



Joona Huttu

Verkostolämpötilojen kustannusvai- kutukset asuinkerrostalon lämmitys- patterijärjestelmään

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

8.5.2024

Tiivistelmä

Tekijä:	Joona Huttu
Otsikko:	Verkostolämpötilojen kustannusvaikutukset asuinkerrostalon lämmityspatterijärjestelmään
Sivumäärä:	33 sivua
Aika:	8.5.2024
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Talotekniikka
Ammatillinen pääaine:	LVI-suunnittelu
Ohjaajat:	Lehtori Pasi Partonen Osastopäällikkö Markus Sjöholm

Tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin lämmitysjärjestelmien optimointia ja vertailtiin eri verkostolämpötilojen kustannuksia. Työssä tutkittiin lämmityspatterijärjestelmän toimintaa kahdessa eri toimintaolosuhteessa. Toimintaolosuhteet olivat meno- ja paluuveden verkostolämpötilat 45/30 °C ja 60/30 °C. Kullekin toimintaolosuhteelle laadittiin karkea kustannusarvio, joka huomioi erilaiset patteri- ja runkoputkityypit. Tavoitteena oli selvittää, miten eri putki- ja patterityypeillä toteutettu lämmitysjärjestelmä vaikuttaa kustannuksiin eri toimintaolosuhteissa.

Tapaustutkimuksena toimi 7-kerroksinen Etelä-Suomeen suunnitteilla oleva asuinkerrostalo, jossa asunnot sijaitsevat kerroksissa 1–6. Tämä rakennus toimi käytännön esimerkkinä, jonka avulla analysoitiin eri toimintaolosuhteiden vaikutuksia.

Työn lopputuloksena esitettiin johtopäätöksiä ja tuloksia kustannusarvioiden vertailutuloksista. Opinnäytetyö pyrkii tuomaan selkeyttä lämmitysjärjestelmien tehokkaiseen suunnitteluun ja toimintaan asuinrakennuksissa. Sen avulla pyritään parantamaan ymmärrystä eri lämmitysjärjestelmävaihtoehtojen kustannuksista eri toimintaolosuhteissa, mikä voi auttaa rakennusalan ammattilaisia ja päätöksentekijöitä tekemään parempia valintoja taloudellisesti.

Avainsanat: lämmitystekniikka, lämmitysjärjestelmät, kustannusarviot, asuinkerrostalot

Abstract

Author: Joona Huttu
Title: Cost Effect of Temperatures in Heating Radiator System of Apartment Building
Number of Pages: 33 pages
Date: 8 May 2024

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Building Services Engineering
Professional Major: HVAC Design
Supervisors: Pasi Partonen, Senior Lecturer
Markus Sjöholm, Department Head

The purpose of the final year project was to establish the cost difference of operating a heating radiator system under two different operating conditions, i.e. network supply and return temperatures of 45/30°C and 60/30°C, and with different pipe and radiator types.

The project studied the optimization of heating systems and compared the costs of different network temperatures using a case study to support the comparisons. The case study was a 7-story residential building in its design phase in Southern Finland, with apartments located on floors 1–6. The building served as a practical example for analysing the effects of the compared operating conditions.

The project resulted in a rough cost estimate for each operating condition and radiator and pipe types. The thesis brought clarity to the efficient design and operation of heating systems in residential buildings and improved the understanding of the costs of different heating system options under various operating conditions. Thus, it can assist professionals in the construction industry and decision-makers in making better economic choices.

Keywords: heating technology, heating systems, cost estimates, apartment buildings

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Vesikiertoinen patterilämmitys	2
2.1	Toimintaperiaate	2
2.2	Verkostolämpötilat	3
2.3	Patterit	4
3	Tapauksen analyysi: 7-kerroksinen asuinkerrostalo Etelä-Suomessa	6
3.1	Rakennuksen yleiskuvaus	7
3.2	Lämmitysjärjestelmät	8
4	Lämmitysverkoston suunnittelu eri toimintaolosuhteilla	10
4.1	Verkostolämpötila 45/30°C	16
4.2	Verkostolämpötila 60/30°C	19
5	Kustannusarviot	21
5.1	Patterityyppien vertailu	22
5.2	Runkoputkityyppien vertailu	26
5.3	Kustannusarviot yhteensä	30
6	Yhteenveto	31
	Lähteet	33

1 Johdanto

Opinnäytetyön tarkoituksena on vertailla kustannusvaikutuksia lämmityspatteriverkostoon eri verkostolämpötiloilla asuinkerrostalossa. Työn keskeisenä tavoitteena on selvittää asuinkerrostalon kustannustehokkain tapa suunnitella patterilämmitysjärjestelmä, ja työssä keskitytään erityisesti meno- ja paluulämpötilojen vertailuun eri toimintaolosuhteissa. Toimintaolosuhteet, joita opinnäytetyössä käsitellään ovat meno-paluuverkostolämpötilat 45/30 °C ja 60/30 °C. Verkostolämpötiloilla viitataan lämmitysjärjestelmän veden mitoituslämpötilaan. Opinnäytetyössä pyritään samalla selvittämään, mikä on ihanteellisin lämmityspatterijärjestelmä asuinkerrostaloon.

Opinnäytetyössä vertailudata saadaan suunnitteilla olevasta kohteesta. Kohteena toimii 7-kerroksinen asuinkerrostalo Etelä-Suomessa, jossa asunnot sijoittuvat kerroksiin 1–6. Kohde on suunniteltu 45/30 °C meno-paluuverkostolämpötiloilla.

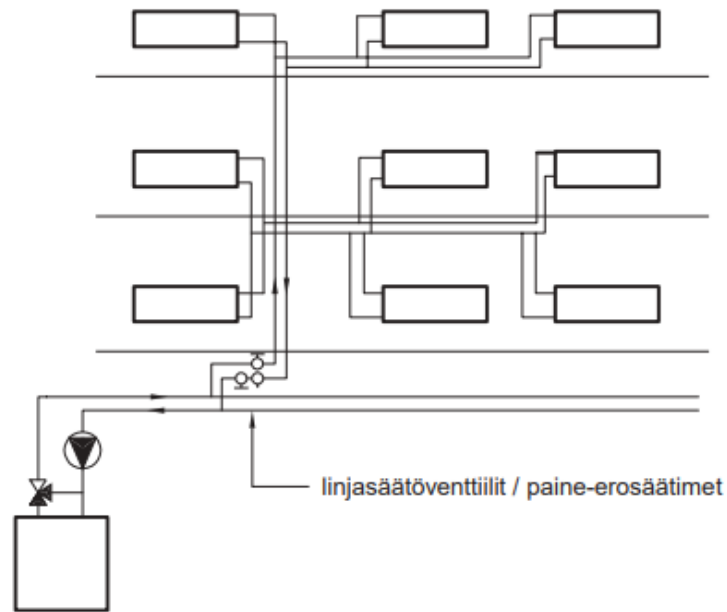
Opinnäytetyö tehdään RE-Suunnittelu Oy:lle. Tarve tämältyyppiseen selvitykseen ilmeni lämmityspatterisuunnittelujen yhteydessä, kun suunnittelun osapuolet eivät olleet yksimielisiä verkostolämpötilojen kustannusarvioista 45/30 °C meno-paluuverkostolämpötiloilla. Verkostolämpötilat vaikuttavat esimerkiksi pattereiden ja putkien kokoon. Pattereiden ja putkien koot vaikuttavat muun muassa kustannusarvioihin. Isommat patterit ja putket ovat kalliimpia kuin pienemmät. Opinnäytetyön tarkoituksena on pyrkiä auttamaan rakennusalan ammattilaisia ja päätöksentekijöitä tekemään perustellumpia valintoja lämmityspatterijärjestelmien taloudellisuuteen liittyvissä valinnoissa.

2 Vesikiertoinen patterilämmitys

2.1 Toimintaperiaate

Vesikiertoinen patterilämmitys on yksi monista tavoista lämmittää rakennus. Vesikiertoisessa patterilämmityksessä lämmin vesi kulkee putkistossa huonekohdaksiin pattereihin, jotka lämmittävät huonetilaa luovuttamalla lämpöä (Rakennusten lämmitys 2006: 7). Vesikiertoista patterilämmitysjärjestelmää voidaan lämmittää öljyllä, maakaasulla, kauko- ja lämpöpumppulämmityksellä, kiinteällä polttoaineella sekä varaavalla ja osittain varaavalla sähkölämmityksellä. Jotta vesikiertoisen patterilämmityksen energiahäviöt olisivat mahdollisimman pienet, järjestelmä pyritään suunnittelemaan matalilla veden lämpötiloilla. Tämä estää myös sen, että pattereiden pintalämpötilat eivät ole polttavia. (Vesikiertoinen patterilämmitys 2002: 1.)

Vesikiertoisessa patterilämmityksessä lämmönjakotapoja on kolme. Nämä lämmönjakotavat ovat yksiputkijärjestelmä, kaksiputkijärjestelmä ja käännetty paluuputkijärjestelmä. Näistä kolmesta yleisin on kaksiputkijärjestelmä. Kuvassa 1 nähdään esimerkki kaksiputkijärjestelmästä. Jokaiselle patterille on oma menoja ja paluuputkensa, jotka yhdistyvät runkoputkeen. Jokainen patteri saa ikimain saman lämpöistä vettä, kuin runkoputkessa virtaa. (Vesikiertoinen patterilämmitys 2002: 2.)



Kuva 1. Kaksiputkijärjestelmän periaate (Vesikiertoinen patterilämmitys 2002: 3).

Yksiputkijärjestelmässä kytketään 2–5 patteria putkilenkillä sarjaan. Vesi kiertää patterista toiseen käymättä välillä lämmönlähteellä. Ongelmana yksiputkijärjestelmässä on kiertoveden lämpötilan aleneminen, jolloin kaukaisimmille pattereille tuleva vesi on kylmempää. Käännetty paluuputkijärjestelmä on putkityypeistä harvinaisin. Patterit yhdistetään runkoputkiin niin, että saman kiertopiirin virtauspiirit eri pattereissa olisivat yhtä pitkiä. Paine-erojen tasapainotusta ei tarvitse tehdä tässä järjestelmässä, koska virtauspiirien painehäviöt ovat lähes yhtä suuret. (Vesikiertoinen patterilämmitys 2002: 2.)

2.2 Verkostolämpötilat

Rakennuksilla on eri lämmöntuottotapoja. Öljy-, maa-, kauko-, lämpöpumppu- ja sähkölämmitys. Rakennuksia voi lämmittää myös kiinteällä polttoaineella. Yleisin lämmitysmuoto Suomessa on kaukolämmitys, sen markkinaosuus on lähes puolet lämmitysenergiasta. (Rakennusten kaukolämmitys 2013.) Koska opinnäytetyössä käsiteltävä kohde on suunniteltu kaukolämmöllä, työssä perehdytään enemmän kaukolämpöön kuin muihin lämmitystapoihin.

Verkostolämpötilat ovat lämmönsiirtimen toisiopuolen mitoituslämpötiloja, jotka valitaan niin, että lämmönjaon ja -luovutuksen lämpöhäviöt olisivat mahdollisimman pienet. Tämä saavutetaan siten, että järjestelmään mitoitetaan mahdollisimman alhaiset lämpötilat ja suuri lämpötilaero. Alahainen menolämpötila takaa myös sen, että lämmitysjärjestelmä on helppo säätää ja sen energiatehokkuus saavutetaan. Uudisrakennuksissa kaukolämmön ensiöpaluu saa olla korkeintaan 3 °C korkeampi, kuin toisiopuolen paluulämpötila. Uudisrakennuksien paluulämpötila saa olla mitoitettu korkeintaan 30 °C:seen.

