PASSIIVITALON LÄMMÖNJAKO-TAPOJEN VERTAILU

Mikael Murto

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2015
Talotekniikan koulutusohjelma
LVI- tekniikka

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutusohjelma
LVI- tekniikka

MURTO, MIKAEL:
Passiivitalon lämmönjakotapojen vertailu

Opinnäytetyö 30 sivua
Huhtikuu 2015

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää sopiva lämmönjakotapa rakenteilla olevaan pientaloon. Työssä keskityttiin vertailemaan lämmönjakotapoja passiivitalon sisäilman lämpöolojen pysyvyyden kannalta. Opinnäytetyössä selvitettiin yleisesti pientaloissa käytettyjä lämmönjakotapoja ja selvitettiin niiden soveltuvuutta matalaenergiarakentamiseen.

Työssä vertailtiin keskenään sähköistä patterilämmitystä ja lattialämmitystä, vesikiertoista patterilämmitystä ja lattialämmitystä sekä sähköistä ilmanvaihtolämmitystä. Vertailu tehtiin simuloimalla lämmönjakotapojen reagointinopeutta ulkolämpötilojen muutoksiin.

Opinnäytetyön johtopäätöksenä voidaan todeta, että lämmönjakotavan valinnalla ei ole suurta merkitystä passiivitalon lämpöolojen pysyvyyteen ulkoilman lämpötilan muuttuessa. Simuloinnissa huomattiin, että lämmönjakotavan reagointinopeuteen vaikuttaa lämmönjakotavan lämmönvarauskyky. Lämmönjakotavat reagoivat ulkolämpötilan muutoksiin sitä nopeammin mitä pienempi lämmönvarauskyky niillä on. Lisäksi huomattiin, että vesikiertoiset lämmönjakotavat reagoivat nopeammin kuin sähköiset lämmönjakotavat. Simuloinnissa erot lämmönjakotapojen välillä olivat erittäin pieniä.

Asiasanat: lämmönjakotapa, passiivitalo, patterilämmitys, lattialämmitys

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Building Services Engineering
HVAC engineering

MURTO, MIKAEL:
Comparision of heat distribution systems of passive house

Bachelor's thesis 30 pages
April 2015

The purpose of this thesis was to clarify a suitable heat distribution system into one-family house under construction. The thesis compared heat distribution systems by concentrating on stability of thermal conditions of indoor air in one-family houses and in a passive house.

This thesis presents generally used heat distribution systems and how these suit for passive house.

Each electric radiator heating, electric underfloor heating, water radiator heating, water underfloor heating and electric air heating in passive houses were compared. The comparison was made by simulating the reaction speed of the heat distribution systems to changes in the outdoor temperatures.

The conclusion of the thesis was that the choice of heat distribution system is not very important to the stability of thermal conditions of the passive house when the temperature of outdoor air changes.

It was noticed that the heat capasity of the heat distribution system affects the reaction speed of the heat distribution system The heat distribution system react the faster to the changes in the outdoor temperature the smaller its heat capacity is. Furthermore, it was noticed that water circulated heat distribution systems react faster than electrical heat distribution systems. In the simulation the differences between heat distribution systems were extremely small.

Key words: heat distribution system , passive house, radiator heating, underfloor heating

SISÄLLYS

1 JOHDANTO 6
2 TUTKIMUSKOHDE 7
3 MATALAENERGIARAKENNUKSET 9
4 LÄMMÖNJAKO 11
4.1 Lattialämmitys 11
4.1.1 Vesikiertoinen lattialämmitys 12
4.1.2 Sähköinen lattialämmitys 12
4.2 Patterilämmitys 13
4.2.1 Vesikiertoinen patterilämmitys 13
4.2.2 Sähköinen patterilämmitys 16
4.3 Ilmanvaihtolämmitys 17
5 LÄMMÖNJAKOTAPOJEN REAGOINTINOPEUDEN VARTAILU 21
5.1 Sähköinen patterilämmitys 23
5.2 Vesikiertoinen patterilämmitys 24
5.3 Sähköinen- ja vesikiertoinen lattialämmitys 25
5.4 Ilmanvaihtolämmitys 26
6 LOPPUPÄÄTELMÄT 28
LÄHTEET 29

ERITYISSANASTO

matalaenergiatalo	talo, jonka lämmityksen ja jäähdytyksen ostoenergian tarve 26-50 kWh/m2
passiivitalo	talo, jonka lämmityksen ja jäähdytyksen ostoenergian tarve alle 25 kWh/m2
energiatehokkuus	kuvaa jonkin tuottamiseen tarvittavan energian ja tuotetun tuotteen välistä suhdetta
lämpöolo	lämpöolo koostuu ilman lämpötilan, kosteuden ja virtausnopeuden sekä ympäröivien pintojen lämpötilojen yhteisvaikutusta
rakennuksen vaippa	tarkoittaa rakennuksen niitä rakennusosia, jotka erottavat rakennuksen lämmöneristetyt tilat ulkoilmasta, maaperästä tai lämmittämättömästä tilasta

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia, miten erilaiset lämmönjakotavat soveltuvat matalaenergia- ja passiivitaloihin. Opinnäytetyössä tullaan tarkastelemaan erilaisten lämmönjakotapojen ominaisuuksia, soveltuvuutta matalaenergiarakentamiseen ja niiden reagointinopeutta ulkolämpötilan vaihteluihin.

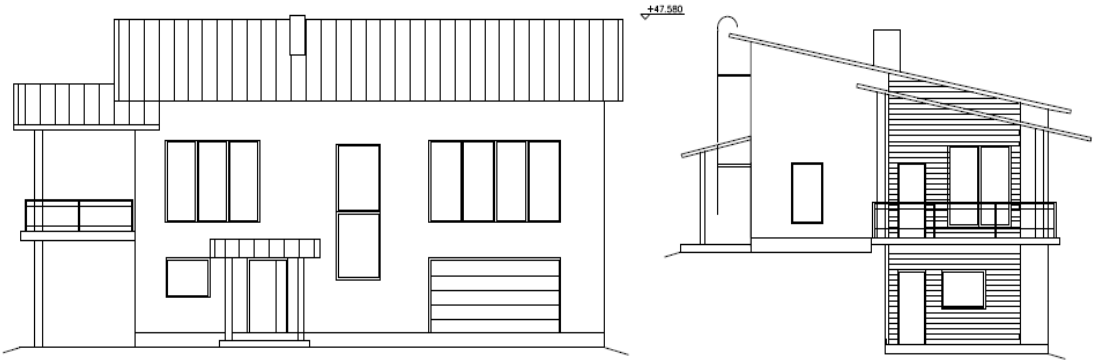
Lämmönjakotapojen reagointinopeutta ulkolämpötilan vaihteluihin simuloidaan Equan IDA Indoor Climate and Energy simulointiohjelmistolla. Simulointiohjelmistolla mallinnetaan passiivitalon sisäilman lämpötilan käyttäytymistä talviolosuhteissa.

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää Lietoon rakennettavaan passiivitaloon parhaiten soveltuva lämmönjakotapa. Lämmönjaon kriteerejä ovat energiatehokkuus ja käyttömukavuus.

