



**TURUN AMMATTIKORKEAKOULU  
ÅBO YRKESHÖGSKOLA**

**Opinnäytetyö**

**PUURUNKOINEN PASSIIVITALO**

**Teemu Skippari**

**Rakennustekniikka**

**2009**

Turun Ammattikorkeakoulu  
Tekniikka, ympäristö ja talous  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Talonrakennustekniikka

Teemu Skippari

Opinnäytetyö  
PUURUNKOINEN PASSIIVITALO

Hyväksytty

Turussa \_\_\_\_/\_\_\_\_ 2009

Valvoja

\_\_\_\_\_  
Tekn.lis. Vesa Virtanen

Koulutuspäällikkö

\_\_\_\_\_  
Tekn.lis. Raimo Vierimaa

# TIIVISTELMÄ

## TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikka	
Tekijä: Teemu Skippari	
Työn nimi: Puurunkoinen passiivitalo	
Suuntautumisvaihtoehto: Talonrakennustekniikka	Ohjaaja: TkL Vesa Virtanen
Opinnäytetyön valmistumisajankohta: Kevät 2009	Sivumäärä: 57 + 13
<p>Passiivitalo on rakennus, jonka lämmitysnergian kulutus on tavanomaista taloa pienempi. Lähes kaikki tarvittava lämpöenergia saadaan aikaan aurinkoenergiaa sekä rakennuksen käytön aiheuttamaa lämpöä hyödyntämällä. Passiivitalossa ei ole varsinaisia lämmitysjärjestelmiä, kuten lattialämmitystä tai lämpöpattereita. Ilmanvaihtolämmitys on talolle riittävä lämmönjakotapa.</p> <p>Koska lämmitysenergian kulutus on passiivitalolle pieni, on sen ulkovaipparakenteiden oltava tavallista rakennusta tiiviimmät ja paremmin lämmöneristetyt. Energiatlehokkuuden aikaansaamiseksi tulee lisäksi kiinnittää huomiota koko ajan markkinoilla uusiutuvaan LVI-tekniikkaan. Esimerkiksi koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto hyvällä lämmöntalteenoton hyötysuhteella on passiivitalon ulkovaipparakenteiden lämpö- ja kosteusteknisen toimivuuden kannalta eilinehto.</p> <p>Passiivitalon peruseriaate ei rajoita talon arkkitehtuurista suunnittelua. Asuminen ei edellytä omasta elämäntyylistä tai -tavasta poikkeamista ja rakennus voidaan suunnitella soveltuvaksi erilaisille käyttäjäryhmille. Passiivitalon suurimmat hyödyt asukkaille ovat energiatlehokkuudesta johtuva elinkaariedullisuus (pieni lämmitysenergiatlehasku), hyvä lämpöviihtyvyys ja sisäilmanlaatu riippumatta ulkoilman olosuhteista sekä vähäistä huoltoa vaativat talotekniikkaratkaisut.</p> <p>Passiivitalon energiatavotteiden saavuttamiseksi rakentamisessa käytetään yksinkertaisia rakennerratkaisuja, kestäviä ja ekologisia rakennusmateriaaleja sekä uusinta talotekniikkaa. Tärkeintä passiivitalokonseptissa on ymmärtää kestävä kehityksen kannalta nykyistä pienemmät rakennuksesta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt ympäristöön sekä energiatlehokkuudesta saavutettavat hyödyt.</p>	
Hakusanat: Passiivitalo, ekologinen pientalo, energiatlehokkuus	
Säilytyspaikka: Turun ammattikorkeakoulun kirjasto	

## ABSTRACT

### TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Civil Engineering	
Author: Teemu Skippari	
Title: Timber-framed passive house	
Specialization line: Structural Engineering	Instructor: TkL Vesa Virtanen
Date: Spring 2009	Total number of pages: 57 + 13
<p>A passive house is a building which consumes less heating energy than a normal house. Almost all heat energy can be got from solar energy. Also the inhabitants, electronic devices, domestic appliances and lighting generate heat. The passive house has not ordinary heating system such as floor heating or radiators. Ventilation heating is a sufficient heat distribution form for the house.</p> <p>The consumption of heating energy is low in the passive house. Therefore, the exterior enclosing structures must be denser and better heat insulated than in a normal house. Also it is important to pay attention to the energy efficiency of the heating, plumbing and air-conditioning techniques. For example, a mechanical heat recovery ventilation system is essential in the passive house. The high efficiency of heat recovery guarantees the functionality of heat and moisture in the exterior walls of the house.</p> <p>The basic principle of the passive house does not limit architectural planning. The passive house is convenient for different user groups regardless of their various ways of life. The biggest benefits of the passive house are its economical efficiency, good thermal comfort, and the healthy quality of indoor air. In addition the inhabitants save money in heating energy costs.</p> <p>It is advisable to use simple structural solutions, ecological building materials and the newest house technique in the construction of a passive house. Thus will enable reaching the energy goals. To understand sustainable development in the passive house concept is significant because the houses reduce the emissions of carbon dioxide to the atmosphere. Now or in the future it will be noticed that energy efficiency brings more benefits than disadvantages.</p>	
Keywords: passive house, ecological house, energy efficiency	
Deposit at: Library of Turku University of Applied Sciences	

## JOHDANTO

Passiivitalokonsepti kehitettiin Saksassa 80- ja 90-luvun vaihteessa professorien Bo Adamsonin ja Wolfgang Feistin toimesta. Idea sai alkunsa Euroopassa jo toteutuneista matalaenergiataloista ja Pohjois-Amerikassa olevista rakennuksista, jotka hyödynsivät passiivisesti aurinkoenergiaa. Pyrkimyksenä oli suunnitella varsin energiatehokas, hyvän sisäilman omaava rakennus ilman raskaita lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmiä /1/.

Ensimmäinen passiivitalo rakennettiin koetaloksi Saksaan vuonna 1990. Pohjois-Amerikkaan passiivitalokonsepti kantautui vasta vuonna 2003. Vuonna 2008 passiivitaloja oli rakennettu maailmanlaajuisesti jo yli 15500, mutta Suomeen konsepti tekee vasta tuloaan /1/. Kymmeniä hankkeita on tällä hetkellä rakenteilla Suomessa, mutta muutamia taloja on vasta valmiina.

Passiivitalo käsittää omakotitalon lisäksi rivi- ja kerrostaloasumista sekä koulu- ja toimistorakentamista. Tämä opinnäytetyö keskittyy puurunkoiseen passiiviomakotitaloon. Työssä on tuotu esiin erilaisia passiivitalon rakenneratkaisuja ja vaihtoehtoista LVIS-tekniikkaa. Rakenteita suunniteltaessa tulee kiinnittää erityistä huomiota rakennuksen ulkovaipan ilmatiiveyteen samoin kuin tavallista paksumpiin lämmöneristekerrokseen. Talon LVIS-tekniikkaa valittaessa on painoarvo kohdistettava koneiden ja laitteiden energiatehokkuuteen, uusiutuvien energiamuotojen käyttömahdollisuuksiin sekä energiakulujen minimointiin.

Passiivitalon runkorakenteena voidaan käyttää betonia, tiiltä, terästä tai mitä tahansa muuta talorakennustekniikassa hyväksyttyä kantavaa materiaalia. Sitä ei ole rajattu millään tavalla. Tässä työssä runkorakenteeksi on valittu puu siitä syystä, että se on ympäristöystävällinen rakennusmateriaali ja luonnossa kasvava uusiutuva luonnonvara.

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on kiinnittää huomio yhä lisääntyvään passiivirakentamiseen sekä energiatehokkaaseen rakentamistapaan ja suunnitteluun. Olisi hyvä ymmärtää passiivitalon myönteinen vaikutus ympäristöä kuormittavien, haitallisten hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen. Passiivitalon tarkoitus on siis paitsi olla ympäristöystävällinen myös elinkaariedullinen. Elinkaarikustannusten minimointi saadaan aikaan sekä erilaisilla rakenneratkaisuilla että laadukkaalla talotekniikan avulla.

## **KÄSITTEET**

### **Hygroskooppinen roottori**

Sähkökoneen pyörivä osa, joka imee ilmasta kosteutta itseensä. Esimerkiksi ilmastointikoneessa oleva pyörivä lämmönsiirrin /46/.

### **Lämmön talteenoton vuosihyötysuhde**

Lämmön talteenoton vuosihyötysuhteella tarkoitetaan vuosittain talteen otettavan lämpömäärän suhdetta lämpömäärään, joka rakennuksen ilmanvaihdon lämmitykseen kuluisi ilman lämmön talteenottoa /48/.

### **Lämmön talteenottolaite (LTO -laite)**

Ilmanvaihtokoneessa oleva lämmönsiirtolaite, jolla saadaan poistoilmassa olevaa lämpöä talteen /4/.

### **Lämpöhäviö**

Lämmitystehontarve, joka syntyy lämmön siirtymisestä suoraan rakenteen läpi tai rakennuksen ulkovaipan ilmavuotojen kautta /4/.

### **Lämpökerroin**

Lämpökerroin on tuotetun lämpöenergian ja kompressorin kuluttaman sähkön suhde. Esimerkiksi maalämpöpumppujen lämpökerroin eli COP (coefficient of performance) on tyypillisesti 2,5 – 4 mallista riippuen /47/.

### **Lämpötilahyötysuhde**

Lämpötilahyötysuhteella tarkoitetaan tuloilman lämpenemisen suhdetta poistoilman ja ulkoilman väliseen lämpötilaerotukseen (vrt. lämmön talteenoton vuosihyötysuhde) /48/.

### **Normitalo**

Pientalon lämmöneristys on toteutettu Suomen rakentamismääräyskokoelman vähimmäisvaatimusten mukaan /4/.

### **Primäärienergia**

Primäärienergialla tarkoitetaan alkuperäistä energianlähdettä, jolla lämmitysenergia tuotetaan. Kun rakennus lämmitetään sähköllä, primäärienergialla tarkoitetaan energianlähdettä, jolla sähkö on tuotettu. Lähde voi siis olla esimerkiksi hiili, öljy, tuuli, tai ydinvoima /45/.

### **U-arvo**

Lämmönläpäisykerroin, joka kuvaa rakenteen lämmöneristyskykyä. Mitä pienempi lämmönläpäisykerroin on, sitä parempi on rakenteen lämmöneristyskyky /4/.

### **Ulkovaippa**

Ala- ja yläpohjan sekä ulkoseinien (mukaan lukien ikkunat ja ulko-ovet) muodostama kokonaisuus /4/.



# SISÄLTÖ

## JOHDANTO

## KÄSITTEET

<b>1</b>	<b>ENERGIATEHOKKUUS RAKENTAMISESSA</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>PASSIIVITALON MÄÄRITELMÄ</b>	<b>13</b>
2.1	Passiivitalo yleensä	13
2.2	Passiivitalon kansainvälinen määritelmä	14
2.3	Passiivitalon määritelmä Suomessa	14
<b>3</b>	<b>PASSIIVITALON SERTIFIOINTI</b>	<b>15</b>
<b>4</b>	<b>PUU PASSIIVITALON RAKENNUSMATERIAALINA</b>	<b>16</b>
<b>5</b>	<b>RAKENTEET PUURUNKOISESSA PASSIIVITALOSSA</b>	<b>19</b>
5.1	Perustukset ja alapohja	22
5.2	Ulkoseinä	23
5.3	Yläpohja	25
5.4	Ikkunat	27
5.4.1	Energiatehokkaan ikkunan rakenne	28
5.4.2	Ikkunoiden energialuokitus	29
5.5	Ulko-ovet	30
<b>6</b>	<b>RAKENTEIDEN ILMATIIVIYS PASSIIVITALOSSA</b>	<b>32</b>

<b>7</b>	<b>PASSIIVITALON ILMASTOINTIJÄRJESTELMÄ</b>	<b>35</b>
7.1	Energiatehokas ilmanvaihtokone	36
7.2	LTO-laitteen pyörivä lämmönsiirrin	37
<b>8</b>	<b>PASSIIVITALON LÄMMITYS JA JÄÄHDYTYS</b>	<b>38</b>
8.1	Ilmanvaihtolämmitys	39
8.2	Lattialämmitys	41
8.3	Jäähdytys	42
<b>9</b>	<b>PASSIIVITALON LÄMMÖNLÄHTEET</b>	<b>43</b>
9.1	Aurinkolämpö ja sen passiivinen hyödyntäminen	43
9.2	Aurinkolämpö ja sen aktiivinen hyödyntäminen	44
9.3	Maalämpö	47
9.4	Tulisijat	50
<b>10</b>	<b>YHTEENVETO</b>	<b>52</b>
	<b>LÄHTEET</b>	<b>53</b>
	<b>LIITTEET</b>	
	Liite 1. Puurunkoisen passiivitalon rakenneleikkaukset	
	Liite 2. Kiinteän energiatehokkaan ikkunan rakennedetalji	
	Liite 3. Passiivitalon ilmanpitävyyden toteuttaminen eri rakenneliittymissä ja läpivienneissä	
	Liite 4. Paroc Lupaus -passiivitalo	
	<b>KUVAT</b>	
	Kuva 1. Passiivitalon lämmitysenergiajakauma Suomen ilmastossa	15
	Kuva 2. Puun ekologiset ominaisuudet rakentamisessa	16

Kuva 3. Puurunkoisen passiivitalon periaatteellinen rakenneleikkaus	21
Kuva 4. Passiivitalon puurakenteinen I-palkkirunko	23
Kuva 5. Passiivitalon puinen kaksoisrunkorakenne	24
Kuva 6. SPU Systems Oy:n patentoima passiivikattorakenne	27
Kuva 7. Energiatehokas Tradia Alfa 175 -puualumiini-ikkuna	29
Kuva 8. Tradia alfa 175 -ikkunan energialuokitus	30
Kuva 9. Passiivitaloon sopiva ulko-ovi	31
Kuva 10. Pientalon ulkovaipan tyypillisiä ilmapuotoikohtia	34
Kuva 11. Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän periaatepiirros	35
Kuva 12. Enervent Oy:n kehittämä Greenair HP -ilmanvaihtokone	37
Kuva 13. VERSO-R-sarjan pyörivä lämmönsiirrin	38
Kuva 14. Ilmanvaihtolämmityksen toimintaperiaate	39
Kuva 15. ECO 1 -ilmanvaihtolämmitin	40
Kuva 16. ECOT -säätöyksikkö	40
Kuva 17. Rakennuksen sijoittaminen tontille	44
Kuva 18. Kaaviokuva passiivitalon eri lämmönlähteiden ja lämmitysjärjestelmien yhteistoiminnasta	45
Kuva 19. JTV-energia Ky:n kehittämä tasokeräinjärjestelmä	46
Kuva 20. JTV-energia Ky:n kehittämä tyhjiöputkijärjestelmä	46
Kuva 21. Maalämpöputkiston periaatekuva	48
Kuva 22. Porakaivoputkiston periaatekuva	49
Kuva 23. Savupiippuvaraajan toimintaperiaate	51

## **KUVIOT**

Kuvio 1. Energia- ja päästövertailu eri ulkoseinärakenteilla	18
Kuvio 2. Rakennusvaipan ilmanpitävyyden suhde tilojen suhteelliseen lämmitysenergian kulutukseen	33
Kuvio 3. Jäähdytystarpeen hallinta kesällä	42

## **TAULUKOT**

Taulukko 1. Suositeltavat U-arvot passiivitalon rakenteille	19
---	----

## 1 ENERGIATEHOKKUUS RAKENTAMISESSA

Rakennusten energiatehokkuuteen on viime vuosina kiinnitetty erityisen suurta huomiota Kioton ilmastopimuksen asettamien vaatimusten toteuttamiseksi ja rakennusten haitallisten ympäristövaikutusten vähentämiseksi. Rakennusten haitallisista ympäristövaikutuksista niiden energiankäytöllä on suurin merkitys /2/.

Tällä hetkellä Suomen rakennusten energiankulutus aiheuttaa kolmanneksen maan kasvihuonepäästöistä eli noin 22 miljoonaa tonnia hiilidioksidia vuodessa /3/. Tästä noin 40 % kuluu rakennusten tilojen lämmitykseen /4/. Energiatehokkaat talomallit ovat siis ratkaisevassa asemassa kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä.

Energiatehokkailla talomalleilla tarkoitetaan rakennuksia, joiden kokonaisenergian kulutus on mahdollisimman pieni. Kokonaisenergian kulutukseen voidaan vaikuttaa pienentämällä rakennuksen kuluttamaa lämmitysenergiaa. Rakennuksen lämmitysenergian kulutusta pystytään pienentämään ala- ja yläpohjan sekä ulkoseinän lämmöneristettä lisäämällä sekä kiinnittämällä erityistä huomiota rakennuksen ulkovaipan ilmapitävyyteen.

Kun matalaenergiatalot kuluttavat noin puolet vähemmän lämmitysenergiaa tämän hetkisen rakennusmääräykset täyttävän omakotitalon keskimääräisestä kulutuksesta /4/ , niin passiivitalon kriteerit täyttävän uudisrakennuksen lämmitys tarvitsee arviolta 70 % vähemmän energiaa tavanomaisiin normitaloihin nähden /3/. Tämä lämmitysenergiatarpeen eroavaisuus matalaenergiatalon ja passiivitalon välille on saatu parantamalla rakennuksen ulkovaipan U-arvoja entisestään sekä pienentämällä rakennuksen lämpöhäviöitä tiiviillä vaipparakenteella.

Energiatehokkaalla rakentamistavalla voidaan säästää merkittävä määrä energiaa ja vähentää ympäristöä kuormittavia hiilidioksidipäästöjä. Tämä on huomioitu myös EU:n energiatehokkuusohjelmassa, mikä toteutuessaan edellyttäisi passiivitalojen käyttöönottoa uudisrakentamisen standardina vuodesta 2015 eteenpäin /3/. Suomalaisissa viranomaisäännöksissä rakennusten energiatehokkuutta käsitellään rakentamismääräyskokoelman osassa D3 ja energiankulutuksen sekä lämmitystehontarpeen laskentaa osassa D5 /2/.

## **2 PASSIIVITALON MÄÄRITELMÄ**

### **2.1 Passiivitalo yleensä**

Passiivitalo on energiaa säästävän talon malliratkaisu. Energiansäästö perustuu yksinkertaiseen energiansäästöteknologiaan: lämpöhäviöiden pienentämiseen lämmöneristämisen, rakenteiden ilmanpitävyyden ja ilmanvaihdon lämmön talteenoton avulla. Hyvin eristetty talo voi käyttää hyödyksi myös ikkunoiden kautta saatavaa auringon energiaa sekä kodinkoneista ja laitteista syntyvää lämpöä /5/.

Energiatehokkuuden tavoitteena on hyvä ja terveellinen sisäilmasto. Hyvästä energiatehokkuudesta johtuen passiivitalossa ei tarvita perinteisiä lämmönjakojärjestelmiä kuten lattialämmitystä tai radiaattoreita. Lämmönlähteenä voidaan käyttää esimerkiksi ilmanvaihtojärjestelmään liitettäviä vastuksia, jolloin lämpö tuodaan huonetiloihin ilmanvaihdon tuloilman avulla. Näin ollen perinteisen lämmitysjärjestelmän pois jättämisestä aiheutuvat kustannussäästöt korvaavat osittain energiatehokkaan rakennuksen lämmöneristämisestä aiheutuvia lisäkustannuksia /5/.

## 2.2 Passiivitalon kansainvälinen määritelmä

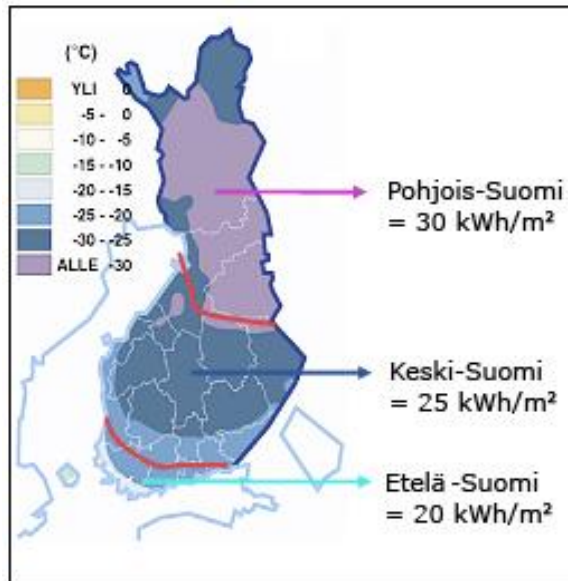
Rakennuksen tulee täyttää kolme keskeistä ehtoa, ennen kuin se voidaan sertifioida passiivitalona kansainvälisesti. Nämä tekniset vaatimukset ovat seuraavat:

- Rakennuksen lämmöntarve saa olla korkeintaan 15 kWh/m<sup>2</sup>/vuosi.
- Rakennuksen yhteenlaskettu primäärienergiantarve saa olla korkeintaan 120 kWh/m<sup>2</sup>/vuosi, sisältäen kokonaislämmöntarpeen, lämpimän käyttöveden energiankulutuksen sekä talotekniikan ja kotitalouden vaatiman sähkönkulutuksen eri energialähteiden primäärienergiakertoimilla painotettuna.
- Rakennuksen Ilmanvuotoluku n<sub>50</sub> saa olla korkeintaan 0,60 1/h (0,3–0,4 1/s/m<sup>2</sup>) EN 13829:n mukaan. Ilmatiiveystestaus suoritetaan sekä ali- että ylipaineella /42/.

