

Saimaan ammattikorkeakoulu
Tekniikka Lappeenranta
Rakennusalan työnjohdon koulutus

Elina Niinimäki

Ilmatiiviyden parantamiskorjausten kustannukset

Opinnäytetyö 2019

Tiivistelmä

Elina Niinimäki

Ilmatiivyyden parantamiskorjausten kustannukset, 38 sivua, 1 liite

Saimaan ammattikorkeakoulu

Tekniikka Lappeenranta

Rakennusalan työnjohdon koulutus

Opinnäytetyö 2019

Ohjaajat: lehtori Leena Jormanainen, Saimaan ammattikorkeakoulu, asiantun-

tija Arto Toorikka, Vahanen Rakennusfysiikka Oy / Tampere, yksikönpäällikkö

Laura Hongisto, Vahanen Rakennusfysiikka Oy / Lappeenranta

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää ajantasaisia ilmatiivyyden parantamiskorjausten eli tiivistyskorjausten kustannuksia niin laskennallisella tasolla kuin toteutuneiden korjauskohteiden kautta. Lisäksi selvitettiin ilmatiiviyys käsitteenä, ilmatiivyyteen vaikuttavat asiat ja yleisimmät tiivistyskorjausmenetelmät.

Opinnäytetyötä varten haastateltiin alan urakoitsijoita, kustannuslaskentaa tekevää konsulttia, tiivistystöitä teettävän tilaajan edustajaa ja insinööriä, jolla oli työkokemusta niin urakoinnin, konsulttitoimiston kuin tuotevalmistajankin roolista. Tilaajan edustajalta saatiin lisäksi kahden case-kohteen toteutuneet kustannuslaskelmat, joita vertailtiin. Tuotevalmistajilta ja -maahantuojilta kerättiin tietoa tiivistystuotteiden keskimääräisistä suositushinnoista.

Tiivistyskorjausten kustannusten selvittäminen osoittautui haastavaksi. Korjaustöitä varten ei ollut esimerkiksi tuotantosuunnittelun Ratu-korttia, joten laskennalliset kustannukset jouduttiin keskittämään tuotteiden hintoihin. Suuria hintaeroja eri tuotteiden välillä ei havaittu, tiivistystuotteiden hinnat olivat vuonna 2019 keskimäärin noin 3–5 euroa juoksumetriltä. Pelkkää liitosnauhaa käyttämällä juoksumetrijointi saattoi olla alempi, mutta haastattelujen perusteella liitosnauhoja harvoin käytettiin ainoana tiivistysmenetelmänä. Yleensä niiden kanssa käytettiin vedeneristeitä tai pinnoitteita muun muassa korjauksen pidemmän käyttöiän takaamiseksi.

Tiivistystyön kustannuksia selvittäessä havaittiin, että korjauskohteiden ollessa aina yksilöllisiä niiden erityispiirteet muodostavat väistämättä hintojen vaihteluvälin melko suureksi. Haastattelujen perusteella voitiin kuitenkin arvioida, että tiivistyskorjaus maksoi Etelä-Karjalan ja Pirkanmaan alueilla karkeasti arvioiden arvonlisäverottomana noin 15–25 euroa juoksumetriltä sisältäen materiaalit ja pohjatyöt, kun työn teki osaava urakoitsija ja työtä voitiin toistaa huonetilasta toiseen. Muut tiivistyksen ohella tehtävät työt ja yksittäiset pienet korjauskohteet nostivat juoksumetrijointia jopa moninkertaisesti.

Tiivistyskorjaus on erikoistyötä, joten kustannusten ja laadun kannalta erittäin merkittäväksi tekijäksi nousi pätevän urakoitsijan valinta. Hyvin suunniteltu työnkulku ja osaavat, kokeneet työntekijät mahdollistivat laadukkaasti tehdyt työt ja säästivät näin aikaa ja rahaa.

Asiasanat: ilmatiivyyden parantaminen, tiivistyskorjausten kustannukset, sisäilmakorjaus

Abstract

Elina Niinimäki

Costs of airtightness improvement renovations, 38 pages, 1 appendix

Saimaa University of Applied Sciences

Technology Lappeenranta

Degree Programme in Construction Management

Bachelor's Thesis 2019

Instructors: Ms Leena Jormanainen, Lecturer, Saimaa University of Applied Sciences, Mr Arto Toorikka, Specialist, Vahanen Rakennusfysiikka Oy / Tampere, Ms Laura Hongisto, Head of Unit, Vahanen Rakennusfysiikka Oy/ Lappeenranta

The aim of this thesis was to find out the current costs of airtightness improvement renovations, both at the notional level and using the information of realized renovation costs. In addition airtightness as a term, matters concerned to it and the most common renovation methods were explained.

Contractors, a cost accounting consultant, a subscriber and an engineer with work experience in the role of contracting, consultancy and product manufacturer were interviewed for the thesis. Also the actual cost calculations of the two cases received from the subscriber's representative were compared. Product manufacturers and importers provided information of average prices for sealing products.

Research of the costs of improving airtightness proved to be challenging. For example, there was no Ratu-card of production planning for repair work, so notional costs had to be concentrated on product prices. There were no remarkable price differences between different products, the average price of sealing product in 2019 was about 3–5 euros per lineal meter. By using only a banding tape the lineal meter price could be lower, but based on the interviews, the tape was rarely used as the only sealing method. In general, waterproofing materials or coatings were used with the banding tape to ensure a longer life of the repair.

When calculating the costs of the airtightness improvement renovations, it was found that the targets of renovations are always individual and therefore their specific features will have remarkable affects for the price. Based on the interviews, it could be estimated that the airtightness improvement renovation costs approximately 15–25 euros (VAT-free) per lineal meter in the areas of South Karelia and Pirkanmaa, including materials and priming work. That kind of price requires that the contractor is experienced, and the work could be repeated from room to another. The amount of preparation and other work unrelated to airtightness improvement, and the small size of the renovation target, raised the relative price of linear meter several times.

Airtightness improvement is a special renovation work, so the selection of a qualified contractor became a very important factor in terms of cost and quality. Well-designed workflow and experienced employees enabled high-quality work, and therefore saved time and money.

Keywords: improving airtightness, expenses of airtightness renovation, indoor air quality improvement

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Ilmatiivyyden parantaminen	6
2.1	Rakenteiden ilmatiiviyys	6
2.1.1	Epäpuhtauksien siirtymismekanismit.....	7
2.1.2	Painesuhteet	8
2.2	Ilmatiivyyden parantamiskorjausten syyt.....	12
2.3	Ilmatiivyyden parantaminen	13
2.4	Korjausten onnistuminen ja laadunvarmistus.....	17
3	Yleisimmät tiivistyskorjausmenetelmät ja -materiaalit	20
3.1	Nestemäiset vedeneristystuotteet.....	20
3.2	Pinnoitteet.....	23
3.3	Liitosnauhamenetelmät.....	24
4	Tiivistyskorjausten kustannukset	25
4.1	Nestemäiset vedeneristystuotteet.....	27
4.2	Pinnoitteet.....	27
4.3	Liitosnauhat	28
4.4	Toteutuneiden korjauskohteiden kustannukset.....	29
4.5	Case: kahden luokkahuoneen tiivistyskorjaukset.....	30
5	Yhteenveto.....	32
	Lähteet.....	36

Liitteet

Liite 1 Valikoitujen tiivistystuotteiden materiaalihintoja

1 Johdanto

Rakenteiden sisäpintojen ilmatiiviiden parantaminen eli tiivistyskorjaus on paljon käytetty sisäilmakorjaustapa erityisesti julkisissa rakennuksissa, kuten päiväkodeissa, kouluissa ja terveyskeskuksissa. Tiivistyskorjauksia on käytetty korjaustapana, kun esimerkiksi kunnan kireä taloustilanne ei ole mahdollistanut sisäilmaongelman kohteen peruskorjausta lyhyellä aikavälillä. Ylikorjaaminen ei ole tarkoituksenmukaista ja lisäksi sisäilmaongelmia on havaittu myös verrattain uusissa rakennuksissa, joten aina peruskorjaus tai muu laaja purkaminen ja uudelleen rakentaminen ei ole muutoinkaan järkevää. Huolellisesti tehty tiivistyskorjaus on pitkäikäinen, luotettava ja usein myös järkevä korjaustapavalinta. Esimerkiksi radonin torjunnassa tiivistystä on tehty jo pitkään. Tiivistyskorjaus ei ole automaattinen valinta korjaustavaksi vaan edellyttää aina sisäilmaongelman ja sen syiden ymmärtämistä sekä erillistä suunnittelua. (Laine 2014, 11, 58, 113.)

Tiivistyskorjauksilla pyritään estämään hallitsemattomat ilmavuodot, joita voi tapahtua rakenteiden läpi ja rakenneliittymistä. Ilmavuotojen mukana huoneilmaan voi kulkeutua epäpuhtauksia, jotka voivat heikentää sisäilman laatua ja aiheuttaa oireilua rakennuksen käyttäjissä. (Lahtinen 2018, 26.)

Tiivistyskorjausten työtavoista, eri korjausmenetelmistä ja korjausten onnistumisesta on laadittu useita opinnäytetöitä ja tutkielmia. Tässä opinnäytetyössä aihealue on rajattu sisäpuolisten rakenneliittymien tiivistyskorjauksiin. Työssä käsitellään tiivistyskorjaukset ja niiden onnistumisen edellytykset yleisellä tasolla sekä selvitetään yleisimmät eri korjausmenetelmät. Työn tarkoituksena on selvittää yleisimpien, toimiviksi ja kestäviksi havaittujen korjausmenetelmien kustannuksia niin laskennallisella tasolla materiaalikustannusten kautta kuin toteutuneiden korjauskohteiden kautta. Kustannustietoa varten haastateltiin tiivistyskorjauksia tekeviä urakoitsijoita, joista toisen työpäällikkö halusi pysyä anonyymina muun muassa kilpailutekijöiden vuoksi. Lisäksi haastateltiin valvontaa tekevää tilaajan edustajaa, kustannuslaskentaa tekevää insinööriä sekä insinööriä, jolla on urallaan taustaa niin tiivistystuotevalmistajan, suunnittelu- ja valvontatoimiston kuin urakoitsijankin toimista. Case-korjauskohteiden hintatiedot ovat Lappeenrannan alueelta.

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Vahanen Rakennusfysiikka Oy, jolla on pitkä ja innovatiivinen tausta tiivistyskorjausmenetelmien ja -ohjeiden kehittämisessä, korjaussuunnittelussa, laadunvalvonnassa ja materiaalien testauksessa. Yritys ei tee varsinaisia tiivistyskorjauksia eikä tuota korjauksissa tarvittavia materiaaleja. Yrityksellä ja alalla yleisesti on tarve saada ajantasaista kustannustietoa eri korjaustapojen välillä osana korjaustavan valintaa suunnitteluvaiheessa.

2 Ilmatiiviyden parantaminen

2.1 Rakenteiden ilmatiiviyys

Rakenteen ilmatiiviydellä tarkoitetaan rakenteen kykyä estää haitallinen ilmanvaihtuvuus rakenteen eri kerrosten läpi (Paloniitty 2013). Mikäli rakennus on ilmatiivistetty hyvin, tulee korvausilma suunnitellusti koneellisena tuloilmana, korvausilmaventtiileistä tai raitisilma-aukoista, ei rakenteiden kautta ilmavuotoina. Hyvä ilmatiiviyys estää kosteuskonvektion, vähentää rakennuksen energiankulu- tusta, vaikuttaa ääneneristävyyteen ja estää epäpuhtauksien kulkeutumisen si- säilmaan vuotoilmavirtausten mukana. Lisäksi rakenteiden ilmatiiviydellä on vai- kutusta myös paloturvallisuuteen, sillä tiiviit rakenteet hidastavat savukaasujen leviämistä. Usein esimerkiksi sähkökeskusten läpivientien palokatkot ovat puut- teellisesti toteutettuja, jolloin hyvin tehdyt tiivistyskorjaukset ovat paloturvallisuu- delle eduksi myös tästä näkökulmasta. Lisäksi ilmavuodot voivat aiheuttaa li- sääntynyttä lämmitystarvetta ja vedon tunnetta rakennuksen alaosissa, yllämpö- ongelmia, kosteuden tiivistymistä ikkunoihin ja rakenteiden kosteusvaurioita ra- kennuksen yläosissa sekä meluhaittoja ja ovien toiminnan vaikeutumista. (Laine 2014, 9, 14, 43–44; Jokisalo, Kosonen & Ranta-aho 2016, 55.)