Kuvassa 2 esitetään uudisrakennuksen lämmönsiirtimen mitoitukseen liittyviä enimmäislämpötiloja. Lämmitysjärjestelmien enimmäismeno- ja paluulämpötilat uudisrakennuksissa ovat 60 °C ja 30 °C. (Rakennusten kaukolämmitys 2021: 8.)

	LÄMMÖNSIIRTIMIEN MITOITUSLÄMPÖTILAT °C		
	ENSIÖ		TOISIO
	TULO	PALUU	
Lämmityksen ja ilmanvaihdon lämmönsiirtimet	90 (max)	33 (max)	LVI-suunnittelija mitoittaa järjestelmät siten, että <ul style="list-style-type: none"> • menolämpötila on enintään 60 °C • paluulämpötila on enintään 30 °C.
		Lisäksi: Ensiöpuolen paluulämpötila saa olla enintään 3 °C korkeampi kuin toisiopuolen paluulämpötila.	

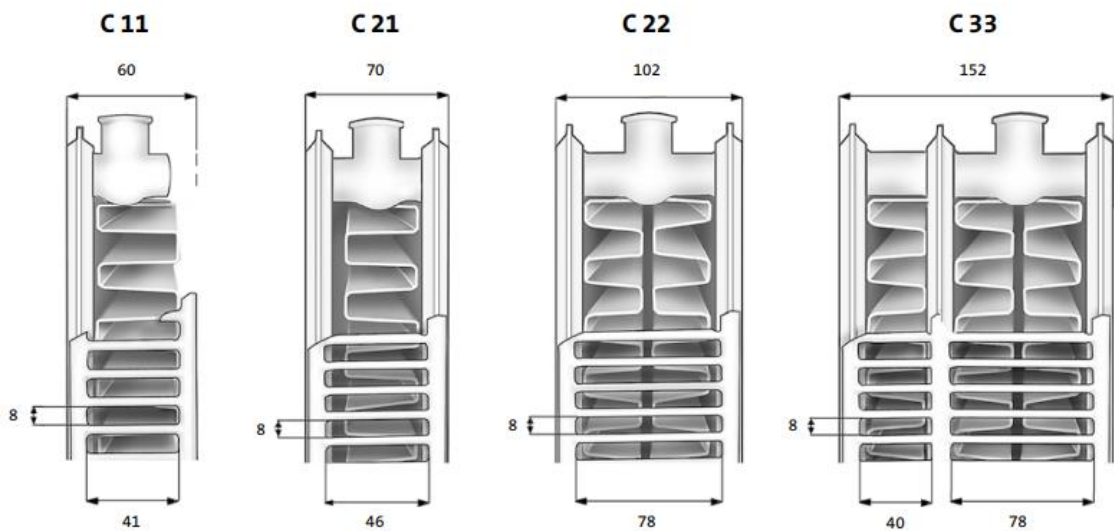
Kuva 2. Lämmönsiirtimien enimmäislämpötilat (Rakennusten kaukolämmitys 2021).

2.3 Patterit

Patteri lämmittää rakennuksen tilaa luovuttamalla lämpöä säteilyn ja konvektion avulla. Kun tilassa on tietyn verran lämpöhäviöitä ja tila halutaan lämmittää patterilla, sen tulee luovuttaa vaadittu lämpöteho suunnitelluilla

mitoituslämpötiloilla. Pattereita on erityyppisiä, ja yleisimmät niistä ovat radiaattorit ja konvektorit. (Vesikiertoinen patterijärjestelmä 2002: 6.)

Radiaattorit ovat levypattereita, jotka luovuttavat lämpöä niiden ulkopinnasta. Radiaattorit koostuvat putkista tai levyistä, ja jos lämpötehoa halutaan lisätä, käytetään lisäksi konvektiolamellilevyjä. Radiaattorit saavat lämpönsä siitä lämmönlähteestä, joka rakennukseen on valittu, sekä lämmitysaineesta, kuten esimerkiksi vedestä. Veden lämpötila on määritetty verkoston mitoituslämpötilan mukaan, ja tämä lämpö tulee radiaattoreiden pinnalle luovuttamaan lämpötehoa. Patterin korkeus ja leveys valitaan yleensä sen ikkunan koon mukaan, jonka alle patteri asennetaan. Kun patteri on asennettu ikkunan alle, se kompensoi ikkunasta tulevaa kylmää virtausta ja vedon tunnetta. (Vesikiertoinen patterilämmitys 2002: 6.) Kuvassa 3 on esimerkkejä erikokoisista Purmo Compact C -radiaattoreista.



Kuva 3. Purmo Compact C -radiaattorityypit (Tekninen esite 2018).

Konvektorit ovat suuritehoisempia radiaattoreihin verrattuna, vaikka ne ovat usein pienikokoisempia (Purmo Konvektori 2024). Konvektorit käyttävät hyödykseen ilmanvaihtoa, sillä niiden toiminta perustuu konvektioon eli ilman liikkeeseen. Konvektori lämmittää huoneessa kulkevaa ilmaa. Kun ilma kulkee konvektorin läpi, se lämpenee ja nousee ylöspäin, minkä jälkeen ylhäällä oleva

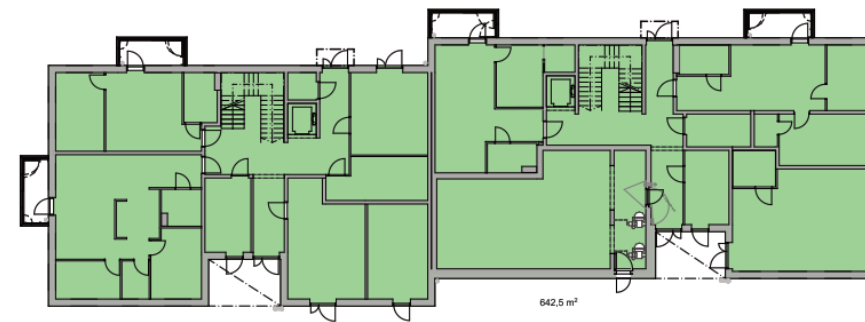
viileä ilma laskeutuu alas lämmittäen tilaa. Kuvassa 4 nähdään esimerkki Purmon Kon Ventil, KON KV -konvektorista.



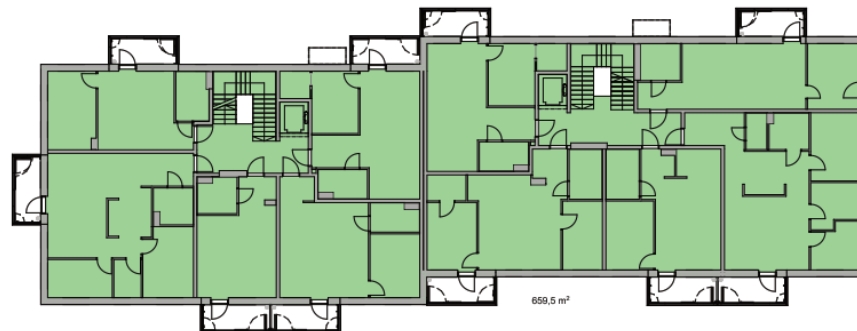
Kuva 4. Purmo Kon Ventil, KON KV -konvektori (Purmo Konvektori 2024).

3 Tapauksen analyysi: 7-kerroksinen asuinkerrostalo Etelä-Suomessa

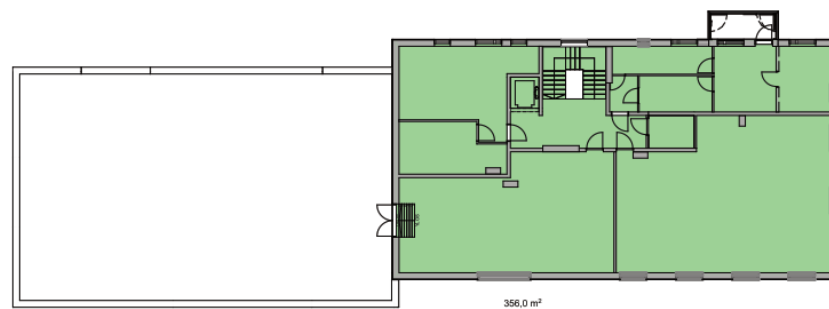
Opinnäytetyössä käytetään konkreettista kohdetta käytännön esimerkkinä. Kuvassa 5 on esitetty kohteena olevan asuinkerrostalon kerroksien pohjakuvat. Kohde on 7-kerroksinen asuinkerrostalo, jossa asuntoja on 1–6 kerroksissa. Kohde on suunnitteluvaiheessa ja sijaitsee Etelä-Suomessa.



Kerros 01



Kerros 02-06



Kerros 07

Kuva 5. Asuinkerrostalon kerroksien 1–7 pohjakuvat.

3.1 Rakennuksen yleiskuvaus

Rakennuksen suunnittelussa tulee noudattaa Suomen asetusten ja rakentamismääräyskokoelman määräyksiä ja ohjeita, talotekniikkainfon ohjeita, TalotekniikkaRYL 2021 ohjeita sekä paikallisen viranomaisen, kuten rakennusvalvontaviraston, vesilaitoksen, energialaitoksen ja pelastuslaitoksen ohjeita. Rakennuksen tulee täyttää myös ympäristöluokitusjärjestelmä Joutsenmerkin kriteerit.

Järjestelmät on suunniteltava siten, että kussakin kiinteistössä saavutetaan paras mahdollinen energiatalous. (LVI-suunnitteluohje 2023.)

Energiatalous todennetaan energiaselvityksellä, jonka tavoitteena on A-luokka. Uusilta rakennuksilta vaaditaan energiatodistus, ja todistus on hankittava rakennuslupaa hakiessa. Tämä perustuu Ympäristöministeriön asetukseen uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. (Energiatodistus ja energiaselvitys 2022: 1010/2017.)

3.2 Lämmitysjärjestelmät

Kohderakennuksen lämmitysmuotona on vesikeskuslämmitys, ja se liitetään Vantaan Energia Oy:n kaukolämpöverkkoon. Lämmitysjärjestelmää suunniteltaessa on otettava huomioon Suomen kaukolämpö ry:n Rakennusten kaukolämmitys, määräykset ja ohjeet K1/2021 sekä energialaitoksen vaatimukset. (LVI-Suunnitteluohje 2023.)

Lämmitysverkostot suunnitellaan kaksiputkijärjestelmäksi ja sen meno-paluuverkostolämpötilaksi valittiin 45/30 °C. Patteriverkostojen putkimateriaali on hitsattu teräs. Rakennuksen kuivat tilat lämmitetään vesikiertoisella patterilämmityksellä, ja asuntojen märkätilat sekä saunaosastot toteutetaan vesikiertoisella lattialämmityksellä. Lämmönluovuttimina käytetään valmiiksi maalattuja teräslevyradiaattoreita. Radiaattoreiksi valittiin Purmo Compact C -teräslevyradiaattorit. Radiaattorit on sijoitettu pääosin ikkunoiden alapuolelle. Poikkeuksellisesti radiaattoreita on sijoitettu seinien viereen esimerkiksi porrashuoneissa ja ulk välivarastoissa. Pattereihin asennetaan patterikohtaiset esisäädettävät patteriventtiilit sekä erillinen termostaattiosa. Patteriventtiiliksi valittiin valmistaja IMI Hydronic, TRV-3 Calypso -malli. (LVI-Suunnitteluohje 2023.) Kuvassa 6 nähdään TRV-3 Calypso esisäädettävä patteriventtiili.