2 TUTKIMUSKOHDE

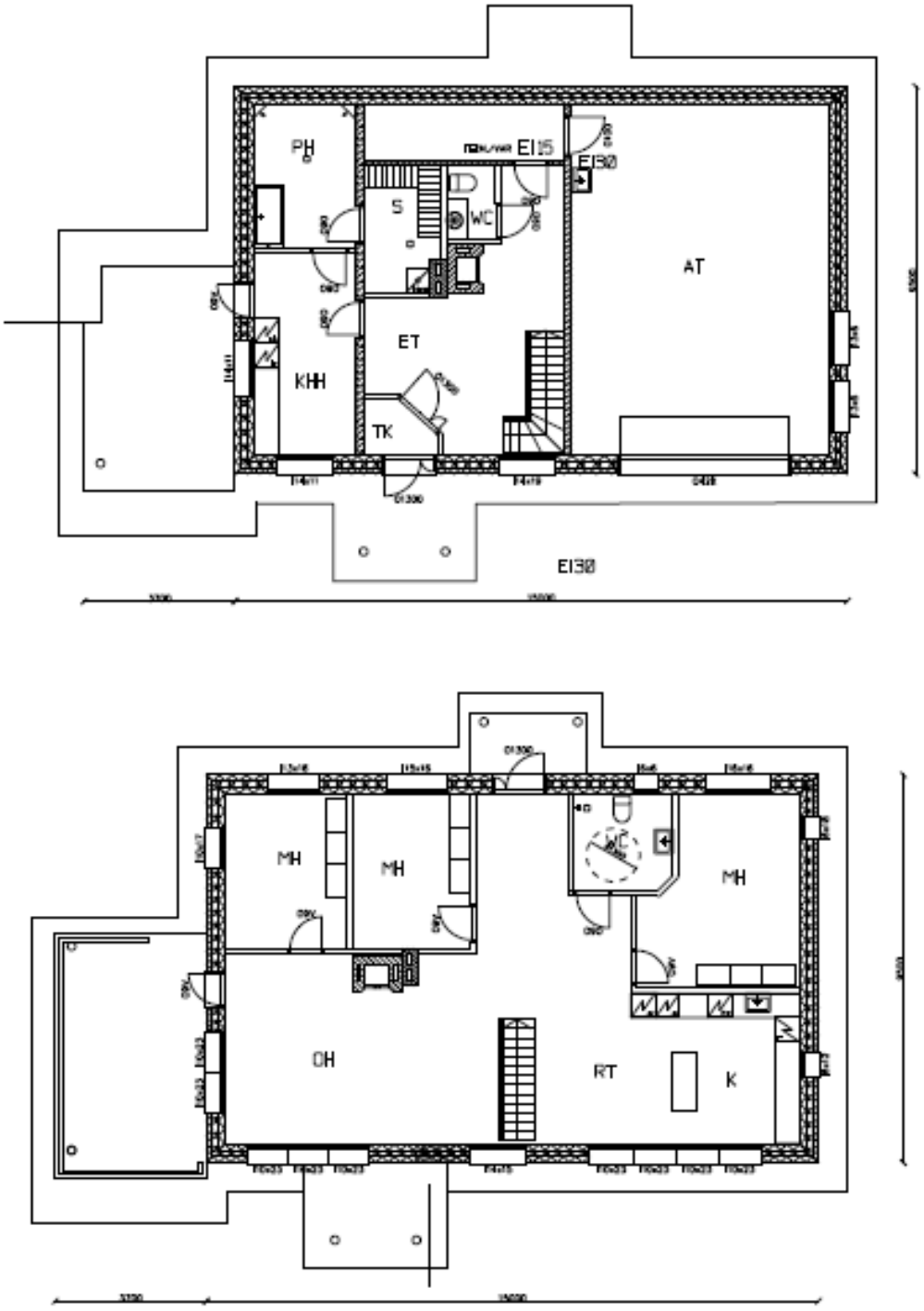
Tutkimuskohde on omakotitalo, jota rakennetaan Liedon Nenämäessä sijaitsevalle tontille. Rakennuksen kerrosala on 151 m2 ja kokonaisala on 285 m2.

Talo on pulpettikattoinen rinnetalo, joka rakennetaan jyrkkään rinteeseen. Talon kellarikerrokseen rakennetaan autotalli, peseytymisosasto ja muita asumisen aputiloja. 1. kerrokseen rakennetaan varsinaiset asuintilat. Keittiö, ruokailutila ja olohuone muodostavat yhteisen avaran oleskelutilan. Kuvassa 1 nähdään talon julkisivupiirustukset etelään ja länteen. (Arkkitehtisuunnitelmat)



Kuva 1 Talon julkisivu etelään ja länteen (Arkkitehtisuuunnitelmat)

Kohteen suunnittelussa on kiinnitetty erityistä huomiota arkkitehtuurin sopivuuteen jyrkkään rinteeseen sekä asumismukavuuteen. Olohuoneen ja keittiön suuri ikkunapinta-ala tuo haasteellisuutta lämpöolojen hallintaa. Suunnittelussa on tavoiteltu myös rakennuksen mahdollisimman pieniä ylläpitokustannuksia. Ylläpitokustannuksien pienentämiseksi suunnittelussa on panostettu rakennuksen vaipan ja LVI-tekniikan energiatehokkuuteen. Suunnittelun lähtökohtina on ollut myös asumisen mukavuus ja käytännöllinen pohjaratkaisu. Kuvassa 2 nähdään kohteen pohjapiirustukset.



Kuva 2 Pohjapiirustukset kellari (ylempi) ja 1. kerros (alempi) (Arkkitehtisuunnitelmat)

3 MATALAENERGIARAKENNUKSET

Matalaenergiarakennuksilla tarkoitetaan rakennuksia, joiden energiatehokkuus on selvästi nykyisiä vaatimuksia parempaa. Rakennusten parempaan energiatehokkuuteen ohjaa tavoitteet kokonaisenergiakulutuksen vähentämisestä. Energiapalveludirektiivi velvoittaa vähentämään kokonaisenergiankulutusta 9 % vuoteen 2016 mennessä verrattuna vuoteen 2008. Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi velvoittaa 31.12.2020 jälkeen rakennettavien rakennusten olevan lähes nollaenergiarakennuksia. Uusilla julkisilla rakennuksilla direktiivi tulee voimaan jo 31.12.2018. (Euroopan unionin virallinen lehti; Motiva)

Matalaenergiarakentaminen perustuu kokonaisvaltaiseen rakennuskonseptiin. Rakennusten energiatehokkuus saavutetaan arkkitehtuuriratkaisujen sekä rakenne- ja talotekniikkajärjestelmien yhteistoiminnan tuloksena. Matalaenergiarakentamisessa voidaan erottaa kaksi energiatehokkuuden tavoitetasoa eli kaksi erilaista rakennuskonseptia: matalaenergiatalo ja passiivitalo. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 9-10)

Matalaenergiatalo on nykyistä normitaloa selkeästi energiatehokkaampi ja hyvällä suunnittelulla usein toteutettavissa varsin pienillä lisäkustannuksilla, mikä maksimoi käytettävien ratkaisujen kustannustehokkuuden. Matalaenergiatalossa tilojen lämmitys- ja jäähdytysenergian ostoenergian tarve on väliltä 26-50 kwh/m2 vuodessa. Matalaenergiatalon rakennuksen vaipalle ja ilmanvaihtojärjestelmälle on myös annettu erilaisia suunnittelun ohjearvoja, joita on esitetty taulukossa 1.(D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma; Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 10, 12, 34)

Passiivitalo on energiatehokkuudessa pisimmälle viety konsepti, jossa muun muassa erittäin tehokkaasti eristävällä ulkovaipalla ja lämmön talteenotolla saadaan lämmitysenergian kulutus hyvin alhaiseksi ja on mahdollista yksinkertaistaa tilojen lämmönjakojärjestelmää esimerkiksi ilmanvaihtolämmitystä käyttäen. Passiivitalon kustannusrakenne on erilainen kuin tavallisissa rakennuksissa. Rakenneosat, lämmöntalteenotto, aurinkosuojaukset ynnä muut vaativat lisäpanostusta. Nämä katetaan ensisijaisesti yksinkertaisemmalla ja siksi edullisemmalla lämmönjakojärjestelmällä ja lämmitysenergian säästöllä sekä myös rakennuksen jälleenmyyntiarvon nousulla. Passiivitalon tilojen lämmitys- ja

jäähdytysenergian ostoenergian kulutus on alle 25 kwh/m2 vuodessa. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 10, 12)

TAULUKKO 1. Rakennuksen vaipan ja ilmanvaihtojärjestelmän ohjearvoja

Tekninen tekijä	Normitalo RakMK C3, 2010	Matalaenergiatalo	Passiivitalo
U-arvot, W/m2K:			
- alapohja maanvastainen	0,16	0,12	0,10
- alapohja ryömintätilaan	0,17	0,10	0,08
- alapohja ulkoilmaan	0,09	0,08	0,08
- ulkoseinä	0,17	0,12	0,08-0,10
- yläpohja	0,09	0,08	0,07
- ikkunat	1,0	0,8	0,7/0,8
- ovet	1,0	0,8	0,5
Vaipan ilmanvuotoluku n50, 1/h	2,0	< 0,8	< 0,6
Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde %	>45	>70	>80
Ilmanvaihdon ominaissähköteho, kWh/m3s	< 2,0	< 2,0	< 1,5

Erittäin energiatehokkaita rakennuksia voidaan myös lajitella nollaenergiataloihin ja plusenergiataloihin. Nollaenergiataloissa kiinteistössä vuositalolla tuotetun uusiutuvan omaenergian määrä vastaa kiinteistön kokonaisenergian kulutusta, jolloin ostoenergia on 0 kWh/m2 vuodessa. Plusenergiataloissa kiinteistössä vuositasolla tuotetun uusiutuvan omaenergian määrä ylittää kiinteistön kokonaisenergian kulutuksen, jolloin kiinteistö voi vuositasolla myydä energiaa. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 30)

