

Tomi Matikainen

HIRSI- JA PUURUNKOISTEN RAKEN- NUSTEN ILMATIIVIYS

Diplomityö
Rakennetun ympäristön tiedekunta
Tarkastajat: professori Matti Pentti ja
DI Anssi Laukkarinen
Elokuu 2021

TIIVISTELMÄ

TOMI MATIKAINEN: Hirsi- ja puurunkoisten rakennusten ilmatiiviyys

Diplomityö, 70 sivua

Tampereen yliopisto

Elokuu 2021

Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Rakennustuotanto

Tarkastajat: professori Matti Pentti ja DI Anssi Laukkarinen

Tässä diplomityössä tarkasteltiin 1920-1950-luvulla rakennettuja hirsi- ja puurakennuksia. Työn pääpainona oli tarkastella rakenteiden ilmatiiviyttä. Rakenteiden ilmatiiviyden parantamisella pyritään ensisijaisesti estämään hallitsemattomat rakenteiden läpi tapahtuvat ilmavirtaukset. Hallitsemattomien ilmavirtausten mukana voi kulkeutua mikrobeita ulkotiloista tai vaurioituneista rakennusmateriaaleista. Ilmavirtaukset jäädyttävät rakennuksen sisäpintoja – etenkin lattioiden pintojen viileneminen alentaa asumismukavuutta. Ilmatiiviyden parantaminen pienentää energiankulutusta, nostaa asumismukavuutta ja estää kosteuskonvektion aiheuttamia vaurioita rakenteisiin. Työn tavoitteena oli laskelmin selvittää ilmavirtausten suurusluokka, tarkastella vanhojen rakenteiden riskejä ja esittää eriasteisia ehdotuksia vanhojen rakenteiden ilmatiiviyden parantamiseen.

Tutkimus suoritettiin kirjallisuusselvityksenä ja tutkimuksen aineisto koostui kirjallisuudesta ja vanhojen rakennusten alkuperäisistä ohjekorteista, joissa ohjeistettiin omatoimirakentajia rakentamaan rakennuksia sen aikaisten ohjeiden ja määräysten mukaisesti.

Laskennallisissa tarkasteluissa havaittiin ilmavirtauksien reikien ja rakojen läpi kasvavan eksponentiaalisesti, kun raon tai reiän suuruus kasvoi. Ilmavirtauksien mukana kulkeutuu kosteutta, joka pahimmillaan voi kondensoitua rakenteisiin, jolloin rakenteiden vaurioitumisen mahdollisuus kasvaa. Ilmavirtaukset voivat myös kuivattaa rakenteita, mutta pahimmillaan virtausten mukana voi kulkeutua epäpuhdasta ilmaa sisätiloihin. Kolmen kirjallisuudesta saadun esimerkkikohteen tuloksista pystyttiin havaitsemaan, että pienikin ilmatiiviyden parantaminen on kannattavaa energiankulutuksen vähentämiseksi.

Ilmavuodot ovat kriittisimpiä rakennuksen alaosissa, jossa ne aiheuttavat eniten haittaa asumismukavuudelle. Rakennuksen yläosien ilmavuodot aiheuttavat harvoin sisäilmastoon haitallista asumismukavuuden laskua, mutta ne voivat aiheuttaa mikrobi- ja kosteusvaurioita rakennuksen rakenteille. Ilmatiiviyden parantaminen tulisi aina aloittaa rakennuksen alaosista, ja edetä tämän jälkeen rakenteissa ylöspäin. Rakennusvaippaa ja rakenteiden liittymiä tiivistäessä korvausilman järjestäminen on erityisen tärkeää, että korvausilma tulisi rakennukseen hallitusti ja rakenteiden painesuhteita pystyttäisiin hallitsemaan.

Avainsanat: ilmatiiviyys, korjausrakentaminen, hirsirakenne, puurunko, rakennusfysiikka, epätiiveys

ABSTRACT

TOMI MATIKAINEN: Air tightness of timber and wooden frame buildings
Master of Science Thesis, 70 pages
Tampere University
August 2021
Master's Degree Programme in Civil Engineering
Major: Construction Management
Examiners: Professor Matti Pentti and DI Anssi Laukkarinen

The purpose of this master's thesis was to examine log and wooden buildings built between the years 1920 to 1950. The main purpose of the thesis was examining of airtightness of the structures. Improving the airtightness of the structures is primarily aimed at preventing uncontrolled airflows through the structures. Uncontrolled airflows can be accompanied by microbes from outdoor areas or damaged building materials. Air currents cool the interior surfaces of the building - especially the cooling of the floor surfaces reduces the living comfort. Improving airtightness reduces energy consumption, increases living comfort, and prevents damage to the structures caused by moisture convection. The aim of the work was to determine the magnitude of air flows by calculations, to examine the risks of old structures and to present proposals of different degrees for improving the airtightness of old structures.

The study was conducted as a literature review and the research material consisted of literature and original instruction cards for old buildings, instructing self-employed builders to build buildings in accordance with the instructions and regulations of the time.

In computational studies, airflows through holes and gaps were found to increase exponentially as the size of the gap or hole increased. Moisture flows with the air current, which at worst can condense on the structures, increasing the risk of damaging the structures. Air currents can also dehydrate structures, but at worst, currents can carry contaminated air indoors. From the results of three examples from the literature, it was found that even a small improvement in airtightness is profitable to reduce energy consumption.

Air leaks are most critical in the lower parts of the building, where they cause the most harm to living comfort. Air leaks in the upper parts of a building rarely cause a detrimental decrease in living comfort to the indoor climate, but they can cause microbial and moisture damage to the building structures. Improving airtightness should always start from the bottom of the building, and then proceed upwards in the structures. When improving the air tightness of the buildings outer mantle and the joints of the structures, it is particularly important to arrange the replacement air so that the replacement air enters the building in a controlled manner and the pressure ratios of the structures can be controlled.

Keywords: air tightness, renovation building, timber structure, wooden frame, building physics, permeability

ALKUSANAT

Tämän diplomityön aiheen valinta osui mielestäni nappiin, koska kiinnostukseni vanhaa rakennuskantaa kohtaan vain lisääntyi. Työn suorittamisen venyessä kehittyi itselleni viha-rakkaussuhde diplomityötä kohtaan. Yhdessä me vietimme monta unetonta yötä, mutta nyt se on valmis.

Haluan kiittää professori Matti Penttiä ja DI Anssi Laukkarista työni tarkastamisesta ja hyvistä ohjeista työtäni kohtaan.

Lisäksi haluan kiittää perhettäni, ystäviäni ja työ- ja opiskelukavereitani kannustuksesta ja tuesta näinä raskaina aikoina (COVID 19).

Lempäälässä, 3.8.2021

Tomi Matikainen

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. TEORIA	3
2.1 Kosteus ja ilma.....	3
2.2 Lämpö.....	4
2.2.1 Lämmön johtuminen	4
2.2.2 Lämmön säteily.....	6
2.2.3 Lämmön konvektio.....	8
2.3 Diffuusio.....	8
2.4 Savupiippuvaikutus	10
2.5 Tuulesta johtuva paine-ero.....	11
2.6 Ilmanvaihto.....	12
2.6.1 Painovoimainen ilmanvaihto	12
2.6.2 Koneellinen poistoilmanvaihto.....	13
2.6.3 Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto	15
2.7 Rakennuksen kokonaispaine-ero	16
2.8 Reikien ja rakojen kautta tapahtuva konvektiovirtaus	18
2.9 Kosteuskonvektio	19
2.10 Aineskerrosten läpi tapahtuva konvektiovirtaus	23
3. VANHOJEN RAKENNUSTEN RAKENTEITA JA LIITTYMIÄ.....	25
3.1 Tuulettuva alapohja.....	25
3.2 Maanvarainen alapohja	28
3.3 Kellarin seinä	30
3.4 Hirsirakenteinen ulkoseinä	32
3.5 Rankarakenteinen ulkoseinä	34
3.6 Yläpohja.....	37
3.7 Maanvaraisen alapohjan ja puurankaseinän liittymä	39
3.8 Kellarillisen rakennuksen liittymät.....	40
3.9 Rossipohjan ja hirsirakenteen seinä- lattialiittymä	40
3.10 Seinän ja yläpohjan liittymä hirsirakennuksessa.....	41
4. ILMATIIVYDEN PARANTAMINEN	43
4.1 Yleistä.....	43
4.2 Rakenteiden ilmatiivyyden parantamisessa käytettävät tuotteet	45
4.2.1 Ilman- ja höyrynsulut.....	45
4.2.2 Teipit.....	45
4.2.3 Massat, vaahdot ja vedeneristejärjestelmät.....	46
4.2.4 Rakennuslevyt	46
4.3 Rakenteiden ilmatiivyyttä parantavat toimenpiteet.....	47
4.3.1 Maanvaraisen betonilaatan ja kellarin seinän liittymä	47

4.3.2	Hirsiseinän ja maanvaraisen betonilaatan liitos	48
4.3.3	Tuulettuva alapohja	49
4.3.4	Ulkoseinien liittymät ikkunoihin	51
4.3.5	Yläpohjan tiivistäminen	54
4.4	Esimerkkikorjauskohteita kirjallisuudesta	56
4.4.1	1940-luvulla rakennettu hirsitalo	56
4.4.2	1960-luvulla rakennettu puurakenteinen talo	58
4.4.3	1960-luvulla rakennettu tiilitalo	59
4.5	Ilmatiiviysmittaukset kirjallisuudesta	61
5.	YHTEENVETO	65
	LÄHTEET	67

KÄSITTEET

Ilmanvuotoluku n_{50} [1/h]	Rakennusvaipan läpi tapahtuva tilavuusilmavirtaus [m^3/h], kun paine-ero rakennuksen ulko- ja sisätilojen välillä on 50 Pa.
Ilmanvuotoluku q_{50} [$m^3/(h \cdot m^2)$]	Rakennusvaipan läpi tapahtuva tilavuusilmavirtaus jaettuna vaipan pinta-alalla, kun paine-ero rakennuksen ulko- ja sisätilojen välillä on 50 Pa.
Suhteellinen diffuusiovastus s_d [m]	s_d -luku lasketaan kertomalla käytetyn materiaalin paksuus materiaalin suhteellisella diffuusiovastuskertoimella. Luku kertoo kuinka paljon materiaali hidastaa vesihöyryn tasaantumista yhtä paljon kuin tulokseksi saatu arvo ilmaa.
Pellavarive	Pellavarive on luonnonkuitueriste, joka on ikkuna- ja ovikarmien tiivistämiseen sekä hirsien välien tilkitsemiseen tarkoitettu luonnonmukainen tuote.
Polypropeeni	Polypropeeni on termoplastinen lisäspolymeeri, joka on valmistettu propeenimonomeerien yhdistelmästä. Polypropeenista pystytään valmistamaan esimerkiksi saumaeristettä, jota käytetään ikkunoiden ja ovien karmien tiivistämisessä.
Pinkopahvi	Pinkopahvi on perinteinen seinä- ja kattoverhousmateriaali. Pinkopahvi on tarkoitettu asennettavaksi rakennuksen sisäseiniin, jolloin pinkopahvi toimii pohjana tapetoinnille tai maalattavaksi.

1. JOHDANTO

Suomi asuinmaana on aina tarkoittanut sitä, että rakennuksia on joutunut lämmittämään talvikausina. Rakennusten ilmatiiviyteen ja lämpöeristykseen on kiinnitetty huomiota jo varhaisessa vaiheessa, koska lämmitysenergia saatiin pääasiassa poltettavasta puusta, mutta puun ostamiseen tai polttopuiden tekemiseen ei kuitenkaan ollut aina resursseja.

Rakenteiden ilmatiiviydellä on suuri vaikutus rakennuksen energiankulutukseen, sisäilman terveellisyteen ja rakennuksessa oleskelevien henkilöiden asumismukavuuteen. Rakennuksen tiivis vaippa ehkäisee rakojen ja reikien kautta tapahtuvia konvektiovirtauksia, jotka voivat aiheuttaa vedon tunnetta tai mikrobi- ja kosteusvaurioita. Veto on koettu epämiellyttäväksi, jolloin sisälämpötilaa on nostettu, mikä kasvattaa lämmityskustannuksia. Vanhemmissa rakennuksissa korvausilma on tyypillisesti kulkeutunut epäpuhtaiden rakenteiden läpi tai hatarien ikkunoiden kautta sisätiloihin, jolloin rakennuksessa on saattanut esiintyä haju- tai terveyshaittoja. Rakenteiden ilmatiiviyteen on otettu kantaa jo 1940-luvun lopussa, kun RT-kortissa 832.2 vuodelta 1947 on maininta pohjan ja seinän tiivistyksestä, mutta virallisia ohjeita tai määräyksiä ei kortistoon saatu ennen kuin vuonna 1975, kun rakentamismääräyksissä mainittiin, että yläpohjarakenteen vesihöyrytiiviyys tulee olla riittävä (RakMK C2 1975).

Ilmavuotoja on eniten lattian ja seinän liittymissä, hirsirungon nurkissa, ikkunoiden ja ovien liittymissä, hirsien liitoksissa, yläpohjan ja ulkoseinien liittymissä sekä savupiipun ympäristöissä ja yläpohjaa lävistävissä rakenneosissa. Ilmatiiviyden parantaminen kannattaa aloittaa alapohjasta ja alapohjan liittymistä rakennuksen painejakautumien takia. Rakennuksen alaosissa vallitsee usein alipaine, jonka aiheuttaa tuuli, savupiippuvaikutus ja rakennuksen ilmanvaihto (Ympäristöministeriö 1998). Korjaustapaa valittaessa on tärkeä selvittää ongelmakohdat tarkasti ja vasta sen jälkeen tarkastella eri laajuisia korjausvaihtoehtoja, niiden kustannuksia ja vaikutuksia kokonaisuuden kannalta. Korjaustapaa valittaessa tulee ottaa huomioon rakenteiden rakennusfysikaalinen toiminta ja eri materiaalien soveltuvuus korjattavaan rakenteeseen.

Diplomityön tavoitteena on ollut selvittää ilmavuotojen suurusluokkia laskemalla, sekä tarkastelemalla ilmavuotojen aiheuttajamekanismeja, jotka voivat tapahtua fysikaalisten

ilmiöiden tai rakentamisen virheiden johdosta. Lisäksi tutkimalla aikakauden rakenneratkaisuja ja alan kirjallisuutta, saatiin käsitys vuotokohtien mahdollisesti aiheuttamista ongelmista ja niiden ehkäisystä. Työssä pyritään antamaan lukijalle käsitys rakennuksen vaipan ilmatiivyyden tärkeydestä.

Työ suoritettiin kirjallisuusselvityksenä, jolloin työhön pystyttiin sisällyttämään useita erityyppisiä rakenneratkaisuja 1920-1950-luvuilta. Laskennallisessa tarkastelussa laskettiin ilmavirtojen ja kosteuskonvektion suuruusluokkia rakojen läpi.

Työssä tutkittiin myös eri rakenneratkaisujen ja liittymien mahdollisia riskejä, jotka voivat vaikuttaa rakennuksen sisäilman terveellisyyteen tai rakenneosien kestävyysasteeseen. Lisäksi työssä annettiin korjausehdotuksia eri rakennekohtien ilmatiivyyden parantamiseksi. Diplomityön lopussa on tarkasteltu kolmen eri ilmatiiviystutkimuksen tuloksia.

2. TEORIA

2.1 Kosteus ja ilma

Kosteutta esiintyy kolmessa eri muodossa: kaasuna, nesteenä tai kiinteässä muodossa. Veden olomuoto voi muuttua olomuodosta toiseen, mitä kutsutaan faasimuutokseksi. Olomuodon muuttuessa aine vapauttaa tai sitoo energiaa. Energiaa sitoutuu, kun jää sulaa tai vesi höyrystyy. Energiaa vapautuu, kun vesihöyry tiivistyy tai vesi jäätyy. Kun vesi jäätyy, vesi luovuttaa lämpöenergiaa ympäröivään ilmaan ja tällöin vesihöyry sitoo itseensä lämpöenergiaa (RIL 225-2004).

Kosteuden määrää ilmassa voidaan ilmoittaa kolmella eri tavalla: suhteellinen kosteus [RH %] ilmoittaa kuinka paljon kosteutta ilmassa on suhteessa ilman kosteuden sitomiskykyyn. Tulos ilmoitetaan prosentteina. Absoluuttinen kosteusmäärä kertoo todellisen vesihöyryn määrän, jonka ilma sisältää. Yksikkönä on grammaa kuutiossa [g/m^3]. Vesihöyryn osapaine ilmoittaa vesihöyryn paineen osuutta ilmanpaineesta Pascaleina [Pa] (Björkholtz 1997).

Lämmin ilma pystyy sitomaan itseensä huomattavasti enemmän kosteutta kuin viileämpi ilma. Taulukossa 1 on esitetty maksimikosteusmäärät, jonka ilma voi tietyn lämpöisenä sitoa. Taulukosta nähdään, että kovemilla pakkasilla absoluuttisen kosteuden määrä ulkoilmassa on hyvin vähäinen, vaikka suhteellinen kosteus ulkoilmassa olisi 100 %. Kun korvausilma otetaan rakennukseen sisälle, ilma lämmitetään huonelämpötilaan. Tällöin korvausilman suhteellinen kosteus laskee, mutta absoluuttisen kosteuden määrä ei muutu.

Esimerkiksi $-10\text{ }^\circ\text{C}$ -asteinen ilma pystyy sitomaan itseensä vain $2,2\text{ g}/\text{m}^3$ kosteutta. Jos tätä ilmaa (RH 100 %) lämmitetään $+20\text{ }^\circ\text{C}$ -asteiseksi, suhteellinen kosteus on enää 12,7 %.

Taulukko 1. Vesihöyryn kyllästyspitoisuuksia (Björkholtz 1997).

t [°C]	v _s [g/m ³]	P _k [Pa]	t [°C]	v _s [g/m ³]	P _k [Pa]	t [°C]	v _s [g/m ³]	P _k [Pa]
-20	0,88	102	14	12,10	1603	48	75,67	11213
-19	0,95	112	15	12,86	1709	49	79,33	11792
-18	1,04	122	16	13,65	1821	50	83,14	12396
-17	1,14	135	17	14,49	1940	51	87,10	13026
-16	1,25	149	18	15,37	2065	52	91,21	13683
-15	1,38	164	19	16,30	2198	53	95,48	14368
-14	1,52	182	20	17,28	2338	54	99,92	15082
-13	1,67	200	21	18,31	2486	55	104,52	15825
-12	1,83	221	22	19,40	2642	56	109,30	16599
-11	2,01	243	23	20,54	2806	57	114,25	17405
-10	2,20	267	24	21,74	2980	58	119,39	18242
-9	2,40	292	25	23,00	3164	59	124,72	19114
-8	2,61	319	26	24,32	3357	60	130,24	20019
-7	2,84	348	27	25,71	3561	61	135,95	20960
-6	3,08	379	28	27,17	3775	62	141,87	21938
-5	3,33	412	29	28,70	4001	63	147,99	22953
-4	3,60	448	30	30,31	4239	64	154,33	24007
-3	3,89	485	31	31,99	4489	65	160,88	25101
-2	4,19	525	32	33,75	4753	66	167,66	26236
-1	4,51	567	33	35,60	5029	67	174,67	27413
0	4,85	611	34	37,54	5320	68	181,90	28633
1	5,21	659	35	39,56	5625	69	189,38	29898
2	5,58	709	36	41,68	5945	70	197,11	31208
3	5,98	762	37	43,90	6282	71	205,08	32565
4	6,40	818	38	46,21	6634	72	213,31	33970
5	6,84	878	39	48,63	7004	73	221,80	35425
6	7,31	942	40	51,16	7391	74	230,56	36931
7	7,80	1009	41	53,79	7797	75	239,60	38488
8	8,32	1080	42	56,54	8222	76	248,91	40099
9	8,87	1155	43	59,41	8667	77	258,51	41765
10	9,45	1235	44	62,40	9132	78	268,40	43487
11	10,06	1319	45	65,52	9618	79	278,59	45266
12	10,71	1409	46	68,77	10127	80	289,08	47104
13	11,39	1503	47	72,15	10658			

Ilma on hajuton ja mauton kaasujen seos, joka sisältää eniten typpeä (78,08 %) ja happea (20,9 %). Kuivan ilman moolimassa on 28,96 g/mol ja vesihöyryn moolimassa 18,02 g/mol, jolloin kosteampi ilma on kevyempää kuin kuiva ilma. Tämän johdosta kosteampi ilma nousee ylöspäin (Laine 2014, Björkholtz 1997).

2.2 Lämpö

Lämpö siirtyy aina lämpimämmästä kappaleesta kylmempään lämpöopin sääntöjen mukaisesti. Lämpö siirtyy kolmella eri tavalla: johtumalla, säteilemällä ja konvektion avulla.

2.2.1 Lämmön johtuminen

Lämmön johtumisessa lämpöä siirtyy kappaleiden kosketusten kautta. Lämpö pyrkii tasaantumaan kappaleiden välillä, jolloin tasoittumisnopeus eli lämpövirran määrä, voidaan laskea Fourierin lain avulla (kaava 1) (Björkholtz 1997).

$$q = \lambda \cdot \frac{t_1 - t_2}{d} \quad [1]$$

q = lämpövirran tiheys $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

$t_1 - t_2$ = kappaleiden yli vallitseva lämpötilaero [K]

λ = kappaleen lämmönjohtavuus $\left[\frac{W}{m \cdot K}\right]$

d = kappaleen paksuus [m]

Eri materiaalit vastustavat lämpövirtaa eri lämmönvastuksella, joka voidaan laskea kaavalla 2.

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad [2]$$

R = materiaalin lämmönvastus $\left[\frac{m^2 \cdot K}{W}\right]$

jolloin kaava saa muodon:

$$q = \frac{t_1 - t_2}{R} \quad [3]$$

Taulukko 2. Esimerkkejä materiaalien lämmönjohtavuusarvoja (RIL 255-1-2014).

Materiaali	Lämmönjohtavuus [W/(m·K)]
Sahanpuru	0,07 – 0,12
Puukuitulevy	0,045 – 0,06
Puhallettava mineraali- ja selluvilla	0,04 – 0,045
Kivivilla	0,03 – 0,04
Betoni	1,0 – 1,5
Lumi	1,0
Ilma	0,024
Puu yleisesti	0,10 – 0,15

Jos rakenne koostuu useasta eri materiaalikerroksesta, saadaan kaava 3 muotoon:

$$q = \frac{t_1 - t_2}{R_T} \quad [4]$$

$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \left[\frac{m^2 \cdot K}{W}\right]$

R_{si} = sisäpinnan pintavastus $\left[\frac{m^2 \cdot K}{W}\right]$

R_n = kerroksen lämpövastus $\left[\frac{m^2 \cdot K}{W}\right]$

R_{se} = ulkopinnan pintavastus $\left[\frac{m^2 \cdot K}{W}\right]$

Pintavastukset rakenteiden pinnoilla riippuvat lämpövirran suunnasta, tuulesta, esteistä ym. Sisä- ja ulkopinnan pintavastukset saadaan laskettua kaavoilla 5 ja 6. Pintavastusten laskennassa ei tarvitse ottaa johtumisen vaikutusta huomioon (Vinha 2011).

$$R_{si} = \frac{1}{h_{conv,i} + h_{rad,i}} \quad [5]$$

$$R_{se} = \frac{1}{h_{conv,e} + h_{rad,e}} \quad [6]$$

h_{rad} = säteilyn lämmönsiirtokerroin $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$

h_{conv} = konvektion lämmönsiirtokerroin $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$

Tyypillisesti laskennoissa käytetään seuraavia arvoja $\left[\frac{m^2 \cdot K}{W}\right]$:

Taulukko 3. Pintavastuksien arvoja (SFS-EN ISO 6946).

Sisäpinnan vastus R_{si} , kun lämpövirran suunta on:			Ulkopinnan vastus R_{se}
Vaakasuuntaan	Ylös	Alas	
0,13	0,10	0,17	0,04

2.2.2 Lämmön säteily

Lämpösäteilyssä energia siirtyy valonnopeudella sähkömagneettisina aaltoina kahden eri lämpötilassa olevan pinnan välillä. Kaikki materiaalit, joiden lämpötila on absoluuttisen nollapisteen yläpuolella ($0 \text{ K} = -273,15 \text{ °C}$), säteilevät lämpöenergiaa ympäristöönsä. Säteily ei tarvitse erillistä väliainetta edetäkseen, vaan väliaine voi jopa hidastaa säteilyn etenemistä kahden materiaalin välissä. Pinnan maksimisäteilyteho on täysin mustalla kappaleella, jonka kokonaissäteilyteho E_b (W/m^2) voidaan laskea Stefan-Bolzmännin lain avulla (kaava 7) (Vinha 2011).

$$E_b = \sigma \cdot T_s^4 \quad [7]$$

$\sigma = \text{Stefan-Bolzmännin vakio } [5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}]$

$T_s = \text{säteilyä lähettävän pinnan lämpötila [K]}$

Todellisten rakennustekniikassa käytettyjen materiaalipintojen säteilyteho ja täysin mustan kappaleen välisen säteilytehon ilmoittaa pinnan emissiviteetti ϵ (-), jonka vaihteluväli on 0 – 1 (kaava 8) (Vinha 2011).

$$\epsilon = \frac{E}{E_b} \quad [8]$$

Täten kaava 7 saa muodon

$$E_b = \epsilon \cdot \sigma \cdot T_s^4 \quad [9]$$

Esimerkkejä eri pintojen emissiviteeteistä huonelämpötilassa ϵ (-).

Taulukko 4. Esimerkkejä pintojen emissiviteeteistä (Björkholtz 1997).

Alumiini	
- kirkas	0,09
- oksidoitunut	0,20 – 0,33
Betoni	0,94
Kattohuopa	0,92 – 0,94
Kipsi	0,8 – 0,94
Lasi	0,94
Lumi	0,82
Puu	0,8 – 0,9
Poltettu tiili	0,91 – 0,93

Aurinko lähettää lyhytaaltoista säteilyä, jonka aallonpituus, λ , vaihtelee välillä 0,2 – 3 μm . Auringon lähettämästä säteilytehosta E_{sol} (W/m^2) vain murto-osa tulee maan pinnalle. Ilmakehän ulko-osiin saapuva auringon säteilyteho, $I_{\text{sol},0}$ (W/m^2) vaihtelee välillä 1 280 – 1 370 W/m^2 . Säteilytehon suuruus vaihtelee auringon ja maan etäisyyden takia. Keskimääräinen säteilyteho on 1 340 W/m^2 , mitä kutsutaan aurinkovakioksi. Säteilytehon arvo kohdistuu säteitä vastaan kohtisuoralle pinnalle (Rakennusfysiikka luentokalvot).

2.2.3 Lämmön konvektio

Konvektiolla tarkoitetaan kaasun tai nesteen virtausta paine-eron vaikutuksesta. Virtausta voi tapahtua lämpötilaerojen aiheuttamien tiheyserojen seurauksena (luonnollinen konvektio, noste) tai ulkoisen voiman vaikutuksesta (pakotettu konvektio, esimerkiksi tuuli tai puhallin). Kaasu tai neste virtaa suuremmasta paineesta pienempää painetta kohti, ja virtaus voi tapahtua rakenteissa olevien reikien ja rakojen kautta tai huokoisten materiaalien läpi. Virtaavan ilman määrä on riippuvainen rakennuksen paine-eroista, materiaalien ilmanläpäisevyyksistä, reikien ja rakojen suuruudesta ja virtausvastuksista (Vinha 2011).

2.3 Diffuusio

Diffuusio on kaasumolekyylien liikettä, jonka seurauksena molekyylit pyrkivät tasaantumaan korkeammasta pitoisuudesta matalampaan. Diffuusiovirtaa rajoittaa materiaalin diffuusiovastus, joten diffuusiovirran tiheys on riippuvainen kaasujen osapaine-erosta ja diffuusiovastuksesta (Vinha 2011).

