



RAKENNUSTIETO >

Rakennusalan täyden palvelun tietotalo

Rakennustieto Oy edistää hyvää rakennustapaa ja tuottaa rakentamisesta luotettavaa tietoa. Puolueettoman ja asiakaslähtöisen Rakennustieto Oy:n tuotteet kattavat rakentamisen koko elinkaaren suunnittelusta ylläpitoon. Yhtiön omistaa Rakennustietosäätiö RTS.

Tutustu palveluihimme

> rakennustieto.fi/rk/palvelut

Rakentajain kalenterin artikkelit

Tämä artikkeli on julkaistu alun perin Rakentajain kalenterissa, jota ovat julkaisseet Rakennustietosäätiö RTS sr ja Rakennusmestarit ja -insinöörit AMK RKL ry.

Julkaisu oli rakennusalan ammattilaisten ja opiskelijoiden käsikirja, joka yhdisteli teoriaa ja käytäntöä sekä kannusti hyvään rakentamiseen. Artikkelin vasemmassa reunassa olevasta vesileimasta näkee ko. Rakentajain kalenterin vuosikerran.

> [Artikkeliarkisto, kokoelma vuosien 1997–2018 Rakentajain kalenterissa julkaistuista artikkeleista](#)

Rakennuksen tiiviys

Asko Sarja, Tekn. tri
Professori (emeritus), Innokas Ky
asko.sarja@innokas.com

2

1 Rakennuksen tiiviys energiatehokkaan rakennuskonseptin osana

Rakennuksen tiiviyteen kiinnitetään yhä lisääntyvää huomiota sitä mukaa kuin sen vaikutuksia rakennuksen ja vaipparakenteiden toimivuuteen ja sisäilman laatuun on tutkittu ja opittu ymmärtämään. Muita tiiviyttä painottavia tekijöitä ovat rakennuksen energiatehokkuuden kohottamistarve energian hinnannousun ja päästöjen rajoittamisen takia [1 ja 2]. Yleisesti voidaan sanoa, että rakennusvaipan tiiviys on yksi rakennuksen teknisen laadun keskeisistä tekijöistä, johon tulee kiinnittää suurta huomiota rakennuksen ominaisuusmäärittelyssä, teknisissä spesifikaatioissa, rakennetyyppien valinnoissa, rakenteiden yksityiskohtaisessa suunnittelussa, valmistuksessa, suunnittelun ja valmistuksen laadunvarmistuksessa, luovutustarkastuksessa ja lopulta vielä käytön, huollon ja korjausten yhteydessä. Esivalmisteisten rakenteiden ja valmistalojen tuotekehitys on pitkäjänteisesti ajateltuna varsin määräävä vaihe tiiviiden rakennusten toteuttamisessa, koska siinä voidaan rakennetarkaisuihin vaikuttaa kaikkein perusteellisimmin.

Vuotoilmalla on suuri vaikutus lämmöntarpeeseen. Passiivitalon tiiviydystasolla $n_{50} = 0,6$ tilojen lämmitysenergian tarve on pelkästään tiiviyserojen takia laskennallisesti 25 % pienempi kuin normitalon 2008 tiiviydystasolla $n_{50} = 4$ [3].

Rakennuksen tiiviys kuuluu aina yhteen hallitun ilmanvaihdon kanssa. Koska tiiviin talon sisäilma ei käytännössä vaihdu juuri ollenkaan vuotokohtien kautta, tulee rakennuksessa olla hyvin tasapainotettu ja riittävä ilmanvaihto, jolla taataan terveellinen ja viihtyisä sisäilmasto. Ilmanpitävässä rakennuksessa ilmanvaihdon lämmön talteenotosta saadaan suurin mahdollinen hyöty, koska lähes kaikki ilma virtaa rakennukseen ja sieltä pois lämmön talteenoton kautta.

Hallittu ja tarpeen mukainen ilmanvaihto on rakennuksen sisäolosuhteiden ja sisäilman hyvän laadun päätekijä. Sekä sisäilman laadun että miellyttävien sisäolosuhteiden kannalta paras ja

nykyisessä uudisrakentamisessa ainut kyseeseen tuleva ilmanvaihtojärjestelmä on koneellinen tuloilma-/poistoilmajärjestelmä, jossa on tehokas lämmön talteenotto. Tämä yhdessä tiiviin ja hyvin lämpöeristetyin vaipparakenteen kanssa varmistaa myös rakennuksen hyvän energiatehokkuuden sekä uudisrakentamisessa että perusteellisessa energiakorjauksessa.

Ilmanvaihdon tuloilma/poistoilma-suhteen säätö on tarpeen muuttaa tiiviyden kasvaessa. Normitalossa 2010 ($n_{50} = 2$) suositellaan tuloilma/poistoilma-suhteelle Suomen Rakentamismääräyskokoelman osassa D2 arvoa 0,90, mikä merkitsee sitä, että 10 % tuloilmasta otetaan ilmapuotojen kautta ja sisätiloissa on alipaine. Rakennusvaipan tiiviyden kasvaessa ilmapuotojen kautta ei enää oteta korvausilmaa, jolloin tuloilma/poistoilma-suhde s (%) kasvatetaan vastaavasti likimäärin kaavalla:

$$s \% = 100 - 10 \times (n_{50} / 2) \%$$

Kun sisätilojen alipaine pienenee ja korvausilmaa ei oteta ilmapuotojen kautta rakenteen sisältä, poistuvat myös usein esiintyvät sisäilman homeongelmat tältä osin.

Sisätilojen alipaineen pienentäminen vaatii riittävän tarkkoja ilmanvaihdon säätöjä, jotta vältytään pitkiltä sisätilojen ylipainejaksoilta ja niistä aiheutuvilta vaipparakenteen kosteusteknisen toiminnan ongelmilta.

Korkeiden kerrostalojen keskitetyissä ilmanvaihtojärjestelmissä syntyy myös eri kerrosten välillä vaikeasti hallittavia ilmanpaine-eroja eri olosuhteissa ja tilanne on erilainen esimerkiksi kesän ja talven aikana. Tämän takia niissä joudutaan käyttämään mahdollisesti erilaista säätöä kesä- ja talviaikana. Parhaiten toimiva matalaenergia-kerrostalon ilmanvaihtojärjestelmä onkin asutokohtaisesti hajautettu järjestelmä, jossa sekä ilman sisäänotto että ulospuhallus tapahtuu kunkin asunnon ulkoseinistä [1].