Kuva 6. TRV-3 Calypso esisäädettävä patteriventtiili (IMI Hydronic 2024).

Rakennuksen lämmönjakokeskus sijaitsee ensimmäisessä kerroksessa lämmönjakohuoneessa. Lämmönjakokeskukseen on liitetty käyttövesiverkosto (10/58 °C), patteriverkosto (45/30 °C), ilmanvaihtoverkosto (60/30 °C) sekä lattialämmitysverkosto (33/30 °C). Kaukolämmön ensiöpuoli on varustettu painerosäätimellä suurien painevaihteluiden takia. (LVI-Suunnitteluohje 2023.) Kuvassa 7 on esitetty esimerkki lämmönjakokeskuksesta. Kuvan lämmönjakokeskus ei ole suunniteltu opinnäytetyössä käsiteltävään kohteeseen. Lämmönjakokeskukset valmistetaan yleensä tehtaalla, minkä jälkeen ne toimitetaan kohteeseen ja liitetään esimerkiksi kaukolämpöverkkoon, kuten opinnäytetyössä käsiteltävän kohteen tapauksessa tehdään.



Kuva 7. HögforsGST-lämmönjakokeskus (HögforsGST 2024).

4 Lämmitysverkoston suunnittelu eri toimintaolosuhteilla

Tässä opinnäytetyössä vertaillaan kahta eri toimintaolosuhdetta asuinkerrosta-
lon patterilämmitysverkostossa. Patteriverkoston vertailulämpötilat ovat 45/30
°C ja 60/30 °C. Kohde on suunniteltu 45/30 °C verkostolämpötiloilla, ja patteri-
lämmitys on suunniteltu kohteen jokaiseen seitsemään kerrokseen. Verkosto-
lämpötilat vaikuttavat lämmitysjärjestelmän kustannuksiin, joten toimintaolosuh-
teiden vertailu on tarpeellista. Yleisimmät erot ovat putkien- ja pattereiden koot.

Patterilämmitysjärjestelmä on suunniteltava siten, että sisäilmastovaatimukset
täyttyvät. Esisuunnittelun ensimmäiset vaiheet ovat usein lämmityksen tehontar-
velaskenta ja mitoituslämpötilojen valinta. Lämmityksen tehontarvelaskennassa
tulee noudattaa Suomen rakentamismääräyskokoelman D5 ohjeita. Tehontarve
lasketaan huoneisto- ja rakennuskohtaisesti. (Vesikiertoinen patterilämmitys

2002.) Kaavalla 1 lasketaan rakennusosien yhteenlasketun ominaislämpöhäviö. Ominaislämpöhäviöiden yhteenlaskussa, rakennusosien lämmönläpäisykerroilla eli U-arvolla on suuri merkitys. Rakennusosia ovat ulkoseinät, yläpohjat, alapohjat, ikkunat ja ovet. Laskennoissa tulee ottaa huomioon myös mahdollisten väliseiniä ja välipohjien lämmönläpäisykerroimet, jotta viereisiin tiloihin joutuva lämpöteho saadaan laskettua. (Suomen rakennusmääräyskokoelma 2007.)

$$\Sigma H_{joht} = \Sigma(U_{ulkoseinä}A_{ulkoseinä}) + \Sigma(U_{yläpohja}A_{yläpohja}) + \Sigma(U_{alapohja}A_{alapohja}) + \Sigma(U_{ikkuna}A_{ikkuna}) + \Sigma(U_{ovi}A_{ovi}) \quad (1)$$

ΣH_{joht} on rakennusosien yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö, (W/K)

U on rakennusosan lämmönläpäisykerroin, (W/m²K)

A on rakennusosan pinta-ala, (m²).

Kun rakennusosien yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö on laskettu, voidaan laskea johtumislämmitysteho. Kaavassa 2 on esitetty johtumislämmitystehon laskentakaava. Johtumislämmitysteho lasketaan usein huoneistokohtaisesti, sillä jos jokaiseen huoneistoon suunnitellaan patterilämmitys, lämpöhäviöiden rajaaminen huoneistoille helpottaa pattereiden valintaa ja mitoitusta. (Suomen rakennusmääräyskokoelma 2007.)

$$\phi_{joht} = \Sigma H_{joht}(T_s - T_{u,mit}) \quad (2)$$

ϕ_{joht} on johtumislämmitysteho, (W)

ΣH_{joht} on rakennusosien yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö, (W/K)

T_s on sisäilman lämpötila, (°C)

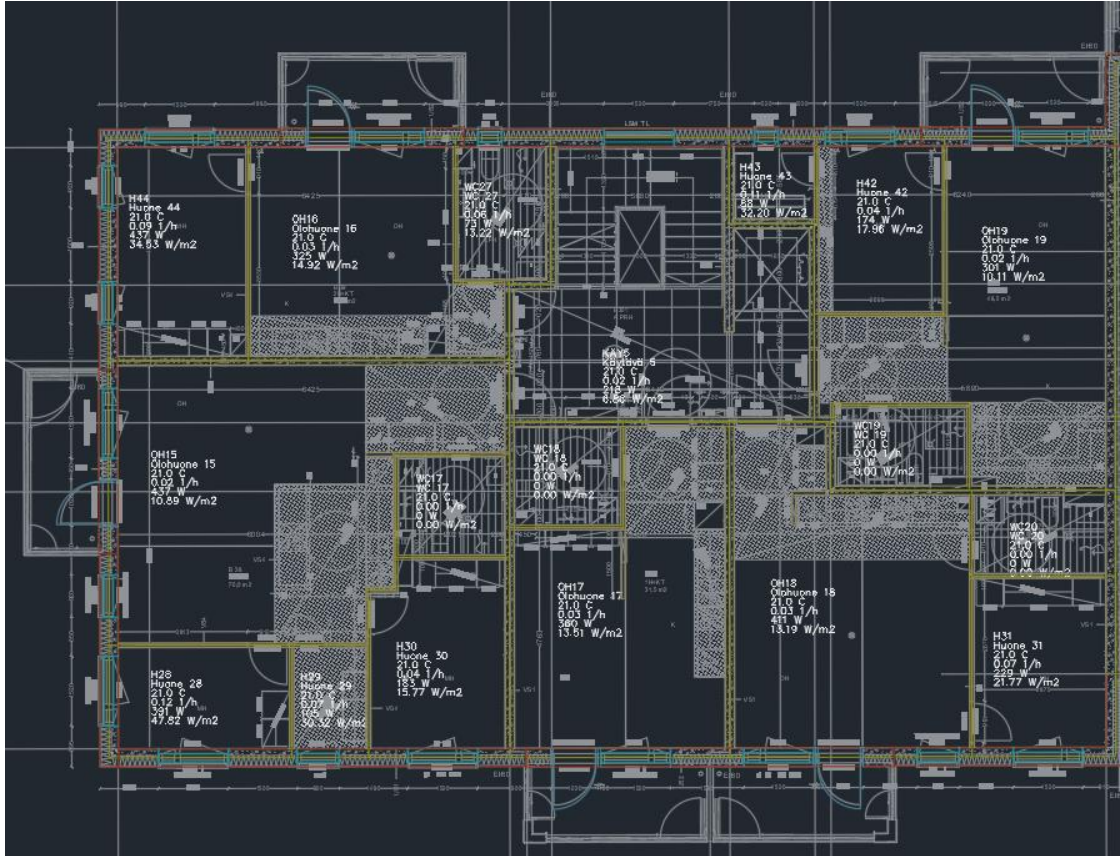
$T_{u,mit}$ on mitoittava ulkoilman lämpötila, (°C).

Opinnäytetyössä käsiteltävän kohteen lämmityksen tehontarpeen- ja johtumislämmitystehonlaskenta tehtiin MagiCAD Roomin avulla. MagiCAD Room on MagiCAD for AutoCADin hyödyllinen työkalu, jota voi käyttää moniin eri tarkoituksiin, kuten rakennusten BIM-mallinnuksiin ja laskelmien tekoon rakennuksen

geometriaa käyttäen. (MAgiCAD Room 2024.) Kuvassa 8 nähdään kuvakaappaus MagiCAD Room -projektista opinnäytetyössä käsiteltävän kohteen 3. kerroksen länsiosasta. Laskennat on tehty huoneistokohtaisesti, jotta huoneistoille suunniteltavat patterit ovat helpompi mitoittaa. Opinnäytetyössä käsiteltävän kohteen lähtötiedot, jotka syötettiin MagiCAD Room -projektiin, olivat rakennusosien lämmönläpäisykertoimet eli U-arvot, sisä- ja mitoittava ulkoilman lämpötila, rakennusvaipan ilmanvuotoluku sekä seinä- ja kerrokorkeudet. Taulukossa 1 nähdään rakennusosille syötettävät U-arvot.

Taulukko 1. Rakennusosille syötettävät U-arvot.

Rakennusosa	U-arvo W/(m²K)
Yläpohja	0,09 W/(m ² K)
Alapohja	0,16 W/(m ² K)
Ulkoseinät	0,17 W/(m ² K)
Ikkunat	1,00 W/(m ² K)
Ovet	1,00 W/(m ² K)
Väliseinät	2,00 W/(m ² K)



Kuva 8. MagiCAD Room-projektin kuvakaappaus 3. kerroksen länsiosasta.

Rakennusvaipan ilmanvuotoluvulla voidaan laskea vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve käyttämällä kaavaa 3. Jotta voidaan laskea vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, pitää laskea vuotoilmavirta, joka lasketaan kaavalla 4. (Ympäristöministeriö ohje 2017: 21.)

$$Q_{\text{vuotoilma}} = \frac{\rho c_{\text{pi}} q_{\text{v,vuotoilma}} (T_{\text{s}} - T_{\text{u}}) \Delta t}{1000} \quad (3)$$

$Q_{\text{vuotoilma}}$ on vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, (kWh)

ρ on ilman tiheys, 1,2 (kg/m³)

c_{pi} on ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 (J/kgK)

$q_{\text{v,vuotoilma}}$ on vuotoilmavirta, (m³/s)

T_{s} on sisäilman lämpötila, (°C)

T_{u} on ulkoilman lämpötila, (°C)

Δt on ajanjakson pituus, (h)

1000 on kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi.

$$q_{v,vuotoilma} = \frac{q_{50}}{3600 \cdot x} A_{vaippa} \quad (4)$$

$q_{v,vuotoilma}$ on vuotoilmavirta, (m^3/s)

q_{50} on rakennusvaipan ilmanvuotoluku, (m^3/hm^2)

A_{vaippa} on rakennusvaipan pinta-ala (alapohja mukaan luettuna), (m^2)

x on kerroin, joka on yksikerroksisille rakennuksille 35, kaksikerroksisille 24, kolmi- ja nelikerroksisille 20 ja viisikerroksisille ja korkeammille 15 kerroskorkeuden ollessa n. 3m

3600 on kerroin, joka muuttaa ilmavirran yksiköstä (m^3/h) yksikköön (m^3/s).