Rakennustekniikassa tärkein tarkasteltava kaasu on vesihöyry, jolloin tarkastellaan lähinnä vesihöyrypitoisuuksien eroja rakennuksen sisä- ja ulkopuolella. Vesihöyryn diffuusiovirta kulkee rakennuksissa tavanomaisesti sisältä ulos, koska asuminen tuottaa sisäilmaan kosteuslisää. Kesäisin harvoissa tapauksissa diffuusiovirta saattaa kääntyä ulkoa sisälle päin. Diffuusiovirran kääntyminen sisäänpäin vaatii korkean ulkoilman kosteuden ja sisäilmaa viilentämisen ilmastoinnin (Vinha 2012).

Vesihöyryä ei pidä päästää rakenteiden läpi hallitsemattomasti, koska tällöin kosteuden kondensoitumisen riski rakenteisiin kasvaa. Diffuusiolla rakenteisiin kulkeutuvaa vesihöyryä voidaan rajoittaa estämällä kosteuden pääsy rakenteeseen asentamalla sisäpinnan lähelle erittäin huonosti vesihöyryä läpäisevän höyrynsulkukerroksen. Höyrynsulun vesihöyryvastuksen tulee olla vähintään viisinkertainen verrattuna rakenteen uloimman rakennekerroksen vesihöyryvastukseen. Rakennekerroksien vesihöyryvastuksien tulee myös harventua ulospäin (Ympäristöministeriö 1998).

Diffuusiolla rakenteen läpi kulkeutuvan kosteuden määrä voidaan laskea kaavalla 10 tai 11 (Björkholtz 1997).

$$g_{dif} = \delta_v \cdot \frac{\nabla v}{\Delta x} \quad [10]$$

$$g_{dif} = \delta_p \cdot \frac{\nabla p}{\Delta x} \quad [11]$$

g_{dif} = diffuusiolla kulkeva kosteuden määrä [kg/(m²·s)]

δ_v = vesihöyryn läpäisevyys [(kg/(m·s) / (kg/m³))] = [m²/s]

δ_p = vesihöyryn läpäisevyys [kg/(m·s·Pa)]

∇_v = kosteusero matkalla x [kg/m³]

∇_p = vesihöyryn osapaineen erotus matkalla x [Pa]

Δ_x = diffuusiomatka [m]

Jos rakenteessa on useita eri homogeenisiä ainekerroksia, diffuusiovirta rakenteen läpi saadaan laskettua kaavalla 12 tai 13 (Björkholtz 1997). Kaavoissa muuttujat ovat vesihöyrymäärät tai vesihöyryn osapainemäärät ulko- ja sisätilojen välillä.

$$g_{dif} = \frac{v_s - v_u}{\Sigma Z_v} \quad [12]$$

$$g_{dif} = \frac{p_s - p_u}{\Sigma Z_p} \quad [13]$$

v_s = vesihöyryn määrä sisäilmassa [kg/m³]

v_u = vesihöyryn määrä ulkoilmassa [kg/m³]

p_s = vesihöyryn osapaine sisäilmassa [Pa]

p_u = vesihöyryn osapaine ulkoilmassa [Pa]

$Z = \frac{d}{\delta}$ = eri ainekerrosten vesihöyrynvastus [$Z_v = (s/m)$, $Z_p = ((m^2 \cdot s \cdot Pa)/kg)$]

d = homogeenisen ainekerroksen paksuus [m]

Taulukossa 5 on esitetty eri rakennusmateriaalien vesihöyryn läpäisevyysarvoja ja taulukossa 6 esitetään rakennusmateriaalien vesihöyrynvastuksia.

Taulukko 5. Rakennusmateriaalien vesihöyryn läpäisevyysarvoja (Björkholtz 1997).

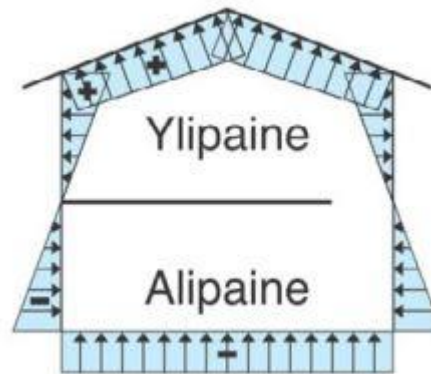
Aine	Tiheys kg/m ³	δ_p (10 ⁻¹² kg / (m·s·Pa))
Ilma (T = 0 ° C. p = 1000 hPa)	1,2754	185
Betoni	2300	2 ... 10
Punatiili	1200 ... 1800	10 ... 42
Kuusi, mänty	500	1 ... 3
Mineraalivilla	17 ... 200	85 ... 125
Lastulevy	600 ... 750	3 ... 7
Huokoinen puukuitulevy	350	20 ... 40
Kipsilevy	770	10 ... 20

Taulukko 6. Rakennusmateriaalien vesihöyrynvastuksia (Björkholtz 1997).

Aine	Paksuus	Z _p (10 ⁹ (m ² ·s·Pa) / kg)
Kipsilevy	13 mm	0,75
Lastulevy	13 mm	1,8 ... 4,3
Huokoinen puukuitulevy	13 mm	0,5
Kova puukuitulevy	3,2 mm	0,5 ... 0,8
Muovikalvo	0,2 mm	450
Bitumikerros	-	500 ... 1000
Alkydimaali	90 ... 120 µm	9,5 ... 16,0
Silikaattimaali	80 ... 100 µm	0,7 ... 0,8

2.4 Savupiippuvaikutus

Ulko- ja sisäilman lämpötilaeron aiheuttamaa paine-eroa kutsutaan savupiippuvaikutukseksi. Paine-ero syntyy, kun lämmin ilma nousee kylmää ilmaa kevyempänä ylöspäin. Savupiippuvaikutus on suurimmillaan talvella, kun rakennuksen sisäilman ja ulkoilman lämpötilaerot ovat suurimmillaan. Rakennuksen alaosaan muodostuu alipaine ja yläosiin ylipaine, kuten kuvassa 1 on esitetty. Neutraaliakselilla sisä- ja ulkopuolen paine-ero on 0 Pascalia. Neutraaliakselin tarkkaa sijaintia on hyvin vaikea määrittää, koska neutraaliakselin sijainti rakennuksessa riippuu tuulen voimakkuudesta, rakennuksen vaipan epätiiviyshkohdista ja niiden korkeusasemista (Ympäristöministeriö 2016).

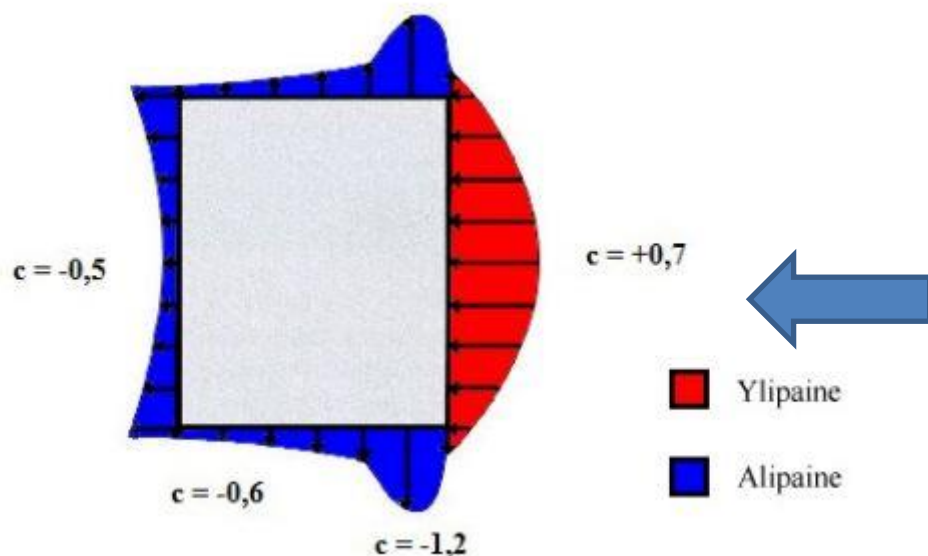


Kuva 1. Rakennuksen paineja-kauma (Ympäristöministeriö 1998).

Savupiippuvaikutus korostuu korkeissa rakennuksissa, joissa on esimerkiksi hissikuilu ja/tai avoin porraskäytävä, kuten kolmikerroksiset rintamamiestalotyyppiset rakennukset. Tällöin ilmatiiviys rakennuksen alaosan liittymissä on erityisen tärkeää, ettei vuotoilman mukana kulkeutuisi sisäilmaan epäpuhtauksia maaperästä tai rakenteiden läpi. Vuotoilma saatetaan myös kokea vetona lattianrajassa, jolloin asumismukavuus heikkenee. Savupiippuvaikutus lisää rakennuksen yläosiin ylipainetta, jolloin liittymien ja rakenteiden ilmatiiviiden tärkeys rakennuksen yläosissa kasvaa. (Sisäilmayhdistys 2008).

2.5 Tuulesta johtuva paine-ero

Tuuli aiheuttaa rakennuksiin paine-eroja. Tuulen vaikutus vaihtelee rakennuksen muodon, maanpinnan muotojen ja tuulen suunnan ja voimakkuuden mukaan.



Kuva 2. Tuulen aiheuttama painejakauma rakennuksen ulkoseiniin. (Siikanen 2014).

Kuvassa 2 on esitetty tyypillinen painejakauma, joka ilmaistaan pinnan muotokertoimilla. Kuvassa tuuli tulee nuolen suunnasta, jolloin tuulen kohtaamalla pinnalla vallitsee ylipaine. Rakennuksen suojan puoleisella seinällä sekä sivuseinillä ja nurkka-alueilla vallitsee alipaine. Kattorakenteissa suojan puoleiselle lappeelle syntyy alipaine ja tuulen kohtaamalle lappeelle ylipaine. Rakennuksen sisäisenä muotokertoimena käytetään tyypillisesti arvoa - 0,3 (Ympäristöministeriö 2016).

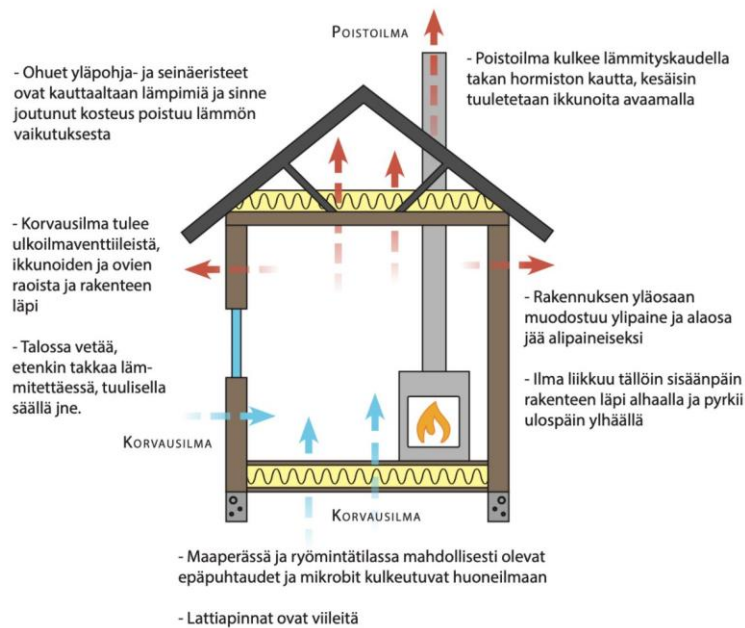
Rakennuksen ilmatiiviydellä on tärkeä merkitys, kun tarkastellaan tuulen vaikutusta rakennuksen paine-erojakautaan. Jos tuulenpuoleinen seinä on muita seiniä tiiviimpi, rakennuksen sisälle muodostuu alipainetta. Vastaavasti, jos tuulen puolen seinä on muita seiniä epätiiviimpi, rakennukseen syntyy ylipainetta. Täten rakennuksen vaipan tiiviydellä, ikkunoiden ja ovien sijainnilla ja tuulen suunnalla on vaikutus sisälle syntyvään paine-eroon (Ympäristöministeriö 2016).

2.6 Ilmanvaihto

2.6.1 Painovoimainen ilmanvaihto

Painovoimainen ilmanvaihto oli 1960-luvulle asti Suomen yleisin ilmanvaihtotapa kaikissa rakennuksissa. Painovoimaisen ilmanvaihdon toiminta perustuu ilman tiheyserojen, hormiston korkeuden sekä tuulen aiheuttamaan paine-eroon. Painovoimainen ilmanvaihto toimii parhaiten talvella, jolloin sisä- ja ulkolämpötilaerot ovat korkeimmillaan. Kesäkuukausina, kun lämpötilaerot sisä- ja ulkoilmassa ovat pienimillään, painovoimainen ilmanvaihto ei enää toimi kuten talvikausina, joten painovoimaista ilmanvaihtoa joudutaan kesäaikaan yleensä tehostamaan ikkunatuuletuksella. Ilmanvaihtoa voidaan tehostaa kesäaikoina asentamalla hormin päähän tuulen voimalla toimivia vedonparantajia. Painovoimaisen ilmanvaihdon rakennuksissa ilmamääriä on hyvin vaikea säätää riittäviksi joka huoneessa, koska tuulella on suuri merkitys ilmanvaihdon toimivuuteen (Sandberg ja Heinonen 2014, Ympäristöministeriö 2016).

Painovoimainen ilmanvaihto toimii erittäin hyvin rakennuksissa, joissa on puulämmitys, koska palaminen vaatii paljon happea. Tällöin ilmankierto tehostuu, koska paloilma poistuu palohormista. Tämän seurauksena rakennukseen aiheutuu alipaine, jolloin uutta ilmaa virtaa rakennukseen rakojen, ikkunoiden pokien tai korvausilmaventtiilien kautta (Sandberg ja Heinonen 2014). Kuvassa 3 on esitetty painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaperiaate vanhassa rakennuksessa.



Kuva 3. Painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaperiaate (Vertia).

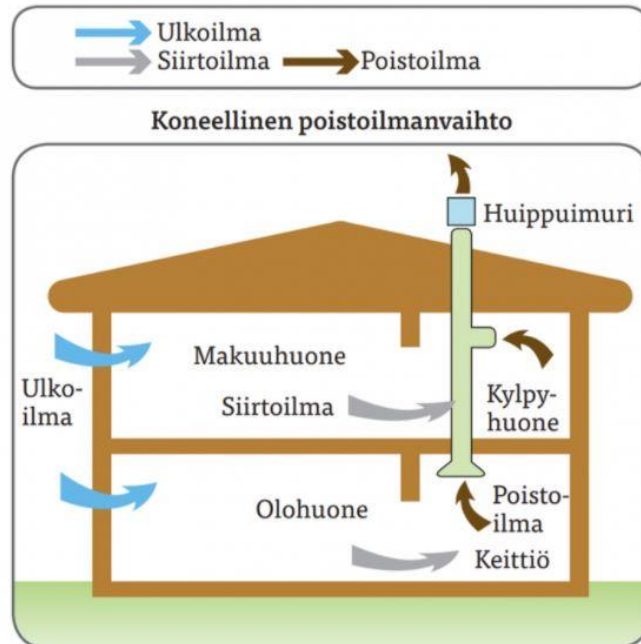
Painovoimaisessa ilmanvaihdossa korvausilma tulisi ottaa ulkoilmasta hallitusti korvausilmaventtiilien tai ikkunoihin asennettavien venttiilien kautta - eikä rakenteiden läpi - jolloin epäpuhtauksia ja mikrobeja ei pääsisi kulkeutumaan sisäilmaan. Lisäksi korvausilmaventtiilit tulisi varustaa suodattimilla, jotka suodattavan ilman epäpuhtauksia, kuten katu- ja siitepölyä. Rakenteiden läpi tapahtuvat ilmavirtaukset aiheuttavat lisäksi vedon tunnetta ja jäädyttävät rakenteita (Sandberg ja Heinonen 2014).

Korvausilmaventtiilien sijoittamisella voidaan vähentää merkittävästi vedon tunnetta oleskelutiloissa. Korvausilmaventtiilit tulisi sijoittaa lämmönlähteen (esim. seinäpatterin) päälle, jolloin lämmin ilma sekoittuu korvausilmaventtiin kautta tulevaan kylmään ilmaan. Painovoimaisen ilmanvaihdon energiatehokkuus on huono, koska lämpöä ei saada otettua ollenkaan talteen. Varsinkin talviaikaan ilmavirta poistohormeissa on suuri. (Sandberg ja Heinonen 2014).

2.6.2 Koneellinen poistoilmanvaihto

Koneellisessa poistoilmanvaihdossa tehostetaan poistoilmamäärää huippuimurin tai poistoilmaventtiin asennettavan kanavapuhaltimen avulla. Poistoilmaventtiilit ovat yleensä sijoitettu niin sanottuihin likaisiin tiloihin, joista kostea tai likainen ilma halutaan poistaa nopeasti pois, ettei kosteus viipyisi turhaan rakennuksessa tai likainen ilma siir-

tyisi muihin tiloihin aiheuttamaan hajuhaittoja. Jos rakennuksessa on huippuimuri, poistoilmanvaihtoa pystytään tehostamaan lisäämällä huippuimurin nopeutta. Tehostaminen tapahtuu yleensä liesikupuun sijoitetun ohjauksen avulla (Sandberg ja Heinonen 2014). Kuvassa 4 on esitelty koneellisen poistoilmanvaihdon toiminta.

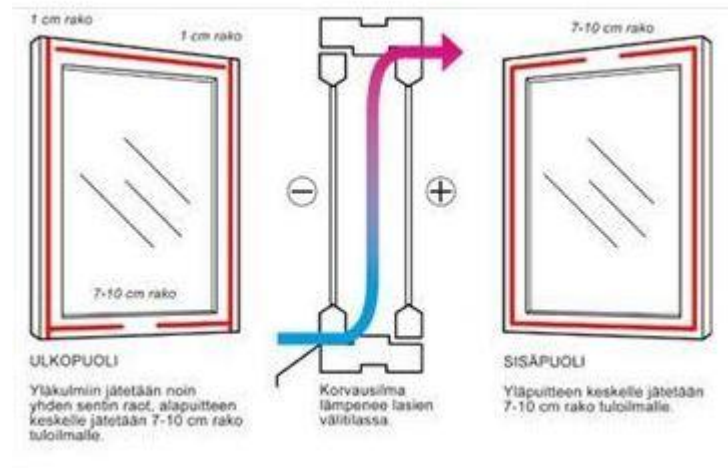


Kuva 4. Poistoilmanvaihdon toimintaperiaate (Hengitysliitto).

Kanavapuhaltimia on erilaisia: jatkuvatoimisia, kosteuden mukaan käynnistyviä, liiketunnistimilla tai hiilidioksidiantureilla varustettuja puhaltimia. Kosteuden mukaan käynnistyvät puhaltimet ovat yleisesti sijoitettu pesutiloihin, jolloin suihkun jälkeen puhaltimet menevät päälle ja poistavat kosteata ilmaa niin kauan, että haluttu kosteuspitoisuus saavutetaan. Liiketunnistimilla varustetut puhaltimet havaitsevat liikettä, jolloin ne kytkeytyvät päälle ja poistoilmanvaihto käynnistyy. Hiilidioksidiantureilla varustetut puhaltimet mitaavat sisäilman hiilidioksidipitoisuutta ja käynnistyvät tai tehostuvat tietyn asetusarvon ylityksen jälkeen toimintaan.

Korvausilma otetaan suoraan ulkoilmasta, joko suoraan seinien läpi asennettavien kanavien tai ikkunoiden pokiin asennettavien raitisilmaventtiilien kautta. Ilmamäärät ovat huomattavasti suurempia seinän läpi asennettavien kanavien kautta, mutta voivat aiheuttaa vetoa, jos kanavat on asennettu oleskelutilojen, kuten sohvien läheisyyteen. Markkinoilla on saatavilla myös korvausilmaa lämmittäviä korvausilmaventtiilejä, jolloin vedon tunne vähenee. Ikkunoiden pokiin asennettavien raitisilmaventtiilien etuna on se,

että sisään tuleva ilma lämpenee hieman ikkunalasien välissä. Korvausilma voidaan ottaa myös ikkunoiden kautta tiivisteitä poistamalla (kuva 5). Ilmavirta saattaa kylmentää sisempää ikkunaa, jolloin ikkunan pintaan saattaa kondensoitua kosteutta ja kylmä ikkuna voi aiheuttaa vedon tunnetta. Koneellisessa poistoilmanvaihdossa on erityisen tärkeää huomioida korvausilman riittävyys, ettei sisätiloihin muodostuisi liian suurta alipainetta, joka pahimmillaan johtaa siihen, että korvausilma kulkeutuu rakenteiden läpi (Sandberg ja Heinonen 2014).



Kuva 5. Korvausilma ikkunan kautta (Ympäristö.fi 2016).

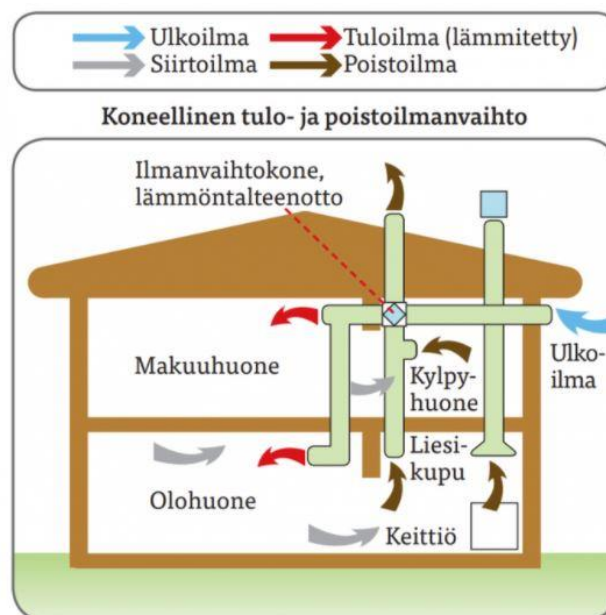
Koneellisen poistoilmanvaihdon energiatehokkuus on huono, koska lämpöä ei saada otettua talteen. Rakennuksen painesuhteisiin vaikuttavat korvausilmaventtiilien määrä ja koko sekä rakennuksen vaipan tiiviys. A-Insinöörien tutkimuksen mukaan esimerkkirakennuksesta, jonka ilmavuotoluku $q_{50} = 4$ ($\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$), poistetaan ilmaa 60 l/s, joka aiheuttaa sisätiloihin vain 3,3 Pascalin alipaineen, vaikkei rakennuksessa olisi ollenkaan korvausilmaventtiileitä. Tämä johtuu siitä, että rakennukseen saadaan tarpeeksi korvausilmaa vaipan vuotojen kautta (A-Insinöörit 2019).

2.6.3 Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto

Lähes kaikki nykyaikana rakennettavat rakennukset varustetaan koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmällä. Tässä järjestelmässä koko ilmanvaihto on täysin ilmanvaihtokoneen varassa. Ilmanvaihtokone ottaa ulkoilmaa, jonka se lämmittää poistoilmalla. Tällöin sisälle puhallettu raikas ja puhdas ilma on jo etukäteen lämmitetty, jolloin sisään puhallettu ilma ei aiheuta vedon tunnetta ja ilmanvaihto on energiatehokasta. Esimerkiksi ilmanvaihtokone, joka on varustettu pyörivällä lämmönsiirtimellä, pystyy jopa 70 – 80 % hyötysuhteeseen. Muiden ilmanvaihtokoneiden hyötysuhteet vaihtelevat 50

%.sta ylöspäin. Rakennuksen lämmitysenergiasta noin 20 – 40 % kuluu korvausilman lämmittämiseen, joten mitä parempi hyötysuhde ilmanvaihtokoneella on, sitä enemmän säästetään lämmityskustannuksissa (RIL 249-2015, Ympäristö.fi 2016).

Ilmanvaihtokoneet ovat varustettu ulkoilman suodatuksella, jolloin ulkoilman epäpuhtaudet (katu- tai siitepöly) eivät pääse kulkeutumaan sisäilmaan. Tuloilmaa tuodaan ilmanvaihtokanavien ja -venttiilien kautta oleskelutiloihin (makuu- ja olohuoneet), ja ilmaa poistetaan likaisista tiloista (keittiö, wc:t ja pesutilat) (Sandberg ja Heinonen 2014). Kuvassa 6 on esitetty koneellisen ilmanvaihtojärjestelmän toimintaperiaate.



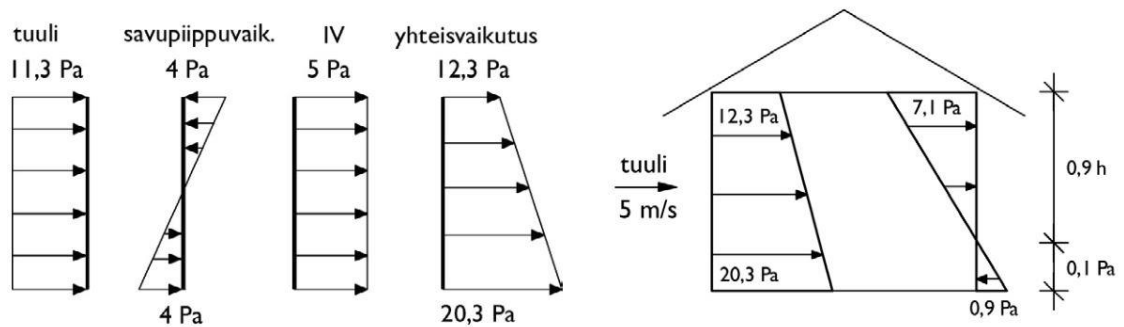
Kuva 6. Täysin koneellisen ilmanvaihtojärjestelmän toimintaperiaate (Hengitysliitto).

Ilmanvaihto pyritään säätämään alipaineiseksi ulkoilmaan nähden: 0 – 30 Pa. Alipaineella ehkäistään rakenteisiin kohdistuvaa kosteusrasitusta (RakMK D2 2012).

2.7 Rakennuksen kokonaispaine-ero

Rakennuksessa vallitsevat painesuhteet ovat riippuvaisia savupiippuvaikutuksesta, tuulenpaineesta sekä ilmanvaihdosta. Painesuhteet voivat vaihdella hyvinkin nopeasti tuulen ja ilmanvaihdon johdosta. Savupiippuvaikutuksen muutokset paine-eroihin tapahtuvat pääosin vuodenoittain. Kokonaispaine-erot vaihtelevat rakennuksen sisällä eri korkeuksilla ja tuulen- tai suojanpuoleisissa seinissä (Ympäristöopas 2016).

Kuvassa 7 on esitetty esimerkki 10 metriä korkean rakennuksen painejakaumasta. Kuvasta nähdään, että tuulen puoleisen seinän alaosaan on noin 20 Pascalin suuruinen alipaine rakennuksen sisätiloja kohti. Kun taas suojan puoleisen seinän alaosaan on vain noin yhden Pascalin alipaine sisätiloja kohti. Tuulen puoleinen seinä on kokonaan alipaineinen ja suojan puoleinen seinä on noin 90 %:sti ylipaineinen.



Kuva 7. Rakennuksen painejakauma (Ympäristöopas 2016).