Rakennuksen hyvän ilmatiiviyden lähtökohta on erityisesti vaipparakenteen sisä- pinnat eli rakennuksen sisäkuori. Tiiviyden kannalta merkittäviä rakenneosia ovat liitoskohdat ympäröiviin rakenteisiin, liikuntasaumot ja läpiviennit (Laine 2014, 44). Myös mahdollisilla halkeamilla on merkittävä vaikutus tiiviyteen. Epätiiviyys- kohdat ovat usein seurausta betonirakenteiden kuivumisen aiheuttamasta kutis- tumisesta, maaperän painumisesta tai rakenteiden tai rakenneosien liikkumisesta (Lahtinen 2018, 33).

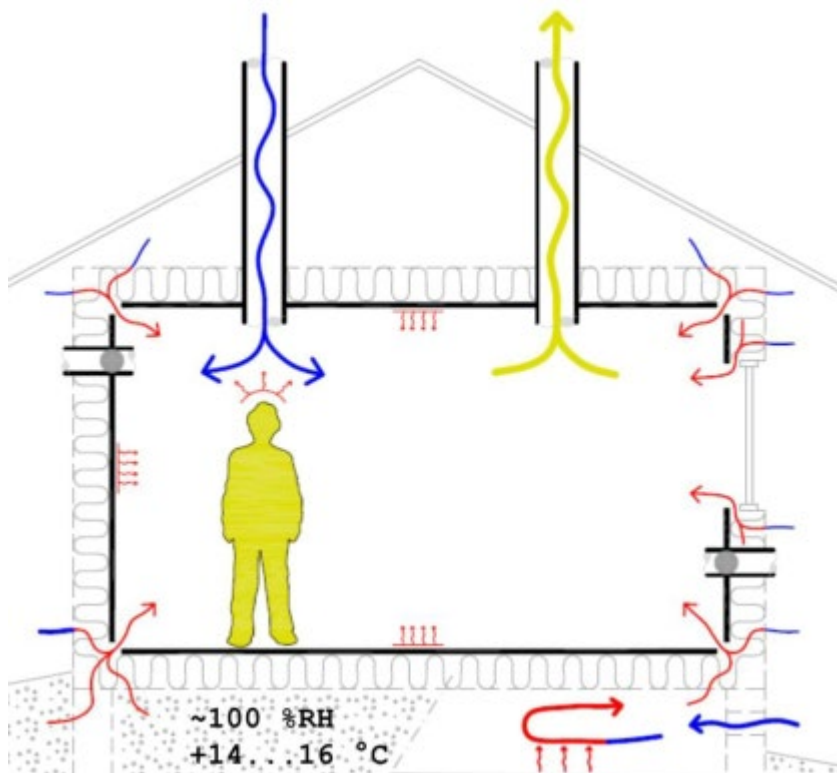
Rakenteiden ilmatiiviyttä käsitellään Ympäristöministeriön uudisrakennuksia koskevassa asetuksessa 1009/2017. Sen mukaan rakennuksen vaipan ja sisärakenteiden ilmanpitävyys ja hormivaikutuksen hallinta on suunniteltava siten, että edellytykset ilmanvaihdon toiminnalle voidaan varmistaa. Suunniteltavilla rakeneratkaisuilla on vältettävä rakenteissa olevien epäpuhtauksien, maaperässä olevien epäpuhtauksien ja radonin siirtymistä sisäilmaan ja vältettävä kosteuden siirtymistä rakenteisiin.

2.1.1 Epäpuhtauksien siirtymismekanismit

Epäpuhtaudet siirtyvät rakenteista sisäilmaan kahdella eri siirtymismekanismissa. Konvektiolla tarkoitetaan epäpuhtauksien kulkeutumista ilmavirtojen mukana. Kosteuskonvektiolla tarkoitetaan puolestaan sitä, että lämpimään sisäilmaan sitoutunut kosteus siirtyy ilmavirtausten mukana ilmavuotokohtien kautta rakenteisiin. Erityisesti kesäaikaan kosteuskonvektio voi tapahtua myös toiseen suuntaan, kun ulkoilmasta siirtyy kosteutta ilmavuotojen mukana kohti sisäilmaltaan jäädytettyä huoneistoa. Kosteuden tiivistyessä viileisiin pintoihin voi tuloksena olla kosteusvaurio, jonka aiheuttamat epäpuhtaudet voivat puolestaan siirtyä ilmavirtojen mukana huoneilmaan. Konvektiovirtaukset voivat siis olla molemminsuuntaisia. (Laine 2014, 43–44.)

Diffuusiossa kaasumaiset epäpuhtaudet siirtyvät, kun ilmassa olevat kaasumolekyylit törmäilevät, jonka vuoksi kaasun pitoisuuserot eli osapaineet pyrkivät tasaantumaa. Näin ollen diffuusio syntyy, kun korkeamman pitoisuuden alueelta siirtyy kaasua matalamman pitoisuuden alueelle. Diffuusiolla siirtyvät epäpuhtaudet ovat esimerkiksi mikrobien aineenvaihduntatuotteita. Tiivistyskorjaukset koskevat yleensä ensisijaisesti konvektion estämistä. Diffuusiolla ei ole suurta merkitystä tämän tyyppisissä korjauksissa, mutta se on huomioitava korjausratkaisua valitessa esimerkiksi pinnan kapseloimisella. (Grönholm 2008, 8–9.)

Kuvassa 1 on esitetty tyypillisiä epäpuhtauksien kulkureittejä rakennuksen sisäilmaan. Punaiset nuolet kuvaavat hallitsemattomia, haitallisia kulkureittejä.



Kuva 1. Epäpuhtauksien siirtymisreitit rakennuksen sisäilmaan (Vahanen Rakennusfysiikka Oy 2018)

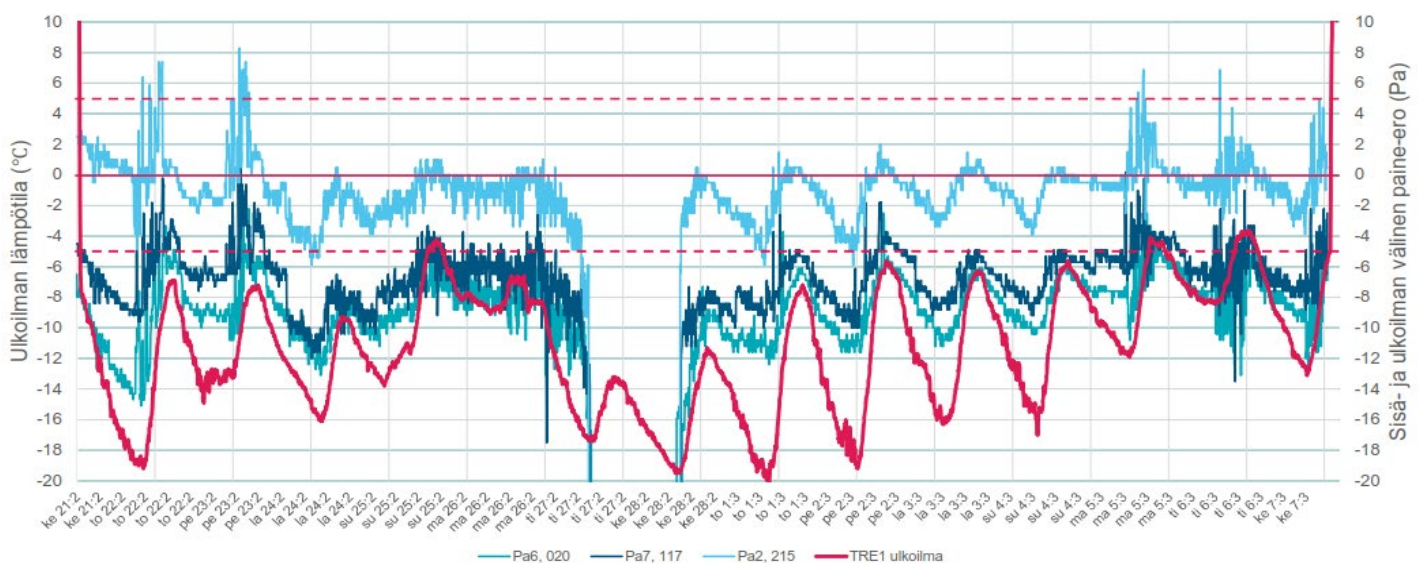
2.1.2 Painesuhteet

Rakenteellisten tiivistysratkaisujen lisäksi rakenteiden toimintaan ilmatiivyyden kannalta vaikuttaa merkittävästi ilman painesuhteet eli ilmanpaine-erot rakennuksen tilojen sekä sisä- ja ulkoilman välillä. Paine-ero pyrkii tasoittumaan suuremman paineen tilasta alhaisemman paineen tilaan. (Lahtinen 2018, 4.) Ilmanpaineen normaaliarvona pidetään 101 325 Pascalia (Yle uutiset 2014). Rakennusten paine-erot ovat yleensä normaaliarvoon verraten melko pieniä lukemia, noin 0–50 Pascalia. Epäpuhtauksien kulkeutumisen kannalta niillä on kuitenkin merkittävä vaikutus. (Sisäilmayhdistys ry 2019b.)

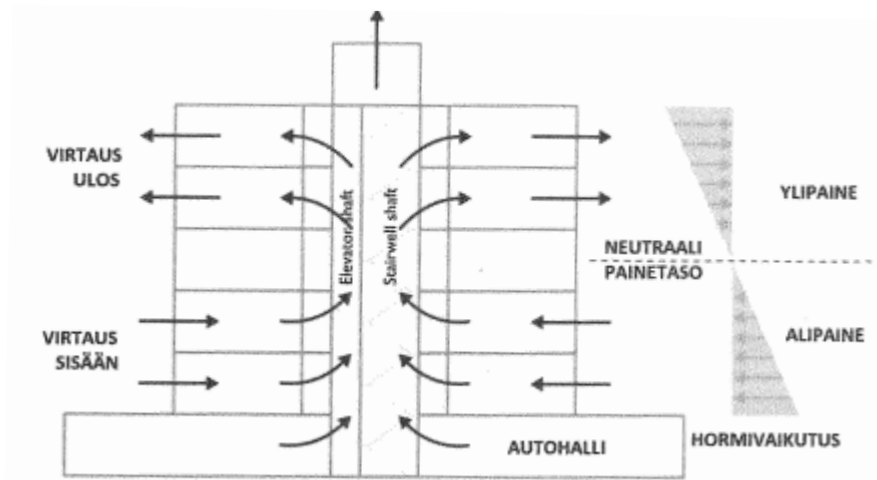
Paine-eron tasoittumispyrkimykset aiheuttavat sen, että ilma virtaa huoneesta toiseen, rakenteesta sisälle tai ulos, kerroksesta toiseen ja niin edelleen. Painesuhteet määräytyvät tilojen käytön, hormivaikutuksen, ilmanvaihdon ja tuulen yhteisvaikutuksesta. Näiden muuttujien vuoksi rakennus ei ole koskaan jossakin tietyssä tasaisessa paine-erossa. (Laine 2014, 41.)

Tuulen merkitys korostuu korkeissa rakennuksissa. Tuulenpuoleiselle seinälle muodostuu usein alipaine, jolloin ilma virtaa ulkoa sisäänpäin, ja vastaavasti taas tuulensuojanpuoleisella seinällä on ylipaine, jolloin ilmavirta kulkee sisältä ulospäin. Tuulen vaikutus paine-eroihin voi olla jopa yli 100 Pa, eikä sitä voi hallita pelkästään ilmanvaihdolla. Rakennusvaipan ilmatiivyydellä voidaan vähentää tuulenpaineesta johtuvia hallitsemattomia ilmavirtoja rakenteiden läpi. (Laine 2014, 36–37.)

