



**PEP**

**Promotion of European Passive Houses**  
[www.europeanpassivehouses.org](http://www.europeanpassivehouses.org)



# Passiivitalon rakennesuunnittelu

---

Jyri Nieminen

Jenni Jahn

Miimu Airaksinen

### PEP

PEP eli Promotion of European Passive Houses on eurooppalainen hanke, jonka tarkoituksena on edistää passiivitalojen rakentamista. Euroopan komissio (Directorate General for Energy and Transport) tukee hanketta.

Energian hinnan jatkuva kallistuminen ja pyrkimykset pienentää energian käytöstä johtuvia emissioita painottavat energian tehokkaan käytön ja energiansäästön merkitystä. Kyse ei ole pelkästään energiankäytön ympäristövaikutuksista, vaan samalla myös energiankäytön taloudellisista vaikutuksista. Rakennukset kuluttavat noin 40 % kaikesta energiasta. Rakennusten energiankäytön pienentämisellä voidaan vaikuttaa energiankäytöstä aiheutuvien päästöjen määrään. Passiivitalo on erityisesti asuintaloihin tarkoitettu konsepti, jolla rakennusten energiantarvetta voidaan pienentää merkittävästi. Konsepti soveltuu myös muiden rakennustyyppien enoenergiansäästöratkaisuksi.

PEP-työryhmässä ovat mukana:



## Passiivitalo

Passiivitalo on äärimmäisen energiatehokas asuinrakennus, jossa on hyvä ja terveellinen sisäilmasto ympäri vuoden. Passiivitalokonsepti perustuu rakennuksen pieniin lämpöhäviöihin, jotka voidaan kattaa yksinkertaisin taloteknisiin ratkaisuin. Pienet energiakustannukset ja yksinkertainen tekniikka tekevät passiivitalosta elinkaariedullisen rakennuksen.

Passiivitalon lämmöneristys on matalaenergiatalojen tasoa parempi, rakenteissa on vähän kylmäsiltoja, ja talon ulkovaippa on ilmanpitävä. Auringon energiaa voidaan hyödyntää passiivisesti, ja jäljelle jäävä lämmityksen energiantarve voidaan kattaa erilaisilla uusiutuvilla energiamuodoilla.

Passiivitalon määritelmä perustuu sen energiantarpeeseen. Suomen ilmastossa passiivitalon energiatavoitteet ovat alla olevassa kuvassa. Lämmityksen energiantarpeen rajat ovat suuntaa-antavia. Suomi on jaettu kolmeen alueeseen: eteläinen rannikkoalue, Keski-Suomi ja Pohjois-Suomi:

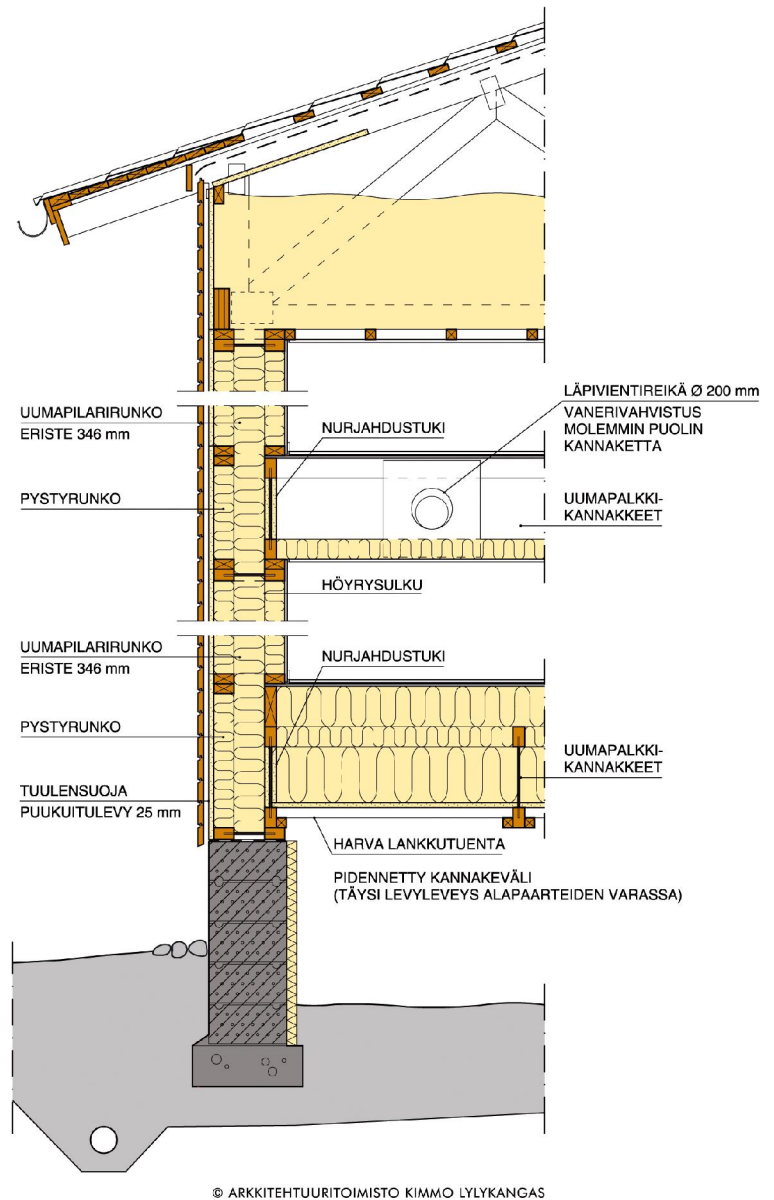
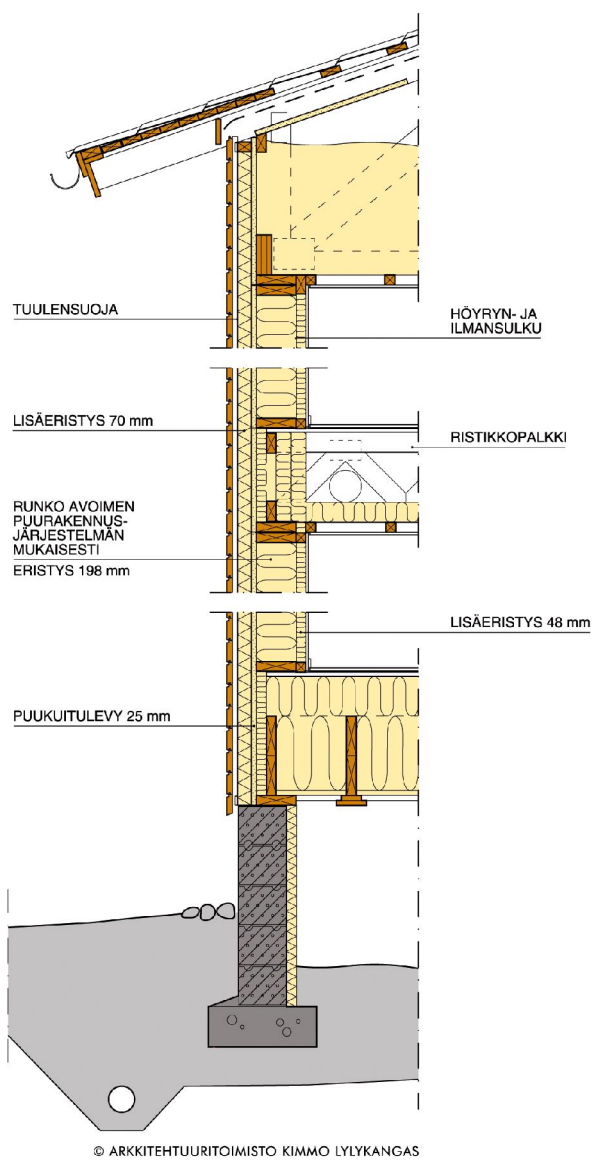
- Lämmityksen energiantarve:
  - Etelärannikko 20 kWh/m<sup>2</sup>
  - Keski-Suomi: 25 kWh/m<sup>2</sup>
  - Pohjois-Suomi: 30 kWh/m<sup>2</sup>
- Primäärienergiantarve vastaavasti 130 - 140 kWh/m<sup>2</sup>
- Rakennuksen ulkovaipan ilmanpitävyys, n50 = 0,6 1/h.