Ilmanvuotoluku q_{50} kertoo, kuinka monta kuutiometriä ilmaa kulkee rakennuksen ulkovaipan läpi tunnissa, kun paine-ero on 50 pascalia (Kukkonen 2019). Rakennusvaipan pinta-alaan kuuluvat ulkoseinät, ylä- ja alapohjat sekä ovet ja ikkunat. Rakennuksen vaipan ilmanvuotoluvun q_{50} enimmäismäärä on $4,0 m^3/(h m^2)$. Ilmanvuotoluku voi ylittää arvon $4,0 m^3/(h m^2)$, jos rakennuksen käytön vaatimat rakenteelliset ratkaisut edellyttävät sitä. (Ympäristöministeriö 2017.)

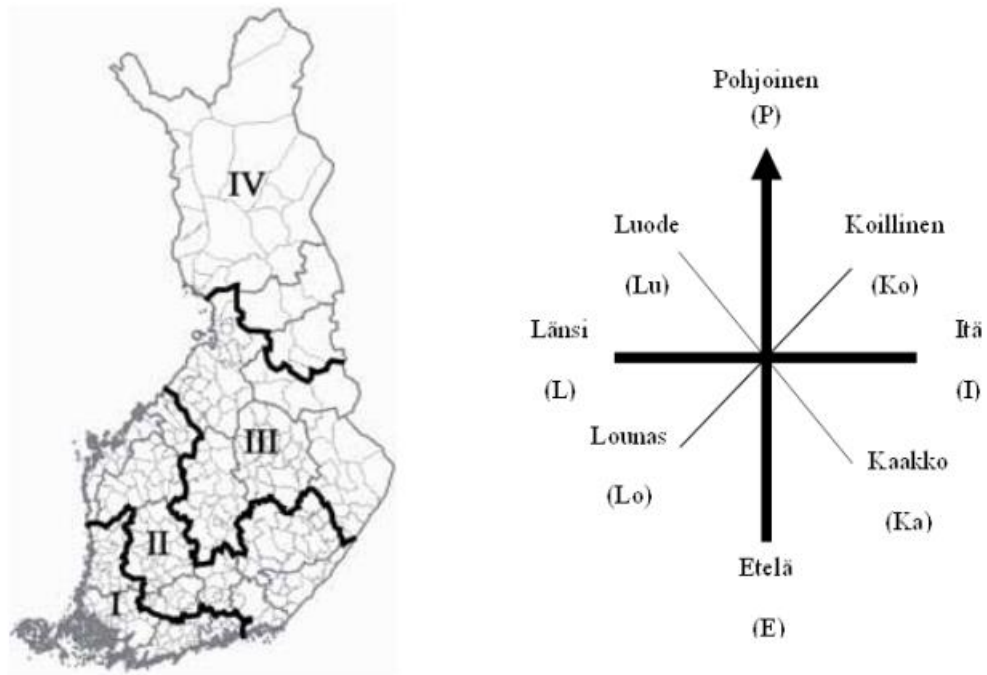
Kuvassa 9 nähdään tyypillisiä ilmanvuotolukuja rakennuksille. Opinnäytetyön kohteen rakennusvaipan ilmanvuotoluvuksi q_{50} valittiin $2,0 m^3/(h m^2)$, koska sen koettiin olevan sopiva kyseiselle rakennukselle.

Taulukko 3.5. Tyypillisiä rakennuksen ilmanvuotolukuja (n_{50}) ja rakennusvaipan ilmanvuotolukuja (q_{50}) erilaisille rakennuksille, rakentamis- ja toteutustavasta riippuen.

Tavoite-ilmanpitävyys	Yksityiskohdat	Tyypilliset n_{50} -luvut, 1/h	Tyypilliset q_{50} -luvut, $m^3/(h m^2)$
Hyvä ilmanpitävyys	Saumojen ja liitosten ilmanpitävyyteen on kiinnitetty erityistä huomiota sekä suunnittelussa että rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa (erillistarkastus)	Pientalo 1,0 – 3,0	Pientalot 1,0 – 3,0
		Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 0,5 – 1,5	Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 1,0 – 4,0
Keskimääräinen ilmanpitävyys	Ilmanpitävyys on huomioitu tavanomaisesti sekä suunnittelussa että rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa	Pientalo 3,0 – 5,0	Pientalot 3,0 – 5,0
		Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 1,5 – 3,0	Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 4,0 – 8,0
Heikko ilmanpitävyys	Ilmanpitävyyteen ei ole juurikaan kiinnitetty huomiota suunnittelussa eikä rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa	Pientalo 5,0 – 10,0	Pientalot 5,0 – 10
		Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 3,0 – 7,0	Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 8,0 – 20,0

Kuva 9. Taulukossa esitetään tyypillisiä rakennuksen- ja rakennusvaipan ilmanvuotolukuja (Ympäristöministeriö ohje 2017: 22).

Kun MagiCAD Room -projektiin on syötetty oikeat rakennusosien U-arvot, kerros- ja huonekorkeudet, seinien-, ovien- ja ikkunoiden mitat sekä huoneistojen rajaus, voidaan laskea rakennusosien yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö kaavalla 1. Mitoittava ulkoilman lämpötila syötetään Ympäristöministeriön asetuksen mukaan uuden rakennuksen energiatehokkuudesta, mikä nähdään kuvassa 10 (Ympäristöministeriö liite 2017: 1). Koska opinnäytetyössä käsiteltävä kohde sijaitsee Etelä-Suomessa, kohde kuuluu säävyöhykkeeseen 1. Mitoittava ulkoilman lämpötila on -26 °C ja sisäilman lämpötila 21 °C . Näillä tiedoilla pystymme laskemaan huoneistokohtaiset johtumislämpötehot kaavalla 2.



Kuva L1.1. Säävyöhykkeet ja ilmansuuntien lyhenteet.

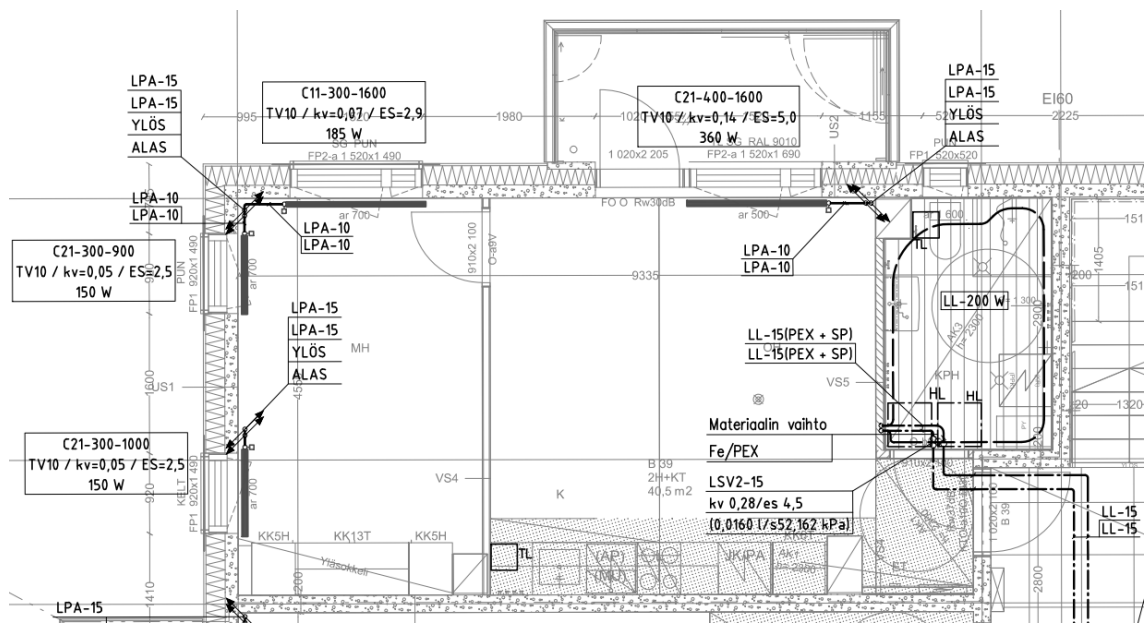
<i>Taulukko L1.1.</i>		<i>Mitoittavat ulkoilman lämpötilat eri säävyöhykkeillä.</i>
Säävyöhyke	Mitoittava ulkoilman lämpötila, °C	
I	-26	
II	-29	
III	-32	
IV	-38	

Kuva 10. Ympäristöministeriön taulukko mitoittavasta ulkoilman lämpötilasta (Ympäristöministeriö liite 2017: 1).

4.1 Verkostolämpötila 45/30 °C

Huoneistokohtaiset lämpöhäviöt mitoitetaan 10 % korkeammiksi turvamarginaalin vuoksi. Kuvassa 11 nähdään 3. kerroksen länsiosan kaksio, jossa ikkunoiden alle on suunniteltu patterit. Kuvan 9 vasemmasta yläkulmasta nähdään kaksion lämpöhäviöt. Makuuhuoneen lämpöhäviö on 437 wattia. Lämpöhäviö kerrotaan 10 %:lla ja lämpöhäviöksi saadaan 481 wattia, joka voidaan pyöristää 485 wattiin. Tämä lämpöhäviö jaetaan kolmelle patterille. Huoneen pohjoisosassa oleva ikkuna on levein, joten tehokkain patteri sijoitetaan sen alle. Leveimmän patterin

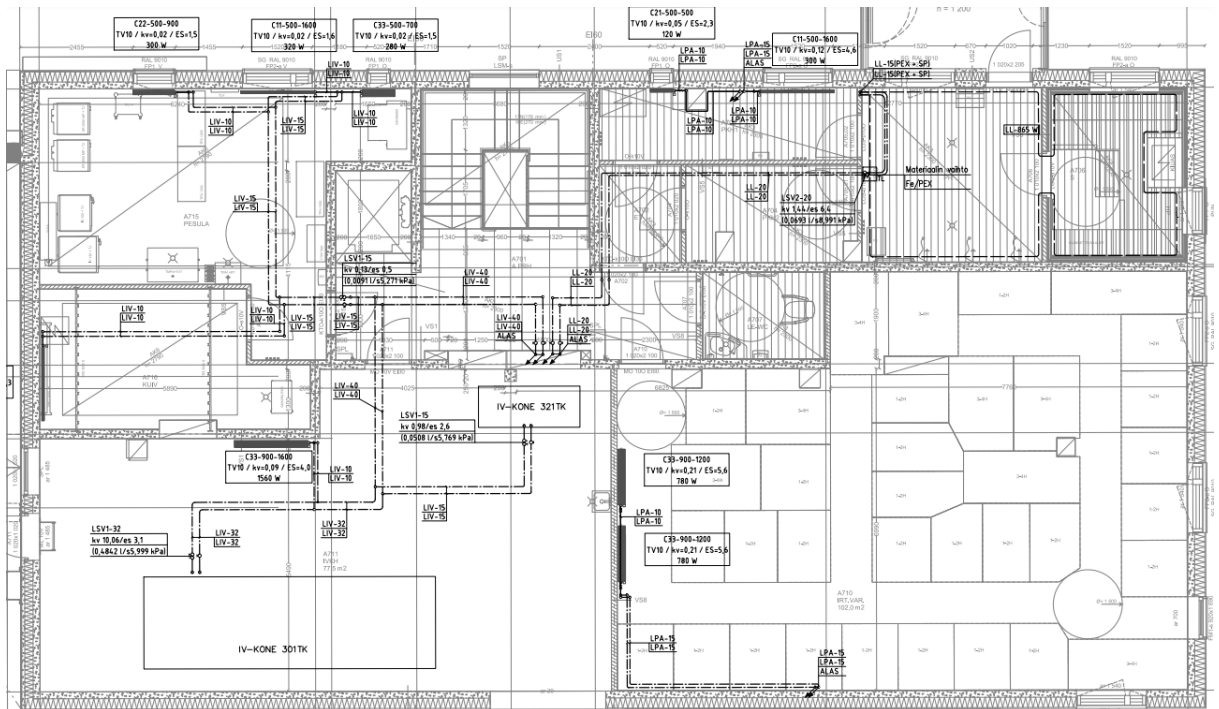
teho on 185 wattia, ja kahdelle kapeammalle patterille määritetään 150 watin tehot. Näillä tehoilla 485 watin lämpöhäviö on katettu. Levein patteri on mallia C11, mikä nähdään kuvassa 3. Se on 300 mm korkea ja 1600 mm leveä. Kapeammat patterit ovat mallia C21, joista toinen on 300 mm korkea ja 900 mm leveä, kun toinen on 300 mm korkea ja 1000 mm leveä. Asunnon olohuoneen lämpöhäviö on 325 wattia, josta tulee noin 360 wattia 10 % korkeammaksi mitoitettuna. Ikkunan alle valittiin C21-mallinen 400 mm korkea ja 1600 mm leveä lämmityspatteri. Koko rakennuksen asuinhuoneistot on suunniteltu samalla periaatteella.



