Tampereen yliopisto

PUURAKENTEIDEN LÄMPÖ- JA KOSTEUSTEKNINEN KÄYTTÄYTYMINEN

13.3.2019

Prof. Juha Vinha

Rakennusfysiikka
TAU, Rakennustekniikka

ESITYKSEN SISÄLTÖ

- Puurakennuksen kosteustekninen suunnittelu ja toteutus
- Rakennusfysikaaliset laskentatarkastelut
- Homeindeksin laskenta
- Vaipan ilmatiiviys ja paine-erot
- Rakenneosat ja liitokset (yläpohjat, ulkoseinät, alapohjat)

RAKENNUSFYSIIKAN MERKITYS RAKENNUSHANKKEEN ERI VAIHEISSA

1. **Tilaaminen**
   - oikeiden ja riittävien vaatimusten asettaminen tarjouspyyntöön
2. **Suunnittelu**
   - perusasioiden erittäin hyvä hallinta, 80/20-sääntö
   - uusi tieto ja koulutus
   - vanhojen rakenteiden aiheuttamat vaatimukset
   - kosteusvaurioiden aiheuttamat erityisvaatimukset
   - ilmastonmuutoksen ja energiatehokkuuden aiheuttamat erityisvaatimukset
   - kokonaisuuden tarkastelu ja hallinta
   - yhteistyö eri suunnittelijoiden välillä!
3. **Työmaatoteutus**
   - huolellinen ja ammattitaitoinen toteutus
   - uusi tieto ja koulutus
   - kosteussuojaus ja riittävät kuivumisajat!
   - urakkarajakohtien toteutuksen ja toiminnan varmistaminen
   - valvonta
4. **Käyttöönottovaihe**
   - säädöt ja mittaukset
   - Ilmanvaihdon toiminta ja paine-erojen hallinta!
5. **Käyttö ja huolto**
   - sisäilman olosuhteiden ja rakennuksen kunnon seuranta
   - säännölliset huollot

RAKENTAMISEN KESKEISIMMÄT RISKIKOHDAT
Kuivaketju10, uudisrakentaminen, 80/20-sääntö

Ulkopuoli, vesi

1. Ulkopuolelta tulevan kosteuden tunkeutuminen perustuksiin ja lattiarakenteisin
2. Sadeveden tunkeutuminen ulkoseinärakenteisiin
3. Sadeveden tunkeutuminen vesikatteen ja aluskatteen läpi

Vesihöyry, korkea RH

Sisäpuoli, vesihöyry

4. Rakennusvaipan ilmavuodot – kosteuden siirtyminen rakenteisiin
5. Väärin mitoitettu ja säädetty ilmanvaihto

Haitallisten aineiden tulo sisäilmaan

Sisäpuoli, vesi

6. Vesiputkien rikkoutuminen
7. Huonosti toteutettu märkätila

Painumat ja muodonmuutokset

Rakennus-aika

8. Kosteiden betonirakenteiden päällystäminen – päällystemateriaalin vaurioituminen
9. Epäonnistunut rakentamisaikainen kosteudenhallinta

Huolto

10. Huono huolto ja ylläpito

20 %

\+ Lämmöneristyksen lisäys, paine-erot, uudet rakenneratkaisut ja materiaalit, ilmastonmuutos

- Voivat heikentää monien rakenteiden toimintaa, vaikka ei ole kosteusvuotoja.
- Voivat heikentää rakenteiden toimintaa enemmän myös kosteusvuototilanteissa.

RAKENNUSAIKAINEN KOSTEUDENHALLINTA
Uusi kosteusasetus 2018

Osana tarjouspyyntöä! →

Kuva: www.hallbyggarna-jonsereds.se

Kuva: Olli Teriö ja Anssi Koskenvesa

Kosteudenhallintaselvitys *(Rakennushankkeeseen ryhtyvä eli tilaaja)*

- Hankkeen yleistiedot
- Vaatimukset kosteudenhallinnalle hankkeen eri vaiheissa
  - keskeiset kosteudenhallinnan toimenpiteet
  - sääsuojaustasovaatimukset
  - rakenteiden kuivattamiseen ja pinnoittamiseen liittyvät vaatimukset
- Toimenpiteet ja menettelyt kosteudenhallinnan vaatimusten varmentamiseen
  - todentamismenettelyt
- Kosteudenhallinnan henkilöresurssit
- **Kosteudenhallinnan valvonnasta vastaava henkilö (kosteudenhallintakoordinaattori(t))**

Kosteudenhallintasuunnitelma *(Vastaava työnjohtaja)*

- Pohjautuu kosteudenhallintaselvitykseen
- Rakenteiden ja materiaalien suojaaminen kosteudelta
- Rakenteiden ja materiaalien kuivumisen varmistaminen
- Rakennustyömaan kosteudenhallinnasta vastaavat rakennusvaiheen vastuuhenkilöt

TYÖMAAN KOSTEUDENHALLINTASUUNNITELMA

Kosteudenhallintasuunnitelmassa esitetään:

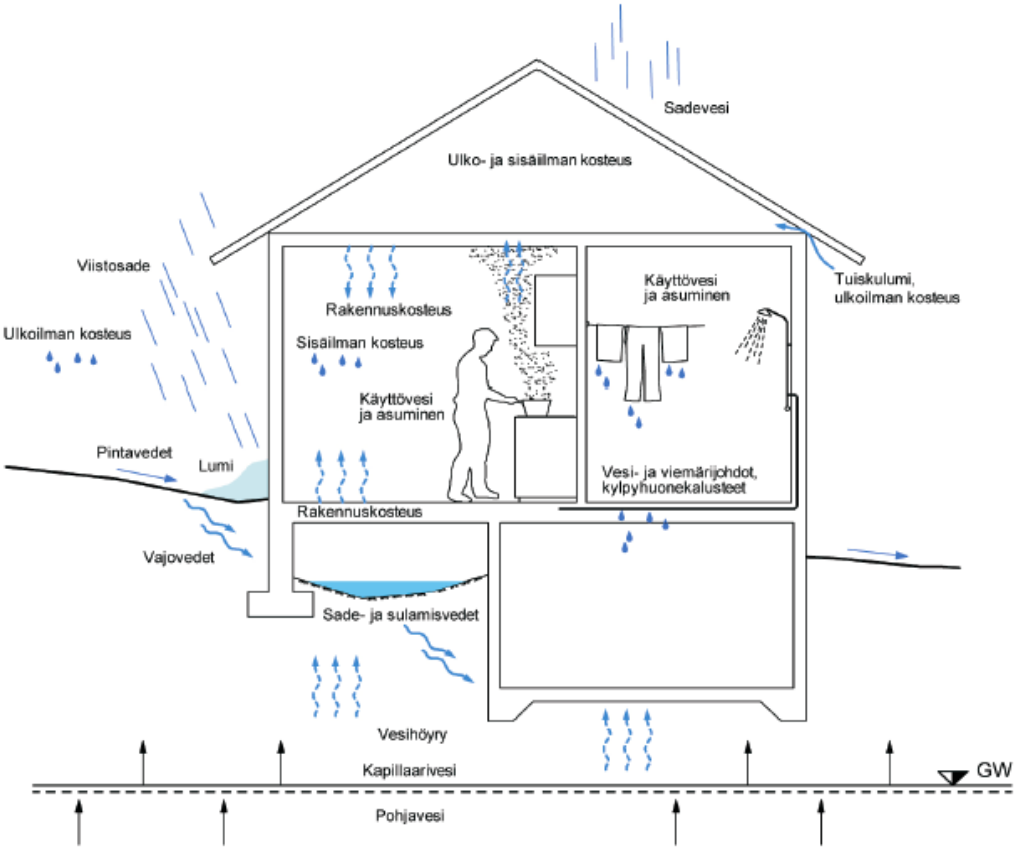
- vastuuseen nimetty työnjohtaja
- rakentamisen olosuhdetavoitteet ja niiden seurantatapa
- vaatimukset aliurakoitsijoille
- materiaalien ja rakenteiden suojaustavat
- lämmitys- ja kuivatustapa
- työmaakohtaiset erityispiirteet
- betoninpintojen mittauspaikat ja -ajankohdat
- muut laadunvarmistustoimenpiteet

Kosteudenhallintasuunnitelmaa käytetään esimerkiksi:

- työkaluna työnjohtajille
- tarjouspyyntönä teline- ja lämmitysyrityksille
- ohjeena työntekijöille

Kuva ja teksti: Olli Teriö ja Anssi Koskenvesa

RAKENTEIDEN KOTEUSTEKNINEN SUUNNITTELU



- Rakenteiden rakennusfysikaalinen suunnittelu tehdään suurimmaksi osaksi rakenteellisella suunnittelulla.
- Laskennallisia tarkasteluja käytetään kuitenkin apuna suunnittelussa yhä enemmän.
- Kosteusteknisen suunnittelun osalta keskeisiä asioita ovat:

  1. Suojaus ulkoa tulevalta kosteudelta (sade, lumi, maaperän kosteus)

  2. Suojaus sisältä tulevalta kosteudelta (pesuvedet, vesiputket, vesihöyry)

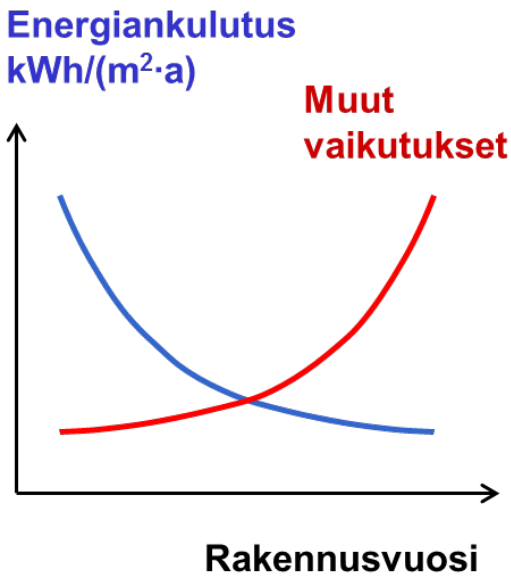
  3. Kuivumiskyvyn varmistaminen

  4. Rasitetuissa paikoissa kosteutta kestävät materiaalit

  5. Liitosten ja läpivientien suunnittelu

Rakenteiden kosteusteknisessä suunnittelussa tulee ottaa huomioon myös muut rakenteen toiminnan edellyttämät vaatimukset.

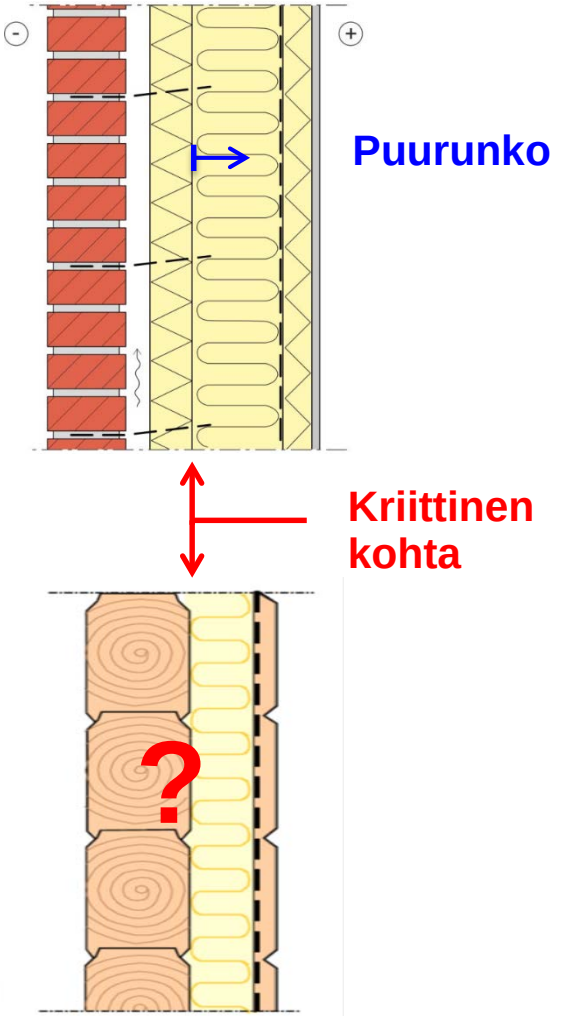
RAKENNUSTEN ENERGIANKULUTUKSEN VÄHENTÄMISEN HAASTEET



Muut vaikutukset

- Huomioon otettavien tekijöiden määrä kasvaa ja vähennykset syntyvät yhä pienemmistä osatekijöistä. **Kokonaisuuden hallinta monimutkaistuu.**
- Tavoitellun lopputuloksen aikaansaaminen edellyttää **huolellisempaa ja virheettömämpää rakentamista.**
- Yhä useampiin rakentamiseen ja rakennuksen käyttöön liittyviin asioihin syntyy haasteita ja ongelmia energiankulutuksen vähentämisestä:
  - **monien rakenteiden kosteustekninen toiminta voi heikentyä** vaipan ulko-osien viilentyminen, rakenteiden ja toteutustapojen muutokset, korjausrakentaminen
  - **sisäilman laatu voi heikentyä** haitallisten aineiden tulo sisäilmaan voi lisääntyä paine-erojen kasvaessa, ylilämpeneminen kesällä ja jäähdytystarpeen lisääntyminen, ilmanvaihdon väärä toiminta
  - **tekniset järjestelmät monimutkaistuvat ja niiden toiminta tai viat voivat aiheuttaa energiankulutuksen lisäystä tai kosteusriskejä rakenteisiin** järjestelmien määrä kasvaa ja hallinta monimutkaistuu, sähkötehon hallinta korostuu, automaation tarve kasvaa, huollon ja ylläpidon tarve lisääntyy, kosteuslisän ja paine-erojen vaikutukset rakenteiden toimintaan
  - **esteettisten ja toiminnallisten tavoitteiden toteuttaminen vaikeutuu** ikkunoiden määrä ja sijoittelu, tilaratkaisut, ulkonäkö, viihtyisyys
  - **kasvihuonekaasupäästöt eivät alene tavoitellusti tai voivat jopa lisääntyä** energiatehokkaamman rakentamisen synnyttämä hiilijalanjälki, uusimis-, korjaus- ja purkamistarpeen mahdollinen lisääntyminen, uusiutuvan energian etätuotannon ja lähialueen energiaratkaisujen huomioon ottaminen tärkeätä
  - **kustannukset lisääntyvät ja taloudellisuus heikkenee** rakentaminen kallistuu entisestään, yhä suurempi osa ratkaisuvaihtoehdoista on taloudellisesti kannattamattomia

LÄMMÖNERISTYKSEN LISÄYKSEN VAIKUTUKSET RAKENTEIDEN KOSTEUSTEKNISEEN TOIMINTAAN
Olosuhteiden muutokset rakenteissa

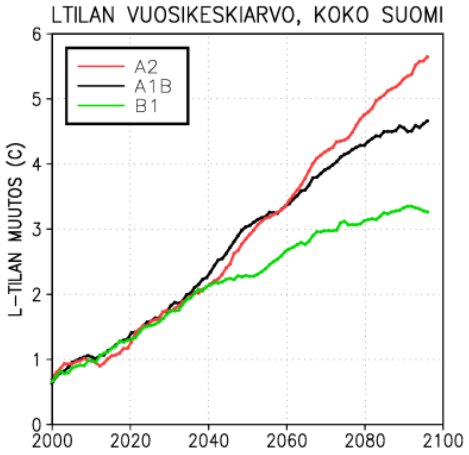


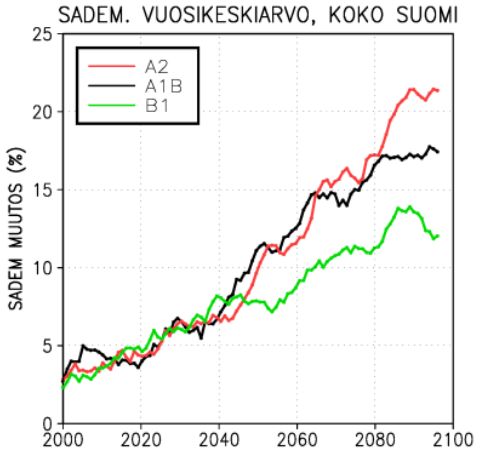
- Lämmöneristyksen lisääminen heikentää monien vaipparakenteiden kosteusteknistä toimintaa:
  - **Ulko-osat viilenevät**, jolloin kosteuden kondensoituminen ja homeen kasvulle suotuisat olosuhteet lisääntyvät rakenteissa.
  - Rakenteiden **vikasietoisuus heikkenee** samasta syystä. Yhä pienemmät kosteusvuodot ulkoa tai sisältä voivat saada aikaan kosteusvaurion.
  - Rakenteita korjattaessa **sisäpuolinen lisäeristys heikentää** rakenteen kosteusteknistä toimintaa. Alkuperäinen rakenne viilenee ja homeen kasvulle otolliset olosuhteet lisääntyvät.
- Rakenteiden **toteutusratkaisujen muutokset ja uudet materiaalit** voivat myös lisätä rakenteiden kosteusriskejä.
- **Vaipparakenteet saadaan kuitenkin oikein suunniteltuina ja toteutettuina toimiviksi myös jatkossa**. Eniten muutoksia tarvitaan puurakenteissa.
- Rakenteita korjattaessa on otettava huomioon **alkuperäisen rakenteen asettamat rajoitteet**, jotka voivat olla suuria.
- **Rakenteen kosteustekninen toiminta tulee pyrkiä varmistamaan ensisijaisesti rakenteellisilla ratkaisuilla.** Tarvittaessa voidaan joutua käyttämään apuna myös teknisiä laitteita (lämmitin, kuivain, ohjattu koneellinen ilmanvaihto).

ILMASTONMUUTOKSEN VAIKUTUKSET

Lämpötilan ja sademäärän muutos Suomessa tulevina vuosikymmeninä

Lämpötila





Sademäärä

Kuvat: Ilmatieteen laitos

- Lämpötila nousee, viistosaderasitus julkisivupinnoille kasvaa ja pilvisyys lisääntyy. Suurimmat muutokset tapahtuvat talvella.
- **Homeen kasvulle otolliset olosuhteet lisääntyvät varsinkin rakenteiden ulko-osissa.**
- Kosteuden siirtyminen ulkoa sisälle päin lisääntyy varsinkin julkisivuissa, joihin imeytyy sadevettä. Homehtumis- ja kondenssiriski lisääntyy näissä rakenteissa myös rakenteiden sisäpinnan lähellä.
- **Jaksottainen lumi- ja vesisade synnyttää rakennuksen tasoille ja ulokkeille helpommin vesialtaita, jotka kastelevat rakenteita.**
- Rakenteiden kuivuminen hidastuu syksyllä ja talvella.
- Vanhojen betonijulkisivujen pakkasrapautumisriski lisääntyy.