## 2.3 Passiivitalon määritelmä Suomessa

Valtion teknillinen tutkimuslaitos (VTT) on laskennallisesti määrittänyt PEP - tutkimuksen (Promotion of European Passive Houses) pohjalta, kuinka paljon lämmitysenergiaa passiivitalo Suomen eri olosuhteissa tarvitsee /3/. Tulosten perusteella Pohjois-Euroopan maissa 60 leveysasteen pohjoispuolella olevilla passiivitaloilla keskimääräinen lämmitystarve on suurempi kuin Etelä-Euroopan lämpimissä ilmastoissa /6/.

Kuvassa 1 on esitetty passiivitalon lämmitystarvejakauma Suomen ilmastossa siten, että Pohjois-Suomessa rakennus saa kuluttaa lämmitysenergiaa maksimissaan 30 kWh/m<sup>2</sup>, Keski-Suomessa 25 kWh/m<sup>2</sup> ja Etelä-Suomessa 20 kWh/m<sup>2</sup> /6/. Passiivitalon lämmitysenergian kulutus lasketaan vuositasolla, joten kesä- ja talviaikojen kulutusvaihteluilla ei ole merkitystä niin kauan, kun ne pysyvät asetetuissa raja-arvoissa (20–30 kWh/m<sup>2</sup>/vuosi). /6./ Lisäksi passiivitalon kansainvälisen määritelmän tavoin rakennuksen ilmatiiviysluku n<sub>50</sub> on oltava pienempi kuin 0,6 kertaa tunnissa, mutta primäärienergian tarve saa olla välillä 120–140 kWh/m<sup>2</sup>/vuosi.



Kuva 1. Passiivitalon lämmitysenergiajakauma Suomen ilmastossa /6/.

### 3 PASSIIVITALON SERTIFIOINTI

Passiivitaloja, jotka täyttävät varsinaisen passiivitalon kriteerit, sertifioi tällä hetkellä 13 valtuutettua tutkimuslaitosta ja yritystä. Näitä saksalaisen Passivhaus Institutin valtuuttamia sertifioijia on nykyisin Saksan lisäksi myös Englannissa, Sveitsissä, Itävallassa ja Suomessa. Sertifioinnin toimialuetta ei ole mitenkään rajattu maantieteellisesti, joten missä tahansa maassa olevia passiivitaloja voidaan sertifioida. Sertifioituja passiivitaloja on rakennettu siten myös Irlantiin, Luxemburgiin, Tanskaan ja Puolaan /42/.

Suomessa Passiivitaloja sertifioi Passiivitalo.fi Oy kansainvälisen Passivhaus Institutin perustaman passiivitalojen sertifiointikäytännön mukaan. Passiivitalojen sertifiointikäytäntö on ollut voimassa jo vuodesta 1996 lähtien ja ainakin 1000 passiivitaloa ympäri Eurooppaa on jo sertifioitu tämän käytännön alla /42/.

## 4 PUU PASSIIVITALON RAKENNUSMATERIAALINA

Puu sopii erityisen hyvin passiivitalon rakennusmateriaaliksi. Kun rakennuksen käytön aikainen energiankulutus on noin neljäsosa normitaloon verrattuna, korostuu vastaavasti rakennusmateriaaleihin ja rakentamiseen sitoutuvan energian merkitys. Puurakenteisen rakennuksen materiaaleihin ja rakentamiseen sitoutuva energia on esimerkiksi alle puolet betonirakennukseen sitoutuvasta energiasta /4/.

Todistettavasti voidaan sanoa, että puuenergian käyttö ei lisää kasvihuoneilmiötä. Päinvastoin puu sitoo kasvaessaan ilmasta hiilidioksidia. Tutkimusten mukaan keskivertopuu sitoo tonnin hiilidioksidia jokaista kasvattamaansa puukuutiometriä kohden. Tämän lisäksi puu materiaalina on kierrätettävää ja se on sataprosenttisesti uusiutuva luonnonvara /9/. Puun ekologisia ominaisuuksia rakentamisessa on esitetty kuvassa 2.



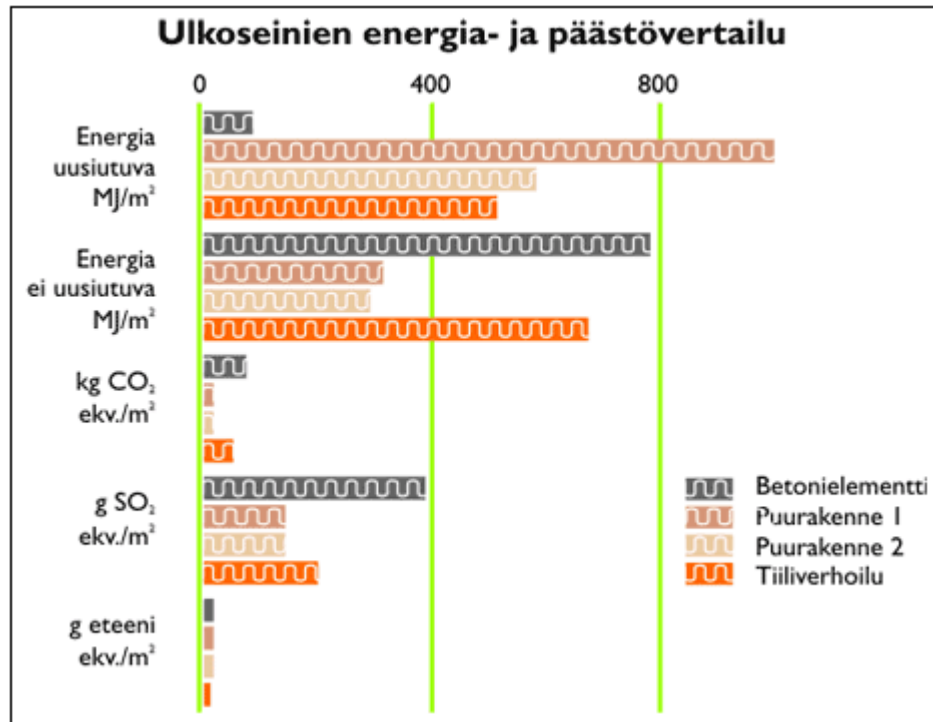
Kuva 2. Puun ekologiset ominaisuudet rakentamisessa /9/.

Useiden elinkaarivertailujen mukaan puurakenteinen talo kuluttaa vähemmän luonnonvaroja ja aiheuttaa vähemmän ympäristöhaittoja kuin betoni-, tiili- tai teräsraken-



teinen talo /9/. Tämän perusteella puurunkoinen passiivitalo voidaan toteuttaa ympäristöä säästävällä ryömintätalallisella rossipohjaratkaisulla, jolloin puu toimii pääasiallisena rakennusmateriaalina myös talon alapohjassa. Toisaalta puurunkoisessa passiivitalossa - niin kuin muussakin rakentamisessa - tulisi tiiltä ja betonia käyttää vain harkitusti, toteuttaen niillä ainoastaan sellaisia rakentamisen osakokonaisuuksia, jotka eivät ole puumateriaalilla mahdollisia.

Sahatavaran valmistus kuluttaa huomattavasti vähemmän energiaa kuin muiden rakennusmateriaalien valmistus. Esimerkiksi betonin valmistus vaatii kaksinkertaisen määrän energiaa ja tiilen valmistus nelinkertaisen. VTT:n LCA-House -mallilla tehty ulkoseinävertailun mukaan puurakenteisen seinän valmistamisessa käytetään eniten uusiutuvaa energiaa ja vähiten fossiilista energiaa. Täten se aiheuttaa pienemmät kasvihuonekaasujen ja happamoittavien aineiden päästöt kuin betoni- ja tiiliseinä /9/. Kuviossa 1 on esitetty energia- ja päästövertailu eri ulkoseinän ulkoverhouksilla, ja siitä nähdään, että betonielementtiseinä kuluttaa eniten uusiutumattomia energiavaroja. Samoin hiilidioksidi- ja rikkidioksidipäästöt rakennettua seinäneliötä kohden ovat huomattavasti suuremmat kuin puurakenteella.



Kuvio 1. Energia- ja päästövertailu eri ulkoseinärakenteilla /9/.

Puun on todennettu parantavan rakennuksen sisäilman laatua sen hengittävyuden ansiosta. Puuhun voi helposti siirtyä ympäristöstä diffuusiolla vesihöyryä, jossa vesihöyry voi sitoutua hygroskooppiseen aineeseen ja päinvastoin vapautua siitä, siirtymällä takaisin ympäristöön. Puulla on siis hygroskooppinen ominaisuus, eli kyky imeä kosteutta huoneilmasta ja toisaalta luovuttaa sitä takaisin. Tällä tavoin puupinnat taasaavat huoneilman kosteutta ja pienentävät sisäilman kosteusvaihteluita. Tämä lisää asumisviihtyvyyttä, parantaa sisäilman laatua, vähentää ilmanvaihdon tarvetta ja samalla myös energiankulutusta /9/.

Passiivitalolle lähes välttämätön ehto on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto hyvällä lämmön talteenoton vuosihyötysuhteella, joten puun käyttö ilmastointijärjestelmän kannalta tiiviissä talomallissa on erittäin hyvä paitsi sisäilman laatua edesauttavana myös kosteutta sitovana ja vapauttavana materiaalina. Puun käyttö sisäverhouslevynä (vaneri, lastulevy, huokoinen puukuitulevy) rakennuksen ulkovaipparakenteen lisäksi on varsin varteenotettava vaihtoehto, mutta se on usein kalliimpi toteuttamistapa kipsilevysisäverhoukseen verrattuna.

## 5 RAKENTEET PUURUNKOISESSA PASSIIVITALOSSA

Rakenteet puurunkoisessa passiivitalossa ovat massiivisemmat kuin tavanomaisessa omakotitalossa. Tämä selittyy yksinkertaisesti sillä, että lämmöneristysmääriä rakennuksen ulkovaipassa on kasvatettava, jotta passiivitalolle asetetut energiatavoitteet voidaan saavuttaa. Rakennusvaipan ilmatiiveyden aikaansaamiseksi passiivitalossa höyrynsulkumuovi asennetaan periaatteessa samoin tavoin kuin normaalissa omakotitalossa, mutta asennustyö tehdään entistä huolellisemmin. Ilmanvuotokohdat aiheuttavat rakennukselle lämpöhäviöitä, jolloin energian kulutus kasvaa. Tämä näkyy osana myös asukkaan lämmitysenergiälaskussa.

Taulukossa 1 on esitetty suositeltavat U-arvot passiivitalon rakenteille, jolloin rakennuksen vuotuinen lämmitysenergiantarve alittaa sille asetetut raja-arvot. Lämpöhäviöt rakennuksen ikkunoiden kautta ovat selvästi suuremmat verrattaessa rakennuksen muihin vaipan osiin. Eri ikkunavalmistajien tuotekehityksen ansiosta energiatehokkuus ikkunoissa on kuitenkin kasvanut, joka mahdollistaa passiivitalon ikkunoille suositellun lämmönläpäisyarvon  $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$  alittamisen.

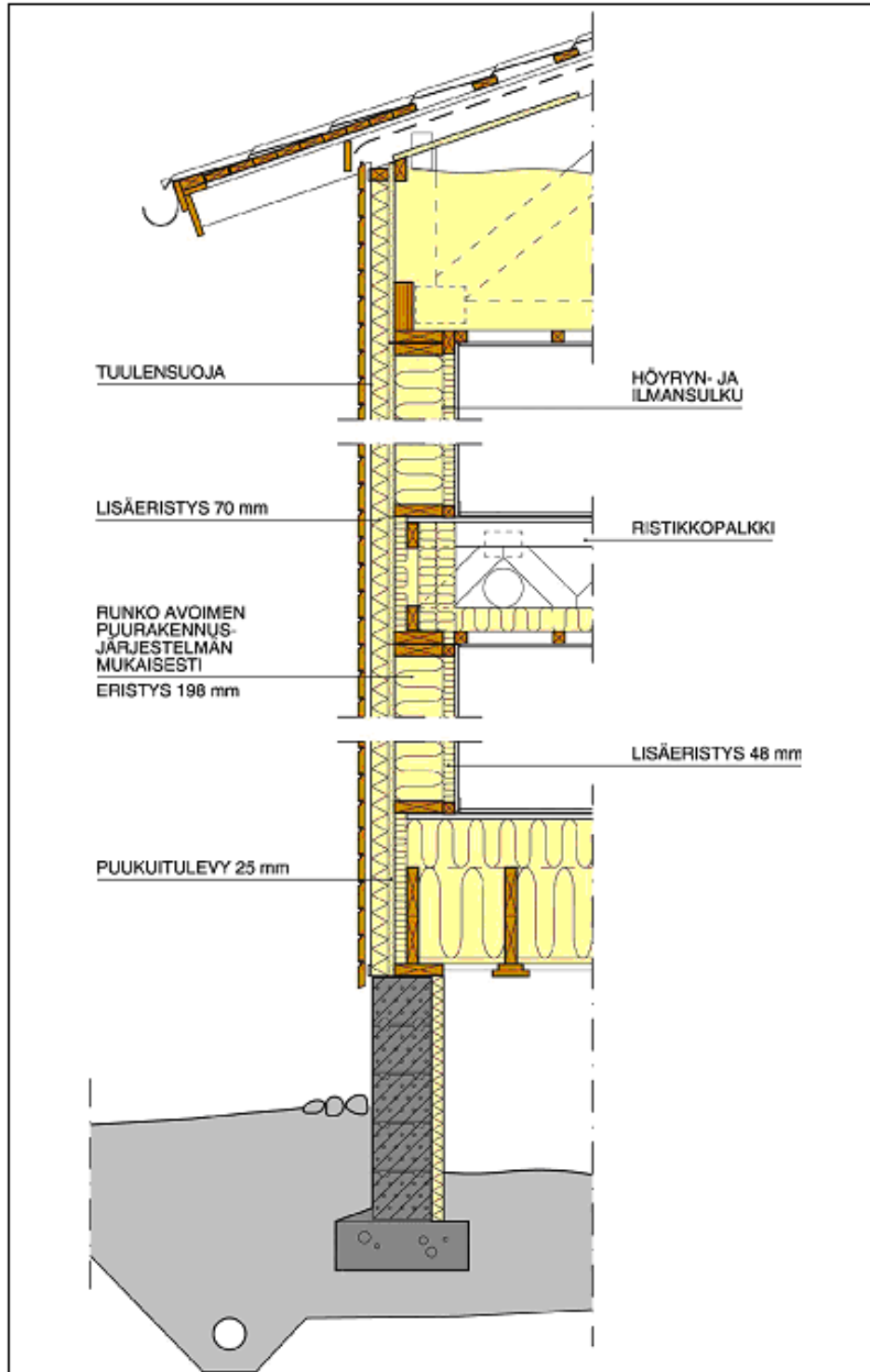
Rakenne	U-arvo
Ulkoseinä	$U < 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$
Yläpohja	$U < 0,08 \text{ W/m}^2\text{K}$
Maanvarainen alapohja	$0,1 < U < 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$
Tuuletettu alapohja	$U < 0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$
Ikkunat	$U < 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$
Ulko-ovet	$U < 0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$

Taulukko 1. Suositeltavat U-arvot passiivitalon rakenteille [7].

Passiivitalon ulkovaipan rakenteet saavat olla minkälaisia tahansa, kunhan niistä muodostuva kokonaisuus täyttää passiivitalolle asetetut kriteerit sen sertifiointiin. Kestävän kehityksen aikaansaamiseksi ja ympäristön turvaamiseksi olisi kuitenkin hyvä käyttää ekologisia rakennusmateriaaleja ja -työtapoja. Esimerkiksi kierrätettävien rakennusmateriaalien käyttöä voitaisiin lisätä ja rakennusjätteiden syntymistä minimoida.

Koska ulkovaipan rakenneratkaisut voivat vaihdella passiivitalossa, myös sen rakenneleikkaukset ovat erilaisia. Kuvassa 3 on esitetty puurunkoisen passiivitalon periaatteellinen rakenneleikkaus. Runko on tehty avoimen puurakennusjärjestelmän mukaisesti, jolloin lämmöneristeenä on käytetty pehmeää mineraalivillaa. Yläpohja on toteutettu puuristikkorakenteella ja lämmöneristeenä on käytetty puhallusvuorivillaa. Alapohja on rossipohja, joka on suunniteltu kantavaksi tukeutuen perusmuurirakenteisiin. Siinä mineraalivillalevyt kulkevat puupalkkien päällä ja välissä muodostaen ehyen lämmöneristekerroksen.

Liitteessä 1 on esitetty puurunkoisen passiivitalon ulkoseinän sekä ylä- ja alapohjan rakenneleikkaukset. Lämmöneristeenä näissä rakenteissa on käytetty selluvillaa. Lisäksi liitteessä 2 on nähtävissä suoraan puurunkoon liitettävän kiinteän energiatehokkaan ikkunan rakennedetalji.



Kuva 3. Puurunkoisen passiivitalon periaatteellinen rakenneleikkaus /7/.

## 5.1 Perustukset ja alapohja

Passiivitalo ei aiheuta routasuojausta lukuun ottamatta erityisvaatimuksia perustamistavalle. Perustamistapana tulee kyseeseen esimerkiksi normaali betonianturoille tehty harkkoperustus tai heikoilla maapohjilla reunavahvistetulle betonilaatalle perustaminen /8/. Myös tuuletettu ryömintätilallinen alapohjaratkaisu on passiivitalolle mahdollinen.

Passiivitalossa on normaalia paremmin eristetty alapohja, jolloin sen lävitse kulkeva lämpövirta on tavanomaista pienempi, mikä lisää routaantumista. Routasuojauksen tulee olla siten tavanomaista routasuojausta vahvempi, ei missään tapauksessa pienempi. Rakennuksen routasuojausohjeiden mukaan suunniteltaessa routasuojauksessa on ylimääräistä varmuutta. Siitä huolimatta passiivitalon routasuojaus tulee arvioida tapauskohtaisesti eri ilmasto-olosuhteet huomioiden /8/.

Passiivitalon perustuksen ja seinän liitoksen suunnittelussa on vältettävä kylmäsiltojen muodostumista ja huolehdittava sauman tiiveydestä. Paineekyllästetty aluspuu on eristettävä bitumikaistalla perustuksista. Tiivisteinä voidaan käyttää esimerkiksi mineraalivillakaistoja tai erityisiä kumiprofiileja. Ilmatiiveyden varmistamiseksi seinän ja lattian raja on tiivistettävä sisäpuolelta esimerkiksi polyuretaanivaahdolla /8/. Tuuletetun ryömintätilallisen alapohjan perustuksen ja seinän liitos saadaan usein suunniteltua ja rakennettua tiiviiksi, jolloin tiivistystyö voidaan jättää vähemmälle. Tuuletusväliä tulee kuitenkin kasvattaa kantavassa alapohjassa entisestään paksunevien eristekerroksien takia.

Kun passiivitalon alapohja toteutetaan maanvaraisen betonilaatalla, lämmöneristeenä voidaan käyttää esimerkiksi polystyreenilevyjä (EPS-eristelevyt), jolloin eristepaksuus vaihtelee 250 - 300 mm:iin. Tuuletetun ryömintätilallisen alapohjan eristys voidaan taas toteuttaa esimerkiksi pehmeällä mineraalivillalla. Levyeristyksen paksuus on tällöin 400 – 500 mm. Tavanomaisessa omakotitalorakentamisessa käytetty eristepaksuus on noin 100 mm.

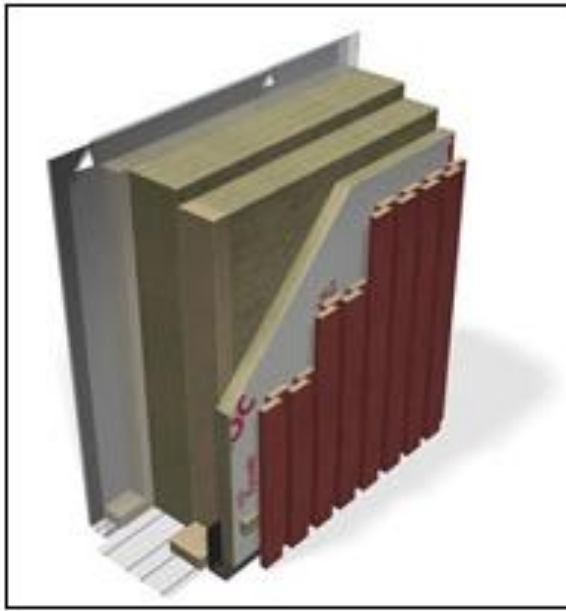
## 5.2 Ulkoseinä

Passiivitalon puurunkoinen kantava ulkoseinärakenne voidaan toteuttaa avoimen puurakennusjärjestelmän mukaisesti tai vaihtoehtoisesti puisella I-palkkirungolla (Kuva 4). /10./ Puinen I-palkkirunko vähentää kylmäsiltaavaikutusta verrattuna normaaliin puurunkoratkaisuun. Lisäksi massiivinen levylämmöneriste kantavien I-palkkirakenteiden välissä vähentää merkittävästi kosteutta I-palkeissa.



*Kuva 4. Passiivitalon puurakenteinen I-palkkirunko /10/.*

Koska lämmöneristyskerroksen tiiviissä passiivitalossa täytyy olla paksu rakenteiden pienen lämmönläpäisyn johdosta, normaali puurunkoseinä joudutaan usein toteuttamaan kaksoisrunkorakenteena (Kuva 5). Yksinkertainen puurunko on myös mahdollinen, mutta runkopilarien leveyttä tulee kasvattaa - nykyisin pientaloissa hyvin yleisesti käytetystä 148 mm:stä - paksunevan lämmöneristekerroksen takia.



*Kuva 5. Passiivitalon puinen kaksoisrunkorakenne /10/.*

Passiivitalon puurunkoisen ulkoseinän eristyspaksuus pehmeällä mineraalivillalla toteutettuna vaihtelee 350 – 500 mm:iin, jolloin ulkoseinälle asetetut U-arvo vaatimukset saavutetaan.