Savupiippu- eli hormivaikutuksella tarkoitetaan ulko- ja sisälämpötilan eron aiheuttamaa termistä paine-eroa. Se korostuu talvella, jolloin lämpötilaero on suurimmillaan, ja erityisesti korkeissa huonetiloissa tai korkeissa rakennuksissa. Hormivaikutuksen vuoksi rakennuksen alaosat saattavat olla alipaineisia ja yläosat ylipaineisia ulkoilmaan verraten. Kuvaajassa 1 on noin kahden viikon mittaisen, helmi-maaliskuun vaihteessa eräässä kolmikerroksisessa rakennuksessa toteutetun paine-eroseurannan tulokset. Kuvaajasta käy hyvin ilmi vaihtelevan ulkolämpötilan vaikutukset paine-eroon sekä kerrosten väliset erot. Kuvassa 2 on havainnollistettu hormivaikutuksen toimintaperiaatetta korkeassa rakennuksessa. Tällaisessa tilanteessa paine-erot voivat aiheuttaa suuriakin ilmavuotoja sekä ulkovaipan että sisärakenteiden läpi. Tutkimustulosten mukaan rakennuksen ulkovaipan ja sisärakenteiden tiivyydellä on merkittävin vaikutus hormivaikutuksen aiheuttamiin vuotoilmavirtoihin. (Jokisalo ym. 2016, 55.)



Kuvaaja 1. Hormivaikutus: ulkolämpötilan vaikutus paine-eroihin kolmikerroksisessa rakennuksessa (Vahanen Rakennusfysiikka Oy 2018)



Kuva 2. Hormivaikutus korkeassa rakennuksessa (Jokisalo ym. 2016, 56)

Myös ilmanvaihtojärjestelmällä on merkittävä vaikutus painesuhteisiin. Ympäristöministeriön asetuksen 1009/2017 mukaan rakennuksen ilmanvaihto tulee suunnitella siten, ettei rakenteisiin aiheudu ylipaineen vuoksi rakenteita vaurioittavaa pitkäaikaista kosteusrasitusta eikä alipaineen vuoksi epäpuhtauksien siirtymistä sisäilmaan.

Rakennuksessa voi olla koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto, koneellinen poistoilmanvaihto, painovoimainen ilmanvaihto tai yhdistelmä painovoimaisesta ja koneellisesta ilmanvaihdosta. Ilmanvaihtojärjestelmä pyritään säätämään yleisimmin niin, että sisäilman paine-ero ulkoilmaan nähden on lähellä nollaa eli tasapainoa, hieman alipaineinen. Ennen vuotta 2016 Suomen rakentamismääräyskokoelman osio D2 suositti suunnittelemaan rakennukset yleisesti hieman alipaineisiksi. Huonetiloja ei yleensä ole järkevää ylipaineistaa, koska ylipaineisesta tilasta absoluuttiselta kosteussisällöltään ulkoilmaa suurempi sisäilma vie siirtyessään kosteutta vaipan epätiiviyskohtien kautta rakenteisiin lisäten kosteusvaurioriskiä. (Laine 2014, 38–40.) Pienestä ylipaineisuudesta ei kuitenkaan viime aikaisen tutkimustulosten perusteella ole haittaa. Aalto-yliopiston tutkimuksessa pienehkö ylipaineisuus ei aiheuttanut rakenteille kosteusrasitusta sisäilman kosteuslisän ollessa pieni. (Jerkku, Kurnitski, Mattila & Vornanen-Winqvist 2018, 345.)

Koneellisen ilmanvaihdon vaikutus paine-eroihin riippuu ilmanvaihtoventtiilien määrästä ja sijainnista, rakennuksen vaipan tiiveydestä ja ilmanvaihtojärjestelmän tehosta ja säädöistä (Laine 2014, 39). Pääperiaatteena on, että tuloilmanvaihtokoneet tuovat tiloihin ulkoilmaa ja poistoilmanvaihtokoneet vievät likaista ilmaa ulos. Koneellisen ilmanvaihdon säädöillä on mahdollista saada suunnitellut paine-erot ja sen avulla rakennuksen ilmavirtojen hallitseminen on helpointa ja varmintä. Uudisrakennuksiin asennetaan lähes poikkeuksetta koneellinen ilmanvaihto. (Lahtinen 2018, 12–14.)

Kuvaajassa 2 on kesällä 2018 eräässä kohteessa tehdyn noin kahden viikon mittaisen paine-eroseurannan tulokset. Kuvaajasta huomaa hyvin koneellisen ilmanvaihdon vaikutukset; ilmanvaihdon ollessa ilta- ja yöaikaan pois päältä, on mitattu huonetila voimakkaasti alipaineinen ulkoilmaan nähden. Ilmanvaihdon toimiessa paine-ero on hyvin lähellä tasapainoa.



Kuvaaja 2. Ilmanvaihdon aiheuttamat paine-eron vaihtelut (Vahanen Rakennusfysiikka Oy 2018)

Painovoimainen ilmanvaihto perustuu hormivaikutukseen ja siihen vaikuttaa sisä- ja ulkolämpötilan erot sekä tuuli. Painovoimainen ilmanvaihto on tehokkaimmillaan talvisaikaan sisä- ja ulkoilman lämpötilaeron ollessa suuri. (Laine 2014, 38–40.) Kesällä painovoimainen ilmanvaihto toimii huonosti tai jopa väärin, koska luonnolliset paine-erot ovat lähellä tasapainotilannetta (Lahtinen 2018, 1).

Tilojen käyttö vaikuttaa painesuhteisiin, sillä esimerkiksi ikkunaa tai ovea auki pitäen saadaan ilmanpaine tasaantumaan. Toisaalta tällöin tuulen vaikutus voi ai-

heuttaa suuriakin paine-eroja. Rakennusten ilmanvaihto pyritään suunnittelemaan niin, että niin sanotuista likaisista tiloista, esimerkiksi wc-tiloista, ei tulisi haitallisia ilmavirtauksia puhtaampiin tiloihin. Likaisiin tiloihin sijoitetaan yleensä poistoilmaventtiilit ja puhtaisiin, esimerkiksi oleskelutiloihin, tuloilmaventtiilit. (Lahtinen 2018, 11.)

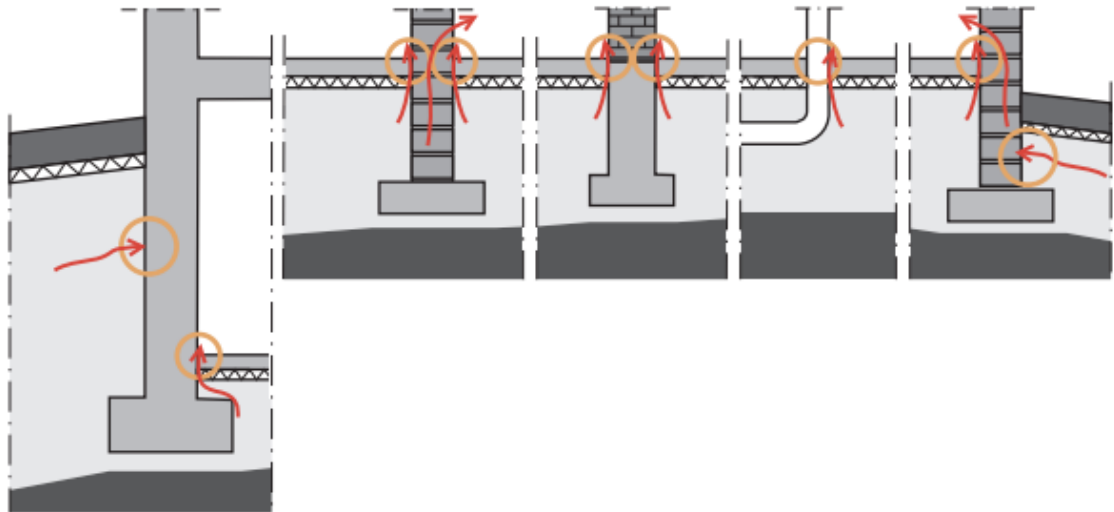
2.2 Ilmatiivyyden parantamiskorjausten syyt

Rakenteiden ilmatiivyydellä on merkittävä vaikutus rakennuksen hyvään sisäilmaan. Mikäli rakennuksessa tai rakenteissa on esimerkiksi mikrobiperäisiä epäpuhtauksia, mineraalivillakuituja, kuitumaisia haitta-aineita ja VOC- tai PAH-yhdisteitä, voivat nämä kulkeutua hallitsemattomien ilmavirtojen mukana rakennuksen sisäilmaan. (RT 14-11197, 1.) Lisäksi myös niin kutsutuissa terveissä rakennuksissa ulkoilman pienhiukkaset ja esimerkiksi siitepöly voivat aiheuttaa oireilua sisäilmaan kulkeutuessaan. Epäpuhtaudet rakenteissa eivät automaattisesti aiheuta ongelmia. Esimerkiksi ulkoseinärakenteissa on aina jonkin verran epäpuhtauksia, koska rakenteeseen kulkeutuu ilmavirtojen mukana ulkoilman mikrobeja. (Vahanan Rakennusfysiikka Oy 2018.)

Sisäilmayhdistys ry:n (2019a) mukaan sisäilmaan päästessään epäpuhtaudet voivat mahdollisesti aiheuttaa rakennuksen käyttäjillä erilaista ja eriasteista oireilua, esimerkiksi silmien, nenän ja kurkun ärsytystä, hengitystieinfektioita, päänsärkyä, nuhaa tai muuta vastaavaa. Teolliset mineraalikuidut aiheuttavat tyypillisesti esimerkiksi silmien ja hengitysteiden ärsytystä.

Ilmavirtojen mukana maanvastaisten rakenteiden epätiiveyskohdista voi sisäilmaan kulkeutua maaperän radonia. Radon on kallio- ja maaperässä olevan uraanin hajoamisessa syntyvä hajuton ja näkymätön kaasu. Keuhkoihin päästessään sen säteilyannos aiheuttaa keuhkosityöpäriskin kasvua. (Halsas, Hokkanen, Koponen & Markkanen 2018, 339.) Ohjeistusta radonin torjuntaan ja korjausratkaisuihin on RT-kortissa 81-11099 Radonin torjunta. RT-kortin mukaan on ensisijaisen tärkeää estää radonpitoisen ilman pääsy sisätiloihin rakenteiden tiivistämisellä. Samalla on mahdollista estää muutkin maaperästä ja alapohjarakenteiden alta ilmavirtausten mukana tulevat sisäilmaa saastuttavat epäpuhtaudet. Radonin

torjunnassa rakenteita tiivistämällä ensisijaisen tärkeää on tiivistystyön huolellisuus, jossa kaikki ilmavirtausreitit on tukittu kokonaan (Laine 2014, 11). Kuvassa 3 on esimerkkejä alapohjan ja perusrakenteiden kohdista, jotka on tiivistettävä erityisellä huolella, jotta tiivistykset toimivat radonin torjunnassa.



Kuva 3. Esimerkkejä huolellista tiivistämistä vaativista ilmavuotoreiteistä maanvaraisessa lattiassa (RT 14-11197, 13)

Rakenteiden ilmatiivyyden parantamiskorjaus valitaan korjaustavaksi usein silloin, kun epäpuhtauksien lähde sijaitsee rakenteissa tai maaperässä. Teoreettisessa esimerkkirakennuksessa betonisandwich-elementin välissä oleva mineraalivilla pääsee ajoittain kostumaan ilmankosteiden ja viistosateiden vaikutuksesta. Ilmiö on jatkuva, joten villojen uusiminen olisi paitsi kallista, myös mahdollisesti turhaa, koska kostuminen ja sen myötä mahdollisen mikrobikasvun uusiutuminen uusissa villoissa olisi todennäköistä. (Grönholm 2008, 9.) Yleisohje kuitenkin on, että sisäilmaan yhteydessä olevat selvästi vaurioituneet materiaalit vaihdetaan tai kunnostetaan. Epäpuhtauksien sijainnin, määrän ja ominaisuuksien perusteella päätetään, määritelläänkö epäpuhtaudet vaurioiksi ja huonontavatko ne sisäilmaa merkittävästi. (Laine 2014, 59.)