Kuva 11. Asuinkerrostalon 3. kerroksen länsiosassa sijaitseva kaksio 45/30 °C verkostolämpötilalla.

Asuinrakennuksen välikerrokset ovat identtisiä, joten kerrokset 2–6 ovat suunniteltu identtisiksi. Ainoat poikkeukset löytyvät 6. kerroksen länsiosan patteriko'ista lämpöhäviöiden muuttuessa, sekä muutamista 2. kerroksen nousuputkista. Kuudennen kerroksen lämpöhäviöt rakennuksen länsiosassa ovat korkeammat muihin välikerrokseen verrattuna, koska länsiosan puolella rakennus ei jatku enää, ja vastaan tulee yläpohja, kuten kuvasta 5 voidaan nähdä. Toisen kerroksen nousuputkia siirretään tietyissä asunnoissa, jotta nousuputket

Lämmityspatterijärjestelmään liitetään irtaimistovaraston sekä saunaosaston pukuhuoneen patterit.



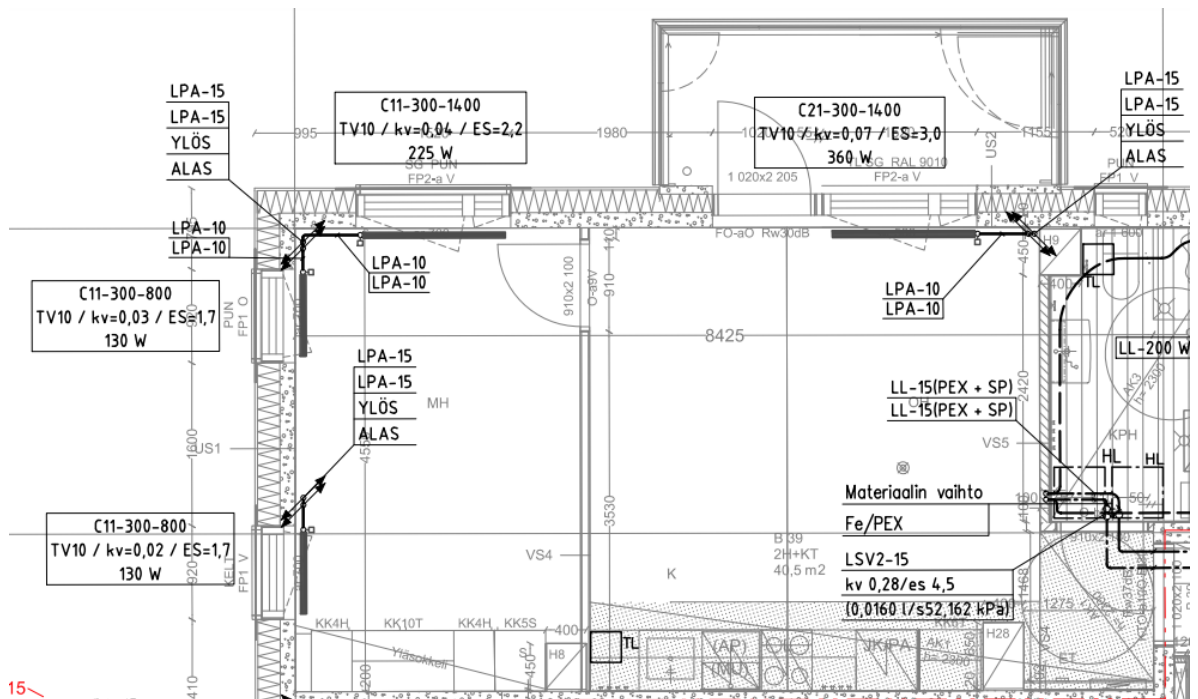
Kuva 13. Asuinkerrostalon 7. kerros 45/30 °C verkostolämpötilalla.

4.2 Verkostolämpötila 60/30 °C

Lämmityspatterisuunnittelu 60/30 °C verkostolämpötiloilla on tehty samalla periaatteella 45/30 °C verkostolämpötilasuunnitelmien kanssa. Kaikki lähtötiedot suunnitelmien tekemiseen ovat samat, vain verkostolämpötila on muuttunut. Uuden toimintaolosuhteen suunnittelu aloitetaan patterien ja lämmitysputkien uudelleen mitoittamisella verkostolämpötilan mukaisesti. Patteriverkosto pitää tasapainottaa verkostolämpötilojen mukaisesti. Patterit mitoitetaan käsin, jonka jälkeen MagiCADin Sizing- ja Balancing-työkaluilla verkosto saadaan mitoitettua ja tasapainotettua oikein.

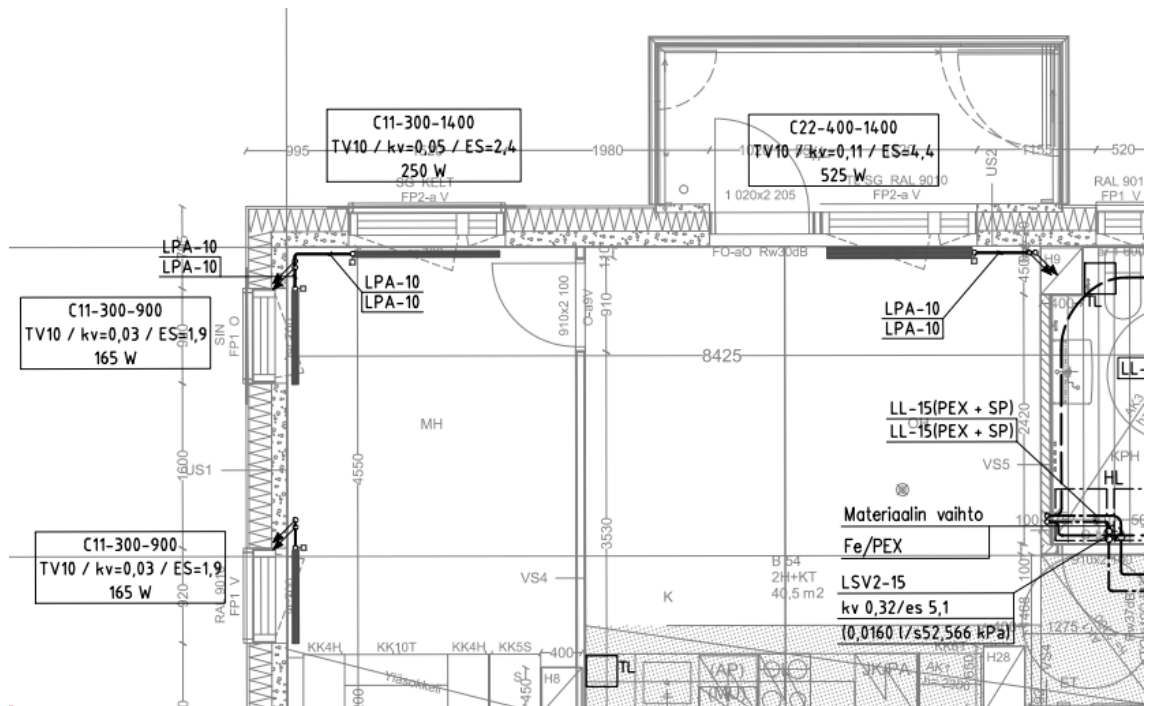
Kuvassa 14 nähdään 3. kerroksen länsiosan kaksio 60/30 °C verkostolämpötiloilla. Asuinhuoneisto on sama, mikä nähdään kuvassa 11. Lämpöhäviöt tiloissa ovat samat, mutta patterikokoja ja tehoja on muutettu

toimintaolosuhteeseen sopivaksi. Patteritehot kaksion makuuhuoneessa on jaettu niin, että leveimmällä patterilla on 225 wattia tehoa ja kahdella kapeammalla 130 wattia. Lämpöhäviön ollessa sama kuin 45/30 °C olosuhteella saadaan 485 watin lämpöhäviö katettua. Makuuhuoneen kaikille pattereille valittiin C11-malli.



Kuva 14. Asuinkerrostalon 3. kerroksen länsiosassa sijaitseva kaksio 60/30 °C verkostolämpötiloilla.

Kuvassa 15 nähdään asuinkerrostalon 6. kerroksen länsiosan kaksio, joka on identtinen kuvassa 14 olevan kaksion kanssa. Ainoana poikkeuksena on 6. kerroksen länsiosan lämpöhäviöt, jotka ovat korkeammat, koska rakennus ei jatku 7. kerrokseen ja rakennuksen yläpohja tulee vastaan. Kuudennen kerroksen länsiosan kaksion makuuhuoneessa lämpöhäviöt ovat 10 % mitoituskorolla noin 580 wattia, mikä on 95 wattia enemmän kuin välikerroksissa, jonka takia patterit ovat mitoitettu tehokkaimmiksi.



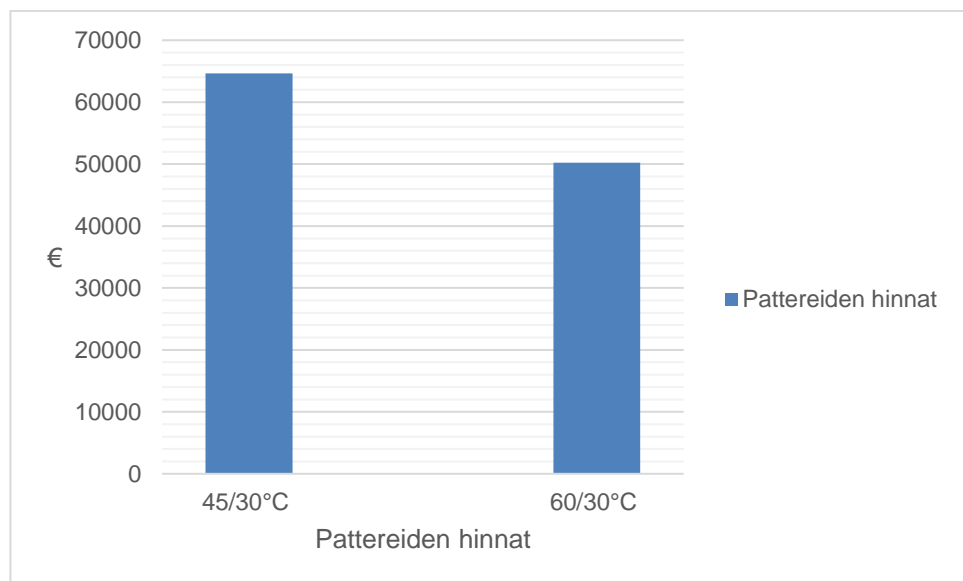
Kuva 15. Asuinkerrostalon 6. kerroksen länsiosan kaksio 60/30 °C verkostolämpötilalla.

