

Janne Lahdensuo

Kerrostalon patteriverkoston tasapainotus

Opinnäytetyö

Kevät 2018

SeAMK Tekniikka

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Tutkinto-ohjelma: Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: LVI-tekniikka

Tekijä: Janne Lahdensuo

Työn nimi: Kerrostalon patteriverkoston tasapainotus

Ohjaajat: Marita Viljanmaa, Tapani Palmunen

Vuosi: 2018

Sivumäärä: 56

Liitteiden lukumäärä: 2

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tuottaa Vaasassa vuonna 1968 valmistuneeseen kerrostaloon suunnitelmat lämmitysjärjestelmän osittaista saneerausta varten. Saneerauksessa uusitaan lämmitysjärjestelmän patteri-, linjasäätö- ja sulkuventtiilit alkuperäisten pattereiden ja lämpöjohtojen jäädessä ennalleen.

Työssä kartoitettiin rakennuksen nykyinen lämmitysjärjestelmä sekä sen mitoitus. Rakennuksen lämpöhäviöt laskettiin käyttäen hyväksi saatavilla olevia alkuperäisiä suunnitelmia sekä rakennusajankohdalle tyypillisiä mitoitusarvoja. Rakennuksesta luotiin 3D-malli, jonka avulla laskettiin ohjelmallisesti tilakohtaiset lämmitystehon tarpeet. Suunnitelmat piirrettiin alkuperäisten suunnitelmien pohjalta Magicad-ohjelmalla, jolla laskettiin myös lämmitysjärjestelmän virtaamat ja venttiilien esisäätöarvot.

Työssä vertaillaan rakennusajankohdan mukaisia ohjeita nykyisin voimassa oleviin rakentamismääräyksiin sekä annetaan myös ehdotuksia mahdollisista energiatehokkuutta parantavista toimista.

Avainsanat: kerrostalot, lämmitysjärjestelmät, energiatehokkuus, suunnittelu, rakentamismääräykset, saneeraus

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: HVAC Technology

Author: Janne Lahdensuo

Title of thesis: Balancing of a radiator system for a block of flats

Supervisors: Marita Viljanmaa, Tapani Palmunen

Year: 2018

Number of pages: 56

Number of appendices: 2

The purpose of the thesis was to produce new heating system plans for a 1968 built block of flats, where it had been decided that a partial heating system renovation should be done. In the renovation all the stop and balancing valves of all the radiators will be replaced. The radiators and the heating pipes will remain unchanged.

The study surveyed the building's present heating system and the factors which influence heat loss calculations. The building's heat losses were calculated by using the original plans and the values typical for the building's construction era. A 3D-model of the building was created to calculate the needed heating power for each room. The new heating system plans were drawn with the Magicad planning software, which was also used to calculate the flow rates of the heating system and the pre-set values for balancing the radiator valves.

In the thesis the building regulations of the building's construction era were compared with modern regulations. Also, some ideas for how to make the studied building more energy efficient were given.

Keywords: block of flats, heating system, heat losses, building regulation, energy efficiency

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo.....	6
1 JOHDANTO.....	8
2 RAKENNUSTEN ENERGIANKULUTUS JA VAATIMUKSET.....	9
2.1 Sovellettavat määräykset.....	9
2.2 Energiatehokkuus korjausrakentamisessa.....	10
2.3 1960- ja 1970-luvulla rakennettujen asuinkerrostalojen energiakulutus.....	10
3 LÄMMITYSJÄRJESTELMÄT.....	13
3.1 Kaukolämpö.....	13
3.1.1 Lämmönsiirrin.....	14
3.1.2 Säätolaitteet.....	15
3.1.3 Kiertovesipumppu.....	15
3.1.4 Paisuntasäiliö.....	15
3.2 Vesikiertoinen patterilämmitys.....	16
3.2.1 Lämmitysjärjestelmän mitoitus.....	16
3.2.2 Lämmönvaihtimen mitoitus.....	16
4 OPINNÄYTETYÖN KERROSTALOKOHTIEN ESITTELY.....	18
4.1 Työn rajaus.....	19
4.2 Rakennuksen lämmitysjärjestelmän nykytilanne.....	19
4.3 Lämmitysjärjestelmän mitoitus.....	20
4.4 Toteutunut lämmitysenergiankulutus.....	25
5 RAKENNUKSEN LÄMMITYSTEHTÄVÄT.....	26
5.1 Mitoituslämpötilat.....	27
5.2 Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöt.....	29
5.3 Vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve.....	34
5.4 Korvausilman lämpenemisen lämpöenergian tarve.....	36
5.5 Lämmitystehtävien laskenta.....	43
6 LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU.....	45

6.1 Tilakohtaiset lämmitystehon tarpeet.....	45
6.2 Lämmitysverkoston suunnittelu.....	46
7 YHTEENVETO.....	49
7.1 Rakennusvaipan lämpöhäviöt.....	49
7.2 Vuotoilman lämpenemistarve.....	51
7.3 Korvausilman lämpenemistarve.....	51
7.4 Lämmitysjärjestelmä.....	52
LÄHTEET.....	54
LIITTEET.....	57

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Eri aikakausina rakennettujen kerrostalojen keskimääräinen lämmitysenergiankulutus	11
Kuvio 2. 1960- ja 1970-luvulla rakennettujen elementtirakenteisten kerrostalojen keskimääräisiä lämpöenergiavirtoja	12
Kuvio 3. Lämmönsiirtimen tyypikilpi.	15
Kuvio 4. As oy Isolahdenpuisto.	18
Kuvio 5. Lämmönjakokeskus.	20
Kuvio 6. Lämmönjakokeskuksen tyypikilpi.	20
Kuvio 7. Patterien merkitseminen alkuperäisissä suunnitelmissa.	23
Kuvio 8. As oy Isolahdenpuiston normitettu kaukolämpöenergia kulutus.....	25
Kuvio 9. Säävyöhykkeet.....	28
Kuvio 10. Rakennuksen alkuperäinen ulkoseinien rakenneselvitys.	31
Kuvio 11. Yläpohjan lämmöneristys.	31
Kuvio 12. Poistoilmapuhallin rakennuksen katolla.	36
Kuvio 13. TPC poistoilmapuhaltimien mitoitus taulukot.....	37
Kuvio 14. Korvausilmaventtiili keittiönkaapissa.	42
Kuvio 15. Olohuoneen korvausilmaventtiilit ulkoa parvekkeelta kuvattuna.	43
Kuvio 16. Rakennuksen 3D-malli.....	43
Kuvio 17. Rakennuksen vaipan ja vuotoilman lämpöhäviöt.	44
Kuvio 18. Osa alkuperäisestä kellarin lämpöjohtopiirustuksesta.....	45
Kuvio 19. Patterien ja venttiilien esisäätoarvojen esittäminen suunnitelmissa.	46

Kuvio 20. Linjasäätöventtiilien tilavuusvesivirrat ja esisäätöarvot suunnitelmissa.	48
Kuvio 21. Rakennusvaipan lämpöhäviöiden jakaantuminen, As oy Isolahdenpuisto.	50
Kuvio 22. Rakennusvaipan lämpöhäviöiden jakaantuminen, SRMK 2012.....	50
Taulukko 1. Mitoitustaulukon muuntokertoimet eri sisälämpötiloille.	22
Taulukko 2. Rakenteiden lämmönläpäisykertoimet.....	27
Taulukko 3. Mitoitettavat ja keskimääräiset ulkoilman lämpötilat eri säävyöhykkeillä	28
Taulukko 4. Sisätilojen mitoituslämpötilat	28
Taulukko 5. Rakenteiden eri materiaalien lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoja	32
Taulukko 6. Rakennuksen eri rakenteiden lämmönläpäisykertoimet.	33
Taulukko 7. Ohjearvoja viivamaisen kylmäsillan aiheuttamalle lisäkonduktanssille	34
Taulukko 8. Ohjearvoja viivamaisen kylmäsillan aiheuttamalle konduktanssille	34
Taulukko 9. Rakennusvaipan ja rakennuksen ilmanvuotoluku.....	35
Taulukko 10. Tilakohtaisia poistoilmavirtojen suunnitteluarvoja Suomessa eri aikoina	38
Taulukko 11. Vanhoja tulo- ja poistoilmavirtojen ohjearvoja	39
Taulukko 12. Tilojen mitoitus poistoilmavirrat.....	40
Taulukko 13. Huoneistojen ja tilojen poistoilmavirrat.	41
Taulukko 14. Vanhat ja suunnitelmassa käytetyt putkimitoitukset.....	47

1 JOHDANTO

Suomessa rakennettiin kaupungistumisen myötä 1960 ja -70-luvuilla nopeasti kerrostaloja elementtitekniikalla ja energian käyttöön ei juuri kiinnitetty huomiota ennen 1970-luvun öljykriisiä. Nyt näiden kerrostalojen talotekniikkajärjestelmät alkavat olla elinkaarensa päässä ja myös korjausrakentamisessa tulee kiinnittää huomiota energiatehokkuuteen.

Työn kohteena on Vaasaan vuonna 1968 valmistunut kerrostalo, johon on päätetty tehdä käyttövesi- sekä osittainen lämmitysjärjestelmän saneeraus. Työn tavoitteena on tuottaa saneerausta varten uudet lämmitysjärjestelmän suunnitelmat sekä tuoda esille ehdotuksia rakennuksen energiatehokkuuden parantamiseksi.

Työssä tarkastellaan rakennuksen nykyistä lämmitysjärjestelmää ja sen mitoitusta sekä rakennuksen vaipasta ja ilmanvaihdosta johtuvia lämpöhäviöitä. Lämpöhäviöiden laskennan lähtötietoina käytetään saatavissa olevia alkuperäisiä suunnitelmia sekä rakenteiden kuvauksia. Lähtötietojen ollessa epäselviä käytetään rakennusajankohdalle tyypillisiä suunnitteluarvoja. Lämpöhäviöiden ja lämmitystarpeen laskenta sekä järjestelmän suunnittelu tehdään Suomen rakentamismääräysten mukaisesti.

Rakennuksesta luodaan MagiCAD Room-ohjelmalla 3D-malli ja mallin avulla laskeaan RIUSKA-ohjelmalla tilakohtaiset lämpöhäviöt. Tilakohtaisia lämpöhäviölaskelmia käytetään lämmityspattereiden mitoituksessa ja niiden avulla saadaan tehtyä lämmitysjärjestelmän perussäätö. Lämmitysjärjestelmän suunnittelu tehdään MagiCAD-ohjelmalla.

Tämä työ tehdään talotekniikan suunnitteluun keskittyneen Hewal oy:n toimeksiantona. Työn lopputuloksena saatavia laskelmia ja suunnitelmia Hewal oy käyttää lämmitysjärjestelmän saneerauksen toteuttamisessa.

2 RAKENNUSTEN ENERGIANKULUTUS JA VAATIMUKSET

Suomen energian loppukäyttö oli vuonna 2016 noin 1081 petajoulea (PJ) ja tästä rakennuskannan energiakulutus oli noin 40 %. Rakennusten energiakulutus koostuu lämmitysenergiasta sekä sähkölaitteisiin ja valaistukseen käytettävän sähköenergian kulutuksesta. Rakennuksien lämmitykseen käytettiin vuonna 2016 noin 280 PJ eli noin 26 % Suomen energian loppukäytöstä (Motiva). Rakennusten energiakäyttö siis vastaa merkittävää osaa koko Suomen energiankulutuksesta.

Eryyisesti energian säästöpotentiaalia on vanhoissa rakennuksissa, joissa energiakulutus saattaa olla moninkertainen verrattuna nykynormein rakennettuun rakennukseen (Jaakkola, Lindstedt & Junnonen 2010, 9-10).

2.1 Sovellettavat määräykset

Maailmanlaajuisen ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi myös Suomi on hyväksynyt kansainvälisiä sopimuksia, viimeisimpänä Pariisin sopimus vuonna 2015. Sopimuksilla rajoitetaan maapallon lämpenemistä aiheuttavien kasvihuonekaasupäästöjen määrää. Suomen tavoitteena on vähentää kasvihuonekaasujen päästöjä 80 % vuoteen 2050 mennessä. Vertailuvuotena on vuosi 1990. (Ympäristöministeriö, [viitattu 24.10.2017].)

Euroopan Unionin tasolla ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi sekä energian säästämiseksi ja saatavuuden varmistamiseksi on otettu käyttöön kaikissa jäsenmaissa seuraavat rakennusten energiatehokkuutta ohjaavat direktiivit:

- Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi (ESPD)
- Uusiutuvan energian käytön edistämisdirektiivi (RES)
- Energiatehokkuusdirektiivi (EED).

Kansainväliset sopimukset ja direktiivit otetaan käyttöön jäsenmaissa kansallisilla määräyksillä.

Suomessa rakentamisen tärkein ohjauskeino on maankäyttö- ja rakennuslaki (132/1999, MRL). Laissa määritellään rakentamista koskevat yleiset edellytykset,

olennaiset tekniset vaatimukset sekä rakentamisen lupamenettely ja viranomaisvalvonta. Laissa annetaan myös asetuksenantovaltuutus koskien rakennusten käyttö- ja huolto-ohjetta. Tarkemmat rakentamista koskevat säännökset ja ohjeet on koottu Suomen rakentamismääräyskokoelmaan. Kansainvälisistä sopimuksista ja EU-direktiiveistä johtuvat rakennusten energiatehokkuutta koskevat määräykset on sisällytetty rakentamismääräyskokoelman osaan D3.

2.2 Energiatehokkuus korjausrakentamisessa

Korjausrakentamisen energiatehokkuudelle asetetaan määräyksiä ympäristöministeriön asetuksissa A 4/13 ja A 2/17. Asetuksien määräyksiä tulee noudattaa rakennus- ja toimenpideluvanvaraisissa korjaus- ja muutostoissa sekä mikäli rakennuksen käyttötarkoitusta muutetaan.

Asetukset antavat määräyksiä korjausrakentamisen

- tekniselle, taloudelliselle ja toiminnalliselle toteutettavuudelle
- suunnittelulle
- rakennusosakohtaisille ja teknisten järjestelmien vaatimuksille
- energiakulutusvaatimuksille.

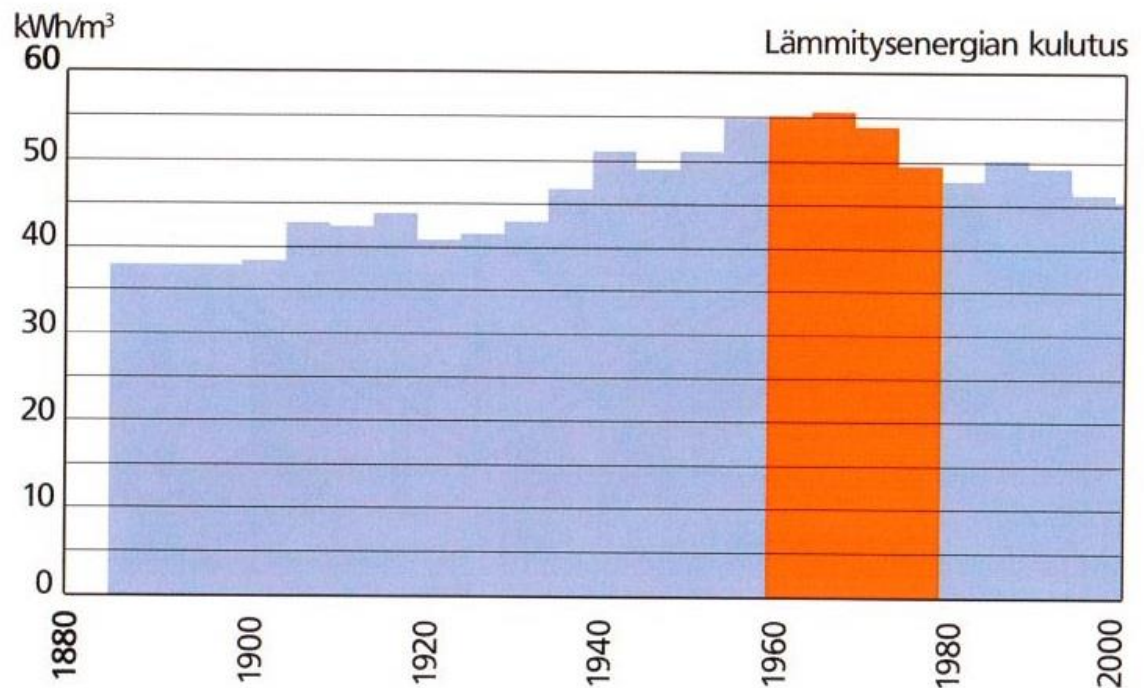
Mm. lämmitysjärjestelmiin tehtäviin korjauksiin annetaan määräyksiä A 2/17 5 § kohdassa 5:

Lämmitysjärjestelmien hyötysuhdetta on parannettava laitteiden ja järjestelmien uusimisen yhteydessä uusittavilta osin. Uusimisen jälkeen rakennuksen pääasiallisen lämmöntuottojärjestelmän ja tilojen pääasiallisen lämmönjakojärjestelmän hyötysuhteiden välisen suhteen on oltava vähintään 0,8.