Euroopan eri osissa sovellettavat passiivitalon määritelmät löytyvät PEP-hankkeen kotisivuilta:

<http://www.europeanpassivehouses.org/>.

## Passiivitalon tekniset ominaisuudet

Passiivitalokonsepti asettaa laatuvaatimuksia rakenteiden ja talotekniikan suunnittelulle ja ominaisuuksille. Talon energiasuunnittelun tavoitteena on pieni energian ja tehon tarve. Siksi energiaratkaisun suunnittelussa on voitava luottaa ratkaisuille asetettuihin ominaisuustavoitteisiin. Talotekniikan laitteet voidaan valita sertifioiduista tuotteista. Rakennesuunnittelussa rakenteiden lämmönläpäisykertoimet tulee määrittää laskennallisesti. Usein on tarkoituksenmukaista käyttää numeerisia laskentatyökaluja, sillä rakenteiden kylmäsiltoja on otettava huomioon tarkemmin kuin mitä esimerkiksi rakentamismääräyskokoelman osan C3 Lämmöneristys edellytetään.



*Esimerkkejä avoimen puurakennesjärjestelmän passiivitalosovelluksista*

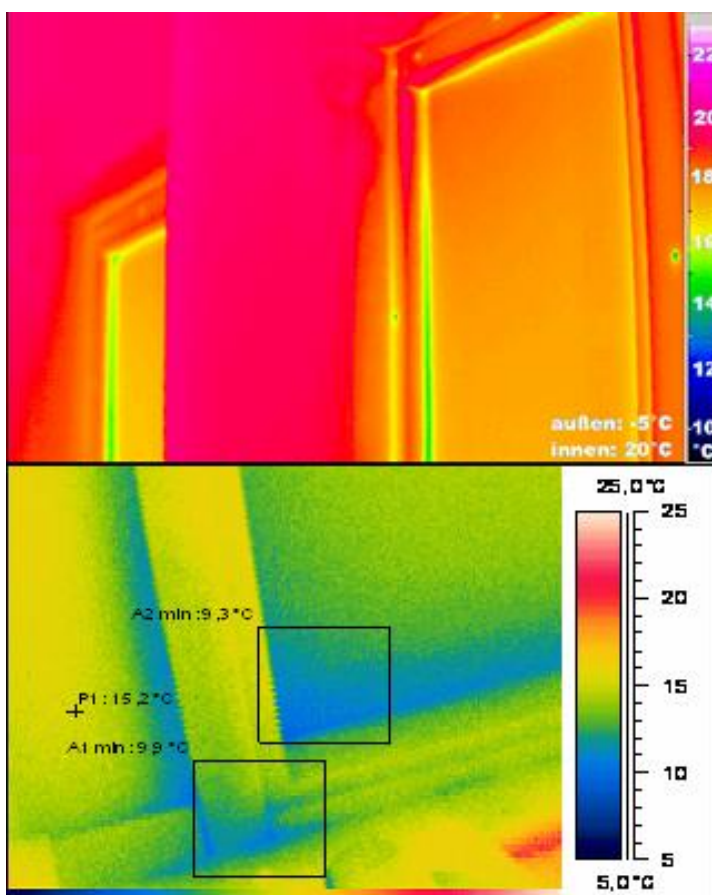
## Terminen viihtyvyys

Rakennuksen viihtyisyys muodostuu sekä talon sisätilojen ja sisäilmaston että ulkonäön ja ulkotilojen laadusta. Lämmöneristys, ilmanpitävyys ja ilmanvaihto vaikuttavat termiseen viihtyvyyteen. Vedottomuus ja lämpimät sisäpinnat ovat energiatehokkaan talon perusominaisuuksia. Rakennuksen ulkovaipan ilmanpitävyys perustuu kunnolliseen ja ehyeen ilmansulkuun. Tuulensululla estetään kylmien ilmavirtausten pääsy eristyskerrokseen..