4 LÄMMÖNJAKO

4.1 Lattialämmitys

Lattialämmityksessä rakennusta lämmitetään lattiassa kiertävillä lämmitysputkilla tai lämmityskaapeleilla. Lattialämmitystä voidaan käyttää myös kuivatukseen ja viihtyvyyden lisäämiseen kosteissa tiloissa yhdessä esimerkiksi patterilämmityksen kanssa. (Rakennustieto, 2006,)

Lattialämmitystä voidaan kutsua myös säteilylämmitykseksi, koska säteilylämmönsiirron osuus kokonaislämmönsiirrosta on suuri. Lattialämmityksessä säteilylämmönsiirron osuus on 50-60%. Lattialämmityksen etuna patterilämmitykseen verrattuna on se, ettei niissä ole erillisiä näkyviä lämmönluovuttimia, joiden sijoittaminen saattaa olla joskus vaikeaa. Lattialämmityksessä lämmönsiirtopinta on suuri, joten pinnan lämpötila ei tarvitse olla niin korkea kuin pienipintaisissa patterilämmityksessä. Tämän johdosta lämmityksessä voidaan helpommin hyödyntää matalalämpöistä lämpöenergiaa kuten maalämpöä tai aurinkolämpöä. (Seppänen, 2001, 182)

Matalaenergiatalon lattialämmityksessä lattian pintalämpötila on talvella vain noin 1 aste huoneilmaa lämpimämpi, kovillakin pakkasilla vain 2-3 astetta. (Saari, 2006)

Lattialämmitys toteutetaan lattiaan asennettavilla lämmityskaapeleilla tai vesikiertoisilla lämmitysputkilla, joista siirtyvä lämpö siirtyy lattian kautta huonetilaan. Lattialämmitys on lämpöä varaavan luonteensa takia säätöominaisuuksiltaan hitaampi kuin patterilämmitys tai ilmalämmitys. Siksi lattialämmitys on yleinen kosteissa tiloissa, kuten saunoissa ja pesuhuoneissa, joissa lämmin lattia antaa miellyttävän lämpömukavuuden. Näissä tiloissa ehdottoman tarkka lämpötilansäätö ei ole välttämätöntä (Rakennustieto, 2006)

4.1.1 Vesikiertoinen lattialämmitys

Lämmintä vettä kierrätetään lattiaan asennetuissa putkissa. Putkisto tehdään asennustapaan soveltuvasta muoviputkesta siten, ettei lattian sisään jää liitoksia. Jokainen huone varustetaan yleensä omalla putkilenkillään, jotka yhdistetään jakotukissa. Lenkit varustetaan omalla säätimellä. (Rakennustieto, 2006)

Lattialämmitysputkisto voidaan tehdä teräksestä, kuparista tai muovista. Muoviputkien käyttö on yleisintä. Muoviputkien on oltava sellaisia, etteivät ne läpäise happea. Teräs- ja kupariputkia ei koskaan asenneta ilman suojapinnoitetta betonivaluun. (Seppänen, 2001, 182)

Vesikiertoinen lattialämmitys on liitettävä lämmitysverkostoon. Lattialämmityksen mitoittamisessa käytetään yleensä menoveden lämpötilana 35 °C ja paluuveden lämpötilana 30 °C. Viihtyvyyssyistä lattian pintalämpötila ei saisi ylittää 29 °C. Käyttövesiverkostoon lattialämmitystä ei tule liittää, sillä käyttöveteen liitetty lattialämmitys alentaa lämpimän käyttöveden lämpötilaa mahdollistaen legionellabakteerin esiintymisen, myös käyttöveden lämpötilan ohjearvon alaraja 55 °C on lattialämmitykseen liian korkea. Vesikiertoisen lattialämmityksen lämmöntuotantomuodoksi soveltuu mikä tahansa lämmitysmuoto. Lattialämmitystä voidaan käyttää yksinään rakennuksen lämmönjakotapana tai se voidaan yhdistää muiden lämmönjakotapojen kuten patterilämmityksen rinnalle. Betonilattiassa lattialämmitysputket asennetaan noin 40 mm syvyyteen mitattuna lattian pinnasta putken keskelle. (Energiateollisuus, 2014; Seppänen, 2001, 183)

4.1.2 Sähköinen lattialämmitys

Sähköisessä lattialämmityksessä lattiaa lämmitetään lattiaan asennettavilla sähöisillä lämmityskaapeleilla. Lattialämmityskaapeleilla voidaan hyödyntää laatan lämmönvarauskykyä ja käyttää halvempaa yösähköä.(Rakennustieto, 2001)

Jatkuvatoiminen lattialämmitys on päällä vuorokauden ympäri termostaatin ohjaamana. Ratkaisu sopii tiloihin, joissa lattiapäällyste luovuttaa lämmön nopeasti huoneeseen. Tällaisia lattiamateriaaleja ovat klinkkeri tai muovimatto. Puurakenteisen lattian ja kipsilevylattioiden lämmitystä käytetään aina jatkuvatoimisena. (Motiva)

Osittain varaavassa lattialämmityksessä betonilaatta lämmitetään edullisemman yösähkön aikaan. Sitä voidaan täydentää vaikka patterilämmityksellä tai ilmalämmityksellä. Lattiamateriaaliksi valitaan hitaasti lämpöä luovuttava materiaali, kuten parketti. Täysin varaavia eli pelkästään yösähkön aikana toimivia lattialämmitysratkaisuja ei kannata tehdä huonon säädettävyyden takia. Varaavuus myös lisää aina energiankulutusta.
Lattialämmitystä säädetään huonekohtaisilla termostaateilla. Lattiatermostaatti pitää lattian lämpötilan tietyllä tasolla. Lattiatermostaatti soveltuu hyvin esimerkiksi pesutilojen lattialämmityksen säätöön. Huonetermostaatti säätää lattialämmitystä huoneilman lämpötilan mukaan. Huonetermostaatti sopii oleskelutilojen lattialämmityksen säätöön (Motiva)

4.2 Patterilämmitys

Patterilämmityksessä tilaa lämmitetään seinälle asennetulla patterilla. Patterit sijoitetaan yleensä ulkoseinälle ikkunan alle sekä esteettisistä syistä, että vähentämään mahdollista vedon tunnetta ja parantamaan lämpötilan tasaisuutta (Seppänen, 2001, 119)

4.2.1 Vesikiertoinen patterilämmitys

Vesikiertoisessa patterilämmityksessä kierrätetään kiertovesipumpun avulla lämmitysverkostossa vettä, jonka menovesi lämmittää lämmityspattereita eli radiaattoreita. Kuvassa 3 nähdään esimerkki yleisesti käytetyistä lämmityspattereista, jotka luovuttavat huoneisiin tarvittavan määrän lämpöä. Lämmityspattereilta vesi palaa jäähtyneenä takai-

sin lämmönlähteelle. Lämmitysverkostoon menevän menoveden lämpötilaa ohjataan ulkoilman lämpötilan mukaan säätökäyrän avulla. Lämmitystehoa säädetään siis lämmitystarpeen mukaan muuttamalla lämmitysverkkoon menevän veden lämpötilaa. (Motiva)

Kuva 3 Vesikiertoinen patteri, (Purmo)

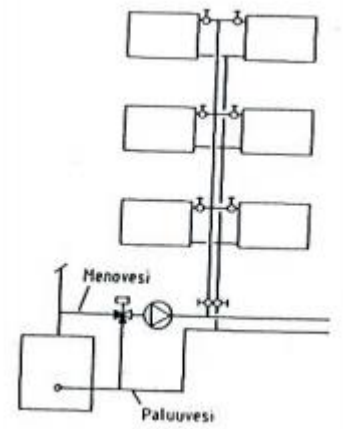
Kaukolämpörakennuksessa patteriverkoston mitoituksessa on perinteisesti käytetty menoveden lämpötilana 70 °C ja paluuveden lämpötilana 40 °C. Energiateollisuuden rakennusten kaukolämpö määräysten mukaan uudisrakennusten patteriverkosto suositellaan mitoitettavaksi menoveden lämpötilalla 45 °C ja paluuveden lämpötilalla 30 °C.
Patterille menevän veden massavirta määräytyy tarvittavan lämpötehon ja lämmönluovuttimen meno ja paluuveden lämpötilaeron avulla. Se saadaan kaavasta 1.

$$q_m = \frac{\emptyset}{c_p \cdot \Delta T} \tag{1}$$

Kaavassa 1 q_m on massavirrata (l/s), $\emptyset$ on lämpöteho (kW), c_p on veden ominaislämpökapasiteetti (4,2 kJ/kgK) ja ΔT on meno ja paluuveden lämpötilaero (°C).
Lämpötilaerotus on siis ratkaiseva veden massavirran ja putkien mitoituksen kannalta. Mitä suurempi lämpötilaero on, sitä pienemmäksi tulevat vesivirta ja putket. (Energiateollisuus, 2014; Seppänen 2001, 119-120)

