

Passiivienergiatalo harkoista

- LVI-tekniikan ratkaisumallit ja suunnitteluohje, luonnos

Kirjoittajat:

Mikko Saari & Juhani Laine

Tilaaaja:

Suomen Betonitieto Oy

Raportin nimi Passiivienergiatalo harkoista - LVI-tekniikan ratkaisumallit ja suunnitteluohje	
Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot Suomen Betonitieto Oy, Seppo Petrow, Unioninkatu 14 00130 Helsinki. Puh. 0500 422 652	Asiakkaan viite
Projektin nimi Passiivienergiatalo harkoista - LVI-tekniikan ratkaisumallit ja suunnitteluohje	Projektin numero/lyhytnimi 34114/A09_Pas_BET_01
Raportin laatija(t) Mikko Saari ja Juhani Laine	Sivujen/liitesivujen lukumäärä 70/-
Avainsanat Passiivitalo, harkko, betoni, kevytsora, energiatehokkuus, sisäilmasto, talotekniikka	Raportin numero VTT-R-0xxxx-09
Tiivistelmä <p>Tässä raportissa esitetään perusteita, suunnitteluohjeita ja ratkaisumalleja harkkorakenteisen passiivienergiatalon rakentamiseksi. Lähtökohtana on turvallinen, terveellinen ja viihtyisä sisäilmasto. LVI-tekniikka toteutetaan vastaamaan pientä tilojen lämmityksen huipputehontarvetta (10 – 20 W/brm²) ja hyödyntämään mahdollisimman tehokkaasti ulkoilmaa viilennyksessä. Suunnittelussa pitää varmistaa, että talotekniikkajärjestelmät toimivat pienillä lämmitys- ja viilennystehoilla vaihtelevissa olosuhteissa hyvin ja tuhlaamatta energiaa tarpeettomasti. Talotekniikkajärjestelmien lämpöhäviöt (muun muassa käyttövesivaraajat, putket, venttiilit, ilmanavat ja lämmöntuottolaitteet) pitää minimoida, koska lämpöhäviöt lisäävät merkittävästi lämmitysenergiankulutusta ja lisäävät viilennystarvetta. Yliämpenemisen estämiseksi ikkunoiden auringonsuojauksen pitää olla tehokas. Rakenteiden liitoskohdat ja LVI-lävistykset eivät saa huonontaa rakenteiden lämpö- ja tiivisteknistä toimivuutta. Rakennuksen vaipan ilmanvuotoluku saa olla enintään 0,6 l/h. Ilmanvaihtojärjestelmän poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen on oltava vähintään 65 %. Ilmanvaihtolämmitys suunnitellaan ja mitoitetaan niin, ettei puhaltimien ominaissähköteho lämmitysilmavirralla ole suurempi kuin 1,5 kW/(m³/s), kaksinkertaisella ilmavirralla suurempi kuin 2,0 kW/(m³/s) tai kolminkertaisella ilmavirralla suurempi kuin 2,5 kW/(m³/s). Tilojen lämmitysenergiankulutus on vuoden 2010 rakentamismääräysten mukaan rakennetussa talossa 70 – 110 kWh/brm² ja harkkorakenteisessa passiivienergiatalossa vain 20 – 30 kWh/brm² vuodessa sijaintipaikkakunnasta riippuen.</p> <p>Passiivienergiatalossa ilmanvaihdon tuloilman lämpötilaa ja ilmavirtoja pitää pystyä säätämään huoneiden lämmitys- ja viilennystarpeiden mukaan. Tällaista järjestelmää kutsutaan ilmanvaihtolämmitykseksi. Passiivienergiatalo on oikein suunniteltu ja kustannustehokas, kun ilmanvaihtolämmitys yksinään riittää tilojen lämmittämiseen ja viilentämiseen. Ilmanvaihtolämmityksen lisäksi lisälämpöä voidaan tarvita huippupakkasilla esimerkiksi korkeissa olohuoneissa, joissa on tarpeettoman suuria ikkunoita. Lisälämpö voidaan tuottaa tulisijalla tai muulla lisälämmittimellä. Passiivienergiatalossa palamisilma tulee johtaa ulkoa tulisijaan ilmanvaihdosta riippumattomasti. Ilmalämpöpumput eivät sovellu lisälämmittimiksi.</p> <p>Passiivienergiatalon lämmitys- ja viilennystarpeiden, eikä käyttövesivaraajan lämpöhäviöiden minimoointia voi korvata esimerkiksi uusiutuvien energiamuotojen käytöllä. Käytettäessä uusiutuvia energiamuotoja hyödyntävää talotekniikkaa kustannukset nousevat voimakkaasti. Kompaktiin talotekniikkayksikköön voi kuulua esimerkiksi ilmanvaihtolämmitys tilojen lämmitykseen sekä pienlämpöpumppu- ja aurinkolämpöjärjestelmä lämmittämään vesivaraajaa. Siirtyminen passiivienergiatalosta nolla- ja plusenergiataloon edellyttää lämpöpumpulla ja auringolla tuotetun lämmön hyödyntämisen lisäksi aurinkosähkön (tai tulisähkön) talokohtaista tuottamista.</p>	
Luottamuksellisuus	luottamuksellinen
Espoo 2.11.2009 Allekirjoitukset Mikko Saari, tutkija Juhani Laine, erikoistutkija Mikko Nyman, erikoistutkija Eero Punakallio, palvelupäällikkö laatijat tarkastaja hyväksyjä	
VTT:n yhteystiedot PL 1000, 02044 VTT	
Jakelu (asiakkaat ja VTT) Suomen Betonitieto Oy, Seppo Petrow, 2 kpl ja sähköinen kopio. VTT arkisto 1 kpl.	
<p style="text-align: center;"><i>VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</i></p>	

Alkusanat

Rakennusten energiankäyttö tuottaa merkittävän osan maapallon kasvihuonekaasupäästöistä. Rakennusten osuus Euroopan unionin energiankulutuksesta on yli 40 prosenttia. Rakennusala on suuren haasteen edessä ilmastonmuutoksen torjunnassa. Uuden rakennusteknologian avulla voidaan vähentää merkittävästi harkkorakenteisten pientalojen energiankulutusta ja kasvihuonekaasupäästöjä.

Harkkorakenteiseen passiivenergiataloon sopivat LVI-tekniikan ratkaisumallit ja suunnitteluohjeet on esitetty tässä raportissa. Raportin yhteydessä on esitetty passiivenergiatalojen rakentamisessa käytettyjä ulkomaisia tuote-esimerkkejä, joiden soveltuvuus Suomen olosuhteisiin tulee erikseen varmistaa.

Työn tilaaja oli Suomen Betonitieto Oy. Betonikeskus ry:n harkkovaliokunnasta LVI-ohjetyöryhmään kuuluivat puheenjohtajana Mikko Pöysti, sihteerinä Seppo Petrow sekä jäseninä Rauno Granqvist, Jan-Erik Järventie, Eero Kaskela ja Tuomo Sahlstén.

Raportin ovat laatineet tutkija Mikko Saari ja erikoistutkija Juhani Laine VTT:stä.

Kiitämme tilaajaa hyvästä yhteistyöstä harkkorakenteisen passiivenergiatalon LVI-ohjeistuksen kehittämisessä.

Espoo xx.xx.2009

Tekijät

Sisällysluettelo

Alkusanat.....	1
1 Johdanto.....	4
2 Tavoite.....	5
3 Lähtökohtia harkkorakenteisen passiivenergiatalon talotekniikan suunnitteluun ...	6
3.1 Yleistä	6
3.2 Lämmitys- ja viilennystarve	6
3.3 Sisäilmaston hallinta	7
3.4 Vesi- ja viemärijärjestelmä	7
3.5 Sähköjärjestelmä	7
3.6 Passiivenergiatalon vaatimukset	8
4 Mallitalon lämmitystehon tarve ja energiankulutus	9
4.1 Laskentamenetelmät.....	9
4.2 Mallitalon kuvaus	9
4.3 Mallitalon laskentatulokset	12
5 Passiivenergiatalon huonelämpötilan hallinnan peruspilarit.....	21
5.1 Yleistä	21
5.2 Reitityssuunnittelun vaikutus huonelämpötilan hallintaan	21
5.3 Massan hyödyntäminen huonelämpötilan hallinnassa	22
5.4 Rakenteiden pienten lämpöhäviöiden vaikutus huonelämpötilan hallintaan ..	24
5.5 Lämpökuormien vaikutus huonelämpötilan hallintaan.....	25
5.5.1 Auringon säteily	25
5.5.2 Mukavuuslattialämmitys	26
5.6 Mallitalon lämmitys- ja viilennystehontarpeet.....	28
6 Ilmanvaihtolämmitys	31
6.1 Ilmanvaihtolämmityksen periaate.....	31
6.2 Ilman jakaminen huoneeseen	33
6.3 Ilmanvaihtolämmityksen ilmapirrat	33
6.4 Huonelämpötilan säätökyky	34
6.5 Ilmanvaihtolämmityksen lämmitys- ja viilennystehot	37
6.6 Ilmakanaviston mitoitus.....	39
6.7 Ilmanvaihtolämmityksen kanaviston lämpöhäviöt	40
7 Mukavuus- ja tunnelmalämmitys	44
7.1 Märkätilojen mukavuuslattialämmitys.....	44
7.2 Tulisijalämmitys.....	44
8 Huoneilman puhtauden hallinta	46
9 Passiivenergiatalon käyttöveden lämmitysjärjestelmä	48
10 Talotekniikan perusratkaisut passiivi-, nolla- ja plusenergiataloihin.....	52

11 Yhteenveto	53
Lähdekirjallisuutta.....	55
Liite 1 Passiivitalon vaatimukset	1
Alkuperäinen saksalainen passiivitalo	1
Kustannustehokas passiivitalo.....	1
Vaatimuksia alkuperäisen saksalaisen passiivitalon suunnitteluun ja toteuttamiseen	4
Passiivitalon muunnetut perusvaatimukset.....	5
Liite 2 Tilojen lisälämmitys ja lisäviilennys	1
Lisälämmitys.....	1
Ulkoilman maalämpöpatteri	1
Ulkoilmakanava maalämmönsiirtimenä	2
Epäsuora kostutusjäähdytys.....	3
Liite 3 Käyttöveden lisälämmitys.....	1
Käyttöveden lämmityksen hygieniavaatimukset	1
Käyttöveden lämmitys aurinkolämmöllä	2
Käyttöveden lämmitys poistoilmalämpöpumpulla ja aurinkolämmöllä	2
Käyttöveden esilämmitys jätevedestä otetulla lämmöllä.....	4

1 Johdanto

Rakennusten energiatalouden parantaminen on sekä yksityisten ihmisten että kansantalouden kannalta erittäin tärkeää, sillä rakennusten käytön ja rakentamisen osuus Euroopan unionin energiankulutuksesta on yli 40 prosenttia. Se on suurempi kuin esimerkiksi liikenteen käyttämä energia. Noin 90 - 95 prosenttia rakennusten energiankulutuksesta tapahtuu käytön aikana ja rakentamisen osuus on alle kymmenen prosenttia.

Energiatehokkaasta rakentamisesta on ollut jo vuosia melko paljon tietoa saatavilla, mutta vasta tuotteistaminen tuo matalaenergiarakentamisen ja passiivienergiarakentamisen laajasti tavallisten pientalorakentajien ulottuville. Itselleen elinkaaritaloudellisia koteja haluavat yksittäiset valveutuneet pientalorakentajat ovat olleet energiatehokkaan rakentamisen pioneereja.

Pientalon energiankulutus voidaan pienentää matalaenergiatasolle eli alle puoleen vuoden 2008 rakentamismääräysten kulutustasosta vain parin prosentin lisäkustannuksilla. Passiivienergiatalon energiankulutus on alle puolet matalaenergiatalon kulutuksesta. Suurimman osan talvea ihmisistä ja laitteista saatava lämpö riittää passiivienergiatalon lämmittämiseen. Kylmintä pakkaskautta lukuun ottamatta passiivienergiatalossa ei tarvita varsinaista lämmitystä.

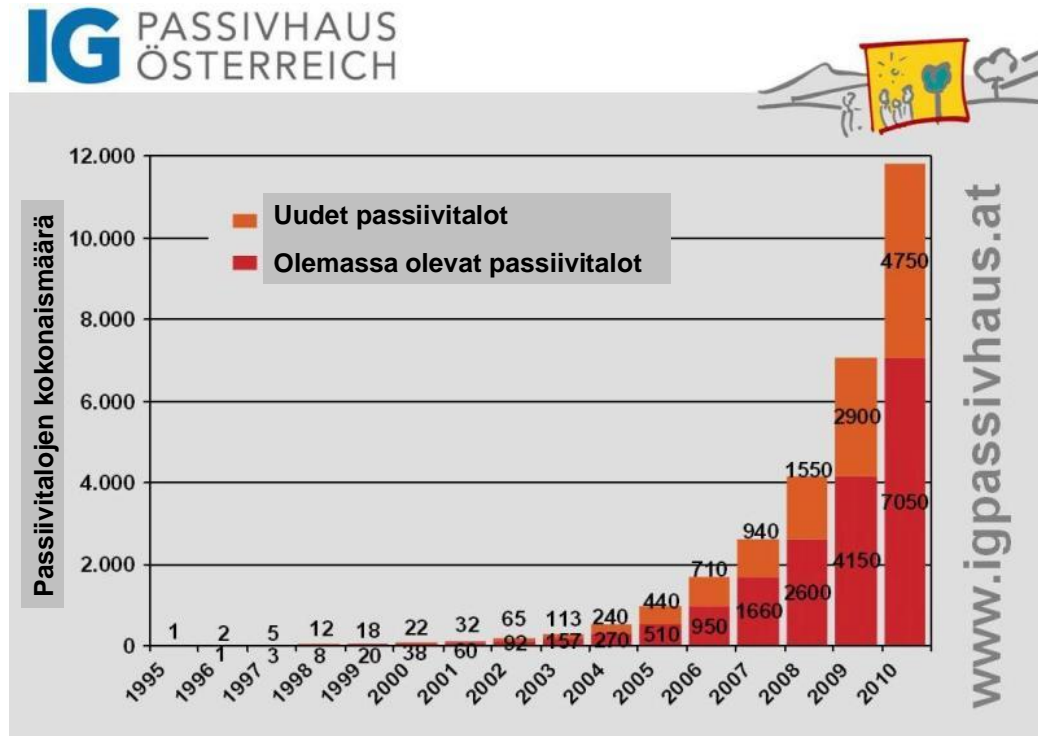
Vaikka Suomi on kylmän ilmanalan maa, olemme esimerkiksi Keski-Eurooppaa jäljessä energiatehokkaassa rakentamisessa. Matalaenergiarakentamista seuraava askel on Saksassa kehitetty **passivhaus eli passiivitalo** (liite 1). Ne ovat jo lyöneet itsensä läpi Keski-Euroopassa (kuva 1), eivätkä ole siellä enää mitään erikoisuuksia.

Rakennusten energiatehokkuuden parantaminen on tärkeä osa ilmastotalkoita. Suomi toteuttaa kansallisella ilmastostrategialla kasvihuonekaasujen vähentämistavoitteet. Kioton sopimus edellyttää, että vuosien 2008 - 2012 keskimääräiset kasvihuonekaasupäästöt rajoitetaan vuoden 1990 tasolle. EU:n energiansäästön toimenpideohjelmassa on 20 % energiansäästötavoite vuonna 2020. Energiapalveludirektiivissä on 9 % energiansäästötavoite vuonna 2016 vuosien 2001 - 2005 kulutustasosta. Uusiutuvien energianlähteiden osuutta on lisättävä EU-tasolla keskimäärin 20 %:iin vuoteen 2020 mennessä. Suomessa uusiutuvien energialähteiden osuus on 25 % vuonna 2008. Suomelle on esitetty uusiutuvien energialähteiden osuuden tavoitteeksi 38 %. **EU:n ohjelmassa passiivitalojen rakentamisen edistäminen on yksi keskeinen tavoite. EU:ssa on kaavailtu, että vuodesta 2015 alkaen kaikki uudisrakentaminen on passivhaus-tasoa.**

Kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen pyritään kiristyvillä rakennusten energiamääräyksillä. Vuonna 2010 energiankulutusta vähennetään noin 30 %. Vuoden 2012 energiamääräyksillä energiankulutusta on kaavailtu edelleen vähennettäväksi noin 20 %.

Lisäksi uusittavana oleva EU:n direktiivi rakennusten energiatehokkuudesta pyrkii pienentämään energiankulutusta ja on tuonut muun muassa rakennusten energiatodistukset pakollisiksi. Passiivienergiatalot tulevat kuulumaan

energiatehokkuudeltaan parhaaseen A-luokkaan. Energiatodistuksen ja energiatehokkuusluokituksen käyttöönotto parantaa energiatehokkaiden talojen kilpailukykyä, koska ostaja pystyy entistä helpommin vertailemaan eri talojen energiankulutusta keskenään.



Kuva 1. Passiivitalojen määrän lisääntyminen Itävallassa. Vuonna 2010 passiivitaloja on jo yli 10 000. Lähde: IG Passivhaus Österreich.

2 Tavoite

Esitetään harkkorakenteisen passiivienergiatalon lämmöneristystasot ja sopivat LVI-tekniset ratkaisumallit, joilla saavutetaan hyvä sisäilmasto sekä talvella että kesällä.

Passiivienergiapientalon lämmittämiseen kuluu parhaimmillaan vain 20 – 30 kWh/brm² lämmitysenergiaa. LVI-suunnitteluohjeessa otetaan huomioon myös rakennusmassan hyödyntämismahdollisuudet lämpövarastona. Lisäksi ohjeistetaan ratkaisumalleja, joilla voidaan passiivienergiatalon rakenne- ja talotekniikkaratkaisuja täydentämällä toteuttaa nollaenergiatason pientalo.

3 Lähtökohtia harkkorakenteisen passiivienergiatalon talotekniikan suunnitteluun

3.1 Yleistä

Passiivienergiatalon suunnittelussa tulee edetä siten, että rakennus talotekniikkajärjestelmineen suunnitellaan kokonaisuutena (taulukko 1). Taloteknisten järjestelmien osat ja reititysmallit pitää olla tiedossa jo ennen arkkitehtisuunnittelua, jotta arkkitehti voi suunnitella jo esisuunnitteluvaiheessa talotekniikan tarvitsemat tilat ja reititykset. Tällöin talotekniikan huolto- ja korjaustoimenpiteet sekä uusiminen voidaan tehdä helposti ja kustannustehokkaasti. Rakennus- ja talotekniikan yhteensovitus ja niiden yhteispelin hallinta passiivienergiatalon toteutuksessa auttaa yksinkertaiseen, toimivaan ja edulliseen lopputulokseen pääsemisessä.

3.2 Lämmitys- ja viilennystarve

Passiivienergiatalon talotekniikan suunnittelun lähtökohtana on minimoidut lämmitys- ja viilennystarpeet. Talotekniikkajärjestelmät pitää suunnitella ja mitoittaa vastaamaan todellista pientä tehon- ja energiantarvetta. Järjestelmien lämpöhäviöt pitää minimoida, koska lämpöhäviöt lisäävät merkittävästi lämmitysenergiankulutusta ja lisäävät viilennystarvetta.

Suunnittelussa pitää varmistaa, että talotekniikkajärjestelmät toimivat pienillä lämmitys- ja viilennystehoilla vaihtelevissa olosuhteissa hyvin ja tuhlaamatta energiaa tarpeettomasti. Lämpökuormien hyödyntäminen ja torjunta edellyttävät rakenteiden ja talotekniikan yhteistoiminnan nykyistä parempaa hallintaa.

Passiivienergiatalon lämmitys- ja viilennystarpeiden minimoointia ei voi korvata esimerkiksi uusiutuvien energiamuotojen käytöllä.

Passiivienergiatalon lämmitystarve on minimoitu rakenteellisin keinoin, kuten tavanomaista paremmalla ulkoseinien, yläpohjan, alapohjan, ovien ja ikkunoiden lämmöneristyksellä ja rakennuksen ilmanpitävyydellä sekä tehokkaalla ilmanvaihdon lämmöntalteenotolla. Lämmitykseen hyödynnetään ensisijaisesti sähköä käyttävistä laitteista syntyvää lämpöä, joka on jo kertaalleen käytettyä energiaa. Näin passiivienergiatalo lämpiää suurimman osan vuotta kahteen kertaan käytettävällä sähköllä. Pakkasilla ilmanvaihdon tuloilman lämmittäminen pienellä teholla riittää ylläpitämään sopivaa lämpötilaa huoneissa.

Passiivienergiatalon viilennystarve on minimoitu rakenteellisin keinoin, kuten tavanomaista paremmalla rakennuksen ulkovaipan lämmöneristyksellä ja ilmanpitävyydellä. Näin estetään rakenteisiin varastoituvan lämmön tulo sisälle. Lisäksi suoran auringonpaisteen sisääntuloa ikkunoista on rajoitettu ikkunoiden kohtuullisella koolla ja auringonsuojalaseilla sekä rakenteellisella auringonsuojauksella. Ensisijaisia keinoja ovat reilunkokoiset räystäät ja ikkunaa varjostavat parvekkeet. Usein tarvitaan myös ulkopuolisia sälerakenteita, lippoja, markiiseja ja sälekaihtimia. Ilmanvaihto hyödyntää viilennykseen ensisijaisesti sisäilmaa viileämpää ulkoilmaa, joka yleensä riittää pitämään passiivienergiatalon lämpötilan miellyttävänä. Helleilman sisääntulo ilmanvaihdon kautta estetään

käyttämällä ilmanvaihdon lämmöntalteenottolaitetta kylmätalteenottoon, kun sisällä on viileämpää kuin ulkona.

3.3 Sisäilmaston hallinta

Passiivienergiatalossa ilmanvaihdon tuloilman lämpötilaa ja ilmavirtoja pitää pystyä säätämään huoneiden lämmitys- ja viilennystarpeiden mukaan. Tällaista järjestelmää kutsutaan ilmanvaihtolämmitykseksi.

Ilmanvaihtolämmitys sisältää ilmanvaihdon lisäksi huonelämpötilan hallintajärjestelmän. Ilmanvaihtolämmityksessä lämpötilan säätö perustuu suurimman osan vuotta lämmöntalteenottolaitteella tapahtuvaan tuloilman lämpötilan säätöön huonelämpötilan perusteella. Kovilla pakkasilla tarvittava lisälämpö voidaan tuottaa tuloilmaa lämmittämällä tai käyttämällä jotain muuta lisälämmittintä.

Ilmanvaihtolämmityksessä ilmavirtoja säädetään sisäilman laadun ja huonelämpötilan mukaan. Tähän tarvitaan laajalla ilmavirta-alueella toimiva muuttuvailmavirtainen järjestelmä. Ilmavirta-alueen yläraja ei määräydy sisäilman laadun perusteella vaan viilennystarpeen mukaan. Lämmitykseen ei tarvita suurempaa ilmavirtaa kuin mitä hyvän sisäilman laatu edellyttää. Myöskään kierrätysilman käyttöä ei tarvita, kuten perinteisessä ilmalämmityksessä. Käyttäjä voi tarpeen mukaan tehostaa ilmanvaihtoa.

3.4 Vesi- ja viemärijärjestelmä

Passiivienergiatalon käyttöveden lämmitysjärjestelmän suunnittelun lähtökohtana ovat käyttöveden kulutuksen ja lämpötilan hallinta sekä pienet järjestelmähäviöt. Passiivienergiatalossa käyttöveden lämmittäminen kuluttaa saman verran energiaa kuin tilojen lämmittäminen. Osa käyttöveden lämmittämiseen tarvittavasta energiasta voidaan saada ottamalla lämpöä talteen käytetystä vedestä. Ostoenergiankulutuksen pienentämiseksi ja käyttöveden lämmittämiseen voidaan hyödyntää aurinkoenergiaa ja pienlämpöpumpulla ilmanvaihdon jäteilman lämpöä. Näin voidaan siirtyä kohti nollaenergiataloa.

3.5 Sähköjärjestelmä

Passiivienergiatalon sähköjärjestelmän suunnittelun lähtökohtana on sähkön kulutuksen minimointi. Talotekniikkajärjestelmät mitoitetaan ja laitteiden toimintapisteet valitaan niin, että pumppujen ja puhaltimien sähkönkulutus on mahdollisimman pieni. Valaistus suunnitellaan siten, että luonnonvalo hyödynnetään mahdollisimman tehokkaasti. Keinovalaistus toteutetaan pientehovalaisimilla ja hyödynnetään tarpeenmukaista ohjausta. Kotitalouslaitteet valitaan A-energialuokasta. Ostoenergiankulutuksen pienentämiseksi sähköä voidaan tuottaa aurinkoenergialla. Näin voidaan siirtyä kohti nollaenergiataloa ja aurinkosähkön tuottoa lisäämällä myös kohti plusenergiataloa.

3.6 Passiivienergiatalon vaatimukset

Passiivienergiatalon vaatimukset esitetään taulukossa 1.

Taulukko 1. Vaatimukset harkkorakenteiselle passiivienergiatalolle.

	Rakentamis- määräysten mukainen talo (2010)	Rakentamis- määräysten mukainen talo (2010 -20 %)	Passiivienergiatalo
Sisäilmaston suoritusarvot			
Sisäilmaston tavoitetaso	RakMk osa D2	RakMk osa D2	S1 ja S2 ¹
Pintamateriaalien päästöluokka	RakMk osa D2	RakMk osa D2	M1 ¹
Rakennustöiden puhtausluokka	RakMk osa D2	RakMk osa D2	P1 ja P2 ¹
Rakennusosien suoritusarvot			
U-arvot, W/m ² K			
- ulkoseinä	0,17	0,12	enintään 0,10 – 0,13
- yläpohja	0,09	0,09	enintään 0,06 – 0,08
- alapohja			
maanvastainen	0,16	0,13	enintään 0,10 – 0,12
ryömintätilaan rajoittuva	0,17	0,11	enintään 0,08 – 0,10
ulkoilmaan rajoittuva	0,09	0,09	enintään 0,08 – 0,10
- ikkunat ja ovien valoaukot	1,0	0,9	enintään 0,6 – 0,8
- ulko-ovet	1,0	0,7	enintään 0,4 – 0,7
Ikkunan valoaukon auringonsäteilyn kokonaisläpäisykerroin $g_{\text{kohtisuora}}$, -	-	-	< 0,3 Pohjoismaissa (edellyttää yleensä lisäksi rakenteellista aurinkosuojausta) (> 0,5 Keski-Euroopassa)
Ikkunan valoaukon valonläpäisykerroin, -	-	-	> 0,4 (suositus)
Vaipan ilmanvuotoluku n_{50} , 1/h	enintään 2,0	enintään 1,0	enintään 0,6
Lämmityksen suoritusarvot			
Huoneiden lämmityksen tehontarve, W/m ²	30 – 40	25 – 30	enintään 10 - 20
Tilojen lämmityksen ja jäähdytyksen energiankulutus, kWh/brm ² vuodessa	70 – 110	40 - 80	20 – 30
Lämmin käyttövesi, kWh/brm ² vuodessa	25	25	enintään 25
Lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia, kWh/brm ² vuodessa	10 – 50	10 – 50	5 – 10
Energiankulutus			
Lämmitysenergiankulutus, kWh/brm ² vuodessa	105 – 185	75 – 155	50 – 65
Laitesähköenergia, kWh/brm ² vuodessa	40 – 60	40 - 60	enintään 50
Kokonaisenergia, kWh/brm ² vuodessa	145 – 245	115 – 215	100 – 120
Ilmanvaihdon suoritusarvot			
Ominaisilmavirta, dm ³ /s/m ²			0,35 – 2,0
kotona			
poissa			
tehostus			
viilennys			
Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde	45 %	55 %	vähintään 65 %
Ilmanvaihdon ominais sähköteho, kW/(m ³ /s)	enintään 2,5	enintään 2,0	
kotona			enintään 1,5
poissa			enintään 1,5
tehostus			enintään 2,0
viilennys			enintään 2,5
Ilmanvaihdon suurimmat sallitut äänitasot, dB(A)			
Olo- ja makuuhuoneet	28	28	22
Keittiö	33	33	25
Kylpyhuone	38	38	28
Talon ulkopuolella	45	45	45

¹ LVI 05-10440. 2008. Sisäilmastoluokitus 2008. Helsinki, Sisäilmayhdistys ry. Rakennustieto Oy. 22 s. (LVI-ohjekortti, RT-kortti 07-10946)

4 Mallitalon lämmitystehon tarve ja energiankulutus

4.1 Laskentamenetelmät

Mallitalon lämmitystehontarve ja energiankulutus on laskettu 19.6.2007 julkaistun rakentamismääräyskokoelman osan D5/2007 mukaan. Laskenta tehtiin Jyväskylän säätiedoilla (RakMk osa D5, liite 1, säävyöhyke III).

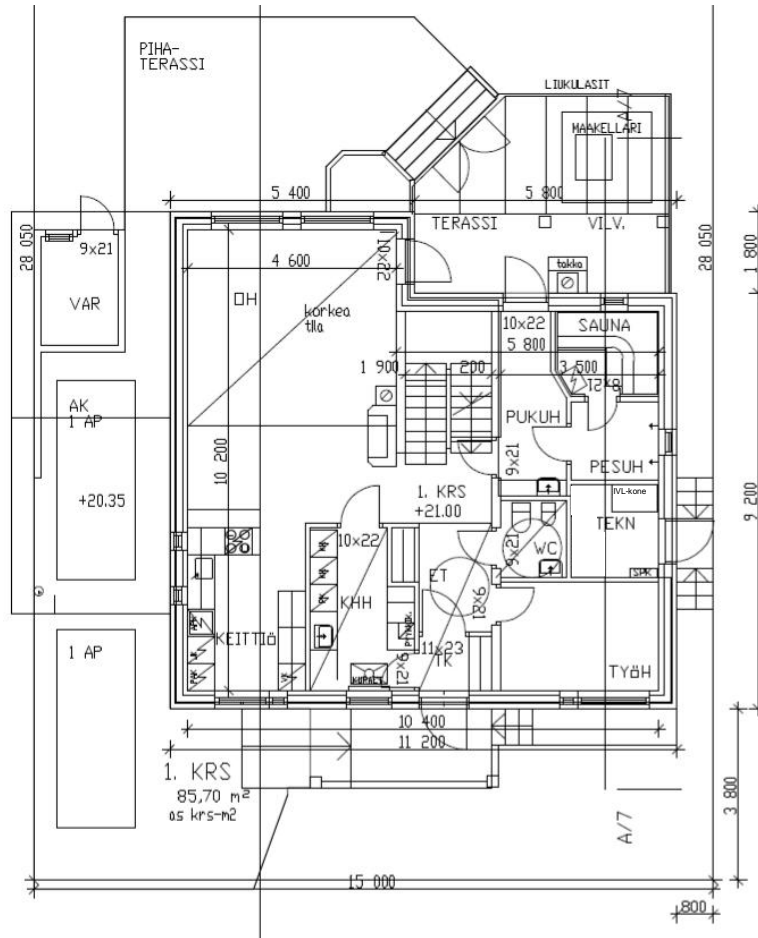
4.2 Mallitalon kuvaus

Mallitalona käytettiin tyypillistä kaksikerroksista harkkopientaloa. Taloa ei ole alun perin suunniteltu passiivenergiatalon periaatteiden mukaan. Olohuoneen suurten ikkunoiden, varjostavien rakenteiden puuttumisen ja märkätilojen hajanaisen sijainnin takia talo ei sovellu parhaalla mahdollisella tavalla passiivenergiataloksi. Taulukossa 2 esitetään mallitalon yleistiedot. Kuvissa 2 - 8 esitetään mallitalon pääpiirustukset.

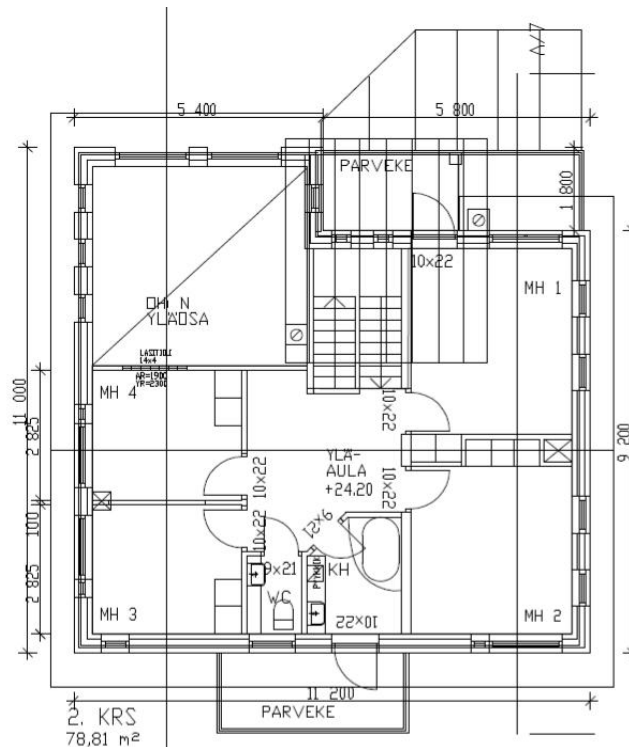
Taulukko 2. Mallitalon yleistiedot.