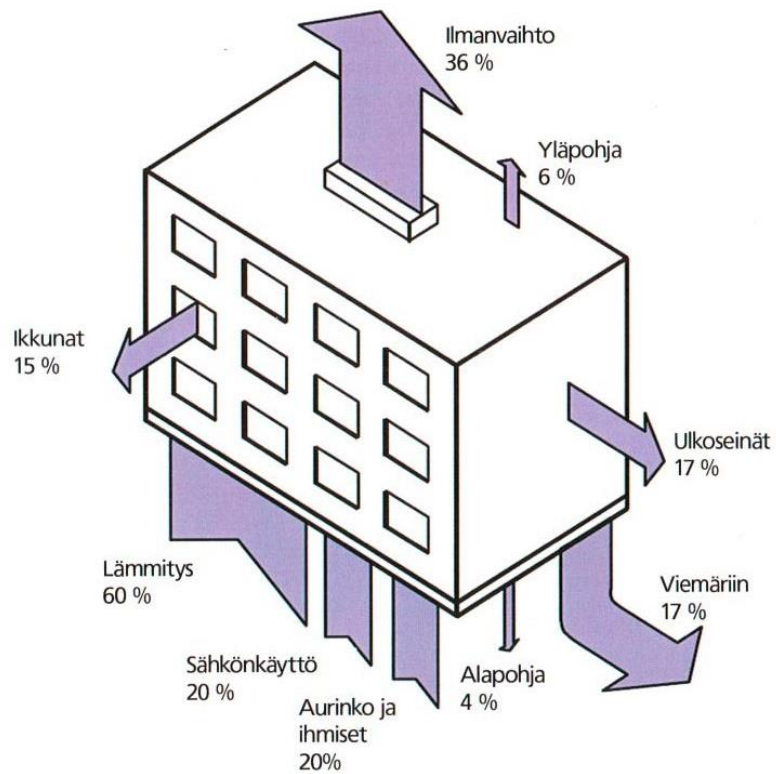
2.3 1960- ja 1970-luvulla rakennettujen asuinkerrostalojen energiakulutus

Kerrostaloja on rakennettu 1960-luvulta lähtien elementtitekniikalla. Tavoitteena oli nopea rakentaminen, eikä rakennusten energiakäyttöön juurikaan kiinnitetty huomiota. 1970-luvun öljykriisin myötä energiankulutusta pyrittiin vähentämään lähinnä ulkovaipan eristävyyttä parantamalla, mutta todellinen muutos saatiin tiukempien

rakentamismääräysten myötä vuonna 1978. Näin ollen 1960- ja 1970-luvuilla rakennettujen kerrostalojen lämmitysenergiankulutus on suurin muiden aikakausien kerrostaloihin verrattuna (Kuvio 1). Myös tuolloin yleistynyt koneellinen ilmanvaihto lisäsi energiankulutusta. 1960- ja 1970-luvulla rakennettujen kerrostalojen keskimääräisiä energiavirtojen jakaantumista on esitetty kuviossa 2. (Jaakkola, Lindstedt & Junnonen 2010, 9-10.)



Kuvio 1. Eri aikakausina rakennettujen kerrostalojen keskimääräinen lämmitysenergiankulutus (Jaakkola, Junnola & Lindstedt 2010, 9).



Kuvio 2. 1960- ja 1970-luvulla rakennettujen elementtirakenteisten kerrostalojen keskimääräisiä lämpöenergiavirtoja (Jaakkola, Junnola & Lindstedt 2010, 10).

3 LÄMMITYSJÄRJESTELMÄT

Rakennuksen lämmitysjärjestelmän tehtävänä on lämmittää tiloja sekä lämmintä käyttövettä. Lämmitysjärjestelmät koostuvat keskuslaitteista, siirtolaitteista ja huonelaitteista. Vesikiertosiin lämmitysjärjestelmiin sisältyy kaikkia näitä laitteita, sähkölämmitteisiin järjestelmiin tavallisesti vain huonekohtaiset lämmityslaitteet.

Keskuslaitteilla tuotetaan rakennuksen tarvitsema lämpö. Tavallisimmat keskuslaitteet asuinkerrostaloissa ovat kaukolämmönsiirrin tai lämmityskattila. Energiatehokkuuden kannalta tärkeimmät asiat ovat keskuslaitteiden oikea mitoitus, säädön toiminta ja tarpeenmukainen eristys.

Lämpö siirretään lämmitettäviin tiloihin lämmitysverkoston avulla. Lämmitysverkosto koostuu putkista ja tarvittaessa sulku- sekä linjasäätöventtiileistä. Energiatehokkuuden kannalta oleellista on verkoston perussäätö tilakohtaisten lämmitystarpeiden mukaan sekä verkoston lämmöneristys.

Huonetoissa sijaitsevat lämmönluovuttimet eli patterit luovuttavat tilaan lämpöä. Patterit on yleensä varustettu termostaattisella patteriventtiilillä, joka säätää patteriin menevää vesivirtaa huonelämpötilan mukaan. Energiatehokkuuden kannalta tulee kiinnittää huomiota termostaattisten patteriventtiilien oikeaa toimintaan. (Ympäristöministeriö, [viitattu 23.2.2018].)

Suomessa yleisimmät lämmitystavat asuin- ja palvelurakennuksissa ovat kaukolämpö, puu- ja sähkölämmitys. Asuinkerrostaloissa yleisin lämmöntuottotapa on kaukolämpö. Sen avulla lämpiää noin 75 – 85 % kerrostaloyhtiöistä. Kaukolämmöllä lämpenevissä taloissa on useimmiten vesipatterilämmitys. (Motiva, [viitattu 23.2.2018].)

3.1 Kaukolämpö

Kaukolämpö siirtyy asiakkaalle kaukolämpöverkossa kiertävä kuuman veden avulla. Asiakkaalle tulevan kaukolämpöveden lämpötila vaihtelee ulkolämpötilan mukaan 65 – 115 °C välillä. Lämpöenergia siirretään kaukolämpöverkosta rakennuksen

lämmitysjärjestelmiin lämmönjakokeskuksen avulla. Lämmönjakokeskukset ovat tehdasvalmisteisia kokonaisuuksia ja sen osat ovat

- lämmönsiirrin
- säätölaitteet
- kiertovesipumppu
- paisunta- ja varolaitteet
- putkistot, venttiilit ja mittarit. (RT 52-10859, 3.)

3.1.1 Lämmönsiirrin

Suomessa kaukolämmönkuluttajat kytketään kaukolämpöverkkoon lämmönsiirtimen välityksellä eli ns. epäsuoralla kytkennällä. Tällöin kaukolämpövesi ja rakennuksen lämmitysverkoston vesi eivät pääse sekoittumaan keskenään.

Epäsuoran kytkennän hyötyjä on

- hyvä kaukolämpöveden jäähtytys kaikissa käyttötilanteissa
- toisiopuolen lämmitysverkon vuodot ja syöpymät eivät häiritse kaukolämpöverkon toimintaa
- rakennuksen ja lämpölaitoksen vesipiirien erilaiset painetasot helppo hallita
- hyvä turvallisuus. (Seppänen 2001, 271.)

Lämmönsiirtimen käyttöikä vaihtelee niin paljon, että kuntoa on seurattava säännöllisesti. Joissain olosuhteissa lämmönsiirtimet ovat alkaneet vuotaa neljässä vuodessa, kun taas eräät vaihtimet ovat kestäneet yli 30 vuotta. Jos lämmönjakokeskus on yli 20 vuotta vanha, se uusitaan yleensä kokonaisuusintana (LVI 03-10368 2004, 3).

Lämmönsiirrin mitoitetaan lämmitystehon mukaan käyttökohteittain. Siirtimen ja siten koko rakennukselle laskettu tehontarve pystytään laskemaan siirtimen tyyppikilvessä olevilla tiedoilla (Kuvio 3).



Kuvio 3. Lämmönsiirtimen tyyppikilpi.

3.1.2 Säätolaitteet

Säätolaitteilla säädetään kaukolämpöveden virtaamaa niin, että asiakas saa aina tarvitsemansa lämpötehon käyttöönsä. Laitteet säättävät lämmitysverkon lämpötilaa niin, että huonelämpötilat pysyvät tasaisina ja rakennuksen tehontarve ja energiakulutus mahdollisimman pieninä.

3.1.3 Kiertovesipumppu

Kiertovesipumpuilla kierrätetään rakennuksen lämmitysverkoston kiertovettä. Pumppu mitoitetaan lämmitysjärjestelmälle lasketulle vesivirralla ja painehäviöille. Pumppu on taajuusmuuttajaohjattu, jolloin tuottoa voidaan säätää portaattomasti pumpun säätörajojen puitteissa.

3.1.4 Paisuntasäiliö

Lämmitysjärjestelmien paisuntasäiliöt ylläpitävät lämmitysverkoissa riittävää painetasoa ja vastaanottavat veden lämpötilavaihteluista johtuvat tilavuuden muutokset. Paisuntasäiliöt mitoitetaan verkoston vesitilavuuden, veden enimmäislämpötilavaihtelun ja verkostolle suunnitellun painetason avulla.

3.2 Vesikiertoinen patterilämmitys

Vesikiertoisessa patterilämmityksessä kiertovesipumpulla kierrätetään lämmitysverkostossa lämmönvaihtimessa lämmitettyä vettä. Lämmitysverkoston menovesi lämmittää useimmiten lämmityspattereita eli radiaattoreita, jotka luovuttavat huoneisiin tarvittavan määrän lämpöä. lämmityspattereilta vesi palaa jäähtyneenä takaisin lämmönvaihtimeen uudelleen lämmitettäväksi.

Lämmitysverkostoon menevän menoveden lämpötilaa ohjataan säätökäyrällä ulkoilman lämpötilan mukaan. Lämmitystehoa siis säädetään muuttamalla lämmitysverkostoon menevän veden lämpötilaa. Tilakohtainen lämmitystehonsäätö hoidetaan lämmityspattereiden termostaattiventtiileillä. (Motiva, [viitattu 23.2.2018].)

3.2.1 Lämmitysjärjestelmän mitoitus

Lämmitysjärjestelmä mitoitetaan siten, että sisäilmastovaatimukset täyttyvät. Mitoituksessa lasketaan rakennuksen lämmityksen tehontarve mitoitusulkolämpötilassa Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaisesti ja valitaan lämmitysverkoston mitoituslämpötilat. (LVI 12-10343 2002, 2.)

Lämmitystehontarve tulee laskea tilakohtaisesti, jolloin voidaan määritellä lämmityspattereille tarvittava tilavuusvesivirta. Vesivirta säädetään suunnitelmien mukaiseksi perussäätämällä järjestelmä käyttäen hyväksi linjasäätö- ja patteriventtiilejä. Oikein perussäädetty järjestelmä varmistaa suunnitelmien mukaiset tasapuoliset lämpöolosuhteet tiloissa sekä säästää energiakuluissa 10 – 15 % (Motiva 9/2002.)

3.2.2 Lämmönvaihtimen mitoitus

Rakennukselle lasketun lämmitystehon ja verkostolle valitun mitoituslämpötilojen mukaan voidaan laskea lämmönsiirtimen toisiopuolen vesivirta kaavalla 1

$$\phi = c_p \times \rho_{vesi} \times q_v \times \Delta T \quad (1)$$

missä

ϕ	on lämpöteho (W)
c_p	on veden ominaislämpökapasiteetti (KJ/kgK)
ρ_{vesi}	on veden tiheys (kg/m ³)
q_v	on tilavuusvirta (m ³ /s)
ΔT	on meno- ja paluuveden lämpötilaero (K)

Ensiöpuolen virtaama saadaan vastaavasti laskettua käyttämällä tehona rakennukselle laskettua lämmitystehoa ja meno- ja paluuveden lämpötilaerona kaukolämmön toimittajan kanssa sovittuja kaukolämpöveden tulo- ja paluulämpötiloja. Kaukolämmön perusmaksu perustuu sopimustehoon, joka määräytyy lämmönsiirtimelle lasketun tehontarpeen mukaan tai sopimusvesivirtaan, joka määräytyy lämmönsiirtimelle lasketun vesivirran mukaan. (LVI 10-10558 2015, 3-4.)

4 OPINNÄYTETYÖN KERROSTALOKOHTTEEN ESITTELY

Työssä tarkasteltava kerrostalo on vuonna 1968 valmistunut As oy Isolahdenpuisto Vaasan kaupungissa osoitteessa Hyttystie 1. Rakennus on aikakaudelle tyypillinen lamellikerrostalo, jossa on 4 kerrosta ja 4 rappua (Kuvio 4). Rakennuksen 1. kerroksessa on 17 autotallia, yhteiset varasto- ja pesutilat sekä tekniset tilat. 2-4. kerroksissa sijaitsee asuintilat, yhteensä 30 huoneistoa. Rakennuksen kerrosala on 2712 m².



Kuvio 4. As oy Isolahdenpuisto.

Rakennukseen on päätetty tehdä käyttövesi- ja osittainen lämmitysjärjestelmän saneeraus alkaen keväällä 2018. Lämmitysjärjestelmään vaihdetaan linjasäätö-, sulku- ja patteriventtiilit, lämmityspatterien lämmitystehot mitoitetaan uudelleen ja järjestelmä perussäädetään. Lämmönvaihdinga, lämmityspattereita tai -putkistoja ei uusita.

Rakennuksen lämmitysjärjestelmälle ei ole tehty kuntokartoitusta tai -arviota.

4.1 Työn rajaus

Työ rajattiin koskemaan rakennuksen uusia lämpöhäviölaskelmia, patteriverkoston suunnitelmien päivittämistä muuttuvien mitoitus tietojen vuoksi sekä lämmönvaihtimen mitoitusta.

4.2 Rakennuksen lämmitysjärjestelmän nykytilanne

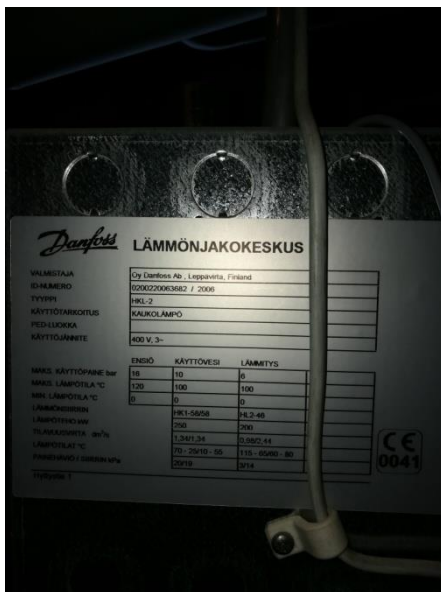
Rakennuksessa on kaukolämpöverkkoon kytketty pumppukiertoinen vesikeskuslämmitys. Lämmitys on toteutettu lämmityspattereilla kaksiputkikytkentä -järjestelmällä, jossa nousulinjassa on oma putki sekä meno- että paluuedelle. Tällöin kaikkiin lämmityspattereihin johdetaan samanlämpöistä menovettä ja patterin lämmitystehoa säädellään vesivirtaa muuttamalla. Vesivirransäätö tapahtuu nousulinjojen alussa olevilla linjasäätöventtiileillä sekä patteriventtiileillä (Jaakkola, Junnola & Lindstedt 2010, 11).

