiin vesieristeen pintaan aiheuttaen lämmöneristeen pintaan kosteusvaurioita. Maaperästä siirtyy todennäköisesti kosteutta myös kapillaarisesti perustusten ja sokkelipalkkien kautta.

Ulkoseinärakenteen puutteellinen tuuletusväli ulkokuoren takana mahdollistaa kosteuden siirtymisen lämmöneristeisiin ja aiheuttaa sen vuoksi mikrobivaurioita. Tuuletusvälin puuttumisesta johtuvat kosteusvauriot ja rakenteen sisäkuoren huonon ilmatiiveyden vuoksi rakennetyyppi on aiheuttanut sisäilmaongelmia.

Tehdyt tutkimukset osoittavat, että sisäilmaan pääsee epäpuhtauksia ilmavuotojen kautta alapohjasta sekä alapohjan ilmatilasta. Myös sokkelihalkaisun lämmöneristettä voidaan pitää mahdollisena epäpuhtauslähteenä, kun ilma siirtyy ulkoseinän tiiliverhouksen läpi sisäilmaan. Korjaussuunnitelmien avulla on pyritty poistamaan mikrobivaurioituneet rakenteet ja korjaamaan ne uusilla. Samalla uudet rakennekerrokset on toteutettu niin, että vanhojen rakenteiden toimivuus paranee. Uuden alapohjarakenteen myötä maanvastainen betonilaatta pystyy kuivumaan molempiin suuntiin sekä ylös että alas. Tiivistyskorjaukset liittymissä ja läpivienneissä vähentävät ilmavuotoja. Uudessa ulkoseinärakenteessa on huomioitu rakenteen tuulettuvuus ilmaraon myötä sekä ilmavuotojen estyminen ruiskutettavan polyuretaanin vuoksi. Rakennuksen uusilla vierustäytöillä estetään ilmayhteys alapohjaan, mutta myös ulkoseinään ja maahan valuvan sateen oikea ohjautuminen pois rakennuksesta.

LÄHTEET

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

Laine, K. 2014. Rakenteiden ilmatiiviyyden parantaminen osana onnistunutta sisäilmakorjausta. Rakennusterveys 2014. Kuopio: Itä-Suomen yliopisto.

Leivo, V. & Rantala, J. 2006. Maanvastaisten alapohjarakenteiden lämpö ja kosteus. Jyväskylä: Rakennusteollisuus RT ry.

Pitkäranta, M. 2016. Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. Helsinki: Ympäristöministeriö.

RT 05-10710 2018. Kosteus rakennuksissa. Helsinki: Rakennustieto Oy.

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

Sisäilmayhdistys 2008. Sisäilmastoluokitus 2008. Sisäympäristön uudet tavoitearvot. Viitattu 7.4.2018. <http://www.sisailmayhdistys.fi> > Julkaisut > Sisäilmastoluokitus.

Sisäilmayhdistys ry 2018a. Ilmavirtaukset rakennuksessa. Viitattu 26.4.2018 <http://www.sisailmayhdistys.fi> > Terveelliset tilat > Kosteusvauriot > Kosteustekninen toiminta > Ilmavirtaukset rakennuksessa.

Sisäilmayhdistys ry. Ilmavirtaus ja paine-ero. Viitattu 10.4.2018 <http://www.sisailmayhdistys.fi> > Terveelliset-tilat > Ongelmien tutkiminen > Rakennustekniset tutkimukset > Ilmavirtaus ja-paine-ero.

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

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2014. RIL 255-1-2014. Rakennusfysiikka 1. Rakennusfysikaalinen suunnittelu ja tutkimukset. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Tarkett 2018. Omnisports Excel 8,3 mm. Viitattu 17.4.2018 <https://professionals.tarkett.com> > Products > Indoor Sports > Omnisports Excel.

Urheilulattiat-Indoors Oy 2018. Pulastic Elite Performance 90. Viitattu 17.4.2018 <https://www.urheilulattiat-indoors.com> > Tuotteet > Liikuntahallit > Pulastic-massalattiat > Pulastic Elite Performance 90.

Vinha, J. & Korpi, M. 2007. Rakennusfysiikka 2007. Uusimmat tutkimustulokset ja hyvät käytännön ratkaisut. Rakennetekniikan laitos. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto.

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. 2018 Ilmavirroista aiheutuvat paineet ja rakenteiden ilmanpitävyys.

Kosteuden ja paine-erojen mittauspaikat sekä rakenneavauspaikat

