



# Korjausvaihtoehtojen vertailu koulukohteissa

Tuomas Yrjö-Koskinen

OPINNÄYTETYÖ  
Tammikuu 2022

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Rakennustuotanto

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Rakennustuotanto

YRJÖ-KOSKINEN, TUOMAS:  
Korjausvaihtoehtojen vertailu koulukohteissa

Opinnäytetyö 47 sivua, joista liitteitä 4 sivua  
Tammikuu 2022

---

Suomalaiset koulurakennukset ovat 1990-luvun loppupuolelta asti olleet paljon puheenaiheena lisääntyneen korjausvelan ja sisäilmaongelmien takia. Monet ongelmat ovat syntyneet huonon kiinteistönpidon ja rakennusvirheiden myötä. Tämän opinnäytetyön esimerkkikohteenä on tutkimuksessa anonyyminä pysyvä koulu, johon WSP Finland on suorittanut kokonaisvaltaisia kuntotutkimuksia ja joiden perusteella on laadittu urakassa käytettävät korjaussuunnitelmat.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää yleisiä vaurioiden syitä koulurakennuksissa ja toimia työkaluna, jolla voidaan edistää toimenpiteiden määrittelyä sekä vertailua. Työn tutkimuksen lisäksi laadittiin Excel-laskentataulukko, joka käsittelee yhden maanvastaisen alapohjan korjausvaihtoehtoja ja tämän kustannuksia, sekä hiilidioksidipäästöjä 50 vuoden elinkaaren ajalta. Esimerkkikohteen kotitalousluokille oli WSP Finlandin toimesta laadittu korjaussuunnitelma, jossa alapohja uusittaisiin perusmaata myöten. Tässä tutkimuksessa vertailtiin rakenteen korjaamista tiivistyskorjauksilla, joilla rajoitettaisiin haitallisten aineiden pääsyä sisäilmaan.

Tutkimuksen ja laskennan tuloksena huomattiin, että 50 vuoden elinkaaren ajalla uudestaan rakennettu alapohja on kustannuksiltaan ja päästöiltään tehokkaampi vaihtoehto. Tuloksiin vaikuttavat suuresti talouden vaihtelut, kuten inflaatio ja energian hinnan muutokset, mutta suurin vaikutus päätöksiin tulee laaditun elinkaaren perusteella. Tiivistyskorjauksien tekninen käyttöikä on parhaimmillaan puolet uuteen alapohjaan verrattuna, joten jo ensimmäisen tiivistyksen uusimiskerran jälkeen uuden alapohjan rakentamista voidaan pitää kustannustehokkaampana. Hiilidioksidipäästöjen osalta tiivistyskorjaus vaikuttaa rakentamisvaiheessa uutta alapohjaa paremmalta vaihtoehdolta, sillä uuden alapohjan rakentamisvaiheen päästöt ovat huomattavasti tiivistyskorjausta suuremmat.

Opinnäytetyön rakennetutkimus rajattiin esimerkkikohteen kotitalousluokkien maanvastaiseen alapohjaan vertailun yksinkertaistamiseksi. Taloteknisiä järjestelmiä ei otettu tutkimuksessa huomioon. Tulevaisuudessa tutkimusta voisi laajentaa eri rakenneseisiin ja taloteknisten järjestelmien optimoinnin vaikutuksen voisi sisällyttää kustannus- ja päästölaskelmiin.

---

Asiasanat: korjausrakentaminen, koulurakennukset, kustannustehokkuus

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Construction Engineering  
Construction Production

YRJÖ-KOSKINEN, TUOMAS:  
Comparison of Renovation Methods on School Buildings

Bachelor's thesis 47 pages, appendices 4 pages  
Januray 2022

---

Finnish school buildings have been a topic since the late 1990's due to the increased repair debt and indoor air problems. Many problems have arisen due to poor property maintenance and construction defects. The example property of this thesis is a school that remains anonymous in the study, for which WSP Finland has conducted condition surveys and made repair plans.

The purpose of this thesis was to find out the most common reasons behind the damages in school buildings and to promote the comparison of possible repair options.

WSP Finland has designed repairs for the home economics classroom of the example property. This study compared the designed repairs to air sealing repairs that would limit the entry of harmful substances into the indoor air. In addition to the written study, an Excel spreadsheet was developed to compare the expenses and the CO<sub>2</sub> emissions over the 50-year lifecycle between the air sealing technique and reconstructing the base floor

The effect of optimizing the building services were not considered in the study. In the future, research could be extended to different building components, and the impact of optimizing building services could be included in the cost and emission calculations.

---

Key words: renovation, school buildings, cost-effectiveness

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	7
2	KOULUKOHTEIDEN KORJAUSRAKENTAMINEN .....	8
2.1	Koulukohteiden korjaustarve .....	8
2.1.1	Rakenteellisten vaurioiden määrittäminen .....	10
2.1.2	Rakenteellisten vaurioiden aiheuttajat .....	12
2.1.3	Sisäilmaongelmien aiheuttamat terveysriskit .....	13
2.1.4	Korjaustarpeen ennaltaehkäisy .....	13
2.2	Korjauksien perusteellisuus .....	15
2.2.1	Korjaustavan valinta ja korjaussuunnittelu .....	15
2.2.2	Korjaustapojen työtekniikka .....	16
2.2.3	Kustannustehokkuus .....	18
2.2.4	Päästötehokkuus .....	19
3	HANKKEEN SUORITTAMINEN .....	21
3.1	Hankkeen onnistumisen edellytykset .....	21
3.2	Sisäilma- ja kosteustekniset kuntotutkimukset .....	21
3.2.1	Kosteusmittaukset .....	22
3.2.2	Merkkiainemittaukset .....	23
3.2.3	Näytteenotot .....	25
3.2.4	Olosuhdemittaukset .....	25
3.3	Työmaanaikainen valvonta ja suunnittelu .....	26
4	KÄYTTÖNAIKA .....	27
4.1	Käyttöönotto .....	27
4.2	Seurantamittaukset .....	27
5	ESIMERKKIKOHDE .....	29
5.1	Koulurakennus .....	29
5.2	Kohteen korjaushistoria .....	29
5.3	Kohteen rakenteet .....	29
5.4	Suoritetut tutkimukset .....	30
5.5	Ehdotetut korjaustoimenpiteet .....	30
5.5.1	Alapohjarakenteiden korjaustoimenpiteet .....	31
5.6	Korjaustoimenpidevertailu .....	32
5.6.1	Kustannukset uudelle alapohjalle .....	33
5.6.2	Kustannukset vaihtoehtoiselle korjaustavalle .....	35
5.6.3	Hiilidioksidipäästöt uudelle alapohjalle .....	37
5.6.4	Hiilidioksidipäästöt vaihtoehtoiselle korjaustavalle .....	38
5.6.5	Elinkaarivertailun tulokset .....	38

6 POHDINTA .....	41
LÄHTEET .....	42
LIITTEET .....	44
Liite 1. Rakennusosavertailun yhteenveto .....	44
Liite 2. Excel -laskentataulukko uudelle alapohja .....	45
Liite 3. Excel -laskentataulukko alapohjan kapseloinnille.....	46
Liite 4. Ardex -materiaalihinnasto.....	47

**ERITYISSANASTO**

diffuusio	Vesihöyrymolekyylien liikettä, joka pyrkii tasoittamaan kaasuseoksen höyrypitoisuus- tai höyryn osapaine-eroja.
konvektio	Kaasuseoksen sisältämän kaasuseoksen liikkumista kokonaispaine-eron vaikutuksesta, esimerkiksi ilmavirtaus huoneesta toiseen.
VOC-yhdiste	Volatile Organic Compound, haihtuva orgaaninen yhdiste, joka voi vaikuttaa sisäilman laatuun haitallisesti. Lähteenä esimerkiksi muovimaton liiman reagoiminen ylimääräisen kosteuden kanssa.
FLEC	Field and Laboratory Emission Cell, näytteenottomenetelmä VOC-emissioita varten.
Suhteellinen kosteus	Vesihöyryn prosenttiosuus ilmassa määrästä, joka tarvitaan veden tiivistymiseen samassa lämpötilassa. Betonissa suhteellinen kosteus mittaa huokoisten suhteellista kosteutta.
EPD- ympäristöseloste	Environmental Product Declaration, ISO-14040 standardia noudattava tuoteseloste, joka sisältää tietoa rakennustuotteen ympäristövaikutuksista. Käytetään yleisesti rakentamisen elinkaariarvioinnissa.
GWP-arvo	Global Warming Potential arvioi kuinka suuri kasvihuonevaikutus materiaalilla on verrattuna hiilidioksidiin. Arvo ilmaistaan hiilidioksidiekvivalenttina/ kilo.

## 1 JOHDANTO

Julkisten rakennusten korjausrakentaminen yleistyy jatkuvalla tahdilla rakennuskannan vanhetessa ja korjausvelan kasvaessa. Koulurakennukset ovat erityisesti yleisön keskuudessa keskustelua herättävä kohde, sillä käyttäjät ovat pääosin nuoria ja rakennuksen sisäilmasta johtuva oireilu vaikuttaa tehokkaaseen oppimiseen ja voi aiheuttaa joillekin ihmisille loppuelämään vaikuttavia ongelmia.

Kiinteistön korjauksissa omistajalle on tärkeä toteuttaa korjaukset kustannustehokkaasti ja laaditun budjetin puitteissa. On suuri etu tilaajalle, jos hänelle voidaan tarjota erilaisia mahdollisuuksia, riippuen rakennuksen tavoitteista elinkaaren ja toiminnallisuuden suhteen. Jos toivottu elinkaari on esimerkiksi alle 10 vuotta, on raskaille rakennekorjauksille vaikea löytää taloudellista perustetta. On silti huomioitava rakennuksien käyttäjien hyvinvointi. 10 vuotta ei ole pitkä aika rakennuksen elinkaareissa, mutta se on pitkä aika ihmisille altistua esimerkiksi sisäilmaongelmille.

Vaihtoehtoisten korjaustapojen hyöty korostuu, kun rakennusosien uudelleen rakentamista ei koeta kannattavaksi. Esimerkiksi tiivistyskorjauksia edeltävät työvaiheet kuten purkutyöt ovat huomattavasti kevyemmät kuin rakenteen uusimisessa. Sama tilanne toistuu myös purkutyön jälkeen, kun uuden rakentaminen alkaa. Tulee kuitenkin muistaa, että tiivistyskorjauksella ei yleensä pystytä poistamaan varsinaista ongelmaa, mutta sen vaikutukset pyritään poistamaan rakennuksen turvallisen käyttöiän pitkittämiseksi.

Toinen merkittävä tekijä vanhojen rakenteiden kapseloinnissa on energiatehokkuuden muuttumattomuus. Tiivistyskorjaukset voivat estää hallitsemattomia ilmavirtauksia, mutta rakenteen kokonaisenergiatehokkuus ei muutu lähes ollenkaan, kun taas uuden rakenteen myötä rakenteeseen uusitaan usein energiatehokkaammat rakenneratkaisut, jotka vaikuttavat käytön aikaisiin kustannuksiin ja hiidioksidipäästöihin.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tuottaa WSP Finland Oy:lle tietoa, jota voidaan hyödyntää koulukiinteistöjen korjaussuunnittelun tukena ja jolla voidaan esittää asiakkaalle laadittujen korjaussuunnitelmien etuja ja ongelmia.

## 2 KOULUKOHTEIDEN KORJAUSRAKENTAMINEN

### 2.1 Koulukohteiden korjaustarve

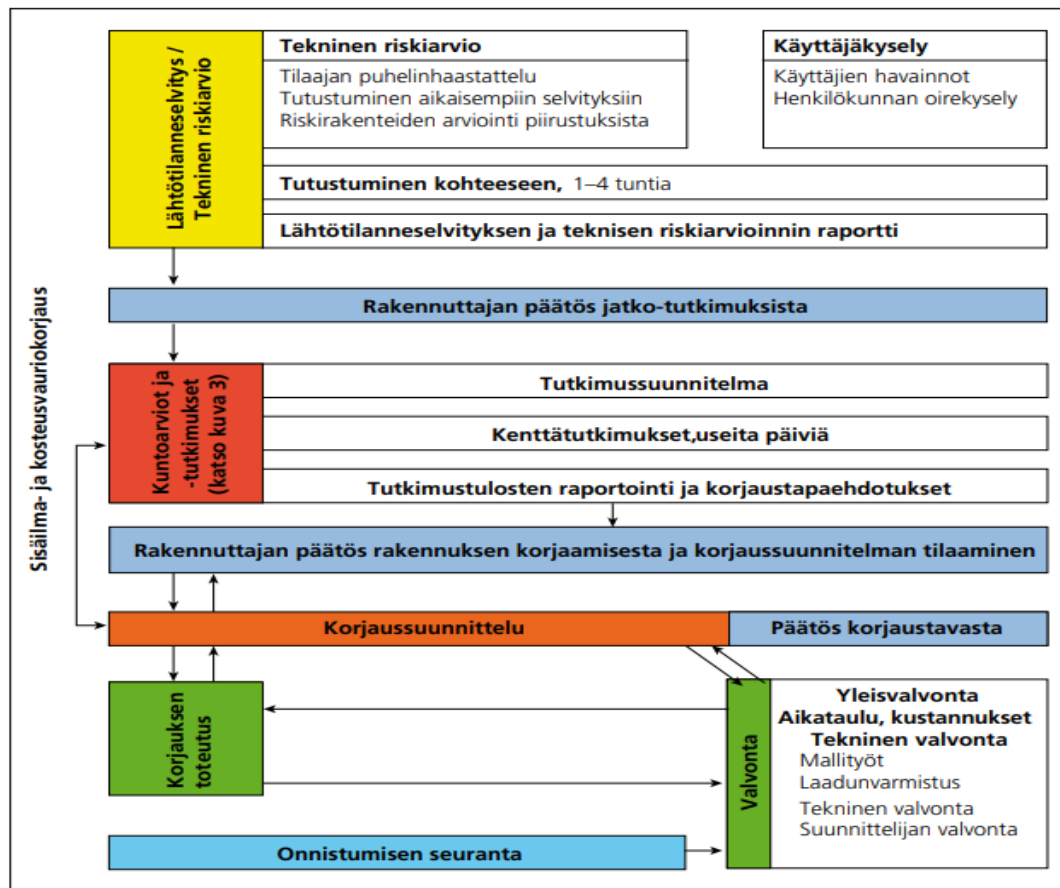
Tilastokeskuksen koulutuksen järjestäjärekisteriin oli kuulunut vuoden 2020 lopussa 3105 oppilaitosta, joista peruskouluja oli toiminnassa 2130 kappaletta. Eri-tyisasiantuntija Esko Korhonen Kuntaliitosta arvioi, että Suomessa 500 koulua on eriasteisesti sisäilmaongelmia. Opettajien ammattijärjestön mukaan jopa 4% opettajista on joutunut vaihtamaan työtilaa pahojen oireiden vuoksi. Vaikka suomalaisissa kouluissa oli mikrobeja vähemmän kuin lämpimien maiden kuten Espanjan ja Hollannin kouluissa, suomalaiset lapset oireilivat muita enemmän. Rakentamistekniikan tutkija Hannu Viitanen arvioi, että kylmässä ilmanalassa rakenteet ovat eristemäärältään paksumpia ja monimutkaisempia kuin leudoissa. Jos rakentamisessa tehdään virheitä, niin ylimääräisen kosteuden vaikutukset saattavat olla rakenteiden tiiveyden vuoksi isommat. (Mölsä 2016.)