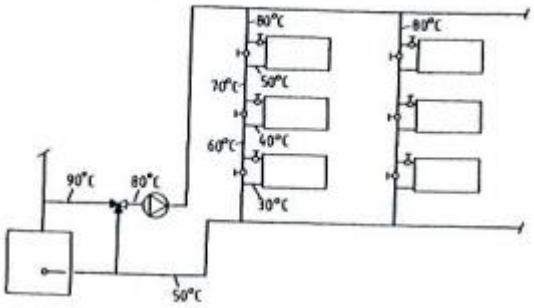
Lämmityspattereiden putkikytkennät voidaan tehdä monella eri tavalla. Yleisesti käytössä on kaksiputkikytkentä, yksiputkikytkentä ja jakotukkijärjestelmä. Yleinen tapa on

kytkeä lämmönluovuttimet lämmitysverkostoon rinnan, jolloin kyseessä on kaksiputkikytkentä. Tällöin kaikkiin lämmönluovuttimiin johdetaan saman lämpöistä vettä. Kuvassa 4 nähdään malli 2- putki järjestelmästä. *(* Seppänen, 2001, 120-121)



Kuva 4 Periaatekuva 2-putki kytkennästä (Seppänen, 2001, 121)

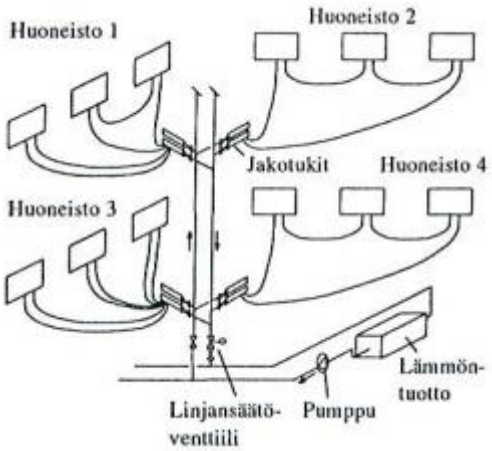
Lämmönluovuttimet voidaan kytkeä myös sarjaan. Tällöin koko vesivirta ei yleensä kulje kaikkien pattereiden kautta, vaan ainoastaan osa virrasta kierrätetään lämmönluovuttimen kautta. Kuvassa 5 nähdään malli 1- putkikytkennästä. Oleellinen ero kaksiputkikytkentään verrattuna on se, että pattereiden meno- ja paluuveden lämpötila vaihtelee patterin sijainnista riippuen. Jokaiselle patterille tuleva putki toimii samalla meno- ja paluuveden kuljettamiseen. *(* Seppänen, 2001, 121)



Kuva 5 Periaatekuva 1-putki kytkennästä (Seppänen, 2001, 121)

Lähinnä pientaloihin ja asuinkerrostaloihin tarkoitetussa jakotukkijärjestelmässä patterit liitetään runkoverkostoon keskitetysti jakotukilla. Kuvassa 6 nähdään malli jakotukkikyt-

kennästä. Kerrostalossa asuntokohtaisen lämmönkulutuksen mittaaminen on mahdollista, kun asunnon kaikki patterit on liitetty samassa kohtaan runkoverkostoon.(Seppänen, 2001, 123)



Kuva 6 Periaatekuva jakotukkikytkennästä (Seppänen, 2001, 123)

Patterissa kiertävä vesivirta säädetään sopivaksi patteriventtiilin avulla. Venttiili on yleensä kaksitoiminen. Vesivirtojen perussäätö suoritetaan esisäätöosalla. Sen toiminta vastaa periaatteessa linjasäätöventtiilin toimintaa. Haluttu painehäviö saadaan aikaan venttiilin esisäätöä muuttamalla. Varsinainen säätö tapahtuu säätöosalla, joka liikkuu venttiilin pesään liitetyn termostaatin tai käsisäätöpyörän voimalla. Tavallisesti patteritermostaatin suhteellinen poikkeama on 2 °C. Tämä tarkoittaa sitä, että patteritermostaatti sulkee patteriventtiilin kokonaan kun huoneen lämpötila nousee 2 °C yli asetuslämpötilan. Pattereiden paluuliitännässä käytetään erillistä sulkutulppaa. Sen avulla patteri voidaan irrottaa ilman verkoston tyhjentämistä. (Seppänen, 2001, 144-145; Danfoss)

4.2.2 Sähköinen patterilämmitys

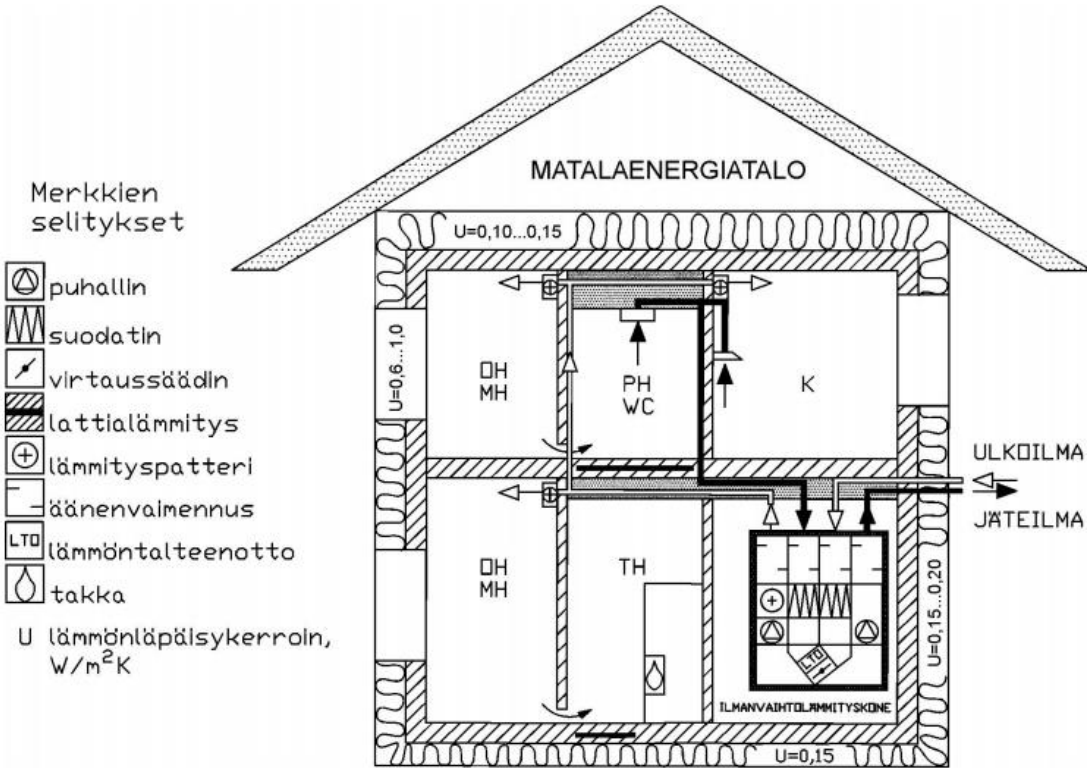
Seinällä oleva sähköinen lämmityspatteri luovuttaa lämpöä huoneeseen sekä säteilynä, että konvektiolla. Kuvassa 7 nähdään malli yleisesti käytetystä sähköpatterista. Patterit sijoitetaan yleensä ikkunoiden alle, missä ne parhaiten poistavat vetoa. Helpon asennettavuuden takia ne sopivat erityisen hyvin peruskorjauskohteisiin ja vähän lämmitysener-

giaa vaativiin kohteisiin, joihin ei haluta asentaa kallista lämmitysjärjestelmää. Sähköpattereihin perustuva lämmitysjärjestelmä estää tehokkaasti tarpeettoman liikalämmittämisen. Lämmityspatterit kuluttavat sähköä ainoastaan silloin, kun tilaan tarvitaan lisää lämpöä. Sähkölämmitysjärjestelmä reagoi nopeasti lämmitystarpeen vähenemiseen silloin, kun esimerkiksi takkaan laitetaan tuli tai ruuanlaiton yhteydessä uunista tulee lisälämpöä keittiöön. Sähköpattereiden termostaattien mittaustarkkuus on yleisesti 0,1 °C-0,5 °C. Elektroniset termostaatit ovat tarkempia kuin mekaaniset termostaatit. Hyvän säädettävyyden takia nopeasti reagoiva sähkölämmitys on erityisen hyvin matalaenergiataloihin. (Energiateollisuus; Ensto)

Kuva 7 Sähköpatteri, (Rakentaja.fi)