Rakennuksen yleistiedot

Rakennustilavuus	721 rak-m ³
Bruttoala	199 brm ²
Huoneala, lämpimät tilat	166 m ²
Julkisivujen pinta-ala	237 m ²
Kerroskorkeus	3,2 m
Huonekorkeus	2,9 m
Ilmatilavuus, lämpimät tilat	577 m ³
Huoneistojen lukumäärä	1
Kerrosten lukumäärä	2
Henkilöiden lukumäärä	5
Sisälämpötila, lämmitys	21 °C
Sisälämpötila, jäähdytys	- °C
Mitoitusulkolämpötila	-32 °C
Säävyöhyke III	Jyväskylä



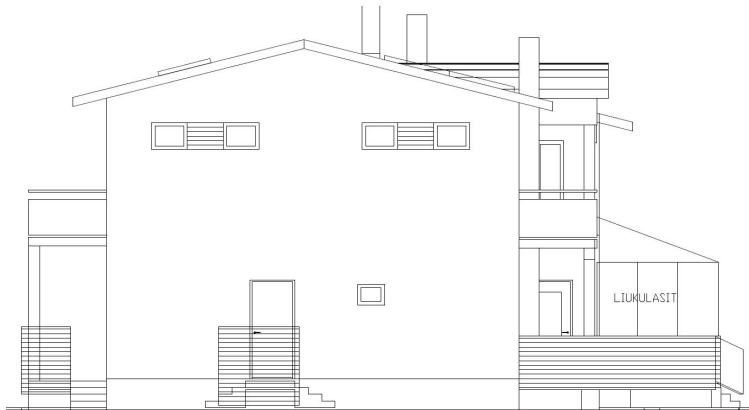
Kuva 2. Mallitalon 1. kerroksen pohjapiirros.



Kuva 3. Mallitalon 2. kerroksen pohjapiirros.



Kuva 4. Mallitalon julkisivu koilliseen.



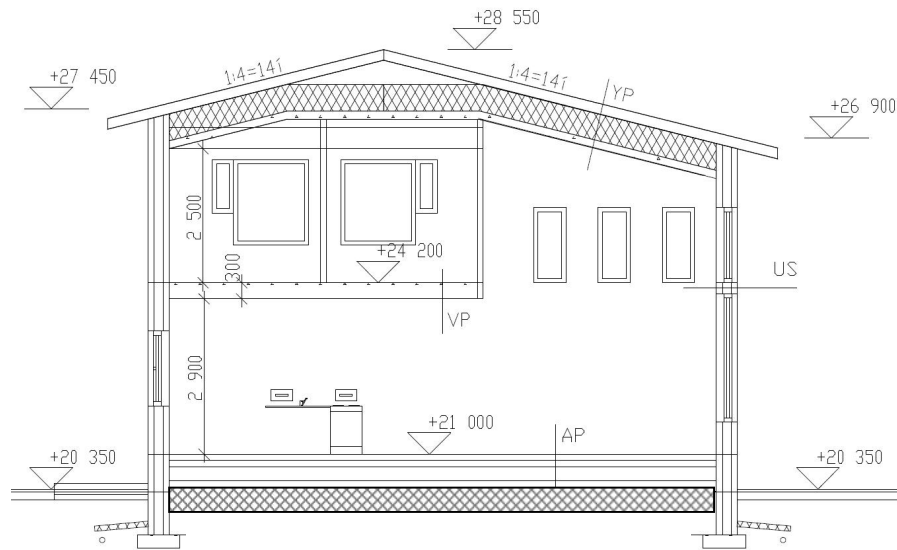
Kuva 5. Mallitalon julkisivu kaakkoon.



Kuva 6. Mallitalon julkisivu lounaaseen.



Kuva 7. Mallitalon julkisivu luoteeseen.



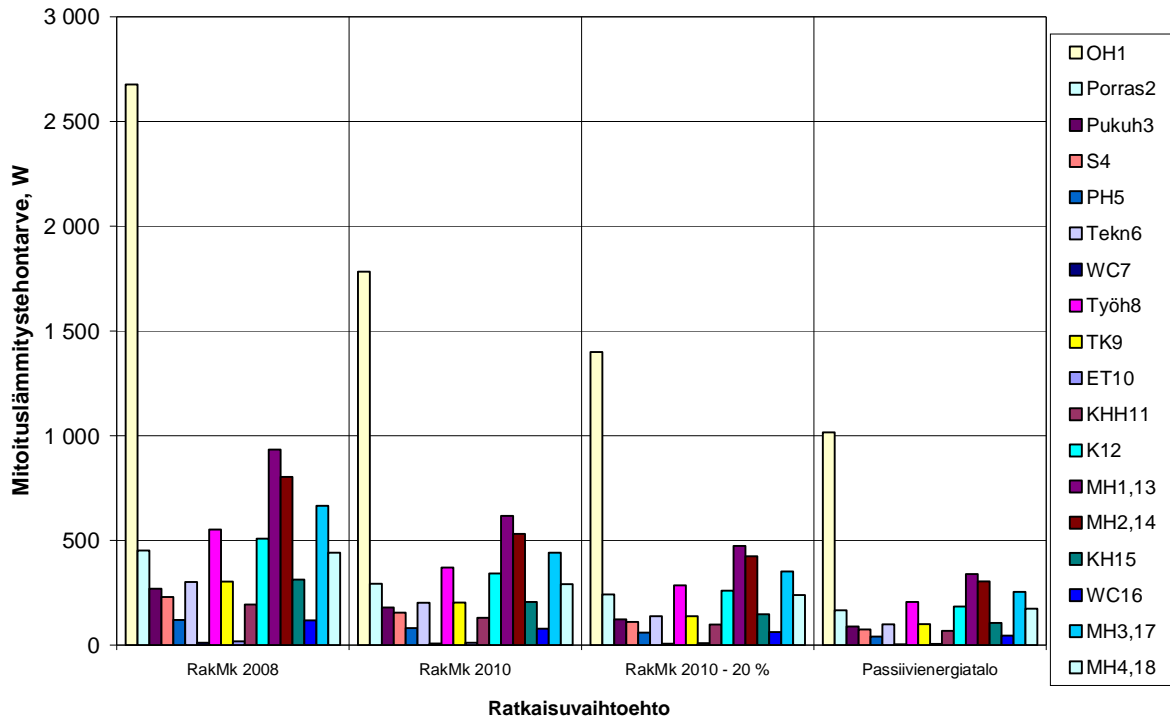
Kuva 8. Mallitalon leikkauskuva.

4.3 Mallitalon laskentatulokset

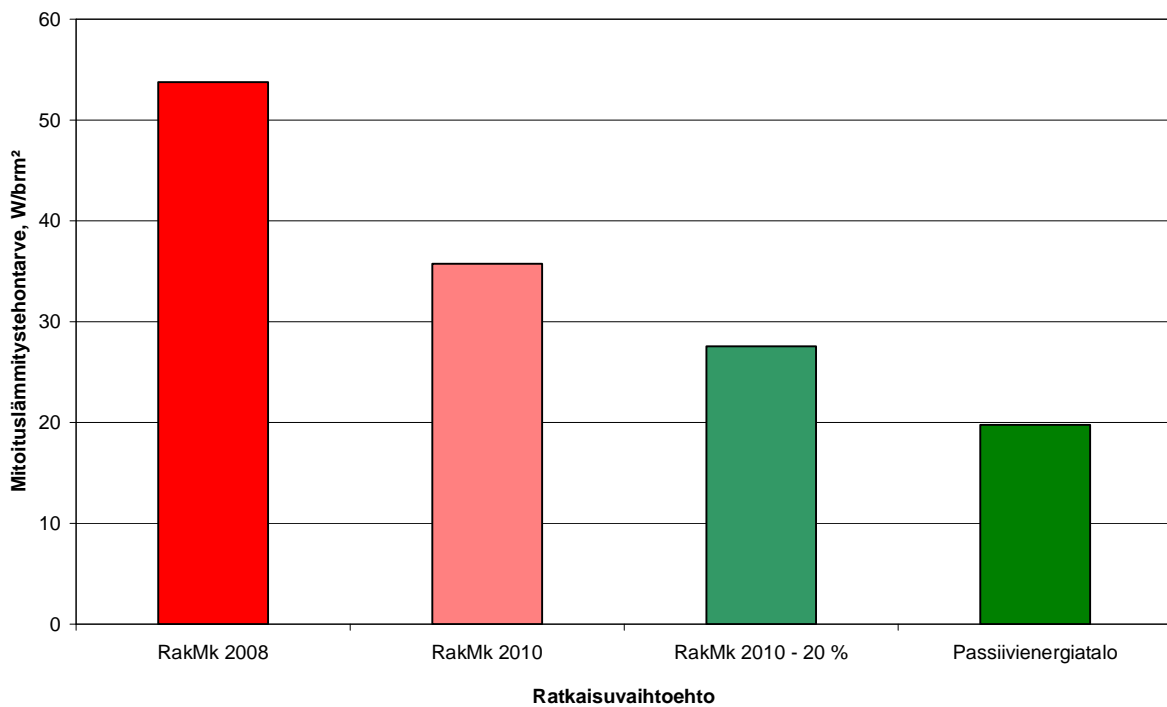
Taulukossa 3 esitetään yhteenveto eri rakenteiden ja talotekniikkaratkaisujen lähtötiedoista. Mallitalon eri ratkaisuvaihtoehtojen lämmitystehontarpeet esitetään kuvissa 9 ja 10 sekä taulukoissa 4 – 8. Energiankulutukset esitetään kuvissa 11 – 15.

Taulukko 3. Yhteenveto mallitalon laskennan lähtötiedoista.

Rakennusosat	Yksikkö	RakMk 2010	RakMk 2010 -20%	Passiivi-energiatalo
U-arvot:				
Ulkoseinä	W/m ² K	0,17	0,12	0,080
Yläpohja	W/m ² K	0,090	0,090	0,060
Alapohja, maanvastainen	W/m ² K	0,16	0,13	0,050
Ikkunat	W/m ² K	1,0	0,90	0,70
Ulko-ovet	W/m ² K	1,0	0,70	0,53
Vaipan ilmanvuotoluku, n ₅₀	1/h	2,0	1,0	0,60
Tehollinen ominaislämpökapasiteetti				
- kevyt yläpohja	Wh/(brm ² K)	150	150	150
- raskas yläpohja	Wh/(brm ² K)	200	200	200
Talotekniikka				
LTO:n vuosihyötysuhde	%	45	55	67
Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho	kW/(m ³ /s)	2,5	2,0	1,5



Kuva 9. Mallitalon eri ratkaisuvaihtoehtojen huonekohtaiset lämmitystehontarpeet, kun ulkoilman lämpötila on $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$. Olohuoneen suuresta ikkunasta aiheutuu kohtuuttoman suuri paikallinen lisälämmitystehontarve muihin huoneisiin verrattuna. Ylisuuria ikkunoita tulisi välttää.



Kuva 10. Mallitalon eri ratkaisuvaihtoehtojen keskimääräiset huonelämmityksen tehontarpeet, kun ulkoilman lämpötila on $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Taulukko 4. Mallitalon RakMk 2008 ratkaisuvaihtoehdon lämmitystehontarpeet ja tuloilman lämmitystehon riittävyys, kun ulkoilman lämpötila on -32 °C.

RakMk 2008, säävyöhyke III Jyväskylä										Tuloilman lämmitysteho	
Mitoituslämpöhäviöt										W	ero, W
Tila	Yht., W/m ²	W	ero, W	AP	YP	US	IKK	OVI	W	ero, W	
OH1	88.2	2676	549	124	161	619	1060	163	528	-2148	
Porras2	20.6	451	54	42	146	132	77	0	0	-451	
Pukuh3	43.7	269	61	25	0	20	0	163	107	-162	
S4	50.4	230	38	19	0	156	18	0	317	88	
PH5	31.6	120	20	16	0	67	18	0	0	-120	
Tekn6	68.6	302	67	18	0	53	0	163	0	-302	
WC7	4.1	12	0	12	0	0	0	0	0	-12	
Työh8	63.9	552	113	35	0	184	220	0	226	-326	
TK9	129.7	304	72	10	0	34	0	188	0	-304	
ET10	4.1	18	0	18	0	0	0	0	0	-18	
KHH11	21.8	193	32	36	0	81	45	0	93	-101	
K12	52.3	509	99	40	0	204	166	0	169	-340	
MH1,13	57.3	934	181	0	129	244	216	163	397	-537	
MH2,14	54.2	803	150	0	118	244	291	0	412	-391	
KH15	58.8	313	65	0	42	42	0	163	185	-127	
WC16	53.4	118	22	0	18	34	45	0	0	-118	
MH3,17	69.5	665	131	0	76	191	267	0	283	-382	
MH4,18	46.1	441	85	0	76	84	196	0	216	-225	
Yhteensä	53.8	8909	1739	393	766	2389	2617	1004	2933	-5975	

Taulukko 5. Mallitalon RakMk 2010 ratkaisuvaihtoehdon lämmitystehontarpeet ja tuloilman lämmitystehon riittävyys, kun ulkoilman lämpötila on -32 °C.

RakMk 2010, säävyöhyke III Jyväskylä										Tuloilman lämmitysteho	
Mitoituslämpöhäviöt										W	ero, W
Tila	Yht., W/m ²	W	ero, W	AP	YP	US	IKK	OVI	W	ero, W	
OH1	58.7	1783	292	83	97	439	757	117	528	-1255	
Porras2	13.4	293	28	28	88	94	55	0	0	-293	
Pukuh3	29.2	180	32	17	0	14	0	117	107	-73	
S4	34.1	155	20	12	0	110	13	0	317	162	
PH5	21.3	81	10	10	0	47	13	0	0	-81	
Tekn6	45.9	202	36	12	0	38	0	117	0	-202	
WC7	2.7	8	0	8	0	0	0	0	0	-8	
Työh8	42.9	371	60	24	0	130	157	0	226	-145	
TK9	86.7	203	38	6	0	24	0	134	0	-203	
ET10	2.7	12	0	12	0	0	0	0	0	-12	
KHH11	14.7	130	17	24	0	57	32	0	93	-37	
K12	35.2	342	53	26	0	144	119	0	169	-173	
MH1,13	37.9	617	96	0	78	173	154	117	397	-221	
MH2,14	35.9	531	80	0	71	173	208	0	412	-119	
KH15	38.8	206	35	0	25	30	0	117	185	-21	
WC16	35.3	78	12	0	11	24	32	0	0	-78	
MH3,17	46.1	441	70	0	46	135	191	0	283	-158	
MH4,18	30.4	291	45	0	46	60	140	0	216	-74	
Yhteensä	35.8	5925	924	262	460	1692	1869	717	2933	-2991	

Taulukko 6. Mallitalon RakMk 2010 -20 % ratkaisuvaihtoehdon lämmitystehontarpeet ja tuloilman lämmitystehon riittävyys, kun ulkoilman lämpötila on -32 °C.

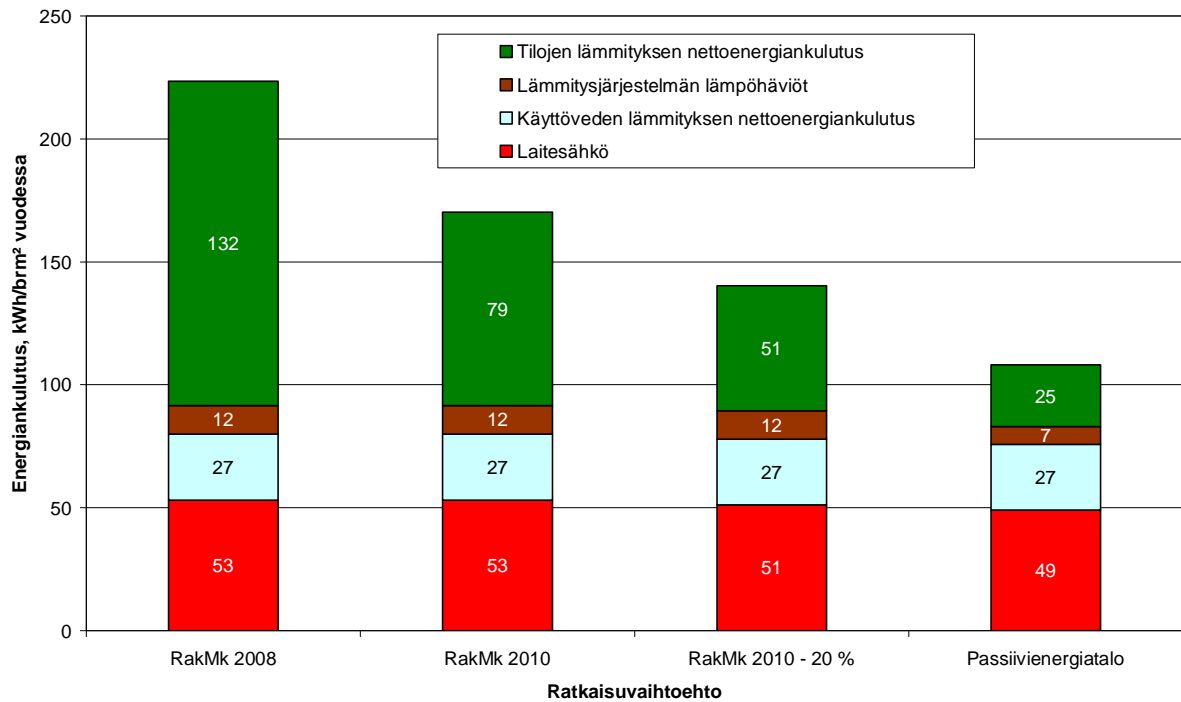
RakMk 2010 - 20 %, säävyöhyke III Jyväskylä										
Mitoituslämpöhäviöt									Tuloilman lämmitysteho	
Tila	Yht., W/m ²	W	ero, W	AP	YP	US	IKK	OVI	W	ero, W
OH1	46.1	1399	163	67	97	310	681	82	528	-871
Porras2	11.1	242	16	23	88	66	50	0	0	-242
Pukuh3	20.0	123	18	14	0	10	0	82	107	-16
S4	24.2	110	11	10	0	78	11	0	317	207
PH5	15.6	59	6	8	0	34	11	0	0	-59
Tekn6	31.3	138	20	10	0	27	0	82	0	-138
WC7	2.2	6	0	6	0	0	0	0	0	-6
Työh8	33.1	286	34	19	0	92	141	0	226	-60
TK9	58.8	138	21	5	0	17	0	94	0	-138
ET10	2.2	10	0	10	0	0	0	0	0	-10
KHH11	11.1	98	9	20	0	40	29	0	93	-5
K12	26.7	260	29	21	0	102	107	0	169	-91
MH1,13	29.1	474	54	0	78	122	139	82	397	-77
MH2,14	28.7	424	45	0	71	122	187	0	412	-12
KH15	27.7	147	19	0	25	21	0	82	185	38
WC16	28.3	63	7	0	11	17	29	0	0	-63
MH3,17	36.8	352	39	0	46	95	172	0	283	-69
MH4,18	25.0	239	25	0	46	42	126	0	216	-23
Yhteensä	27.6	4568	516	213	460	1195	1682	502	2933	-1635

Taulukko 7. Mallitalon passiivenergiatalo ratkaisuvaihtoehdon lämmitystehontarpeet ja tuloilman lämmitystehon riittävyys, kun ulkoilman lämpötila on -32 °C.

Passiivenergiatalo, säävyöhyke III Jyväskylä										
Mitoituslämpöhäviöt									Tuloilman lämmitysteho	
Tila	Yht., W/m ²	Yht., W	Vuoto	AP	YP	US	IKK	OVI	W	ero, W
OH1	33.4	1015	112	41	64	206	530	62	528	-487
Porras2	7.6	166	11	14	59	44	39	0	0	-166
Pukuh3	14.5	89	12	8	0	7	0	62	107	18
S4	16.4	75	8	6	0	52	9	0	317	243
PH5	10.6	40	4	5	0	22	9	0	0	-40
Tekn6	22.5	99	14	6	0	18	0	62	0	-99
WC7	1.4	4	0	4	0	0	0	0	0	-4
Työh8	23.8	206	23	12	0	61	110	0	226	20
TK9	42.9	100	15	3	0	11	0	71	0	-100
ET10	1.4	6	0	6	0	0	0	0	0	-6
KHH11	7.6	68	6	12	0	27	22	0	93	25
K12	19.0	184	20	13	0	68	83	0	169	-15
MH1,13	20.9	340	37	0	52	81	108	62	397	57
MH2,14	20.6	304	31	0	47	81	145	0	412	108
KH15	19.9	106	13	0	17	14	0	62	185	79
WC16	20.4	45	5	0	7	11	22	0	0	-45
MH3,17	26.6	254	27	0	30	64	134	0	283	29
MH4,18	18.2	174	17	0	30	28	98	0	216	43
Yhteensä	19.8	3276	353	131	307	796	1309	380	2933	-343

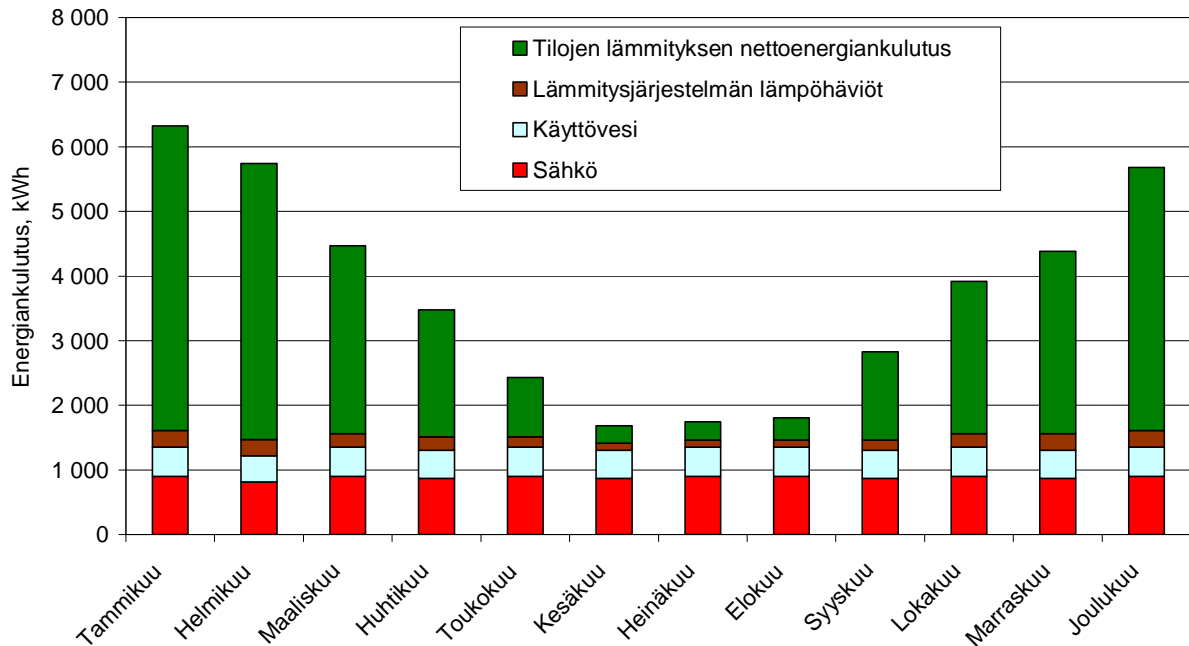
Taulukko 8. Yhteenveto mallitalon eri ratkaisuvaihtoehtojen lämmitystehontarpeista ja tuloilman lämmitystehon riittävydestä, kun ulkoilman lämpötila on -32 °C.

Eri ratkaisujen vertailu, säävyöhyke III Jyväskylä										Tuloilman lämmitysteho	
Mitoituslämpöhäviöt										W	ero, W
Tila	Yht., W/m ²	Yht., W	Vuoto	AP	YP	US	IKK	OVI			
RakMk 2008	53.8	8909	1739	393	766	2389	2617	1004	2933	-5975	
RakMk 2010	35.8	5925	924	262	460	1692	1869	717	2933	-2991	
RakMk 2010 - 20 %	27.6	4568	516	213	460	1195	1682	502	2933	-1635	
Passiivenergiatalo	19.8	3276	353	131	307	796	1309	380	2933	-343	

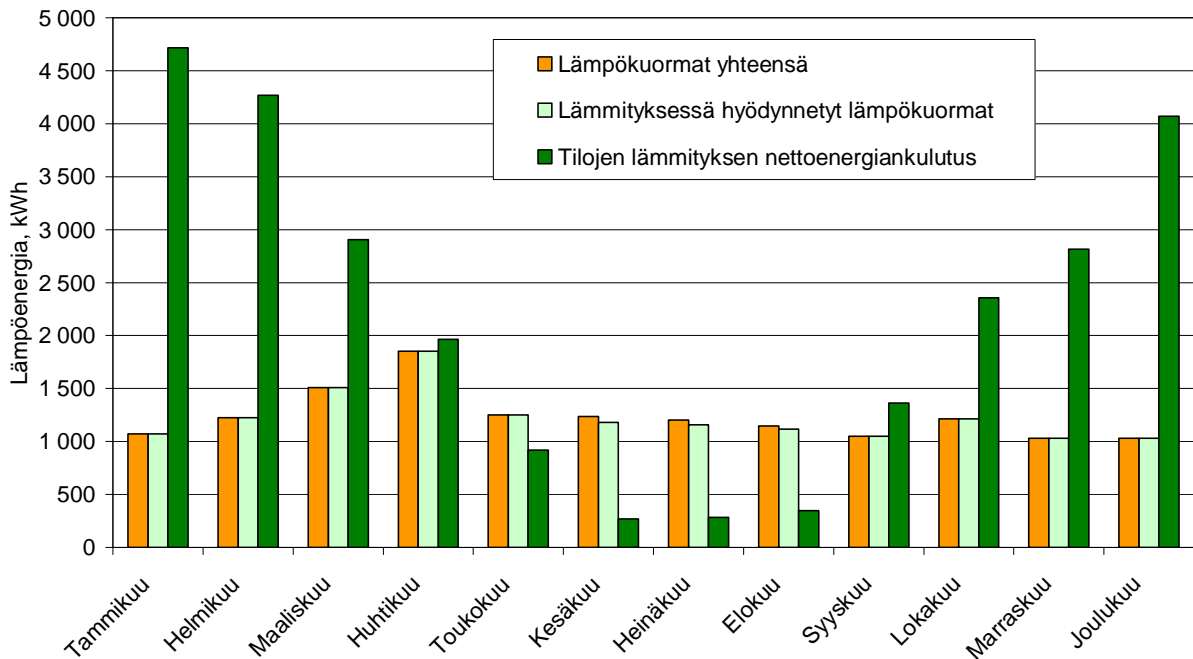


Kuva 11. Yhteenveto mallitalon eri ratkaisuvaihtoehtojen vuotuisista ominaisenergiankulutuksista.

RakMk 2008 mukaisen talon energiankulutus

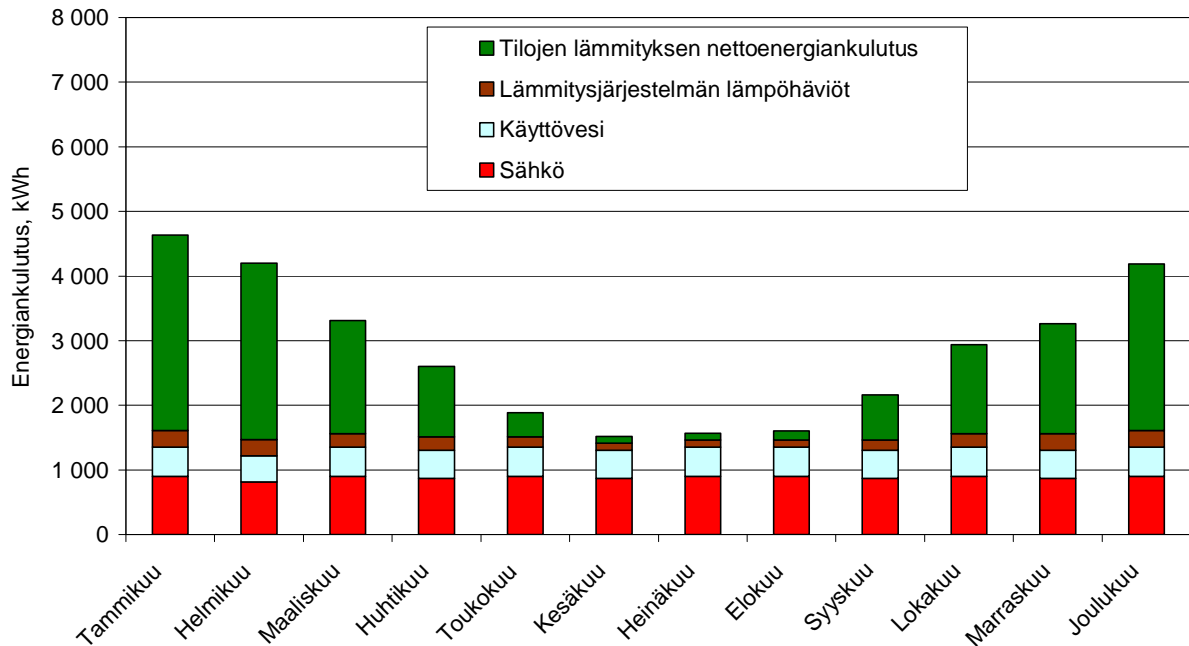


RakMk 2008 mukaisen talon lämpökuormat ja tilojen lämmitystarve

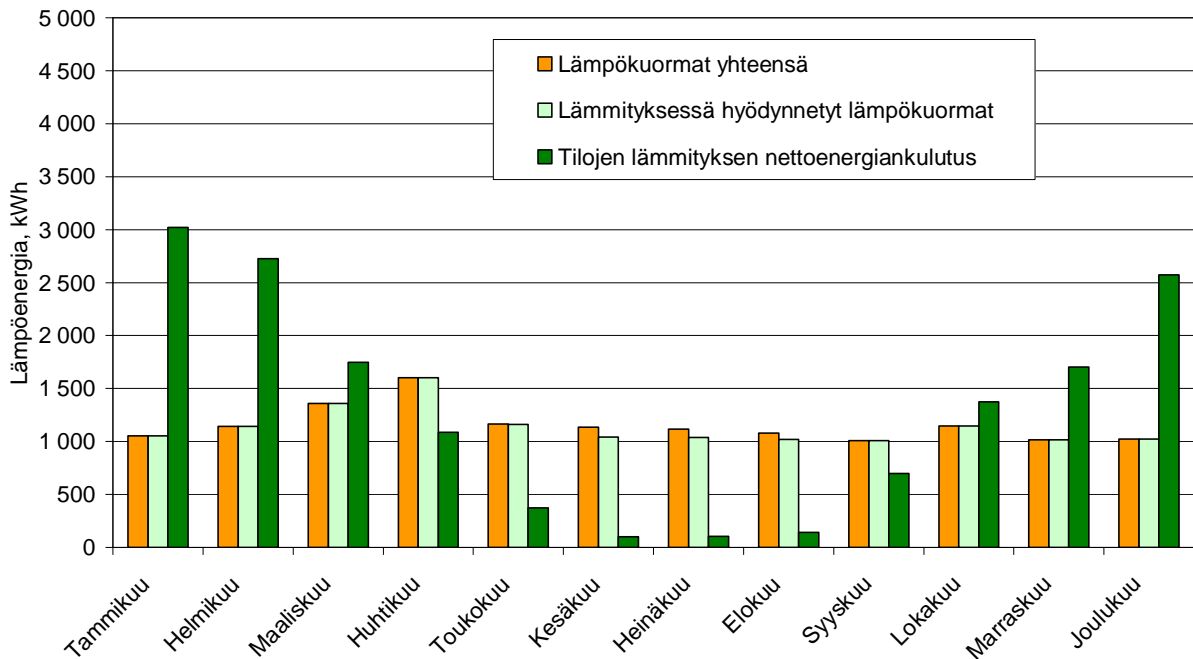


Kuva 12. Mallitalon RakMk 2008 ratkaisuvaihtoehdon energiankulutus ja lämpökuormien hyödyntäminen kuukausittain. Alemmasta kuvasta näkee, kuinka lämpökuormia voidaan hyödyntää lämmityksessä ja miten auringonsuojauksella voidaan pienentää lämpökuormia. Auringonsäteilyn aiheuttamaa lämpökuormaa on torjuttu tehokkaasti varjostuksella toukokuusta syyskuuhun.