Sisäilmaongelmat eivät ole vain suomalaisten koulujen ongelma. Eräaseen yhdysvaltalaiseen sisäilmaongelmaiseen peruskouluun tehty tutkimus osoitti, että jos 22:n vuoden ajan 8140 dollaria vuodessa, eli yhteensä 179 080 dollaria, olisi käytetty kunnossapitokuluihin olisi säästyty puolentoista miljoonan dollarin korjauskuluilta. (United States Environmental Protection Agency 1999.)

Sisäilmakorjauksien tavoitteena on parantaa sisäilman laatua, joka huonontuessaan voi vaikuttaa opettajien työkykyyn ja opiskelijoiden kykyyn keskittyä ja oppia uutta. Yleensä sisäilmakorjauksen kokonaistavoitteena on selvittää ja poistaa huonon sisäilman aiheuttavat tekijät. Tämä usein ilmenee haastavaksi, sillä usein sisäilmaongelmat kouluissa ovat monen aiheuttajan summa.

Käyttäjien haastattelut mahdollisista oireista suositellaan suoritettavaksi ennen sisäilmakorjauksia, jotta käyttöönoton jälkeen, jälkiseurannan alkaessa, voidaan helposti vertailla kyselyjen tuloksia ja kartoittaa ovatko altistumisoireet vähentyneet.





KUVIO 1. Rakennuksen kunnon arvioinnin ja korjaamisen prosessi sisäilmasto- ja kosteusvauriokorjauksissa. (Opetushallitus 2008)

Korjaushankkeille on tyypillistä, että purkuvaiheessa voi ilmetä lisäongelmia, joita ei ole voitu havaita tutkimusvaiheessa, eikä ottaa mukaan korjaussuunnitteluun. Tämän takia hankkeen osapuolien välillä tulee olla toimiva ja aktiivinen kommunikointi, jotta nämä esiin tulevat ongelmat voidaan suunnitella ja ratkaista nopeasti työn aikana, ilman ylimääräisiä aikataulupaineita. Laadunvarmistuksen tulee olla korjaushankkeessa myös huomattavasti tarkempaa ja aktiivisempaa kuin uudiskohteissa, jotta korjaustöiden onnistumisesta voidaan varmistua. Esimerkiksi tiivistyskorjauksissa, joissa varsinainen sisäilmaongelman aiheuttaja kapseloidaan piiloon, on tärkeää varmistua, että tiivistys on tehty vaatimusten mukaisesti. Kuviossa 1 on esitetty, kuinka koulukohteiden korjausprosessin kulku etenee arviointivaiheesta alkaen, lopulliseen korjauksen suorittamiseen ja jälkiseurantaan.

Koulujen korjauksessa isoksi kysymykseksi tulee korjausten aikataulut. Koulut ovat korkealla käyttöasteella suuren osan vuodesta, joten korjaukset on aikataulutettava kesälomakaudelle tai opetusta varten on hankittava väistötilat.

### 2.1.1 Rakeenteellisten vaurioiden määrittäminen

Rakennuksen kuntoa voidaan arvioida kuntoarvioilla sekä kuntotutkimuksella ja siihen liittyvillä näytteenotoilla.

Koulurakennuksissa ilmanvaihdon ja rakenteiden yhteistoimintaa on tärkeä tarkastella, sillä ilmamäärät voivat vaihdella suuresti jo päivän aikana, kun oppilaat ovat koulussa ja iltaisin kun rakennuksen käyttöaste on matalampi. Tämä on otettava huomioon myös kuntotutkimuksissa ja korjaussuunnittelussa.

Kuntoarvio perustuu pääosin aistienvaraisiin asiantuntijahavaintoihin ja kohteen käytettävissä olevista asiakirjoista saatuihin lähtötietoihin. Tarvittaessa tehdään rakenteita rikkomattomia mittauksia. Piileviä vikoja ei kuntoarviossa voida havaita. Kuntoarvioijat voivat suositella tarkempien kuntotutkimusten tekemistä (RT 103097 2019, 1). Kuntoarviota käytetään yleisimmin kiinteistö- tai asuntokauppojen yhteydessä, tai tarveselvityksenä kuntotutkimukselle.

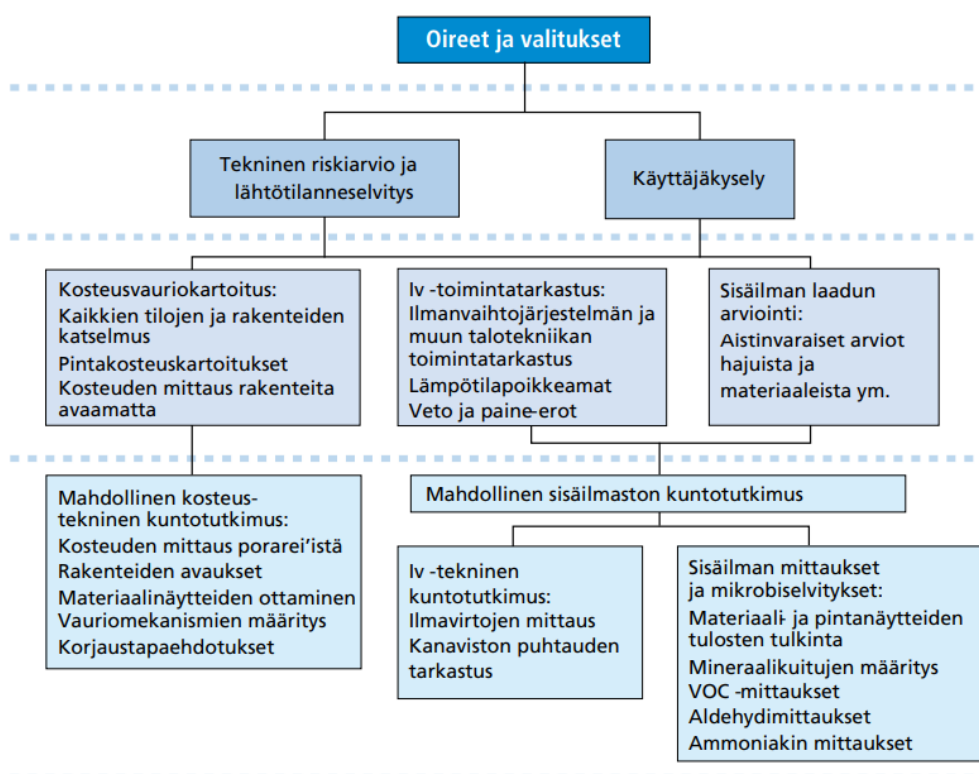
Kuntotutkimus on tutkimustapa, jossa tutkittava kohde tutkitaan sellaisilla menetelmillä ja laajuudella, että saadaan kattava kokonaiskuva kohteen kunnosta, vaurioiden aiheuttajista ja lähtötiedoista korjaussuunnittelulle. Kuntotutkimus sisältää usein erilaisia katselmuksia, mittauksia ja muita toimenpiteitä, jossa rakenteita joudutaan mahdollisesti purkamaan jossain määrin, jotta päästään mittaamaan, ottamaan näytteitä tai aistinvaraisesti tarkastamaan rakenteita. Kuntotutkimus voidaan jakaa sisäilmatekniseen ja kosteustekniseen kuntotutkimukseen. Kuviossa 2 on esitetty rakennuksen kunnan tutkimisen vaiheet, joiden myötä voidaan päättää kuntotutkimuksen suorittamisesta.

Kattavat lähtötiedot ovat tärkeä osa rakennuksen ongelmien määrittämistä ja laajan tutkimuksen suorittamista. Hyvillä lähtötiedoilla, joista selviää rakennuksen ikä, käytetyt materiaalit sekä rakennusratkaisut, voidaan kohdentaa tutkimuksia

tehokkaammin riskirakenteisiin ja näin säästää aikaa ja rahaa. Lähtötiedot tukevat laajasti myös seuraavassa vaiheessa korjaussuunnittelua, kun nykyisistä rakenteista on parempi varmuus.

Kuntotutkija laatii tutkimuksesta raportin, joka sisältää kuntotutkimuksen aikana havaitut havainnot, mittaustulokset sekä haitta-aineanalyysit. Kuntotutkimusraportissa toimitetaan tilaajalle myös toimenpide-ehdotukset, jotta rakennuttaja saa hyvän esikäsityksen vaurioiden ja tarvittavien korjauksien laajuudesta. Rakennuttaja päättää ehdotettujen toimenpide-ehdotuksien perusteella, mitä ehdotetuista toimenpiteistä suoritetaan. Rakennuttajan tulee ottaa huomioon toimenpiteitä päättäessä kunnan budjetti, korjauksen aikataulu sekä investoinnin kannattavuus, kun huomioidaan rakennuksen tuleva käyttötarve.

Korjaussuunnittelu on seuraava looginen vaihe kuntotutkimuksen jälkeen, jos rakennus päätetään korjata eikä purkaa. Korjaussuunnittelussa on suositeltavaa käyttää samaa konsulttia, joka suoritti kuntotutkimukset, jos tämä kuuluu konsultin tarjoamiin palveluihin.



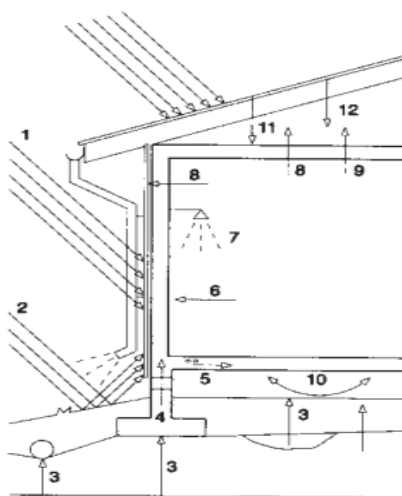
KUVIO 2. Rakennuksen kunnan arvioinnin ja tutkimisen vaiheet (Opetushallitus 2008)

## 2.1.2 Rakenteellisten vaurioiden aiheuttajat

Merkittävä syy koulujen sisäilmaongelmiin on rakennuskannan korjausvelka. Suomessa on paljon 1960–1970 luvulla rakennettuja kouluja, joita ei ole vielä peruskorjattu. Tämän aikakauden rakennuksessa on käytetty myös paljon rakenneratkaisuja, jotka ovat myöhemmin todettu riskirakenteiksi ja joiden käyttöikä on suhteellisen lyhyt. Tyypillisiä ongelmien aiheuttajia ovat esimerkiksi tuulettamattomat ryömintätilat ja puutteelliset salaoja- ja sadevesijärjestelmät. Paljon ongelmia esiintyy myös tiili-villa-tiili-ulkoseinärakenteissa tai nauhaikkunallisissa betoni-villa-tiilirakenteissa, joissa ikkunoiden yläpuolella on kylmäsilta leuakapakit ja joissa usein on myös ikkunoiden väleissä pussia kotelorakenteita, joista puuttuu yleensä sekä höyrynsulku että tuuletusrako. Nämä rakenneratkaisut ovat alttiita ylimääräiselle kosteudelle ja sen tuottamille vaurioille, kuten kastuneille lämmöneristeille.

Rakennuksen ylimääräinen kosteusrasitus voi syntyä rakennuksen sisä- tai ulkopuolisesta kosteudenlähteestä. Ongelmia voi syntyä esimerkiksi maanvaraisen betonilattian alapuolisesta kosteudesta, sadevesistä tai virheestä taloteknisissä järjestelmissä, kuten vesiputkissa. Kuviossa 3 on esitetty rakennukseen kohdistuvia kosteudenlähteitä. Ylimääräinen kosteus voi aiheuttaa monenlaisia sisäilmaongelmia, mutta mikrobivauriot ja VOC-yhdisteiden haihtuminen sisäilmaan voivat aiheuttaa vakavia terveysriskejä käyttäjille.

1. Sade ja tuulenpaine
2. Roiskevesi ja pintavedet
3. Maaperän kosteus
4. Rakennekosteus ja kapillaarivesi
5. Putki, yms. vuodot
6. Sisäilman kosteus
7. Käyttötavat
8. Diffuusio
9. Ilmavuoto
10. Puutteellinen tuuletus
11. Katto-, liitos- ja läpimeno-  
vuodot
12. Tuuletuksen puute ja  
kondensio



KUVIO 3. Rakennuksen kosteudenlähteet (Palomäki n.d.)

### 2.1.3 Sisäilmaongelmien aiheuttamat terveysriskit

Sisäilman epäpuhtauksia ovat esimerkiksi erilaiset hiukkaset, mikrobit, sekä kaasut kuten radon. Epäpuhtauksia voi päästä sisäilmaan myös olemassa olevista rakenteista vahvan alipaineen takia. Jos rakennuksen toissijaisia ja epäpuhtaita tiloja, kuten putkikanaaleja tai maanvastaisia rakennusosia ole osastoitu tarpeeksi hyvin voi epäpuhtauksia päästä ilmanvaihdon kautta näistä tiloista käyttötiloihin. Nämä epäpuhtaudet voivat olla vaurioituneista rakenteista irtoavia hiukkasia ja esimerkiksi mikrobeja.

Huonolaatuinen sisäilma voi aiheuttaa oireita kuten päänsärkyä, väsymystä, vaikeuksia keskittyä, sekä silmien nenän kurkun ja keuhkojen ärtymistä. Nämä oireet vaikuttavat merkittävästi työ- sekä opiskelutehokkuuteen. Ylimääräisen kosteuden myötä syntyneet mikrobien materiaaliemissiöt voivat aiheuttaa sairauksia ja allergioita, kuten astmaa tai poskiontelontulehduksia.

Pitkäaikainen altistuminen kosteusvaurioituneen rakennuksen mikrobeille voi aiheuttaa IgE-välitteisiä homeallergioita. IgE-välitteisen allergian synnyttyä oireet tulevat jatkossa välittömästi, kun herkistynyt ihminen altistuu allergiaa aiheuttavalle tekijälle. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että jos altistunut ihminen saa IgE-välitteisen homeallergian, jotkin tilat, jossa mikrobeja esiintyy ja missä hän on aikaisemmin käynyt oireettomasti tahtiin voivat alkaa aiheuttaa hänelle välittömästi oireita. (Sisäilmayhdistys ry 2008.)

Radon, joka on radioaktiivinen jalokaasu, joka on peräisin maaperästä aiheuttaa terveysriskiä sisäilmassa. Radon aiheuttaa keuhkosityöpää ja Suomen 2000:sta vuosittaisesta keuhkosityöpätapauksesta noin 300 liittyy radonaltistumiseen. Radonia voidaan torjua radonputkituksilla sekä sitä voidaan rakennukseen asennettavilla seurata radonmittareilla.

### 2.1.4 Korjaustarpeen ennaltaehkäisy

Korjaustarvetta voidaan ehkäistä rakentamisvaiheessa kiinnittämällä rakentamisen aikaiseen kosteuden hallintaan huomiota. Rakennusteollisuudessa on viime

vuosina keskitytty paljon kosteuden hallintaa kehittävään toimintaan. Kosteudenhallintaan on saatavilla paljon ohjekortteja, kursseja sekä erilaisia oppaita, jotka tukevat kuivaketjun ylläpitämistä rakentamisen aikana.