Lämmönluovuttimet, patterit, on sijoitettu huoneistoissa ikkunoiden levyisinä ikkunoiden alle sekä WC-tiloihin. Porraskäytävissä patterit sijaitsevat ensimmäisessä kerroksessa sisäänkäynnin jälkeisessä eteisessä. 1. kerroksen autotalleissa patterit sijaitsevat ovien vieressä seinällä ja muissa yhteisissä tiloissa ikkunoiden alla niiden levyisinä.

Tarkasteltavan rakennuksen lämmönjakokeskus on uusittu 2007 (Kuviot 5 ja 5). Lämmönjakokeskuksessa ei ole ilmennyt vuotoja tai muita ongelmia, joten teknisesti lämmönjakokeskusta ei tarvitse vaihtaa saneerauksen yhteydessä. Kuitenkin mikäli mitoitusvirtaamia tai -lämpötiloja muutetaan, olisi lämmönjakokeskus myös hyvä uusia.



Kuvio 5. Lämmönjakokeskus.



Kuvio 6. Lämmönjakokeskuksen tyyppikilpi.

4.3 Lämmitysjärjestelmän mitoitus

Lämmitysjärjestelmän mitoituksessa on käytetty rakennusajankohdalle tyyppisiä lämpötiloja, menolämpötila $T_m = 80 \text{ °C}$ ja paluulämpötila $T_p = 60 \text{ °C}$, delta T ollessa 20 °C ($80 \text{ °C} - 60 \text{ °C}$) ja patterien keskilämpötila siten 70 °C .

Lämmönjakokeskuksen tyypikilvestä (Kuvio 1) voidaan laskea rakennukselle mitoitettu lämmitysteho kaavalla 1

$$4,19 \frac{KJ}{kgK} \times 988 \frac{kg}{m^3} \times 0,00244 \frac{m^3}{s} \times (80K - 60K) = 202 KW$$

Patterien mitoitustaulukossa vuodelta 1965 (Liite 1) on esitetty patterien lämmönluovutus kilokaloreina tunnissa (kcal/h) keskilämpötilalla 80 °C. Saadaksemme muutettua taulukon arvot nykyisin tehon määreenä käytettäviin watteihin, tulee taulukon arvo kertoa luvulla 1,163 (Suomen Standardoimisliitto 2001, 19.)

Taulukon lämmönluovutus ϕ_{80} arvo muutetaan vastaamaan 70 °C keskilämpötilaa kaavalla (Seppänen 2001,167):

$$\phi_{70} = \frac{T_{70}-T_s}{T_{80}-T_s} \times G_{70} \times \phi_{80} \quad (2)$$

missä

ϕ_{70} on lämpöteho patterin 70 asteen keskilämpötilalla (W)

T_{70} on patterin keskilämpötila 70 °C

T_{80} on patterin keskilämpötila 80 °C

T_s on mitoitus sisälämpötila (°C)

G_{70} on patterin konduktanssi 70 °C lämpötilassa

ϕ_{80} on lämpöteho patterin 80 asteen keskilämpötilalla (W)

Patterin konduktanssin muuntokerroin keskilämpötilasta $G_{80} \rightarrow G_{70}$ saadaan kaavalla (Seppänen 2001,167):

$$G_{70} = G_{80} \times \left(\frac{T_{70}-T_s}{T_{80}-T_s} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (3)$$

20 °C sisälämpötilalla T_s kaavasta (2) saadaan G_{70} muuntokerroimeksi $0,955 * G_{80}$.
Tällöin ϕ_{70} muuntokerroimeksi saadaan kaavalla (1) $\phi_{70} = 0,796 * \phi_{80}$.

Alkuperäisiä sisätilojen mitoituslämpötiloja ei ole saatavilla, joten työssä käytetään seuraavia arvioituja sisälämpötiloja:

- asuintilat ja yhteiset pesutilat +22 °C
- muut yhteiset tilat +18 °C
- porrashuoneet ja käytävät +15 °C
- autotallit +15 °C.

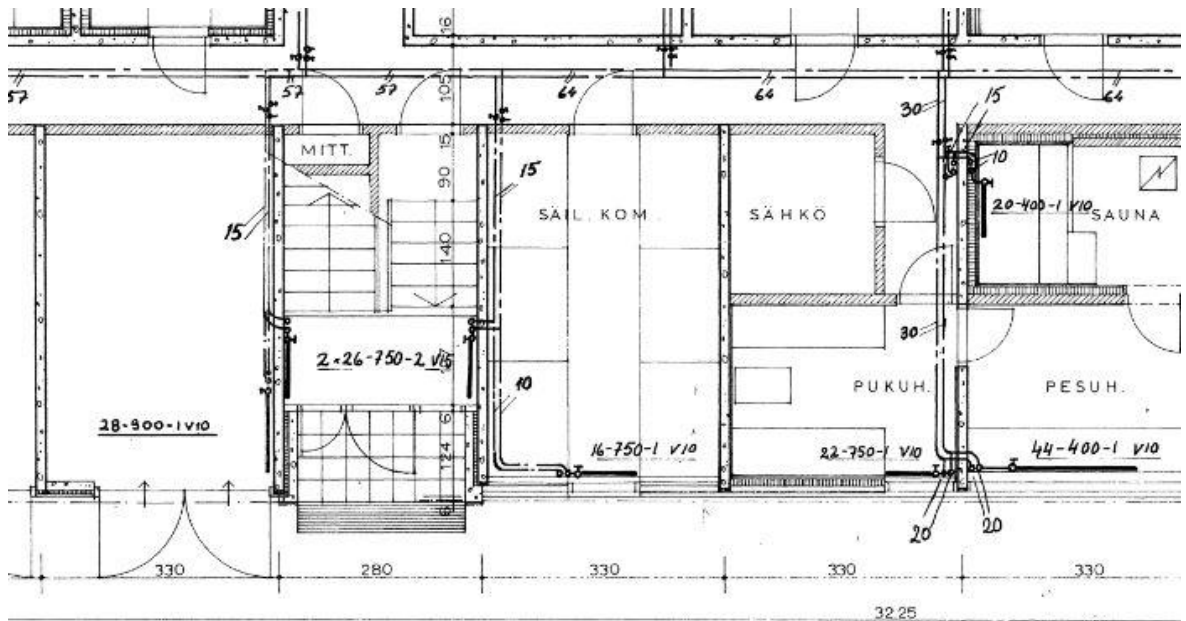
Muuntokerroin ϕ_{70} on riippuvainen sisälämpötilasta T_s . Kaavoista (2) ja (3) saadut kertoimet eri sisälämpötiloille on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Mitoitustaulukon muuntokerroimet eri sisälämpötiloille.

Mitoituslämpötila °C	G_{70} muuntokerroin	ϕ_{70} muuntokerroin
+22	0,954	0,790
+18	0,957	0,803
+15	0,959	0,811

Alkuperäisiin lämmityskuviin ei ole merkitty patterien lämpötehoja, ainoastaan patterin tyyppi ja patteriventtiilin koko (Kuvio 7). Patterin tyyppin tiedot on merkitty esimerkiksi muodossa 26-900-1 V10, jossa

- 26 on liitteiden määrä
- 900 on patterin korkeus
- 1 on levyjen määrä
- V10 on patteriventtiilin DN koko.



Kuvio 7. Patterien merkitseminen alkuperäisissä suunnitelmissa.

Patterin tyyppitiedoilla voidaan katsoa taulukosta patterin lämmitysteho eri sisätilan mitoitukslämpötiloille (Liite 1). Taulukon arvoa tulee korjata mitoitustaulukosta poikkeavan patterin keskilämpötilan ja mitoitus sisälämpötilasta vaihtelusta johtuvalla kertoimella. Lisäksi taulukon arvo tulee muuttaa wateiksi kiinteällä kertoimella.

Esimerkin mukainen patteri sijaitsee autotallissa, jolloin tilan mitoitettu tehontarve ϕ_{tila} watteina saadaan kaavalla:

$$\phi_{tila} = \phi_{80} K_{10} W \quad (4)$$

missä

ϕ_{80} on patterin mitoitustaulukon arvo

K_{10} on muuntokerroin +10 °C sisälämpötilalle

W on vakio muuntokerroin wateiksi

Tällöin alkuperäiseksi tilan tehontarpeeksi saadaan kaavalla (4)

$$1300 \frac{kcal}{h} \times 0,825 \times 1,163 = 1247 W$$

Rakennuksen pattereista tehtiin taulukko, johon merkittiin patterin

- sijainti rakennuksessa
- malli
- mitoitusaulukon teho 80 °C keskilämpötilalla (kcal/h)
- teho watteina
- sijainnin mukainen sisätilan mitoituslämpötila (°C)
- tehon korjauskerroin riippuen mitoitus sisälämpötilasta
- teho watteina 70 °C keskilämpötilalla.

Taulukosta saadaan patterien enimmäislämmitystehoksi 153 kW, joka on 51 kW vähemmän kuin lämmönvaihtimen mitoitus-teho 202 kW. Vaihtimen ylimitoitukseksi tulee siten n. 32 %.

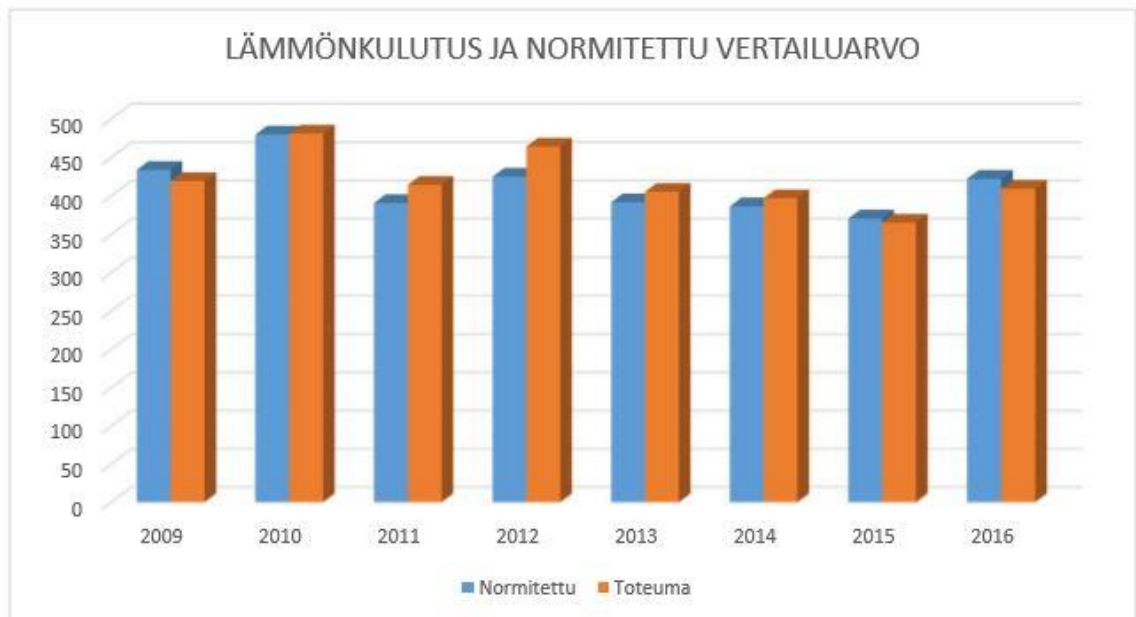
Lämmönvaihtimet mitoitetaan usein tarpeettomasti 20-50% normaalia suuremmaksi, jolla taataan vaihtimen toiminta hyötysuhdetta alentavasta likaantumisesta huolimatta. Todellisuudessa ylimitoitus laskee virtausnopeuksia ja luultavasti kiihdyttää likaantumista. Jos lämmönsiirtokertoimen heikkeneminen puolestaan kompensoidaan virtausnopeuksia nostamalla, painehäviöt kasvavat. Tällöin pumppauksen vaatima energia kasvaa eksponentiaalisesti (Motiva 2016).

Lämmönvaihtimen ylimitoitus vaikuttaa myös suoraan kaukolämmön hintaan, jossa perusmaksun osuus tulee mitoitusvirtaamasta. Kaukolämpöyhtiöiden perusmaksuissa käyttämä sopimusvesivirta saadaan mitoitusvesivirrasta muuttamalla mitoitusvirta dm^3/s tilausvesivirran yksikköön m^3/h käyttämällä kerrointa 3,6.

Nykyisen mitoituksen mukainen laskennallinen rakennuksen sopimusvesivirta on tällä hetkellä $3,53 \text{ m}^3/\text{h}$, mutta jostain syystä sopimus on tehty peräti $4,4 \text{ m}^3/\text{h}$ mukaan. Tällöin vuosittainen perusmaksu on 5028 € (Vaasan Sähkö). Kaukolämmön toimittajalta Vaasan Sähköltä saatujen kulutustietojen mukaan nykyinen todellinen toteutunut vesivirta on $2,7 \text{ m}^3/\text{h}$, joka vastaa lämmönsiirtimen 155 kW tehoa. Tällöin perusmaksu määräytyy hinnaston mukaisesti $2,8 \text{ m}^3/\text{h}$ mukaan ollen 3563 €. Vaasan Sähkö muuttaa sopimuksen oma-aloitteisesti vastaamaan nykyistä kulutusta, josta tulee taloyhtiölle 1465 € vuotuinen säästö perusmaksussa (Pieskä 2017).

4.4 Toteutunut lämmitysenergiankulutus

Vaasan Sähköltä saadun kulutusraportin (Kuvio 8) mukaan rakennuksen normitettu lämmitysenergian kulutus on 329,5 MWh/vuosi. Rakennuksen lämmitetyn tilavuuden ollessa 7540 m³, tulee keskimääräiseksi lämmitysenergiakulutukseksi 43,7 kWh/m³. Kulutus on noin 11 kWh/m³ vähemmän kuin saman aikakauden kerrostaloilla keskimäärin (Kuvio 1).



Normivuotena kulutus yhteensä	450,8 MWh
josta käyttövetä	121,3 MWh
ja lämmitys	329,5 MWh

Kuvio 8. As oy Isolahdenpuiston normitettu kaukolämpöenergia kulutus (Pieskä 2017).

5 RAKENNUKSEN LÄMMITYSTEHONTARVE

Rakennuksen lämmitysjärjestelmän mitoittamiseksi tulee rakennuksen lämpöhäviöt määrittää mitoituslämpötiloilla, jolloin tiloille ja siten koko rakennukselle saadaan määriteltyä lämmitystehontarve. Lämmitystehontarve riippuu pääasiassa rakenteiden johtumislämpöhäviöistä, ilmavuodoista ja ilmanvaihdosta. Auringon säteilylämpöä tai sisäisiä lämmönlähteitä ei oteta huomioon, ellei niiden vaikutukset ole merkittävä tai jatkuvia. (Rakentamismääräyskokoelma D5, 59.)