2.3 Ilmatiivyyden parantaminen

Ilmatiivyyden parantamiskorjauksessa eli tiivistyskorjauksessa rakennuksen sisävaippa tehdään mahdollisimman tiiviiksi, jotta rakenteen sisällä olevat epäpuh-

taudet eivät pääse ilmavuotojen kautta sisäilmaan (Lahtinen 2018, 26). Tiivistyskorjauksilla ei siis esimerkiksi sisäilmakorjausten yhteydessä poisteta varsinaista ongelman aiheuttajaa, vaan suljetaan epäpuhtauksien ilmareitit, jotta sisäilma ei saastu epäpuhtauksien vaikutuksesta.

Tiivistyskorjauksilla estetään epäpuhtauksien siirtyminen erityisesti konvektiovirtausten mukana. Näin ollen se ei ole sama asia kuin kapselointi, jossa epäpuhtauksien kulkeutuminen sekä konvektion että diffuusion kautta estetään. (Grönholm 2008, 4.)

Lahtisen diplomityön (2018, 26) mukaan tiivistyskorjauksia on tehty radonin torjunnassa 1980-luvulta alkaen ja muiden sisäilmaongelmien ratkaisemiseksi 1990-luvulta alkaen. Eniten korjauksia on tehty 1960–1980-luvuilla valmistuneisiin rakennuksiin. Erityisesti julkishallinnon rakennuksissa tiivistyskorjaukset ovat melko usein käytetty korjaustapa. Lahtisen mukaan viidesosaan kouluista oli tehty tiivistyskorjauksia vuoteen 2017 mennessä.

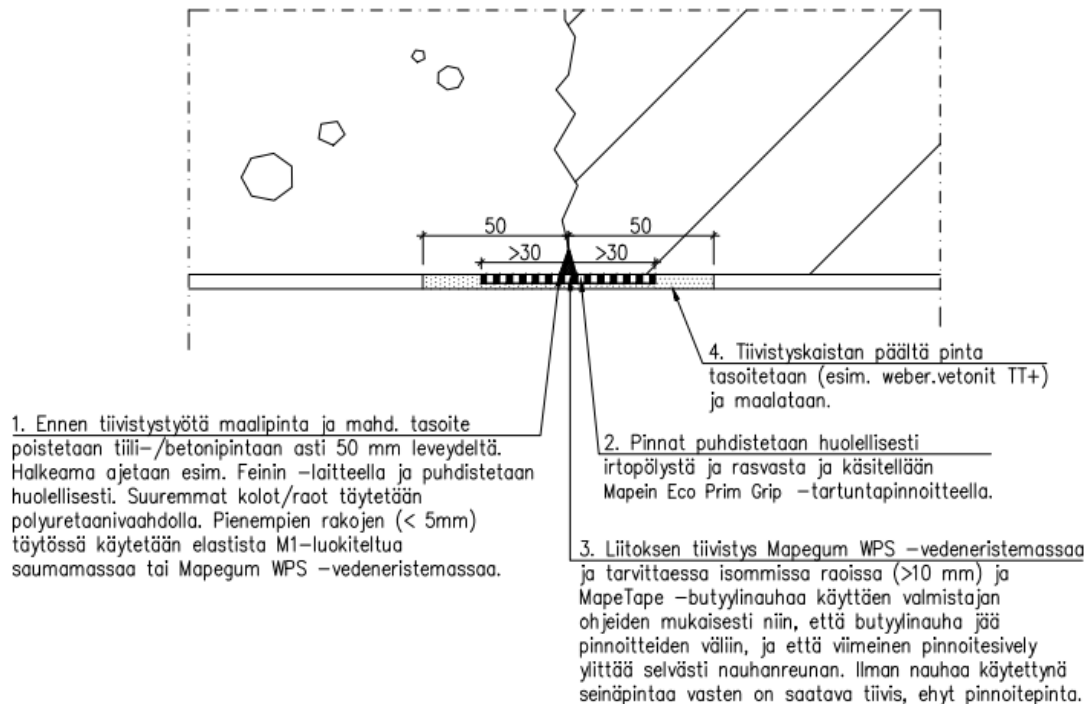
Tiivistyskorjausten suunnittelua edeltää korjaustarveselvitys, esimerkiksi kuntotutkimus. Kuntotutkimuksessa selvitetään sisäilmaongelmien syyt, vauriot ja niiden laajuus sekä todelliset korjaustarpeet ja vaihtoehtoiset korjaustavat etuineen ja riskeineen. Korjaustarveselvitys on korjaussuunnittelun oleellinen lähtötieto. Puutteellisilla lähtötiedoilla suunniteltu korjaus luo riskejä niin laadun, saavutettavan hyödyn kuin korjaushankkeen kustannustenkin suhteen. (Laine 2014, 54–58.)

Tiivistyskorjaus vaatii aina erilliset, kohdekohtaiset ja asiantuntijan laatimat korjaussuunnitelmat, joita ei tule suoraan soveltaa muihin kohteisiin. Suunnittelu vaatii rakennusfysikaalista ymmärrystä, sillä rakennuksen lämpö- ja kosteustekninen toimivuus voi muuttua korjausten myötä. (Laine 2014, 58.) Väärin tehty tai suunniteltu tiivistyskorjaus voi pahimmillaan heikentää rakenteen rakennusfysikaalista toimintaa ja huonontaa sisäilman laatua (Lahtinen 2018, 27).

Tiivistyskorjausten suunnitelmat koostuvat piirustuksista, detaljitason piirustuksista ja työselostuksesta. Suunnitelmissa esitetään tiivistystä edeltävien purkutöiden laajuus ja alustan valmistelu sekä rakennekohtaisesti valittu toteutustapa

ja materiaalit. Lisäksi suunnitelmissa määritellään mallityöt ja muut laadunvarmistustoimenpiteet. (Laine 2014, 59–60.) Kuvassa 4 on esimerkki detaljitason tiivistyskorjaussuunnitelmasta ulkoseinähälkeämien tiivistämiseen.

ULKOSEINÄHALKEAMIEN TIIVISTYSKORJAUS (1:2)



Kuva 4. Esimerkki detaljitason tiivistyskorjaussuunnitelmasta (Vahanan Rakennusfysiikka Oy 2019)

Tiivistyskorjaukset tehdään rakennusvaipan sisäkuoreen eli lämmöneristeen sisäpuolella olevaan yhtenäiseen ilmatiiviiseen rakennekerrokseen. Yleensä levyrakenteissa se on höyrynsulku ja betonirakenteissa betoninen sisäkuori. (Lahtinen 2018, 26.) Betonirakenteissa tiivistettäviä kohtia ovat yleensä alapohja-, yläpohja- ja välipohjarakenteiden liitoskohdat, ikkunan ja ulkoseinän liitoskohdat, mahdolliset halkeamat sekä läpiviennit ja esimerkiksi lämmityspattereiden kiinnikkeet. Jos betoni on heikkolaatuista, voi olla syytä tiivistää kokonaisia seinä-, katto- ja lattiapintoja. Kokonaisia seinäpinnan tiivistyksiä tehdään usein myös tiilikuorimuriin. Tiivistyskorjaus edellyttää yleensä aina pintamateriaalien poistamista ja alustan kunnollista valmistelua (Kuva 5), jotta korjauksesta saadaan onnistunut. (Laine 2014, 59, 84–85.)



Kuva 5. Tiivistyskorjaus edellyttää yleensä pintamateriaalien poistoa (Vahanen Rakennusfysiikka Oy 2017)

Rakennusvaipan ilmatiiviyden parantamisen tavoitteena on usein ensisijaisesti estää epäpuhtauksien kulkeutuminen sisäilmaan ja siten ehkäistä niistä aiheutuvia terveyshaittoja. Tiivistyskorjauksilla tavoitellaan myös kosteuskonvektion estämistä, sillä kosteuden virtaus vaipparakenteeseen vähenee sisäpintojen tiivistyksen myötä. Tiiviillä sisäpinnoilla voidaan lisäksi estää terveyshaittaa aiheuttavan olosuhteen syntyminen; kosteuden tiivistyminen viileisiin pintoihin voi aiheuttaa kosteusvaurion, ja vuotava lämpö yhdistettynä kosteuteen mahdollistaa mikrobikasvun. (Laine 2014, 43–45.)

Edellä mainittujen tavoitteiden lisäksi tiivistyskorjauksilla pyritään minimoimaan energiankulutusta. Vuotoilman vähentäminen on merkittävimpiä ja edullisimpia keinoja energiankulutuksen pienentämiseen. Tilojen käytöllä on kuitenkin energiansäästämisessä merkittävä vaikutus; esimerkiksi ikkunan kautta tuulettaminen voi kasvattaa lämmitysenergian tarvetta paljon, vaikka rakennus olisi muutoin erittäin hyvin ilmanpitävä. Onnistunut tiivistyskorjaus voi energiansäästön lisäksi lisätä yleistä asumisviihtyvyyttä, sillä ilmaääneneristävyys paranee, sisäpintojen lämpötilat kohoavat ja vedontunne vähenee. (Laine 2014, 42–45.)

2.4 Korjausten onnistuminen ja laadunvarmistus

Rakenteiden tiivistäminen vaatii työntekijältä erikoisosaamista. Hakamäki on vuoden 2015 diplomityössään selvittänyt tiivistyskorjausten pitkäaikaiskestävyyttä. Tutkimusta tehdessä havaittiin, että lähes kaikkien tutkittujen kohteiden työn toteutuksessa oli merkittäviä puutteita. Tyypillisin työvirhe oli huolimattomuus ja alustan väärin tehty esikäsittely. Haitallisia ilmavuotoja ei voi estää rakenteita vain osin tiivistämällä, joten työ edellyttää erityistä huolellisuutta. Oikein tehdyt korjaukset olivat tutkimushetkellä 1–4 vuotta vanhoja ja tiiviisti ja lujasti kiinni alustassaan. Tutkimuksessa ei havaittu syytä, miksi kolme vuotta kestänyt hyvin tehty tiivistys ei kestäisi myös jatkossa. (Hakamäki 2015, 423–428.)

Koska korjaustyöt vaativat tekijältään erityistä huolellisuutta, korostuu valvonnan ja laadunvarmistuksen merkitys. Ennen laajoja korjaustöitä on syytä teettää kohteessa mallityökorjaus. Mallikorjauksen ilmanpitävyys tarkastetaan ja tarvittaessa työntekijöitä voidaan ohjeistaa tiivistystuotteiden käytössä. Hyväksytyt mallityöt toimii muiden tiivistettävien tilojen esimerkkinä ja verrokkina. (Lahtinen 2018, 37.)

Rakenteiden ilmatiiviyttä voidaan testata merkkiainetekniikalla. Siinä rakenteeseen poratusta, tiivistetystä reiästä lasketaan merkkiaineikaasua tarkasteltavan rakenteen sisälle (Kuva 6). Merkkiaineikaasu pyrkii kulkeutumaan ilmavuotoreittejä pitkin huonetilaan, ja merkkiaineanalyysointorilla voidaan havaita nämä vuotokohdat. Merkkiainekokeita tehdään tyypillisesti ennen korjauksia esimerkiksi osana kuntotutkimusta, tiivistyskorjausten yhteydessä laadunvarmistuksessa sekä myöhemmin korjausten pitkäaikaiskestävyyttä tarkastellessa. (Laine 2014, 55.)



Kuva 6. Alapohjarakenteeseen lasketaan merkkiainekaasua tiivistyskorjausten laadunvalvontaa varten (Vahanen Rakennusfysiikka Oy 2017)

Merkkiainekokeiden tekeminen on ohjeistettu RT-kortissa 14-11197 Rakenteiden ilmatiiveyden tarkastelu merkkiainekokein. Kortin mukaan merkkiainekoe edellyttää riittävää paine-eroa, jotta ilmavirtauksia ja siten havaintoja ilmavuotokohdista voidaan tehdä. Tarvittaessa tutkittava tila voidaan alipaineistaa.

Korjaussuunnittelijan tulee asettaa tiivistyskorjauksille tavoitetaso sen mukaan, mitä tiiviiden parantamisella tavoitellaan. Jos esimerkiksi rakenteissa on selkeitä mikrobivaurioita ja tavoitellaan mikrobien sisäilmaan pääsyn estämistä, on tavoitetaso oltava tiukka eli vähäisiäkin ilmavuotoja ei voida sallia. Energian säästön ollessa tavoitteena riittää väljempi tavoitetaso. Tavoitetasoihin käytetään kolme tasomääritelmää; täysin tiiviissä tavoitetasossa vuotoja ei sallita. Merkittävässä tiiviiden parantamisessa vähäiset vuodot sallitaan tilan ollessa alipaineistettuna -10 Pa. Jos tavoitetasona on tiiviiden parantaminen, ei merkittäviä vuotoja saa olla tilan ollessa alipaineistettuna -10 Pa, ja enintään vähäiset vuodot sallitaan käyttötilanteessa (ilmanvaihto tasapainotettuna alle -5 Pa). (RT 14-11197, 1–2.)