Rakennusteollisuus RT on käynnistänyt erilaisia tutkimushankkeita, jolla lisätään tietoa materiaalien teknisistä ominaisuuksista ja näiden reagoinnista kosteusvaurioihin. Välittämällä rakentamisen eri osapuolille tietoa kosteusteknisistä ja kemiallisista ominaisuuksista voidaan ehkäistä sisäilmaongelmia. Ympäristöministeriö on tehnyt vahvaa yhteistyötä kiinteistö- ja rakennusalan kanssa, esittäen yhteisiä suosituksia toimintatavoista, joiden avulla rakennuksien kosteusongelmia vähennetään. Rakennusteollisuus RT ja Ympäristöministeriö ovat toteuttaneet yhteistyössä sivuston [Kosteudenhallinta.fi](http://Kosteudenhallinta.fi), jonne on koottu tietoa rakentamisen kosteusvaurioiden ehkäisemisestä.

Kiinteistön kosteusongelmat voivat syntyä myös käytön aikana huoltotoimenpiteiden laiminlyömisestä tai laitteistojen väärinkäytöstä. Koneellisen ilmanvaihdon kytkeminen pois päältä säästöjen toivossa voi tulla kalliiksi, kun rakenteisiin ja kanavistoihin kertynyt kosteus ja epäpuhtaudet lähtevät liikkeelle. Edellä mainittu skenaario on yleistä koulukohteissa, joissa yöt ja kesät rakennus on lähes tyhjillään ja ilmavaihtokoneet voivat jopa olla kokonaan pois päältä nämä ajankohdat.

## 2.2 Korjauksien perusteellisuus

Korjaukset voi jakaa viiteen eri luokkaan. Kevyt korjaus sisältää lähinnä pinnoitteiden uusimisen kuten maalaukset sekä lattiapinnoitteiden uusimisen. Keskiraskaassa korjauksessa uusitaan pinnoitteiden lisäksi myös taloteknisiä järjestelmiä kuten LVIS-järjestelmät. LVIS-remontin aikana yleensä myös modernisoidaan kylpyhuoneet. Raskas korjaus sisältää pinnoitteiden ja taloteknisten järjestelmien uusiminen sen lisäksi muutoksia rakenteisiin ja tiloihin. Näitä voivat olla tilojen yhdistämiset tai rajaamiset ja muut rakenteelliset muutokset. Superraskaassa korjauksessa yleisten korjaustöiden lisäksi urakkaan liitetään myös lisärakentamista. Entisöinnissä kiinnitetään erityisesti huomiota kulttuurihistoriallisten ja rakennus taiteellisten arvojen sekä vanhan rakennustavan säilyttämiseen ja palauttamiseen. Korjaustyöt tehdään mahdollisimman paljon vanhoja rakenteita säilyttäen sekä vanhaa rakennustapaa ja materiaaleja käyttäen. Tarvittavat talotekniset korjaukset tehdään vanhaa rakennusta ja rakennustapaa kunnioittaen. (Kai-vonen 2006, 19.)

### 2.2.1 Korjaustavan valinta ja korjaussuunnittelu

Korjaustarpeen syntymisen syynä voi olla virheet ja niiden aiheuttamat vauriot rakenteissa tai rakennuksen tekninen ja ei-tekninen vanheneminen.

Rakenteiden ja materiaalien käyttöikä on aina rajallinen ja vaihtelee rasiusten mukaan. Toiminnallinen vanheneminen tarkoittaa, että rakennus tai sen osa ei sovellu enää käyttöönsä tai sen tarve loppuu. Taloudellinen vanheneminen tarkoittaa, että rakennuksen kulut kasvavat ja mahdolliset tuotot vähenevät ja näiden suhde ei ole enää kannattava. sijainnin vanheneminen käytännössä tarkoittaa, että rakennus ei ole sijainniltaan enää kannattava.

Vauriotsyntyvät teknisessä toiminnallisuudessa sekä koettavuudessa. Vaurio käytännössä tarkoittaa sitä, että rakenne tai materiaali on epäkelpo liian aikaisin suhteessa käyttöikänsä. Virheen ja sen synnyttämän vaurion aiheuttama korjausrakentamisen tarve tulee käsitellä eri tavalla kuin teknisen ja ei-teknisen vanhenemisen aiheuttama, sillä korjaustapa voi olla erilainen.

Rakennuksen purkaminen ja kokonaan uudelleen rakentaminen on myös usein tarkasteltava vaihtoehto, kun rakennus taloudellisesti tai toiminnallisesti vanhenee. Purkamista ja uudelleenrakentamista ajateltaessa tulee ottaa huomioon rakennuksen käytön tarve tulevaisuudessa, sekä eri korjausasteiden kustannukset verrattuna uudelleenrakentamiseen. Rakennuksen elinkaarta ajateltaessa tulee ottaa vertailuun myös korjatun ja uudelleen rakennetun rakennuksen ylläpitokustannuksien erot. Rakennuksen korjausta puoltavat usein kunnan asukkaiden mielipiteet sekä arkkitehtoninen arvokkuus, jota rakennuksella voi olla.

Rakennusperintölaki on säädetty turvaamaan rakennetun kulttuuriympäristön ajallista ja alueellista monimuotoisuutta. Lakia valvovat ELY-keskukset ja Museovirasto. Kun museoviraston suojaamaan kohteeseen tehdään korjaustöitä, vaaditaan museovirastolta lausunto. Museovirasto voi estää rakennusluvan saamisen, jos suunnitelmat eivät toteuta suojelun tavoitteita tai suojelu päätöksen määräyksiä.

Sisäilmaongelmaiseen rakennukseen tehtyjen korjausten tavoitteena on poistaa kosteus- ja mikrobivaurioista tai muista sisäilman epäpuhtauksista johtuva terveyshaitta.

### **2.2.2 Korjaustapojen työtekniikka**

Kosteusvaurioituneen tai rakennusfysikaalisesti väärin toimivan alapohjan korjaus voi olla erittäin työlästä ja kallista.

Maanvastaisen lattiarakenteen alta voi pyrkiä nousemaan kosteutta ja yleisesti tämän korjaamiseen on kaksi vaihtoehtoa: raskas korjaus, jossa lattian rakenne puretaan kauttaaltaan, kantavan rakenteen alta poistetaan epäkelppoinen maa-aines, sekä maa-aineksen kosteuden nousu katkaistaan kapillaarikierroksella.

Kevyempi korjausvaihtoehto on esimerkiksi ilmatiiveyden parantaminen lattian ja sisäilman välillä. Tämä voidaan suorittaa erilaisilla rakenteiden välistä ilmatiiveyttä parantavilla korjauksilla, kuten epoksikapseloinnilla tai teippauksella. Tii-



vistyskorjauksissa varsinaista vauriota tai siitä johtuvaa epäpuhtauksien aiheuttajaa ei poisteta, mutta epäpuhtauksien pääseminen sisäilmaan estetään. Tiivistyskorjauksia suorittaessa, rakenne, josta epäpuhtauksia on päässyt kulkemaan sisäilmaan, tulisi mahdollisuuksien mukaan saada alipaineiseksi. Tiivistyskorjauksia tehdessä tulee ottaa huomioon rakennuksen lämpö- ja kosteustekninen toimivuus ja vaikutukset näihin suoritettujen tiivistyksien jälkeen. Ilmanvaihdon vaikutus tulee usein ottaa huomioon tiivistyskorjauksia tehdessä.

Kun sisäilman laatua huonontavia ilmavuotoja havaitaan lattian ja seinän välistä saumasta, tiivistyskorjaus voidaan suorittaa esimerkiksi vedeneristetuotteilla ja butyyliinauhalla. Tiivistys on tärkeä suorittaa betonilaatan ja seinärakenteen puhtaiden pintojen välille, kuten kuvassa 1.



KUVA 1. Lattian ja seinän välinen tiivistys (Fise.fi 2016)

Jos maanvastaisen lattian läpi pääsee kauttaaltaan kulkemaan diffuusiolla kosteutta ja muita mahdollisesti haitallisia aineita, tiivistyskorjauksena tulee kapseloida koko lattia. Betonilaatan kapselointi suoritetaan yleensä levittämällä epoksia betonilattian pintaan, jotta siihen muodostuu tiivis höyrynsulku. Kuvassa 2 esitetty

koulun liikuntasalin kapseloitu maanvastainen betonilaatta, jonka läpi nousi kosteutta ja alapohjan uudelleen rakentaminen ei olisi ollut kustannustehokasta.



KUVA 2. Epoksikapseloitu betonilaatta

Epoksikapselointien lisäksi seinän ja lattian liittymät suositellaan tiivistettäväksi butyylinauhalla ja kapselointiaineella, jotta voidaan välttää saumojen ilmavuodoilta. Tiivistyskorjauksien laatu varmistetaan merkkiainemittauksin.

### 2.2.3 Kustannustehokkuus

Työtapojen vertailussa tulisi huomioida työn investointikustannuksien lisäksi annetulle elinkaarelle kohdistuvat kustannukset.

Esimerkiksi maanvastaisen alapohjan uudelleen rakentaminen voi kertainvestointina olla jopa kolminkertainen verrattuna ilmatiiveyden parantamiseen liittyviin korjauksiin, mutta uuden rakenteen tekninen käyttöikä on yleisesti vähintään 50 vuotta, verrattuna tiivistyskorjaustuotteiden valmistajien lupaamaan 20 vuoteen. Todellisuudessa tiivistyskorjaus voi pettää nopeamminkin, esimerkiksi rakenteen yllättävistä liikkeistä tai huonosta työnlaadusta johtuen. Tutkimusta tiivistyskorjauksien todellisesta käyttöiästä on vähän, korjaustavan nuoresta iästä johtuen. Tiivistyskorjauksien seuranta suorittanut Ympäristöministeriön Kosteus- ja home-talkoot -hankkeen vetäjä Juhani Pirinen kertoo Rakennuslehdessä, että seurannassa olleiden tiivistyskorjauksien käyttöikä on ollut maksimissaan vain viisi vuotta. (Aatsalo 2014).

Uuden alapohjan rakentamisen myötä uusitaan myös esimerkiksi mineraalivillieristeet tehokkaampiin vaihtoehtoihin kuten polystyreenieristeisiin, joten tämän myötä alenevat kustannukset näkyvät suoraan rakennuksen energiakustannuksissa.

Tiivistyskorjaus nousee vahvaksi vaihtoehdoksi, kun uuden alapohjan rakentamista edellyttävä purku tulee kohtuuttoman vaikeaksi, esimerkiksi korjattavan rakenteen sijainnin takia. Maanvastainen alapohjarakenne voi sijaita esimerkiksi kellarissa, josta raskaan betonijätteen ja maa-aineksen kuljetus on tehtävä ilman isompia koneita, jolloin työ hidastuu ja tätä myötä kustannukset nousevat. Tiivistyskorjaus edellyttää pääosin vain kapseloitavalta pinnalta puhdasta ja hyvää tartuntapintaa, joka voidaan suorittaa pienemmillä työkaluilla ja jätemäärällä.

Tiivistyskorjauksien suorittamiseen liittyy erilaisia mittaustoimenpiteitä, jotka nostavat työn kustannuksia. Jos pinnoitetaan esimerkiksi betonilaattaa, tulisi betonin suhteellinen kosteus ja lujuus määrittää ennen sen pinnoitusta, jotta voidaan varmistua aineen kuivumisesta ja asianmukaisesta tartunnasta. Esimerkiksi betonilattian kapselointiin käytetty Ardex EP 2000- höyrynsulku vaatii betonialustalta alle 95 %:n suhteellista kosteutta ja 1,5 MPa:n vetolujuutta (Ardex n.d.).

#### **2.2.4 Päästötehokkuus**

Suomen rakennuksissa käytetään lähes 40 prosenttia kaikesta Suomessa kuluttavasta energiasta ja rakennukset muodostavat lähes yli 30 prosenttia päästöistä. Rakennuksien energia- ja ympäristötehokkuutta määriteltessä on huomioitava käytön aikaisten päästöjen lisäksi rakentamiseen ja käytettäviin rakennusmateriaaleihin liittyvät päästöt. (Rakennusteollisuus.fi n.d.).

Rakennuksien energiatehokkuuden kehittyessä yhä enemmän ja käytön aikaisten päästöjen vähentyessä, huomiota yritetään lisätä rakentamiseen ja rakentamisessa käytettäviin materiaaleihin. Ympäristöministeriö on vuodesta 2017 lähtien alkanut muodostamaan ”Vähähiilisen rakentamisen tiekarttaa”. Sen tehtävänä on erityisesti seurata ja vähentää rakentamisen ja rakennusmateriaalien

muodostamia hiilidioksidipäästöjä. Ympäristöministeriö alkoi kolmivaiheisesti muodostamaan tiekarttaa ja ohjaus käyttöön on ajoitettu vuodelle 2025 mennessä. Rakennustuotteiden ilmastovaikutuksia varten on muodostettu rakentamisen päästötietokanta, joka on saatavilla osoitteessa: [Co2.data.fi](https://co2.data.fi). Palvelu on maksuton ja sitä kautta rakennusalan ammattilaiset voivat arvioida käytettyjen materiaalien hiilidioksidipäästöekvivalenteja. (Vähähiilisen rakentamisen tiekartta n.d.). Tämän lisäksi materiaalitoimittajilla on laadittuina EPD- ympäristöselosteita, joissa ilmoitetaan tuotteiden hiilidioksidipäästöekvivalenteja. Rakentamisen päästötietokannassa sekä EPD- ympäristöselosteissa rakennusmateriaalien päästöt ilmoitetaan GWP-arvona, joka ilmaisee materiaalista syntyvän päästövaikutuksen verrattuna hiilidioksidin päästöihin, eli hiilidioksidiekvivalenttina.

### **3 HANKKEEN SUORITTAMINEN**

#### **3.1 Hankkeen onnistumisen edellytykset**

Valitettavan moni korjaushanke epäonnistuu, koska oleellisten tietojen siirtymisessä on ongelmia ja hankkeen hallinnan vastuunjako on epäselvä. Keskeisimmät keinot korjaushankkeen onnistumisen varmentamiseen ovat:

- 1) kattavat rakennustekniset kuntotutkimukset, muut selvitykset ja tietoon perustuva päätöksenteko,
- 2) pätevät, osaavat tekijät (koko ketju kuntotutkijoista ja suunnittelijoista valvojiin, työjohtoon ja rakennustyöntekijöihin),
- 3) tutkimusten ja suunnitelmien tarkastaminen,
- 4) kokonaisuuden hallinta aina rakennuksen historiasta korjauksen jälkeiseen ylläpitoon saakka. (Marttila n.d.).

#### **3.2 Sisäilma- ja kosteustekniset kuntotutkimukset**

Sisäilma- ja kosteustekniset kuntotutkimukset toimivat lähtötietona korjaussuunnittelulle. Kuntotutkimuksilla voidaan kartoittaa vauriot sekä niiden aiheuttajat ja näin ohjata suunnittelu poistamaan, korjaamaan ja ennaltaehkäisemään näiden vaurioiden syntymistä. Kuntotutkimus vaatii ainetta rikkovia tutkimusmenetelmiä, erilaisia mittauksia ja olosuhdearviointeja.

Kun kyseessä on korjauskohde, suunnitelmamuutoksia ja revisioita voidaan joutua tekemään useaan kertaan. Tämä vaatii urakoitsijalta ja suunnittelijoilta yhteistyötä ja aktiivista tiedonkulkua. Suunnittelijan täytyy reagoida urakoitsijan ilmoitamiin suunnitelmapuuteisiin ja mahdollisiin työmaalla tehtyihin suunnitelmamuutoksiin mahdollisimman nopealla aikataululla, jotta urakka ei turhaan veny ja aiheuta aikataulupaineita tai tilapuutteita käytön aikana.