RakMk 2010 mukaisen talon energiankulutus

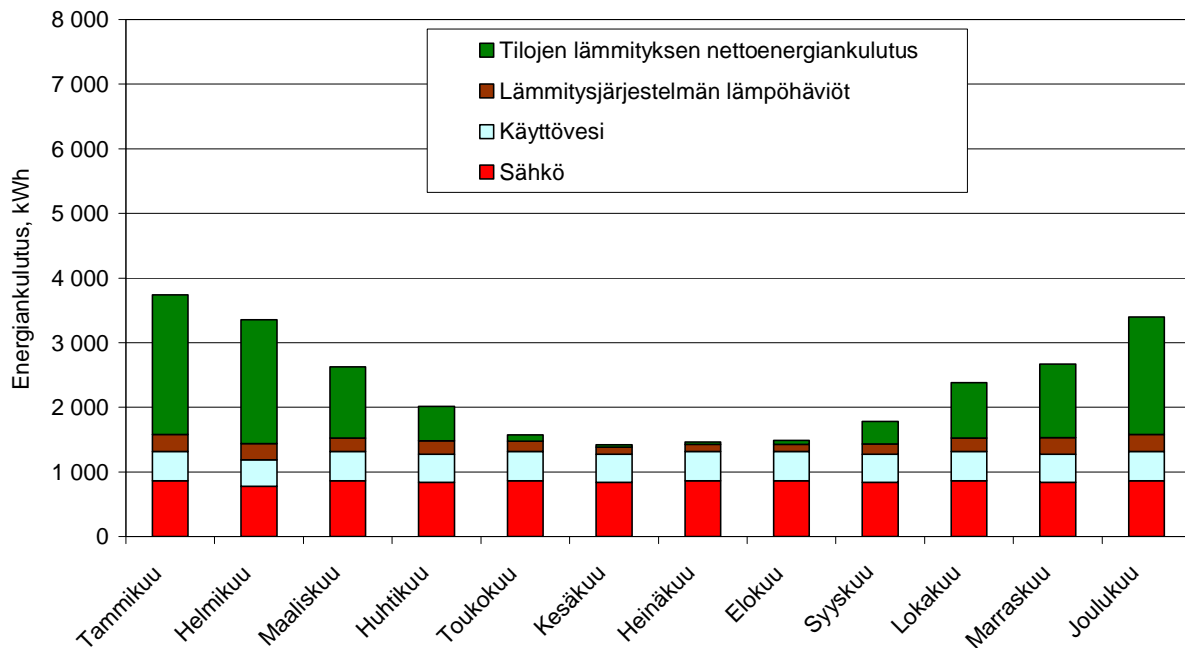


RakMk 2010 mukaisen talon lämpökuormat ja tilojen lämmitystarve

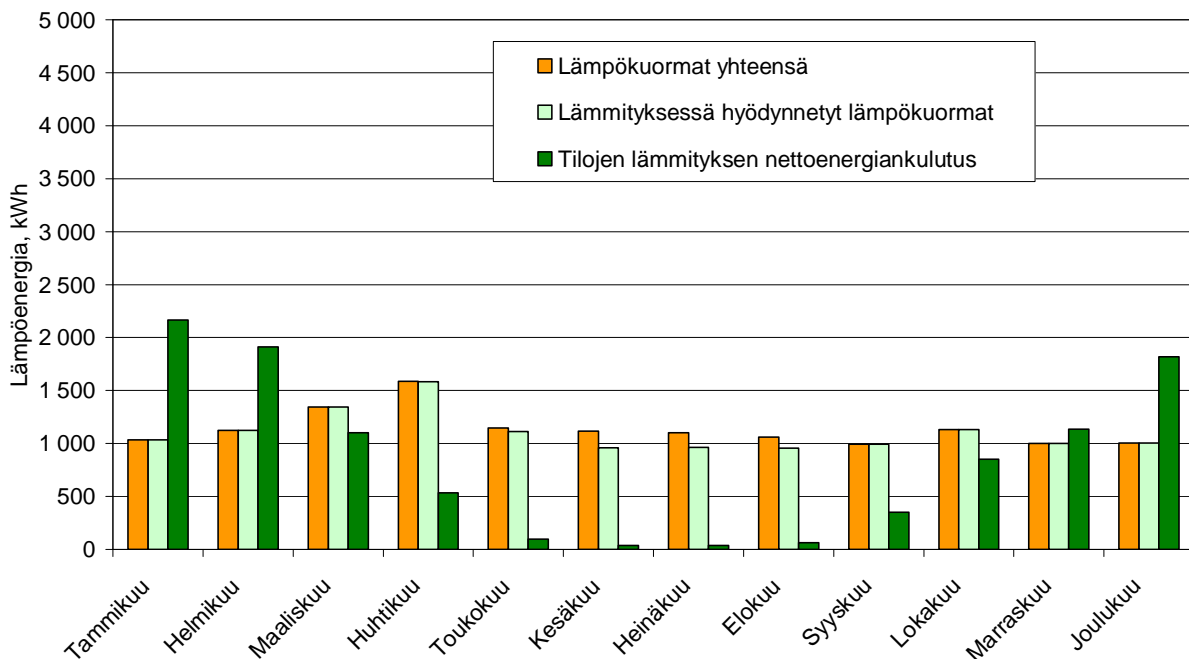


Kuva 13. Mallitalon RakMk 2010 ratkaisuvaihtoehdon energiankulutus ja lämpökuormien hyödyntäminen kuukausittain. Alemmasta kuvasta näkee, kuinka lämpökuormia voidaan hyödyntää lämmityksessä ja miten auringonsuojauksella voidaan pienentää lämpökuormia. Auringonsäteilyn aiheuttamaa lämpökuormaa on torjuttu tehokkaasti varjostuksella toukokuusta syyskuuhun.

RakMk 2010 - 20 % mukaisen talon energiankulutus

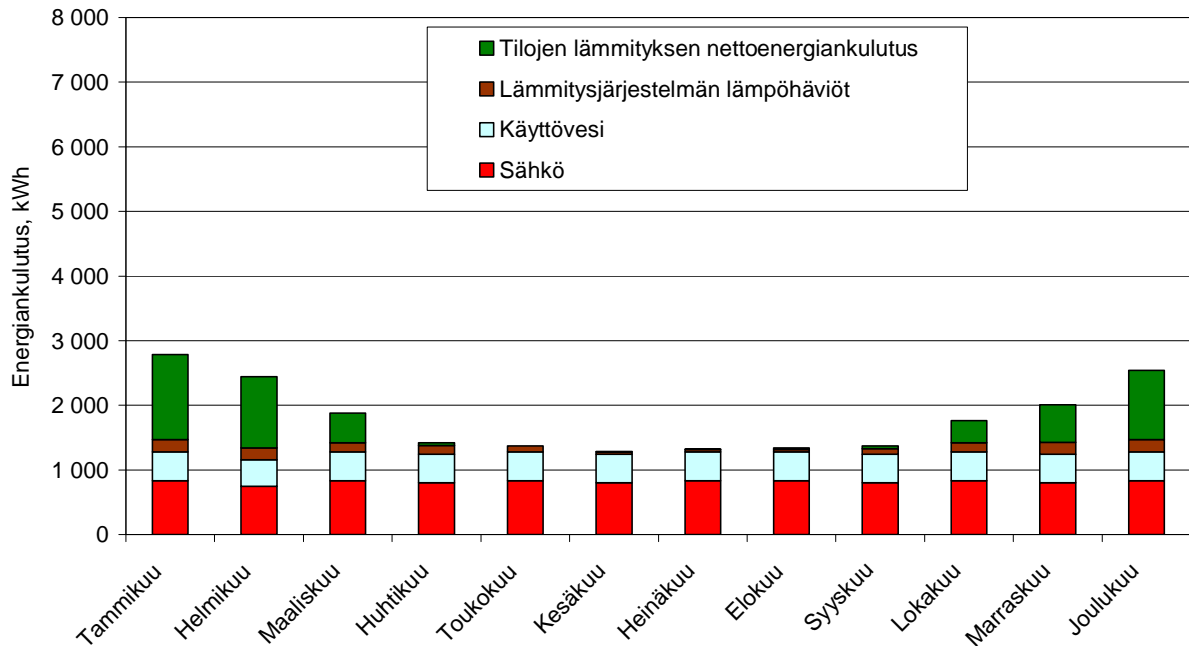


RakMk 2010 - 20 % mukaisen talon lämpökuormat ja tilojen lämmitystarve

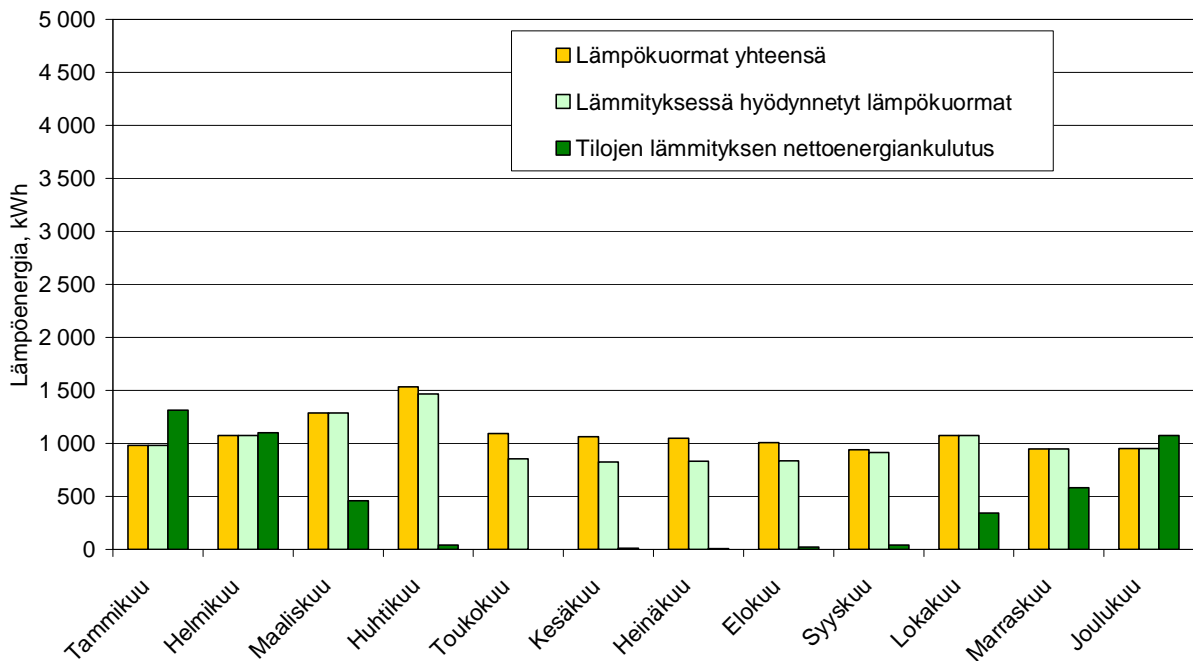


Kuva 14. Mallitalon RakMk 2010 -20 % ratkaisuvaihtoehdon energiankulutus ja lämpökuormien hyödyntäminen kuukausittain. Alemmasta kuvasta näkee, kuinka lämpökuormia voidaan hyödyntää lämmityksessä ja miten auringonsuojauksella voidaan pienentää lämpökuormia. Auringonsäteilyn aiheuttamaa lämpökuormaa on torjuttu tehokkaasti varjostuksella toukokuusta syyskuuhun.

Passiivienergiatalon energiankulutus



Passiivienergiatalon lämpökuormat ja tilojen lämmitystarve



Kuva 15. Mallitalon passiivienergiatalo ratkaisuvaihtoehdon energiankulutus ja lämpökuormien hyödyntäminen kuukausittain. Alemmasta kuvasta näkee, kuinka lämpökuormia voidaan hyödyntää lämmityksessä ja miten auringonsuojauksella voidaan pienentää lämpökuormia. Auringonsäteilyn aiheuttamaa lämpökuormaa on torjuttu tehokkaasti varjostuksella toukokuusta syyskuuhun.

5 Passiivienergiatalon huonelämpötilan hallinnan peruspilarit

5.1 Yleistä

Passiivienergiatalon tilojen lämmitysenergiankulutus on alle puolet matalaenergiatalon kulutuksesta. Parhaimmillaan passiivienergiatalon lämmityskausi kutistuu kolmeen kuukauteen.

Passiivienergiatalossa minimoidaan lämmitys- ja viilennystehot ilmanvaihdon lämmön- ja kylmäntalteenotolla sekä rakenteellisin keinoin, kuten tavanomaista paremmalla vaipan lämmöneristyksellä, rakennusmassan hyödyntämisellä ja ilmanpitävyydellä, energiatehokkailla ikkunoilla ja niiden aurinkosuojauksella sekä sisäisten lämpökuormien torjunnalla ja hyödyntämisellä.

5.2 Reitityssuunnittelun vaikutus huonelämpötilan hallintaan

Passiivienergiatalon suunnittelussa tulee edetä siten, että rakennus järjestelmineen suunnitellaan kokonaisuutena. Talotekniset ratkaisut pitää olla tiedossa jo ennen arkkitehtisuunnittelua, jotta arkkitehti voi suunnitella talotekniikan tarvitsemat tilat. **Arkkitehti suunnittelee passiivienergiatalon siten, että talotekniikan reitit tulevat mahdollisimman lyhyiksi.** Näin minimoidaan talotekniikkajärjestelmien lämpöhäviöt ja niiden aiheuttamat jäähdytystarvetta aiheuttavat lämpökuormat. Samalla syntyy kustannussäästöjä.

Rakennus- ja talotekniikan yhteensovitus ja niiden yhteispelin hallinta passiivienergiatalon toteutuksessa johtaa yksinkertaiseen, toimivaan ja edulliseen lopputulokseen.

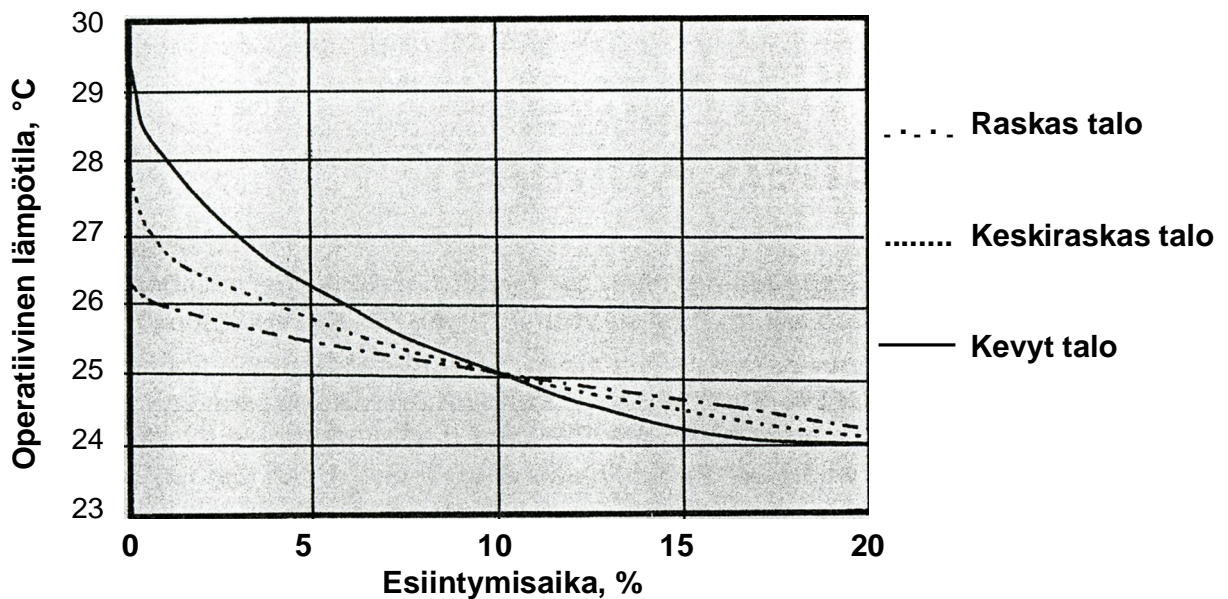
Talotekniikan laadun varmistamiseksi ja kustannustehokkuuden parantamiseksi tarvittava talotekniikkaa pyritään sijoittamaan rakennukseen hallitusti. Talotekniikka pyritään kokoamaan mahdollisimman valmiiksi yksiköiksi jo tehtaalla. Työmaalla kompakteihin talotekniikan yksikköihin liitetään vain vesi- ja viemäriputket, ilmakanaavat ja sähkö- ja automaatiojohdotukset. Tekniikkatiloissa laitteiden huolto- ja korjaustoimenpiteet sekä uusiminen voidaan tehdä helposti ja kustannustehokkaasti nyt ja tulevaisuudessa.

Märkätilat, keittiö ja erillinen WC sijoitetaan mahdollisimman lähemmäs toisiaan tai päällekkäin, jotta saadaan aikaan mahdollisimman lyhyet ja yksinkertaiset reititykset vesijohdoille, viemäreille, ilmakanaville ja sähköjohdoille. Ulkovaipan lävistykset minimoidaan. Vesijohtojen ja viemärien reitit keskitetään mielellään yhteen paikkaan rakennuksessa. Ilmanvaihtolämmityskone sijoitetaan siten, että tehokkaasti eristetyistä ja tilaa vievistä ulko- ja jäteilmakanavista tulee mahdollisimman lyhyet. **Yleensä ilmanvaihtolämmityskone sijoitetaan ulkoseinää vasten ja ulko- ja jäteilma kanavoidaan suoraan seinän läpi ulos. Tulo- ja poistoilmakanavat sijoitetaan kulkemaan lämpimissä tiloissa, ei koskaan kylmällä ullakolla.**

5.3 Massan hyödyntäminen huonelämpötilan hallinnassa

Rakennusmassaa voidaan hyödyntää passiivienergiatalossa ilmaisten lämpökuormien tehokkaaseen vuorokausivarastointiin ja lämmön luovutukseen, lämmitysenergian aktiiviseen varastointiin ja sisälämpötilojen hallintaan.

Kesällä hyvä lämmöneristys ja ikkunoiden auringonsuojaus estävät hellettä tunkeutumasta sisälle rakenteiden läpi. Rakennusmassan lämmönvarausominaisuuksia hyödyntävän talotekniikan avulla harkkorakenteisessa passiivienergiatalossa sisälämpötila pysyy miellyttävänä kesähelteilläkin ilman jäähdytyskoneita. **Hellepäivinä sisälämpötila jää jopa 3 °C alemmaksi kuin kevytrakenteisessa talossa** (kuva 16). Kesällä huoneita voidaan jäähdyttää yöllä viileällä ulkoilmalla käyttämällä tehostettua ilmanvaihtoa ja ohittamalla lämmöntalteenotto-laite. Ilmanvaihto siirtää talon yllilämmön poistoilman mukana ulos ja tuo yöllä viileän raikasta ulkoilmaa sisälle jäähdyttäen rakenteita. Koska rakenteet ovat aamulla viileitä, eivät sisälämpötilat nouse päivän aikana häiritsevän korkeiksi. Lisäksi lämmöntalteenotto-laitteella voidaan viilentää tuloilmaa, jos hellepäivänä ulkoilman lämpötila on sisälämpötilaa korkeampi.



Kuva 16. Kuvan mukaan raskaassa talossa korkeimmat sisälämpötilat ovat noin 3 °C alemmat kuin kevyessä. (Deutscher et al 2000). Hyvä lämmöneristys ja massiiviset sisärakenteet pitävät hellepäivänä huonelämpötilan hallinnassa. Tehollinen lämpökapasiteetti on raskaassa talossa 19330 kJ/K, keskiraskaassa 8660 kJ/K ja kevyessä 4160 kJ/K.

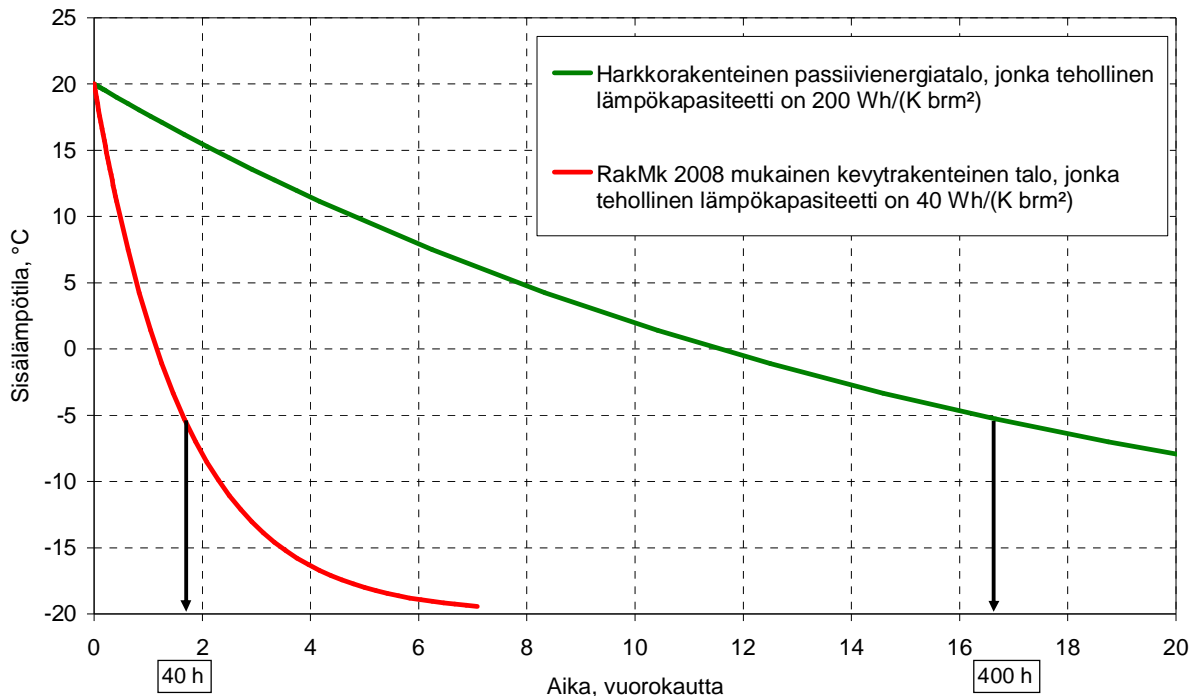
Massiivisuus (suuri aikavakio) pienentää ostettavan lämmitysenergian tarvetta. Massiivisuuden hyödyntäminen on tehokkainta, jos massa on jakautunut laajoille pinoille rakennuksen sisällä (lattian sisäpuoli, ulkoseinien sisäpinnat, väliseinät, välipohja, yläpohjan sisäpuoli).

Harkkorakenteinen passiivenergiatalo lämpenee 80 %:sti lämpökuormilla. Rakenteiden lämmönvarauskyvyllä on oleellinen merkitys lämpökuormien hyödyntämistehokkuuteen.

Lämpökuormien hyödyntäminen edellyttää rakenteiden ja talotekniikan yhteistoiminnan nykyistä parempaa hallintaa. Passiivenergiatalossa eräänä talotekniikan haasteena on rakenteiden massan hyödyntäminen lämpövarastona. Harkko- ja betonirakenteiden lämmönvarauskyvyn merkitys on passiivenergiatalossa suurempi kuin tavanomaisessa talossa, koska suurin osa lämmöntarpeesta katetaan lämpökuormilla eikä lämmityspattereilla.

Ylimääräiset lämpökuormat varautuvat rakenteisiin. Jos lämpöä tarvitaan, rakenteisiin varautuneen lämmön annetaan vapautua huoneilmaan. Jos on viilennystarvetta, ylimääräinen rakenteisiin varautunut lämpö siirretään ulos esimerkiksi yöaikaisella tuuletuksella. Rakenteiden lämmönvarauskyvyn optimaalinen hyödyntäminen edellyttää rakenteiden lämpötilan hallintaa talotekniikan keinoin, sekä mahdollistaa siirtymisen pienitehoisiin, nykyistä yksinkertaisempiin ja kustannustehokkaampiin lämmitys- ja viilennysjärjestelmiin kuten ilmanvaihtolämmitykseen.

Passiivenergiatalon massa varastoitunut lämpö hidastaa tehokkaasti talon viilenemistä talvella mahdollisen lämpökatkon aikana (kuva 17).



Kuva 17. Hyvä lämmöneristys ja massiiviset sisärakenteet hidastavat talon viilenemistä lämpökatkon aikana. Ulkoilman lämpötila on $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

5.4 Rakenteiden pienten lämpöhäviöiden vaikutus huonelämpötilan hallintaan

Talon hyvällä ulkovaipan lämmöneristyksellä ja ilmanpitävyydellä minimoidaan huonelämpötilan hallintaan tarvittavat lämmitys- ja viilennystehot. Hyvin eristettyjen rakenteiden pintalämpötilat pysyvät miellyttävinä eikä vetoa esiinny. Hyvällä ilmanpitävyydellä minimoidaan ilmavuotojen aiheuttamat vetohaitat.

Passiivienergiatalo tarvitsee lämmitystä vasta, kun ulkoilman lämpötila on jatkuvasti alle -5 ... -10 °C.

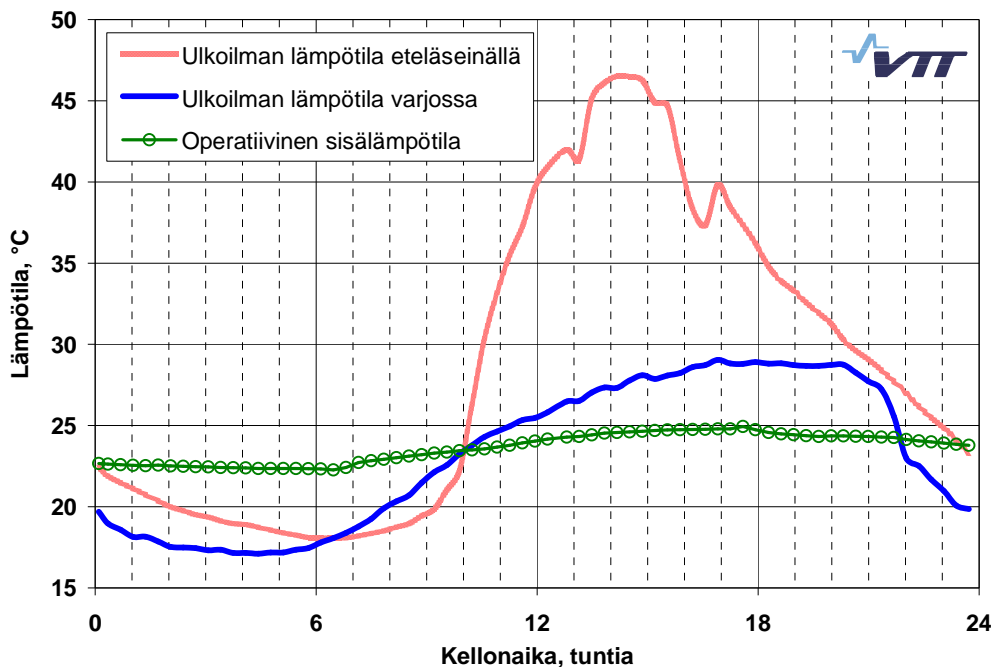
Huono rakenteiden ilmanpitävyys heikentää viihtyisyyttä, lisää lämmitysenergiankulutusta, vaikeuttaa ilmanvaihdon ja rakennuksen paine-erojen hallintaa ja lisää ilmankosteuden kulkeutumisriskiä rakenteisiin. Hyvä ilmanpitävyys estää tuulen puhaltamasta rakenteiden läpi. Mitä hatarampi rakennus on, sen vaikeampi vuotoilmavirtoja ja paine-eroja on hallita. Kun ilmanpitävyys on hyvä, ei maasto-olosuhteilla ole enää ratkaisevaa merkitystä rakennuksen energiankulutuksen kannalta. Toisaalta avoimella paikalla olevien hatarien talojen ilmanvaihdon energiankulutusta ei voida oleellisesti pienentää ilmanvaihdon lämmöntalteenotolla.

5.5 Lämpökuormien vaikutus huonelämpötilan hallintaan

5.5.1 Auringon säteily

Kesällä hyvä lämmöneristys ja ikkunoiden auringonsuojaus estävät lämpöä tunkeutumasta ulkoa sisälle rakenteiden läpi. Auringon paisteessa seinien ja katon ulkopinnalla ilman lämpötila voi olla tyypillisesti 40 – 100 °C (kuva 18). Tällöin ulko- ja sisäilman lämpötilaero on jopa suurempi kuin mitoituspakkasilla.

Myös kesällä tarvitaan hyvää lämmöneristystä, jotta viilennystarve voidaan hallita.



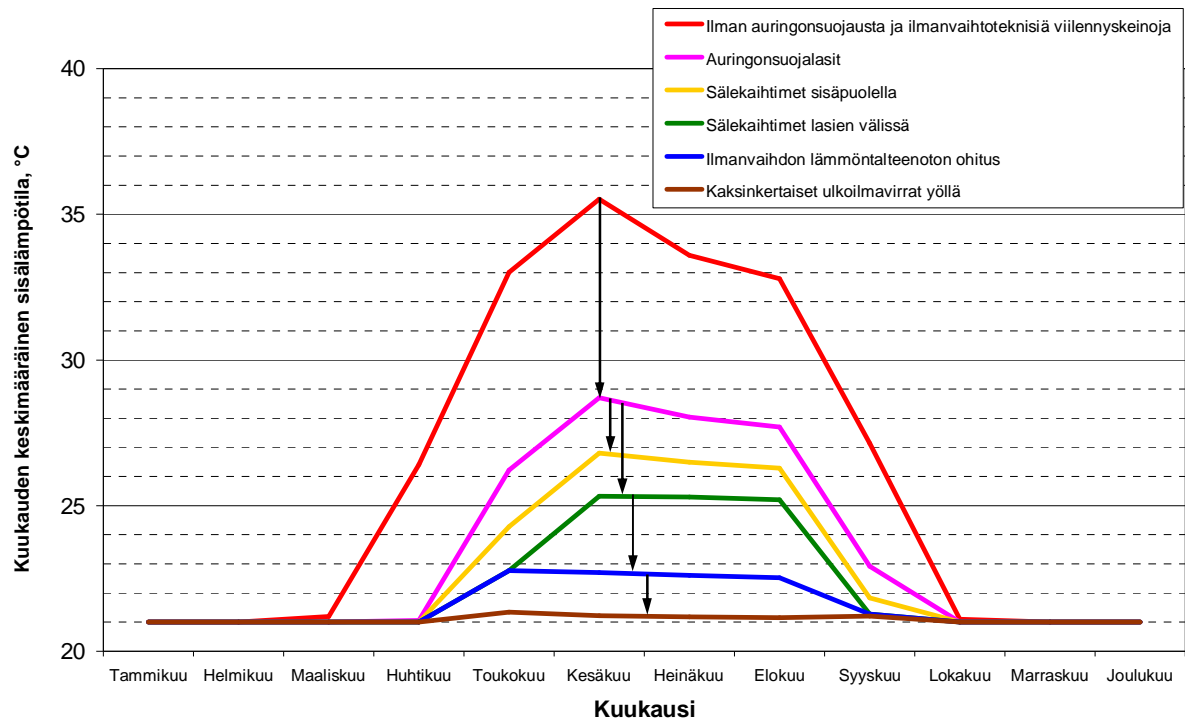
Kuva 18. Säteilysuojatulla anturilla mitattu ulkoilman lämpötilä etelään suunnatun vaalean betonisen ulkoseinän pinnalla hellepäivänä. Sisä- ja ulkoilman lämpötilaero on yli 20 °C.

Ikkunoiden kesäaikainen auringonsuojaus pienentää lämpökuormia merkittävästi. Suunnitteluvaiheessa voidaan vaikuttaa parhaiten rakenteelliseen auringonsuojaukseen. Näitä ovat reilunkokoiset räystäät, katokset, ikkunaa varjostavat parvekkeet ja kohtuullisen kokoiset ikkunat. Lisäksi tarvitaan yleensä myös varsinaisia aurinkosuoja, kuten ulkopuolisia sälerakenteita, lippoja ja markiiseja sekä ikkunoihin auringonsuojalasit ja sälekaihtimet.