Oleellista passiivisille seinärakenteille on asentaa höyrynsulkumuovi sisäpinnan pintakerroksen alle tai sisäpinnan välittömään läheisyyteen (noin 50 mm). Höyrynsulkumuovi liitetään huolellisesti teippaamalla yläpohjan höyrynsulkuun ja tiivistetään alapohjaan. Höyrynsulkuun saa tehdä vain välttämättömien läpivientien vaatimat reiät, jotka pitää tiivistää huolellisesti /8/. Käytännössä kuitenkin höyrynsulkumuovi pyritään pitämään koskemattomana ja sähköputkitukset kuljetetaan höyrynsulkumuovin sisäpuolella rikkomatta kalvorakennetta.



Tiiviillä höyrinsululla varmistetaan seinän kosteustekninen toiminta ja vaipan tiiviys. Höyrinsulkumuovi on myös oleellinen passiivirakennuksen osa ilmanvaihdon ja lämmöntalteenoton onnistumiselle. Muutoin seinärakenne voidaan suunnitella normaalin käytännön mukaisesti kylmäsiltoja välttäen /8/. Kylmäsiltojen muodostumista voidaan ehkäistä esimerkiksi tekemällä puinen kaksoisrunkojärjestelmä tai sijoittamalla runkotolpat normaalia leveämmän alajuoksun päälle limittäin, jolloin lämmöneriste katkaisee kylmäsiltojen muodostumisen vuorotellen sekä rungon ulko- että sisäpuolelta. Energiansäästön kannalta kuitenkin on tärkeämpää seinän U-arvo, ei niinkään seinärakenne.

Puurunkoisen polyuretaanilevyillä toteutetun passiivitalon ulkoseinärakenteen lämmöneristekerros on mineraalivillaa ohuempi sen paremman lämmönläpäisykertoimen ansiosta. Sen etuja ovat muun muassa ulkoseinärakenteen yksinkertainen toteutus ja lämpötaloudellinen tehokkuus. Rakenne ei edellytä erillistä höyrinsulkukerrosta ja polyuretaanieristyslevyt toimivat samalla rakennuksen tuulensuojalevyinä. Polyuretaanilevyt asennetaan ulkoapäin runkotolppien väliin saumavaahdolla tiivistäen /11/. Lämmöneristepaksuus polyuretaanilevyeristeellä toteutetussa passiivitalossa vaihtelee 250 – 350 mm:iin. Polyuretaanilevyjen käyttö puurunkoisessa pientalossa on kuitenkin vielä vähemmän käytetty eristysmenetelmä ja sen asennus on huomattavasti hankalampaa mineraalivillan verrattuna.

### 5.3 Yläpohja

Puurunkoisen passiivitalon yläpohjaeristeenä voidaan käyttää puhallettua mineraalivillaa tai selluvillaa tai vaihtoehtoisesti esimerkiksi eristyslevyjä. Puhallusvillan etuna on parempi asennettavuus verrattaessa eristyslevyihin, sillä se täyttää varmemmin kattoristikoiden sauvojen välit, jolloin pystysuuntaiselle ilmavirtaukselle ei jää rakoja. Levyeristettä käytettäessä tulevat eristeet latoa lomittain, jotta ilmavirtauksen mahdollistavia rakoja ei yläpohjaan synny /8/.

Kosteusteknisen toiminnan ja tiiveyden kannalta on oleellista, että sisäkaton koolauksen ja kattokannattajien väliin tulee höyrynsulkumuovi. Höyrynsulkumuovin saumat on tiivistettävä huolellisesti teippaamalla, samoin kuin liitos seinän höyrynsulkumuoviin. Kattoon tulevat sähköputket ja valaisinrasiat mahtuvat yleensä kulkemaan koolausvälissä (50 mm), eivätkä siten riko höyrynsulkua. Ilmanvaihtokanavat on kuljetettava alakatoissa tai koteloituna höyrynsulun sisäpuolella läpivientien minimoimiseksi /8/. Kuljetettaessa ilmanvaihtokanavia höyrynsulun ulkopuolella putkien ympärillä olevasta lämmöneristeestä on huolehdittava.

Yläpohjan eristyspaksuus passiivitaloissa vaihtelee 450 – 800 mm:iin eristystavasta riippuen, jolloin tarvittava lämmönläpäisykerroin saavutetaan. Yhdistetyllä yläpohjan puhallusvilla- ja levyeristeratkaisulla päästää noin 700 mm:n eristekerrokseen, jolloin levyeriste asennetaan puhallusvillan alapuolelle sekä ristikkorakenteen alapaarteiden väliin että höyrynsulkumuovin sisäpuolelle koolausväliin.

Kuvassa 6 on esitetty SPU Systems Oy:n patentoima energiatehokas passiivikattorakenne. Se on niin sanottu sandwich-elementti, jossa polyuretaanieristelevyyn on kiinnitetty molemmin puolin 27 mm:n havuvaneri. Vaneriin on kiinnitetty sekä sisä- että ulkopuolen koolaus. 60 mm:n välein asennetulla ulkopuolisella koolauksella (50x100 mm) huolehditaan elementtirakenteen riittävästä tuuleuksesta ja sisäpuoliseen koolaukseen (50x100 mm) kiinnitetään sisäkaton verhouksmateriaali. Passiivikattorakenne on kantava ja tavallisesti se asennetaan kurkihirren ja ulkoseinän varaan. Erillistä höyrynsulkumuovia passiivikattoelementti ei tarvitse ja se voidaan jatkaa rakennuksen räystääksi elementin katkeamatta. Eristepaksuutta rakenne vaatii 320 mm, jolloin yläpohjan U-arvoksi saadaan 0.07 W/m<sup>2</sup>K /12/.



*Kuva 6. SPU Systems Oy:n patentoima passiivikattorakenne /12/.*

#### 5.4 Ikkunat

Merkittävä osa lämmitysenergiasta johtuu ulos ikkunoiden kautta, koska ne ovat rakennuksen vaipan huonoimmin lämpöä eristävä rakenneosia. Lämmitysenergian kulu- tusta lisää myös ikkunoiden ja ulkoseinärakenteen väliset vuotavat liitokset, jos tiivistä- mistyö on puutteellinen tai se on laiminlyöty kokonaan.

Ikkunat eivät ole pelkästään lämpöä hukkaavia rakenneosia. Niiden kautta saadaan rakennukseen auringon säteilyä, joka pienentää valaistukseen ja lämmitykseen tarvit- tavaa energiaa. Olohuoneen ja muiden oleskelutilojen ikkunat kannattaa suunnata ete- lään, jolloin ne antavat valoa myös talvella. Sopivan kokoiset räystäsrakenteet ja säle- kaihtimet ikkunoissa estävät liiallisen auringonpaisteen kesällä /13/.

Ikkunoiden pinta-ala on tyypillisesti 15 - 20 % rakennuksen kerrosalasta. Tämä ikku- napinta-ala tulisi hyödyntää passiivitalossa käyttämällä korkeudeltaan matalia ikku- noita, sillä suuret - seinän korkuiset ikkunapinnat - aiheuttavat tiiviiseen talorakenteeseen helpommin vedontunnetta ja näin ollen niiden energiatehokkuus kärsii. Lämpö- viihtyvyyden kannalta ikkunan korkeuden rajana voidaan pitää 1,8 metriä /16/. Kor- keimmat rakennuksen ikkunat sijaitsevat yleensä olohuoneessa.

Ikkunoiden lämmöneristyskykyä on yleensä kuvattu muiden rakenneosien tapaan lämmönläpäisykertoimella eli U-arvolla ( $W/m^2K$ ). Pelkkä U-arvo ei kuitenkaan kerro kaikkea ikkunan energiatehokkuudesta. Auringonsäteilyn kokonaisläpäisykerroin (g-arvo) kertoo kuinka hyvin ikkuna hyödyntää auringon säteilyenergiaa. Lisäksi koko ikkunarakenteen (lasi, karmit ja puitteet) ilmantiiveys on energiankulutuksen kannalta merkittävä asia /13/.

#### 5.4.1 Energiatehokkaan ikkunan rakenne

Hyvään ikkunan U-arvoon päästään paitsi ilmanpitävyyden myös ikkunan lasien selektiivipinnoitteen ja eristyslasien täytekaasujen avulla. Selektiivipinnoite on läpinäkyvä metalli- tai metallioksidipinnoite, joka läpäisee ja heijastaa säteilyn eri taajuuksia eri tavoin. Sen tarkoituksena on vähentää ikkunan lasien välistä lämpösäteilyä ja parantaa siten ikkunan lämmöneristävyyttä. Samoin eristyslasien täytekaasuja käytettäessä lämmöneristävyys paranee, kun eristyslasien välitila täytetään ilmaa hidaskäyttöisemmällä jalokaasulla, joita ovat esimerkiksi argon, krypton ja ksenon /13/.

Energiatehokkaan ikkunan ilmanpitävyyteen vaikuttavat muun muassa ikkunan eri osien väliset liitokset, ikkunan tiivisteet (erityisesti sisäpuolteen ja karmien välinen tiiviste) sekä välilistan materiaali. Esimerkiksi ruostumaton teräs, TPS -massa (Thermal Protection System) ja muovi välilistamateriaalina eristävät paremmin lämpöä kuin alumiini /13/.

Kuvassa 7 on esitetty Skaala Oy:n valmistama nelilasininen (2+2) sisäänpäin aukeava energiatehokas Tradia Alfa 175 -puualumiini-ikkuna. Sen sisä- ja ulkopuolteen välillä on vakiolasituksena kaksilasininen eristyslasielementti, jonka välitilan täytekaasuna on argon. Ikkunan sisin lasi on selektiivilasi ja uloin auringonsuoja- ja selektiivilasin yhdistelmä. Lasit on kiinnitetty puitteisiin silikonimassalla ja lasituslistalla, jonka saumat on tiivistetty. Lisäksi ulko- ja sisäpuolteen karmiin ja karmiverhoukseen ovat tiivistetty /14/.

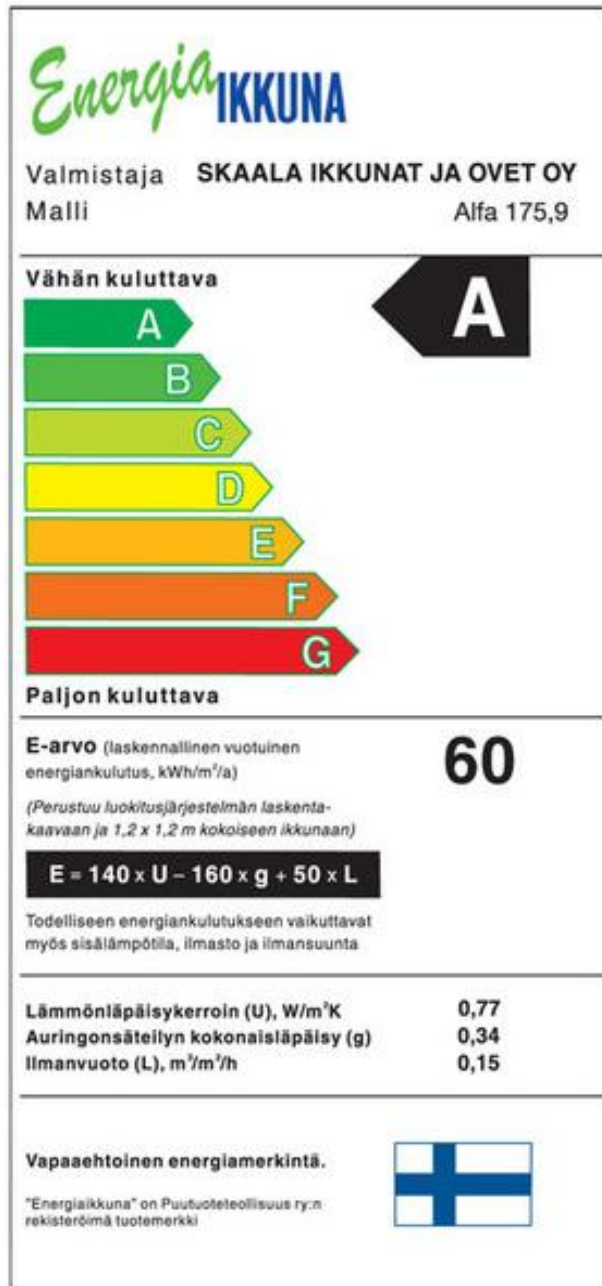


*Kuva 7. Energiatehokas Tradia Alfa 175 -puualumiini-ikkuna /15/.*

#### 5.4.2 Ikkunoiden energialuokitus

Ikkunoiden energialuokitus on kehitetty, jotta kuluttajat voisivat mahdollisimman helposti vertailla eri ikkunamallien energiatehokkuutta. Energialuokituksessa lasketaan U-arvon, g-arvon sekä ikkunan ilmanpitävyyden mukaan vertailuarvo E (kWh/m<sup>2</sup>/vuosi). Esimerkiksi E-arvo 100 kWh/m<sup>2</sup>/vuosi tarkoittaa, että jokainen ikkunaneliometri kuluttaa 100 kWh energiaa vuodessa /13/. Ikkunoiden energialuokitus on ikkunavalmistajille vapaaehtoinen, mutta jo tällä hetkellä luokiteltuja ikkunoita saadaan suurimmilta kotimaisilta ikkunavalmistajilta.

Passiivitalon tiiviille ikkunoille on olennaista, että U-arvo on 0,8 W/m<sup>2</sup>K tai sen alle. Skaalan Tradia alfa 175 –ikkunassa päästään 0,77 W/m<sup>2</sup>K:n U-arvoon, mikä tarkoittaa sitä, että ikkunaa voidaan hyväksytysti käyttää standardisoituneissa passiivitaloissa. Ikkunan E-arvoksi on saatu 60 kWh/m<sup>2</sup>/vuosi (kuva 8), joten sen energiatehokas rakenne päästää erittäin vähän sisäilman lämpöä läpi tavanomaiseen ikkunaan verrattuna. Näin ollen ikkunan aiheuttava lämmitystarve vuodessa jää pieneksi.



Kuva 8. Tradia alfa 175 –ikkunan energialuokitus /15/.

## 5.5 Ulko-ovet

Passiivitalojen ulko-ovien U-arvoksi suositellaan 0,4 W/m<sup>2</sup>K. Ulko-ovet voidaan teet-  
tää talomalliin sopiviksi tai käyttää markkinoilla olevia energiatehokkaita ulko-  
oviratkaisuja. Ovivalmistajat ovat kuitenkin lähteneet ikkunavalmistajia hitaammin  
mukaan energiatehokkaaseen tuotekehitykseen, joka näkyy ulko-ovimallien passiivita-  
lokriteerien ylittävissä lämmönläpäisykertoimissa.

Ulko-ovien ikkunaosien U-arvo voidaan valita periaatteessa kuten ikkunoissakin, kunhan käytettävä eristyslaselementti sopii oven rakenteeseen. Umpiosien U-arvon parantaminen vaatii sekä eristyksen että ovirakenteen paksuntamista. Yleensä ulko-ovissa päädytään erikoisratkaisuun, joka on teetettävä mittatilaustyönä /17/. Kuvassa 9 on esitetty passiivitaloon sopiva ulko-ovi, jonka ikkunaosien pinta-ala on optimoitu oven umpiosarakenteen pinta-alan kanssa. /18/. Lisäksi Kaskipuu Oy on kehittänyt ulko-ovien lämmöneristävyyttä parantavan thermo-rakenteen, jolla saavutetaan 0,53 W/m<sup>2</sup>K:n U-arvo.



*Kuva 9. Passiivitaloon sopiva ulko-ovi /19/.*

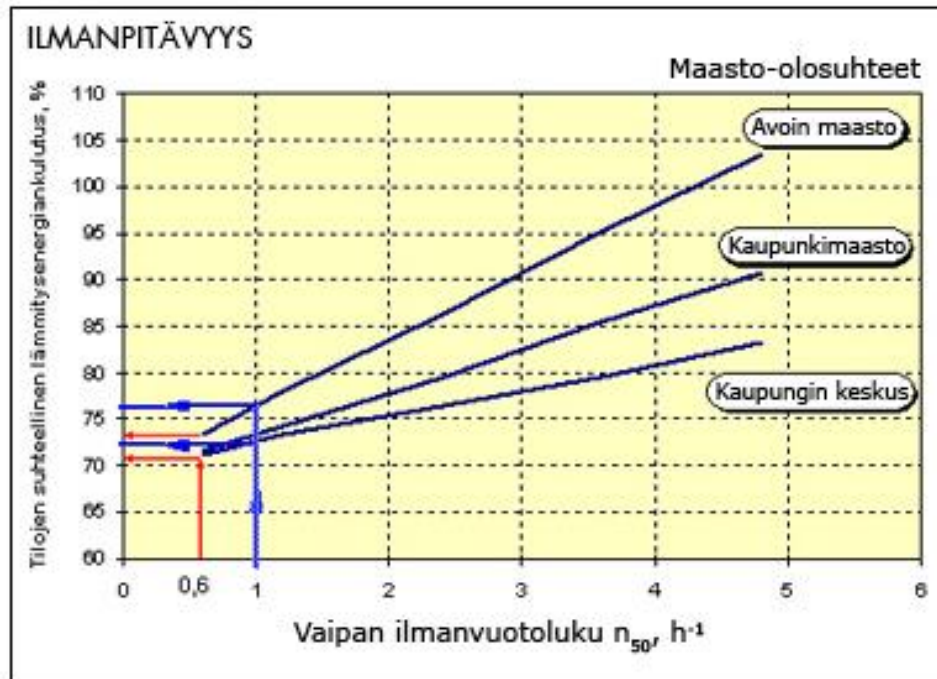
## 6 RAKENTEIDEN ILMATIIVIYS PASSIIVITALOSSA

Rakenteiden lämpö- ja kosteusteknisen toiminnan sekä asumisviihtyvyyden kannalta on erityisen tärkeää, että ulkovaipparakenteet ovat ilmanpitäviä. Ulkovaipparakenteiden heikko ilmanpitävyys lisää energiankulutusta. Se heikentää lämmöneristyksen toimintaa, lisää vuotoilman lämpöhäviötä, viilentää rakenteiden pintoja ja heikentää ilmanvaihdon sekä lämmöntalteenoton toimintaa. Näistä seurauksena on asumisviihtyvyyden heikkeneminen ja vedon tunne asunnossa. Mikäli asumisviihtyvyyttä pyritään korjaamaan nostamalla asunnon lämpötilaa, lisää se lämmitysenergiankulutusta edelleen. Sisäilman lämpötilan kohottaminen yhdellä asteella lisää lämmitysenergian tarvetta noin 5 % /20/.

Suomen rakentamismääräykset eivät aseta vaatimusta rakenteiden ilmanpitävyydelle, mutta suositeltavana rakennuksen ilmavuotolukuna pidetään  $n_{50} = 1,0$  1/h. Ilmavuotoluku kuvaa ulkovaipan läpi tapahtuvaa ilmavirtausta rakennuksen ali- ja ylipaineessa ja se mitataan 50 Pa:n ulko- ja sisäilman paine-erolla. Ilmavuotoluku  $n_{50} = 1,0$  1/h tarkoittaa siis sitä, että rakennuksen vaipan läpi virtaa yksi rakennuksen ilmatilavuus tunnissa, kun paine-ero sisä- ja ulkoilman välillä on 50 Pa /20/.

Passiivitalon ulkovaipan ilmanpitävyydelle asetettu raja-arvo eli ilmavuotoluku saa olla korkeintaan  $n_{50} = 0,6$  1/h. Kun ilmavuotoluku passiivitalolla on pieni, ei rakennuksen sijainnilla ja tuuliolosuhteilla rakennuksen ympäristössä ole suurta vaikutusta rakennuksen lämmityksen energiantarpeeseen (kuvio 2). Suomalaisten rakennusten ilmanvuotoluku vaihtelee tyypillisesti välillä 1,5...5 1/h, joten lämmitysenergian hukka rakennuksen ulkovaipan läpi normitaloilla on huomattavasti suurempaa kuin passiivitaloilla. Kuviossa 2 on esitetty rakennuspaikan maasto-olosuhdevaikutusten lisäksi vaipan ilmavuotoluvun vaikutusta tilojen suhteelliseen lämmitysenergiakulutukseen. Esimerkiksi avoimelle maastolle rakennetun normitalon ilmavuotoluvun ollessa 4 1/h tilojen suhteellinen lämmitysenergiankulutus kasvaa noin kolmasosan verrattessa siihen, että rakennus olisi rakennettu passiivitaloperiaatetta käyttäen.