TTY:N RAKENTEIDEN KOSTEUSTEKNISEN TOIMINNAN ANALYSOINTIMENETELMÄ

Tarkasteluperiaatteiden kehitystyö
TTY 2000 –

Rakennusfysikaaliset testivuodet
TTY ja IL 2010 – 2012

Sisäilman mitoitusolosuhteet
TTY ja TKK 2002 – 2008
TTY 2016 –

Laskennallisen homeriskimallin kehitystyö
VTT 1986 – 2004
TTY ja VTT 2005 – 2013

Suomessa käytettävien rakennusmateriaalien ominaisuudet
TTY 2000 –

Laskentaohjelmien toiminnan verifiointi
TTY 2001 –

VAIPPARAKENTEEN KOSTEUSTEKNISEEN KÄYTTÄYTYMISEEN VAIKUTTAVAT ULKOILMAN OLOSUHDETEKIJÄT

- lämpötila
- suhteellinen kosteus
- tuuli (tuulen suunta ja nopeus)
- sade/ viistosade (sademäärä, tuulen suunta ja nopeus)
- auringonsäteily (suora ja diffuusi säteily, pilvisyys)
- lämpösäteily taivaalle (taivaan tehollinen lämpötila, pilvisyys)

Testivuosien määrittämisessä huomioon otetut tekijät

Rakennusten ja rakenteiden ympärille muodostuu lisäksi mikroilmasto, johon vaikuttavat mm. seuraavat tekijät:

- tarkasteltava ilmansuunta
- rakenteen kaltevuus
- rakennuksen muoto ja korkeus
- ulkopinnan suojarakenteet (pellitykset, räystäät, markiisit, lipat, säleiköt)
- rakenteen ulkopinnan struktuuri ja detaljit (ulokkeet, syvennykset, pinnan ominaisuudet)
- lähiympäristö (muut rakennukset, kasvillisuus, maaston muodot)

Mikroilmasto voi poiketa merkittävästi sääasemalla mitatuista ulkoilman olosuhteista.

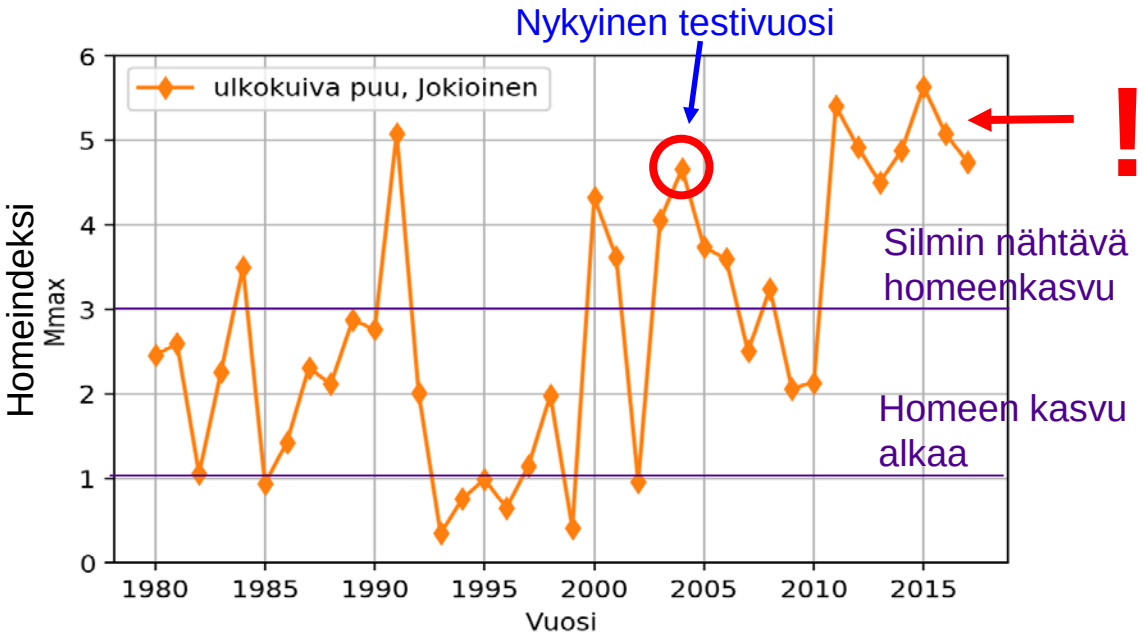
RAKENNUSFYSIKAALISET TESTIVUODET SUOMEN ILMASTOSSA

Rakennetyypit	Testivuosi		
	Nykyilmasto	2050 ilmasto	2100 ilmasto
Rakenteet, joissa vain ulkoilman suhteellinen kosteus vaikuttaa merkittävästi niiden sisäosan kosteustekniseen toimintaan. <u>Esimerkkirakenteita:</u> - puu- ja metalliverhotut ulkoseinät - betonisandwich-rakenteet [1] - harkkorakenteet [1] - sisäpuolelta eristetyt massiivirakenteet - yläpohjat, joissa on vesikate - ryömintätilaiset alapohjat	***Jokioinen 2004*** ilmansuunta seinärakenne-tarkasteluissa: *pohjoinen* [2]	***Jokioinen 2050*** ilmansuunta seinärakenne-tarkasteluissa: *pohjoinen* [2]	***Jokioinen 2100*** ilmansuunta seinärakenne-tarkasteluissa: *pohjoinen* [2]
Rakenteet, joissa sekä sade että ulkoilman suhteellinen kosteus vaikuttavat merkittävästi niiden sisäosan kosteustekniseen toimintaan. <u>Esimerkkirakenteita:</u> - tiiliverhotut ulkoseinät - eristerapatut ulkoseinät - betonisandwich-rakenteet [1] - harkkorakenteet [1] - käännetyt katot	***Vantaa 2007*** ilmansuunta seinärakenne-tarkasteluissa: *etelä*	***Vantaa 2050*** ilmansuunta seinärakenne-tarkasteluissa: *etelä*	***Vantaa 2100*** ilmansuunta seinärakenne-tarkasteluissa: *etelä*

[1] Rakenteesta riippuen kumpi tahansa testivuosista voi olla kriittisempi. Rakenteen toiminta on syytä tarkistaa kummallakin testivuodella.

[2] Rakenteen ulkopinnan kosteusteknistä toimintaa tarkasteltaessa kriittisin ilmansuunta voi olla myös joku muu kuin pohjoinen.

HOMEINDEKSIN MAKSIMIARVO ERI VUOSINA ULKONA SÄÄSUOJATUN SAHATAVARAN PINNALLA Jokioinen 1980–2017, Suomalainen homemalli



Homeindeksi M

kuvaa tarkasteltavan pinnan homehtumista:

6 = pinta täysin homeen peitossa
3 = pinnalla silmin nähtävää hometta
1 = homeen kasvu alkaa pinnalla

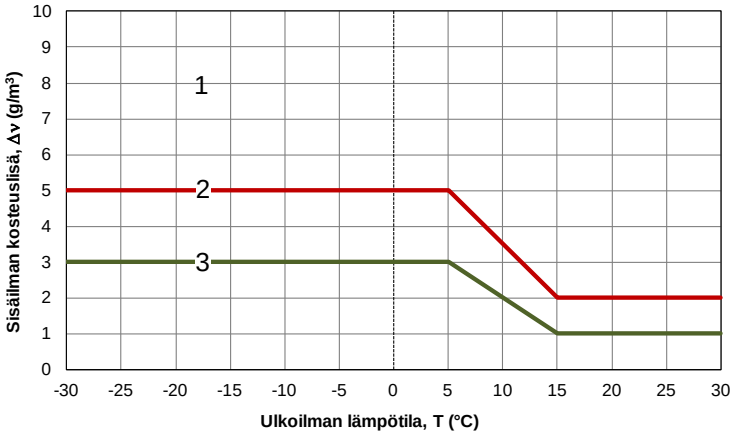
Rakennusfysikaalinen testivuosi

Vähintään 90 % vuosista vähemmän kriittisiä homeen kasvun suhteen, tarkasteluajanjaksona oli 30 vuoden mittausdata vuosina 1980–2009

- Homehtumisriski ulkoilmassa on noussut voimakkaasti viime vuosina **pelkästään lämpötilan ja RH:n muutosten seurauksena.**
- Homehtumisriski on kasvanut samalla myös rakenteiden ulko-osissa.
- Rakennusfysikaaliseksi testivuodeksi valittiin FRAME-tutkimuksessa **Jokioisen 2004** ulkoilman olosuhteet, joka kuvasi erittäin rasittavia kosteusolosuhteita ulkoilmassa.
- Tämän jälkeen olleina kahdeksana vuotena 2010–2017 ulkoilman olosuhteet ovat olleet kuitenkin **kuutena vuotena tätä testivuotta kriittisemmät homeen kasvun kannalta!**

  → Ilmastonmuutos etenee voimakkaasti!

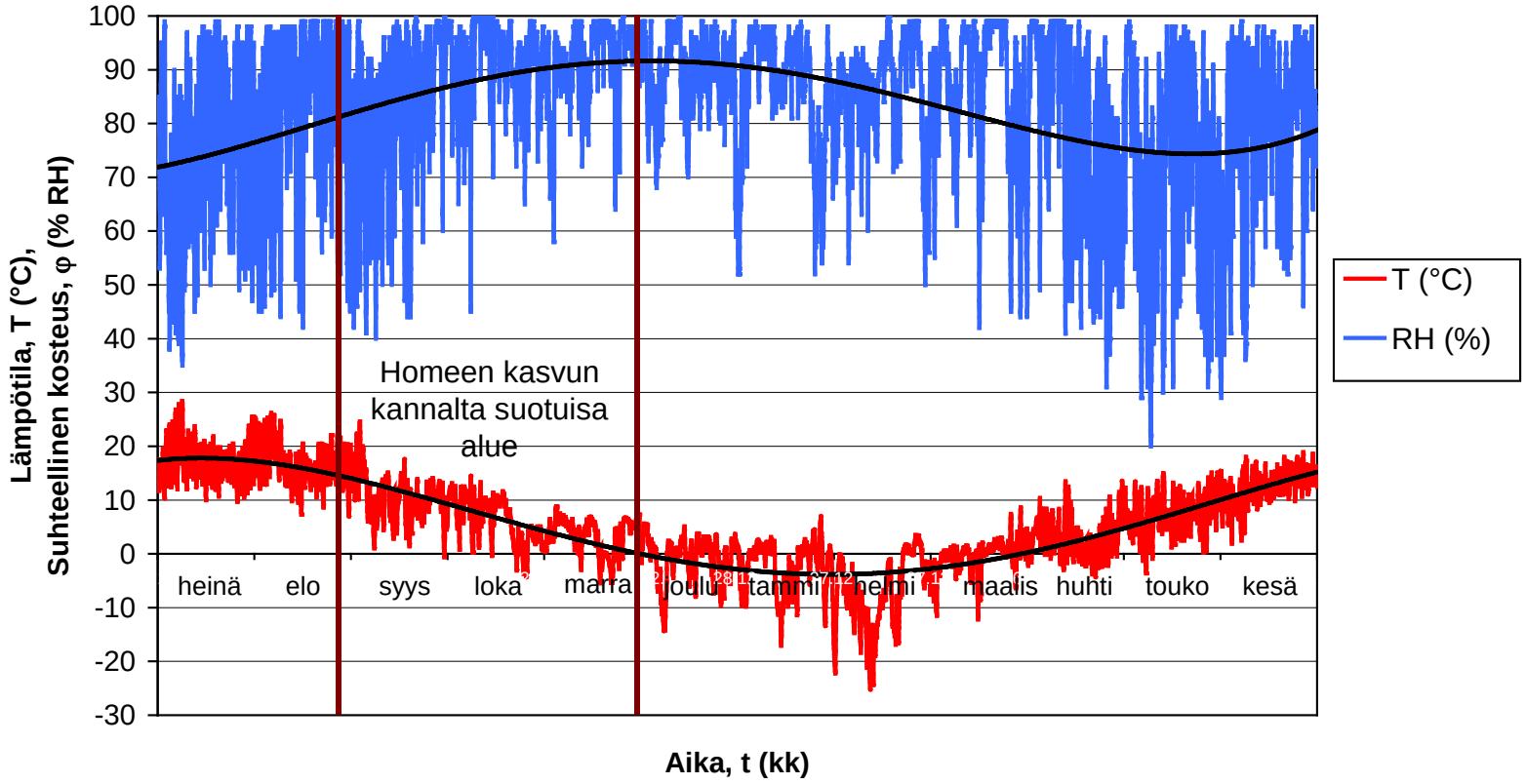
SISÄILMAN KOSTEUSLISÄN MITOITUSARVOT



COMBI-hankkeen tutkimustulosten mukaan kouluissa ja päiväkodeissa voidaan käyttää kosteuslisätarkasteluissa kosteusluokkaa 3.

Kosteusluokka	Kosteuslisän mitoitusarvo talvella (T ≤ 5 °C)	Rakennustyyppi [3, [4
1	> 5 g/m^3 [1	Kylpylät, uimahallit, laitoskeittiöt, pesulat, panimot, kirjapainot, kasvihuoneet, kostutetut tilat, ratsastusmaneesit, maatalouden tuotantorakennukset, eläinsuojat, teollisuuden kosteusrasitetut tilat
2	5 g/m^3	Asuinrakennukset, toimisto- ja liikerakennukset, hotellit ja majoitusrakennukset, ravintolat, kokoontumis- ja juhlatilat, opetusrakennukset ja päiväkodit, sairaalat ja hoitolaitokset, museot, liikuntahallit ja -tilat, jäähallit ja jäähdytetyt liikuntatilat [5, [6, kylmä- ja pakkashuoneet [5, [6, talviasuttavat vapaa-ajan asunnot
3	3 g/m^3 [2	Vapaa-ajan asunnot, puolilämpimät tai kylmillään olevat rakennukset, varastot ja säilytystilat, ajoneuvosuojat, tekniset tilat, väliaikaiset ja siirrettävät rakennukset

ESIMERKKI ULKOILMAN OLOSUHTEISTA JA HOMEEN KASVUN KANNALTA SUOTUISASTA AJANJAKSOSTA

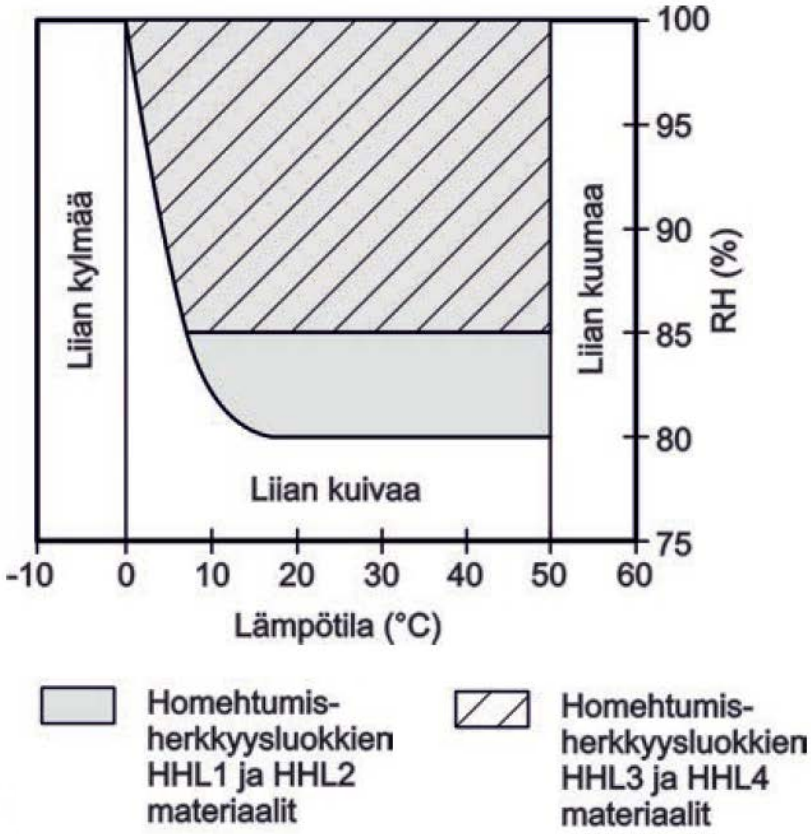


SUOMALAISEN HOMEMALLIN HOMEINDEKSILUOKITUS

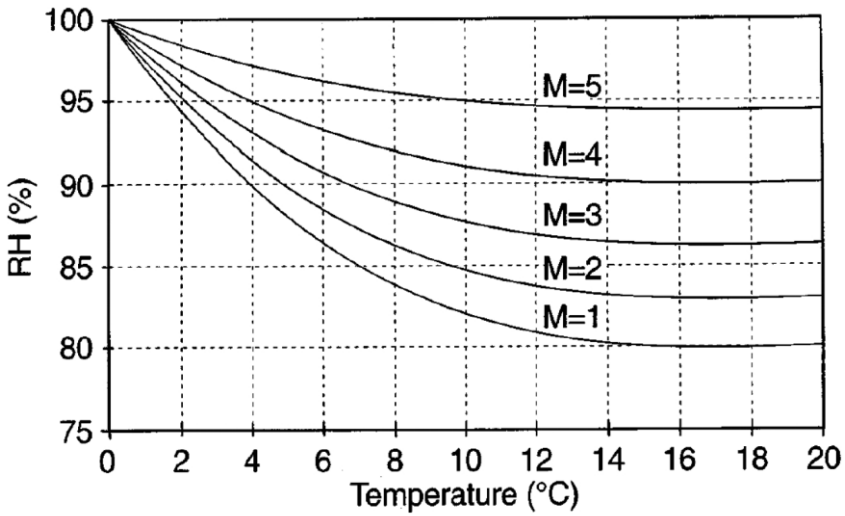
Home-indeksi M	Havaittu homekasvu	Huomautuksia
0	Ei kasvua	Pinta puhdas
1	Mikroskoopilla havaittava kasvu	Paikoin alkavaa kasvua, muutama rihma
2	Selvä mikroskoopilla havaittava kasvu	Homerihmasto peittää 10 % tutkittavasta alasta (mikroskoopilla), Useita rihmastopesäkkeitä muodostunut
3	Silmin havaittava kasvu Selvä mikroskoopilla havaittava kasvu	Alle 10 % peitto alasta (silmillä) Alle 50 % peitto alasta (mikroskoopilla) Uusia itiöitä alkaa muodostua
4	Selvä silmin havaittava kasvu Runsas mikroskoopilla havaittava kasvu	Yli 10 % peitto alasta (silmillä) Yli 50 % peitto alasta (mikroskoopilla)
5	Runsas silmin havaittava kasvu	Yli 50 % peitto alasta (silmillä)
6	Erittäin runsas kasvu	Lähes 100 % peitto, tiivis kasvusto