Korjausten onnistumisen kannalta tärkeää on myös huolellisuus ja osaaminen viimeistelytyöissä. Tiivistetyn pinnan läpi ei saa porata reikiä eikä esimerkiksi naukata jalkalistoja (Mononen 2019). Myös esimerkiksi uuden muovimaton asentamisessa täytyy olla tarkkana, sillä seinällenostossa nurkkaan paikalla tehty viilto voi rikkoa tiivistyskaistan ja saavutettu ilmatiiviys menetetään (Kuva 7).



Kuva 7. Muovimaton nurkan asentamiseksi tehty viilto on rikkonut tehdyn tiivistyskaistan (Vahanen Rakennusfysiikka Oy 2017)

Oleellinen osa tiivistyskorjausten onnistumisesta on ilmanvaihdon säätäminen korjausten jälkeen. Rakenteiden tiivistyessä tilojen painesuhteet muuttuvat, joten ilmanvaihto täytyy tasapainottaa vastaamaan muutoksia. Valitettavan usein ilmanvaihdon korjausten jälkeinen säätö jää tekemättä. Tällöin tehdyillä korjauksilla ei välttämättä saavuteta niiden teoreettista hyötyä. (Lahtinen 2018, 13.)

Ilmanvaihdon säätämisen lisäksi voi toisinaan olla tarpeen tehdä myös muita rakenteellisia tai taloteknisiä ratkaisuja paine-erojen hallitsemiseksi. Esimerkiksi korkeassa rakennuksessa porrashuoneen osastointi omalla ilmatiiviillä eteistilalla vähentää tehokkaasti hormivaikutusta. Samoin esimerkiksi kuilujen jäähdytys

pienentää termistä paine-eroa ja siten hormivaikutuksen aiheuttamia vuotoilma-
virtoja. (Jokisalo ym. 2016, 55, 60.)

3 Yleisimmät tiivistyskorjausmenetelmät ja -materiaalit

Tiivistyskorjausmenetelmän ja -materiaalit valitsee korjaussuunnittelija. Menetel-
mävalintaan vaikuttaa tiivistettävien rakenteiden lisäksi myös se, mitä korjauksilta
halutaan. Mikäli korjauksilla halutaan esimerkiksi lisätä rakennuksen käyttöikää
muutamilla vuosilla ennen varsinaista peruskorjausta, voi valinta kohdistua hie-
man edullisempaan, mutta pitkäaikaiskestävyydeltään toista vaihtoehtoa heikom-
paan korjaustapaan. Ylikorjaaminen ei ole järkevää ja kustannustehokasta ilma-
tiivyskorjauksissakaan. Oikean korjausmenetelmän valinta edellyttää taustatie-
tojen ja valintojen lisäksi rakennuksen riittävää tutkimusta. (Hynninen 2019.)

Korjausmenetelmät voidaan jakaa nestemäisten vedeneristystuotteiden tai pin-
noitteiden käyttöön sekä liitosnauhamenetelmiin. Kaikkia menetelmiä yhdistää
se, että tiivistystä edeltävät pohjatyöt on tehtävä huolella, jotta materiaalit saa-
daan tarttumaan alustaansa riittävän hyvin (Grönholm 2008, 14). Suunnittelija ja
materiaalivalmistajat antavat ohjeet tarvittaville pohjatöille, mutta yleisesti tiivis-
tettävästä rakenteesta poistetaan pintamateriaalit, maalit ja tasoitteet lujaan pin-
taan saakka. Tämän jälkeen pintapöly poistetaan huolellisella imuroinnilla, ja teh-
dään mahdollisesti tarvittavat oikaisut ja täytöt. Tiivistysalue voi olla tarpeen kä-
sitellä pohjustusaineella ennen varsinaista tiivistystyötä, tässäkin tulee seurata
suunnitelmia ja materiaalivalmistajan ohjeita. (Weber 2018.)

Tiivistyskorjauksissa käytetään käyttötarkoitukseensa testattuja, elastisia, pitkä-
aikaiskestäviä ja hyvän silloituskyvyn omaavia tuotteita. On järkevää käyttää sa-
man tuoteperheen tuotteita, jolloin niiden yhteensopiminen on testattu. Yleensä
käytetään M1-luokiteltuja tuotteita. M1-luokittelu tarkoittaa sitä, että tuote on tes-
tattu turvalliseksi ja emissioiltaan vähäpäästöiseksi. (Laine 2014, 46–47.)

3.1 Nestemäiset vedeneristystuotteet

Nestemäisinä levitettäviä vedeneristystuotteita käytetään tiivistyskorjauksissa
yleensä vahvikenauhan kanssa, mutta tuotteesta ja tiivistettävästä rakenteesta

riippuen pelkkä vedeneristemassakin voi olla riittävä. Vahvikenauhan etuna on sen sietokyky rakenteiden pieniin liikkeisiin, joten sen ja vedeneristemassan yhdistelmä luo usein hyvän kestävyuden. (Laine 2014, 48.)

Vedeneristeitä on yksikomponenttisia, jotka ovat sellaisenaan käyttövalmiita, sekä kaksikomponenttisia, jotka sekoitetaan työmaalla. Vedeneristystuotteita käytetään yleisimmin rakenneliitosten tiivistämiseen. Erityisesti tuotteita käytetään alapohjan ja ulkoseinän liitokseen, joka on tavallisin tiivistettävä rakenneliitos. Lisäksi niitä käytetään usein muun muassa ikkunan- ja ulkoseinän liitokseen, joka on myös hyvin yleinen tiivistettävä rakenneliitos. (Lahtinen 2018, 35–36.)

Yksikomponenttisia vedeneristystuotteita voidaan käyttää sellaisissa kohteissa, jotka ovat kuivia ja joissa ei tapahdu suurta rakenteiden elämistä. Tuotetta on yleensä levitettävä yli kaksi millimetriä, joten se on syytä tehdä vähintään kahdessa kerroksessa halkeiluvaaran vuoksi. Yksikomponenttisen tuotteen käyttö edellyttää aina esikäsitellyaineen käyttöä, joka vie hieman sen etua helpommasta työstöstä. Yksikomponenttinen vedeneristetuote sopii parhaiten seinä-lattialiittymien tiivistämiseen. (Lahtinen 2018, 28–29.)

Kuvassa 8 on yksikomponenttisella vedeneristeellä ja vahvikenauhalla tiivistetty ikkuna-ulkoseinäliittymä. Huomionarvoista on, että vedeneriste on tiivistymisen varmistamiseksi sivelty myös ikkunan karmin sisäpinnalle vahvikenauhan päälle. Toisinaan riittää, että vahvikenauha on työstetty karmiin kiinni ainoastaan sen omalla tarra-tartunnalla. Lisäksi kuvan kohteessa myös ikkunakarmin kulmaliitoksen raot on tukittu elastisella massalla. Huomiot on korostettu kuvaan nuolilla.



Kuva 8. Ikkuna-ulkoseinäliittymän tiivistys, jossa karmin kulmaliitos on tiivistetty elastisella massalla ja vedeneriste sivelty myös karmin sisäpinnalle (Vahanen Rakennusfysiikka Oy 2017)

Kaksikomponenttiset vedeneristeet sopivat kaikkeen tiivistämiseen, mutta ne ovat hieman yksikomponenttisiä tuotteita kalliimpia (Lahtinen 2018, 29). Ne ovat kuitenkin kestävyydeltään hyväksi havaittuja ja paljon käytettyjä erityisesti silloin, kun tiivistettävää alaa on määrällisesti paljon. Kaksikomponenttisten tuotteiden käytössä on oltava tarkkana, sillä työvirheet materiaaleja sekoittaessa ovat mahdollisia. (Hynninen 2019.)

Vedeneristystuotteiden kanssa käytettävät vahvikenauhat ovat materiaaliltaan esimerkiksi butyyliä tai polypropyleeniä, osa niistä on kaasutiiviitä. Suoran nauhan lisäksi valmistajilla on usein erillisiä sisä- ja ulkokulma- sekä läpivientikappaleita. (Weber 2018; Betton Oy 2019a.)

Yleisesti vahvikenauhan ja vedeneristeen avulla tiivistettävän rakenteen tiivistystyö tehdään siten, että pohjatöiden jälkeen tiivistettävälle alueelle levitetään vedeneristemassa, johon painetaan vahvikenauha. Vahvikenauhan päälle ja sen reunojen yli levitetään uusi kerros vedeneristemassaa. Kuvassa 9 on esitetty graafisesti vedeneristemassan ja vahvikenauhan käyttötapa lattia-seinäliittymän tiivistämisessä. (Weber 2018.)



Kuva 9. Periaatekuva vedeneristeen ja vahvikenauhan asennuksesta lattia-seinäliittymän tiivistyksessä (Weber 2018)

3.2 Pinnoitteet

Pinnoitteita käytetään tiivistyskorjauksissa samalla tavoin kuin vedeneristemassojakin, eli tarvittaessa käytetystä tuotteesta riippuen ja erityisesti rakenneliittymissä käytetään vahvikenauhaa. Pinnoitteita käytetään myös nimensä mukaisesti pintojen tiivistämiseen, eli niillä voidaan käsitellä rakenne itse eli esimerkiksi seinäpinta. Pinnoite on mahdollista jättää sellaisenaan valmiiksi pintamateriaaliksi. (Betton Oy 2019a; TKR 2019a.)

Pinnoitteita on vedeneristeiden tapaan yksi- ja kaksikomponenttisiä. Jotkin tuotteet on mahdollista levittää suoraan puhdistetulle tiivistettävälle pinnalle. Yleensä kuitenkin käytetään pohjustinta hyvän tartunnan varmistamiseksi. Jotkin markkinoilla olevista tuotteista voidaan levittää ruiskulla, mutta suurin osa on telalla tai siveltimellä levitettäviä (Kuva 10). (Betton 2019a.) Kokemuksien mukaan siveltävät tuotteet ovat käytetympiä, koska ruiskutettuna pinnoitteen kalvopaksuudesta ei usein tule riittävä, ja tiivistettävä pinta joudutaan käsittelemään kuitenkin telalla tai siveltimellä. Jotkin pinnoitteet jättävät myös hieman tahmean, pölyä ja likaa keräävän pinnan, jonka vuoksi niitä ei usein jätetä nimestään huolimatta viimeiseksi pinnaksi, vaan pinta voidaan esimerkiksi maalata. (Sallinen 2019.)



Kuva 10. Siveltävällä pinnoitteella ja vahvikenauhalla tiivistetyt läpiviennit (Vahanen Rakennusfysiikka Oy 2016)

Markkinoilla on kaksikomponenttisia tuotteita, joiden kanssa ei käytetä vahvikenauhaa. Tällöin pinnoitetta sivellään yleensä kolme kerrosta, jotta riittävä kalvopaksuus saavutetaan. Eri kerrokset on hyvä värjätä, jotta riittävän kerrospaksuuden havainnointi työtä tehdessä helpottuu. (Hynninen 2019.)

3.3 Liitosnauhamenetelmät

Liitosnauha- eli teippimenetelmät sopivat tiivistyskorjauksissa esimerkiksi höyrynsulkukalvojen liitosten ja ikkunaliitosten tiivistämiseen. Kuvassa 11 on korjauskohde, jossa höyrynsulkukalvon ja ikkunan karmin liitos on tiivistetty liitosnauhalla. Selkeiden suorien kohtien tiivistämisessä liitosnauhamenetelmät ovat käytökelpoisia, mutta esimerkiksi nurkat voivat olla haasteellisia tehdä. Huolellinen työ korostuu, koska mahdolliset rypyt jättävät ilmavuotokohtia. Oikein ja huolellisesti asennettu liitosnauha jättää siistin ja ohuen pinnan. (Lahtinen 2018, 30; Laine 2014, 50.)