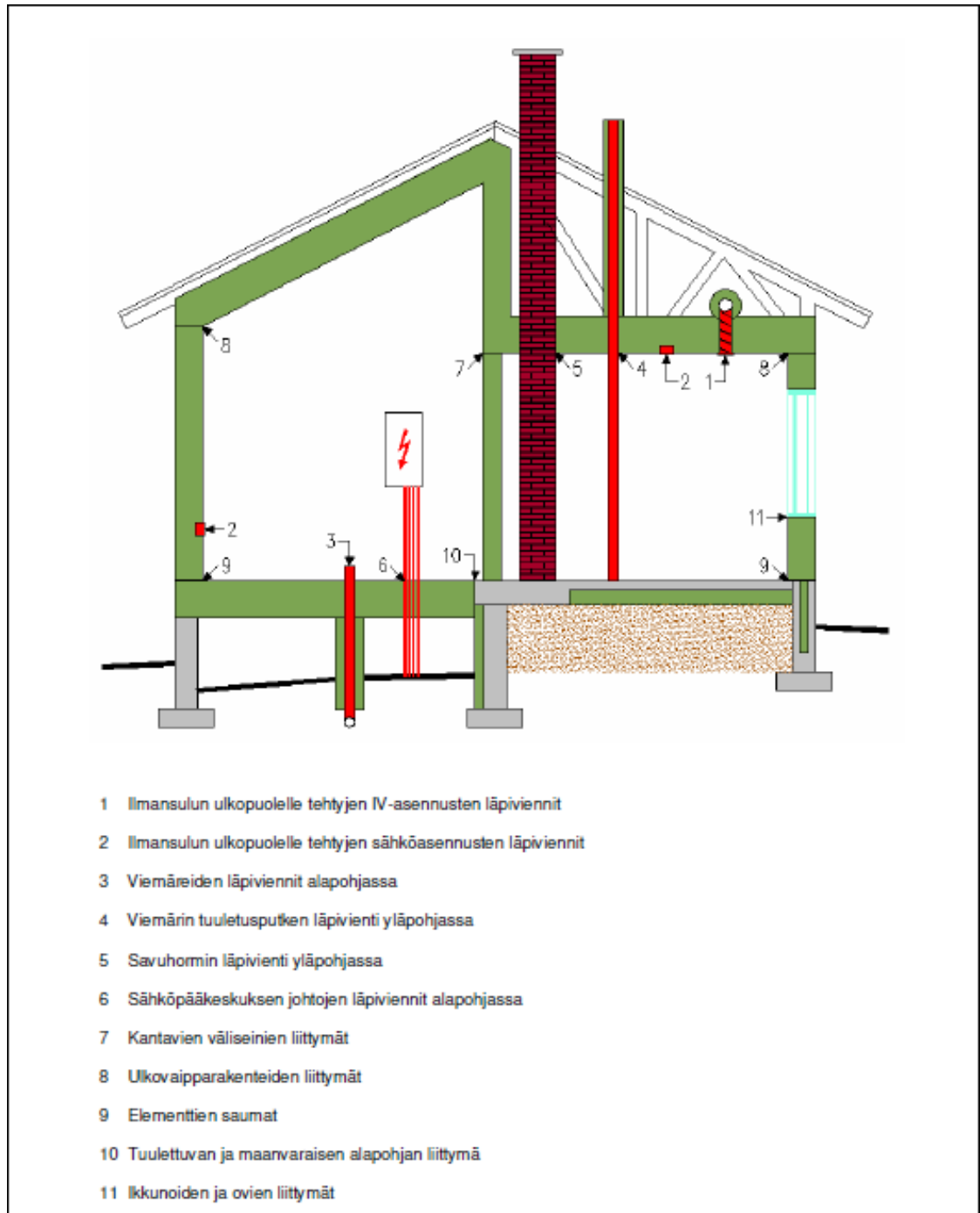




Kuvio 2. Rakennusvaipan ilmanpitävyyden suhde tilojen suhteelliseen lämmitysenergian kulutukseen /21/.

Pientalon ulkovaipan tyypillisiä ilmavuotokohtia on esitetty kuvassa 10. Suurimmat ilmavuotokohdat esiintyvät yleensä rakennuksen ulkovaipan nurkka-alueissa sekä alapohjan ja ulkoseinän välisissä liitoksissa. Ikkuna- ja oviliitokset ulkoseinärakenteeseen aiheuttavat myös lämpöhäviötä, ellei niiden tiivistämisestä ole huolehdittu. Lisäksi liitteessä 3 on esitetty passiivitalon ilmanpitävyyden toteuttaminen eri rakenneliittymissä ja läpivienneissä.

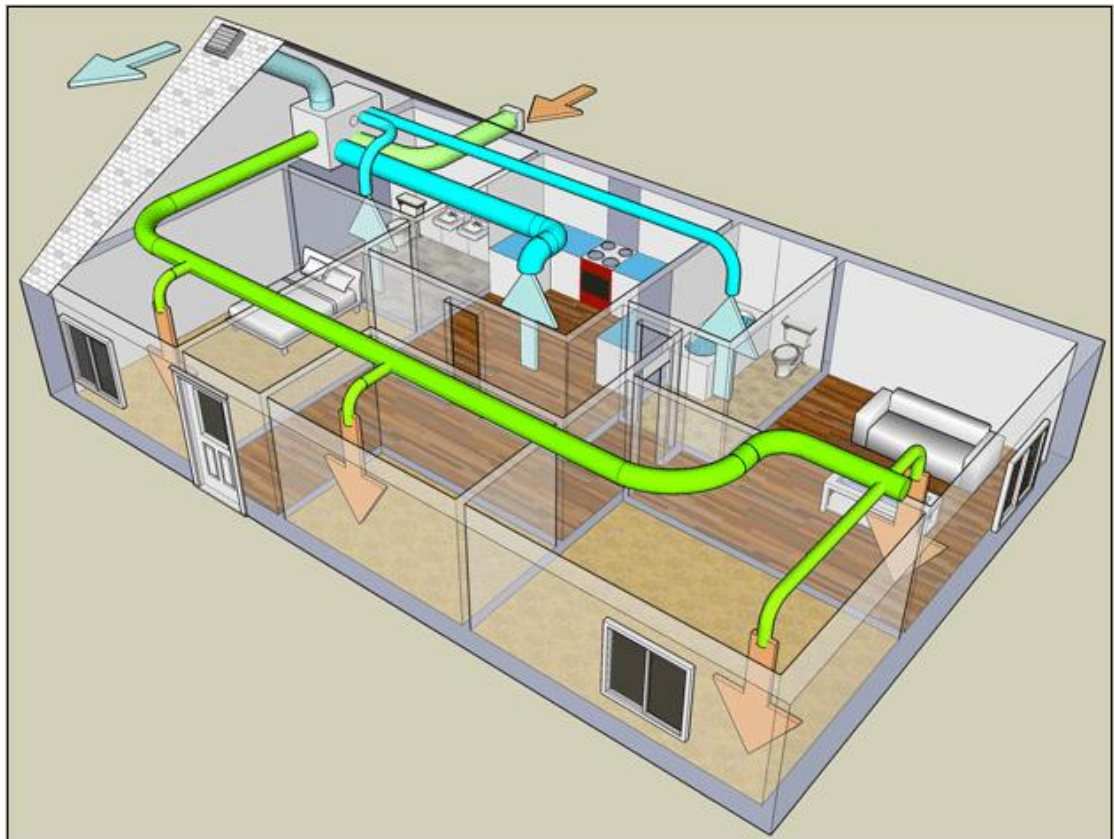
Passiivitalon ilmatiiveyttä voidaan parantaa paitsi rakennusteknisesti tiiviillä ulkovaipparakenteella, myös asianomaisella suunnittelulla. Esimerkiksi vähän nurkka-alueita sisältävä ulkovaipparakenne sekä kompakti ja huonekorkeudeltaan matala passiivitalo on monta kertaa energiatehokkaampi ratkaisu kuin korkea, monimuotoinen ja useita erkkerirakenteita sisältävä talomalli. Tällöin myös rakennuksen ilmanpitävyyden toteuttaminen on helpompaa ja rakentamisessa säästetään aikaa.



Kuva 10. Pientalon ulkovaipan tyypillisiä ilmavuotokohtia /20/.

## 7 PASSIIVITALON ILMASTOINTIJÄRJESTELMÄ

Paras keino passiivitalon ilmanvaihdon toteuttamiseen on jatkuvasti toimiva koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto lämmön talteenotolla. Sen toimintaperiaate on yksinkertainen. Käytetty ilma poistetaan ulos ja tilalle puhalletaan raitista ilmaa. Raitis ilma johdetaan LTO -laitteeseen, jossa se lämpenee talosta poistettavan ilman lämmöllä ennen sen siirtymistä huonetiloihin /22/. Kuvassa 11 on esitetty koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän periaatepiirros. Tuloilma johdetaan tuloilmaventtiilien avulla oleskelutiloihin (olohuone, makuuhuoneet) ja ilman poisto tapahtuu poistoilmaventtiilien kautta keittiöstä, wc:stä ja kylpyhuoneesta.



Kuva 11. Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän periaatepiirros /23/.

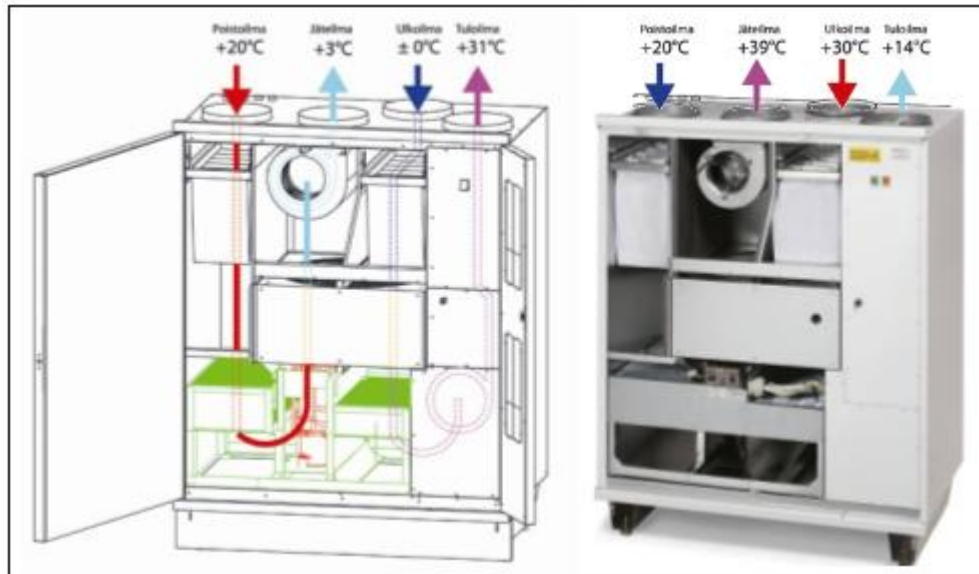
Passiivitalolle sopiva ilmanvaihtojärjestelmä hyödyntää suurimman osan käytetyn huoneilman lämmöstä (jäteilmasta) ja lämmittää sillä rakennuksen tuloilman. Ilmastointijärjestelmän peruseriaatteena voidaan pitää sitä, että järjestelmä ottaa talteen ihmisten, kodinkoneiden, elektroniikkalaitteiden ja valaistuksen tuottaman ylimääräisen lämmön, jolla se pyrkii pitämään rakennuksen lämpötilan tasaisena ympäri vuoden /2/. Ilmanvaihdon lämmön talteenotolla on siis suuri merkitys tiiviissä ja hyvin eristetyssä passiivitalossa. LTO-laitteen puuttumisella lämmin jäteilma johdettaisiin suoraan ympäristöön ilman sen hyödyntämistä.

Passiivitalon ilmastointijärjestelmälle on oleellista, että sen ilmanvaihtokoneessa olevalla LTO-laitteella päästää mahdollisimman hyvään vuosihyötysuhteeseen. Vuosihyötysuhteen tulisi olla ainakin yli 70 %. Tämän mahdollistaa LTO-laitteessa oleva pyörivä lämmönsiirrin. Hyvällä lämmön talteenoton vuosihyötysuhteella varmistetaan ilmastointijärjestelmän energiatehokkuus ja vältetään kosteusongelmien muodostumista rakennuksen ulkovaippaan. /24/. Sisäisistä lämmönlähteistä ja alhaisesta tuloilmalämpötilasta johtuen passiivitalon ilmanvaihtojärjestelmän sähkönkulutus on useimmiten suurempi kuin rakennuksen lämmönkulutus.

Hyvin suunniteltu passiivitalon ilmanvaihto ei aiheuta asukkaisiin vedontunnetta ja meluhaitat ovat mitättömiä. Ratkaisevia asioita koneellisen ilmanvaihdon suunnittelussa ovat oikeat ilmamäärät ja -nopeudet, äänenvaimentimet sekä oikeantyyppiset tuloilma- ja poistoilmaventtiilit /22/.

### 7.1 Energiatehokas ilmanvaihtokone

Energiatehokas ilmanvaihtokone on avainasia tiiviissä passiivitalossa. Enervent Oy:n kehittämällä Greenair HP -ilmanvaihtokoneella (kuva 12) voidaan ilman kierrättämisen ja lämmöntalteenoton lisäksi lämmittää ja viilentää asuntoon tulevaa tuloilmaa. Koneen toiminta perustuu pyörivän lämmön siirtimen ja invertterikäyttöisen, portaattoman lämpöpumpun toimintaan /37/.



Kuva 12. Enervent Oy:n kehittämä Greenair HP –ilmanvaihtokone /37/.

## 7.2 LTO-laitteen pyörivä lämmönsiirrin

Passiivitalon energiatehokas ilmastointijärjestelmä toteutetaan LTO-laitteella, jossa on pyörivä lämmönsiirrin (regeneraattori). Pyörivällä lämmönsiirtimellä päästään korkeampaan lämpötilahyötysuhteeseen kuin nestekiertoisella tai levylämmönsiirtimellä. Lisäksi pyörivällä lämmönsiirtimellä on mahdollisuus kylmän ja kosteuden talteenottoon. Lämpötilahyötysuhdetta voidaan muuttaa kiekon pyörimisnopeutta säätämällä /24/.

Pyörivässä lämmönsiirtimessä lämpö siirretään poistoilmasta roottorin metalliselle pinnalle, josta lämpö otetaan talteen ja siirretään takaisin huoneiston tuloilmaan. Vaikka ulkolämpötila laskee alle 0 °C:n, jään muodostumisriskiä pyörivässä lämmönsiirtimessä ei ole. Sen vuoksi pyörivällä lämmönsiirtimellä varustetussa ilmanvaihtokoneessa ei tarvita esilämmitystä, mikä tekee siitä energiataloudellisen ratkaisun /25/. Toisaalta passiivitalolle on tyypillistä käyttää esilämmitystä ilmanvaihtolämmityksen osalta, jolloin tuloilma johdetaan huoneistoihin ilmanvaihtolaitteessa olevan lämpöpatterin avulla.

Kuvassa 13 on esitetty Komfovent Oy:n kehittämä VERSO-R-sarjan pyörivä lämmönsiirrin, jolla päästää noin 84 %:n lämpötilahyötysuhteeseen. Alumiininen lämmönsiirrin on varustettu kosteutta sitovalla roottorilla, joka mahdollistaa tuloilman jäädyttämisen. Pyörivässä lämmönsiirtimessä oleva taajuusmuuttaja säätelee pyörimisnopeutta ilman lämpötilan mukaisesti. Lämmönsiirrintä suositellaan käyttämään ilmastointilaitteessa, joka sijaitsee ilmastoidussa tilassa /26/.



Kuva 13. VERSO-R-sarjan pyörivä lämmönsiirrin /26./

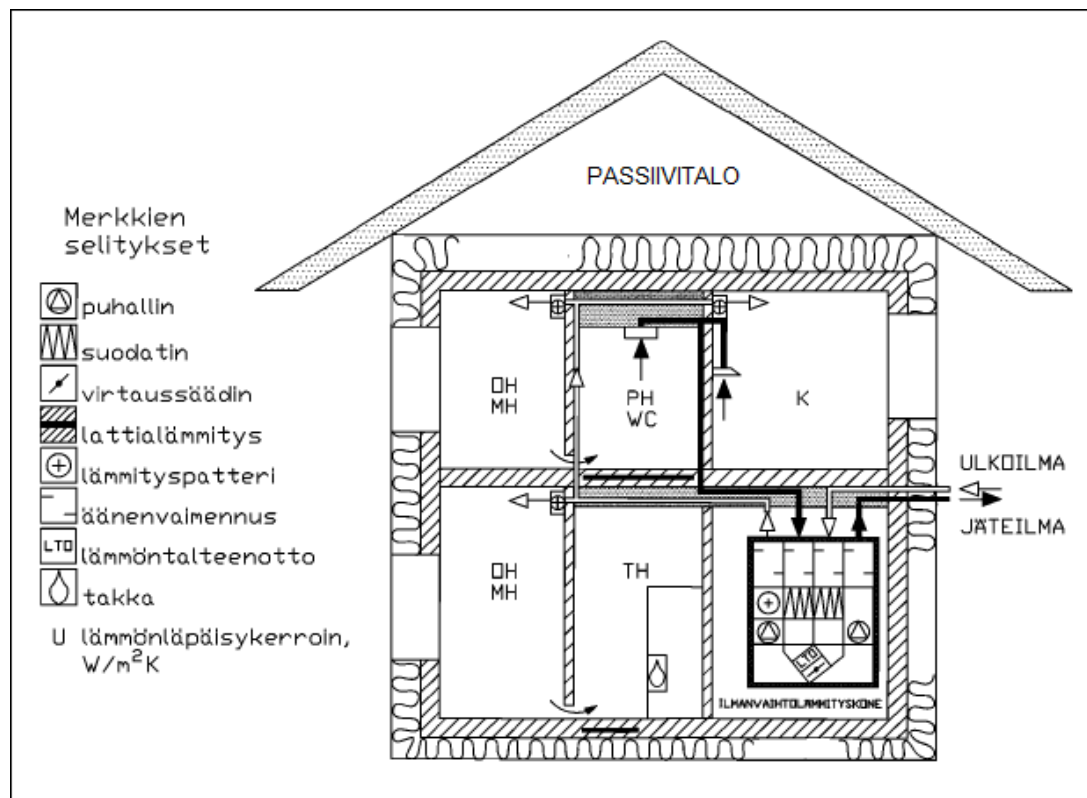
## 8 PASSIIVITALON LÄMMITYS JA JÄÄHDYTYKSEN

Passiivitalon lämpöhäviöt ovat tiiviistä ja hyvin eristetyistä ulkovaipasta johtuen pienet. Näin ollen myös rakennuksen lämmityksen tehontarve on mitoitusolosuhteissa pieni. Tämän takia talossa ei tarvita perinteisiä lämmönjakojärjestelmiä, kuten radiattoreita tai lattialämmitystä. Ilmanvaihtolämmitys on riittävä lämmönjakotapa.

Esimerkiksi 150 m<sup>2</sup>:n omakotitalossa lämmityksen tehontarve on alle 3 kW. Huonekohtaisten tehontarvelaskelmien tulee olla tarkkoja, sillä ylimitoitettu teho voi vaikeuttaa lämpötilan säätöä ja kasvattaa energian kulutusta. Lisäksi tehontarpeen ylimitoitus lisää ilmanvaihtolämmitysjärjestelmän kustannuksia /27/.

## 8.1 Ilmanvaihtolämmitys

Ilmanvaihtolämmityksen periaatteena on, että tarvittava lämpö tuodaan huone tiloihin ilmanvaihdon mukana. Tämä poikkeaa perinteisestä ilmanvaihdosta siten, että erityisiä ilmalämmityslaitteita tai kanavistoja ei ole, vaan normaaliin ilmanvaihtoon on kytketty tarvittavat lämmityslaitteet /28/. Ilmanvaihtolämmitys voidaan toteuttaa sähkölämmitteisenä tai vesikiertoisena ratkaisuna. Lämmönlähteenä voidaan käyttää esimerkiksi maalämpöä /29/. Ilmanvaihtolämmityksen toimintaperiaate on esitetty kuvassa 14.



Kuva 14. Ilmanvaihtolämmityksen toimintaperiaate /28/.

Ilmanvaihtolämmitykselle on kaksi periaatevaihtoehtoa. Tuloilmaa voidaan lämmittää joko keskitetysti heti ilmanvaihtokoneen lämmön talteenoton jälkeen tai huonekohtaisesti ilmanvaihdon päätelaitteissa liitetyillä lämmityselementeillä /27/. Ensimmäinen vaihtoehto tuottaa jokaiseen huoneeseen samanlämpöistä ilmaa, joten sen heikkoutena on eri tilojen lämpötilojen huono säädettävyyttä. Tätä ratkaisua käytetään siitä huolimatta varsin yleisesti saksalaisissa passiivitaloissa. Toinen vaihtoehto antaa mahdollisuuden säätää eri tilojen lämpötilaa halutuksi. Lämpötilatason vaihtaminen tässä on nopeaa ja kustannustehokasta /29/.

Kuvassa 15 on esitetty RCL Oy:n valmistama ECO -sarjan seinään asennettava tuloilman ilmanvaihtolämmitin (ECO 1), jolla pystytään toteuttamaan passiivitalon huonekohtainen ilmanvaihtolämmitys. Ilmanvaihtolämmitin nostaa lämmön talteenoton avulla esilämmitetyn tuloilman huoneen lämmöntarpeen mukaan. Huonekohtainen lämpötilan säätäminen tapahtuu huoneeseen sijoitettavan ECOT -säätöyksikön avulla (kuva 16). ECO -sarjan tuotteet on varustettu energiaa säästävällä lämpötilan pudotustoiminnolla, jolloin lämpötilaa voidaan pudottaa portaattomasti 3-10 °C:seen asetusravosta. Tällöin vältetään turhaa lämmittämistä, kun kodista ollaan poissa /30/.



Kuva 15. ECO 1 –ilmanvaihtolämmitin /30/. Kuva 16. ECOT –säätöyksikkö /30/.