4.3 Ilmanvaihtolämmitys

Ilmanvaihtolämmityksessä tilat lämmitetään puhaltamalla tilaan ylilämpöistä ilmaa. Ilmanvaihtolämmityksessä lämmönjakoon käytetään lämmöntalteenotolla varustettua tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmää. Tuloilmavirrat mitoitetaan ilmanvaihdon tarpeen mukaan. Kuvassa 8 nähdään esimerkki yksinkertaisesta ilmanvaihtolämmitysjärjestelmästä.(Motiva)



Kuva 8 Esimerkki yksinkertaisesta ilmanvaihtolämmityksestä (Mikko Saari, 2006)

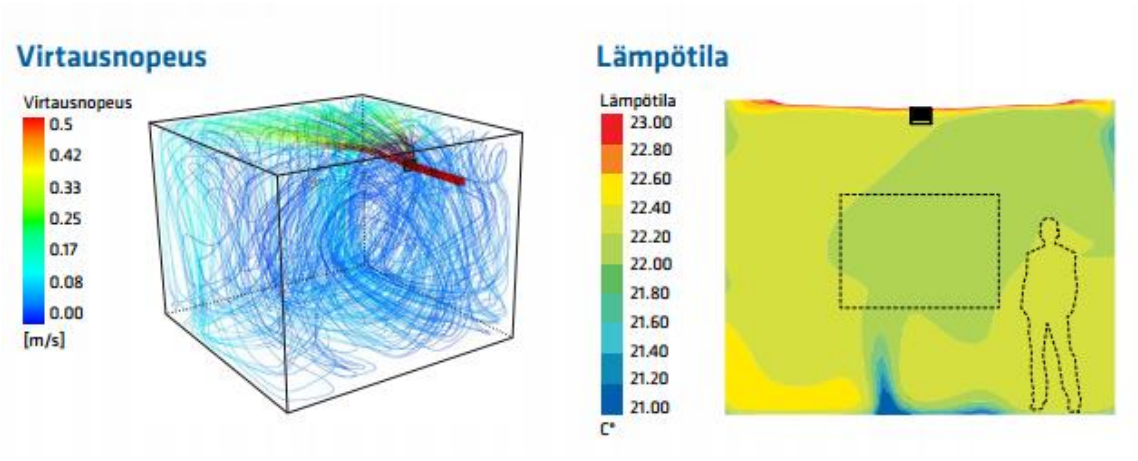
Huoneisiin puhallettava tuloilma lämmitetään ensin keskitetysti ilmanvaihtokoneessa. Lämmitykseen voidaan käyttää mitä tahansa lämmönlähdettä. Tuloilman päätelaitteen sisältämä lämmityselementti hienosäätää tuloilman lämpötilaa huonekohtaisesti. Vedottomuus kannattaa varmistaa jo rakennusvaiheessa pienentämällä rakennuksen vaipan lämpöhäviöitä, ei lisäämällä lämmitystehoa. Ilma jaetaan yläjakoisesti eli seinään tai kattoon sijoitetusta päätelaitteesta. Tilat, joihin tuodaan tuloilmaa lämmitetään ilmanvaihtolämmityksellä ja tilat, joissa on vain poistoilma, voidaan tarvittaessa lämmittää patterilla tai lattialämmityksellä. (Motiva)

Matala- tai passiivienergiatalossa, jossa lämmitysenergian kulutus on pientä ei välttämättä tarvitse asentaa lämmönjakojärjestelmää pattereilla tai lattialämmityksellä. Lämmönjako voidaan yhdistää ilmanvaihtojärjestelmään, jolloin se on kustannustehokas ratkaisu. Ilmanvaihtolämmitys on myös hyvin nopeasti reagoiva lämmönjakojärjestelmä, jolloin lämmitys mukautuu nopeasti huoneen lämpötilassa tapahtuviin muutoksiin. (Saari, 2006)

Toteutetuissa matalaenergiataloissa tilojen lämmitystarve mitoituslämpötilassakin vain 30 W/m2, kun se tavanomaisessa talossa vähintään 60 W/m2. Kun ulkoilman lämpötila

on -10 °C, matalaenergiatalon lämmittämiseen riittää 10 W/m2 lämmitysteho. Tämä vastaa kahden ihmisen makuuhuoneessa tuottamaa lämpötehoa. Etelä-Suomessa tätä kylmempää on keskimäärin vain kolme viikkoa vuodessa. kuva (Pietarinen & Saari, 1999)

Lämmin tuloilma jaetaan huoneeseen tuloilman päätelaitteella. Tuloilman päätelaitteen tulee olla tehokkaasti huoneilmaa tuloilmaan sekoittava. Kuvassa 9 nähdään simulaatio ilman sekoittumisesta huoneeseen. Ilman sekoittuminen edellyttää päätelaitteen riittävää paine-eroa(vähintään 30-50 Pa). (Saari, Laine 2009)



Kuva 9 Esitys lämpimän tuloilman sekoittumisesta ja lämpötilan jakautumisesta huoneessa (Climecon)

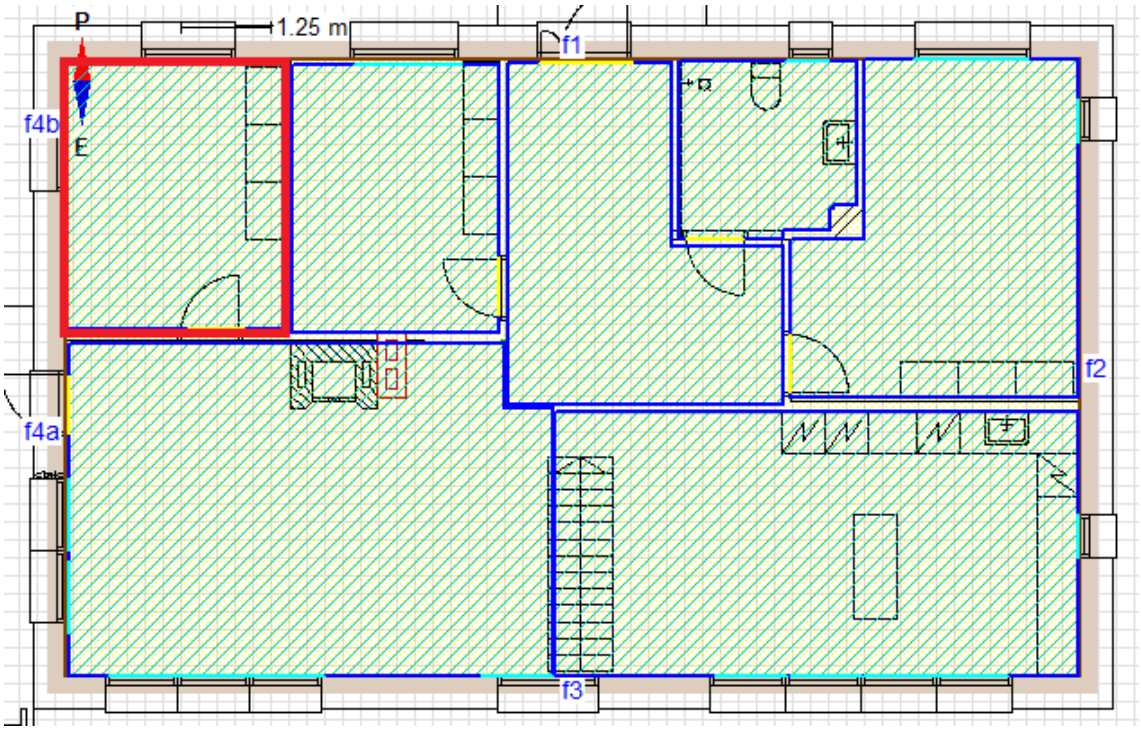
Tyypillisiä ilmanvaihtolämmitykseen sopivia huoneilmaa sekoittavia päätelaitteita ovat tuloilmalaitteet, joissa puhallus tapahtuu pienistä rei'istä tai suuttimista. Kuvassa 10 nähdään ilmanvaihtolämmitykseen tarkoitettu tuloilmaventtiili. Tavalliset tuloilmasäleiköt ja lautasventtiilit eivät sovellu ilmanvaihtolämmityksen tuloilmalaitteiksi. Kun tuloilman päätelaite sekoittaa tehokkaasti huoneilmaa puhallussuihkuun, saadaan aikaan tasainen huonelämpötila. Puhallussuihkun lämpötila on jo metrin etäisyydellä lähellä huonelämpötilaa, vaikka tuloilman lämpötila olisi jopa 50 °C. Sekoittavalla päätelaitteella ei tapahdu huoneilman lämpötilan haitallista kerrostumista. (Saari, Laine 2009)

Kuva 10 Kuva ilmanvaihtolämmitykseen tarkoitetusta päätelaitteesta (Climecon)

Tuloilman jäähtyminen tulee estää niin, että ilman jäähtyminen kanavistossa on enintään 3 °C. Tuloilma kanavat tulee olla eristetty. (Saari, Laine 2009)

5 LÄMMÖNJAKOTAPOJEN REAGOINTINOPEUDEN VARTAILU

IDA Indoor Climate and Energy (IDA-ICE) ohjelmistolla simuloidaan rakennuksen sisäilmaston käyttäytymistä erilaisissa tilanteissa. Opinnäytetyössä simuloidaan tutkimuskohteen ylemmän kerroksen kulmamakuuhuoneen lämpöolojen käyttäytymistä ulkolämpötilojen muutoksiin vertaillen erilaisia lämmönjakomuotoja. Makuuhuone on merkattu punaisella kuvassa 11.