Laadunvarmistustoimenpiteet ovat oleellisia erilaisten korjaustapojen onnistumisen kannalta. Laadunvarmistus on aloitettava hankkeessa jo suunnitteluvai-

heessa ja sitä jatketaan koko hankkeen läpi ja valmistumisen jälkeen. Laadunvarmistustoimenpiteitä voivat olla erilaiset mittaukset, kuten merkkiaine- ja kosteusmittaukset. Merkkiaine- ja kosteusmittaukset suositellaan suoritettavaksi mittauksiin erikoistuneilla ammattilaisilla. Mittauksia suorittavat esimerkiksi konsulttitoimistojen tutkimusryhmät. Urakoitsijoilla voi myös olla omat pätevyityneet mitaajansa. Kosteusmittaajille on olemassa erilaisia ammattitaidon osoittavia sertifiikaatteja, kuten Rakenteiden kosteuden mitaajan koulutus, jota myöntää Eurofins Expert Services.

### **3.2.1 Kosteusmittaukset**

Kosteusmittauksilla mitataan rakenteen kosteutta ja kartoitetaan mahdollisia riskejä ylimääräisen kosteuden vaikutuksesta. Rakenteille asetetaan myös raja-arvoja kosteuden suhteen, esimerkiksi pinnoitettavuusvaatimuksissa. Useat kapselointiaineet vaativat betonin suhteelliseksi kosteudeksi alle 95 %:ia.

Kosteusmittaukset aloitetaan selvittämällä lähtötietojen avulla mittauspaikka. Mittauspaikka voi olla rakennetietojen perusteella oleva riskirakenne, vesivauriosta kärsinyt rakenne tai pinnoitettava rakenne, jonka suhteellinen kosteus on mitattava ennen pinnoittamista. Tarkempi mittauspaikka määritetään aistinvaraisesti havainnoimalla tai pintakosteusmittarilla kartoittamalla kostein alue. Pintakosteusmittari ei anna suhteellisen kosteuden arvoa ja se ei ole laadullisesti pätevä tapa kosteusmittaukselle, mutta sen avulla voidaan kartoittaa kostein kohta mitattavalta alueelta ja päättää, mistä suhteellinen kosteus mitataan.

Rakennekosteusmittaukset voidaan suorittaa eri menetelmillä, kuten porareikämittauksin, näytepalamittauksin, viiltomittauksin, mittaus piikkimittarilla, materiaalin kuivatus-punnitusmenetelmällä sekä lyhytkestoisella eristetilamittauksella. Käytetty menetelmä riippuu rakenteen materiaalista ja tyypistä. Betonin suhteellista kosteutta mitataan pääosin porareikä- sekä näytepalamittauksin. RT Rakennusteollisuus on julkaissut betonin kosteusmittauksesta ohjekortin RT 10333 Betonin suhteellisen kosteuden mittaus. Viiltomittauksella voidaan mitata suhteellista kosteutta lattiapinnoitteen alta.

### 3.2.2 Merkkiainemittaukset

Merkkiainemittaukset ovat hyvä tapa tarkastaa rakennetta ilmavuotojen varalta. Merkkiainemittauksia voidaan käyttää sisäilmaongelmien syiden selvittämisessä, sekä esimerkiksi tiivistyskorjauksien työn laatu varmistetaan merkkiainemittauksin.

Korjauskohteissa rakenteen tiiveydelle asetetaan tapauskohtaisesti tavoitetaso, joka on riippuvainen kohteen vaurioista ja korjauksen lopputuloksen tavoitteesta. Tavoitetaso määrittelee päärakennesuunnittelija tai suunnittelija, joka on vastuussa tiiveyden suunnittelusta.

Tavoitetasot ovat:

1. Täysin tiivis, jossa vuotoa rakenteen läpi ei sallita lainkaan.
2. Merkittävä tiiveyden parantaminen, jolloin 10 Pascalin alipaineessa sallitaan vähäisiä vuotoja sekä
3. Tiiveyden parantaminen, jolloin 10 Pascalin alipaineessa ei saa olla merkittäviä vuotoja, ja käyttötilanteessa eli alle 5 Pascalin alipaineessa vuodot saavat olla vain vähäisiä (Sulkakoski 2017). Tavoitetasoon vaikuttaa rakenteessa olevat vauriot, kuten mahdolliset haitta-aineet tai mikrobit. Täysin tiivis taso määritelmää sovelletaan, kun rakenteen läpi voisi vuotaa käyttäjien terveydelle haitallisia aineita.

Laadunvarmistuskokeissa paine-eron tulisi olla 10–15 Pascalia tarkasteltavan rakenteen yli. Alipaineen muodostamiseen voidaan käyttää rakennuksen tai työmaan omaa ilmanvaihtoa tai säädettävällä alipaineistus laitteistolla kuten puhallinovella. Riittävä alipaine tulee tarkastaa paine-eromittarilla ennen merkkiainekaasun syöttämistä.

Merkkiainemittauksessa tutkittavan rakenteen taakse syötetään merkkiainekaasua. Tutkimisessa yleisimmin käytetyt kaasut ovat Formier 5 -tyypivetyseos (N<sub>2</sub> 95 % + H<sub>2</sub> 5 %) sekä rikkiheksafluoridi (SF<sub>6</sub>). (Vertia n.d.) Typpivetyseosta käytettäessä rakenteessa vetykaasun pitoisuuden tulisi olla noin 0,2–0,4 promillea eli 200–400 ppm (parts per million). Esimerkiksi 10 neliön alapohjassa 200 mm:n

eristetilalla, tämä tarkoittaisi 2 m<sup>3</sup> eli 2000 litraa, joka lasketaan kaavassa 1. Lit-rassa Formier 5- tyyppivetyseosta on 5% vetyä, eli vetypitoisuus on 50 000 ppm. 2000 litran kokoisessa tilavuudessa 400 ppm:n pitoisuuteen/litra vaaditaan yhteensä

$$2000 \times \frac{400}{1 \text{ l}} = 800\,000 \text{ ppm} \quad (1)$$

Tarvittava litramäärä kaasua on laskettavissa kaavalla 2

$$\frac{800\,000 \text{ ppm} \times 1 \text{ l}}{50\,000 \text{ ppm}} = 16 \text{ l} \quad (2)$$

16 litraa kaasua saavutetaan syöttämällä kaasua kahden minuutin ajan 8 l/min virtausnopeudella. (Rakenteiden ilmatiiveyden tarkastelu merkkiainekokein RT 14-11197 2015, 5–6.)

Laadunvarmistusmittaukset tulee tehdä ennen pintamateriaalien asennusta, jotta kokeiden aikana havaitut virheet voidaan helposti paikantaa ja korjata.



### 3.2.3 Näytteenotot

Mikrobinäyte suoritetaan ottamalla näyte epäilystä mikrobivaurioituneesta materiaalista, kuten lämmöneristeestä. Näytteenottovälineet tulee desinfioida ennen näytteen ottamista. Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen 8/2016 mukaan, näytemäärän tulisi olla noin 100 x 100 millimetriä, tai noin 1 dl materiaalia.

VOC-materiaalinäytteenotto suoritetaan ottamalla rakennusmateriaalista noin vähintään viiden gramman pala, joka kääritään alumiinifoliokääreeseen. Näyte toimitetaan laboratoriolle, jossa näytteen VOC-yhdisteiden pitoisuus määritetään MS-GC -laitteella

FLEC-mittauksen avulla voidaan selvittää rakenteiden VOC-yhdisteiden pintaemissionopeus. Mittaus suoritetaan asettamalla FLEC-kammio tiiviisti tutkittavalle rakennepinnalle ja kammioon johdetaan ilmaa pumpun avulla suodattimen läpi. VOC-emissiot ilmasta kerätään absorptiokeräimiin ja ne analysoidaan laboratoriossa TD-GC-MS-laitteistolla.

Teollisten kuitujen laskeumanäytteellä mitataan erilaisten kuitujen kertymistä, joita voi päästä sisäilmaan esimerkiksi eristemateriaaleista, kuten mineraalivillasta. Näytteenotto suoritetaan asettamalla petrimaljalle geeliteippi 14 vuorokaudeksi. Neljän toista vuorokauden jälkeen petrimalja suljetaan tiiviisti ja toimitetaan laboratorioon, jossa siitä mitataan kuitujen määrä neliösenttimetriä kohden.

Otetut näytteet tulee lähettää sisäilmalaboratorioon analysoitavaksi. Laboratorioilla voi olla FINAS-akkredointi, joka on Turvallisuus- ja kemikaaliviraston alaisuudessa toimiva yksikkö, joka toteaa laboratorion pätevyyden näytteiden analysointiin.

### 3.2.4 Olosuhdemittaukset

Olosuhdemittauksilla, kuten paine-eromittauksilla ulkoilman ja tilan tai kahden eri tilan välillä voidaan selvittää ilman kulkua tilojen välillä sekä rakennuksen energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä. Tallentavalla paine-eromittauksella mittari

asetetaan tilojen välille ja mittaustulokset tallentuvat jatkuvasti. Mittaustuloksista nähdään paine-ero tilojen välillä ja niistä voidaan päätellä ilman liikkeen suunta. Ilman liikkumisen määrittely on tärkeää esimerkiksi, jos rakenteen toisella puolella ilma on huonolaatuista rakenteellisen vaurion takia ja sen pääseminen sisäilmaan halutaan estää.

### **3.3 Työmaanaikainen valvonta ja suunnittelu**

Työmaan aikainen valvonta korjauskohteessa on kriittistä sillä usein korjatut rakenteet jäävät pintamateriaalien alle piiloon. Rakennuttajan tulisi suorittaa työmaalle valvontaa aktiivisesti projektin aikana ja varmistua piiloon jäävien rakenteiden asianmukaisesta dokumentoinnista.

Työmaalla monimutkaisista ja laajoista tehtävistä suositellaan laadittavaksi tehtäväsuunnitelmat, jossa käydään läpi tehtävän tavoitteet ja vaatimukset. Tehtäväsuunnitelmaan voidaan sisällyttää tarvittavat materiaalit, työryhmä sekä työn aikataulutus. Tehtäväsuunnitelman laatiminen on iso osa tuotannon laadun varmistamista.

Työn aikana suoritettavista mittauksista tulee myös laatia asianmukaiset dokumentit ja mittaustulokset, jotka välitetään rakennuttajalle projektipankkiin tai muuhun dokumentointikantaan.

## 4 KÄYTTÖNAIKA

### 4.1 Käyttöönotto

Suunnittelun tai rakentamisen aikana voidaan tulla lopputulokseen, jossa vanhoja opetustiloja poistetaan käytöstä taloudellisten tai aikataulullisten seikkojen takia.

Osa rakennuksen tiloista voivat olla niin laajasti vaurioituneita, että niiden korjaaminen ei ole kannattavaa. Nämä tilat tulee eristää muista tiloista kattavilla tiivistyskorjauksilla ja ilmanvaihdon säädöillä. Tiloja, joita ei ole korjattu ja joiden sisäilma ei ole puhdasta, ei saa käyttää opetukseen, eikä edes koulutarvikevarastoina. Henkilökunta tulee ohjeistaa tilojen uudesta käyttötarkoituksesta hyvin ja suunnitelmiin on merkittävä tilojen uudet käyttötarkoitukset yksiselitteisesti ja muu käyttö on kiellettävä. Tämän tiedon on kuljettava läpi koko hallinto-organisaation. (Peltola 2008.)

### 4.2 Seurantamittaukset

Seurantamittausten avulla voidaan varmistaa korjaustyön tavoitteiden saavuttaminen. Seurantatoimenpiteisiin kuuluu aistinvaraisia havaintoja, taloteknisten järjestelmien, kuten ilmanvaihdon toiminnan tarkastelua, erilaisten sisäilmaan vaikuttavien tekijöiden mittauksia.

Korjatun kohteen käyttöönoton jälkeen tulisi laatia seurantasuunnitelma. Seurantasuunnitelman avulla voidaan esittää tarvittavien seurantatoimenpiteiden tarve ja aikataulu. Seurantasuunnitelman laatiminen tulisi aloittaa hyvissä ajoin ennen kohteen valmistumista, jotta sen voisi ottaa käyttöön mahdollisimman pian kohteen valmistumisen jälkeen. Tiedotus ja viestintä on oleellinen osa seurantasuunnitelmaa. Seurannan aikana huomatuista tarpeellisista toimenpiteistä tulee ilmoittaa käyttäjille hyvissä ajoin.

On suositeltavaa hyödyntää useita eri seurantamenetelmiä, jotta voidaan varmistua korjausten laadukkaaseen lopputulokseen. Seurantavaiheessa tulisi seurata

tilojen käyttäjien hyvinvointia, tiloja ja rakenteita käytön aikana, sisäilman laatua sekä taloteknisten järjestelmien toimivuutta.

Käyttäjille järjestetään sisäilmastokysely työterveyden puolesta, noin puoli vuotta hankkeen valmistumisesta. Kyselyn päätarkoituksena on saada arvioiduksi käytössä olevien tilojen edellytykset niiden käytölle, sekä todentaa oireilun väheneminen (Asikainen, 2016; Kiiski 2017). Erilaisilla katselmoinneilla ja haastatteluilla voidaan saada lisää tietoa käyttäjien tyytyväisyydestä.

Tiloja ja rakenteita käytön aikana seurataan aistinvaraisen havainnoin kuten tarkastelemalla tilojen siisteyttä, huomioimalla erilaisia hajuja, tarkastelemalla ilmanvaihdon toimivuutta, seuraamalla tilojen lämpötila ja havainnoimalla rakenteissa olevat riskit, jotka vaikuttavat sisäilman laatuun. Tarpeen vaatiessa voidaan suorittaa myös erilaisia tiiveyteen liittyviä kokeita, kosteusmittauksia sekä materiaaliemissioihin liittyviä mittauksia kuten PAH- ja VOC-mittaukset sisäilmasta.

## **5 ESIMERKKIKOHDE**

### **5.1 Koulurakennus**

Tämän opinnäytetyön esimerkkikohteena käytetään Pirkanmaalla sijaitsevaa koulurakennusta. Kunnan kiinteistöpäällikön pyynnöstä koulu pidetään tässä työssä anonyyminä.

Koulu koostuu kahdesta rakennetusta osasta, joista toinen on rakennettu 1950-luvulla ja laajennus rakennettu 1970-luvulla. Rakennuksen huoneistoala on noin 10 000 m<sup>2</sup>. Rakennus on vanhemmalla osalla viisikerroksinen ja laajennusosalla kolmikerroksinen. Rakennuksen elinkaareksi on tilaajan myötä toivottu vielä 50 vuotta, joka perustelee raskaammat korjaustoimenpiteet.

### **5.2 Kohteen korjaushistoria**

Rakennusta on peruskorjattu vuosina 2010–2012. Suoritetut toimenpiteet ovat olleet alapohjarakenteiden kaksoislaattarakenteiden poisto ja maanvastaisissa rakenteissa pintalaattojen poisto, jotka on rakennettu uudelleen peruskorjausvaiheessa. Rakennuksen vanhan osan välipohja on ennen peruskorjausta ollut alalaattapalkisto, joka oli täytetty koksikuonalla. Välipohjasta on purettu vanha ylälaatta, sekä palkkivälien täytteet. Osa ulkoseinistä on lisälämmöneristetty 70 mm paksuisella mineraalivillaeristeellä, joka on kolmikerrosrapattu. Vesikattomateriaalit on purettu ja rakennettu uudelleen puurungolla sekä peltikatteella ja eristetty mineraalivillalla.