Ikkunoiden puutteellinen aurinkosuojaus johtaa epämiellyttävän korkeisiin sisälämpötiloihin (kuva 19). Lämpökuormat tulevat ikkunasta sisälle suorana säteilylämpönä (jopa 300 – 400 W/ikkuna-m²) ja ikkunan lämmenneestä (30 – 40 °C) sisäpinnasta (noin 50 – 150 W/ikkuna-m²). Suora säteilylämpö lämmittää kohdalle sattuvia sisäpintoja ja rakenteet lämpenevät. Ikkunan sisäpinnasta lämpö siirtyy huoneeseen. Ikkunan kuuma sisäpinta aiheuttaa epäviihtyisyyttä ikkunan läheisyydessä.

Ikkunoiden tehokas auringonsuojaus on välttämätöntä.

Esimerkki: Mallitalon olohuoneen ikkunoiden pinta-ala on yhteensä 14,3 m². Jos ei käytetä minkäänlaista auringonsuojausta, olohuoneeseen tuleva lämpökuorma voi olla jopa 5 – 7 kW. Vastaava teho saadaan asentamalla olohuoneeseen saunan kiuas.



Kuva 19. Passiivienergiatalon auringonsuojauksen ja ilmanvaihtoteknisten viilennyskeinojen vaikutukset sisälämpötilaan.

5.5.2 Mukavuuslattialämmitys

Kivipintaisten lattioiden pinta tuntuu yleensä viileältä paljaassa jalkapohjassa ilman lattialämmitystä. Tämän vuoksi kivilattioihin asennetaan nykyisin lähes aina mukavuuslattialämmitys. Kivilattian pintalämpötilan tulisi olla useita asteita normaalia huonelämpötilaa korkeampi (esimerkiksi 27 °C), jotta pinta tuntuisi lämpimältä, vaikka tilojen lämmitystarvetta ei olisikaan. Jo yhden asteen lämpötilaero aiheuttaa noin 10 W/m² suuruisen lämpökuorman.

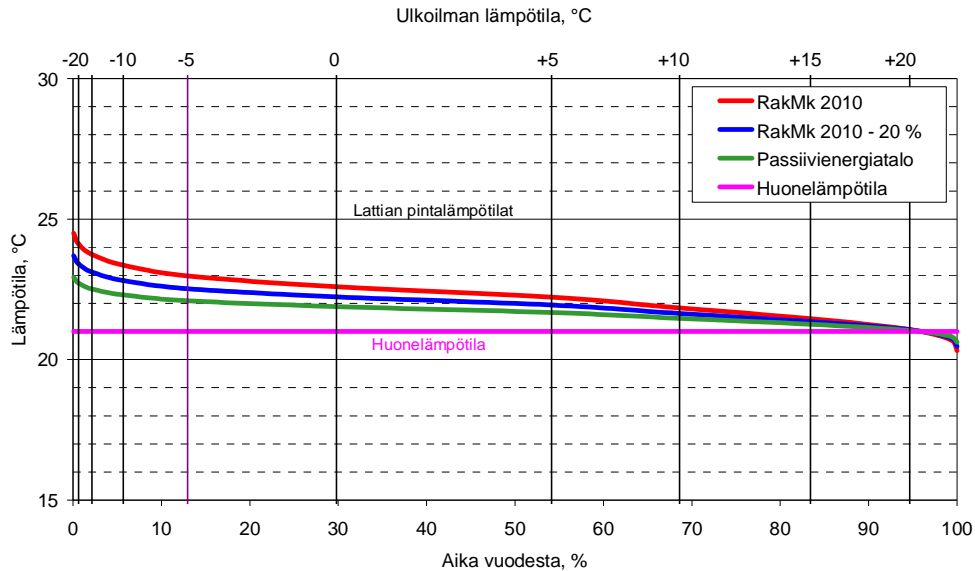
Viilennystarpeen pienentämiseksi passiivienergiatalossa lämmitettyjä kivipintaisia lattiapintoja tulisi välttää muualla kuin märkätiloissa.

Hyvin eristetyn lattian lämpimyden tunne voidaan saada aikaan ilman mukavuuslattialämmitystä pintamateriaalin oikealla valinnalla.

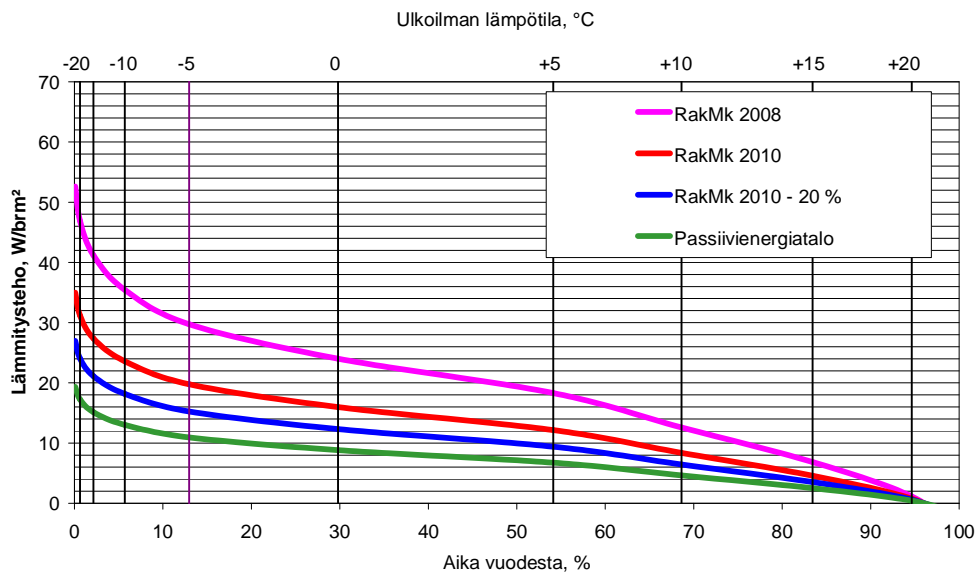
Jalkapohjassa lämpimiltä tuntuvia lattian pintamateriaaleja ovat esimerkiksi korkki, puu, pehmeä muovi ja linoleumi.

Esimerkki: Mallitalossa on märkätiloja yhteensä 25 m². Tyypillinen lattialämmitysteho märkätiloissa on 60 – 100 W/m². Lattialämmityksen

kokonaisteho on 1 500 – 2 500 W eli koko talon pinta-alalle laskettuna 6 – 10 W/m² lämpökuorma. Jos passiivenergiatalossa käytetään märkätiloissa mukavuuslattialämmitystä, pitäisi neliötehon olla pienempi kuin 30 W/m² (kuvat 20 ja 21).



Kuva 20. Mallitalon märkätilojen mukavuuslattialämmityksen toimintalämpötilat muuttuvat. Passiivenergiatalon mukavuuslattialämmityksessä lattian pintalämpötila on lämmöntarpeen perusteella talvella alle 1 °C huoneilmaa lämpimämpi, kovillakin pakkasilla vain 1,5 °C. Jos lattian pintalämpötilaa nostetaan, nousee myös huonelämpötila. Tästä seuraa viilennystarvetta.



Kuva 21. Mallitalon lämmitystehontarve eri energiatehokkuustasoilla ilman lämpökuormia. Passiivenergiatalo tarvitsee alle 10 W/brm² lämmitystehoa 90 % ajasta ja huipputehokin on alle 20 W/brm².

5.6 Mallitalon lämmitys- ja viilennystehontarpeet

Rakentamismääräysten RakMk 2008 (kuva 22) mukaan rakennetussa talossa on lämmitystarvetta 70 %:n ja viilennystarvetta 30 %:n ajan vuodesta. Märkätilojen mukavuuslattialämmitys aiheuttaa vain kesäaikana tarpeetonta energiankulutusta ja lisää viilennystarvetta. Koska talon lämmitystarve on talvella suuri, voidaan huonelämmittimiä (esimerkiksi lämmityspatteri, lattialämmitys) käyttämällä säätää lämmitystehontarvetta ja hallita huonelämpötilaa. Kun ulkolämpötila nousee noin +10 asteeseen, huoneiden lämmitystarpeet loppuvat ja samalla huonelämmittimiltä loppuu säätökyky. Koska alaspäin säädettävää lämmitystehoa ei enää ole, huonelämpötila pyrkii nousemaan. Tällöin on syntynyt viilennystarvetta ja viilennystehoa pitäisi saada aikaan ilmanvaihdon tuloilman lämpötilaa alentamalla. Tämä ei nykyisillä pientalojen vakioilämpötilaista tuloilmaa puhaltavilla ilmanvaihtokoneilla ole mahdollista. Huoneiden yllämpenemistä voidaan kesäaikana hoitaa tuulettamalla yöaikaan yllämpö ulos.

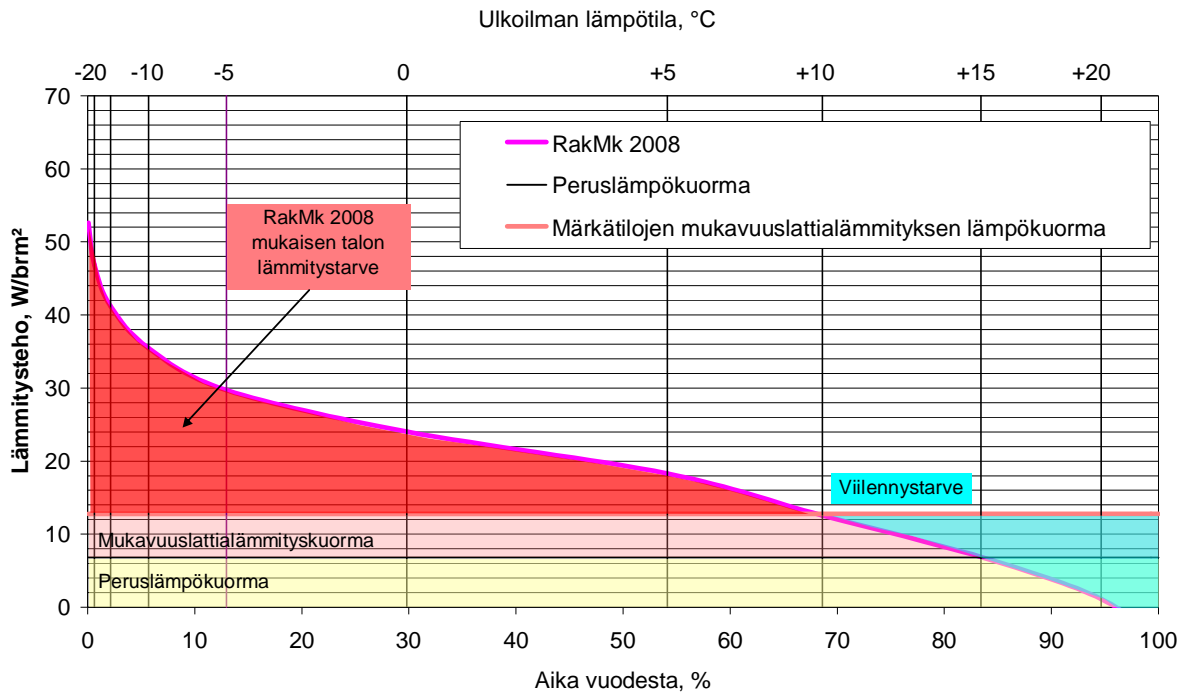
Rakentamismääräysten RakMk 2010 (kuva 23) ja **RakMk 2010-20 %** (kuva 24) kiristyessä talon lämmöntarve edelleen pienenee. Lämmitystarvetta on yhä vähemmän aikaa vuodesta ja viilennystarvetta on jo yli puoli vuotta. Märkätilojen mukavuuslattialämmitys aiheuttaa tarpeetonta energiankulutusta ja viilennystarvetta yli puolen vuoden ajan. Erilliset huonelämmittimet (esimerkiksi lämmityspatteri, lattialämmitys) ja koneellinen ilmanvaihtojärjestelmä menettävät huonelämpötilan säätökykynsä jo alle 0 °C:n ja +5 °C:n ulkolämpötiloilla. Tällöin syntyy viilennystarvetta ja viilennystehoa pitäisi saada aikaan tuloilman lämpötilaa alentamalla. Tämä ei nykyisillä pientalojen vakioilämpötilaista tuloilmaa puhaltavilla ilmanvaihtokoneilla ole mahdollista. Huoneiden yllämpeneminen joudutaan hoitamaan tuulettamalla yllämpö energiatehottomasti ulos tai pitämään huonelämpötilat miellyttävinä erillisen ylimääräistä energiaa käyttävän jäähdytysjärjestelmän avulla. Tällöin energiaa tuhlataan samanaikaisesti sekä lämmitykseen että jäähdytykseen.

Passiivenergiatalossa (kuva 25) lämmitystarvetta on vain 5 %:n ajan vuodesta ja viilennystarvetta lähes jatkuvasti eli 95 %:n ajan vuodesta. Märkätilojen mukavuuslattialämmitys aiheuttaa tarpeetonta energiankulutusta lähes koko vuoden ajan ja lisää viilennystarpeen lähes ympärivuotiseksi.

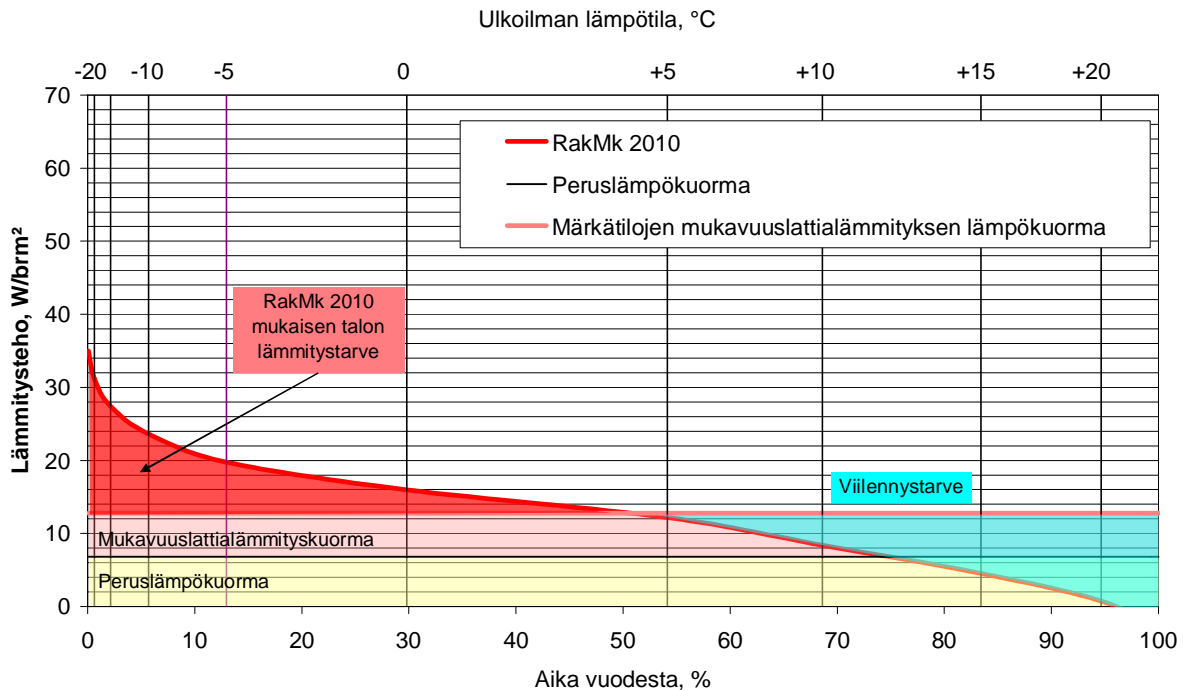
Passiivenergiatalossa tarvitaan huonelämpötilan hallintaan ilmanvaihdon tuloilman lämpötilan säätöä huoneiden lämmitys- ja viilennystarpeiden mukaan. Koska asumisen ja auringon aiheuttamat lämpökuormat muuttuvat jatkuvasti, lämmityksen ja viilennyksen tarve voi vaihdella pitkin päivää.

Ilmanvaihtolämmitys hyödyntää tehokkaasti lämpökuormat lämmityksessä ja viileän ulkoilman sisältämän ilmaisen energian huoneiden viilennyksessä.

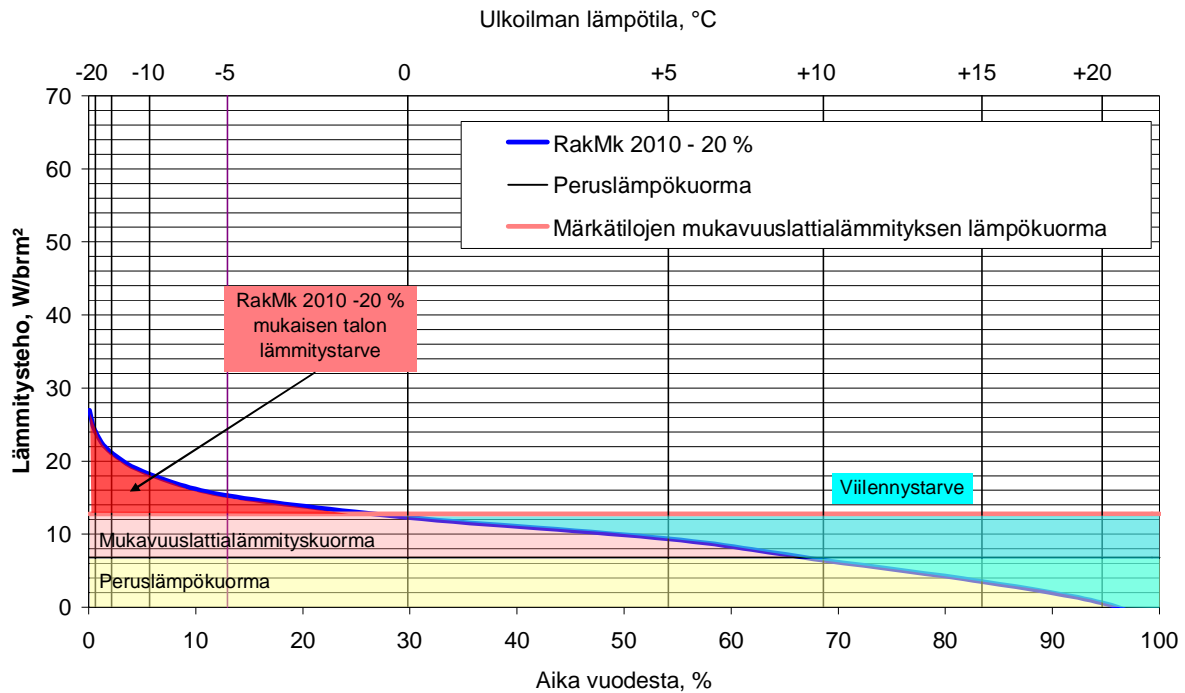
Passiivenergiatalon perusratkaisuun kuuluva ilmanvaihtolämmitys säätää tuloilman lämpötilaa (+10 - +50 °C) energiatehokkaasti huoneiden lämmitys- ja viilennystarpeiden mukaan pitäen huonelämpötilan miellyttävänä ympäri vuoden.



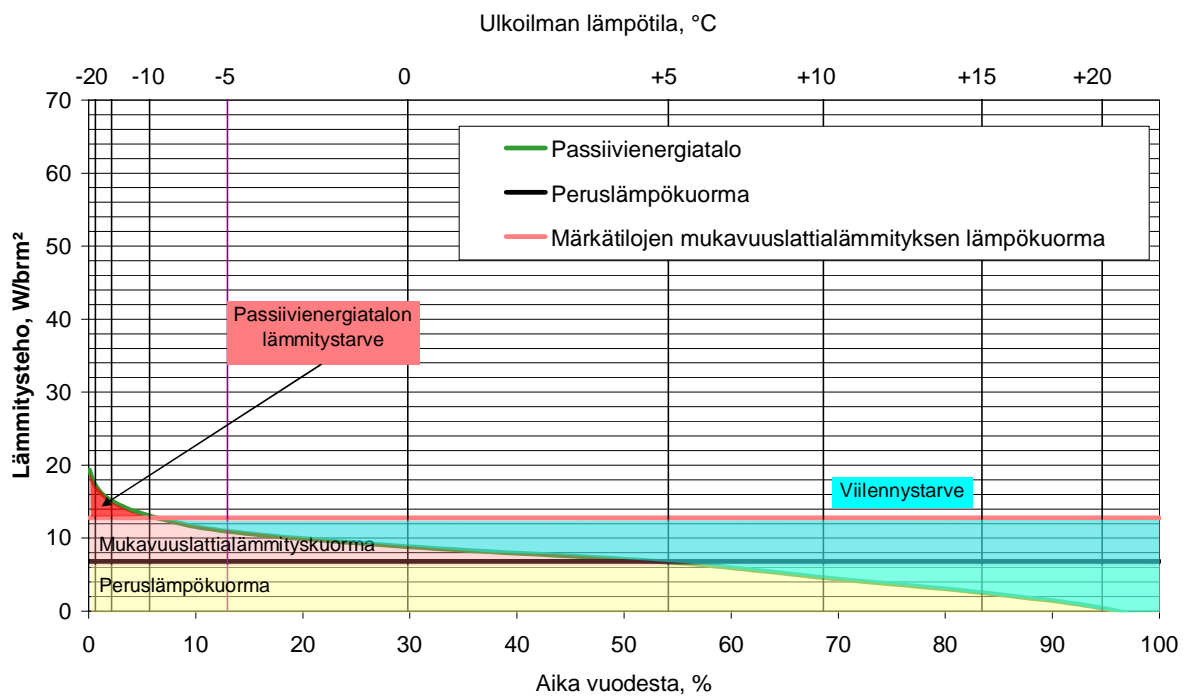
Kuva 22. Rakentamismääräysten RakMk 2008 mukaan rakennetussa talossa on lämmitystarvetta 70 %:n ja viilennystarvetta 30 %:n ajan vuodesta. Märkätilojen mukavuuslattialämmitys aiheuttaa kesäaikana tarpeetonta energiankulutusta ja lisää viilennystarvetta.



Kuva 23. Rakentamismääräysten RakMk 2010 kiristyneessä talon lämmöntarve edelleen pienenee verrattuna RakMk 2008 taloon. Lämmitystarvetta on yhä vähemmän aikaa vuodesta ja viilennystarvetta on jo noin puoli vuotta. Märkätilojen mukavuuslattialämmitys aiheuttaa tarpeetonta energiankulutusta ja viilennystarvetta puolen vuoden ajan.



Kuva 24. Rakentamismääräysten RakMk kiristyyessä 20 % vuoden 2010 määräystasosta talon lämmöntarve pienenee edelleen verrattuna RakMk 2010 taloon. Lämmitystarvetta on enää neljännes vuodesta ja viilennystarvetta on suurimman osan aikaa. Märkätilojen mukavuuslattialämmitys aiheuttaa tarpeetonta energiankulutusta ja viilennystarvetta pakkaskauden ulkopuolella.



Kuva 25. Passiivenergiatalossa lämmitystarvetta on vain 5 %:n ajan vuodesta ja viilennystarvetta lähes jatkuvasti eli 95 %:n ajan vuodesta. Märkätilojen mukavuuslattialämmitys aiheuttaa tarpeetonta energiankulutusta lähes koko vuoden ajan ja lisää viilennystarpeen lähes ympärivuotiseksi.

6 Ilmanvaihtolämmitys

6.1 Ilmanvaihtolämmityksen periaate

Passiivenergiatalon ilmanvaihtolämmitys toteutetaan hallitulla koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmällä, jossa on tehokas poistoilman lämmöntalteenotto ja tuloilman lämmitys. Lämmöntalteenotossa talosta ulospuhallettavan ilman lämmöllä lämmitetään ulkoa sisäänotettavaa kylmää ulkoilmaa ilmaiseksi. Ilmanvaihtolämmityksessä olohuoneeseen, makuuhuoneisiin ja muihin asuintiloihin puhalletaan huoneen lämmitys- tai viilennystarpeen mukaisessa lämpötilassa olevaa ja suodatettua ulkoilmaa vedottomasti ja meluttomasti. Vastaavasti ilmaa poistetaan keittiöstä, pesutiloista, WC:stä ja vaatehuoneesta.

Energiatehokkaan teknologian avulla lämmitys- ja viilennystarpeet saadaan niin pieniksi, että passiivenergiatalo voidaan taloudellisesti lämmittää ja viilentää ilmanvaihtolämmityksellä.

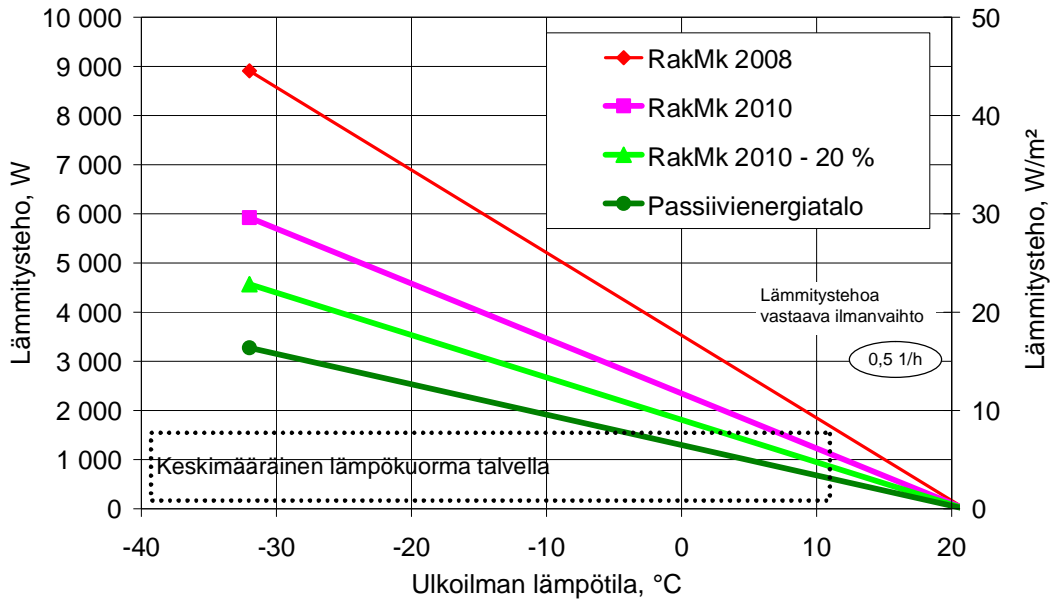
Passiivenergiatalo lämmitetään yksinkertaisimmin ja taloudellisimmin ilmanvaihtolämmityksellä, koska ilmanvaihdon tuloilmaa lämmittämällä pystytään siirtämään huoneisiin tarvittavat lämmitystehot. Perinteisestä ilmalämmityksestä ilmanvaihtolämmitys eroaa siinä, että ilmavirrat voidaan mitoittaa rakentamismääräysten RakMk osan D2-mukaisen ilmanvaihdon tarpeen mukaan eikä lämmitystarve vaadi kierrätysilman käyttöä (kuva 26). Keväällä, kesällä ja syksyllä ulkoilman ilmaisen viileyden hyödyntäminen viilennykseen edellyttää suurempia ulkoilmavirtoja ja ilmanakanavat on mitoittettava ilmanvaihtuvuudelle 1,5 - 2,0 dm³/s/m². Tällöin on suunnittelussa varmistettava, että kanavapaineet ja äänitasot eivät nouse liian suuriksi.

Ilmanvaihtolämmitys soveltuu hyvin myös sekalämmitysjärjestelmäksi, jossa huonetiloja voidaan lämmittää eri tavoin. Märkätiloissa käytetään lisäksi pienitehoista mukavuuslattialämmitystä erityisesti kivipintaisten lattioiden yhteydessä.

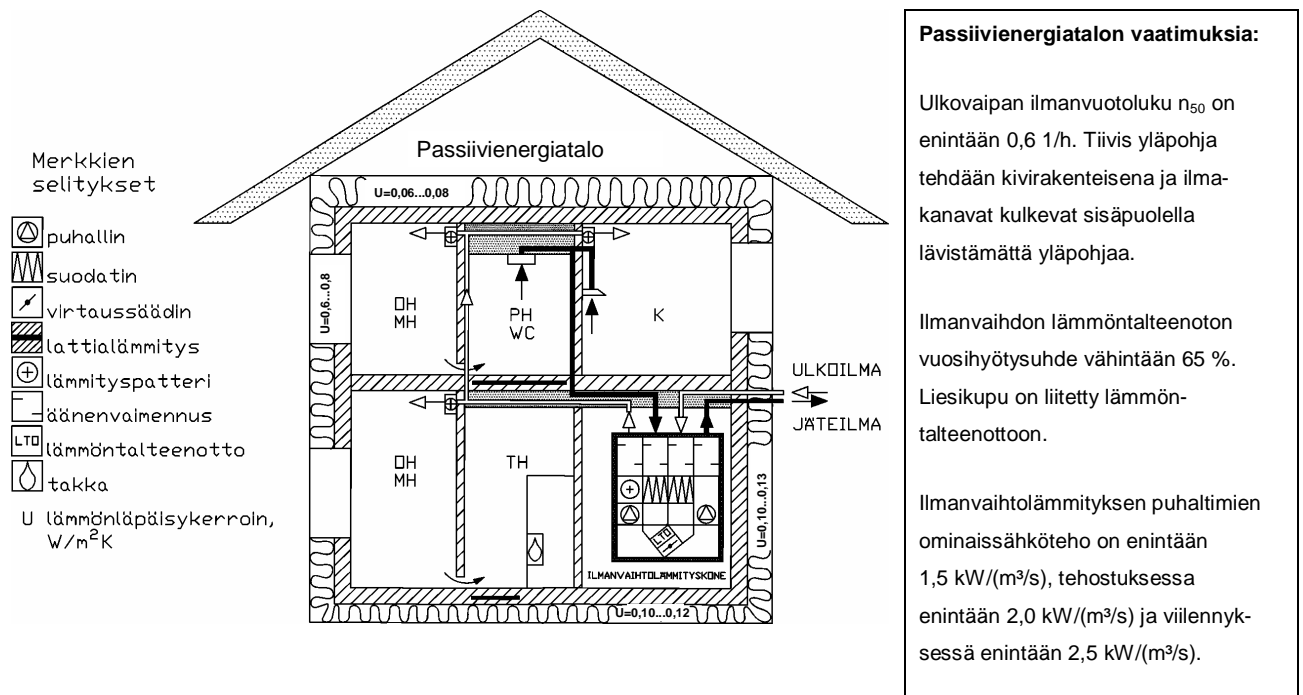
Ilmanvaihtolämmityskoneessa ulkoilma esilämpää pääasiassa poistoilman lämmöllä lämmöntalteenottolaitteessa (kuva 27). Vain pakkaskaudella tarvitaan jälkilämmityspatteria, jolla voidaan keskitetysti lämmittää koko talo. Keskitetty jälkilämmityspatteri voi olla jaettu kahteen tai useampaan säätövyöhykkeeseen. Voidaan myös käyttää hajautettua huonekohtaista ilmanvaihtolämmitystä. Tällöin huonekohtainen lämmitin tuloilman päätelaitteessa huolehtii huonetilan lämmityksestä. Näitä ilmanvaihtolämmitystapoja voidaan myös käyttää yhdessä.

Ilmanvaihtolämmityksen käyttö on yksinkertaista. Säätimeen asetetaan haluttu huonelämpötila ja ilmanvaihtolämmitys pitää huonelämpötilan tasaisena asetuservossaan.

Ilmanvaihtolämmitys voidaan toteuttaa lämmitysvedellä tai sähköllä, jolloin myös sähköisen lämmitysvastuksen pintalämpötilan pitää olla niin alhainen (alle 80 °C), ettei se polta pölyä. Viilennystilanteessa lämmöntalteenottolaitteen hyötysuhdetta on huononnettava, jotta riittävää ulkoilman viileyttä saadaan tuloilmaan ja viilentämään huoneita.



Kuva 26. Mallitalolle tehdyn laskelman mukaan ilmanvaihtolämmitys riittää kattamaan passiivienergiatalon lämmöntarpeen.



Kuva 27. Passiivienergiatalon ja ilmanvaihtolämmityksen periaate. Huonekohtaisia päätelämmittimiä on käytetty ilmanvaihtolämmityskoneen keskitetyn lämmityspatterin lisäksi. Valitsemalla lattioihin kiveä lämpimältä tuntuvia pintamateriaaleja voidaan luopua mukavuuslattialämmityksestä. Pienellä teholla lämpöä luovuttava tulisija sopii passiivienergiataloon. Palamisilma johdetaan tulisijaan ilmanvaihdosta riippumattomasti.