Rakennuksen tilojen lämmitystehon tarve lasketaan kaavalla:

$$\phi_{tila} = \phi_{joht} + \phi_{vuotoilma} + \phi_{tuloilma} + \phi_{korvausilma} \quad (5)$$

missä

ϕ_{tila}	tilojen lämmitysjärjestelmän lämpötehtötarve, W
ϕ_{joht}	johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi, W
$\phi_{vuotoilma}$	vuotoilman lämpenemistarve, W
$\phi_{tuloilma}$	teho tuloilman lämmittämiseen tilassa, W
$\phi_{korvausilma}$	teho korvausilman lämmittämiseen tilassa, W

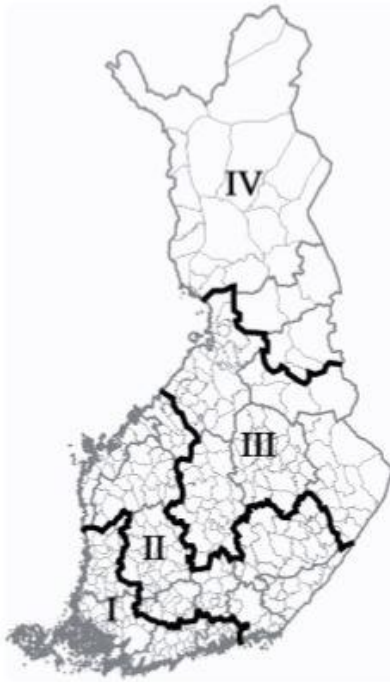
Rakennuksen alkuperäisiä mitoitus tietoja ei ollut saatavilla, eikä niiden käyttö olisi edes tarkoituksenmukaista johtuen 1960-luvulta muuttuneiden mitoituslämpötilojen sekä rakennukselle vuonna 1992 tehdyn osittaisen ikkunoiden uusimisen vuoksi. Rakennuksen lämmitystehontarve laskettiin Suomen rakentamismääräyskokoelmien D3 ja D5 mukaisesti. Rakenteiden lämmönläpäisyarvoina käytettiin rakenneselvityksistä laskettavia arvoja tai mikäli rakenteista ei ollut tietoa, Ympäristöministeriön asetuksen 353/2016 (Taulukko 2) mukaisia arvoja.

Taulukko 2. Rakenteiden lämmönläpäisykertoimet
(A 4.5.2016/353, 6).

Rakennusosa	Rakennusluvan vireilletulovuosi								
	-1969	1969-	1976-	1978-	1985-	10/2003-	2008-	2010-	2012-
Lämpimät tilat									
Ulkoseinä	0,81	0,81	0,70	0,35	0,28	0,25	0,24	0,17	0,17
Maanvarainen alapohja	0,47	0,47	0,40	0,40	0,36	0,25	0,24	0,16	0,16
Ryömintätilainen alapohja	0,47	0,47	0,40	0,40	0,40	0,20	0,20	0,17	0,17
Ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,35	0,35	0,35	0,29	0,22	0,16	0,16	0,09	0,09
Yläpohja	0,47	0,47	0,35	0,29	0,22	0,16	0,15	0,09	0,09
Ovi	2,2	2,2	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,0	1,0
Ikkuna	2,8	2,8	2,1	2,1	2,1	1,4	1,4	1,0	1,0
Puolilämpimät tilat									
Ulkoseinä	0,81	0,81	0,70	0,60	0,45	0,40	0,38	0,26	0,26
Maanvarainen alapohja	0,60	0,60	0,60	0,60	0,45	0,36	0,34	0,24	0,24
Ryömintätilainen alapohja	0,60	0,60	0,60	0,60	0,40	0,30	0,28	0,26	0,26
Ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,60	0,60	0,60	0,60	0,45	0,30	0,28	0,14	0,14
Yläpohja	0,60	0,60	0,60	0,60	0,45	0,30	0,28	0,14	0,14
Ovi	2,2	2,2	2,0	2,0	2,0	1,8	1,8	1,4	1,4
Ikkuna	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	1,8	1,8	1,4	1,4

5.1 Mitoituslämpötilat

Rakentamismääräyskokoelman osassa D3 on määritelty mitoittavat ulkolämpötilat Suomen eri vyöhykkeille (Kuvio 9). Vaasa kuuluu vyöhykkeeseen 2, jolloin mitoittavana ulkolämpötilana käytetään -29 °C (Taulukko 3). Maanvaraisten alapohjien osalta mitoitus ulkolämpötilana käytetään alapohjan alapuolisen maan lämpötilaa. Alapohjan alapuolisen maan mitoituslämpötila lasketaan vyöhykkeen ulkoilman vuotuinen keskilämpötila lisättynä kahdella asteella. Maan mitoituslämpötilaksi saadaan tällöin $6,6\text{ °C}$ (Taulukko 3).



Kuvio 9. Säävyöhykkeet
(Rakentamismääräyskokoelma D3).

Taulukko 3. Mitoittavat ja keskimääräiset ulkoilman lämpötilat eri säävyöhykkeillä
(Rakentamismääräyskokoelma D3, 2012).

Säävyöhyke	Mitoittava ulkoilman lämpötila, °C	Vuoden keskimääräinen ulkoilman lämpötila, °C
I	-26	5,3
II	-29	4,6
III	-32	3,2
IV	-38	-0,4

Sisätilojen mitoituslämpötiloina käytetään rakentamismääräyskokoelman D2 mukaisia ja puolilämpimien tilojen osalta tilaajan kanssa sovittuja arvoja (Taulukko 4).

Taulukko 4. Sisätilojen mitoituslämpötilat
(Rakentamismääräyskokoelma D2, 2012).

Tila	Huonelämpötila °C
Asuinhuone	+21
Porrashuone	+17
Kylpy- ja pesuhuone	+22
Muut yhteiset tilat	+17
Autotalli	+17

5.2 Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöt

Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöteho lasketaan kaavalla:

$$\phi_{joht} = \phi_{ulkoseinä} + \phi_{yläpohja} + \phi_{alapohja} + \phi_{ikkuna} + \phi_{ovi} + \phi_{muu} + \phi_{kylmäsiilat} \quad (6)$$

Lämpöhäviötehot rakennusosien läpi lasketaan jokaiselle rakennusosalle kaavalla (7)

$$\phi_i = \sum U_i \times A_i \times (T_s - T_{u,mitt}) \quad (7)$$

missä

ϕ_i	johtumislämpöteho rakennusosan i läpi, W
U_i	rakennusosan i lämmönläpäisykerroin, W/(m ² K)
A_i	rakennusosan i pinta-ala, m ²
T_s	sisäilman lämpötila, °C
$T_{u,mitt}$	mitoitettava ulkoilman lämpötila, °C

Rakennusosan johtumislämpötehon määrittämiseksi tulee laskea rakenteen lämmönläpäisykerroin U (W/(m²K)). U-arvo lasketaan Suomen rakentamismääräyskoelman osan C4 mukaisesti kaavalla:

$$U = \frac{1}{R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_m + R_g + R_b + R_{se}} \quad (8)$$

missä

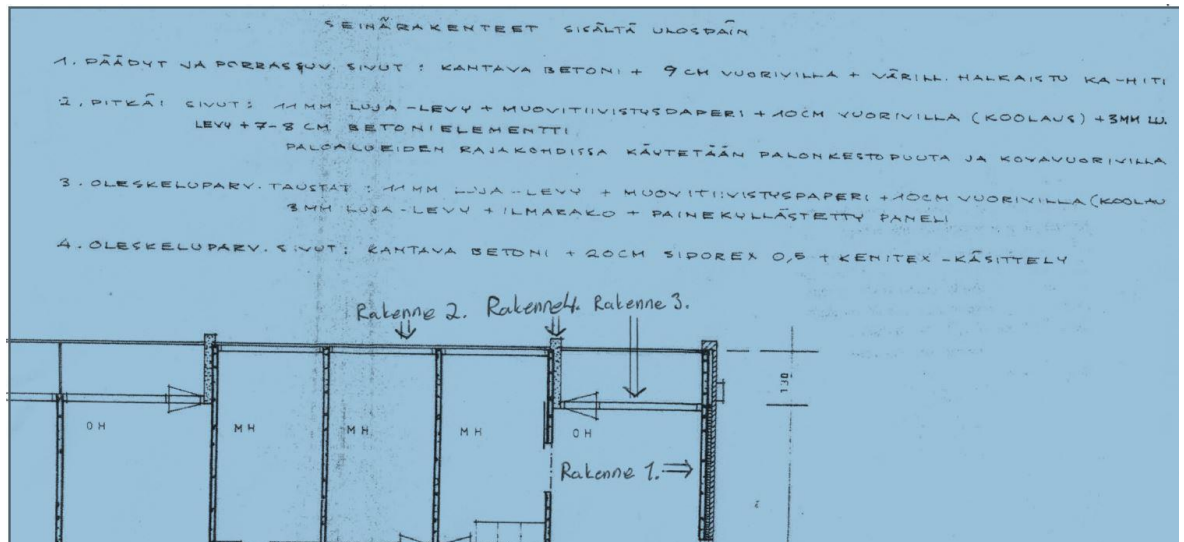
R_{si}	sisäpuolinen pintavastus, m ² K/W
$R_{1\dots m}$	$d_1/\lambda_1 \dots d_m/\lambda_m$, m ² K/W
$d_{1\dots m}$	ainekerroksen paksuus, m
$\lambda_{1\dots m}$	ainekerroksen lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo, W/(mK)

R_g	rakennusosassa olevan ilmakerroksen lämmönvastus, m^2K/W
R_b	maanlämmönvastus, $m^2 K/W$
R_{se}	ulkopuolinen lämmönvastus, m^2K/W

Ainekerroksen lämmönjohtavuuden suunnitteluarvona λ voidaan käyttää CE-merkinnällä varustetuille tuotteille EN-standardien mukaan määritellyjä lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoja, EN-standardeissa esitettyjä taulukoituja lämmönjohtavuuden arvoja sekä lämmöneristeiden tyyppihyväksyntäpäätöksissä esitettyjä normaalisen lämmönjohtavuuden arvoja. (Suomen rakentamismääräyskokoelma C4, 8.)

Alkuperäisen rakenneselvityksen (Kuvio 10) mukaan rakennuksessa on neljän tyyppiä ulkoseinärakenteita, rakenne sisältä ulospäin lueteltuna:

- Rakenne 1 (US1), kantava betoni 150 mm + 90 mm vuorivilla + värillinen halkaistu Kahi tiili
- Rakenne 2 (US2), 11 mm lujalevy + muovitiivistyspaperi + 100 mm vuorivilla + 3mm luja levy + 80 mm betonielementti
- Rakenne 3 (US3), 11 mm lujalevy + muovitiivistyspaperi + 100 mm vuorivilla + 3 mm lujalevy + ilmarako + painekyllästetty paneeli
- Rakenne 4 (US4), kantava betoni 150 + 200 mm kevytbetoni + kenitex – käsittely.



Kuvio 10. Rakennuksen alkuperäinen ulkoseinien rakenneselvitys. Eri rakenteiden paikat osoitettu nuolella.

Rakennuksen yläpohjassa on tuuletettu kattorakenne, 150 mm kantavan betonin päällä on 125 mm mineraalivillaa (Kuvio 11).



Kuvio 11. Yläpohjan lämmöneristys.

Alapohjan lämmöneristyksestä ei ole rakennekuvia tai muuta luotettavaa tietoa käytettävissä, joten käytetään vuoden 1969 määräysten enimmäisarvoa $0,47 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Taulukko 2).

Käyttämällä rakentamismääräyskokoelman C4 taulukoiden lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoja (Taulukko 5), saatiin eri ulkovaipan rakenteiden lämmönläpäisykertoimiksi kaavalla 8 taulukon 6 mukaiset arvot.

Taulukko 5. Rakenteiden eri materiaalien lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoja (Suomen rakentamismääräyskokoelma C4 2003, 10-14).

Materiaali	Lämmönjohtavuus λ , W/mK
Betoni	1,2
Vuorivilla	0,055
Kahi tiili	0,95
Lujalevy	0,4
Painekyllästetty paneeli	0,14
Kevytbetoni (500 kg/m ³)	0,14

Huoneistojen ikkunat on uusittu 1992, lukuun ottamatta parvekkeiden ikkunoita, jotka ovat alkuperäiset. Muiden tilojen ikkunat ovat alkuperäiset. Alkuperäisten ikkunoiden osalta lämmönläpäisykertoimena käytetään taulukon 2 mukaista arvoa 2,8 W/m²K. Vuonna 1992 uusittujen ikkunoiden lämmönläpäisykertoimena käytetään vuoden 1985 määräysten mukaista enimmäisarvoa 2,1 W/m²K (Energiatodistus opas 2016, 12).

Kaikki ulko-ovet ovat alkuperäisiä. Porraskäytävien ulko-ovet ovat ikkunallisia metalliovia ja parvekkeiden kaksiovisia, ikkunallisia puuvia sekä autotallien ovet umpinaisia puuvia. Oville ei ole määritelty lämmönläpäisykerrointa ennen vuotta 1978, jolloin lämpimän tilan oven umpiosalle on määritelty enimmäisarvo 0,7 W/m²K ja puolilämpimän tilan oven umpiosalle 2,0 W/m²K. Ovien lämmönläpäisykertoimena käytetään siten taulukon 2 mukaista arvoa 2,2 W/m²K.

Taulukko 6. Rakennuksen eri rakenteiden lämmönläpäisykerroimet.

Ulkoseinän rakenne	Lämmönläpäisykerroin, W/m ² K
Ulkoseinä 1 (US1)	0,49
Ulkoseinä 2 (US2)	0,47
Ulkoseinä 3 (US3)	0,448
Ulkoseinä 4 (US4)	0,57
Yläpohja (YP1)	0,329
Alapohja (AP1)	0,47
Ikkuna 1 (IK1)	2,8
Ikkuna 2 (IK2)	2,1
Ulko-ovi 1 (UO1)	2,2
Ulko-ovi 2 (UO2)	2,2
Ulko-ovi 3 (UO3)	2,2

Kylmäsiltojen laskennassa käytettiin Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 lisäkonduktanssin taulukkoarvoja (Taulukko 7 ja Taulukko 8) betonin ja betonin välisille liitoksille. Kylmäsiltoja lasketaan kaavalla:

$$\phi_{\text{kylmäsiltoja}} = \sum l_k \times \psi_k \times (T_s - T_{u,\text{mitt}}) \quad (9)$$

missä

$\phi_{\text{kylmäsiltoja}}$ johtumislämpöhäviö kylmäsiltojen läpi, W

l_i viivamaisen kyläsiltojen pituus, m

ψ_k viivamaisen kyläsiltojen lisäkonduktanssi, W/(m K)

T_s sisäilman lämpötila, °C

$T_{u,\text{mitt}}$ mitoitettava ulkoilman lämpötila, °C

Taulukko 7. Ohjearvoja viivamaisen kylmäsillan aiheuttamalle lisäkonduktanssille (Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012, 12).

Ulkoseinä- materiaali	Lisäkonduktanssi Ψ_k , W/(m K)									
	Yläpohjan (ulkonurkka) runkomateriaali			Välipohjan runkomateri- aali			Alapohjan runkomateriaali			
	betoni	kevyt- betoni	puu	betoni	kevyt- betoni	puu	betoni, maan- vast.	betoni, ryöm. tila	kevyt- betoni, ryöm. tila	puu, ryöm. tila
betoni	0,08		0,04	0,00			0,24	0,28		
kevytbetoni	0,18	0,06	0,04	0,10	0,00		0,09	0,08	0,03	
kevytsorabetoni	0,13		0,04	0,07			0,15	0,11		
tiili	0,08		0,04	0,00			0,17	0,06		
puu			0,05			0,05	0,10			0,06
hirsi			0,04			0,00	0,11			0,09

Taulukko 8. Ohjearvoja viivamaisen kylmäsillan aiheuttamalle konduktanssille (Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012, 12).