HOMEEN KASVULLE SUOTUISAT LÄMPÖTILA- JA RH-OLOSUHTEET

Homeen kasvun kannalta suotuisa lämpötila ja RH-alue:



Homeindeksi M eri lämpötila- ja RH-olosuhteissa luokassa HHL1:



RAKENNUSMATERIAALIEN JAKAUTUMINEN ERI HOMEHTUMISHERKKYYSLUOKKIIN SUOMALAISESSA HOMEMALLISSA

Homehtumis-herkkyysluokka	Rakennusmateriaalit
Hyvin herkkä HHL1	karkeasahattu ja mitallistettu puutavara (mänty ja kuusi), höylätty mänty
Herkkä HHL2	höylätty kuusi, paperipohjaiset tuotteet ja kalvot, puupohjaiset levyt, kipsilevy
Kohtalaisen kestävä HHL3	mineraalivillat, muovipohjaiset materiaalit, kevytbetoni, kevytsorabetoni, karbonatisoitunut vanha betoni, sementtipohjaiset tuotteet, tiilet
Kestävä HHL4	lasi ja metallit, alkalinen uusi betoni, tehokkaita homesuoja-aineita sisältävät materiaalit

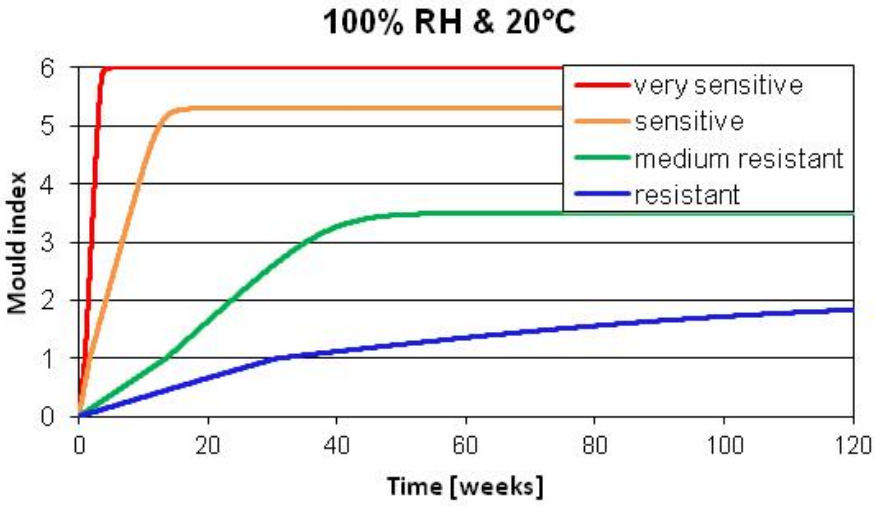
- Joidenkin yllä olevassa taulukossa esitettyjen materiaalien, kuten esim. erilaisten muovipohjaisten materiaalien ja tiilien kuulumista esitettyyn homehtumisherkkyysluokkaan ei ole varmistettu kokeiden avulla.
- Jotkut materiaalit voivat kuulua myös kahteen eri homehtumisherkkyys-luokkaan, kuten kevytbetoni, jossa homehtuminen lähtee liikkeelle luokan HHL2 mukaan, mutta homehtuminen jää luokan HHL3 tasolle.

HOMEEN TAANTUMALUOKAT ERI HOMEHTUMIS-HERKKYYSLUOKKIEN MATERIAALEILLA

Homehtumis-herkkyysluokka	Homeen taantumaluokka	Taantumakerroin C_d
Hyvin herkkä HHL1	Merkittävä taantuma HTL2	0,5
Herkkä HHL2	Kohtalainen taantuma HTL3	0,25
Kohtalaisen kestävä HHL3	Vähäinen taantuma HTL4	0,1
Kestävä HHL4	Vähäinen taantuma HTL4	0,1

- Homeen taantuman voimakkuuden määrittäminen eri materiaaleilla vaatii edelleen tarkentamista. Yleissääntö on, että **mitä voimakkaampaa homeen kasvu on suotuissa olosuhteissa sitä voimakkaampaa on myös homeen taantuma epäsuotuisissa olosuhteissa**. Materiaalikohtaisesti tässä voi esiintyä kuitenkin vaihtelua

SUOMALAISEN HOMEMALLIN HOMEHTUMISHERKKYYSLUOKAT (HHL)



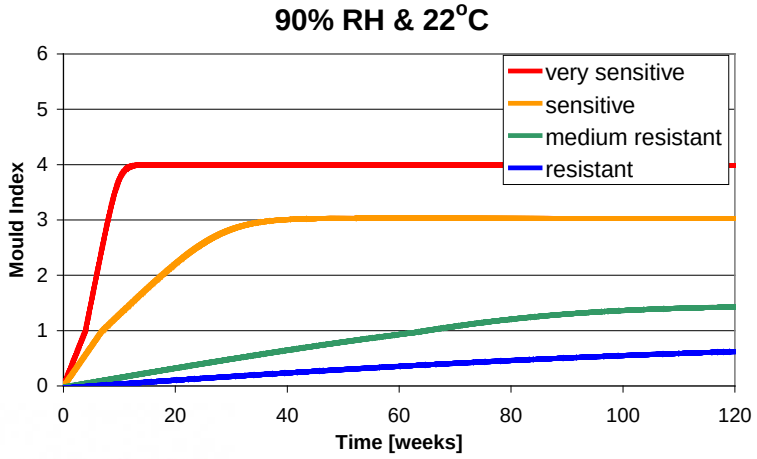
Maksimiarvot:

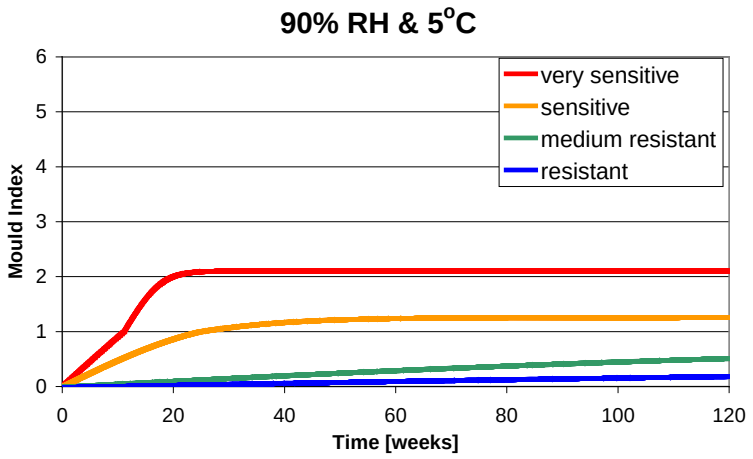
HHL 1: **6,0**

HHL 2: **5,3**

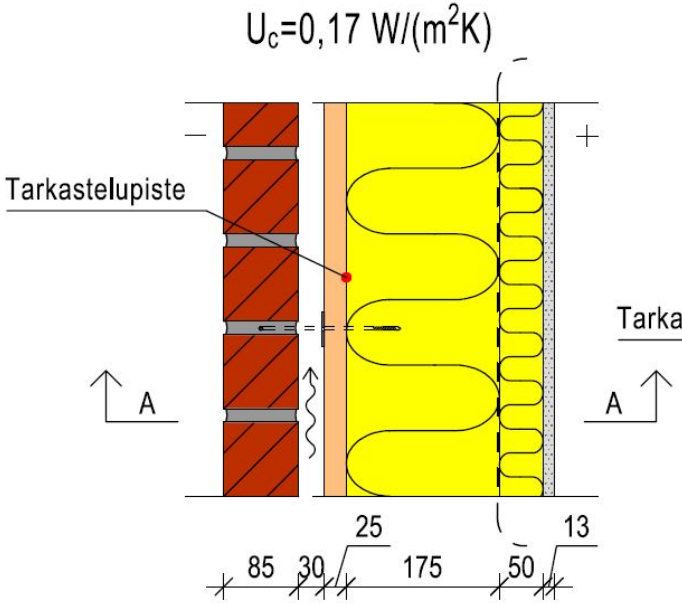
HHL 3: **3,5**

HHL 4: **2,0**

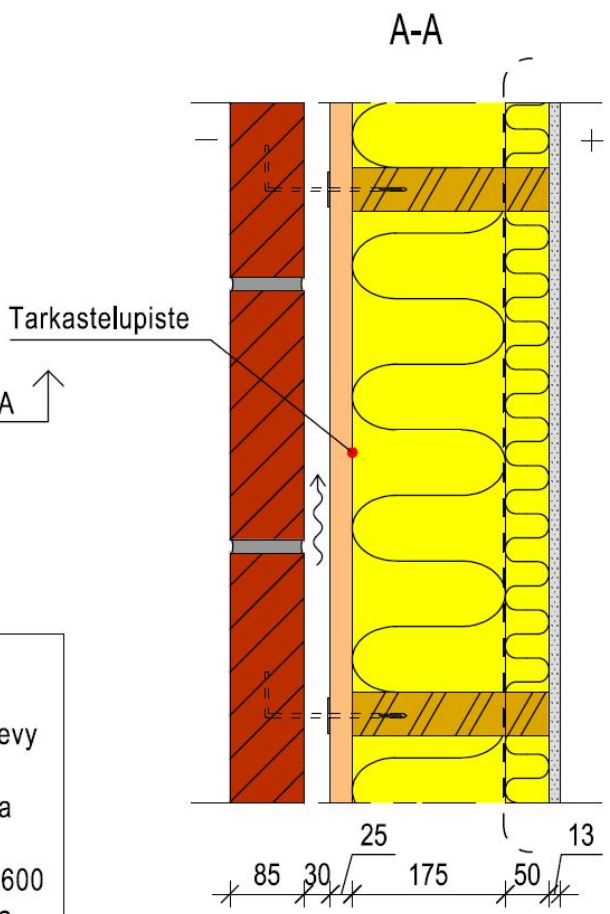




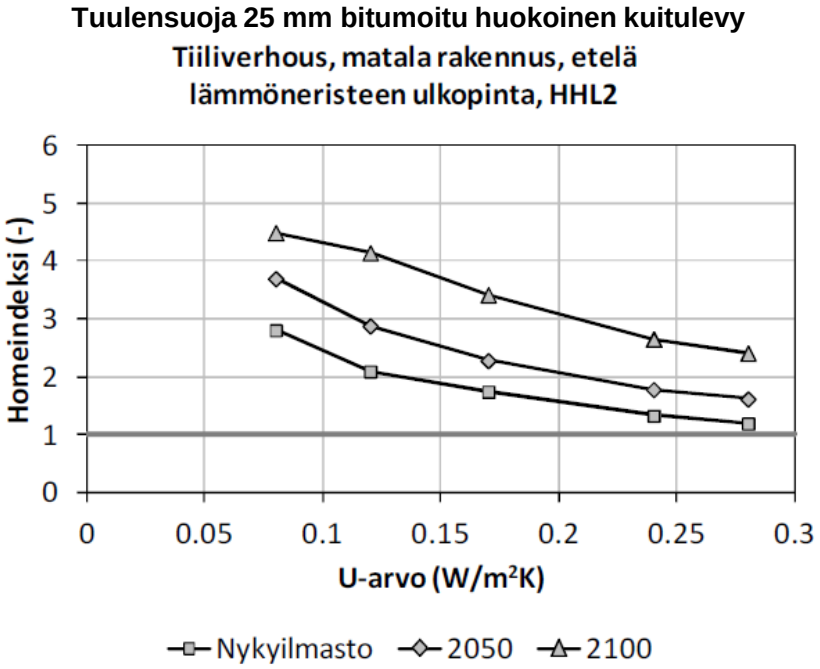
ESIMERKKI HOMEINDEKSIN MUUTTUMISESTA TIILIVERHOTUSSA PUURUNKOSEINÄSSÄ



85 mm	Tiiliverhous
30 mm	Ilmarako
25 mm	Tuulensuojapuukuitulevy
175 mm	Runko 50x175 k600 rankaväleissä min.villa
0,2 mm	Höyrynsulkumuovi
50 mm	Pystykoolaus 50x50 k600 rankaväleissä min.villa
13 mm	Kipsilevy



ESIMERKKI HOMEHTUMISRISKIN MUUTTUMISESTA TIILIVERHOTUSSA PUURANKASEINÄSSÄ



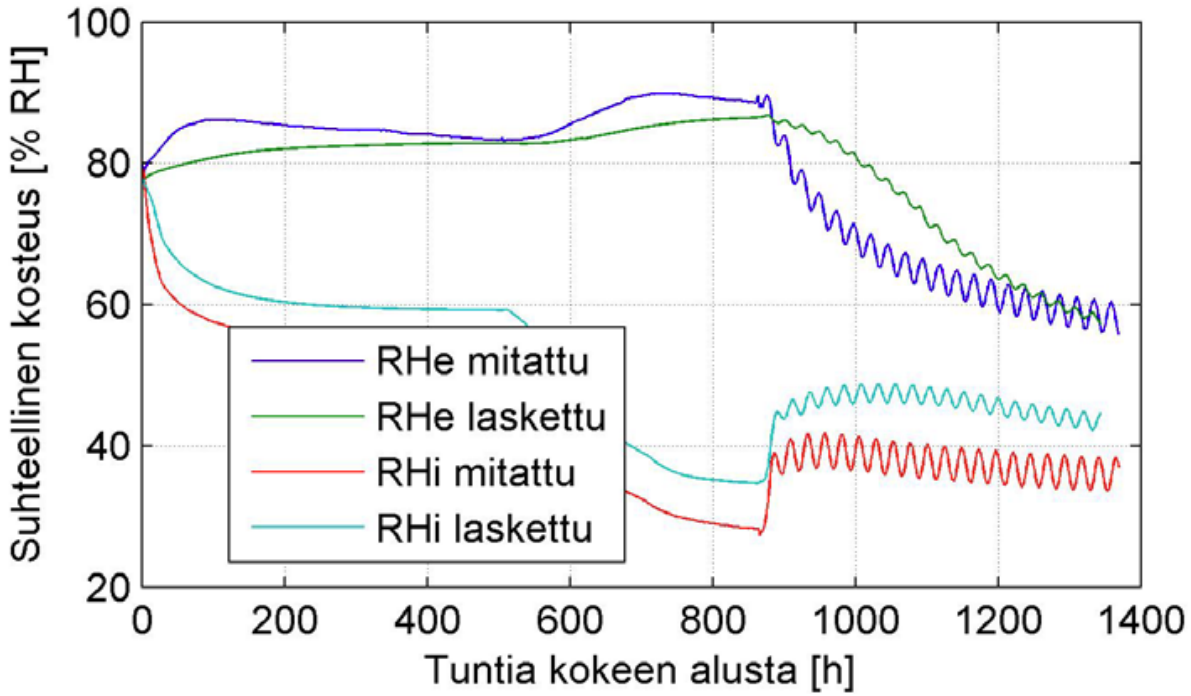
Jokioisissa v. 2015 mitatut ulkoilman olosuhteet osoittautuivat jo yhtä kriittisiksi kuin aiemmin määritetyt v. 2050 tulevaisuuden ilmaston olosuhteet.

→ **Ilmastonmuutos on lisännyt rakenteiden homehtumisriskiä paljon oletettua nopeammin.**

- Useiden nykyisten rakenneratkaisujen kosteustekninen toiminta heikkenee sekä **ilmastonmuutoksen** että **lämmöneristyksen lisäyksen** vaikutuksesta, **vaikka ne toteutettaisiin ilman virheitä.**
- Näiden tekijöiden keskinäinen merkitys riippuu tarkasteltavasta rakenteesta.
- **Virheellisesti toteutettujen rakenteiden toiminta heikkenee vielä lisää.**
- Kostean sisäilman virtaaminen rakenteisiin ylipaineen vaikutuksesta heikentää rakenteiden toimintaa oleellisesti.
- Puurakenteiden kosteusteknistä toimintaa saadaan parannettua laittamalla lisää lämmöneristettä kantavan rungon ulkopuolelle.

TODELLISTEN JA LASKENNALLISTEN TULOSTEN VÄLISET EROT

Suhteellinen kosteus puurunkoisessa ulkoseinässä lämmöneristeen sisä- ja ulkopinnassa (mitattu ja laskettu lämpötila lähellä toisiaan)



Kosteusolosuhteet muuttuvat laskennassa tyypillisesti hitaammin kuin todellisuudessa.

VAIPAN ILMATIIVIYS

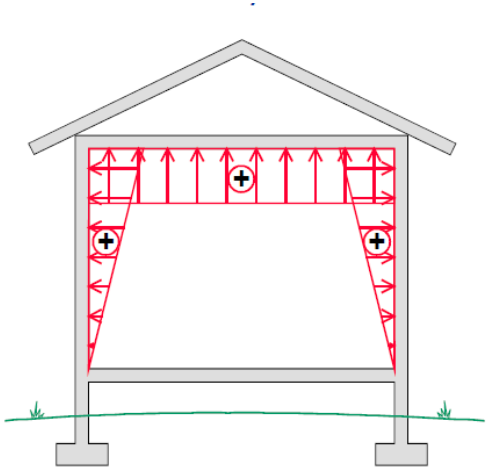
Vaipan ilmatiiviyden parantamisella on paljon positiivisia vaikutuksia.
Hyvä ilmatiiviys on keskeinen edellytys energiatehokkaalle rakentamiselle.

1) Kosteuden virtaus vaipparakenteisiin vähenee.
2) Erilaisten haitallisten aineiden ja mikrobien virtaus sisäilmaan vähenee.
3) Vaipparakenteiden sisäpinnat eivät jäähdy ulkoa tulevien ilmavirtausten seurauksena.
4) Rakennuksen energiankulutus vähenee ilmanvaihdon tapahtuessa LTO:n kautta.
5) Rakennuksen käyttäjien kokema vedon tunne vähenee.