Kuva 11. Liitosnauhamenetelmällä tiivistetyt höyrynsulkukalvon liitokset (kuvaaja Mikko Koskivuori, Vahanen Rakennusfysiikka Oy 2017)

Tiivistykseen tarkoitetut liitosnauhat ovat kumipohjaisia teippejä, höyrynsulkuteippejä tai butyyliinauhoja (Laine 2014, 50). Markkinoilla olevia butyyliinauhoja käytetään yleensä pinnoitteiden tai vedeneristeiden kanssa, mutta itseliimautuvina niitä on mahdollista käyttää tapauskohtaisesti myös itsenäisesti. Liitosnauhojen päälle riittää usein tasoitus, maalaus tai joissakin tapauksissa esimerkiksi vain ikkunalista (Tiivistalo 2019a).

4 Tiivistyskorjausten kustannukset

Ilmatiiviyden parantamiskorjaukset edellyttävät lähes aina pintamateriaalien purkua. Tyypillisesti esimerkiksi lattia-seinäliittymän ja ikkunaliihtymän tiivistyskorjauskohteessa poistetaan jalka- ja ikkunalistat, levy- ja puurakenteiset ikkunapenkit sekä irrotetaan lämpöpatterit ja sähkökourut. Lattiamateriaalia, esimerkiksi muovimattoa, on purettava ulkoseinälinjalla vähintään 200 mm leveydeltä ja lattiapintaa jrsittävä vähintään 50 mm leveydeltä, jotta tiivistyskorjaus saadaan lattiapinnan tasoon. Seinästä poistetaan pintamateriaalit ja tasoite noin 100 mm korkeudelle lattiasta. Kaikki purkukohtat hiotaan lujalle pinnalle, esimerkiksi betonille saakka. Ikkunakarmin reunaa hiotaan kevyesti noin 15 mm leveydeltä. Kaikki käsiteltävät pinnat puhdistetaan huolellisesti irtopölystä ja rasvasta. Edellä mainitut toimenpiteet eivät ole yleispätevät, vaan tarvittavat purku- ja pohjatyöt sekä

niiden laajuus esitetään aina kohdekohtaisissa tiivistyskorjaussuunnitelmissa. Purettavat pintamateriaalit ja tarvittavat pohjatyöt riippuvat aina täysin korjauskohteesta, joten myöskään yleispätevää työmenekkiä niille ei voi antaa. (Vahnen Rakennusfysiikka Oy 2019.) Osa tilaajista ei esimerkiksi halua jättää vanhoja muovimattoja tiloihin lainkaan, koska muovimaton purkaminen kokonaan on suhteellisen nopeaa, ja matot voivat olla jo iäkkäitä ja kuluneita. Täysin uusilla pintamateriaaleilla, valaistuksen parantamisella ynnä muilla oheistöillä saadaan tiivistyskorjattaville tiloille uutta ilmettä ja sitä myöten yleensä tyytyväisempiä käyttäjiä. (Mononen 2019.)

Alla olevien korjausmenetelmien laskennallisia kustannuksia haarukoidessa esimerkkituotteiksi on valittu tiivistystuotteita, joita Vahnen Rakennusfysiikka Oy:ssä on havaittu kestäviksi, laadukkaiksi ja usein käytetyiksi. Materiaalien hintatiedot ovat valmistajien ilmoittamia keskimääräisiä arvonlisäverottomia suositushintoja. On huomioitavaa, että tuotehinnat voivat vaihdella laajasti ostajasta ja mahdollisesta jälleenmyyjästä riippuen. Saaduista hinnoista koottu tiivistysmateriaalien hintavertailutaulukko on opinnäytetyön liitteenä. Työn osuuden hinta-arviot ovat alan ammattilaisten antamia.

Tiivistyskorjauksen kustannukset riippuvat aina täysin korjauskohteesta ja sen erityispiirteistä, joten kustannuksia voi vertailla vain periaatetasolla. Seuraavissa luvuissa 4.1–4.3 kustannuksia vertaillaan ajatellen tyypillistä tiivistyskohdetta, jossa tiivistetään kovalle pinnalle purettu lattia-seinäliittymä. Tiivistystä edeltäviä tasoituksia, lopuksi tehtäviä viimeistelytyöitä tai muita vastaavia oheistöitä ei ole huomioitu, koska ne vaihtelevat aina täysin korjauskohteesta riippuen. Tuotevertailussa pohjustusaineen käyttö on tehty valmistajien ohjeiden mukaisesti; pääosin se on laskettu yksikomponenttisten tiivistystuotteiden käyttöön, kaksikomponenttisten tuotteiden laskelmasta pohjustusaine on jätetty pois. Pohjustusaineella käsitellään seinäpinta 100 mm korkeudelta ja lattia 200 mm leveydeltä. Tiivistystuotetta on ajateltu siveltävän sekä lattiaan että seinään 50 mm korkeudelta kahden kertaan, joista toinen kerta sivellään vahvikenauhan päälle. Poikkeuksena on toinen pinnoitteista, joka sivellään kolmeen kertaan ja jonka kanssa ei käytetä vahvikenauhaa. Edellä mainituilla sivelykerroilla saadaan yleensä riittävä, noin

0,5–1 mm kuivakalvopaksuus, joka on otettu huomioon tuotteiden menekkejä las-
kiessa.

4.1 Nestemäiset vedeneristystuotteet

Nestemäisten vedeneristystuotteiden hintavertailuun valikoitiin kaksi kaksikom-
ponenttista ja kaksi yksikomponenttista tuotetta, joita kaikkia käytetään vahvike-
nauhan kanssa.

Kaksikomponenttisista Ardex Oy:n tuoteperheellä (Ardex 8+9-vedeneriste ja
SK12-vahvistusnauha) materiaalihinnaksi muodostuu noin 3,62 euroa juoksu-
metrille (Ardex Oy 2019b). Weberin tuoteperheellä (Weber Superflex D2 -vede-
neriste ja ST 120 mm -vahvikenauha) juoksumetrihinta on noin 2,75 euroa (We-
ber 2019).

Yksikomponenttisten tuotteiden osalta Mapei Oy:n tuoteperheen (Primer G -tar-
tuntapohjuste, Mapegum WPS -vedeneriste ja MapeTape 100 mm -butyylinauha)
materiaalien juoksumetrihinta on noin 3,91 euroa (Mapei Oy 2019). Kiilto Oy:n
tuoteperheen (Keraprimer-tartuntapohjuste, KeraPro-vedeneriste ja Kiilto-butyy-
linauha) tuotteilla hinta on noin 3,91 euroa juoksumetriltä. Mikäli butyylinauha
vaihdetaan KeraSafe-vahvikenauhaan, on juoksumetrihinta noin 2,62 euroa.
(Kiilto Oy 2019.)

4.2 Pinnoitteet

Pinnoitetuotteiden hintavertailuun valikoitiin kaksi yleisesti käytettyä pinnoitetta,
Betton Oy:n yksikomponenttinen Blowerproof Liquid Brush, jota käytetään Codex
BST 75 -butyylinauhan kanssa, sekä kaksikomponenttinen TKR-Marketing Oy:n
Peruspinnoite. Valmistajan ohjeen mukaan Blowerproof Liquid Brush voidaan le-
vittää suoraan tiivistettävälle pinnalle, jos se on puhdas eikä pinnalla ole irtovettä.
Yleensä kuitenkin käytetään dispersiopohjustinta, esimerkiksi saman valmistajan
Uzin PE 360 Plus -pohjustinta. TKR:n tuotteen kanssa ei käytetä vahvistusnau-
haa ja myös se voidaan valmistajan ohjeen mukaan levittää suoraan puhdiste-
tulle tiivistettävälle pinnalle. (Betton Oy 2019b; TKR-Marketing Oy 2019b.)

Pelkkiä tuotehintoja vertaillen Bettonin tuoteperhe maksaa noin 4,90 euroa juok-
sumetriltä ilman dispersiopohjustimen käyttöä ja noin 5,13 euroa juoksumetriltä

pohjustinta käyttäen. Merkittävä osa hintaa on Codex-butyylinauha, jonka juoksumetrihinta on noin 3,80 euroa. (Betton Oy 2019b.) TKR Peruspinnoitteen kanssa ei käytetä pohjustinta eikä vahvistusnauhaa, mutta tuote edellyttää noin kolmea sivelykertaa. TKR Peruspinnoitteella tuotteen juoksumetrihinnaksi muodostuu noin 4,19 euroa. (TKR-Marketing Oy 2019b.)

4.3 Liitosnauhat

Liitosnauhoista tuotehintavertailua tehtiin kahden paljon käytetyn nauhan kesken. Betton Oy:n pinnoitteiden yhteydessä käytettyä Codex-butyylinauhaa voidaan it-seliimautuvana käyttää myös tiivistysteippinä. Lähtökohtaisesti sen kanssa käytetään kuitenkin yleensä Blowerproof-pinnoitteita tai muita valmistajan tuotteita. Codex-butyylinauhan juoksumetrihinnaksi muodostuu noin 3,80 euroa. (Betton Oy 2019b.)

Toinen paljon käytetty liitosnauha on Tiivistalon Contega Solido SL (80 mm) -liitosnauha. Se on tarkoitettu erityisesti ikkunoiden ja ovien sisäpuoliseen tiivistämiseen, esimerkiksi ikkunan ja höyrynsulkukalvon liitokseen. Contega Solido SL (80 mm) -liitosnauhan juoksumetrihinta on noin 1,53 euroa. (Tiivistalo 2019b.) Tiivistalon tuotekortissa suositellaan ikkuna- ja oviaukkojen tiivistyksessä liitosnauhan yhteydessä käytettävän pohjustusainetta ja tarvittaessa myös tiivistyspinnoitetta. Näitä tuotteita ei ole huomioitu tässä laskelmassa, koska kyseistä teippiä on käytetty paljon myös sellaisenaan.

Liitosnauhoja ei ollut käytetty yksin sellaisenaan tämän opinnäytetyön haastatteluvien urakoissa. Yleisesti voidaan ajatella, että esimerkiksi ikkunaliitosta pelkällä liitosnauhamenetelmällä tiivistäessä halutaan todennäköisesti lisätä rakennuksen käyttöikää muutamilla vuosilla ennen peruskorjausta. Tällöin työ on melko suoraviivaista ja nopeaa, ja viimeistelytöiksi saattaa joissakin tapauksissa riittää pelkkä ikkunalista. Liitosnauhan asentamiseen voitaneen jossakin määrin soveltaa Ratu-korttia 0433 Sisäpuolinen vedeneristys. Sen mukaan vahvikenauhan asentamisen työmenekki on noin 0,036 tth/jm. Jos lasketaan rakennustyömiehen tuntihinnaksi 40 euroa, maksaa vahvikenauhan asentaminen ilman materiaalikulua ja pohjustus- tai viimeistelytöitä noin 1,44 euroa juoksumetriltä. Tiivistyksen

juoksumetrihinta materiaaleineen jää siis tällaisessa hyvin yksinkertaistetussa esimerkissä melko matalaksi.

4.4 Toteutuneiden korjauskohteiden kustannukset

Kustannuslaskentaa osana työtään tekevän insinööri (AMK) Timo Suhosen mukaan lattia-seinäliittymän tiivistyskorjauksen karkea yleinen kustannusarvio kaksikomponenttisilla vedeneristetuotteilla on noin 20 euroa juoksumetriä kohti. Arvio sisältää tiivistystyön ja materiaalit, ei purku- tai viimeistelytyötä. Edellä mainittuja tuotehintoja käyttäen tiivistystyön arvoksi jää tällöin noin 16 euroa juoksumetrille. Työtavat ja -vaiheet sekä vedeneristeitä että pinnoitustuotteita käytettäessä ovat melko samanlaiset, joten työn hinta-arvio on vertailukelpoinen molemmille menetelmille.