Liitos	Lisäkonduktanssi Ψ_k , W/(m K)					
	Ulkoseinän runkomateriaali					
	betoni	kevyt- betoni	kevyt- sora- betoni	tiili	puu	hirsi
ulkoseinien välinen liitos, ulkonurkka	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05
ulkoseinien välinen liitos, sisänurkka	-0,06	-0,05	-0,05	-0,05	-0,04	-0,05
ikkuna- ja oviliitos, lämmöneristeen kohdalla ^{*)}	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
ikkuna- ja oviliitos muussa tapauksessa	0,15	0,07	0,10	0,10	0,07	0,07

^{*)} Karmi peittää vähintään 40 % lämmöneristeen kokonaispaksuudesta.

5.3 Vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve

Vuotoilmalla tarkoitetaan rakennuksen ulkoseinärakenteiden läpi virtaavaa hallitsematonta ilmavirtaa. Vuotoilmavirta syntyy lämpötilaerojen ja tuulen aiheuttamista paine-eroista sekä myös ilmanvaihtojärjestelmän puutteellisesta toiminnasta. Lisäksi vuotoilmavirtoihin vaikuttavat rakennuksen sijainti, korkeus ja ulkovaipan kunto. (Kauppinen 2011, 2.)

Vuotoilmavirta $q_{v,vuotoilma}$ lasketaan kaavalla (Suomen rakentamismääräyskokoelma D5 2012, 23):

$$q_{v,vuotoilma} = \frac{q_{50}}{3600 \times x} \times A_{vaippa} \quad (10)$$

missä

q_{50}	rakennusvaipan ilmanvuotoluku, $m^3/(h \cdot m^2)$
A_{vaippa}	rakennusvaipan pinta-ala, m^2
x	kerroin, joka on yksikerroksisille rakennuksille 32, kaksikerroksisille 24, kolmi- ja nelikerroksisille 20 ja viisikerroksisille sekä korkeammille 15
3600	kerroin, joka muuttaa ilmavirran m^3/h yksiköstä m^3/s yksikköön

Kun rakennuksen vuotoilmavirtaa ei määritetä mittaamalla, ilmanvuotolukuna q_{50} tulee käyttää taulukon 9 mukaista arvoa.

Taulukko 9. Rakennusvaipan ja rakennuksen ilmanvuotoluku (A 27.2.2013/176, 7).

Rakennusluvun vireilletulovuosi	-1969	1969-	1976-	1978-	1985-	10/2003-	2008-	2010-	2012-
Rakennuksen ilmanvuotoluku n_{50}	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	4,0	4,0	4,0	
Rakennusvaipan ilmanvuotoluku q_{50}									4,0

Aikaisemmin käytetty ilmanvuotoluku n_{50} muutetaan nykyisin käytettävään q_{50} arvoon kaavalla (A 27.2.2013/176, 7):

$$q_{50} = \frac{n_{50}}{A_{vaippa}} x V \quad (11)$$

missä

q_{50}	rakennusvaipan ilmanvuotoluku, $m^3/(h \cdot m^2)$
n_{50}	rakennus ilmanvuotoluku, 1/h
V	rakennuksen tilavuus, m^3
A_{vaippa}	rakennusvaipan pinta-ala, m^2

5.4 Korvausilman lämpenemisen lämpöenergian tarve

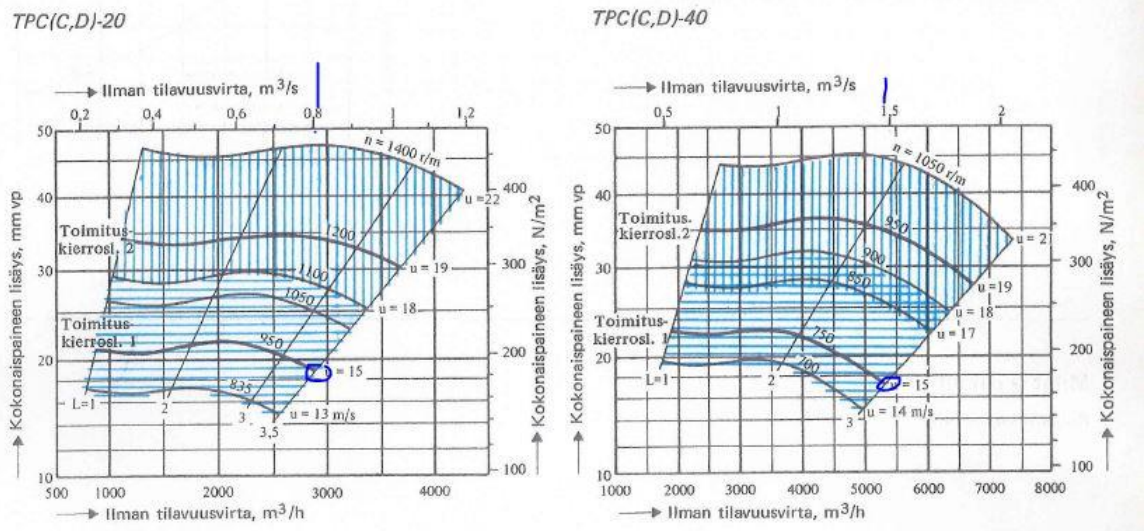
Rakennuksessa on koneellinen yhteiskanavapoistoilmanvaihto, joka on toteutettu kahdella poistoilmapuhaltimella. Puhaltimet sijaitsevat rakennuksen katolla (Kuvio 12). Puhaltimet ovat kaksitoimisia, mutta ovat päällä jatkuvasti täydellä teholla (Suomela 23.11.2017). Puhaltimet ovat alkuperäisiä Suomen Puhallintehtaan valmistamia TPC C -malleja.

Rakennus on jaettu kahteen ilmanvaihdon palvelualueeseen. Pienempi TPC C-20 vastaa 15 asunnon (A- ja B-raput) ja isompi TPC C-40 15 asunnon (C- ja D-raput) sekä kellarin yhteisten pesu- ja huoltotilojen poistoilmanvaihdosta.



Kuvio 12. Poistoilmapuhallin rakennuksen katolla.

Puhaltimien tyyppikilvissä on mallin lisäksi ilmoitettu kierroslukualue, jolla saadaan puhaltimien mitoitustaulukoista poistoilmavirta. Molemmissa puhaltimissa alueeksi on määritelty 1. Puhaltimien mitoitustaulukoista (Kuvio 12) saadaan poistoilmavirta puhaltimelle TPC C-20 $0,8 \text{ m}^3/\text{s}$ ja TPC C-40 $1,45 \text{ m}^3/\text{s}$. Siten koko rakennuksen käytettävissä oleva poistoilmavirta on yhteensä $2,25 \text{ m}^3/\text{s}$.



Kuvio 13. TPC poistoilmapuhaltimeiden mitoitustaulukot (Suomen Puhallintehdas 1967, 3).

Tilakohtaisten lämpöhäviöiden laskemiseksi täytyy tilojen poistoilmavirrat mitoittaa rakennusajankohdalle tyypillisillä arvoilla, jolloin saadaan laskettua tiloille korvausilman lämpenemisen tehontarve. Korvausilman lämpenemisen tehontarve lasketaan kaavalla:

$$\phi_{\text{korvausilma,tila}} = \rho_i \times c_i \times q_{v,\text{korvausilma}} \times (T_s - T_{u,\text{mitt}}) \quad (12)$$

missä

ρ_i	ilman tiheys, 1,2 kg/m ³
c_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg*K)
$q_{v,\text{korvausilma}}$	korvausilmavirta, m ³ /s
T_s	sisäilman lämpötila, °C
$T_{u,\text{mitt}}$	mitoitettava ulkoilman lämpötila, °C.

Koko rakennuksen $\phi_{\text{korvausilma}}$ lasketaan rakennuksen kaikkien tilojen korvausilman lämpenemisen tehontarpeen summana.

1960-luvulla ei ollut määräyksiä poisto- tai korvausilmavirroille, mutta suunnittelussa käytettiin yleisesti vuoden 1966 lämmitys- ja ilmanvaihtolaitteiden suunnittelun normaaliohjeiden arvoja (Taulukko 10). Normaaliohjeiden sisältö oli vuonna 1978 julkaistun Rakentamismääräyskokoelman osan D2 perustana. Tarkempien mitoitus-tietojen puuttuessa muille tiloille käytettiin Suomen rakennusmääräyskokoelman D2/1978 mitoitusarvoja (Taulukko 11). Vuoden 1978 määräyksissä annetaan mahdollisuus poistoilmavirtojen puolittamiseen erittäin kylmällä säällä energiahäviöiden pienentämiseksi ja tätä alennettua poistoilmavirtaa voidaan käyttää myös perusteena ilmanvaihtolaitoksen lämmityslaitteita mitoittaessa eli tarvittaessa myös tämän työn rakennuksen korvausilman lämpenemisen tarpeen laskennassa (Suomen rakentamismääräyskokoelma D2 1978, 12.)

Taulukko 10. Tilakohtaisia poistoilmavirtojen suunnitteluarvoja Suomessa eri aikoina (Palonen, 459).

Vuosi	Ilmavirrat l/s		
	Keittiö	WC	Kylpyhuone
1940 (Rakentajan kalenteri)	30,6	8	8
1954 (Normaaliohjeet)	27,8	8,3	16,7
1966 (Normaaliohjeet)	22,2	8,3	16,7
1978 D2	22	8	16
1987 D2	20	10	15
2003 D2	8/25	7/10	10/15

Taulukko 11. Vanhoja tulo- ja poistoilmavirtojen ohjearvoja
(Suomen rakentamismääräyskokoelma D2 1978, 4).

Tulo- ja poistoilmavirtojen tilakohtaisia ohjearvoja

Huonetiila	Ilmanvaihto	Huomautuksia
Asuintilat		Yksiköt dm^3/s (m^3/h), jollei toisin mainita
keittiö keittokomero keittokeppi	22 (79)	12 (43) riittää, jos on mahdollisuus riittävään ilmanvaihdon tehostamiseen ruoanlaiton aikana tai jos pienasunnon kokonaisilmanvaihto tulee muutoin yli 1,5 kertaiseksi.
apukeittiö, huoltohuone	12 (43)	
kylpyhuone	16 (58)	8 (29) riittää, jos on joko mahdollisuus tuuletukseen helposti avattavan ikkunan kautta tai muuhun ilmanvaihdon riittävään tehostamiseen käytön jälkeen.
WC	8 (29)	2 (14) riittää, jos on mahdollisuus ilmanvaihdon riittävään tehostamiseen käytön jälkeen. Oltava alipaineinen.
vaatehuone ($> 1 \text{ m}^2$)	3 (11)	Helposti avattava tuuletusluukku tai ikkuna korvaa ilmanvaihdon.
muut tilat		Kaikissa asuinhuoneissa tulisi olla kohdan 2.2.1.2 mukainen ilmanvaihto. Tämä on erityisesti huomioitava käytettäessä edellä olevia huomautuksissa annettuja pienempiä ilmavirtoja.
Asuinrakennuksen muut tilat		Yksiköt dm^3/s (m^3/h), jollei toisin mainita
porrashuone		Ilmanvaihtuvuus 0,5-kertainen.
käytävä ullakko- ja kellarivarastot	16 (58)	Jos pinta-ala 50 m^2 tai suurempi, mitoitetaan kohdan 2.2.1.2 mukaan.
pesutupa	22 (79)	Kuten kylpyhuone.
kuivaushuone	22 (79)	Voidaan mitoittaa myös kuivausprosessin ja käytön mukaan.
saunan löylyhuone	2 (7,2)	dm^3/sm^2 ($\text{m}^3/\text{h m}^2$). Palamisilman saannista huolehdittava.
perhesaunan pesuhuone	16 (58)	Kuten kylpyhuone.
talosaunan pesuhuone	40 (144)	
talosaunan pukuhuone	22 (79)	
askarteluhuone	1,5 (5,4)	dm^3/sm^2 (m^3/hm^2)
jätehuone	5 (18)	dm^3/sm^2 (m^3/hm^2) Oltava aina alipaineinen.
jätekuilu ja jätehuone	40 (144)	Oltava aina alipaineinen. Ovet ja luukut tiiviit.
siivouskomero	8 (29)	Oltava aina alipaineinen.

Taulukko 12. Tilojen mitoitus poistoilmavirrat.

Tila	Ilmavirta dm ³ /s	Huom.
Keittiö	22	Taulukko 11
Vaatehuone	3	Taulukko 11
Kylpyhuone	16	Taulukko 11
WC	8	Taulukko 11
Porrashuone	18	0,5 1/h, 123 m ³
Kylmäkellari	6	0,2 / m ²
Pukuhuone	22	Taulukko 11
Pesuhuone	40	Taulukko 11
Sauna	12	2 / m ²
Pesutupa	22	Taulukko 11
Varastot	43	0,35 / m ²
Käytävä	23	0,5 1/h, 160 m ³
VSS	17	0,5 1/h, 120 m ³

Taulukon 12 mukaisilla arvoilla lasketut huoneistojen ja tilojen mitoitusilmavirrat on esitetty taulukossa 13. Ilmanvaihtoalueen A mitoitettu poistoilmavirta 681 dm³/s vastaa puhaltimen mitoituspoistoilmavirtaa 800 dm³/s ollen siten riittävä. Alueen B mitoitettu poistoilmavirta 979 dm³/s eli myös vähemmän kuin puhaltimen mitoituspoistoilmavirta 1450 dm³/s. Ylimitoitusta on kuitenkin 471 dm³/s. Ylimitoitus vaikuttaa lähinnä puhaltimen energiatehokkuuteen heikentävästi.

Taulukko 13. Huoneistojen ja tilojen poistoilmavirrat.

Ilmanvaihdon palvelualue A (TCP 20, 800 dm ³ /s)	
Tila/Asunto	Poistoilmavirta dm ³ /s
A1	49
A2	49
B7	38
B8	41
B9	38
A3	49
A4	49
B10	38
B11	41
B12	38
A5	49
A6	49
B13	38
B14	41
B15	38
Porrashuone A	18
Porrashuone B	18
Yhteensä	681

Ilmanvaihdon palvelualue B (TCP 40, 1450 dm ³ /s)	
Tila/Asunto	Poistoilmavirta dm ³ /s
D26	49
D25	49
C18	38
C17	41
C16	38
D28	49
D27	49
C21	38
C20	41
C19	38
D30	49
D29	49
C24	38
C23	41
C22	38
Porrashuone C	18
Porrashuone D	19
Kylmäkellari	6
Pukuhuone A	22
Pukuhuone B	22
Pesuhuone	40
Sauna	12
Pesutupa	22
WC	8
Skomero 1	7
Varasto 3	3
Varasto 2	7
Varasto 1	12
Skomero 2	6
Lämmönjako	8
Käytävä	23
VSS	17
Yhteensä	896

Huoneistojen korvausilma otetaan suoraan ulkoa keittiön nurkkakaapissa (Kuvio 14) ja olohuoneen patterien takana olevien korvausilmaventtiilien kautta (Kuvio 15). Korvausilmavirran arvioidaan jakaantuvan tasaisesti molempiin huoneisiin, tällöin myös korvausilman lämpenemisen tehontarve jakaantuu tasan näiden huoneiden kesken.

Porrashuoneiden ja käytävien korvausilma otetaan pääovessa olevien säleikköjen kautta ja muiden yhteisten tilojen seinissä olevien tuuletusaukkojen kautta. Autotalleissa on painovoimainen ilmanvaihto, jossa ilmavaihtuvuutena käytetään 0,5 1/h. Tällöin autotallin mitoitusilmavirraksi saadaan $4 \text{ dm}^3/\text{s}$ (Suolahti 14.12.2017.) Autotallien (14 kpl) korvausilmavirta on siten yhteensä $0,056 \text{ m}^3/\text{s}$.

Rakennuksen kokonaispoistoilmavirraksi ja siten korvausilmavirraksi $q_{v,\text{korvausilma}}$ saadaan $(0,681 + 0,979 + 0,056) \text{ m}^3/\text{s} = 1,716 \text{ m}^3/\text{s}$.