- Riittävän ilmanvaihdon takaaminen on ensiarvoisen tärkeää!
- Ilmanvaihdon ja tavoiteltujen painesuhteiden säätäminen vaikeutuu rakennus-vaipan ollessa hyvin ilmatiivis (erityisesti, kun $q_{50} < 0{,}5$ $m^3/(m^2h)$).
- Tulo- ja poistoilmavirtojen säätäminen lähelle tasapainotilannetta on erittäin tärkeää, jotta vaipan yli ei synny suuria paine-eroja!
- Sisä- ja ulkoilman välisiä paine-eroja tulee mitata ilmanvaihdon säädön yhteydessä kaikilla ilmanvaihdon säätöasennoilla.

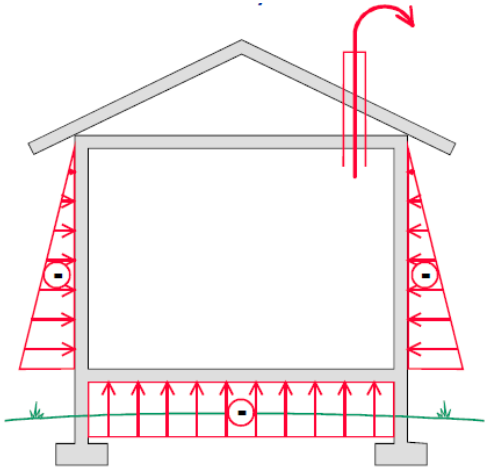
RAKENNUKSEN PAINE-EROT TALVITILANTEESSA
Lämpötilaerojen ja ilmanvaihdon vaikutus

1. Ylipaine sisällä



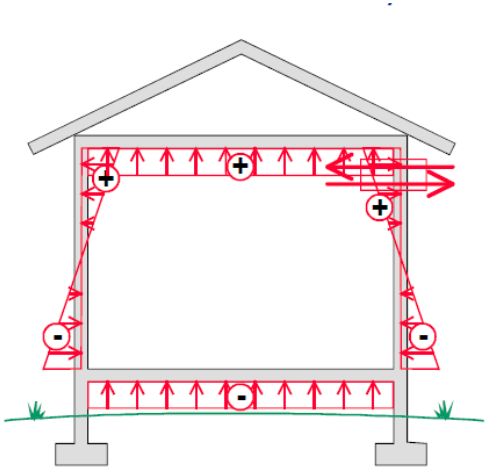
- Paine-erojakauma syntyy, jos tuloilmanvaihto on suurempi kuin poistoilmanvaihto.
- Rakennuksen ilmavuodot lisäävät energiankulutusta.
- **Sisäilman kosteus virtaa rakenteisiin rakennuksen yläosasta.**
- Mikrobien ja radonin virtaus sisälle on vähäistä.

2. Alipaine sisällä (koneellinen poisto)



- Vuotokohdat toimivat korvausilmakanavina.
- Tyynellä säällä ilmavuodot eivät aiheuta lisäenergiankulutusta, mutta vetovalitukset lisääntyvät.
- Sisäilman kosteuslisä ei aiheuta yleensä haittaa rakenteille.
- **Suuri riski alapohjasta tuleville mikrobeille ja radonille.**

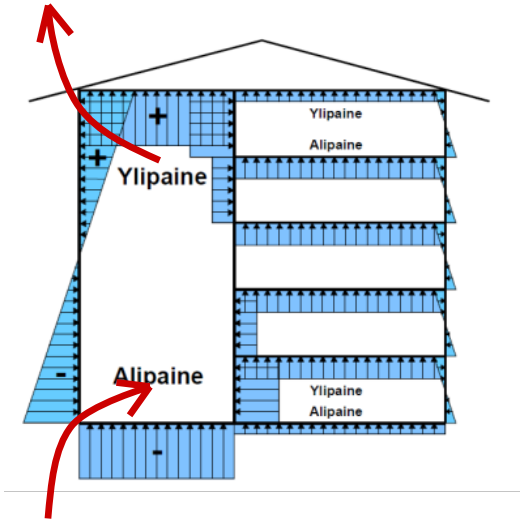
3. Tasapainotettu ilmanvaihto (koneellinen tulo-poisto)



- Rakennuksen ilmavuodot lisäävät energiankulutusta.
- Sisäilman kosteus virtaa rakenteisiin rakennuksen yläosasta.
- Vedontunne ja radonriski rakennuksen alaosassa.
- Tiiviin vaipan kanssa tulo- ja poistoilmavirtojen **tulee olla lähes yhtä suuria.**

PAINE-EROJEN VAIKUTUKSET JA HALLINTA TIIVIIN VAIPAN KANSSA

Kosteutta rakenteisiin

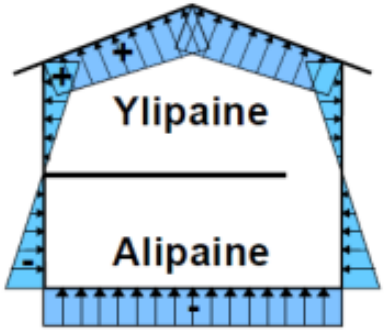


Haitallisia aineita sisäilmaan

- Täysin tiiviiseen vaippaan pyrkiminen voi nostaa ilmanvaihdon synnyttämät paine-erot suuriksi ja syntyy ongelmia niihin vuotokohtiin, joita vaippaan aina jää.
- **Ilmanvaihto tulee säätää oikein!**
  Tavoitteena tulisi olla keskimäärin lähes paine-eroton tilanne rakennuksen vaipan yli (0…-5 Pa).
- Ilmanvaihdon toimintaan on kiinnitettävä suurta huomiota (seuranta- ja hälytyslaitteet, suodattimien vaihto, sulatusjaksot, automaattisesti säätyvät järjestelmät)
- **Vaipan hyvä ilmatiiviys (q_{50} = 0,5–1,0 $m^3/(m^2h)$) on riittävä.**

Ilmanvaihdon säätö	Paine-ero (Pa)		
	n_{50} = 0,15 1/h	n_{50} = 4,0 1/h	n_{50} = 10,0 1/h
Tasapainotettu ilmanvaihto	-7…+4	-6…+4	-6…+4
15 % vähemmän tuloilmaa	**-33…-22**	-7…+4	-6…+4
15 % enemmän tuloilmaa	**+15…+26**	-6…+5	-5…+4

PAINE-EROJEN VAIKUTUKSET JA HALLINTA KORJAUSKOHTEISSA

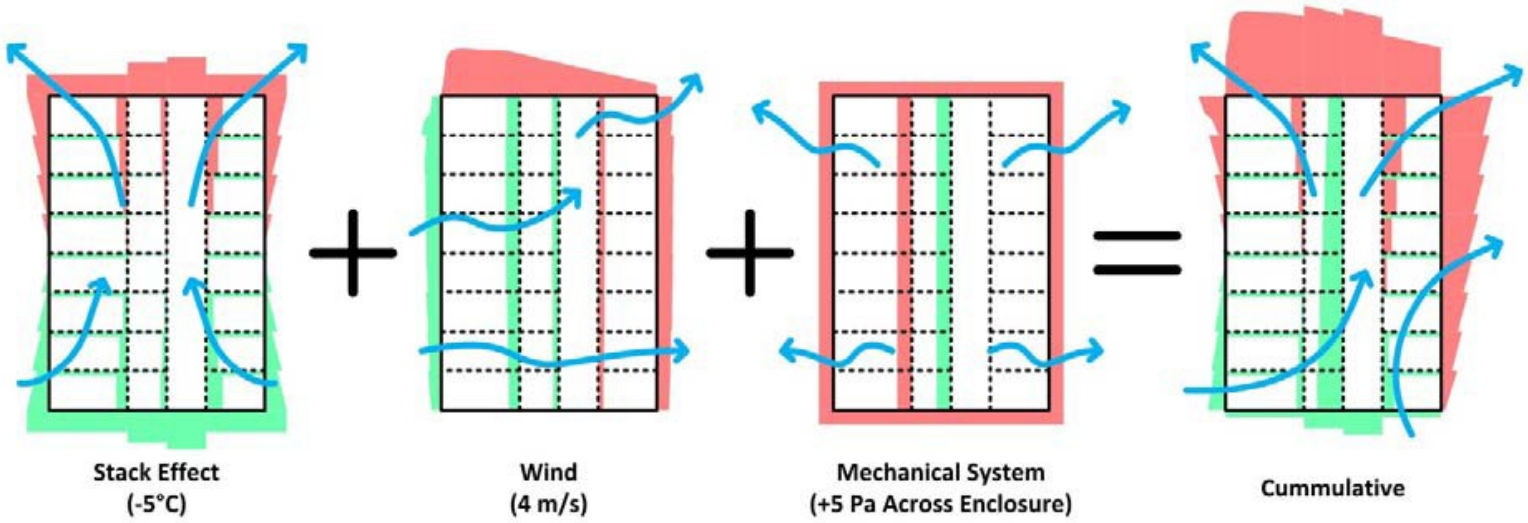


Tehokkaasta ilmanvaihdosta ei ole tavoiteltua hyötyä, jos ilmaa otetaan rakennukseen vääristä paikoista!

- Vaihdettaessa LTO:lla varustettu koneellinen ilmanvaihto painovoimaisen tilalle alipaine rakennusvaipan yli tyypillisesti kasvaa – ainakin ajoittain.
- Jos vaipassa on homevaurioita, mikrobit ja niiden aineenvaihduntatuotteet pääsevät helpommin sisäilmaan, ellei **rakennusvaippaa korjata ja/tai tiivistetä** korjauksen yhteydessä. **Käytännössä tiivistysten tekeminen luotettavasti on osoittautunut hyvin haasteelliseksi!**
- Kouluissa ja päiväkodeissa pääilmanvaihto säädetään usein pienemmälle poissaoloaikoina. **Likaisten tilojen kohdepoistot jäävät kuitenkin päälle, jolloin alipaine sisällä kasvaa ja voi aiheuttaa saman ongelman.**
  - → Sisäilman laadun kannalta ongelmana ei usein olekaan ilmanvaihdon vähäisyys, vaan **liiallinen alipaine** ja ilmaa vuotavat vaurioituneet rakenteet sekä likaiset korvausilmareitit.
- **Ilmanvaihto on erittäin tärkeää säätää oikein myös näissä tapauksessa! Ei suurta yli- tai alipainetta sisälle!**
- **Tasapainotetun ilmanvaihdon käyttöönotto edellyttäisi myös lisää tutkimusta ylipaineen vaikutuksista!**

KORKEA RAKENTAMINEN – PAINE-EROJEN HALLINTA

Esimerkki paine-erojen syntymisestä vaipan yli korkeassa rakennuksessa lämpötila-erojen, tuulen ja ilmanvaihdon yhteisvaikutuksesta

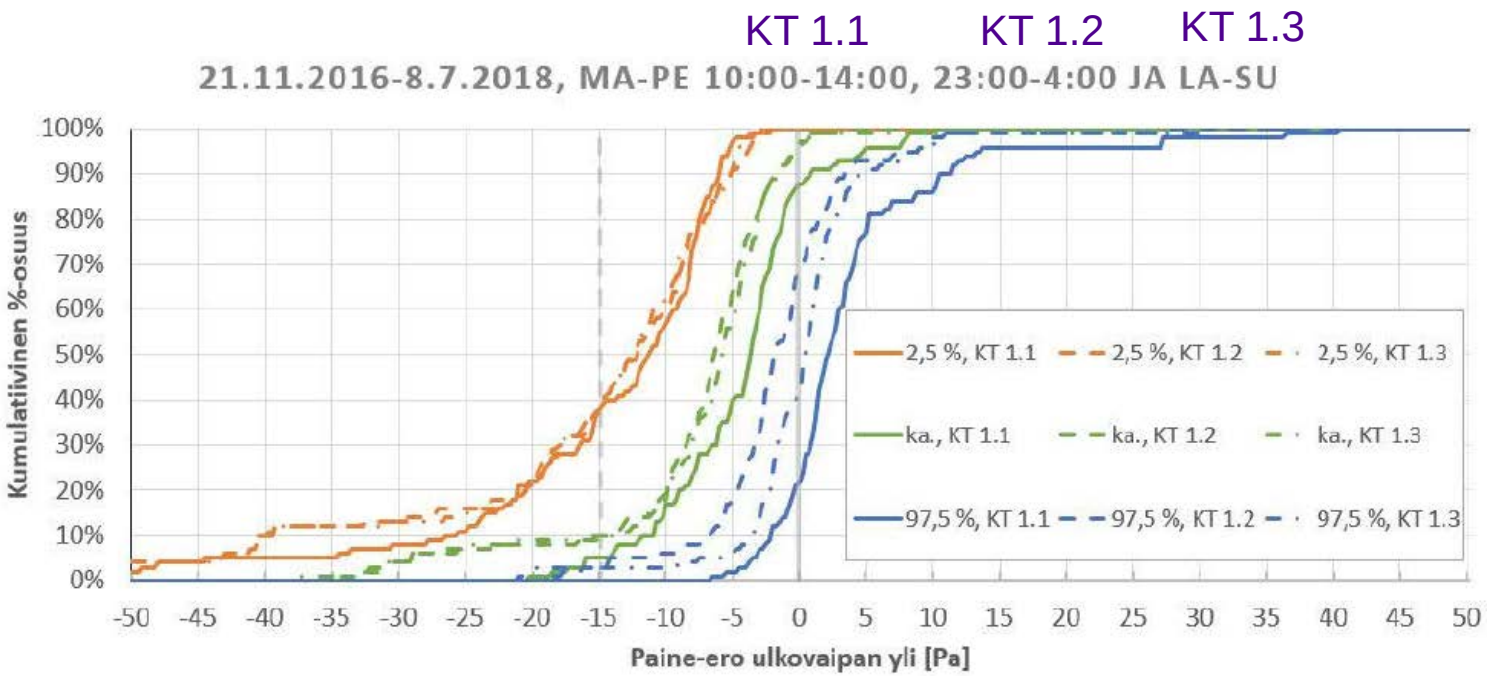


Rakennuksen korkeus	Lämpötilaeroista syntyvä yli-/alipaine porraskuilun ylä-/alaosassa, ΔT = 30 °C
10 m	n. 6 Pa
50 m	n. 30 Pa
100 m	n. 65 Pa
200 m	n. 130 Pa

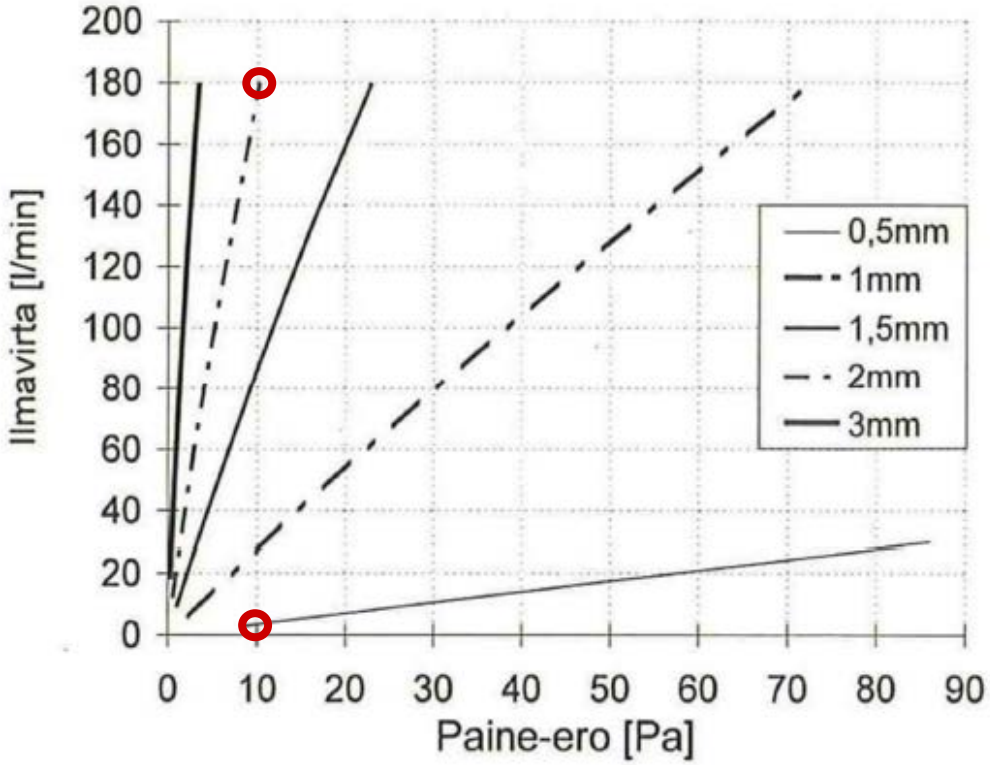
Tuulen vaikutus voi lisätä vaipan yli vallitsevaa ylipainetta merkittävästi korkeissa rakennuksissa.