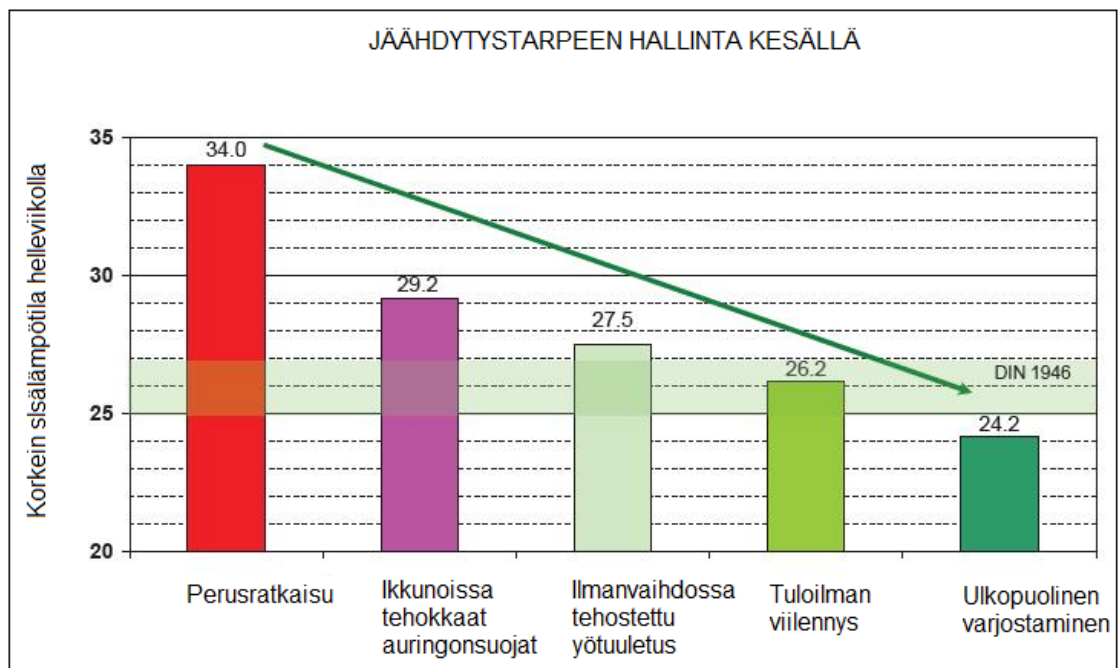
## 8.2 Lattialämmitys

Passiivitalon lämmityskausi on lyhyt. Lämpöä tarvitaan vain vuoden 3–4 kylmimmän kuukauden aikana, eikä silloinkaan päivittäin /29/. Lattialämmitys päälämmitysjärjestelmänä on talossa tarpeeton, mutta sitä usein käytetään kosteissa tiloissa (kylpy- ja pesuhuoneet) mukavuussyistä. Lisäksi ilman suhteellinen kosteus on suurempaa muihin tiloihin verrattuna esimerkiksi suihkukäynnin jälkeen, jolloin lattialämmityksen päälle kytkeminen vähentää ilman kosteutta. /29./ Mukavuuslattialämmitys kosteissa tiloissa vähentää kuitenkin entisestään muiden tilojen lämmitystarvetta, joten lattialämmityksen oikeaoppinen suunnittelu ja mitoitus ovat tärkeitä.

Lattialämmitystä voidaan käyttää passiivitalon lisälämmönlähteenä Suomen kylmimmässä maanosissa (Lapin läänin alueella), joissa passiivirakennusten lämmitysenergian tarve on Etelä-Suomen aluetta suurempaa. Lattialämmitys tulee myös kysymykseen, jos ilmanvaihtolämmitys jätetään rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmästä kokonaan pois. /29./ Passiivitalon lattian lämpötila ei ole kuitenkaan yhtä korkea kuin tavanomaisen talon. Kun tavanomaisen talon huoneilman lämpötilaksi halutaan 21 astetta, talon lattian lämpötila on kovalla pakkasella noin 8 - 10 astetta huoneilman lämpötilaa korkeampi eli 28–30 °C. Passiivitalon lattialämmityksessä lattian lämpötila on vai 2–4 °C huoneilman lämpötilaa lämpimämpi eli 23–25 astetta. Lattialämmitys tulee siis mitoitaa aivan uudella tavalla, jotta se ei aiheuta yllämpöä talvella.

### 8.3 Jäähdytys

Kesäaikainen aurinkokuorma saattaa aiheuttaa yllämpöä passiivitaloon. Lämpötilan noustessa yli normaalin huonelämpötilan, huoneistoa tulee jäähdyttää. Jäähdytysratkaisu tulee toteuttaa ensisijaisesti passiivisia keinoja käyttäen. Näitä keinoja ovat esimerkiksi verhot ja sälekaihtimet ikkunoiden edessä, ikkunoiden ulkopuolinen varjostaminen, yötuuletus ilmanvaihdon avulla sekä päiväaikainen ilmanvaihdon tehostaminen /27/. Mikäli huonelämpötila on vieläkin liian korkea esimerkiksi kesän kuumimpina helleviikoilla, voidaan asuntoa lisäksi jäähdyttää aktiivisesti. Tämä suoritetaan koneellisesti esimerkiksi ilmanvaihtojäähdytyksen avulla. Kuviossa 3 on esitetty VTT:n julkaisema pylväskaavio jäähdytystarpeen hallinnasta kesällä, josta nähdään eri jäähdytysratkaisujen vaikutuksia asunnon lopulliseen sisälämpötilaan.



Kuvio 3. Jäähdytystarpeen hallinta kesällä /41/.

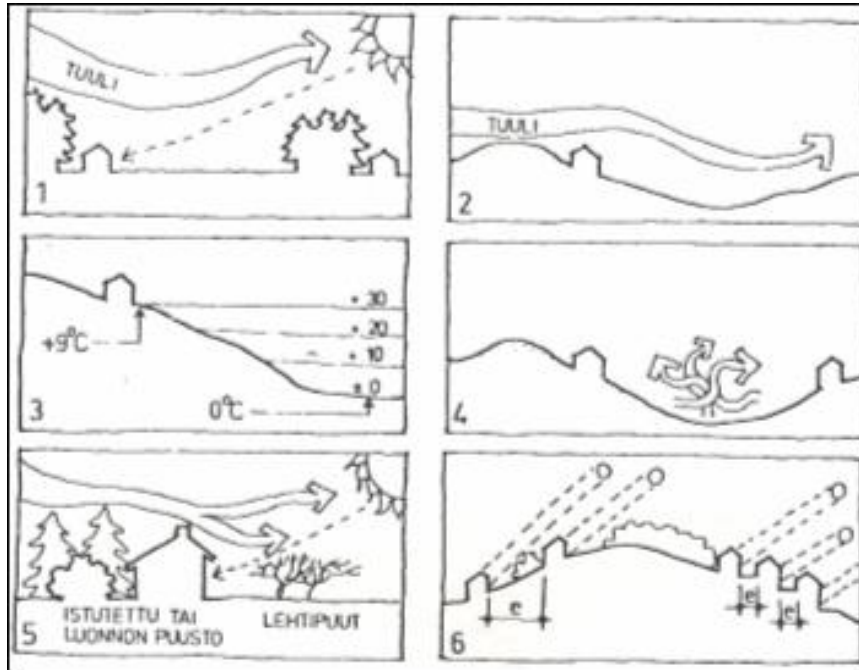
## 9 PASSIIVITALON LÄMMÖNLÄHTEET

### 9.1 Aurinkolämpö ja sen passiivinen hyödyntäminen

Kaikki rakennukset varastoivat jonkin verran aurinkoenergiaa, mutta sen määrä vaihtelee huomattavasti rakennusten sijoituksen, suuntauksen, muodon, ikkunoiden koon ja sijainnin sekä käytettyjen rakennusmateriaalien mukaan. Oikein sijoitetussa ja asiantuntevasti suunnitellussa rakennuksessa voidaan noin viidesosa kokonaislämmöntarpeesta tyydyttää hyödyntämällä aurinkoenergiaa passiivisesti /31/.

Rakennuksen sijoittaminen tontille vaikuttaa tavanomaisen rakennuksen energiantarpeeseen enemmän kuin passiivitalon energiantarpeeseen. Passiivitalolle on olennaista, että auringosta saatavaa energiaa hyödynnetään passiivisesti, mutta kuumina kesinä siltä on myös suojauduttava talon tavanomaista pienemmän lämmöntarpeen takia. Pohjoisen ilmaston (Lapin lääni) passiivitalon energiatehokkuus ei riipu auringon energiasta merkittävästi, jolloin rakennus voidaan sijoittaa myös varjoiselle tontille.

Tonttisuunnittelulla voidaan vaikuttaa rakennuksen energiantarpeeseen ja asumisviihtyvyyteen. Asemakaavan ja rakennuspaikan arviointi on passiivitalon kannalta tarpeen, jotta saadaan käsitys tontin olosuhteisiin vaikuttavista maaston muodoista sekä tontin aurinkoisuudesta ja tuulisuudesta. Kuvassa 17 on esitetty kuusi vaihtoehtoista tapaa rakennuksen sijoittamisesta tontille, jolloin aurinkoenergiaa voidaan hyödyntää passiivisesti tavallista enemmän. Samalla on kuitenkin arvioitava aurinkoisuuden vaikutus kesäajan jäähdystarpeeseen.



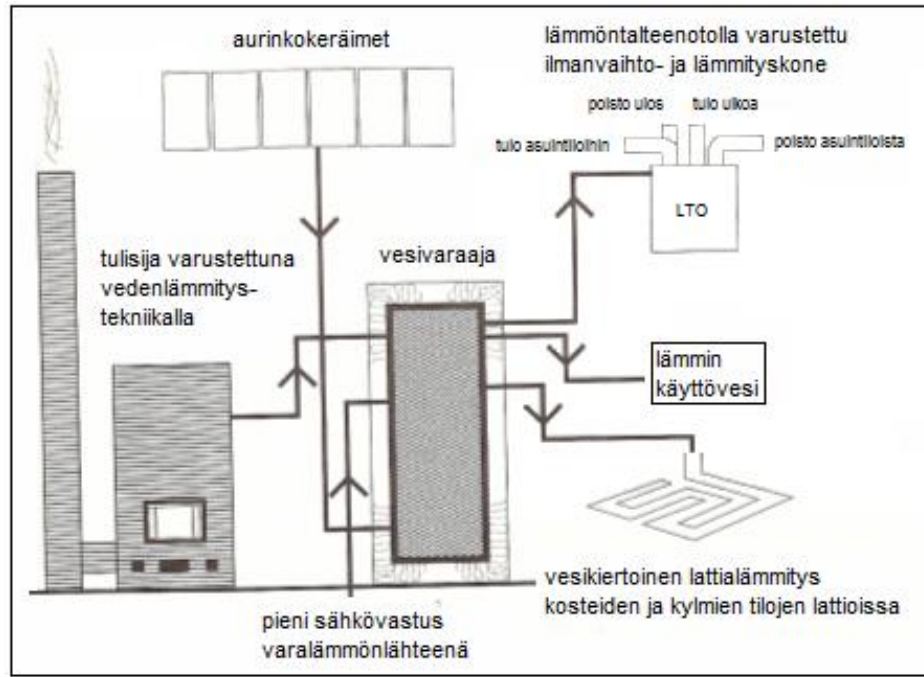
Kuva 17. Rakennuksen sijoittaminen tontille /31/.

1. Rakennus on tuulensuojassa, mutta pystyy hyödyntämään auringonsäteilyä.
2. Maastoa on käytetty rakennuksen tuulensuojana.
3. Rakennus on sijoitettu maastossa korkealle. Lämpötila nousee noin 1 °C:seen korkeuseron noustessa 10 metriä.
4. Rakennusta ei tule sijoittaa notkoon kylmien ilmavirtauksien takia.
5. Kasvillisuutta on käytetty tuulensuojana.
6. Rakennukset on sijoitettu etelärinteeseen niiden varjostamatta toisiaan /31/.

## 9.2 Aurinkolämpö ja sen aktiivinen hyödyntäminen

Aurinkolämmön aktiivista hyödyntämistä voidaan käyttää passiivitalon lämmönlähteenä, jolloin rakennuksen käyttöveden lämmittäminen tapahtuu aurinkoenergialla lämpiminä kuukausina aina maaliskuusta syyskuuhun. Kylminä kuukausina käyttöveden lämmitys voidaan toteuttaa puulämmitteisellä tulisijalla, joka on varustettu vedenlämmitystekniikalla. Tällöin sekä huoneistoon keskitetyn takan että katon lappeella olevien aurinkokeräinten tuottaman lämmön varastoinniksi riittää yksi tavallista suurempi vesivaraaja. Eri lämmönlähteistä syntyvä energia siis sidotaan veteen, joka varastoidaan hyvin lämpöä eristävässä vesivaraajassa. Vesivaraajasta lämmin vesi voi-

daan siirtää eri käyttökohteisiin: kosteiden ja kylmien tilojen vesikiertoiseen lattia-  
lämmitykseen, vesipatterilla varustettuun ilmanvaihto- ja lämmityskoneeseen sekä  
lämpimän kotitalousveden käyttöön (kuva 18).



*Kuva 18. Kaaviokuva passiivitalon eri lämmönlähteiden ja lämmitysjärjestelmien yhteistoiminnasta /32/.*

Aurinkolämpöä tuotetaan aurinkokeräimillä. Yleisemmin käytetään nestekiertoista tasokeräinjärjestelmää (kuva 19), jonka toimintaperiaate on varsin yksinkertainen. Tasokeräimet ottavat auringon säteilyn vastaan ja muuttavat sen absorbaattorissa lämmöksi. Absorbaattorina toimii lämpöä johtava tummapintainen kuparipelti, jonka alapinnalla kulkee putkisto. Putkistossa kiertää jäätymätön vesi-glykoliseos, joka siirtää auringon lämmön kokomaaputken kautta varaajaan. Varaajan alaosaan oleva kierukka lämmittää kylmän veden lämpönsä luovuttavan vesi-glykoliseoksen avulla. Vesi-glykoliseos pumpataan takaisin tasokeräimeen ja lämmin vesi siirtyy lämmönvaihtimen kautta käyttöveteen ja tarvittaviin passiivitalon lämmitysjärjestelmiin. Aurinkojärjestelmän toimintaa voidaan säädellä sen ohjausyksiköstä /33/.



*Kuva 19. JTV-energia Ky:n kehittämä tasokeräinjärjestelmä /34/.*

Tavallisimmat tasokeräimet ovat pinta-alaltaan 1 - 2 m<sup>2</sup>. Yhden neliömetrin tasokeräin tuottaa energiaa yleensä 250 - 400 kWh vuodessa auringonpaisteesta riippuen. Tasokeräinten sijaan voidaan käyttää myös kalliimpia tyhjiöputkikeräimiä, jotka tuottavat tavallisia tasokeräimiä enemmän energiaa. Tyhjiöputkijärjestelmä on esitetty kuvassa 20. Yleisesti voidaan sanoa, että omakotitalossa puolet vuotuisesta lämpimän käyttöveden energiantarpeesta saadaan 5 - 8 m<sup>2</sup>:n keräinpinta-alalla /35/.



*Kuva 20. JTV-energia Ky:n kehittämä tyhjiöputkijärjestelmä /34/.*

Tyhjiöputkitekniikan avulla pystytään hyödyntämään auringon hajasäteilyä tehokkaammin kuin tavallisen tasokeräimen avulla. Tyhjiöputkikeräimistä on hyötyä varsinkin kevättalvella ja syksyllä, jolloin aurinko paistaa vähemmän, mutta energiaa tarvitaan enemmän. Esimerkiksi Etelä-Suomessa tyhjiöputkikeräimen lämmöntuotto alkaa helmikuussa ja päättyy marraskuussa. Tyhjiöputkikeräin voi tuottaa noin 30 % enemmän energiaa neliometriä kohden kuin tasokeräin /36/.

Tyhjiöputkikeräinten toiminnasta Suomen lumisissa olosuhteissa on vielä melko vähän kokemusta. Keski-Euroopassa niitä on kuitenkin ollut käytössä lumisilla alueilla eikä suuria ongelmia ole ilmennyt. Tyhjiöputkien pintalämpötila ei nouse yhtä korkealle kuin tasokeräinten, joten niiden ongelmana on lumen sulaminen tyhjiöputkien pinnalta. Täten tyhjiöputket tulee asentaa enemmän pystyasentoon, jolloin lumi valuu helpommin pois niiden pinnalta. Toinen vaihtoehto on poistaa lumi tyhjiöputkien päältä manuaalisesti energiatuotannon jatkuvuuden kannalta. Asennuspaikkaan on tällöin kiinnitettävä huomiota /36/.

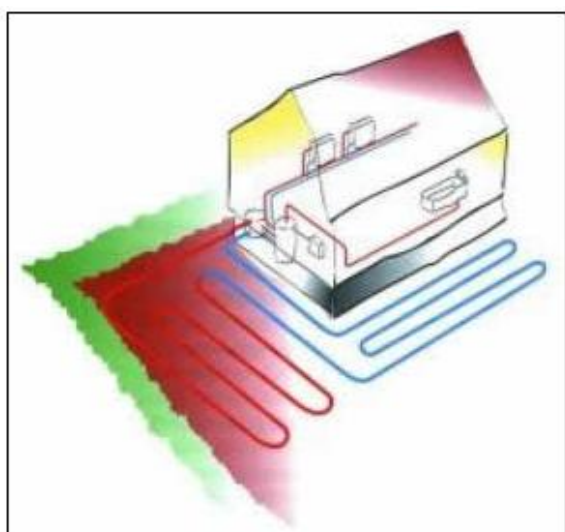
### 9.3 Maalämpö

Maalämpö on maaperän massa- ja varastoitunutta aurinkoenergiaa. Tätä lämpöenergiaa varastoituu maaperän lisäksi kallioperään ja vesistöihin auringonpaisteen, lämpimän ilman sekä sateiden vaikutuksesta. Koska talvella auringon lämmittävä vaikutus on Suomen pohjoisella leveysasteella vähäinen, voidaan rakennus lämmittää tällöin keuhalla maaperään varastoituneella aurinkolämmöllä /38/.

Passiivitalon uusiutuvan energian lämmönlähteenä voidaan käyttää joko suoraa aurinkoenergiaa tai epäsuorasti maaperään varastoitua aurinkoenergiaa. Molemmat lämmönlähteet voidaan liittää talon ilmanvaihtolämmitykseen, joten valintaan vaikuttavat lähinnä kuluttajatottumukset ja investointikustannukset. Mikäli puulämmitteinen tulisija vedenlämmitystekniikalla varustettuna halutaan jättää talosta kokonaan pois, tulisija päälämmönlähteenä käyttää maalämpöä, sillä suoran aurinkoenergian saanti on epäsäännöllistä vuodenajan, sään ja maantieteellisen sijainnin mukaan. Yleensä suoraa aurinkolämpöä käytetäänkin käyttöveden lämmittämiseen kesäaikana, jolloin passiivi-

talon lämmityksestä huolehtii esimerkiksi maalämpöpumppu, joka yksinkertaistettuna siirtää lämmön maaperästä varaajan kautta ilmanvaihto- ja lämmityskoneeseen.

Lämmön kerääminen maaperästä tapahtuu maalämpöputkiston (kuva 21) avulla. Putkisto kaivetaan noin 0,7 - 1,2 metrin syvyyteen maahan rakennuspaikan sijainnista ja routaolosuhteista riippuen. Putkilenkkien väli tulisi olla vähintään 1,2 metriä. Putkena käytetään yleisesti normaalia vesijohtoputkea, joka eristetään. Kaivannon täyttö suoritetaan kaivumaalla, käyttäen kuitenkin 20 cm kivetöntä hiekkaa putken ympärillä /38/.

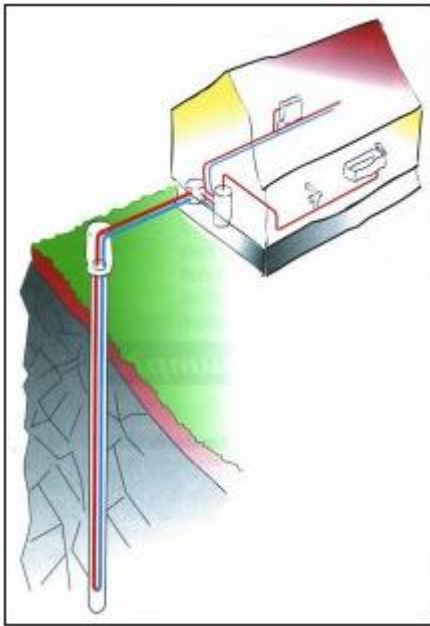


*Kuva 21. Maalämpöputkiston periaatekuva /38/.*

Maalämpöputkiston merkittävin mitoitustekijä on maaperän lämmönjohtavuus ja kosteuspitoisuus, jotka vaihtelevat usein suuresti pienelläkin alueella. Tämän takia suunnittelussa on kiinnitettävä erityistä huomiota maalämpöputkiston mitoituksen optimointiin. Ylimoitettu putkipituus kuluttaa käytössä enemmän sähköenergiaa suurentuneina pumppauskuluina ja putkiston investointikustannus on luonnollisesti hieman suurempi. Alimitoitettujen putkipituuden seurauksena ovat puolestaan maalämpöpumpun alhaisempi lämpökerroin ja sen kompressorin mahdolliset pysähtymisjaksot /38/.



Kallioperästä lämpö voidaan kerätä porakaivoon sijoitetun putkiston avulla (kuva 22). Toisin sanoen maalämpöpumpulla johdetaan rakennukseen lämpöä kallioperään poratusta porakaivosta siten, että kaivoon upotetaan lähes pohjaan saakka ulottuvat muoviputket. Nämä putket liitetään alapäästään silmukaksi messinkisellä U-kappaleella, johon liitetään punnus putkien suoran alas viemisen varmistamiseksi asennusaikana. Tämä niin sanottu 2-putkijärjestelmä tulee eristää rakennuksen sisältä aina porakaivon routarajaan asti /38/.