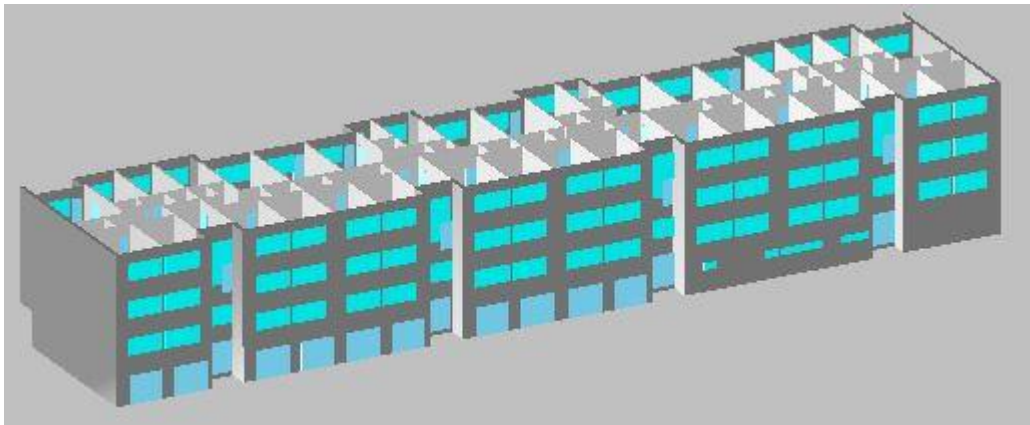
Kuvio 14. Korvausilmaventtiili keittiönkaapissa.



Kuvio 15. Olohuoneen korvausilmaventtiilit ulkoa parvekkeelta kuvattuna.

5.5 Lämmitystehontarpeen laskenta

Rakennuksesta tehtiin MagiCad Room -ohjelmistolla 3D-malli (Kuvio 16), johon määriteltiin rakennuksen ulko- sekä sisäpuoliset rakenteet. Mallista luotiin IFC-tiedosto ja varsinaiset lämpöhäviölaskelmat tehtiin Riuska-ohjelmalla.



Kuvio 16. Rakennuksen 3D-malli.

Riuska-ohjelmassa mallille määriteltiin mitoituslämpötilat, rakenteiden lämmönläpäisykertoimet, kylmäsilta tiedot sekä ilmanvuotoluku. Ohjelma laski koko rakennuksen sekä tilakohtaiset rakennuksen vaipasta ja vuotoilmasta johtuvat lämpöhäviöt.

Ohjelmalla ei pysty laskemaan ilmanvaihdosta johtuvaa korvausilman lämpenemisen tehontarvetta, joten se lasketaan erikseen.

Riuska-ohjelman yhteenvetoraportista (Kuvio 17) saadaan rakennuksen vaipan johtumislämpöhäviöksi ϕ_{joht} 106 522 W ja vuotoilman lämpenemisen tehontarpeeksi $\phi_{\text{vuotoilma}}$ 37 302 W.

RAKENNUKSEN TIEDOT		VAIPAN JA VUOTOILMAN LÄMPÖHÄVIÖT					SRMK 2010
		Häviöt käyttäjän määrittelemillä U-arvoilla			W	W	
		W/m ³	W/m ²	%	W	W	
Geometriamallin pinta-ala:	2 791,8 m ²	Seinät:	3,9	10,7	20,7	29 769	10 561
Geometriamallin tilavuus:	7 619,8 m ³	Ikkunat:	5,3	14,4	28,0	40 325	17 636
Vaipan pinta-ala:	3 167,5 m ²	Ovet:	2,1	5,6	10,9	15 722	7 146
Kerrosala:	2 791,8 m ²	Katot:	1,5	4,2	8,1	11 662	3 181
Keskimääräinen vaipan U-arvo:	0,73 W/(m ² ·K)	Lattiat:	0,4	1,2	2,3	3 308	1 126
Keskimääräinen vuotoilmakerroin:	0,300 1/h	Kylmäsiilat:	0,8	2,1	4,1	5 836	5 836
Ikkunoiden osuus kerrosalasta:	13 %	Johtuminen:	14,0	38,2	74,1	106 622	45 487
Ikkunoiden osuus ulkoseinästä:	20 %	Vuotoilma:	4,9	13,4	25,9	37 302	10 340
Ulkolämpötila:	-29,0 °C	Yhteensä:	18,9	51,6	100	143 924	55 827
Maan lämpötila:	6,6 °C	Yhteensä korjauskertoimen kanssa:				143 924	
Keskim. lämpöhäviön korjauskerroin:	1,00						

Vaippa = Rakenteet, jotka ovat ulkoilmaa tai maaperää vastaan.

Kuvio 17. Rakennuksen vaipan ja vuotoilman lämpöhäviöt.

Korvausilman lämpenemisen tehontarpeeksi $\phi_{\text{korvausilma}}$ saadaan kaavalla 12

$$1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 1000 \frac{\text{J}}{\text{kg} \times \text{K}} \times 1,716 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times (21 \text{ K} - (-29 \text{ K})) = 102 960 \text{ W}$$

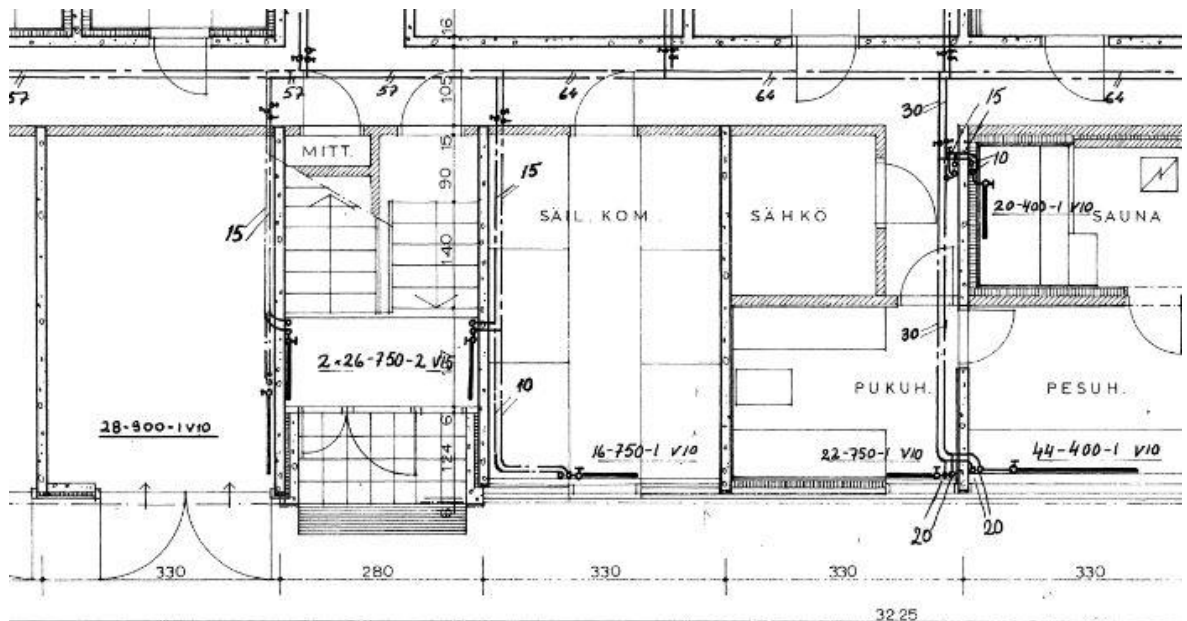
Rakennusaikaisten määräysten mukaan ilmanvaihto voidaan puolittaa erittäin kylmällä säällä ja tätä alennettua arvoa voidaan myös käyttää myös tehontarpeen laskennassa (Suomen rakentamismääräyskokoelma D2 1978, 12.) Tällöin korvausilman lämpenemisen tehontarpeeksi tulee 51 480 W.

Rakennuksen kokonaislämmitystehon ϕ_{tila} tarpeeksi saadaan kaavalla 5

$$106 522 \text{ W} + 37 302 \text{ W} + 51 480 \text{ W} = 195 304 \text{ W}$$

6 LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU

Rakennuksen lämmitysjärjestelmän saneeraus rajoittui vain linja- ja patteriventtiilien uusintaan sekä lämmitysjärjestelmän tasapainottamiseen, jolloin vanhat putkistot ja patterit jäivät käyttöön. Järjestelmä suunniteltiin uudelleen Magicad-ohjelmalla käyttämällä apuna alkuperäisiä suunnitelmia (Kuvio 18).



Kuvio 18. Osa alkuperäisestä kellarin lämpöjohtopiirustuksesta.

6.1 Tilakohtaiset lämmitystehon tarpeet

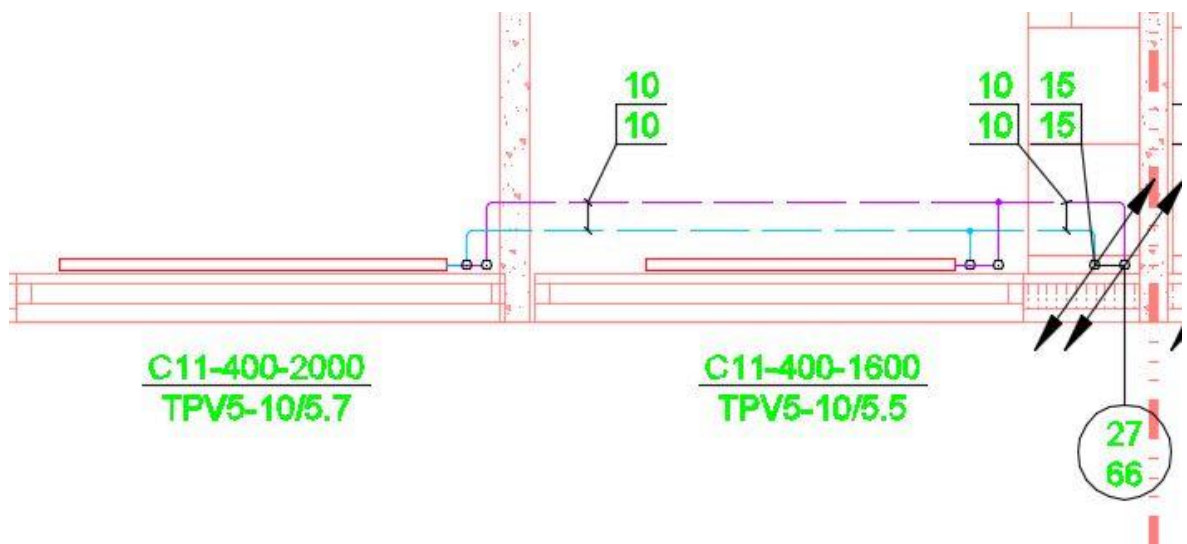
Rakennuksen alkuperäisten lämpöhäviöiden ja ilmastoinnin mitoitus tietojen puuttuessa, tilojen tehontarpeiden laskennassa käytettiin Riuska -ohjelmalla saatuja lämpöhäviöarvoja sekä ilmanvaihdon osalta suunnitteluajankohdalle tyypillisiä, arvioituja ilmamääriä. Vuotoilman lämpenemisen tehontarvetta ei suunnitteluajankohtana otettu huomioon (Tuomaala 2018). Vanhojen patterien jäädessä käyttöön, mitoitettiin tilakohtaiset lämmitystehon tarpeet rakennusajankohdan ohjeistuksien mukaisesti.

Huoneistojen ja tilojen lämmitystehon tarpeesta tehtiin taulukko (Liite 2). Taulukosta saadaan jokaiselle huoneistolle käytettävissä oleva patterien lämmitysteho, johtumishäviöistä ja korvausilman lämpenemisestä johtuva lämmitystehontarve sekä

tilan tehontarpeen ero patterien enimmäistehoon. Erotuksen ollessa negatiivinen ja siten patterien ollessa alimitoitettu, käytettiin tilan tehon tarpeena patterien nimellistehoja. Taulukossa on lisäksi vertailutietona nykyisin voimassa olevien määräysten (Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D5, 2012) mukaisesti laskettu lämmitystehontarve, jossa on otettu huomioon vuotoilman sekä korvausilman lämpenemisen tarve täysimääräisesti.

6.2 Lämmitysverkoston suunnittelu

Lämmityspatterit piirrettiin suunnitelmiin oikean kokoisina ja alkuperäisen suunnitelman kokoisilla liittynöillä. Nykyisissä suunnitteluohjelmistoissa ei ole käytössä vanhojen pattereiden kirjastoja, joten suunnitelmissa käytettiin Purmon Compact -malliston paneeliradiaattoreita. Pattereille määriteltiin lämmitettävän tilan mukainen lämmitystehon tarve, josta ohjelma laski automaattisesti tarvittavan veden virtaaman. Patterien venttiileiksi määriteltiin TPV5 TRV-2S termostaattinen venttiili. Verkoston tasapainotuksen yhteydessä ohjelma laski automaattisesti venttiileille esisäätöarvon, joka esitettiin suunnitelmissa (Kuvio 19).



Kuvio 19. Patterien ja venttiilien esisäätöarvojen esittäminen suunnitelmissa.

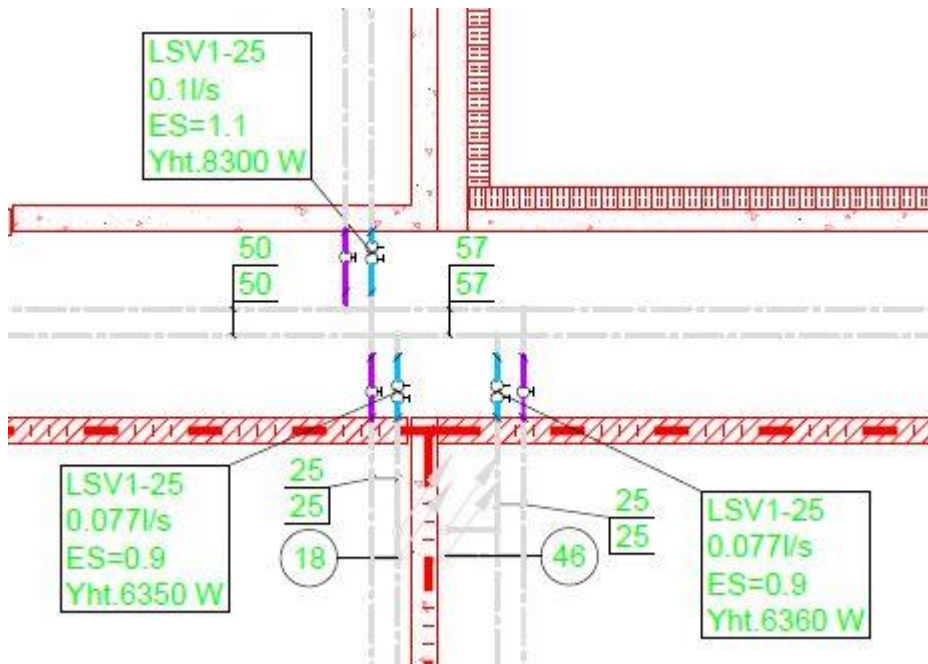
Lämmitysjärjestelmän putket ovat teräsputkia ja vanhoihin suunnitelmiin putkien koot on merkitty DN-mitoituksen mukaisesti. Isompien putkikokojen mitoituksessa on käytetty nykyisin käytössä olevasta DN-mitoituksesta poikkeavia kokoja.

Suunnitelma piirrettiin nykymitoituksen mukaisilla putkilla, mutta piirustukseen merkittiin vanha alkuperäinen koko epäselvyyksien välttämiseksi (Taulukko 14).

Taulukko 14. Vanhat ja suunnitelmassa käytetyt putkimitoitukset.