RAKENTEIDEN YLI VALLITSEVAT PAINE-EROT

COMBI-tutkimuksen tulokset 12 uudis- ja 12 korjauskohteesta (koulut ja päiväkodit)



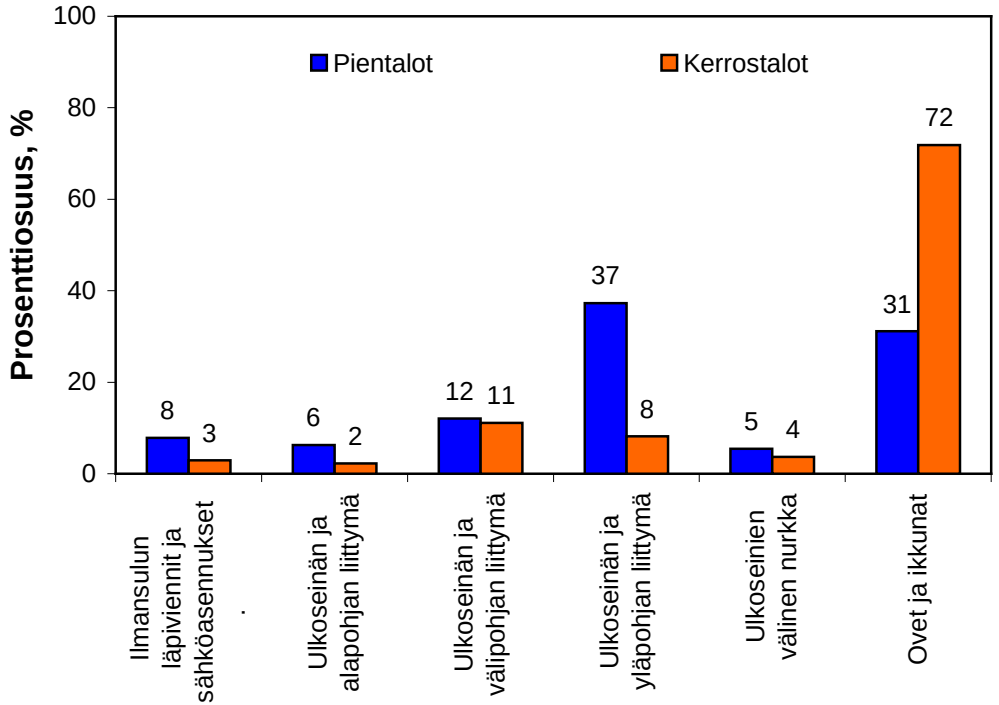
ERI LEVYISTEN RAKOJEN LÄPI VIRTAAVA ILMAN TILAVUUSVIRTA PAINE-ERON FUNKTIONA



Kuva: Ympäristöopas 28. 1997

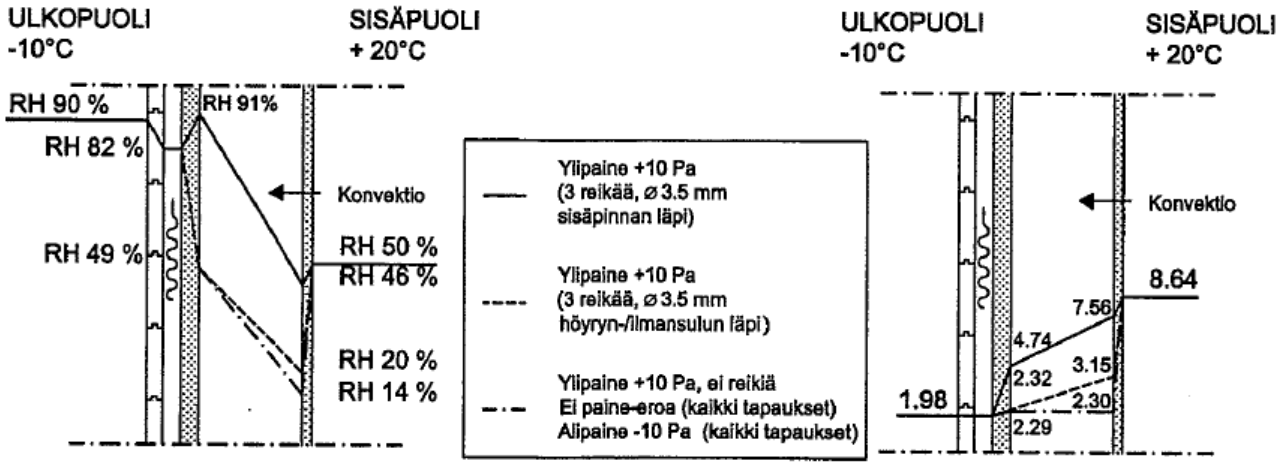
Raon leveyden ja paine-eron lisääntyessä ilman tilavuusvirta rakenteen läpi kasvaa voimakkaasti!

VUOTOKOHTIEN SIJAINTI TTY:N JA TKK:N ASUINRAKENNUSTUTKIMUKSISSA pientalot ja kerrostalot



- Pääasialliset ilmavuotokohdat pientaloissa olivat:
  - ulkoseinän ja yläpohjan liitoksissa
  - ovien ja ikkunoiden liitoksissa sekä itse ovissa ja ikkunoissa (jakauma ~ 50% / 50%)
  - puurunkoisen ulkoseinän ja välipohjan liitoksissa
- Kerrostaloissa ilmavuodot keskittyivät ovien ja ikkunoiden liitoksiin sekä itse oviin ja ikkunoihin (jakauma ~ 50% / 50%).

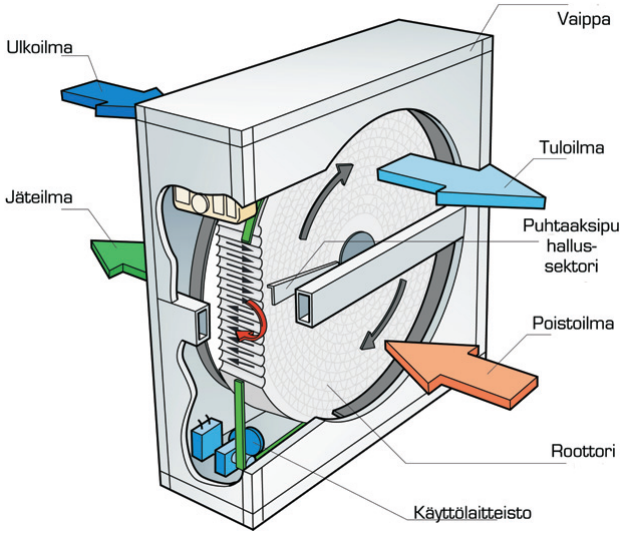
ESIMERKKI YLIPAINEEN VAIKUTUKSESTA
Puurunkoinen ulkoseinä

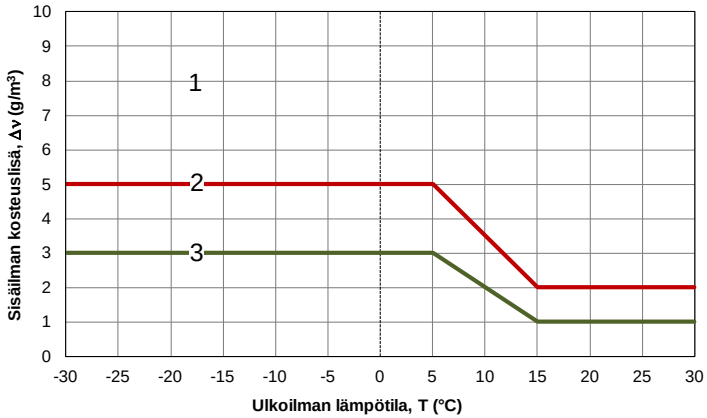


- Sisäilman kosteuslisä oli n. 6,7 g/m^3.
- Mineraalivillaseinä: mineraalivillatuulensuoja 30 mm, lämmöneriste 145 mm ja muovikalvo
- Puukuitueristeseinä: tuulensuoja huokoinen kuitulevy 25 mm, puukuitueriste 145 mm, mineraalivillalämmöneriste ja höyrynsulkuna muovikalvo.
- Mineraalivillaseinässä suhteellinen kosteus nousi korkealle tasolle **n. 1 vrk:n** kuluessa 10 Pa ylipaineen vaikutuksesta.
- Puukuitueristeseinässä sama asia tapahtui **n. 10 vrk** kuluttua.

→ kosteutta sitovat materiaalit vähentävät ajoittaisen ylipaineen haitallisia vaikutuksia, mutta jatkuvassa ylipainetilanteessa niiden hyöty on vähäinen.

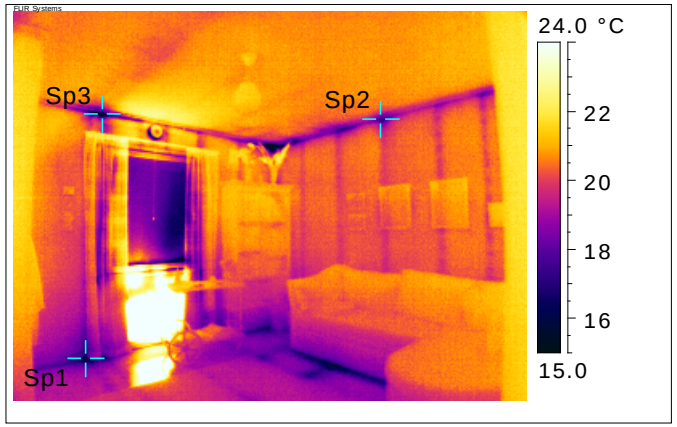
PYÖRIVÄKENNOISEN LÄMMÖNTALTEENOTTOLAITTEEN VAIKUTUKSET

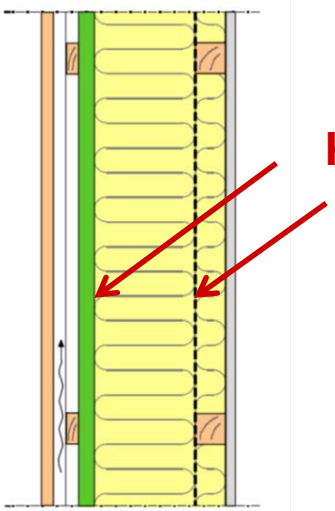




- Pyöriväkennoisella LTO-laitteella ilmanvaihdon energiankulutusta saadaan pienennettyä tehokkaimmin.
- Tämä LTO-laite palauttaa kuitenkin myös osan sisäilman kosteudesta takaisin sisäilmaan – tyypistä riippuen enemmän tai vähemmän.
- Talviaikana tällä lisäkosteudella on positiivinen vaikutus sisäilman olosuhteisiin (talvella sisäilma on usein liian kuivaa)
- **Rakenteille voi kuitenkin syntyä ongelmia liiallisesta kosteuslisästä mm. paine-eroista johtuen.**
- Sisäilman suhteellinen kosteus voi nousta varsinkin silloin, jos järjestelmän asentamisessa/ toiminnassa on puutteita.
- Ylipainetilanteissa kosteusriskit rakenteissa kasvavat.

SUUREN SISÄILMAN KOSTEUSLISÄN AIHEUTTAMAT HAITAT RAKENTEILLE

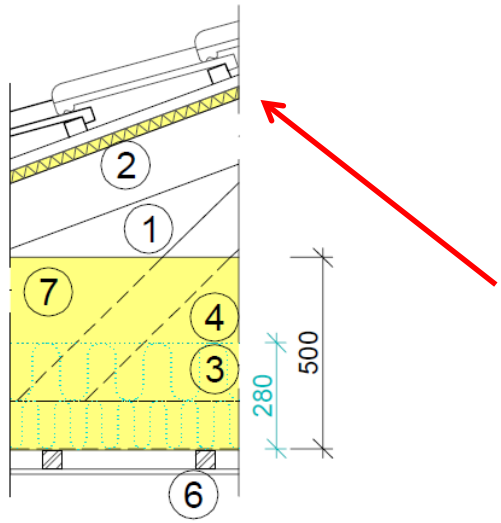




Kriittiset kohdat

- Sisätilan ollessa ylipaineinen kosteutta virtaa ilmavuotokohdista enemmän rakenteisiin.
- Sisätilan ollessa alipaineinen sisäpinnan lämpötila voi alentua ilmavuotokohdassa niin paljon, että niihin syntyy homeen kasvulle otollisia olosuhteita.
- Ilmansulut, joissa on pieni vesihöyrynvastus, voivat päästää liikaa kosteutta rakenteisiin.
- Rakenteissa, joissa höyrynsulku on laitettu 50 mm syvyyteen rakenteen sisäpinnasta, voi syntyä kosteusongelmia höyrynsulun sisäpinnassa.
- Kosteutta tiivistyy ikkunoihin ja valuu puitteisiin.

PUURAKENTEINEN TUULETETTU YLÄPOHJA



Kuva: Hedtec Oy, Olosuhdevahti

- Lämmöneristyksen lisäys puurakenteiseen yläpohjaan alentaa tuuletustilan lämpötilaa.
  → Kosteuden kondensoituminen ja homeen kasvulle otolliset olosuhteet lisääntyvät ja vikasietoisuus heikkenee.
- Uusissa rakennuksissa tuuletustilan kosteusteknistä toimintaa voidaan parantaa **lämpöä eristävällä aluskatteella** (lämmönvastus 0,5–1,0 m^2K/W, esim. XPS 20-40 mm).
- Vinoissa yläpohjissa lämmöneristys toteutetaan puupalkkien yläpuolelle laitettavalla tuulensuojalla.
- Myös **hygroskooppisten materiaalien**, kuten puukuitueristeen, käyttö lämmöneristeenä parantaa tuuletustilan kosteusteknistä toimintaa.
- Yläpohjan tuuletuksessa suositeltava ilmanvaihtokerroin on 0,5–1,0 1/h.
- **Yläpohjan ilmatiiviys on erittäin tärkeä.** Vanhoissa rakennuksissa yläpohja on pyrittävä saamaan ilmatiiviiksi aina, kun lämmöneristystä lisätään.
- Tarvittaessa yläpohjaa voidaan myös esimerkiksi **lämmittää.**

Tuuletetuissa yläpohjissa on havaittu paljon kosteus- ja homeongelmia Etelä-Ruotsissa.

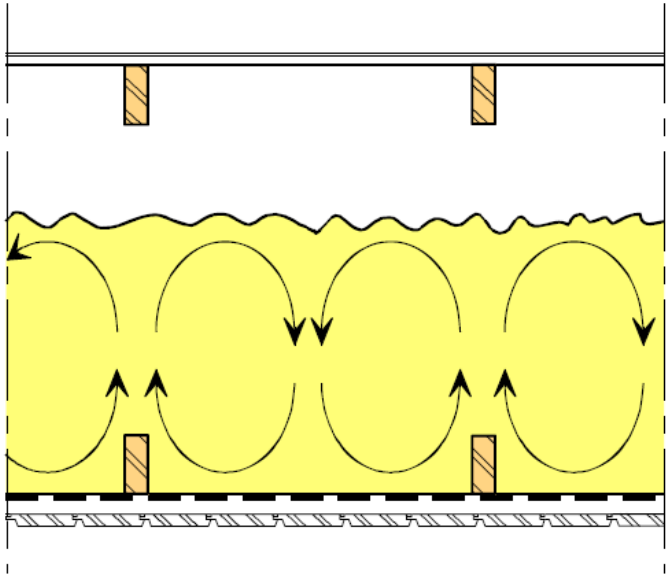
PAKSUJEN PUHALLUSERISTEIDEN PAINUMINEN KATTORISTIKOILLA TOTEUTETUSSA YLÄPOHJASSA

Kuva: Lasse Laulainen, Läsät

Kuva: Lasse Laulainen, Läsät

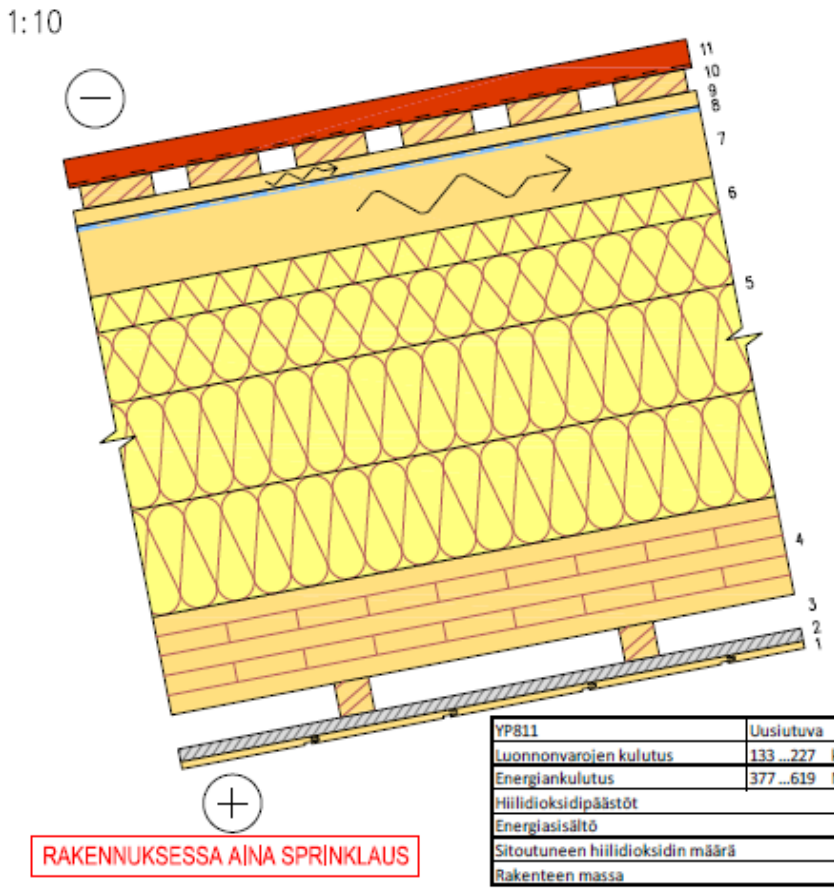
- Paksut puhalluseristeet painuvat merkittävästi ajan kuluessa, jolloin kattoristikoiden vinosauvojen alle muodostuu ilmatunneleita.
- Jos yläpohjan höyrynsulussa on reikiä, ilmavirtaukset keskittyvät näiden ilmatunneleiden kohdalle.
- Ylipainetilanteessa sisältä ulos virtaavaa kosteutta voi tiivistyä ja jäätyä lämmöneristeen yläosaan vinosauvojen pintaan. Jään sulaessa vesi valuu lämmöneristekerrokseen.
- Myös homeen kasvulle otolliset olosuhteet lisääntyvät vinosauvojen yläosassa.
- Alipainetilanteessa homeen kasvulle otollisia olosuhteita voi esiintyä myös höyrynsulun sisäpinnassa ulkoa tulevan kylmän ilmavirran jäähdyttäessä höyrynsulkua.
- Lisäksi ilmatunnelit heikentävät yläpohjan lämmöneristystä.
- Puhalluseristeen painumaa voidaan vähentää **lisäämällä puhalluseristeen tiheyttä tai sidosaineita.** Onkaloiden muodostuminen voidaan estää myös **kiilamaisten lämmöneristyspalojen avulla.**

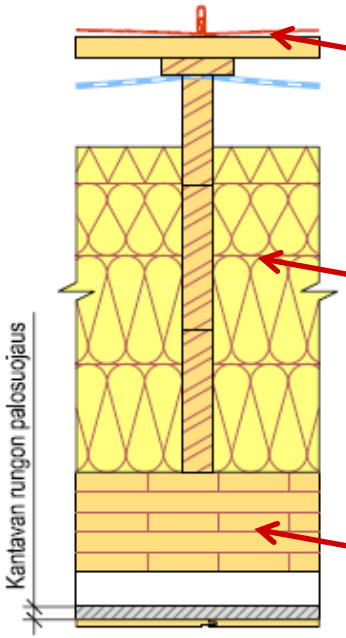
SISÄINEN KONVEKTIO YLÄPOHJIEN LÄMMÖNERISTEKERROKSESSA



- Yläpohjarakenteissa sisäinen konvektio voi lisätä paksujen (600 mm) puhalluseristeiden läpi siirtyvää **lämpövirtaa enimmillään jopa 30 - 50 %.** Lämmöneristepaksuutta lisättäessä konvektion suhteellinen osuus lisääntyy.
- Hyvin vesihöyryä läpäisevän tuulensuojan käyttö lämmöneristeen yläpinnassa ei vähennä sisäistä konvektiota puhalletussa lasivillaeristeessä. Puhalletussa puukuitueristeessä konvektio vähenee jonkin verran.
- 100 mm levyeristeen käyttö puhalletun lasivillaeristeen alapuolella vähentää sisäistä konvektiota.
- Sisäisen konvektion vaikutusta voidaan vähentää oleellisesti **pienentämällä puhalluseristeen ilmanläpäisevyyttä tai korvaamalla puhalluserite levyeristeellä.**
- Nykyiset U-arvon laskentaohjeet eivät ota sisäisen konvektion vaikutusta huomioon riittävästi yläpohjarakenteissa.