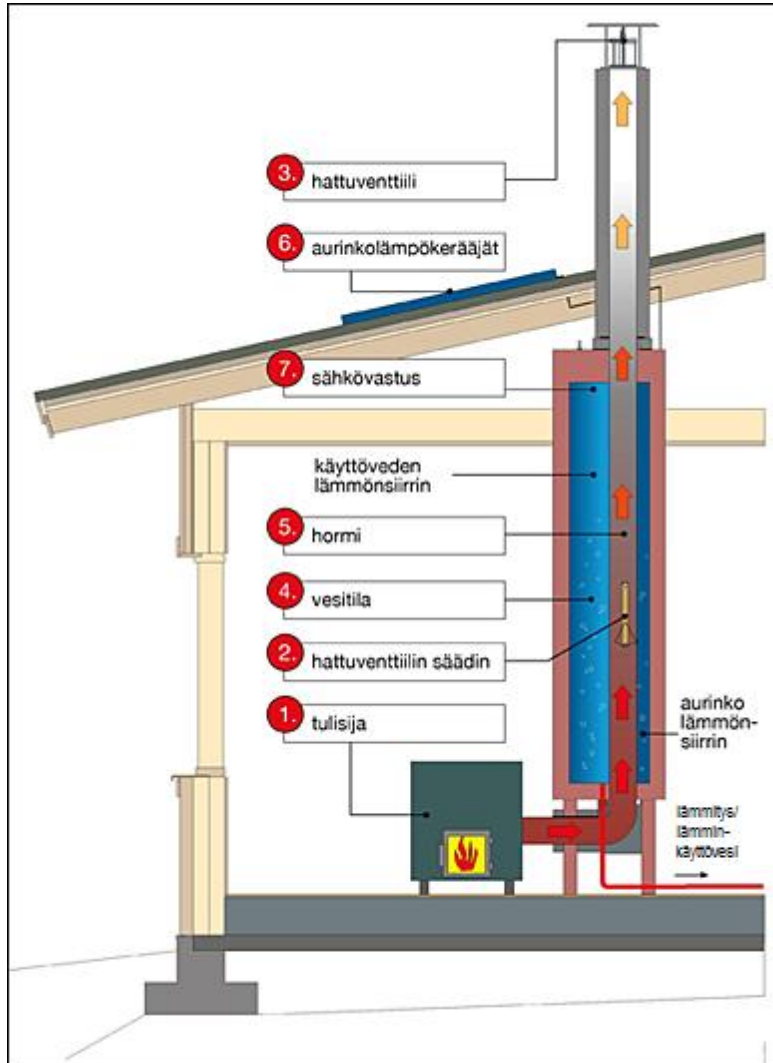
*Kuva 22. Porakaivoputkiston periaatekuva /38/.*

Porakaivoputkistolla on muutamia etuja maalämpöputkistoon verrattuna. Esimerkiksi porakaivomenetelmän energiansaanti on noin kaksinkertainen putkimetriä kohti maahan kaivettuun maaputkiin nähden. Lisäksi mittavien kaivutöiden välttymisestä tontilla ja pienempää putkistoon kohdistuvaa routasuojausta voidaan pitää sen etuina. Porakaivoa on mahdollista myös hyödyntää esimerkiksi puutarhan kasteluvien pumppaamiseen kaivosta. Porakaivonputkiston haittapuolena on sen merkittävästi korkeampi hankintahinta asennuksineen maalämpöputkistoon verrattuna /38/.

#### 9.4 Tulisijat

Tulisijat ovat keskeisessä asemassa lähettäessä suunnittelemaan passiivitaloa. Tulisijat voivat olla kevyitä, keskiraskaita tai varaavia raskaita tulisijoja. Tulisijojen valintaan ja sen myötä lämmön varaavuuteen vaikuttavat lähinnä lämmitettävien asuintilojen pinta-alat, asukkaiden lämpöviihtyvyys ja lämmitystehon tarve. Talvella kylmillä pakkasilla hyvin varaava takka voi olla passiivitalossa tarpeen, mutta kesällä se tuottaa takuuvarmasti yllilämpöä hyvin tiiviin ja eristetyn ulkovaipan takia. Tulisijojen lämmön luovutukseen ja niiden sijoitteluun tulee kiinnittää siis erityistä huomiota. Keskeiselle paikalle sijoitettu tulisija levittää lämpöä tasaisesti asunnon eri osiin, käyttäjä taas voi vaikuttaa tulisijan lämmönluovutukseen poltettavan puun määrän ja polttorytmin valinnalla.

Tulisija toteutettuna vedenlämmitystekniikalla on hyvä ratkaisu tilojen ja käyttöveden lämmittämiseen passiivitalossa. Tulisijojen ja savupiippujen tuotekehityksen myötä markkinoilta on saatavana mitä energiatehokkaimpia ja ympäristöystävällisempiä ratkaisuja. /39./ Esimerkiksi Savumax Oy:n kehittämällä savupiippuvaraajalla voidaan ottaa puulämmitteisen takan polttoprosessissa vapautuvan savukaasun lämpö talteen. Savupiippuvaraajan ideana on yhdistää savupiippu ja lämminvesivaraaja, jolloin varaajassa oleva vesi lämpenee muuten hukkaan menevällä lämpöenergialla. Savupiippuvaraajan toimintaperiaate on esitetty kuvassa 23.



Kuva 23. Savupiippuvaraajan toimintaperiaate /40/.

Kun tulisijaa (1) lämmitetään esimerkiksi puilla, pelleteillä tai hakkeilla, hattuventtiili (3) avataan sen säädintä (2) vetämällä. Tällöin polttoprosessista vapautuva savukaasun lämpö lämmittää hormia (5) ympäröivän vesitilan (4), joka toimii käyttöveden ja mukavuuslattialämmityksen lämminvesivaraajana. Lämmityksen jälkeen hattuventtiili lasketaan alas, jolloin vesi pysyy lämpimänä varaajassa. Kodista poissaolojen aikana sähkövastus (7) pitää talon lämpimänä. Savupiippuvaraaja voi hyödyntää myös aurinkoenergiaa aurinkolämpökerääjien (6) avulla sekä sen lämmönlähteenä voi takan lisäksi olla esimerkiksi leivinuuni, liesi tai saunan kiuas /40/.

## 10 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tekeminen puurunkoisesta passiiviomakotitalosta oli mielenkiintoinen projekti, joka antoi uusia näkökulmia energiatehokkaiden talomallien rakentamiseen ja suunnitteluun. Passiivitalojen rakentamisprosessi muodostuu samantyyppisistä osakokonaisuuksista kuin tavallisen omakotitalonkin, mutta työvaiheisiin ja työsuoritusten huolellisuuteen on kiinnitettävä entistä enemmän huolellisuutta. Mitä tiiviimpi rakennuksen ulkovaipasta saadaan, sen parempi.

Jokainen rakentaja voi itse punnita, mitkä rakenneratkaisut ovat omalle hankkeelle parhaimpia ja kustannustehokkaimpia. Uusiutuvan energian käyttö on yhä lisääntyvässä määrin rakentamisessa, joten kaikki niin sanottu ilmaisenergia kannattaa hyödyntää talon lämmityksen aikaansaamiseksi. Talotekniikasta ei tulisi tinkiä, vaan etsiä markkinoilta yhä innovatiivisempia LVI-ratkaisuja. Energiatehokkuus ei ole ohimenevä trendi, ja passiivitalo on vain yksi askel kohti nollaenergiarakentamista, jolloin rakennus tuottaa yhtä paljon lämmitysenergiaa kuin kuluttaa.

Liitteessä 4 on esitetty Paroc Lupaus- passiivitalo, joka valmistuu Valkeakoskella pidettäville asuntomessuille vuonna 2009. /44/. Talo on arkkitehti Kimmo Lylykankaan suunnittelema kaksikerroksinen yhden perheen puurunkoinen omakotitalo, jonka pinta-ala on noin 250 m<sup>2</sup>. Perustuksena on Soklex -valmismuotti ja alapohjaratkaisu on maanvarainen. Talon ulkoseinät ovat kertopuuta ja niihin tulee 360 mm:n paksuinen pehmeällä mineraalivillalla toteutettu lämmöneristys. Harjaltaan kaarevaan kattorakenteeseen tehdään puiset kattotuolit, joihin asennetaan 600 mm:n paksuinen yläpohjaeristys puhallusvuorivillalla ja levyeristeellä toteutettuna. Lisäksi julkisivun pinta rapataan.

## LÄHTEET

1. TE Studio LTD. [www-sivu]. Passive House History [viitattu 8.4.2009]. Saatavissa: <http://www.timeian.com/blog/> > Passive House History
2. Seppänen, Olli ym., Ilmastoinnin suunnittelu. Talotekniikka-Julkaisut Oy. Forssa 2004. s. 99
3. Enervent Oy [www-sivu]. Passiivitalot [viitattu 1.3.2009]. Saatavissa: <http://www.enervent.fi> > Passiivitalot
4. Wood Focus Oy [pdf-dokumentti]. Energiaa säästävä pientalo [viitattu 1.3.2009]. Versio 1.0, 2006. s. 2-5 Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi> > Ammattilaisten palvelut > Rakennussuunnittelu > Suunnitteluohjeet > Energiaa säästävä pientalo
5. Valtion teknillinen tutkimuskeskus [www-sivu]. Passiivitalo [viitattu 24.2.2009]. Saatavissa: <http://passiivitalo.vtt.fi/>
6. Nieminen, Jyri 2006. VTT [pdf-dokumentti]. Passiivitalo [viitattu 24.2.2009]. Saatavissa: <http://passiivitalo.vtt.fi/> > Energian kulutus > Passiivitalon määritelmä
7. Nieminen, Jyri 2006. VTT [pdf-dokumentti]. Mikä on passiivitalo [viitattu 3.3.2009]. Saatavissa: <http://passiivitalo.vtt.fi/> > Materiaalia passiivitaloista > Mikä on passiivitalo
8. Romo, Ilkka, Energiaa säästävät koetalot. Rakennustieto Oy. Tampere 1996. 3.1 Energiasäästötilan vaipan rakenteet s. 20-24
9. Puuinfo Oy [www-sivu]. Puutuotteiden ekologinen kestävyys [viitattu 4.3.2009]. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/> > Kestävä kehitys > Ekologinen kestävyys
10. Paroc Oy – Energiaviisas talo [www-sivu]. Passiivitalon rakenteet [viitattu 5.3.2009]. Saatavissa: <http://www.energiaviisastalo.fi/> > Passiivitalo > Passiivitalon rakenteet
11. SPU Systems Oy [www-sivu]. SPU Seinälevy [viitattu 5.3.2009]. Saatavissa: [http://www.spu.fi/spu\\_seinalevy](http://www.spu.fi/spu_seinalevy)

12. SPU Systems Oy [pdf-dokumentti]. SPU Passiivikatto [viitattu 5.3.2009]. Saatavissa: [http://www.spu.fi/spu\\_passiivikatto](http://www.spu.fi/spu_passiivikatto) > SPU Passiivikatto yleisesitys
13. Motiva Oy [www-sivu]. Ikkunoiden energiatehokkuus [viitattu 26.2.2009]. Saatavissa: <http://www.motiva.fi/fi/kuluttajat/hankinnat/ikkunat/> > Ikkunoiden energiatehokkuus
14. Skaala Oy [pdf-dokumentti]. Tradia Alfa 175 -tuotekortti [viitattu 26.2.2008]. Saatavissa: <http://www.skaala.com/alfa538.html> > Tradia Alfa 175
15. Skaala Oy [www-sivu]. A-energialuokan alfa-ikkunat [viitattu 26.2.2008]. Saatavissa: <http://www.skaala.com/A-energialuokka.html>
16. Paroc Oy – Energiaviisas talo [www-sivu]. Arkkitehdin opas [viitattu 7.3.2009]. Saatavissa: <http://www.energiaviisastalo.fi/> > Passiivitalo > Arkkitehdin opas
17. Romo, Ilkka, Energiaa säästävät koetalot. Rakennustieto Oy. Tampere 1996. 3.1.7 Ulko-ovet s. 24
18. Kaskipuu Oy [pdf-dokumentti]. Thermo-rakenne s.7 [viitattu 7.3.2009]. Saatavissa: <http://www.kaskipuu.fi> > Ovimalisto > Esitteet > Ulko-oviesite
19. Passivhausfenster [www-sivu]. Passive House Doors [viitattu 7.3.2009]. Saatavissa: <http://www.passivhausfenster.at/properties/passive-house-doors>
20. Wood Focus Oy [pdf-dokumentti]. Energiaa säästävä pientalo [viitattu 8.3.2009]. Versio 1.0, 2006. 2.2 Rakenteiden ilmanpitävyyden merkitys s. 10-17. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi> > Ammattilaisten palvelut > Rakennussuunnittelu > Suunnitteluohjeet > Energiaa säästävä pientalo
21. Paroc Oy – Energiaviisas talo [www-sivu]. Rakennesuunnittelijan opas [viitattu 8.3.2009]. Saatavissa: <http://www.energiaviisastalo.fi/> > Passiivitalo > Rakennesuunnittelijan opas
22. Motiva Oy [www-sivu]. Ilmanvaihto [viitattu 8.3.2009]. Saatavissa: <http://www.motiva.fi/fi/kuluttajat/rakentaminen> > Pientalonsuunnittelu > Ilmanvaihto
23. CVC Direct Ltd. [www-sivu]. Whole House Ventilation [viitattu 8.3.2009]. Saatavissa: <http://www.cvcdirect.co.uk/> > Whole House Ventilation

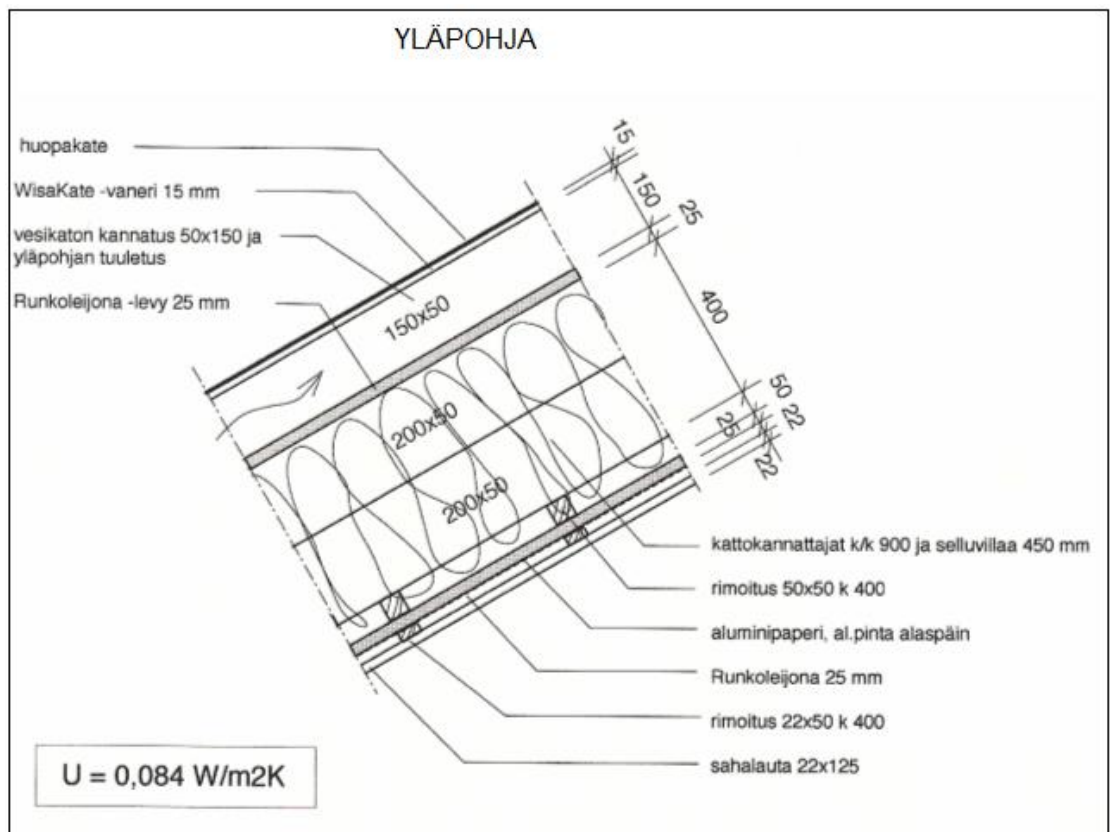
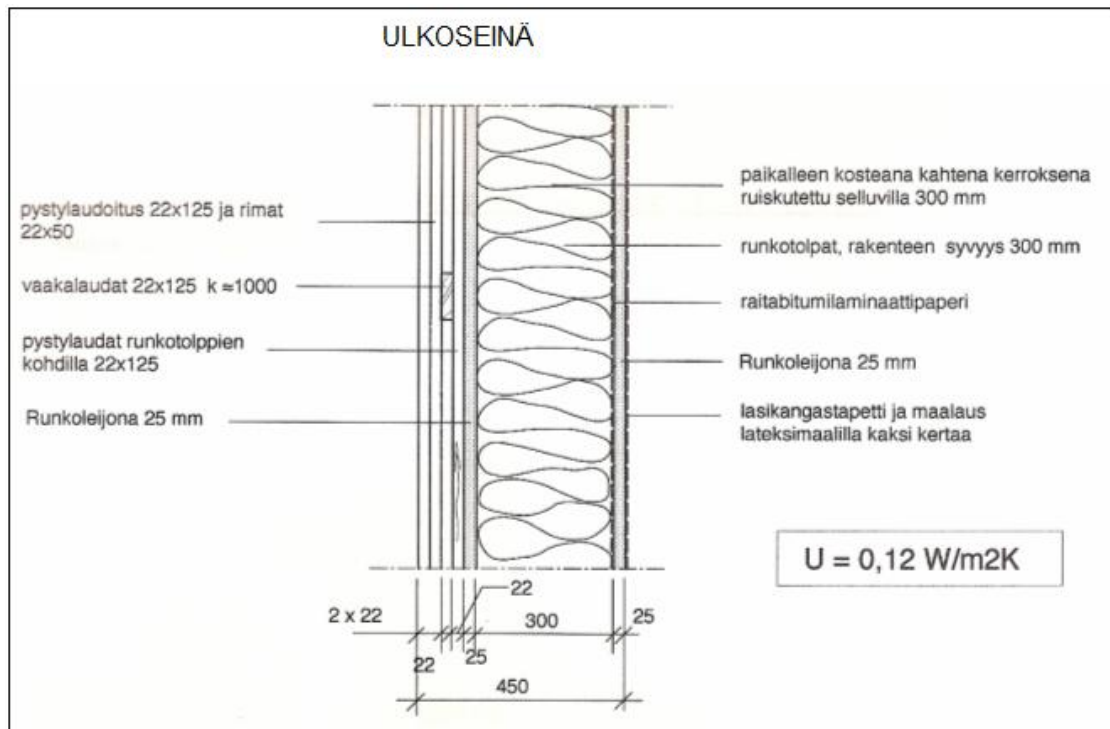
24. Fläkt Woods Oy [www-sivu]. Energiatehokkuus [viitattu 1.3.2009]. Saatavissa: <http://www.flaktwoods.fi/> > Erityisosaamisemme > Elinkaariedullisuus
25. LVI-Keskus Suomi Oy [pdf-dokumentti]. Ilmastointijärjestelmät [viitattu 1.3.2009]. Saatavissa: <http://www.lvikeskus.fi/> > Ilmastointijärjestelmät
26. Komfovent Oy [pdf-dokumentti]. VERSO Ilmankäsittelylaitteet s. 4 [viitattu 1.3.2009]. Saatavissa: <http://www.komfovent.fi/> > Ladattavat > Komfovent verso –tuote-esite
27. Paroc Oy – Energiaviisas talo [www-sivu]. LVIS-suunnittelijan opas [viitattu 10.3.2009]. Saatavissa: <http://www.energiaviisastalo.fi/> > Passiivitalo > LVIS-suunnittelijan opas
28. Romo, Ilkka, Energiaa säästävät koetalot. Rakennustieto Oy. Tampere 1996. 3.2.4 Ilmanvaihtolämmitys s.25
29. Sähköinfo Oy [www-sivu]. Nieminen, Jyri, Passiivitalo on kokonaisratkaisu 2007 [viitattu 10.3.2008]. Saatavissa: <http://www.sahkoala.fi/> > Ajankohtaista > Ajankohtaisia artikkeleita > Energiatehokkuus ja energiansäästö > 15.9.2007 Passiivitalo on kokonaisratkaisu
30. RCL Oy [pdf-dokumentti]. ECO-SARJA Huoneistokohtainen ilmanvaihtolämmitys s. 2 [viitattu 3.3.2009]. Saatavissa: <http://www.rcl.fi> > Tuotteet > Ilmanvaihtolämmitys > ECO-sarja > Esite ECO
31. Bruno, Erat ym., Aurinkoenergiaa rakennuksiin. Aurinkoteknillinen yhdistys ry. Nurmijärvi 2001. Aurinkolämmön passiivinen hyödyntäminen s. 52–53
32. Ahtinen Asko, Leppänen Pekka, Ekologinen puutalo. Rakennustieto Oy. Tampere 1999. Lämmitysjärjestelmä, Kuva 32.2. s. 53
33. Ympäristöenergia, Tmi Timo Jodat [www-sivu]. Aurinkolämpö [viitattu 22.3.2009]. Saatavissa: <http://www.y-energia.com> > Aurinkolämpö
34. JTV-energia Ky [www-sivu]. Tasokeräinjärjestelmät / CPC-tyhjiöputki järjestelmät [viitattu 22.3.2009]. Saatavissa: <http://www.jtvenegia.fi/aurinkolampo.html> > Tasokeräinjärjestelmät / CPC-tyhjiöputkijärjestelmät
35. Motiva Oy [www-sivu]. Aurinkokeräimet [viitattu 22.3.2009]. Saatavissa: <http://www.motiva.fi/fi/toiminta/uusiutuva-energia/aurinkoenergia/aurinko-energiateknologiat/aurinkokeraimet.html>

