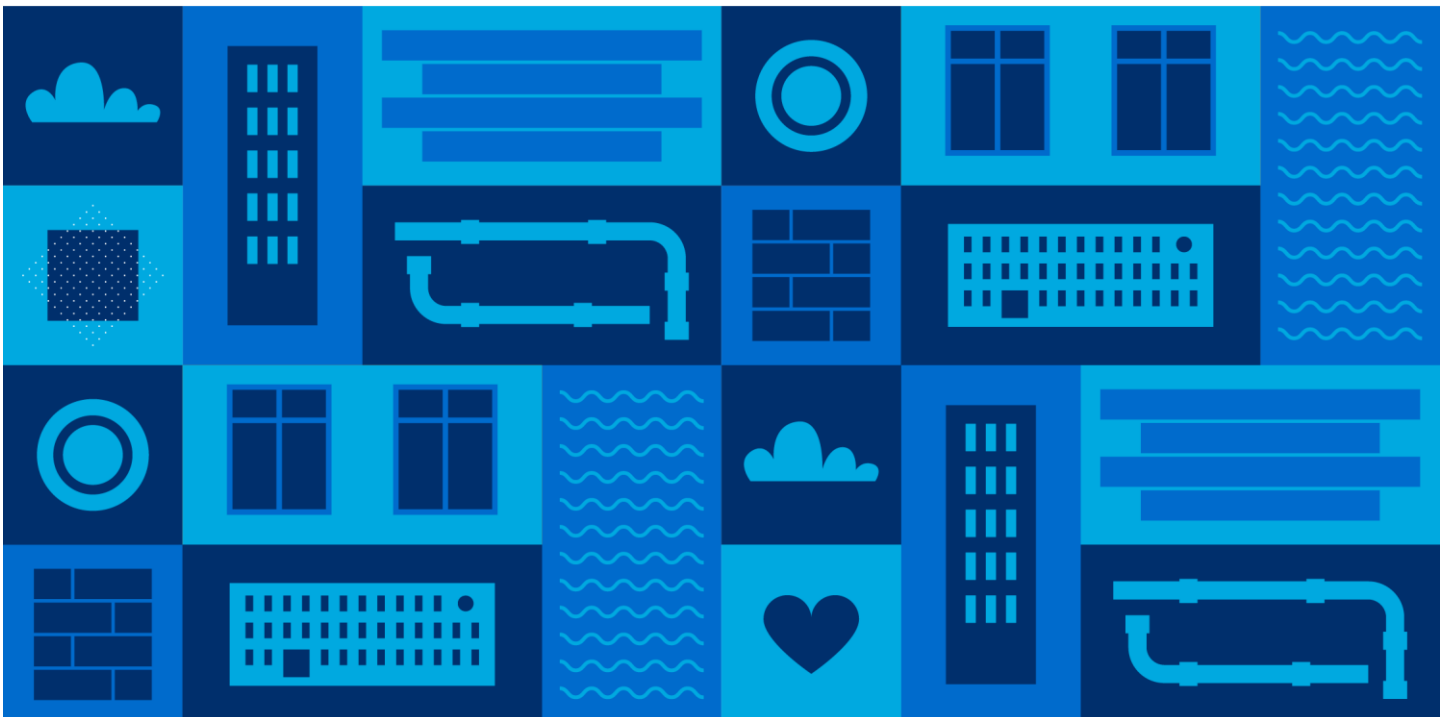




**TERVEET
TILAT** 2028

Rakenteiden ilmatiivyyden parantaminen

Tilaajan opas



Ympäristöministeriö 2022

Rakenteiden ilmatiiviyyden parantaminen

Tilaajan opas

Helsinki 2022

Terveet tilat 2028 on hallituksen 10-vuotinen toimintaohjelma, jonka tavoitteena on tervehdyttää julkiset rakennukset ja tehostaa sisäilmasta oireilevien hoitoa ja kuntoutusta.

tilatjaterveys.fi

Sisältö

1	Johdanto	6
2	Rakenteiden ilmatiiviys	7
2.1	Mikä on rakenteiden ilmatiiviyden parantamiseen tähtäävä korjaus?	7
2.2	Miksi ilmatiiviyden huomioiminen on tärkeää?	8
2.3	Mitä eroa on ilmatiiviyden ja kaasutiiviyden parantamisella?	9
2.3.1	Milloin ilmatiiviyden parantaminen on tarpeen?	10
2.3.2	Epätiivien rakenteiden aiheuttamat riskit	12
2.3.3	Ilmatiiviyden parantaminen on tehtävä harkiten	13
2.4	Rakenteiden ilmatiiviys lainsäädännössä, asetuksissa ja ohjeissa	14
3	Ilmanvaihdon ja painesuhteiden vaikutus vuotoilmavirtauksiin	22
3.1	Ilmanvaihto	22
3.2	Painesuhteiden hallinta	22
3.3	Toimenpiteitä ilmanvaihtojärjestelmälle	24
3.3.1	Ilmanvaihdon toimivuuden selvittäminen	24
3.3.2	Ilmanvaihtojärjestelmään kohdistuvat toimenpiteet tiivistyskorjauksissa	25
4	Ilmatiiviyttä parantavat korjaukset	28
4.1	Ilmatiivyyteen liittyvät tutkimukset tilaajalle	28
4.1.1	Selvityksen sisältö ja vaiheet	28
4.1.2	Rakenteiden ilmanpitävyyden tutkimusmenetelmät	28
4.1.3	Liittyvät kosteus- ja rakennetekniset tutkimukset	29
4.1.4	Ilmanvaihdon toimivuuden selvittäminen	29
4.2	Korjaustavat ja tavoitetasot tilaajan näkökulmasta	30
4.2.1	Miten määritellään soveltuvat korjaustavat?	30
4.2.2	Ilmatiiviyttä parantavien toimenpiteiden suunnittelu	37
5	Ilmatiiviyttä parantavien korjausten laadunvarmistus	39
5.1	Hankkeen toteuttajien osaaminen erityisasemassa	39
5.1.1	Tilaajan tehtäviä ilmavuotoselvityksissä ja korjauksissa	39
5.1.2	Kuntotutkija ja korjaussuunnittelija	40

5.1.1	Urakoitsija.....	42
5.1.2	Valvoja.....	43
5.2	Työmaa-aikainen laadunvarmistus.....	43
5.3	Korjausten jälkeinen käytön aikainen toimivuuden seuranta.....	44

Lähteet.....	47
---------------------	-----------

ESIPUHE

Tämä tilaajan opas kertoo rakenteiden ilmatiiviyden parantamisesta tilaajan näkökulmasta. Ilmatiiviyys on yksi tekijä korjauskokonaisuuksissa, joiden tarkoituksena on saada olemassa olevaa rakennuskantaa lähemmäs nykyrakentamisen teknistä laatutasoa. Opas on tehty pääasiassa julkisten rakennusten omistajien, kiinteistöpäälliköiden sekä julkisia rakennuksia hallinnoivien isännöitsijöiden käyttöön. Tilaaja löytää oppaasta neuvoja tutkimusten, korjaussuunnittelun, urakoinnin, valvonnan, laadunvarmistuksen ja jälkiseurannan tilaamiseen. Julkaisua voidaan hyödyntää soveltuvin osin myös taloyhtiöiden rakennusten ilmatiiviyden parantamisessa.

Oppaan ohjausryhmän työtä johtivat yli-insinööri Timo Lahti ympäristöministeriöstä, johtava asiantuntija Katja Outinen valtioneuvoston kansliasta sekä neuvotteleva virkamies Vesa Pekkola sosiaali- ja terveysministeriöstä. Toteutuksesta vastasi Vahanen Rakennusfysiikka Oy. Opas on osa Terveet tilat 2028 -ohjelmaa.

Helsingissä marraskuussa 2022,

Timo Lahti, yli-insinööri, ympäristöministeriö

Kirjoittajat, Vahanen Rakennusfysiikka Oy:

Katariina Laine
Virpi Sandström
Toni Lammi
Miia Pitkäranta
Pekka Laamanen

Ohjausryhmä:

Timo Lahti, yli-insinööri, ympäristöministeriö
Katja Outinen, johtava asiantuntija, valtioneuvoston kanslia
Vesa Pekkola, neuvotteleva virkamies, sosiaali- ja terveysministeriö

1 Johdanto

Rakennuksen tiivyyden tavoittelulla varsinkin kylmissä maissa on pitkät perinteet lämpöviivytyksen hallinnassa, koska rakenteita tiivistämällä on pyritty vähentämään vedon tunnetta sekä energiankulutusta. Rakenteiden tiivistäminen on nostettu sisäilman laadun parantamiseen tähtääväksi korjausratkaisuksi ensimmäisen kerran 1980-luvulla, kun alapohjarakenteiden ilmatiiviyttä parannettiin radonkaasun sisätiloihin kulkeutumisen estämiseksi. Tiivistäminen nousi yhdeksi korjaustavaksi 2000-luvulla myös muissa kuin radonin liitettävissä sisäilmaongelmakohteissa. Rakenteiden ilmatiivyyden parantaminen on 2010-luvulla yleistynyt osana ulkovaipparakenteisiin kohdistuvia peruskorjauksia. Nykyisin hyvä ilmatiiviyys on vakiintunut osaksi energiatehokasta uudisrakentamista, sillä hyvällä ilmatiiviydellä tavoitellaan pientä ilmavuotolukua ja sitä kautta matalampaa energiankulutusta.

Rakenteiden tiivistämistarpeen taustalla voi olla useita eri lähtökohtia. Tässä tilaajan oppaassa on luvussa 2 on esitetty, miten rakenteiden ilmatiivyyden parantamistarvetta voidaan selvittää ja mitkä seikat vaikuttavat korjaustavan valintaan. Rakenteiden ilmatiivyyden parantaminen on harvoin ainoa korjaustoimenpide, vaan korjauksiin liittyy vähintään ilmanvaihtojärjestelmän tarkastus ja säätö. Ilmanvaihdon ja painesuhteiden merkityksestä on kerrottu luvussa 3. Oppaan keskeisintä sisältöä on luvussa 4 käsitelty riittävän tiivistystavan valinta. Luvussa kuvataan erilaisia korjaus- sekä tiivistysta- soja sekä korostetaan riittävän yksityiskohtaisen suunnittelun merkitystä. Tiivistyksiä voidaan tehdä eritasoisina riippuen lähtötilanteesta ja tiivistyksen tavoitteista. Korjaustyön onnistumista on varmistettava työmaa-aikana sekä korjausten jälkeen. Luvussa 5 on käsitelty suunnitteluvaiheessa määriteltävien ja toteutusvaiheessa tehtävien mallitöiden, työvaihetarkastusten sekä laadunvarmistusmittausten merkitystä. Lisäksi on annettu ohjeita hankkeen osapuolten valintaan. Erityisesti vanhoissa, suojelluissa tai rakenteiltaan monimuotoisissa rakennuksissa tiivistäminen on usein erikoisosaamista vaativaa korjaustyötä.

2 Rakenteiden ilmatiiviys

Rakenteiden ilmatiivyyden parantaminen on usein osa laajempaa korjauskokonaisuutta.

2.1 Mikä on rakenteiden ilmatiivyyden parantamiseen tähtäävä korjaus?

Ilmatiivyyden parantamiseen tähtäävän korjauksen tavoitteena on estää hallitsemattomia vuotoilmavirtauksia rakenteiden läpi. Rakenteiden ilmatiivyyttä parantavassa korjauksessa tiivistetään tyypillisesti rakenteiden liitoskohtia, saumoja, läpivientikohtia tai kokonaisia seinä-, katto- tai lattiapintoja. Tiivistykset voidaan tehdä useilla eri materiaaleilla ja menetelmillä, jotka määrittävät korjauksen käyttöikä ja laatuaste. Tavoitellun käyttöiän lisäksi materiaalien ja menetelmien valintaan vaikuttavat mm. tiivistettävä rakenne ja sen kosteustekninen käyttäytyminen, rakenteen liitoskohtien materiaalipinnat ja niiden kunto, epätiiviyyskohtien koko, muoto ja sijainti sekä tavoiteltu tiivistystaso. Tavanomaisilla rakennustekniikoilla rakennuksesta ei koskaan saada täysin tiivistä, vaan tarkoituksena on parantaa ilmatiivyyttä verrattuna lähtötilanteeseen.

Mikäli tavoitteena on vähentää energianhukkaa tai parantaa tilan lämpöolosuhteita, kohdistetaan korjaukset kustannustehokkaasti vuotoilmamääriltään merkittävimpiin kohtiin kuten ikkunaliittymien ja ikkunapuitteiden tiiviyteen. Kun tiivistyksillä halutaan estää epäpuhtauksien kulkeutuminen rakenteista, yksittäisiin rakenteisiin tehdyt tiivistykset eivät välttämättä vähennä huonetilan epäpuhtauspitoisuuksia riittävästi, mikäli vuotoilmalla on vaihtoehtoisia reittejä epäpuhtauslähteestä sisäilmaan. Esimerkiksi rakennuksen ulkopuolella olevien epäpuhtauksien hallinta ikkunaliittymien tiivistämisellä ei riitä, mikäli ilmavirtauksia voi edelleen tapahtua tiivistämättömien välipohjien, alakattojen, väliseinien tai esimerkiksi talotekniikkakoteloiden kautta.

Eryteisesti haitallisen kosteuskonvektion ja rakenteissa olevien epäpuhtauksien kulkeutumisen suhteen ilmatiivyyden parantamiseen liittyvissä korjauksissa tulee määrittellä korjauksen käyttöikä tavoite sekä tavoiteltava korjaustaso. Tavoiteltava korjaustaso voidaan jaotella *Kosteus- ja mikrobivaurioituneiden rakennusten korjaus* (Ympäristöopas 2019) -oppaan mukaisesti kolmeen eri luokkaan (A, B, C):

Taulukko 1. Rakenteiden tiivistämisperiaatteita korjaustavoissa A, B, C.

A. Perusteellinen rakenteen uusiminen ja toimivuuden parantaminen, jossa myös kantavaan rakenteeseen voi kohdistua merkittäviä korjaustoimenpiteitä tai se uusitaan.
B. Rakenteen osittainen uusiminen, jossa vaurioituneet materiaalit poistetaan vaurioitumattomaan, usein kantavaan rakenteeseen saakka laajoilta alueilta.
C. Pääasiassa pintarakenteisiin liittyvä korjaus, jossa rakennetta korjataan sen ilmatiivyyttä ja tuuletusta parantamalla. Lisäksi tehdään paikallisia, selkeästi rajattavia vauriokorjauksia. Samalla parannetaan rakenteen kosteusteknistä toimintaa. Tässä korjausvaihtoehdossa vaurioitunutta materiaalia jää rakenteeseen.

Tarkemmin korjaustapoja käsitellään tämän oppaan luvussa 4.2.1 sekä Ympäristöoppaan 2019, liitteessä 2.