6.2 Ilman jakaminen huoneeseen

Ilmanvaihtolämmityksessä äänenvaimennettu tuloilma johdetaan yläjakoisena lyhyitä ilmakanavia pitkin jokaisen huoneen sisä- tai sivuseinälle tai kattoon sijoitettuun hiljaiseen päätelaitteeseen. Tuloilman päätelaitteen tulee olla tehokkaasti huoneilmaa tuloilmaan sekoittava. Ilman sekoittuminen edellyttää päätelaitteen riittävää paine-eroa (vähintään 30 – 50 Pa). **Tyypillisiä ilmanvaihtolämmitykseen sopivia huoneilmaa sekoittavia päätelaitteita ovat tuloilmalaitteet, joissa puhallus tapahtuu pienistä rei'istä tai suuttimista. Tavanomaiset tuloilmasäleiköt ja lautasventtiilit eivät sovellu ilmanvaihtolämmityksen tuloilmalaitteiksi.** Kun tuloilman päätelaite sekoittaa tehokkaasti huoneilmaa puhallussuihkuun, saadaan aikaan tasainen huonelämpötila lämmitys- että viilennystilanteessa. Puhallussuihkun lämpötila on jo metrin etäisyydellä lähellä huonelämpötilaa, vaikka tuloilman lämpötila vaihtelee +10 - +50 °C. Sekoittavilla päätelaitteilla ei tapahdu huoneilman lämpötilan haitallista kerrostumista. Sekoittavan päätelaitteen puhallussuihkun pituus (heittopituus) on lyhyt eikä oleskelualueella esiinny vetoa (kuva 28).



Kuva 28. Esimerkkejä huonekohtaiseen ilmanvaihtolämmitykseen soveltuvista tuloilman päätelaitteista. Lähde:RC-Linja Oy.

6.3 Ilmanvaihtolämmityksen ilmavirrat

Ilmanvaihtolämmityksen lämmitysilmavirrat voidaan mitoittaa rakentamismääräysten D2-mukaisen ilmanvaihdon tarpeen mukaan (6 dm³/s/henk. tai 0,5 – 0,7 dm³/s/m²) ottaen huomioon huoneen lämmitystehontarve. Ilmanvaihtolämmitys ei vaadi kierrätysilman käyttöä. Ulkoilman hyödyntäminen viilennykseen edellyttää suurempia ulkoilmavirtoja (1,5 - 2,0 dm³/s/m²). Ilmakanavat on mitoittettava viilennyksen ilmavirroille.

Keskitettyssä ilmanvaihtolämmityksessä huonekohtaisten tuloilmavirtojen riittävyys lämmitystehon jakamiseen keskitetysti säädetyllä tuloilman lämpötilalla

pitää laskennallisesti tarkistaa. Tuloilman lämpötilaa säädetään talon lämmitystehontarpeen eli keskimääräisen huonelämpötilan mukaan. Mikäli tuloilmavirta ei riitä lämmitystehon jakamiseen, pienennetään lämmitystehontarvetta ensisijaisesti rakenteellisin keinoin. Mikäli lämmitystehontarpeen pienentäminen ei riitä, niin tasataan huonekohtaiset tuloilmavirrat lämmitystehontarpeiden suhteessa lisäämättä oleellisesti kokonaisilmavirtaa.

Hajautetussa huonekohtaisessa ilmanvaihtolämmityksessä huonekohtainen päätelämmitin mitoitetaan niin, että tarvittava lämmitysteho saadaan aikaan suunnitellulla tuloilmavirralla. Tuloilman lämpötila säätyy päätelämmittimessä kunkin huoneen lämmitystehontarpeen eli huonelämpötilan mukaan, eikä näin ollen tuloilmavirtaa tarvitse muuttaa.

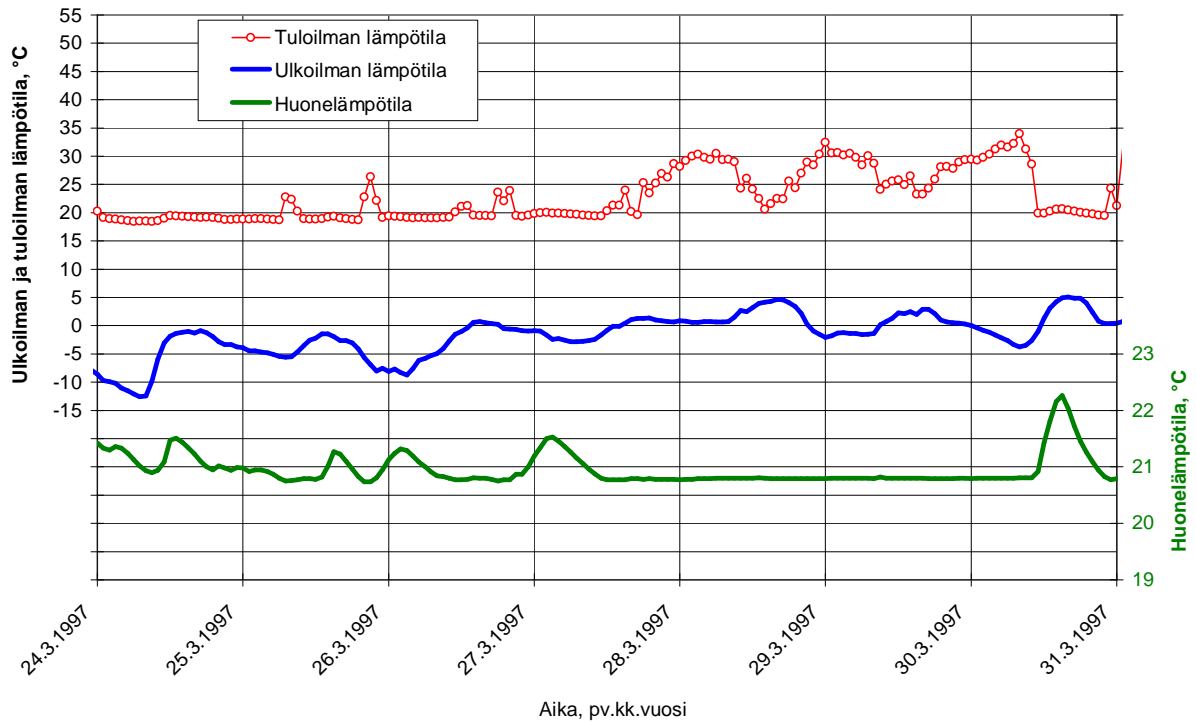
Lämmitystarpeen loppuessa ja siirryttäessä viilennystilanteeseen tarvittava ilmavirta voi kasvaa kaksin- tai kolminkertaiseksi, jotta tarvittava viilennysteho saadaan aikaan. Viilennysilman lämpötila riippuu ulkoilman lämpötilasta. Talvella lämmöntalteenotto on yleensä käytössä viilennyksen aikana. Viilennykseen sopivaa alilämpöistä ilmaa on saatavissa riittävästi.

Kesällä yöaikaan, kun lämmöntalteenotto ohitetaan, ilman lämpötila tuloilmakanavassa voi olla + 10 °C tai lyhyen aikaa jopa alemmikin.

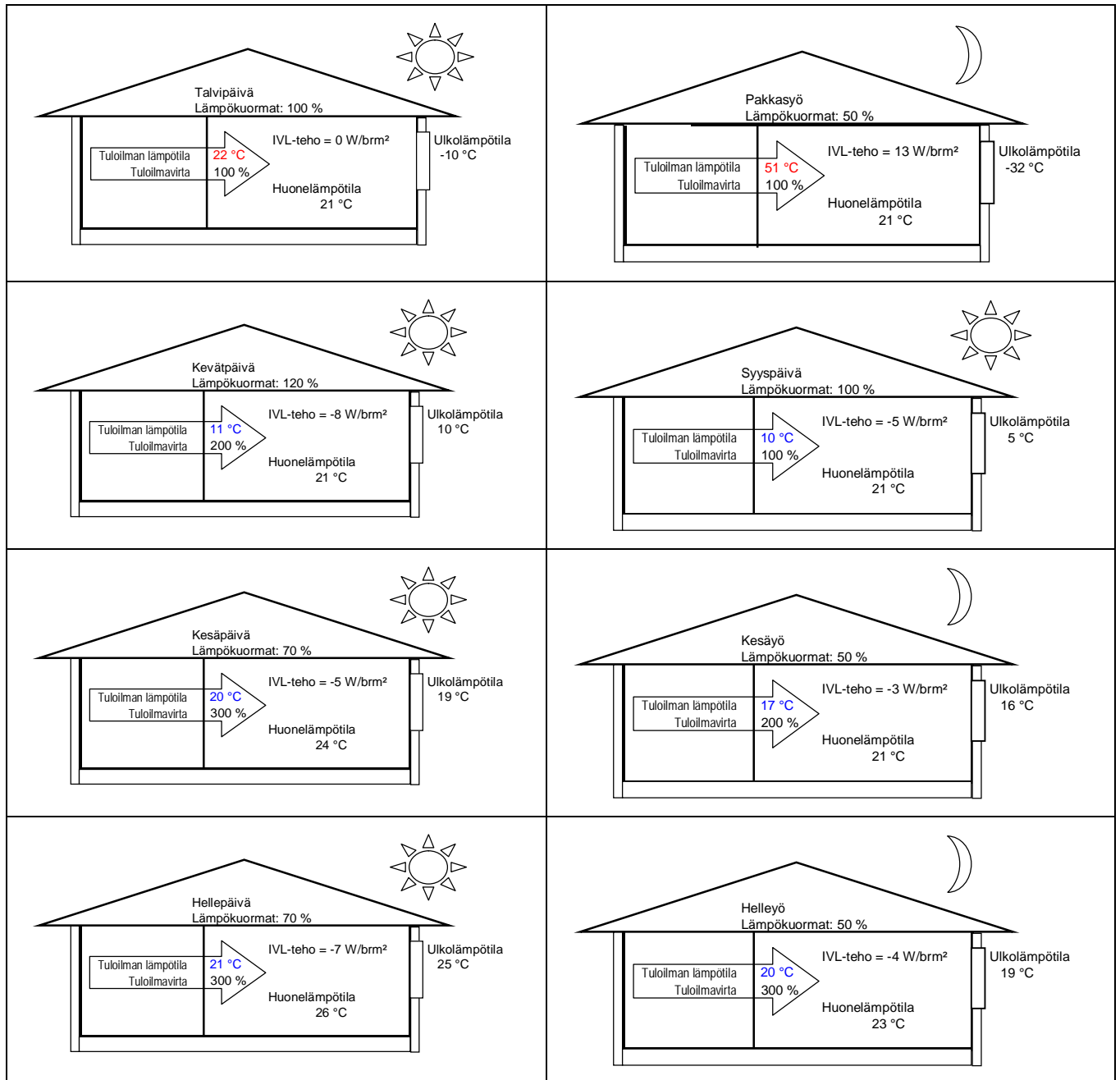
6.4 Huonelämpötilan säätökyky

Ilmanvaihtolämmityksessä huonelämpötilan säätökyky on parempi kuin muissa lämmitysjärjestelmissä. Säätö reagoi nopeasti esimerkiksi auringon paisteen lämpökuormiin ja pystyy puhaltamaan alilämpöistä ilmaa huoneeseen (kuva 29). Jokaisen huoneen tuloilmakanavassa on nopeasti saatavissa viilennystehoa aina, kun ulkoilma on kylmempää kuin huoneilma. Käytettävissä olevan viilennysteho riippuu ulkolämpötilasta ja ilmavirrasta. Viilennysteho on suurimmillaan, kun ilman lämpötila tuloilmakanavassa on noin + 10 °C tai allekin, mikä on yleistä kesällä yöaikaan lämmöntalteenottolaitteen ollessa ohitettu.

Kuvassa 30 esitetään passiivienergiatalon ilmanvaihtolämmityksen ilmavirrat ja toimintalämpötilat eri sää- ja kuormitusolosuhteissa.



Kuva 29. Matalaenergiatalon yläkerran makuuhuoneen huonekohtaisen ilmanvaihtolämmityksen (RC-Linja Oy) mitatut toimintalämpötilat maaliskuussa 1997. Huonelämpötilan asetusarvo oli 21 °C. Päivisin pienet sisälämpötilan nousut johtuvat auringon paisteesta ja iltaisin alakerran takan lämmityksestä. Keskimäärin takassa poltettiin kerralla noin 4 kg puuta. Kun lämpökuormia ei ollut, sisälämpötila pysyi vakiona. (Laine et al 1998)



Kuva 30. Passiivienergiatalon ilmanvaihtolämmityksen ilmavirrat ja toimintalämpötilat eri sää- ja kuormitusolosuhteissa. Talvipäivinäkin ilmanvaihtolämmityksen lämmitysteho (kuvassa IVL-teho) on nolla, kun ulkolämpötila on -10 °C. Viilennystarvetta esiintyy tätä lämpimämpinä päivinä (kuvassa IVL-teho on miinusmerkkinen). Kesällä viilennystä tehostetaan ilmavirtaa lisäämällä. Hellepäivinä tuloilmassa voidaan käyttää lisäviilennystä.

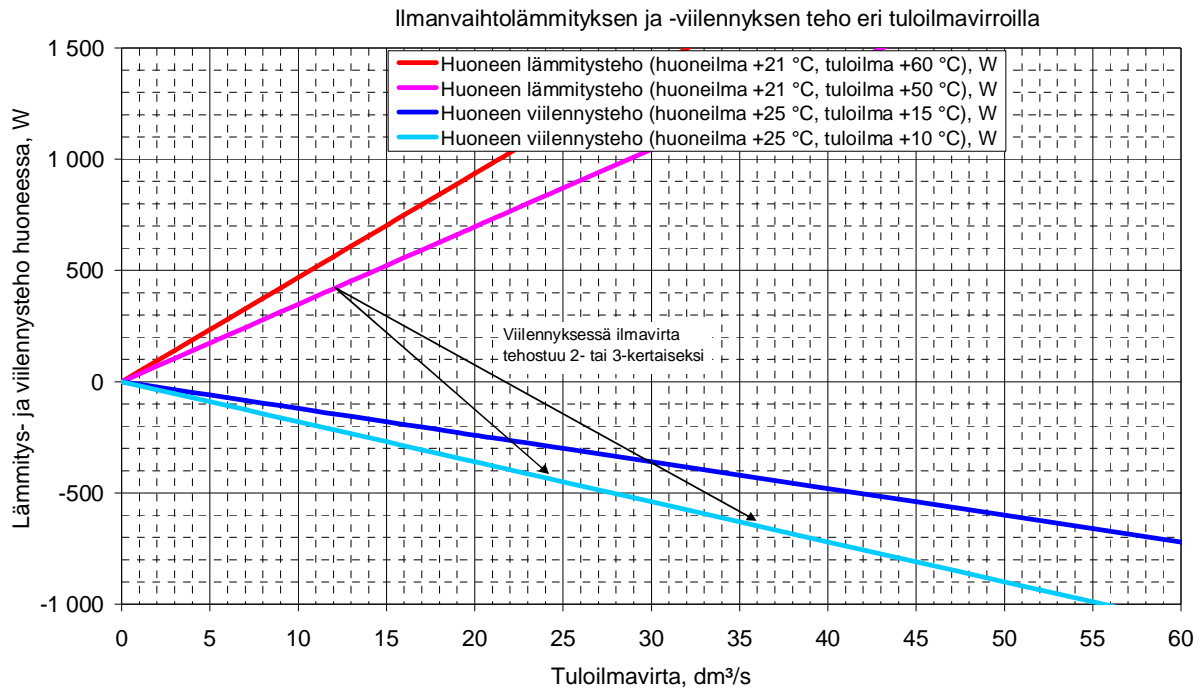
6.5 Ilmanvaihtolämmityksen lämmitys- ja viilennystehot

Ilmavirtojen mitoituksessa otetaan huomioon huoneiden lämmitys- ja viilennystarpeet. Ilmanvaihtolämmityskoneen, kanaviston ja päätelaitteiden mitoitus ja valinta on tehtävä viilennystarpeen mitoitusilmavirroilla.

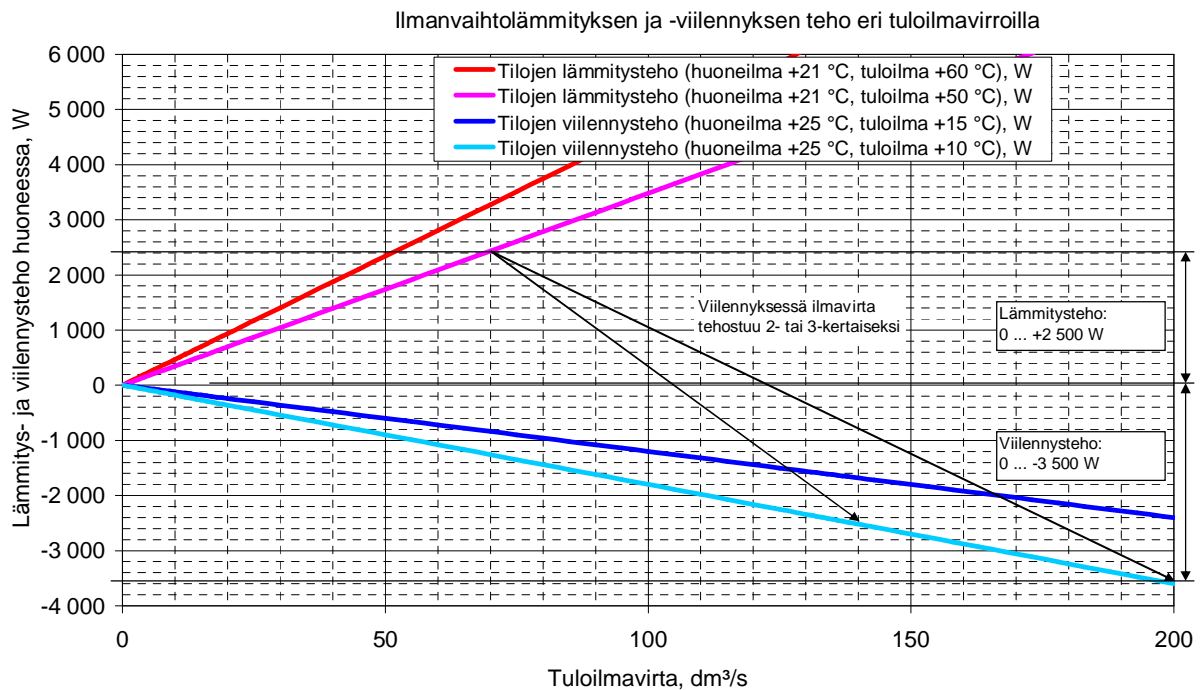
Minimi-ilmavirta määräytyy RakMk:n osan D2 sisäilman puhtausvaatimusten mukaan. Maksimi-ilmavirta määräytyy tehostus- tai viilennystarpeen mukaan. Huonekohtainen ulkoilmavirta-alue on $0,35 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$ - $1,0 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$ (noin $0,5 \text{ l/h}$ - $1,3 \text{ l/h}$), kesällä viilennyksessä $1,5 \dots 2,0 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$ (noin $2,0 \text{ l/h}$ - $2,7 \text{ l/h}$).

Huonekohtaiset käyttöajan tuloilmavirrat (ulkoilmavirta) mitoitetaan RakMk osan D2 vaatimusten mukaan. Suunnittelija laskee lämmitystehontarpeen (johtuminen + vuotoilma) huonekohtaisesti RakMk osan D5 mukaan. Huonelämpötilana käytetään arvoa $21 \text{ }^\circ\text{C}$. Huonekohtaisen ilmanvaihtolämmitystehon riittävyys mitoitetulla tuloilmavirralla varmistetaan mitoituksessa (kuva 31 ja 32). Mikäli lämmitysteho ei riitä, pienennetään mahdollisuuksien mukaan lämmitystehontarvetta energiateknisiä ratkaisuja parantamalla tai suurennetaan hieman tilakohtaista tuloilmavirtaa. Vain poikkeustapauksissa nostetaan tuloilman mitoituslämpötilaa arvosta $50 \text{ }^\circ\text{C}$. Kesäaikaiseen viilennykseen tarvitaan yleensä vähintään kaksinkertainen ilmavirta verrattuna lämmitystarvetta vastaavaan ilmavirtaan. Ilmanvaihtolämmityskone ja ilmakehanavisto mitoitetaan viilennystarpeen ilmavirtojen mukaan. Tämä on otettava huomioon ilmanvaihtolämmityskoneen mitoituksessa.

Ilmanvaihtolämmityskoneen tai huonekohtaisten päätelämmittimien tuloilman lämmityspatterin teho mitoitetaan siten, että huoneeseen puhallettavan tuloilman mitoituslämpötila on enintään $+50 - +60 \text{ }^\circ\text{C}$.



Kuva 31. Ilmanvaihtolämmityksen ja viilennyksen huonekohtainen teho eri tuloilmavirroilla ja tuloilman lämpötiloilla.



Kuva 32. Ilmanvaihtolämmityksen ja viilennyksen talokohtainen teho eri tuloilmavirroilla ja tuloilman lämpötiloilla.

6.6 Ilmakanaviston mitoitus

Oikealla virtausteknisellä mitoituksella ja tehokkaalla äänenvaimennuksella ilmanvaihtolämmityksestä saadaan käytännössä äänetön ja se täyttää taulukon 9 äänitasovaatimukset. Äänenvaimentamiseen suositellaan käytettäväksi ilmanvaihtolämmityskoneeseen liitettävää äänenvaimennusyksikköä, jonka äänenvaimennusominaisuudet tunnetaan.

Taulukko 9. Ilmanvaihtolämmityksen suurimmat sallitut äänitasot ilmanvaihtolämmityksessä käytetyillä ilmavirroilla.

Ilmanvaihtolämmityksen suurimmat sallitut äänitasot, dB(A)	
Olo- ja makuuhuoneet	22
Keittiö	25
Kylpyhuone	28
Talon ulkopuolella	45

Ilman virtausnopeudet kanavistossa ovat alle 2 m/s. Lyhyissä ilmanvaihtokoneelta lähtevissä kanavissa virtausnopeus voi olla enintään 3 m/s. Passiivienergiatalon ilmanvaihtolämmityksen ja -viilennyksen kanavistomitoitus esitetään taulukossa 10. Päätelaitteiden paine-eron tulisi olla käytettävillä tuloilmavirroilla 30 - 50 Pa ja poistoilmavirroilla 60 - 80 Pa, jolloin päätelaitteiden äänitasot pysyvät alhaisina. **Viilennyksen maksimi ilmavirroilla päätelaitteiden paine-erot eivät saa kasvaa merkittävästi pienempien lämmitysilmavirtojen paine-eroista.** Valittujen päätelaitteiden esisäättöarvot, äänitasot ja paine-erot merkitään suunnitelmiin. Päätelaitteet on valittava ja sijoitettava niin, etteivät seinä- ja kattopinnat likaannu. Tehokkaasti huoneilmaa tuloilmaan sekoittavalla päätelaitteella tuloilma voidaan puhaltaa vapaasti seinän yläosasta tai katosta. Esimerkiksi sisäseinältä ikkunaa kohti puhallettaessa huoneessa ei tunnu vetoa, eikä ole lämpötilojen kerrostumisen pelkoa.

Taulukko 10. Passiivienergiatalon ilmanvaihtolämmityksen ja -viilennyksen kanavistomitoitus.

Käyttötilanne	Kanavan halkaisija	Ilmavirta-alue	Ilman nopeus	Kitkapaine-häviö	Dynaaminen paine
	mm	dm ³ /s	m/s	Pa/m	Pa
Lämmitys	125	12	0,98	0,15	0,6
Viilennys	125	36	2,93	1,0	5,2
Lämmitys	160	20	0,99	0,11	0,6
Viilennys	160	60	2,98	0,78	5,3
Lämmitys	200	30	0,95	0,080	0,5
Viilennys	200	100	3,18	0,66	6,1
Lämmitys	250	70	1,43	0,12	1,2
Viilennys	250	200	4,07	0,78	10,0

Siirtoilmareittejä tarvitaan tavallisesti asuinhuoneista käytävätiloihin ja niistä edelleen poistoilmakohteisiin. Siirtoilmareittien paine-ero mitoitetaan niin pieneksi, että paine-eron vaikutus ilmavirtoihin ja tilojen paineeseen on vähäinen. Oviraot ja muut siirtoilmareitit asunnon sisällä on suunniteltava ja toteutettava

siten, että ilmanvaihtolämmityksessä huoneiden välisen siirtoilma-aukon paineero on enintään 1 – 2 Pa. Virtauspinta-ala on yleensä vähintään 240 cm², joka vastaa halkaisijaltaan 160 mm:n ilmanavaa. Suunnittelussa on otettava huomioon myös huoneiden väliset ääneneristysvaatimukset. Oveen yhdistetty siirtoilma-aukko ei saa huonontaa oven ääneneristävyyttä.

Ilmanvaihtolämmitys suunnitellaan ja mitoitetaan niin, ettei puhaltimien ominaissähköteho ole kaksinkertaisella ilmavirralla suurempi kuin 2,0 kW/(m³/s) tai kolminkertaisella ilmavirralla suurempi kuin 2,5 kW/(m³/s). Lämmitysilmavirralla puhaltimien ominaissähköteho ei ole suurempi kuin 1,5 kW/(m³/s).

6.7 Ilmanvaihtolämmityksen kanaviston lämpöhäviöt

Ilmanvaihtolämmityksen ilmanakanavien lämpöhäviöt minimoidaan sopivalla huonejärjestyksellä ja sijoittamalla ilmanvaihtolämmityskone niin, että kanavisto tulee mahdollisimman lyhyeksi ja yksinkertaiseksi. Tarvittaessa järjestelmä voidaan hajauttaa ja käyttää useampia ilmanvaihtolämmityskoneita (esimerkiksi autotalli, saunaosasto). **Tulo- ja poistoilmakanavien kosteusvaurioiden ja homeiden kasvun estämiseksi ilmanakanavia ei saa asentaa ullakotilaan höyrynsulun ulkopuolelle.** Tulo- ja poistoilmakanavat sijoitetaan kulkemaan lämpimissä tiloissa. Niitä ei siis koskaan sijoiteta kylmälle ullakolle, jolloin poistoilman lämmöntalteenoton teho heikkenee. Kanavat asennetaan suunniteltuihin reititustiloihin, joissa on riittävät tilat eristyksille ja huoltotoimenpiteille. Yleensä ilmanvaihtolämmityskone sijoitetaan ulkoseinää vasten, jolloin ulko- ja jäteilma kanavoidaan suoraan seinän läpi ulos.

Rakennuksen sisällä lämpimissä tiloissa kulkevat kylmät ulko- ja jäteilmakanavat lämmöneristetään niin, ettei kanavassa virtaava ilma lämpene merkittävästi (kuva 33). Samalla estetään poistoilman lämmöntalteenoton tehon heikkeneminen (kuva 36 ja 37) ja ympäröivien tilojen lämmitystarpeen oleellinen lisääntyminen.

Passiivienergiatalon sisällä lämpimissä tiloissa kulkevat tuloilmakanavat lämmöneristetään niin, ettei ilmanvaihtolämmityskoneessa keskitetysti lämmitetty lämmitysilma (ylilämpöinen ilma) jäähy merkittävästi kanavissa. Lämmitysilmän jäähtyminen aiheuttaa lämpökuormaa ja ympäröivien tilojen hallitsematonta lämpenemistä. Tällöin suunniteltu lämmitysteho ei siirrykään kauempana oleviin huoneisiin. Jos käytetään hajautettuja huonekohtaisia päätelämmittimiä, tarvittava lämmitysteho siirtyy suoraan huoneeseen eikä kanaviston lämpöhäviöitä synny.

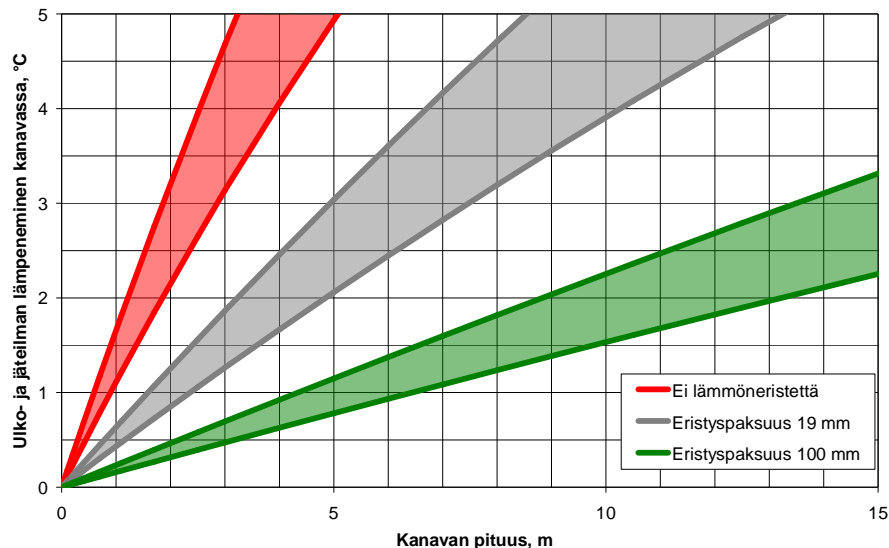
Tuloilmakanavien hyvä lämmöneristys auttaa myös viilennystehon siirtymistä huoneisiin. Kanavassa virtaava viilennysilma ei lämpene merkittävästi.

Kuvassa 34 esitetään tuloilmakanavan lämmöneristyksen ja pituuden vaikutus tuloilman jäähtymiseen lämmitystilanteessa. Tuloilmakanavien tulee olla lyhyet ja tehokkaasti lämmöneristetyt, jotta lämmitystehot siirtyvät hallitusti huoneisiin. Ilman lämmöneristystä 50 °C:n lämmitysilma jäähtyy 10 metrin pituisessa kanavassa 13 °C. Lämmitystehoa menetetään lähes puolet. Eristettynä jäähtyminen on alle 3 °C. **Lämmitysilmakanavat tulee eristää (tai lyhentää) niin, että ilman jäähtyminen kanavistossa on enintään 3 °C.**

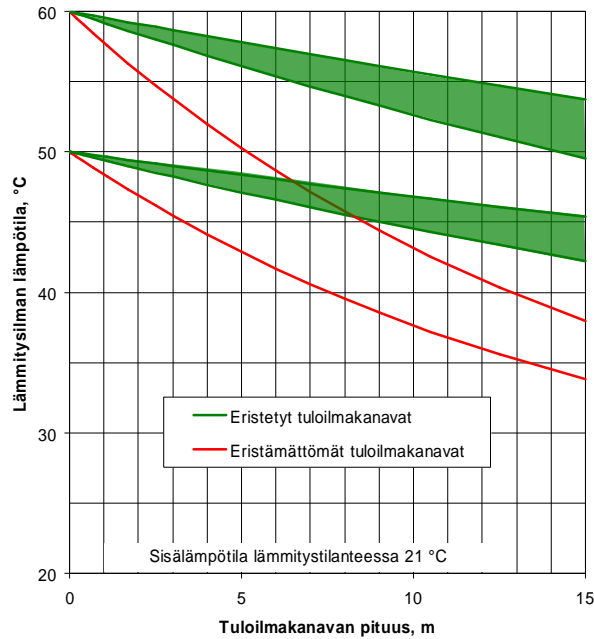
Kuvassa 35 esitetään tuloilmakanavan lämmöneristyksen ja pituuden vaikutus tuloilman lämpenemiseen viilennystilanteessa. Tuloilmakanavien tulee olla lyhyet ja tehokkaasti lämmöneristetyt, jotta viilennystehot siirtyvät hallitusti huoneisiin. Ilman lämmöneristystä 10 °C:n lämpöinen viilennysilma lämpenee 10 metrin pituisessa kanavassa yli 6 °C. Viilennystehoa menetetään yli 40 %. Tehokkaasti eristettynä lämpeneminen on alle 1 °C. **Pelkästään viilennyskäytössä olevat tuloilmakanavat tulee eristää (tai lyhentää) niin, että tuloilman lämpeneminen kanavistossa on enintään 1,5 °C.**

Kuvissa 36 ja 37 esitetään ilman lämpenemisen vaikutus poistoilman lämmöntalteenoton (LTO) tehokkuuteen poistoilman lämpöhyötytilasuhteella esitettynä. Jos ulkoilma lämpenee ulkoilmakanavassa 5 °C, lämmöntalteenoton poistoilman lämpötilahyötysuhde heikkenee 10 – 15 prosenttiyksikköä 65 %:sta jopa 50 %:iin. Jos samanaikaisesti jäteilma lämpenee jäteilmakanavassa 3 °C, lämmöntalteenoton poistoilman lämpötilahyötysuhde heikkenee edelleen 10 – 15 prosenttiyksikköä. **Ilman lämpeneminen ulkoilmakanavassa (5 °C) ja jäteilmakanavassa (3 °C) heikentää lämmöntalteenoton poistoilman lämpötilahyötysuhdetta 65 %:sta jopa 35 %:iin.** Ilmanvaihdon energiatehokkuutta kuvaavan lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen heikkeneminen on samaa suuruusluokkaa.