36. Motiva Oy [www-sivu]. Tyhjiöputkikeräimet [viitattu 22.3.2009]. Saatavissa: <http://www.motiva.fi/fi/toiminta/uusiutuva-energia/aurinkoenergia/aurinko-energiateknologiat/tyhjioputkikeraimet.html>
37. Enervent Oy [pdf-dokumentti]. Enervent PRO greenair HP [viitattu 7.4.2009]. Saatavissa: <http://www.enervent.fi> > Tuotteet > Dokumentit > Enervent PRO greenair HP > HP\_2009\_fi.pdf
38. Suomen Lämpöpumppuyhdistys ry [www-sivu]. Maalämpöpumppu [viitattu 24.3.2009]. Saatavissa: <http://www.sulpu.fi/> > Lämpöpumput > Maalämpöpumppu
39. Savumax Oy [www-sivu]. Savupiippuvaraajat [viitattu 29.3.2009]. Saatavissa: <http://www.savumax.fi/savupiippuvaraajat.php>
40. Savumax Oy [www-sivu]. Savupiippuvaraajat - Toimintaperiaate [viitattu 29.3.2009]. Saatavissa: [http://www.savumax.fi/savupiippu\\_toiminta.php](http://www.savumax.fi/savupiippu_toiminta.php)
41. Saari, Mikko 2006. VTT [pdf-dokumentti]. Energiatehokkaan talon lämmitysratkaisut [viitattu 8.4.2009]. Saatavissa: <http://passiivitalo.vtt.fi/> > Materiaalia passiivitaloista > Passiivitalon lämmitys
42. Pedersen, Søren 2008. Passiivitalo.fi Oy [pdf-dokumentti]. Passiivitalojen sertifiointi [viitattu 24.2.2009]. Saatavissa: <http://www.passivhus.dk/fi> > Sertifiointi > Artikkelit passiivitalojen sertifioinnista
43. Leppänen, Pekka, Säästävä Pientalo: Rannanpeltotalon mittaustulokset ja kokemukset 1997–2004. Rakennustieto Oy. Tampere 2004. 63s.
44. Paroc Oy – Energiaviisas talo [www-sivu]. Paroc Lupaus [viitattu 9.5.2009]. Saatavissa: <http://www.energiaviisastalo.fi/> > Passiivitalo > Pilottikohteet > Paroc Lupaus > Katso työvaiheet
45. Paroc Oy – Energiaviisas talo [www-sivu]. Passiivitalon määritelmä [viitattu 9.5.2009]. Saatavissa: <http://www.energiaviisastalo.fi/> > Passiivitalo > Passiivitalon määritelmä
46. Wikipedia [www-sivu]. Hygroskooppinen roottori [viitattu 9.5.2009]. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki> >Roottori ja <http://fi.wikipedia.org/wiki/> > Hygroskooppinen
47. Wikipedia [www-sivu]. Lämpökerroin [viitattu 9.5.2009]. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki> > Lämpöpumppu > Lämpökerroin

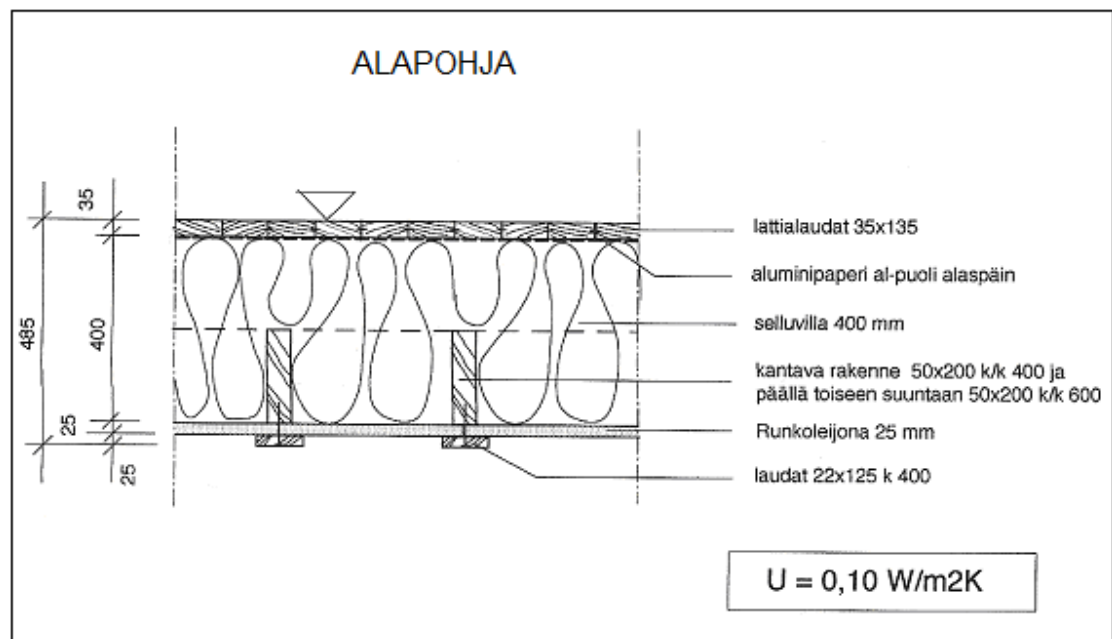


- 48 Ympäristöministeriö [pdf-dokumentti]. Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto lämpöhäviöiden tasauslaskennassa [viitattu 9.5.2009]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi> > Ympäristöministeriö > Ajankohtaista > Tiedotteet > Tiedotteet 2003 > Opas ilmanvaihdon lämmöntalteenoton laskentaan

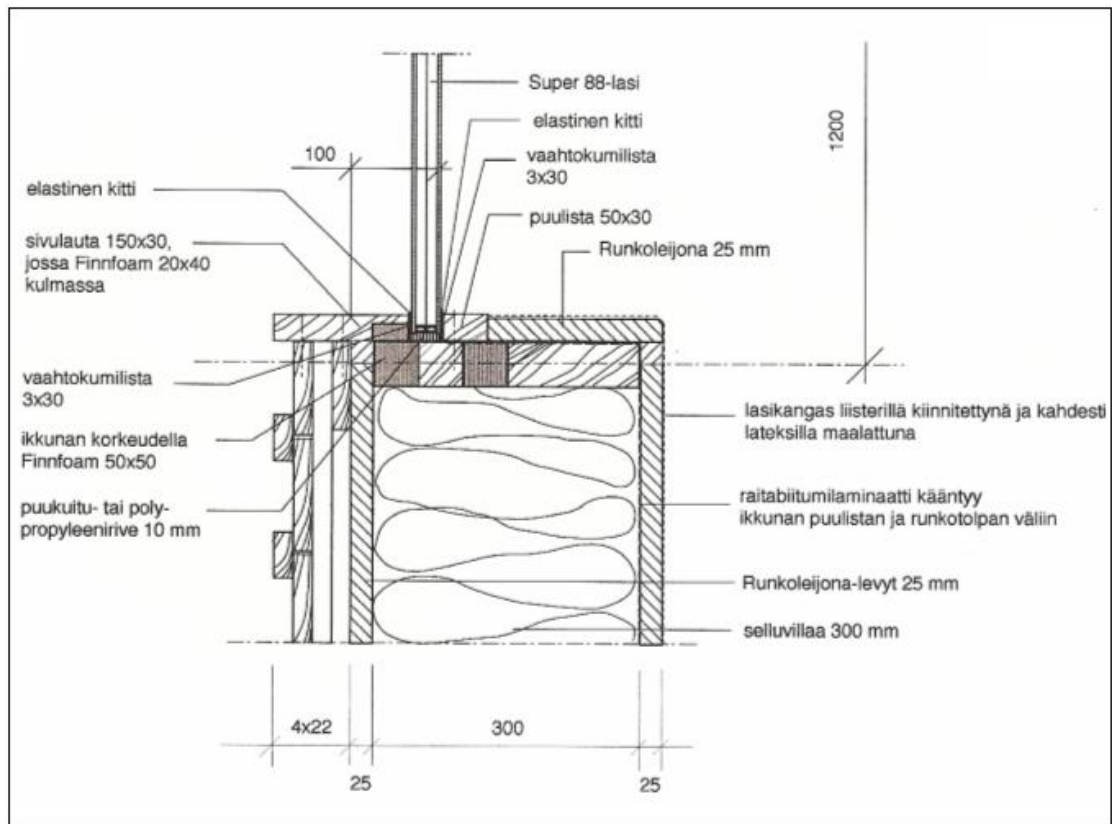
## PUURUNKOISEN PASSIIVITALON RAKENNELEIKKAUKSET /43/



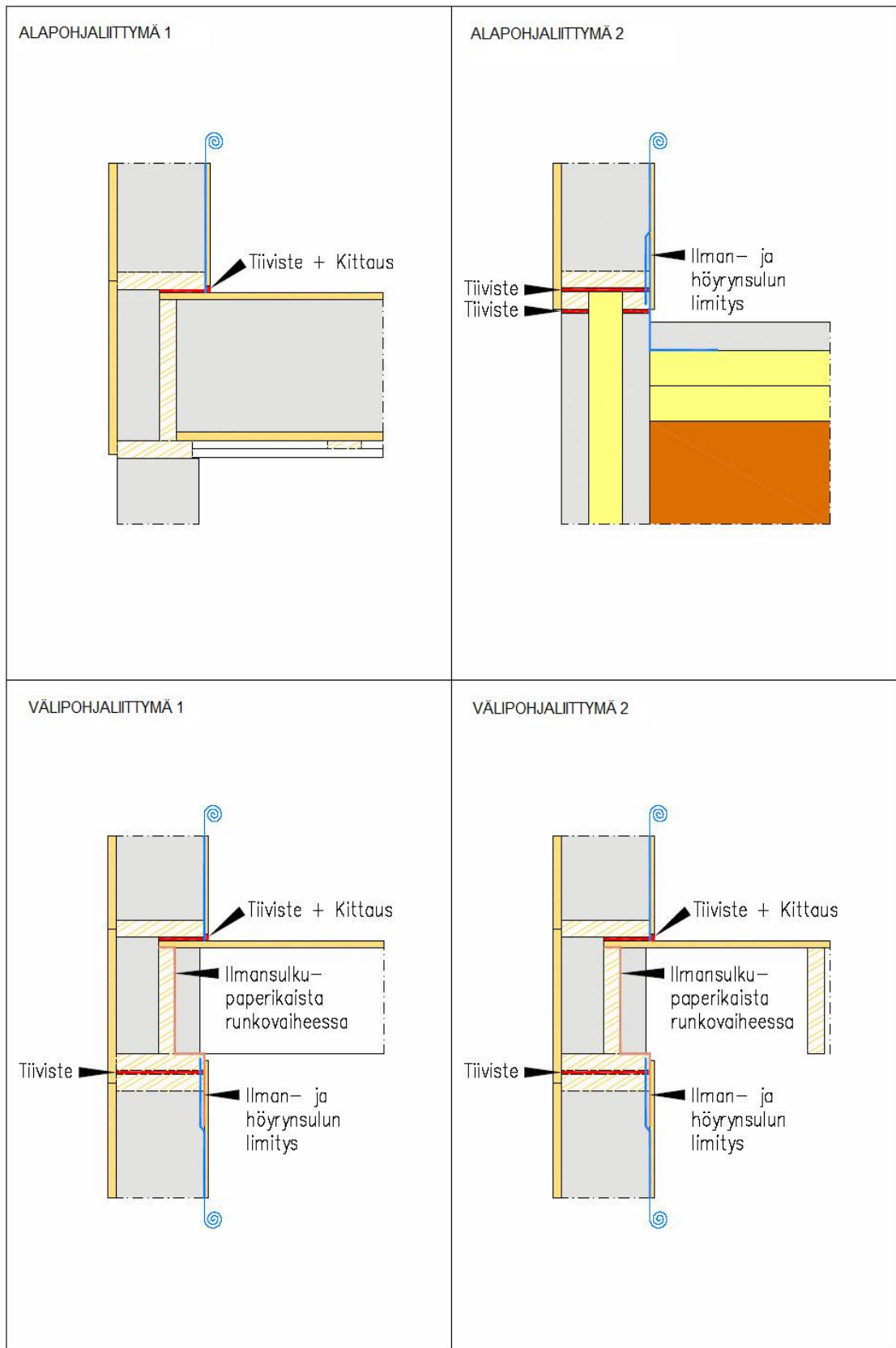
## PUURUNKOISEN PASSIIVITALON RAKENNELEIKKAUKSET /43/



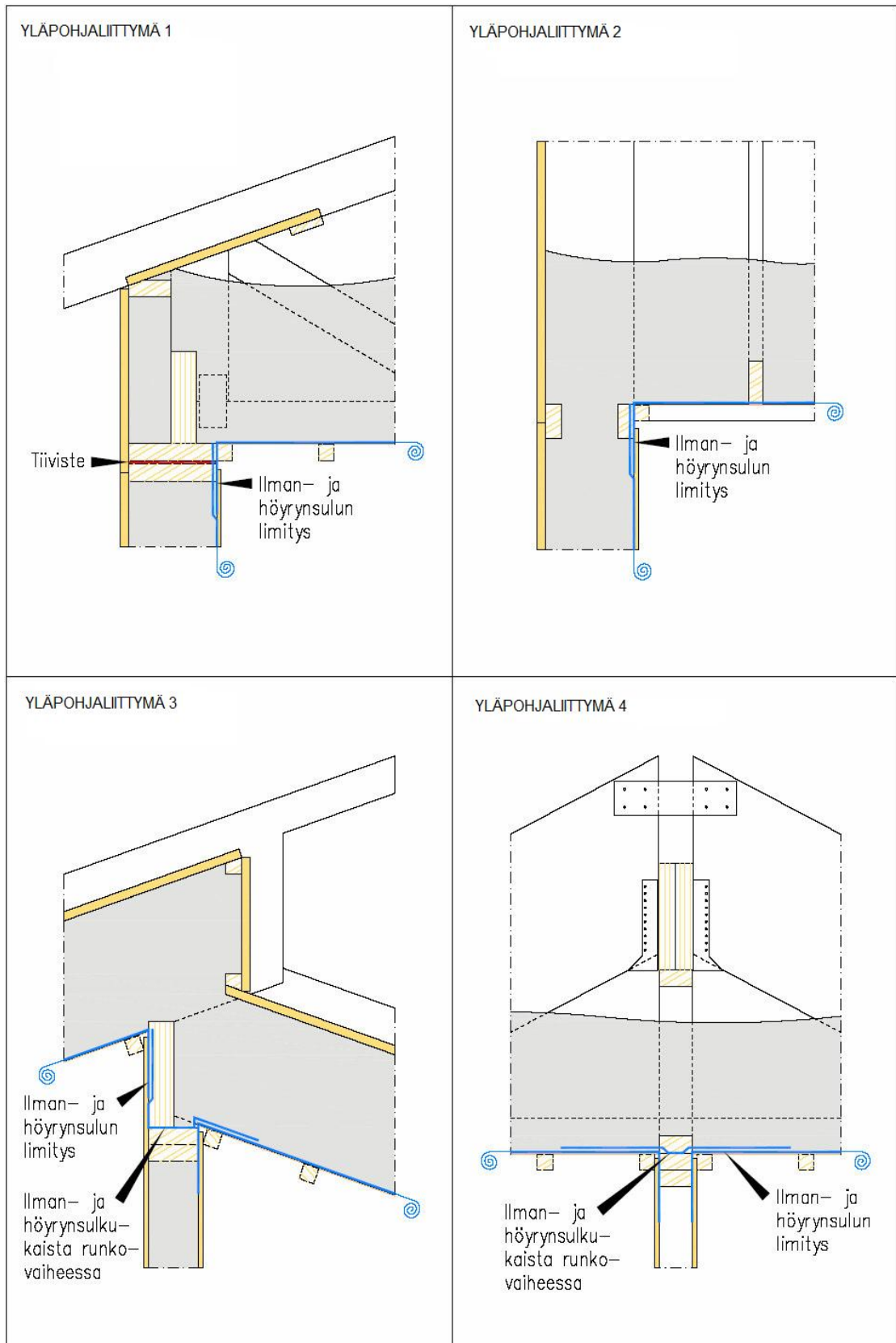
## KIINTEÄN ENERGIAEHDOKKAAN IKKUNAN RAKENNEDETAALI /43/



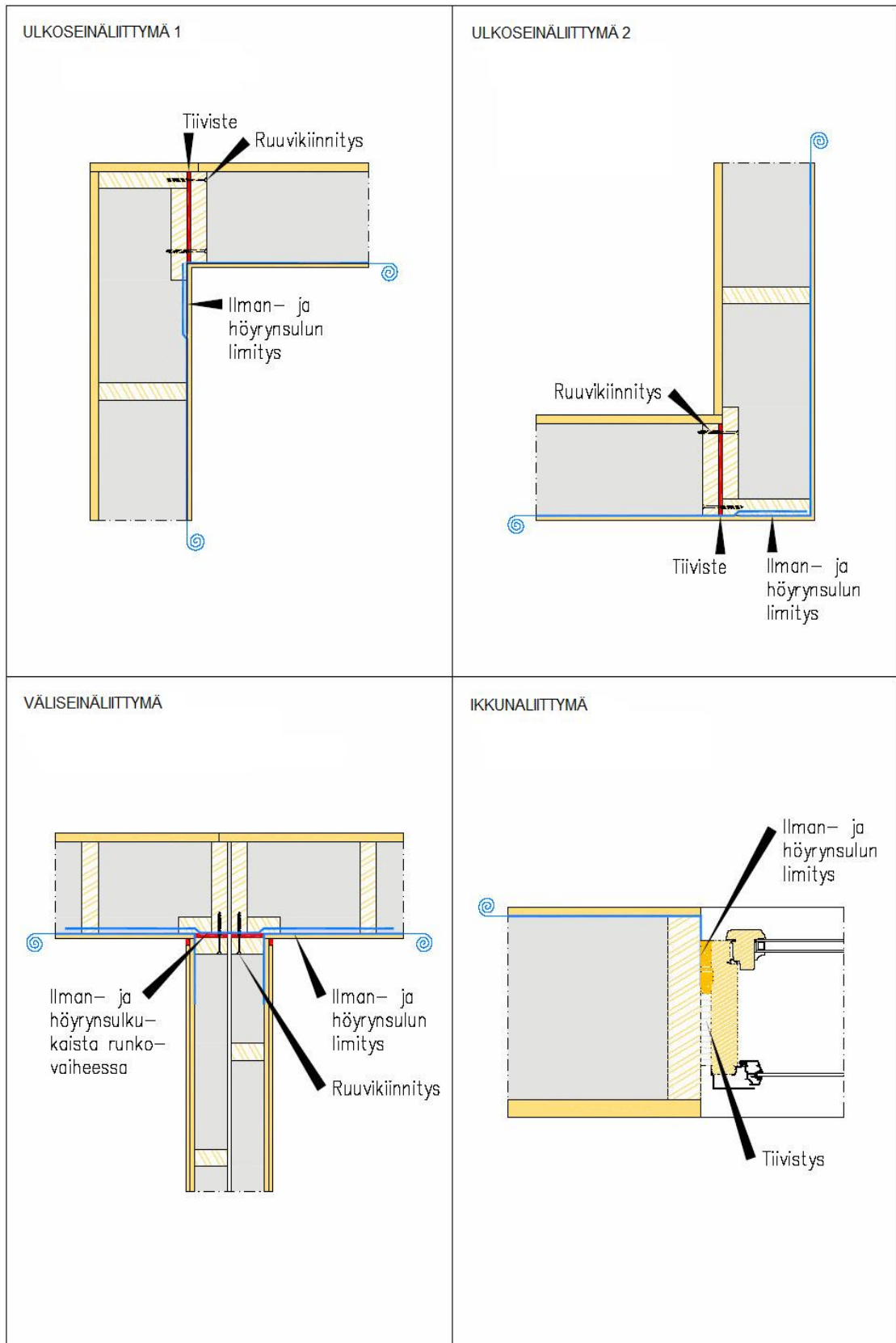
PASSIIVITALON ILMANPITÄVYYDEN TOTEUTTAMINEN ERI  
RAKENNELIITTYMISSÄ JA LÄPIVIENNEISSÄ /20/