Hyvän sisäilmaston ja energiatehokkuuden toteuttavan rakennuksen suunnittelu ja rakentaminen uudisrakennuksena voidaan toteuttaa lähinnä elinkaartilouden ohjaamana [1]. Korjauksessa olemassa oleva rakennus asettaa huo-

mattavia reunaehtoja, joiden tapauskohtainen analysointi yhdessä rakennuksen yleisen kunto- tutkimuksen kanssa on välttämätön lähtökohta toimivan korjausratkaisun löytämiselle. Myös rakennusvaipan tiivyyden toteaminen ja sen parannusten suunnittelu yhdessä ilmanvaihtojärjestelmän korjauksen kanssa kuuluu korjauksen keskeisiin tekijöihin [1].

2 Rakennusvaipan tiivyyden merkitys

Rakennuksen tiiviyys määräytyy rakennusvaipan tiivyydestä, jolla on sekä välittömästi että välillisesti oleellisia vaikutuksia rakennuksen ominaisuuksiin, toimivuuteen ja sisäilmaston laatuun.

Tiivyyden suoria vaikutuksia ovat:

- ilmavuojojen estäminen ja sen vaikutukset rakennuksen energiantarpeeseen hallitsemattoman ilmanvaihtuvuuden lämmitystarpeen kautta,
- rakennusfysikaalisen toimivuuden varmistaminen kosteus- ja lämpöteknisen toimivuuden osalta,
- ilmavuojojen mukana kulkeutuvan kosteuden takia syntyvän homeuodostuksen ehkäisy,
- rakennuksen ilmanvaihdon synnyttämän sisäpuolisen alipaineen aiheuttaman, ulkoa sisään suuntautuvan ilmavirtauksen ja sen mukana rakenteesta ja ulkopuolelta tulevien home- ja muiden epäpuhtauksien sisäilmaan tulon estäminen,

- sisätilojen ilmanvaihdon ja lämmöntalteenoton hallittavuus vuotoilman rajoittamisen kautta ja
- sisätilojen vedottomuus.

Rakennusvaipan tiivyydessä erotetaan kolme pääosaa:

- ilmatiiviyys,
- höyrytiiviyys
- sadevesitiiviyys.

Ilmatiiviyys liittyy lähinnä rakennuksen ilmanvaihdon hallintaan, höyrytiiviyys rakennuksen sisältä ulospäin tulevan kosteusrasituksen hallintaan ja sadetiiviyys rakennuksen ulkopuolelta tulevien vesivuojojen ja tuulen vaikutusten hallintaan.

3 Asuintalojen tiiviyysvaatimukset

Tilojen lämmitysenergian vuosittaisen ominais- tarpeen perusteella energiatehokkuusluokkiin luokiteltujen talojen tiiviyysvaatimukset on esitetty taulukossa 1 [1]. Lämmitysenergian tarve las- ketaan tässä luokittelussa Jyväskylän ilmastotie- tojen mukaan noudattaen RakMK:n ohjeita.

Yksittäisissä rakennussuunnitelmissa käytetään paikkakuntaakohtaisia tietoja, jolloin talon lämmitysenergian tarve usein poikkeaa jonkin verran luokittelurajoista [1].

Eräitä viimeaikaisia valmiiksi rakennettujen talojen tiiviyysmittausten tuloksia on esitetty tau- lukossa 2 [1].

Taulukko 1. Talojen tiiviyysvaatimukset eri energiatehokkuusluokissa [1].

Energiatehokkuusluokka	Tilojen lämmitysenergian laskettu ominaistarve (Jyväskylä) kWh/(m ² a)	Tiiviyysvaatimus: Ilmanvuotoluku n ₅₀ 1/h
Normitalo 2010	80–100	< 2
Matalaenergiatalo	26–50	< 0,8
Passiivitalo	15–25	< 0,6

Taulukko 2. Esimerkkejä v. 2009 valmistuneista matalaenergiarakennuksista ja niiden pääominaisuuksista.

Rakennus	Tilojen lämmitys- energian laskettu ominaistarve kWh/(m ² a)	Mitattu ilman- vuotoluku 1/h	Rakentajan toteama rakennus- kustannustenlisäys verrattuna normaltoon 2008 %
Betonelementti-kerrostalo, Heinola, Rak. liike Reponen [1]	25	0,40	1,7
Paritalo, Vantaa (Passiivitalo 2008) [1]	25	asunto 1: 0,25 asunto 2: 0,33	5,0 % = 75 €/m ²
Omakotitalo, betonelementtitalo, Mänty- harju, Suutarinen Yhtiöt ja SPU Systems [lähde: Rakennuslehti 10. 9. 2009]	20	0,09	Ei mainittu lähdeartikkelissa

4 Tiiviiden vaipparakenteiden suunnitteluratkaisut

Yleisperiaatteita

Rakennuksen vaipan tiiviiden muodostavat sen kaikki osat ja näiden osien liitokset:

- seinärakenne
- yläpohjarakenne
- alapohjarakenne
- ikkunat
- ovet
- läpiviennit (hormit, LVISTJ (lämpö-, vesi-, viemäri-, ilmanvaihto- tieto- ja jätejärjestelmän kanavat, putket ja johdot).