Ulkovaipparakenteiden ja ikkunoiden sisäpintojen viileys aiheuttaa ns. kylmävedon tunteen. Kylmävetoa kompensoidaan mukavuuslämmityksellä, jolloin huoneilma on lämpimämpi kuin mitä todellinen tarve edellyttäisi. Passiivitalon ulkovaipparakenteiden sisäpinnat ovat lämpimät. Siksi hyvä termien viihtyvyys voidaan saavuttaa matalammalla huoneilman lämpötilatasolla. Suunnittelussa huoneilman lämpötilatavoitteena on yleensä 20 - 21 °C.

Hallittu ilmanvaihto takaa terveellisen ja hyvän sisäilman laadun. Raitisilman esilämmittäminen maalämmönvaihtimella (nestekiertoinen lämmönvaihdin) ja tehokas lämmön talteenotto poistoilmasta kohottavat tuloilman lämpötilan lähelle huoneilman lämpötilaa. Kun lisäksi lämmönjako tapahtuu ilmanvaihtolämmityksellä, ei ilmanvaihdesta aiheudu veto-ongelmia.

Koska passiivitalon lämmöntarve on pieni, ilmanpitävyyden puutteista tai rakenteiden kylmäsilloista aiheutuvat alemmat pinta-lämpötilat koetaan passiivitalossa herkemmin termisen viihtyvyyden puutteina. kuin tavanomaisessa lattia- tai radiaattorilämmityksellä varustetussa talossa. erityisesti lattianrajasta tapahtuvat ilmavuodot ovat ongelmallisia, koska passiivitalossa ei ole viihtyvyyttä parantavia lämmönlähteitä. Siksi rakenteiden lämpötekniinen suunnittelu on keskeinen osa passiivitalon toteutusta.



*Tavanomaisen ja matalaenergiaikkunan pinta-lämpötiloissa on huomattava ero. Lämmin ikkunan sisäpinta parantaa sisäilman termistä viihtyvyyttä. (PassivHaus Institut, VTT)*



## Järjestelmäsuunnittelu

Lämmityksen energiantarvetta voidaan pienentää lämmöneristystä parantamalla. Ulkovaipan rakenteiden lämpöhäviöt muodostavat merkittävän osan rakennuksen kokonaislämpöhäviöstä. Ilmanvaihdon lämpöhäviö on noin kolmannes kokonaishäviöstä. Passiivitalo on kokonaisuus, jossa hyvän lämmöneristämisen suurin hyöty saavutetaan lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmän oikealla mitoituksella. Passiivitalo voidaan rakentaa erilaisilla rakennejärjestelmillä. Pieni lämmöntarve edellyttää kuitenkin tavanomaista huomattavasti parempaa lämmöneristystasoa. Seuraavassa on suuntaa-antavia Ulkovaipan osien lämmönläpäisykertoimien ja ominaisuuksien tavoitearvoja:

Ulkoseinä 0,07 - 0,09 W/m<sup>2</sup>K

Alapohja 0,08 - 0,1 W/m<sup>2</sup>K

Yläpohja 0,06 - 0,09 W/m<sup>2</sup>K

Ikkuna 0,7 - 0,9 W/m<sup>2</sup>K

Kiinteä ikkuna 0,6 - 0,8 W/m<sup>2</sup>K

Ulko-ovi 0,4 - 0,7 W/m<sup>2</sup>K

Ilmavuotoluku  $n_{50} < 0,6$  1/h



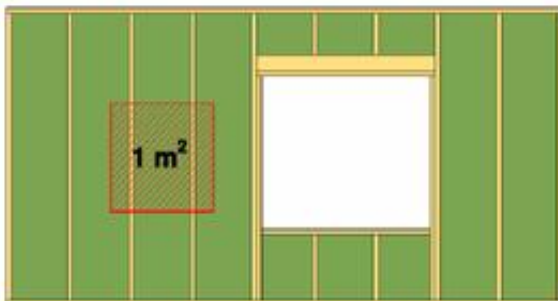
*Ulkoseinän lämmönläpäisykerroin edellyttää paksua lämmöneristystä. Rakennejärjestelmästä ja eristemateriaaleista riippuen eristyspaksuus voi olla 350 - 450 mm..*