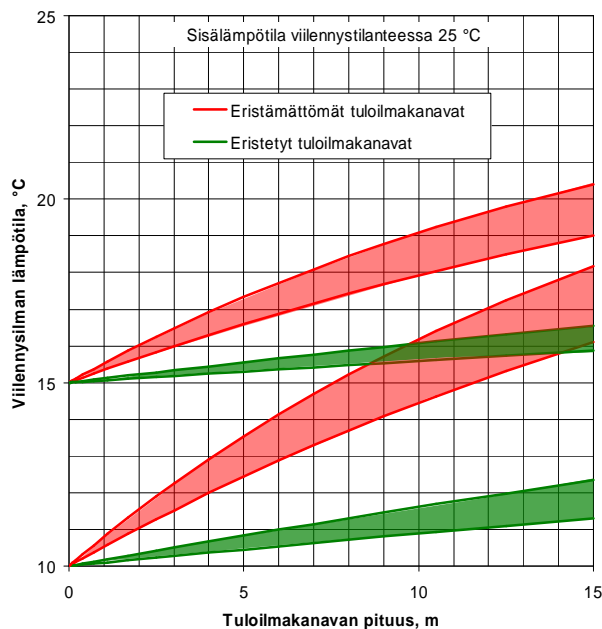
Ulko- ja jäteilmakanavat on tehtävä lyhyiksi ja eristettävä niin, että ilma lämpenee kanavistossa enintään yhden asteen. Eli lyhyetkin kanavat on lämmöneristettävä vähintään 100 mm mineraalivillaa vastaavalla lämmöneristeellä ja kondenssieristettävä sisätiloissa. Jäteilma pyritään puhaltamaan mahdollisuuksien mukaan suoraan seinästä ulos.



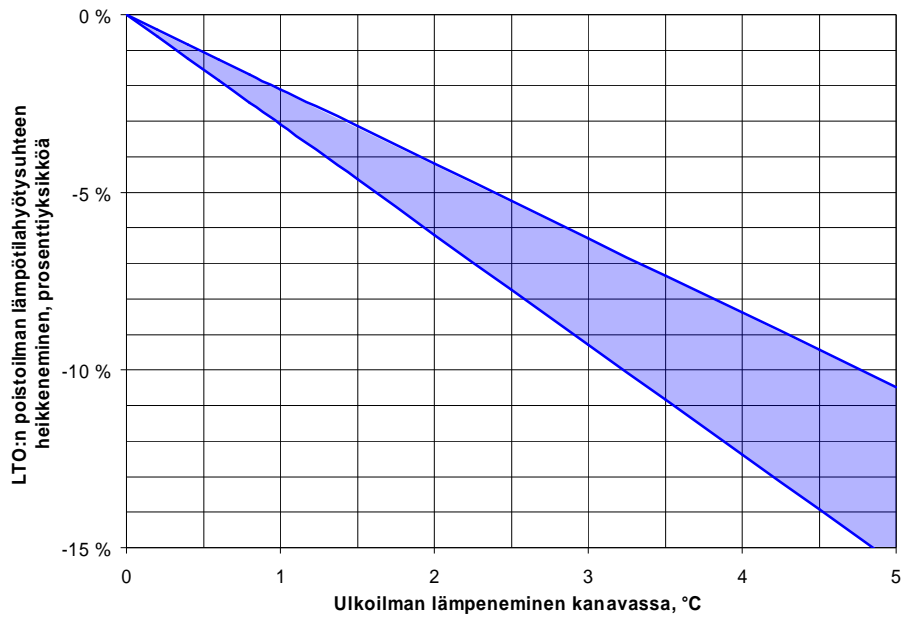
Kuva 33. Kanavan lämmöneristyksen ja pituuden vaikutus ilman lämpenemiseen ilmastointikoneeseen tulevassa ulkoilmakanavassa ja ilmastointikoneesta lähtevässä jäteilmakanavassa talvella. Talvitilanteessa on käytössä käyttöajan tehostamaton ilmanvaihdon ulko- ja jäteilmavirta. Alueen alareuna vastaa ilman lämpötilaa 0 °C ja yläreuna ilman lämpötilaa -10 °C. Eristeen lämmönjohtavuus on 0,04 W/mK.



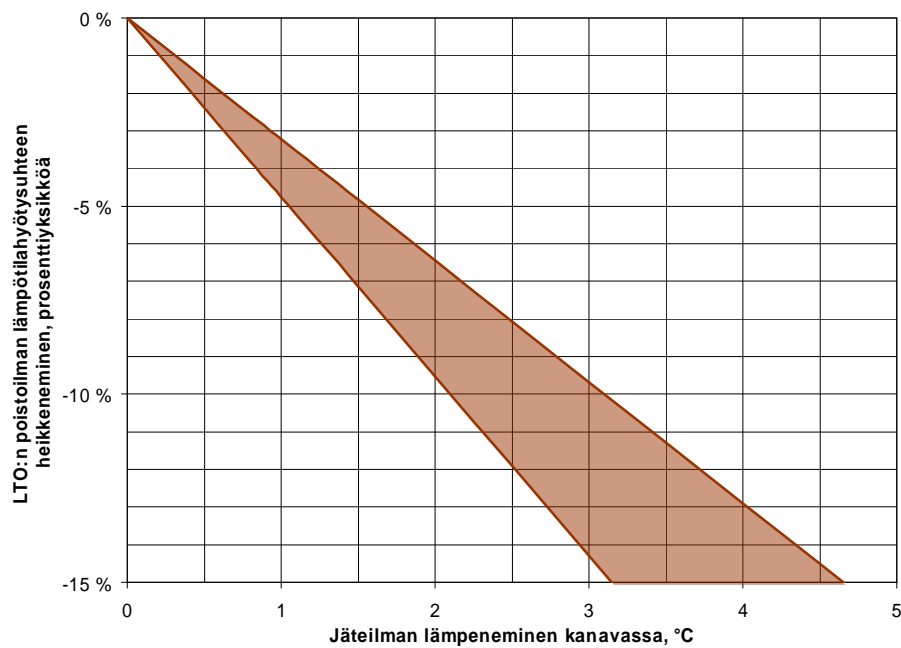
Kuva 34. Tuloilmakanavan lämmöneristyksen ja pituuden vaikutus ilmastointikoneessa lämmitetyn tuloilman jäähtymiseen kanavassa mitoituspakkasella. Lämmitystilanteessa on käytössä käyttöajan tehostamaton ilmanvaihdon ulkoilmavirta. Ilmastointikoneelta lähtevän tuloilman lämpötilä on 50 °C tai 60 °C. Eristetyn tuloilmakanavan eristyspaksuus on 50 mm (vihreän alueen yläreuna) tai 19 mm (vihreän alueen alareuna). Eristeen lämmönjohtavuus on 0,04 W/mK.



Kuva 35. Tuloilmakanavan lämmöneristyksen ja pituuden vaikutus ilmastointikoneesta lähtevän tuloilman lämpenemiseen kanavassa viilennystilanteessa kesällä tai talvella. Viilennystilanteessa on käytössä tehostettu ilmanvaihdon ulkoilmavirta. Ilmastointikoneelta lähtevän tuloilman lämpötilä on 10 °C tai 15 °C. Eristetyn tuloilmakanavan eristyspaksuus on 50 mm (vihreän alueen yläreuna) tai 19 mm (vihreän alueen alareuna). Eristeen lämmönjohtavuus on 0,04 W/mK.



Kuva 36. Ulkoilman kanavassa lämpenemisen vaikutus ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) hyötysuhteeseen. Lähtötasona on poistoilman lämpötilahyötysuhde 65 %.



Kuva 37. Jäteilman kanavassa lämpenemisen vaikutus ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) hyötysuhteeseen. Lähtötasona on poistoilman lämpötilahyötysuhde 65 %.

7 Mukavuus- ja tunnelmalämmitys

7.1 Märkätilojen mukavuuslattialämmitys

Kivipintaisissa lattioissa käytetään yleisesti mukavuuslattialämmitystä kivimateriaalin kylmyyden tunteen poistamiseksi. Passiivenergiatalossa mukavuuslattialämmitystä suositellaan korkeintaan märkätiloissa käytettäväksi. Mukavuuslattialämmitys nopeuttaa märkätilojen kuivumista varsinkin kesällä.

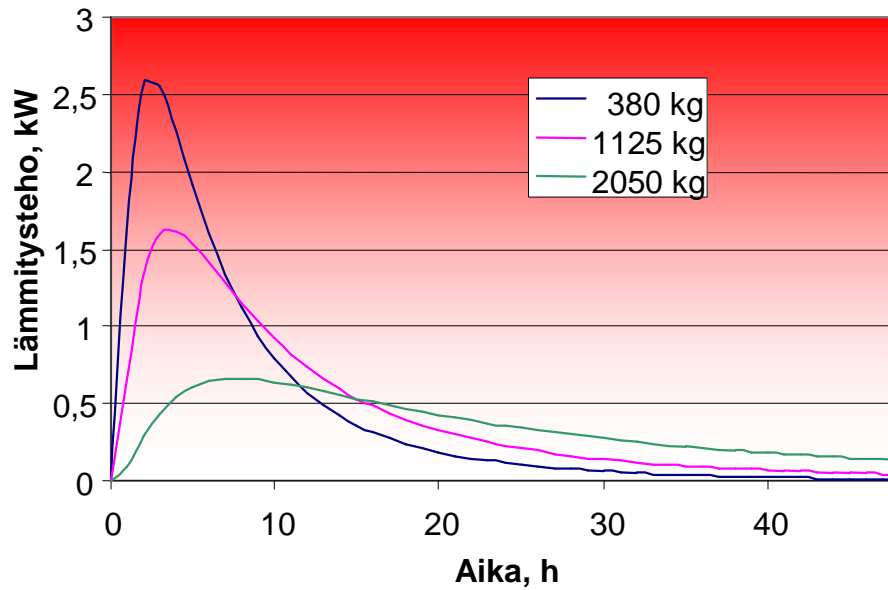
Passiivenergiatalon märkätilojen mukavuuslattialämmitys toteutetaan pienitehoisena (enintään 30 W/m²) lattialämmityksenä, jota säädetään lattian lämpötilan mukaan.

7.2 Tulisijalämmitys

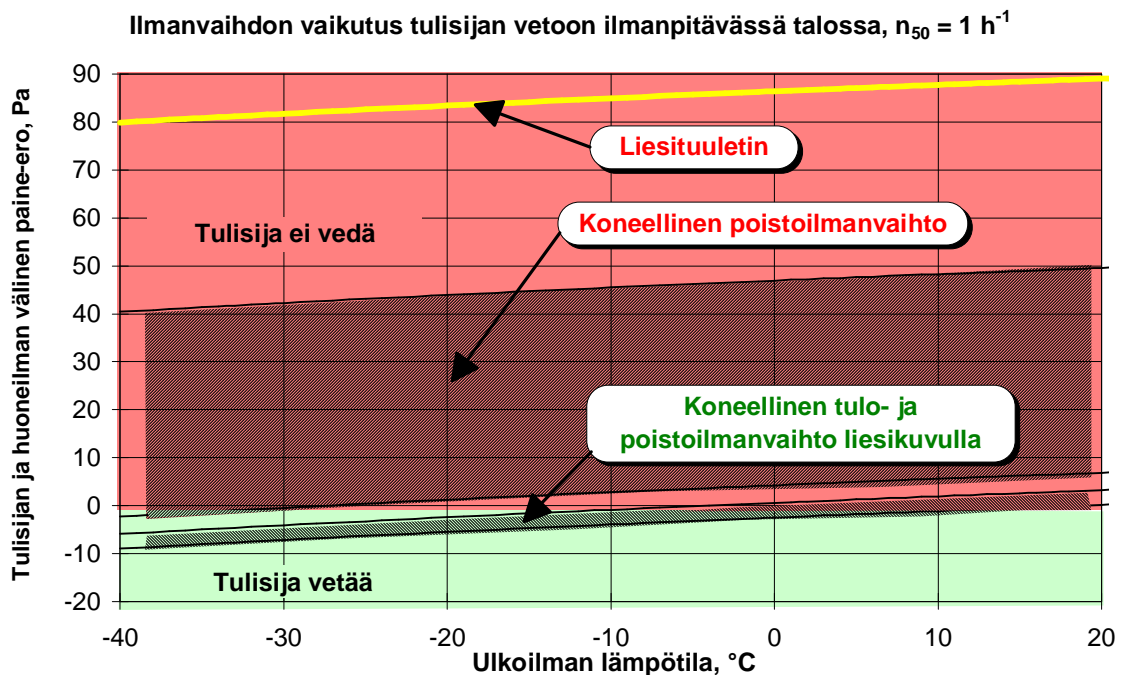
Kovilla pakkasilla tulisijalla voidaan kattaa suuri osa passiivenergiatalon lämmitystarpeesta. Ilmanvaihtolämmityksen säätö reagoi nopeasti tulisijan lämpöön ja hyödyntää sen tehokkaasti vähentämällä muuta lämmitystä.

Passiivenergiatalossa voidaan käyttää lämpövaraavaa tulisijaa. Tulisijan tulee luovuttaa lämpöä hitaasti ja pitkään pienellä teholla (kuva 38). Kevytrakenteinen ja suuritehoinen tulisija saattaa antaa liian suuren hetkellisen lämpötehon, joka nostaa sisälämpötilan tarpeettoman korkeaksi ja lämpö on tuuletettava ulos. Varaavassa tulisija tulee olla riittävän paljon lämpöä varaavaa massaa ja alhainen pintalämpötila. Pintalämpötilan alentaminen voidaan toteuttaa kuorirakenteilla tai muilla lämmönsiirtoa hidastavilla rakenneratkaisuilla. Pitkän lämmönluovutusajan takia tulisijan energiatehokas toiminta edellyttää tulisijan perustusten ja harkkosavupiipun läpiviennin lämpöhäviöiden minimoointia.

Palamisilma tulisi johtaa tulisijaan ilmanvaihdosta riippumattomasti. Tämä tarkoittaa sitä, että palamisilmaa ei oteta talon sisältä. Palamisilma johdetaan suoraan ulkoa tulipesään. Palamisilmavirran säätölaitteiden lisäksi tarvitaan toimiva ja tiivis sulkuventtiili. Tulisijassa syntyvien häkäkaasujen on päästävä poistumaan savupiipun kautta ulkoilmaan myös tilanteessa, jossa savupiipun sulkupelti on suljettuna. Tämän vuoksi savupiipun sulkupellin ollessa suljettuna on savuhormissa oltava virtausaukko, jonka koko on noin kolme prosenttia hormin virtausaukon pinta-alasta. Sijoitettaessa tulisija tiiviiseen passiivenergiataloon, jossa ilmanvaihto voi aiheuttaa alipaineen taloon, savuhormi toimii helposti myös tuloilmareittinä ja tuo tulipesän luukun kautta sisälle tuhkapölyä. Talon sisälle suuren alipaineen aiheuttavien ilmanvaihtojärjestelmien kuten erillisten liesituulettimien tai huippuimurien käyttö on merkittävä syy tulisijojen huonoon vetoon ja passiivenergiatalon suureen lämpöhukkaan (kuva 39).



Kuva 38. Massiivinen varaava tulisija luovuttaa passiivienergiataloon lämpöä tasaisesti usean päivän ajan yhdellä poltolla. Tulisijan lämmönluovutusta kuvaava keskiarvoaika tulisi olla vähintään 12 tuntia (2050 kg)².



Kuva 39. Tulisijan ja ilmanvaihdon yhteistoiminta energiatehokkaassa talossa. Talon sisälle suuren alipaineen aiheuttavien ilmanvaihtojärjestelmien kuten erillisten liesituulettimien tai huippuimurien käyttö on merkittävä syy tulisijojen huonoon vetoon ja passiivienergiatalon suureen lämpöhukkaan.

² Tuomaala, P. & Klobut, K. 2001. COMBI - tutkimuksen tulisijojen mittaustuloksia. Tulisijan, lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmän yhteiskäyttö. Espoo: VTT Rakennus- ja yhdyskuntateknikka., LVI 10-40045. 2000. Tulisijälämmitys. Helsinki, Rakennustieto Oy. 19 s. (Tiedonjyvä-kortti)

8 Huoneilman puhtauden hallinta

Passiivienergiatalon rakenteiden pintamateriaalien päästöluokka on M1 (paras luokka). Passiivienergiatalossa käytetään kosteusteknisesti toimivia rakenneratkaisuja. **Ilmanvaihtolämmityksen toiminta ja ilmavirtojen mitoitukset takaavat myös hyvän sisäilman laadun.**

Hyvin toimiva ilmanvaihtolämmitys on avain puhtaaseen ja raikkaaseen sisäilmastoon. Ilmanvaihtolämmityksessä ilmanvaihdon tulee olla asukkaan tarpeiden mukaan säädettävissä. Hyvin toimiva ilmanvaihtolämmityksen ilmanvaihto ei aiheuta vetoa, melua eikä tarpeetonta energiankulutusta.

Passiivienergiatalon ilmanvaihtolämmityksessä olohuoneeseen ja makuuhuoneisiin puhalletaan huoneiden päätelämmittimissä lämmitettyä tai ilmanvaihtolämmityskoneessa lämmitettyä tai viilennettyä ja suodatettua ulkoilmaa vedottomasti ja meluttomasti. Vastaavasti ilmaa poistetaan keittiöstä, pesutiloista, WC:stä ja vaatehuoneesta. Ilmanvaihtolämmityksessä ilmanvaihto on asukkaan säädettävissä. Eri tilanteissa kuten ruoanlaitto, pyykinpesu, saunominen, vieraat ja poissaolo voidaan käyttää normaalia suurempaa tai pienempää ilmanvaihtoa tarpeen mukaan.

Passiivienergiatalossa ei käytetä erillistä liesituuletinta vaan liesikupua, joka kytketään riittävän suurella (vähintään 160 mm) kanavalla ilmanvaihtolämmityskoneen lämmöntalteenottoon. Liesikuvussa on oltava tehokas rasvasuodatus, joka estää kanaviston ja koneen likaantumisen. Liesikuvun kärynsieppauskyvyn pitää olla riittävän hyvä (suurimmalla ilmavirralla vähintään 80 %). Keittiön liesikuvun poistoilmavirran tulisi olla tehostettuna vähintään 40 dm³/s. Liesikuvun tulee täyttää äänivaatimukset maksimipaine-erollakin.

Ilman virtausnopeudet kanavistossa ovat alle 2 m/s. Lyhyissä ilmanvaihtokoneelta lähtevissä kanavissa virtausnopeus voi olla enintään 3 m/s. Päätelaitteiden paineeron tulisi olla käytettävillä tuloilmavirroilla 30 - 50 Pa ja poistoilmavirroilla 60 - 80 Pa. Päätelaitteiden esisäättöarvot, äänitasot ja paine-erot merkitään suunnitelmiin. Päätelaitteet on valittava ja sijoitettava niin, etteivät seinä- ja kattopinnat likaannu. Tehokkaasti ilmaa sekoittavalla päätelaitteella tuloilma voidaan puhaltaa vapaasti seinän yläosasta tai katosta, esimerkiksi sisäseinältä ikkunaa kohti ilman vedon tai lämpötilojen kerrostumisen pelkoa. Saunassa ilmanvaihtolämmityskoneesta tuleva tuloilma puhalletaan kiukaasta nousevaan ilmavirtaukseen, jolloin ilma sekoittuu tehokkaasti ja lämpötilakerrostuma pienenee.

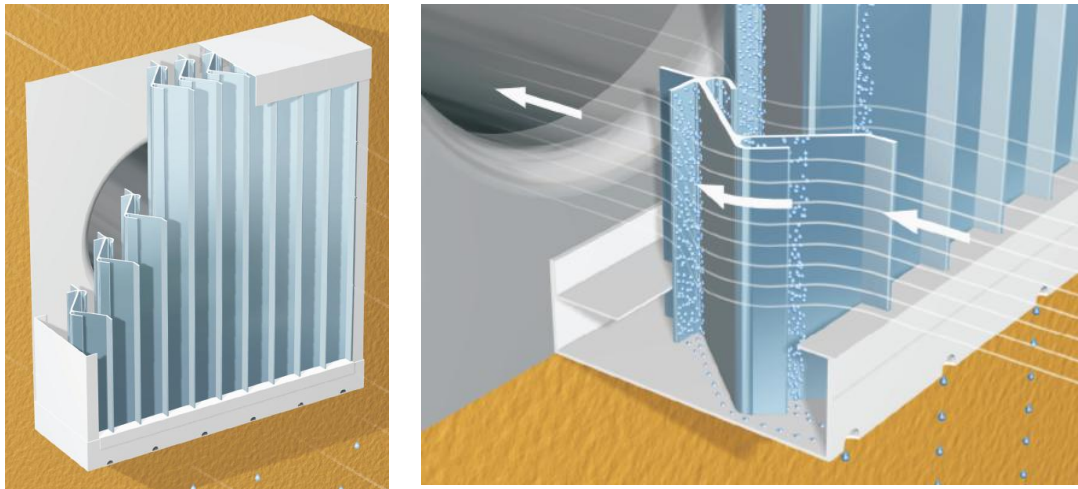
Oviraot ja muut siirtoilmareitit asunnon sisällä on toteutettava kohdan 6.6 mukaan. Suunnittelussa on otettava huomioon myös huoneiden väliset ääneneristysvaatimukset.

Tehokkailla ilmansuodattimilla ulkoa otettavasta ilmasta poistetaan epäpuhtaudet (mm. siitepölyt), jotta sisäilmaa on helppo hengittää. Suodatuksen ansiosta myös ilmanvaihtolämmityskone ja ilmanakanavisto pysyvät puhtaina ja turvallisina.

Ilmanvaihtolämmityskoneessa tulee olla riittävän kookkaat ja tehokkaat ilmansuodattimet. **Tuloilman suodatusluokan tulee olla vähintään F7. Suodattimien kiinnityksen koneeseen tulee olla tiivis ohivuotojen eliminoimiseksi.**

Ulkoilmasäleikössä ei saa olla tiheää verkkoa, koska se kerää roskia, jotka tukkivat koko säleikön. Ulkoilmasäleikön sadeveden erotuskyvyn tulee olla hyvä ja ilman virtausnopeuden pitää olla alhainen, ettei kanavaan joudu vettä tai lunta. **Perinteiset vaakasäleiset ulkosäleiköt erottavat huonosti vettä.** Tämä voi aiheuttaa kanavissa, lämpöeristeissä ja seinärakenteissa kostumista. Jos kosteus ei pääse luonnollista tietä haihtumaan, voi syntyä homevaurioita. Tällaisia huonosti vettä erottavien säleikköjen aiheuttamia kosteusvaurioita on Suomessa todettu tuhansia.

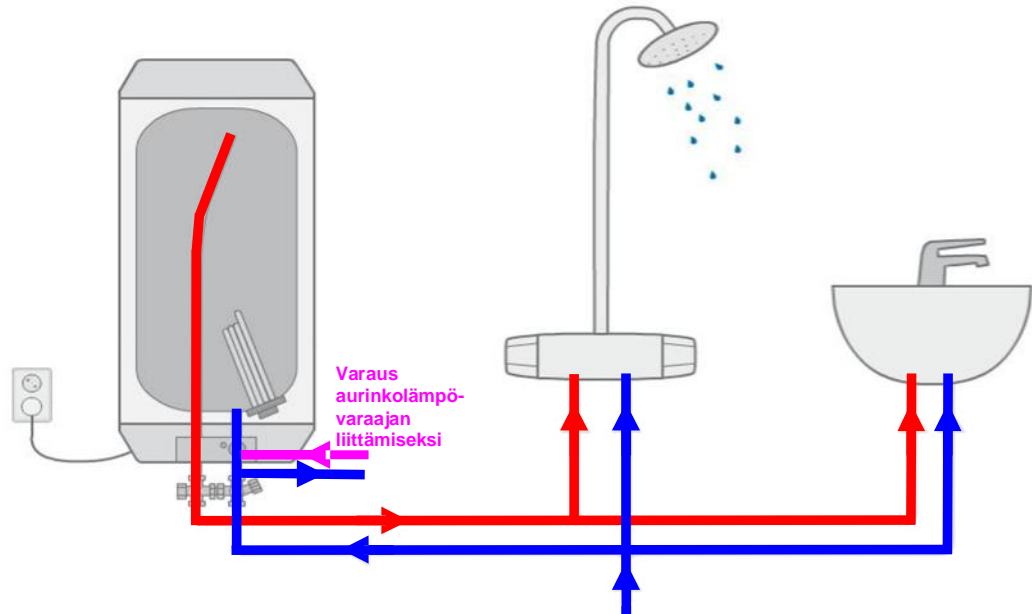
Ulkoilmasäleikön hyvä sadevedenerotuskyky voidaan toteuttaa pystysäleisellä vedenerotussäleiköllä. Ulkoilmasäleikön sadeveden erotusasteen tulee olla tuulisella (13 m/s) säällä vähintään 95 – 100 % (kuva 40). Sisään otettavan ulkoilman mukana ei tule haitallisessa määrin lunta kanavistoon, jos ulkoilmasäleikön otsapintanopeus on mahdollisimman pieni, enintään 0,5 – 1,0 m/s.



Kuva 40. Veden pääsy ulkoilmakanavistoon estetään vedenerotussäleiköllä. Törmätessään pystysäleiden uriin pisarat vähitellen kasvavat ja valuvat alas vesipohjaan ja sieltä ulos. Lähde: J&H Mounting Ky.

9 Passiivienergiatalon käyttöveden lämmitysjärjestelmä

Passiivienergiatalossa perusratkaisu käyttöveden lämmitykseen on lämpimän käyttöveden varaaja, jonka sopiva tilavuus on yleensä 300 litraa (kuva 41). Varaajan viereen tehdään tilavaraus toiselle 300 litran aurinkolämpövaraajalle (liite 3, kuva 1). Lisäksi voidaan varata reititystilat lämmöneristetyille aurinkolämpöputkille varaajasta katolle.

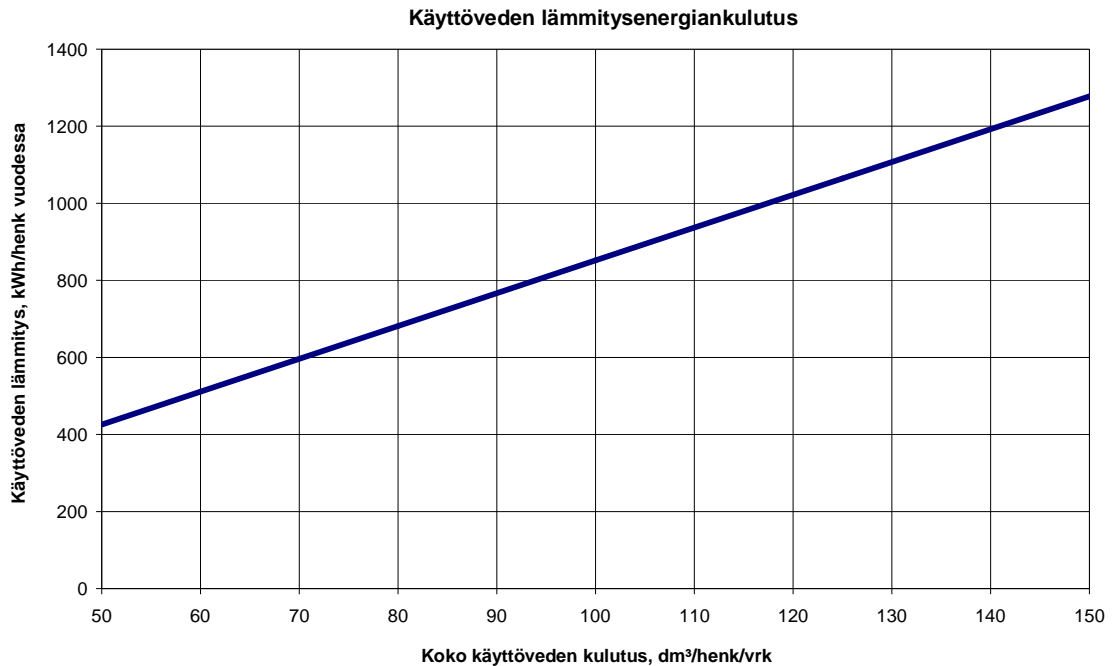


Kuva 41. Passiivienergiatalon käyttöveden lämmityksen perusratkaisu on käyttövesivaraaja. Varaajan tyhjäkäynnin lämpöhäviö on vain kolmasosa tavanomaisesta.

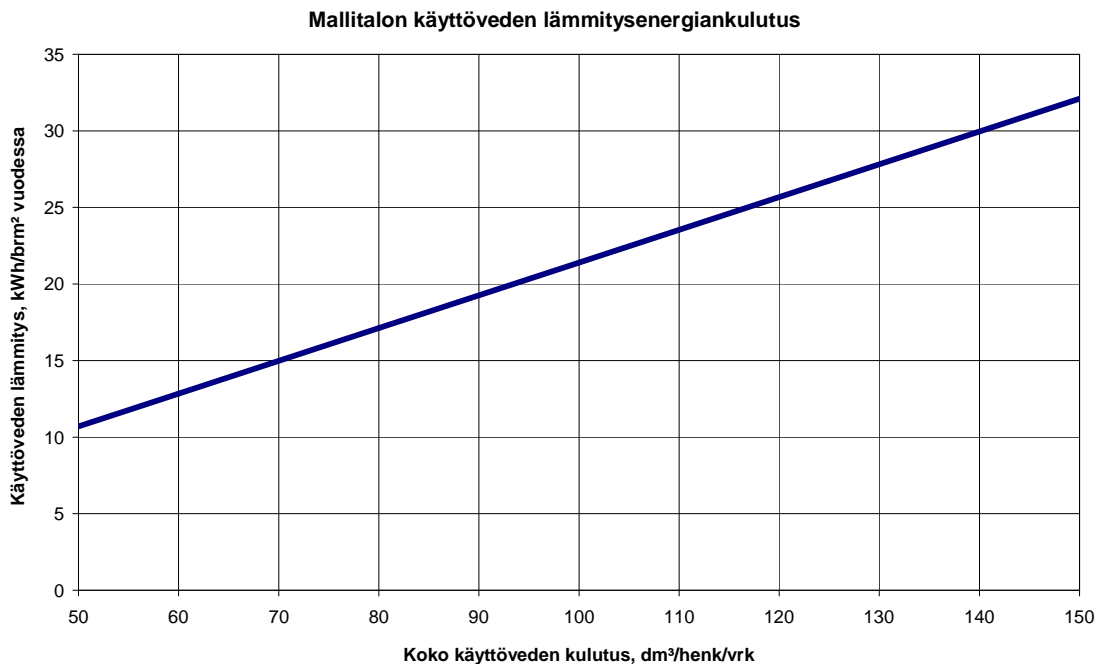
Pientaloissa lämpimän käyttöveden kulutus on Rakentamismääräyskokoelman RakMk osan D5/2007 mukaan 50 dm³ henkilöä kohti vuorokaudessa. Tämä vastaa veden kokonaiskulutusta 125 dm³ henkilöä kohti vuorokaudessa ja lämpimän käyttöveden osuutta 40 %. Lämpimän käyttöveden lämmitysenergiankulutus on noin 1000 kWh henkilöä kohti vuodessa. Kuvassa 42 esitetään käyttöveden lämmitysenergiankulutus henkeä kohti vuodessa koko vedenkulutuksesta riippuen. Kuvassa 43 esitetään mallitalon viiden henkilön käyttöveden lämmitysenergiankulutus bruttoneliötä kohti vuodessa koko vedenkulutuksesta riippuen.