5 Kustannusarviot

Opinnäytetyössä käsiteltävälle kohteelle tehtiin karkea kustannusarvio toimintaolosuhde kohtaisesti, jotta kohteen kustannuksia voitiin vertailla. Opinnäytetyön kustannusarvioihin laskettiin ainoastaan lämmityspatterijärjestelmään liittyvä tekniikka. Laskettavaa tekniikkaa ovat lämmityspatterit, putket ja niiden liitokset, venttiilit sekä eristeet. Nämä tiedot saatiin MagiCADin projektista Bill of Materials -työkalulla, joka tulostaa kaiken haluttavan projektissa olevan tekniikan mitat ja tiedot suoraan listana esimerkiksi Exceliin. Näillä tiedoilla pystyttiin määrittämään karkeat hinnat tekniikalle eri lähteiden kautta. Hintojen lähteinä käytettiin esimerkiksi tuotemyyjien verkkokauppoja. Asennuskustannuksia ei huomioida erikseen, koska oletettiin, että ne ovat molemmilla toimintaolosuhteilla lähes samanlaiset.

5.1 Patterityyppien vertailu

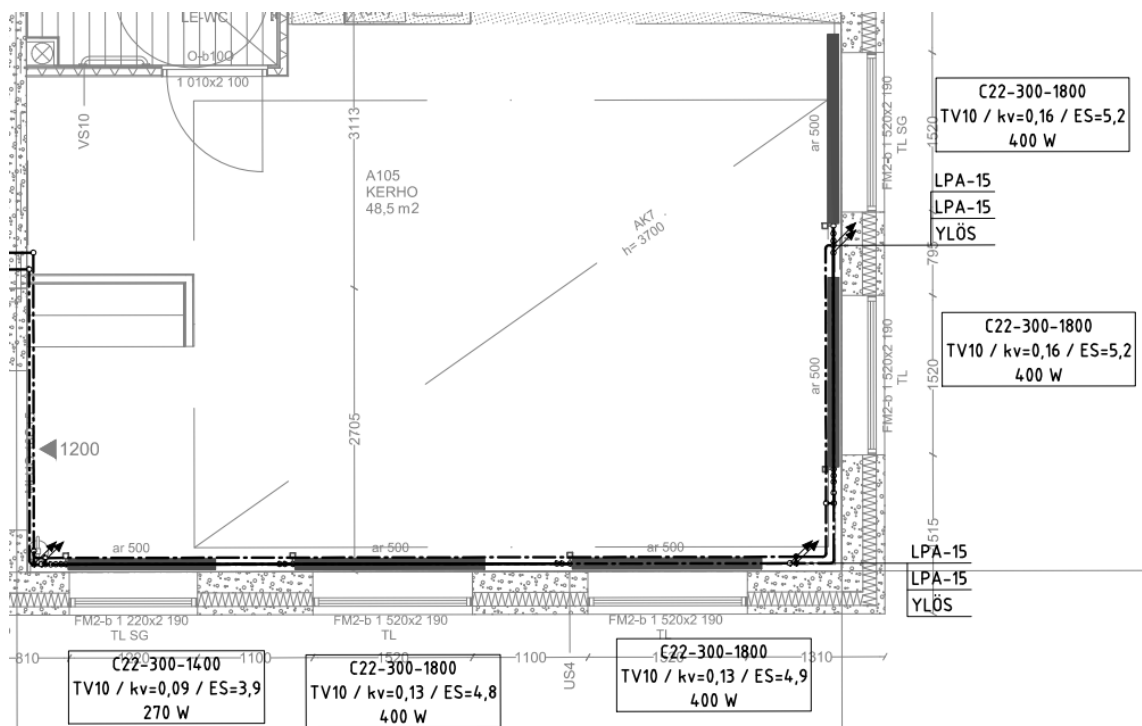
Opinnäytetyössä käsiteltävän kohteen pattereiksi valittiin Purmon Compact C -patterimalli. Kustannusarvion laskemiseen käytettiin Purmon ohjehinnastoa pattereille. Ohjehinnaston patterihinnat ovat suositushintoja sekä arvolisäverottomia (Ohjehinnasto 2023). Kuvassa 16 nähdään diagrammi arvioiduista patteri hinnoista eri toimintaolosuhteilla. Diagrammista nähdään, että 60/30 °C verkostolämpötiloilla patterit ovat vajaa 15 000 euroa halvempia. Hintaero on suuri, koska 45/30 °C verkostolämpötiloilla patterien koot ovat huomattavasti suuremmat. Isommat patterikoot ovat kalliimpia pienempiin verrattuna. Purmon ohjehinnaston mukaan C33-malliset patterit ovat kallein malli Compact C -patterityypissä (Ohjehinnasto 2023). 45/30 °C verkostolämpötiloilla C33-mallisia pattereita valittiin kymmenen, kun taas 60/30 °C verkostolämpötiloilla vain neljä. Isommat patterit saattavat vaikuttaa myös asennuskustannuksiin isojen pattereiden ollessa painavampia.



Kuva 16. Kustannusarvio pattereiden hinnoista eri toimintaolosuhteilla.

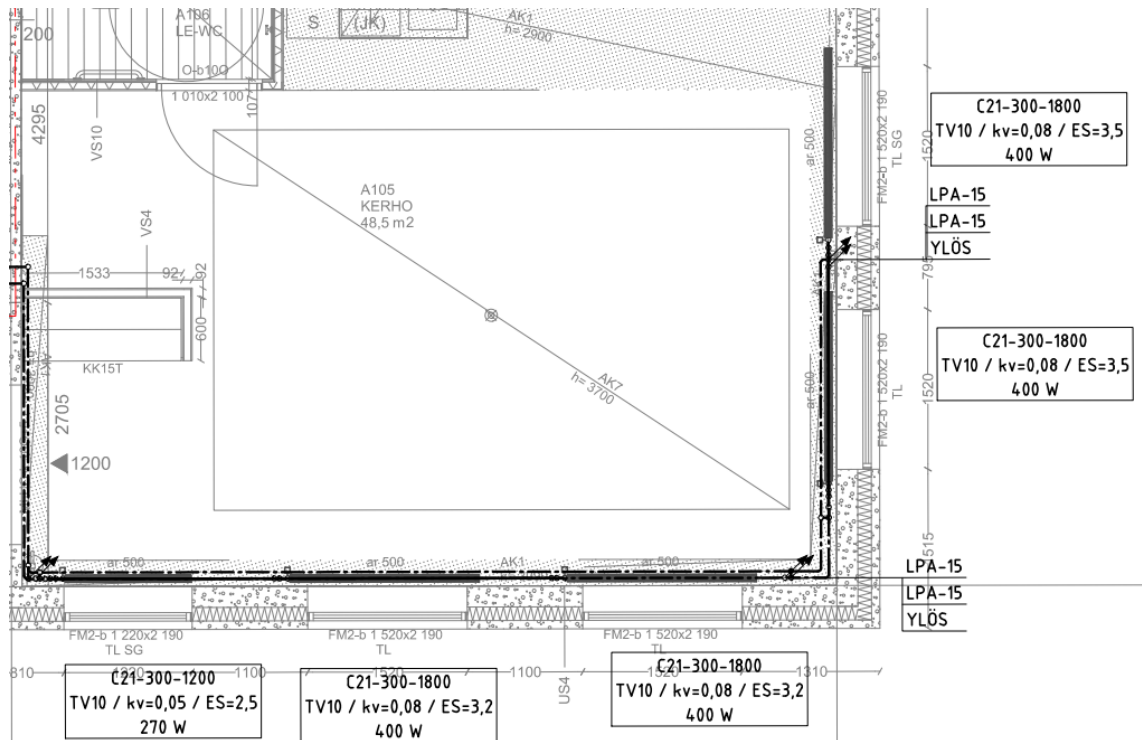
Opinnäytetyössä käsiteltävän kohteen patterityypit osoittautuivat karkean kustannusarvion perusteella kalleimmaksi menoeräksi lämmityspatterijärjestelmässä muuhun tekniikkaan verrattuna. Patterityypit 60/30 °C

verkostolämpötiloilla ovat edullisempia, koska suunnitteluratkaisuissa pystyttiin valitsemaan pienempiä pattereita verkoston menolämpötilan ollessa korkeampi kuin 45/30 °C toimintaolosuhteella. Kuvissa 17 ja 18 nähdään toimintaolosuhteiden esimerkki patterieroista 1. kerroksen kerhotilasta. Pattereiden lämpötehot ovat samat, mutta patterikoot ovat erilaiset. Kuvan 17 verkostolämpötiloilla 45/30 °C oleville pattereille valittiin neljä C22–300–1800 patteria sekä yksi C22–300–1400 patteri, missä 300 on patterin korkeus ja 1800 sekä 1400 patterin leveys millimetreinä. Purmon ohjehinnaston mukaan näiden pattereiden yhteishinta olisi noin 1800 euroa (Ohjehinnasto 2023).



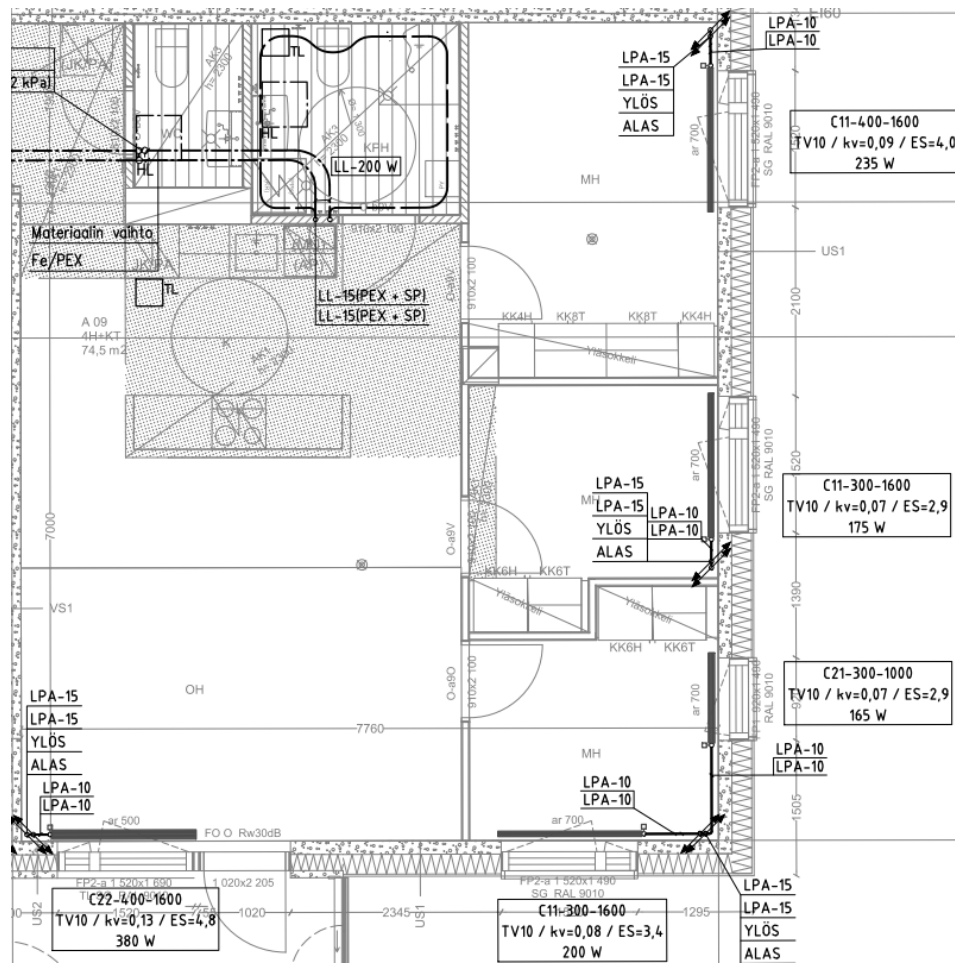
Kuva 17. Asuinkerrostalo kohteen 1. kerroksen kerhotila 45/30 °C verkostolämpötiloilla.