Erityisillä laskelmissa varmistetaan, että rakenne kuivuu ulospäin [1]. Toimivuuskriteerit ovat tällöin:

1. Rakenne on kosteusteknisesti hyvin toimiva, jos
 - rakenteen kuivumiskausi alkaa viimeistään huhtikuussa ja päättyy aikaisintaan syyskuussa

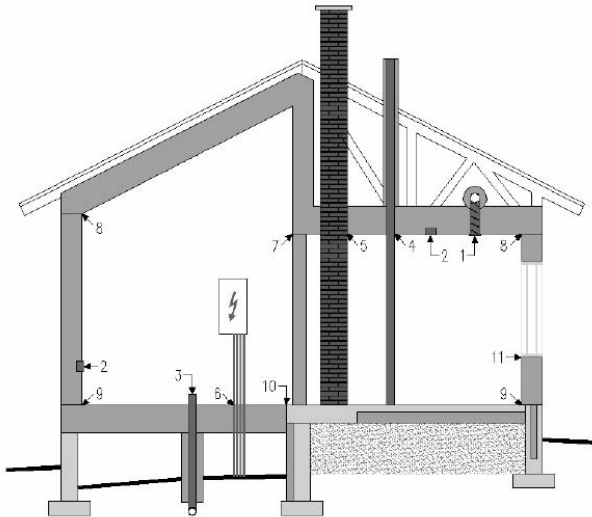
- rakenteen kosteuspitoisuus on vuodesta toiseen laskeva.
2. Rakenne on riskirakenne, jos rakenteen kuivuminen alkaa kesäkuussa ja päättyy elokuussa.
 3. Rakenne on virheellinen, jos rakenteeseen kertyy kumulatiivisesti vuodesta toiseen kosteutta.

Tiiviin rakenteen ratkaisut ovat erilaiset eri rakennetyypeillä, minkä takia ne käsitellään tässäkin erillisinä.

Puuseinärakenteet

Puuseinistä yleisimmän rakennetyypin eli levy- ja lautarakenteisen monikerrosseinän tiiviyys vaatii tarkkaa suunnittelua ja valmistusta.

Seinän toimivuuden pääperiaate on riittävä ilma- ja höyrytiiviyys siten toteutettuna, että ilman- ja höyrynsulun ulkopuolinen rakenne pääsee kuivumaan sisältä ulospäin, eli rakenteen höyrynvastus on suurin sisäosassa ja sitä moninkertaisesti pienempi seinän ulko-osissa.



1. Ilman- ja höyrynsulun ulkopuolelle tehtyjen IV-asennusten läpiviennit
2. Ilman- ja höyrynsulun ulkopuolelle tehtyjen sähköasennusten läpiviennit
3. Viemäreiden läpiviennit alapohjassa
4. Viemäriin tuuletusputken läpivienti yläpohjassa
5. Savuhormin läpivienti yläpohjassa
6. Sähköpääkeskuksen johtojen läpiviennit alapohjassa
7. Kantavien väliseinien liittymät
8. Ulkovaipparakenteiden liittymät
9. Elementtien saumat
10. Tuulettuvan ja maanvaraisen alapohjan liittymät
11. Ikkunoiden ja ovien liittymät

Kuva 1. Puuseinätalon vaipan tiivistyksen kriittiset kohdat [1, 13].

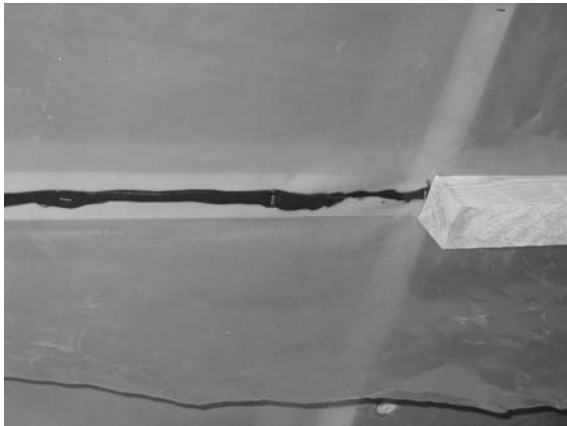
Puuseinän sisäpuolinen tiivistys perustuu erityiseen ilman- ja höyrynsulkukalvoon, joka on muovikalvo tai vahvistettu paperikalvo. Varsinaisen haaste on seinän ja koko rakennusvaipan ilman- ja höyrynsulkukalvon saumojen tiiviyks ja välttämättömien putki-, hormi- ja johtolävistysten tiiviyks. Ilman- ja höyrynsulkukalvon tulee jatkua ilman vuotokohtia myös seinän ja siihen liittyvien ylä- ja alapharakenteiden saumakohtien yli. Toinen vaatimus on, että ilman- ja höyrynsulkukalvo säilyy ehyenä sekä valmistuksen että käytön aikana. Tämä edellyttää, että ilman- ja höyrynsulkukalvoon ei aiheuteta valmistuksessa ja käytössä haitallisia lävistyksiä. Nämä vaatimukset voidaan toteuttaa seuraavilla suunnittelu- ja asennusratkaisuilla:

1. Ilman- ja höyrynsulkukalvot limitetään saumakohdiltaan riittävästi, yleensä yli yhden koolausvälin matkalta.
2. Ilman- ja höyrynsulkukalvojen saumat tiivistetään koko sauman pituudelta saumanauhalla, liimalla tai kitillä (kuva 2). Sopivia materiaaleja esimerkiksi polyeteenikalvojen liitoksissa ovat butyylikuminauhut sekä akrylaatti- ja luonnonkumiliimat. Materiaalien pitkäaikaiskestävyydestä ja yhteensopivuudesta kalvomateriaalin kanssa tulee varmistua materiaalivalintojen yhteydessä.
3. Saumat varmistetaan tiivistysnauhojen tai liimauksen kohdalla kalvot yhteen puristavalla soirolla tai listalla.
4. Välttämättömät läpiviennit keskitetään mahdollisimman harvoihin läpivientikohtiin, jotka tiivistetään huolellisesti esimerkiksi polyuretaanilla ja kitillä.
5. Ilman- ja höyrynsulkukalvo sijoitetaan seinärakenteen sisäosaan siten, että johto- ja

putkiasennukset asennetaan ilman- ja höyrynsulkukalvon sisäpuolelle. Ilman- ja höyrynsulkukalvon päälle tehdään 50–75 mm:n koolaus, johon sisälevytyks kiinnitetään. Sisäpuolisten koolaussoirotien väli voi joko jäädä ilmaväliksi, tai siihen voidaan asentaa lämmöneriste. Lämmöneriste kuivuu tällöin sisäänpäin, kun ilman- ja höyrynsulun sisäpuolinen osuus on enintään kolmannes koko lämmöneristyksestä. Erityisesti kylmänä vuodenaikana on tärkeä kuivattaa sisärakenteet ennen sisäpuolisen lämmöneristeen ja sisälevytyksen asennusta, koska ilman- ja höyrynsulkukalvoon kondensoitunut vesi saattaa aiheuttaa homeen muodostusta sisälevytykseen ja mahdolliseen sisäpuoliseen lämmöneristeeseen. Ilmankostuttimia käytettäessä on tarpeen varmistua siitä, ettei sisäilman kosteus nouse niin korkeaksi, että se aiheuttaa seinärakenteeseen kosteusongelmia.

6. Johdot ja putket asennetaan joko pinta-asennuksena ulkoseinille tai ennen sisälevytyksen kiinnittämistä erityisiin asennuskanaviin ilman- ja höyrynsulkukalvon sisäpuolelle.

Puuseinän ulkopuolisen sade- ja tuulensuojauksen muodostaa tuulensuojalevy. Tuulensuoja vähentää lämmöneristyskerroksessa tapahtuvaa ilman liikettä ja parantaa rakenteen lämmöneristyskykyä. Tuulensuoja suunnitellaan ja asennetaan yhtenäiseksi koko ulkovaipan alueella. Liittymät, läpiviennit ja erilaiset detaljirakenteet suunnitellaan ja toteutetaan huolellisesti ja kaikki tuulensuojan saumat tiivistetään. Erityisesti kiinnitetään huomiota saumatiivistyksen pitkäaikaiskestävyyteen. Tuulensuojamateriaalin on kestävä vaurioitumatta ne kosteusrasitukset, joita siihen kohdistuu.



Tuulensuojan ilmanläpäisevyys saa olla enintään $10 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ s Pa}$ saumat mukaan lukien [1]. Mahdollisia tuulensuojamateriaaleja ovat esimerkiksi:

- ilmanpitävällä pinnoitteella pinnoitettu mineraalivillaeristys
- kuitulevy-, kipsilevy- tai muu levyrakente
- lämmöneristyskerroksen päälle tehty rappaus.

Hirsiseinät

Hirsiseinien hirsisaumojen suuri lukumäärä painottaa niiden merkitystä. Hirsisaumojen ja nurkkaliitosten tiivistykseen suositellaan käytettäväksi solumuovi- tai kuminauhoja [4]. Hirsiseinän painumaan varaudutaan asentamalla ikkuna- ja oviaukkojen päälle puristuksiin paksumpisolulinen tai avojuokoinen kimmoinen lämmöneriste siten, että se paisuu kimmoisesti kyseisen seinäkohdan painuma-arvion verran. Avojuokoinen eristeen tapauksessa kiinnitetään tämän lämmöneristeen sisäpintaan ilman- ja höyrynsulkukalvo. Tiivistekalvo kiinnitetään myös sekä seinähiirteen että ikkunan tai oven karmiin liimautuvan pitkäikäisen tiivistenauhan tai tiivistysmassan avulla ja puristuslistalla varmistaen. Myös horneissa ja muissa pystysuuntaisissa läpivienneissä varaudutaan seinien painumiin liikuntavaralla ja joustavilla tiivisteillä.

Betoniseinät

Betoniseinien lämmöneristeen sisäpuolisen leveyden ilman- ja höyrynläpäisevyys on niin pieni, että seinään ei tarvita erillistä ilman- ja höyrynsulkua. Edellytyksenä tälle on, että sisälevyn saumaukset on tehty tiiviiksi ja että niihin ei synny kutistumahalkeamia. Betoniseinä on hyvin toimiva silloin, kun se pääsee kuivumaan ulospäin joko ulkolevyn riittävän läpäisevyyden avulla (esim. lämmöneristerappaus) tai tuuletettun ulkokuorirakenteen avulla (betonisandwich).

Tarvittaessa voidaan myös betoniseinien kosteustekninen toimivuus tarkastella laskelmilla käyttämällä samoja kriteereitä kuin puuseinien tapauksessa. Laskelmat voidaan suorittaa käyttäen esimerkiksi VTT:n WUFI 4.1- tai muuta soveltuvaa kosteudenhallintaohjelmaa.

Muuratut betoniharkkoseinät

Betoniharkkoseinän tiiviyys varmistetaan aina sisäpuolisella tasoitteella tai rappauksella ja ulkopuolisella rappauksella. Sisäpuolinen tasoite ulotetaan seinän ala- ja yläosassa tiiviisti ylä- ja alapohjan tiivistyskerroksiin sekä ikkunoiden ja ovien liitosten tiivistykseen. Ylä- ja alapohjan sekä ikkunoiden ja ovien liitoksissa seinin käytetään tiiviyden varmistavia saumaumassoja tai kittejä kuvan 1 mukaisesti [1].

Muuratut tiiliseinät

Tiiliseinien sisäpuolinen tiivistys tehdään yleensä tasoitteella samojen periaatteiden mukaan kuin harkkoseinän tapauksessa. Ulkopuolinen vesitiiviyys ja tuulisuojaus varmistetaan tavallisesti tuulensuojalevyllä ja tuuletusraolla samaan tapaan kuin puuseinien tapauksessa. Myös ulkopuolinen rappaus on mahdollinen.

Ylä- ja alapohjan sekä ikkunoiden ja ovien liitoksissa seinin käytetään tiiviyden varmistavia saumaumassoja tai kittejä samaan tapaan kuin betoniharkkoseinissä.

Yläpohjat

Yläpohjan tiiviyden merkitys ja tiiviyysvaatimus ovat samanlaiset kuin seinärakenteella. Koska yläpohjaan voi tulla kosteutta myös vesikatosta vuotojen tai kondensoitumisen seurauksena, on yläpohjan tehokas tuuletus erityisen tärkeä.

Puuyläpohjassa muodostetaan johtojen ja putkien asennustila, joko lämpöeristeellä täytettynä tai ilman, koolauksen avulla ilman- ja höyrynsulkukalvon sisäpuolelle samalla tavalla kuin seinärakenteissa. Ilman- ja höyrynsulun alle asennetaan rakennuslevy sulkukalvon alustaksi ja yläpohjarakenteen jäykisteeksi.

Betonielementti-yläpohjien pitkittäissaumat tiivistetään esimerkiksi saumojen päälle liima- tuilla bitumikermikaistoilla.

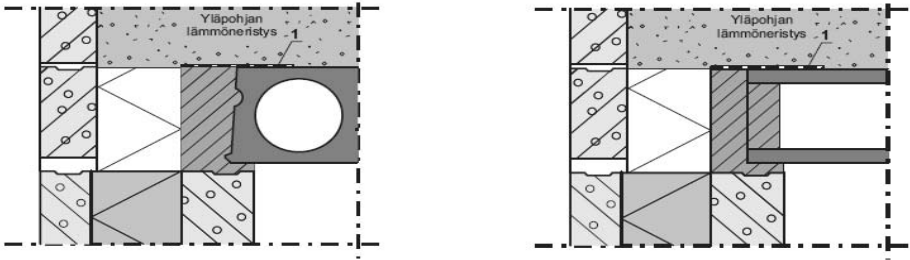
Väli-pohjat

Väli-pohjien betonielementtien saumavälit tehdään huolellisesti niiden tiiviyden varmistamiseksi varten. Kutistumien mahdollisesti aiheuttamat saumahalkeamat tiivistetään kitillä tai tiivistenauhalla.

Tuuletetut ryömintätalilliset alapohjat

Betonialapohjissa betonin ilman- ja höyryneristävyyden on riittävä, kun elementtirakenteissa sauma suoritetaan huolella ja alapohja tiivistetään lattian tasoitekerroksella tai päällevalulla. Mahdolliset saumojen kutistumahalkeamat tiivistetään tarvittaessa erillisellä saumaumassalla. Betonilaatan rakennuslevy polystyreeni- tai polyuretaanilevyjen saumat tiivistetään polyuretaanivaahdolla. Näin suunnitellut ja valmistetut, ohjeiden mukaan tuuletetut ryömintätalilliset alapohjat toimivat ilmatuivyyden suhteen hyvin ja ovat pitkäikäisiä.

Tuuletettujen puurossialapohjien kosteusteknisen toimivuuden ja säilyvyyden takaava suunnittelu ja valmistus on erittäin vaativa tehtävä. Nykyisissä puurossialapohjissa on runsaasti kosteus- ja lahovaurioita, joiden eliminoiminen vaatii tiivistykseen, ilmanvaihdon ja työn laadun suhteen nykyisistä parannettuja ratkaisuja. Puu-



Saumavalun liitoskohtaan (1) asennetaan tiivistyskalvo, esim. bitumikermikaista.

Kuva 3. Harkkoseinän ja ontelolaatta-yläpohjan liitoksen tiivistys [14].

rossialapohjien suunnittelijoiden tulee omata hyvät tiedot ryömintätällisen alapohjan perusratkaisuista, kosteusteknisestä toimivuudesta kesä- ja talvitilanteissa ja säilyvyyden varmistamisesta. Työn suorituksen tarvitaan erityiskoulutettuja työkyntä ja hyvää työn valvontaa.

Ryömintätällan maapohjalle on suositeltavaa asentaa kosteuseristys ja tarvittaessa lämmöneristys [1].

Maanvaraiset alapohjat

Maanvaraisessa alapohjassa betonilaatta toimii ilman- ja höyrünsulkuna. Maaperän kosteuden katkaisemiseen tarvitaan kapillaarikatkona yli 200 mm paksu pestystä sepelistä tehty sorakerros. Lisäksi maaperä kuivutetaan tehokkaasti salaojituksella. Pestyn sepelin sijasta käyttökelppoinen kapillaariratkaisu on myös EPS-solumuovilevytyks.

Seinien liittymät ylä- ja alapohjiin

Rakennuksen vaipparakenteen kokonaistiivyyden kannalta ratkaisevaa on ilman- ja höyrünsulun jatkuvuus koko vaipan alueella. Tällöin ratkaisevia kohtia ovat seinien liittymät ylä- ja alapohjiin.

Puurakenteilla voidaan tiiviit seinäliittymät muodostaa limittämällä seinän ja ylä- ja alapohjan ilman- ja höyrünsulkukalvot keskenään vähintään yhden koolaussoiron välin leveydeltä, tiivistämällä sauma saumausnauhalla tai elastisella saumamassalla ja puristamalla tiivistyskohta pysyvästi yhteen asennusnopeudella samalla tavalla kuin seinärakenteessa.

Betoni-, harkko- tai tiiliseinän ja ylä- tai alapohjan välinen sauma tiivistetään kitillä tai kermillä kuvan 3 mukaisesti [1, 14].

Ovi- ja ikkuna-asennukset

Ilmavuoja esiintyy yleisesti ikkunoiden, ulko-ovien ja ulkovaipan liitoksissa, joten nämä

liitokset tiivistetään huolellisesti, ja sisäpuolen ilma- ja vesihöyrytiiviiit rakenteet liitetään ehdottoman tiiviisti karmirakenteisiin. Erityisesti ikkunoiden sivupieliin tiiviyys suunnitellaan ja toteutetaan huolellisesti myrskyveden tunkeutumisvaaraa vastaan.

Ikkuna- ja ovi-asennusten tiivistämisessä käytetään pääasiassa laajentuvaa polyuretaania, mikä on todettu tiivyyden kannalta hyväksi. Polyuretaanin lisäksi tiivistämiseen tarvitaan elastinen saumamassa tai ikkunasaumojen tiivistykseen tarkoitettu tiivistyskangas. Ratkaisussa noudatetaan lisäksi kunkin ikkuna- ja ovi valmistajan sekä elementtivalmistajan ohjeita.

Kaikki liittymien ja tiivistysten suunnitelmat tehdään selkeiksi, yksiselitteisiksi ja tulostetaan mittakaavaan (1:5), jotta niiden oikea toteuttaminen on mahdollista. Suunnitelmat tehdään riittävän aikaisessa vaiheessa, jotta detailien mahdollisesti muihin rakenteisiin aiheuttamat vaatimukset (kiinnikkeet, tiivistyspintojen laatu ym.) voidaan ottaa huomioon liittyviä rakenteita suunniteltaessa.

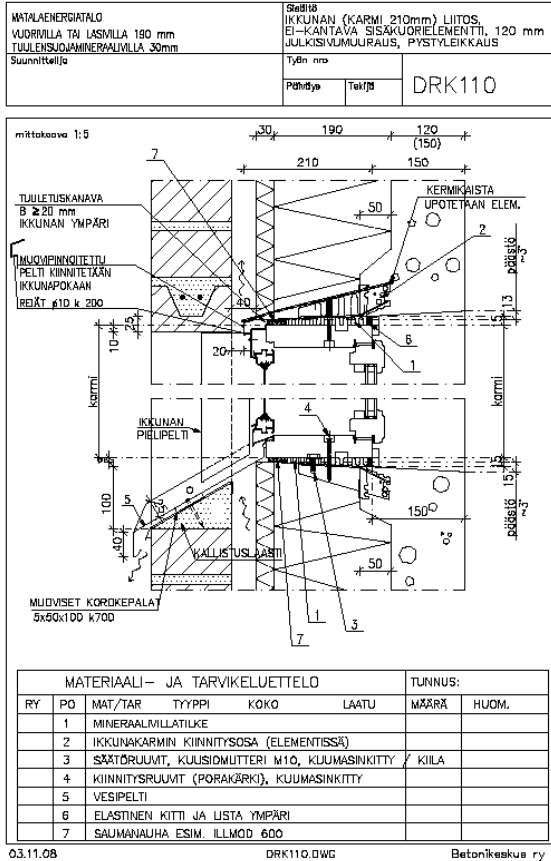
Tiivistyksen kannalta suurehko ikkunakoko ja siten pienehkö ikkunoiden lukumäärä on edullisempi kuin suurempi lukumäärä pieniä ikkunoita.

Läpiviennit

Läpiviennit tulisi tehdä, jos mahdollista, käyttäen tehdasvalmisteisia läpivientielementtejä, jotka on asennettu elementtiin jo elementtitehtaalla.

Pystysuorat putkistot ja johdot voidaan myös keskittää erityisiin esivalmistettuihin putkistoelementteihin (kuva 5), jolloin läpiviennit voidaan suunnitella ja valmistaa tiiviiksi [15]. Myös vaakaputkistoelementtejä on saatavilla. Putkistoelementit suunnitellaan tehtaalla asiakkaan tarpeiden mukaisesti. Putkistoelementti voi sisältää yhden tai useamman seuraavista putkistoista:

- vesijohdot
- viemärit



Kuva 4. Rapatun betonielementtiseinän ikkuna-asennuksen tiivistys.

- pystykanavat
 - putkistot sähkö- ja telekaapeleita varten.
- Putkistot varustetaan tarpeellisin liitososin muuhun putkistoon ja kanavistoon liittämissä varten. Putkistoelementeissä ja niiden liitoksissa on varauduttu rakenteiden muodonmuutoksiin ja putkistojen lämpöliikkeisiin. Putkistoelementti toimii myös äänenieristävänä ja palosuojana joko massiivisen betonikuoren tai mineraalivillalla eristetyn kevytkuoren avulla [15].

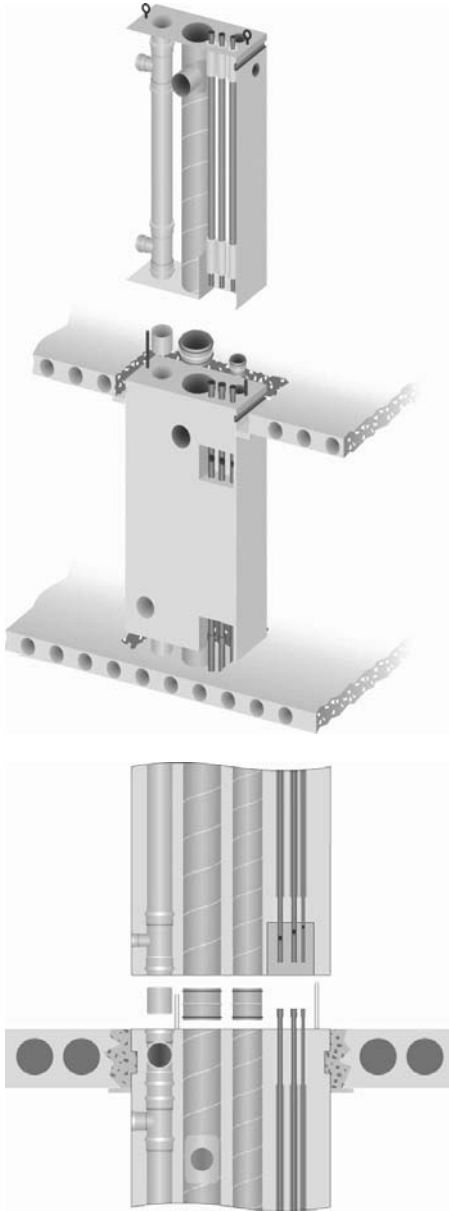
Jos tehdasvalmisteista läpiviennielementtiä tai putkistoelementtiä ei ole mahdollista käyttää, läpiviennit tehdään erityistä huolellisuutta noudattaen käyttäen tiivistekittausta tai vaahdottamalla. Ulkoseinän läpi vietävät putket ja johdot tehdään suunnittelijan ohjeiden mukaan. Läpivientien esimerkkejä on esitetty mm. kirjallisuusuhteessa [1].

5 Rakennuksen tiiviyden laadunvarmistus ja mittaus

Valvonnan vaikutus ilmanpitävyyteen on tuloksen kannalta ratkaiseva tekijä.

Parhaaseen tulokseen päästään, mikäli mahdolliset toteutuksen virheet ja puutteet poistetaan välittömästi ja tehokkaasti. Tämä voi tapahtua esim. siten että useampi eri henkilö tarkastaa tilanteen omasta näkökulmastaan. Virheiden vähentämiseksi käytettäviä toimenpiteitä ovat [2]:

- Rakennesuunnittelija tutkii kohteen tai talotyypin rakenteet ja yksityiskohdat ilmanpitävyyden kannalta.
- Rakennesuunnittelija, työnjohtaja ja valvoja käyvät yhdessä läpi ilmanpitävyyden kannalta kriittiset kohdat ja niiden työmaatoteutuksen.



Kuva 5. Putkistoelementti ja sen liitos laatan läpiviennissä [15].

- Valvoja seuraa työmaata ilmanpitävyyden kannalta keskeisten tekijöiden näkökulmasta.
- Työnjohtaja opastaa työntekijöitä ennen tärkeiden työvaiheiden suoritusta toteuttamaan liitokset ja yksityiskohdat niin, että niistä tulee luotettavasti ilmanpitäviä.
- Työnjohtaja ja mahdollisuuksien mukaan myös rakennesuunnittelija tarkastavat ilmanpitävyyden kannalta kriittisten kohtien toteutuksen ennen kuin niitä peitetään pintaverhouksilla yms. rakenteilla.
- Elementtirakenteiden osalta valmistuksen opastuksen ja elementtitehtaalla tehtävät tarkastukset tekee elementtivalmistuksen työnjohtaja.

Valvoja, rakennesuunnittelija ja työnjohtaja tarkastavat yllä kuvatulla tavalla, että rakenteet ja niiden liitokset ja läpiviennit on tehty suunnitelmien ja ohjeiden mukaan. Tarkastukset tehdään läpivientien ja rakenteiden liittymien osalta ennen kuin rakenteet on peitetty pintarakentein. Kustakin tarkastuksesta tehdään erilliset allekirjoituksin varustetut pöytäkirjat, jotka liitetään työmaan asiakirjoihin, ja kunnan rakennusvalvonta tarkastaa halutessaan niiden olemassaolon. Tarkastusasiakirjojen malleja on esitetty mm. lähteissä [9, 10, 11].

Rakennuksen tiiviiden laadunvarmistus kohdistetaan keskeisimpiin riskikohteisiin.

Rakennuksen toimivuus todennetaan rakennusaikana tiiviiden osalta seuraavilla mittauksilla:

- rakennusvaipan tiiviiden varmistaminen **ilmanvuotoluvun ali- tai ylipainemittauksella** (kerrostaloissa yleensä portaikkokohtaisesti jaotellen) puolivalmiista ja valmiista talosta
- **lämpökuvaus** paikallisten vuotokohtien karotukseksi puolivalmiista ja valmiissa talossa
- **ilmanvaihto- ja ilmalämmitysjärjestelmän ja lämmöntalteenoton toimivuuden sekä säätöjen** tarkastus mittauksilla
- joissakin tapauksissa ylä- ja alapohjien **tuuletuksen tehokkuuden mittaukset** ainakin uusien tai erityisen herkkien (esim. puurossi-alapohjat) ratkaisujen tapauksissa.

Ilmatiiviydsmittausta ja lämpökamerakuvausta käytetään rakentamisen eri vaiheissa:

- rakenteiden ollessa ilmatiivistettyjä, mutta muutoin vielä keskeneräisiä,
- ennen rakennuksen luovutusta,
- vuositarkastuksessa,
- käytön aikaisissa määräaikaistarkastuksissa.

Ilmatiivyyden ja etenkin **ilmanvaihdon säätöjen tarkistusmittauksia** jatketaan **myös käytön aikana** käyttöohjeessa tarkemmin määritellyin aikavälein.

Ilmanvuotoluvun mittausta tehdään puolivalmiille rakenteille sen jälkeen, kun tiiviiden määräävät asennukset ja saumat on tehty.

Tällöin tiiviyttä voidaan tarvittaessa vielä helposti parantaa. Kerrostaloissa koko kohteen mittaaminen on hankalaa etenkin suurissa kohteissa. Ilmanvuotoluku kannattaakin yleensä tehdä muutamassa, mahdollisimman erilaisessa ja eriarvoisessa tilassa, esim. keskihuoneistossa, päätyhuoneistossa, alimmasta ja ylimmästä kerroksesta.

Mikäli ilmativiyskokeen tuloksessa on puutteita, vuotokohdat etsitään ja tutkitaan lämpökuvauksella, jonka jälkeen vuotokohdat korjataan. Mittausajankohdaksi kannattaa valita melko kylmä ajanjakso, jolloin ilmanvuotojen lisäksi myös kylmäsiilat saadaan samalla kuvatuiksi lämpökameralla.

Ilmanvuotoluvun mitta

Rakennuksen tiiviy määritellään ilmanvuotolukuna n_{50} [1/h], joka ilmaisee, montako kertaa rakennuksen ilma vaihtuu tunnissa rakennusvaipan vuotoreittien kautta, kun rakennukseen aiheutetaan 50 Pa:n (pascal) ali- tai ylipaine.

Rakennusvaipan ilmanvuotoluku 50 Pa:n paine-erolla määritetään standardissa SFS-EN 13829 määritetyllä tavalla [10]. Standardissa käytetään mittaussuunnitelmaa B (rakennuksen vaipan testaus) siten, että rakennukseen ilmanvaihtoa varten tehdyt aukot (ilmanvaihtokoneen tulo- ja poistokanavat, korvausilmaventtiilit), tulisi sijat ja hormit suljetaan tiiviisti tarvittaessa teippaamalla. Mittaus voidaan suorittaa myös rakennuksen omilla ilmanvaihtolaitteilla. Rakennuksen omilla ilmanvaihtolaitteilla mitattaessa on kuitenkin saatava aikaan vähintään 30 Pa:n paine-ero, jotta mittaustulos olisi luotettava. Kesäaikana ja tuulettomalla säällä (tuulen nopeus alle 1 m/s) voidaan hyväksyä myös vähintään 20 Pa:n paine-ero.

Rakennuksen mitattavaan alueeseen otetaan mukaan kaikki lämmitetyt ja jäädytetyt tilat tai tilat, joissa on koneellinen ilmanvaihto, ja sellaiset tilat, jotka ovat ilmanpitävän vaipan sisäpuolella.

Ilmanvuotoluvun laskennassa käytettävä rakennuksen sisätilavuus lasketaan rakentamismääräyskokoelmassa D5 määritetyn rakennuksen tilavuuden mukaan. Rakennuksen tilavuus on huonekorkeuden ja kokonaissisämittojen mukaan lasketun pinta-alan tulo. Väli-pohjia ei lasketa rakennuksen tilavuuteen. Huoneiston tilavuus lasketaan vastaavasti rakentamismääräyskokoelmassa D5 määritetyn huoneiston tilavuuden mukaan. Huoneiston tilavuus on sen sisäpintojen rajoittaman tilakappaleen tilavuus. Väliseiniä ja välipohjia ei lasketa huoneiston tilavuuteen.