Passiivitalon rakenteiden kylmäsilat on minimoitu hyvällä suunnittelulla. Erityisesti rakennusosien liitokset kuten ala- ja yläpohjan ja ulkoseinän, nurkka-, ikkuna-, ovi- läpivientien liitosten suunnittelulla tulee pyrkiä kylmäsiltojen vaikutusten vähentämiseen. Kun rakenteiden lämmöneristyspaksuudet ovat suuria, on myös rakenteiden kosteusteknisessä suunnittelussa otettava kylmäsiltojen vaikutukset huomioon. Kylmäsilan suhteellinen vaikutus rakenteen lämpöhäviöön kasvaa, kun rakenteen lämmöneristävyys kasvaa. Passiivitalon rakenteet ovat niin hyvin lämmöneristettyjä, että kylmäsiltojen merkitys voi olla kriittinen rakennuksen toimivuuden kannalta.

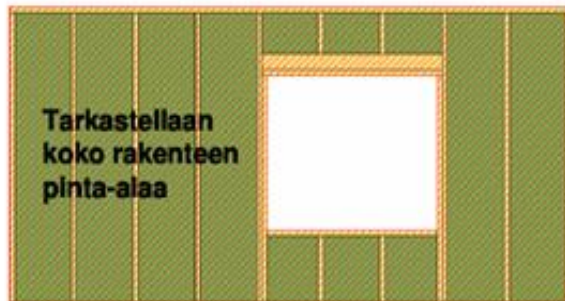
Paksussa eristyskerroksessa lämpövirrat ovat pieniä, joten rakenteiden kuivumispotentialiaali voi olla tavanomaista rakennetta heikompi.

Rankarakenteisten talojen ikkunoiden kokojen tulisi sopia rakennuksen runkorakenteiden mittamaailmaan. Tämä auttaa ylimääräisten runkorakenteiden karsimisessa. Ikkuna- ja oviliitoksissa sisäverhouksen tukena voi käyttää kantavan rungon kylkeen asennettuja dimensioiltaan kapeampia rankoja. Rakennesuunnittelijan ja arkkitehdin tulee yhdessä tarkastella liitosrakenteiden vaikutuksia rakenteiden toimintaan.

**U-arvon määrittäminen, kun osoitetaan rakenteen lämmöneristystyksen määrätymukaisuutta**



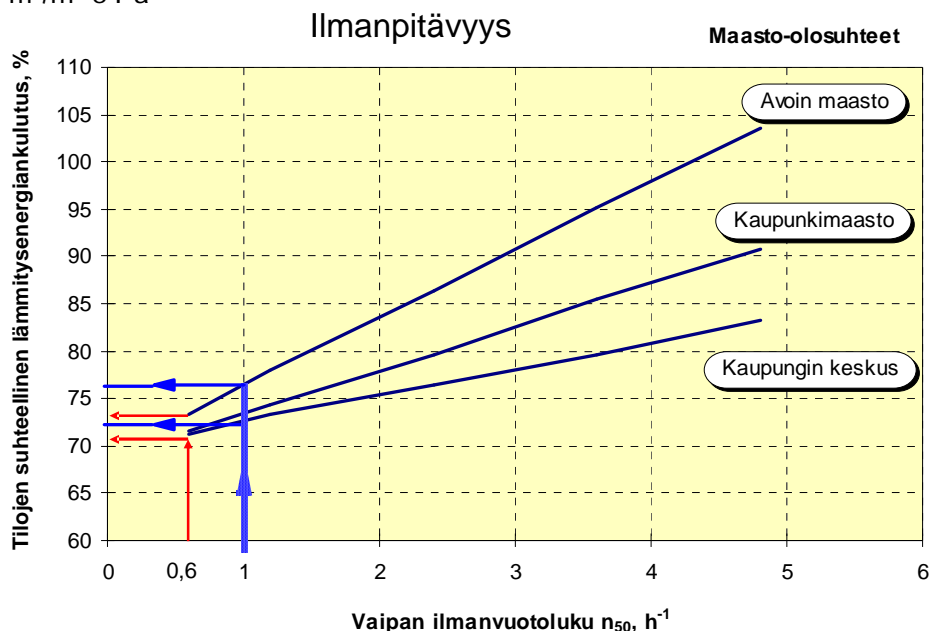
**U-arvon määrittäminen, kun määritetään rakenteen lämpöhäviötä**