2.2 Miksi ilmatiivyyden huomioiminen on tärkeää?

Hallitsemattomat ilmavirtaukset voivat heikentää sisäilman laatua, aiheuttaa kosteusvaurioriskejä, haitata asumisviihtyvyyttä tai lisätä energiankulutusta. Ilmatiivyyden huomioiminen sisäilman hyvän laadun varmistamiseksi korostuu vanhemmassa rakennuskannassa, jonka ilmatiiviyys on lähtökohtaisesti heikompi. Vanhoissa rakennuksissa on myös elinkaaren aikana kertynyt rakenteisiin erilaisia epäpuhtauksia, joiden pääsy sisäilmaan halutaan estää. Toisaalta sekä uuden että vanhemman rakennuskannan energiankulutusta voidaan vähentää tiivistämällä. Rakennusvaipan ilmatiivyyden parantamisella on myönteinen vaikutus seuraaviin tekijöihin:

1. **Haitallinen kosteuskonvektio.** Kun vaipparakenteissa on toimiva höyrynsulku, sisäilman kosteus ei pääse rakenteiden sisälle, jossa se voisi tiivistyä kylmiin pintoihin ja aiheuttaa vaurioita. Kosteuskonvektio eli kosteuden siirtyminen ilmavirtausten mukana vaipparakenteisiin vähenee, kun sisäpinta on tiivis.
2. **Asumisviihtyvyys.** Kun kylmiä, rakenteita viilentäviä ilmavirtauksia ei ole, pintalämpötilat kohoavat ja vedontunne poistuu. Asuntojen välistä ilmatiivyyttä parantamalla voidaan estää myös hajujen siirtymistä (tupakansavu, ruuan käryt) ilmavirtausten mukana.

3. **Energiankulutus.** Kun kylmän vuotoilman kulkeutuminen sisätiloihin vähenee, lämmitysenergiantarve pienenee. Nykyisillä lämmöneristyspak-suuksilla vuotoilman vähentäminen on merkittävimpiä energiankulutuk-sen vähentämiskeinoja.
4. **Ulkoilman, maaperän, ulkovaipparakenteiden tai muiden rakentei-den epäpuhtaudet.** Ilmavirtausten mukana maaperästä kulkeutuu huo-netiloihin tyypillisesti mikrobiperäisiä epäpuhtauksia tai radonia ja ulkoil-masta liikenteen tai teollisuuden päästöjä, pienhiukkasia ja siitepölyä. Rakenteissa ja maaperässä voi olla mikrobien lisäksi kemiallisia epä-puhtauksia tai haitta-aineita.
5. **Ilmaääneneristävyyys.** Tiivistämättömät raot, saumat ja läpivientikohdat heikentävät rakenteiden ääneneristävyyttä. Näiden tiivistäminen vähen-tää äänen siirtymistä rakenteen läpi ja parantaa rakenteen akustista toi-mivuutta.
6. **Ilmanvaihdon toimivuus.** Hyvin ilmanpitävässä rakennuksessa ilman-vaihdon tulo- ja poistoilma tulevat suunniteltuja reittejä, jolloin ilmanvaih-don energiatehokkuus ja ilmanjaon toimivuus on optimaalinen. Lisäksi järjestelmän säädettävyyys yleensä paranee, kun ulkoilmasta tai muista tiloista ei tule hallitsemattomia ilmavirtauksia.
7. **Paloturvallisuus.** Ilmatiiviit rakenteet hidastavat savukaasujen leviä-mistä.

Tiivistämällä lattiarakenteita voidaan myös ennaltaehkäistä siivous- ja vesivahinkove-sien vuotamista ala- ja välipohjiin sekä seinä- ja lattiatasoiteiden sekä levyrakenteisten seinien kastumista. Näin vahinkojen vaikutukset ja korjaustarpeet jäävät usein maltilli-siksi.

2.3 Mitä eroa on ilmatiiviyden ja kaasutiiviyden parantamisella?

Rakenteiden ilmatiiviyden parantaminen sekoitetaan joskus kaasutiiviyden parantami-seen, jota käytetään tyypillisimmin haitta-aineiden hallitsemisessa. Kaasutiiviyden pa-rantaminen on kuitenkin oma korjaustapa, jonka tavoitteena on estää tai hidastaa kaasumaisten epäpuhtauksien kulkeutuminen sisäilmaan diffuusiolla materiaalien läpi. Kaasutiivyyden parantamisesta käytetään tässä oppaassa nimitystä kapselointi. Kap-seloinnissa peitetään kaasutiiviillä materiaalilla kauttaaltaan joko kaasumaisia epä-puhtauksia läpäisevä pinta tai sitä ja sisäilmaa rajaava pintarakenne. Tyypillisesti kap-selointia käytetään haitta-aineiden hallintaan tai esimerkiksi muovimatto-ongelman korjauksissa, joissa betonilaattaan on imeytynyt VOC-yhdisteitä. Käsittely tehdään yh-tenäisenä, jolloin myös ilmavuodot sisäilmaan estetään. Kapseloinnin tarve riippuu

tarkastellun haitta-aineen haihtuvuudesta ja määrästä sekä haitallisen aineen ja sisäilmaa erottavan rakenteen läpäisevyydestä kyseiselle epäpuhtaudelle.

Kapseloinnissa käytetään tyypillisesti hyvin vesihöyryntiiviitä materiaaleja kuten erilaisia epoksipohjaisia tuotteita. Tästä syystä kokonaisten rakennepintojen kapselointi vähentää tyypillisesti erittäin voimakkaasti rakenteen kuivumiskykyä sisäilmaan päin. Kokonaisten rakennepintojen ilmatiiviyden parantaminen voidaan sen sijaan tehdä materiaaleilla, jotka eivät estä rakenteen kuivumista sisäänpäin. Taulukkoon 2 on koottu periaatteita ilmatiiviyden parantamiseen ja kapselointiin.

Taulukko 2. Korjausperiaatteita ilmatiiviyden parantamiseen ja kapselointiin.

-
- Korjausten yhteydessä paljastuneiden, pinnastaan rikkoutuneiden kivihiilipikihohjaisten va-luasfalttien ja pikisivelyjen kaasumaiset PAH-yhdistepäästöt ovat tyypillisesti voimakkaita, eivätkä tavanomaiset pintarakenteet estä riittävällä tavalla haitallisten yhdisteiden pääsyä sisäilmaan.
 - Koskemattomien, kivirakenteiden sisällä olevien vanhojen PAH-yhdistepitoisten materiaalien päästöt sisäilmaan diffuusiolla ovat usein niin vähäisiä, että korjaustavaksi riittää yleensä rakenteen ilmavuotoreittien katkaiseminen huolellisilla tiivistyksillä.
 - Hiukkasmaisten epäpuhtauksien kuten asbesti- ja mineraalivillakuitujen hallinnassa riittää vuotoilmavirtauksien katkaiseminen, samoin yleensä radonkorjauksissa.
 - Mikrobiperäisten epäpuhtauksien (itiöt, aineenvaihduntatuotteet, rihmasto) kulkeutumisesta rakennusmateriaalien läpi on saatavilla vähän tietoa, mutta pääsääntöisesti näiden kulkeutumisen diffuusiolla tavanomaisten rakennusmateriaalien läpi voidaan olettaa olevan vähäistä ja niiden kulkeutuminen rakenteen läpi liittyy pääsääntöisesti ilmatiiviyteen.
-

2.3.1 Milloin ilmatiiviyden parantaminen on tarpeen?

Ilmatiiviyden parantaminen voi tulla ajankohtaiseksi rakennuksessa useasta eri syystä rakennuksen iästä riippumatta. Tiivistystarve on aina tapauskohtaista ja se liittyy usein muuhun laajempaan rakennustoimenpiteeseen, kuten peruskorjaukseen tai –parannukseen. Tyypillisimpiä lähtötilanteita, joita hallitaan rakentamisen ilmatiiviyden parantamisella on koottu taulukkoon 3.

Taulukko 3. Tilanteita, joissa ilmatiivyyden parantamisella voidaan saavuttaa merkittäviä hyötyjä. Tiivyyden parantaminen voi olla ensisijainen korjaus tai tiivistys voi olla muita korjauksia täydentävä toimenpide.

-
- Vedontunne ulkoseinien tai ikkunoiden ja ovien lähellä
 - Viileys lattianrajassa tai ulkoseinien vierellä
 - Energiatodistuksen laatimista varten tehdyssä ilmapuotoluvun mittauksessa todettu heikko ilmatiiviyys
 - Lämpökuvauksella tai muuten todetut ilmapuodot
 - Energiatehokkuuden parantamiseksi tehtävä korjaus, esim. ikkunoiden uusiminen tai lisäälämmöneristys
 - Silmämääräisesti tai merkkiainekokeilla havaitut epätiiviyyskohdat
 - Puutteet palokatkoissa tai palo-osastoinnin muutokset korjauksissa
 - Uusien LVI-tekniikkien asennusten jäljiltä jääneet läpivientien tiiviyyspuutteet
 - Sisäilmasta mitattu liian korkea radonpitoisuus
 - Ulkovaipparakenteisiin liittyvä hajuhaitta
 - Tupakansavun, ruuankäryjen tms. epäpuhtauksien kulkeutuminen naapuriasunnosta
 - Aistinvaraisesti tai näytteenotolla todetut toimenpiderajat (esim. asumisterveysasetus) ylittävät haitta-ainepitoisuudet tai mikrobikasvustot rakenteen sisällä
 - Vesivahinko tai viemäriverivahinko. Yleensä rakenteisiin jää purku- ja kuivaustöiden jälkeen pieniä määriä epäpuhtauksia, joiden hallitaan käytetään tiivistämistä tai kapselointia osana korjauskokonaisuutta.
 - Rakennuksen tai rakennusosan lähestyvä peruskorjaus
 - Ulkovaipparakenteen peruskorjaus tai ikkunoiden ja ovien uusiminen
 - Tilan käyttötarkoituksen muutos: kosteuskuorman kasvu, ilmaääneneristävyyden vaatimustason kasvu
-

Kuvissa 1 ja 2 on esimerkkitalanteita, jotka voivat johtaa ilmatiivyyden parantamiseen. Kuvassa 1 on toimistorakennuksen väliseinien ilmaääneneristävyyden heikkous. Väliseinän liitoskohdassa välipohjaan oli rakoja ja ilmayhteys huonetilojen välillä. Äänet kantautuivat työhuoneiden välillä häiritsevästi. Kuvan 2 kohteessa ulkoilmasta kulkeutuva tupakansavu ja häiritsevät ulkoilman äänet olivat lähtötilanne, johon haettiin ratkaisua rakenteiden ilmatiivyyttä parantamalla. Kuvissa on kohteeseen toteutettuja tiivistyksiä.



Kuva 1. Esimerkki toimistorakennuksesta, jossa puutteet tilojen ilmaääneneristävyydessä olivat lähtökohta ilmatiivyyden parantamiselle. (kuvat Vahanen Rakennusfysiikka Oy:n arkisto)



Kuva 2. Kohde, jossa rakenteita on tiivistetty ulkoilmasta kulkeutuvan tupakansavun sekä ääneneristyspuutteiden vuoksi. (kuvat Vahanen Rakennusfysiikka Oy:n arkisto)

2.3.2 Epätiiviiden rakenteiden aiheuttamat riskit

Lähtökohtaisesti korvausilman ottaminen puhtaista materiaaleista ei heikennä merkittävästi sisäilman laatua, mikäli ilmamäärä on kohtuullinen. Tällainen tilanne voi olla esimerkiksi uudisrakennuksen yksittäisessä ilmavuotokohdassa.

Rakennuksen ulkovaipan heikosta tiiviydestä on kuitenkin väistämättä seurauksena vähintään kohonnut energiankulutus ja heikentynyt ilmaääneneristys. Ilmanvaihdon energiatehokkuus ja ilmanjaon toimivuus eivät ole epätiivissä rakennuksessa optimaalisia. Korkean kosteuslisän rakennuksissa kosteuskonvektio sisäilmasta rakenteisiin päin voi vaurioittaa rakenteita. Vanhemmassa rakennuskannassa korostuu sisäilman laatu. Vedontunne aiheuttaa viihtyvyyshaittaa, mutta merkittävimmän rakennuksen terveellisyyteen liittyvän riskin aiheuttaa maaperän ja rakenteiden epäpuhtauksien kulkeutuminen sisäilmaan.

Tiivistämättä jättäminen on usein isompi riski, kuin lopputulos jossa ilmatiiviys paranee vain osittain. Kevyestikin tiivistetyssä rakenteessa ilmavirtaukset tapahtuvat alku- peräistilannetta ahtaammista raoista, jolloin virtaukset ovat heikompia kuin lähtötilanteessa. Tämä edellyttää kuitenkin, että rakennuksen painesuhteisiin kiinnitetään huomiota.

2.3.3 Ilmatiiviyden parantaminen on tehtävä harkiten

Rakennusvaipan ilmatiiviyden parantaminen on yleensä hyödyllistä, mutta voi joissain tapauksissa aiheuttaa rakenteille tai sisäilman laadulle välillisiä haittoja. Rakenteiden ilmatiiviyden parantaminen ei sovi kaikille rakenteille. Rakenteita ei tule milloinkaan tiivistää ilman tutkimuksia, suunnittelua, korjauksen valvontaa, laadunvarmistusta ja seurantaa.

Harkitsematon tiivistäminen voi estää hallitsemattomien ilmavirtausten rakenteita kuivattavan vaikutuksen, mistä voi seurata kosteusvaurioitumista.

Rakenteen kosteusteknisen toimivuuden parantamisen tarve tiivistyksen yhteydessä on arvioitava aina ulkovaipparakenteita tai muita kosteusrasitettuja rakenneosia tiivistettäessä. Tiivistystoimenpiteitä suunniteltaessa on selvitettävä

- rakenteisiin kohdistuva kosteusrasitus
- rakenteiden kuivumistarve
- rakenteiden kuivumiskyky.

Näiden perusteella arvioidaan, voiko valittu tiivistystapa heikentää rakenteen kuivumista siinä määrin, että sen kosteusvaurioitumisen riski kasvaa. Erityisesti mikäli tiivistäminen lisää rakenteen ilmatiiviyden lisäksi myös rakenteen vesihöyrynvastusta, voi rakenteen kuivumiskyky vähentyä merkittävästi. Kuivumiskyky heikkenee vesihöyrynvastusta lisäävien pintamateriaalien vaikutuksesta, mutta suurempi vaikutus on ilmavirtausten kuivattavan vaikutuksen poistumisella. Esimerkiksi maanvastaiseen kellarinseinään tai valesokkeliin kohdistuu kosteusrasitus maaperästä ja rakenteen kuivumiskyky sisäänpäin heikkenee sisäpintaa tiivistettäessä, jolloin rakenteen kosteus- ja mikrobivaurioituminen voi käynnistyä tai kiihtyä.