Kuvan 18 verkostolämpötiloilla 60/30 °C oleville pattereille valittiin neljä C21–300–1800 patteria ja yksi C21–300–1200 patteri, joiden yhteishinta Purmon ohjehinnaston mukaan on noin 1600 euroa (Ohjehinnasto 2023). Pattereiksi voidaan valita myös C11-malliset patterit, mutta patterileveys olisi silloin ikkunaa kapeampi. Tapauskohteen patterivalinnoissa 60/30 °C verkostolämpötiloilla jouduttiin valitsemaan usein ikkunoita kapeampia pattereita.



Kuva 18. Asuinkerrostalo kohteen 1. kerroksen kerhotila 60/30 °C verkostolämpötiloilla.

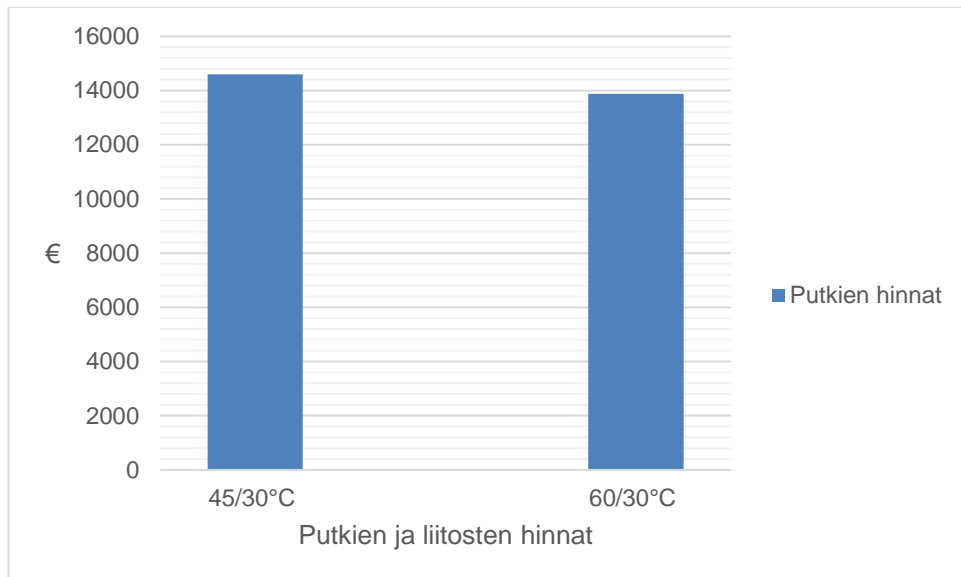
Kahdensadan euron hintaero ei ole vielä paljon, mutta hintaeron kertautuessa huoneistokohtaisesti huomataan, että kuvan 16 diagrammin mukaan hintaero on merkittävä. Kuvassa 19 ja 20 nähdään esimerkki pattereiden eroista eri toimintaolosuhteilla 3. kerroksen itäpuolen neliöstä. Kuvasta 19 huomataan, että jopa 165 watin lämpötehoiselle patterille joudutaan valitsemaan C21-mallinen patteri 45/30 °C verkostolämpötiloilla. Kuvan 19 pattereiden yhteishinta Purmon ohjehinnaston mukaan on noin 1300 euroa, ja koska välikerrokset 2–6 ovat identtisiä, kerrotaan arvioitu hinta viidellä ja saadaan noin 6500 euroa (Ohjehinnasto 2023).



Kuva 19. Asuinkerrostalon 3. kerroksen itäpuolen neliö 45/30 °C verkostolämpötiloilla.

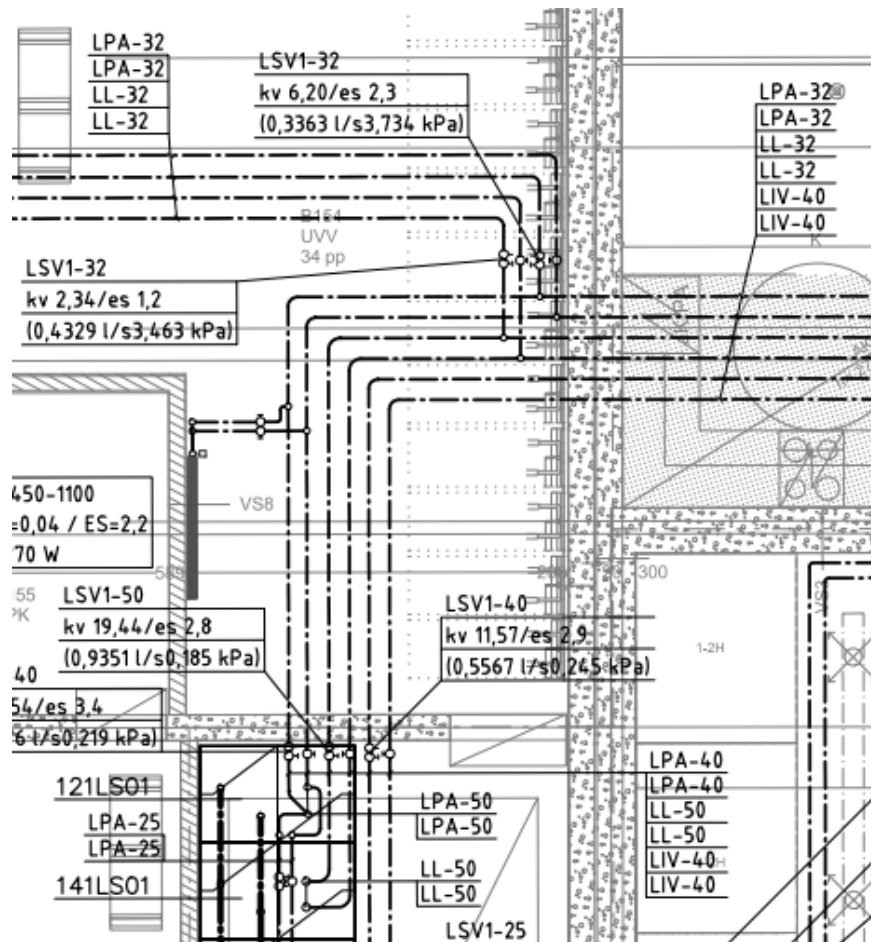
Kuvasta 20 nähdään, että 3. kerroksen itäpuolen neliön kaikki patterit ovat mallia C11. Osa pattereista ei täytä koko ikkunan leveyttä, kun taas 45/30 °C verkostolämpötiloilla pattereiden leveys on sopivasti yli ikkunoiden molemmilta puolilta. Neliön pattereiden yhteishinta Purmon ohjehinnaston mukaan on noin 960 euroa (Ohjehinnasto 2023). Kerrokset 2–6 on identtisiä, joten hinta kerrotaan viidellä ja saadaan noin 4800 euroa, joka on lähes 2000 euroa halvempi kuin 45/30 °C verkostolämpötiloilla. Karkeilla pattereiden kustannusarvioilla voidaan todeta, että toimintaolosuhteista 60/30 °C on edullisempi vaihtoehto patterihintoja vertaillen.

käännöksiin, putkikokomuunnoksiin sekä haaroittuviin putkiin asennettavia käyriä, supistusmuhveja ja T-yhteitä. Hinnat, joita kustannusarvioon käytettiin, saatiin LVI-Liiteri Oy:n verkkokaupan teräsputkiosien hinnastosta (LVI-tarvikkeet 2024).



Kuva 21. Putkien ja liitosten kustannusarviot eri toimintaolosuhteilla.

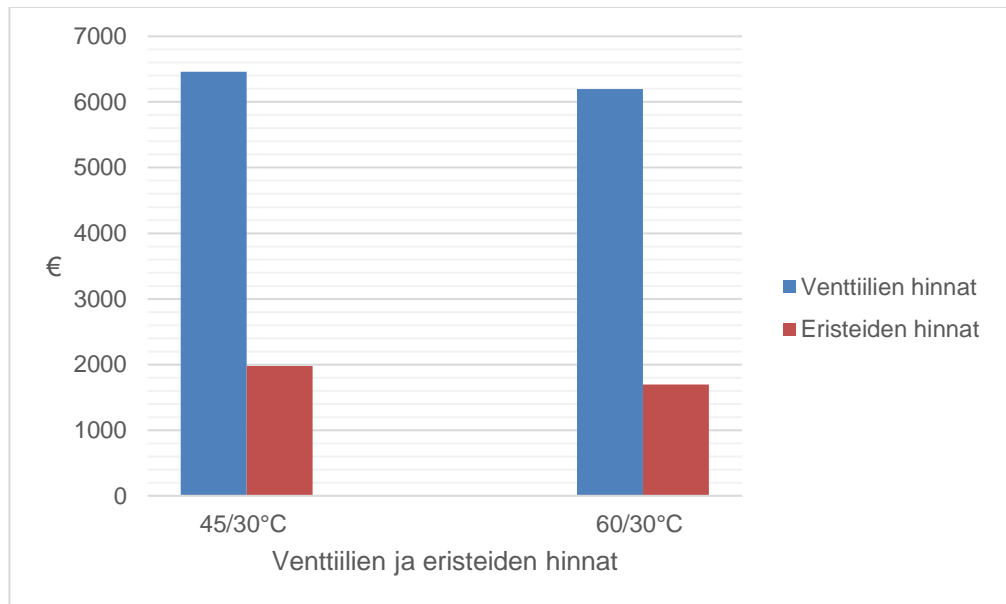
Tapauskohteen putkien ja liitosten hintaero on noin 700 euroa. Runkoputkien metrimäärä on 20 metriä pitempi 60/30 °C verkostolämpötiloilla johtuen pienemmistä putkiko'ista. Suurin putkikoko 60/30 °C verkostolämpötiloilla on DN32 teräsputki, kun 45/30 °C verkostolämpötiloilla jopa DN50. Kuten kuvasta 21 voidaan todeta, hintaero ei ole kuitenkaan merkittävä. Kuvasta 22 ja 23 nähdään esimerkki eri toimintaolosuhteiden 1. kerroksen runkoputkista, jotka lähtevät lämmönjakohuoneesta. Mittatekstit LPA-xx viittaavat lämmityspatterijärjestelmän putkiin.