Rakennuksen sisä- ja ulkopuolen välillä vallitsevan kokonaispaine-eron ΔP (Pa) voi laskea kaavalla 14 (Vinha 2012).

$$\Delta P = \Delta p_g + \Delta p_{tuuli} + \Delta p_{ilmanvaihto} \quad [14]$$

Δp_g = savupiippuvaikutus aiheuttama ilmanpaine-ero [Pa]

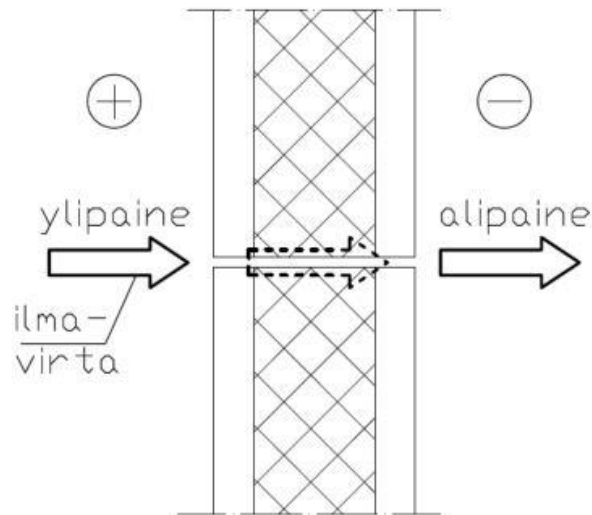
Δp_{tuuli} = tuulenpaineen aiheuttama ilmanpaine-ero [Pa]

$\Delta p_{ilmanvaihto}$ = ilmanvaihdon aiheuttama ilmanpaine-ero [Pa]

Jos rakenteen alaosaan on rako, josta on yhteys maaperään, 20 Pascalin suuruinen alipaine vetää maaperästä sisäilmaan suuren määrän korvausilmaa. Virpi Leivo ja Jukka Rantala ovat tutkimusraportissaan (Leivo & Rantala 2006) todenneet, että 98 %:sta maanäytteistä havaittiin jonkinasteista mikrobikasvustoa ja kosteusvaurioita indikoivia mikrobilajeja löytyi 79 %:sta näytteistä. Mikrobikasvu on jossain määrin yhteydessä rakennuksen ikään, koska mikrobikasvun esiintyminen oli satunnaisempaa vanhemmissa rakennuksissa. 30-luvulla rakennettujen tai sitä vanhempien rakennusten maanäytteistä ei havaittu lainkaan mikrobikasvua, vaikka alustäytöt ja alapohjarakenteet ovat riskialttiimpia kosteusvaurioille kuin nykyaikaiset rakenneratkaisut (Leivo & Rantala 2006).

2.8 Reikien ja rakojen kautta tapahtuva konvektiovirtaus

Rakennuksen paine-erojen johdosta ilma pyrkii rakennukseen sisään tai rakennuksesta pois. Jos rakenteissa on reikiä tai rakoja, ilma pääsee kulkeutumaan näiden läpi rakenteen toiselle puolelle, kuten kuvassa 8 on esitetty. Ilma- ja kosteusvirtaus rakenteen läpi voi aiheuttaa epäpuhtauksien kulkeutumista sisätiloihin ja/tai kosteuden tiivistymistä rakenteisiin (Ympäristöministeriö 1998).



Kuva 8. Pakotettu konvektio raon läpi (Siikanen 1996).

Reikien ja rakojen läpi tapahtuva konvektiovirtaus voidaan laskea kaavoilla 15, 16 tai 17, kun rakennuksen paine-ero on tiedossa. (Björkholtz 1997).

Kaava 15 on tarkoitettu paksuille rakenteille, joissa on rako, ja virtaus on laminaarinen.

$$Q_{rako} = A \cdot \frac{b^2}{12 \cdot \eta} \cdot \frac{\Delta p}{l} \quad [15]$$

Q = ilmavirran määrä [m^3/s]

$A = b \cdot d$ [m^2], jossa d on raon pituus [m]

b = raon leveys [m]

η = ilman viskositeetti [$\text{Pa} \cdot \text{s}$]. $(17,1 + 0,049 t) \cdot 10^{-6}$, jossa t on sisätilojen lämpötila

Δp = ilman paine-ero [Pa]

l = raon syvyys [m]

Kaava 16 on paksuille rakenteille, joissa on reikä, ja virtaus on laminaarinen.

$$Q_{reikä} = A \cdot \frac{d^2}{32 \cdot \eta} \cdot \frac{\Delta p}{l} \quad [16]$$

Q = ilmavirran määrä [m³/s]

A = $\frac{\pi \cdot d^2}{4}$ [m²], jossa d on reiän halkaisija [m]

η = ilman viskositeetti [Pa·s]. (17,1 + 0,049 · t) 10⁻⁶, jossa t on sisätilojen lämpötila

Δp = ilman paine-ero [Pa]

l = raon syvyys [m]

Ohuissa rakenteissa (levyt tai kalvot) reiän läpi siirtyvä ilman tilavuusvirta riippuu pääosin reiän alku- ja loppupään aiheuttamista painehäviöistä. Täten ilman tilavuusvirta voidaan laskea kaavalla 17 (Rakennusfysiikka luentokalvot).

$$Q_{ohut} = \frac{\sqrt{0,845 \cdot \Delta p}}{\rho_a} \cdot A \quad [17]$$

Q = ilmavirran määrä [m³/s]

A = reiän pinta-ala [m²]

Δp = ilman paine-ero rakenteen eri puolilla [Pa]

ρ_a = ilman tiheys (~1,2 kg/m³, kun T = 20 °C)

Esimerkkilaskelmassa tarkastellaan hirsirunkoista rakennusta, jonka yhdessä hirsisau-massa on rako. Raon pituus on 1 000 mm, hirren paksuus 150 mm ja raon leveys 0,2 mm. Paine-ero rakenteen yli on 4 Pascalia. Sisätilojen lämpötila on +20 °C ja ulkoläm-pötila on +5 °C. Laskennassa käytetään kaavaa 15.

$$Q_{rako} = (0,0002 \text{ m} \cdot 1 \text{ m}) \cdot \frac{(0,0002 \text{ m})^2}{12 \cdot 18,08 \cdot 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{s}} \cdot \frac{4 \text{ Pa}}{0,15 \text{ m}} = 9,83 \cdot 10^{-7} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Laskennan tulokseksi saadaan ilmavirran määrä raon läpi. Tulos muunnettuna selkeäm-pään muotoon: 0,06 dm³/min.

2.9 Kosteuskonvektio

Kosteuskonvektiossa kosteutta siirtyy ilmavirtojen mukana esimerkiksi reikien tai rakojen läpi. Kosteuskonvektion kuljettama vesihöyryn määrä on riippuvainen rakenteen paine-suhteista, sisä- ja ulkoilman kosteuspitoisuudesta ja rakenteiden epäjatkuvuuskohtista (Björkholtz 1997).

Kosteuskonvektion kuljettama kosteuden määrä pystytään laskemaan kaavan 18 avulla, jonka muuttujina ovat ilman vesihöyrypitoisuuksien erotus ja ilmavirran suuruus rakenteen läpi (Björkholtz 1997).

$$g_{konvnetto} = Q_{tulevairma} \cdot v_{tulevairma} - Q_{lähteväilma} \cdot v_{lähteväilma}$$

Ilma voidaan olettaa kokoonpuristumattomaksi, jolloin

$$Q_{tuleva} = Q_{lähtevä} = Q$$

Tästä saadaan:

$$g_{konvnetto} = Q \cdot (v_{tulevairma} - v_{lähteväilma}) = Q \cdot \Delta v \quad [18]$$

g_{konv} = konvektion aiheuttama kosteusvirta [kg/s]

Δv = ilman vesihöyrypitoisuuksien erotus [kg/m³]

Q = ilmavirta [m³/s]

Sijoitetaan edellisessä kappaleessa laskettu ilmavirran arvo kaavaan 18. Käytetään samaa esimerkkiä kuin edellisessä kappaleessa. Esimerkkilaskelmassa sisäilmassa on kosteutta 10 g/m³ ja ulkoilmassa 6 g/m³, joten kosteuslisä rakennuksen sisäpuolella on 4 g/m³.

$$g_{konv} = 0,004 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,83 \cdot 10^{-7} \frac{m^3}{s} = 3,93 \cdot 10^{-9} \frac{kg}{s}$$

Tulokseksi saadaan kosteusvirran arvo raon läpi, jonka suuruusluokkaa on vaikea hahmottaa. Muunnetaan lopputulos viikon aikaiseksi kosteusvirraksi.

$$3,93 \cdot 10^{-6} \frac{g}{s} \cdot 604800 \frac{s}{vko} = 2,37 \text{ g/vko}$$

Alla olevissa taulukoissa on esitetty kosteusvirran määrää eri kokoisten rakojen läpi vaihtelevilla paine-eroilla. Laskennassa käytetty raon pituus on 1 000 mm, jolloin raon pinta-ala vaihtelee välillä 100 mm² – 2 000 mm².

Taulukko 7. Kosteusvirta raon läpi, kun sisäilman kosteuslisä Δv on 3 g/m³

Kosteusvirta viikossa raon läpi (g/vko)						
Raon leveys (mm)	Paine-ero (Pa)					
	1	2	5	10	15	20
0,1	0,056	0,11	0,28	0,56	0,84	1,12
0,2	0,45	0,89	2,23	4,46	6,69	8,92
0,5	6,9	13,9	34,8	69,7	104,5	139,4
0,75	23,5	47,1	117,6	235,2	352,8	470,4
1	55,8	111,5	278,8	557,5	836,3	1 115
1,5	188,2	376,3	940,8	1 882	2 822	3 763
2	446,0	892,1	2 230	4 460	6 690	8 920

Taulukko 8. Kosteusvirta raon läpi, kun sisäilman kosteuslisä Δv on 5 g/m³

Kosteusvirta viikossa raon läpi (g/vko)						
Raon leveys (mm)	Paine-ero (Pa)					
	1	2	5	10	15	20
0,1	0,093	0,19	0,46	0,93	1,39	1,86
0,2	0,74	1,49	3,72	7,43	11,15	14,87
0,5	11,6	23,2	58,1	116,2	174,2	232,3
0,75	39,2	78,4	196,0	392,0	588,0	784,0
1	92,9	185,8	464,6	929,2	1 394	1 858
1,5	313,6	627,2	1 568	3 136	4 704	6 272
2	743,4	1 487	3 717	7 434	11 150	14 870

Tuloksista voidaan havaita, että pienetkin raot tai reiät tulisi tiivistää. Rakojen läpi kulkeutuva kosteuden määrä on melko suuri. Standardissa SFS-EN ISO 13788:2012 määritetty diffuusiolla kulkeutuva kosteuden määrä rakenteeseen koko talvikaudella on 200 g/m². Taulukosta 8 havaitaan, että pelkästään 1 mm leveän ja 1 000 mm pitkän raon läpi kulkeutuu lähes sama määrä kosteutta viikossa 2 Pascalin paine-erolla kuin diffuusiolla yhteensä koko talvikautena neliön alalla.

Rakenteen ulkopinnan lähelle voi kondensoitua kosteutta, jos rakenteiden välillä vallitsee tarpeeksi suuri lämpötilaero ja ilmavirtaus tapahtuu sisältä ulospäin reiän tai raon kautta.

Jos sisäilman vesihöyrypitoisuus on suurempi kuin kylmän pinnan kyllästyskosteuspitoisuus, tapahtuu kondenssia (kaava 19) (Vinha 2011).

$$v_i \geq v_{sat,mat(T-)} \quad [19]$$

v_i = rakenteeseen virtaavan lämpimämmän sisäilman vesihöyrypitoisuus $[\frac{kg}{m^3}]$

$v_{sat,mat(T-)}$ = huokosilman kyllästyskosteuspitoisuus rakenteen kylmässä pinnassa $[\frac{kg}{m^3}]$

Rakenteen ulkopinnan lähelle kondensoituvan maksimikosteusmäärän pystytään laskemaan kaavalla 20.

$$G_{cond} = Q_a \cdot (v_i - v_{sat,mat(T-)}) \quad [20]$$

G_{cond} = rakenteeseen kohdistuva maksimikosteusmäärä $[\frac{kg}{s}]$

Q_a = ilmavirran määrä raon tai reiän läpi $[\frac{m^3}{s}]$

Tapauksissa, joissa ilmavirta tapahtuu ulkoa sisälle, rakenne voi puolestaan kuivua, jos ulkoilman vesihöyrypitoisuus on pienempi kuin rakenteessa vallitseva huokosilman vesihöyrypitoisuus (kaava 21) (Vinha 2011).

$$v_{mat(T+)} \geq v_e \quad [21]$$

v_e = rakenteeseen virtaavan kylmemmän ulkoilman vesihöyrypitoisuus $[\frac{kg}{m^3}]$

$v_{mat(T+)}$ = huokosilman kyllästyskosteuspitoisuus rakenteen lämpimämmässä pinnassa $[\frac{kg}{m^3}]$

Rakenteesta poistuva kosteusvirta voidaan laskea kaavalla 22.

$$G_{dry} = Q_a \cdot (v_{mat(T+)} - v_e) \quad [22]$$

G_{dry} = rakenteesta poistuva kosteusvirta $[\frac{kg}{s}]$

Q_a = ilmavirran määrä raon tai reiän läpi $[\frac{m^3}{s}]$

2.10 Aineskerrosten läpi tapahtuva konvektiovirtaus

Rakennekerrosten läpi voi tapahtua ilmavirtausta, joka kuljettaa myös kosteutta mukanaan. Konvektiovirtauksen suuruus on riippuvainen ulko- ja sisäilman vesihöyrypitoisuuksista, rakennekerroksen ilmanläpäisevyydestä, matkasta ja rakenteen yli vallitsevasta paine-erosta. Huokoiset materiaalit läpäisevät ilmaa enemmän kuin tiiviit materiaalit. Taulukossa 9 on esitetty eri materiaalien ilmanläpäisevyysarvoja. Rakenteen läpi tapahtuva konvektiovirtaus voi tapahtua myös samanaikaisesti eri suuntaan diffuusiovirtauksen kanssa.

Yksiaineisen homogeenisen ainesosan läpi tapahtuva konvektion aiheuttama kosteusvirta saadaan kaavalla 23 (Björkholtz 1997).

$$g_{konv1} = \Delta v \cdot k_a \cdot \frac{\Delta p_i}{\Delta x} \quad [23]$$

g_{konv} = konvektion avulla tapahtuva kosteusvirta $[\frac{kg}{s}]$

Δv = sisä- ja ulkoilman välinen vesihöyrypitoisuuksien ero $[\frac{kg}{m^3}]$

k_a = kerroksen ilmanläpäisevyys $[\frac{m^2}{s \cdot Pa}]$

Δp_i = ilman paine-ero kerroksen eri puolilla [Pa]

Δx = ilman virtausmatka [m]

Tarkastellaan aikaisemman esimerkkirakennuksen hirsiseinää, jonka paksuus on 150 mm. Rakennuksen ulko- ja sisätilojen paine-ero on 4 Pascalia ja vesihöyrypitoisuuksien ero on 4 g/m^3 . Sijoitetaan ne kaavaan 23, jolloin saadaan:

$$g_{konv1} = 0,004 \frac{kg}{m^3} \cdot 0,000010 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s \cdot Pa} \cdot \frac{4 Pa}{0,15 m} = 1,07 \cdot 10^{-12} \frac{kg}{s}$$

Muunnetaan tulos viikon aikana tapahtuvaan konvektiovirtaukseen.

$$g_{konv1vko} = 1,07 \cdot 10^{-12} \frac{kg}{s} \cdot 604800 s = 6,45 \cdot 10^{-7} kg$$

Tuloksesta huomataan, että tulos on suurusluokaltaan lähes mitätön. Puu on hyvin ilmatiivis materiaali, joten hirren läpi ei juurikaan tapahdu konvektiovirtausta.

Monikerroksisen homogeenisen rakenteen läpi tapahtuva konvektion aiheuttama kosteusvirta saadaan kaavan 24 avulla (Björkholtz 1997).

$$g_{konv2} = v \cdot \frac{p_{is} - p_{iu}}{\Sigma S} \quad [24]$$

p_{is} = sisäilman ilmanpaine (Pa)

p_{iu} = ulkoilman ilmanpaine (Pa)

$S = \frac{d}{k_a}$ = rakenteessa olevan ainekerroksen ilmanvastus ($\frac{s \cdot Pa}{m}$)

d = ainekerroksen paksuus (m)

k_a = kerroksen ilmanläpäisevyys ($\frac{m^2}{s \cdot Pa}$)

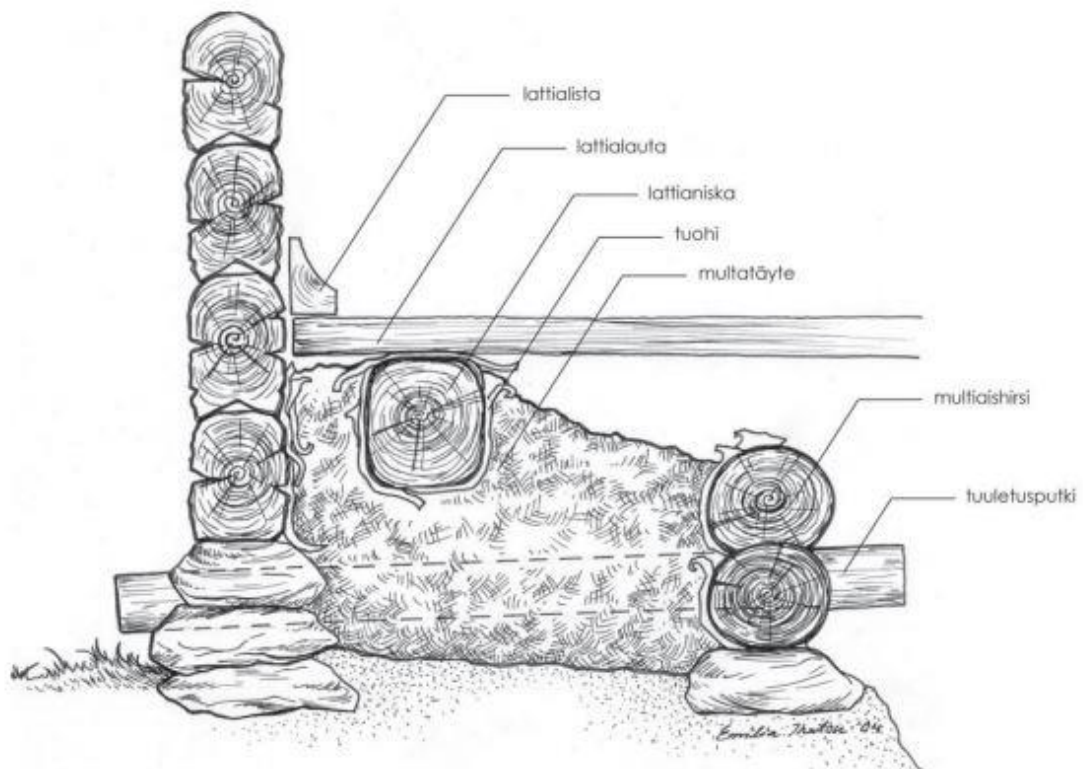
Taulukko 9. Rakennusmateriaalien ilmanläpäisevyysarvoja (Björkholtz 1997).

Materiaali	Ilmanläpäisevyys $K_a \cdot 10^{-6} [m^2/(s \cdot Pa)]$
Betoni	0,000275
Puukuituja vastaan	0,000010
KS-laasti	0,0003 . . . 0,004
Kevytbetoni	0,0015 . . . 0,008
Kutterinpuru	60 . . . 650
Huokoinen puukuitulevy	< 15
Mineraalivilla pintaa vastaan	10 . . . 20
Mineraalivilla pinnan suuntaan	30 . . . 600

3. VANHOJEN RAKENNUSTEN RAKENTEITA JA LIITTYMIÄ

3.1 Tuulettuva alapohja

Tuulettuva alapohja on perinteinen alapohjarakenne, jota on käytetty 1800-luvulta asti. Aluksi rakennukset tuettiin kivien päälle, jolloin ilma pääsi kiertämään koko alapohjan alla. Tässä alapohjarakenteessa ulkoilma jäähdytti eristekerroksia, ja koska rakenteet eivät olleet kovin tiiviitä, lattiat koettiin kylminä. Perinteistä tuulettuvaa alapohjarakennetta kehitettiin keksimällä multapenkkirakenne estämään vetoisuutta. Multapenkkirakenteessa on erillinen multiaishirsi, joka asennettiin alapohjan alle (kuva 9). Ulkoseinän ja multiaishirren väli täytettiin mullalla, jolloin rakenne oli selvästi tiiviimpi kuin perinteinen tuulettuva alapohja, mutta herkkä kosteusvaurioille, koska hirret olivat kosketuksissa kostean maan kanssa. Lisäksi alapohjan ja seinän liitoksessa esiintyi usein ilmavuotoja multapenkkirakenteesta sisätiloihin, mikä saattoi aiheuttaa sisäilman laadun heikkene- mistä, jos rakenteet olivat kosteusvaurioituneet (Härö ja Kaila 1976).



Kuva 9. Multapenkkirakenne (Honkonen 2011).

1920-luvun lopussa alettiin rakentamaan nykyisen kaltaisia tuulettuvia alapohjia (kuva 10), ja nämä alapohjat olivat 50-luvulle asti yleisin alapohjarakenne. Rakenne on melko yksinkertainen: laudoitus sekä paperointi rakenteen ylä- ja alapuolella, primääripalkisto, joka kantaa pääosin koko rakenteen painon, sekundääripalkisto, joka kasvattaa eristepaksuutta ja toimii lattialautojen kiinnitysalustana. Eristetila on yleensä noin 200–300 mm, jonka täyteenä käytettiin tavallisimmin sahanpurua, kutterinlastua ja sammalta - tai näiden yhdistelmiä (Härö ja Kaila 1976).



Kuva 10. Tuulettuva alapohja (Pohjois-Pohjanmaan korjausrakentamiskeskus 2005).

RT-kortti 832.1 (kuva 11) on julkaistu toukokuussa 1943. Rakenteessa on kylmällä puolella tervapaperi ja eristeen päällä lämpimällä puolella pinkopaperi. Huolellisella paperoinnilla tämä rakenne on ollut melko ilmatiivis rakennekerros. Rakenneleikkaukseen on kuitenkin piirretty ilmarako lattialaudoituksen alle. Jos lattiapinnan alla olevaan ilmara-koon kohdistuu pienikin ilmavuoto ulkotiloista, ilmarako toimii erilaisena eristetilaa ja lat-tiaa jäähdyttävänä hormina. Ilmavuodoksi riittää puutteellinen paperoinnin nostaminen seinälle tai rako hirsien välissä, tuulensuojalevyn saumojen huolimaton saumakohta tai jopa sähköjohdon läpivienti. Puutteellinen ilmatiiviyys ja rakennuksen ilmanvaihdon kor-vausilman kulkeutuminen eristetilan läpi ovat suurin syy siihen, että lattiat tuntuivat kyl-miltä ja vetoisilta.

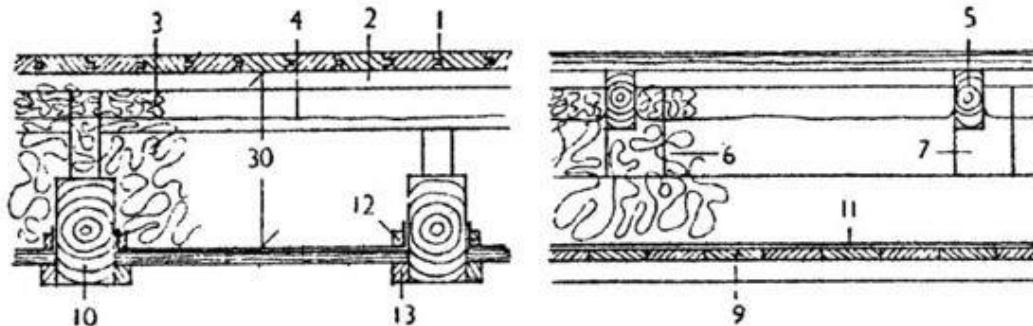
tyyppi no 2, tavallisin alapohja, verrattain suuritöinen

Paino/m² = 135 kg k = 0.30

Ainemenekki/m²

1. lattialaudat RT 842.1 B	1.1 m ² + 25 kpl 3" lankanauvoja
2. ilmaväli	
3. painotäyte	0,045 m ³
4. pinkopaperi	3,0 m ²
5. 5/10 (2" × 4") täytepuu, k/k 62,5 ..	2,0 m + 7 kpl 4" lankanauvoja
6. kevyt täyte	0,20 m ³
7. 5/10 (2" × 4") koroke.....	0,55 m + 9 kpl 4" lankanauvoja
9. täytepohja 2/10 (3/4" × 4") hylkylaut.	9,0 m
10. vuoliainen, parru 10/17,5 (4" × 7") tai lankku 7,5/20 (3" × 8")	1,85 + 2 kpl 5" lankanauvoja
11. tervapaperi	1,55 m ²
12. kiinnityslista 1,3/2,5 (1/2" × 1")	3,7 m + 11 kpl 2" lankanauvoja
13. täytepohjan kannatusrima 2,5/4 (1" × 1 1/2")	3,7 m + 18 kpl 2 1/2" lankanauvoja

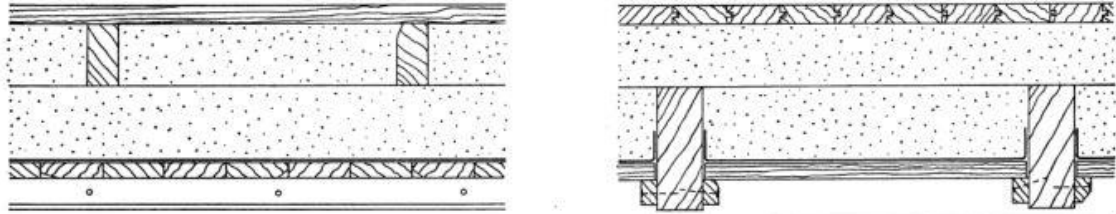
2



Kuva 11. Palkisto, puurakenteinen (RT-kortisto 832.1 1943).

Ilmarako on poistettu seuraavassa julkaisussa 832.2 (kuva 12), joka on julkaistu elokuussa 1947. Tässä rakenteessa on käytetty pinkopahvia vain eristeen kylmällä puolella, jolloin päällimmäistä paperia ei ohjeessa ole. Ohjeessa ohjeistetaan sullomaan täyte "niin tiukkaan, ettei mitään tyhjiä tiloja muodostu". Kortissa myös mainitaan, että "on syytä kiinnittää erikoista huomiota pohjan ja ulkoseinän välisen yhtymäkohdan huolelliseen tiivistämiseen". Ohjeessa on myös luovuttu päällimmäisestä paperoinnista, joka pahimmillaan johtaa siihen, että puutteellisen korvausilman saannin rakennuksissa korvausilmaa kulkeutuu eristetilasta rakennuksen sisään. Eristetilan alapinnalla on tyypillisesti jossain määrin mikrobitoimintaa, jolloin hallitsematon korvausilman kulkeutuminen eristetilan kautta voi pahimmillaan aiheuttaa sisäilmahaittoja (Ympäristöministeriö 1998, RT-kortti 832.2 1947).

5 ALAPOHJA



Rakenteen tarkoitus	rakennusosa	aines	koko		laatu	menekki/m ²	paino kg/m ²	naulakoko		naulamenekki	
			cm	tuumaa				cm	tuum.	kpl/m ²	g/m ²
kantava rakenne	palkit	lankku	1)			2,0 m		—	—	—	—
	kannatuslistat	rima	2 × 4	3/4 × 1 1/2	PP	3,5 m	1,6	6	2 1/2	15	45
	korokkeet	soiro	5 × 10	2 × 4	PP	2,0 m	6,0	10	4	4	40
lämpöeristys	täytepohja	sahalauta	2	3/4	H		9,7	—	—	—	—
	tiivistyskerros	pinkopahvi	—	—	450 g/m ²	1,2 m ²	0,54	—	—	—	—
	kevyt täyte	kutterilastu + sahapuru	—	—	kuiva	0,4 m ²	50,0	—	—	—	—
päällystys	lattia	lattialauta RT 216.32/D	29 × 95mm	1 1/4 × 4	La3	11,2 m	12,5	7,5	3	25	125

pohjan omapaino ^{*)} g = 100 kg/m²
kuormitus p = 200 —>—
kokonaiskuormitus q = 300 —>—

Kuva 12. Puupohjat, standardi-, pieniä puurakennuksia varten (RT-kortisto 832.2 1947).