Vanha DN koko	Nykyinen DN koko
10	10
15	15
20	20
25	25
30	32
40	40
50	50
57	65
64	65
70	80

Putkisto piirrettiin vanhojen suunnitelmien pohjalta, koska putkistoa ei saneerausessa uusita. Runkoputki kulkee lämmönjakuhuoneesta kellarin käytävän katon rajassa talon toiseen päätyyn saakka. Runkoputkesta haarautuu jakoputkistot kellarin pattereille ja ylempiin asuinkerroksiin. Magicad-ohjelmalla tehty putkimitoitus mitoitti kerroksiin nousevat putket lähes pääsääntöisesti yhtä DN-kokoa pienemmäksi kuin alkuperäisiin suunnitelmiin oli mitoitettu. Jokainen runkoputkesta haarautuva linja on menoveden puolelta varustettu sulkuventtiilillä ja paluuv veden puolelta linjasäätöventtiilillä. Linjasäätöventtiileiksi määriteltiin STAD ja lämmitysjärjestelmän tasapainotuksen jälkeen saatu venttiilin esisäätöarvo esitettiin suunnitelmassa (Kuvio 20).



Kuvio 20. Linjasäätöventtiilien tilavuusvesivirrat ja esisäätöarvot suunnitelmissa.

Magicad-ohjelman laskemaksi lämmitysjärjestelmän tilavuusvesivirraksi ja siten lämmönvaihtimen mitoitusvirtaamaksi saatiin 1,81 l/s sekä järjestelmän kokonaispainehäviöksi 16,038 kPa. Lämmönvaihtimen mitoitustehoksi saatiin kaavalla (1) 150 kW.

$$4,19 \frac{KJ}{kgK} \times 988 \frac{kg}{m^3} \times 0,00181 \frac{m^3}{s} \times (80K - 60K) = 150 KW$$

7 YHTEENVETO

Rakennusten lämmitystehontarpeen laskenta, energiatehokkuus sekä sisäilman vaatimukset ovat muuttuneet varsin paljon 1960-luvulta. Merkittävimpinä muutoksina ovat rakenteiden läpi tulevan vuotoilman määrän ottaminen huomioon laskennassa, ilmanvaihdon puolittamisen mahdollistavan määräyksen muuttuminen sekä rakennusosien lämmönläpäisykertoimien huomattava aleneminen.

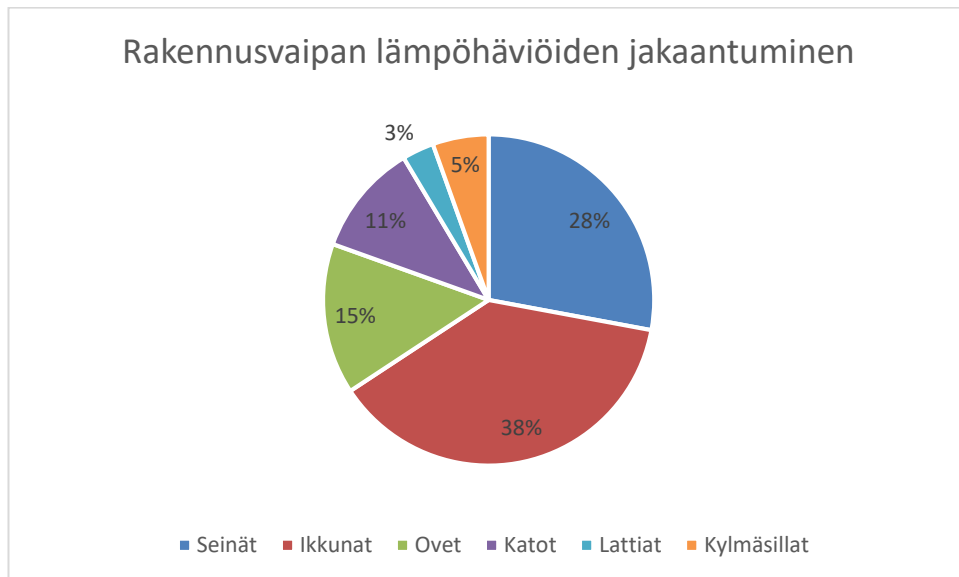
Suurimpana haasteena tässä työssä oli alkuperäisten suunnitteluarvojen selvittäminen siten, että lämpöhäviölaskelmat vastaisivat käytettävissä olevaa lämmitystehoa. Rakennusvaipan osalta sain lämpöhäviölaskelmat hyvin lähelle todellisia, koska alkuperäisiä rakenneselvityksiä oli käytettävissä. Ilmanvaihdon mitoitusarvojen oikeellisuuteen liittyy suurin epävarmuus, koska suunnitteluajankohtana yleisesti käytössä ollut normaaliohjetta vuodelta 1966 ei ollut käytettävissä. Vuoden 1966 ohjeista oli tiedossa vain taulukon 10 mukaiset tiedot, joilla laskelmia ei saanut vastamaan käytettävissä olevaa tehoa. Mahdollista on myös, että mitoituksessa ei ole käytetty vuoden 1966 normaaliohjeen arvoja.

7.1 Rakennusvaipan lämpöhäviöt

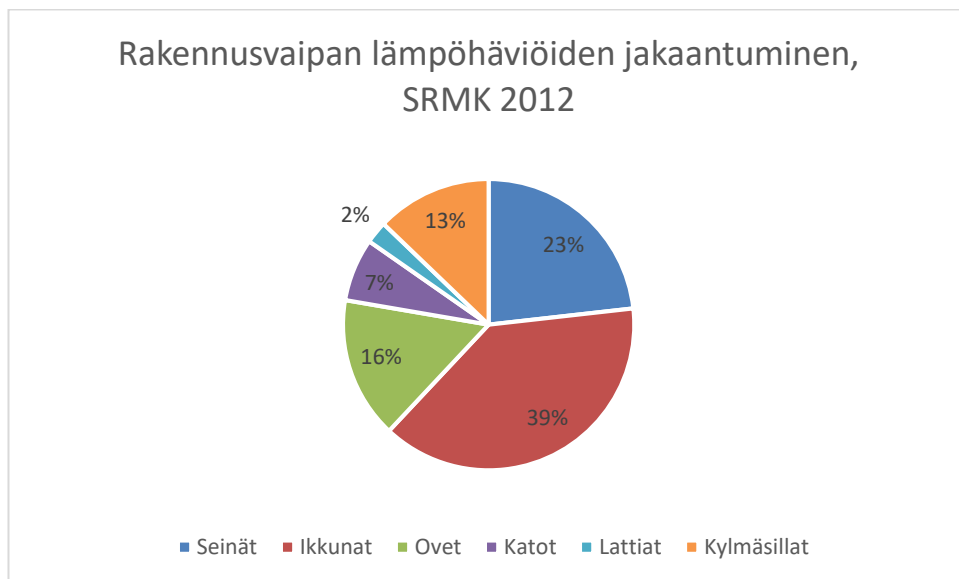
Rakennusvaipan lämpöhäviöiden laskennassa jouduttiin käyttämään alapohjan, ovien sekä alkuperäisten ikkunoiden osalta rakennusajankohdalle tyypillisiä lämmönjohtavuusarvoja, koska kaikkia rakennekuvia tai muuta luotettavaa tietoa ei ollut saatavilla. Käytetyt taulukkoarvot on valittu nykyisten määräysten mukaisesti ja siten niitä voidaan käyttää laskennan perustana.

Rakennusvaipan lämpöhäviöt ovat 107 kW, joka on 130 % enemmän kuin nyky määräysten mukaisesti laskettu enimmäislämpöhäviö 46 kW (Kuvio 17). Vaipan lämpöhäviöt jakaantuvat rakennusosittain kuvion 21 mukaisesti. Nykyisten määräysten mukaisesti laskettu vaipan rakennusosakohtainen lämpöhäviöjakauma on esitetty kuviossa 22. Suhteelliset lämpöhäviöjakaumat ovat hyvin yhdenmukaiset. Ikkunoiden osuus lämpöhäviöistä on suurin, noin 40 % ja seinien lämmönjohtavuudessa tehty suhteellisesti isoin muutos (0,48 -> 0,17 W/m²K) näkyy

nykymääräyksissä seinien pienempänä osuutena. Tehollisesti kylmäsiltojen häviöt ovat yhtä suuret (5 800 W), jolloin sen osuus nykymääräyksissä korostuu enemmän.



Kuvio 21. Rakennusvaipan lämpöhäviöiden jakaantuminen, As oy Isolahdenpuisto.



Kuvio 22. Rakennusvaipan lämpöhäviöiden jakaantuminen, SRMK 2012.

Energiasäästön kannalta suurimmat säästöt saataisiin vaihtamalla ikkunat nykymääräysten mukaisiksi, jolloin rakennusvaipasta johtuvat lämpöhäviöt vähenisivät 23 kW. Yläpohjan eristyksen lisäämisellä nykymääräysten mukaiseksi lämpöhäviöt vähenisivät 8 kW. Yläpohjan eristyksen lisääminen voisi olla kustannustehokkainta, koska yläpohjassa oleva ryömintätila mahdollistanee eristyksen lisäämisen ilman

rakenteiden purkamista. Poistoilmapuhaltimien huoltoaukon kohdalta yläpohja eristeet puuttuvat kokonaan n. 3 m² alueelta. Tältä alueelta yläpohja tulisi myös eristää.

7.2 Vuotoilman lämpenemistarve

Rakennusajankohtana rakenteiden läpi tulevaa vuotoilman lämpenemisen tarvetta ei otettu huomioon lämmitystarpeen laskennassa. Nykymääräysten mukaan vuotoilman määrä tulee mitata luotettavalla tavalla tai vuotoilman määränä tulee käyttää taulukkoarvoa n_{50} 6,0 (Taulukko 9). Taulukkoarvo on varsin korkea ja aiheuttaa paljon laskennallista lämpöhäviötä varsinkin huoneistoissa, jotka rajoittuvat usealta rakennusosalta ulkoilmaan. Työn rakennuksessa laskennallinen vuotoilman lämpenemistarve on 37 kW, kun nykymääräysten mukaisella laskennalla saa olla enintään 10 kW (Kuvio 17). Ylimmän kerroksen päätyhuoneistossa A5 ja D30 laskennallinen vuotoilman lämpenemisen tarve on yli 2 kW, joka aiheuttaa ko. huoneistojen lämmityspattereille varsin ison alimitoituksen.

Vuotoilman huomioon ottaminen laskelmissa vaatisi kaikkien pattereiden uudelleen mitoitus ja siten niiden uusimista tehokkaammilla. Tämä taas aiheuttaisi myös putkistojen ja lämmönvaihtimen uudelleen mitoitus ja uusimista.

Mikäli kovilla pakkasilla ilmenee vuotoilmasta johtuvaa päätyhuoneistojen jäähtymistä, voisi huoneistossa tehdä tiiveyskokeen ja tiivistää rakenteita mahdollisuuksien mukaan.

7.3 Korvausilman lämpenemistarve

Ilmanvaihto täydellä teholla aiheuttaa 102 kW lämpöhäviön, joka on lähes yhtä paljon kuin rakennusvaipan lämpöhäviöt 107 kW. Ilmanvaihdon optimoinnissa on siten suuri energian säästöpotentiaali.

Nykyiset poistoilmapuhaltimet ovat todennäköisesti kaksinopeuspuhaltimia, vaikka niitä käytetään aina täydellä teholla (Suomela 23.11.2017). Lisäksi puhaltimet ovat ylimitoitettuja, mikä aiheuttaa suuria paineroja päätelaitteille ja lisää siten

ilmanvaihdosta aiheutuvaa melua. Ylimitoituksen vuoksi puhaltimien energiatehokkuus on myös huono.

Huoneistojen riittävän sisälämpötilan ylläpitämiseksi tärkeintä on varmistua poistoilmamäärän puolituksesta, mikäli ulkolämpötila on alle -14 °C. Tämä on toteuttavissa nykyisiinkin puhaltimiin rakennusautomaation keinoin.

Nykyiset puhaltimet ovat 50 vuotta vanhoja ja siten elinkaarensa päässä. Kohteessa tulisi miettiä puhaltimien uusimista nykyaikaisilla taajuusmuuttaja ohjatuilla huippuimureilla. Nykyaikaiset huippuimurit

- vähentävät sähkönkulutusta
- mahdollistavat tarpeen mukaisen ilmavaihdon
- vähentävät äänihaittoja
- vähentävät huoltotarvetta.

Myös lämmöntalteenottoa poistoilmasta lämpöpumpun avulla kannattaisi harkita. Lämmöntalteenotossa poistoilmasta otetaan lämpöenergiaa talteen noin 60 - 70 % ja tämä siirretään rakennuksen lämmitys- ja käyttöveden lämmitykseen. Jormakka (2015) on tutkinut opinnäytetyössään 1967 rakennettuun kerrostaloon asennettua poistoilmalämpöpumpun tehokkuutta ja todennut rakennuksen lämmitysenergian kulutuksen vähentyneen 34 % takaisin maksuajan ollessa noin 7 vuotta. Lämmöntalteenottojärjestelmän tehokkuus ja toteutuskustannukset ovat kuitenkin aina tapauskohtaisia.

Huoneistojen keittiönkaapissa ja olohuoneissa sijaitsevien korvausilmaventtiilien toiminta tulee varmistaa. Mikäli venttiilien ilmavirta on estynyt, korvausilma tulee hallitsemattomasti rakenteiden läpi ja rappukäytävästä, aiheuttaen mahdollisesti vedon tunnetta, kosteuden kertymistä rakenteisiin sekä haitta-aineiden siirtymistä rakenteista sisäilmaan. Ilmanvaihtojärjestelmä tulee myös olla perussäädetty.

7.4 Lämmitysjärjestelmä

Lämmityspatterien nimellistehot ovat yhteensä 157 kW, joka vastaa lähes rakennusajankohdan mitoitusperusteiden mukaista 159 kW arvioitua tehontarvetta.

Pääsääntöisesti huoneistojen patterien lämmitystehot eivät riitä kattamaan huoneistojen lämpöhäviöitä ja varsinkin yläkerran huoneistoissa vajaan 500 – 900 W / huoneisto. Ylimmän kerroksen osalta tämä voisi osittain johtua yläpohjan lämmöneristävyuden erilaisesta laskentatavasta ja kaikkien huoneistojen osalta pienemmästä poistoilmamäärästä alkuperäisessä mitoituksessa.

Uusien suunnitelmien mukaan patterien tehontarve on yhteensä 150 kW. Lämmönvaihdin on mitoitettu 200 kW teholle, joka on siten yleisen käytännön mukaisesti n. 30 % ylimitoitettu. Lämmönvaihtimen ylimitoituksen perusteena on yleensä käytetty vaihtimen likaantumisen johtuvaa hyötysuhteen alenemista ja mahdollisuutta järjestelmän laajentamiseen. Nykytietämyksen mukaan vaihtimen ylimitoitus päinvastoin kiihdyttää likaantumista alentuneesta virtaamasta johtuen (Motiva 2016). Lämpöpakettia ei kuitenkaan tarvitse vaihtaa, vaan tämä tulee ottaa huomioon, mikäli uusintatarvetta ilmenee.

Lämpöjohtojen ja lämmityspattereiden käyttöikä on rakennuksen ikä, ellei verkossossa ilmene vuotoja (LVI 01-10487 2012, 8). Huoneistoissa osa lämpölinjoista menee valetun betonivälipohjan sisässä (kuvio 19). Saneerauksessa voisi harkita näiden linjojen siirtämistä huonetilaan, jolloin mahdollinen välipohjan sisäinen vuoto ei aiheuttaisi isoja vahinkoja.

Lämpöputkien alkuperäinen mitoitus mahdollistaa tarvittaessa ylimmän kerroksen päätyhuoneistojen lämpöpattereiden uusimisen tehokkaammilla, mikäli vanhat patterit eivät riitä kattamaan riittävästi lämpöhäviöitä ja huoneistojen lämpötila laskee liikaa.