Kuva 22. Asuinkerrostalon 1. kerroksen runkoputkia 45/30 °C verkostolämpötiloilla.

Lämmönjakuhuoneen runkoputket alkavat DN50-kokoisena lämmönjakokeskuksesta, jonka jälkeen jatkuvat DN40-kokoisina ja haaroittuvat rakennuksen itä- ja länsipuolille DN32-kokoisina. Verkoston menolämpötilan ollessa 45 °C, isompia putkikokoja tarvitaan, jotta verkostolle saadaan mitoitetut oikeat lämpötehot.

samanlaiset, koska venttiilejä on sama määrä molemmissa toimintaolosuhteissa. Suuremmat putkikoot 45/30 °C toimintaolosuhteessa nostaa venttiilien hintaa, koska ne tarvitsevat suuremman venttiilin, jotka ovat kalliimpia kuin pienemmät.

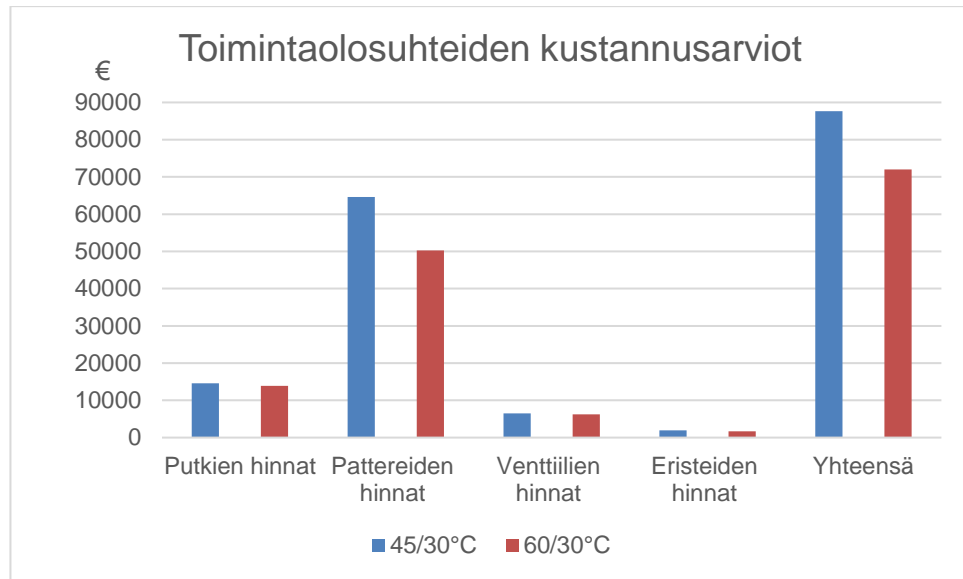


Kuva 24. Asuinkerrostalon venttiilien ja eristeiden hinnat eri toimintaolosuhteilla.

Putkieristeet ovat pienin kuluerä projektissa, kuten kuvasta 24 nähdään. Putkieristeiden hinnat karkeaan kustannusarvioon saatiin Parocin tuotehinnastoista (Paroc tuotehinnasto 2023). Lämpöputket eristetään eristesarjalla 23, ja eristettävät putket ovat runkoputkia. Hintaero eristeissä on noin 300 euroa.

5.3 Kustannusarviot yhteensä

Lämmityspatterijärjestelmän karkeasti arvioituista kustannusarvioista eri toimintaolosuhteille, voidaan todeta, että tekniikan osalta 60/30 °C toimintaolosuhde on halvempi toteuttaa. Kuvassa 25 nähdään diagrammi asuinkerrostalo kustannusarvioista yhteensä eri toimintaolosuhteilla. Hintaero toimintaolosuhteiden välillä on noin 15 700 euroa, josta ylivoimaisesti suurin osa tulee pattereiden hinnoista. Muiden diagrammissa näkyvien kustannusten hintaerot yhteensä ovat hieman yli tuhat euroa.



Kuva 25. Asuinkerrostalon kustannusarviot yhteensä eri toimintaolosuhteilla.

6 Yhteenveto

Opinnäytetyössä vertailtiin asuinkerrostalon lämmityspatterijärjestelmän kustannusarvioita eri toimintaolosuhteilla. Esimerkkikohteena käytettiin Etelä-Suomessa sijaitsevaa suunnitteilla olevaa 7-kerroksista asuinkerrostaloa. Työn tavoitteena oli selvittää, kumpi toimintaolosuhteista on edullisempi toteuttaa. Vertailut tehtiin karkeilla kustannusarvioilla. Vertailuista saatiin konkreettisia tuloksia, joista voidaan tehdä johtopäätöksiä toimintaolosuhteita valittaessa.

Karkeat kustannusarviot osoittivat, että lämmityspatteriverkosto meno-paluuverkostolämpötiloilla 60/30 °C on edullisempi toteuttaa pienempien patterikokojen vuoksi. Säästöä 60/30 °C:n verkostolämpötiloilla tulisi noin 15 700 euroa, joka on merkittävän paljon, kun mietitään lämmityspatteriverkoston kustannuksia. Kustannusarvioissa huomioitiin myös putkien ja muun tekniikan kustannusarviot lämmityspatterijärjestelmässä. Hintaeroa eri toimintasuhteille muun tekniikan vertailussa oli noin 1250 euroa, joka ei ole merkittävä summa vertailussa. Kustannusarviovertailuja voidaan käyttää asuinkerrostalon suunnitteluvaiheessa vesikiertoiselle lämmityspatterijärjestelmälle.

Opinnäytetyön tavoitteisiin päästiin ja konkreettisia tuloksia saatiin. Jatkotutkimusehdotuksena voisi harkita tarkempaa analyysiä lämmityspatterijärjestelmän energiatehokkuudesta ja ympäristövaikutuksista eri toimintaolosuhteissa. Lisäksi olisi hyödyllistä tutkia järjestelmien muita tekijöitä, kuten käyttöikä ja ylläpitokustannuksia, jotka vaikuttavat myös kokonaiskustannuksiin ja järjestelmän kestävyteen pitkällä aikavälillä. Vertailua erilaisten lämmitysjärjestelmien välillä voitaisiin myös laajentaa, jotta käsitys eri vaihtoehtojen hyödyistä ja haitoista parantuisi. Opinnäytetyössä tehtyjen kustannusarvioiden vertailuista pystytään kuitenkin tekemään varteenotettavia johtopäätöksiä asuinkerrostalon lämmityspatterijärjestelmää suunnitellessa.

Lähteet

E-luvun laskennassa ja lämmitystehon laskennassa käytettävät säätiedot. 2017. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. Liite 1. 1010/20.12.2017.

Energiatodistus ja energiaselvitys, rakennusvalvonnoille. 2022. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <https://www.motiva.fi/files/20723/Motiva_energiatodistus_Rakennusvalvonnoille_09-2022.pdf>. Luettu 15.1.2024.

HögforstGST-lämmönjakokeskus. 2024. Verkkoaineisto. HögforstGST Oy. <<https://hogforsgst.com/fi/products/gst-lammonjakokeskus>>. Luettu 27.1.2024.

IMI Hydronic TRV-3 Calypso tuotekuvaus. 2024. Verkkoaineisto. IMI Hydronic Engineering Oy. <<https://www.imi-hydronic.com/fi/product/trv-3-calypso>>. Luettu 27.1.2024.

Kukkonen, Petri. 2019. Rakentamismääräysten muutokset koskien ilmanpitiävyyden osoittamista mittaamalla. Verkkoaineisto. Eurofins Expert Services Oy. <https://rakentamisensertifikaatit.fi/uutiset/rakentamismaaraysten_muutokset_ilmanpitiavyydessa>. 3.4.2019. Luettu 2.3.2024.

LVI-Suunnitteluohje. 2023. Yrityksen sisäinen aineisto. RE-Suunnittelu Oy.

LVI-Tarvikkeet. 2024. Verkkoaineisto. LVI-Liiteri Oy. <<https://www.lvi-tarvikkeet.net/>>. Luettu 9.3.2024.

MagiCAD Room tuotekuvaus. 2024. Verkkoaineisto. MagiCAD Group Oy. <https://www.magicad.com/en/mc_software/magicad-room/#features-for-autocad>. Luettu 27.1.2024.

Ohjehinnasto. 2023. Verkkoaineisto. Purmo Group Oy. <https://www.purmo.com/public/prod/bcd2c0f2-6156-46c6-99cd-ddcde7354507/15608/36a21235b8d44eb967aeb04b1b8244f4/fi-fi-files-purmo_hinnasto_0123v2_fi_web.pdf>. Luettu 8.3.2024.

Ohje rakennuksen energiakulutuksen ja lämmöntehontarpeen laskentaan. 2017. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <<https://ym.fi/documents/1410903/0/Ohje+-+Rakennuksen+energiankulutuksen+ja+l%C3%A4mmitystehontarpeen+laskenta+20-12-2017.pdf/3efb5c34-e921-592e-3d54-aaf9ecc1b62e/Ohje+-+Rakennuksen+energiankulutuksen+ja+l%C3%A4mmitystehontarpeen+laskenta+20-12-2017.pdf?t=1647934666563>>. Luettu 2.3.2024.

Paroc tuotehinnasto. 2023. Verkkoaineisto. Paroc Group Oy. <<https://fi.paroc.com/dokumentit-ja-tyokalut/hinnastot>>. Luettu 9.3.2024.

Purmo Konvektori. 2022. Verkkoaineisto. Purmo Group Finland Oy.
<<https://www.purmo.com/fi-fi/tuotteet/lammitys/radiaattorit/konvektorit/konvektori>>. Luettu 10.1.2024.

Rakennusten kaukolämmitys. 2013. Määräykset ja ohjeet, julkaisu K1/2013. Lämmönkäyttötoimikunta. Verkkoaineisto. Energiateollisuus ry.
<https://www.kenve.fi/wp-content/uploads/2017/06/Rakennusten-kaukol%C3%A4mmitys_m%C3%A4%C3%A4r%C3%A4ykset-ja-ohjeet.pdf>. Luettu 10.1.2024.

Rakennusten kaukolämmitys. 2021. Määräykset ja ohjeet, julkaisu K1/2021. Lämmönkäyttötoimikunta. Verkkoaineisto. Energiateollisuus ry. <https://energia.fi/wp-content/uploads/2016/08/Julkaisu_K1_2021_Rakennusten_kaukolammitys_Maaraykset_ja_ohjeet_pdf-1.pdf>. Luettu 10.1.2024.

Rakennusten lämmitys. 2006. LVI 10-10397. Rakennustieto.

Tekninen esite. 2018. 08-2018 Vesi. Verkkoaineisto. Purmo Group Finland Oy.
<<https://www.purmo.com/fi-fi/tuotteet/lammitys/radiaattorit/paneeliradiaattorit/vaakasuuntaiset-radiaattorit/compact,-c>>. Luettu 10.1.2024.

Vesikiertoinen patterilämmitys. 2002. LVI 13-10261. Rakennustieto.

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. 2017. 1010/20.12.2017.