Kerrostalojen tapauksessa ilmanpitävyys mitataan joko yksittäisistä huoneistoista porras kerrallaan tai koko rakennus kerrallaan. Ali-paineistuslaitteistolla mitataan helpoimmin yk-

sittäisiä huoneistoja; rakennuksen omalla keskitetyllä ilmanvaihtokoneella taas mitataan kaikki ilmanvaihtokoneen palvelualueen huoneistot. Ulkovaipan ja huoneistojen välisiä ilmanvuotoja ei eritellä. Koko kerrostalon ilmanpitävyyden arvioimiseksi yksittäisten huoneistojen mittaus-tien pohjalta mitataan esimerkiksi yksi huoneisto alimmasta kerroksesta, yksi ylimmästä kerroksesta ja yksi huoneisto joka toisesta välikerroksesta.

6 Energiakorjauksen erityispiirteitä tiiviyden suhteen

Energiakorjauksissa olemassa oleva rakennus asettaa ratkaisevia alkuetoja ja reunaetoja energiakorjauksen suunnittelulle ja toteuttamiselle. Sen takia korjaukset suunnitellaan varsin yksilöllisesti ja suunnitelun pohjaksi laaditaan aluksi tarkka lähtötiedon ja kunnan analyysi [1].

Energiakorjaus yhdistetään tavallisesti rakennuksen yleiseen peruskorjaukseen. Merkitsevää energiatehokkuuden lisäys saadaan tällöin usein kohtuullisen pienillä lisäkustannuksilla, jolloin energiakorjauksen osuus muodostuu elinkaarialoudellisesti kannattavaksi. Samalla parannetaan sisäolosuhteiden viihtyisyyttä ja sisäilman laatua.

Rakennusvaipan tiiviyden suhteen helpoin ja tehokkain – ja siksi yleisin – korjaus on ikkunoiden ja ulko-ovien uusiminen. Siinä yhteydessä parannetaan myös rakennusvaipan tiiviyttä hyvin tiivistetyillä ikkuna- ja oviausennuksilla samoilla tavoilla kuin uudisrakennuksissa. Muita rakennusvaipan tiiviyden parantamismahdollisuuksia ovat riittävän pienillä purkutoimenpiteillä näkyviin saatavien ilman- ja höyrynsulkujen vuotokohtien tiivistäminen ja betoni-, betonihiarkko- ja tiilirakenteilla tarvittaessa sisäpintojen tiivistäminen tasoitteella tai vuotavien saumojen ja halkeamien kittauksella.

Koska rakennuksen tilojen lämmitysenergian tarpeesta noin puolet kuuluu ilmanvaihtoon, on suurin energiatehokkuuden parantamispotentiaali ilmanvaihtojärjestelmissä. Tiiviyden lisääminen edellä kuvatuilla toimenpiteillä yhdessä poistoilmanvaihdon säätöjen vastaavan tarkistuksen kanssa parantaa jonkin verran energiatehokkuutta vuotoilman vähenemisen ansiosta. Kuitenkin vasta koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto, parhaiten asuntokohtaisesti hajautettuna, luo edellytykset ilmanvaihdon tehokkaan lämmöntalteenoton käytölle. Samalla voidaan sisätilojen alipainetta pienentää, jolloin vuotoilma edelleen vähenee ja vuotoilman mukana rakenteista sisäilmaan tulevien epäpuhtauksien määrä vähenee [1].

Lähdekirjallisuus

- [1] RIL 249–2009. Matalaenergiarakennukset, Asuinrakennukset. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry. Helsinki, 2009.
- [2] Jokisalo, J., Kurnitski, J., Kalamees, T., Eskola, L., Jokiranta, K. Ilmanpitävyyden vaikutus vuotoilmanvaihtoon ja energiankulutukseen pientaloissa. SIY Raportti 25, Sisäilmastoseminaari 2007, Espoo 14.3.2007, s. 241–246.
- [3] Pientalon laatu: tiiveyskortti, versio 26.11.2008. Toimenpiteitä hyvän ilmanpitävyyden saavuttamiseksi. Rakennusvalvonta, Oulu.
- [4] RakMK D3, Rakennusten energiatehokkuus, Määräykset ja ohjeet 2010. Suomen rakentamismääräyskokoelma, Ympäristöministeriö.
- [5] Aho, H., Korpi, M. Asuinrakennuksista ilmanpitäviä – uudesta ohjekirjasta apua suunnitteluun ja toteutukseen. Betonituote 2/2008, s. 122–125.
- [6] Aho, H., Korpi, M. (toim.) Ilmanpitävien rakenteiden ja liitosten toteutus asuinrakennuksissa. Tutkimusraportti 141, Tampereen teknillinen yliopisto, Talonrakennustekniikka, Tampere, 2008.
- [7] Vinha, J., Korpi, M., Kalamees, T., Jokisalo, J., Eskola, L., Palonen, J., Kurnitski, J., Salminen, K., Aho, H., Salminen, M. Asuinrakennusten ilmanpitävyys, sisäilmasto ja energiatalous. Tutkimusraportti 140, Tampereen teknillinen yliopisto, Talonrakennustekniikka, Tampere. (julkaisutaan v. 2008)
- [8] Pientalon päiväkirja – Rakennuksen käyttö- ja huoltokirja – Rakentamisen ja korjaamisen seuranta. Rakennustutkimus RTS Oy.
- [9] Pientalotyömaan valvonta ja tarkastusasiakirja. Ympäristöopas 76, Ympäristöministeriö.
- [10] Rakennustyömaan päiväkirja 101. Rakennusalan Kustantajat RAK.
- [11] RTS 08:18.1.2008. Teollisen taloalmistuksen ilmanpitävyyden laadunvarmistus
- [12] SFS-EN 13829 Thermal performance of buildings. Determination of air permeability of buildings. Fan pressurization method (ISO 9972:1996, modified). European standard, CEN 2000.
- [13] Avoimen puurakennejärjestelmän ilmanpitävyyden rakentaminen. <http://www.puuinfo.fi/>.
- [14] Leca-kivitalon tiivistysohjeet. Maxit Oy, 1.2.2009.
- [15] Betonirakentamisen ohjeisto. Valmisosarakentaminen II. Osa M. Liitokset ja detailit. RT/Betonikeskus ry, Suomen Betonitieto Oy. Päivitetty 6.6.2003.