### **5.3 Kohteen rakenteet**

Molempien osien alimmat kerrokset ovat osittain, tai kokonaan maanpinnan alapuolella ja niiden alapohjat ovat osittain maanvastaisia ja osin ryömintätillaisia betonirakenteita. Kantavat rakenteet ovat betoni- ja tiilirakenteita. Ulkoseinärakenteet ovat suunnitelmien mukaan vanhalla osalla rapattu massiivitiiliseinä ja uu-

della osalla tiili-villa-tiilirakenne. Vesikate on vanhalla osalla betonitiilikate ja uudemmalla osalla konesaumattu peltikate. Rakennusta on lisälämmöneristetty lämpörappauksella.

#### **5.4 Suoritetut tutkimukset**

Kohteeseen on suoritettu kuntotutkimuksia elo- ja syyskuussa 2019, sekä täydentäviä tutkimuksia vuonna 2020. Tutkimuksissa käytetyt tutkimusmenetelmät olivat seuraavat: pintakosteusmittaus, viiltomittaus, porareikämittaus, VOC-materiaalinäyte, FLEC-mittaus, teollisten kuitujen laskeumanäyte, mikrobinäytteenotto, paine-eromittaus, rakenteiden tiiveyden tarkastelu merkkiainemittauksin sekä erilaiset rakenneavaukset.

#### **5.5 Ehdotetut korjaustoimenpiteet**

Kuntotutkimuksien perusteella kiireellisesti suoritettaviksi toimenpiteiksi ehdotettiin muovimattojen poistamista tiloista jossa mitattiin kosteuspoikkeamaa, eräästä tilasta puretaan välipohjan rakenne, jotta kastuneet eristeet saadaan poistettua kokonaisvaltaisesti, kiinteistön painesuhteet säädetään kokonaisvaltaisesti lähelle tasapainoa, kotelorakenteet tiivistetään tai niiden sisäpuolella olevat paljaat mineraalivillaeristeet uusitaan pinnoitetuilla tuotteilla, näkyvät villaeristeet pinnoitetaan tai korvataan pinnoitetuilla tuotteilla, erään tilan hormin mikrobiperäisen hajun lähde tulee selvittää lisätutkimuksin ja vaurioituneet materiaalit tulee poistaa tai estää hajun kulkeutuminen muualle tiloihin, ikkunoiden ja vesikattojen pelitysten sekä vesikatteen liitoskohtien korjaus, räystäsjärjestelmien kunnostaminen ja puhdistus, rakenneliittymien ja läpivientien tiivistäminen, ryömintätilojen ja viereisten työtilojen läpivientien tiivistäminen, eräässä luokassa havaittujen muurahaisten lähteen selvittely sekä syöksytorvien roiskeveden estäminen ja sokkeleiden korjaaminen.

Suoritettujen lisätutkimuksen perusteella esitetään suoritettaviksi toimenpiteiksi myös ulkoseinän rakenteiden kokonaisvaltaisia tiivistyskorjauksia, sekä eri kerroksien välissä olevien liikuntasaumojen, läpivientien, sähkökeskusten ja hormien tiivistyskorjauksia.

Korjaustoimenpiteet esitettiin tilaajalle ja tilaajan hyväksymistä toimenpiteistä laadittiin erilliset korjaussuunnitelmat ja korjaustyöselostus. Tilaajan ja päättäjien myötä esimerkiksi ulkoseinien tiivistyskorjauksille esitettiin kritiikkiä tämän lyhyen käyttöiän vuoksi, sillä rakennuksen elinkaareksi on toivottu 50 vuotta, ja esimerkiksi tiivistyskorjauksien tekninen käyttöikä rajoittuu 20 vuoteen. Todellisuudessa tiivistyskorjauksien käyttöikä voi olla vieläkin lyhyempi ja vaikutukset esimerkiksi talon energiatehokkuuteen ovat pienemmät kuin rakenteen uusimisella.

### **5.5.1 Alapohjarakenteiden korjaustoimenpiteet**

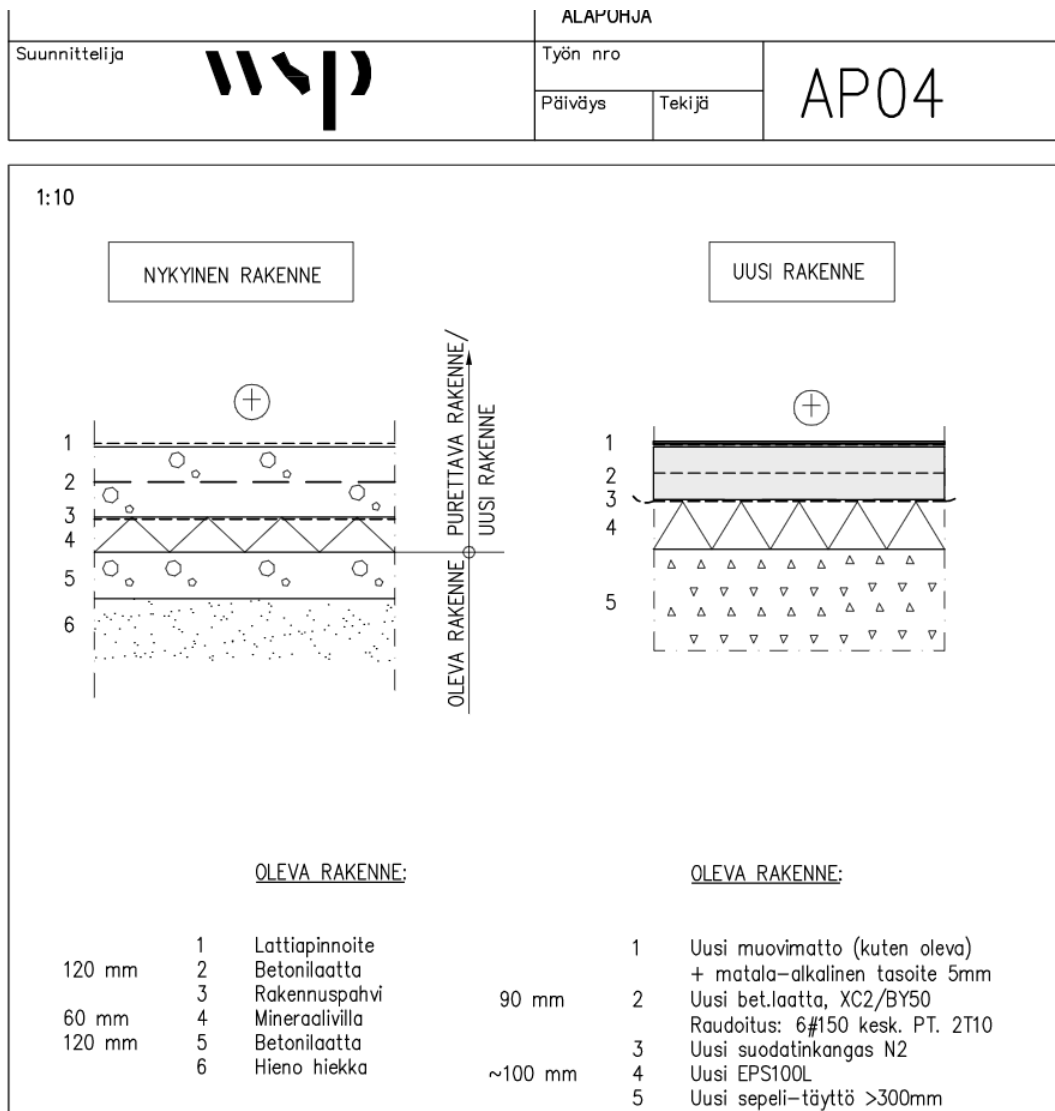
Kohteen alkuperäiset maanvaraiset, sekä ryömintätilalliset alapohjat suunniteltiin purettavaksi ja uusittavaksi. Näistä rakenteista määrättiin haitta-aineita sisältävät lattiapinnoitteet purettavaksi asbestipurkuna, maanvastaiset alapohjarakenteen purettavaksi täyttömaahan tai kantavaan pohjalaattaan saakka, märkätilojen lattiarakenteet purettavaksi, sekä maanvastaiset ja ryömintätilalliset alapohjarakenteet toteutettavaksi uudelleen laadittujen rakennetyyppien mukaisesti.

Kohteen aikaisemmin korjattuja alapohjarakenteita suunniteltiin korjattavaksi poistamalla pinnoitteet ja hiomalla betonilaatta puhtaaksi, sekä purkamalla ja uusimalla osa korjatuista alapohjista.

Kotitalousluokissa, kohteen toisessa kerroksessa on suunniteltu maanvastaisen alapohjan korjaamista noin 200 m<sup>2</sup>:n alueelta. Korjaussuunnitelmassa vanha maanvastainen alapohja purettaisiin kauttaaltaan ja rakennettaisiin uudestaan. Myös vanhaa maa-ainesta kaivettaisiin pois ja tätä korvattaisiin sepelillä kapillaaristen ominaisuuksien takia.

## 5.6 Korjaustoimenpidevertailu

Kotitalousluokissa, kohteen toisessa kerroksessa on suunniteltu maanvastaisen alapohjan korjaamista 200 m<sup>2</sup>:n alueelta. Korjaussuunnitelmassa, joka esitetty kuvassa 3, vanha kosteusteknisesti puutteellisesti toimiva maanvastainen alapohja purettaisiin kauttaaltaan ja rakennettaisiin uudestaan. Myös vanhaa maainesta kaivettaisiin pois ja tätä korvattaisiin sepelillä kapillaaristen ominaisuuksien takia.



KUVA 3. AP04 Rakennetyyppi, Vanha/Uusi (WSP Finland Oy, 2020)

Vaihtoehtona rakenteen korjaukselle tutkittiin kapselointia, jossa lattiapinnoite poistetaan ja betonilaatalle suoritettaisiin hionta, jonka jälkeen pinnalle levitettä-



siin esimerkiksi Ardexin EP 2000- epoksikapselointi, sekä seinän ja lattian liittymät tiivistettäisiin Ardexin 8+9 kaksikomponenttisella vedeneristemassalla ja vahvistenauhalla.

### 5.6.1 Kustannukset uudelle alapohjalle

Alapohjan korjauskustannuksia tarkisteltiin lähtökohtaisesti 50 vuoden elinkaarille, sillä esimerkkikohteen omistajalla on tarkoituksena säilyttää rakennus mahdollisimman pitkään käytössä. Kustannuksiin laskettiin korjaustyöhön sisältyvä investointi, mahdolliset tulevat huoltotoimet sekä vaikutus energiakustannuksiin. Kustannuksia laskettaessa käytettiin tietona jo laadittuja projektien kustannusarvioita, Rakennustöiden menekit 2020- kirjaa sekä materiaalitoimittajilta saatuja hinnastoja.

Uuden alapohjan investointikustannus oli laskettu korjaustyöselostuksen laatimisen yhteydessä maaliskuussa 2021. Kotitalousluokkien alapohjan uusimisen arvolisäveroton osuus hinnasta oli 88 600 €. Hintaan sisältyi:

1. tilan kalusteiden ja varusteiden purku, sekä takaisin asennus,
2. väliovien- ja seinien poisto ja uudelleenrakentaminen,
3. tilapintojen kuten lattiapinnoitusten ja alakattojen purku sekä uusiminen,
4. maanvastaisen alapohjarakenteen purku ja uusiminen kuvassa 3 esitetyn AP04 mukaan,
5. rakennuksen sisäpuolinen maankaivuu
6. tarvittavat tasoitukset ja maalaukset.

Uudelle alapohjalle laskettiin U-arvo, jotta voitiin selvittää mahdollinen vaikutus energiakustannuksiin. U-arvo lasketaan kaavalla 3

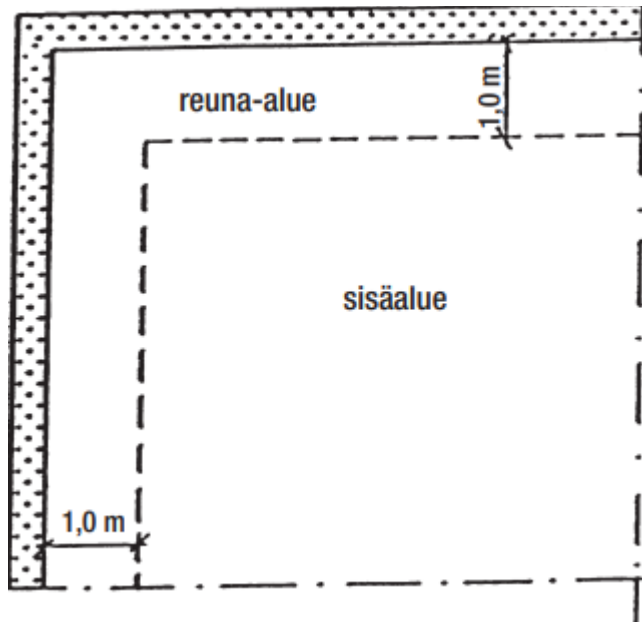
$$U = \frac{1}{R_t} \quad (3)$$

jossa  $R_t$  on rakenteen kokonaislämmönvastus. Kokonaislämmönvastus saadaan laskettua kaavalla 4

$$R_t = R_{si} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + R_{se} + R_b \quad (4)$$

jossa  $R_{si}$  on sisäpuolinen pintavastus,  $R_{se}$  on ulkopuolinen pintavastus,  $d$  on rakennemateriaalin paksuus ja  $\lambda$  on rakenteen lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo ja  $R_b$  perusmaan lämmönvastus (Ympäristöministeriö 2003).

Perusmaan lämmönvastusta  $R_b$  laskettaessa on huomioitava ulkoseinien pituudelta metrin leveydeltä kuvassa 4 esitetyt reuna-alueet, jolle käytetään eri lämmönvastuksen taulukkoarvoa kuin alapohjan sisäalueelle.



KUVA 4. Maanvastaisen alapohjan aluejako (Ympäristöministeriö 2003)

Uuden rakenteen kokonaislämmönvastus laskettuna kaavalla 4

$$R_t = 0,04 + \frac{0,09 \text{ m}}{1,7 \text{ W/(mK)}} + \frac{0,1 \text{ m}}{0,036 \text{ W/(mK)}} + \frac{0,3 \text{ m}}{1,5 \text{ W/(mK)}} + 0,16 + 2,804$$

$$= 6,035 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Kun rakenteessa on 90 mm betonilaatta, 100 mm polystyreenieriste, 300 mm seipelitäyttö maanvastaisesti hienoa hiekkaa vasten. Rakenteen U-arvo saadaan näin laskettua kaavalla 3

$$U = \frac{1}{6,035 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}}} = 0,166 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Näin ollen rakenteen läpi johtuvan lämpöenergian määrä voidaan laskea kaavalla 5

$$\begin{aligned} & \text{Lämmitysenergia rakenteen läpi vuodessa} = \\ & \text{Lämmitystarveluku} * U - \text{arvo} * \text{energian hinta} \left( \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right) \\ & * \frac{24}{1000} * \text{rakenteen ala} (\text{m}^2) \end{aligned} \quad (5)$$

Jos energian hintana käytetään alueen taulukkoarvoa, energianmaksun suuruus on 75,98€/MWh eli 0,07598 € / kWh (Energiateollisuus ry 2019). Vuoden lämmitystarveluku Tampereella on 4356 °Cd (Ilmatieteenlaitos 2021).