*Kylmäsilat tulee ottaa huomioon ulkovaipan lämpötekniisessä suunnittelussa.*

Passiivitalon ulkovaipan ilmapitävyydelle on asetettu raja-arvo, joka tulee todentaa mittauksella. Ilmavuotoluku saa olla korkeintaan  $n_{50} = 0,6$  1/h. Suomalaisten rakennusten ilmavuotoluku on tyypillisesti 1,5 - 5, mutta hirsitaloista on mitattu myös tätä korkeampia arvoja. Ilmapitävyys vaikuttaa sekä lämmityksen energiantarpeeseen että rakenteiden kosteustekniseen toimivuuteen. Rakenteen hyvän ilmansulkukerroksen toimivuuteen vaikuttavat seuraavat tekijät:

- Ilmansulkukerros on yhtenäinen ja sen ilmanläpäisevyys on saumakohtat mukaan lukien korkeintaan  $1 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ s Pa}$



*Kun rakennuksen ulkovaipan ilmavuotoluku pienenee, rakennuksen sijainnilla ja tuuliolosuhteilla rakennuksen ympäristössä ei ole suurta vaikutusta lämmityksen energiantarpeeseen. (Pallari et. al. VTT 1995)*

- Muovikalvo tai rakennuspapereille lämmöneristys sisäpuolella toimii ilmansulkuna, jos sen saumat on tiivistetty.
- Ilmansulun tulee olla yhtenäinen ulkovaipan koko alueella. Erityisesti erilaisten läpivientien liitokset on tiivistettävä huolellisesti.
- Pistorasioiden ja niiden sähkövetojen tulisi olla pinta-asennuksia ulkoseinillä. Ilman- ja höyrynsulkukerros voi sijaita korkeintaan 50 mm syvyydellä lämmöneristyskerroksen sisäpinnasta. Asennustilojen käyttö ilman- ja höyrynsulun sisäpuolella on suositeltavaa, jos sähkövetoja on tarkoituksenmukaista asentaa ulkoseiniin.
- Ikkuna- ja oviliitosten saunojen tulee olla lämmöneristettyjä ja tiivistettyjä sekä ulko- että sisäpinnoilta. Kiinteiden ikkunoiden liittämiseen ns. suoraan runkorakenteisiin vähentää liitoksen kylmäsilta vaikutusta.
- Ilmanvaihtokanavien tulee sijaita ilmansulun sisäpuolella. Vain tulo- ja jäteilmakanavat lävistävät ilmansulun.
- Kaikki LVIS-läpiviennit on tiivistettävä kunnollisesti.
- Saumattomat betonielementit, saumoista tiivistetyt levyrakenteet, muuratut ja pinnoitetut sisäpinnat yms. toimivat ilmansulkuna edellyttäen, että läpiviennit on tiivistetty.





*Puutalon välipohjan ja ulkoseinän liitos, jonka ilmanpitävyyden varmistaminen on työlästä, sillä välipohjapalkkien ja ilmansulun liitoksen tiivistäminen on varsin hankalaa. (VTT).*

Tuulensulku suojaa lämmöneristyskerrosta ulkoilman kylmiltä ilmavirtauksilta. Myös tuulensulun tulee olla yhtenäinen koko ulkovaipan alueella. Liittymät, läpiviennit ja erilaiset detaljirakenteet tulee suunnitella ja toteuttaa huolellisesti. Periaatteessa kaikki levymäiset sekä pöuhallus- tai ruiskutettavat lämmöneristeet tarvitsevat ilmansulun. Ilmansulku voi olla esimerkiksi:

Materiaalikerros, jonka ilmanläpäisevyys on korkeintaan  $3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ s Pa}$  saumat mukaan lukien.