Kustannuksia varten haastatellut asiantuntijat toivat esille, että viime aikoina monet urakoitsijat ovat mieltyneet käyttämään yksikomponenttisiä tuotteita ja vaihtavat suunnitellut kaksikomponenttiset tuotteet niihin mielellään, mikäli tilaaja ja suunnittelija vaihdoksen hyväksyvät. Yksikomponenttisten tuotteiden valintaa perusteltiin edullisemmilla kustannuksilla ja helpommalla työstettävyydellä, mikä osaltaan vähentää työhön menevää aikaa sekä työvirheriskin pienenemisellä ja yhtäläisellä laadulla kaksikomponenttisiin tuotteisiin nähden. Yksikomponenttisten tuotteiden käyttö saattaa edistää myös tiivistystöiden laatua, sillä esimerkiksi päivän viimeisiä tiivistystöitä jo hieman jähmettyneellä kaksikomponenttisella tuotteella työstävä saattaa yrittää pärjätä tuotteen kanssa, koska uuden erän sekoittaminen vie aikaa ja vaivaa. Yksikomponenttistä tuotetta voi olla matalampi kynnys hakea lisää. (Hynninen 2019; Mononen 2019.)

Kokemusperäisesti tiivistyskorjauksen arvonlisäveroton hinta betonipintaista lattia-seinäliittymää tiivistäessä yksikomponenttistä tuotetta ja vahvikenauhaa käyttäen on noin 15 euroa juoksumetriltä Etelä-Karjalan alueella. Hinta sisältää tiivistystöiden ja materiaalien lisäksi purku- ja pohjatyöt sekä pohjustusaineen sivelyn. Edellytyksenä on selkeä työkohde, jossa ei ole isoja suojausvaatimuksia ja vaikeasti purettavia materiaaleja sekä toistettavuus huoneesta toiseen. Seinän ja ikkunakarmin liitoksen tiivistyksen hintaluokka on pääpiirteittäin sama, joskin pohjatyöiden osuus on usein hieman lattia-seinäliittymää helpompaa ja nopeampaa.

Edellä mainittuja tuotehintoja käyttäen työn arvoksi juoksumetriä kohden jää noin 10 euroa, jolloin materiaalien osuus työstä on noin 33 % ja työn osuus noin 67 %.

Kaksikomponenttisella pinnoitteella lattia-seinäliittymän tiivistyskorjauksen arvonlisäveroton hinta vaihtelee noin 15–25 euron välillä juoksumetriltä Pirkanmaan alueella. Hintaan vaikuttaa muun muassa pohjatöiden määrä. Jossakin tiivistettävässä kohteessa voidaan rakenneliittymän raot täyttää esimerkiksi hinnaltaan edullisella liimamassalla ja sivellä sen jälkeen kaksinkertainen pinnoite, jolla on saatu riittävä ilmatiiviys. Toisessa kohteessa on voitu tehdä enemmän täyttötöitä kalliimmilla materiaaleilla, jolloin hinta nousee. Mikäli kohteelta on vaadittu ilmatiiviyden lisäksi kaasutiiviyttä, nousevat kustannukset noin 28 euroon juoksumetriltä. (Koskinen 2019.)

4.5 Case: kahden luokkahuoneen tiivistyskorjaukset

Toteutuneita urakkakustannuksia vertailtiin kahden eri koululuokan tiivistyskorjauksien osalta, joiden tiedot saatiin kunnossapitomestari Monoselta Saimaan Tukipalvelut Oy:stä. Urakat toteutettiin Lappeenrannassa vuonna 2017. Luokkahuoneet olivat liki samankokoiset, luokan yksi pinta-ala oli 59,5 m² ja luokan kaksi pinta-ala oli 57,6 m². Korjaukset olivat pääpiirteittäin melko samanlaiset; tiivistyskorjaukset tehtiin yksikomponenttisella tuotteella ja butyyliinauhalla lattia-seinäliittymiin jokaiselle seinälle ja läpiviennit sekä ikkunaliittymät tiivistettiin. Näiden lisäksi luokassa yksi tiivistettiin lattiassa olevia halkeamia sekä ilman butyyliinauhaa yläpohjaliittymät ja alakaton puurakenteiset koolaukset, joiden kiinnitykset olivat aiheuttaneet ilmavuotoja yläpohjana toimivasta alalaattapalkistosta. Kuvasta 12 on havainnoitavissa luokan yksi melko massiiviset tiivistysmäärät. Juoksumetrittäin tiivistettävää alaa luokassa yksi oli karkeasti arvioiden noin 425 jm. Luokassa kaksi tiivistettiin verrokkiluokkahuonetta enemmän läpivientejä ja muita yksityiskohtia, mutta muutoin tiivistettävä määrä oli huomattavasti vähäisempi, noin 60 jm. Luokassa kaksi ei esimerkiksi ollut koolattua alakattoa kuten luokassa yksi.



Kuva 12. Luokassa yksi tiivistettiin lattia-seinäliittymät, ikkuna-seinäliittymät, yläpohja-seinäliittymät, välipohjalaatan halkeamat, läpiviennit ja alakaton puurakenteiset koolaukset. (Vahanan Rakennusfysiikka Oy 2017)

Tiivistettävät alueet käsiteltiin pohjustinaineella ja lopuksi korjausalueet tasoitettiin ja maalattiin. Pääurakoitsijoiden työtehtäviin kuului myös runsaasti purkutöitä sekä alakattojen purkutyöt, paikallisia seinien rappauksen uusimisia ja tasoitustöitä, uusien akustiikkalevyjen asennuksia sekä muita aputöitä, joita ei ollut kustannuksissa eritelty eikä niitä siten pystynyt luotettavasti erottamaan tiivistyskorjausten kustannuksista. Luokassa tehtiin myös asbestipurkutöitä, putki- ja sähkötöitä, uusia mattoasennuksia ja muita vastaavia oheistöitä, mutta niitä ei huomioitu tässä vertailussa.

Urakoitsijat kohteissa olivat kaksi kaupungin puitesopimusurakoitsijaa, jotka tekivät korjaukset tuntityöperusteisesti materiaalit ja tarvikkeet erikseen laskuttaen. Kustannuserot kahdella melko samanlaisella urakalla olivat hyvin suuret. Pääurakoitsijalla luokassa yksi työtunteja kului kuudelta työntekijältä yhteensä 273 h ja pääurakoitsijalla luokassa kaksi tunteja kului 18 työntekijällä 421 h. Loppulaskusta luokassa yksi työn osuus oli 67,4 % ja materiaalien 32,6 %. Luokassa kaksi työn osuus loppulaskusta oli 83 % ja materiaalien 17 %. Euroissa korjausten kar-

keaksi juoksumetrijennaksi ilman materiaaleja muodostui luokan yksi urakoitsijalla noin 23 euroa. Luokassa kaksi karkeaksi juoksumetrijennaksi muodostui noin 200 euroa. On kuitenkin huomioitava, että työkustannukset pitävät sisällään paljon edellä mainittuja tiivistystöiden oheistöitä ja luokassa yksi myös suuren määrän katon rajassa tehtäviä työläitä tiivistystöitä. Näin ollen juoksumetrijennat eivät ole suoraan verrannollisia aiemmin mainittuihin 15–25 euron juoksumetrijennoihin, jotka käsittävät selkeän lattia-seinäliittymän tiivistystyön, materiaalit ja pohjatyöt. Toisaalta luokan yksi osalta juoksumetrijenninta 23 euroa todennäköisesti laskisi hyvin lähelle 15 euron verrokkihennata, mikäli euromäärästä pystyttäisiin tarkasti erittelemään ja vähentämään kaikki oheistyöt.

Urakoiden suuri hintaero selittyy todennäköisesti työntekijöiden ja työnjohdon osaamisella. Luokassa yksi työskenteli kuusi eri henkilöä, suurimman osan töistä teki kahden työntekijän kokenut työpari. Työt saatiin tehtyä kerralla hyvin eikä turhaa odottelua, paikkaavia sivelykertoja ynnä muuta aikaa vievää tarvittu. Luokassa kaksi työskenteli urakan aikana peräti 18 eri työntekijää, joka jo osaltaan kertoo, ettei töiden organisointi ollut hallinnassa. Töitä tehtiin ripotellen, työryhmät vaihtelivat ja korjaavia työvaiheita jouduttiin toistamaan useasti. Heikko työ- ja tehtäväsuunnittelu näkyi heti tuntimäärässä ja sitä myöten kustannuksissa. (Mononen 2019.) Kustannusten tarkka litterointi sekä parempi tehtäväsuunnittelu ja töiden valvonta olisivat todennäköisesti olleet eduksi kustannusten hillitsemiseksi.

5 Yhteenveto

Rakenteiden ilmatiivyyden parantamiskorjaus sisäilmakorjaustapana on paljon käytetty korjaustapa erityisesti julkisissa rakennuksissa. Korjauksien yhtenä tavoitteena on usein estää epäpuhtauksien siirtyminen ilmapuotojen kautta sisäilmaan. Tässä opinnäytetyössä keskityttiin rakenneliittymien tiivistyskorjauksiin. Yleisimmät korjausmenetelmät rakenneliittymien tiivistämisessä voidaan jakaa nestemäisten vedeneristystuotteiden tai pinnoitteiden käyttöön sekä liitosnauhamenetelmiin. Ilmatiivyyden korjaukset vaativat aina erilliset, kohdekohtaiset suunnitelmat. Korjaustavan ja käytettävät materiaalit valitsee suunnittelija, jolla täytyy

olla ymmärrystä sisäilman laatua heikentävistä tekijöistä ja epäpuhtauksien kulkeutumistavoista sekä rakennusfysikaalista ymmärrystä rakennuksen lämpö- ja kosteusteknisestä toimivuudesta.

Tiivistyskorjausten kustannuksien arviointi osoittautui haastavaksi. Korjauksia varten ei ole toistaiseksi tuotantosuunnittelun Ratu-korttia, jossa olisi esimerkiksi määritelty työ- ja materiaalimenekkejä tai annettu työohjeita. Olevat Ratu-kortit käsittelevät esimerkiksi kylpyhuoneiden vedeneristämistä tai maalaamista. Niiden työmenekkitiedot eivät ole vertailukelpoisia tiivistyskorjauksiin, koska työtavat ja käsiteltävät pinta-alat ovat erilaisia. Tiivistyskorjausten kustannuksia oli näin ollen haarukoitava haastattelujen ja toteutuneiden korjauskohteiden kautta.

Tiivistyskorjauksissa, kuten korjausrakentamisessa yleensäkin, jokainen saneerauskohte on yksilöllinen ja mahdolliset sisäilmaongelmat korjauspäätöksen taustalla erityyppisiä. Korjauskohteen yksilöllisillä ominaisuuksilla ja erityispiirteillä, purettavilla materiaaleilla, tiivistettävän työkohteen suuruudella, tiivistysmateriaalivalinnoilla, viimeistelytyöillä ja muilla korjauskohteittain vaihtelevilla seikoilla on suuri vaikutus korjauksen hintaan, minkä jokainen aiheesta haastateltu toi esille. Tällöin korjausten hintojen vaihteluväli muodostuu väistämättä suureksi eikä yleispäteviä yksikkökustannuksia voi tarkasti laskea. Lisäksi tuotevalmistajat ja -maahantuojat toivat vahvasti esille tuotehintojen vaihtelun ostajasta ja jälleenmyyjästä riippuen. Näin ollen tässä opinnäytetyössä esille tuodut hintatiedot ja -arviot niin materiaalien kuin työn osalta ovat suuntaa antavia. Eri korjausmenetelmien hinta-arvioita tarkastellessa tulee huomioida myös korjausten ajateltu pitkäaikaiskestävyys ja se, millaiseen ilmatiiviyteen korjauksilla pyritään. Karkeasti yleistäen voidaan tämän opinnäytetyön perusteella arvioida tiivistyksen hinnaksi noin 15–25 euroa juoksumetriltä sisältäen materiaalit ja pohjatyöt. Hinta edellyttää osaavaa urakoitsijaa, selkeää tiivistettävää kohdetta ja työn toistettavuutta eli esimerkiksi useampaa tiivistettävää huonetta. Yksittäiset pienet tiivistyskorjauskohteet voivat nostaa hintaa runsaasti, samoin kuin varsinaisen tiivistystyön ohessa tehtävät muut, samalle urakoitsijalle kuuluvat työt.