Käyttövesi voidaan käytännössä lämmittää suoraan vain kaukolämmöllä, koska pientalossa käyttöveden hetkellinen lämmitysteho voi olla jopa 70 kW. Muita lämmönlähteitä käytettäessä tarvitaan lämminvesivaraaja, jonka vesitilavuuteen voidaan esimerkiksi yöaikaan varata pienellä teholla lämpöä suurta hetkellistä lämmitystehoa varten. Mallitalon passiivienergiatalon vaihtoehdossa tilojen lämmitysteho on 3,3 kW, kun ulkolämpötila on -32 °C. Käyttöveden suoraan lämmittämiseen voidaan tarvita yli 20-kertainen lämmitysteho tilojen lämmitystehoon verrattuna. Pientaloissa yleisesti käytetty kolmensadan litran käyttövesivaraajissa sähkölämmitysteho on yleensä 3 kW.

Rakentamismääräyskokoelman RakMk osan D1/2007 kohdan 2.3.8 mukaan lämminvesilaitteisto on suunniteltava ja asennettava siten, että veden lämpötila siinä on vähintään 55 °C.



Kuva 42. Käyttöveden lämmitysenergiankulutus henkeä kohti vuodessa koko vedenkulutuksesta riippuen. Tyypillinen veden kokonaiskulutus pientalossa on 90 - 130 dm³ henkilöä kohti vuorokaudessa. Lämpimän käyttöveden osuudeksi on oletettu 40 %.

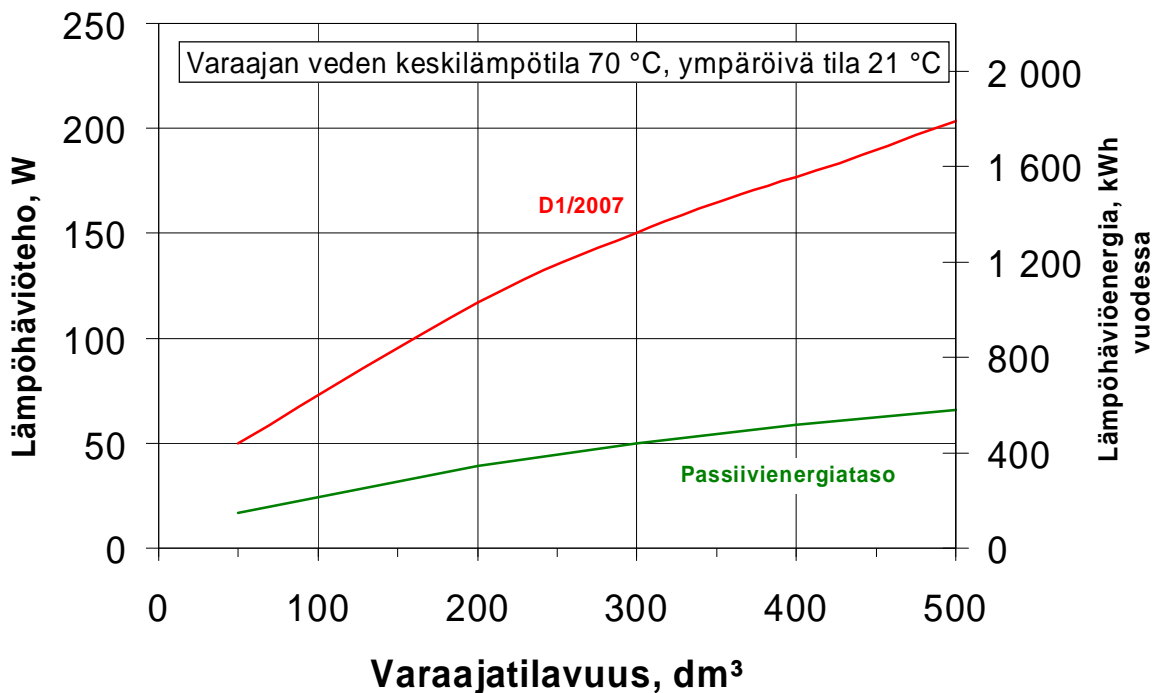


Kuva 43. Mallitalon käyttöveden lämmitysenergiankulutus bruttoneliötä kohti vuodessa koko vedenkulutuksesta riippuen. Tyypillinen veden kokonaiskulutus pientalossa on 90 - 130 dm³ henkilöä kohti vuorokaudessa. Lämpimän käyttöveden osuudeksi on oletettu 40 %.


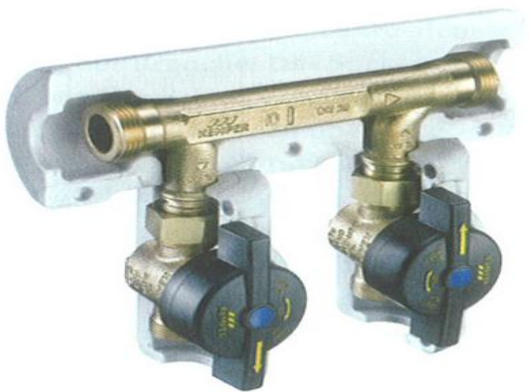
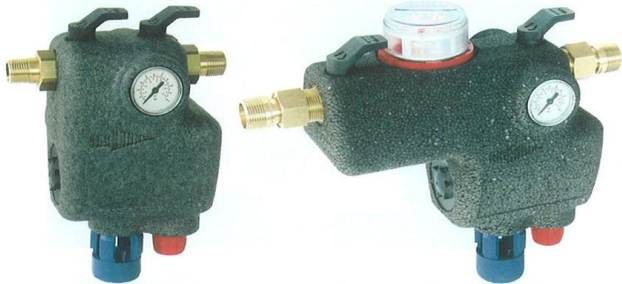



Kuvassa 44 esitetään lämpimän käyttöveden varaajan suurin sallittu lämpöhäviöteho ja lämpöhäviöenergia varaajan tilavuudesta riippuen. Pieneen lämpöhäviötavoitteeseen pääseminen edellyttää vähintään 100 mm:n paksuista polyuretaanieristystä tai vastaavan tasoista muuta lämmöneristystä.

Veden käyttöpisteet sijoitetaan arkkitehtisuunnittelulla mahdollisimman lähelle toisiaan ja lämminvesivaraajaa. Kylmä- ja lämminvesijohdot tulevat mahdollisimman lyhyiksi ja eristystarve jää vähäiseksi. Näin vesijohdoissa ei tapahdu kylmän veden liiallista lämpenemistä eikä lämpimän käyttöveden jäähtymistä. Tällöin myös lämpimän käyttöveden kiertopumpun investoinnista voidaan luopua eikä pumpun käyttöenergiaa tarvita.

Tavanomaisessa rakentamisessa eristetään yleensä vain putket, mutta venttiileitä, putkikannakkeita ja pumppuja ei lämmöneristetä. Kuvassa 45 esitetään esimerkkejä passiivienergiataloon vaadittavista putkistovarusteiden eristämistavoista.



Kuva 44. Passiivienergiatalossa lämpimän käyttöveden energiankulutus ja varaajan lämpöhäviöt pitää minimoida. Varaaja ei saa tuottaa ylimääräistä lämpökuormaa taloon. Passiivienergiatalon lämpimän käyttöveden varaajan lämpöhäviön tavoitearvo on kolmasosa Rakentamismääräyskokoelman RakMk osan D1/2007 enimmäistasosta.

	
<p>Wilo-Stratos ECO lämmöneristetty kiertovesipumppu. Lähde: WILO.</p>	<p>Lämmöneristettynä jakotukki ja venttiilit. Lähde: Kemper.</p>
	
<p>Lämmöneristettynä paineenalennus- ja sulkuventtiilien yhdistelmä. Lähde: SYR Hans Sasserath & Co. KG, Korschbroich.</p>	<p>Lämmöneristetty venttiili. Lähde: ISOWA.</p>
	
<p>Easytop-vinoistukkaventtiili, lämmöneristyskuori ja eristetyt putket. Lähde: Viega.</p>	<p>Lämmöneristetty kannatin. Lähde: KAIMANN.</p>

Kuva 45. Esimerkkejä lämmöneristetyistä putkistovaruksista, joiden avulla putkistojen lämpöhäviöt minimoidaan ja kondenssiongelmat vältetään.

10 Talotekniikan perusratkaisut passiivi-, nolla- ja plusenergiataloihin

Passiivienergiatalon lämmitystarve on minimoitu rakenteellisin keinoin, kuten tavanomaista paremmalla ulkoseinien, yläpohjan, alapohjan, ovien ja ikkunoiden lämmöneristyksellä ja rakennuksen ilmanpitävyydellä sekä tehokkaalla ilmanvaihdon lämmöntalteenotolla. Passiivienergiatalon viilennystarve on minimoitu rakenteellisin keinoin, kuten ikkunoiden auringonsuojauksella. Ilmanvaihtolämmitys hyödyntää viilennykseen sisäilmaa viileämpää ulkoilmaa.

Passiivienergiatalon talotekniikan kustannustehokas perusratkaisu on ilmanvaihtolämmitys täydennettynä käyttövesivaraajalla.

Tilojen lämmitykseen hyödynnetään ensisijaisesti sähköä käyttävistä laitteista syntyvää lämpöä, joka on jo kertaalleen käytettyä energiaa. Näin passiivienergiatalo lämpiää suurimman osan vuotta kahteen kertaan käytettävällä sähköllä. Pakkasilla ilmanvaihdon tuloilman lämmittäminen pienellä teholla riittää ylläpitämään sopivaa lämpötilaa huoneissa. Perusratkaisussa tilojen lämmityksessä tarvittava pieni ostoenergiamäärä on sähköä. Passiivienergiatalon käyttämä sähkö tuotetaan esimerkiksi uusiutuvista energialähteistä peräisin olevilla polttoaineilla tai vesi- ja tuulivoimalla. Näin pystytään täyttämään passiivienergiatalon kokonaisprimäärienergiavaatimus.

Perusratkaisua voidaan täydentää käyttöveden aurinkolämmityksellä. Noin puolet käyttöveden vuotuisesta lämmitystarpeesta voidaan kattaa aurinkoenergialla, kun järjestelmä mitoitetaan niin, että kesällä auringosta saadaan kaikki tarvittava lämmitysenergia. Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton talviaikaisen toimivuuden varmistamiseksi ja kesäajan huoneviilennykseksi voidaan perusratkaisua täydentää maalämmönsiirtimellä (liite 2). Maalämpöä voidaan hyödyntää joko ottamalla ulkoilma suoraan maaputken kautta tai käyttämällä nestekiertoista maalämpöpatteria. Ulkoilman sisäänjohtaminen maaputken kautta on Keski-Euroopassa yleisesti käytössä. Suomessa maaputkia on käytetty yleisesti ulkoilman sisäänotossa saunoihin.

Jos lämmityksessä käytetty ostoenergia on muuta kuin sähköä, tulee varautua talotekniikan paisumiseen, energiantarpeen lisääntymiseen järjestelmän käyttöenergian ja lämpöhäviöiden kasvaessa sekä sitä kautta ylimääräisiin ja tarpeettomiin kustannuksiin.

Passiivienergiatalon talotekniikan perusratkaisun ilmanvaihtolämmityskone ja käyttövesivaraaja on tarkoituksenmukaista keskittää talotekniikkayksikköön. Passiivienergiatalon ostoenergian tarvetta edelleen pienennettäessä, joudutaan talotekniikkaa lisäämään. Tällöin passiivienergiatalon talotekniikkayksikköön voi kuulua esimerkiksi ilmanvaihtolämmitys tilojen lämmitykseen sekä lisävarusteina käyttöön otettavat pienlämpöpumppu- ja aurinkolämpöjärjestelmä lämmittämään vesivaraajaa (liitteet 1 ja 3). Talotekniikan keskittäminen yksikköön parantaa hallintaa, huollettavuutta, korjattavuutta ja uusittavuutta.

Passiivienergiatalo on perusta nolla- ja plusenergiataloille. Siirtyminen passiivienergiatalosta nolla- ja plusenergiataloon edellyttää lämpöpumpulla ja

auringolla tuotetun lämmön hyödyntämisen lisäksi aurinkosähkön (tai tuulisähkön) talokohtaista tuottamista ja ulosmyymistä.

Siirryttäessä kohti nollaenergiataloa tarvitaan aurinkoenergian ja lämpöpumppujen hyödyntämistä. Tällöin kustannukset nousevat voimakkaasti. Plusenergiataloissa aurinkoenergialla on tuotettava lisää sähköä ja tämän vuoksi kustannukset nousevat edelleen.

Tulevaisuuden nolla- tai plusenergiatalo syntyy lisäämällä tulevaisuudessa kustannustehokasta aurinkoenergian tuotantoteknologiaa tämän päivän passiivenergiataloon.

11 Yhteenveto

Tässä raportissa esitetään perusteita, suunnitteluohjeita ja ratkaisumalleja harkkorakenteisen passiivenergiatalon rakentamiseksi. Lähtökohtana on turvallinen, terveellinen ja viihtyisä sisäilmasto.

LVI-tekniikka toteutetaan vastaamaan pientä tilojen lämmityksen huipputehontarvetta (10 – 20 W/brm²) ja hyödyntämään mahdollisimman tehokkaasti ulkoilmaa viilennyksessä. Suunnittelussa pitää varmistaa, että talotekniikkajärjestelmät toimivat suurimman osan aikaa vuodesta erittäin pienillä lämmitys- ja viilennystehoilla. Passiivenergiatalossa tuloilman lämpötilaa ja ilmavirtoja pitää pystyä säätämään huoneiden lämmitys- ja viilennystarpeiden mukaan. Tällaista järjestelmää kutsutaan ilmanvaihtolämmitykseksi. Päivän aikana vaihtelevat lämmitys- ja viilennystarpeet hoituvat tehokkaasti ilmanvaihtolämmityksellä, jolla on samanaikaisesti käytettävissä sekä lämmitys- että viilennystehoa eikä tuhlaa energiaa tarpeettomasti.

Talotekniikkajärjestelmien lämpöhäviöt (muun muassa ilmanakanavat, lämmöntuottolaitteet, käyttövesivaraajat, putket ja venttiilit) pitää minimoida, koska lämpöhäviöt lisäävät merkittävästi lämmitysenergiankulutusta ja lisäävät viilennystarvetta. Erityisesti ulko- ja jäteilmakanavien tehokkaalla eristämällä varmistetaan, että passiivenergiatalon ilmanvaihdon lämmöntalteenoton hyötysuhde ei huonone kohtuuttomasti ilmanakanavien suurien lämpöhäviöiden takia. Erityisesti ilmanvaihtolämmityksen ulko- ja jäteilmakanavistot ja vesijohdot suunnitellaan mahdollisimman lyhyiksi.

Passiivenergiatalon ylläpönnemisen estämiseksi ikkunoiden auringonsuojauksen pitää olla tehokas. Rakenteiden liitoskohdat ja LVI-lävistyksen eivät saa huonontaa rakenteiden lämpö- ja tiiviysteknistä toimivuutta. Rakennuksen vaipan ilmanvuotoluku saa olla enintään 0,6 l/h. Ilmanvaihtolämmityksen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen on oltava vähintään 65 %. Ilmanvaihtolämmityksen puhaltimien ominaissähköteho lämmitysilmavirralla saa olla enintään 1,5 kW/(m³/s) ja hellekauden viilennystilanteessa kolminkertaisella ilmavirralla enintään 2,5 kW/(m³/s).

Tilojen lämmitysenergiankulutus on vuoden 2010 rakentamismääräysten mukaan rakennetussa talossa 70 – 110 kWh/brm² ja harkkorakenteisessa

passiivienergiatalossa vain 20 – 30 kWh/brm² vuodessa sijaintipaikkakunnasta riippuen.

Passiivienergiatalo on oikein suunniteltu ja kustannustehokas, kun ilmanvaihtolämmitys yksinään riittää tilojen lämmittämiseen ja viilentämiseen. Ilmanvaihtolämmityksen lisäksi lisälämpöä voidaan tarvita huippupakkasilla esimerkiksi korkeissa olohuoneissa, joissa on tarpeettoman suuria ikkunoita. Lisälämpö voidaan tuottaa tulisijalla tai muulla lisälämmittimellä. Huoneiden paineiden hallitsemiseksi tiiviissä passiivienergiatalossa palamisilma tulee johtaa ulkoa tulisijaan ilmanvaihdosta riippumattomasti. Ilmalämpöpumput eivät sovellu lisälämmittimiksi, koska niiden hyötysuhde huononee voimakkaasti kovilla pakkasilla.

Passiivienergiatalon lämmitys- ja viilennystarpeiden, eikä käyttövesivaraajan lämpöhäviöiden minimointia voi korvata esimerkiksi uusiutuvien energiamuotojen käytöllä. Käytettäessä uusiutuvia energiamuotoja hyödyntävää talotekniikkaa kustannukset nousevat voimakkaasti. Kompaktiin talotekniikkayksikköön voi kuulua esimerkiksi ilmanvaihtolämmitys tilojen lämmitykseen sekä pienlämpöpumppu- ja aurinkolämpöjärjestelmä lämmittämään vesivaraajaa. Siirtyminen passiivienergiatalosta nolla- ja plusenergiataloon edellyttää lämpöpumpulla ja auringolla tuotetun lämmön hyödyntämisen lisäksi aurinkosähkön (tai tuulisähkön) talokohtaista tuottamista.

Lähdekirjallisuutta

Anton Graf 2000. Das Passivhaus – Wohnen ohne Heizung. Aktuelle Beispiele aus Deutschland, Österreich und der Schweiz. Verlag Georg D. W. Callwey GmbH & Co 127 s. ISBN 3-7667-1372-8.

Deutscher, P., Elsberger, M. & Rouvel, L. 2000. Bewertung des sommerlichen Wärmeschutzes für Gebäude mit raumluftechnischen Anlagen. Bauphysik. Nr 22. Ernst & Sohn. S. 247 - 256.

Feist, Wolfgang (Hrsg.) 1998. Das Niedrigenergiehaus. Neuer Standard für energiebewusstes Bauen. 5., durchgesehene Auflage. C.F. Müller Verlag Hüthig GmbH & Co. KG Heidelberg. 217 s. ISBN 3-7880-7638-0. <http://www.passiv.de/> (Passivhaus Institut)

Ilma-maalämmönsiirrinjärjestelmän ohjeistus. Saksalainen ohje VDI 4640. Part 4. 2004. Thermal use of the underground. Direct uses. VDI-Richtlinien. Verein Deutscher Ingenieure.

Ilmanvaihdon ja ilmastoinnin järjestelmien ja laitteiden hygieniavaatimukset. Saksalainen ohje VDI 6022. Part 1. 2006. Hygiene requirements for ventilation and air-conditioning systems and -units. VDI-Richtlinien. Verein Deutscher Ingenieure.

Kaitamaa, A., Laine, J. & Saari, M. 1993. EBES-asuinkerrostalo. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, 1993. 62 s. + liitt. 17 s. (VTT Tiedotteita 1515). ISBN 951-38-4449-8

Laine, J. & Saari, M. 1994. METOP, CFC-aineeton matalaenergiatoimistotalo. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 58 s. + liitt. 21 s. (VTT Julkaisuja 795). ISBN 951-38-4503-6

Laine, J. & Saari, M. 1997. Ilmanvaihtolämmitys - luonnollinen valinta matalaenergiataloon. Teoksessa: Ruotsalainen, R. & Säteri, J. (toim.) Sisäilmastoseminaari 19.3.1997. Espoo: Teknillinen korkeakoulu, LVI-tekniikan laboratorio. S. 251 - 256. (SIY raportti 8). ISBN 951-97186-7-2

Laine, J. & Saari, M. 1998. ESPI-matalaenergiapientalot. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 76 s. + liitt. 44 s. (VTT Tiedotteita 1924). ISBN 951-38-5332-2 (www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1998/T1924.pdf)

Laine, J. 1985. Pientalon ilmanvaihtolämmitys. Helsinki, Kauppa- ja teollisuusministeriö KTM, energiaosasto. 47 s. Sarja D; 82

LVI 05-10440. 2008. Sisäilmastoluokitus 2008. Helsinki, Sisäilmayhdistys ry. Rakennustieto Oy. 22 s. (LVI-ohjekortti, RT-kortti 07-10946)

Nieminen, J. & Lylykangas, K. 2009. Passiivitalon määritelmä. www.passiivi.info – ohjeita passiivitalon arkkitehtisuunnitteluun.

Othmar Humm, Felix Jehle, 1996. Strom optimal nutzen. Effizienz steigern und Kosten senken in Haushalt, Verwaltung, Gewerbe und Industrie. Ökobuch Verlag. ISBN 3-922964-58-3.

PEP Promotion of European Passive Houses: <http://passivehouse.vtt.fi/>

Pietarinen, P. & Saari, M. 1999. Ilmanvaihtolämmityksen hajautettu automaatio matalaenergiatalossa. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 43 s. (VTT Tiedotteita 1950). ISBN 951-38-5415-9 (<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1999/T1950.pdf>)

Pregizer, D. 2002. Grundlagen und Bau eines Passivhauses. C.F. Müller Verlag Hüthig GmbH & Co. KG Heidelberg. 102 s. ISBN 3-7880-7727-1.

REHAU. AWADUKT Thermo. Antimikrobiell das Luft-Erdwärmetauschersystem für die kontrollierte Lüftung. REHAU 342682 10.2007.

REHAU. AWADUKT Thermo. Maalämmönsiirrin asuntojen koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän yhteydessä. Toimitusohjelma 342.100 Fi. 2004.

Saari, M., Laine, J., Airaksela, M., Tuomi, J. & Holopainen, R. 2008. MERA, Multi-storey Building, Finnish Passive House. 1st Nordic Conference on Passive Houses. Trondheim, Norway, 2 - 3 April 2008, ss. 28 – 34

Sovellusteknologia 2008. Osa I: metalliputkien asennusjärjestelmä. Viega GmbH & Co. KG, Attendorn. Käyttövesi- ja lämmitysjärjestelmät. www.viega.de.

Tuomaala, P. & Klobut, K. 2001. COMBI - tutkimuksen tulisijojen mittaustuloksia. Tulisijan, lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmän yhteiskäyttö. Espoo: VTT Rakennus- ja yhdyskuntateknikka., LVI 10-40045. 2000. Tulisijalämmitys. Helsinki, Rakennustieto Oy. 19 s. (Tiedonjyvä-kortti)

Rakennuksen energiatehokkuutta ja lämpöhäviötä käsitellään seuraavissa Suomen rakentamismääräyskokoelman osissa:

C3 Rakennuksen lämmöneristys, Määräykset 2007/2010

C4 Lämmöneristys, Ohjeet 2003

D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, Määräykset ja ohjeet 2003/2010

D3 Rakennuksen energiatehokkuus, Määräykset ja ohjeet 2007/2010

D5 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, Ohjeet 2007

Liite 1 Passiivitalon vaatimukset

Alkuperäinen saksalainen passiivitalo

Alkuperäinen saksalainen passiivitalo on menetelmä kustannustehokkaiden vähän energiaa kuluttavien talojen rakentamiseksi. Passiivitalo ei ole talon malli tai rakennustyyli.

”Passiivitalo on talo, jossa on viihtyisä lämpötila sekä talvella että kesällä ilman erillistä lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmää”

”Ein Passivhaus ist ein Gebäude, in dem eine behagliche Temperatur sowohl im Winter als auch im Sommer ohne separates Heiz- bzw. Klimatisierungssystem zu erreichen ist”, Dr. Wolfgang Feist, Passivhaus Institut, www.passiv.de.

”Passiivitalo on talo, jossa yksinkertaisella ilmanvaihtolämmityksellä voidaan tuottaa viihtyisät lämpöolot ja puhdas sisäilma”

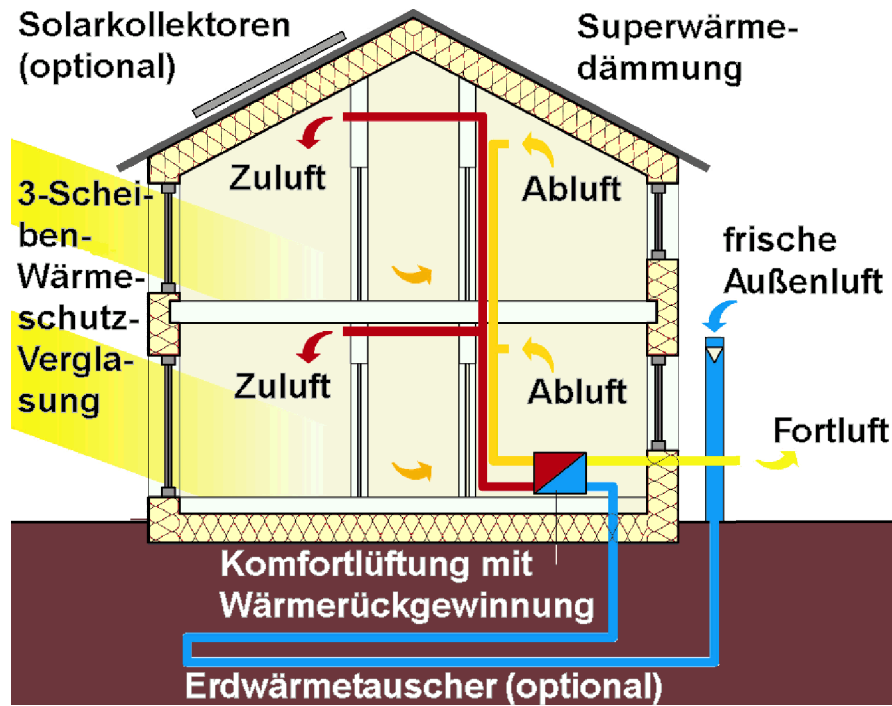
“A passive house is a building in which thermal comfort (ISO 7730) can be ensured without additional air recirculation simply by heating and cooling the flow of incoming fresh air to ensure sufficient air quality in accordance with DIN 1946”. (Feist, Wolfgang: Passive Houses Worldwide – Energy Efficiency Takes Hold. Conference Proceedings. 12th International Conference on Passive Houses 2008. 11. -12. April 2008 Nuremberg. Darmstadt 2008. s. 497)

Kustannustehokas passiivitalo

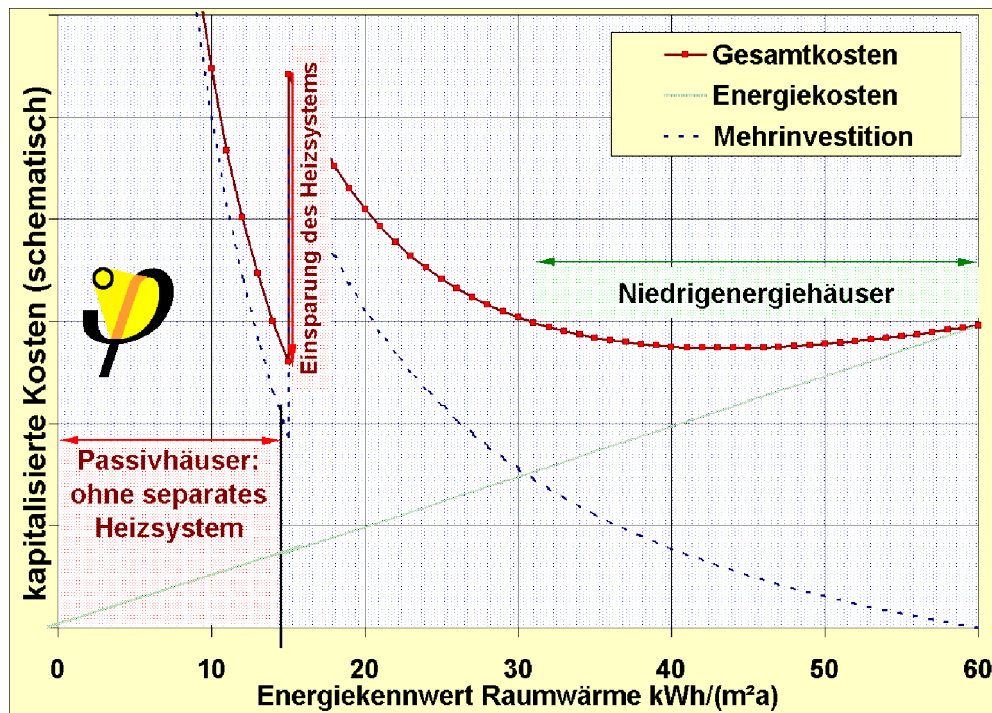
Passiivitalon kustannustehokkuus perustuu talon energiatehokkaiden rakenneratkaisujen avulla aikaansaatuun erittäin pieneen lämmöntarpeeseen (kuva 1).

Kuvassa 2 esitetään energiakustannusten pieneminen tilojen lämmitysenergian suuren ominaiskulutuksen pienentyessä. Samalla investointikustannukset kasvavat. Kun ominaiskulutus on pienentynyt arvoon 15 W/(m² a), investointi- ja kokonaiskustannukset pienenevät jyrkästi. Passiivitalon maksimi lämmitysteho on vain 10 W/m². Tällöin passiivitalo voidaan lämmittää pelkästään tavanomaisen ilmanvaihdon tuloilmaa lämmittämällä. Näin saavutetaan merkittävä säästö lämmitysjärjestelmän investointikustannuksissa, kun lämmönjakojärjestelmä muuttuu ilmanvaihtolämmitykseksi (kuva 1). Lämpöä otetaan talteen poistoilmasta

ja tuloilmaa lämmitetään tilojen lämmöntarpeen mukaan. Kuvassa 3 esitetään passiivitalon kompaktin talotekniikkayksikön periaate.

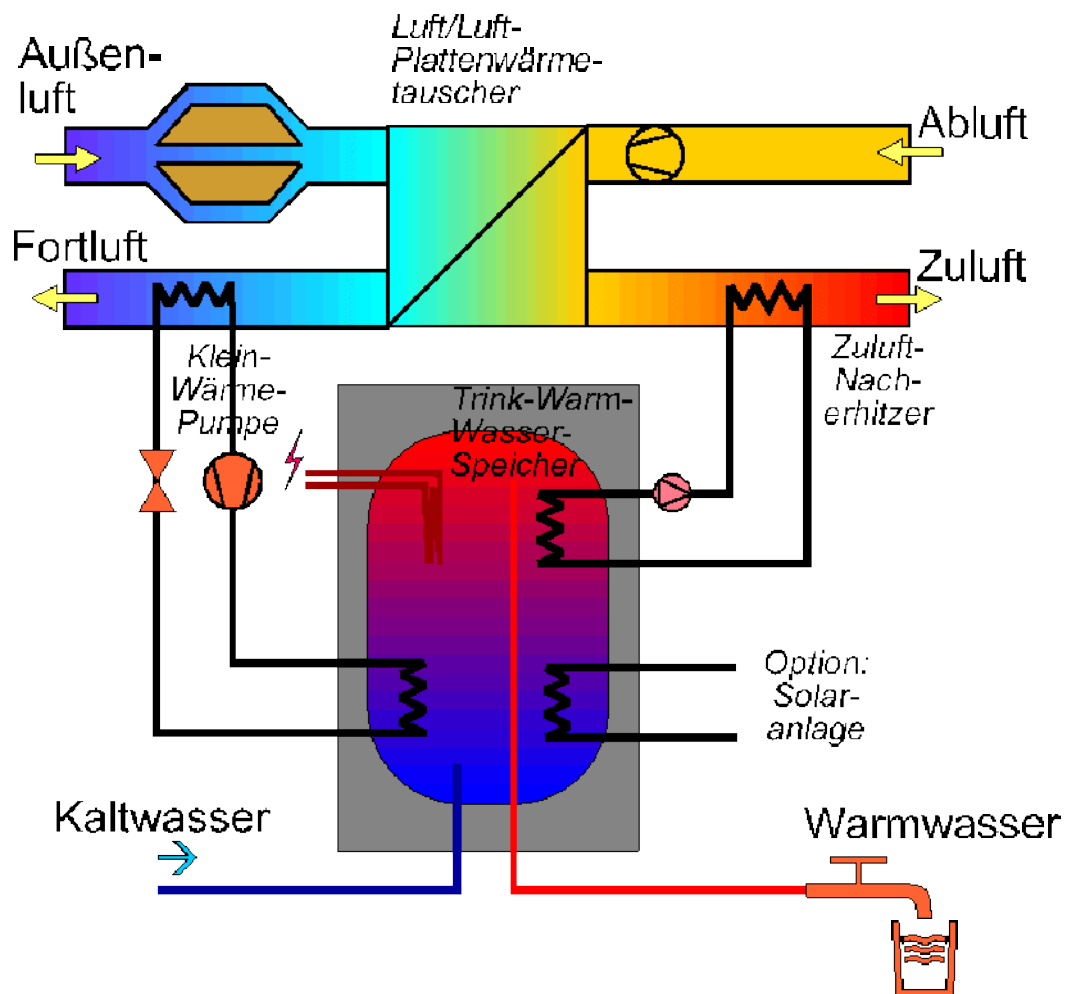


Kuva 1. Alkuperäisen saksalaisen passiivitalon periaate. Aurinkolämmitys ja maalämmönsiirrin ovat lisävarusteita. Lähde: Passivhaus Institut.