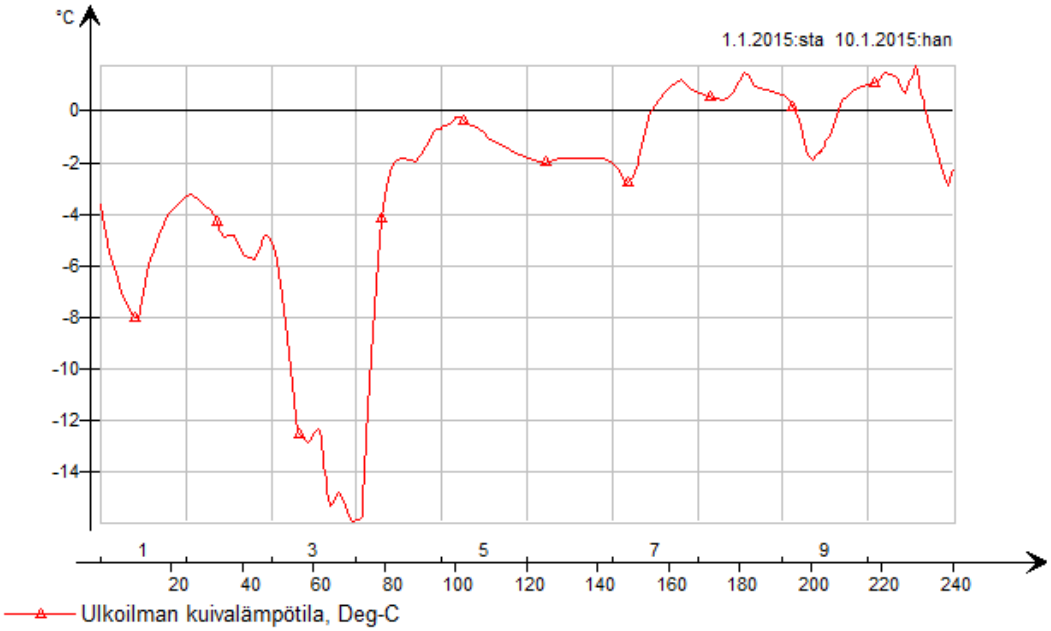
Kuva 11 Pohjapiirustus ylemmästä kerroksesta

IDA-ICE ohjelmistoon asennetaan tekniset tiedot tutkimuskohteesta, jotka on esitetty taulukossa 2. Simuloinnissa ei oteta huomioon ihmisistä ja laitteista aiheutuvaa lämpökuormaa, jotta ulkolämpötilojen muutoksien vaikutus sisäilmaston lämpöoloihin saadaan paremmin selvitettyä. Simulointijaksoksi on valittu ajanjakso, jolloin auringon säteily olisi mahdollisimman vähäistä. Auringon tuottamaa lämpökuormaa ei kuitenkaan saada kokonaan poistettua.

TAULUKKO 2. Tutkimuskohteen U- arvoja

Rakenneosa	U- arvo
Alapohja	0,11
Yläpohja	0,09
Ulkoseinä	0,09
Ikkuna	0,7
Ovi	0,5

Simuloitavaksi ajanjaksoksi otettiin talviolosuhteet, jossa ulkolämpötilojen muutos oli suurta. Testijaksoksi valittiin 1.1.2015 – 10.1.2015. Simulointijaksolla ulkolämpötila vaihteli leudosta plussajaksosta kovaan pakkasjaksoon. Simulointijakson ulkolämpötilat on kuvattu seuraavassa kuvassa 12.

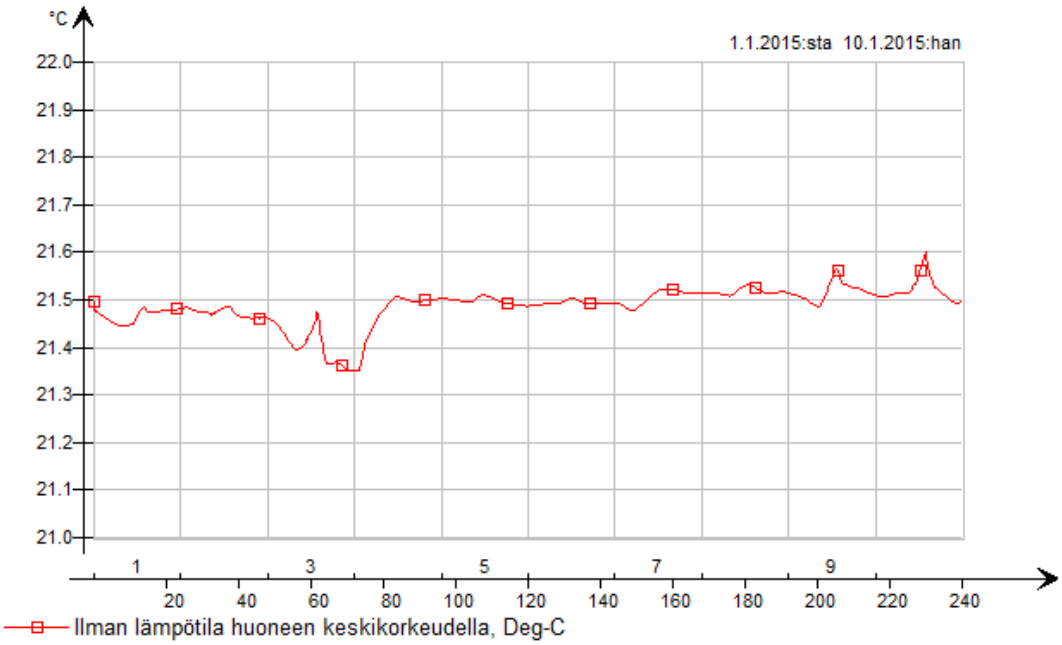


Kuva 12 Ulkolämpötila simulointijaksolla

5.1 Sähköinen patterilämmitys

Sähköisellä patterilämmityksellä toteutetulla lämmönjakojärjestelmällä simulointijaksolla huoneen lämpötila laski alimmillaan 0,13 °C asetuslämpötilasta. Korkeimmillaan lämpötila nousi 0,10 °C asetuslämpötilan yläpuolelle. Huoneen lämpötilan kasvupiikit johtuivat auringon tuottamasta lämpökuormasta. Auringon tuoma lämpötilan nousu jää kuitenkin varsin pieneksi ja lyhytaikaiseksi. Kuvassa 14 nähdään sisäilman lämpötilan muutokset sähköistä patterilämmitystä käytettäessä.

Pieni lämpötilan heilahtelu todennäköisesti siitä, että sähköpatterissa ei ole tehonsäätöä. Sähköpatteri on aina joko päällä tai poissa päältä. Lämpötilan heilahteluun vaikuttaa myös patterin pieni lämmityspinta-ala, joten huone lämpenee nopeinten patterin läheisyydessä ja kestää hetken ennen kuin lämpötila tasaantuu koko tilaan. Sähköpatterin pieni lämmönvarauskyky myös estää tehokkaasti tilan liika lämmittämisen. Tuntien 210 ja 230 kohdalla tapahtuva pieni lämpötilapoikkeama johtuu auringon tuottamasta lämpökuormasta.