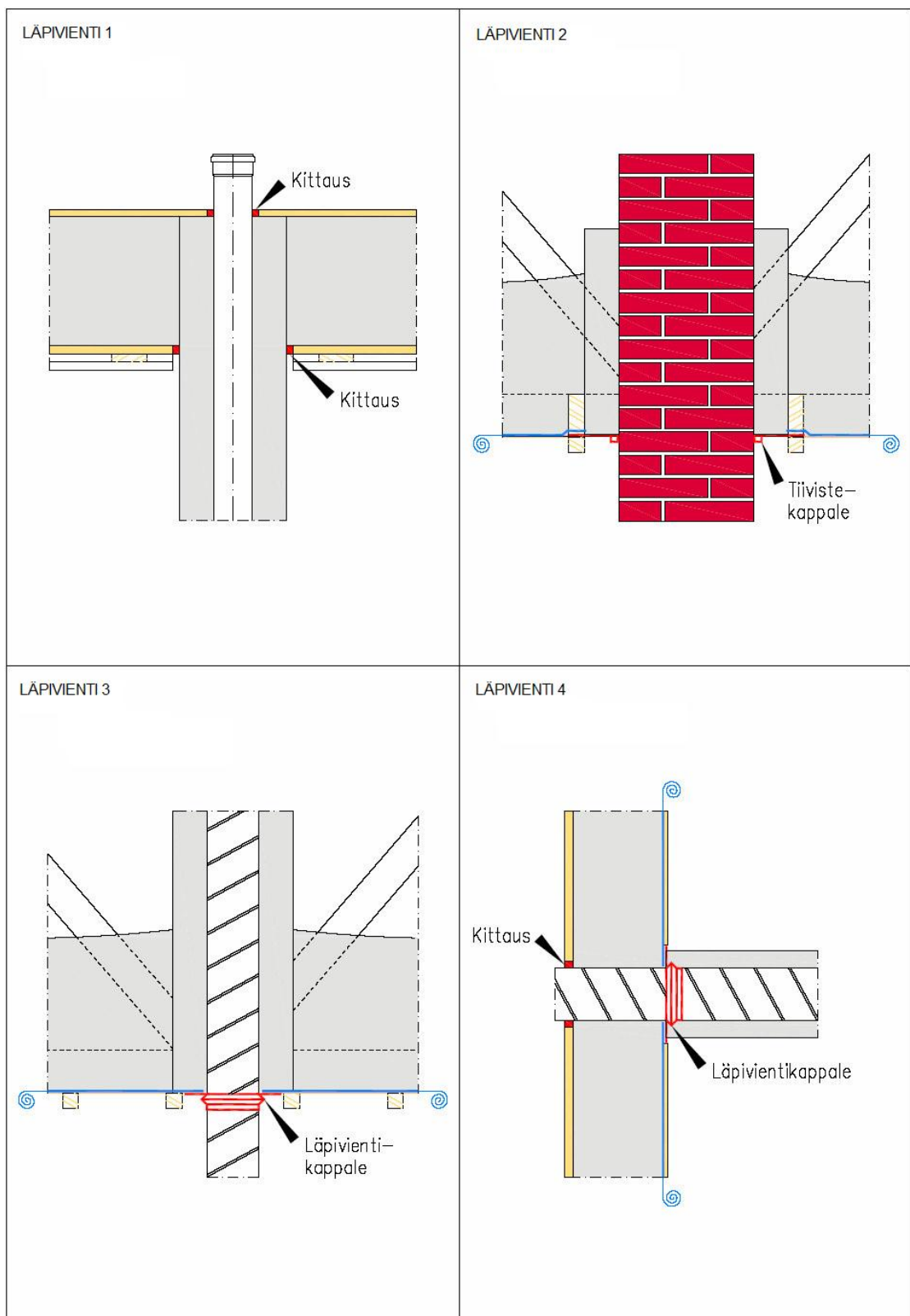


PASSIIVITALON ILMANPITÄVYYDEN TOTEUTTAMINEN ERI  
RAKENNELIITTYMISSÄ JA LÄPIVIENNEISSÄ /20/



PASSIIVITALON ILMANPITÄVYYDEN TOTEUTTAMINEN ERI RAKENNELIITTYMISSÄ JA LÄPIVIENNEISSÄ /20/



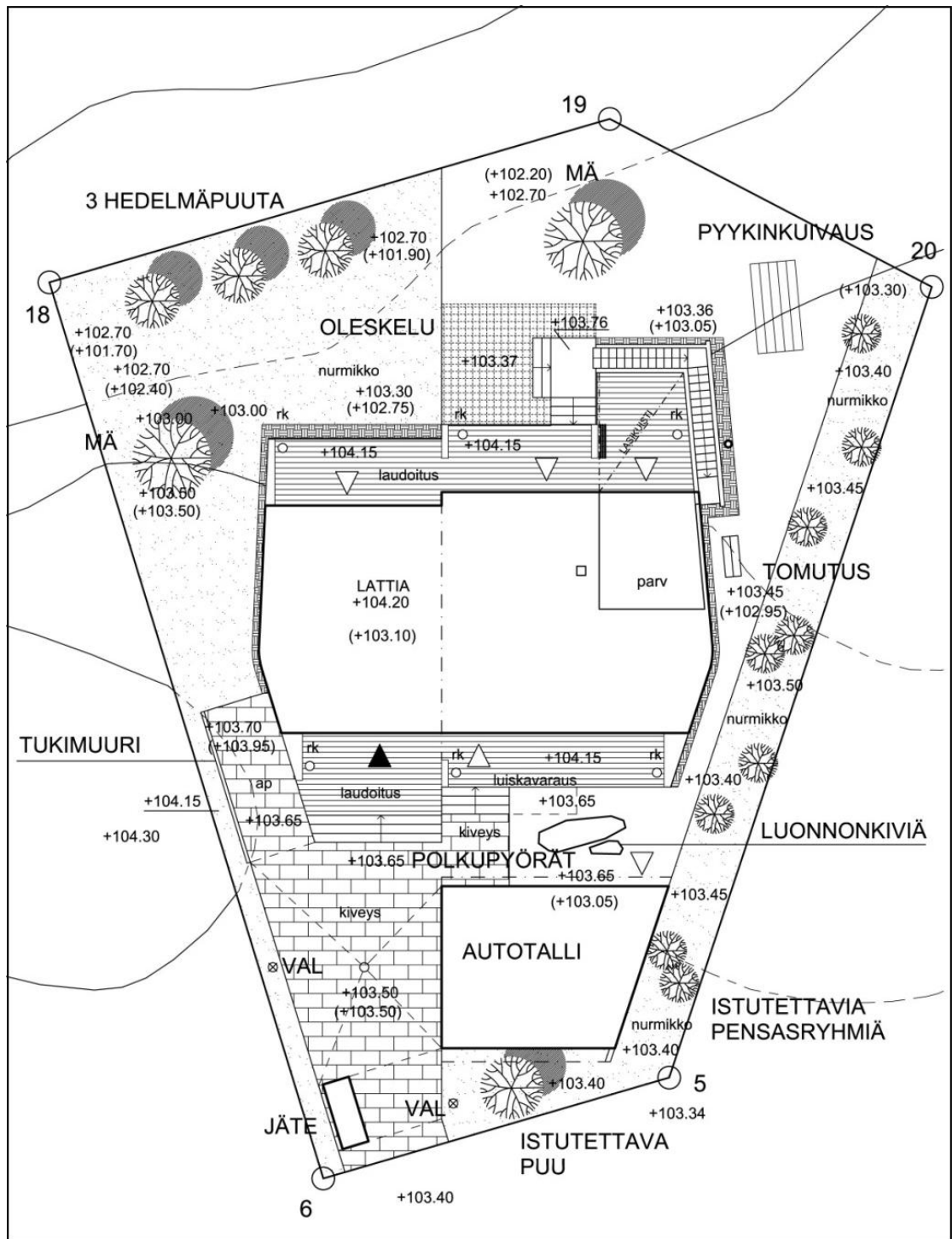
PASSIIVITALON ILMANPITÄVYYDEN TOTEUTTAMINEN ERI  
RAKENNELIITTYMISSÄ JA LÄPIVIENNEISSÄ /20/



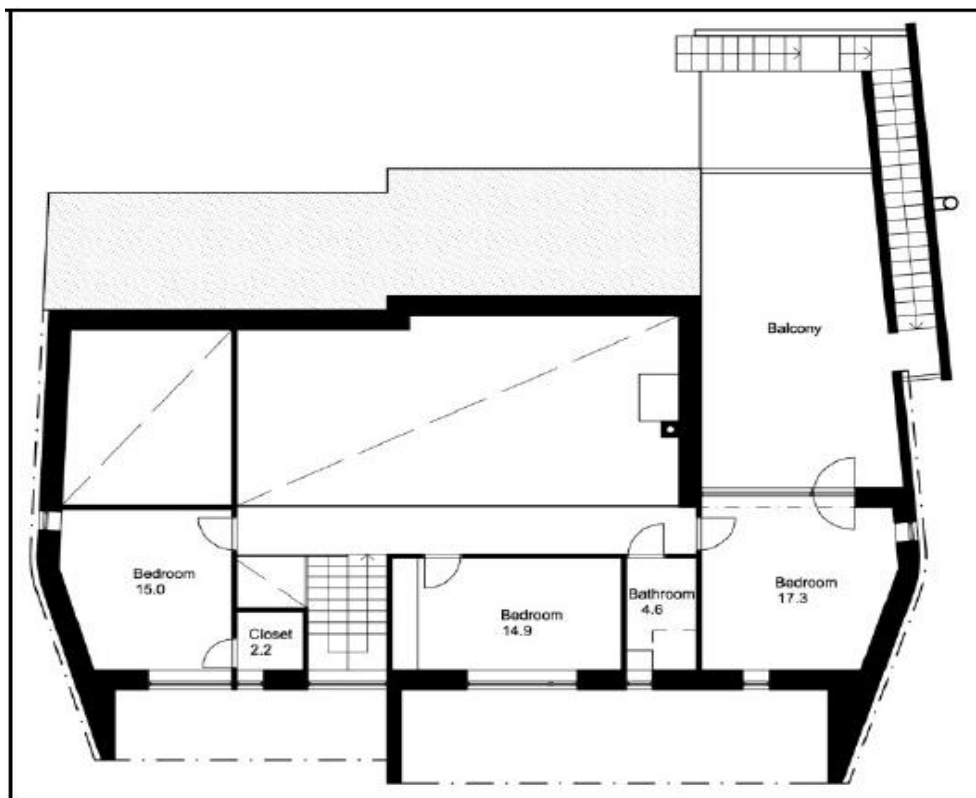
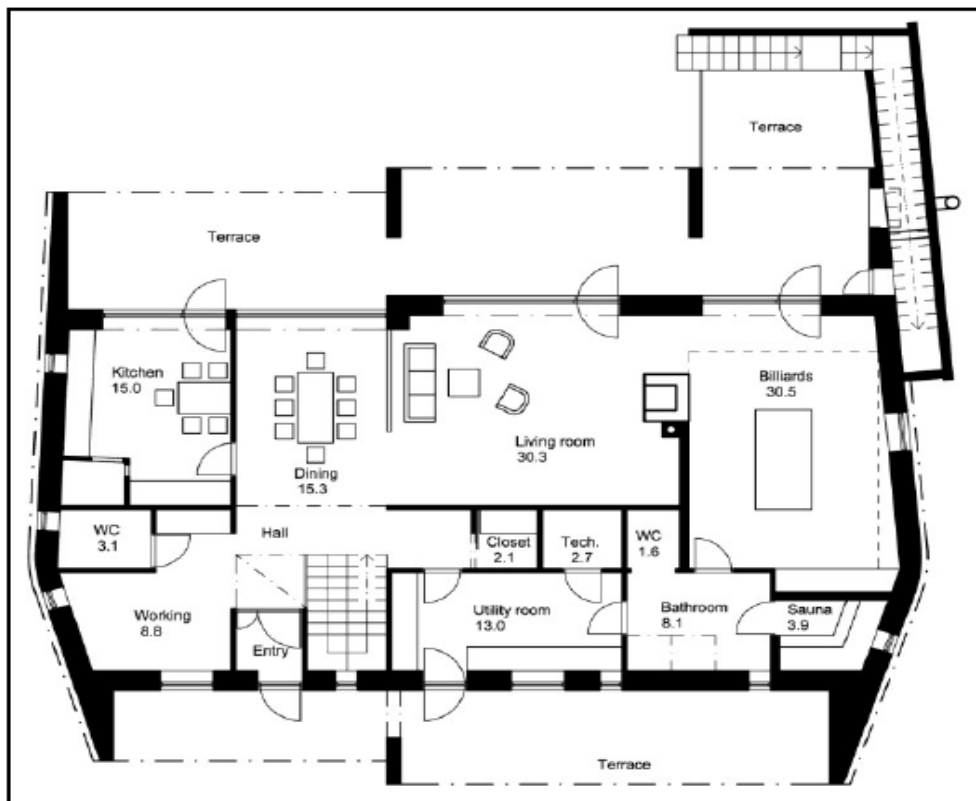
PAROC LUPAUS -PASSIIVITALO /44/



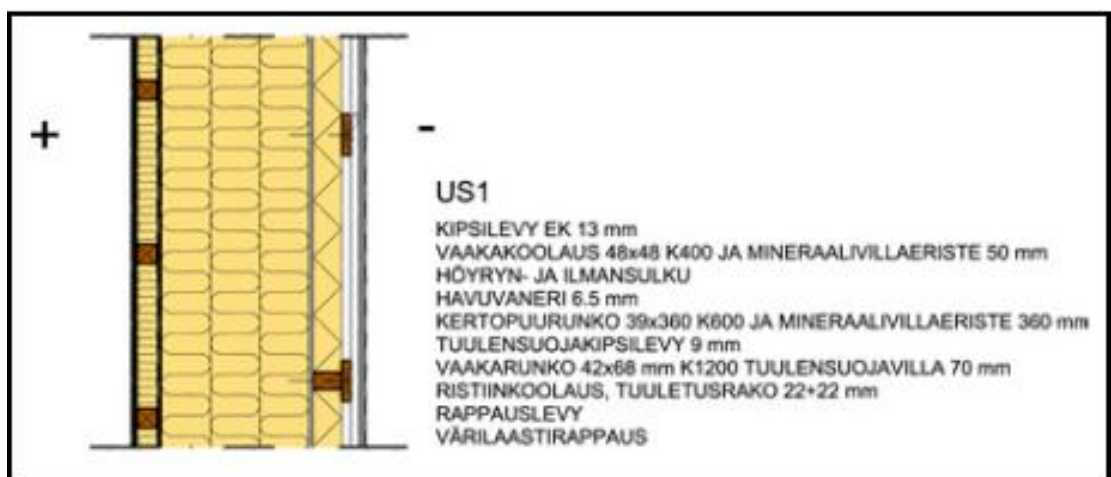
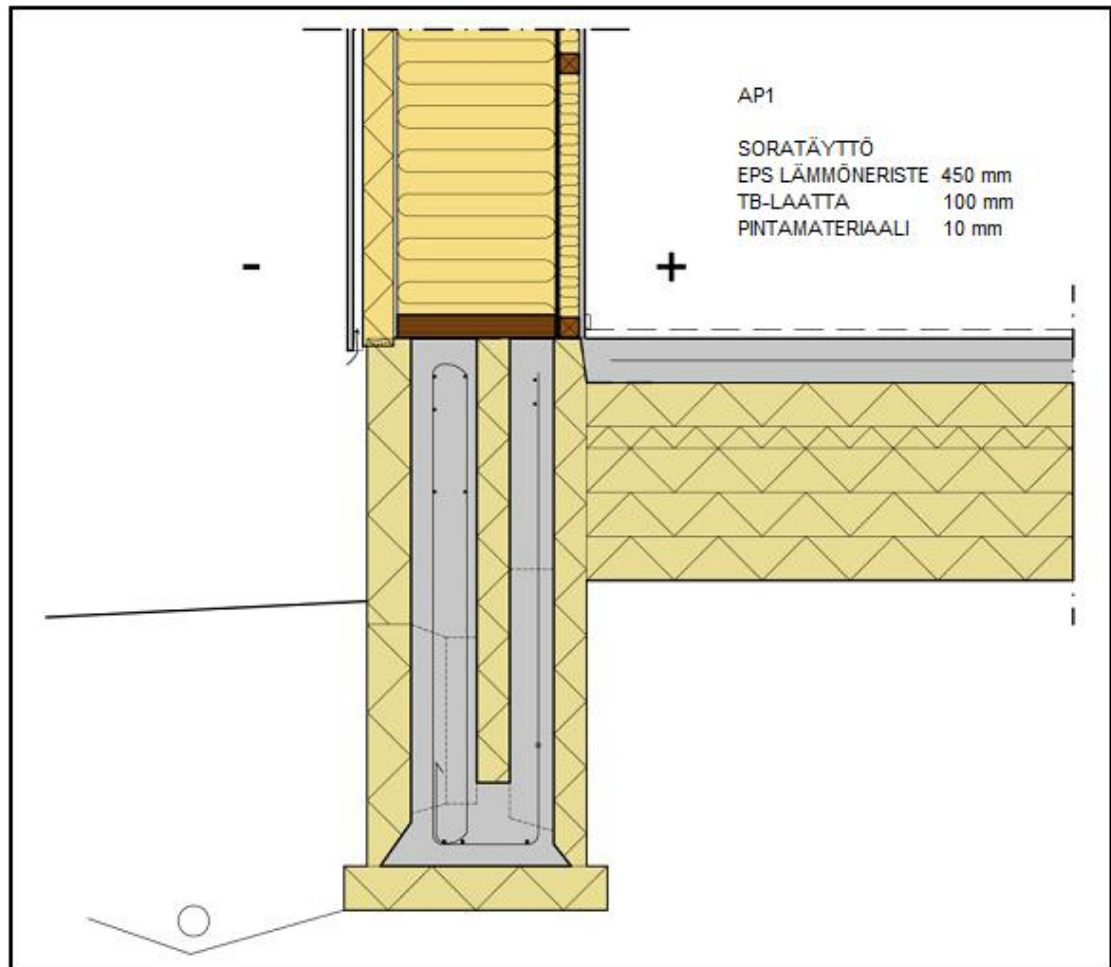
PAROC LUPAUS -PASSIIVITALO /44/



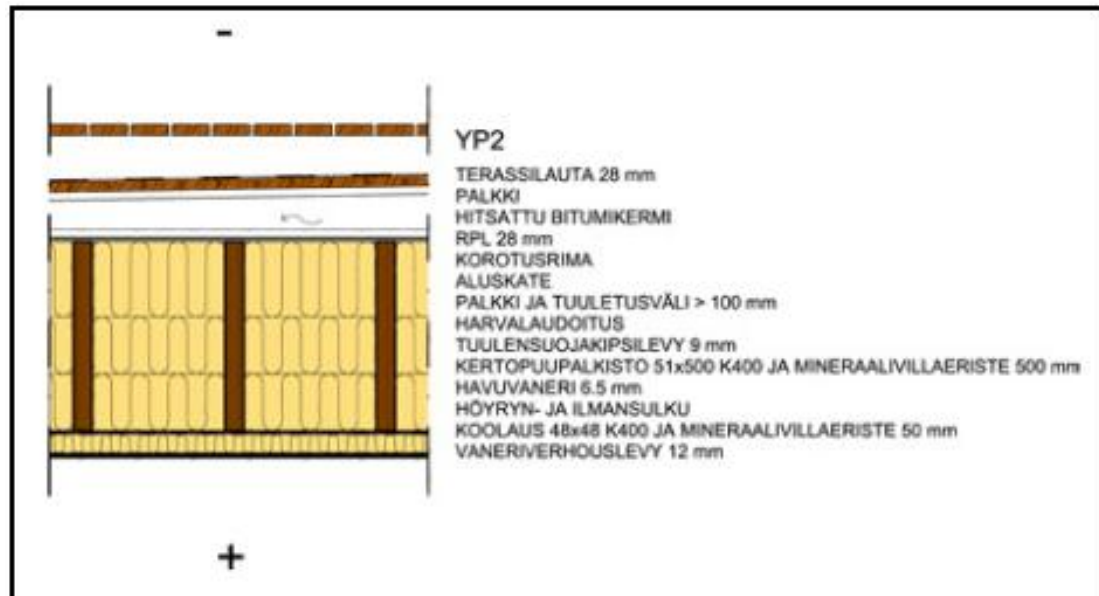
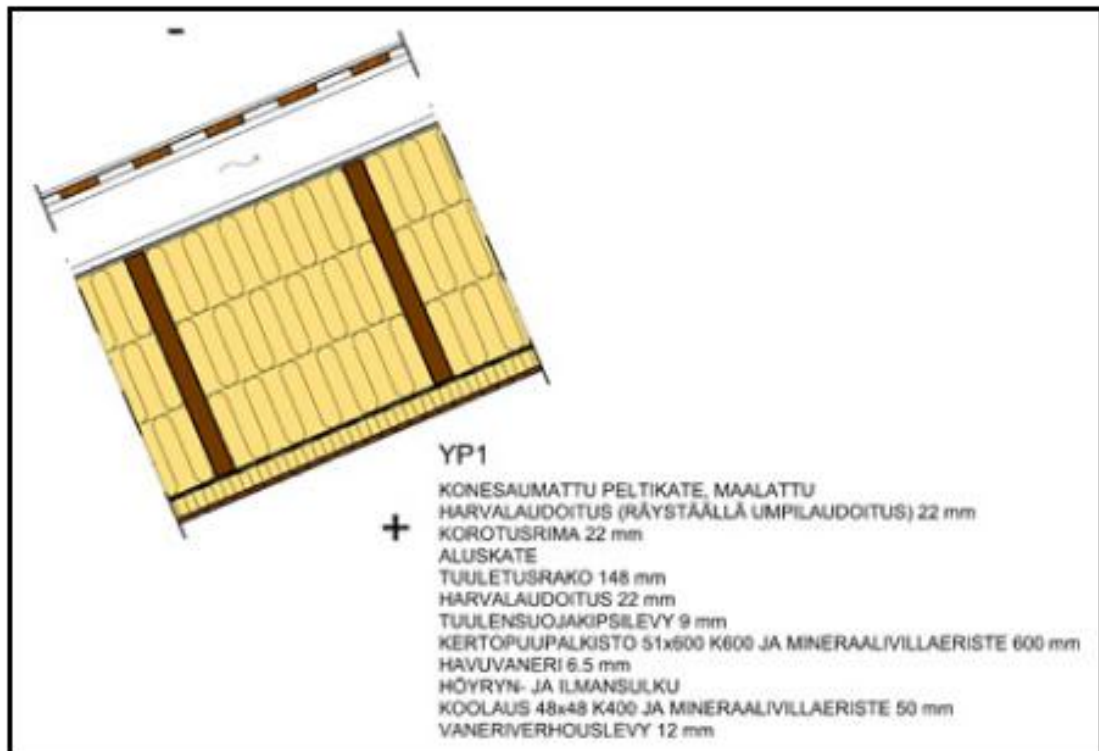
PAROC LUPAUS -PASSIIVITALO /44/



## PAROC LUPAUS -PASSIIVITALO /44/



## PAROC LUPAUS -PASSIIVITALO /44/



PAROC LUPAUS -PASSIIVITALO /44/