Näillä aroilla laskettuna saadaan energian hinnaksi kaavalla 5

$$\begin{aligned} \text{Lämmitysenergian hinta} &= 4356 \text{ °Cd} * \frac{0,166W}{m^2K} * 0,07598 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} * \frac{24}{1000} * 200m^2 \\ &= 263,67 \text{ €} \end{aligned}$$

50 vuoden lämmitysenergian kustannus 2 % inflaatiolla ja 2 % energian hinnan nousulla olisi nettonykyarvona 12 924 €.

Elinkaarikustannuksia laskettaessa 50 vuodelle, oletetaan että kotitalousluokassa uusitaan lattiapinnoitteet kerran, muovimattopinnoitteiden teknisen käyttöiän ollessa 30 vuotta normaalin rasituksen tiloissa (Rakennustietosäätiö 2008). Rakennustiedon kustannustietojen mukaan muovimaton arvolisäveroton hinta julkisiin tiloihin asennettuna on noin 30 €/m<sup>2</sup>, joten yhteensä muovimaton uusimiskustannus 200 m<sup>2</sup>:n kotitalousluokkaan olisi noin 6000 €.

Elinkaarikustannukset 50 vuodelle uudelle alapohjalle olisivat näillä luvuilla nykyarvona 107 407 € vuosittaisen inflaation ja energian hinnan nousun ollessa 2 %. Loppusummaan vaikuttaa suuresti vuosittain vaihteleva inflaatio ja energian hinta.

## 5.6.2 Kustannukset vaihtoehtoiselle korjaustavalle

Vaihtoehtoisena korjaustapana tarkastellaan kohteen kotitalousluokan betonilattian tiivistyskorjausta, jossa seinien ja laatan sauma tiivistetään ja ylempi betoni-laatta kapseloidaan. Työn investointikustannus laskettiin materiaalitoimittajilta saaduilla materiaalimenekeillä ja hinnastoilla, sekä Rakennustöiden menekit 2020- kirjan menekkitietojen avulla. Tiivistyskorjauksen investointikustannuksen arvolisäveroton hinta oli 36 800 €. Hintaan sisältyi:

1. tilan kalusteiden ja varusteiden purku, sekä takaisin asennus,
2. väliovien- ja seinien poisto ja uudelleenrakentaminen,
3. lattiapinnoitusten poisto ja uudelleen asennus

4. rakenteen ylemmän betonilaatan esikäsitteily ja kapselointi Ardex EP 2000- epoksihöyrnsululla.
5. seinien ja lattian rajapinnan tiivistykset Ardex 8+9- ratkaisulla
6. tarvittavat tasoitukset ja maalaukset.

Kapseloidun alapohjan kokonaislämmönvastus laskettiin kaavalla 4

$$R_t = 0,04 + \frac{0,12 \text{ m}}{1,7 \text{ W/(mK)}} + \frac{0,06 \text{ m}}{0,055 \text{ W/(mK)}} + \frac{0,12 \text{ m}}{1,7 \text{ W/(mK)}} + 0,02 + 0,16 + 2,804$$

$$= 4,256 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

kun rakenteessa on kaksi 120 mm betonilaattaa ja 60 mm mineraalivillaeriste. Rakenteessa oleva rakennuspahvi lisää lämmönvastusta 0,02 m<sup>2</sup>K/W kun sen toinen puoli on kovaa pintaa vasten (Ympäristöministeriö 2003). Jolloin rakenteen U-arvo saadaan kaavalla 3

$$U = \frac{1}{4,256 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{W}}} = 0,235 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$$

Tällöin vuotuisen lämmitysenergian hinta lasketaan kaavalla 5

$$\text{Lämmitysenergian hinta} = 4356 \text{ °Cd} * \frac{0,235 \text{ W}}{\text{m}^2 \text{K}} * 0,07598 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} * \frac{24}{1000} * 200 \text{ m}^2$$

$$= 373,86 \text{ €}$$

50 vuoden lämmitysenergian kustannus 2 % inflaatiolla ja 2 % energian hinnan nousulla olisi nettonykyarvona 18 326 €.

Kapseloinnin teknisenä käyttöikä pidetään yleisesti 20 vuotta, joten 50 vuoden elinkaaren aikana huoltotoimenpiteinä tulisi uusia kapselointi kaksi kertaa. Kapseloinnin uusimistyöhön voidaan ajatella sisältyvän kaikki samat työvaiheet kuin kapseloinnin asentamisen ensimmäisellä kerralla eli kustannus olisi 20 vuoden päästä 2 % inflaatiolla 54 658 € ja 40 vuoden päästä 81 219 €.

Elinkaarikustannukset 50 vuodelle tiivistyskorjatulle alapohjalle olisivat näillä luvuilla nykyarvona 186 762 € vuosittaisen inflaation ja energian hinnan nousun ollessa 2 %.

### 5.6.3 Hiilidioksidipäästöt uudelle alapohjalle.

Rakentamisvaiheen hiilidioksidipäästöjä määriteltessä tarkasteltiin rakenteessa käytettyjen materiaalien päästöjä Rakentamisen päästötietokannan avulla ja rakennusmateriaalien EPD-ympäristöselosteista.

Uuden laatan rakentaminen muodosti 10 175 kiloa hiilidioksidin verrattavia päästöjä. Taulukossa 1 uuden alapohjan muodostamat päästöt eriteltynä.

TAULUKKO 1. Uuden alapohjan rakentamisen muodostamat päästöt

Rakennusmateriaalit AP04					
Materiaali	Menekki/yks	määrä	menekkiyht. (kg)	GWP-luku(A1- A3)	Kg CO2e
<b>Muovimattopinnoite</b>	1,6 kg/m <sup>2</sup>	200 m <sup>2</sup>	320 kg	1,400 kg Co2e/kg	448
<b>Tasoite 5 mm</b>	3 kg/m <sup>2</sup>	200 m <sup>2</sup>	500 kg	0,350 kg Co2e/kg	175
<b>Teräsbetoni-laatta</b>	288 kg/m <sup>2</sup>	24 m <sup>3</sup>	57600 kg	0,140 kg Co2e/kg	8064
<b>6#150 rauditus</b>	3,021 kg/m <sup>2</sup>	200 m <sup>2</sup>	604 kg	0,670 kg Co2e/kg	404,8510638
<b>Suodatinkangas N2</b>	0,130 kg/m <sup>2</sup>	200 m <sup>2</sup>	26 kg	1,900 kg Co2e/kg	49,4
<b>EPS100L</b>	0,833 kg/m <sup>2</sup>	200 m <sup>2</sup>	167 kg	3,500 kg Co2e/kg	583,3333333
<b>Sepelitäyttö</b>	1500 kg/m <sup>3</sup>	60 m <sup>3</sup>	90000 kg	0,005 kg Co2e/kg	450
Yht. (kg CO2e)					<b>10 174,58</b>

Uuden alapohjan myötä parantunut energiatehokkuus laskee lämmityksen muodostamia hiilidioksidipäästöjä. Kaukolämmön keskimääräinen CO<sub>2</sub>-päästö kolmen viimeisen vuoden keskiarvon mukaan on 148 kg CO<sub>2</sub>/MWh (Motiva 2021). U-arvon ollessa 0,166 W/m<sup>2</sup>k, vuodessa rakenteen läpi johtuvan lämpöenergian määrä on 3465 kWh, joten vuoden lämmittämisestä muodostuu hiilidioksidipäästöjä noin 513 kg CO<sub>2</sub>. 50 vuoden elinkaarella päästöjä muodostuu yhteensä 35814 kg CO<sub>2</sub>.

### 5.6.4 Hiilidioksidipäästöt vaihtoehtoiselle korjaustavalle

Tiivistys- ja kapselointiaineiden päästötiedot ovat saatavilla EPD-ympäristöselosteista, jotka löytyvät Ardexin tuotteiden nettisivuilta. Alapohjan korjaaminen tiivistyskorjauksin muodosti rakentamisvaiheessa 1 350 kiloa hiilidioksidin verrattavia päästöjä. Taulukossa 2 on eritelty tiivistyskorjauksen muodostamat päästöt.

TAULUKKO 2. Alapohjan tiivistyskorjauksen muodostamat päästöt

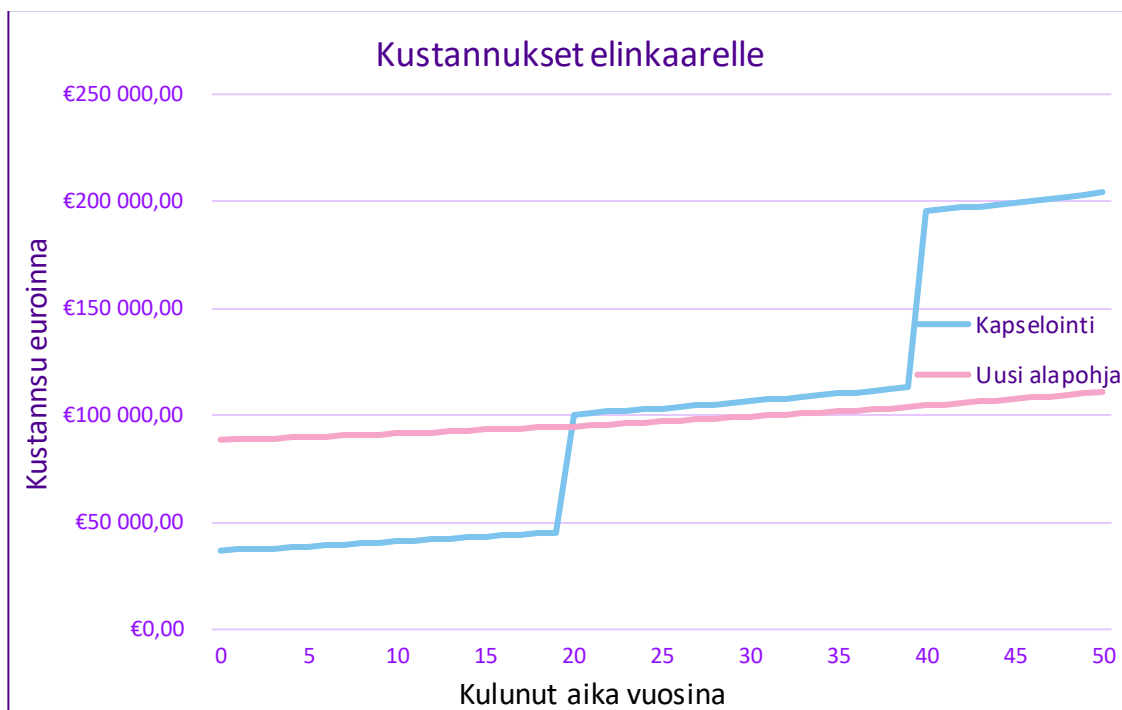
Rakennusmateriaalit	Menekki/yks	määrä	menekki yht.	GWP-luku	Kg CO <sub>2</sub> e
<b>Ardex EP 2000</b>	1 kg/m <sup>2</sup>	200 m <sup>2</sup>	120 kg	5,81 kg Co <sub>2</sub> e/kg	697,2
<b>Ardex kvartsihiekkä</b>	3 kg/m <sup>2</sup>	200 m <sup>2</sup>	500 kg	-	0
<b>Ardex 8+9 reunatiiv.</b>	0,22 kg/jm	66 jm	15 kg	2,06 kg Co <sub>2</sub> e/kg	29,9112
<b>Muovimattopinnoite</b>	1,6 kg/m <sup>2</sup>	200 m <sup>2</sup>	320 kg	1,400 kg Co <sub>2</sub> e/kg	448
<b>Tasoite 5 mm</b>	3 kg/m <sup>2</sup>	200 m <sup>2</sup>	500 kg	0,350 kg Co <sub>2</sub> e/kg	175

Yht. (kg CO<sub>2</sub>e) **1 350,11**

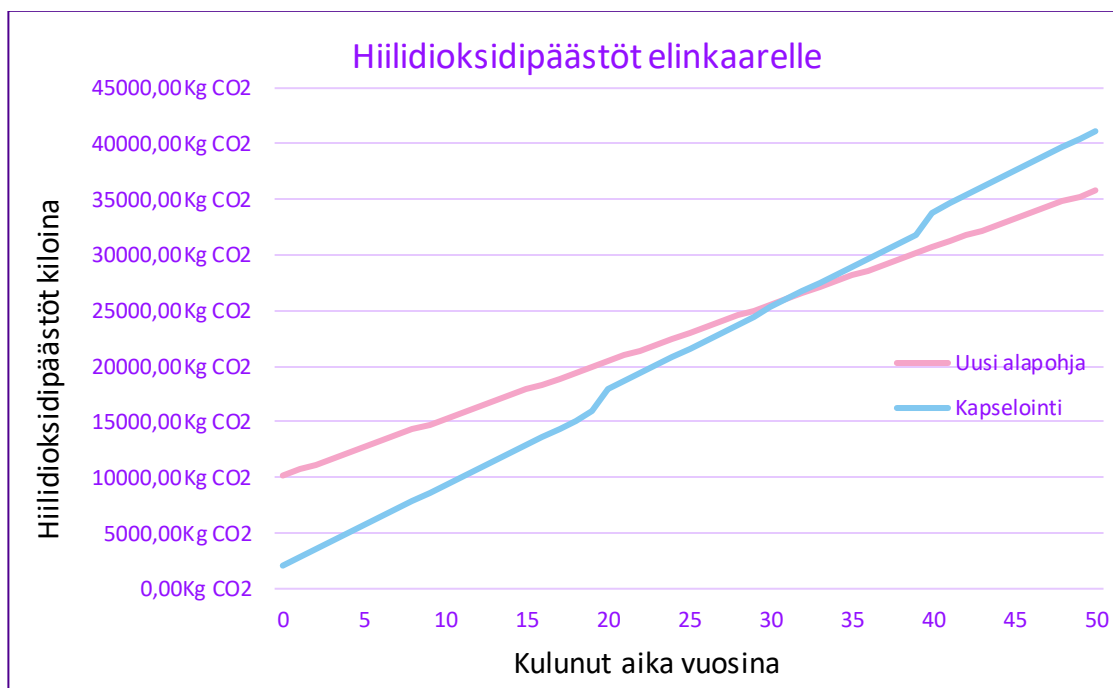
Tiivistyskorjauksen myötä alapohjan lämmöneristeitä ei uusita, joten rakenteen U-arvo on 0,236 W/m<sup>2</sup>K. Tällä u-arvolla vuosittainen rakenteen läpi johtuvan lämpöenergian määrä on 4912 kWh, joten vuoden lämmittämisestä muodostuvat hiilidioksidipäästöt ovat noin 727 kg CO<sub>2</sub>, kun kaukolämmön päästöt ovat 148 kg CO<sub>2</sub>/Mwh. 50 vuoden elinkaarella tiivistyskorjaukselle muodostuu hiilidioksidipäästöjä yhteensä 41131 kg CO<sub>2</sub>.