Kylmiä lattiaita korjataan usein vain lisäeristämällä ja/tai täyttämällä lämmöneristeiden painumis- ja tiivistymisrako, ja unohdetaan lattiarakenteen tiiveystarkkailu. Tällöin lattian lämpötila saattaa hivenerittäin nousta, mutta jos ulkoilmasta tapahtuu vielä ilmavuotoja eristetilaan, kuohkean lämmöneristeen lisääminen ei tilannetta juurikaan paremmaksi korjaa (Perinnemestari 2018).

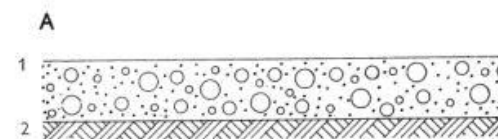
Tuulettuvissa alapohjissa ongelmia aiheuttavat huono tuuletus, puutteellinen pintavesien ohjaus, jolloin pintavedet kulkeutuvat rakennuksen alle, salaojituksen puutteet ja muut kosteuden aiheuttamat tekijät. Tuuletusaukkojen pinta-ala tulee olla 0,5...1,0 promillea alapohjan pinta-alasta. Tuuletusaukkojen vähimmäiskoko on 150 cm², ja aukkojen enimmäisväli on 6 m. Tuuletusaukot sijoitetaan siten, että koko alapohja pääsee tuulettumaan, eikä esimerkiksi nurkka-alueet jää katveeseen. Alapohjassa oleviin väliseiniin tehdään vähintään kaksi kertaa niin suuret tuuletusaukot kuin ulkoilmaan rajoittuvat tuuletusaukot (RIL 255-1-2014).

3.2 Maanvarainen alapohja

Maanvaraisia alapohjia käytettiin kellarillisissa rakennuksissa jo 1940-luvulla, mutta aivan 1950-luvun lopussa niiden käyttö yleistyi kellarittomissa rakennuksissa, kun kehitettiin matalaperusteiset perustamistavat. Ennen 1960-lukua valmistuneiden rakennusten perustamistapa oli yleisesti syväperustus (Rakennustarkkailija 2017).

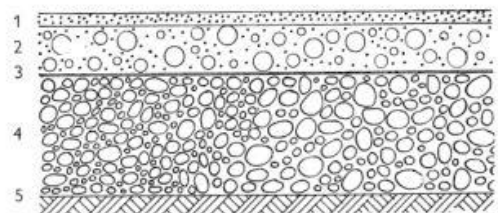
Kellareissa ei yleensä käytetty maanvaraisen alapohjan alla eristettä, koska kellarit olivat toisarvoisia tiloja, joihin oli sijoitettu korkeintaan aputiloja, pesutilat ja sauna. Näissä tiloissa ei yleensä ollut erillistä lämmitystä, vaan tilat lämpenivät, kun saunan kiuasta ja pesuvettä lämmitettiin. Maapohja saattoi olla savea tai hiekkaa, jolloin oikeaoppinen kapillaarikatko puuttui kokonaan rakenteesta, vaikka soratäyttöä suositeltiin (RT-kortti 839-11). Tällöin maaperästä pääsi nousemaan kosteutta kapillaarisesti rakenteeseen. Kellarin alapohjana oli hyvin usein pelkkä viimeistelemätön betonilaatta, jonka läpi mahdollisesti kapillaarisesti nouseva maakosteus pääsi haihtumaan sisäilmaan. Kuvassa 13 on esitetty tyypillisiä maanvaraisia alapohjia.

3 ALAPOHJATYYPIT



- 1 6...10 cm betonilevy
2 peruspohja
k-arvo ~ 1,2

B

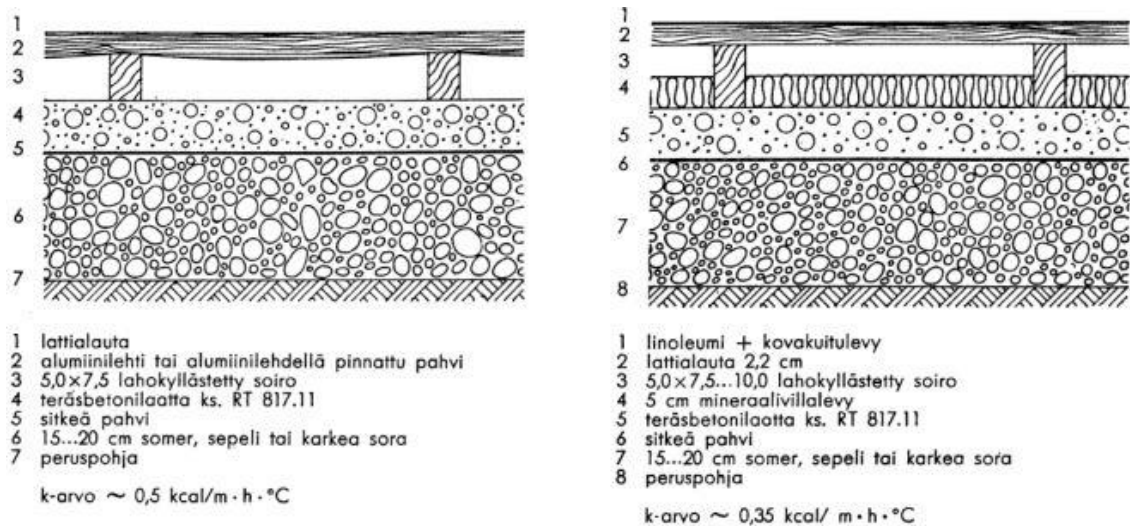


- 1 2 cm kulutuskerros
2 5...8 cm betonilevy
3 sitkeä pahvi (ei höyrytiivis)
4 20 cm somer, sepeli tai karkea sora
5 peruspohja
k-arvo ~ 0,8

Kuva 13. Maanvaraisalapohjat (RT-kortisto 839.11 1955).

Maanvaraisissa alapohjissa kosteuden kapillaarinen nouseminen voi aiheuttaa ongelmia, etenkin jos betonilaatan päällä on puukoolaus ja mahdolliset lämmöneristeet, jolloin vaurioitumisen mahdollisuus kasvaa. Laatan yläpuolinen lämmöneristys alentaa laatan lämpötilaa, jolloin sisäilman kosteus voi myös kondensoitua laatan ja lämmöneristeen väliin. Jos eristeiden vaurioitumista tapahtuu, on eristetilasta lähes aina suora ilmayhteys sisäilmaan, koska paperointia ei yleisesti käytetty tiivistämään puukoolattuja maanvaraisia alapohjia. Kuvassa 14 on esitetty puukoolattuja maanvaraisia alapohjarakenteita. RT-kortti 839.12 on julkaistu vuonna 1957, jolloin mineraalivillan käyttö rakenteissa alkoi yleistymään. RIL 255-1-2014-julkaisussa on mainittu, että suoraan maan varaan valetut ja eristetyt puukoolatut lattiat ovat riskialttiita rakenteita. Yläpuolelta eristetyt laatat voidaan korjata purkamalla eristeet ja pintarakenteet pohjalaattaan asti, jonka jälkeen laatan pinta puhdistetaan ja vedeneristetään. Tämän jälkeen laatan päälle asennetaan kosteutta kestävä lämmöneriste ja uudet pintarakenteet. Suositeltavaa on kuitenkin purkaa

myös pohjalaatta ja tarvittaessa suorittaa maamassan vaihto, jolloin rakenteen pystyy tekemään nykyisten ohjeiden mukaisesti.



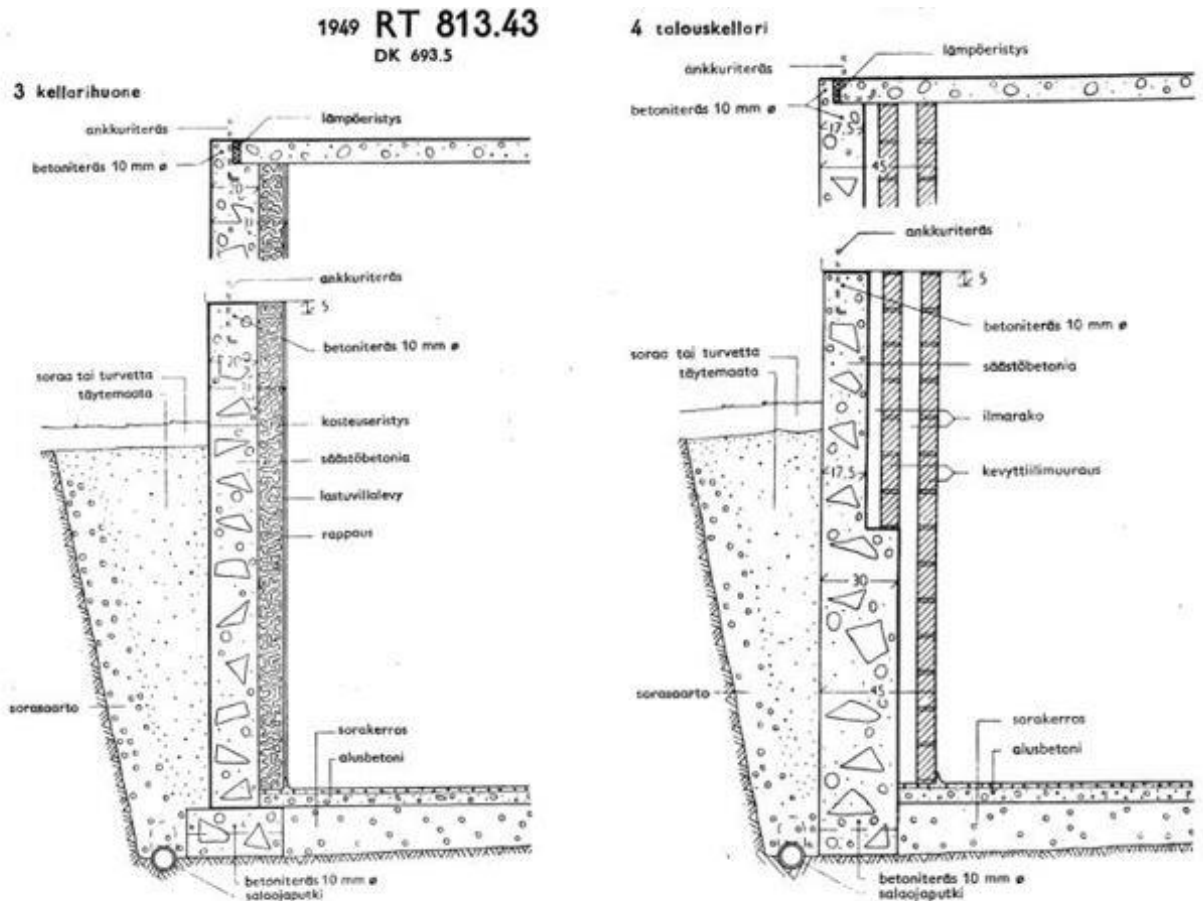
Kuva 14. Maanvastaisalapohjat ilman lattialämmitystä (RT-kortisto 839.12 1957).

Tietyissä tapauksissa betonilaatan päälle on sivelty bitumisively, joka on rakenteen kylmällä puolella. Vaikka lämpöeristetyin maanvaraisen rakennuksen alapuolella olevan perusmaan lämpötila on normaaliolosuhteissa noin +15...+16 °C, etenkin rakenteen reuna-alueille voi silti muodostua vesihöyryn tiivistymisvyöhyke, jolloin vaurion mahdollisuus kasvaa (Sisäilmayhdistys 2008).

3.3 Kellarin seinä

Kuvassa 15 on esitetty kaksi erilaista kellarin seinärakennetta. Vasemmassa kuvassa sisäpuolisena lämmöneristeenä on käytetty jo valuvaiheessa muotteihin asennettua lastuvillalevyä. Lastuvillalevy on männystä tai kuusesta, rouhitusta lastuvillasta ja sementistä muotissa valmistettu eristelevy. Lastuvillalevyä valmistettiin 1930-luvulta aina vuoteen 1967 eri tuotemerkinimillä: *Heraklith-levy*, *Toja-levy* ja myöh. *Tojax-levy*. RT-kortissa 813.43 on mainittu, että ”jos lastuvillalevyjä on käytettävä lämmöneristeenä, on perustus ulkopinnaltaan eristettävä kosteudelta”. Kosteuseristeenä käytettiin siveltävää bitumiliuosta, jota oli käytettävä vähintään 1,5 kg/m². Bitumisivelyn tekninen käyttöikä on noin 30 vuotta, jonka jälkeen sively alkaa hapertua, jolloin sively ei enää ole vesi- tai

vesihöyrytiivis. Ulkopuolisen kosteuseristeen huolellinen sively oli tärkeää, koska kostuessaan lastuvillalevy on hyvin herkkä mikrobivaurioitumaan (Rakennustarkkailija 2017, RT 813.43 1949, RIL 255-1-2014).



Kuva 15. Kellarin seinärakenteita (RT-kortisto 813.43 1949).

Oikealla olevassa kuvassa sisäpuolinen eristys on tehty verhomuurauksella, jonka toiminta perustuu liikkumattomaan ilmaan tiilien välissä. Verhomuoraus muurattiin lähemmään kellarin maanvaraisen lattian päältä. Verhomuurauksen kanssa on myös käytetty lastuvillalevyä tai mineraalivillaa, jolloin ilmarakoa ei rakenteessa ollut (RT 813.43 1943. Ympäristöministeriö 2012).

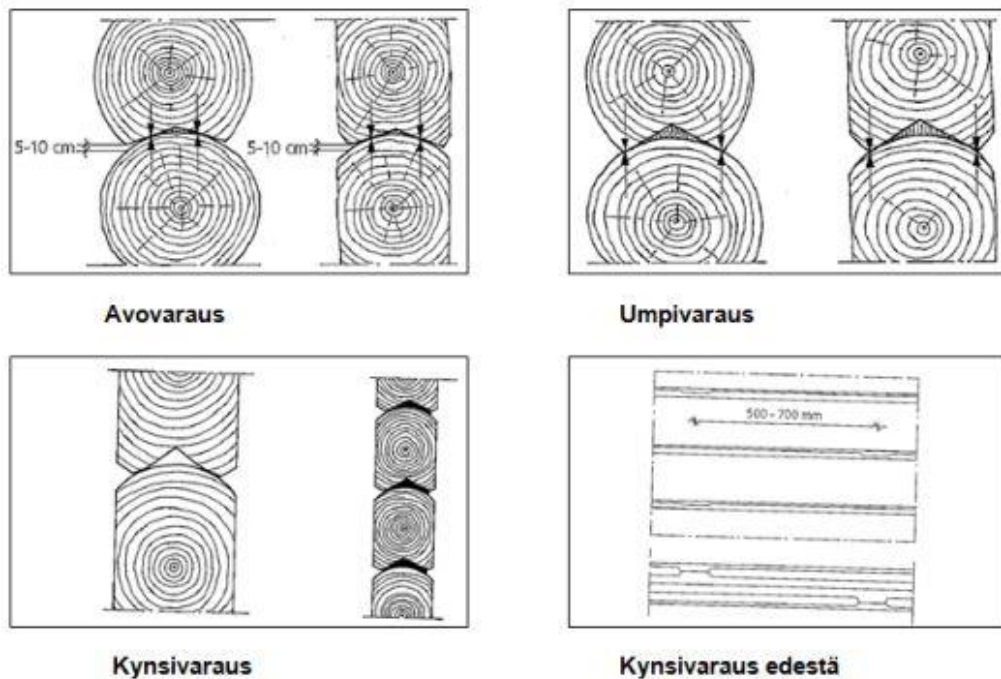
Kellarin seinissä kosteusongelmat johtuvat puutteellisesta pintavesien ohjauksesta, vedeneristeen puuttumisesta tai käyttöiän ylittymisestä ja salaojien puuttumisesta tai asennuksesta liian korkealle anturaan nähden. Tällöin perustukset ovat jatkuvasti kosketuksessa kosteaan maahan, jolloin betonirakenteet nostavat kapillaarisesti kosteutta sokkelirakenteisiin. Tällöin rakenteen mahdolliset eristeet kostuvat ja vaurioituvat. Sisäpuolelta

eristettyjen seinien lämmöneristeen ulkopinnassa saattaa talvikaudella olla kondensoitumisoloja, jolloin rakenteet voivat vaurioitua vesihöyryn tiivistymisen seurauksena. Rakenteita voidaan korjata asentamalla sokkelin ulkopuolelle uusi vedeneristys ja solumuovieristeet. Tämä vaatii maan auki kaivamista rakennuksen ympäri, jolloin on järkevää samalla uusien salaoja- ja sadevesijärjestelmät (RIL 255-1-2014).

3.4 Hirsirakenteinen ulkoseinä

Hirsi on perinteinen rakennusmateriaali Suomessa, jossa sitä on käytetty rakentamisessa jopa 1 500 vuotta. Hirsi on itsessään varsin ilmatiivis materiaali, mutta hirsirakentamisen ilmatiivyyden haasteina ovat hirsien ja rakenneosien väliset liitokset (Perinnekustantaja 2018).

Hirsien raot pyrittiin tekemään mahdollisen ilmatiiviiksi, jolloin lämpö pysyi paremmin sisällä ja vetoa pyrittiin vähentämään. Tätä kutsutaan varaamiseksi, joka tarkoittaa hirren alapintaan veistettyä uurretta, jolla pyrittiin saamaan hirsien liitoskohdat ilmatiiviiksi. Tilkkeinä käytettiin erilaisia luonnonmateriaaleja, kuten savea, sammalta tai pellavarivettä. Hirsien varaus voi olla joko avovaraus, umpivaraus tai kynsivaraus (Siikanen 2008). Varaustyyppit on esitetty kuvassa 16.



Kuva 16. Hirsien varaustyyppit (Siikanen 2008).

Avovaruksessa hirsien reunat ovat näennäisesti auki, jolloin hirret ottavat yhteen varauksen keskeltä. Saumaa voi myös jälkitilkitä tiiviiden varmistamiseksi. Avovaraus on haasteellinen tehdä, jolloin seinä voi jäädä viimeistelemättömän näköiseksi. Umpivaruksessa hirsien reunat ottavat yhteen, jolloin hirsien keskellä oleva rako tilkitään ja seinä näyttää umpinaiselta. Tässä varaustyyppissä tilkitsemistä ei voi suorittaa enää jälkeenpäin. Umpivaraus on helpoin tehdä, joten se ei vaadi niin paljon ammattitaitoa kuin muut varausmuodot (Hakalin 1984).

Kolmas vaihtoehto on kynsivaraus, joka on vaativin tehdä. Kynsivaruksella saavutetaan umpivaruksen tukevuus ja avovaruksen tiiviys, koska kynsivaruksen jälkitilkitseminen on mahdollista myös jälkeenpäin (Hakalin 1984).

Massiivirakenteiset vanhat hirsirakenteiset seinät eivät olleet kovin ilmatiiviitä, koska nurkkaliitoksia ja hirren välisiä liitoksia on käytännössä mahdoton toteuttaa täysin ilmatiiviisti. Lisäksi rakenteen tiiviyyteen vaikutti paljon rakentajien ammattitaito hirsitöissä. Usein rakentajana oli rakennuksen tuleva omistaja, jolla ei välttämättä ollut paljon kokemusta rakentamisesta. Ammattimaista kirvesmiesrakentamista käytettiin tyypillisesti vain kirkkojen ja virkamiestalojen rakentamisessa. Rakenteen sisäpinnoissa käytettiin yleisesti pinkopahvia, joka osaltaan lisäsi rakenteen ilmatiiviyttä (Perinnemestari 2018).

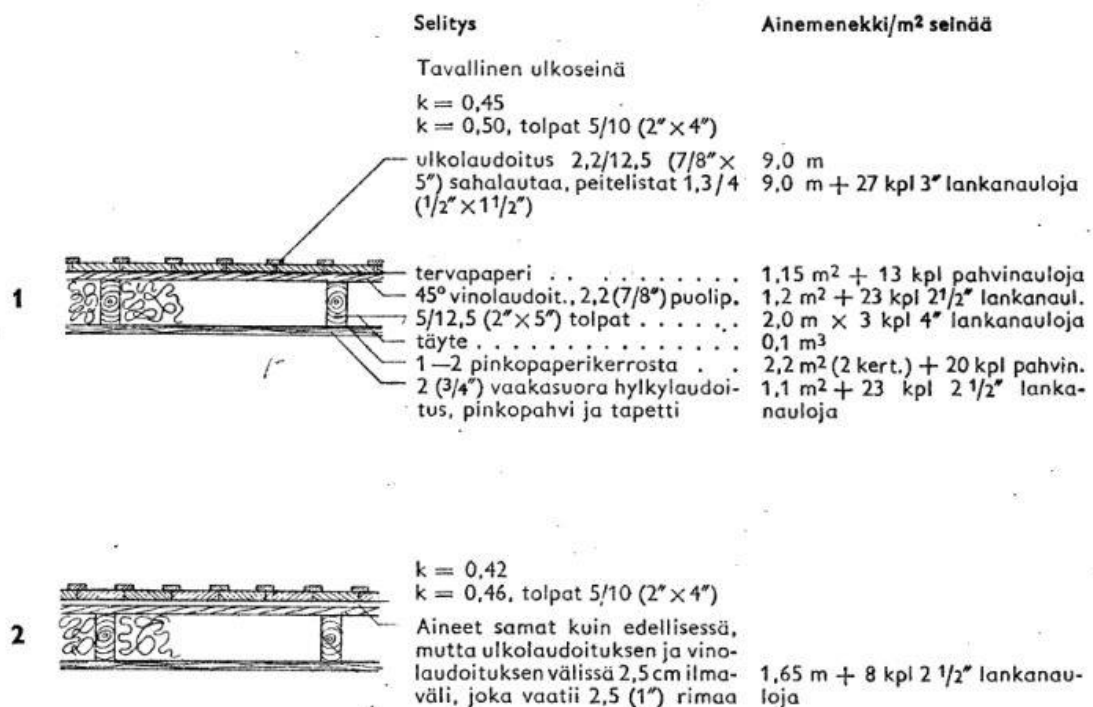
Hirsirakennusten julkisivut olivat alun perin jätetty pelkälle hirsipinnalle, koska laudat olivat kalliita. Lautoja pystyi valmistamaan myös itse halkaisemalla ne kiilojen avulla, mutta se oli aikaa vievää. Vesisahat alkoivat yleistyä 1600-luvun lopulla, jolloin lautojen saataavuus alkoi hieman parantua. Lautoja käytettiin 1600-luvulla vain arvokkaimmissa rakennuksissa, kuten kirkoissa ja kartanoissa. Lautaverhous yleistyi 1700-luvulla porvareiden rakennuksissa ja maalaistaloissa 1800-luvulla (Perinnemestari 2018, Arkeologisen kulttuuriperinnön opas 2008).

Laudoituksen tehtävänä on suojata hirsirakennuksen runkoa, ja toimia niin sanottuna uhrikerroksena, koska laudoitus on helpompi vaihtaa kuin koko runko. Lisäksi, koska hirsirakenteet eivät olleet kovin ilmatiiviitä, laudoituksella pyrittiin saamaan rakennetta tiiviimmäksi. Laudoituksen alle naulattiin usein tuolta tai lumppuhuopaa. Myöhemmässä vaiheessa käytettiin tervapaperia laudoituksen alla (Museovirasto 2000).

3.5 Rankarakenteinen ulkoseinä

Rankarakenteinen ulkoseinä esiteltiin ensimmäisen kerran 1900-luvun alussa, mutta hirsirakenteiset ulkoseinät pysyivät pääsuosiossa aina 1940-luvulle asti, jolloin jälleenrakennustalojen ohjeissa esitettiin rankarunkoinen rakennus. Jälleenrakentamisen aikaan materiaalipula oli suurin ongelma, joten rakentamisessa hyödynnettiin sitä materiaalia, mitä oli helpoimmin ja kustannustehokkaammin saatavilla. Rankarakenteisia taloja pystyttiin rakentamaan kohtalaisen helposti ilman erikoistyökaluja tai perinteistä kirvesmies-taitoa, joten erilaisia variaatioita jälleenrakentamisajalta löytyy huomattava määrä (Perrinemestari 2018).

Rankarakenteinen ulkoseinä koostui 2" x 4" tai 2" x 5" kantavasta rungosta, jonka eristeenä oli yleisesti käytetty sahajauhojen ja kutterilastujen sekoitusta. Jos runkona käytettiin 2" x 4" rankaa, oli suositeltavaa käyttää rakennuslevyä eristeen lisänä. Tyypillisesti rungon kylmällä puolella oli jäykistävä vinolaudoitus ja sisäpuolella vaakasuora laudoitus. Tyypilliset rakenteet on esitetty kuvassa 17 (RT 822.3 1943).



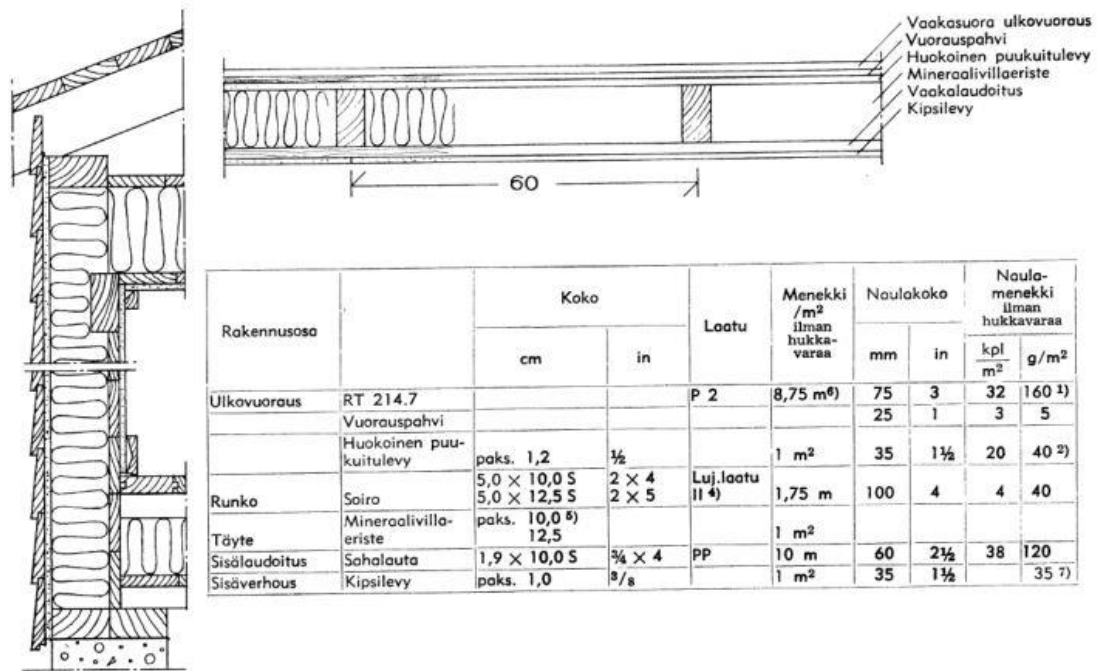
Kuva 17. Seinä, lautarakenteinen (RT-kortisto 822.3 1943).

Kylmän puolen vinolaudoituksen ja julkisivulaudoituksen väliin asennettiin tervapaperi, ja lämpimän puolen vaakalaudoituksen ja rungon väliin pinkopaperikerros; yksi- tai kaksikerroksisena. Oksamassapahveja käytettiin yleisesti myös laudoitusten ja rungon välissä pitämään eristeitä paikoillaan, etteivät ne valuisi laudan raoista pois.