CLT-RAKENTEINEN YLÄPOHJA (Puuinfon rakennekirjasto)





Vesikatteen alle tulisi laittaa lämmöneristettä.

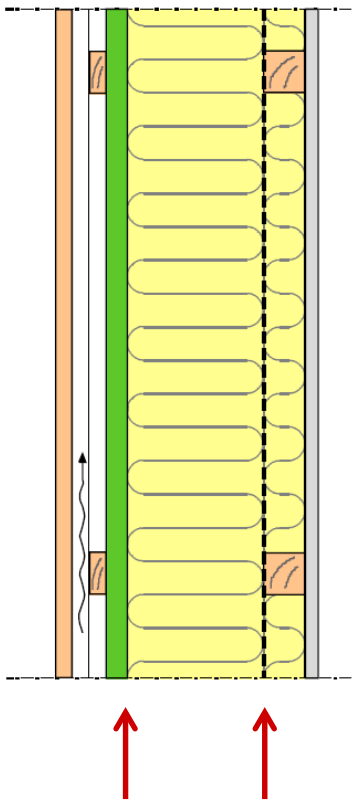
Levyvillojen käyttö vähentää sisäistä konvektiota merkittävästi.

CLT-elementti toimii ilman- ja höyrynsulkuna.

YP811	Uusiutuva	Uusiutumaton	Yhteensä
Luonnonvarojen kulutus	133 ...227 kg/m²	49 ...100 kg/m²	182 ...327 kg/m²
Energiankulutus	377 ...619 MJ/m²	900 ...1418 MJ/m²	1277 ...2037 MJ/m²
Hiilidioksidipäästöt			52 ...81 kg/m²
Energiasisältö			1851 ...3065 MJ/m²
Sitoutuneen hiilidioksidin määrä			158 ...261 kg/m²
Rakenteen massa			142 ...263 kg/m²

Kuvat: Puuinfo Oy

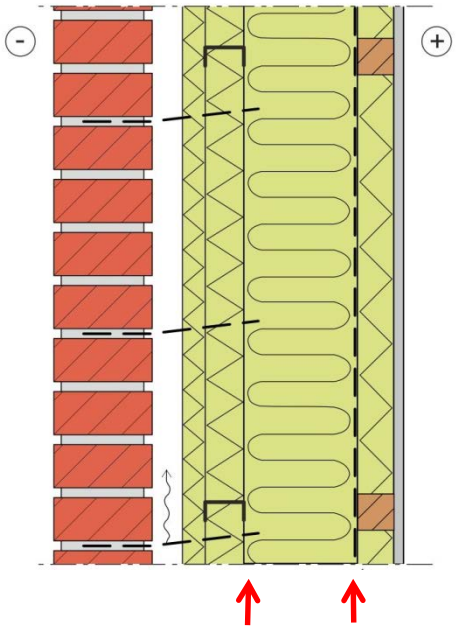
PUURANKARAKENTEINEN ULKOSEINÄ



Kriittiset kohdat

- Höyrynsulku on suositeltavaa asettaa **enintään n. 50 mm** syvyydelle seinän sisäpinnasta, **jotta sitä ei tarvitse rikkoa sähköasennuksien takia.**
- Vähintään 75 % lämmöneristeestä tulee olla kuitenkin höyrynsulun ulkopuolella.
- Lämmöneriste tulisi asentaa höyrynsulun sisäpuolelle vasta sitten, kun rakennusaikainen kosteus sisältä on kuivunut. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää pystykoolausta pystyrungon kohdalla.
- **Turvallisin ratkaisu on jättää lämmöneriste pois höyrynsulun sisäpuolelta.**
- Höyrynsulkukalvon tilalla voidaan käyttää esim. solumuovilevyä.
- Pehmeät lämmöneristeet on asennettava huolellisesti, jotta kulmiin ja liitoksiin ei synny ilman virtausreittejä.
- Puurungon ulkopuolelle tulisi laittaa **hyvin lämpöä eristävä tuulensuoja.** ($R \geq 0{,}4$ m^2K/W, esim. 25 mm huokoinen kuitulevy tai mineraalivillalevy). Jäykistävää tuulensuojalevyä käytettäessä laitetaan erillinen lämpöä eristävä tuulensuoja sen ulkopuolelle.
- Tuulensuojan on oltava hyvin vesihöyryä läpäisevä.
- Ulkoverhouksen takana on oltava aina **tuuletusväli.**

TIILIVERHOTTU PUURANKASEINÄ



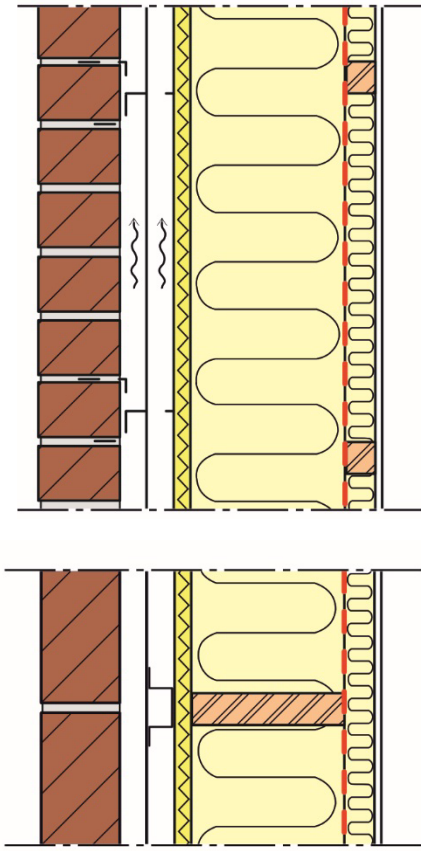
Kriittiset kohdat

Puiset apukarmit ja ikkunakarmit ovat riskialttiita kohtia myös kivirakenteisissa tiiliverhoilluissa rakenteissa!

- Tiiliverhotussa puurankaseinässä homehtumisriski rakenteen ulko-osissa on erityisen suuri, koska tiiliverhoukseen kerääntynyt kosteus siirtyy sisäänpäin diffuusiolla.
  - → **Tuulensuojan tulee olla erittäin hyvin lämpöä eristävä** (100 mm mineraalivillalevy) ja homehtumista kestävä. Vaihtoehtoisesti puurungon ulkopinnassa voidaan käyttää esim. teräsprofiilista tehtyä ristikoolausta.
  - → Vanhan rakenteen lisäeristäminen on hankalaa, koska korjaus pitäisi tehdä ulkopuolelta tiiliverhous purkamalla.
- Homehtumisriskiä voi esiintyä myös höyrynsulun sisä- ja ulkopuolella pystyrungon kohdalla, jos sisäpuolella on käytetty ristikoolausta.
- Höyrynsulkuna on suositeltavaa käyttää ns. **hygrokalvoa**, joka mahdollistaa rakenteen kuivumisen myös sisälle päin.
- **Tiiliverhouksen päällystäminen sadevedeltä suojaavalla pinnoitteella ei ole suositeltavaa, kun takana on puurunko**. Kaikkia halkeamia ei kyetä tukkimaan, jolloin vesi valuu tiiliverhouksen vuotokohtiin ja seurauksena voi olla puurungon lahovauriot rakenteen alaosassa tai tiilen pakkasrapautuminen vuotokohdissa.

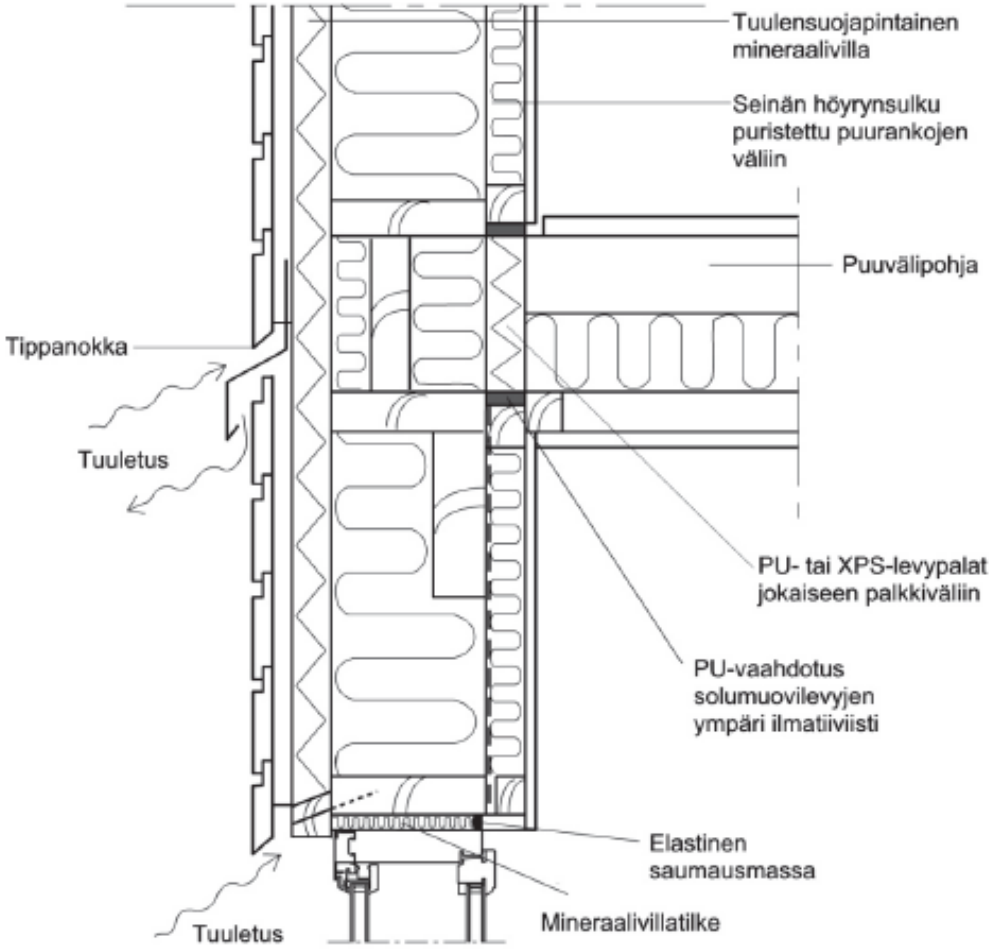
TIILIVERHOTTU PUURANKASEINÄ

Yli 10 m korkea seinä

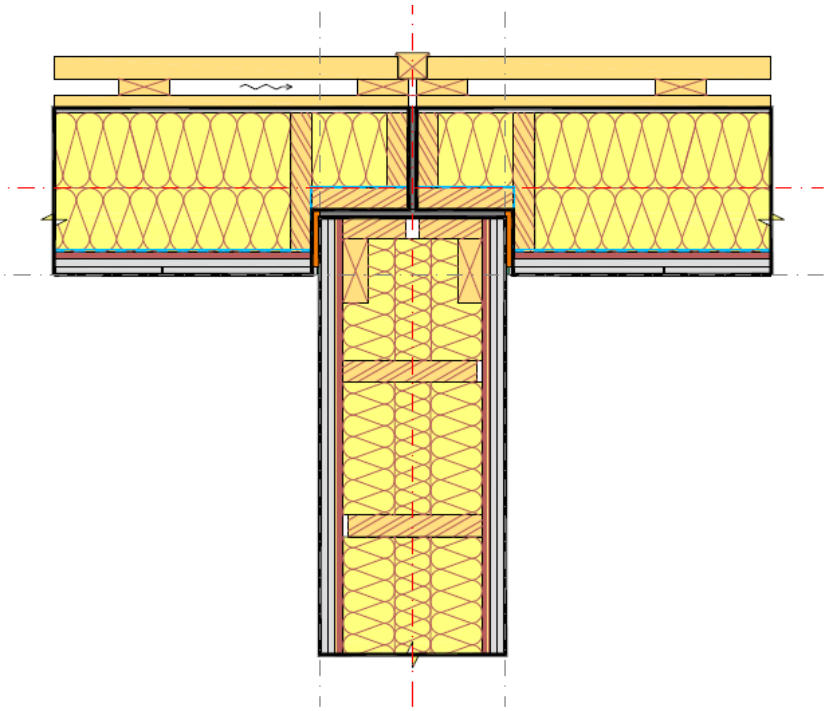


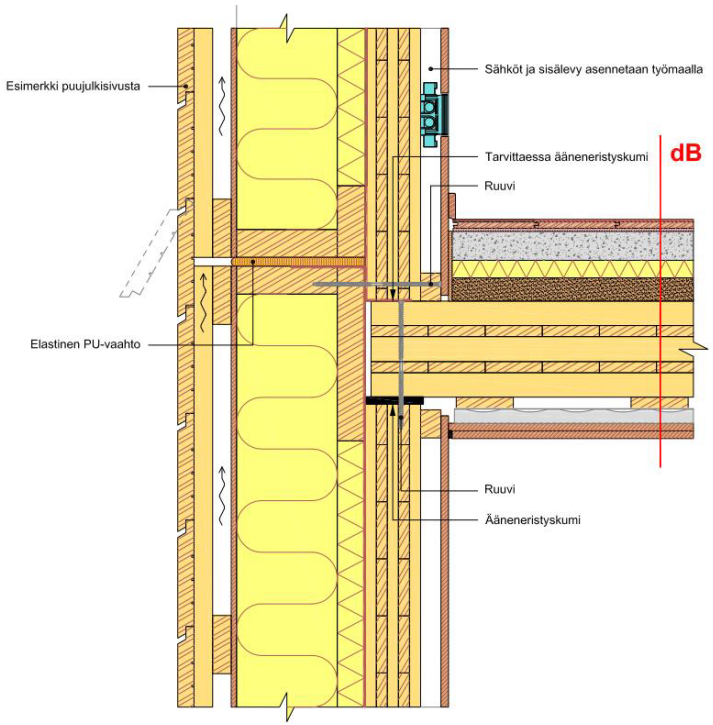
- Korkeissa tiiliverhotuissa ulkoseinissä tulee tiiliverhouksen taakse laittaa **kummaltakin puolelta tuuletettu höyrynsulkukerros**, esim. teräsohutlevy, joka estää vesihöyryn diffuusion sisemmälle rakenteeseen.
- Höyrynsulkukerros toimii samalla rakenteen rakennusaikaisena sadesuojana.
- Tällaista sadetakkirakennetta voidaan käyttää muunkin tyyppisten sadevettä läpi päästävien ulkoverhousten takana.
- Puurakenteen ulkopinnassa tulee olla myös tässä tapauksessa lämpöä eristävä tuulensuojalevy.

PUURAKENTEISEN ULKOSEINÄN JA VÄLIPOHJAN LIITOS



ULKOSEINÄN LIITOKSET VÄLISEINÄÄN JA VÄLIPOHJAAN (Puuinfon rakennekirjasto)

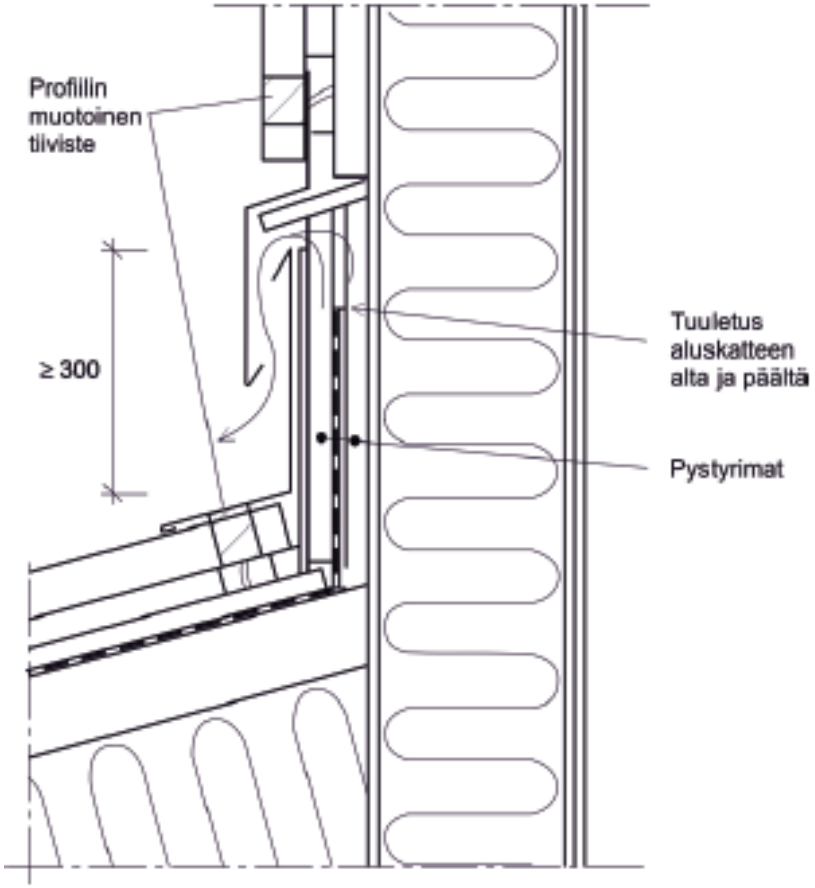




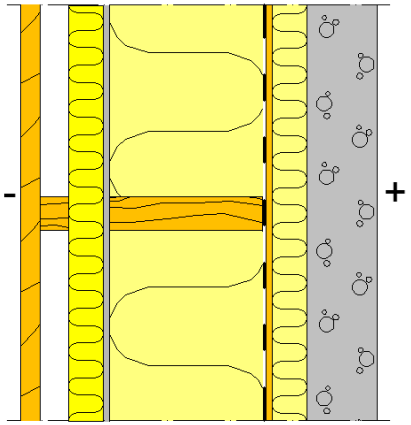
Lämpöä eristävä tuulensuoja puuttuu monesta ratkaisusta!