### 5.6.5 Elinkaarivertailun tulokset

Korjaustapojen elinkaarivertailun tuloksena huomattiin, että 50 vuoden asetetulla elinkaarella alapohjan uusiminen perusmaata myöten on kannattavampi vaihtoehto, sillä korkeasta investointikustannuksesta huolimatta uuden rakenteen huoltovapaus ja matalampi energiakustannus on 50 vuoden elinkaarella kustannustehokkaampi vaihtoehto. Tiivistyskorjauksen lyhyempi tekninen käyttöikä vaatii uusimisen 20 vuoden välein ja työn kustannukset nousevat erityisesti vaadittavien kaluste- ja seinäpurkujen takia. Kuvioissa 3 ja 4 on esitetty korjaustapojen kustannus- ja hiilidioksidipäästörakenne 50 vuoden elinkaarella, kun inflaatio ja energian hinnan nousu ovat 2 %.



KUVIO 3. Alapohjan korjausvaihtoehtojen kustannukset 50 vuodelle.



KUVIO 4. Alapohjan korjausvaihtoehtojen hiilidioksidipäästöt 50 vuodelle.

Kuvioista voidaan nähdä missä vaiheessa elinkaarta uusi alapohja on kannattavampi kustannusten ja hiilidioksidipäästöjen kannalta. Tiivistyskorjauksen kustannukset ylittävät uuden alapohjan, kun tiivistys joudutaan uusimaan tämän teknisen käyttöiän loputtua, eli 20 vuoden jälkeen. Jos rakennuksen suunniteltu

käyttöikä olisi alle 20 vuotta, olisi tiivistyskorjaus huomattavasti kustannustehokkaampi vaihtoehto.

Hiilidioksidipäästöjen osalta tiivistyskorjaus ylittää uuden alapohjan päästöt vasta noin 32 vuoden jälkeen. Tämä johtuu pääosin uuden betonilaatan muodostamista suurista hiilidioksidipäästöistä, joita ei muodostu tiivistyskorjausta suorittaessa.



## 6 POHDINTA

Esimerkkikohteen korjaustavan lopputuloksena on havaittavissa, että uuden alapohjan rakentaminen tulee tavoitteeksi asetetulla 50 vuoden elinkaarella kannattavamaksi sekä kustannuksien että hiilidioksidipäästöjen osalta. Tarkastelussa otettiin huomioon myös kasvava energian hinnan nousu ja inflaatio. On epätoennäköistä, että tulevaisuudessa kustannustaso laskisi näiden tekijöiden myötä, joten ylivoimaisesti isoin muuttuja päätöksenteossa tulee olemaan rakennukselle asetettu elinkaari.

Jos elinkaarta tarkastellaan lyhyempänä kuin 50 vuotta, tiivistyskorjausten kannattavuus kasvaa. Uuden alapohjan raskaat purku- ja korjaustyöt nostavat investointikustannukset suuriksi, mutta rakenteen pitkä tekninen käyttöikä ja huoltovapaus tasoittaa kustannukset pidemmällä elinkaarella, mutta esimerkiksi 20 vuoden elinkaarella vuosille jaettuna kustannus on huomattavan suuri. Tiivistyskorjauksen etuna on huomattavasti halvempi rakentamisen investointikustannus. Työ ei vaadi raskaita betonilaatan purku- tai maankaivuutöitä, joten suuri osa kustannuksista koostuu ainoastaan olemassa olevien rakenteiden, kuten kalusteiden ja väliseinien purusta ja uudelleen rakentamisesta.

Vaikka uuden alapohjan rakentamisen myötä energiatehokkuus rakenteessa paranee ja lämmityskustannukset sekä hiilidioksidipäästöt laskevat, uuden alapohjan kustannus muuttuu kannattavaksi ainoastaan kapseloinnin uusimisesta johtuvan kustannuksen takia. Hiilidioksidipäästöjen kannalta tiivistyskorjaus ylittää uuden alapohjarakenteen päästöissä vasta noin 32 vuoden jälkeen.

Opinnäytetyössä tuli huomattavia haasteita osittain henkilömuutosten ja tiedon puutoksen takia, mutta lopullinen työ ja tutkimus osoittautui kattavaksi. Tulevaisuudessa opinnäytetyön liitteenä olevia laskelmia voisi edistää ottamalla huomioon enemmän talotekniikkaa ja tämän optimointia energiapäästöjen ja -kustannuksien laskemisessa. Talotekniikan optimoinnin vaikutus ja eri lämmitysmuotojen yhdistelmällä voitaisiin muuttaa päästö- ja kulurakennetta suotuisampaan suuntaan.

## LÄHTEET

Aatsalo, J. (2014). Tiivistyskorjauksen elinkaari on ehkä vain viisi vuotta, Rakennuslehti. Luettu 11.1.2022. <https://www.rakennuslehti.fi/2014/10/tiivistyskorjauksen-elinkaari-on-ehka-vain-viisi-vuotta/>

Ardex. Tuote-esite Ardex EP 2000. Luettu 11.1.2022. <https://ardex.fi/wp-content/uploads/2021/01/ARDEX-EP-2000-hoyrynsulku.pdf>

Asikainen, T. (2016). Kuntien toimintatapoja koulujen sisäilmaongelmien selvittämisessä, Ongelman täsmentäminen ja toimenpiteiden kiireellisyyden arviointi. Rakennusterveysasiantuntijan koulutusohjelma. Itä-Suomen yliopisto, Kuopio. Opinnäytetyö.

Asikainen, V. 2008. Kiinteistön omistajan opas sisäilmaongelmaisten koulurakennusten kunnan tutkimiseen ja korjaushankkeisiin. Opetushallitus. Luettu 7.10.2021. [https://www.oph.fi/sites/default/files/documents/sisailmaongelmaisten\\_koulurakennusten\\_korjaaminen\\_2008.pdf](https://www.oph.fi/sites/default/files/documents/sisailmaongelmaisten_koulurakennusten_korjaaminen_2008.pdf)

Kaivonen, J, 2006. Rakennusten korjaustekniikka ja talous. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Kiiski, T. 2017. Rakenteiden tiivistysten laadunvarmistus ja korjaustöiden jälki-seuranta. Rakentamisen koulutusohjelma. Savonia-Ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Marttila, T. n.d. Koulun korjaushankkeen hyvä hallinta. Luettu 29.9.2021. <http://www.koulurakennus.fi/toimivia-kaytantoja/korjaushanke#viite>

Minnesota Department of Health. n.d. Indoor Air Quality (IAQ) in Schools. Luettu 21.9.2021. <https://www.health.state.mn.us/communities/environment/air/schools/index.html>

Motiva. 2021. CO<sub>2</sub>-päästökertoimet. Luettu 15.1.2022. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiankaytto\\_suomessa/co2-paastokertoimet](https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiankaytto_suomessa/co2-paastokertoimet)

Mölsä, S. 2016. Miksi koulut homehtuvat Suomessa? – asiantuntijat vastaavat. Rakennuslehti. Luettu 21.9.2021. <https://www.rakennuslehti.fi/2016/04/miksi-koulut-homehtuvat-suomessa-asiantuntijat-vastaavat/>

Peltola, S. 2008. Suunnittelijan opas koulurakennusten sisäilmasto-ongelmien ja kosteusvaurioiden korjaamiseen. Opetushallitus. Luettu 11.11.2021. [https://www.oph.fi/sites/default/files/documents/sisailmaongelmaisten\\_koulurakennusten\\_korjaaminen\\_2008.pdf](https://www.oph.fi/sites/default/files/documents/sisailmaongelmaisten_koulurakennusten_korjaaminen_2008.pdf)

Rakennettu ympäristö ja ilmastonmuutos. n.d. RT Rakennusteollisuus. Luettu 15.1.2022. <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/Materiaalitehokkuus/>

RT 103097 Toimitilakiinteistön kuntoarvio. Kuntoarvioijan ohje. 2019. Rakennustietosäätiö RTS. Luettu 15.9.2021.

<https://kortistot.rakennustieto.fi/resource/juha/content/22199#page=1>

KH 90-00403 Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitajaksot. 2008. Rakennustietosäätiö RTS. Luettu 13.1.2021. <https://raksystems.fi/wp-content/uploads/2019/04/KH-90-00403.pdf>

Sisäilmayhdistys ry. 2008. Mikrobin terveyshaitat. Luettu 10.11.2021 ry <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Terveysvaikutukset/Mikrobin-terveyshaitat>

Sulkakoski, J. 2017. Tiivistyskorjausten onnistuminen. Rakennusterveysasiantuntijan koulutusohjelma. Rakennusteollisuuden koulutuskeskus. Opinnäytetyö.

Vertia. n.d. Merkkiainekokeet osana rakentamisen laadun parantamista. Luettu 8.9.2021.

<https://vertia.fi/merkkiainekokeet-osana-rakentamisen-laadun-parantamista/>

Ympäristöministeriö. 2003. Lämmöneristys, ohjeet. C4 Suomen rakentamismääräyskokoelma.

## LIITTEET

## Liite 1. Rakennusosavertailun yhteenveto

Rakennusosavertailu			
Lähtötiedot			
Rakennuskohde	Y-Koulu		
Osoite	Koulukatu 1		
Kerrosala	1 m2		
Laskennan elinkaari (v)	50 v		
Laskennan korkoprosentti	2 %		
Energian hinnannousu/vuosi	2 %		
Rakennusosa			
Rakennusosatyyppi	Alapohja		
Kerros	2 .krs		
Tila	203, 204, 205 & 206		
Laajuus (m2)	200 m2		
Rakenne			
Alapohjan uudisaneeraus		Alapohjan kapselointi	
Muovimatto + tasoite	5 mm	Lattiapinnoite+tasoite	5 mm
Betoni	90 mm	Ardex EP2000	2 mm
Suodatinkangas	1 mm	Betoni	120 mm
EPS100L	100 mm	Rakennuspahvi	1 mm
Sepelitäyttö	300 mm	Mineraalivilla	60 mm
Hieno hiekka	-	Betoni	120 mm
-	-	Hieno hiekka	-
-	-	-	-
Rakentamisinvestointi			
Alapohjan uudisaneeraus		Alapohjan kapselointi	
88 600,00 €		36 783,58 €	
Energiakustannus elinkaarelle			
Alapohjan uudisaneeraus		Alapohjan kapselointi	
12 924,88 €		18 326,23 €	
Muut ylläpitokulut elinkaarelle			
Alapohjan uudisaneeraus		Alapohjan kapseloinnin uusiminen	
5 882,35 €		131 652,49 €	
Hiilidioksidipäästöt elinkaarelle			
Alapohjan uudisaneeraus		Alapohjan kapselointi	
35814 Kg Co2		41131 Kg Co2	

## Liite 2. Excel – laskentataulukko uudelle alapohjalle

Vuosi	investointi	energian kulu	Huolto	Hilidioksidipäästöt	Investointien kumulatiiviset päästöt kum.	Uusi alapohja	Päästöt yht.
0	88 600,00	-	-	10174,58 kg CO <sub>2e</sub>	88 600,00	88 600,00	10174,58 kg CO <sub>2e</sub>
1	0	263,67	-	512,78 kg CO <sub>2</sub>	88 600,00	263,67	88 863,67
2	0	268,34	-	512,78 kg CO <sub>2</sub>	88 600,00	532,01	89 132,61
3	0	274,32	-	512,78 kg CO <sub>2</sub>	88 600,00	806,33	89 406,33
4	0	279,81	-	512,78 kg CO <sub>2</sub>	88 600,00	1086,73	89 696,73
5	0	285,40	-	512,78 kg CO <sub>2</sub>	88 600,00	1372,14	89 972,14
6	0	291,11	-	512,78 kg CO <sub>2</sub>	88 600,00	1663,25	90 263,25
7	0	296,93	-	512,78 kg CO <sub>2</sub>	88 600,00	1960,18	90 560,18
8	0	302,87	-	512,78 kg CO <sub>2</sub>	88 600,00	2 263,05	90 863,05
9	0	308,93	-	512,78 kg CO <sub>2</sub>	88 600,00	2 571,98	91 171,98
10	0	315,11	-	512,78 kg CO <sub>2</sub>	88 600,00	2 887,09	91 487,09
11	0	321,41	-	512,78 kg CO <sub>2</sub>	88 600,00	3 208,50	91 808,50
12	0	327,84	-	512,78 kg CO <sub>2</sub>	88 600,00	3 536,33	92 136,33
13	0	334,39	-	512,78 kg CO <sub>2</sub>	88 600,00	3 870,73	92 470,73
14	0	341,06	-	512,78 kg CO <sub>2</sub>	88 600,00	4 211,81	92 811,81
15	0	347,90	-	512,78 kg CO <sub>2</sub>	88 600,00	4 559,71	93 159,71
16	0	354,86	-	512,78 kg CO <sub>2</sub>	88 600,00	4 914,58	93 514,58
17	0	361,96	-	512,78 kg CO <sub>2</sub>	88 600,00	5 276,53	93 876,53
18	0	369,20	-	512,78 kg CO <sub>2</sub>	88 600,00	5 645,73	94 245,73
19	0	376,58	-	512,78 kg CO <sub>2</sub>	88 600,00	6 022,31	94 622,31
20	0	384,11	-	512,78 kg CO <sub>2</sub>	88 600,00	6 406,43	95 006,43
21	0	391,80	-	512,78 kg CO <sub>2</sub>	88 600,00	6 796,21	95 396,21
22	0	399,63	-	512,78 kg CO <sub>2</sub>	88 600,00	7 191,86	95 791,86
23	0	407,62	-	512,78 kg CO <sub>2</sub>	88 600,00	7 604,48	96 205,48
24	0	415,78	-	512,78 kg CO <sub>2</sub>	88 600,00	8 024,26	96 621,26
25	0	424,09	-	512,78 kg CO <sub>2</sub>	88 600,00	8 449,35	97 043,35
26	0	432,57	-	512,78 kg CO <sub>2</sub>	88 600,00	8 879,33	97 477,33
27	0	441,23	-	512,78 kg CO <sub>2</sub>	88 600,00	9 314,15	97 915,15
28	0	450,05	-	512,78 kg CO <sub>2</sub>	88 600,00	9 763,20	98 363,20
29	0	459,05	-	512,78 kg CO <sub>2</sub>	88 600,00	10 226,25	98 828,25
30	0	468,23	6 000,00	512,78 kg CO <sub>2</sub>	88 600,00	10 696,49	99 296,49
31	0	477,60	-	512,78 kg CO <sub>2</sub>	88 600,00	11 174,08	99 774,08
32	0	487,15	-	512,78 kg CO <sub>2</sub>	88 600,00	11 661,23	100 261,23
33	0	496,89	-	512,78 kg CO <sub>2</sub>	88 600,00	12 158,13	100 758,13
34	0	506,83	-	512,78 kg CO <sub>2</sub>	88 600,00	12 664,96	101 264,96
35	0	516,97	-	512,78 kg CO <sub>2</sub>	88 600,00	13 181,32	101 781,32
36	0	527,31	-	512,78 kg CO <sub>2</sub>	88 600,00	13 709,23	102 309,23
37	0	537,85	-	512,78 kg CO <sub>2</sub>	88 600,00	14 247,08	102 847,08
38	0	548,61	-	512,78 kg CO <sub>2</sub>	88 600,00	14 795,63	103 395,63
39	0	559,58	-	512,78 kg CO <sub>2</sub>	88 600,00	15 355,27	103 955,27
40	0	570,77	-	512,78 kg CO <sub>2</sub>	88 600,00	15 926,04	104 526,04
41	0	582,19	-	512,78 kg CO <sub>2</sub>	88 600,00	16 508,23	105 108,23
42	0	593,83	-	512,78 kg CO <sub>2</sub>	88 600,00	17 102,06	105 702,06
43	0	605,71	-	512,78 kg CO <sub>2</sub>	88 600,00	17 707,77	106 307,77
44	0	617,82	-	512,78 kg CO <sub>2</sub>	88 600,00	18 325,60	106 925,60
45	0	630,18	-	512,78 kg CO <sub>2</sub>	88 600,00	18 955,78	107 555,78
46	0	642,78	-	512,78 kg CO <sub>2</sub>	88 600,00	19 598,56	108 198,56
47	0	655,64	-	512,78 kg CO <sub>2</sub>	88 600,00	20 254,20	108 854,20
48	0	668,75	-	512,78 kg CO <sub>2</sub>	88 600,00	20 922,95	109 522,95
49	0	682,13	-	512,78 kg CO <sub>2</sub>	88 600,00	21 605,08	110 205,08
50	0	695,77	-	512,78 kg CO <sub>2</sub>	88 600,00	22 300,85	110 900,85