Kuitulevy-, kipsilevy- tai muu levyrakenne, jonka saumakohdat on tiivistetty

Lämmöneristyskerroksen päälle tehty rappaus, kun liitosrakenteet on tiivistetty

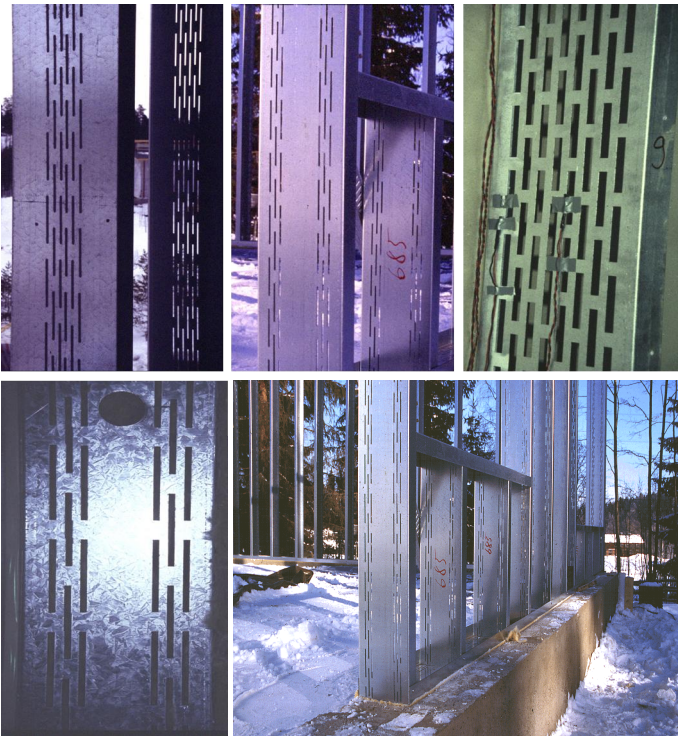
Ilmanpitävällä pinnoitteella pinnoitettu kova mineraalivillaeristys, jonka saumat on tiivistetty

Muurattu ja pinnoitettu rakenne, jossa ei ole ilmarakoa muurauksen ja lämmöneristyksen välissä



*Ilmansulku suojaa lämmöneristystä ulkoilman vaikutuksilta. Erillinen ilmansulku tarvitaan rakenteisiin, joissa on tuuletettu ulkoverhous tai ilmaa hyvin läpäisevä ulkoverhous.*

Rakenteiden lämpötekniisten ominaisuuksien riittävyys tulee tarkastaa laskelmin suunnittelun eri vaiheissa. Jotkut rakenteet kuten rei'itetyt teräsrankarakenteet on tarkasteltava 3-ulotteisten laskentamenetelmien avulla, jotta detaljirakenteiden ominaisuudet saadaan selville.



*Passiivitalo ei ole materiaali riippuvainen, vaan se voidaan rakentaa erilaisista rakennejärjestelmistä. rei'itetty teräsranka on lämpötekniisiltä ominaisuuksiltaan puurangan veroinen. Rei'itetyn rangan ekvivalentti lämmönjohtavuus on vain noin kymmenesosa teräksen lämmönjohtavuudesta. (VTT Research Notes 2070). Rei'itettyjen teräsrakenteiden lämmönläpäisykertoimen laskenta edellyttää 3-ulotteista tarkastelua, sillä yksinkertaistetut menetelmät eivät sovellu rakenteen U-arvon laskentaan.*

### Rakennesuunnittelijan muistilista

1. Suunnittelu yhteistyö rakenteiden ongelmakohtien kartoittamiseksi ja ongelmien ratkaisemiseksi
2. Talotekniikkajärjestelmien reitityksen tilavaatimukset
3. Kylmäsiltojen ehkäisy suunnittelun keinoin yhteistyössä arkkitehdin kanssa
4. Rakenneratkaisujen optimointi kantavien rakenteiden kannalta siten, että runkorakenteen määrä on pienin mahdollinen
5. Moduulimittojen käyttö suunnittelun lähtökohtana
6. Ilmansulun suunnittelu
7. Läpivientikohtien tiivistäminen
8. Tuulensulun suunnittelu
9. Työjärjestysten huomioon ottaminen jo rakennesuunnittelussa
10. Rakenteiden kuivumiskapasiteetin huomioon ottaminen rakennesuunnittelussa: kaksinkertaisten höyrönsulkujen välttäminen