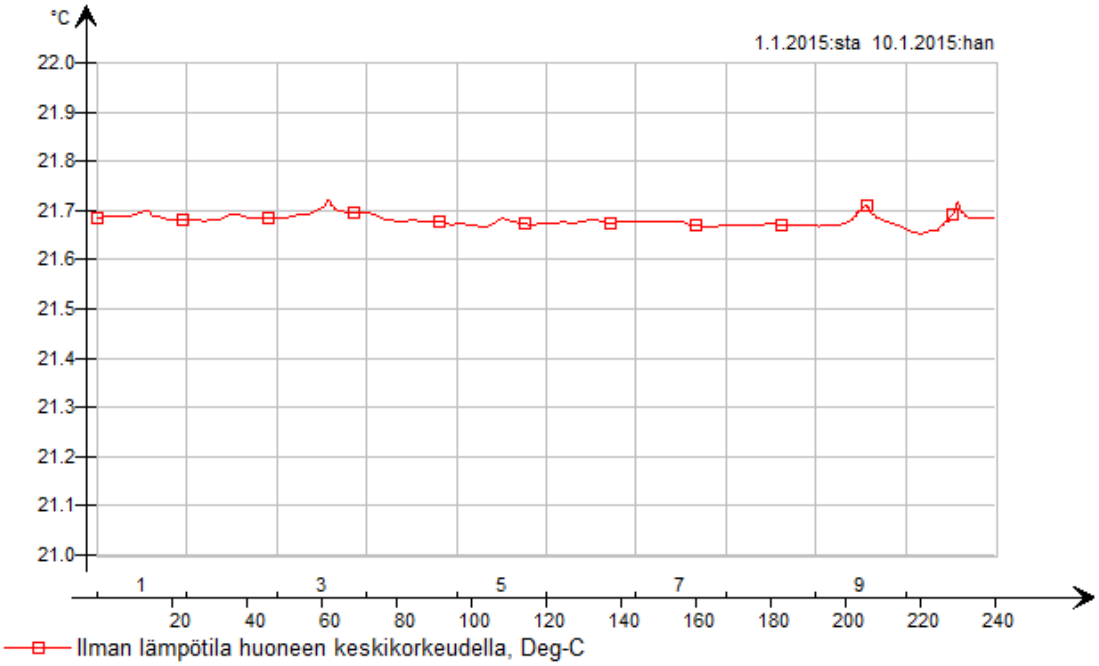


Kuva 13 Sisälämpötila simulointijaksolla sähköpattereilla toteutetulla lämmönjaolla

5.2 Vesikiertoinen patterilämmitys

Kuvassa 15 nähdään sisäilman lämpötilan muutokset vesikiertoista patterilämmitystä käytettäessä. Vesikiertoisella patterilämmityksellä toteutetulla lämmönjakojärjestelmällä simulointijaksolla huoneen lämpötila laski alimmillaan 0,04 °C asetuslämpötilasta. Korkeimmillaan lämpötila nousi 0,03 °C asetuslämpötilan yläpuolelle. Tuntien 210 ja 230 kohdalla tapahtuva pieni lämpötilapoikkeama johtuu auringon tuottamasta lämpökuormasta

Vesikiertoinen patterilämmitys pitää huoneen lämpötilan hyvin tasaisena. Vesikiertoinen lämmönjakotapa reagoi huoneen lämpötilan lisäksi ulkolämpötilaan lämmityksen säätökäyrän avulla. Säätökäyrä nostaa tai laskee lämmitysveden lämpötilaa ulkolämpötilan mukaan, jolloin järjestelmä reagoi lämpötilan muutokseen jo ennen kuin huoneen lämpötilassa tapahtuu muutosta. Vesikiertoisen patterin kohtalaisen pieni lämmönvarauskyky myös estää tehokkaasti tilan liika lämmittämisen.

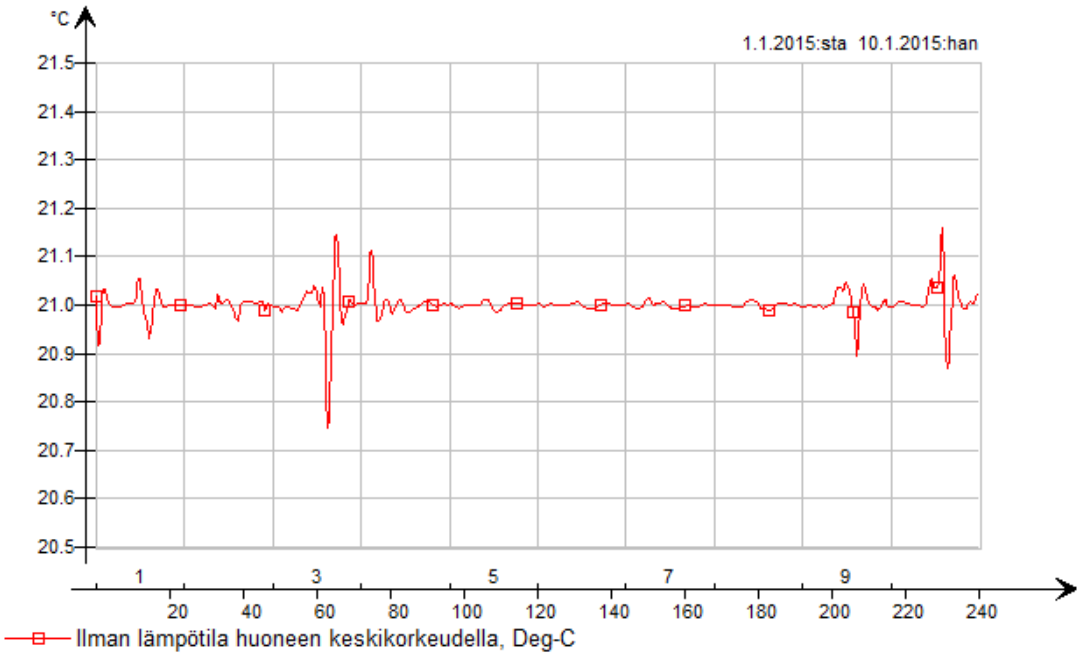


Kuva 14 Sisälämpötila simulointijaksolla vesikiertoisilla lämmityspattereilla toteutetulla lämmönjaolla

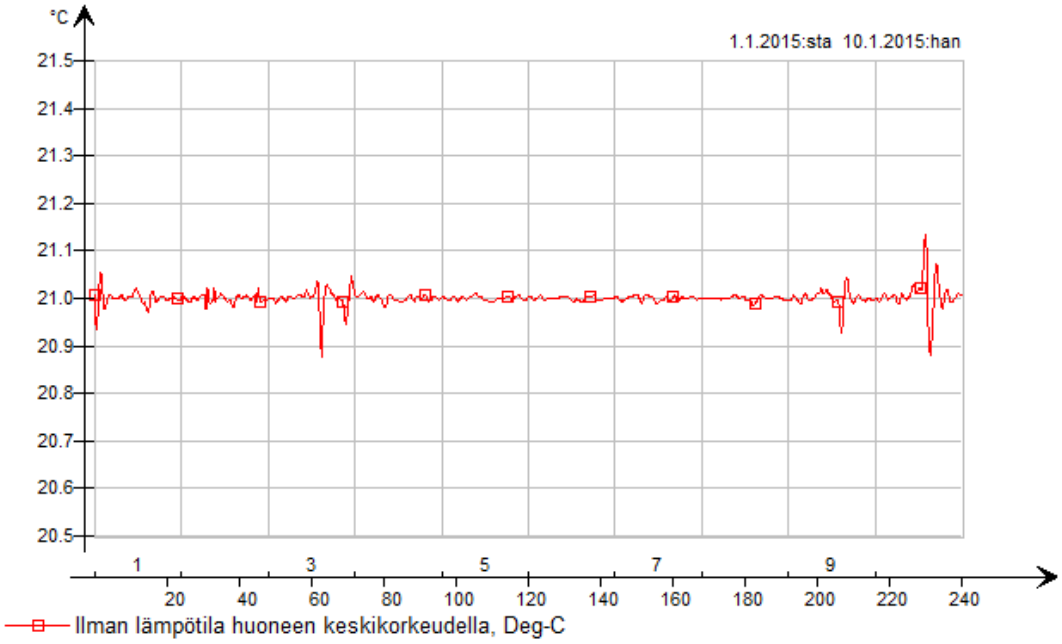
5.3 Sähköinen- ja vesikiertoinen lattialämmitys

Kuvista 16 ja 17 nähdään kuinka sähköinen- ja vesikiertoinen lattialämmitys reagoi lämpötilan muutoksiin hyvin samalla tavalla. Simulointijaksolla sähköistä lättilämmitystä käyttäen huoneen lämpötila laski alimmillaan 0,25 °C asetuslämpötilasta ja nousu oli suurimmillaan 0,15 °C asetuslämpötilasta. Vesikiertoisella lattialämmityksellä huoneen lämpötilan lasku oli suurimmillaan 0,11 °C asetuslämpötilasta ja lämpötilan nousu oli suurimmillaan 0,12 °C asetuslämpötilasta. Tuntien 210 ja 230 kohdalla tapahtuva pieni lämpötilapoikkeama johtuu auringon tuottamasta lämpökuormasta.