Rakennuksen julkisivulaudoitus voitiin tehdä ilman ilmarakoa tai ilmaraollisena. On myös versioita, joissa ulompi vinolaudoitus on korvattu rungon apupuihin naulatulla julkisivulaudoituksella. Näiden välissä on tyypillisesti ollut rakennuslevy erillisenä tuulensuojalevynä. Mainituissa rakenteissa sisäpuolen laudoitus on tehty vinolaudoituksena, joka varmistaa rakennuksen jäykistämisen. Jos rakenteessa ei ollut ilmarakoa, julkisivumaaleina käytetään öljy- tai punamultamaaleja, jotka päästävät sisäpuolelta diffuusio- tai konvektiovirtausten mukana kulkeutuvan vesihöyryn haihtumaan ulkoilmaan.

Sisäpuolen pintamateriaalina on usein pinkopahvi ja tapetti, jonka lisäksi rakenteessa on useita kerroksia pahveja tai papereita, jotka parantavat rakenteen ilmatiiviyttä. Puutteita ilmatiiviydessä oli etenkin lattia-seinäliittymissä ja ikkunoiden liittymissä. Sahanpurueristeet painuivat ajan saatossa, joten etenkin ikkunoiden alapuolella saattoi olla tyhjä tila eristetilan yläosassa, joka tuntui vetona sisäpuolella (Rinne 2010).

RT-kortit 822.314 ja 822.315 julkaistiin vuonna 1958. Korteissa oli esitelty mineraalivilillä eristetty rankaseinä (kuva 18), jonka sisäpinnan verhouslevynä oli käytetty kipsilevyä. Korteissa eristepaksuudeksi on määritetty 100 tai 125 mm. 100 mm eristeellä rakenteen laskennallinen U-arvo on $0,34 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ja 125 mm eristeellä $0,29 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.



Kuva 18. Mineraalivillalla eristetty ulkoseinä (RT-822.315 1958).

Rakenteen ilmatiiviyteen kehoitetaan kiinnittämään erityistä huomiota. Ennen kipsilevyn asennusta tulee tiivistää kaikki nurkat, liittymät ja aukkojen reunat noin 20 cm leveällä tiiviillä ja sitkeällä paperikaistalla. Seinärakenteissa ei ole varsinaista ilman- tai höyrynsulkua. Höyrytiivistä kosteussulkua on käytetty kylpy- ja pesuhuoneiden, pienkeittiöiden ja muissa normaalia kosteampien huoneiden seinä- ja kattorakenteissa RT-kortin 893.34 ohjeiden mukaisesti.

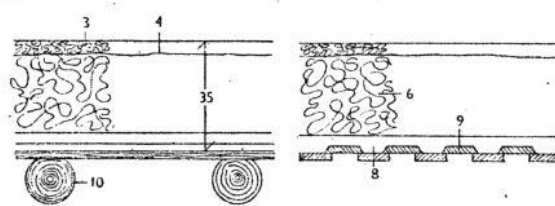
Rakenteen ulkuvuoraus ja vuorauspahvi suojaavat puukuitulevyä ulkopuolisilta rasituksilta ja sään vaikutuksilta. Vuorauspahvi käsitellään esimerkiksi bitumin ja öljyn seoksella vettä hylkiväksi, mutta pahvin tulee kuitenkin olla hyvin vesihöyryä läpäisevää voimaperia. Pahvin vähimmäispaino tulee olla 130 g/m² kyllästämättömänä ja 225 g/m² kyllästettynä (RT-822.315 1958).

3.6 Yläpohja

Yläpohjarakenteiden kantavat rakenteet hirsi- ja rankataloissa olivat lankkuja tai parruja. Eristeenä käytettiin kevyttä täytettä, joka oli purua, kutterinlastuja tai näiden sekoitusta. Kuvassa 19 on esitelty kaksi erilaista yläpohjaa RT-kortista 832.1, joka on julkaistu vuonna 1943.

YLÄPOHJIA:

9



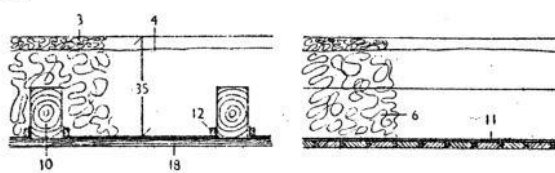
tyyppi no 9, runsaasti rakennekorkeutta
vaativa yläpohja

Paino/m² = 195 kg k = 0,30

Ainemenekki/m²

3. hiekka	0,055 m ³
4. pinkopaperi	1,15 m ²
6. kevyt täyte	0,25 m ³
8. savilaasti	0,05 m ³
9. täytepohja sahalautoista, ehjät lau- dat alempana, pintalaudat ylempänä	18,0 m + 29 kpl 2 1/2" lankanuloja
10. vuolicainen, pyöreätä puuta, ø 17,5 (7") tai parru 10/17,5 (4" x 7")	2,0 m + 2 kpl 5" lankanuloja

10



tyyppi no 10, yksinkertainen yläpohja

Paino/m² = 130 kg k = 0,28

Ainemenekki/m²

3. hiekka	0,055 m ³
4. pinkopaperi	0,15 m ²
6. kevyt täyte	0,265 m ³
10. vuolicainen, parru 10/17,5 (4" x 7") tai lankku	2,0 m + 2 kpl 5" lankanuloja
11. tervapaperi	1,55 m ²
12. kiinnityslista 1,3/2,5 (1/2" x 1")	3,7 m + 11 kpl 1 1/2" lankanuloja
18. laipiolaudat 2/10 (3/4" x 4") ponttil.	1,1 m ² + 22 kpl 2 1/2" lankanuloja

Kuva 19. Alapohja (RT-kortisto 832.1 1943).

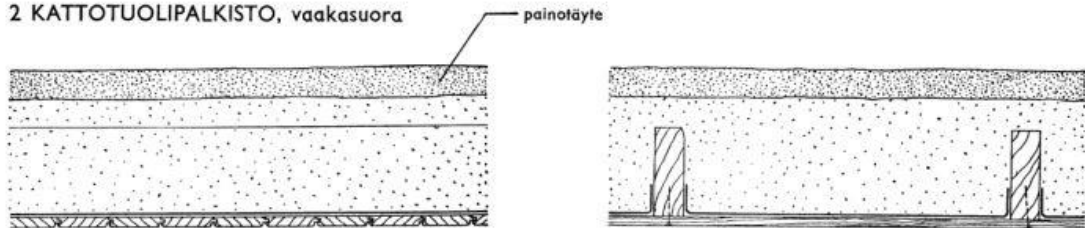
Ilmansulkuna on käytetty savilaastia, tervapaperia ja erilaisia pahveja. Kylmällä puolella kevyen eristeen päällä on pinkopaperi ja hiekkaa sekä painona että paloa hidastavana kerroksena. Kuvan 20 yläpohja # 10 tervapaperi on kiristetty kiinnityslistoilla lankkuihin, eikä jatku jatkuvana lankkujen alapinnassa, jolloin yläpohjan ilmansulkurakenne ei välttämättä ollut aina täysin tiivis (Museovirasto 2000).

Energiataloudellisesta näkökulmasta pienetkin vuodot olisi hyvä tiivistää. Nykyaikana, kun sisäilman kosteuslisä on korkeampi kuin ennen johtuen mm. suihkuista, pyykinpesusta ja muista kosteuslähteistä, on hyvin tärkeää, että rungon vaipan tiiviys olisi hyvällä tasolla. Rakennuksen yläosissa vallitsee savupiippuvaikutuksen takia ylipaine, jolloin kosteutta kulkeutuu rakenteen läpi myös konvektion avulla, mikäli sisäpinnan ilmansulku ei ole tiivis (Vinha 2014).

Kuvassa 20 on RT-kortiston ohje vuodelta 1947, jossa on esitetty tasaisen ja vinon yläpohjan rakenneratkaisut. Ohjeet ovat varsin samankaltaiset kuin aiemmassa ohjeessa, ainut ero on kylmän puolen pinkopaperin poistuminen ohjeesta. Vinon yläpohjan kohdalla eristeen päällä on ylempänä täytepohjana sahalauta, jonka tarkoitus on pitää eris-

teet paikoillaan. Tämän laudan päälle on asennettu korokerimat, joiden päälle tulee ruodelaudoitus. Tällä tavalla rakenteeseen jäisi ohjeen mukainen 2 cm yhtenäinen ilmarako, mutta tyypillisesti korokerimoja tai eristeen päällä olevaa erillistä lautaa ei ole asennettu, vaan eristeet ovat suoraan ruodelaudoitusta vasten, jolloin yhtenäinen ilmarako puuttuu rakenteesta (RT 832.2 1947).

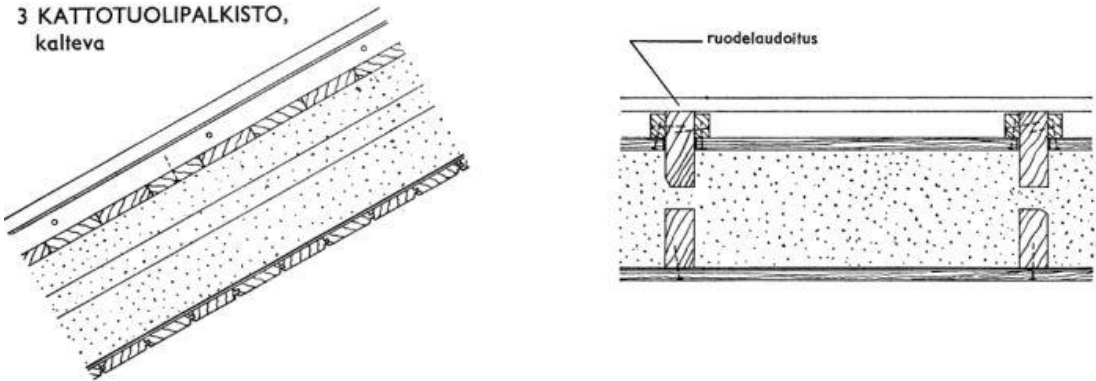
2 KATTOTUOLIPALKISTO, vaakasuora



rakenteen tarkoitus	rakennusosa	aines	koko		laatu	menekki/m ²	paino kg/m ²	naulakoko		naulamenekki	
			cm	tuum.				cm	tuum.	kpl/m ²	g/m ²
kantava rakenne	palkit (kattotuolin kitapuu)	lankku, soiro, lauta	2)			1,7 m		—	—	—	—
lämpöeristys	täytepohja (sisäkatto)	päällystelauta RT 216.7/95k	16 × 95mm	3/4 × 4	P2	11,2 m	7,2	7,5	3	21	105
	tiivistyskerros	pinkopahvi	—	—	450 g/m ²	1,4 m ²	0,65	—	—	—	—
	kevyt täyte	kutterilastu + sahapuru	—	—	kuiva	0,4 m ³	50,0	—	—	—	—
	painotäyte	hiekkä, savi, kuona	—	—	kuiva	0,04m ³	64,0	—	—	—	—

pohjan omapaino **) g = 130 kg/m²
 kuormitus p = 150 —»
 kokonaiskuormitus q = 280 —»

3 KATTOTUOLIPALKISTO, kalteva



rakenteen tarkoitus	rakennusosa	aines	koko		laatu	menekki/m ²	paino kg/m ²	naulakoko		naulamenekki	
			cm	tuumaa				cm	tuum.	kpl/m ²	g/m ²
kantava rakenne	kattotuolit	lankku, soiro, lauta	2)			1,7 m		—	—	—	—
	kannatuslistat	rimala	2 × 4	3/4 × 1 1/2	PP	3,5 m	1,6	6	2 1/2	15	45
	korokkeet	soiro, lauta	5 × 10	1...2 × 4	PP	2,0 m	6,0	12,5	5	5	90
lämpöeristys	alempi täytepohja (sisäkatto)	päällystelauta RT 216.7/95k	16 × 95mm	3/4 × 4	P2	11,2 m	7,2	6	2 1/2	21	65
	tiivistyskerros	pinkopahvi	—	—	450 g/m ²	1,2 m ²	0,54	—	—	—	—
	kevyt täyte	kutterilastu + sahapuru	—	—	kuiva	0,4 m ³	50,0	—	—	—	—
	ylempi täytepohja	sahalauta	4)	2	3/8	PP		10,8	5	2	37
päällystys	kate	—	3)		—	—	—	—	—	—	—

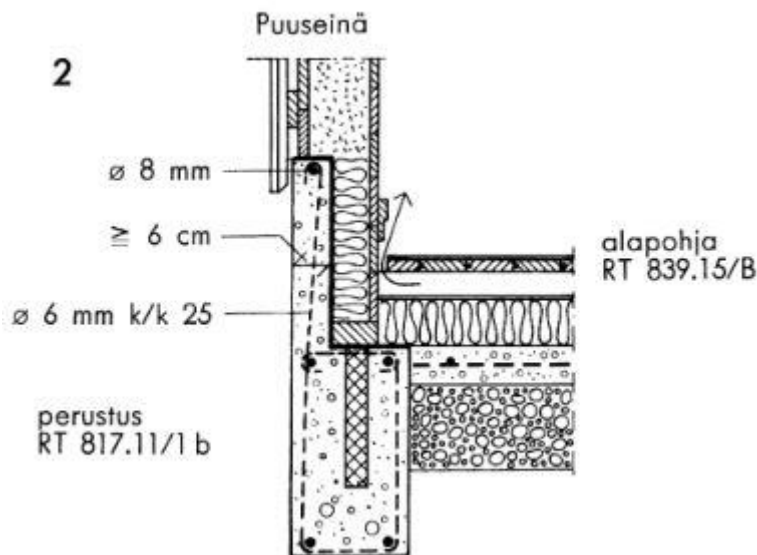
pohjan omapaino **) g = 85 kg/m²

Kuva 20. Yläpohjia (RT-kortisto 832.2 1947).

1960-luvun alusta yläpohjan eristeinä on alettu käyttämään mineraalivillaa ja höyrynsulkuuna on toiminut muovitiivistyspaperi. Suomalainen Arvo-muovitiivistyspaperi tuli markkinoille vuonna 1961. Arvo-paperin pinnassa on ohut polyeteenikalvo ja itse runko on valmistettu krepatusta voimapaperista (Kaila 1997).

3.7 Maanvaraisen alapohjan ja puurankaseinän liittymä

Kuvassa 21 on esitetty alapohjarakenneliittymä vuoden 1957 RT-kortista 820.1. Puueristeen käyttöä maanvastaisten rakenteiden yhteydessä ei enää RT-kortissa suositella käytettäväksi, koska betonilaatan pintaan saattaa ajoittain tiivistyä kosteutta, joka saattaa edesauttaa orgaanisten puueristeiden lahoamista. Rakenne on hyvin vastaava kuin 1970-luvulla yleistyneet valesokkelirakenteet. Riskinä rakenteessa on maaperästä kapillaarisesti nouseva kosteus tai puutteellisen maanmuokkauksen johdosta sokkelia kastelevat sade- ja sulamisvedet, jotka voivat aiheuttaa eristeen tai alaohjauspuun vaurioitumista. Alaohjauspuu on kuvan rakenteessa eristeiden ulkopuolella, jolloin alaohjauspuun lämpötila on matalampi kuin sisäpuoliset rakenteet. Tämä voi edistää edellä mainittujen kosteuslähteiden kanssa puun lahoamista, jolloin epätiivtiin ilman- tai höyrynsulun kautta kulkeutuu sisäilmaan hajuhaittoja. Sokkelianturan ja maanvaraisen betonilaatan väliin syntyy yleisesti pieni rako kuivumiskutistuman takia, minkä kautta pääsee sisäilmaan likaista korvausilmaa maaperästä (RIL 255-1-2014).

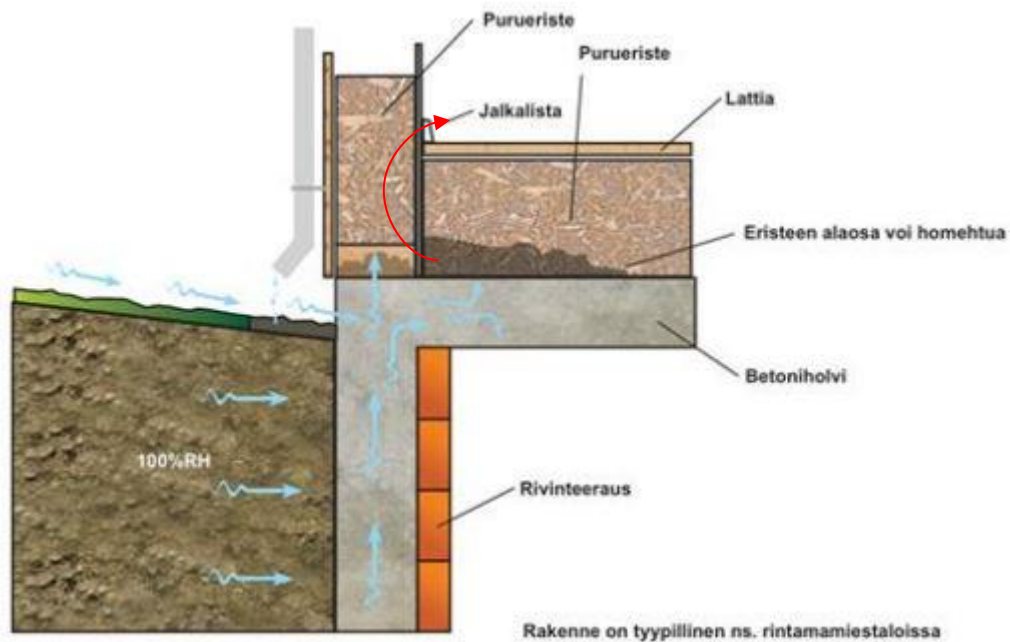


Kuva 21. Ulkoseinän alaosa (RT-kortisto 820.1 1957).

3.8 Kellarillisen rakennuksen liittymät

Kellarin kattona on yleisesti ollut yhtenäinen betoniholvi, jolloin kellarista ei pääse tapahtumaan ilmapuotoja rakennuksen ensimmäiseen kerrokseen, paitsi hiushalkeamien kautta. Kuvassa 22 on esitetty rakenteen vahingoittumismekanismeja. Kosteusrasitus voi imeytyä sokkeliin maaperän kautta tai sulamis- ja sadevesien valumavesinä. Kosteus voi nousta sokkeliä pitkin kapillaari- tai diffuusiovirtauksena, jolloin orgaaniset materiaalit saattavat vaurioitua betoniholvin pinnalla. Jos sokkeli on eristämätön, betoniholvin reuna-alueille voi myös kondensoitua sisäilmasta kosteutta. Tällöin muodostuu kylmäsilta sokkelista betoniholviin (Ympäristöministeriö 2012).

Vaurioituneesta eristekerroksesta saattaa olla sisäilmayhteys sisäilmaan, mitä rakennuksen alipaineisuus voi vielä tehostaa.

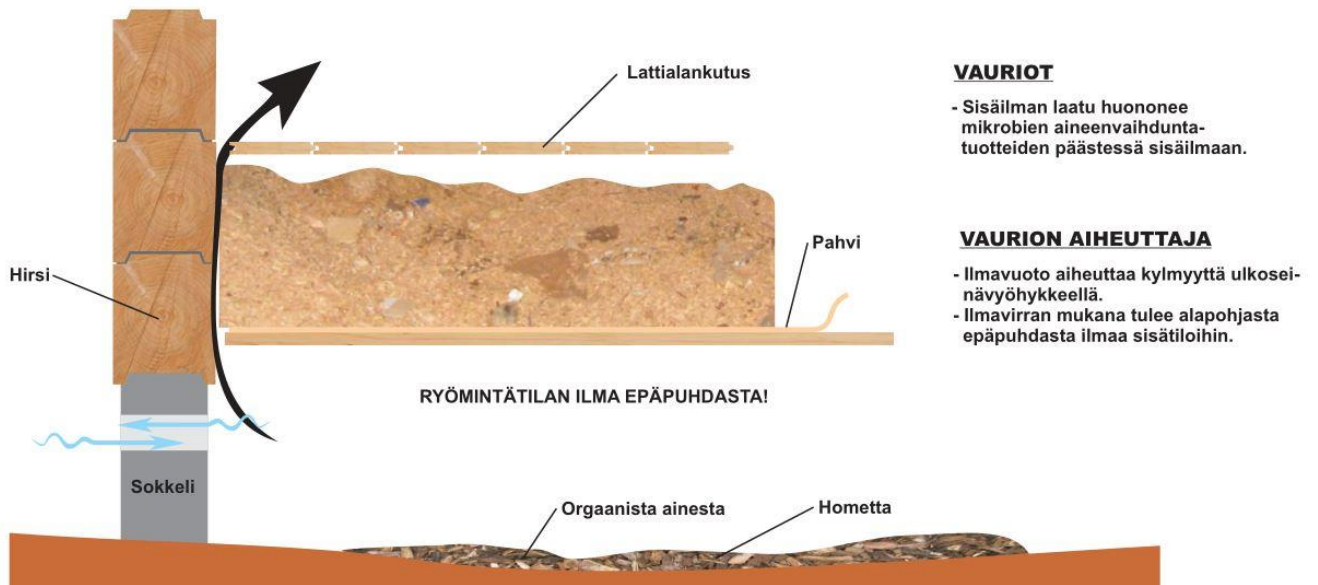


Kuva 22. Kellarillisen rakennuksen liittymä (Hometalkoot 2012).

3.9 Rossipohjan ja hirsirakenteen seinä- lattialiittymä

Kriittisin piste ilmapuodoille on epätiivis seinä- lattialiittymä. Lattian eristekerroksen ja hirsirungon välissä on usein pieni rako, jonka kautta kulkeutuu ilmaa rossipohjasta sisätiloihin (kuva 23), joka koetaan sisätiloissa kylmänä vetona. Usein paperointia ei ollut nostettu seinälle ja RT-kortiston ohjeissa ei ole varsinaista paperointiohjetta, jolla var-

mistetaan rakenteiden tiiviys. RT-kortissa 832.2 vuodelta 1947 on maininta, ”paras ratkaisu lämpimän alapohjan aikaansaamiseksi on tehdä lämmin kellari koko rakennuksen alle tai jollain tavalla lämmittää alapohjaa. Erittäin harvoin aiheuttanee suoraan ulkoa tuleva ilmavirtaus lattiavetoa. Siitä huolimatta on syytä kiinnittää erikoista huomiota pohjan ja ulkoseinän välisen yhtymäkohdan huolelliseen tiivistämiseen.”



Kuva 23. Tuulettuvan alapohjan liitos ulkoseinään (Hometalkoot 2012).

Usein rossipohjan ilma ei ole puhdasta ulkoilmaa, vaan rossipohjasta kulkeutuvassa ilmassa on joissain määrin epäpuhtauksia. Rossipohjassa saattaa olla orgaanista ainesta, joka on päässyt kostumaan ja vaurioitumaan kosteusolosuhteiden johdosta. Usein myös maaperässä on itsessään jonkin asteista mikrobitoimintaa. Jos epäpuhdasta ilmaa pääsee sisäilmaan, sisäilman laatu huononee mikrobin aineenvaihduntatuotteiden johdosta (Ympäristöministeriö 2012, Leivo & Rantala 2006).

3.10 Seinän ja yläpohjan liittymä hirsirakennuksessa

Kuten aiemmin on esitetty, rakennuksen yläosissa vallitsee pääosin ylipaine, jolloin sisäilma pyrkii rakenteiden läpi ulkoilmaa kohti. Pienenkin raon tai reiän läpi pääsee virtaamaan kosteampaa sisäilmaa, joka pahimmillaan kondensoituu rakenteisiin ja aiheuttaa eristeisiin ja runkoon kosteus- tai mikrobivaurioita (kuva 24). Täten yläpohjan ja seinän liittymä pitää olla mahdollisimman tiivis. Hajuhaittoja yläpohjavaurioista ei yleensä

sisätiloissa havaita, koska rakenne on pääosin ylipaineinen huonetilaan nähden. Ilma-
vuodot eivät tavallisesti myöskään aiheuta asuinmukavuuden alenemista vrt. vedon
tunne 1. kerroksen lattiarakenteissa.

VAURIOT

- Ulkoseinän hirret lahoaa,
yläpohjan eristeet homehtuvat.

VAURION AIHEUTTAJA

- Höyry- / ilmasulku vuotaa seinän yläpohjan liitoksessa.
- Sisäilman kosteus kondensoituu hirren sisäpintaan.
- Hirret lahoavat ja eristeet homehtuvat, varsinkin pohjois- ja
itäpuolen seinissä.



**Kuva 24. Puutteellisen höyry- tai ilmansulun liitos rakenteeseen (Hometal-
koot 2012).**

4. ILMATIIVIYDEN PARANTAMINEN

4.1 Yleistä

Rakennuksen ilmatiiviin vaipan pääasiallinen tarkoitus on estää rakenteiden kautta tapahtuvat hallitsemattomat ilmavirtaukset. Ilmavirtausten mukana voi sisätiloihin kulkeutua epäpuhdasta ilmaa rakenteista ja maaperästä tai radonia maaperästä. Epäpuhdas ilma voi sisältää mikrobeita tai villakuituja lämmöneristeistä ja maaperästä. Hallitsemattomat ilmavirtaukset aiheuttavat vetoa, joka koetaan epämiellyttävänä rakenteiden jäähtymisenä. Useasti vedon aiheuttamaa pintojen jäähtymistä koitetaan kompensoida nostamalla rakennuksen sisälämpötilaa, joka nostaa lämmityskustannuksia. Sisätilojen lämpötilan nostaminen yhdellä asteella nostaa lämmityskustannuksia noin 5 %. Tutkimuksien mukaan hallitsemattomat ilmavuodot aiheuttavat 15 – 30 % lämmitysenergian kulu- tuksesta tyypillisessä pientalossa. Ilmavirtausten mukana kulkeutuu myös vesihöyryä, joka saattaa kondensoitua rakenteiden sisällä vedeksi, jolloin rakenteet saattavat vaurioitua (Suomen LVI-liitto 1999, Laine 2014, Vinha 2009).

Ilmatiiviyden parantaminen laskee rakennuksen lämmityskustannuksia, estää epäpuh- taan ilman pääsyä sisäilmaan, nostaa asumismukavuutta ja estää kosteuskonvektion aiheuttamia vaurioita. Rakenteiden tiiviyden parantuessa korvausilma tulee ottaa halli- tusti ulkoilmasta riittävän suurien korvausilmaventtiilien kautta, jolloin rakennuksen il- manvaihto toimii riittävän tehokkaasti (Ympäristöministeriö 1998).

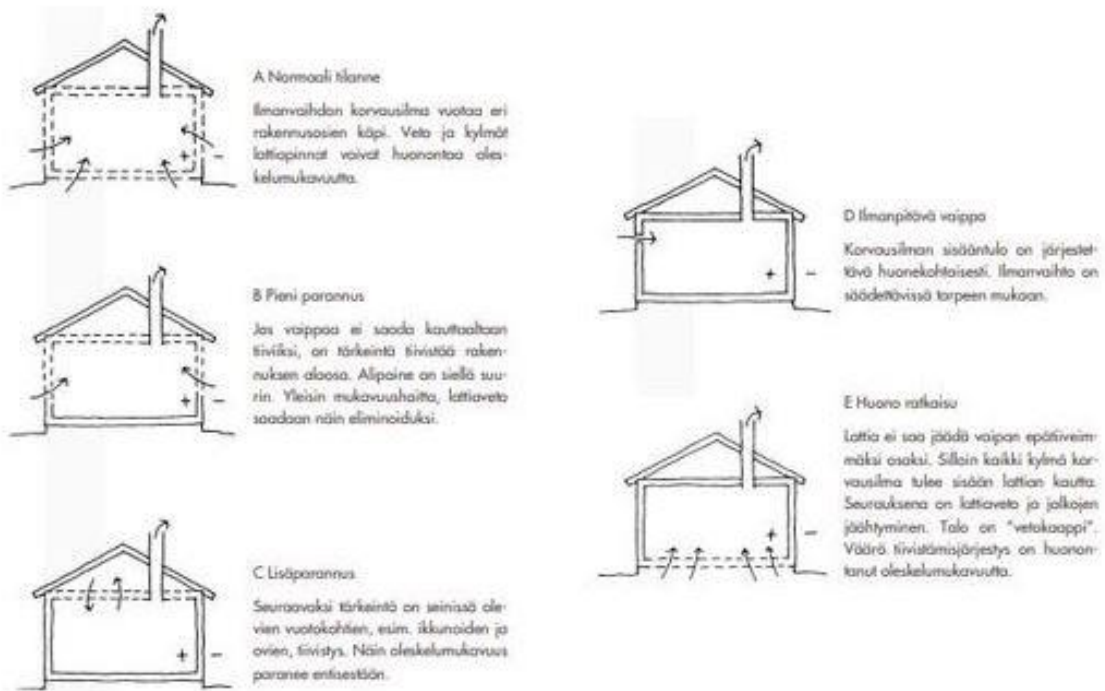
Rakennukseen kannattaa suorittaa kuntotutkimus, jonka tarkoitus on selvittää rakennuk- sen todellinen kunto ja käytetyt rakenneratkaisut. Kuntotutkimus antaa suunnitteluun pa- remmat lähtökohdat ja -tiedot. Tutkimus tulee suorittaa riittävällä laajuudella eri raken- teista, jolloin saadaan luotettava tieto rakenteista ja vältetään mahdollisilta ylikorjauksilta.