LÄHTEET

- A 27.2.2013/176. Ympäristöministeriön asetus energiatodistuksesta. Liite 1: Energiatodistuksen kokonaisenergiankulutuksen (E-luvun) määrittäminen.
- A 4.5.2016/353. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta annetun ympäristöministeriön asetuksen liitteen 1 ja 2 muuttamisesta.
- Energiatodistus opas 2016. 2016. Liite1: Tyypillisiä olemassa olevien vanhojen rakennusten alkuperäisiä suunnitteluarvoja. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Ympäristöministeriö. [Viitattu 7.12.2017]. Saatavana: <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BAC7A25CB-AE7E-4869-8884-1AE74D3FE2DE%7D/100058>
- Jaakkola, T., Lindstedt, T. & Junnonen, J-M. 2010. Energiatehokas asuinkerrostalojen talotekniikkakorjaus. Helsinki: Suomen Rakennusmedia.
- Jormakka, J. 2015. Lämmöntalteenotto kerrostalon poistoilmasta poistoilmalämpöpumpulla. [Verkkajulkaisu]. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Tekniikan yksikkö. Talotekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. [Viitattu 5.12.2017]. Saatavana: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/90480/ONT%20Juho%20Jormakka.pdf?sequence=1>
- Kouhia, I., Nieminen, J, & Pulakka, S. 2010. Rakennuksen ulkovaipan energiakorjaukset. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: VTT. [Viitattu 5.12.2017]. Saatavana: <http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2010/VTT-R-04017-10.pdf>
- Kauppinen, T. 2011. Rakennusten ilmanpitävyys. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Rakennustieto. [Viitattu 8.12.2017]. Saatavana: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK110501.pdf>
- Motiva. Ei päiväystä. Energian loppukäyttö 2016. [Verkkosivu]. [Viitattu 24.10.2017]. Saatavana: https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiankaytto_suomessa/energian_loppukaytto
- Motiva. 2016. Energiatehokas lämmönsiirto 2016. [Verkkosivu]. [Viitattu 1.12.2017]. Saatavana: https://www.motiva.fi/ajankohtaista/julkaisut/kaikki_julkaisut/energiatehokas_lammonsiirto.9236.shtml
- Seppänen, O. 2001. Rakennusten lämmitys. Helsinki: Suomen LVI-liitto ry.
- Suomen Puhallintehtäjä Oy. 1967. Tekninen esite: Puhallinkoje TPC (C,D).
- Suomen Rakentamismääräyskokoelma, osa C4. 2003. Lämmön eristys. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Ympäristöministeriö. [Viitattu 8.12.2017]. Saatavana:

http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma

Suomen Rakentamismääräyskokoelma, osa D2. 2012. Rakennuksen sisäilmasto ja ilmanvaihto. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Ympäristöministeriö. [Viitattu 8.12.2017]. Saatavana: http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma

Suomen Rakentamismääräyskokoelma, osa D2. 1978. Rakennusten ilmanvaihto. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Sisäasiainministeriö. [Viitattu 8.12.2017]. Saatavana: http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Kumotut

Suomen Rakentamismääräyskokoelma, osa D3. 2012. Rakennusten energiatehokkuus. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Ympäristöministeriö. [Viitattu 8.12.2017]. Saatavana: http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma

Suomen Rakentamismääräyskokoelma, osa D5. 2012. Rakennuksen energiakulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Ympäristöministeriö. [Viitattu 8.12.2017]. Saatavana: http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma

LVI 01-10487. 2012. Kiinteistö kuntoarvio. Helsinki: Rakennustieto.

LVI 03-10368. 2004. Asuntoyhtiön kaukolämpölaitteiden uusiminen. Helsinki: Rakennustieto.

LVI 10-10558. 2015. Teho ja vesivirta kaukolämmön maksuperusteina. Helsinki: Rakennustieto.

LVI 12-10343. 2002. Vesikiertoinen patterilämmitys. Helsinki: Rakennustieto.

Palonen, J. Ei päiväystä. Asuntoilmanvaihto. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Rakennustieto. [Viitattu 14.12.2017]. Saatavana: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK040402.pdf>

Pieksä, M. 2017. Energia-asiantuntija. Vaasan Sähkö Oy. [Henkilökohtainen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Janne Lahdensuo. [Viitattu 10.11.2017].

RT 52-10859. 2005. Lämmitys kaukolämmöllä. Helsinki: Rakennustieto.

Suomen Standardisoimisliitto. 2001. SI opas: Suureet ja yksiköt. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

Tuomaala, P. 2018. Johtava tutkija. VTT. [Henkilökohtainen sähköpostiviesti]. Vastanottaja: Janne Lahdensuo. [Viitattu 8.1.2018].

Ympäristöministeriö. Ei päiväystä. Kansallinen ilmastopolitiikka. [Verkkosivu]. [Viitattu 24.10.2017]. Saatavana: http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Ymparisto/Ilmasto_ja_ilma/Ilmastonmuutoksen_hillitseminen/Kansallinen_ilmastopolitiikka

Ympäristöministeriö. 30.6.2016. Lämmitysjärjestelmät ja energiatehokkuus. [Verkkosivu]. [Viitattu 23.2.2018]. Saatavana: <http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Korjaustieto/Taloyhtiöt/Energiatehokkuus/Energiankulutus/Lammitysjarjestelma>

Vaasan Sähkö Oy. 2017. Kaukolämmön lämpömaksut. [Verkkosivu]. [Viitattu 1.12.2017]. Saatavana: <https://www.vaasansahko.fi/FI/Yritykset/Sisalto/Pages/L%C3%A4mp%C3%B6maksuhinnasto.aspx>

LIITTEET

Liite 1. Alkuperäisten pattereiden mitoitusaulukko

Liite 2. Huoneisto- ja tilakohtaiset lämmitystehon tarpeet

LIITE 1. Alkuperäisten 900mm korkeiden pattereiden mitoitustaulukko.



RADIAATTORIT - RADIATORER

Lämmönluovutus kcal/h ja lämpöpinnat m² eri huonelämpötiloille, keskilämpötila 80°C, lämpötilaero 20°C.

Värmeavgivning kcal/h och värmeytor m² för olika rumstemperaturer, medeltemperatur 80°C, temperaturlinad 20°C.

KORKEUS
HOJD

900 mm

Liiiteluku Antal sekt.	Pituus mm Längd	I						II						III					
		10°	12°	15°	18°	22°	25°	10°	12°	15°	18°	22°	25°	10°	12°	15°	18°	22°	25°
1	40	47,5	46	43	41,5	38	35	79,5	77	72,5	68,5	62,5	58	112,5	108	101,5	94,5	86,5	81,5
6	240	285	276	258	249	228	210	477	462	435	411	375	348	675	648	609	567	519	489
8	320	380	368	344	332	304	280	636	616	580	548	506	461	900	864	812	756	695	652
10	400	475	460	430	415	380	350	795	770	725	685	625	580	1125	1080	1015	945	865	815
12	480	570	552	516	498	456	420	954	924	870	822	750	695	1350	1296	1218	1134	1035	975
14	560	665	644	602	581	532	490	1113	1078	1015	958	875	812	1575	1512	1428	1332	1215	1141
16	640	760	736	688	664	608	560	1272	1232	1160	1096	1000	925	1800	1728	1628	1514	1384	1304
18	720	855	828	774	747	684	630	1431	1386	1305	1233	1125	1044	2025	1944	1827	1701	1557	1467
20	800	950	920	860	830	760	700	1590	1540	1450	1370	1250	1165	2250	2160	2035	1901	1735	1635
22	880	1045	1012	946	915	836	770	1749	1694	1595	1507	1375	1274	2475	2376	2235	2091	1911	1793
24	960	1140	1104	1032	996	912	840	1908	1848	1740	1644	1500	1392	2700	2592	2436	2283	2091	1956
26	1040	1235	1196	1118	1077	988	910	2067	2002	1885	1781	1625	1508	2925	2808	2637	2471	2259	2115
28	1120	1330	1288	1204	1162	1054	980	2226	2156	2030	1918	1750	1624	3150	3024	2842	2667	2422	2262
30	1200	1425	1380	1290	1245	1140	1050	2385	2310	2175	2055	1875	1740	3375	3240	3045	2859	2580	2406
32	1280	1520	1472	1376	1328	1216	1120	2544	2464	2320	2192	2000	1854	3600	3456	3246	3049	2736	2544
34	1360	1615	1564	1452	1411	1292	1190	2703	2618	2465	2327	2125	1973	3825	3672	3445	3237	2880	2676
36	1440	1710	1656	1538	1494	1368	1260	2862	2772	2610	2466	2250	2088	4050	3888	3645	3420	3030	2804
40	1600	1900	1840	1720	1680	1520	1400	3180	3080	2900	2740	2500	2300	4500	4320	4050	3800	3360	3100
44	1760	2090	2024	1892	1826	1670	1540	3498	3388	3190	3014	2750	2532	4950	4752	4455	4180	3690	3380
48	1920	2280	2208	2064	1992	1824	1680	3816	3696	3480	3280	2975	2730	5400	5184	4860	4560	4020	3680
52	2080	2470	2392	2236	2158	1976	1820	4134	4004	3780	3550	3225	2950	5850	5616	5275	4950	4360	4000
56	2240	2660	2572	2408	2324	2128	1980	4452	4312	4080	3820	3450	3150	6300	6048	5695	5340	4700	4320
60	2400	2850	2752	2580	2492	2280	2120	4770	4620	4380	4090	3675	3350	6750	6480	6115	5740	5050	4650
64	2560	3040	2936	2756	2664	2440	2260	5088	4928	4680	4360	3925	3575	7200	6912	6535	6150	5400	5000
68	2720	3230	3120	2932	2836	2600	2400	5406	5236	4980	4630	4175	3800	7650	7344	6955	6560	5750	5340
72	2880	3420	3304	3108	3008	2760	2560	5724	5544	5280	4900	4425	4030	8100	7776	7375	6970	6100	5680
76	3040	3610	3490	3288	3184	2920	2700	6042	5852	5580	5170	4675	4260	8550	8208	7795	7380	6450	6020
80	3200	3800	3676	3464	3356	3080	2840	6360	6160	5880	5440	4925	4490	9000	8640	8215	7790	6800	6360
84	3360	3990	3864	3648	3536	3240	2980	6678	6468	6090	5754	5250	4800	9450	9072	8635	8200	7150	6700
88	3520	4180	4050	3828	3712	3400	3120	6996	6776	6390	6028	5500	5104	9900	9504	8955	8520	7400	6940
92	3680	4370	4232	3996	3878	3540	3260	7314	7084	6690	6302	5750	5336	10350	9936	9385	8940	7750	7280
96	3840	4560	4416	4176	4056	3700	3400	7632	7392	6990	6576	6000	5568	10800	10368	9744	9270	8000	7520
100	4000	4750	4600	4350	4230	3840	3500	7950	7700	7250	6850	6250	5800	11250	10800	10150	9650	8450	8150
104	4160	4940	4784	4524	4404	3980	3640	8268	8008	7540	7124	6500	6032	11700	11232	10556	9928	8650	8476
108	4320	5130	4968	4688	4568	4120	3780	8586	8316	7830	7398	6750	6264	12150	11664	10962	10206	8850	8602
112	4480	5320	5152	4864	4744	4260	3920	8904	8624	8120	7672	7000	6496	12600	12096	11368	10584	9150	8912
116	4640	5510	5336	4988	4868	4400	4060	9222	8932	8410	7946	7250	6728	13050	12528	11774	10962	9450	9454
120	4800	5700	5520	5160	4980	4560	4200	9540	9240	8700	8220	7500	6960	13500	12960	12180	11340	10380	9780
124	4960	5890	5704	5332	5146	4712	4340	9858	9548	8990	8494	7750	7192	13950	13392	12586	11718	10726	10106
128	5120	6080	5888	5504	5312	4864	4480	10176	9856	9280	8768	8000	7424	14400	13824	12992	12096	11072	10432
132	5280	6270	6072	5676	5478	5016	4620	10494	10164	9570	9042	8250	7656	14850	14256	13398	12474	11418	10758

LIITE 2. Huoneisto- ja tilakohtaiset lämmitystehon tarpeet.

Tila	Patterien teho, W	Φ joht, W	Φ ilma, W	Φ tila, W	Ero, W	SRM 2012
A1	5 397	4 110	1 470	5 580	-183	8 091
A2	3 872	2 750	1 440	4 190	-318	6 176
A3	4 741	3 470	1 470	4 940	-199	7 381
A4	3 403	2 240	1 470	3 710	-307	5 676
A5	6 638	5 060	1 470	6 530	108	10 064
A6	4 842	3 520	1 470	4 990	-148	7 854
B10	2 675	1 810	1 140	2 950	-275	4 468
B11	2 336	1 600	1 230	2 830	-494	4 415
B12	2 675	1 760	1 140	2 900	-225	4 413
B13	3 739	2 810	1 140	3 950	-211	6 158
B14	3 372	2 420	1 230	3 650	-278	5 814
B15	3 749	2 760	1 140	3 900	-151	6 107
B7	2 979	2 170	1 140	3 310	-331	4 828
B8	2 731	1 850	1 230	3 080	-349	4 738
B9	2 979	2 070	1 140	3 210	-231	4 727
C16	2 979	2 730	1 140	3 870	-891	5 406
C17	2 731	2 180	1 230	3 410	-679	5 072
C18	2 867	1 900	1 140	3 040	-173	4 564
C19	2 675	1 830	1 140	2 970	-295	4 501
C20	2 336	1 600	1 230	2 830	-494	4 414
C21	2 675	1 800	1 140	2 940	-265	4 458
C22	3 749	2 860	1 140	4 000	-251	6 249
C23	3 372	2 450	1 230	3 680	-308	5 855
C24	3 739	2 780	1 140	3 920	-181	6 131
D25	3 627	2 400	1 470	3 870	-243	5 887
D26	5 119	3 670	1 470	5 140	-21	7 670
D27	3 403	2 270	1 470	3 740	-337	5 718
D28	4 013	3 460	1 470	4 930	-917	7 374
D29	4 704	3 570	1 470	5 040	-336	7 921
D30	6 661	5 100	1 470	6 570	91	10 127
AT 1	1 434	1 090	120	1 210	224	1 785
AT 10	1 254	740	120	860	394	1 268
AT 11/12	2 735	1 650	240	1 770	845	2 585
AT 13	1 165	720	120	840	325	1 273
AT 14	1 254	720	120	840	414	1 271
AT 15	1 254	720	120	840	414	1 277
AT 2	1 254	750	120	870	384	1 314
AT 3	1 254	740	120	860	394	1 264
AT 4	1 165	670	120	790	375	1 161
AT 5	1 165	670	120	790	375	1 159
AT 6	1 254	750	120	870	384	1 278

AT 7	1 254	740	120	860	394	1 266
AT 8	1 165	670	120	790	375	1 165
AT 9	1 165	680	120	800	365	1 182
Käytävä	3 369	1 870	690	2 560	809	4 220
Porras A	3 090	2 690	540	3 230	-140	4 335
Porras B	3 090	2 400	540	2 940	150	4 045
Porras C	3 090	2 400	540	2 940	150	4 045
Porras D	3 090	2 370	570	2 940	150	4 075
Urh. Väl1	1 377	930	360	1 290	87	2 199
Urh. Väl2	1 040	610	210	820	220	1 353
Pesutupa	1 540	1 070	660	1 730	-190	2 966
VSS	1 670	1 880	510	2 390	-720	4 160
Säilytyskomero1	386	340	180	520	-134	945
Säilytyskomero2	545	490	210	700	-155	1 224
PukuH1	637	340	660	1 000	-363	1 844
PukuH2	689	410	660	1 070	-381	1 931
Sauna	330	40	360	400	-70	847
PesuHuone	364	620	1 200	1 820	-1 456	3 284
Yhteensä	153 856	110 770	48 360	159 130		243 218