Kuva 2. Passiivitalossa syntyy tilojen lämmitysenergiankulutuksen pienentyessä kustannussäästöä, koska ilmanvaihtolämmityksen lisäksi ei tarvita erillistä lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmää. Lähde: Passivhaus Institut.

Passivhaus - Kompakttaggregat



Kuva 3. Passiivitalon kompaktin talotekniikkayksikön periaate. Lähde: Passivhaus Institut.

Alkuperäinen saksalainen passiivitalo on perusta nolla- ja plusenergiataloille. Passiivitalon ostoenergian tarvetta edelleen pienennettäessä, joudutaan talotekniikkaa lisäämään. Siirryttäessä kohti nollaenergiataloa tarvitaan aurinkoenergian ja lämpöpumppujen hyödyntämistä. Tällöin kustannukset nousevat voimakkaasti. Plusenergiataloihin siirryttäessä aurinkoenergialla on tuotettava lisää sähköä ja kustannukset nousevat edelleen.

Vaatimuksia alkuperäisen saksalaisen passiivitalon suunnitteluun ja toteuttamiseen

Passiivitalon toteuttaminen aiheuttaa kovia vaatimuksia rakenteille ja LVI-tekniikalle.

- rakennusosien (ulkoseinät, yläpohja ja alapohja) lämmönläpäisykertoimet (U -arvo) ovat enintään $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
 - pientaloissa usein jopa alle $0,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- vaatimuksena kylmäsillattomat rakenteet ja liitokset
- vaatimuksena erinomainen vaipan ilmanpitävyys
 - vuotoilmavirta on 50 Pa :n koepaineella enintään $0,6 \text{ l/h}$
 - osoitetaan tiiviysmittauksella (DIN EN 13829)
- vaatimukset ikkunoille
 - lasiosan lämmönläpäisykertoimet (U_g -arvo) ovat enintään $0,80 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (DIN EN 673), usein jopa alle $0,60 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
 - lasiosan auringon säteilynläpäisykertoimet (g -arvo) ovat vähintään 50% (EN 410)
 - puite- ja karmiosan lämmönläpäisykertoimet (U_f -arvo) ovat enintään $0,80 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (DIN EN 10077-2)
 - puite- ja karmiosien minimointi, koska ne ovat yleensä heikoimmin eristäviä vaipan osia
- vaatimuksena tehokas ilmanvaihdon lämmöntalteenotto (LTO)
 - LTO:n hyötysuhde (η_{WRG}) on vähintään 75%
 - osoitetaan Passivhaus Instituutin (PHI) sertifikaatilla tai Deutsche Institut für Bautechnik-laitoksen (DIBt) hyväksynnällä
- vaatimuksena ilmanvaihtojärjestelmän pieni sähkönkulutus
 - enintään $0,45 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$, mikä vastaa arvoa $1,6 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$
- käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpöhäviövaatimukset
 - vaatimuksena mahdollisimman pienet lämpöhäviöt
- laitteiden sähkönkäytön vaatimukset
 - valitaan energiatehokkaita laitteita
- vaatimukset suunnittelulle
 - kokonaisuuden (integroitu) suunnittelu on välttämätöntä
- passiivhaus-standardissa vaadittavat hyväksymisrajat
 - tilojen lämmitysenergiankulutus $< 15 \text{ kWh}/\text{m}^2 \text{ a}$
 - ilmanvuotoluku $n_{50} < 0,6 \text{ l/h}$
 - primäärienergiankulutus $< 120 \text{ kWh}/\text{m}^2 \text{ a}$

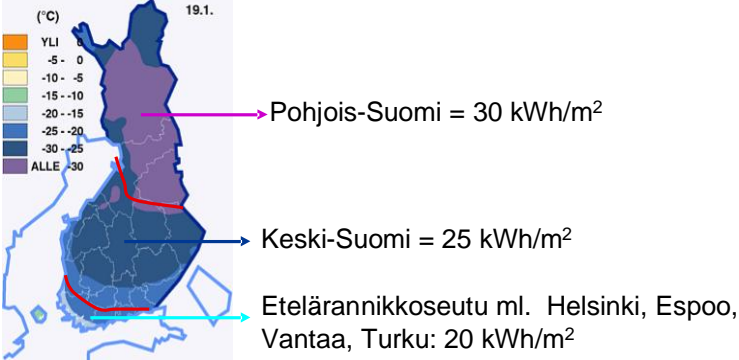
Passiivitalon muunnetut perusvaatimukset

Passiivitalon perusvaatimuksia sovelletaan ilmastosta ja maasta riippuen (Nieminen & Lylykangas, 2009).

Etelä-Euroopan lämpimässä ilmastossa rakennuksen sisätilojen viilennys kuluttaa tyypillisesti enemmän energiaa kuin rakennuksen lämmitys. Eteläisen Euroopan lämpimiin maihin on laadittu omat tavoitetasot IEE-ohjelman projektissa Passive On - Marketable Passive Homes for Winter and Summer Comfort.

Pohjois-Euroopan kylmässä ilmastossa rakennuksen sisätilojen lämmitys kuluttaa tyypillisesti enemmän energiaa kuin kansainvälisen passiivitalon lämmitys Keski-Euroopassa. Kolmen kylmimmän kaamoskuukauden aikana ei auringon valoa eikä säteilylämpöä saada lainkaan. Kovilla pakkasilla sisäiset lämpökuormat eivät riitä kattamaan lämpöhäviöitä.

VTT:n tutkijat laativat ehdotuksen suomalaisen passiivitalon määritelmästä Eurooppalaisessa IEE-ohjelman projektissa PEP – Promotion of European Passive Houses.

Alkuperäinen saksalainen määritelmä (Keski-, Itä- ja Länsi-Eurooppa)	Suomalainen määritelmä (Pohjoismaat 60° leveysasteen pohjoispuolella)
<p>Lämmitys- ja jäähdytysenergian tarve 15 kWh/m² Primäärienergian tarve 120 kWh/m²</p> <p>Etelä-Euroopan lämpimät ilmastot: Lämmitysenergian tarve 15 kWh/m² Jäähdytysenergian tarve 15 kWh/m² Primäärienergian tarve 120 kWh/m²</p>	<p>Lämmitys- ja jäähdytysenergian tarve 20 – 30 kWh/m² rakennuksen sijainnista riippuen (kuva 4) Primäärienergian tarve 120 - 140 kWh/m²</p>
<p>Kaikissa ilmastoissa rakennuksen ilmanvuotoluku $n_{50} < 0,6$ 1/h <u>Suositus:</u> Lämmitystehon tarve 10 W/m². Sovelletaan myös 60° pohjoispuolella</p>	
<div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>Pohjois-Suomi = 30 kWh/m²</p> <p>Keski-Suomi = 25 kWh/m²</p> <p>Etelärannikkoseutu ml. Helsinki, Espoo, Vantaa, Turku: 20 kWh/m²</p> </div> </div> <p><i>Kuva 4. Suomessa sovellettavat passiivitalon energiankulutusvaatimukset rakennuksen sijainnista riippuen.</i></p>	

Liite 2 Tilojen lisälämmitys ja lisäviilennys

Lisälämmitys

Ilmanvaihtolämmitys riittää yleensä yksinään hyvin suunnitellun passiivienergiatalon lämmittämiseen ja viilentämiseen. Huonosti suunnitelluissa taloissa ilmanvaihtolämmityksen lisäksi voidaan tarvita jonkinlainen yksinkertainen lisälämmitys.

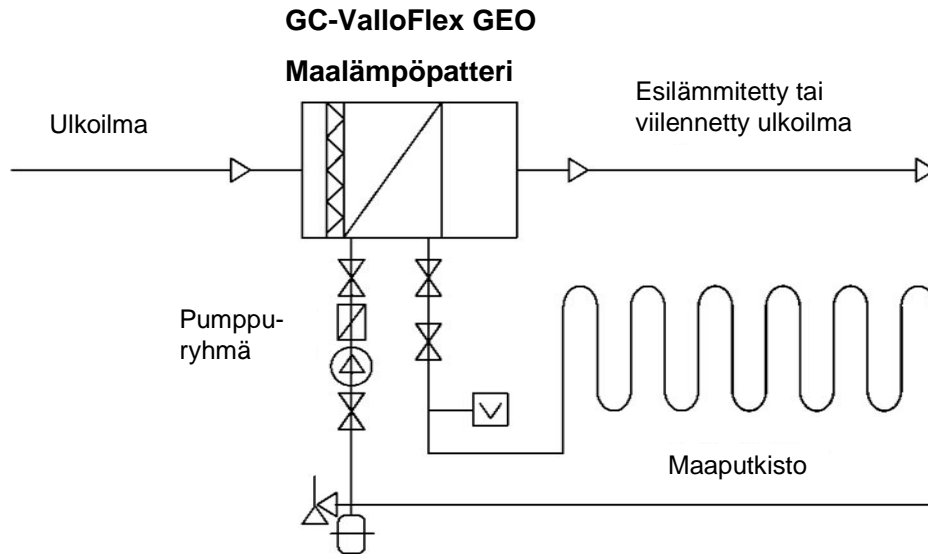
Yksikertaisimmillaan lisälämmitys on yksi sähkölämmityspatteri keskeisellä paikalla talossa. Vaihtoehtoisesti lisälämmitys voi olla esimerkiksi pieni pellettikamiina.

Lattialämmitystä voidaan käyttää lisälämmityksenä kovilla pakkasilla. Lattialämmitys voidaan toteuttaa sähkölämmityskaapeleilla, vesikiertoisena tai ilmalla. Mikäli halutaan hyödyntää epäjatkovaa lämmönlähdettä tai hyödyntää edullisempaa energiatariffia, kannattaa lattialämmitys asentaa massiiviseen lämpöä tehokkaasti varaavaan betonirakenteeseen. Lattialämmitys soveltuu huonosti passiivienergiatalon huonelämpötilan hallintaan leudommalla säällä, koska tarvittavat tehot ovat pieniä. Lisäksi talossa voi olla enemmän viilennystarvetta kuin lämmitystarvetta. Suurimman osan aikaa lattialämmitystä ei tarvita lämmittämiseen. Samasta syystä lattialämmitykseen liitetty lämpöpumppu toimii käytännössä pelkkänä käyttöveden lämmityslaitteena.

Ulkoilmasta lämpöä ottava lämpöpumppu ei sovellu tarvittavan lämmitystehon tuottamiseen huippupakkasilla, koska se ei tällöin toimi energiatehokkaasti. Huippupakkasilla sen energiatehokkuus saattaa olla jopa huonompi kuin suoralla sähkölämmityksellä.

Ulkoilman maalämpöpatteri

Maaperän viileyttä voidaan hyödyntää ulkoilman viilennyksessä nestekiertoisella maaputkistolla (kuva 1). Pumppu kierrättää kylmänestettä maaputkistossa. Maasta tuleva kylmä neste johdetaan ulkoilmakanavassa olevaan maalämpöpatteriin, joka kesällä viilentää sisäänotettavaa ulkoilmaa. Ilmanvaihtolämmitys puhaltaa viileän ulkoilman sisään taloon. Maalämpöpatterilla voidaan myös esilämmittää talvella sisäänotettavaa ulkoilmaa ja suojata lämmöntalteenottolaitetta jäätymiseltä.

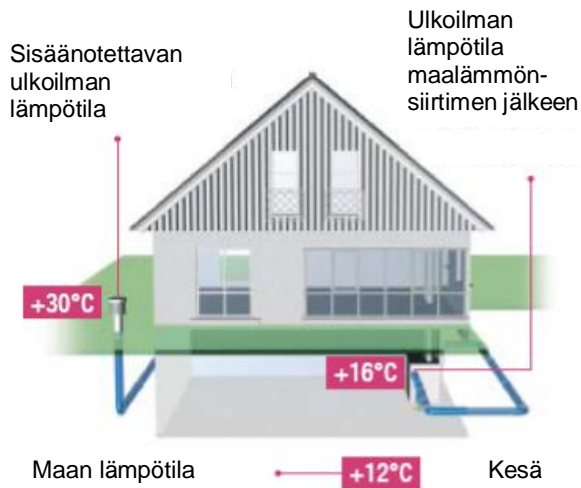


Kuva 1. Maalämpöpatterin kytkentäesimerkki. Kesällä maa viilentää ja talvella lämmittää ulkoilmapatterin maaputkistossa kiertävää lämmönsiirtonestettä. Ulkoilmapatteri siirtää maan viileyden tai lämmön tuloilmaan. Lähde: Heinemann GmbH ja Vallox Oy.

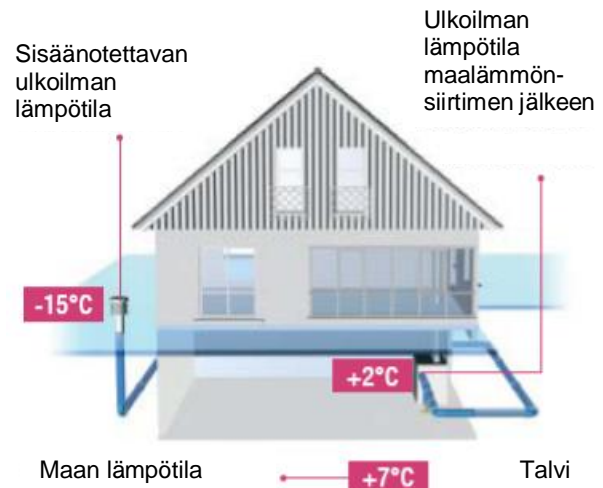
Ulkoilmakanava maalämmönsiirtimenä

Saksalaisen passiivitalon ilmanvaihtolämmitykseen kuuluu tyypillisesti maan energiaa hyödyntävä ja ulkoilman maalämmönsiirrinjärjestelmä (liite 1). Maalämmönsiirrinjärjestelmässä ulkoilma johdetaan esisuodatuksella varustetun ulkoilman sisäänottoyksikön kautta maakanavistoon ja sen kautta ilmanvaihtolämmityskoneeseen. Maakanavisto voidaan asentaa esimerkiksi talon ympärille (kuvat 2 ja 3). Maakanavisto on rakennettava huolellisesti ja sen on täytettävä erityisiä lujuus-, tiiviys- ja hygieniavaatimuksia saksalaisten ohjeiden VDI-Richtlinien 4640 ja VDI-Richtlinien 6022 mukaisesti. Kesällä ulkoilmaa voidaan viilentää (kuva 2). Maakanavisto voidaan tarvittaessa ohittaa ja ottaa ulkoilma suoraan ulkoa ilmanvaihtolämmityskoneeseen. Järjestelmällä voidaan myös esilämmittää talvella sisäänotettavaa ulkoilmaa ja suojata lämmöntalteenottolaitetta jäätymiseltä (kuva 3).

Maalämmönsiirrinjärjestelmällä voidaan vähentää rakennuksen energiankulutusta. Järjestelmällä voidaan pienentää ilmanvaihdon lämmitystarvetta ja vähentää jäähdytystarvetta pienellä puhallinsähkökulutuksen lisäyksellä.



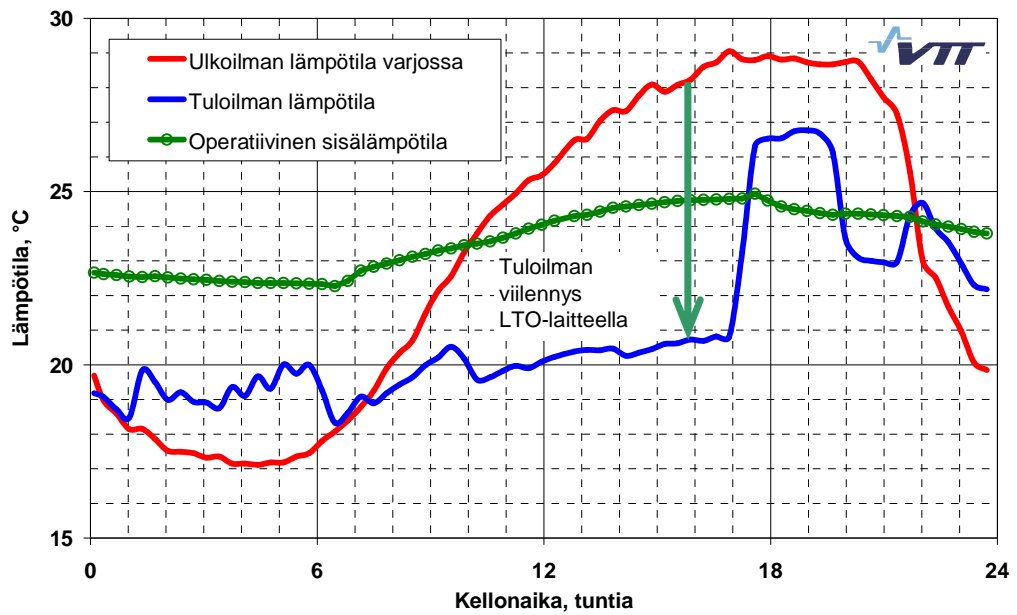
Kuva 2. Talon ympäri kiertävän maalämmönsiirrinjärjestelmän (Rehau Awadukt) toiminta kesällä. Maa viilentää sisään otettavaa lämmintä ulkoilmaa. Lähde: Rehau.



Kuva 3. Talon ympäri kiertävän maalämmönsiirrinjärjestelmän (Rehau Awadukt) toiminta talvella. Maa lämmittää sisään otettavaa kylmää ulkoilmaa. Lähde: Rehau.

Epäsuora kostutusjäähdytys

Tehostetulla epäsuoralla kostutusjäähdytyksellä voidaan kesähelteellä estää lämpimän ulkoilman pääsy sisälle lämmöntalteenottolaitetta ja poistoilman kostutusta hyödyntämällä (kuva 4). Ilmanvaihtolämmityksen poistoilman lämmöntalteenottolaitteen avulla ulkoilmaa viileämpi sisäilma jäähdyttää kesähelteellä sisään otettavaa lämmintä ulkoilmaa. Kostuttamalla poistoilmaa ennen lämmöntalteenottolaitetta poistoilman jäähtyminen tehostuu ja samalla tehostuu viileyden siirtyminen sisään otettavaan lämpimään ulkoilmaan.



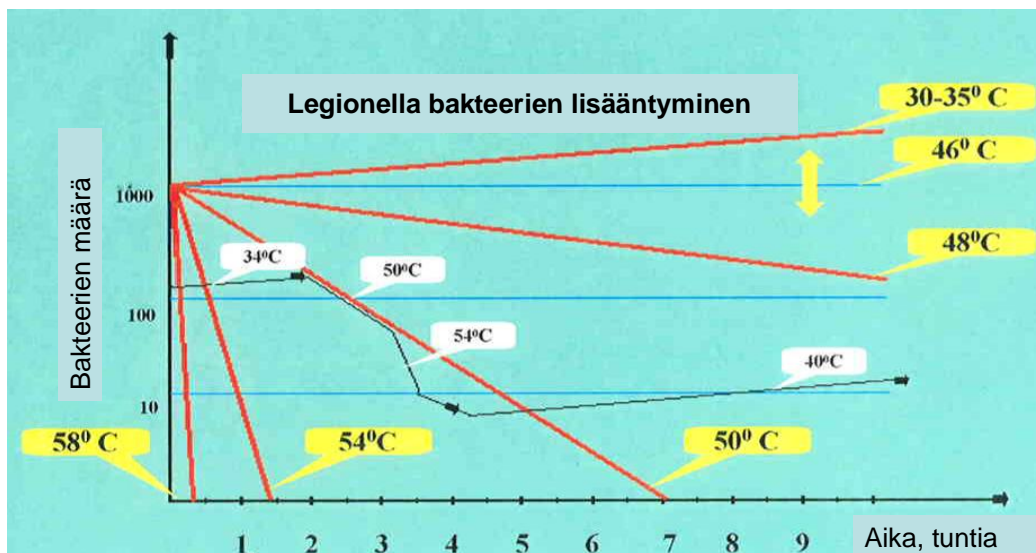
Kuva 4. Tehostetun epäsuoran kostutusjäähdytyksen mitattu toiminta kesähelteellä. Kostuttamalla poistoilmaa ennen lämmöntalteenottolaitetta poistoilma jäähtyy ja samalla tehostuu viileyden siirtyminen sisään otettavaan lämpimään ulkoilmaan.

Liite 3 Käyttöveden lisälämmitys

Käyttöveden lämmityksen hygieniavaatimukset

Aurinko- ja lämpöpumppulämmityksessä on otettava huomioon RakMk osan D1/2007 kohta 2.3.4.2, jonka mukaan vesijohdot asennetaan siten, että ne eivät joudu kosketuksiin aineiden (jätevesi, kylmäaine, glykoli) kanssa, jotka vuotamalla tai diffundoitumalla putken seinämän läpi voivat saastuttaa veden.

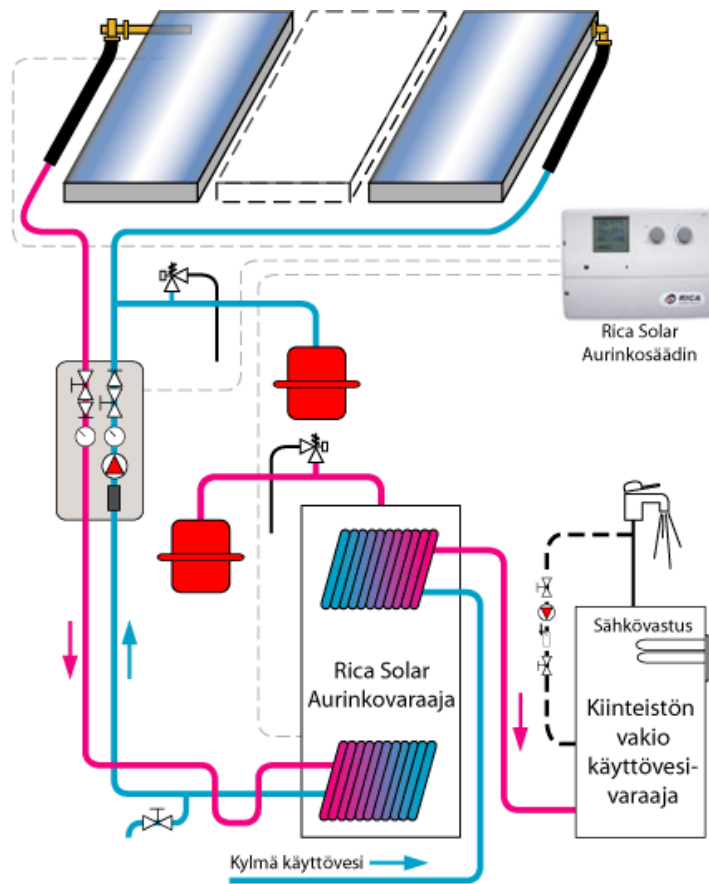
Rakentamismääräyskokoelman RakMk osan D1/2007 kohdan 2.3.8 mukaan lämminvesilaitteisto on suunniteltava ja asennettava siten, että veden lämpötila siinä on vähintään 55 °C. Tällä estetään vedessä olevien bakteerien lisääntyminen (kuva 1).



Kuva 1. Lämmin käyttövesi on pidettävä riittävän korkeassa lämpötilassa. Legionella bakteerit lisääntyvät lämpimässä käyttövedessä voimakkaasti jo muutamassa tunnissa, kun käyttöveden varaajan lämpötila on alhainen. Lähde: Danfoss.

Käyttöveden lämmitys aurinkolämmöllä

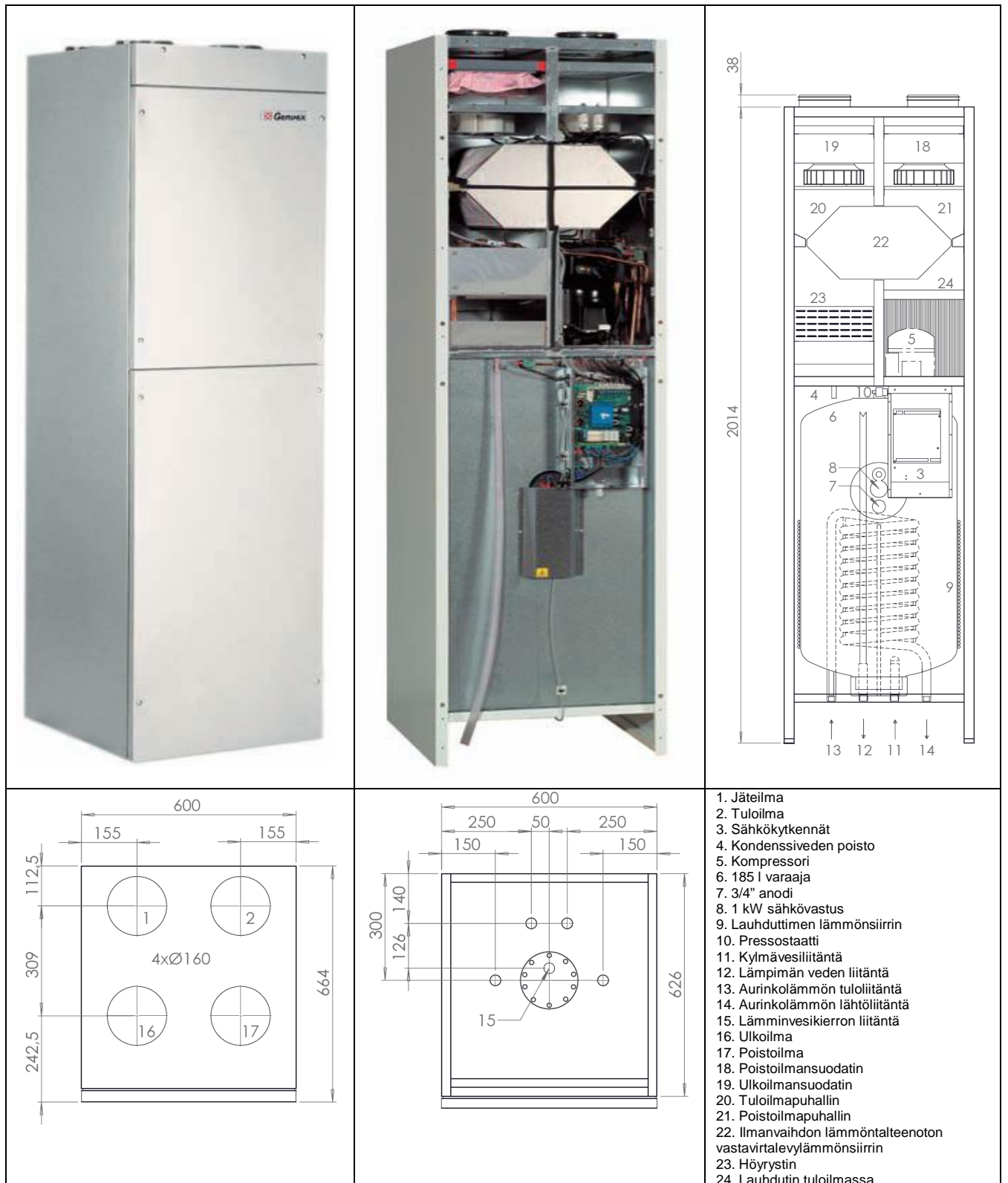
Kuvassa 2 on esimerkki aurinkolämmön lisäämisestä käyttöveden lämmitysjärjestelmään, jossa on sähköllä toimiva käyttövesivaraaja.



Kuva 2. Esimerkki aurinkolämmön lisäämisestä käyttöveden lämmitysjärjestelmään, jossa on sähköllä toimiva käyttövesivaraaja. Lähde: Riihimäen Metallikaluste Oy.

Käyttöveden lämmitys poistoilmalämpöpumpulla ja aurinkolämmöllä

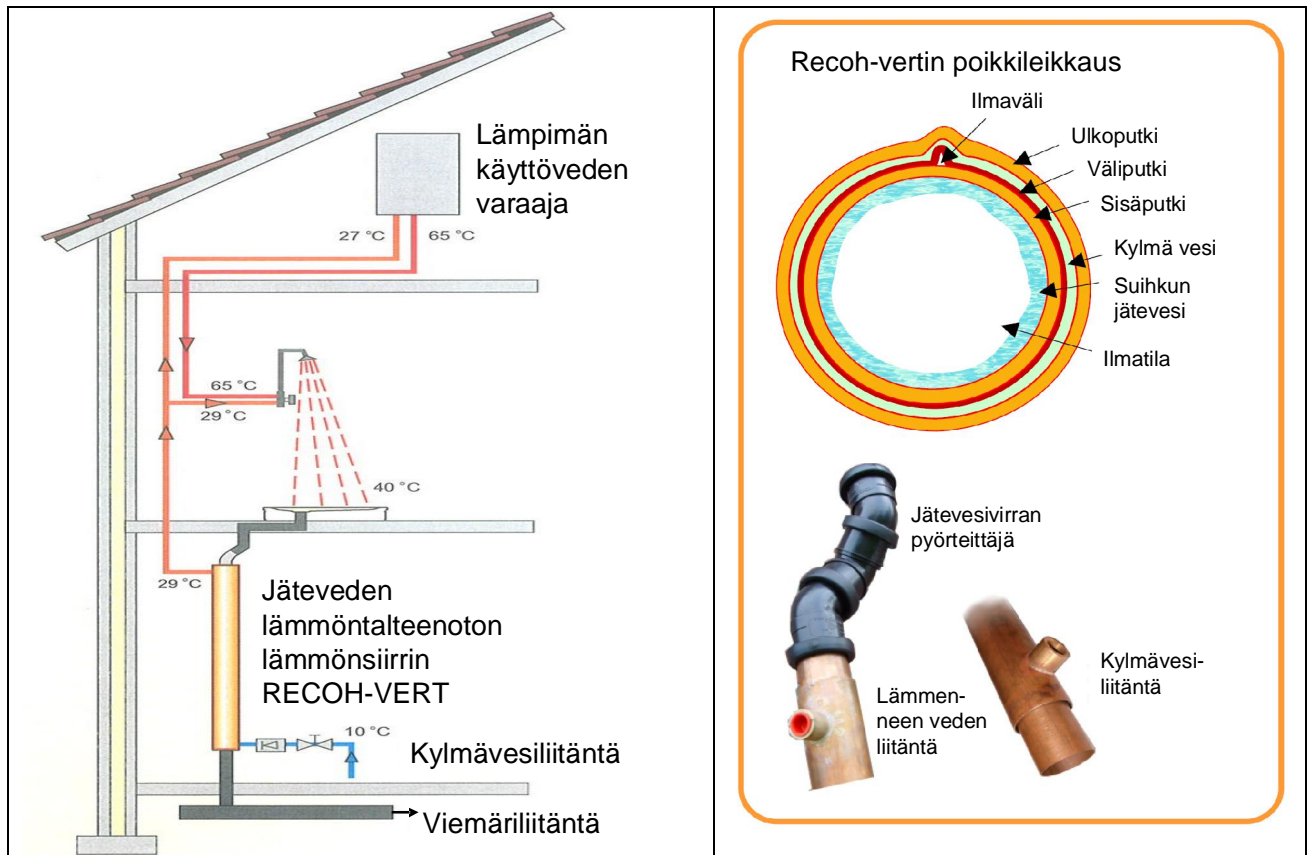
Kuvassa 3 on esimerkki passiivitalon kompaktista talotekniikkayksiköstä, jossa käyttövesivaraajaa voidaan lämmittää sähköllä, poistolämpöpumpulla ja aurinkolämmöllä.



Kuva 3. Esimerkki passiivitalon kompaktista talotekniikkayksiköstä (Genvex Combi). Poistoilmasta lämpöä otetaan talteen vastavirtalevyllämmönsiirtimellä, jolla lämmitetään tuloilmaa. Jäteilmasta otetaan lämpöä talteen lämpöpumpulla tuloilman ja lämpimän käyttöveden varaajan lämmittämiseen. Varaajassa on valmiina sähkölämmitysvastus ja lämmönsiirrin aurinkolämmön liittämistä varten. Lähde: Genvex ja Nord Energy.

Käyttöveden esilämmitys jätevedestä otetulla lämmöllä

Kuvassa 4 on esimerkkiratkaisu lämmöntalteenottamisesta viemäriin menevästä suihkuvedestä.



Kuva 4. Esimerkki lämmöntalteenottamisesta viemäriin menevästä suihkuvedestä. Kylmä käyttövesi esilämpenee lähes 20 °C viemäriin virtaavan lämpimän suihkuveden avulla. Kylmän veden lämpötilahyötysuhde on yli 60 %. Lähde: Hei-Tech b.v.