Pinta-ala:	200 m <sup>2</sup>	Reuna-alueita:	33 m <sup>2</sup>
Rakenteen U-arvo	d(mm)	λn [W/(K·m)]	Ri [(m <sup>2</sup> K/W)]
Sisäpuolen pintajännite			0,04
Bet.laatta	90	1,7	0,052941176
EPS100L	100	0,036	2,777777778
Sepeltäyttö	300	1,5	0,2
Perusmaa, hiekka			2,804
Ulkopuolen pintajännite			0,16
		RT=	6,034718954
U-arvo =	0,17 W/m <sup>2</sup> K		

Materiaali	Menekki yks.	määrä	menekki yht. (kg)	GWP-luku(A1-A3)	Kg CO <sub>2e</sub>
Muovimattopinnote	1,6 kg/m <sup>2</sup>	200 m <sup>2</sup>	320 kg	1,400 kg Co <sub>2e</sub> /kg	448
Tasoite 5 mm	3 kg/m <sup>2</sup>	200 m <sup>2</sup>	500 kg	#####	175
Teräsbetonilaatta	288 kg/m <sup>2</sup>	24 m <sup>3</sup>	57600 kg	0,140 kg Co <sub>2e</sub> /kg	8064
6#150 rauditus	3,021 kg/m <sup>2</sup>	200 m <sup>2</sup>	604 kg	#####	404,8511
Suodatinkangas N2	0,130 kg/m <sup>2</sup>	200 m <sup>2</sup>	26 kg	1,900 kg Co <sub>2e</sub> /kg	49,4
EPS100L	0,833 kg/m <sup>2</sup>	200 m <sup>2</sup>	167 kg	#####	583,3333
Sepeltäyttö	1500 kg/m <sup>3</sup>	60 m <sup>3</sup>	90000 kg	#####	450
				Yht. (kg CO <sub>2e</sub> )	#####

Maanvastaisten alapohjarakenteiden u	573	m <sup>2</sup>			
- kalusteiden, varusteiden yms	200	m <sup>2</sup>	5		1 000,00 €
- väliseinien purku 30jm h3000	90	m <sup>2</sup>	20	ei betonis.	1 800,00 €
- välilövien purku	2	kpl	100		200,00 €
- tilaintojen purku (lattiapinnat)	200	m <sup>2</sup>	20		4 000,00 €
- talotekniikan purku / siirto	200	m <sup>2</sup>	20		4 000,00 €
- maanvastaisten alapohjarake	200	m <sup>2</sup>	60		12 000,00 €
- rakennuksen sisäpuolinen mi	200	m <sup>2</sup>	80		16 000,00 €
- uusi alapohjarakenne	200	m <sup>2</sup>	100		20 000,00 €
- uudet väliseinät	90	m <sup>2</sup>	80	ei betonis.	7 200,00 €
- uudet välilövet	2	kpl	750		1 500,00 €
- uudet tilapinnat (lattiapinnat, i	200	m <sup>2</sup>	80		16 000,00 €
- tasoitukset ja maalaukset	90	m <sup>2</sup>	10		900,00 €
- kalusteiden ja varusteiden as	200	m <sup>2</sup>	20		4 000,00 €
					88 600,00 €


Sorasta tai sepelistä tehdyn vähintään 200 mm paksun salaojitusk

Liite 3. Excel -laskentataulukko alapohjan kapseloinnille

Kotitalousluokan lattian kapselointi AP4 200M2			
Laskentakorko	2,00%		Eriyiluokkasiivien lattian u-arvo: 0,23663 W/m2K
Energian hinta	0,076 €/kWh		Elinkaarekustannukset yhteensä
Energian hinnan nousu/v	2,00%		186 762,31 €
Vuodessa johtuva leikenteen läpi johtuvan le:n hinta:	4912,68 kWh 373,66 €	-11 747,69 €	
Nykyarvot:	36783,6	18 326,23 €	131652,45 €
Vuosi	investointi	energia/kul	Kapseloinnin uusiminen (20)
0	36 783,581		0
1	373,861		2077,186312
2	361,331		36 783,581
3	366,961		755,191
4	396,741		1144,351
5	404,671		1540,891
6	412,771		1945,561
7	421,021		2358,321
8	429,441		2779,351
9	438,031		3208,791
10	446,791		3646,821
11	455,731		4093,611
12	464,841		4549,341
13	474,141		5014,181
14	483,621		5488,321
15	493,291		5971,941
16	503,161		6465,231
17	513,221		6968,391
18	523,491		7481,621
19	533,961		8005,101
20	544,641		8539,061
21	555,531		9083,701
22	566,641		9639,231
23	577,971		10205,871
24	589,531		10783,841
25	601,321		11373,371
26	613,351		11974,691
27	625,621		12588,041
28	638,131		13213,661
29	650,891		13851,791
30	663,911		14502,681
31	677,191		15166,591
32	690,731		15843,771
33	704,551		16534,501
34	718,641		17239,051
35	733,011		17957,691
36	747,671		18690,691
37	762,621		19438,361
38	777,871		20200,991
39	793,431		20978,861
40	809,301		21772,291
41	825,491		22581,591
42	842,001		23407,081
43	858,841		24249,081
44	876,011		25107,921
45	893,531		25983,931
46	911,401		26877,461
47	929,631		27788,871
48	948,231		28718,501
49	967,191		29666,731
50	986,531		30633,911

Työmenekit	rth/lyks	määrä (yks)	rth					
<b>Rakenteen purkukustannus</b>	0,052	200 m2	10,4	TL3-kerroin TL3 vaativasta kohteesta jot				
Muovimattapinnoinnointeen purku	0,065	200 m2	26					
Pinnan hionta								
<b>Rakenteen uusimiskustannus</b>								
Kosteusmittaukset	0,247	200 m2	51,1					
Betonin kapselointi	0,026	85 m	2,21					
Reunojen tiivistys								
Merkitsemitaukset								
Tuntihinta 18leith + 70% sosikulut			89,71					
Työn osuuden hinta (alk 0,7)			30,601					
			<b>2 745,131</b>					
<b>Rakennusmateriaali</b>	<b>Menekki/kg</b>	<b>määrä</b>	<b>menekki yht</b>	<b>GW/P-luku</b>	<b>Kg CO2e</b>	<b>hinta/lyks</b>	<b>hinta yht.</b>	Neliöhinta 15,77 €/m2, kilohinta 26,2 €/kg
Ardex EP 2000	1 kg/m2	200 m2	120 kg	5,81 kg Co2e/kg	697,2	26,201	3 144,001	
Ardex kvartsihiekkä	3 kg/m2	200 m2	500 kg	-	0	0,351	175,001	
Ardex 8+9 reunatvit	0,22 kg/m	66 m	15 kg	2,06 kg Co2e/kg	29,9112	1,341	19,461	
Muovimattapinnointe	1,6 kg/m2	200 m2	320 kg	1,400 kg Co2e/kg	448		<b>3 338,461</b>	
Tasoite 5 mm	3 kg/m2	200 m2	500 kg	0,350 kg Co2e/kg	175			
				Yht. (kg CO2e)	<b>1 350,11</b>			
Alkuperäiset kustannusarvot (lähde: WSP Finland Oy)								
- kalusteiden, varusteiden yms. purku (esim. kottalotus)	200	m2	5				1 000,00 €	
- väliseinien purku 30jm h3000	90	m2	20				1 800,00 €	
- välilovien purku	2	kpl	100				200,00 €	
- tilapintojen purku (lattiapinnat)	200	m2	15				3 000,00 €	
- talotekniikan purku / siirto	200	m2	20				4 000,00 €	
- uudet väliseinät	90	m2	80				7 200,00 €	
- uudet välilovet	2	kpl	750				1 500,00 €	
- uudet tilapinnat (lattiapinnat)	200	m2	30				6 000,00 €	
- tasotukset ja maalaukset	200	m2	10				2 000,00 €	
- kalusteiden ja varusteiden asennus (vanhat kalusteet)	200	m2	20				4 000,00 €	30 700,00 €
Pinta-ala:	200 m2	Reuna-alueita:	33 m2					
<b>Rakenteen U-arvo</b>	<b>d(mm)</b>	<b>λn [W/(mK)]</b>	<b>Ri [ (m2 K/W)]</b>					
Sisäpuolen pintajäänite			0,04					
betoni	120	1,7	0,070588235					
mineraalivilla	60	0,055	1,090909091					
rakennuspaikvi	0,1		0,02					
betoni	120	1,7	0,070588235					
Pesumaaka			2,804					=167/200*3,2+33/200*0,8
Ulkoispuolen pintajäänite			0,16					
		RT=	4,256085561					
U-arvo =			<b>0,234957682</b>					W/m2K

## Liite 4. Ardex- materiaalihinnasto

<b>SISÄILMA- JA RADONKORJAUKSET</b>						
<b>PROJEKTILASKELMA</b>	<b>ALV 0%</b>	<b>1.1.2022</b>	<b>VÄH. 2000€ -TOIMITUS</b>			
<b>TIIVISTYS JA KAPSELOINTI</b>	<b>MENEKKI</b>	<b>PAKKAUS</b>	<b>€/PAKKAUS</b>	<b>HINTA I</b>	<b>HINTA II</b>	
ARDEX 8+9LW *Jm-hinta 15cm:n soiroille (0,11+0,11kg/jm)	n. 1,5 kg/m2	20+20 kg	238,60 €	1,34 €/0,15m x 1m	8,95 €/m2	
ARDEX 7+8 3x3x3 mm -kammalla	n. 1,0 kg/m2	(4x5)+20 kg	230,80 €		5,77 €/m2	
ARDEX SK 100 W 5 cm liimitys	1,05 m2/m2	30 m2	199,00 €		6,97 €/m2	
**ARDEX P 2 D	n. 0,25 kg/m2	5 kg	56,00 €	11,20 €/kg	2,80 €/m2	
ARDEX SK 12 -vahvistusnauha		50 m	87,00 €		1,74 €/jm	
ARDEX STB 75-15 -karminauha (75 mm)		15 m	28,10 €		1,87 €/jm	
ARDEX STB 150-20 -karminauha (150 mm)		20 m	63,90 €		3,20 €/jm	
ARDEX SK 12 BT -karminauha sisäkulmiin (120 mm)		20 m	52,10 €		2,61 €/jm	
ARDEX SK 90 ja SK 270 -kulmakappaleet		1 kpl	5,10 €		5,10 €/kpl	
*/*ARDEX P 40 MS jäännöskosteuden hallintaan / lattiat	n. 0,25 kg/m2	10 kg	270,50 €	27,05 €/kg	6,76 €/m2	
*/*ARDEX EP 1400 haitta-aineiden ja jäännöskosteuden hallintaan	n. 0,6 kg/m2	poistu va tuote 10 kg	247,70 €	24,77 €/kg	14,86 €/m2	
*ARDEX EP 2000 haitta-aineiden ja kosteuden hallintaan / lattiat	n. 0,6 kg/m2	10 kg	262,90 €	26,29 €/kg	15,77 €/m2	
*/*ARDEX EP 2001 W haitta-aineiden ja kosteuden hallintaan / seinät	n. 0,6 kg/m2	4,5 kg	150,60 €	33,47 €/kg	20,08 €/m2	
<b>*Tuotteet toimivat myös alkalisuojana betonin emäksisyyttä vastaan</b>						
<b>HÖYRYNSULUN POHJUSTUS ENNEN TASOITUSTA</b>						
ARDEX P 7 -pohjustusaine (P40MS päälle ennen tasoitusta)	n. 0,13 kg/m2	12 kg	89,30 €	7,44 €/kg	0,93 €/m2	
ARDEX P 82 -pohjustusaine	n. 0,1 kg/m2	6 kg	113,90 €	18,98 €/kg	1,90 €/m2	
Kvartsihieikka 0,4-0,8 mm (vain lattialla) - hintaan lisätään rahti	n. 2,5 kg/m2	25 kg	8,70 €	0,35 €/kg	0,87 €/m2	
<b>SEINÄTASOITTEET</b>						
**ARDEX W 820 -seinätasoite, käsi- ja ruiskutasoite	n. 0,9 kg/m2/mm	12,5 kg	22,60 €	1,81 €/kg	1,63 €/m2/mm	
ARDEX F 5 -seinätasoite, käsitasoite	n. 0,9 kg/m2/mm	12,5 kg	41,90 €	3,35 €/kg	3,02 €/m2/mm	
ARDEX BU-R -vahvistusverkko 1m / 4x4mm		25 m	55,50 €		2,22 €/m2	
<b>LATTIATASOITTEET JA PÄÄLLYSTEIDEN LIIMAUS</b>						
ARDEX P 51 -pohjustusaine	n. 0,05 kg/m2	25 kg	153,00 €	6,12 €/kg	0,31 €/m2	
ARDEX K 60 -tasoite (jauhe+nesteosa)	n. 1,6 kg/m2/mm	20+4,95 kg	25,00+25,00 €	1,25+5,05 €/kg	4,00 €/m2/mm	
ARDEX K 40 -tasoite	n. 1,5 kg/m2/mm	20 kg	23,30 €	1,17 €/kg	1,75 €/m2/mm	
ARDEX K 33 -lattiatasoite	n. 1,5 kg/m2/mm	20 kg	19,40 €	0,97 €/kg	1,46 €/m2/mm	
ARDEX K 301 -lattiatasoite	n. 1,6 kg/m2/mm	25 kg	48,80 €	1,95 €/kg	3,12 €/m2/mm	
ARDEX A 46 -korjausmassa	n. 1,4 kg/m2/mm	12,5 kg	25,90 €	2,07 €/kg	2,90 €/m2/mm	
ARDEX E 100 -lisäaine A46-korjausmassaan	n. 0,1 kg/m2/mm	1,75 kg	28,00 €	16,00 €/kg	1,60 €/m2/mm	
ARDEX AF 145 -päällysteliima	n. 0,35 kg/m2	12 kg	54,10 €	4,51 €/kg	1,58 €/m2	
ARDEX CA 20 P - asennusliima listakiinnityksiin	n. 9 jm/patr	310 ml	10,40 €		1,16 €/jm	

Laskelma on ohjeellinen ja sitä tarkennetaan kohdekohtaisesti / \*\*Toimitusaika varmistettava toimittajalta. Mahdollinen hintatarkistus 1.7.2022