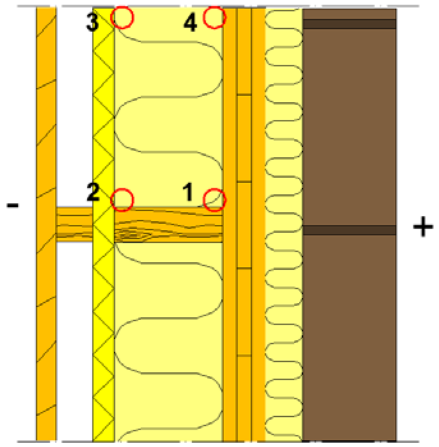
Kuvat: Puuinfo Oy

VESIKATTEEN JA ULKOSEINÄN LIITOS



PUUELEMENTTIRAKENNE VANHOJEN KIVIRAKENTEIDEN ULKOVERHOUKSENA





Ulko-osa

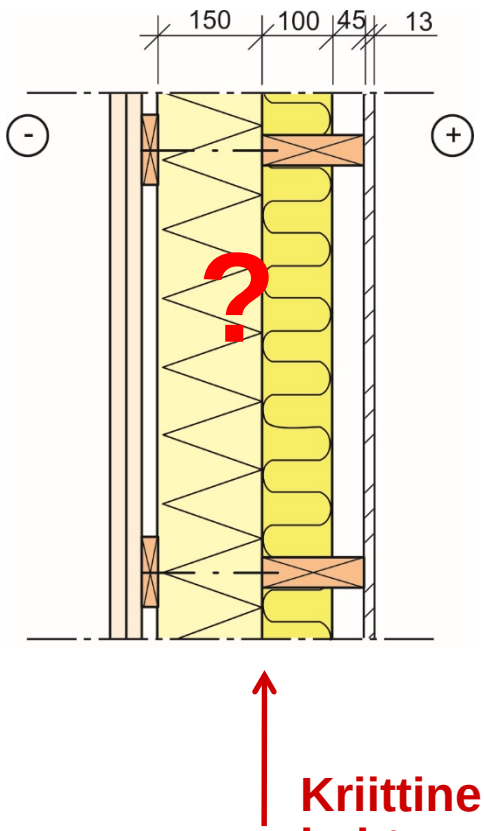
- **Puurungon ulkopuolelle tulisi laittaa hyvin lämpöä eristävä tuulensuoja,** esim. 25 mm huokoinen kuitulevy tai 25–30 mm mineraalivillalevy.
- Jäykistävää tuulensuojalevyä (esim. kipsilevy) käytettäessä **tulisi laittaa erillinen lämpöä eristävä tuulensuoja** sen ulkopuolelle.
- Tuulensuojan on oltava hyvin vesihöyryä läpäisevä.
- Ulkoverhouksen takana on oltava aina tuuletusväli.

Samat ohjeet rakenteen ulko-osan osalta ovat voimassa myös lisäeristettäessä puurunkoisia ulkoseiniä ulkopuolelta.

Sisäosa

- Kivirakennetta vastaan asennetaan pehmeä lämmöneriste tasausvillaksi.
- Elementin sisäpinnan lähellä tulee olla ilmansulku esim. muovikalvo + vaneri tai CLT-levy.
- Vanhan kivirakenteen ilmatiiviyttä on tarvittaessa parannettava ja kiinnitettävä huomiota varsinkin ikkunaliitoksiin.

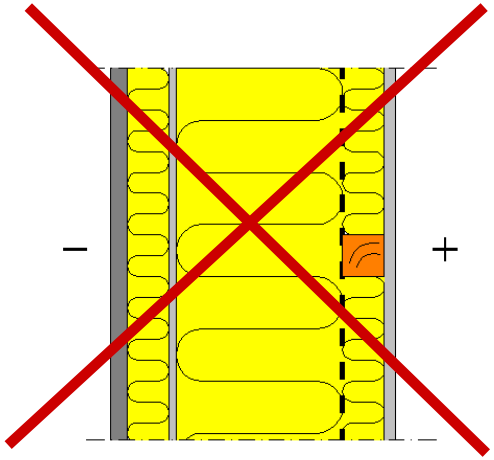
HYBRIDIERISTETTY ULKOSEINÄ

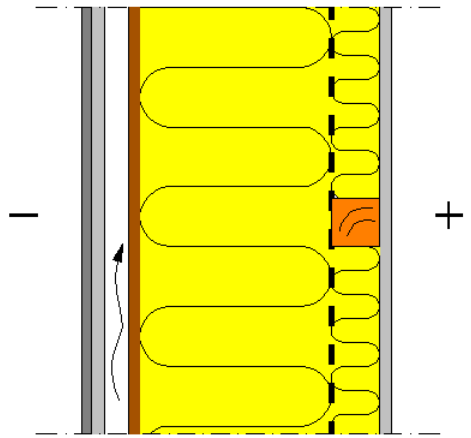


- **Rakenteen ulkopuolelle laitettava solmuovieriste voi olla riskialtis ratkaisu, jos sen sisäpuolella on paksu avohuokoinen lämmöneriste.**
- Avohuokoisen lämmöneristeen paksuus tulee olla **enintään 50 mm.**
- Vesihöyrytiiviillä solumuovilämmöneristeellä tulee olla riittävän suuri lämmönvastus, jotta sen sisäpintaan ei synny homeen kasvulle kriittisiä olosuhteita.
- Vaikka rakenne toimisi suoralla seinällä, **liitoskohtiin ja virheellisen rakentamisen seurauksena rakenteeseen** voi syntyä kohtia, joissa lämpötila laskee solumuovieristeen sisäpinnassa liian alhaiseksi.

Rakenteita suunniteltaessa niiden kokonaisvaltaisen toiminnan tarkistaminen on oleellista!

ERISTERAPATTU PUURANKASEINÄ





- Eristerapattu puurankarakenne kastuu saumakohtien kosteusvuotojen seurauksena ja kuivuu hitaasti aiheuttaen homeen kasvua rakenteen ulko-osissa.
- Ohuen EPS-eristeen käyttö rapatussa rankaseinässä pahentaa tilannetta entisestään, koska ulkopinnan vesihöyrynvastus kasvaa ja näin ollen rakenteen kuivuminen heikkenee.
- Paksurapattu rakenne ei toimi hyvin edes ideaalitilanteessa, koska se kerää sadevettä samalla tavoin kuin tiiliverhottu seinä.
- **Rapattu pintarakenne tulee erottaa sisemmästä seinäosasta kuivumisen mahdollistavalla tuuletusvälillä, esim. levyrappauksella.**

Puurankarakenteen päälle tehdyissä eristerappaus-rakenteissa on todettu erittäin paljon kosteusvaurioita mm. Ruotsissa ja Pohjois-Amerikassa.

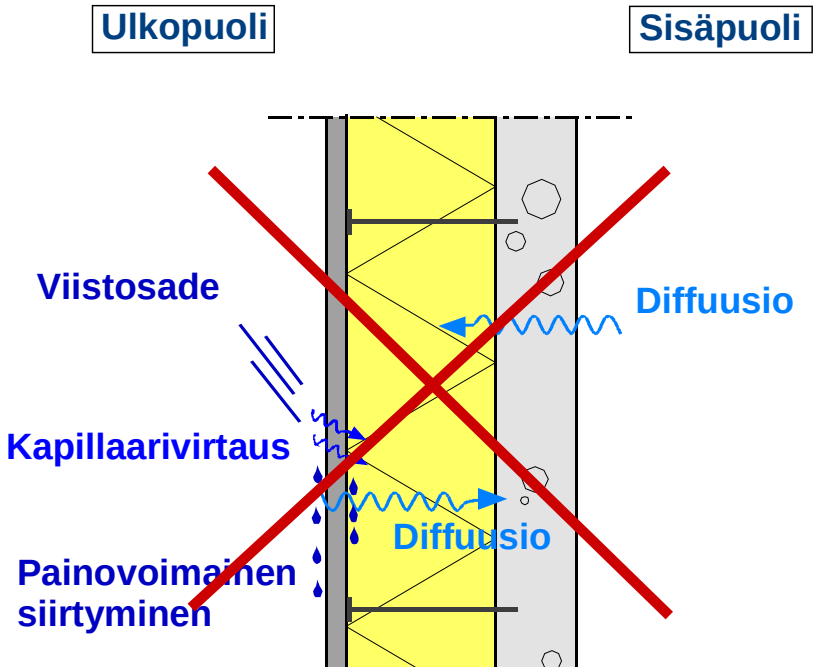
LIITOSTEN VUOTOKOHTIA ERISTERAPATUSSA PUURANKASEINÄSSÄ

Ikkuna- ja oviliitokset

Kiinnikkeet

Kuvat: Ingemar Samuelson SP, Ruotsi

KIVIRAKENTEISET MINERAALIVILLAERISTEISET ERISTERAPPAUSRAKENTEET



Avohuokoisia lämmöneristeitä käytettäessä ulkoverhouksen taakse tulee järjestää aina tuuletus!

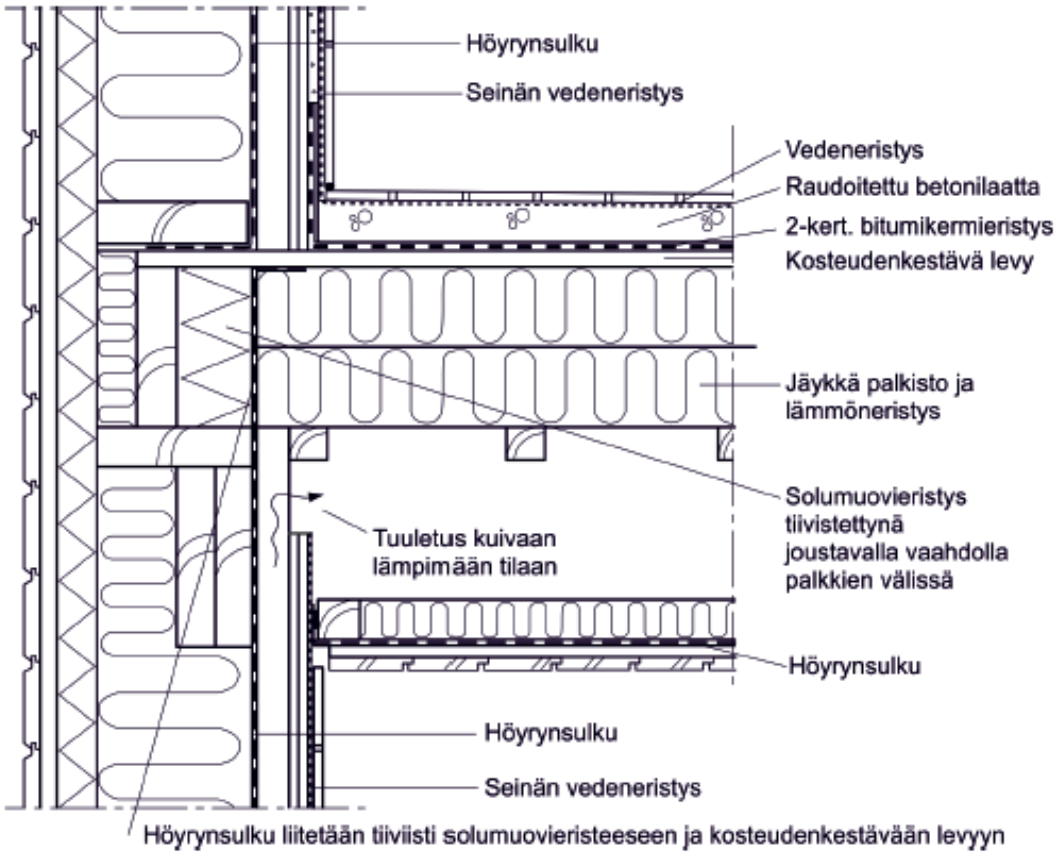
- Ilmastonmuutos on lisännyt leväkasvustoja varsinkin paksurappausten pinnoissa.
- Halkeilua esiintyy varsinkin ohutrappauksissa mutta myös paksurappauksissa.
- Paksurappaukseen kertyy viistosateesta kosteutta. **Ilmastonmuutoksen edetessä riski homeen kasvulle rappauksen takana ja mineraalivilla-eristeessä lisääntyy.**
- Ohutrappaus on vesitiiviimpi ja se ehkäisee viistosateen tunkeutumista rappaukseen. Sadevesi muodostaa herkästi kalvon verhouksen ulkopinnalle.
- **Halkeamien ja saumavuotojen kautta ohutrapattuun rakenteeseen päässyt kosteus kuivuu hitaasti**.
- Halkeilleen eristerappauksen takaa otetuissa mineraalivillanäytteissä on havaittu mikrobikasvua.
- Elementteinä toteutetuissa eristerappauksissa lisäksi paljon rakennusaikaista kosteutta. Saumakohdat muodostavat usein heikomman kohdan rakenteeseen.

TUULENSUOJALEVYINÄ KÄYTETTYJEN MAGNESIUMOKSIDILEVYJEN AIHEUTTAMAT VAURIOT

Kuvat: Tommy Bunch-Nielsen & Peter Swan

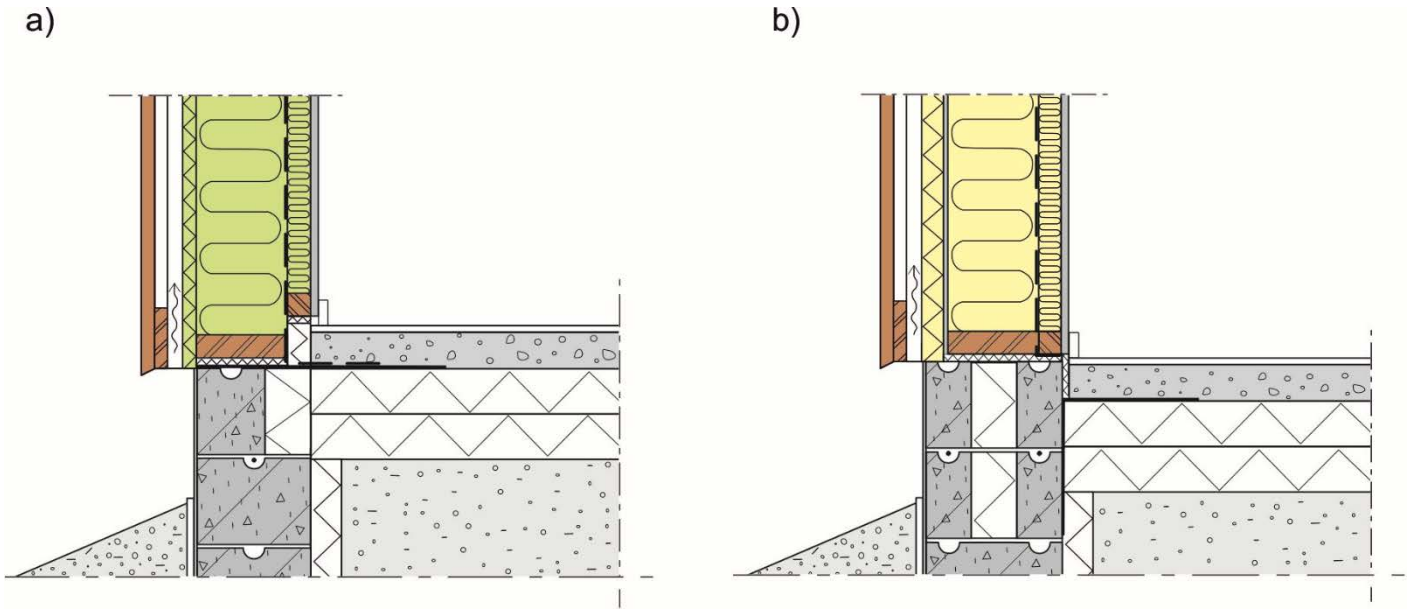
- Magnesiumoksidilevyissä (MgO-levy) on vapaata magnesiumkloridia, joka on suola, jolla on alhainen tasapainokosteus (nimellinen 34 % RH).
- Suola pyrkii imemään ulkoilmasta kosteutta, kunnes levy on kyllästynyt vedellä ja tämän jälkeen kosteutta alkaa tihkua levystä pois.
- Poistuva vesi on lisäksi suolaista ja syövyttävää.
- Kosteus homehduttaa mm. sisäpuolella olevia puurakenteita ja syövyttää kiinnikkeitä.
- MgO-levyt ovat aiheuttaneet jo paljon kosteusvaurioita mm. Tanskassa.
- **MgO-levyä ei tule käyttää tuulensuojalevynä ellei sen toiminta ole varmistettu kosteissa olosuhteissa!**

MÄRKÄTILAN PUURAKENTEINEN ULKOSEINÄ



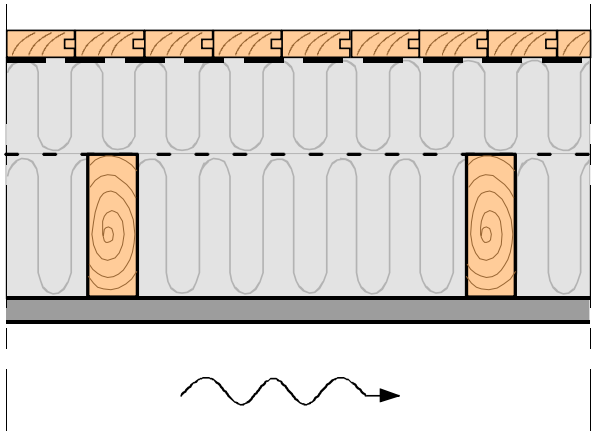
Märkätiloihin jätetään tuuletusväli sisäpuolisen levytyksen taakse.