Epäpuhtauksien kulkeutumisen estämiseksi tarkoitettu tiivistys paikallisesti tai huolimattomasti tehtynä ei välttämättä tuo merkittävää parannusta korjattavaan ongelmaan, jolloin korjauksia joudutaan uusimaan, mikä on hyvin kallista. Yleisesti mikrobikasvulle suotuisa olosuhde on materiaalista ja lämpötilasta riippuen > 75 - 85 %RH ja lämpötila > 5 °C. Jos rakenteen kosteustaso ja lämpötila ovat mikrobikasvun mahdol-

listavalla tasolla, on selvitettävä mahdolliset vauriot sekä niiden purkutarve ja rakenteen muu korjaustarve. Myös mikrobivauriokorjauksissa tiivistäminen on kuitenkin usein tarpeellinen toimenpide osana korjauskokonaisuutta.

Yhdenkin rakenneosan järjestelmällinen tiivistäminen voi parantaa rakennusvaipan keskimääräistä ilmatiivyyttä merkittävästi. **Mikäli rakennuksen painesuhteita ei samalla tasapainoteta, kohdistuu jäljelle jääneisiin ilmapuotokohtiin aiempaa voimakkaampia paine-eroja, jolloin näiden kautta kulkeutuva ilmamäärä - ja mahdollisesti myös epäpuhtauksien määrä kasvaa.** Esimerkiksi ikkunaremontissa ikkunoiden tiiviyys paranee yleensä merkittävästi, mikä lisää asumismukavuutta ja energia- tehokkuutta. Erityisesti koneellisella poistoilmanvaiholla varustetussa rakennuksessa ikkunaremontti voi kuitenkin aiheuttaa sisätiloihin voimakkaan alipaineen, jos samalla ei varmisteta hallitun korvausilmansaannin riittävyyttä. Alipaineisuus voi kohdistua esimerkiksi alapohjan ilmapuotokohtiin, mikä voi aiheuttaa radonin ja mikrobiperäisten epäpuhtauksien kulkeutumista sisätiloihin.

Taulukko 4. Tilanteita, jolloin ilmatiivyyden parantaminen ei johda onnistuneeseen lopputulokseen.

-
- Korjataan väärää asiaa tai korjataan liian kevyesti (alikorjaaminen), jolloin rakenteeseen jäänyt, etenevä kosteusvaurio aiheuttaa edelleen ongelmia
 - Riittämätön korjausalue: yksittäisiä tiloja on tiivistetty oireiluperusteisesti, jolloin ongelma voi siirtyä viereiseen tilaan.
 - Ilmatiivyyden parannus tehdään liian kevyesti, jolloin ilmavirtaukset hakeutuvat huonetilaan muita ilmapuotoreittejä pitkin
 - Osaamisen puute (tutkijat, suunnittelijat, valvoja, laadunvarmistaja (merkkiainekokeen tekijä), urakoitsija) voi johtaa korjausten epäonnistumiseen
 - Erityisesti sisäilmakorjauskohteissa epäonnistunut viestintä voi johtaa tilanteeseen, jossa käyttäjien vakuuttaminen korjausten onnistumisesta on haastavaa.
 - Ilmatiivyyttä parannetaan liian raskaasti (ylikorjaaminen), jolloin korjausbudjetti käytetään tehottomasti, korjaukset tehdään liian raskaina tai kohdistetaan väärin ja aikataulu venyy
-

2.4 Rakenteiden ilmatiiviyys lainsäädännössä, asetuksissa ja ohjeissa

Yläpohjarakenteen riittävän vesihöyrytiivyyden varmistaminen ja kosteuskondenssin välttäminen mainitaan ensimmäisen kerran rakentamismääräyksissä 1970 -luvulla

(C2, 1975; C3, 1978). Energiakriisin myötä tiiviyden tärkeys ymmärrettiin ja sen seurauksena markkinoille tuli erilaisia vesihöyryn- ja ilmatiivyyteen liittyviä tuotteita. Käytännössä puurunkoisten pientalojen keskimääräinen ilmatiiviyys ei juuri parantunut vuosien 1980 ja 2000 välillä, mutta julkisten rakennusten ilmatiiviyys parani jo 1970-luvulla betonielementtirakentamisen myötä. Vuonna 1998 voimaan tullut kosteusteknistä toimivuutta käsittelevä Suomen rakentamismääräyskokoelman osa C2 ohjasi voimakkaasti höyrynsulun asentamista koko ulkovaippaan, kun aiemmat määräykset olivat käsitelleet lähinnä yläpohjan höyrynsulkutarvetta. Vaipan ilmanpitävyydestä annettiin määräyksiä myös energiatehokkuuden näkökulmasta (C3, 2003).

Alapohjarakenteiden tiiviyys nostettiin tärkeäksi ratkaisuksi radonin torjunnassa 1990-luvulla ja ratkaisuja alapohjan tiivistämiseksi on esitetty sekä rakentamismääräyskoelmassa (B3, 2004) että Rakennustietosäätiön julkaisemassa ohjekortissa *RT 81 - 103123 Radonin torjunta* (2019). Radonkaistat ja alapohja-ulkoseinälaatan tiivistäminen yleistyivät 1990-luvulta lähtien.

Energiatodistus otettiin käyttöön vuonna 2008 ensin uudisrakentamisessa ja sen käyttö laajeni myöhemmin. Energiatodistusta varten tarvitaan rakennusvaipan ilmanvuotoluku q_{50} , [$m^3 / (h \cdot m^2)$]. Mitä pienempi luku, sitä parempi on rakennuksen ilmanpitävyys. Pieni ilmanvuotoluku ei kuitenkaan takaa sitä, että vaipparakenteet olisivat täysin tiiviisti toteutetut, vaan vaipassa voi olla merkittäviä yksittäisiä ilmapuotokohtia, joiden kautta otetaan tahattomasti korvausilmaa väärästä paikasta, kuten esimerkiksi maaperästä. Ilmapuotoluvun mittaamisen yleistymisen seurauksena tiivistysosaaminen ja rakenteiden ilmanpitävyys parani 2010-luvulla. 2010-luvulla valmistuneiden rakennusten ilmanvuotoluku on tyypillisesti tasoa 1 - 2 ja sitä vanhempien rakennusten yli 4, mikäli rakennuksen ilmatiivyyttä ei ole parannettu elinkaaren aikana. Rakentamismääräykset ja ohjeet kiristyivät vuosina 2012 - 2014 selvästi tiukemmiksi energia- ja lämmöneristysvaatimusten osalta ja sen vaikutuksesta rakennusvaipan ilmanpitävyys parani entisestään.

Nykyhetken uudisrakentamista ohjaavat asetukset, joista ympäristöministeriön asetuksessa *uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta* (1009/2017) määritellään, että pääsuunnittelija, erityissuunnittelija ja rakennussuunnittelija määrittävät rakennuksen vaipan ja sisä rakenteiden ilmatiivyyden siten, että vältetään haitalliset ilmapuodot sekä kosteuden siirtyminen rakenteisiin. Ympäristöministeriön asetuksessa *rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta* (782/2017) sekä sitä avaavassa ohjeessa painotetaan ilmatiivyyttä ja epäpuhtauksien kulkeutumisen estämistä epätiiviistä kohdista. 2020-luvulla valmistuneiden rakennusten ilmatiiviyys on erittäin hyvä. Käytännössä uusissa kivirakenteisissa kerrostaloissa saavutetaan helposti ilmapuotoluku alle 0,5 ja pientaloissa ilmapuotoluku on tyypillisesti 0,5 - 1 rakenteista riippumatta.

Eri aikakausina vallinneet rakentamistavat ja käytetyt rakennusmateriaalit määrittävät suuresti eri-ikäisten rakennusten ilmatiivyyden ominaispiirteitä. Taulukossa 5 on nostettu esiin eräitä tavanomaisia rakenteita ja niiden tiiviysominaisuuksia ja kuvissa 3 – 5 on muutamia esimerkkejä ilmavuotokohdista. Kuvaparissa 3 vasemmalla on 1920-luvulla valmistuneen rakennuksen betoninen kaksoislaattavälipohja, jonka liitoskohdat ympäröiviin massiivitiiliseiniin eivät ole ilmatiiviitä. Viimeistään peruskorjauksissa ilmavirtausten kulkeutuminen välipohjan täyttökerroksista halutaan usein estää tai täyttökerroksia uusitaan osittain. Kuvaparissa oikealla on massiivitiiliseinän ja ikkunapenkin liitos, josta on ilmavuotokohta seinän patterisyvennykseen, jossa on julkisivun vesivuodoista vaurioitunut lämmöneriste.



Kuva 3. Esimerkkejä 1920-luvulla valmistuneiden rakennuksen liitoskohtien ilmatiiviyyspuutteista. (kuvat Vahanen Rakennusfysiikka Oy:n arkisto)

Kuvassa 4 on esitetty 1990-luvulla valmistuneiden rakennusten rakenteita ja ilmavuotokohtia. Alapohjan betonilaatan kuivumis-kutistumisen muodonmuutokset ovat saaneet aikaan raon lattianrajaan, josta on ilmayhteys maapohjaan. Oikealla: ikkunoiden välisessä umpiosassa on irtonainen höyrynsulkumuovi tai kohdasta puuttui höyrynsulkumuovi. Kuvassa 5 on talotekniikka-asennusten läpivientien tavanomaisia ilmatiiviyyspuutteita alapohja- ja välipohjarakenteissa.



Kuva 4. Esimerkkejä 1990- luvulla rakennettujen rakennusten ilmatiivyspuutteista. (kuvat Vahanen Rakennusfysiikka Oy:n arkisto)



Kuva 5. Esimerkkejä läpivientien ilmatiivyspuutteista. (kuvat Vahanen Rakennusfysiikka Oy:n arkisto)

Taulukko 5. Eräiden rakennetyyppien ilmatiivyyteen liittyviä ominaispiirteitä. Rakenteiden liitoskohtien ja läpivientien tiivistystarve koskee kaikkia rakenteita, eikä näitä ole nostettu erikseen esille taulukossa jokaisen rakennetyypin kohdalla.

Rakennetyyppi	Huomioita ilmatiivyydestä	Huomioita korjauslaajuudesta
Perinteiset puurakennukset (hirsirakenteet, purueristetyt rankarakenteet)	Ilmatiiviyys perustuu rakenteen sisäpuolella paperointeihin, savi-laastiin, levytykseen ja tilkkeisiin sekä ulkopuolella esim. tuoheen tai tervapaperiin. Ilmatiivyyden puutteet voivat aiheuttaa vetoisuutta ja korkeaa energiankulu-tusta	Tiivistys usein osa peruskor-jausta. Rakenteiden toimivuus perustuu kosteutta tasaaviin (hy-groskooppiin) materiaaleihin ja kuivan huoneilman lämmön kui-vattavaan vaikutukseen. Rakenteiden kosteustekninen toimivuus voi hyötyä suunnittelemattomien kuivien, vahingossa syntyneiden ilmavirtausten kuivattavaan vai-kutukseen. Kokonaisuus on huomioitava erityisesti ilmatiivyyden parantamista arvioidessa.
Höyrynsuluttomat rankarakenteiset mineraalivillaeristetyt puurakennukset, 1970-luku ja sitä vanhemmat rakennukset	Rakenteiden ilmatiiviyys on heikko. Erillinen höyrynsulku yleistynyt vasta 1970-luvun lopulla. Erityisesti yläpohjarakenteissa ilman-sulkuna käytetty tervapaperi tai muovitettu rakennuspaperi ei muodosta tiivistä ilmansulkua.	Tiivistys on osa peruskorjausta, korjaustarve on yleensä raskas (sis. lämmöneristeet, pintarakenteet ja mahdollisesti kantavia rakenteita) ja koskee usein koko rakennusosan uusimista. Puurakenteista ei yleensä saada täysin tiiviitä.
Massiivitiilimuuratut rakenteet	Yleensä molemmin puolilta rapatun ja sisäpinnastaan maalatun massiivitiiliseinän ilmatiiviyys on hyvä. Kun saumaukset ovat hyvä-kuntoisia, ilma liikkuu seinässä hyvin hitaasti. Liittyvien rakenteiden (väli-, ylä- ja alapohjat) ilmatiiviyys on usein heikko.	Kosteusteknistä toimivuutta ei saa heikentää liian tiiviillä pinta-rakenteella. Tiilimuuraukseen upotettujen rakenneosien kunto (ikkunakarmit, patterisyvennykset, puurakenteiset ylä- ja väli-pohjat) kosteustekninen toimivuus ja kunto selvitettävä. Pitkään jatkuneessa kosteusrasituk-sessa voi olla tarve purkaa kos-teus- ja mikrobivaurioituneita tiili-muurauksen osia. Tiiliseinään liit-tyvien rakenneosien (ikkunoiden, ovien, puurakenteisten lattioiden) liittymien ilmatiiviyys on tärkeää. Muuratuilla rakenteilla korjauksi-

Rakennetyyppi	Huomioita ilmatiivyydestä	Huomioita korjauslaajuudesta
Puiset välipohjat ja yläpohjat sekä alalaattapalkistorakenteiset välipohjat, tyypillinen 1700-1950-luvun rakennuksissa. Päällä voi olla puukoolattu lattia.	Puurakenteisissa välipohjissa ilmavuotoja tapahtuu varsinkin seinäliittymistä. Täyttökerroksen epäpuhtaudet voivat edellyttää ilmatiivyyden parantamista.	silla tavoiteltava ilmatiiviyys saavutetaan usein vasta, kun pintamateriaalit ovat paikoillaan.
Betonirakenteiset kaksoislaattarakenteet ja tiiliholvien päälle täyttökerroksen varaan valetut rakenteet: välipohjat, yläpohjat, alapohjat, tyypillinen 1800-1970 luvuilla. Myös väestönsuojien holvit voivat kuulua tähän ryhmään.	Ilmavuodot tyypillisiä lattiapinnan tai kattopinnan reuna-alueilla. Toisinaan ilmavuotoja voi tapahtua myös kattopinnan halkeamien kautta. Täyttökerros voi aiheuttaa syyn ilmatiivyyden parantamiseen.	Tiivistys on usein osa peruskorjausta. Selvitettävä täyttökerroksen kunto, koostumus ja olosuhteet. Kuivat täyttökerrokset voidaan usein jättää rakenteeseen, mutta aktiivinen kosteusvaurio on poistettava. Ulkovaipparakenteiden kosteustekninen toimivuus selvitettävä.
Tiili-villa-tiili- ulkoseinä rakenne, tyypillinen 1960 – 1980-luvuilla.	Tiilikuorimuuraus puhtaaksimurattuna on ilmanpitävyydeltään heikko (saumausten kautta tapahtuu ilmavuotoa), mutta tasoitettuna ja maalattuna ilmanpitävyys on kohtuullisen hyvä.	Tiivistys on usein osa peruskorjausta, tiivistystarve kattaa seinäpinnan, liitoskohdat ja mahdolliset läpiviennit. Selvitettävä julkisivun ja lämmöneristeen kunto sekä arvioitava seinän purkutarvetta.
Puurankaiset kerroselliset ja höyrynsululliset ulkoseinä rakenteet, 1970-luvun lopulta asti käytetty rakenne	Ilmavuotoja tyypillisesti höyrynsulun liitoskohdissa ympäröiviin rakenteisiin, kiinnitystapana teippaus tai nidonta. Limitykset on tehty usein ilman teippausta, tai jos teippejä on käytetty, vanhat teipit ovat menettäneet tartunnan.	1970 – 1990-luvun rakennusten tiivistys on usein osa peruskorjausta, jossa uusitaan rakenteita raskaasti. Alasidepuun tai rankarakenteen uusimisessa tulee huomioida rakenteen kantavuus. Uudemmassa rakennuskannassa tiivistyslaajuus on usein