Ilmatiiviyden parantaminen vaatii yleensä tarkkaa suunnittelua, koska vuotoilmavirrat, korvausilman ottaminen rakenteiden läpi tai runsas puun polttaminen lämmitystarkoituk- sena ovat saattaneet aiemmin kuivata rakenteita. Tiiviyden parantaminen estää täten rakenteita kuivattavan vaikutuksen, jolloin rakenteiden pitkäaikaiskestävyys voi heiken- tyä. Suunnittelussa tulee ottaa huomioon koko rakennuksen rakennusfysikaalinen toimi- vuus ja suunnittelu tulisi aina tehdä tapauskohtaisesti. Vanhojen puurakenteisten raken- teiden ilmatiiviydskorjaussuunnittelijan tulee tuntea vanhat rakennusmateriaalit ja raken- teet, jolloin saavutettaisiin mahdollisimman kestävä ja toimiva lopputulos. Rakenteiden

ilmatiivyyden parantaminen luokitellaan rakennusfysikaaliseksi suunnittelutehtäväksi, jonka vaatavuustaso vaihtelee tavanomaisesta poikkeuksellisen vaativaan (Laine 2014, Ympäristöministeriö 2014).

Rakenteiden ilmatiivyyden parantaminen voidaan suorittaa suppeammilla paikallisilla tiivistyskorjauksilla tai vaihtoehtoisesti raskaimmilla rakenteiden avaamista vaativilla korjauksilla. Ilmavuotojen tiivistäminen on rahallisesti kannattavaa. Raskaammat korjausvaihtoehdot tulevat yleensä kyseeseen vain silloin, jos rakenteessa on joko mikrobi- tai kosteusvaurio, tai ilmavuodot aiheuttavat merkittävää asumismukavuuden laskua. Peruskorjauksen yhteydessä rakenteiden ilmatiivyyteen kannattaa panostaa, koska riittävän ilmatiivystason saavuttaminen ei vaadi suurta lisäbudjettia, ainoastaan työn tarkkuuden lisäämistä (Museovirasto 2000, Polvinen et al. 1983).

Ilmatiivyyden parantaminen tulisi aina aloittaa alapohjan ja alapohja-seinäliittymän huolellisella tiivistämisellä, jolloin lattian vetoisuuden saa eliminoitua. Tämän jälkeen tulisi tiivystarkkailu kohdistaa rakennuksen muihin vuotokohtiin, kuten ikkunoiden ja ovien liitoksiin. Alapohjaa ei saa jättää vaipan epätiiveimmäksi kohdaksi, koska täten kaikki korvausilma kulkeutuu sisätiloihin alapohjan vuotojen kautta (Museovirasto 2000). Kuvassa 25 on Museoviraston ohje toimenpidejärjestyksestä.



Kuva 25. Korjauksen suunniteltu etenemisjärjestys (Museovirasto 2000).

4.2 Rakenteiden ilmatiiviyden parantamisessa käytettävät tuotteet

Rakennusvaipan tiivistystuotteiden valinnassa tulee kiinnittää erityistä huomiota materiaalien ominaisuuksiin, pitkäaikaiskestävyyteen ja kosteudensietokykyyn. Lisäksi materiaalien tulee soveltua tiivistettävään rakenteeseen, eikä rakennuksen rakennusfysikaalinen toiminta saa heikentyä tiivistyksen seurauksena. Korjauksen suunnittelija määrittelee kohteeseen soveltuvat tuotteet.

4.2.1 Ilman- ja höyrynsulut

Markkinoilla on saatavilla vesihöyrytiivitä PEL-kalvoja, jotka soveltuvat rakenteen sisäpinnan höyrynsuluiksi. Kalvo on tyypillisesti 0,2 mm paksu ja SFS-EN 13984 sertifioitu. Höyrynsulkukalvoa tulee käyttää mineraalivillaeristeiden kanssa. PEL-kalvojen suhteellinen diffuusiovastus S_d on > 40 m.

Nykyaikana on saatavilla uuden tyyppisiä höyrynsulkukalvoja, joiden suhteellinen diffuusiovastus muuttuu ilmankosteuden mukaan. Talvella, kun höyrynsulkukalvon huokosilman suhteellinen kosteus on alhainen, kalvon S_d -luku on korkeampi kuin kesäisin, jolloin huokosilman suhteellinen kosteus on korkeampi. Kalvon S_d -luku on talvella 5 – 10 m ja kesäisin 0,2 – 0,25 m (Tiivistalo).

Ilmansulkupapereita on saatavilla muovi- tai verkkovahvistettuina tai täysin ilman vahvistusta. Vahvistamattomat paperit ovat herkempiä vaurioitumaan asennuksen aikana. Ilmansulkupapereiden suhteellinen diffuusiovastus S_d vaihtelee välillä 0,05 – 0,8. Ilmansulkupapereita voidaan käyttää hygroskooppisissa rakenteissa. Pienimmän arvon omaavien ilmansulkupapereiden käyttö on kohdistettu lähinnä hyvin ohuiden eristekerroksien ilmansuluksi. Välipohjissa käytetään ilmansulkua estämään eristeistä vapautuvien kuitujen ja pölyn kulkeutuminen sisäilmaan.

Ilmatiiviyden osalta merkittävintä on ilman- tai höyrynsulkujen limitykset ja teippaukset liittyviin rakenteisiin.

4.2.2 Teipit

Teippien tarkoitus on liittää materiaalit toisiinsa ilmatiiviisti. Teippien kestävyden määrittelee teipin liima ja käytetty runkoaine, jotka määrittävät teipin pitkäaikais- ja kuormi-

tuskestävyyden. Saatavilla on erikoisteippejä, joiden käyttökohteita ovat esimerkiksi höyrynsulkujen teippaukset tai ilmansulkupapereiden liitokset ikkunoiden karmiin. Teipin valinnassa kiinnitetään huomiota sen ominaisuuksiin ja soveltuvuuteen kyseiseen materiaaliin.

4.2.3 Massat, vaahdot ja vedeneristejärjestelmät

Massoja käytetään rakojen tiivistyksessä yhdessä pohjanauhan kanssa. Pohjanauha on umpisolainen pyöreä nauha, joka asennetaan raon pohjalle ennen massausta. Rakojen saumaus ilman pohjanauhaa ei ole työteknisesti oikein. Massojen kovuudessa ja elastisuudessa on eroja. Kovemmat massat kestävät paremmin mekaanista rasitusta, kun taas elastisemmat massat kestävät paremmin rakenteiden liikkeitä (RIL 255-1-2014).

Raot voidaan myös tiivistää vedeneristejärjestelmillä, joiden käytöstä on Suomessa noin 25 vuoden kokemus. Vedeneristejärjestelmien kanssa käytetään erityistä vahvikenauhaa, joka pystyy mukautumaan alustan epätasaisuuksiin. Vedeneristemassat ovat myös hieman joustavia, joten ne soveltuvat puurakenteiden tiivistämiseen, kuten maanvaraisen laatan ja seinän liittymän tiivistykseen. Polyuretaanivaahtoja voidaan käyttää läpivientien, ikkunoiden ja ovien karmien tiivistykseen. Vaahdotuksesta saadaan täysin ilmatiivis, kun kerroksia vaahdotetaan useampia kuin yksi. Tällöin rakenteeseen jää varmasti yksi leikkaamaton vaahdotuskerros. Polyuretaani muodostaa kuivuessaan ilmatiiviin liitoksen. Jos polyuretaania joudutaan leikkaamaan, vaahto menettää umpisoluisen rakenteen (Laine 2014).

4.2.4 Rakennuslevyt

Vanhoissa rakennuksissa yleisin käytetty rakennuslevy on huokoinen kuitulevy, joka toimii samalla lämmöneristävyttä sekä ilmatiiviyttä parantavana kerroksena. Suositus ilmansulun ilmanläpäisevyydelle on $< 0,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$ (Laine 2014). Huokoisen puukuitulevyn ilmanläpäisevyyskerroin K_a vaihtelee valmistajasta riippuen. Tyypillisesti ilmanläpäisevyyskerroin K_a on $10 - 15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$, jolloin huokoinen puukuitulevy ei ole varsinainen ilmansulkukerros. Huokoisia puukuitulevyjä voidaan käyttää rakennuksien tuulensuojalevyinä, jos levyn ilmanläpäisevyyskerroin K_a on enintään $10 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$ (RIL 255-1-2014). Sisällä käytettävät huokoiset puukuitulevyt valmistetaan puhtaasta puusta ilman haitallisia liima- tai kemikaalilisäyksiä, joten levyt ovat turvallinen valinta rakenteen sisustuslevyiksi. Rakennuksen tuulensuojana käytettäviin huokosiin

puukuitulevyihin on valmistusvaiheessa lisätty hartsia ja vahaa, jotka kyllästävät levyn. Kyllästetty levy on jäykempi, tiiviimpi ja säänkestoltaan parempi (RT 38250).

Kovalevyjä käytetään hirsirakenteisten sisäpuolisina verhouslevyinä, jotka voidaan maalata tai tapetoida. Kovalevyt eivät toimi lämmöneristävyyttä parantavina levyinä, koska ovat niin ohuita. Levyjen ilmanläpäisevyyskerroin on $0,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$, jolloin kovalevyjä voidaan käyttää ilmansulkuina. Kovalevyjä voidaan käyttää puurunkoisissa rakennuksissa myös ulkopuolisina tuulensuojalevyinä, jos kovalevyjen päälle asennetaan avohuokoinen lämmöneristys, kuten huokoinen puukuitulevy (RIL 255-2013).

Kipsilevyjä voidaan käyttää rakennuksen ulkopuolella tuulensuojalevyinä tai sisäpuolisina verhouslevyinä. Kipsilevyt ovat helppoja työstää. Kipsistä valmistetun tuulensuojalevyn ilmanläpäisevyyskerroin on $0,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$. Jos rakennuksen tuulensuojalevyinä käytetään kipsistä valmistettuja levyjä, tulisi julkisivuverhous tehdä valmiiksi mahdollisimman nopeasti levytyksen jälkeen (Laine 2014).

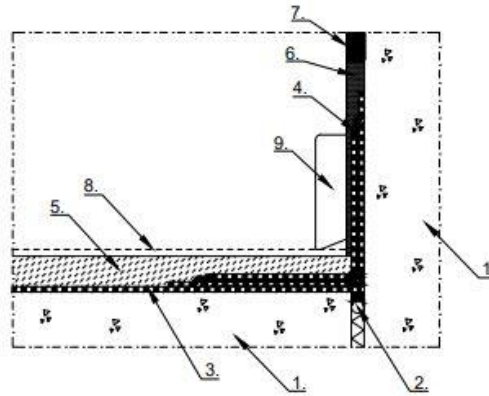
4.3 Rakenteiden ilmatiiviyttä parantavat toimenpiteet

Seuraavissa kappaleissa esitetään periaatteellisia ilmatiiviyttä parantavia toimenpiteitä erilaisiin rakenteisiin. Toimenpiteet vaihtelevat raskaasta korjaustavasta kevyeen tiivistykseen. Näitä ratkaisuja ei tule suoraan käyttää korjaustyössä, vaan ratkaisut ovat esimerkkejä. Lopullisen suunnitelman ilmatiiviyden parantamisesta antaa korjaussuunnittelija kohteeseen soveltuvalla korjaussuunnitelmalla.

4.3.1 Maanvaraisen betonilaatan ja kellarin seinän liittymä

Maanvarainen betonilaatta ei yleensä vaadi erityistä tiivistämistä, koska laatta on pääosin täysin ilmatiivis, jos rakenteessa ei ole halkeamia. Ilmavuodot tapahtuvat lähinnä betonilaatan ja seinän väliin kuivumiskutistuman takia syntyneistä epäjatkuvuuskohdista ja/tai betonilaatan läpivientien kautta. Seinän ja laatan välisen raon pystyy tiivistämään melko yksinkertaisesti ja pienellä vaivalla. Tiivistyksessä voidaan käyttää pohjatäytenauhaa ja elastista massaa tai erilaisia tiivistys- tai vedeneristysmassoja valmistajien ohjeiden mukaisesti. Pohjanauhan ja elastisen kittauksen pitkäaikaiskestävyys ei ole yhtä hyvä kuin tiivistys- tai vedeneristysmassoilla. Tästä syystä on suositeltavaa käyttää tiivistys- ja vedeneristysmassoja tiivistämiseen (Fise 2016).

Lattiarajan tiivistämiseen on useita eri vaihtoehtoja, joista yksi raskaampi korjaustapa on esitetty kuvassa 26. Detalji on Ardex Oy:n rakennedetaljikirjastosta.



- 1 Betonialustan pitää olla luja, kantava, pölytön ja puhdas tartuntaa heikentävistä aineista.
- 2 Tarvittaessa rakojen täyttö esim. ARDEX CA 20 P -asennusliimalla. Leveissä saumoissa käytetään pohjanauhaa.
- 3 ARDEX EP 2000 -höyrynsulku. Käsitely tehdään tarvittaessa kauttaaltaan ennen lattian ja seinän rajakohdan tiivistystä. Levitys kahtena kerroksena. Pintakerroksen märkään pintaan jatkotartunnaksi peittävä kerros kvartsihiekkää (0,4 - 0,8 mm).
- 4 Rajakohtien tiivistys, ARDEX 8+9 tai ARDEX 8+9 LW -vedeneriste ja ARDEX SK 12 -vahvistusnauha. Vahvistusnauha painetaan kiinni märkään vedeneristeeseen. Nauhan alle ei saa jäädä ilmataskuja. Nauhan päälle levitetään toinen kerros ARDEX 8+9 tai ARDEX 8+9 LW -vedeneristettä, sively ulotetaan 10 mm nauhan reunan ulkopuolelle.
- 5 Lattian tasoitus kerrospaksuudesta riippuen esim. ARDEX K 14 tai ARDEX K 75.
- 6 Seinän tasoitus esim. ARDEX F 5 -kuituvahvistetulla tasoitteella. Tarvittaessa vahvistukseksi ARDEX BU-R -vahvistusverkko.
- 7 Seinän maalaus.
- 8 Lattiapäällyste.
- 9 Jalkalista.

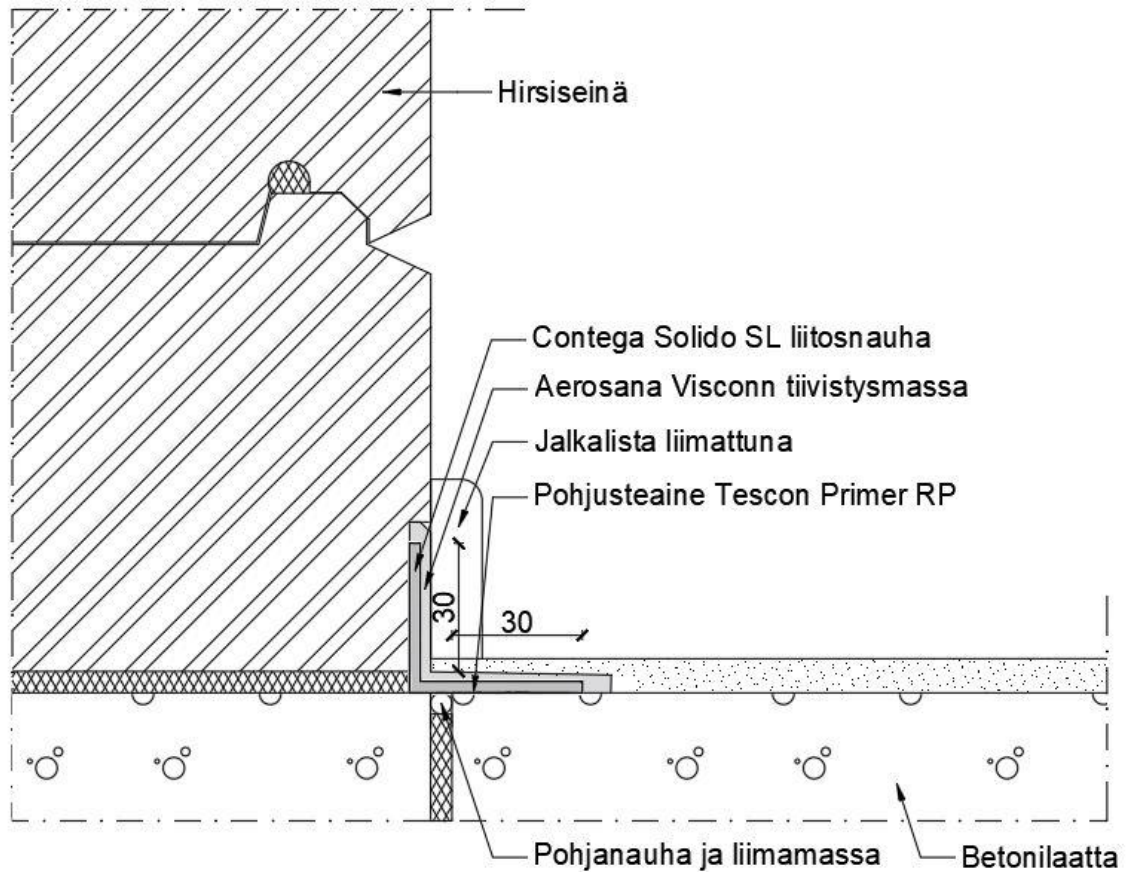
Kuva 26. Lattian ja seinärajan raon tiivistys (Ardex Oy 2020).

4.3.2 Hirsiseinän ja maanvaraisen betonilaatan liitos

Hirsiseinän ja maanvaraisen laatan ilmatiivis liitos voidaan tehdä kuvan 27 mukaisesti. Työ aloitetaan purkamalla lattiamateriaali pois seinän vierustalta, jonka jälkeen poistetaan mahdollinen lattiatasoite, jotta teipin saa kiinnitettyä kovaan betonipintaan. Hirsiseinästä kannattaa jyrsiä pieni kaistale pois, jotta lattialistan asennuksen jälkeen ei tulisi näkyvää rakoja jalkalistan ja hirsiseinän väliin.

Alapohjalaatan ja sokkelin välinen rako voidaan aluksi täyttää polyuretaanilla, jonka jälkeen rakoon asennetaan pohjanauha elastisen massan pohjaksi. Tässä rakenteessa massalta ei vaadita mekaanisen rasituksen kestoa, vaan rakenteeseen kannattaa valita elastinen massa, joka pystyy mukautumaan rakenteiden mahdollisiin liikkeisiin. Puhtaan ja pölyttömän betonilaatan pinta käsitellään Tescon Primer RP pohjusteaineella, jonka jälkeen asennetaan Contega Solido SL liitosnauha kuvan mukaisesti lattian ja seinän liitoskohtaan. Liitosnauha tulee kiinnittää vähintään 30 mm matkalta hirsij- ja betonipinnalle. Liitosnauhan asentamisen jälkeen varmistetaan liitoksen ilmatiiviyys levittämällä Aerosana Visconn tiivistysmassaa liitosnauhan reunojen päälle.

Lattia tasoitetaan vanhaan korkoon tasoitevalmistajien ohjeiden mukaisesti. Seinäpinnan tasoitus tarpeen mukaan. Lopuksi asennetaan jalkalista hirsiseinää vasten liimamalla, jotta tiivistys ei rikkoutuisi. Jos jalkalista on tarpeeksi korkea, jalkalista voidaan kiinnittää listanaulaimella yläpäästään hirsiseinään kiinni rikkomatta tiivistystä.



Kuva 27. Hirsiseinän ja maanvaraisen betonilaatan liitos

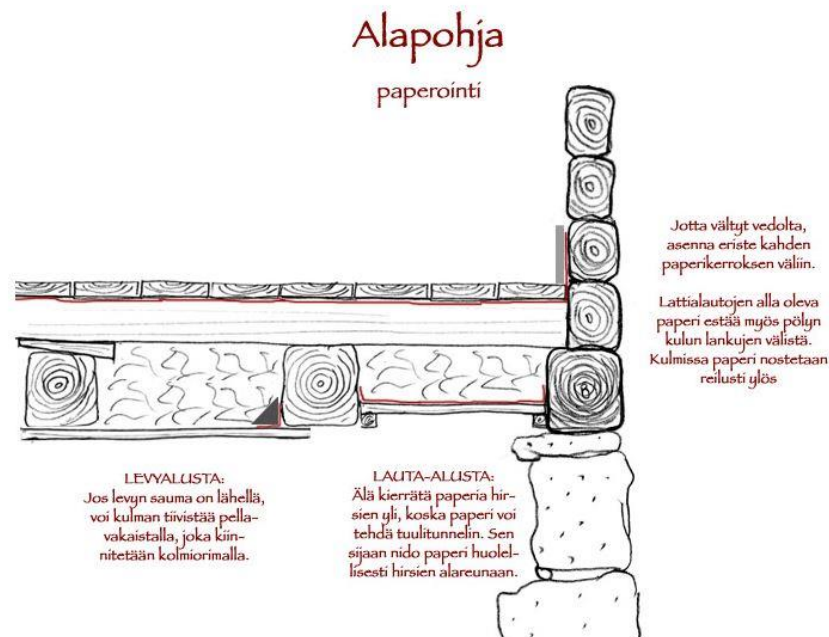
4.3.3 Tuulettuva alapohja

Tuulettuvan alapohjan uudelleen rakentaminen on raskas korjaustapa, joka on perusteltua lähinnä vain mikrobi- ja kosteusvaurioituneiden rakenteiden korjaamisessa. Jos alapohjarakenteen eristeet ovat vaurioituneet, suositellaan uudeksi eristeeksi sellukuitueristettä (Museovirasto 2000).

Merkittävä tekijä onnistuneessa tuulettuvan alapohjan remontissa on rakenteen ilmatii- viys. Eli huolellinen paperointi limityksineen > 20 cm; eristeen ala- ja yläpuolelle. Alempi paperi on yleensä ollut tervapaperi, jota käytetään ulkopuolisissa rakenteissa tuulensul-

kuna. Tervapaperin voi korvata huokoisella puukuitulevyllä, joka toimii tervapaperin tavoin tuulensulkuna. Tervapaperi levitetään primääripalkiston väliin ja kiinnitetään nitomalla tai kiinnityslistalla. Tervapaperia ei pidä viedä primääripalkiston yli, koska muuten kylmä ilma saattaa päästä palkiston yläpintaan, jolloin voi muodostua tuulitunneli, joka jäähdyttää rakennetta, ellei rakenteessa ole käytetty erityistä tuulensuojalevyä (Perinnemestari 2018).

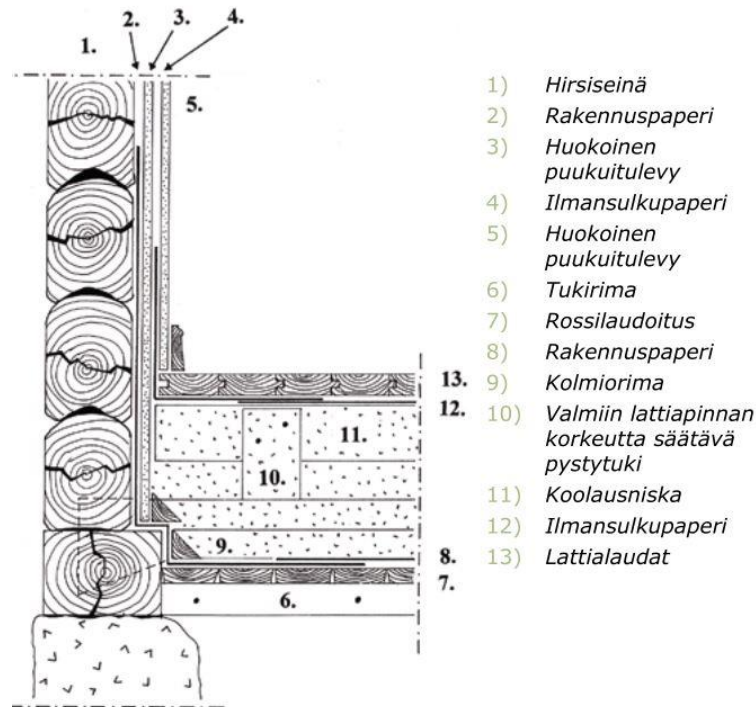
Kuvasta 28 voidaan havainnoida paperoinnin periaatteen, jos käytetään lauta-alustaa tai itsessään ilmatiivistä levyalustaa (tuulensuojalevyä). Lautaalustan kohdalla koko ala paperoidaan, koska lautoja ei saa asennettua täysin ilmatiiviiksi. Kuvasta poiketen paperi pitäisi teipata tai puristaa kolmiorimalla tiiviisti ympäröiviin rakenteisiin, kuten levyalustan kohdalla on kuvaan piirretty. Levyalustan saumoissa käytetään paperointia, joka on puristettu kolmiorimalla palkistoon kiinni, mikä varmistaa sauman ilmatiiviuden.



Kuva 28. Alapohjan paperoinnin periaate (Perinnemestari 2018).

Yleisesti päällimmäisenä olevan paperina on käytetty pinkopahvia. Pinkopahvi on enemmän vesihöyryä vastustava kuin tervapaperi, jolloin koko rakenteen vesihöyrynvastus harvenee ulospäin mentäessä. Tämä paperi nostetaan reilusti seinälle, joko listan tai rakennuslevyn alle, jolloin rakenteesta saadaan tiivis. Nykyään on saatavilla erilaisia ilmansulkupapereita, jotka ovat ominaisuuksiltaan vastaavia kuin pinkopahvi. Jotkut ilmansulkupaperit ovat muovivahvistettuja, jolloin niiden kestävyys on parempaa kuin normaalien perinteisten ilmansulkupapereiden. Kestävydestä on hyötyä etenkin rakennusvaiheessa, ettei ilmansulkuna käytetty materiaali repeydy.

Kuvassa 29 on esitetty työohje tuulettuvan alapohjan uudelleen rakentamiseen. Työohjeessa rakennuksen ulkoseinät on myös purettu hirsipinnalle, jolloin alapohjan alemman paperin voi nostaa hirsiseinää vasten. Tämä paperi peitetään koko seinän osalle asennettavalla huokoisella puukuitulevyllä. Täten rakenteen ilmatiiviyys paranee entisestään. Huomioitavaa on se, että kuvassa olevat rakennuspaperit ja ilmasulkupaperi limitetään riittävästi > 200 mm, jonka jälkeen sauman tiiviyys varmistetaan vielä teippaamalla.



Kuva 29. Tuulettuvan alapohjan uudelleen rakentamisen periaatteellinen työohje (Palonen 2013).