Molemmilla lattialämmityksillä huoneen lämpötilan muutokset jäivät hyvin lyhytaikaiseksi ja pääsääntöisesti huoneen lämpötila pysyi erittäin hyvin asetusarvossaan. Molempien lämmönjakotapojen samankaltaisuus selittyy suurella lämmönvarauskyvyllä. Vesikiertoisella lattialämmityksellä lämpötilan muutokset ovat hieman pienempiä verrattuna sähköiseen lattialämmitykseen. Ero selittyy suurimmalta osin vesikiertoisen lämmityksen säätökäyrän avulla.



Kuva 15 Sisälämpötila simulointijaksolla sähköisellä lattialämmityksellä toteutetulla lämmönjaolla

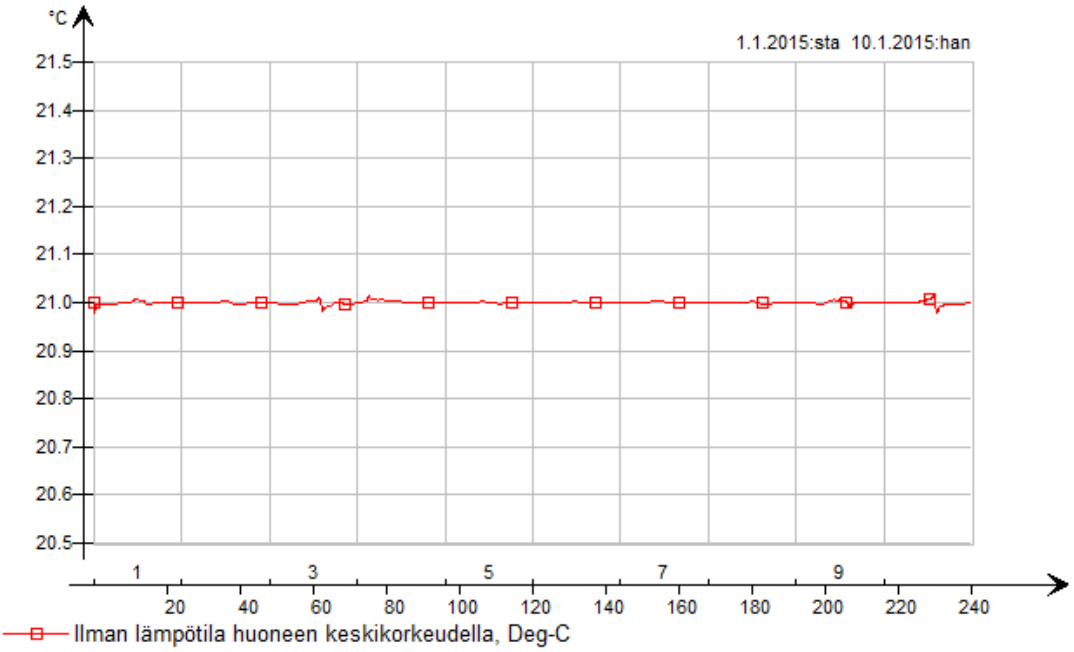


Kuva 16 Sisälämpötila simulointijaksolla vesikiertoisella lattialämmityksellä toteutetulla lämmönjaolla

5.4 Ilmanvaihtolämmitys

Sähköisillä tuloilman päätelaitteilla toteutetulla ilmanvaihtolämmityksellä huoneen lämpötila pysyy erittäin tasaisena koko simulointijakson ajan. Simulointijakson aikana suurin huoneen lämpötilan lasku oli 0,01 °C ja suurin huoneenlämpötilan nousu oli myös 0,01 °C asetuslämpötilasta. Kuvassa 18 nähdään sisäilman lämpötilan muutokset sähköistä ilmanvaihtolämmitystä käytettäessä

Sähköisellä ilmanvaihtolämmityksellä toteutetulla lämmönjakotavalla huoneen lämpötila pysyy käytännössä muuttumattomana. Tämä selittyy sillä, että ilmanvaihtolämmityksellä lämmitetään suoraan huoneen ilmaa ja tuloilmavirta sekoittaa tehokkaasti lämpimän ilman tasaisesti ympäri huonetta.



Kuva 17 Sisälämpötila simulointijaksolla ilmanvaihtolämmityksellä toteutetulla lämmönjaolla

6 LOPPUPÄÄTELMÄT

Opinnäytetyössä tutkittiin lämmönjakotapojen soveltuvuutta matalaenergia- ja passiivitaloihin. Tutkimuksen halutut tavoitteen saavutettiin. Lämmönjakotavat- osuudessa tarkasteltiin lämmönjakotapojen teknisiä erikoisominaisuuksia.

IDA Indoor Climate and Energy simulointiohjelmistolla mallinnettiin lämmönjakotapojen reagointinopeutta ulkoilman lämpötilan muutoksiin. Simuloinnilla huomattiin kuinka kaikilla lämmönjakotavoilla reagointinopeus oli varsin hyvä ja erot lämmönjakotavoilla olivat hyvin pieniä. Ulkolämpötilan muutoksen vaikutus sisäilman lämpötilaan oli suurimmillaan 0,25 °C asetuslämpötilasta käytettäessä lämmönjakotapana sähköistä lattialämmitystä. Pienimmillään vaikutus oli 0,01 °C asetuslämpötilasta käytettäessä lämmönjakotapana sähköistä ilmanvaihtolämmitystä.

Simuloinnissa huomattiin, että reagointinopeuteen eniten vaikuttava tekijä on lämmönjakotavan lämmönvarauskyky. Suuremman lämmönvarauskyvyn omaavat lämmönjakotavat reagoivat hitaammin lämpötilan muutoksiin kuin pienemmän lämmönvarauskyvyn omaavat lämmönjakotavat. Simuloinnissa huomattiin myös kuinka vesikiertoiset lämmönjakotavat lattia- ja patterilämmityksessä reagoivat hieman nopeammin kuin sähköiset lämmönjakotavat. Vesikiertoisten lämmönjakotapojen reagointinopeus suhteessa sähköisiin lämmönjakotapoihin johtuu vesikiertoisen lämmityksen säätökäyrästä. Säätökäyrän avulla vesikiertoinen lämmitys ennakoi sisäilman lämpötilan muutoksia reagoimalla ulkoilman lämpötilan muutoksiin.

Tutkimusten mukaan jokainen tutkittu lämmönjakotapa sopii hyvin passiivi- tai matalaenergiataloon. Lämmönjakotavan valinnalla ei ole merkittävää vaikutusta matalaenergiatalon sisäilman lämpötilaan ulkoilman lämpötilan muuttuessa.

LÄHTEET

Arkkitehtisuunnitelmat

Climecon eco- esite

Danfoss, Tekninen esite, RA 2000 Termostaattianturit

Ilmanvahtolämmitysventtiilin kuva
http://www.climecon.fi/tuotteet.php?k=616210

Euroopan union virallinen lehti. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/31/EU.
http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:FI:PDF

Energiateollisuus. Sähkölämmitys.
http://energia.fi/koti-ja-lammitys/sahkolammitys

Energiateollisuus. Rakennusten kaukolämmitys. Julkaisu K1/2013. 2014
http://energia.fi/sites/default/files/julkaisuk1_2013_20140509.pdf

Ensto, Beta mini esite

D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2012.
http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf

Motiva. Pientalon lämmitysjärjestelmät.
http://www.motiva.fi/files/2701/Pientalon_lammitysjarjestelmat.pdf

Motiva. Energiapalveludirektiivi.
http://www.motiva.fi/taustatietoa/ohjauskeinot/direktiivit/energiapalveludirektiivi

Petri Pietarinen & Mikko Saari, K 1999 VTT Rakennustekniikka. Ilmanvaihtolämmityksen hajautettu automaatio matalaenergiatalossa. Espoo: Libella Painopalvelu Oy

Vesikiertoisen patterin kuva
http://www.purmo.com/fi/tuotteet/paneeliradiaattorit.htm

Rakennustieto. Rakennusten lämmitys (2006), LVI-10-10397

Sähköpatterin kuva.
http://www.rakentaja.fi/artikkelit/497/sahkolammitys.htm

Mikko Saari. VTT. Energiatehokkaan talon lämmitysratkaisut. Seminaarimateriaali 23.11.2006

Mikko Saari & Juhani Laine. VTT. Passiivienergiatalo harkoista- LVI tekniikan ratkaisumallit ja suunnitteluohje. 2009
http://www.harkkokivitalo.fi/?wpdmact=process&did=OS5ob3RsaW5r

Olli Seppänen. Suomen LVI-liitto ry. K 2001. Rakennusten lämmitys. Kouvola: Solar palvelut Oy

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, K 2010. Matalaenergiarakentaminen asuin-rakennukset