ULKOSEINÄN JA MAANVASTAISEN LAATAN LIITOS



- Aluspuun alle **lämpöä eristävä solumuovi- tai kumimatto**.
- Tuulensuojalevyn tulee yltää aluspuun alapuolelle, jotta puun ulkoreuna on lämpimässä.
- Perusmuurin ulkoreunaan ei saa jäädä rakennusaikana hyllyä, johon jäätyvä lumi muodostaa vesikaukalon, joka pitää aluspuun märkänä.
- Nostamalla betonilaattaa paksuutensa verran ylöspäin saadaan radonkermi asennettua liitokseen vaakasuoraan.

PUURAKENTEINEN RYÖMINTÄTILAINEN ALAPOHJA

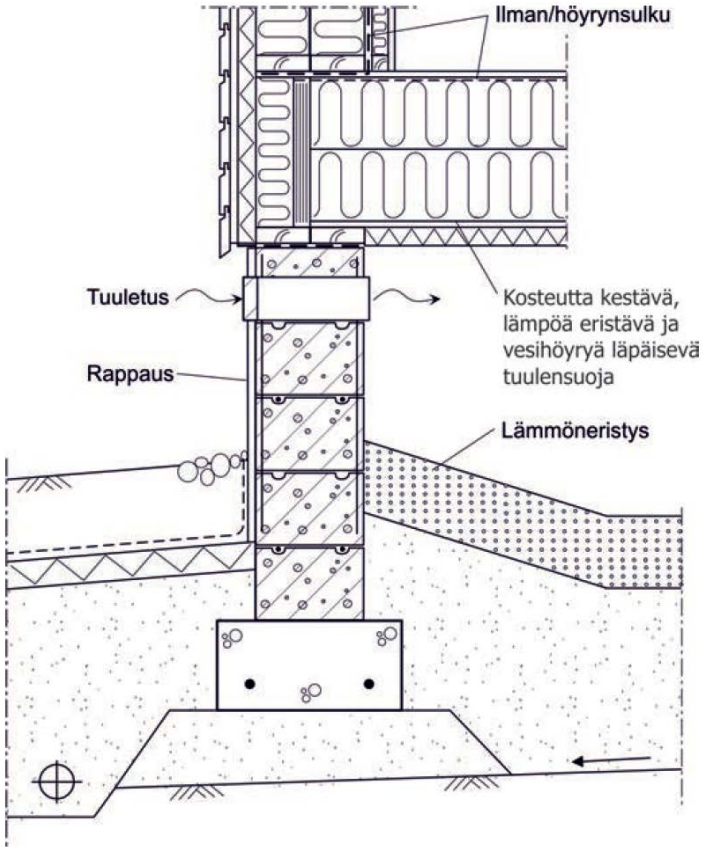


Alapohjan toimivuuden edellytyksenä on lisäksi monet aiemmin korostetut asiat:

- Eloperäinen materiaali tulee poistaa ryömintätilasta
- Maapohja ei saa olla monttu.
- Sepelikerros perusmaan päälle ja perusmaan pinnan kallistus ulospäin salaojiin.

- Ryömintätilassa esiintyy ajoittain joka tapauksessa homeen kasvulle otollisia olosuhteita.
- Oleellista on tässäkin tapauksessa suojata kantavat puuosat niin, että niissä ei esiinny homeen kasvua.
- **Puuvasojen alapuolelle tarvitaan hyvin lämpöä eristävä tuulensuoja**, jonka lämmönvastus on vähintään 0,4 m^2K/W. Tuulensuojan tulee olla hyvin **kosteutta kestävä.**
- **Alapohjarakenteen ilmatiiviys on erittäin tärkeä!**

PUURAKENTEINEN RYÖMINTÄTILAINEN ALAPOHJA



- **Ryömintätilan pohja tulisi lämpöeristää** varsinkin puurakenteista alapohjaa käytettäessä. Myös sepelin käyttö maan pinnalla parantaa alapohjan kosteusolosuhteita.

  → Lämmöneristys vähentää maan viilentävää vaikutusta ryömintätilassa.

  → Lämmöneristys alentaa maapohjan lämpötilaa, jolloin diffuusiolla maasta haihtuvan kosteuden määrä vähenee.

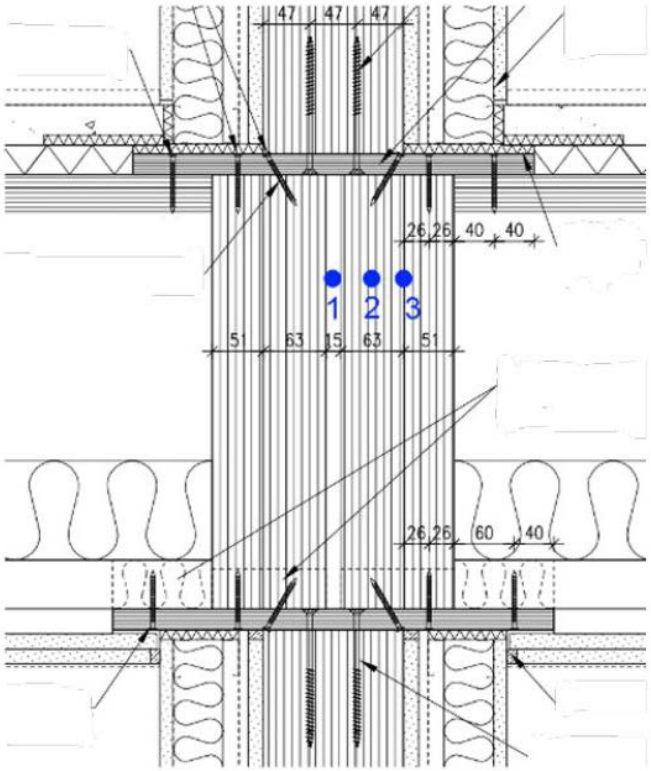
- Maan pinnan lämmönvastus tulisi olla vähintään 1,3 m^2K/W (esim. 50 mm EPS tai 150 mm kevytsoraa). Maan pinnassa ei tule käyttää muovikalvoa.

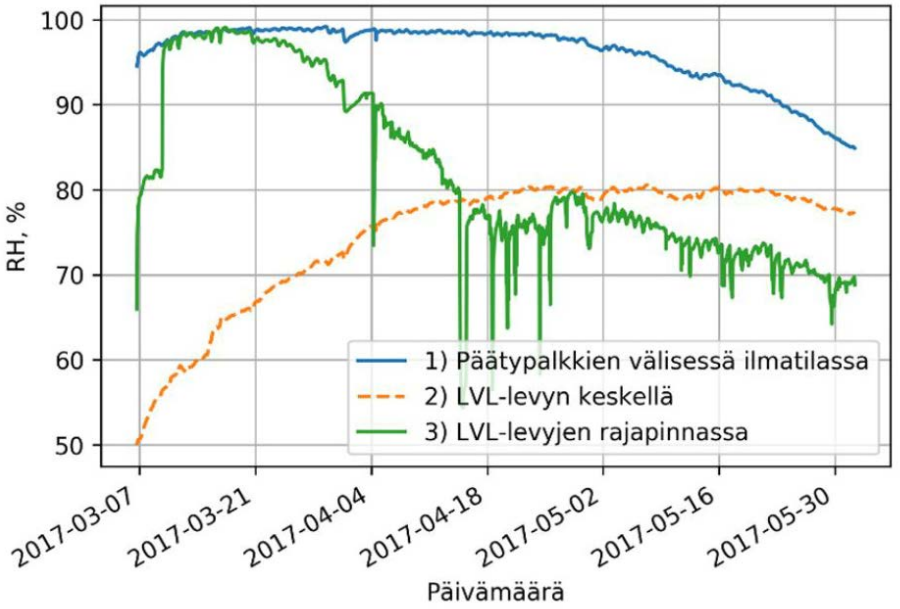
- Ryömintätilan tuuletuksessa suositeltava ilmanvaihtokerroin on 0,5– 1,0 1/h, jos kosteutta tulee ryömintätilaan pääasiassa ulkoilman mukana. **Muussa tapauksessa ilmanvaihtokertoimen on oltava isompi.**

- Koneellinen kuivatus tai lämmitys ei ole välttämätön, jos alapohja tehdään muuten rakenteellisesti oikein.

- Alapohjaan voidaan synnyttää tuuletuksella myös alipaine sisätiloihin nähden.

PUUKERROSTALON LIITOSTEN RAKENNUSAIKAINEN KOSTEUDENHALLINTA





Kuva: Laukkarinen et al. Rakennusfysiikka 2017-seminaari.

ILMASTONMUUTOKSEN, LÄMMÖNERISTYKSEN LISÄYKSEN JA YLIPAINEEN HAITALLISUUS ERI RAKENNERATKAISUISSA

Vinot palkkikatot

Tuulettuvat yläpohjat

Kevytsorakatto

Mineraalivillaeristeiset heikosti tuulettuvat katot

Lämmöneristämättömät massiivikivirakenteet

Lämmöneristämättömät massiivipuurakenteet

Tiiliverhotut kivirakenteiset ulkoseinät

Sisäpuolelta eristetyt rakenteet

Puurunkoiset eristerappaus-rakenteet

Solumuovieristeiset harkkorakenteet

Puurunkoiset solumuovieristeillä eristetyt rakenteet

Puurunkoiset avohuokoisilla lämmöneristeillä eristetyt rakenteet

Kivirakenteiset mineraalivillaeristeiset eristerappausrakenteet

Solumuovieristeiset betonielementtirakenteet

Mineraalivillaeristeiset betonielementtirakenteet

Mineraalivillaeristeiset peltisandwich-elementit

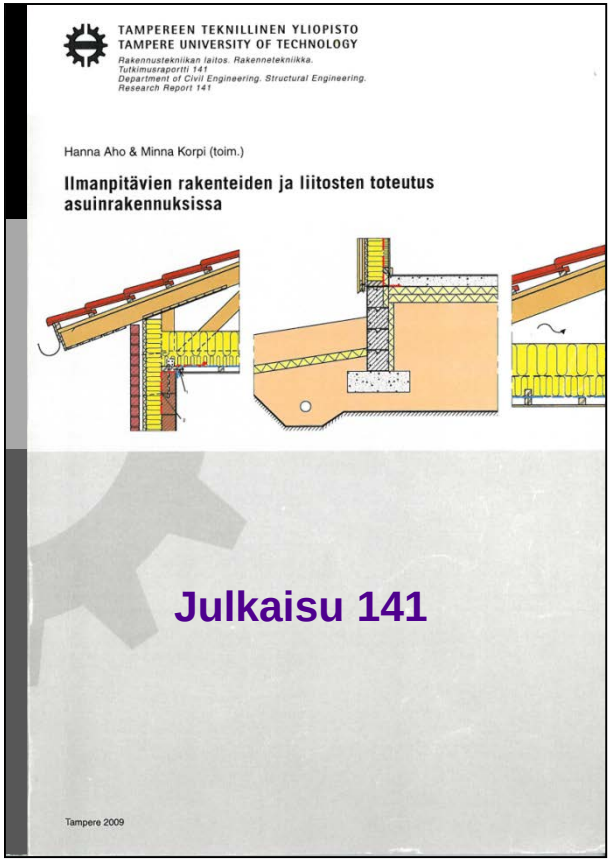
Tiiliverhotut puurunkorakenteet

Maanvastainen betonilaatta

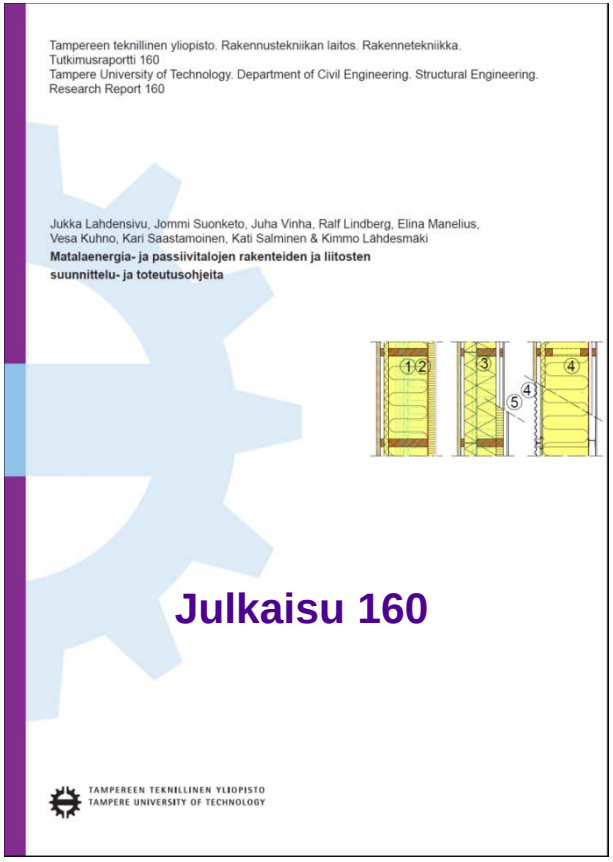
Kivirakenteinen ryömintä-tilainen alapohja

Puurakenteinen ryömintätilainen alapohja

TTY:N JULKAISUJA RAKENTEIDEN JA LIITOSTEN TOTEUTUKSESTA



Julkaisu 141



Julkaisu 160

Tampereen yliopiston rakennusfysiikan tutkimusraportteja löytyy kotisivuiltamme osoitteesta **research.tuni.fi/rakennusfysiikka/julkaisut**

LISÄTIETOA RAKENNUSFYSIKAALISESTA SUUNNITTELUSTA SEKÄ TTY:N FRAME- JA COMBI-PROJEKTEISTA

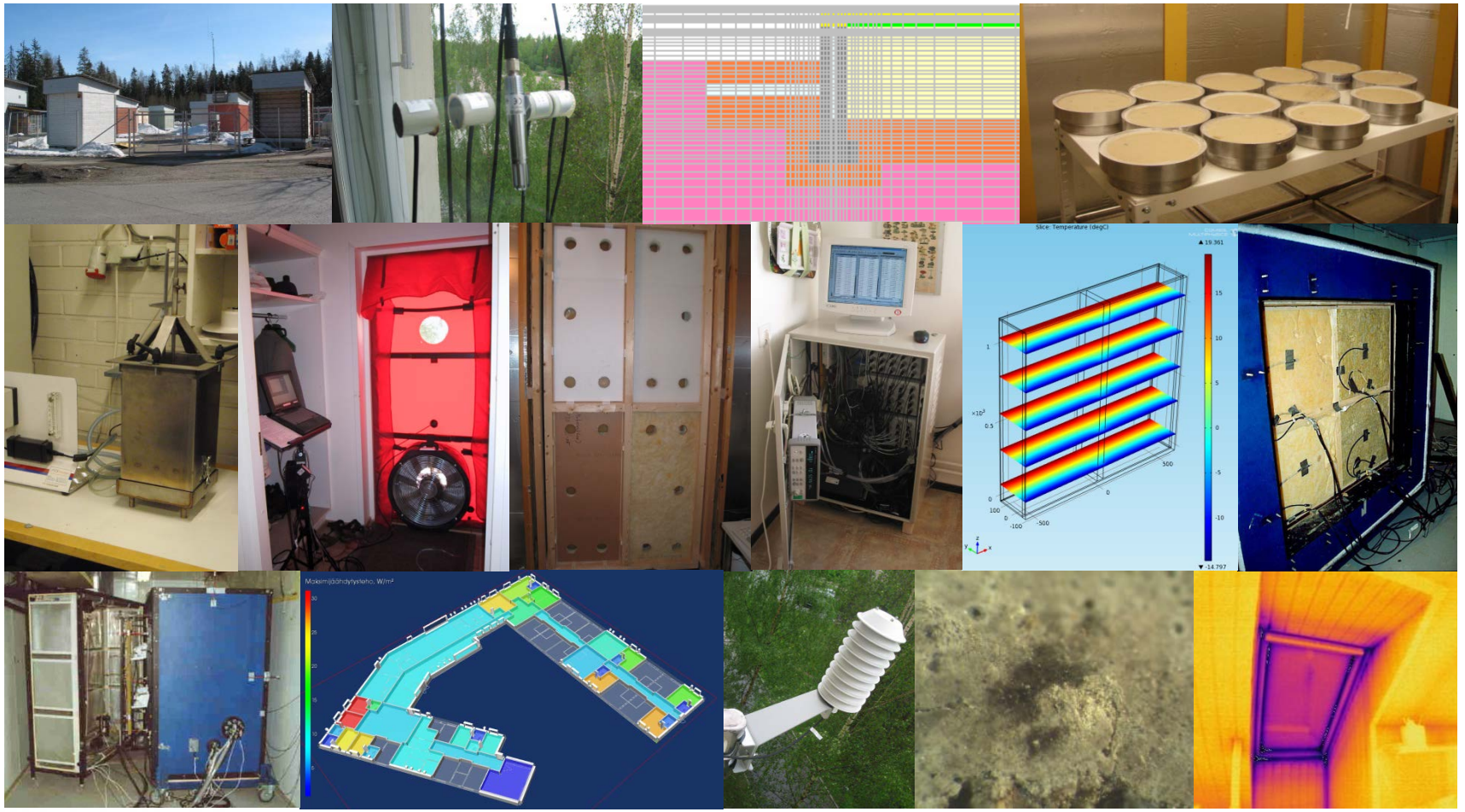
- Rakennusfysiikan perusteista on julkaistu oppikirja **RIL 255-1-2014**.
- Rakennusfysiikan ilmastolliset testivuodet on julkaistu Ilmatieteen laitoksen kotisivuilla osoitteessa:

  www.ilmatieteenlaitos.fi/rakennusfysiikan-ilmastolliset-testivuodet

- Suomalaisen homemallin laskentapohja on julkaistu Tampereen yliopiston rakennusfysiikan ryhmän kotisivuilla osoitteessa:

  research.tuni.fi/rakennusfysiikka
  → **Kosteusanalysointimenetelmä**
  → **Suomalainen homemalli**

- FRAME- ja COMBI-projektien kotisivut löytyvät myös Tampereen yliopiston rakennusfysiikan tutkimusryhmän kotisivuilta osoitteista:

  research.tuni.fi/rakennusfysiikka/tutkimusprojektit/frame
  research.tuni.fi/rakennusfysiikka/tutkimusprojektit/combi

KIITOS!