4.3.4 Ulkoseinien liittymät ikkunoihin

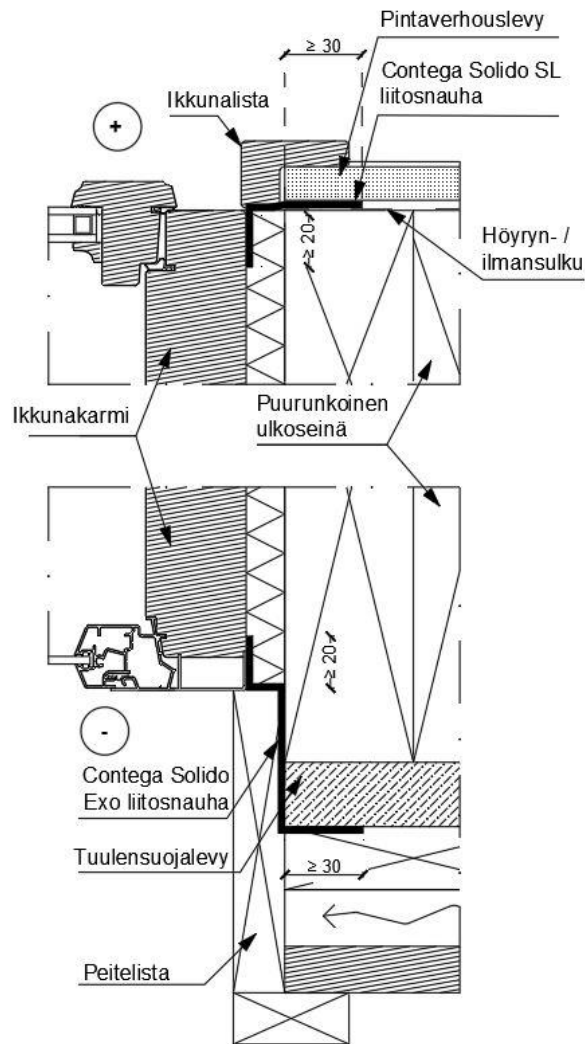
Ulkoseinien ilmatiiviyden parantaminen rakenteita purkamatta on käytännössä mahdollista, ellei kyseessä ole hirsirunkoinen rakennus, jonka varauksia pystyttiin tilkitsemään jälkepäin. Tilkitsemisessä käytetään tervaamatonta rivettä. Yleensä hirsirakenteisten rakennusten sisäpuoliset hirret ovat päällystetty esimerkiksi pinkopahvikerroksella, joka parantaa suoran seinän ilmatiivyyttä, mutta estää varausten tilkitsemisen sisäpuolelta. Jos hirsiseinät ovat paljaana, tiivistys voidaan suorittaa kiinnittämällä vuorauspaperia, huokoisia puukuitulevyjä, (pinko)pahvia tai kovalevyjä suoraan hirren päälle. Nurkkien tiivistämiseen tulee kiinnittää erityistä huomiota. Nurkkiin asennetaan aluksi kulmakappaleet, jotka jatkuvat noin 15 cm nurkkien yli. Jos tiivistyksessä käytetään kovalevyjä, levyjen saumat viistellään, jolloin sauman saa tiiviiksi (Museovirasto 2000).

Ilmatiiviystarkkailua kannattaa kiinnittää myös ala- ja yläpohjan sekä ikkunoiden ja ovien liittymiin. Ikkunoiden sekä ovien karmien ja ulkoseinien liittymissä on yleisesti ilmatiiviyden osalta puutteita. Ilmatiiviyden parantamisessa ikkunoiden osalta on yleisesti vain keskitytty ikkunan pokien ja karmin välisiin ilmapuotoihin. Karmin ja seinärakenteen läpi tapahtuva ilmavirtaus on yleensä suurempi kuin karmien ja ikkunapokien läpi tapahtuva ilmavirtaus. Karmin ja seinän välinen rako on tyypillisesti tiivistetty vain mineraalivillalla tai riveellä, jotka eivät ole kovinkaan ilmatiiviitä materiaaleja. Usein ikkunat sijaitsevat oleskeluvyöhykkeen lähetyillä, jolloin veto koetaan erityisen häiritsevänä (Polvinen et al. 1983).

Ikkunoiden ja ovien karmien tiivistäminen vaatii vähintään peitelistojen poistamisen. Vanhat tilkkeet voidaan painaa tiiviimmin syvemmälle tai poistaa kokonaan. Jokelainen on Seinäjoen ammattikorkeakoulun Tilketutkimuksessa 2012 todennut, että paras kokonaisratkaisu perinteisillä rakennusmateriaaleilla on saavutettu sullomalla karmin ja seinän välinen rako mahdollisimman täyteen puukuitueristettä. Täten eristeen ilmavuus katoaa, jolloin materiaalin lämmönjohtavuus kasvaa. Tiivistettävien rakojen pinta-ala on kuitenkin varsin mitätön koko vaipan pinta-alaan verrattuna, joten rakenteen ilmatiiviydellä on katsottu olevan suurempi merkitys kuin lämmöneristävyydellä. Tutkimuksessa tarkasteltavat tilkemateriaalit olivat sammal, pellava, puukuitu, lasivilla ja polypropeeni.

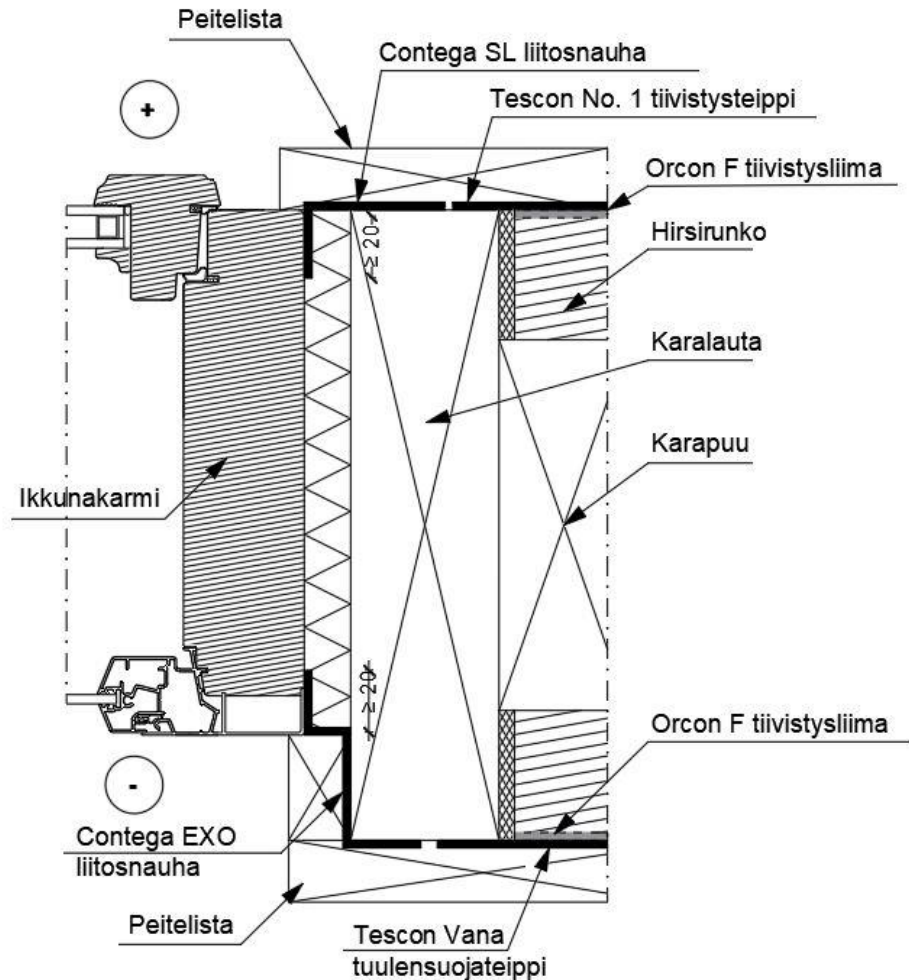
Kuvassa 30 on esitetty tapa, jolla ikkunan saa liitettyä tiiviisti nykyaikaisilla tuotteilla ulkoseinän tuulensuojalevyyn ja sisäpinnan höyryn- tai ilmansulkuun. Kuvassa ikkuna on ennen asennusta irti ja sisä- ja ulkoverhous on asentamatta. Sisäpuolen liitos ikkunaan ja höyryn- tai ilmansulkuun suoritetaan Contega Solido SL liitosnauhalla. Nauha asennetaan puhdistetun karmin sivupintaan > 20 mm matkalta. Asennus viimeistellään kiinnittämällä nauha höyryn- / ilmansulkuun > 30 mm matkalta. Jos rakennuksessa on pintaverhouslevyt asennettu valmiiksi paikalleen, nauha voidaan asentaa toissijaisesti myös pintaverhouslevyyn kiinni.

Ikkunan ulkopuolinen tiivistys tuulensuojalevyyn suoritetaan Contega Solido Exo liitosnauhalla samaan tapaan kuin sisäpuolella. Toissijaisesti nauha voidaan liittää seinäpintaan, jos tuulensuojalevy ei ole näkyvillä. Tärkeintä on huomata, että vähimmäismitat ylittyvät. Nauhaa voidaan tarvittaessa jatkaa, että tuulensuojalevyn päälle saadaan vaadittava 30 mm tartuntapinta. Tämä tiivistystapa on erittäin hyvä, koska ikkunoiden kohdalla tiivis vaipparakenne jatkuu yhtenäisenä sisäpuolelta aina tuulensuojalevyn pintaan asti.



Kuva 30. Puurunkoisen seinän ja ikkunan tiivistys höyryn- tai ilmansulkuun ja tuulensuojalevyyn

Kuvassa 31 on esitetty ikkunan liitos hirsirunkoiseen rakennukseen. Rakennuksessa ei ole sisäpuolisia verhoilulevyjä tai ulkopinnassa julkisivulaudoitusta. Ennen ikkunan asennusta ikkunan karmin sivupintaan asennetaan liitosnauhat - sekä ulko- että sisäpuolelle. Sisäpuolelle asennetaan Contega SL liitosnauha ja ulkopuolelle Contega EXO liitosnauha. Liitosnauha tulisi ulottua > 20 mm karmin sivupintaan. Nämä liitosnauhat liimataan ikkunan mekaanisen kiinnityksen ja ikkunan ja rungon välisen asennusraon eristämisen jälkeen karalautaan. Karalaudan ilmatiivis asennus hirsirunkoon toteutetaan sisäpuolelle Tescon No. 1 tiivistysteipillä ja ulkopuolelle asennetaan Tescon Vana -tuulensuojateippi. Ennen edellä mainittujen teippien liimausta hirsiseinään, seinään pursotetaan Orcon F tiivistysliimapalkot, johon teipit painetaan kiinni. Työvaiheiden suorittamisen jälkeen voidaan asentaa peitelistat ja -laudat peittämään ikkunan ja rungon rako. Asennus tulee suorittaa siten, että tiivistykset eivät vaurioidu.

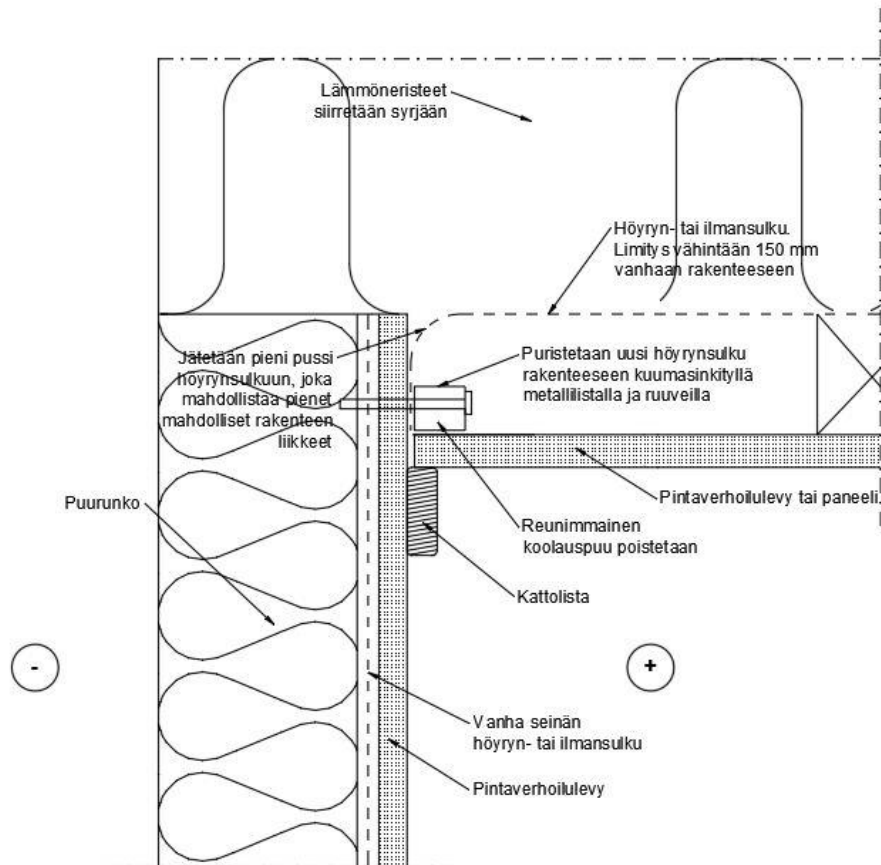


Kuva 31. Hirsiseinän ja ikkunan tiivistys ikkunakarmin sivulta runkoon

4.3.5 Yläpohjan tiivistäminen

Yläpohjan tiiviydestä vastaa tavallisesti tervapaperi, oksamassapahvi tai savilaasti. Myöhemmin yläpohjan ilman- ja/tai höyrynsulkuna on käytetty muovitiivistyspaperia. Yläpohjan tiiviyttä on hankala parantaa jälkikäteen rakenteita purkamatta. Yksi vaihtoehto on purkaa pintarakenteet ja tällöin yläpohjan tiivistäminen tehdään kuten uudisrakentamisessa. Erityistä huomiota on kiinnitettävä yläpohjan ja seinän liittymäkohtaan. Liittymän tiivistys toteutetaan kuten seinissä – asennetaan pahvisuikaleet ylittämään nurkka-alue noin 15 cm, jonka jälkeen rakenteiden päälle asennetaan kuitulevy. Jos pintarakenteet puretaan kokonaan, kannattaa vanha ilman- tai höyrynsulku korvata täysin uudella ilman- tai höyrynsululla, joka limitetään seinän ilman- tai höyrynsulkuun (Laine 2014, Museovirasto 2000).

Toinen vaihtoehto on tiivistää yläpohjan ja seinän liittymä yläkautta, mutta tämä edellyttää eristeiden siirtämistä tai poistamista yläpohjassa. Liittymäalueella asennetaan uusi höyryn- tai ilmansulku, joka limitetään vanhaan rakenteessa olevaan höyryn- tai ilmansulkuun ja teipataan siihen kiinni soveltuvalla teipillä. Uusi höyryn- tai ilmansulku puristetaan ulkoseinärakenteeseen puu- tai metallisten ja ruuvien avulla, jos vanhaan seinän höyryn- tai ilmansulkuun ei pääse käsiksi, kuten kuvassa 32 on esitetty. Tällöin liitos suoritettaisiin teippaamalla uusi höyryn- tai ilmansulku vanhaan rakenteeseen.

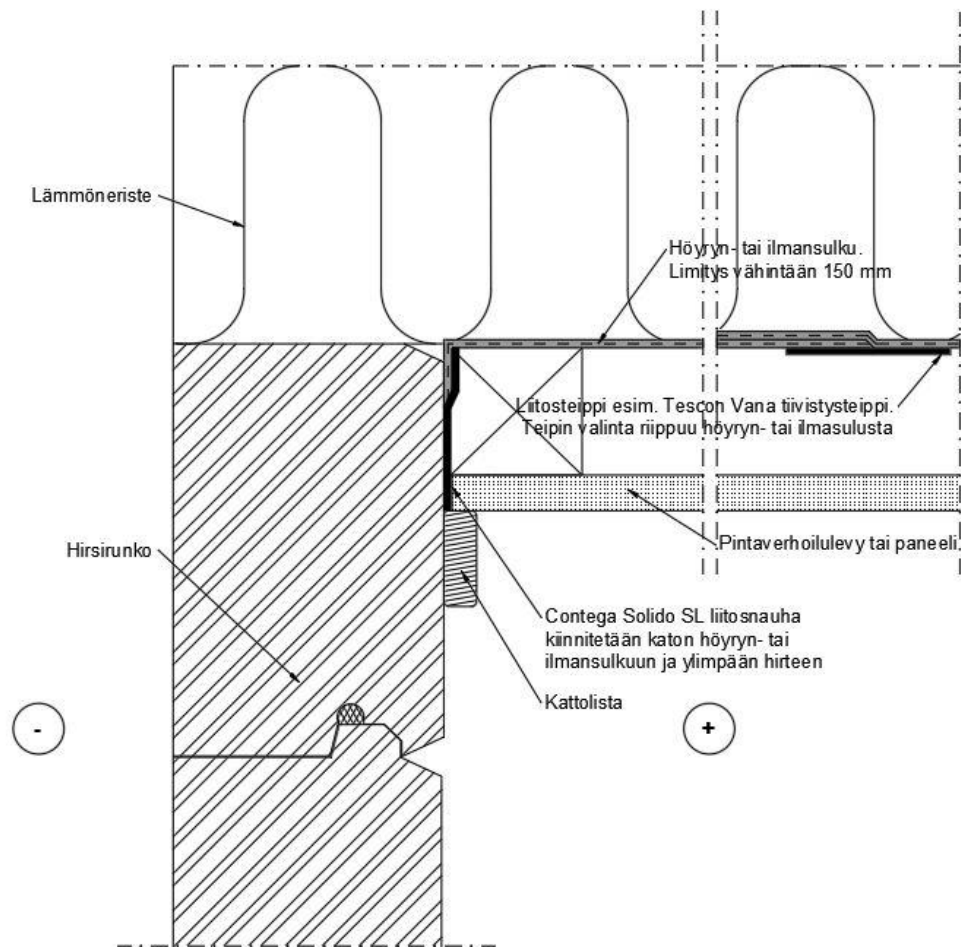


Kuva 32. Yläpohjan ja höyryn- tai ilmansulun liitos

Yläpohjan ja seinän liittymän tiiviyyttä voidaan parantaa tietyissä tapauksissa myös rakenteita purkamatta, jos kattopaneloinnin alla on ilmarako. Ilmarako voidaan täyttää ulkoseinien vierustalta saumausvaahdolla. Kattopaneeliin porataan noin 30 cm välein pieniä reikiä, joiden kautta saumausvaahtoa voidaan pursottaa rakenteeseen (Polvinen et al. 1983).

Hirsiseinän ja yläpohjan liittymän nykyaikainen tiivistys suoritetaan asentamalla Contega Solido SL liitosnauha ylimmän hirren sisäpintaan, jonka jälkeen liitosnauha kiinnitetään

katon höyryn- tai ilmansulkuun. Tämä asennustapa vaatii pintaverhouslevyn ja reunimaisen koolaustuun purkamisen, että liitoksen pystyy suorittamaan höyryn- tai ilmansulkuun.



Kuva 33. Hirsiseinän ja yläpohjan liittymän tiivistys

4.4 Esimerkkikorjauskohteita kirjallisuudesta

Esimerkkikohteina tarkasteltiin kolmea eri rakennusta, joihin (Polvinen et al. 1983) tutkimuksessaan suorittivat eri laajuisia tiivistyskorjauksia.

4.4.1 1940-luvulla rakennettu hirsitalo

Ensimmäisenä esimerkkikohteena on 1940-luvulla rakennettu 1,5-kerroksinen painovoimaisella ilmanvaihdolla varustettu hirsirakennus. Alapohjana rakennuksessa on tuuletettava rossipohja. Eristeenä rakennuksen ylä- ja alapohjassa ja seinissä on käytetty sahanpurua. Erillistä höyrynsulkua rakennuksessa ei ole. Rakennuksessa on kaksi huonetta ja keittiö. Kerrosala on 64 m² ja ilmatilavuus 219 rak-m³, josta lämmintä sisätilavuutta on 130 m³. Rakennuksen kylmää ullakkotilaa käytetään varastotilana.

Rakennukseen suoritettiin kaksi eri laajuista tiivistyskorjausta, joiden lopputulosta verrattiin ilmanvuotoluvun n_{50} ja ilmanvaihdon vaikutuksiin.

Laajassa korjauksessa suoritettavat toimenpiteet:

- Yläpohjan ja ulkoseinän tiivistäminen saumausvaahdolla tai -massalla.
- Savupiipun läpivienti alapohjaan tiivistettiin saumausmassalla.
- Ikkunoiden ja ovien karmien tiivistys seinärakenteeseen saumausvaahdolla tai muovipäällysteisellä mineraalivillanauhalla.
- Ikkunoiden sisäpuutteisiin ja oviin asennettiin uudet tiivisteet.
- Nurkat tiivistettiin saumausmassalla.
- Lattia-seinäliittymä tiivistettiin saumausmassalla tai -vaahdolla. Vaihtoehtoisesti teippauksella.

Suppeammassa korjauksessa suoritettavat toimenpiteet:

- Ikkunoiden ja ovien karmien tiivistys seinärakenteeseen saumausvaahdolla tai muovipäällysteisellä mineraalivillanauhalla.
- Ikkunoiden sisäpuutteisiin ja oviin asennettiin uudet tiivisteet.
- Nurkat tiivistettiin saumausmassalla.
- Lattia-seinäliittymä tiivistettiin saumausmassalla tai -vaahdolla. Vaihtoehtoisesti teippauksella.

Taulukko 10. Korjaustulosten vertailu 1940-luvulla rakennetun hirsitalon osalta (Polvinen et al. 1983).

Tiivistystapa	Ilmanvuotoluku n_{50} (1/h)	Parannus alkuperäiseen ilmanvuotolukuun (%)	Keskimmääinen lämmityskauden ilmanvaihto (1/h)	Ilmanvaihdon energiankulutus (kWh/v)	Ilmanvaihdon energiankulutus väheni (%)
Alkuperäinen rakenne	8,0		0,71	4750	
Suppea korjaus	6,8	15	0,66	4390	8
Laaja korjaus	6,2	22	0,64	4240	11

Taulukosta 10 havainnoidaan, että tiivistyskorjauksilla saavutettiin hyötyä ilmanvuotoluvussa ja energiankulutuksessa, koska ilmanvaihdon tehokkuus pieneni.

Laajalla korjauksella ilmanvuotoluku pienentyi alkuperäiseen tilanteeseen verrattuna noin 22 % ja suppealla korjauksella noin 15 %. Ilmanvaihdon osalta laaja korjaus vähensi ilmanvaihdon tehokkuutta ja energiankulutusta alkuperäiseen verrattuna 11 % ja suppea korjaus 8 %.

4.4.2 1960-luvulla rakennettu puurakenteinen talo

Toisena esimerkkikohteena tarkasteltiin 1960-luvulla rakennettua 1-kerroksellista rakennusta, jonka ilmanvaihto on painovoimainen. Rakennuksessa on maanvarainen alapohja, ulkoseiniin ja yläpohjaan on asennettu muovinen höyrynsulku. Talossa on 4 huonetta ja pesutilat. Kerrosala rakennuksessa on 154 m² ja rakennustilavuus 445 rak-m³, josta lämmintä sisätilaa on 325 m³.

Rakennukseen suoritettiin kaksi eri laajuista korjausta, kuten ensimmäiseenkin kohteeseen.

Laajassa korjauksessa tiivistettiin kaikki vuotokohdat:

- Yläpohjan ja ulkoseinän tiivistäminen saumausvaahdolla tai -massalla.
- Yläpohjan läpiviennit tiivistettiin saumausmassalla tai -vaahdolla.
- Savupiipun läpivienti alapohjaan tiivistettiin saumausmassalla.
- Ikkunoiden ja ovien karmien tiivistys seinärakenteeseen saumausvaahdolla tai muovipäällysteisellä mineraalivillanauhalla.
- Ikkunoiden sisäpuitteisiin ja oviin asennettiin uudet tiivisteet.
- Ulkoseinien läpiviennit tiivistettiin saumausmassalla tai -vaahdolla.
- Nurkat tiivistettiin saumausmassalla.
- Lattia-seinäliittymä tiivistettiin saumausmassalla tai -vaahdolla. Vaihtoehtoisesti teippauksella.

Suppeammassa korjauksessa tiivistettiin oleskelualueen vuotokohdat:

- Ikkunoiden ja ovien karmien tiivistys seinärakenteeseen saumausvaahdolla tai muovipäällysteisellä mineraalivillanauhalla.
- Ikkunoiden sisäpuitteisiin ja oviin asennettiin uudet tiivisteet.
- Ulkoseinien läpiviennit tiivistettiin saumausmassalla tai -vaahdolla.
- Nurkat tiivistettiin saumausmassalla.
- Lattia-seinäliittymä tiivistettiin saumausmassalla tai -vaahdolla. Vaihtoehtoisesti teippauksella.

Taulukko 11. Korjaustulosten vertailu 1960-luvulla rakennetun puutalon osalta (Polvinen et al. 1983).

Tiivistystapa	Ilmanvuotoluku n_{50} (1/h)	Parannus alkuperäiseen ilmanvuotolukuun (%)	Keskimääräinen lämmityskauden ilmanvaihto (1/h)	Ilmanvaihdon energiankulutus (kWh/v)	Ilmanvaihdon energiankulutus väheni (%)
Alkuperäinen rakenne	8,2		0,66	11100	
Suppea korjaus	6,1	25	0,54	8980	19
Laaja korjaus	4,0	52	0,52	8640	22

Taulukosta 11 havainnoidaan, että tiivistyskorjauksilla saavutettiin ilmanvuotoluvussa huomattavaa parannusta.

Laajalla korjauksella ilmanvuotoluku pienentyi alkuperäiseen tilanteeseen noin 52 % ja suppealla korjauksella noin 25 %. Ilmanvaihdon osalta laaja korjaus vähensi ilmanvaihdon tehokkuutta ja energiankulutusta alkuperäiseen tilanteeseen verrattuna 22 % ja suppea korjaus 19 %.

4.4.3 1960-luvulla rakennettu tiilitalo

Polvinen et al. olivat myös ottaneet tutkimukseen 1-kerroksisen tiilitalon, jonka kerrosala on 158 m² ja tilavuus 460 rak-m³, josta lämmintä sisätilavuutta on 303 m³.

Laajassa korjauksessa tiivistettiin seuraavat vuotokohtat:

- Yläpohjan ja ulkoseinän tiivistäminen saumausvaahdolla tai -massalla.
- Yläpohjan läpiviennit tiivistettiin saumausmassalla tai -vaahdolla.
- Savupiipun läpivienti alapohjaan tiivistettiin saumausmassalla.
- Ikkunoiden ja ovien karmien tiivistys seinärakenteeseen saumausvaahdolla tai muovipäällysteisellä mineraalivillanauhalla.
- Ikkunoiden sisäpuutteisiin ja oviin asennettiin uudet tiivisteet.
- Ulkoseinien läpiviennit tiivistettiin saumausmassalla tai -vaahdolla.

Suppeammassa korjauksessa tiivistettiin oleskelualueen vuotokohdat:

- Ikkunoiden ja ovien karmien tiivistys seinärakenteeseen saumausvaahdolla tai muovipäällysteisellä mineraalivillanauhalla.
- Ikkunoiden sisäpuutteisiin ja oviin asennettiin uudet tiivisteet.
- Ulkoseinien läpiviennit tiivistettiin saumausmassalla tai -vaahdolla.

Taulukko 12. Korjaustulosten vertailu 1960-luvulla rakennetun tiilitalon osalta (Polvinen et al. 1983).

Tiivistystapa	Ilmanvuotoluku n_{50} (1/h)	Parannusalkuperäiseen ilmanvuotolukuun (%)	Keskimääräinen lämmityskauden ilmanvaihto (1/h)	Ilmanvaihdon energiankulutus (kWh/v)	Ilmanvaihdon energiankulutus väheni (%)
Alkuperäinen rakenne	6,1		0,57	8810	
Suppea korjaus	4,7	23	0,51	7880	11
Laaja korjaus	3,3	46	0,50	7670	12

Taulukosta 12 havaitaan, että laajalla tiivistyksessä ilmanvuotoluku pienentyi noin 46 % ja suppealla tiivistyksellä 23 % alkuperäiseen tilanteeseen verrattuna. Ilmanvaihdon tehokkuus ja energiankulutus pieneni laajalla tiivistyksellä 12 % ja suppeammalla 11 % alkuperäiseen tilanteeseen verrattuna.