Rakennetyyppi	Huomioita ilmatiivyydestä	Huomioita korjauslaajuudesta
		olemassa olevan höyrynsulun liittymien korjaamista, mikäli rakenteessa ei ole purkamista edellyttävää vauriota.
Betonielementtirakenteet, kuten betonisandwich-elementit ja ontelolaattarakenteet, yleisiä 1970-luvulta eteenpäin	Betonipinta on ilmatiivis. Ilmavuotokohtia ovat työsaumat / elementtien saumakohtat sekä liitoskohdat ympäröiviin rakenteisiin. Juotosvalu tiivistää usein ontelolaatan liittymän ulkoseinään. Ilma voi liikkua onteloissa.	Betonipintoja ei tarvitse tiivistää. Elementtien liitoskohtien tiivistäminen on yleensä yksinkertaista, koska betonipintoihin saadaan hyvä tartunta.
Paikalla valetut betonirakenteet	Betonipinta on itsessään ilmatiivis. Tyypillisiä ilmavuotokohtia ovat työsaumat sekä liitoskohdat ympäröiviin rakenteisiin.	Betonipintoja ei tarvitse tiivistää. Työsaumojen ja muiden rakenneliitoskohtien tiivistäminen on yleensä yksinkertaista, koska betonipintoihin saadaan hyvä tartunta.
Kellarinseinien sisäpuoliset kuorimuuraukset, ja puukoolatut sisäverhoukset, yleinen 1950 – 1970- lukujen rakennuksissa	Ilmavuotoa tapahtuu liittymien lisäksi koko seinäpinnasta tiilimuurauksen saumojen kautta, mikäli seinäpinta on puhtaaksimuurattu. Kuorimuurauksen takana usein kosteusvaurioitunut lämmöneriste.	Korjauksiin liittyy usein ulkopuolisen veden- ja lämmöneristyksen asentaminen, salaojien uusiminen sekä sisätiloissa tiilimuurauksen ja lämmöneristeen purku ja uuden pintarakenteen toteutus. Kosteusteknistä toimivuutta ei saa heikentää liian tiiviillä pintamateriaaleilla. Tiivistämistä pitäisi välttää, jos sisäpuolisia lämmöneristeitä ei poisteta.
Kaksoislaattarakenteiset alapohjat, yleinen 1970 - 1990-luvuilla. Esimerkiksi maanvastainen betonilaatta, jonka päällä eriste ja toinen betonilaatta.	Pintabetonilaattaa ei ole tiivistetty ympäröiviin rakenteisiin ja täyttökerroksesta kulkeutuu ilmavirtaus-ten mukana usein mikrobihajua.	Selvitettävä täyttökerroksen kunto ja kosteustekninen toimivuus, tuleva tilankäyttö ja rakenteen mahdollinen laajempi korjaus- tai uusimistarve. Kosteusteknistä toimivuutta ei saa heikentää liian tiiviillä pintamateriaaleilla.
Alapohjien putkikanaalit ja ryömintätilat, yleisiä 1950 -	Putkikanaalien ohut pintabetonilaatta halkeillut tai sitä ei ole tiivistetty ympäröiviin rakenteisiin. Tar kastusluukut ja muut läpivientikohdat eivät ole ilmatiiviitä.	Putkikanaalin talotekniikkaan kohdistuu usein peruskorjaus- tai purkutarve. Selvitettävä rakenteiden kosteustekninen toimivuus ja

Rakennetyyppi	Huomioita ilmatiivyydestä	Huomioita korjauslaajuudesta
1980- luvuilla, ryömintätilat myös nykyrakentamisessa		muu korjaustarve. Usein käytetään tiivistämisen kanssa alipaineistus- tai tuuletusratkaisuja. Jos putket voidaan siirtää, kanaalit on usein suositeltavaa purkaa ja täyttää.
Pilari-palkkirakenteet, joiden ulkoseinät kevytbetoni-, kevytsoraharkkoa tmv., yleistyi 1980-luvulla	Julkisivulta rapatun ja sisätiloissa tasoitettun ja maalattun rakenteen ilmatiiviyys kohtuullisen hyvä rakenteiden liitoskohtia lukuun ottamatta. Pinnoittamassa kevytbetoni- ja kevytsoraharkossa ilma liikkuu hitaasti.	Tiivistäminen ajankohtaista peruskorjauksessa. Kosteusteknistä toimivuutta ei saa heikentää liian tiiviillä pintamateriaaleilla.

3 Ilmanvaihdon ja painesuhteiden vaikutus vuotoilmavirtauksiin

Yhdenkin rakenneosan järjestelmällinen tiivistäminen voi parantaa rakennusvaipan keskimääräistä ilmatiiviyttä merkittävästi. Mikäli ilmanvaihdon ilmamääriä ei samalla tasapainoteta, kohdistuu jäljelle jääneisiin ilmavuotokohtiin aiempaa voimakkaampia paine-eroja, jolloin näiden kautta kulkeutuva ilmamäärä kasvaa.

3.1 Ilmanvaihto

Rakennuksen ilmanvaihdon toimivuudella ja rakennukseen muodostuvilla painesuhteilla on erittäin merkittävä vaikutus rakennusvaipan epätiiviyiskohtien kautta tapahtuviin ilmavirtauksiin. Rakennuksessa vallitsevat painesuhteet vaikuttavat suoraan rakennusvaipan ilmavuotokohtien kautta virtaavan vuotoilman määrään sekä ilmavirtausten suuntaan. Toimiva ja tilan käyttöön nähden riittävä ilmanvaihto laimentaa lisäksi sisäilmassa olevien epäpuhtauksien määrää sekä poistaa käytön aiheuttamaa kosteuslisää.

3.2 Painesuhteiden hallinta

Rakennuksen painesuhteet määräytyvät ilmanvaihdon, ulkoilman ja sisäilman välisen lämpötilaeron, tuulen, rakennuksen geometrian sekä tilojen käytön yhteisvaikutuksesta. Tyypillisesti painesuhteet vaihtelevat ja ne voivat muuttua hyvin nopeasti ja voimakkaasti, etenkin ulkoilmaolosuhteiden muuttuessa. Paine-eron vaikutuksesta ilma virtaa huonetilasta toiseen, rakennuksen eri kerrosten välillä tai ulkovaipparakenteiden läpi. Nämä ilmavirtaukset siirtävät mukanaan lämpöä, kosteutta ja voivat kuljettaa mukanaan epäpuhtauksia, kuten hiukkasia, mineraalivillakuituja, mikrobiperäisiä ja kemiallisia epäpuhtauksia sekä radonia tai muita haitta-aineita.

Nykyisin ympäristöministeriön asetus *uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta* (1009/2017) ohjaa suunnittelemaan rakennusten painesuhteet mahdollisimman lähelle tasapaineista tilannetta, jolloin ilmavirtaukset rakennusvaipan epätiiviyiskohtien

kautta ovat mahdollisimman vähäisiä. Aiempina 2010-luvun alkuun saakka rakennukset suunniteltiin niin, että rakennukset pysyivät 10...30 Pa alipaineisina ulkoilmaan nähden.

Mitä tiiviimpi rakennuksen vaippa on, sitä helpommin siihen muodostuu paine-eroa. Heikon ilmanpitävyyden rakennukseen ei välttämättä muodostu merkittävää paine-eroa, vaikka rakennuksen vaipan läpi hallitsemattomasti virtaavan vuotoilman määrä olisi merkittävä. Ilmavirtausten merkitystä arvioitaessa on paine-eron lisäksi aina huomioitava rakennuksen ilmatiiviyden kokonaisuutena sekä mahdollisten ilmavuotoaikkojen sijainti. Esimerkiksi alapohjan epätiiviyyskohtien kautta voi sisäilmaan kulkeutua radonia tai muita maaperän epäpuhtauksia, kun taas ikkunan tiivistevuodon kautta lähinnä ulkoilmaa, jonka merkitys sisäilman laadun kannalta on lähtökohtaisesti vähäisempi.

Tyypillisesti rakennukseen muodostuu tuulen puolelle alipaine ja vastaavasti toiselle julkisivulle ylipaine. Mitä korkeampi rakennus on, sitä voimakkaammin siihen vaikuttaa sisäilman ja ulkoilman lämpötila-eroista aiheutuva termien paine-ero, jolloin rakennus on tyypillisesti alaosaan alipaineinen ja yläosaan ylipaineinen ulkoilmaan nähden. Paine-eron hallinnan ja säätämisen kannalta haastavia rakennuksia ovat korkeiden rakennusten lisäksi rakennukset, jotka koostuvat useista eri-ikäisistä osista ja joiden ilmanvaihtojärjestelmien ikä, rakenne ja mitoitus vaihtelevat.

Korkeissa rakennuksissa termistä paine-eroa pyritään hallitsemaan muodostamalla osastoja kerroksista (välipohjien ilmatiiviyys). Lisäksi muodostetaan osastoja tiiviillä väliliivillä mm. tuulikaappeihin, eteisiin, hissiauloihin ja porrashuoneisiin, jotta yhtenäistä ilmavirtausta rakennuksen alemmista kerroksista ylempiin kerroksiin ei rakennuksen normaalikäytössä pääse muodostumaan.

Painesuhteilla voidaan vaikuttaa myös rakennuksen sisällä tai rakenteiden sisällä tapahtuviin ilmavirtauksiin. Oikein toteutetulla ja säädetyllä ilmanvaihdolla aikaansaadun paine-eron vaikutuksesta ilma virtaa puhtaammista tiloista likaisempiin tai kosteampiin tiloihin päin, jolloin epäpuhtaudet tai kosteampi ilma ei kulkeudu varsinaisiin oleskelutiloihin päin. Alipaineistamalla putkikanaalit tai orgaaninen täyttökerros voidaan estää niissä olevien epäpuhtauksien kulkeutuminen sisäilmaan niin, ettei varsinaista epäpuhtauslähdeä tarvitse kaikissa tilanteissa välttämättä poistaa. Rakenteiden alipaineistusjärjestelmiä voidaan käyttää esim. ryömintätiloissa tai maanvastaisissa alapohjissa. Tuuletus- ja alipaineistusjärjestelmän käyttö on yleistä mm. radonin hallinnassa. Alipaineistusratkaisujen käyttöä on ohjeistettu mm. ympäristöministeriön julkaisussa *Kosteus- ja mikrobivaurioituneiden rakennusten korjaus (2019)*.

3.3 Toimenpiteitä ilmanvaihtojärjestelmälle

3.3.1 Ilmanvaihdon toimivuuden selvittäminen

Ilmanvaihtoon tehtävillä parannuksilla voidaan tyypillisesti vaikuttaa sisäilman laatuun ilman tilan käyttöä häiritseviä korjaustoimia. Siksi on usein järkevää aloittaa mahdollisten haittojen ja korjaustarpeiden selvittäminen ilmanvaihtojärjestelmästä sekä sitä ohjaavasta rakennusautomaatiojärjestelmästä. Järjestelmän nykytilanne ja toimivuus on selvitettävä aina ennen korjauspäätöksiä, jotta ilmanvaihtojärjestelmään kohdistuvat toimenpiteet osataan määrittää. Päätöksiä tehtäessä huomioidaan koko rakennuksen, ja erityisesti talotekniikan toimivuus ja jäljellä oleva tekninen käyttöikä – joissain tapauksissa on perusteltua käynnistää koko taloteknisen järjestelmän käsittävä perusparannushanke.

Ilmanvaihtojärjestelmän toimivuuden selvitys voi olla kohteesta riippuen katsastus, tarkastus tai kuntotutkimus. Katsastuksessa tehdään pääasiassa aistinvaraisia havaintoja haju-, kuulo-, näkö- ja tuntoaisteilla. Tarkastuksessa ilmanvaihdon kunto, toiminta ja puhtaus tarkastetaan myös mittauksin. Kuntotutkimuksessa ilmanvaihdon kunto ja ylläpidon taso selvitetään yksityiskohtaisesti. Katsastusmenettely on hyvä tapa aloittaa selvitys ja tarpeen mukaan jatkaa selvitystä pidemmälle, mikäli se katsastuksen perusteella nähdään tarpeelliseksi ja havaitut asiat edellyttävät lisäselvityksiä. Katsastus- ja tarkastusmenettelyt on esitetty ympäristöministeriön julkaisussa *Ilmanvaihdon katsastusopas* (ympäristöministeriö, 2022) ja ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmien ja laitteiden kuntotutkimusmenettely on kuvattu Suomen LVI-liiton SuLVI ry:n ohjeessa *ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmien kuntotutkimus* (SuLVI, 2016).

Rakennuksen paine-erojen selvittämiseksi on paine-eroja erittäin suositeltavaa mitata seurantamittauksin riittävän pitkällä mittausjaksolla (vähintään 7 -14 vrk). Paine-eron mittaamista rakennuksissa on ohjeistettu mm. ilmanvaihtoasetusta täydentävissä ohjeissa. Mittauksia tehdään riittävästi jokaisen eri ilmanvaihtokoneen palvelualueelle, eri kerroksiin ja ilmansuuntiin, jotta tuloksia voidaan tulkita luotettavasti. Lisäksi on mitattava ulkoilman ja sisäilman lämpötilaa, joiden avulla voidaan arvioida termisen paine-eron vaikutusta rakennukseen muodostuviin painesuhteisiin.

3.3.2 Ilmanvaihtojärjestelmään kohdistuvat toimenpiteet tiivistyskorjauksissa

Ilmanvaihtoon kohdistuvat toimenpiteet pohjautuvat tehtyihin selvityksiin ja suunnittelun tarve riippuu toimenpiteiden sisällöstä. Yleensä hankkeeseen on järkevää kiinnittää ilmanvaihtosuunnittelija, tai käyttää asiantuntijana selvitykset tehnyttä tahoa, mikäli sillä on riittävä osaaminen myös toimenpiteiden suunnittelusta sekä toteuttamisesta.

Taulukko 6. Ilmanvaihtojärjestelmän korjauksen suunnittelussa huomioitavia asioita.

-
- Lähtötietojen ja tehtyjen selvitysten riittävyys suunnitteluun, tarvitaanko lisäselvityksiä.
 - IV- ja RAU-järjestelmien toimivuus, kunto ja ikä, ja sen perusteella pitkän aikavälin kokonaistaloudellisimpien ratkaisujen arviointi.
 - Ilmamäärien ja asetusarvojen mahdolliset muutostarpeet painesuhteiden tasapainottamiseksi ja ilmanvaihdon optimaalisen toiminnan varmistamiseksi.
 - Muutostarpeet IV-koneisiin, puhaltimiin tai niiden ohjauksiin.
 - Säädettävyyden parantaminen säätölaite- ja/tai päätelaitemuutoksin.
 - Parantuvan ilmatiivyyden vaikutus esim. ilmanjaon toimivuuteen.
 - Ilmanvaihdon toiminta korjaustöiden aikana niin, että pölynhallinta toimii ja korjausalueen ulkopuolinen ilmanvaihto ei häiriinny.
 - Sisä- ja ulkoilman välisen paine-eron tai ali/ylipaineistettavan rakenteen painesuhteiden tavoitetason määrittäminen. Ideaalisti tavoitetaso on 0 Pa, mutta yleensä hyväksyttävä lopputulokset asettuu + 5...- 10 Pa välille.
 - Laadunvarmistus- ja seurantatoimenpiteiden määrittäminen ja toteutus.
-

Muutokset ilmanvaihtokoneisiin, kanavistoon tai päätelaitteisiin tehdään yleensä työmaan alkuvaiheessa. Kanavisto ja muu ilmanvaihtojärjestelmä on suojattava huolellisesti pölyävien korjaustöiden ajaksi. Kanaviston puhdistustyö tehdään vasta pölyävempien työvaiheiden jälkeen ja ilmamäärien sekä painesuhteiden tasapainottaminen vasta tiivistystyön ja muiden mahdollisten korjaustöiden valmistuttua, yleensä juuri ennen vastaanottotarkastusta.

Painesuhteille asetettuun tavoitetasoon pyritään ilmavirtoja säätämällä. Tiiviin rakennuksen painesuhteiden tasapainotus ilmamääriä säätämällä tapahtuu seuraavasti:

- Ensin säädetään tilakohtaiset ilmamäärät suunnitelmien mukaiseksi suhteellista säätötapaa käyttäen
- Toisessa vaiheessa mitataan paine-erot tila- ja vyöhykekohtaisesti ilmanvaihdon palvelualueittain hetkellisinä paine-eromittauksina. Mikäli havaitaan tilakohtaisia poikkeamia, muutetaan tilakohtaista tulo- tai poistoilmavirtaa. Säättötyö tehdään tavanomaisissa käyttöolosuhteissa (ei kovalla tuulella tai yli - 10 °C pakkasessa)
- Lopuksi säättötyön onnistuminen varmistetaan 1 - 2 viikon mittaisella painesuhteiden seurantamittauksella ja tehdään tarvittavia hienosäätöjä, kunnes painesuhteiden tavoitetaso on saavutettu.

On erittäin tärkeää varmistaa, että painesuhteet pysyvät haluttuina kaikissa ilmanvaihdon käyttötilanteissa, myös rakennuksen varsinaisen käyttöajan ulkopuolella. Tasapainotuksen aikana muutokset tehdään pienissä portaissa. Apuna voidaan käyttää etäluettavaa mittaustilalaitteistoa, jotta muutosten vaikutus nähdään nopeasti.

Taulukko 7. Tilaajan muistilista ilmanvaihtoon liittyvistä toimenpiteistä ilmatiivyyden parantamiseen tähtäävissä korjauksissa.

-
- Varmista ennakoivilla toimenpiteillä (esim. ilmanvaihtojärjestelmän katsastus), että ilmanvaihto toimii ja rakennuksen painesuhteet ovat kunnossa.
 - Reagoi rakennuksessa havaittuun äkilliseen ongelmaan riittävän nopeasti. Tiedota käyttäjää ja selvitä ilmanvaihdon toiminta ja painesuhteet aina ennen korjauspäätöksiä.
 - Varmista kuntotutkijan osaaminen: pyydä referenssejä ilmanvaihdon kuntotutkimuksista tai -selvityksistä sekä painesuhteiden tasapainottamisesta. On eduksi, jos kuntotutkijalla on myös käytännön osaamista toimenpiteistä sekä suunnittelu- tai valvontaosaamista
 - Mikäli ilmanvaihtoon kohdistuu korjaustarvetta, huomioi koko taloteknisen järjestelmän toimivuus, kunto ja ikä, ja määritä pitkällä aikavälillä kokonaistaloudellisimmat ratkaisut.
 - Rakennuksen vaipan tiivyyden parantamisen myötä myös painesuhteet muuttuvat, jolloin on yleensä tarpeen säätää tilakohtaiset ilmamäärät
 - Mikäli iv-kanavien pölyisyys edellyttää puhdistusta lähivuosina, on kanavat yleensä järkevää puhdistaa tiivistyskorjauksen yhteydessä.
 - Varmista, että ilmanvaihtojärjestelmän toiminta (tulppauspaikat, suljettavat palopellit, asetusrvojen muutokset) tiivistyskorjauksen aikana on suunniteltu ennen töiden aloittamista niin, että kanavistoon tai korjausalueen ulkopuolelle ei pääse pölyä ja ilmanvaihto toimii halutusti myös korjausalueen ulkopuolella.
 - Varmista korjausten jälkeen, että ilmanvaihto toimii optimaalisesti. Laadunvarmistuksessa huomioitava vähintään: ilmanvaihdon toimintakokeet, kanavapuhdistus, ilmamäärät, painesuhteet seurantamittauksin.
-

-
- Varaa ilmanvaihtoon kohdistuville korjaustoimenpiteille ja laadunvarmistukselle riittävä urakka-aika.
 - Varmista, että ilmanvaihdon mittaus- ja säätötyöstä on asianmukaiset dokumentit ja painesuhteiden tasapainottamisen ilmamäärät ja asetusravot on selkeästi dokumentoitu.
-

Rakennukseen voidaan lisätä rakennusautomaatioon kytkettyjä paine-eromittareita, joilla tasapainon pysyvyyttä voidaan pyrkiä varmistaa rakennuksen käytön aikana. Paine-erojen pysyvyys on varmistettava tilojen käyttöönoton jälkeen riittävän pitkällä seurantamittauksella niin, että mittauksia tehdään useammassa jaksossa sekä lämmityskaudella että kesällä.

4 Ilmatiiviyttä parantavat korjaukset

Rakenteiden ilmatiivyyden parantamisen ensisijaisena tavoitteena on vähentää rakenteiden läpi tapahtuvia hallitsemattomia ilmavirtauksia.

4.1 Ilmatiivyyteen liittyvät tutkimukset tilaajalle

4.1.1 Selvityksen sisältö ja vaiheet

Ilmatiivyyden parantaminen on harvoin ainoa korjaustoimenpide, vaan tyypillisesti osa muita korjauksia. Siksi korjaussuunnittelun lähtötiedoiksi tarvitaan tutkimuksia, joilla selvitetään ilmatiivyyden lisäksi rakenteiden kuntoa, lämpö- ja kosteusteknistä toimivuutta, mahdollisia vaurioita ja niiden laajuutta. **Ennen tiivistämistä on ymmärrettävä rakenteiden toimintatapa, jotta tiivistyksillä ei esimerkiksi heikennetä rakenteen kosteusteknistä toimivuutta.**

Aluksi kuntotutkija laatii tutkimussuunnitelman, joka hyväksytetään tilaajalla. Tämän jälkeen toteutetaan selvitysten kenttävaihe. Selvityksissä tehdyt havainnot, mittaustulokset, tulosten tulkinta, johtopäätökset sekä toimenpide-ehdotukset esitetään tutkimuslaskelmassa. Tutkimuslaskelmassa on myös otettava kantaa korjausten kii-reellisyyteen, jota voidaan arvioida esimerkiksi tilojen käyttötarkoituksen, ilmavuotojen voimakkuuden ja rakenteen epäpuhtauslähteen perusteella.

4.1.2 Rakenteiden ilmanpitävyyden tutkimusmenetelmät

Ilmatiivyysselvityksiä on tehty 2000-luvulta alkaen ja tutkimusmenetelmät ovat vakiintuneita. Rakenteiden ilmatiiviyttä voidaan selvittää seuraavilla menetelmillä:

- Lähtötietoselvitys. Rakenteiden toteutustapa selvitetään kohteen arkkitehti- ja rakennesuunnitelmista.
- Aistinvarainen tarkastelu. Pintoja rikkomattomin menetelmin voidaan havainnoida rakenteita ja ilmavirtauksia esimerkiksi merkisavua apuna käyttäen.

- Lämpökuvaus. Kuvaus voidaan tehdä katselmuksen tueksi yksivaiheisena tai ohjekortin *RT 14 - 11239 Rakennuksen lämpökuvaus* (2016) mukaisesti kaksivaiheisena.
- Merkkiainetekniikka on tarkin ilmapuoreittien paikannuskeino. Ohjekortti *RT 14 - 11197 Rakenteiden ilmatiiveyden tarkastelu merkkiainekokein* (2015) antaa yksityiskohtaiset ohjeet merkkiainekokeiden suorittamiselle.
- Rakenneavaukset. Rakenneavauksista voidaan havainnoida rakenteiden suunnitelmanmukaisuutta, tiivistettävien rakojen kokoa sekä vastepintojen materiaaleja ja kuntoa.

4.1.3 Liittyvät kosteus- ja rakennetekniset tutkimukset

Liittyviä kuntotutkimuksia on kuvattu ympäristöministeriön julkaisussa *Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus* (2016). Rakenneteknisillä selvityksillä, kosteusmittauksilla, materiaalinäytteiden otolla ja laboratorioanalyysillä selvitetään todetun ongelman aiheuttaja, laajuus ja korjauksen reunaehdot.

4.1.4 Ilmanvaihdon toimivuuden selvittäminen

Rakenteiden tiivistystarpeeseen, kiireellisyyden arviointiin sekä korjaustarpeen arviointiin vaikuttaa ilmanvaihtojärjestelmä, sen toimivuus sekä rakennuksen painesuhteet, joista tarvitaan korjaussuunnitteluvaiheessa vähintään perustiedot. Ilmanvaihdon tutkimusmenetelmistä on kerrottu tarkemmin luvussa 3.

Taulukko 8. Tilaajan muistilista ilmatiivyysselvityksiin.

-
- Ennakoi rakennuksen ikääntyessä erilaisia korjaustarpeita riittävillä selvityksillä, ennen kuin merkittävää haittaa ehtii syntyä
 - Reagoi rakennuksessa havaittuun äkilliseen ongelmaan riittävän nopeasti
 - Selvitä ilmanvaihdon toiminta ja painesuhteet aina ennen korjauspäätöksiä
 - Varmista, että rakenteiden tiiviyys ja ilmapuoreitit on arvioitu kokonaisvaltaisesti ja tiivistävyyttä eli mahdollisuuksia rakenteen tiiviiksi saamiseen on arvioitu.
 - Varmista, että kuntotutkimuksessa on selvitetty rakennetyypit, niiden kunto ja kosteustekninen toimivuus, ja että korjaustapaehdotukset perustuvat näihin. Vaadi kuntotutkimusraporttiin johtopäätöksiä ja toimenpide-ehdotuksia; pelkkä mittaustulos ei riitä!
-

-
- Vaadi kuntotutkijaa arvioimaan korjausten kiireellisyyttä esimerkiksi rakennusterveellisyteen perustuen. Rakennusterveysasiantuntijan laatimaa olosuhdearviointia voidaan käyttää arvioinnin apuna.
 - Ilmatiivyysselvityksistä aiheutuu tutkimuspäivänä pientä melua, jos rakenteita avataan ja porataan reikiä merkkiainekokeita varten. Varmista, kuka paikkaa avaukset selvitysten jälkeen. Vai voiko avaukset paikata vain väliaikaisesti, jos korjaukset alkavat nopeasti?
 - Korjaussuunnittelijan olisi hyvä olla mukana kuntotutkimuksissa. Olisi hyvä, jos korjaussuunnittelusta vastaava yritys voisi tehdä myös ilmatiivyysselvitykset. Näin tieto siirtyy tehokkaasti ja säästetään työmenekissä sekä kustannuksissa.
 - Jos korjaussuunnittelun tekee eri toimija, varmista että tieto siirtyy kuntotutkijalta suunnittelijalle. Järjestä yhteinen aloituspalaveri, jossa kuntotutkija esittelee tutkimustulokset ja johtopäätökset hankkeen osapuolille: tilaaja, korjaussuunnittelija, käyttäjät.
 - Tiedota käyttäjiä tutkimustuloksista ja jatkotoimenpiteistä.
-

4.2 Korjaustavat ja tavoitetasot tilaajan näkökulmasta

4.2.1 Miten määritellään soveltuvat korjaustavat?

Korjaustavan valintaan vaikuttavat rakennetyypit, rakenteiden kosteustekninen toimivuus, rakenteissa esiintyvät epäpuhtaudet ja mahdolliset haitta-aineet, rakenteiden tiiviys ja epätiiviyden aiheuttama haitta, kuten heikentynyt asumisviihtyvyys, ilmaääneneristävyys tai energian kulutus, mahdollisten vaurioiden laajuus ja laatu, korjaushankkeen erityiset tavoitteet, rakennuksen suojele sekä toiminnalliset ja taloudelliset näkökulmat (kiinteistöstrategia). Korjaustapa päätetään aina suunnitteluvaiheessa tapauskohtaisesti lähtötilanteen, tehtyjen selvitysten sekä korjauksen tavoitetason mukaan. Karkeana ohjeena voidaan esittää, että seuraavissa tilanteissa ei pelkästään tiivistetä, vaan rakenteisiin kohdistuu myös muita korjaustarpeita:

- energiatehokkuus ei parane tiivistämällä, jos rakenneosan lämmöneristävyys on heikko tai eristettä ei ole
- ääneneristävyys ei parane tiivistämällä, jos ääni siirtyy runkorakenteita pitkin
- aktiiviset ja viimeaikaiset mikrobivauriot (puretaan vaurioituneet materiaalit, poistetaan vaurion aiheuttaja ja korjataan rakenne)
- kokonaisessa rakenneosassa säännönmukaisesti esiintyvät tai muutoin laaja-alaiset mikrobivauriot (puretaan vaurioituneet materiaalit, poistetaan vaurion aiheuttaja ja korjataan rakenne)

- edelleen jatkuvista rakenneosan kosteusteknisen toimivuuden puutteista aiheutuvat mikrobivauriot sekä
- sisäpuolisissa rakenteissa tai ulkovaipassa kevyiden levyrakenteiden takana olevat mikrobivauriot (puretaan vaurioituneet materiaalit, poistetaan vaurion aiheuttaja ja korjataan rakenne).

Vaurioituneita materiaaleja poistettaessakin korjaus viimeistellään tiivistyksellä; mikäli vaurio on ollut esimerkiksi lämmöneristeessä, ympäröiviin kantaviin rakenteisiin jää yleensä jonkin verran epäpuhtauksia. Näiden hallitsemiseksi uudet pintarakenteet toteutetaan ilmatiiviisti.

Seuraavien tapausten soveltuvuutta tiivistämisen suhteen korjaustoimena ilman mikrobipitoisen materiaalin purkua silloin, kun rakenteen olosuhteet ovat kuivat, tulisi käyttää **tapauskohtaista kokonaisriskin arviointia**:

- ilmavuodoista aiheutuneet mikrobikertymät tuulettuvissa rakenneosissa (tilanne, jossa rakenne toimii kosteus- ja lämpötekniisesti oikein, ja mikrobit ovat kertyneet ulkoilmasta tuuletuksen mukana rakenteeseen)
- vanhoissa orgaanisissa tai hiekkaa tai muuta maa-ainesta sisältävissä rakennusmateriaaleissa luonnostaan olevat mikrobit (kun rakenne on kuiva ja mikrobit ovat lepotilassa)
- paikalliset ja hyvin vanhat mikrobikasvustot historiallisissa rakennuksissa (kun rakenne on kuiva, mikrobit ovat lepotilassa eikä suojeltuja pintarakenteita haluta rikkoa)
- ulkovaipan ulko-osissa esiintyvät pienialaiset, paikalliset mikrobivauriot (tilanne, jossa rakenteen kastuminen ei enää jatku)
- tilanne, jossa raskas korjaaminen ei olisi teknis-taloudellisesti järkevää ja korjauksen suunniteltu käyttöikä on lyhyt (tiivistäminen on käyttöä turvaava toimenpide).

Ensisijaisesti tilaajan on määriteltävä tiivistyskorjauksilta haluttava käyttöikätaavoite, joka pohjautuu kiinteistöstrategiaan. Mikä on rakennuksen tai tilojen jäljellä oleva elinkaari? Onko korjattaviin tiloihin tulossa peruskorjaus lähivuosina? Tiivistyskorjausten käyttöikätaavoite voi vaihdella lyhyemmästä käytöstä turvaavasta toimenpiteestä (enintään 5 vuotta) peruskorjaustasoiseen (≥ 25 vuotta). **Usein käyttöikätaavoite asetetaan niin, että tiivistykset pysyvät toimivina seuraavaan tiivistettäviin rakenteisiin liittyvään korjaukseen asti.** Käyttöikätaavoitteesta riippumatta korjaustaso ja tiivistyksiltä tavoiteltava laatutaso voivat olla perusteellisia ja kaiken kattavia, joten lyhyt käyttöikätaavoite ei tarkoita heikkoa ilmatiiviyttä.

Tiivistysten käyttöikätaavoite tarkoittaa ensisijaisesti teknistä käyttöikää, jolla tarkoitetaan korjaukseen valittujen materiaalien kestävyyttä, korjausratkaisun toimivuutta koh-

teen olosuhteissa sekä tiiviyden ylläpysymistä. Korjausratkaisu on siis toimiva vähintään käyttöikätaavoitteen verran, usein pidempään. Käyttöikäarviot perustuvat kokemusperäiseen tietoon sekä materiaalivalmistajien ilmoittamiin tiivistyksessä käytettävien materiaalien käyttöikäarvioihin. Esimerkiksi joustavilla saumamassoilla tehtyjen tiivistyksiä uusimistarve on usein ajankohtainen noin 15 vuoden välein (RT 82-10980). Nestemäisenä levitettävien vedeneristeiden käyttöikä on vähintään 25 vuotta (RIL-107). Höyrynsulkukalvoille sekä liitosnauhoille on esitetty tätäkin suurempia käyttöikä (Ylmén et al. 2014).

Käyttöikätaavoitteen määrittämisen jälkeen määritetään tavoiteltava korjaustaso. **Korjaustavat voidaan jaotella kolmeen eri luokkaan (A, B, C), joista A on perusteellisin ja C kevein.** Tämä ei ole suositusjärjestys, vaan korjaustaso valitaan kohdekohtaisesti ja se esitetään suunnitelmissa.

Taulukko 9. Rakenteiden tiivistämisperiaatteita korjaustavoissa A, B, C.

A. Perusteellinen rakenteen uusiminen ja toimivuuden parantaminen, jossa myös kantavaan rakenteeseen voi kohdistua merkittäviä korjaustoimenpiteitä tai se uusitaan:

- Tiivistys toteutetaan tyyppillisesti osana muita korjauksia koko rakennukseen huomioiden kaikki liitosrakenteet ja läpiviennit sekä tarvittaessa laajat pinnat. Tiivistys tehdään pintarakenteiden alle, runkorakenteen puhdistettuun pintaan.
- Käyttöikätaavoite lähtökohtaisesti 50 vuotta. Valituissa tiivistystavoissa ja materiaaleissa on erityisesti huomioitava tavoiteikä.

B. Rakenteen osittainen uusiminen, jossa vaurioituneet materiaalit poistetaan vaurioitumattomaan, usein kantavaan rakenteeseen saakka laajoilta alueilta.

- Tiivistys toteutetaan tyyppillisesti pintarakenteet osittain tai kokonaan purkamalla kuten korjaustavassa A.
- Korjaukset kohdistuvat usein rajattuihin rakenneosiin tai yksittäisissä tiloissa todettuihin epätiiviyksikohtiin.

C. Pääasiassa pintarakenteisiin liittyvä korjaus, jossa rakennetta korjataan sen ilmatiivyyttä ja tuuletusta parantamalla. Lisäksi tehdään paikallisia, selkeästi rajattavia vauriokorjauksia. Samalla parannetaan rakenteen kosteusteknistä toimintaa. Tässä korjausvaihtoehdossa vaurioitunutta materiaalia jää rakenteeseen.

-
- Tiivistyksiä toteutetaan kohteessa todettuihin ilmapuotokehtiin, tapauskohtaisesti tiivistyksiä voidaan tehdä myös pintarakenteiden päälle.
-

Korjauksilta tavoiteltavan käyttöiän ja korjaustason lisäksi määritetään tiivistyksiltä tavoiteltava **tavoitetaso**. Tavoitetason määrittelee yleensä lähtötilanne. Onko rakenteessa epäpuhtauslähde, jonka hallitseminen edellyttää merkittävää ilmatiivyyden parantamista? Vai tavoitellaanko tiivistyksillä esimerkiksi vedontunteen poistamista tai ilmaääneneristävyyden parantamista? Aina ei tarvitse tavoitella äärimmäisen tiivistä lopputulosta. Kevyemmin tiivistetyssä rakenteessa ilmavirtaukset tapahtuvat alkupe-
räistilannetta ahtaammista raoista, jolloin virtaukset ovat heikompia. Lisäksi vedontunne on pienempi ahtaista raoista. Ohjekorttiin RT14 - 11197, *Rakenteiden ilmatiivyyden tarkastelu merkkiainekokein* (2015) perustuvat tiivyyden tavoitetasot on listattu taulukossa 9.

Taulukko 10. Tiivyyden tavoitetaso voidaan määrittää asteikolla 1 - 3 (ohjekortti RT14 - 11197, *Rakenteiden ilmatiivyyden tarkastelu merkkiainekokein*). Täysin tiiviin (taso 1) lopputuloksen saavuttaminen edellyttää merkkiainekoeetta jokaisessa tiivistettävässä rakenteessa. Koe on toistettava niin monta kertaa, että rakenne on korjattu ja ilmatiivis. Laatutason 2 saavuttaminen edellyttää merkkiainekokeita pistokoeotannalla, esimerkiksi 30 % tiivistettävistä tiloista. Laatutason 3 laadunvarmistus voidaan tehdä myös aistinvaraisesti tai lämpökuvauksena apuna käyttäen.

1. Täysin tiivis, vuotoja ei sallita.

2. Merkittävä tiivyyden parantaminen: sallitaan vähäisiä vuotoja - 10 Pa alipaineessa (esim. yksittäiset pistemäiset ilmapuodot sallitaan).

3. Tiivyyden parantaminen: ei saa olla merkittäviä vuotoja - 10 Pa alipaineessa ja enintään vähäisiä vuotoja käyttötilanteessa, ilmanvaihto tasapainotettuna alle - 5 Pa (esim. pistemäiset ilmapuodot sallitaan sekä yksittäiset < 5 cm ilmapuodot)

Taulukko 11. Esimerkkejä erilaisten tiivistystarpeiden lähtötilanteista sekä niille tyypillisesti riittävästä korjaustasosta. Lähtötilanne ja korjaustaso määrittävät tiivistyksiltä tavoiteltavan laatutason. Jos tavoitteena on estää rakenteessa todennettujen mikrobien pääsy sisäilmaan, korjausten tavoitetaso on lähtökohtaisesti A tai B. Näiden korjaustasojen valinta edellyttää korjausten onnistumiseksi tiiviiden tavoitetasoa 1 tai 2. Laatutasossa 1 laadunvarmistusmittauksia tarvitaan jokaisessa tilassa, mikä voi vaikuttaa työmaan aikatauluun. Siten valittaessa korjaustaso A tai B on varauduttava suurempiin kustannuksiin, sillä suunnitteluun ja laadunvarmistukseen on käytettävä enemmän aikaa ja resursseja.

Lähtötilanne	Korjaustapa (Ympäristöopas 2016)	Tiiviiden tavoitetaso (RT14-11197)
1. Haitallinen kosteuskonvektio.		
2. Maaperän ja ulkovaipparakenteiden sekä muiden rakenteiden epäpuhtaudet.	A, B	1, 2
3. Asumisviihtyvyys.		
4. Energiankulutus.		
5. Ilmanvaihdon toimivuus.	C	3
6. Ilmääneneristävyys.		
7. Paloturvallisuus.	A, B	3*

*tässä oppaassa ei esitetä palokatkosten teknisiä laadunvarmistusperusteita.

Kuvissa 7-11 on annettu esimerkkejä eri korjaustasoista. Kuvassa 7 on esimerkki pintarakenteiden päälle tehdyistä tiivistyksistä (korjaustaso C). Alapohjan lattianraja on tiivistetty pinnoitteella, jonka tartuntapintana on puhdistettu betonialusta ja kauempana pinnoite liittyy muovimattoon. Oikeanpuoleisessa kuvassa on samalla tekniikalla tiivistetty kynnysrakenne sekä väliseinä-alapohjaliittymiä.



Kuva 7. Esimerkki pintarakenteiden päälle tehdyistä tiivistyksistä: korjaustaso C, tiiviydeltä tavoiteltava laatutaso 2, käyttöikätaivoite 5 vuotta. (kuvat Vahanen Rakennusfysiikka Oy:n arkisto)

Kuvassa 8 on esimerkki korjaustason C korjauksesta, jossa korjattiin alun perin puuteellisesti toteutettuja palokatkoja. Palokatkokorjausten myötä estettiin myös rakenteiden hallitsemattomia ilmavirtauksia.



Kuva 8. Esimerkki korjaustasosta C, palokatkotiiivistyksiset. Tiiviyden tavoitetaso 3, käyttöikätaivoite 20 vuotta. (kuvat Vahanen Rakennusfysiikka Oy:n arkisto)

Kuvassa 9 on esimerkkejä korjaustasosta B, jossa alapohjan ilmatiivyyttä on parannettu radonin torjumiseksi. Tiivistykset on tehty pintarakenteiden alle puhdistettuun betonipintaan. Korjausten onnistuminen varmistettiin työmaalla merkkiainekokein sekä käytön aikana tehdyillä radonpurkkimittauksilla.



Kuva 9. Esimerkkejä pintarakenteisiin liittyvistä korjauksista radonin torjumiseksi: korjaustaso B, tiiviyden tavoitetaso 2, käyttöikätaavoite > 25 vuotta. (kuvat Vahanen Rakennusfysiikka Oy:n arkisto)

Kuvassa 10 on esimerkki korjaustasosta B. Vuonna 2019 valmistuneen rakennuksen alapohjaliitoksesta todettiin ilmavuotoa, sillä radonkaista ei tiivistänyt liitosta täysin nurkkakohdissa. Sisätiloihin tuli hajua maaperästä, koska tilat olivat tarpeettoman alipaineiset. Lattianrajan ilmatiivyyttä parannettiin ja koneellisen ilmanvaihdon ilmamääriä säädettiin lähemmäs tasapainotilannetta, millä saatiin vähennettyä alipaineisuutta. Hajuhaitta poistui korjauksen jälkeen.



Kuva 10. Esimerkki korjaustasosta B, tiiviyden tavoitetaso 2. Maanvaraisen betonilaatan ilmatiivyyttä parannettiin siveltävällä tiivistysmassalla. (kuvat Vahanen Rakennusfysiikka Oy:n arkisto)

Kuvassa 11 on esimerkkejä korjaustasosta A, jossa ilmatiivyyttä on parannettu osana peruskorjausta. Vasemmanpuoleisessa kuvassa alapohjan ilmatiivyyttä on parannettu vedeneristysmassajärjestelmällä ja laadunvarmistusmittaukset merkkiainekokein ovat käynnissä. Oikeanpuoleisessa kuvassa on puurankainen ulkoseinä, jossa höyrynsulun uusimisen lisäksi on uusittu lämmöneriste. Kummassakin kohteessa tiivistykset on tehty pintarakenteiden alle ja rakennusten ilmatiivyyttä on parannettu kokonaisuutena.



Kuva 11. Esimerkki pintarakenteiden alle tehdyistä tiivistyksestä: korjaustason A, tiiviyden laatutaso 2, käyttöikätaivoite > 25 vuotta. (kuvat Vahanen Rakennusfysiikka Oy:n arkisto)

4.2.2 Ilmatiivyyttä parantavien toimenpiteiden suunnittelu

Korjaussuunnitelmat laatii tyypillisesti kohteen korjaussuunnittelija. Tässä oppaassa korjaussuunnittelijalla tarkoitetaan kohteen rakennesuunnittelijaa tai muuta erityissuunnittelijaa kuten rakennusfysiikan suunnittelijaa tai kosteusvaurion korjaussuunnittelijaa. Tiivistämisen onnistuminen vaatii tyypillisesti tarkkaa yksityiskohtaista suunnittelua. Vaativissa kohteissa korjaukselle on paremmat edellytykset onnistua silloin, kun kohteen korjaussuunnittelija laatii kohdekohtaisesti seuraavat asiakirjat:

- Korjaustyöohje tai korjaustyöselostus, jossa esitetty käytettävien materiaalien ja korjaustöiden lisäksi myös vaaditut laadunvarmistustoimenpiteet, kuten mallityöt, työvaihekatselmukset ja mittaukset sekä korjaustöiden ilmatiivyyden korjaus- ja laatutason tavoitteet. Tarvittaessa laaditaan erillinen laadunvarmistus- ja seurantasuunnitelma, jossa edellä mainitut laadunvarmistusmenetelmät on esitetty.
- Tasopiirustus, jossa esitetään periaatteet korjaustyön laajuudesta
- Tarvittavat leikkaukset, mittakaava on tyypillisesti 1:10 tai 1:20
- Yksityiskohtaiset piirustukset tiivistettävistä liittymäpinnoista, tyypillisesti mittakaava on 1:2, tapauskohtaisesti 1:5 piirustukset voivat riittää.
- Huomioidaan ilmanvaihtojärjestelmän toimenpiteet yhteistyössä kohteeseen nimetyn erillisen ilmanvaihdon korjaussuunnittelijan kanssa.

Korjaussuunnitelmien ristiintarkastuksessa voi käyttää kohteessa tutkimukset tehnyttä kuntotutkijaa, tai vaativissa kohteissa ulkopuolista suunnitteluun erikoistunutta asiantuntijaa tai ulkopuolista suunnitelmien ulkopuolista tarkastajaa.

Taulukko 12. Tilaajan muistilista korjaussuunnitteluvaiheeseen.

-
- Ennen suunnittelun aloittamista kiinteistön omistaja on määrittänyt korjaukset reunaehdot: aikataulu, käyttöikätaavoite, tavoiteltava korjaustaso sekä mahdolliset sisäilmatavoitteet.
 - Korjaussuunnittelijalle on toimitettu kohteen piirustukset, tutkimusraportit ja muut mahdolliset selvitykset suunnittelun lähtötiedoiksi.
 - Varmista, että kilpailutusasiakirjoihin nimetty suunnittelija myös osallistuu suunnitteluun.
 - Huolehdi, että suunnitelmissa on mukana myös ilmanvaihdon ja rakennusautomaation vaatimat toimenpiteet.
 - Selvitä rakennusluvan tarve.
 - Vaadi, että korjaussuunnittelija esittää suunnitelmissa tiivistysten laatutason sekä työmaan laadunvarmistusmenetelmät: mittausten, mallitöiden ja katselmusten aiheet sekä otannan.
 - Isommissa kohteissa on hyvä teetättää erillinen laadunvarmistus- ja seurantasuunnitelma, jossa on määritetty työmaan laadunvarmistuksen lisäksi käytön aikaisen seurannan aikataulu ja mittausmenetelmät.
 - Huolehdi, että korjaussuunnittelija toimittaa päivitetyt loppupiirustukset ja tarvittaessa vie huoltokirjaan oleelliset tiedot korjauksista ja käytetyistä materiaaleista sekä huolto-ohjeet.
 - Tiedota käyttäjiä korjaussuunnittelusta ja sovi remontin aikataulu yhdessä käyttäjien kanssa. Pohdi ja varmista, onko käyttäjillä jotain muita korjaus- tai muutostarpeita, jotka voitaisiin tehdä samanaikaisesti tulevassa remontissa?
-

5 Ilmatiiviyttä parantavien korjausten laadunvarmistus

Työmaa-aikaisen valvonnan, laadunvarmistuksen sekä takuuajaisen ja takuuajan jälkeisen seurannan avulla arvioidaan korjausten onnistumista, todennetaan hankkeelle asetettujen tavoitteiden toteutuminen ja pysyvyys rakennustyön vastaanottamisen jälkeen.

5.1 Hankkeen toteuttajien osaaminen erityisasemassa

Tiivistäminen, sen suunnittelu ja ilmatiivyyden selvittäminen vaatii usein erikoisosaa- mista. Oikeiden toimijoiden valinnan merkitys korostuu erityisesti vanhemmissa tai rakenteiltaan monimuotoisissa rakennuksissa. Hankkeessa on käytettävä aiheeseen perehtyneitä kuntotutkijoita, suunnittelijoita sekä urakoitsijaa. Jos tutkimukset on tehty ja suunnitelmat laadittu hyvin, mutta työmaan toteutus on huolimaton, johtaa lopputulos väistämättä epäonnistumiseen.

5.1.1 Tilaajan tehtäviä ilmavuotoselvityksissä ja korjauksissa

Hankesuunnitteluvaiheessa rakennustyön lopputulokselle asetetaan yleiset tavoitteet sekä hankekohtaiset tavoitteet. Tilaajan on tiedostettava hankesuunnitteluvaiheessa tehtyjen päätösten vaikutus kustannuksiin. Mitä perusteellisempi korjaustapa valitaan, sitä enemmän tarvitaan laadunvarmistusta ja valvontaa. Erityisesti tiivyyden laatutaso- tavoite ohjaa merkittävästi kustannusten muodostumista: valittu laatutaso vaikuttaa suoraan kustannuksiin sekä työmaavaiheen keston. Siksi on tarkkaan harkittava, mikä on riittävä korjaustapa ja laatutaso.

Mitä aikaisemmassa vaiheessa tilaaja pystyy rajamaan hankkeen reunaehtoja, sitä tarkemmat kilpailutusasiakirjat voidaan laatia ja saadaan keskenään vertailukelpoisempia tarjouksia. Hintakilpailutus onnistuu, kun laatu- ja reunaehdot on määritetty. Vaativissa kohteissa kannattaa valita osaavat tekijät, eli painottaa laatua eikä hintaa.

Halpa hinta voi johtaa korkeisiin loppukustannuksiin, jos tehtyä työtä joudutaan korjaamaan ja tekemään tiivistyksiä työmaalla useaan kertaan tavoitellun lopputuloksen saavuttamiseksi.

Hankinta voidaan tehdä käyttäen puitesopimuskuoppaneita, lähettämällä tarjouspyynnöt valituille toimijoille tai suoravalintana. Rakenteiltaan monimuotoisissa tai rakennusfysikaaliselta toimivuudeltaan erityisissä rakennuksissa painottuu erikoisosaaminen, jolloin hankinnan painopiste on osaamisessa eikä hinnassa. Erikoiskohteissa suoravalinta referenssien perusteella voi olla kokonaistaloudellisesti edullisin ratkaisu, kun ongelma saadaan hoidettua kerralla kuntoon.

Ilmatiivyyden parantamiseen tähtäävissä hankkeissa tarvitaan pääsääntöisesti seuraavia hankintoja:

- ilmatiivyysselvitys tai laajemmat kuntotutkimukset
- korjaussuunnittelu ja urakan kilpailutus
- urakointi
- valvonta
- laadunvarmistus
- korjausten jälkeinen seuranta.

Säännöllinen viestintä on tärkeässä roolissa koko korjaushankkeen ajan. Tilojen käyttäjät kannattaa ottaa mukaan hankkeeseen heti alusta alkaen. Tutkimustulosten ja korjaussuunnitelmien esittelytilaisuudet ovat usein toimivia. Käyttäjien edustajan kannattaa olla mukana myös työmaa- ja suunnittelupalavereissa. Tarvittaessa voidaan järjestää käyttäjille työmaakierroksia. Viestintä ei pääty korjausten valmistumiseen, vaan sitä jatketaan käytön aikana tiedottamalla tilojen oikeasta käyttötavasta sekä seurantamittausten tuloksista.

5.1.2 Kuntotutkija ja korjaussuunnittelija

Ilmavuotoihin liittyvien selvitysten tekeminen ja korjaussuunnitelmien laatiminen on erikoistunutta asiantuntijatyötä, jota tekevät kosteus- ja sisäilmateknisiin kuntotutkimuksiin ja kosteusvauriokorjauksiin sekä rakennusfysiikkaan erikoistuneet suunnittelutoimistot. Mikäli jo tutkimuksia tilattaessa tiedetään, että kohteessa tullaan tekemään korjauksia, voidaan kuntotutkijaksi valita asiantuntija, joka voi tutkimusvaiheen jälkeen laatia korjaussuunnitelmat. Näin tieto kuntotutkimuksista siirtyy parhaiten korjaushankkeeseen. Suunnittelijataustainen kuntotutkija osaa usein myös arvioida tarkemmin vaihtoehtoisia korjaustapoja jo kuntotutkimusvaiheessa.

Kuntotutkijan osaamisen voi varmistaa pyytämällä nähtäväksi referenssejä vastaavista selvityksistä. Kuntotutkija voi olla henkilösertifioitu (esim. kosteusvaurion kuntotutkija (KVKT) tai rakennusterveysasiantuntija (RTA)), mutta se ei ole välttämättömyys selvitysten onnistumiselle etenkin pienemmissä hankkeissa.

Taulukko 13. Tilaajan muistilista kuntotutkijan valintaan.

-
- Varmista kuntotutkijan osaaminen: pyydä referenssejä ilmatiivyysselvityksistä. On eduksi, jos kuntotutkijalla on myös korjaussuunnittelu- tai valvontaosaamista.
 - Varmista, että tarjousasiakirjoihin nimetyt asiantuntijat myös osallistuvat toimeksiantoon.
 - Katselmus kohteessa ennen tarjouksen antamista auttaa kuntotutkijaa laatimaan tarkemman tarjouksen.
 - Varmista, että tarjouksessa on erittely, josta käy ilmi tutkimusten laajuus, tutkimusmenetelmät ja otanta, raportointitapa sekä tutkimukseen nimetyt vastuuhenkilöt
-

Korjaussuunnittelija hallitsee ilmatiivyyden parantamiseen liittyvät korjausratkaisut sekä tiivistämisen vaikutukset rakenteiden kosteustekniseen toimintaan. Pätevyden vähimmäisvaatimuksena on kokemus tiivistyskorjauksista ja lisäksi pätevyys voidaan osoittaa erillisellä referenssiluettelolla tai erillisellä kosteusvaurion korjaussuunnittelun tai rakennusfysiikan suunnittelupätevyydellä (FISE). Sekä kuntotutkijan että korjaussuunnittelijan valinnassa kannattaa painottaa referenssejä ja kokemusta. Rakennushankkeeseen ryhtyvän (usein kiinteistön omistaja) tulee huolehtia siitä, että käytetään päteviä suunnittelijoita. Mikäli ilmanvaihtojärjestelmään tehdään muutoksia, on hankkeeseen sitoutettava ilmanvaihdon suunnittelija.

Taulukko 14. Tilaajan muistilista rakennesuunnittelijan valintaan.

-
- Varmista korjaussuunnittelijan osaaminen referenssien ja pätevyyksien avulla.
 - Varmista, että korjaussuunnittelija saa lähtötiedoiksi kuntotutkimuksen sekä muun dokumentaation rakennuksesta.
 - Varmista, että tarjouksessa on eritelty korjaussuunnittelussa tuotettavat dokumentit, piirustusten ja tarkekuvien lukumäärä sekä nimetyt vastuuhenkilöt. Tarjouksessa on hyvä olla kustannusarvio myös työnaikaiselle korjaussuunnittelulle.
-

5.1.1 Urakoitsija

Huolellinen toteutus työmaalla on ehdoton edellytys tiivistyksen onnistumiselle. Tiivistystyö on lähtökohtaisesti suoritettava samalla tarkkuudella kuin märkätilojen vedeneristystyö. Tilaajan on mietittävä mitä urakoitsijalta halutaan. Usein ammattitaito vaikuttaa toimintatapaan ja kykyyn kantaa riskejä, joustavuuteen sekä haluun ja kykyyn paneutua urakan yksityiskohtiin. Hyvä urakoitsija:

- tekee selvät ja ymmärrettävät tarjoukset
- tuntee suunnitelmissa nimetyt työtekniikat ja materiaalit tai on kiinnostunut hankkimaan tarvittavan koulutuksen esimerkiksi materiaalivalmistajalta
- tiedottaa tilaajalle selkeästi ja ajoissa työn vaatimuksista, riskeistä, aikatauluista ja työajoista
- osaa varata riittävästi aikaa työn toteuttamiseen kohteen vaativuus huomioiden
- sopii oma-aloitteisesti mallitöiden ja työvaiheiden tarkastuksista
- antaa asianmukaiset kirjalliset näytöt osaamisestaan ja referensseistään
- noudattaa suunnitelmia, yleisiä ohjeita ja määräyksiä
- tutustuu kohteeseen ennen tarjouksen antamista
- panostaa työntekijöidensä ammattitaitoon ja koulutukseen.

Urakkasopimuksessa kannattaa määritellä tarkasti mm. laadunvarmistuksen kustannusten jakautuminen. Esimerkiksi usein merkkiainekokeiden kustannukset maksaa tilaaja, mutta mikäli koe joudutaan toistamaan useita kertoja, maksajana on urakoitsija. Vaihtoehtoisesti ne voidaan sopia sisältyvän urakkaan kokonaisuudessaan. Siinä tapauksessa tilaajan tulisi kuitenkin tarjota tarjottavan kokonaisuuden laajuutta ja laatua.

Taulukko 15. Tilaajan muistilista urakoitsijan valintaan.

-
- Varmista urakoitsijan osaaminen: pyydä referenssejä toteutuneista kohteista ja niiden yhteyshenkilöt yhteystietoineen, jotta heiltä voi tarvittaessa tiedustella korjauksen onnistumisesta. Urakoitsijan osaamisen voi varmistaa myös vaatimalla rakenteiden tiivistäjän henkilösertifikaattia
 - Liitä urakan kilpailutusasiakirjoihin mukaan laadunvarmistus- ja seurantasuunnitelma. Päätä, mitkä mittaukset kuuluvat urakkaan: ovatko esimerkiksi merkkiainekokeet tilaajan laadunvarmistusta vai kuuluvatko laadunvarmistuksen kustannukset urakoitsijalle.
 - Pidä urakkaneuvottelu, jossa sovitaan urakan yksityiskohdista
 - Kilpailuta ja tilaa erillinen urakoitsijasta riippumaton laadunvarmistus viimeistään samaan aikaan urakoitsijavalinnan kanssa.
-

5.1.2 Valvoja

Tiivistyskorjauksen teknisen toteutuksen onnistuminen varmennetaan työmaalla laadunvarmistusmenettelyllä, joka koostuu tavanomaisen valvonnan (valvoja) lisäksi katselmuksista (suunnittelija) ja laadunvarmistusmittauksista. Työmaa-aikainen valvonta varmistaa rakennustyön toteutumisen ja onnistumisen suunnitelmien mukaisesti siten, että hankkeelle asetetut laatuvaatimukset saavutetaan. Valvontatyön voi tehdä riittävän kokemuksen omaava rakennusteknisten töiden valvoja. Usein valvojan ammattitaito vaikuttaa toimintatapaan ja kykyyn paneutua urakan yksityiskohtiin. Hyvä valvoja:

- ymmärtää kohteen vaativuuden
- varaa riittävästi aikaa kohdekäynneille
- osallistuu malli- ja työvaihekatselmuksiin
- laatii kohdekäynneistä selkeät valvontamuistiot
- on kokemusta ja ymmärrystä käytettävistä korjaustavoista ja materiaaleista
- uskaltaa ja osaa vaatia urakoitsijalta oikeanlaista laatua ja toimintatapaa.

Taulukko 16. Tilaajan muistilista valvojan valintaan.

-
- Muista tilata valvoja kohteeseen ajoissa!
 - Varmista riittävät referenssit
 - Vaadi valvojalta valvontasuunnitelma ja valvontamuistiot
 - Huolehdi, että valvoja tutustuu suunnitelmiin ja kohteeseen ajoissa ennen urakan alkamista.
-

5.2 Työmaa-aikainen laadunvarmistus

Tiivistysten laadunvarmistus työmaalla tehdään ennen pintarakenteiden asentamista. Tarvittavat mittaukset ja otanta määritellään suunnitelmissa tai erillisessä laadunvarmistus- ja seurantasuunnitelmassa kohdekohtaisesti tavoiteltavan tiivyyden tavoitetasoon mukaan. Laadunvarmistusta toteuttaa erillinen tilaajan hankkima asiantuntija tai laadunvarmistusmittauksia tekee valvoja. Myös urakoitsija varmistaa oman työsuorituksensa onnistumista mittauksilla, jos niin on määritelty. Laadunvarmistusmittauksista ja katselmuskäynneistä laaditaan kirjallinen dokumentti. Laadunvarmistukseen työmaalla voi sisältyä seuraavaa:

- Mallityöt. Tehdään erilaisista tiivistettävistä rakenteista. Hyväksytyt mallityöt toimii tulevien työsuoritusten työmallina. Mallin toimivuus testataan aina merkkiainekokeella, kun tavoitteena on tavoitetaso 1, muissa tapauskohtaisesti. Valmiin mallin hyväksyy suunnittelija ja tilaajan edustaja.
- Työvaihekatselmukset. Katselmuksilla varmistetaan, että tietty työvaihe on suoritettu suunnitelmien mukaisesti. Tiivistyksissä oleellisia työvaihekatselmuksia ovat purkukatselmus, alustan tarkastus ennen tiivistämistä, valmiin tiivistystyön tarkastus aistinvaraisesti ennen pintarakenteiden asentamista.
- Aistivarainen tarkastus. Katselmoidaan silmämääräisesti työn suoritusta, valokuvataan ja dokumentoidaan. Tiivistettäviä rakenteita ei saa peittää ennen valvojan antamaa lupaa.
- Tartunta alustaan. Voidaan selvittää esimerkiksi kolmioviiltokokeella (vedeneristeet ja niiden kaltaiset tiivistystuotteet).
- Kalvopakisuuden mittaaminen. Tiivistysmateriaalin suunnitelmissa esitetyn kalvopakisuusvaatimuksen täyttyminen voidaan mitata tavallisimmin mitataan kolmioviiltokokeessa otetusta palasta luupilla.
- Merkkiainetekniikalla voidaan tehdä mittauksia tiivistettyihin rakenteisiin. Merkkiainekoe on suositeltavaa toistaa täydentävän korjauksen jälkeen niin monta kertaa, että vuotokohdat on korjattu ja rakenne on tiivis.
- Lämpökuvaukset. Lämpökuvaukset eivät ole yhtä tarkkoja kuin merkkiainekoe, mutta lämpökuvauksella ennen ja jälkeen tiivistämisen voidaan havainnoida muutokset ilmatiiviydessä.

Tiivistyskorjausten onnistumisen varmistamiseen liittyy olennaisena osana myös ilmanvaihtojärjestelmän korjausten laadunvarmistus. Merkittävien työmaa-aikainen laadunvarmistus ovat korjausten päätteeksi tehtävät toimintakokeet, jotka sisältävät mm. ilmamäärien tarkistusmittauksia, painesuhteiden mittauksia sekä ilmanvaihtojärjestelmän toiminnan tarkastuksen.

5.3 Korjausten jälkeinen käytön aikainen toimivuuden seuranta

Työmaavaihe päättyy vastaanottotarkastukseen. Vastaanottotarkastuksessa mahdollisesti havaittujen puutteiden korjausten jälkeen alkaa seurantajakso. Seurannan tarkoituksena on varmistaa, että hankkeen alussa asetetut tavoitteet toteutuvat. Rakennushankkeissa tiivistystason pysyvyys voidaan varmistaa esimerkiksi urakan takuuajana, jolloin mahdollisesti havaitut puutteet voidaan nostaa esille takuutarkastuksessa. Takuuajan jälkeen tehtävän seurannan tarve riippuu rakennushankkeen luonteesta, tehdyistä korjaustoimenpiteistä ja kahden ensimmäisen käyttövuoden aikana

tehdystä havainnoista sekä seurantamittauksissa saaduista tuloksista. Yleensä seurantajakson pituus on 2 - 5 vuotta, mutta tapauskohtaisesti seuranta voidaan tehdä pidempäänkin.

Hankkeen aikana, tyypillisesti suunnitteluvaiheessa laaditussa laadunvarmistus- ja seurantasuunnitelmassa on esitetty käytön aikaisen seurannan toimenpiteet. Suunnitelman laativat korjaussuunnittelija, jota avustaa tarvittaessa erillinen sisäilma-asiantuntija. Seurantamenetelmät, tarkastustiheys ja otanta määritellään kohdekohtaisesti. Tarvittavia mittauksia tehdään sen verran, että niistä on luotettavasti arvioitavissa korjausten onnistuminen. Mittaustuloksia verrataan ennen korjausta tehtyihin mittauksiin sekä työmaa-aikaisiin laadunvarmistusmittaustuloksiin.

Taulukko 17. Tiivistyskorjausten pysyvyyden todentamiseksi tarvittavat mittaukset riippuvat lähtötilanteesta. Taulukossa on annettu esimerkkejä joistakin seurantavaihtoehdoista. Mittaustiheys vaihtelee kohteen luonteen ja monimuotoisuuden mukaan.

Lähtötilanne	Seurantatapa
Tiivistyksillä on estetty ilmavirtaukset merkittävästä epäpuhtauslähteestä. Tiivistyskorjausten tavoitetasoksi on määritetty taso 1 (täysin tiivis).	Seurantajakson pituus on yleensä viisi vuotta. Tiiviys varmistetaan merkkiainetutkimuksilla, joita tehdään pistokoeluonteisesti riskialtteimpiin kohtiin, harkinnanvaraisesti esim. 10 % korjatuista tiloista.
Tiivistyksillä on estetty ilmavirtauksia epäpuhtauslähteestä. Tiivistyskorjausten tavoitetasoksi on määritetty taso 2 (merkittävä tiiviyden parantaminen).	Seurantajakson pituus on yleensä kaksi vuotta. Tiiviys varmistetaan merkkiainetutkimuksilla, joita tehdään pistokoeluonteisesti riskialtteimpiin kohtiin, esim. 10 % korjatuista tiloista.
Tiivistyksiä tehty ns. puhtaisiin rakenteisiin esim. energiatehokkuuden parantamiseksi tai vedontunteen poistamiseksi. Tiivistyskorjausten tavoitetasoksi on määritetty taso 3 (tiiviyden parantaminen).	Seurantajakson pituus on yleensä kaksi vuotta. Toimivuus voidaan tarkastaa aistinvaraisesti tai lämpökuvausta apuna käyttäen.

Ilmanvaihdon toimivuutta ja painesuhteiden pysyvyyttä seurataan tyypillisesti ensimmäisen käyttövuoden aikana, jolloin painesuhteiden seuranta tehdään useita kertoja esimerkiksi lämmityskaudella, että kesällä. Jatkuvakestoista olosuhdeseurantaa voidaan tehdä joko talotekniikkaan liitetyillä antureilla tai erillisillä mittalaitteilla. Tuloksia verrataan rakennusautomaatiosta mahdollisesti saataviin lämpötila-, kosteus- ja painesuhdetietoihin sekä ilmanvaihtokoneiden käyttöaikoihin.

Mikäli tiivistyksiä on tehty liian korkeiden radonpitoisuuksien vuoksi, voidaan radonkorjausten onnistumisen varmistaminen tehdä radonmittauksin. Mikäli alapohjarakenteiden tai maanvastaisten rakenteiden tiivistäminen aiheuttaa riskin kosteuden kertymisestä rakenteeseen, on rakenteiden kosteustekninen toimivuus varmistettava pitkällä aikavälillä esimerkiksi pintakosteuskartoituksella ja rakennekosteusmittauksin.

Taulukko 18. Tilaajan muistilista korjausten jälkeiseen, käytönaikaiseen seurantaan.

-
- Takuuajan seurantajakso alkaa vastaanottotarkastuksen jälkeen.
 - Seuranta tehdään ennalta laaditun laadunvarmistus- ja seurantasuunnitelman mukaan.
 - Muista tilata seuranta ajoissa! Seuranta voi tehdä esimerkiksi sama kuntotutkija, joka teki selvityksiä ennen korjauksia.
 - Seurantamittausten tulokset tarvitaan käyttöön ennen takuutarkastuksia.
 - Tiedota käyttäjiä seurantamittauksista ja niiden tuloksista.**
-

Lähteet

- A-Insinöörit Oy (Björkroth M ja Eskola L.), 2019. Rakennusten paine-erojen mittausohjeprojektin loppuraportti. Tulostettavissa https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Rakennusten-paine-erojen-mittausohje-2019-10-11-7287C51D_EFAA_41F7_BCAC_7F81A18AAA4C-151430.pdf/df1a430e-554b-10d9-5a0f-2e2366165531/Rakennusten-paine-erojen-mittausohje-2019-10-11-7287C51D_EFAA_41F7_BCAC_7F81A18AAA4C-151430.pdf?t=1603260085078
- Hakamäki H. 2015. Toteutustavan vaikutus ulkovaipparakenteen sisäpinnan ilmavuototiivistysten pysyvyyteen. Diplomityö, Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu. Tulostettavissa https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/18661/master_Hakam%c3%a4ki_Heli_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Koskivuori M. 2016. Liitosnauhojen käytettävyys ikkunaliittymien tiivistyksessä. Opin- näytetyö, Metropolia Ammattikorkeakoulu, Insinööri (YAMK), Korjausrakentaminen.
- Laine K. 2014. Rakenteiden ilmatiivyyden parantaminen sisäilmakorjauksissa. Opin- näytetyöt, Rakennusterveys. Koulutus- ja kehittämisspalvelu Aducate, Itä-Suomen yli- opisto, Kuopio.
- Lammi T. 2016. Epäpuhtauksien hallinta rakenteiden alipaineistuksen avulla. Rateko, Opin- näytetyö, Rakennuservesiantuntija RTA 2015 - 2016, Helsinki.
- Rakennustietosäätiö, 2009. RT 80-10974, Teollisesti valmistettujen asuinrakennusten ilmanpitävyyden laadunvarmistusohje.
- Rakennustietosäätiö, 2009. RT 82-10980 Kiviaineisten elementtijulkisivujen saumat.
- Rakennustietosäätiö, 2019. RT 103123 Radonin torjunta.
- Rakennustietosäätiö, 2015. RT 14-11197, Rakenteiden ilmatiivyyden tarkastelu merkkiainekeihin.
- Rakennustietosäätiö, 2016. RT 14-11239 Rakennuksen lämpökuvaus.
- RIL 107 - 2022, Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry, Helsinki.
- RIL 255 - 1 - 2014, Rakennusfysiikan käsikirja. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry, Helsinki. 500 s.

SFS-EN ISO 12572, Rakennusmateriaalien ja tuotteiden lämpö- ja kosteustekniset ominaisuudet. Vesihöyryn siirtymisominaisuuksien määrittäminen. 2001. 20 s.

Sosiaali- ja terveysalan valvontavirasto Valvira, 2016. Asumisterveysasetuksen soveltamisohje Osa I. Ohje 8/2016. Tulostettavissa <https://www.valvira.fi/ymparistoterveys/terveydensuojelu/asumisterveys>

Sisäasiainministeriö. Rakentamismääräyskokoelma C2, Veden ja kosteuden eristys. Määräykset 1976. Sisäasiainministeriö. Tulostettavissa <https://ym.fi/rakentamismaaraykset>

Suomen LVI-liitto SuLVI ry. Ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmien kuntotutkimus. Yleisohje ja tilaajan ohje. 2016. Tulostettavissa <https://sulvi.fi/wp-content/uploads/2017/05/IVKT-2016-Ohje-1-Ilmanvaihto-ja-ilmastointij%C3%A4rjestelmien-kuntotutkimus-Yleisohje.pdf>

Suomen Rakentamismääräyskokoelma B3, Pohjarakenteet. Määräykset ja ohjeet 2004. Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto. Tulostettavissa <https://ym.fi/rakentamismaaraykset>

Suomen Rakentamismääräyskokoelma C2, Veden ja kosteudeneristys. Määräykset 1976. Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto. Tulostettavissa <https://ym.fi/rakentamismaaraykset>

Suomen Rakentamismääräyskokoelma C2, Kosteus. Määräykset ja ohjeet 1998. Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto. Tulostettavissa <https://ym.fi/rakentamismaaraykset>

Suomen Rakentamismääräyskokoelma C3, Lämmöneristys. Määräykset 1985. Ympäristöministeriö. Tulostettavissa <https://ym.fi/rakentamismaaraykset>

Suomen Rakentamismääräyskokoelma C3, Rakennuksen lämmöneristys. Määräykset 2003. Ympäristöministeriö. Tulostettavissa <https://ym.fi/rakentamismaaraykset>

Suomen Rakentamismääräyskokoelma D2, Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset 2012. Ympäristöministeriö. Tulostettavissa <https://ym.fi/rakentamismaaraykset>

Ylmén Peter, Hansén Magnus, Romild Jörgen. SP Technical Research Institute of Sweden. Durability of air tightness solutions for buildings. 35th AIVC Conference, 4th

TightVent Conference, 2nd venticool Conference. Ventilation and airtightness in transforming the building stock to high performance. Poznan, 2014.

Ympäristöministeriö. Rakennusten kosteustekninen toimivuus. Ympäristöministeriön ohje rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta. 2020. Tulostettavissa <https://ym.fi/rakentamismaaraykset>

Ympäristöministeriö. Ympäristöopas 2016, Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. Tulostettavissa https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/75517/YO_2016_Kuntotutkimusopas.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta (782/2017). Ympäristöministeriö, 2017. Tulostettavissa <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170782>

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

Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017. Ympäristöministeriö, 2017. Tulostettavissa <https://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2017/20170848>

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 101/2017. Ympäristöministeriö, 2017. Tulostettavissa <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171010>

Ympäristöministeriö. Ympäristöministeriön julkaisuja | 2019:18. Kosteus- ja mikrobivaurioituneiden rakennusten korjaus. Tulostettavissa https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161855/YM_2019_18_211019.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Ympäristöministeriö. Ilmanvaihdon katsastusopas, luonnosversio 1.1/2021.

Ympäristöministeriö, 1997. Ympäristöopas 28, Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus. Rakennustieto Oy.



VALTIONEUVOSTO
STATSRÅDET

Valtioneuvoston kanslia

Statsrådets kansli

Opetus- ja kulttuuriministeriö

Undervisnings- och kulturministeriet

Sosiaali- ja terveysministeriö

Social- och hälsovårdsministeriet

Ympäristöministeriö

Miljöministeriet