Haastattelujen perusteella vaikuttaa, että yksikomponenttiset tiivistystuotteet ovat miellyttäneet niin urakoitsijoita kuin tilaajiaakin. Yksikomponenttisuuden koetaan helpottavan työmaalla toimimista, eikä materiaalihukkaa välttämättä tule niin

paljon kuin kaksikomponenttisen tuotteen kanssa voi tulla. Yksikomponenttisten tuotteiden hintahaarukka butyyliinauhaa käyttäen on noin 3,90–5 euroa juoksumetriltä. Mielenkiintoista on, että kalliiksi ajateltujen kaksikomponenttisten tuotteiden hintahaarukka jää vahvikenauhojen kanssa noin 2,80–4,20 euroon eli jopa edullisemmaksi kuin yksikomponenttiset. Toisaalta on huomioitava tuotehinnoittelujen laajat vaihtelut ja kaksikomponenttisen tuotteen edellyttämä työstö. Mielenkiintoinen on myös ilman vahvikenauhaa käytettävä kaksikomponenttinen pinnoite. Sitä oli käytetty yhden haastateltavan urakoissa. Juoksumetrihintaa arvio 4,19 euroa skaalautuu hyvin kilpaileviin tuotteisiin, vaikka tuote itsessään on hankintahinnaltaan melko arvokas. Ilman vahvikenauhaa se kuitenkin pärjää hintakilpailussa ja voi vauhdittaa työtä, koska nauhan asentaminen on yleensä melko tarkka ja aikaavievä työvaihe.

Haastateltujen alan ammattilaisten mielestä yksikkö- tai tuntiveloitushinnoilla tehtävä urakka on ainoa urakkatyyppi, jolla tiivistyskorjaukset on järkevää tehdä. Korjausrakentamisessa on paljon muuttuvia seikkoja ja esimerkiksi purkutöiden yhteydessä voi löytyä vaurioita, jotka saattavat vaikkapa viivästyttää tiivistystöiden alkamista tai tuoda muita muutoksia urakan sisältöön. (Hynninen 2019; Mononen 2019.)

Korjausten onnistumisen kannalta erityisen tärkeää on korjaustyöntekijän osaaminen ja asenne työhönsä. Tiivistystyö on erikoistyötä, joka vaatii erityistä huolellisuutta ja osaamista. Sillä on luonnollisesti vaikutusta työmenekkiä lisäävänä tekijänä. Toisaalta osaava työntekijä saa tehtyä työn kerralla onnistuneesti, eikä useita korjaavia työvaiheita ja siten myös lisääntyvää valvontaa välttämättä tarvita. Myös työnjohdon osaaminen korjausten organisoinnissa osoittautui tärkeäksi kustannusten kannalta. Näin ollen pätevän ja kokeneen urakoitsijan valinta voi korostua ratkaisevasti korjaustöiden loppukustannuksia tarkastellessa. Urakoitsijan osaaminen nousi erityisen selvästi esille tämän opinnäytetyön kahta case-kohdetta tarkastellessa. Kustannusten hallinnan kannalta tilaajan tulee vaatia urakoitsijalta tehtäväsuunnitelma ja jonkinlainen tuntimääräarvio sekä tehdä ajantasaisista kustannusseuranta. Niin laadun kuin kustannushallinnan kannalta tärkeä rooli on myös pätevällä valvojalla. Hyvä valvoja valvoo sekä työn teknistä laatua että myös muita rakennuttajan etuja.

Tiivistyskorjaustöiden ja -materiaalien lisäksi kustannuksia kertyy korjaussuunnittelusta, laadunvalvonnasta ja korjausten jälkeen ilmanvaihtojärjestelmän säätämisestä, jotka kaikki ovat edellytyksiä onnistuneelle ilmatiivyyden parantamiskorjaukselle. Niiden vaikutukset kokonaiskustannuksiin sekä korjauskustannukset suhteutettuna rakennuksen odotettavaan käyttöikään korjausten jälkeen olisivat mielenkiintoisia jatkotutkimuksen aiheita.

Lähteet

Ardex Oy. Vornanen, M. Tiivistystuotteiden hinnat. Sähköpostiviesti 25.3.2019.

Betton Oy 2019a. Sisäilma-tuotteet. <http://www.betton.fi/?id=2>. Luettu 28.2.2019.

Betton Oy 2019b. Hindren, S. Tiivistystuotteiden hinnat. Sähköpostiviesti 25.3.2019.

D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2012. Ympäristöministeriön asetus rakennusten sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta.

Grönholm, J. 2008. Rakenteiden tiivistyskorjaukset sisäilmaongelmien torjunnassa. Kuopion yliopisto. Tutkimuksia ja selvityksiä 11/2008.

Hakamäki, H. 2015. Toteutustavan vaikutus tiivistyskorjausten pysyvyyteen sisäilmaongelmakohteissa. Rakennusfysiikka 2015, uusimmat tutkimustulokset ja hyvät käytännön ratkaisut. Tampereen teknillinen yliopisto, 423–428.

Halsas, E., Hokkanen, J., Koponen, R. & Markkanen, P. 2018. Korjausvaiheiden vaikutus sisäilman radonpitoisuuteen toimistorakennuksessa. Sisäilmastoseminaari 2018, SIY Raportti 36. Espoo: Sisäilmayhdistys ry, 339–344.

Hynninen, A. Insinööri (AMK). TKR-Marketing Oy. Haastattelu 25.3.2019.

Jerkku, I., Kurnitski, J., Mattila M. & Vornanen-Winqvist, C. 2018. Ylipaineistuksen ja ilmanpitävyyden vaikutus rakenteiden kosteustekniseen toimintaan. Sisäilmastoseminaari 2018, SIY Raportti 36. Espoo: Sisäilmayhdistys ry, 345–350.

Jokisalo, J., Kosonen, R. & Ranta-aho, I. 2016. Painesuhteiden hallinta korkeissa asuinrakennuksissa. Sisäilmastoseminaari 2016, SIY Raportti 34. Espoo: Sisäilmayhdistys ry, 55–60.

Kiilto Oy, myynti. Tiivistystuotteiden hinnat. Puhelinkeskustelu 26.3.2019.

Koskinen, H. Urakoitsija. JoLa Rakennus ja Pinnoitus Oy. Haastattelu 28.3.2019.

Lahtinen, E. 2018. Painesuhteiden hallinta ilmatiiviydeltään parannetuissa palvelurakennuksissa. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö.

Laine, K. 2014. Rakenteiden ilmatiivyyden parantaminen sisäilmakorjauksessa. Itä-Suomen yliopisto. Opinnäytetyö.

Mapei Oy. Kontu-Valkonen, S. Tiivistystuotteiden hinnat. Sähköpostiviesti 28.3.2019.

Mononen, I. Kunnossapitomestari. Saimaan Tukipalvelut Oy. Haastattelu ja sähköpostiviestit 20.3.2019 ja 27.3.2019.

Paloniitty, S. 2013. Rakennusten tiiviysmittaus. http://paloniitty.fi/files/RTM%20Paloniitty_Rakennusten%20tiiviysmittaus%20artikkeli.pdf. Luettu 27.1.2019.

Ratu 0433. 2015. Sisäpuolinen vedeneristys. Talonrakennusteollisuus ry ja Rakennustietosäätiö RTS.

RT 14-11197. 2015. Rakenteiden ilmatiiveyden tarkastelu merkkiainekokein. Rakennustietosäätiö RTS.

Sallinen, P. Tiivistysaineiden tiiveyskokeet. Vahanen Rakennusfysiikka Oy. Esitelyn muistiinpanot 11.3.2019.

Suhonen, T. Insinööri (AMK). Vahanen Rakennusfysiikka Oy. Haastattelu 20.3.2019.

Sisäilmayhdistys ry 2019a. Eri tekijöiden vaikutus oireisiin. <http://sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Terveysvaikutukset/Eri-tekijoiden-vaikutus-oireisiin>. Luettu 13.2.2019.

Sisäilmayhdistys ry 2019b. Ilmavirtaus- ja paine-ero. <http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Ongelmien-tutkiminen/Rakennustekniset-tutkimukset/Ilmavirtaus-ja-paine-ero>. Luettu 22.2.2019.

Tiivistalo 2019a. Tuotteet. <https://www.tiivistalo.fi>. Luettu 10.3.2019.

Tiivistalo 2019b. Pellikka, M. Tiivistustuotteiden hinnat. Sähköpostiviesti 25.3.2019.

TKR-Marketing Oy 2019a. Tiivistyskorjaus. <http://www.tkr.fi/tuotteet/tiivistyskorjaus>. Luettu 28.2.2019.

TKR-Marketing Oy 2019b. Raatikainen, M. Tiivistustuotteiden hinnat. Sähköpostiviesti 26.3.2019.

Yle uutiset 2014. Mitä tarkoittaa matala- tai korkeapaine? https://yle.fi/saa/mita_tarκοittaa_matala_tai_korkeapaine/7021178. Luettu 22.2.2019.

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171009>. Luettu 11.2.2019.

Vahanen Rakennusfysiikka Oy. Eri kohteiden kuntotutkimuksia ja niiden esitelmiä, korjaussuunnitelmia, korjaustyöselostuksia ja valvontavalokuvia. 2016–2019.

Weber 2018. Weberin ratkaisut sisäilmaongelmiin. Luentomateriaali
10.12.2018.

Weber 2019. Hosio, J. Tiivistystuotteiden hinnat. Sähköpostiviesti 27.3.2019.

Valikoitujen tiivistystuotteiden materiaalihintoja

Kevät 2019

1 jm tiivistettävä pinta-ala m2: 0,1

	pakkaus- koko	yksikkö	Valmistajan suositushinta (alv 0 %)	menekki kg tai l / m2 / sively (ellei toisin mainittu)	menekki kg/m/l 1 jm matkalla	€ / kg, l tai m	€ / jm	huomioita
Vedeneristeet								
Ardex 8+9	40	kg	244,70 €	1,50	0,3	6,12 €	1,84 €	
Ardex SK12 -vahvistusnauha	50	m	89,00 €		1	1,78 €	1,78 €	
yhteensä							3,62 €	
Weber Superflex D2	24	kg	156,00 €	1,25	0,3	6,50 €	1,95 €	Menekki juoksumetrille valmistajan erillisen ohjeen mukaan.
Weber ST 120 mm -vahvikenauha	30	m	24,00 €		1	0,80 €	0,80 €	
yhteensä							2,75 €	
Primer G -pohjustin	10	kg	60,48 €	0,20	0,06	6,05 €	0,36 €	
Mapegum WPS	20	kg	112,10 €	1,35	0,27	5,61 €	1,51 €	
MapeTape 100 mm -butyylinauha	25	m	52,42 €		1	2,10 €	2,10 €	
yhteensä							3,97 €	
Kiilto Keraprimer -pohjustin	10	l	98,39 €	0,06	0,01875	9,84 €	0,18 €	Ohennettuna 1:1
Kiilto KeraPro	20,1	kg	115,32 €	1,00	0,2	5,74 €	1,15 €	
Kiilto-butyylinauha	20	m	51,61 €		1	2,58 €	2,58 €	
tai Kiilto KeraSafe-vahvikenauha 100 mm	20	m	25,81 €		1	1,29 €	1,29 €	
yhteensä							3,91 €	Butyylinauhalla
							2,62 €	Vahvikenauhalla

Pinnoitteet								
Uzin PE 360 Plus -pohjustin	10	kg	75,00 €	0,10	0,03	7,50 €	0,23 €	
								Valmistajan ohjeen mukaan suoraan tiivistettävälle pinnalle, jos pinta puhdas. Menekki 0,5-1 kg/m ² , tässä laskemassa valmistajan arvio 0,8 kg/m ² sisältäen kahteen kertaan sivelyn.
Blowerproof Liquid brush	5	kg	69,00 €	0,80	0,08	13,80 €	1,10 €	
Codex BST 75 -butyylinauha	20	m	76,00 €		1	3,80 €	3,80 €	
yhteensä							4,90 €	Ilman pohjustinta
							5,13 €	Pohjustimen kanssa
TKR Peruspinnoite	14	kg	651,00 €	0,30	0,09	46,50 €	4,19 €	Ei käytetä vahvistusnauhaa. Sively kolmessa kerroksessa, menekki keskiarvo näistä (200 g + 350 g + 350 g).

Liitosnauhat								
Codex BST 75 -butyylinauha	20	m	76,00 €		1	3,80 €	3,80 €	
Contega Solido SL 80 mm	30	m	46,00 €		1	1,53 €	1,53 €	