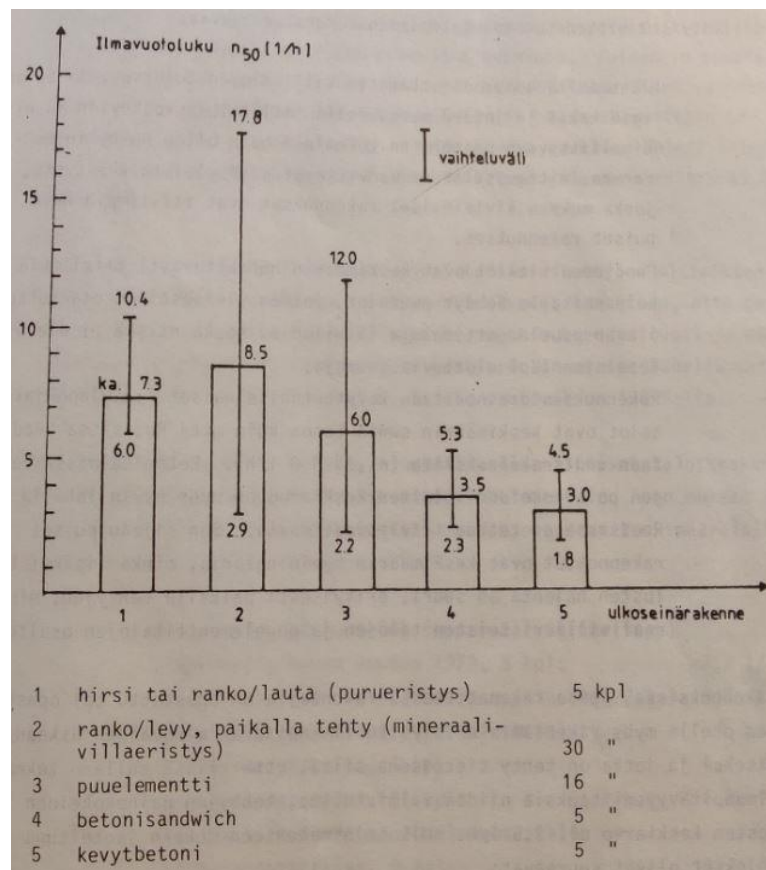
Kolmen esimerkkirakennuksen perusteella voidaan todeta, että jo suppealla korjauksella saavutettu ilmanvuotoluvun n_{50} keskimääräinen pieneneminen 21 %, antaa painavan syyn suorittaa vähintäänkin suppeampi rakennuksen tiivistyskorjaus. Laajalla korjauksella kolmen esimerkkikohteen ilmanvaihtoluku n_{50} pieneni keskimäärin 40 %.

Laajalla korjauksella saavutettu energiansäästö väheni keskimäärin 15 % ja suppealla korjauksella keskimäärin 13 %. Energiankulutuksen vähenemisessä ei enää ollut niin suurta eroa laajemman ja suppean korjauksen välillä.

On tärkeä havaita, että tiivistyskorjauksissa energiansäästö saadaan siitä, kun ilmanvaihdon tehokkuus pienenee. Kaikissa kohteissa ilmanvaihdon tehokkuus säilyi yli 0,5 (1/h) tiivistyskorjauksienkin jälkeen. Ilman pitää vaihtua rakennuksessa 0,5 kertaa tunnissa, jotta ilmanvaihdon tehokkuus olisi riittävällä tasolla (RIL 249-2015).

4.5 Ilmatiiviysmittaukset kirjallisuudesta

Polvinen et al. ovat suorittaneet ilmatiiviysmittauksia tutkimuksessaan 1983. Mittauksessa oli mukana 61 rakennusta, joiden rakentamistapa ja -materiaalit vaihtelivat kohteen mukaan. Ennen vuotta 1955 rakennettujen rakennusten (5 kpl) tehtyyn ilmatiiviysmittauksen mukaan ilmanvuotoluvun n_{50} keskiarvo oli 7,3 1/h, vaihteluvälin ollessa 6 – 10,4 1/h. Nämä rakenteet olivat joko hirsi- tai rankarakenteisia taloja purueristyksellä. Vuoden 1955 jälkeen paikalla rakennettujen mineraalivillalla eristettyjen rakennusten (30 kpl) ilmanvuotoluku n_{50} keskiarvo oli 8,5 1/h, vaihteluvälin ollessa 2,9 – 17,8 1/h. Tulokset on esitetty kuvassa 34 (Polvinen et al. 1983).



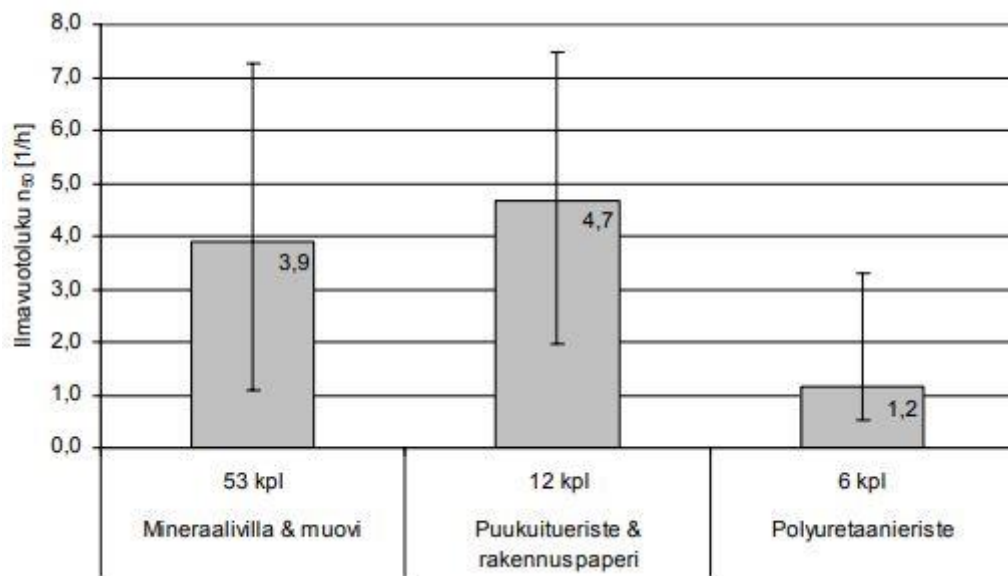
Kuva 34. Mittaustuloksia (Polvinen et al. 1983).

Juha Vinha on tutkimusryhmänsä kanssa suorittanut kaksi tutkimusta rakennusten ilmatiivyydestä Tampereen teknillisessä yliopistossa elokuussa 2005 ja syyskuussa 2009. Elokuun 2005 tutkimuksessa on tarkasteltu sadan puurunkoisen ja kahden hirsitalon sisäilman kosteus- ja lämpötilaolosuhteita, ilmanvaihdon toimivuutta ja ilmatiiviyttä. Syyskuun 2009 tutkimuksessa on tarkasteltu 50 kivrakenteisen pientalon, 20 hirsitalon ja 56

kerrostaloasunnon sisäilman olosuhteita, ilmanpitävyyttä ja ilmanvaihdon toimivuutta. Tähän tutkimukseen sisällytetään kummastakin tutkimuksesta vain ilmatiivystarkkailu puuranka- ja hirsirakennuksista.

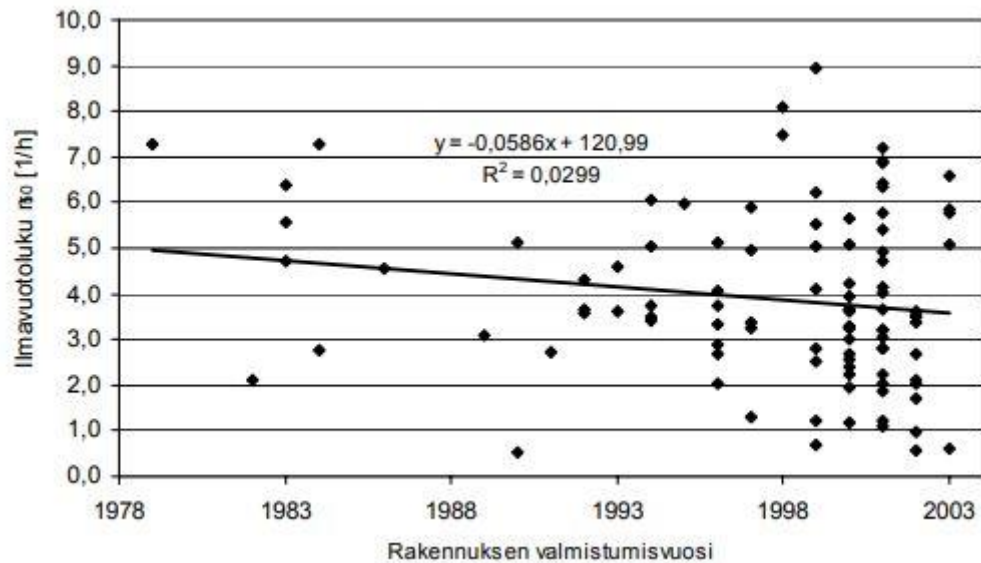
Ensimmäisen tutkimuksen rakennusten keski-ikä oli 5 vuotta. Sadan puurunkoisen talon ilmanvaihtoluvun n_{50} keskiarvo oli 3,9 1/h, vaihteluvälin ollessa välillä 0,5 – 8,9 1/h. Kahden hirsitalon ilmanvaihtoluvun n_{50} keskiarvo oli 5,3 1/h, vaihteluvälin ollessa 4,5 – 6,1 1/h (Vinha et al. 2005).

Tutkimuksessa oli eroteltu rakennukset, joissa oli käytetty samoja materiaaleja sekä seinissä että katoissa. Kuvasta 35 voidaan havaita, että polyuretaanieristeiset rakennukset ovat huomattavasti tiiviimpiä kuin rakennukset, joiden ilmansulkuna oli käytetty muovia tai rakennuspaperia.



Kuva 35. Rakennusten ilmanvaihtoluvun vertailu eri eristemateriaalien ja ilmasulkujen yhdistelmille (Vinha et al. 2005).

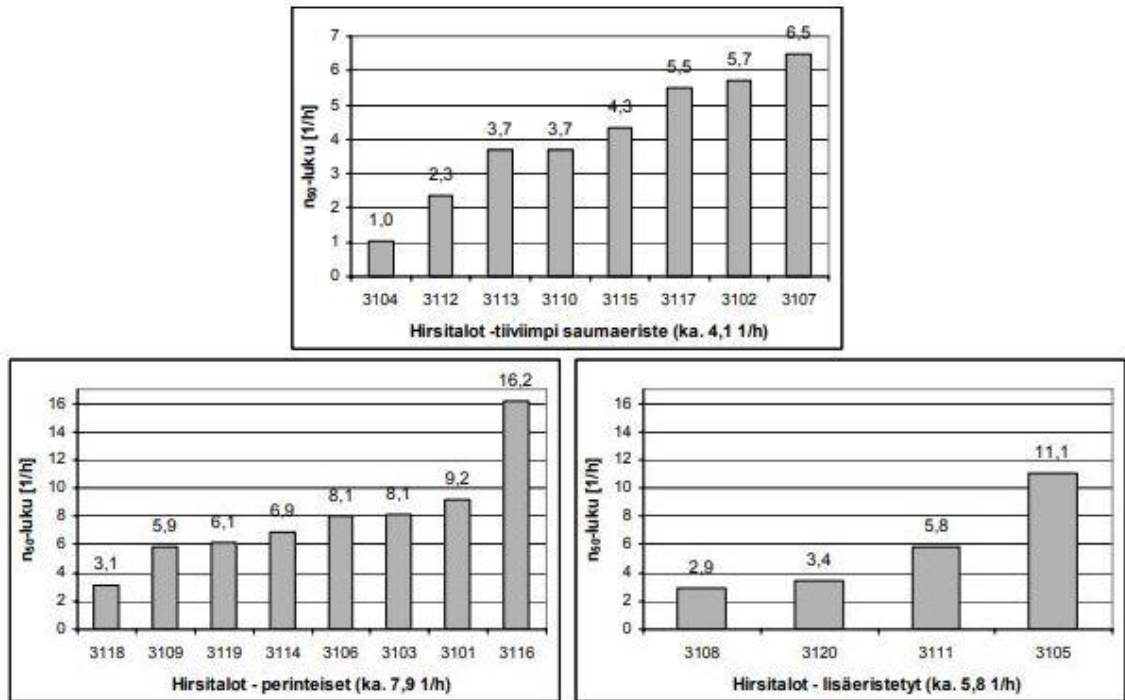
Tutkimuksessa oli myös huomioitu rakennusvuoden vaikutus rakennuksen ilmanvuotolukuun. Kuvasta 36 voidaan havaita, että trendiviiva on laskeva, kun lähestytään uudempiä rakennuksia. Sekä vanhemmassa että uudemmassa rakennuskannassa ilmanvuotoluvun n_{50} vaihteluvälit ovat suuria.



Kuva 36. Rakennuksen ilmavuotoluku valmistumisvuoden funktiona (Vinha et al. 2005).

Toisen tutkimuksen hirsirakennusten keski-ikä oli 6 vuotta. Kaikkien hirsirakennusten ilmanvaihtoluvun n_{50} keskiarvo oli 5,9 1/h, vaihteluvälin ollessa välillä 1,0 – 16,2 1/h. Tutkimuksessa hirsirakennukset oli jaettu kolmeen eri kategoriaan: hirsien raot tiivistetty tiiviimmällä saumaeristeellä, saumat perinteisesti eristetty tai lisäeristetyt hirsirakennukset. Perinteisesti eristettyjen hirsirakennusten hirsien saumaeristeenä oli käytetty mineraalivillaa, pellavaa tai polypropeenä. Tiiviimpien rakennusten saumaeristeenä oli käytetty solukumia tai paisuvaa saumaeristettä (Vinha et al. 2009).

Perinteisten hirsitalojen (8 kpl) ilmapitävyyslusun n_{50} keskiarvo oli 7,9 1/h, vaihteluvälin ollessa välillä 3,1 – 16,2 1/h. Tiiviimpien hirsitalojen (8 kpl) ilmapitävyyslusun n_{50} keskiarvo oli 4,1 1/h, vaihteluvälin ollessa välillä 1,0 – 16,2 1/h. Lisäeristettyjen hirsirakennusten (4 kpl) ilmapitävyyslusun n_{50} keskiarvo oli 5,8 1/h, vaihteluvälin ollessa välillä 2,9 – 11,1 1/h (Vinha et al. 2009). Kuvassa 37 on esitetty ilmanvuotojakaumat hirsitalomallittain.



Kuva 37. Hirsitalojen ilmavuotoluvut eroteltuna saumaeristeen mukaisesti (Vinha et al. 2009).

5. YHTEENVETO

Vanhojen rakennusten rakenteissa saattaa olla kosteus- ja mikrobivaurioita, jonka lisäksi tutkimukset ovat osoittaneet, että maaperässä on usein mikrobeita. Jos rakennuksessa on ilmavuotoja, saattaa mikrobin aineenvaihduntatuotteilla olla yhteys sisäilmaan, mikä heikentää sisäilmaston laatua. Ilmavuodot ovat haitallisimpia rakennuksen alaosissa, koska ilmavuodot koetaan tällöin asumismukavuutta alentavana lattiavetona. Ilmavuotojen aiheuttamaa pintojen kylmentymistä on usein kompensoitu nostamalla rakennuksen sisälämpötilaa, joka lisää energiankulutusta. Sisäilmaston laadun, energiatalouden sekä rakennuksen painesuhteiden kannalta on erityisen tärkeää, että rakenneosien ja rakenneliittymien läpi tapahtuvat ilmavuodot estettäisiin.

Ilmavuotomäärien suuruuteen vaikuttavat ulko- ja sisätilojen paine-erot, jotka muodostuvat koneellisen ilmanvaihdon, savupiippuvaikutuksen ja tuulen aiheuttamista paineeroista. Koneellisen ilmanvaihdon vaikutus rakennuksien painesuhteisiin voi olla merkittävä, jos ilmanvaihtoa ei ole säädetty oikein, tai rakennuksessa ei ole riittävästi korvausilmaventtiilejä. Ilmavuotojen kautta tapahtuvat ilmavirtaukset ovat rakennuksen alaosissa pääosin sisätiloja kohti ja rakennuksen yläosissa ulkoilmaa kohti. Rakennuksen alaosien ilmavuodot aiheuttavat sisäilmaston laadun heikkenemistä ja rakennuksen yläosien ilmavuodot voivat aiheuttaa rakeiden vaurioitumista, jos kosteutta kondensoituu rakenteisiin. Rakoja ja reikiä voi olla vanhoissa rakennuksissa useita, koska ilmatiiviiden merkitystä ei juurikaan tiedostettu omatoimirakentamisessa. Rankarakenteisten rakennusten yleistyessä rakennusmateriaalien määrä kasvoi, joka osaltaan saattoi vaikuttaa ilmatiiviyspuutteisiin.

Suurempia tiivistyksiä on vaikea suorittaa vanhoissa rakennuksissa. Usein koko rakenne joudutaan purkamaan, jotta saataisiin kunnon lopputulos. Rakenteiden purkaminen voi olla perusteltua vain, jos pienempi tiivistyskorjaus ei tuo haluttua lopputulosta, tai rakenteet ovat kosteus- tai mikrobivaurioituneet. Vanhan rakenteen tiivistyksessä tulee ensiksi selvittää rakenteiden kunto ja rakenne, jolloin pystytään laatimaan kohteeseen soveltuva korjaussuunnitelma. Vanhojen rakenteiden tiivistämisessä tulee aina harkita toimenpiteen vaikutusta olemassa oleviin rakenteisiin. Vaarana voi olla, että rakenneosaa tiivistettäessä ongelma siirtyykin toiseen rakennusosaan, jolloin korjaus on ollut täysin turha, tai pahimmillaan jopa pahentanut tilannetta. Yhden rakenneosan tiivistäminen voi johtaa

pahimmillaan siihen, että koko korvausilmamäärä tulee jatkossa hataran alapohjaliit-
tymän kautta, jolloin ilmavirtaukset lattianrajassa lisääntyvät ja täten asumisviihtyvyys
laskee entisestään.

Pienempiä rakojen ja reikien tiivistyksiä, kuten ikkunan karmin ja seinän liittymiä pysty-
tään suorittamaan ilman rakenteiden suurimittaista purkamista. Pienilläkin tiivistyksillä
saadaan varsin hyviä lopputuloksia, jolloin korjaus on lähes aina kannattavaa. Työssä
esitetty 13 – 15 % keskimääräinen vuosisäästö energiankulutuksessa on jo melko mer-
kittävä, varsinkin kun lämmitysenergian hinta tulee nousemaan tulevaisuudessa.

Polvisen et al. ja Vinhan et al. ilmatiivystutkimuksista voidaan havaita, että rakennus-
kannan ilmatiiviyys on parantanut merkittävästi 1950-luvulta nykypäivään asti. Tutkimuk-
sissa havaitut ilmatiivyyden vaihteluvälit ovat vanhoissa ja uudemmissa rakennuksissa
kuitenkin melko suuria. Ilmatiivyyden suuri vaihteluväli voi selittyä omatoimirakentami-
sella ja ilmatiivyyden merkityksen tiedon puutteesta.

Jatkotutkimuksia aiheeseen saisi suorittamalla vanhoihin 1920-1950-luvuilla rakennet-
tuihin rakennuksiin ilmatiiviyksmittauksia, jolloin saataisiin lisää dataa vanhojen rakennus-
ten ilmatiivyydestä. Rakennusten tulisi olla sekä hirssi- että rankarakenteisia. Lisäksi tulisi
suorittaa erilaajuisia tiivistyskorjauksia eri rakennekohtiin, jolloin ilmatiiviyksmittaus voitai-
siin suorittaa uudelleen ja tuloksien lisääntyessä saada enemmän faktatietoa korjausten
kannattavuudesta. Korjaustavan valinnassa tulisi seurata jo valmiiksi tiivistettyjä raken-
nuksia ja suorittaa niihin kuntotutkimuksia, jolloin saisimme varmuuden, että korjaustapa
on onnistunut, eikä korjaustapa ole aiheuttanut rakenteille vahinkoja.

LÄHTEET

A-Insinöörit. Rakennusten paine-erojen mittausohjeprojektin loppuraportti. 2019.

Ardex Oy. 2020. Lattia- seinäliittymän tiivistys. Saatavissa: <https://ardex.fi/wp-content/uploads/2020/11/Lattia-seinaliittymän-tiivistys-DET1.pdf> Luettu 5.5.2021.

Arkeologisen kulttuuriperinnön opas. 2008. Saatavissa: <http://akp.nba.fi/wiki;vesisaha> Luettu 3.2.2021.

Björkholtz, D. 1997. Lämpö ja kosteus rakennusfysiikka. Rakennustieto Oy. Helsinki.

Fise Oy. 2006. Lattian ja seinän välinen ilmapuoto. Saatavissa: <https://fise.fi/virhekortti/lattian-ja-seinan-valinen-ilmapuoto/> Luettu 3.5.2021.

Hakalin, P. 1984. Hirsirakentaminen. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Hengitysliitto. Ilmanvaihtojärjestelmät. Saatavissa: <https://www.hengitysliitto.fi/kodin-sisailma-ja-kunnossapito/ilmanvaihto/ilmanvaihtojarjestelmat/>. Luettu 18.4.2021.

Hometalkoot 2012. Tunnista ja tutki riskirakenne. Pientalojen Riskirakenteet. 2012. Hengitysliitto. Saatavissa: <https://hometalkoot.fi/>. Luettu 10.1.2021.

Honkonen, T. 2011. Multapenkki. Rakenne, vauriot ja säilyttäminen. Opinnäytetyö, Seinäjoen ammattikorkeakoulu, Seinäjoki.

Härö, E. & Kaila, P. 1976. Pohjalainen talo: rakentajan opas. Helsinki: Kyriiri Oy.

Jokelainen, J. 2012. Tilketutkimus. Seinäjoki: Seinäjoen ammattikorkeakoulu.

Kaila, P. 1997. Talotohtori. WSOY-kirjanpainoyksikkö.

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

Leivo, V., Rantala, J. 2006. Maanvastaisten rakenteiden mikrobiologinen toimivuus. Tutkimusraportti 139. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos.

Museovirasto. 2000. Ulkolaudoituksen korjaus. Korjauskortisto. Rakennushistorian osasto. Helsinki.

Museovirasto. 2000. Lämmöneristyksen parantaminen. Korjauskortisto. Rakennushistorian osasto. Helsinki.

Palonen, N. 2013. Tuulettuvan alapohjan vedoton ja lämmin rakenne vanhassa rakennuksessa. Vanhan rakennuksen kunnostusopas -sarja Nro 1. Pirkanmaan rakennuskulttuuriyhdistys Ry, Tampere.

Perinnemestari. 2018. Alapohja. Saatavissa: <https://www.perinnemestari.fi/kunnostaminen/artikkelit/alapohja>. Luettu 29.12.2020.

Perinnemestari. 2018. Tuhatvuotinen hirsirunko. Saatavissa: <https://www.perinnemestari.fi/kunnostaminen/artikkelit/tuhatvuotinen-hirsirunko>. Luettu 3.1.2021.

Pohjois-Pohjanmaan korjausrakentamiskeskus. 2005. Korjausohjeita. Tuulettuva kantava alapohja eli rossipohja. Oulun kaupunki.

Polvinen, M., Kauppi, A., Saarimaa, J., Haalahti, P ja Lahikainen M. 1983. Rakennusten ulkovaipan ilmanpitävyys. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Tutkimuksia 215. Espoo.

Rakennustietosäätiö. RT-kortisto 1943–1960. Rakennustieto Oy. Helsinki.

Rakennustietosäätiö. 2012. RT-kortti: Leijona-Levyt RT 38250. Rakennustieto Oy. Helsinki.

Rakennustarkkailija. 2018. Valesokkeli. Osa II. Maanvaraisen alapohjan historiaa. Saatavissa: <https://rakennustarkkailija.com/2018/11/18/valesokkeli-osa-ii-maanvaraisen-alapohjan-historiaa/> Luettu 28.3.2021.

Rakennustarkkailija. 2017. Vanhoja ja vähän uudempiakin rakennusmateriaaleja. Saatavissa: <https://rakennustarkkailija.com/2017/09/22/vanhoja-ja-vahan-uudempiakin-rakennusmateriaaleja/> Luettu 30.3.2021.

RIL 225-2004. Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry. Rakennusosien lämmönläpäisykertoimien laskenta. Helsinki.

RIL 249-2015. Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry. Energiatehokas asuinrakennus. Kohti lähes nollaenergiarakentamista. Helsinki.

RIL 255-2013. Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry. Rakennusmateriaalien ja -tuotteiden rakennusfysikaaliset ominaisuudet. Helsinki.

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

Rinne, H. 2010. Perinnemestarin remonttikirja. Helsinki: WSOY.

Sandberg, E. & Heinonen, J. 2014. Ilmastointitekniikka. Osa 1, Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät: perustietoa ilmastointitekniikasta rakentamisen ja rakennusten käytön asiantuntijoille, Talotekniikka-Julkaisut, Helsinki.

Siikanen, U. Rakennusfysiikka, perusteet ja sovellukset. Rakennustieto Oy. Tampere-Paino Oy. Helsinki 1996.

Siikanen, U. 2008. Puurakentaminen. Tampere. Esa Print Oy.

Sisäilmayhdistys ry. 2008. Ilmavirtaukset rakennuksessa. Saatavissa: <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteustekninen-toiminta/Ilmavirtaukset-rakennuksessa>. Luettu 16.4.2021.

Suomen LVI-liitto ry. 1999. Jorma Säteri (toim.). Lämmitys 2000, lämmitysjärjestelmien oikea käyttö ja kunnossapito. Suomen LVI-liitto ry., julkaisu 10.

Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D2, 2012. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2012.

Tiivistalo. Intello XN – uuden sukupolven höyrynsulkukangas. Saatavissa: <https://www.tiivistalo.fi/system-intello> Luettu 5.5.2021.

Vertia. <https://vertia.fi/miksi-nykyaikaisen-hirsitalon-tulee-olla-tiivis/> Luettu 11.4.2021.

Vinha, J. 2009. Asuinrakennusten ilmanpitävyys, sisäilmasto ja energiatalous, Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos, Rakennetekniikka, Tampere 2009.

Vinha, J. 2011. Rakennusfysiikka. Luentomoniste 2011. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos.

Vinha, J. 2012. Rakennusten ilmanpitävyys ja ilmatiiviiden rakenteiden toteutus. Luentomoniste 2012. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos.

Vinha, J. 2014. Rakennusten rakennusfysikaalisen suunnittelun ja toteutuksen periaatteet. Tampereen Teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos. Rakentajain kalenteri 2014.

Ympäristö.fi. 2016. Ikkuna korvausilmareittinä. Saatavissa: https://www.ymparisto.fi/fi-fi/rakentaminen/korjaustieto/taloyhtiot/korjaushankkeet/ikkunakorjaukset/ikkunan_oven_tiivistysohje/ikkuna_korvausilmareittina Luettu 13.4.2021.

Ympäristöministeriö. Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus, Ympäristöopas 28, Ympäristöministeriö ja Rakennustieto Oy, Tampere 1998.

Ympäristöministeriö. 2014 (b). Valtioneuvoston asetus rakentamisen suunnittelu-tehtävien vaativuusluokkien määräytymisestä.

Ympäristöministeriö. Ympäristöopas 2016, Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus.