

# Energianlaskentajärjestelmän laajentaminen

Taavi Vartela

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2017  
Tekniikan ja liikenteen ala  
Insinööri (AMK), energiatekniikan koulutusohjelma

Tekijä(t) Vartela, Taavi	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2017
	Sivumäärä 78	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi <b>Energianlaskentajärjestelmän laajentaminen</b>		
Tutkinto-ohjelma Insinööri (AMK), energiatekniikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) Nuutinen, Marjukka Lähdesmäki, Pekka		
Toimeksiantaja(t) Lamit Oy		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Ilmastonmuutos ja maapallon keskilämpötilan nousu on ajanut teollisuuden pohtimaan ratkaisuja, joilla päästöjä saadaan vähennettyä. Kansalliset ilmastotavoitteet velvoittavat myös Suomea osallistumaan ilmastomuutoksen ehkäisyyn. Rakennusten ja rakentamisen energiatehokkuuden parantaminen toimii tärkeänä osana Suomen kasvihuonepäästöjen vähentämisessä. Lamit Oy on kehittänyt internet-pohjaiset laskentajärjestelmät, joiden tarkoitus on helpottaa ja nopeuttaa kiinteistöjen energialaskentaa. Järjestelmät ovat suunnattu ammattilaiskäyttöön ja niitä kehitetään jatkuvasti, kun kehitystarpeita esiintyy.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia käyttövesivaraajien, paisunta-astioiden ja vesikiertoisten lämmitysverkkojen varolaitteiden mitoitusperiaatteita, sekä kehittää niiden perusteella mitoitusmallit jotka voidaan lisätä laskentajärjestelmään uusina ominaisuuksina. Uusien ominaisuuksien avulla pyritään tuomaan laskentajärjestelmään uutta kaupallista arvoa ja laajentamaan asiakaskuntaa.</p> <p>Opinnäytetyön tietoperusta koostuu pääasiassa alan kirjallisuudesta, tutkimusraporteista ja standardeista. Opinnäytetyötä varten tutkittiin myös erilaisia mitoitusohjeita ja vertailtiin niissä käytettyjä mitoitusperiaatteita. Mitoitusmalleissa käytetty tieto valittiin siten, että se soveltuu Suomen olosuhteisiin ja suomalaiseen rakennuskantaan.</p> <p>Lopputuloksena saatiin valmiit mitoitusmallit käyttövesivaraajille, paisunta-astioille ja lämmitysverkon varolaitteille, jotka voidaan lisätä toimeksiantajan laskentajärjestelmään. Lisäksi mitoitusmalleista tehtiin Mathcad-laskentaesimerkit, joiden perusteella mitoitusmallien muuntaminen koodiksi on helpompi toteuttaa. Kaikki kehitetyt mitoitusmallit ovat perusteltuja ja kohdennettuja Suomen olosuhteisiin.</p>		
Avainsanat ( <a href="#">asiasanat</a> ) Käyttövesi, kulutus, varaaja, paisunta-astia, mitoitus		
Muut tiedot Lain viranomaisen toiminnan julkisuudesta (621/1999) 24 § perusteella tämän opinnäytetyön liitteet 8-11 ovat salaisia 10 vuoden ajan.		

Author(s) Vartela, Taavi	Type of publication Bachelor's thesis	Date May 2017 Language of publication: Finnish
	Number of pages 78	Permission for web publication: x
Title of publication <b>Expanding features in an energy calculation system</b>		
Degree programme Degree Programme in Energy Technology		
Supervisor(s) Nuutinen, Marjukka Lähdesmäki, Pekka		
Assigned by Lamit Oy		
Abstract  <p>Global warming and the rise of Earth's average temperature has forced industries to create solutions that will help reduce emissions. The national climate agreements oblige also Finland to participate in the battle against global warming. Developing energy efficiency in the building industry and buildings themselves is a big part of Finland's plan to lower the greenhouse gas emissions. Lamit Oy has developed web-based energy calculation systems to ease and speed up energy calculation for buildings. The systems are intended for professional use and they are developed constantly.</p> <p>The goal of the thesis was to examine the sizing and dimensioning principles of direct hot water storages, expansion tanks and safety devices for water-based heating systems, and develop design models for them. The design models can then be added to the calculation systems as new features. The new features aim to bring more commercial value for the systems and to expand the clientele.</p> <p>The theoretical framework of the thesis consists mainly of literature in the industry, research reports and standards. Other design models were also examined and compared. The information used in the design models was selected so that it suits Finland's circumstances and building stock properties.</p> <p>As a result of the thesis proper design models that can be added to the energy calculation system were made for sizing and dimensioning the direct hot water storages, expansion tanks and the safety devices for water-based heating systems. The design models were also presented in Mathcad calculations to help the modifying process to code. All design models are targeted for the Finnish circumstances.</p>		
Keywords/tags ( <a href="#">subjects</a> ) Direct hot water, consumption, storage, expansion tank, dimensioning, sizing		
Miscellaneous According to section 24 of the Act on the Openness of Government Activities (621/1999) the attachments 8-11 of this thesis are declared confidential for 10 years.		

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto .....</b>	<b>5</b>
1.1	Opinnäytetyön tausta.....	5
1.2	Aiheen rajaus.....	5
1.3	Tutkimusasetelma .....	7
1.4	Tietoperusta .....	7
1.5	Tavoitteet .....	8
<b>2</b>	<b>Rakennusten energiankäyttö .....</b>	<b>8</b>
2.1	Rakennuskanta .....	8
2.2	Energiankäytön jakautuminen .....	9
2.3	Energiatehokkuus.....	10
2.3.1	Nollaenergiarakentaminen.....	11
2.3.2	Energiatodistus.....	12
<b>3</b>	<b>Käyttövesijärjestelmä .....</b>	<b>12</b>
3.1	Käyttövesi ja sen vaatimukset .....	13
3.2	Käyttövesijärjestelmän rakenne.....	14
<b>4</b>	<b>Käyttövesivaraajat.....</b>	<b>15</b>
4.1	Mitoitusperiaatteet .....	17
4.2	Lämpimän käyttöveden kulutus.....	18
4.2.1	Kulutuksen rakenne.....	18
4.2.2	Lämmöntarpeen arviointi.....	20
4.2.3	Tehontarve.....	22
4.3	Häviöt .....	24
4.3.1	Siirron hyötysuhde.....	25
4.3.2	Kierron häviöt .....	26
4.3.3	Lämpökanaalihäviöt.....	29
4.3.4	Varastoinnin häviöt: .....	30

	2
4.4 Varaajan tilavuus .....	31
4.4.1 Tehollinen lämpötilaero .....	31
4.4.2 Latausteho ja varaajan tilavuus .....	31
<b>5 Vesikiertoinen keskuslämmitys .....</b>	<b>33</b>
<b>6 Paisuntajärjestelmä .....</b>	<b>34</b>
6.1 Avoin järjestelmä .....	35
6.2 Suljettu järjestelmä .....	35
6.2.1 Kalvopaisunta-astia .....	36
6.3 Paisuntalaitteiston mitoitus .....	37
6.3.1 Esipaineen valinta .....	38
6.3.2 Varoventtiilit .....	38
6.3.3 Enimmäis- ja vähimmäiskäyttöpaine .....	39
6.3.4 Laitoksen vesitilavuuden määrittäminen .....	40
6.3.5 Laitoksen mitoituslämpötilat .....	40
6.3.6 Paisunta-astian tilavuus .....	41
6.3.7 Kiehunta- ja ulospuhallusputki .....	43
6.3.8 Mitoituksessa huomioitavia asioita .....	44
<b>7 Yhteenveto .....</b>	<b>45</b>
<b>8 Pohdinta .....</b>	<b>45</b>
8.1 Työn suoritus .....	45
8.2 Luotettavuus .....	47
8.3 Jatkotoimenpiteet .....	48
<b>Lähteet .....</b>	<b>49</b>
<b>Liitteet .....</b>	<b>52</b>
Liite 1. SFS-EN 15316-3-1:2007 mukaiset käyttöveden kulutusprofiilit .....	52
Liite 2. Esimerkki maahan asennettujen jakojohdojen lämpöhäviöiden laskennasta (kaksiputkielementti) .....	55

Liite 3. Esimerkki maahan asennettujen jakojohdojen lämpöhäviöiden laskennasta (yksiputkielementti) .....	57
Liite 4. Esimerkki käyttövesivaraajan mitoituksesta .....	59
Liite 5. Esimerkki kalvopaisunta-astian mitoituksesta kerrostaloon.....	61
Liite 6. Esimerkki kalvopaisunta-astian mitoituksesta pientaloon .....	63
Liite 7. Esimerkki kiehun- ja ulospuhallusputken mitoituksesta.....	65
Liite 8. Mathcad-laskentaesimerkki käyttövesivaraajan mitoituksesta .....	66
Liite 9. Mathcad-laskentaesimerkki paisunta-astian mitoituksesta.....	69
Liite 10. Mathcad-laskenta kiehunputken mitoituksesta .....	73
Liite 11. Mathcad-laskenta lämpökanaalien lämpöhäviöiden laskennasta .....	77

## Kuviot

Kuvio 1 Rakennuskanta Suomessa tilatyypeittäin .....	9
Kuvio 2 Asumisen energiankulutuksen jakauma kulutuskohteittain.....	10
Kuvio 3 Kasvihuonepäästöjen jakauma sektoreittain .....	10
Kuvio 4 Energiatehokkuusluokat.....	12
Kuvio 5 Lämpimän käyttöveden jakeluverkon toimintaperiaate.....	15
Kuvio 6 Käyttöveden lämmityksen kytkentätavat .....	16
Kuvio 7 Sähköllä lämmitettävä käyttövesivaraaja .....	17
Kuvio 8 Lämpimän käyttöveden tehontarpeen vaihtelu vuorokauden aikana asuinkerrostalossa.....	19
Kuvio 9 Lämpimän käyttöveden kulutuksen teoreettinen jakauma mitoitusjakson aikana .....	23
Kuvio 10 Varaajan lämpöhäviöteho .....	30
Kuvio 11 Käyttövesijärjestelmän rakenne.....	34
Kuvio 12 Kalvopaisunta-astian toimintaperiaate .....	37
Kuvio 13 Kertavastusluvut.....	43
Kuvio 14 Kiehunputken sisähalkaisijan valinta .....	44
Kuvio 15 Puhalluspaineiden kertoimet vertailutehon laskentaan .....	44

Kuvio 16 Kiehunputken sisähalkaisijan valinta .....	65
-----------------------------------------------------	----

## Taulukot

Taulukko 1 Kylmän veden lämpötilan kuukausikeskiarvot .....	13
Taulukko 2 Lämpimän käyttöveden kulutus kulutuskohteittain .....	20
Taulukko 3 Standardin mukaiset käyttövesihuipun kulutukset .....	21
Taulukko 4 Lämpimän käyttöveden samanaikaisuuskerroin .....	24
Taulukko 5 Lämpimän käyttöveden siirron hyötysuhde .....	26
Taulukko 6 Lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviön ominaisteho .....	26
Taulukko 7 Kiertojohdon ominaispituus .....	27
Taulukko 8 Kiertojohdon pituuden vertailu eri laskentamenetelmillä .....	28
Taulukko 9 Veden lämpölaajenemiskerroin eri lämpötiloissa .....	41
Taulukko 10 Yhden henkilön talouden lämpimän käyttöveden kulutusprofiili vuorokauden ajalle .....	52
Taulukko 11 Yhden suihkua käyttävän perheen lämpimän käyttöveden kulutusprofiili vuorokauden ajalle .....	53
Taulukko 12 Yhden ammetta käyttävän perheen lämpimän käyttöveden kulutusprofiili vuorokauden ajalle .....	54

# 1 Johdanto

## 1.1 Opinnäytetyön tausta

Ilmastonmuutos ja maapallon keskilämpötilan nousu on ajanut teollisuuden pohtimaan ratkaisuja, joilla päästöjä saadaan vähennettyä. Kansalliset ilmastotavoitteet Kioton pöytäkirja, EU:n ilmasto- ja energiapaketti sekä Pariisin ilmastosopimus velvoittavat myös Suomea osallistumaan ilmastomuutoksen estämiseen. Rakennusten ja rakentamisen energiatehokkuuden parantaminen toimii tärkeänä osana Suomen kasvihuonepäästöjen vähentämisessä. Rakennusten ja rakentamisen aiheuttamat kasvihuonepäästöt kattoivat vuonna 2007 lähes 40 % Suomen kokonaispäästöistä.

Suomessa rakennusten energiatehokkuutta valvotaan energiatodistuksilla. Energiatodistuksella varmistetaan uudisrakennuksen riittävä energiatehokkuus ennen rakentamista, ja yritetään parantaa jo olemassa olevien rakennusten energiatehokkuutta. Opinnäytetyön toimeksiantaja Lamit Oy tarjoaa rakennusten energialaskentaa ja energiatehokasta suunnittelua monipuolisesti. Lamit Oy on kehittänyt internet-pohjaiset laskentajärjestelmät oman henkilökunnan, yhteistyökumppaneiden ja asiakkaiden käyttöön. Järjestelmien tarkoitus on helpottaa ja nopeuttaa kiinteistöjen energialaskentaa ja suunnittelua. Järjestelmiä on viime vuosina käytetty pääasiassa energiatodistusten laskentaan, mutta niitä kehitetään jatkuvasti, kun kehitystarpeita esiintyy.

## 1.2 Aiheen rajaus

Opinnäytetyöhön esitettiin seuraavia ominaisuuksia, joista kokonaisuus rakennettiin:

- Automaattinen laskenta lämpimän veden mitoitusvirtaamalle
- Käyttövesivaraajien mitoitus
- Tarkempi kylmäsiltojen lisäkonduktanssilaskenta
- Kaukolämmön tilausvesivirran laskenta
- Auringosta saatavien lämpökuormien laskennan kehitys
- Kellarin kylmäsiltojen laskenta
- Jäteveden lämmöntalteenoton laskenta
- Paisuntajärjestelmän mitoitus
- Varolaitteiden mitoitus
- Automaattinen kaukolämpökaavion luominen
- Kanaalien lämpöhäviölaskenta



- Maalämmön porakaivojen automaattinen mitoitus

Esitetyistä aiheista valittiin opinnäytetyökokonaisuuteen laajuudeltaan ja aihealueeltaan sopiva kokonaisuus. Aiheista valittiin myös jollain tasolla toisiinsa nitoutuva kokonaisuus. Työhön käsiteltäviksi valittiin aikataulun ja laajuuden ohjearvon puitteissa seuraavat aiheet:

- Käyttövesivaraajien mitoitus
- Paisuntajärjestelmän ja varolaitteiden mitoitus

Käyttövesivaraajien mitoitus valittiin työhön, koska se on tullut entistä ajankohtaisemmaksi uusien lämmitysmuotojen kuten lämpöpumppujen yleistyessä myös suurissa kiinteistöissä. Käyttövesivaraajien mitoitukseen ei myöskään ole virallista standardia, vaan mitoitustyyplejä on monia. Tällä opinnäytetyöllä haettiin selvyyttä mitoituseriaatteisiin ja tuotiin esille perusteltu tapa mitoittaa käyttövesivaraaja. Käyttövesivaraajat rajattiin suurien rakennusten ja rakennusryhmien keskitettyihin varostovaraajiin. Pienissä kiinteistöissä varaaja on yleensä mukana lämmitysjärjestelmässä, eivätkä ne tarvitse erillistä mitoittamista. Opinnäytetyössä keskityttiin ainoastaan lämpimän käyttöveden varaajiin.

Paisuntajärjestelmän mitoituksen tarpeellisuus tuli esille jo aikaisemmin suuresti käytössä olleen mitoitustyökalun myötä. Mitoituseriaatteet tarvitsivat kuitenkin päivitystä uusiin laskentasääntöihin. Paisunta-astiat rajattiin suljettujen järjestelmien kalvopaisunta-astioihin. Saman mitoituseriaatteen omaavat, kumipussilla varustetut ja kaasutäytteiset paisunta-astiat sisällytettiin myös mukaan laskentaan. Avoimia paisuntajärjestelmiä ei otettu mukaan työhön, koska niitä ei saa enää rakentaa uusiin järjestelmiin korroosiovaaran takia. Suljeituista paisuntajärjestelmistä rajattiin pois kompressori ja pumppukäyttöiset paisunta-astiat, sillä niitä käytetään hyvin harvoin Suomessa.

Varolaitteiden mitoitus sisällytettiin työhön, koska ne vaikuttavat myös paisunta-astian mitoitukseen. Varolaitteista mitoitukseen sisällytettiin LVI-ohjekortissa 11-10472 esille tuodut varoventtiilin avautumispaineen ja ulospuhallustehon mitoitus, sekä kattilakäytössä olevat kiehun- ja ulospuhallusputken mitoitus.

### 1.3 Tutkimusasetelma

Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää toimeksiantajan tuotetta eli tässä tapauksessa kaupallista laskentajärjestelmää. Toimeksiantajalla oli tarve laajentaa tarjoamansa tuotteen ominaisuuksia ja hankkia etulyöntiasemaa markkinoilla. Opinnäytetyössä pyrittiin siis muutoksen aikaansaamiseen tuotteessa, joka tekee työstä kehittämistutkimuksen. Tutkimusotteeltaan opinnäytetyö on kvalitatiivinen eli laadullinen tutkimus. (Kananen 2015, 39-40.)

Laadullisessa tutkimuksessa tavoitteena on ymmärtää tutkittava ilmiö aineiston ja havainnoinnin avulla. Ilmiö pyritään ymmärtämään yksityiskohtaisesti teorian pohjalta, jolloin voidaan esittää tutkimuskysymykset. (Kananen 2015, 34.)

Opinnäytetyön tutkimuskysymyksiksi muotoituivat seuraavat kysymykset:

- Miten käyttöveden kulutusta voidaan arvioida?
- Mitkä ovat käyttövesivaraajan mitoitusperiaatteet?
- Mitkä ovat paisunta-astian mitoitusperiaatteet?
- Mitkä ovat vesikiertoisen lämmitysverkoston varolaitteiden mitoitusperiaatteet?
- Miten mitoitusprosessit kulkevat ja mitä tietoja käyttäjä tarvitsee mitoituksiin?

Kvalitatiivisen tutkimuksen aineistonkeruumenetelminä toimivat havainnointi, haastattelut ja dokumentointi (Kananen 2015, 24). Tässä opinnäytetyössä aineisto kerättiin pääasiassa dokumentteja hyödyntäen. Haastatteluja käytettiin lähinnä kerätyn tiedon oikeellisuuden varmistamiseen.

### 1.4 Tietoperusta

Opinnäytetyön tietoperusta koostuu pääasiassa alan kirjallisuudesta, tutkimusraporteista ja standardeista. Opinnäytetyötä varten tutkittiin myös erilaisia mitoitusohjeita ja vertailtiin niissä käytettyjä mitoitusperiaatteita. Lisäksi epäselvissä asioissa konsultoitiin toimeksiantajan henkilökuntaa. Muita tutkimuksia kuten opinnäytetyöitä käytettiin lähinnä lähteiden etsimiseen ja kaikki työssä esitetty tieto pyrittiin perustamaan alkuperäislähteisiin. Aineistoa hankittiin pääasiassa Jyväskylän ammattikorkeakoulun ja yliopiston kirjastoista, sekä toimeksiantajan standardikokoelmasta. Yleistä

teoriaosuutta kuten tilastoja varten käytettiin myös internet lähteitä. Tiedon luotettavuutta pyrittiin parantamaan käyttämällä aina useita eri lähteitä, jos vain mahdollista.

## 1.5 Tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia käyttövesivaraajien ja paisunta-astioiden mitoituksen laskentaperiaatteita, ja kehittää niiden perusteella mitoitusmallit jotka voidaan lisätä toimeksiantajan laskentajärjestelmään oman henkilökunnan, yhteistyökumppaneiden ja asiakkaiden käytettäväksi. Mitoitusmallien tehtävä laskentajärjestelmässä on helpottaa ja nopeuttaa mitoitusprosessia. Työssä oli tarkoitus käydä valitut aiheet läpi teoreettisesti, ja esittää laskentaperiaatteet mahdollisimman selvästi sekä perustellusti. Mitoitusmallien pohjalta on tarkoitus tehdä koodi, jolla laskennat saadaan liitettyä laskentajärjestelmään.

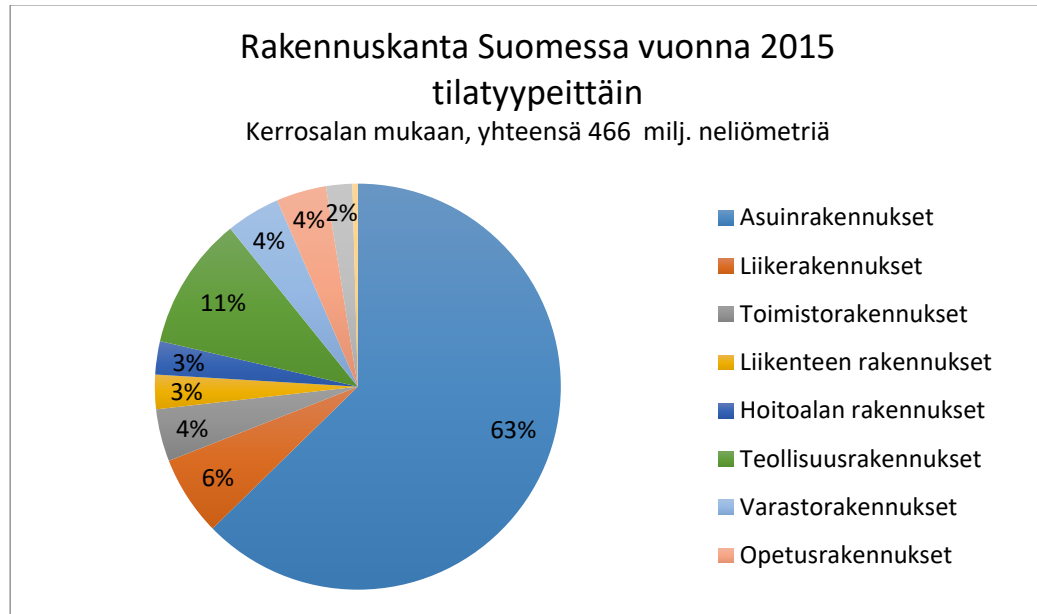
Uusien ominaisuuksien avulla pyritään tuomaan laskentajärjestelmään uutta kaupallista arvoa, jonka avulla saataisiin laajennettua ja lisättyä toimeksiantajan asiakaskuntaa. Laskentajärjestelmää kehittämällä haetaan myös etulyöntiasemaa markkinoilla kilpaileviin yrityksiin. Työn tuloksia voidaan myös hyödyntää energiatodistuslaskennan yhteydessä. Tuomalla lisää hyödyllistä tietoa yleisesti pakollisena kaavakkeena pidetyn energiatodistuksen yhteyteen, voidaan mielipidettä energiatodistuksesta muuttaa positiivisemmaksi.

## 2 Rakennusten energiankäyttö

### 2.1 Rakennuskanta

Rakennusten energiatehokkuuden parantamisen kannalta on hyvä tuntea Suomen rakennuskanta. Suomen rakennuskannan koko ilman kesämökkejä ja maatalous-, tai muita talousrakennuksia oli vuoden 2015 lopussa noin 1,5 miljoonaa rakennusta. Asuinrakennusten osuus rakennuskannasta oli noin 85 prosenttia, josta suurin osa oli erillisiä pientaloja. Tarkemman kuvan rakennuskannasta antaa kuitenkin kerrosalan tarkastelu. Kerrosalaa oli vuoden 2015 lopussa 466 miljoonaa neliometriä, josta 63 %

kuului asuinrakennuksille ja 11 % teollisuusrakennuksille. Rakennuskanta kasvaa Suomessa vuosittain noin prosentilla ja vuodesta 1990 se on kasvanut 29 %. (Rakennuskanta 2015.)

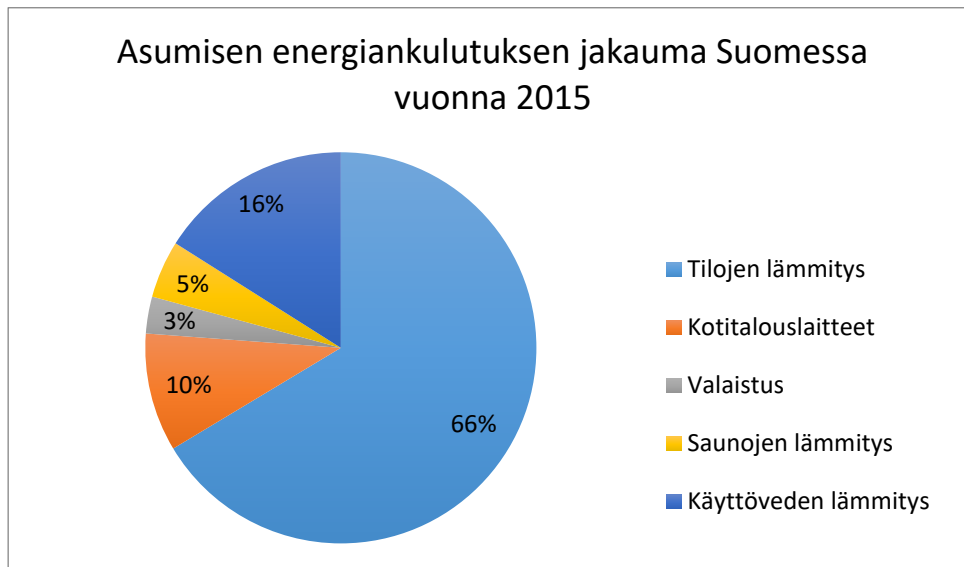


Kuvio 1 Rakennuskanta Suomessa tilatyypeittäin (Rakennuskanta 2015)

## 2.2 Energiankäytön jakautuminen

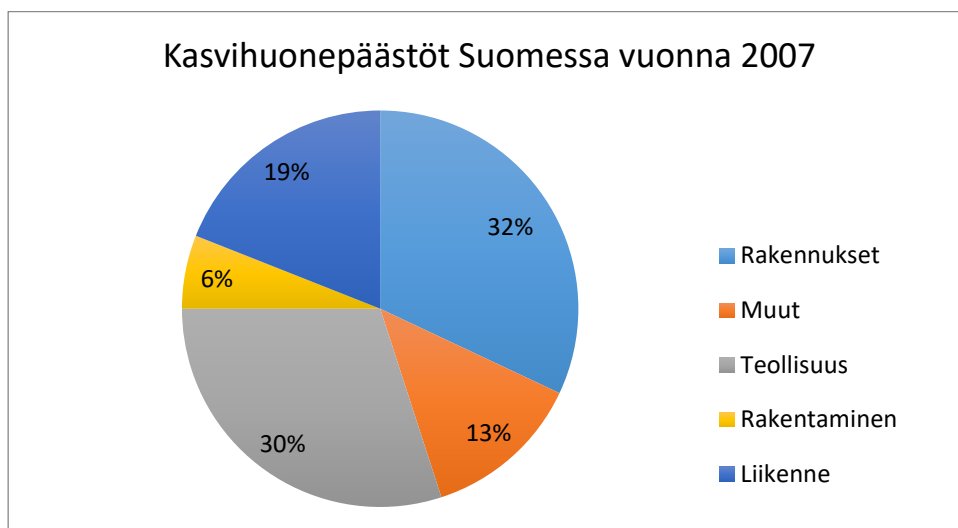
Rakennusten ja rakentamisen energiankäytön tehostaminen toimii tärkeänä osana Suomen kasvihuonepäästöjen vähentämisessä. Kasvava rakennuskanta ja sähkölaitteiden määrän kasvu lisäävät jatkuvasti energian kulutusta, ja lisääntyvä kulutus kasvattaa väistämättä myös kasvihuonepäästöjä, jos energiankäytön tehokkuuteen ei kiinnitetä huomiota. Rakennusten energiankulutus vuonna 2007 oli 39 % Suomen energian kokonaiskulutuksesta. (Lappalainen 2010, 12.)

Osuus on kuitenkin epätarkka lukuisten kulutuskohteiden takia. On parempi tarkastella rakennusten lämmitykseen kulunutta energiaa, joka yksinään kattoi neljäsosan Suomen energian loppukäytöstä vuonna 2015. Suurimpia yksittäisiä energian kulutuskohteita tilojen lämmityksen ohella ovat käyttöveden lämmitys, sekä valaistus ja kotitaloussähkö. (Asumisen energiankulutus 2015.)



Kuvio 2 Asumisen energiankulutuksen jakauma kulutuskohteittain (Asumisen energiankulutus 2015)

Sitran selvityksen mukaan (2010, 16) rakennusten käytön aikaiset kasvihuonepäästöt kattoivat 32 % Suomen kokonaispäästöistä ja rakentamisen 6 %. Rakennuksien aiheuttamiin päästöihin on luettu niiden käyttämien polttoaineiden päästöt, kaukolämmön päästöt ja rakennusten sähkön kulutuksen osuus sähköntuotannon päästöistä.



Kuvio 3 Kasvihuonepäästöjen jakauma sektoreittain (Sitran selvityksiä 2010, 16)

### 2.3 Energiätehokkuus

Rakennusten ympäristövaikutukset ulottuvat rakentamisvaiheesta pitkälle tulevaisuuteen. Suunnittelu- ja rakennusvaiheessa tehdyt päätökset energiamuodoista ja

materiaaleista vaikuttavat rakennuksen käytön aikaisiin ympäristökuormiin ja kustannuksiin huomattavasti. Energiatehokkaalla suunnittelulla ja nykyaikaisella tekniikalla saadaan haitalliset ympäristövaikutukset ja asumiskustannukset pidettyä mahdollisimman pieninä. (Rakennuksen energia- ja ekotehokkuus 2016)

Energiatehokkaassa suunnittelussa laitteiden tai rakenteiden valintoja ei voi tehdä pelkkien investointi-, tai käyttökustannuksien perusteella, vaan niitä täytyy vertailla saatuihin energiasäästöihin pitkällä ajanjaksolla. Suurimmat vaikutukset energiankulutukseen saadaan rakennuksen vaipan rakenteiden lämmöneristysten ja taloteknisten laitteiden, kuten lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmän valinnoilla. (Lappalainen 2010, 16.)

Rakennusten energiatehokkuuden kehyksenä toimii Euroopan unionin asettama energiatehokkuusdirektiivi 2010/31/EU. Direktiivi vaikuttaa sekä uudis-, että korjausrakentamiseen ja se sisältää kolme pääaluetta, jotka ovat energiatodistuksen käyttöönotto, energiatehokkuuden vähimmäisvaatimukset ja lämmityskattiloiden sekä ilmastointilaitteiden määräaikaistarkastukset. Direktiivissä on esitetty linjaukset, joita sovelletaan jäsenmaissa ottaen huomioon paikalliset ilmasto-olosuhteet ja rakennusperinteet. Suomessa käytetään useita tähän direktiiviin perustuvia standardeja ja rakentamismääräyskokoelmia, joissa esitetään määräyksiä suunnitteluun, rakentamiseen ja laskentaan. (2010/31/EU.)

### 2.3.1 Nollaenergiarakentaminen

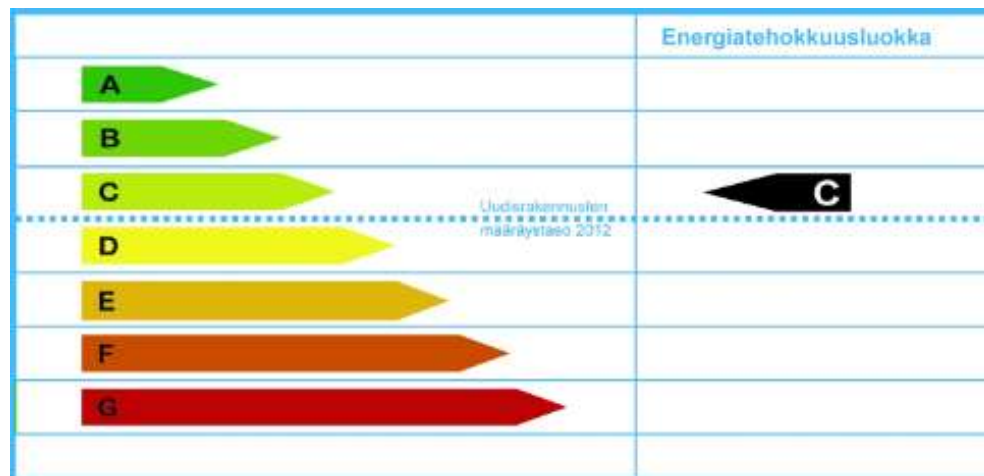
Nollaenergiarakentamisen yhteydessä puhutaan lähes nollaenergiataloista. EU direktiivin 2010/31/EU mukaan lähes nollaenergiarakennuksella tarkoitetaan rakennusta, jonka energiatehokkuus on erittäin korkea, ja sen tarvitsema lähes olematon tai erittäin vähäinen energian määrä on hyvin laajalti katettu uusiutuvilla energialähteillä, mukaan lukien paikan päällä tai rakennuksen lähellä tuotettava uusiutuva energia. Direktiivissä on määritetty, että vuoden 2020 loppuun mennessä kaikki uudet rakennukset ovat lähes nollaenergiarakennuksia. (2010/31/EU.)

Energiatehokkaat rakennukset suunnitellaan ottaen huomioon teknisesti oikea ja laadukas rakentaminen, sekä kustannustehokkuus. Tällöin toteutuvat sekä energiatehokkuus, että hyvät sisäilmaolosuhteet. (FInZEB-hanke 2015, 10.)

### 2.3.2 Energiatodistus

Energiatodistus on energiatehokkuuden mittari, jolla luodaan vertailukelpoinen arvo rakennuksen energiatehokkuudelle ja ennen kaikkea pyritään edistämään rakennuksien energiatehokkuutta, sekä uusiutuvan energian käyttöä (50/2013). Laskenta perustuu rakennuksen ominaisuuksiin, ja se on toteutettu niin että vanhan ja uuden rakennuksen vertailu on mahdollista. Rakennuksen energiatehokkuus tuodaan energiatodistuksessa esille E-luvulla, joka koostuu laskennallisesta vuotuisesta ostoenergiankulutuksesta painotettuna energiamuotojen kertoimilla. (Energiatodistus 2017.)

Rakennukset on jaettu niiden käyttötarkoituksen mukaisiin ryhmiin, joilla kullakin on oma energiatehokkuuden luokitteluasteikkonsa. Energiatehokkuusluokat on jaettu kuluttajille helposti ymmärrettäviin, kodinkoneista tuttuihin luokkiin A-G. (50/2013.)



Kuvio 4 Energiatehokkuusluokat

Energiatodistus on vaadittu Suomessa uudisrakentamisen yhteydessä vuodesta 2008 lähtien. Lain piiriin on sisällytetty vuosien aikana yhä useampia rakennuksia. Vuonna 2017 voimaan astuvan lakimuutoksen myötä energiatodistus vaaditaan lähes kaikilta rakennuksilta uudisrakentamisen, sekä myynnin ja vuokrauksen yhteydessä. (50/2013.)

## 3 Käyttövesijärjestelmä

Käyttövesijärjestelmällä toimitetaan vedenkäyttäjille kylmää sekä lämmintä käyttövettä. Tässä luvussa käsitellään käyttöveden ja käyttövesijärjestelmän ominaisuuksia.

### 3.1 Käyttövesi ja sen vaatimukset

Kun käsitellään henkilökohtaiseen hygieniaan ja ruoanlaittoon käytettävää talousvettä, liittyy siihen ja sen laitteistoon tiettyjä vaatimuksia. Käyttövesilaitteistoon ei saa liittää laitteita, jotka muuttavat sen mikrobiologista tai kemiallista laatua, eikä vesilaitteiston materiaaleista saa liueta veteen sen laatua heikentäviä aineita. Vesilaitteistossa saa käyttää vain testattuja ja tarkistettuja materiaaleja. (RakMk D1, 6-7.)

Kylmän veden lämpötila ei yleensä saa nousta yli 20 asteen (RakMk D1, 8). Suomessa kylmän veden lämpötila vaihtelee vuodenajasta riippuen. Taulukossa 1 on esitetty kylmän veden lämpötilan keskiarvot Suomessa kuukausittain. Mitoituksessa käytetään kylmän veden lämpötilaa + 5 °C. (Kukkonen & Saari 2011, 84.)

Taulukko 1 Kylmän veden lämpötilan kuukausikeskiarvot (Kukkonen & Saari 2011, 84)

<i>Kuukausi</i>	<i>Kylmän veden lämpötila, °C</i>
1	6
2	4
3	4
4	4
5	5
6	6
7	8
8	9
9	10
10	10
11	10
12	8

Lämpimän käyttöveden lämpötila on rajattu 55-65 asteen lämpötilaan. Alarajalla + 55 °C varmistetaan, ettei verkostossa muodostu ihmiselle haitallista legionellabakteeria. Ylärajalla + 65 °C estetään palovammojen syntyminen lämminvesikalusteita käytettäessä. (Harju 2006, 106.)



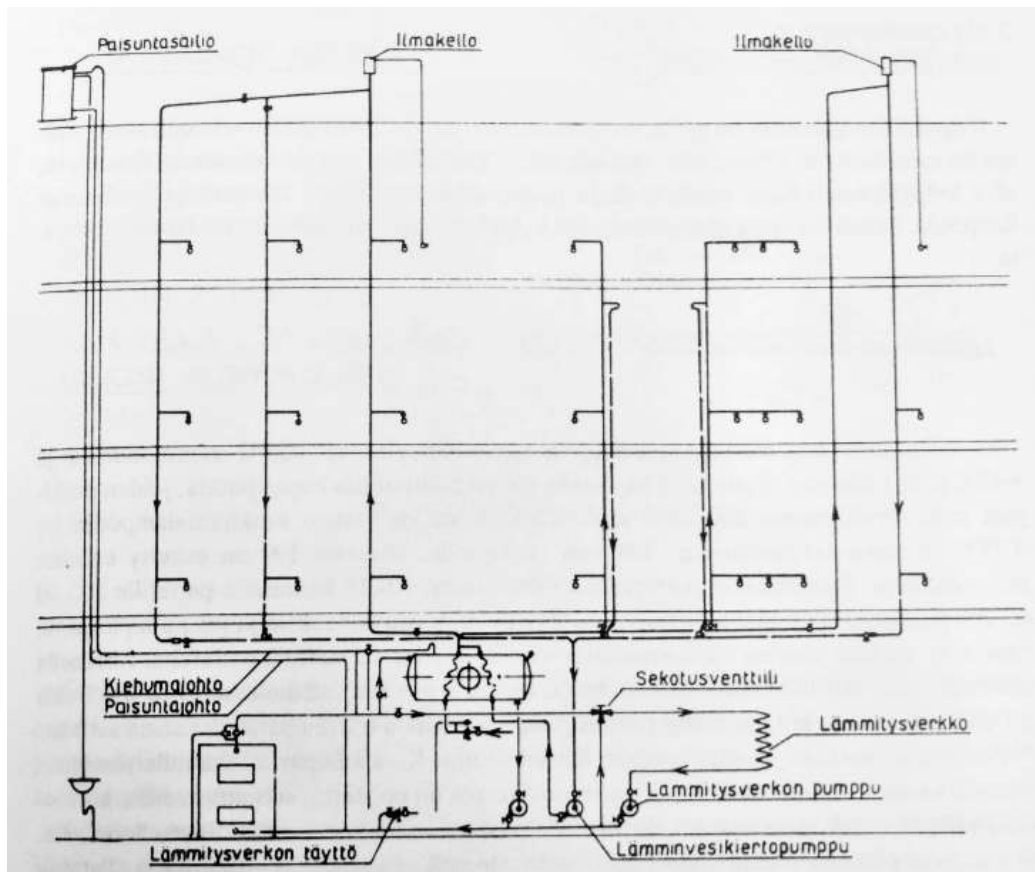
### 3.2 Käyttövesijärjestelmän rakenne

Käyttöveden jakelu asuinrakennuksiin tehdään yleensä joko kiinteistökohtaisesti tai kunnallisen käyttövesiverkoston kautta. Kiinteistön sisällä eroa jakelutapojen välillä ei näy. Kiinteistöön tuotava vesi on puhdistettua, kylmää käyttövettä. (Harju 2006, 22.)

Vesi jaetaan kiinteistössä kylmän ja lämpimän käyttöveden verkostoihin. Lämmin käyttövesi saadaan kierrättämällä vettä erillisen vedenlämmittimen kautta. Käyttövesiverkostot ovat paineistettuja. Verkoston paine säädetään kiinteistö- ja linjakohtaisesti sopivaan arvoon. Oikean paineen avulla käyttöpisteestä saadaan haluttu vesimäärä, sekä varmistetaan että muut vesijohtoon liitettävät laitteet kuten pesukoneet toimivat moitteetta. Painetta voidaan joutua säätämään joko alentamalla tai korottamalla. (Kapanen 1995, 78; Harju 2006, 106.)

Suurten rakennusten käyttövesiverkostoissa tulee ottaa huomioon lämpimän veden odotusaika. Kun vettä ei käytetä, jakoverkoston odottava lämmin vesi jäähtyy aiheuttaen legionellan riskiä ja haitallista odotusaikaa kulutusasteella (Day, Ratcliffe & Shepherd 1995, 236). RakMk:n osassa D1 ohjeistetaan, että lämmintä vettä tulisi olla saatavilla vesikalusteesta 10 sekunnin odotusajalla (RakMk D1, 9). Välttääkseen haitallisen odotusajan, täytyy lämpimän käyttöveden olla jatkuvasti jakoverkoston käyttölämpötilassa. Putkien eristyksillä pystytään hidastamaan jäähtymistä, mutta ei estämään kokonaan. Käytännön ratkaisuna ongelmaan toimii lämpimän käyttöveden kierto. Kiertojohtoon ideana on kierrättää lämmintä käyttövettä pumpun avulla jakojohdon kautta takaisin lämmöntuottajalle, jolloin lämmin vesi on aina nopeasti saatavilla kulutusasteella. Kiertojohto vähentää myös veden turhaa laskemista viemäriin ja säästää näin energiaa. (Day ym. 1995, 236.)

Kuviossa 5 on esimerkki lämpimän käyttöveden jakeluverkon toimintaperiaatteesta kerrostalokohteessa. Kuvion 5 jakeluverkko on varustettu kiertopumpulla toimivalla lämpimän käyttöveden kiertojohdolla, joka on merkattu kuvioon katkoviivalla. Jakelu on esitetty kahdella eri tavalla: pohjajohdosta haaroitettuna ja yläjakojärjestelmää käyttäen. Suomessa käytetään yleisesti pohjajohdoista haaroitettua jakelujärjestelmää. (Suomen kunnallistekninen yhdistys 1987, 201.)



Kuvio 5 Lämpimän käyttöveden jakeluverkon toimintaperiaate (Suomen kunnallistekninen yhdistys 1987, 201)

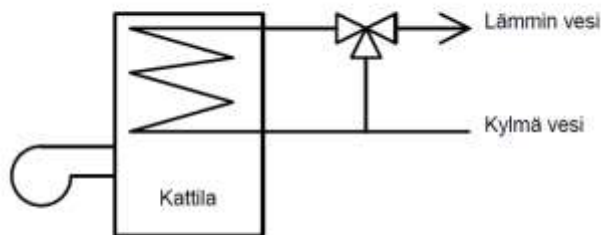
## 4 Käyttövesivaraajat

Lämminvesikytkentä voidaan jaotella kytkentätävän mukaan suoraan tai varaajalla suoritettuun kytkentään. Suoralla kytkentätavalla tarkoitetaan käyttöveden lämmönsiirtimeen käyttöä. Lämmönsiirrin sijaitsee esimerkiksi kattilan vesitilassa tai lämmitysvesivaraajassa, ja se on yleensä kupariputkesta valmistettu läpivirtauslämmönsiirrin. (Määttä 1993, 13.)

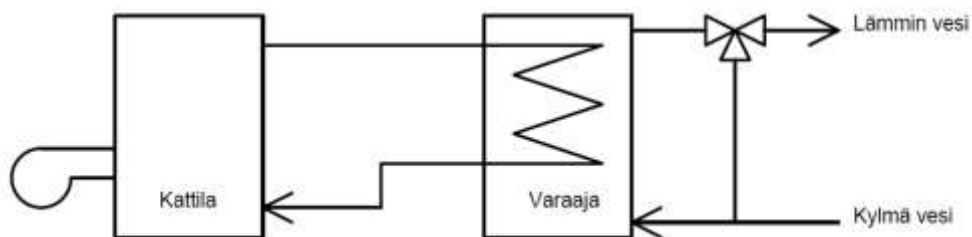
Varaajalla suoritettussa kytkennässä lämmitetty käyttövesi varastoidaan varaajaan. (Määttä 1993, 13). Oikein mitoitettulla käyttövesivaraajalla voidaan varmistaa lämpimän käyttöveden saanti kaikkina vuorokaudenaikoina, myös kulutushuippujen aikana (Kapanen 1995, 79). Varaajakytkentä mahdollistaa lämmityslaitteen käytön korkealla ja tasaisella teholla, jolloin saadaan paras hyötysuhde ja pienimmät päästöt ympäristölle. Lisäksi varaajien käyttö antaa edellytykset erilaisten lämmönlähteiden yhdistä-

miseen (Seppänen 1995, 252). Varaajalla suoritettu kytkentä myös pienentää käyttöveden tehontarvetta, sillä varaajan lataukseen tarvittava lämmitysteho voi olla huomattavasti pienempi kuin käyttöveden hetkellinen lämmitystehontarve (Määttä 1993, 13). Kuviossa 6 on yksinkertaistettu esitys suorasta ja varaajalla toteutetusta lämminvesikytkennästä kattilakäytössä.

#### 1. Käyttöveden lämmitys lämmityskierukassa



#### 2. Käyttöveden lämmitys varaajassa

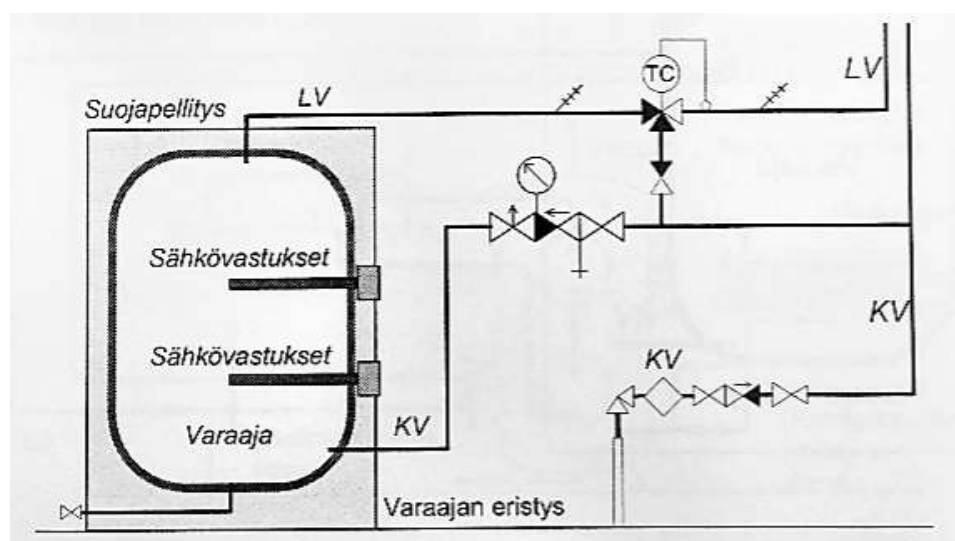


Kuvio 6 Käyttöveden lämmityksen kytkentätavat

Lämminvesivaraajan tärkeimmät ominaisuudet ovat varaajatoimittaja Akvatermin (2013) mukaan eristys ja veden kerrostuminen. Hyvällä eristyksellä minimoidaan varaajan lämpöhäviöt ja parannetaan järjestelmän toimivuutta. Hyvä eristys edistää myös veden kerrostumista. (Lämmönvarauksen ytimessä 2013.)

Veden kerrostumisella tarkoitetaan tilannetta, jossa lämmin vesi nousee varaajassa korkeimmalle ja kylmä vesi jää varaajan pohjalle. Kerrostuminen perustuu lämpimän ja kylmän veden tiheyseroihin. Varaajaa lämmitettäessä lämpimän ja kylmän veden rajapinta laskee varaajan alaosaan kohti, kunnes varaaja on ladattu täyteen lämmintä vettä. Varaajat pyritään valmistamaan niin, että vesi sen sisällä sekoittuu mahdollisimman vähän sinne tulevan tai sieltä lähtevän veden vaikutuksesta. (Lämmönvarauksen ytimessä 2013.)

Lämminvesilaitteisto on suunniteltava siten, että veden lämpötila on vähintään + 55 astetta. Lämpötila ei saa myöskään nousta yli + 65 asteen, kun puhutaan henkilökohtaiseen puhtaanapitoon tarkoitetuista vesikalusteista (RakMk D1, 9). Varaajasta saatavan veden lämpötila voi olla + 60-80 astetta. Veden lämpötila lasketaan käyttövesiverkostoon syötettäessä sekoitusventtiilin avulla verkoston lämpötilaan (Määttä 1993, 15). Varastovaraajan toimintaperiaate voidaan nähdä kuviosta 7, jossa on esitetty sähköllä lämmitettävän varaajan kytkentä kiinteistön käyttövesiverkostoon. Kuviossa merkintä "KV" tarkoittaa kiinteistöön tuotavaa kylmää vettä ja merkintä "LV" lämmintä käyttövettä.



Kuvio 7 Sähköllä lämmitettävä käyttövesivaraaja (Harju 2006, 119)

Mitoituksessa keskitytään suurten asuinrakennusten, kuten kerros- ja rivitalojen, tai rakennusryhmän keskitettyihin varastovaraajiin. Pientalojen varaajat ovat yleensä integroituina lämmitysjärjestelmiin, eivätkä ne vaadi erillistä mitoitusta (Kerttula 2016). Muiden kuin asuinrakennusten kohdalla vedenkulutuksen arvio vaatii kohdekohtaista suunnittelua.

#### 4.1 Mitoitusperiaatteet

Käyttövesivaraajien mitoitus perustuu realistiseen arvioon lämpimän käyttöveden kulutuksesta. On mahdotonta tietää täysin tarkkaa arvoa kulutukselle, koska se riippuu veden käyttäjistä ja heidän kulutustottumuksista. (Day & Ratcliffe & Shepherd 2003, 229.) Asuntokohtainen käyttövesivaraaja mitoitetaan yleensä vuorokauden

lämpimän käyttöveden tarpeen mukaisesti. Suurissa kiinteistöissä kyseinen mitoitus on kuitenkin mahdoton suuren vedenkulutuksen vuoksi. Varaaja mitoitetaan tällöin käyttövesihuipun ajalle.

On tärkeää, että mitoituksessa otetaan huomioon lämmitysjärjestelmien ja taloteknisten ratkaisuiden eroavaisuudet ja lopputuloksena saadaan oikein mitoitettu käyttövesivaraaja kullekin kohteelle.

Varaajan onnistunut mitoittaminen vaatii seuraavia tietoja:

- Käyttöveden kulutus mitoitusjaksolla
- Jakajohtojen lämpöhäviöt
- Kiertojohdon ja siihen liitettyjen lämmityslaitteiden lämpöhäviöt
- Maakanaalien lämpöhäviöt
- Varastoinnin lämpöhäviöt

Laskentajärjestelmän kannalta on myös tärkeää, ettei mitoitusprosessissa vaadita käyttäjältä liian yksityiskohtaista tietoa, vaan se pidetään mahdollisimman yksinkertaisena ja käyttäjäystävällisenä. Laskennassa pyrittiin käyttämään mahdollisimman suoraviivaisia, mutta tarpeeksi tarkkoja menetelmiä.

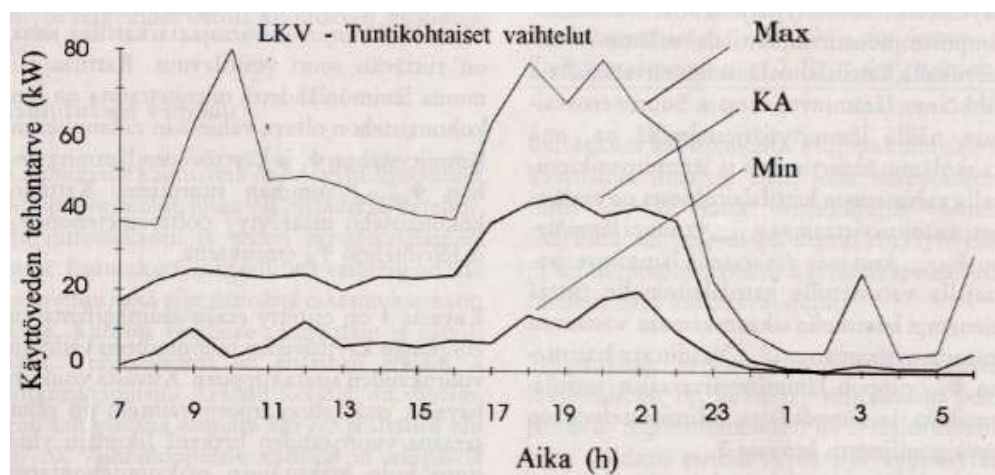
## 4.2 Lämpimän käyttöveden kulutus

### 4.2.1 Kulutuksen rakenne

Lämpimän veden kulutus jakautuu pääasiassa peseytymiseen ja keittiökulutukseen. Kulutukselle ominaista ovat suuret vaihtelut. Kulutus vaihtelee tunneittain ja päivittäin, sekä tuntijakauma on erilainen eri viikonpäivinä. Asuinrakennuksissa arkipäivinä suurimmat kulutukset esiintyvät aamuisin ja iltaisin muutaman tunnin ajanjaksoina. Viikonloppuisin kulutus on yleisesti arkipäiviä tasaisempi. Suomen kunnallisteknisen yhdistyksen mukaan (1987, 209) suurin kulutus keskittyy loppuviikolle, yleensä perjantai-iltana esiintyvään kylpyaikaan. Suurissa rakennuksissa kulutuspiikkejä tasaa yksittäisten vesipisteiden käytön eriaikaisuus. (Suomen kunnallistekninen yhdistys 1987, 209; Seppänen 1995, 248.)

Veden kokonaiskulutus huoneistokohtaisin mittarein varustetussa taloyhtiössä on keskimäärin 110 l/hlö (Harju 2006, 29). Motivan (2017) mukaan lämpimän käyttöveden kulutus voidaan olettaa olevan asuinrakennuksissa 40 % veden kokonaiskulutuksesta. Kulutus on kuitenkin myös riippuvainen vuodenajasta. Seppänen (1995, 246) toteaa, että asuin kerrostalossa lämpimän veden osuus voi olla kesäkuukausina 20-30 % ja talvella jopa 50 % veden kokonaiskulutuksesta. Vaihtelu johtuu kylmän veden lämpötilan noususta lämpiminä kuukausina.

Kuviossa 8 on esimerkki erään asuin kerrostalon lämpimän käyttöveden tehontarpeesta vuorokauden aikana. Kuvioista voidaan huomata suuret vaihtelut tehontarpeessa samana vuorokauden hetkenä, sekä suurimman vedenkulutuksen keskittymisen aamulle ja illalle. Mittauskauden pituutena on käytetty yhtä kuukautta. (Seppänen 1995, 250)



Kuvio 8 Lämpimän käyttöveden tehontarpeen vaihtelu vuorokauden aikana asuin kerrostalossa (Seppänen 1995, 250)

Vedenkulutus riippuu myös henkilökohtaisista tottumuksista ja veden hinnasta. Harjun (2006, 28) mukaan vedenkulutus puolittuu, kun siitä joutuu itse maksamaan välittömästi. Huoneistokohtaisten vesimittareiden vaikutus kulutukseen on siis huomattava, ja kulutukseen perustuva laskutus onkin vähentänyt vedenkulutusta keskimäärin 30 %. Suuressa kerrostalokiinteistössä vedenkulutus jakautuu asukkaiden kesken epätasaisesti. Pieni osa talon asukkaista kuluttaa vettä moninkertaisesti muihin verrattuna, mutta tyyppikuluttajan vedenkäyttö jää alle keskiarvon. (Harju 2006, 29.)

#### 4.2.2 Lämmöntarpeen arviointi

Käyttöveden kulutuksen arviointiin on luotu useita eri malleja. Kulutusta voidaan arvioida esimerkiksi veden käyttäjien, kiinteistön vesikalusteiden, mitoitusvirtaaman tai kulutusprofiilien perusteella. Taulukossa 2 on esitetty lämmitysenergiantarve ja lämpimän veden kulutus käyttökertaa kohti kulutuskohteittain. Taulukko 2 perustuu standardissa SFS-EN 15316-3-1:2007 esitettyihin eurooppalaisen vedenkulutuksen arvoihin. Kulutukset on laskettu lämpimän veden lämpötilalla + 60 °C. Lämmitysenergiantarve on laskettu 50 asteen lämpötilan nostolla käyttövedessä.

Taulukko 2 Lämpimän käyttöveden kulutus kulutuskohteittain (Saari & Kukkonen 2011, 86, muokattu)

<i>Vedenkulutuskohte</i>	<i>Sekoittajasta otettavan veden lämpötila, °C</i>	<i>Lämpimän veden kulutus, litraa + 60 °C vettä / käyttökerta</i>	<i>Lämmitysenergia, kWh / käyttökerta</i>
<i>K1. Pesuallashana, pieni kulutus</i>	25	1,8	0,105
<i>K2. Pesuallashana, suuri kulutus</i>	40	9,1	0,525
<i>K3. Siivous</i>	40	1,8	0,105
<i>K4. Astianpesu, pieni</i>	55	5,4	0,315
<i>K5. Astianpesu, keskisuuri</i>	55	7,2	0,420
<i>K6. Astianpesu, suuri</i>	55	13	0,735
<i>K7. Suihku</i>	40	24	1,400
<i>K8. Kylpymme</i>	40	62	3,605

Käyttövesihuipun lämmöntarvetta arvioidaan standardisoitujen kulutusprofiilien perusteella. Standardissa SFS-EN 15316-3-1:2007 on esitetty lämpimän käyttöveden kulutusprofiilit eurooppalaisille kotitalouksille. Profiilit ovat vuorokauden ajanjaksolle ja ne sisältävät tuntikohtaisen lämpimän käyttöveden kulutuksen kolmelle eri tapaukselle:

- Lämpimän käyttöveden kulutus yhden hengen taloudessa
- Lämpimän käyttöveden kulutus yhdelle perheelle, joka käyttää suihkua (vastaa keskimääräistä eurooppalaista vedenkäyttöä)
- Lämpimän käyttöveden kulutus yhdelle perheelle, joka käyttää ammetta

Suomalaista vedenkäyttöä käsitellessä täytyy lisäksi ottaa huomioon saunan mahdollisuus, jota eurooppalaisissa kulutusprofiileissa ei käsitellä. Suomen kunnallisteknisen yhdistyksen esittämässä mitoitusmallissa (1987, 211) yksityisen saunakäytön oletetaan vastaavan ammekäytön käyttövesihuipun energiantarvetta. Jos kiinteistössä on yleinen sauna, oletetaan sen kuluttavan kolmen yksityissaunan verran.

Kaikissa profiileissa suurin kulutus esiintyy illalla tunnin ajanjaksona kello 20:30-21:30, käsittäen noin 40 % koko päivän lämpimän veden kulutuksesta. Tätä kulutusjaksoa käsitellään käyttövesihuippuna. Kyseistä käyttövesihuipun määrittelyä on käytetty myös brittiläisessä lämpöpumpustandardissa BS-EN 15450:2007.

Taulukossa 3 on esitetty käyttövesihuipun aikaiset lämmöntarpeet eri kulutusprofiileilla. Käyttövesihuipun aikainen lämmöntarve muodostuu osakulutuksista, jotka ovat eritelty taulukkoon. Osakulutusten tiedot ovat nähtävissä taulukossa 2 (ks. taulukko 2). Kulutukset perustuvat lämpimän käyttöveden lämpötilaan + 60 °C ja kylmän veden lämpötilaan + 10 °C. Lämmöntarpeen arviointi 50 asteen nostolla käyttöveden lämpötilassa vastaa suomalaisissa käyttövesiverkostoissa yleisesti käytettyjä lämpötilatasoja + 5 °C ja + 55 °C.

Taulukko 3 Standardin mukaiset käyttövesihuipun kulutukset (SFS-EN 15316-3-1:2007, muokattu)

Tunnus	Kulutusprofiili	Käyttövesihuipun lämmöntarve	
		Osakulutukset	Yhteensä, kWh
P1	Perhe, amme/sauna	K6+K8+K1	4,445
P2	Perhe, suihku	K6+K7+K1	2,24
P3	Yhden hengen talous	K5+K2	0,945

Suomen kunnallisteknisen yhdistys on esittänyt julkaisussaan (1987, 210) vastaavat arvot käyttövesihuipun, eli kylpyajan energiankulutukselle. Vastaavat arvot yhden asunnon käyttövesihuipun lämmöntarpeelle ovat ammekäytöllä 10 kWh, suihkulla 5 kWh ja ilman peseytymiseen tarkoitettuja vesikalusteita 3 kWh. Ero standardissa SFS-EN 15316-3-1:2007 esitettyihin arvoihin voi johtua esimerkiksi vesikalusteiden ja vedenkäytön tottumuksien kehittymisestä energiatehokkaammaksi. Laskennassa päätettiin käyttää nykyaikaisempia, standardin SFS-EN 15316-3-1:2007 mukaisia arvoja.



Yhden asunnon käyttövesihuipun aikainen lämmöntarve on asunnolle määritetyn kulutusprofiilin perusteella valittu taulukkoarvo. Koko rakennuksen käyttövesihuipun energiantarve on rakennuksen asuntojen kulutusten summa. Käyttövesihuipun nettoenergia koko rakennukselle lasketaan kaavalla 1 (Suomen kunnallistekninen yhdistys 1987, 211):

$$Q_{lkv,netto} = (n_1 * Q_1) + (n_2 * Q_2) + (n_3 * Q_3) \quad (1)$$

missä  $Q_{lkv,netto}$  = rakennuksen käyttövesihuipun lämmöntarve, kWh/kW

$n_1$  = kulutusprofiilia P1 vastaavien asuntojen määrä

$n_2$  = kulutusprofiilia P2 vastaavien asuntojen määrä

$n_3$  = kulutusprofiilia P3 vastaavien asuntojen määrä

$Q_1$  = kulutusprofiilin P1 energiantarve

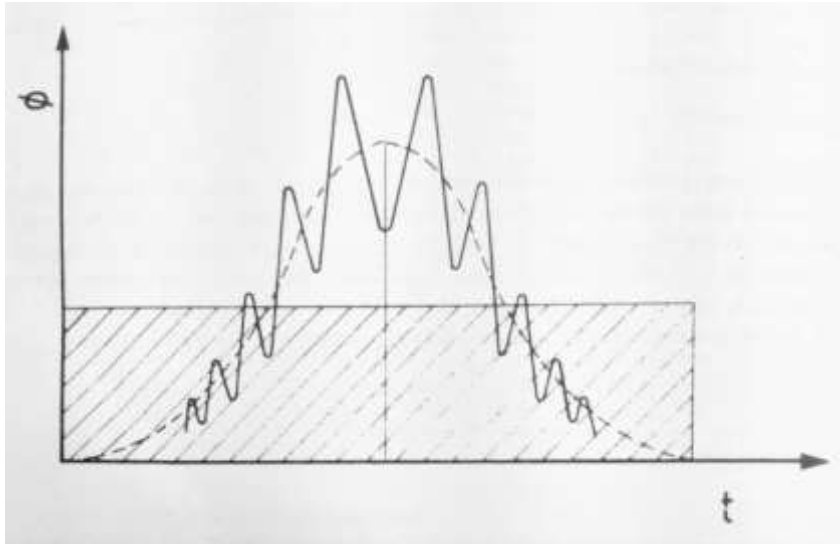
$Q_2$  = kulutusprofiilin P2 energiantarve

$Q_3$  = kulutusprofiilin P3 energiantarve

Koska asuntokohtaiset lämmöntarpeet sijoittuvat yhden tunnin mittaiselle jaksolle, voidaan käyttövesihuipun lämmöntarve esittää myös jakson keskitehona.

#### 4.2.3 Tehontarve

Mitoitusjakson tehontarvetta suurille asuinrakennuksille määrittäessä tulee miettiä veden samanaikaisen käytön todennäköisyyttä. Yhden perheen rakennuksessa käyttövesihuippu keskittyy noin 1-2 tunnin pituiselle jaksolle, kun suuremmissa rakennuksissa se voi kestää jopa 3-4 tuntia. Kuviossa 9 on esitetty lämpimän käyttöveden lämmönkulutuksen " $\Phi$ " jakautuminen mitoitusjakson " $t$ " aikana. Katkoviivalla merkitty käyrä esittää gaussin käyrän mukaista teoreettista kulutuksen jakautumista mitoitusjaksolla. Yhtenäisellä viivalla esitetty "todellinen kulutus" heittelee käyrän molemmin puolin. Suorakaide kuvaa kulutusjakson energiaa keskiteholla laskettuna. Kuviolla 9 yritetään demonstroida sitä, että vedenkulutus ei jakaudu tasaisesti käyttövesihuipun aikana vaan siinä esiintyy suuria vaihteluita. (Suomen kunnallistekninen yhdistys 1987, 210.)



Kuvio 9 Lämpimän käyttöveden kulutuksen teoreettinen jakauma mitoitusjakson aikana (Suomen kunnallistekninen yhdistys 1987, 210)

Taulukossa 4 on esitetty samanaikaisuuskerroin "S" ja mitoitusjakso "t<sub>H</sub>" ammeiden lukumäärän mukaan. Mitoitusjakso on kertoimen "S" käänteisluku ja se vastaa käyttövesihuipun kesto. Taulukosta voidaan huomata samanaikaisen käytön vähenevän, ja käyttövesihuipun keston pidentyvän asuntojen määrän kasvaessa. Laskennassa käytettävä samanaikaisuuskerroin ja mitoitusjakso valitaan ammeiden lukumäärän mukaan. Ammeiden lukumäärä määritetään periaatteella (Mts, 211.):

- amme/sauna = 1n
- suihku = 0,5n

Määrittely perustuu kylpyajan riippuvuuteen vesikalusteen tyypistä. Yhdelle asunnolle määritetään maksimissaan 1n (Mts, 211).

Taulukko 4 Lämpimän käyttöveden samanaikaisuuskerroin (Suomen kunnallistekni-  
nen yhdistys 1987, 211, muokattu)

<i>Samanaikaisuuskerroin</i>		
<i>Ammeiden lukumäärä n</i>	<i>Kerroin S</i>	<i>Mitoitusjakso t<sub>H</sub> (h)</i>
1	1	1,0
2	0,75	1,3
3...4	0,6	1,7
5...7	0,55	1,8
8...12	0,5	2,0
13...17	0,45	2,2
18...27	0,4	2,5
28...50	0,35	2,9
51...100	0,3	3,3
101...	0,25	4,0

Käyttövesihuipun aikainen keskiteho lasketaan samanaikaisuuskertoimen ja kaavalla 1 (ks. kaava 1) määritetyn lämmöntarpeen mukaan. Määritetty lämmöntarve vastaa myös tehoa, sillä asuntokohtaiset kulutukset sijoittuvat tunnin ajanjaksolle. Käyttövesihuipun keskiteho rakennukselle lasketaan kaavalla 2 (Suomen kunnallistekninen yhdistys 1987, 210):

$$\Phi_{lkv} = S * Q_{lkv,netto} \quad (2)$$

missä  $\Phi_{lkv}$  = käyttövesihuipun keskiteho, kW

S = samanaikaisuuskerroin

$Q_{lkv,netto}$  = käyttövesihuipun energiantarve, kW

Laskennassa käsitellään lämpimän käyttöveden kulutusta asuinrakennuksissa. Muita kohteita voidaan joutua käsittelemään yksilöllisesti. Taulukon 4 mukaiset samanaikaisen käytön todennäköisyyden arvot eivät päde esimerkiksi liikuntahalleissa, pesuloissa ym. rakennuksissa, joissa vedenkäyttö saattaa olla 100 % samanaikaista tiettyyn aikaan.

### 4.3 Häviöt

Vedenkulutuksen lisäksi tulee ottaa huomioon varastoinnin ja jakoverkoston tuomat lämpöhäviöt. Suuria kiinteistöjä käsiteltäessä häviöt voivat kattaa huomattavan osan

lämpimän veden energiankulutuksesta. Varaajan mitoituksessa häviöt lasketaan käyttövesihuipun ajalle, jolloin saadaan selville tarvittava lisäys varaajan energiasisältöön. Lämpöhäviöt lisätään käyttövesihuipun lämmöntarpeeseen kaavalla 3 (RakMk D5, 41, muokattu):

$$Q_{\text{lämmitys,lkv}} = Q_{\text{lkv,netto}} + Q_{\text{lkv,siirto}} + Q_{\text{lkv,varastointi}} + Q_{\text{lkv,kierto}} + Q_{\text{lkv,kanaalit}} \quad (3)$$

missä  $Q_{\text{lämmitys,lkv}}$  = lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve, kWh

$Q_{\text{lkv,netto}}$  = lämpimän käyttöveden lämpöenergian nettotarve, kWh

$Q_{\text{lkv,siirto}}$  = lämpimän käyttöveden jakojohdojen lämpöhäviö, kWh

$Q_{\text{lkv,varastointi}}$  = lämpimän käyttöveden varastoinnin lämpöhäviö, kWh

$Q_{\text{lkv,kierto}}$  = lämpimän käyttöveden kiertojohdon ja siihen kytkettyjen lämmityslaitteiden lämpöhäviöt, kWh

$Q_{\text{lkv,kanaalit}}$  = maahan asennettujen lämpimän käyttöveden jakoputkien lämpöhäviöt, kWh

#### 4.3.1 Siirron hyötysuhde

RakMk D5:n mukainen siirron hyötysuhde kattaa jakojohdon häviöt. Siirron hyötysuhteessa ei oteta huomioon kiertojohdon häviöitä, joten kiertojohdon häviöt on tarkasteltava erikseen (RakMk D5, 41). Kierrottoman jakojohdon lämpöhäviöt muodostuvat putkien ja putkiliitosten lämmittämiseen kuluva energiasta (SFS-EN 15316-3-2:2007, 14). Standardissa SFS-EN 15316-3-2:2007 käsitellään lämpimän käyttöveden jakojohdojen häviöiden laskentaa tarkalla menetelmällä. Menetelmä on kuitenkin liian monimutkainen laskentaa varten.

RakMk D5:n mukainen siirron hyötysuhde on esitetty taulukossa 5. Hyötysuhde riippuu rakennustyypistä, jakojohdojen eristystasosta ja lämpimän käyttöveden kierrosta. Taulukossa 5 oleva merkintä "D" tarkoittaa eristettävän putken ulkohalkaisijan mitta (RakMk D5, 41.). Kyseessä on vuosihyötysuhde, mutta rakennuksen sisätiloissa kulkevilla siirtoputkilla sillä ei ole merkittävää vaikutusta.

Taulukko 5 Lämpimän käyttöveden siirron hyötysuhde (RakMk D5, 41, muokattu)

Rakennustyyppi	$\eta_{lkv,siirto}$				
	Kierto	Ei kiertoa			
		Eristämätön	Suojaputkessa	Eristetty perustaso (0,5D)	Eristetty parempi (1,5D)
Erillinen pientalo sekä rivi- ja ketjutalot	0,96	0,75	0,85	0,89	0,92
Asuinkerrostalo	0,97	0,76	0,86	0,9	0,94

Jakojohton häviöt eriteltynä lasketaan käyttämällä kaavaa 4 (RakMk D5, 41, muokattu):

$$Q_{lkv,siirto} = \frac{Q_{lkv,netto}}{\eta_{lkv,siirto}} - Q_{lkv,netto} \quad (4)$$

missä  $Q_{lkv,siirto}$  = lämpimän käyttöveden jakojohton lämpöhäviöt, kWh

$Q_{lkv,netto}$  = lämpimän käyttöveden lämpöenergian nettotarve, kWh

$\eta_{lkv,siirto}$  = lämpimän käyttöveden siirron hyötysuhde

#### 4.3.2 Kierron häviöt

Kiertojohtoon häviöitä ei ole otettu huomioon siirron hyötysuhteessa, joten ne täytyy käsitellä erikseen. RakMk D5:n mukainen kiertojohtoon lämpöhäviön ominaisteho eristystason mukaan on esitetty taulukossa 6. Taulukon häviötehot ovat putkimetriä kohti. Taulukossa 6 oleva merkintä D tarkoittaa eristettävän putken ulkohalkaisijan mitta. (RakMk D5, 43.)

Taulukko 6 Lämpimän käyttöveden kiertojohtoon lämpöhäviön ominaisteho (RakMk D5, 43, muokattu)

Eristystaso	Kiertojohtoon lämpöhäviön ominaisteho, $\Phi_{lkv,kiertohäviö}$
Ei tietoa	40 W/m
0,5D	10 W/m
1,5D	6 W/m
suojaputki	15 W/m
suojaputki + 0,5D	8 W/m
suojaputki + 1,5D	5 W/m

Jos kiertojohdon tarkka pituus ei ole tiedossa, täytyy se määrittää jollain muulla tavalla. Varaajan mitoitustyökalua varten vertailtiin kahta eri laskentamallia kiertojohdon pituuden määrittämiseksi. Laskentamallien luotettavuutta arvioitiin vertailemalla laskennan tuloksia oikeiden kerrostalokohteiden pohjapiirustuksista laskettuihin kiertojohdon pituuksiin. Taulukossa 7 on esitetty kiertojohdon ominaispituus RakMk D5:n mukaan. Pituus määritetään metreinä rakennuksen lämmitetyn nettoalan ja rakennustyyppin mukaan. (RakMk D5, 43.)

Taulukko 7 Kiertojohdon ominaispituus (RakMk D5, 43, muokattu)

<i>Rakennustyyppi</i>	<i>Kiertojohdon ominaispituus, m/m<sup>2</sup></i>
<i>Erillinen pientalo sekä rivi ja ketjutalot</i>	0,043
<i>Asuinkerrostalo</i>	0,043

Tarkastelussa tuli esille, että RakMk D5:n mukaan laskettu kiertojohdon pituus jää huomattavasti alle oikean arvon. Toinen mitoitusmalli perustuu standardissa SFS-EN 15316-3-2:2007 esitettyyn laskentaan. Standardissa kiertojohdon pituus määritetään rakennuksen ulkomittojen mukaan kaavoilla 5 ja 6 (SFS-EN 15316-3-2:2007, 30):

$$L_v = 2 * L_b + 0,0125 * L_b * B_b \quad (5)$$

$$L_s = 0,075 * L_b * B_b * n_f * h_f \quad (6)$$

missä  $L_v$  = lämmöntuottajalta varsinaiseen kiertojohtoon vievät putket (kellarissa), m

$L_s$  = kiertojohdon putket, m

$L_b$  = rakennuksen suurin pituus, m

$B_b$  = rakennuksen suurin leveys, m

$n_f$  = rakennuksen lämmitettyjen kerrosten lukumäärä

$h_f$  = rakennuksen kerrosten korkeus, m

Tarkastelussa huomattiin, että standardin SFS-EN 15316-3-1:2007 mukainen menetelmä antaa hieman ylisuuria pituuksia kiertojohdolle. Kiertojohdon lämpöhäviö siis kasvaa normaalia suuremmaksi, kun RakMk D5:n menetelmällä se jää huomattavasti

oikeaa arvoa pienemmäksi. Kiertojohtojen pituuden aliarviointi aiheuttaisi laskennassa myös kiertojohtojen häviöiden aliarviointia. Tästä syystä laskenta toteutettiin standardin SFS EN 15316-3-1:2007 mukaisella menetelmällä. Taulukossa 8 on esitetty oikeiden kerrostalokohteiden kiertojohtojen pituuksia eri menetelmillä laskettuna. Oikeat pituudet on laskettu eräiden kerrostalokohteiden pohjapiirustuksista. Kiertojohtojen pituudessa otettiin huomioon sekä meno että paluujohtot.

Taulukko 8 Kiertojohtojen pituuden vertailu eri laskentamenetelmillä

Laskentamenetelmä	Kiertojohtojen pituus, m		
	Rakennus 1	Rakennus 2	Rakennus 3
RakMk D5	271	108	314
SFS EN-15316 3-2:2007	1216	512	1474
Arvio piirustuksista	800	300	830

Kiertojohtojen ominaishäviöiden lisäksi on otettava huomioon kiertojohtoon liitetyt lämmityslaitteet. RakMk D5:n mukaan lämmityslaitteiden ominaisteho eli lämpöhäviöteho on enintään 200 W/lämmityslaite. Mikäli lämmityslaitteiden lukumäärä ei ole tiedossa, lisätään kiertojohtojen lämpöhäviön ominaistehoon 40 W/m (RakMk D5, 43). Lämmityslaitteiden teho voidaan olettaa vakioksi ympäri vuoden (Saari & Kukkonen 2011, 32).

Edeltävien tietojen perusteella lasketaan kiertojohtojen lämpöhäviö mitoitusjakson aikana kaavalla 7 (RakMk D5, 90, muokattu):

$$Q_{l_{kv},kierto} = (\Phi_{l_{kv},kiertohäviö,omin} * L_{l_{kv}} + \Phi_{lämmitys,omin} * n_{lämmityslaite}) * \frac{t_H}{1000} \quad (7)$$

missä  $Q_{l_{kv},kierto}$  = lämpimän käyttöveden kiertojohtojen lämpöhäviö, kWh

$\Phi_{l_{kv},kiertohäviö,omin}$  = lämpimän käyttöveden kiertojohtojen lämpöhäviön ominaisteho, W/m

$\Phi_{l_{kv},lämmitys,omin}$  = lämpimän käyttöveden kiertojohtojen liitettyjen lämmityslaitteiden ominaisteho, W/kpl

$n_{\text{lämmityslaitte}}$  = lämpimän käyttöveden kiertojohtoon liitettyjen lämmityslaitteiden lukumäärä, kpl

$L_{\text{kv}}$  = kiertojohdon pituus, m

$t_H$  = mitoitusjakson pituus, h

### 4.3.3 Lämpökanaalihäviöt

Lämpökanaalilla tarkoitetaan maahan asennettua lämpimän käyttöveden kiertojohtoa. Maahan asennettujen lämpöjohtojen lämpöhäviöitä voidaan arvioida käsinlaskentamenetelmällä, joka perustuu Chalmersin teknillisen yliopiston esittämään laskentamenetelmään. (Saari & Kukkonen 2011, 126.) Laskenta on jaettu kahdelle eri putkityypille. Kaksiputkielementti, jossa lämpimän käyttöveden kierron meno- ja paluuputki ovat saman elementin sisässä, ja yksiputkisille lämpöjohtoilta, jossa kukin linja on oman elementin sisässä. Ulkona kulkevien lämpöputkien häviöiden laskennassa tulee myös ottaa huomioon talvikauden suurempi häviöteho. Laskennan ulkolämpötilana käytetään RakMk:n osassa D3 (2011, 29) esitettyjä säävyöhykkeiden mitoituslämpötiloja. Näin voidaan varmistua, että laskettu häviöteho vastaa vuoden suurinta tarvetta.

Laskennan vertailussa huomattiin, että yksiputkiset lämpöjohdot omaavat noin kolmasosaa suuremman lämpöhäviötehon. Häviötehot ovat kuitenkin muuhun kulutukseen verrattuna pieniä, eikä niillä ole suurta merkitystä käyttövesihuipun lämmöntarpeeseen, ellei lämpökanaalia ole useita satoja metrejä. Lämpökanaalien häviöt käyttövesihuipun aikana lasketaan kaavalla 8 (Saari & Kukkonen 2011, 66):

$$Q_{\text{häviö,kanaali}} = (\Phi_s + \Phi_r) * L * t_H \quad (8)$$

missä  $\Phi_s$  = menoputken lämpöhäviö per putkipituus, W/m

$\Phi_r$  = paluuputken lämpöhäviö per putkipituus, W/m

$L$  = maahan upotettujen elementtien pituus, m

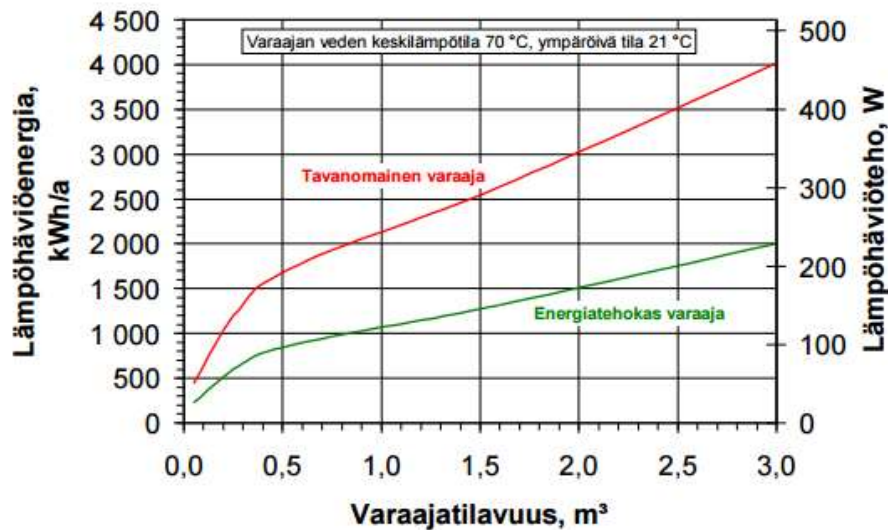
$t_H$  = mitoitusjakson pituus, h

Meno-, ja paluuputkien lämpöhäviöt sekä lämpökanaalin häviöteho määritetään liitteessä 2 (ks. liite 2) esitetyn laskennan mukaisesti.



#### 4.3.4 Varastoinnin häviöt:

Varastovaraajaa käytettäessä on otettava huomioon tämän lämpöhäviöt. Lämpöhäviöt riippuvat varaajan koosta ja lämpötilatasoista. Lämpöhäviöteho saadaan kuviosta 10 tilavuuden ja eristystason mukaan. Kuviossa 10 esitetyt lämpöhäviötehot perustuvat varaajan keskilämpötilaan + 70 °C ja ympäröivän tilan lämpötilaan + 21 °C. Tavanomaisen varaajan käyrä vastaa 40 mm eristyspaksuutta ja energiatehokkaan varaajan käyrä 100 mm eristyspaksuutta. (Kukkonen & Saari 2011, 21.)



Kuvio 10 Varaajan lämpöhäviöteho (Kukkonen & Saari 2011, 21)

Varastoinnin häviöenergia mitoitusjaksolle lasketaan kaavalla 9:

$$Q_{l_{kv,varastointi}} = \Phi_{l_{kv,varastointi}} * \frac{t_H}{1000} \quad (9)$$

missä  $Q_{l_{kv,varastointi}}$  = lämpimän käyttöveden varastoinnin lämpöhäviö, kWh

$\Phi_{l_{kv,varastointi}}$  = lämpimän käyttöveden varaajan ominaislämpöhäviöteho, W

$t_H$  = mitoitusjakson pituus, h

## 4.4 Varaajan tilavuus

### 4.4.1 Tehollinen lämpötilaero

Tehollisella lämpötilaerolla tarkoitetaan hyödynnettävissä olevaa varaajan keskilämpötilan laskua mitoitusjakson aikana. Teholliseen lämpötilaeroon vaikuttavat varaajan kytkentätapa ja siitä riippuvat ominaisuudet. (Määttä 1993, 26.)

Käyttöveden lämmönsiirrintä käytettäessä tehollinen lämpötilaero määritetään alimman käyttöveden lämmitykseen hyödynnettävissä olevan lämpötilan mukaan. Esimerkiksi kattilakäytössä tämä voisi tarkoittaa 40 asteen tehollista lämpötilaeroa (kattilaveden lasku + 85 °C -> + 45 °C). (Mts, 27.)

Varastovaraajaa käytettäessä on hyödynnettävissä korkeampi tehollinen lämpötilaero. Kun lämpötilakerrostuminen on ideaalista, voidaan teholliseksi lämpötilaeroksi olettaa varaajaan varastoidun kuuman veden ja kylmän talousveden erotus. (Mts, 27.)

### 4.4.2 Latausteho ja varaajan tilavuus

Varaajan mitoittaminen lataustehon ja varaustarpeen mukaan perustuu kumuloituvan energiankäytön malliin, jossa varaaja toimii lämpimän käyttöveden huipputehoa kompensoivana välineenä. Varastoidulla energialla katetaan huipun aikana esiintyvät energiavajaukset. (Määttä 1995, 24.)

Lataustehon ja varaajan energiasisällön välillä vallitsee riippuvuus. Kasvattamalla käyttövesihuipun aikaista lataustehoa voidaan vähentää varastoidun energian tarvetta, kun taas suurentamalla varaajaa riittää lämmöntarpeen kattamiseksi pienempi latausteho. Latausteho on rakennuksen lämmitysjärjestelmästä käyttövedeen mitoitusjakson aikana saatavissa oleva lämpöteho. Latausaikana pidetään lyhintä ajanjaksoa, jona latausteholla saadaan kehitettyä tarvittava käyttöveden varaajaenergia. Latausaikaa voi pidentää sen aikana esiintyvä veden kulutus (Mts, 24-34).

Lataustehon ja varaajan koon riippuvuuden avulla voidaan valita investointikustannuksiltaan halvin vaihtoehto. Suomen kunnallisteknisen (1987, 212) yhdistyksen mukaan käytännöllinen laitos saadaan, kun latausteholla pystytään kattamaan 20-25 %

mitoitusjakson lämmöntarpeesta. Lataustehoon tulee ottaa huomioon myös varaajassa sijaitsevat lämpövastukset.

Mitoitusjakson keskitehoa lataustehona käyttämällä saadaan tuotettua energiamäärällisesti käyttövesihuipun lämmöntarve. Tämä vastaisi laskennallista varaajaenergian arvoa nolla ja tarkoittaisi siis siirtymistä lämmönvaihtimella suoritettuun kytkentään. Mitoitus ei kuitenkaan ole käytännöllinen, vaikka energiamäärällisesti se riittäisikin. Lämmönvaihtimella suoritettu lämminvesikytkentä perustuu huipputehomitoitukseen, jolloin keskitehoa käyttämällä ei katettaisi mitoitusjakson huipputehontarvetta. Kulutushuippujen suhdetta keskitehoon on havainnollistettu kuviossa 9 (ks. kuvio 9). Varaajan tilavuus määritetään lataustehon, mitoitusjakson lämmöntarpeen ja tehollisen lämpötilaeron perusteella kaavoilla 10 ja 11 (Suomen kunnallistekninen yhdistys 1987, 213, muokattu):

$$Q_{lkv,lataus} = P * t_H \quad (10)$$

$$V = \frac{(Q_{lämmitys,lkv} - Q_{lkv,lataus}) * 3600}{c * \rho * (T_{lv} - T_{kv})} \quad (11)$$

missä  $Q_{lkv,lataus}$  = latausteholla mitoitusjakson aikana tuotettu lämpöenergia, kWh

$P$  = käyttöveden lämmitykseen käytettävissä oleva latausteho, kW

$t_H$  = mitoitusjakson kesto, h

$V$  = varaajan tilavuus, m<sup>3</sup>

$Q_{lämmitys,lkv}$  = lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve, kWh

3600 = yksikkömuunnin

$c$  = veden ominaislämpökapasiteetti, kJ/kgK (4,18 kJ/kgK)

$\rho$  = veden ominaistiheys, kg/m<sup>3</sup> (1000 kg/m<sup>3</sup>)

$T_{lv}$  = varaajan lämpötila mitoitusjakson alussa, °C

$T_{kv}$  = kylmän käyttöveden lämpötila, °C

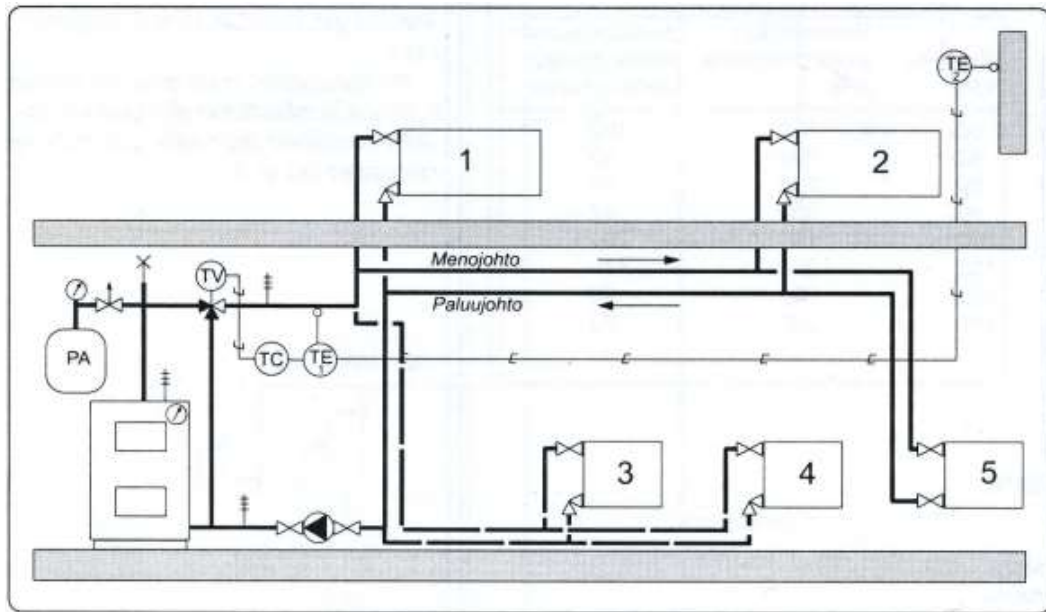
## 5 Vesikiertoinen keskuslämmitys

Keskuslämmityksellä tarkoitetaan rakennuksen useita, tai kaikkia tiloja lämmittävää lämmönlähdettä. Lämpö tuotetaan keskitetysti ja jaetaan käyttöpaikoille väliaineen avulla. Väliaineena käytetään vettä, höyryä, ilmaa, öljyä tai vesi- glykoliseosta, riippuen lämmönlähteen ja lämmitettävän kohteen ominaisuuksista. Lämmönlähteenä toimii esimerkiksi pellettikattila tai kaukolämmön lämmönvaihdin. Keskuslämmitykset ovat Suomessa syrjäyttäneet lähes kokonaan huonekohtaiset lämmittimet. (Harju 2006, 112; Seppänen 1995, 119.)

Vesikiertoisessa keskuslämmityksessä lämpöä siirtävänä aineena toimii vesi, joka kiertää rakennuksen lämmitysverkostossa. Lämmitysverkoston vesi lämmitetään lämmönlähteellä, josta se kierrätetään kiertovesipumpulla tai painovoimaisesti tilojen lämmönluovuttimille. Vesi jäähtyy lämmönluovuttimissa ja palaa paluujohtoa pitkin takaisin lämmöntuottajalle. Lämmitysverkoston lämmitysteho perustuu lämmönjohutumisen tehokkuuteen. Lämpöteho määräytyy verkoston veden tulo- ja menolämpötilojen erotuksen, sekä massavirran mukaan. (Harju 2006, 112; Seppänen 1995, 119-120.)

Painovoimaista vesikiertoa, joka perustuu veden tiheyseroihin, ei nykyaikana enää rakenneta. Nykyaikaiset järjestelmät toimivat kiertovesipumpulla, joka kierrättää vettä lämmitysverkostossa. Kiertovesipumpulla vältetään painovoimaisen vesikierron huonon kiertovoiman tuomista ongelmista. Asuinrakennuksissa verkoston lämmönluovuttimina toimivat yleisimmin tilakohtaiset patterit tai lattialämmitysputkisto. Lämmitysverkostolla voidaan lisäksi lämmittää ilmanvaihdon tuloilmaa. (Harju 2006, 112; Seppänen 1995, 119-120.)

Vesikiertoiset lämmitysverkostot ovat aina paineistettuja. Verkostot varustetaan paisunta-astialla ja varoventtiileillä jotka estävät normaalissa käytössä paineen nousun liian korkeaksi, ja häiriötilanteessa vapauttavat liiallisen paineen estäen muiden komponenttien hajoamisen. Kuviossa 11 on esitetty kattilalämmityksellä ja kiertovesipumpulla varustetun vesikiertoisen keskuslämmityksen toimintaperiaate. Kuviossa esitetyt numeroidut komponentit 1-5 ovat verkoston lämmönluovuttimia ja vasemmassa laidassa oleva PA on verkoston paisuntasäiliö.



Kuvio 11 Käyttövesijärjestelmän rakenne (Harju 2010, 96)

Mitoitusmallissa keskitytään alle 120 asteessa toimivien laitosten paisuntajärjestelmän mitoitukseen. Kauppa ja teollisuusministeriön antamassa päätöksessä alle 120 asteessa toimivat laitokset määritellään vaarattommiksi kuin muut, jonka takia lähes kaikki vesikiertoiset lämmitysjärjestelmät käyttävät veden enimmäislämpötilaa + 120 °C. (L 953/1999, 3 §; Seppänen 1995, 200.)

## 6 Paisuntajärjestelmä

Yksi veden ominaisuuksista on lämpötilasta riippuva tiheys. Tiheyden muutokset aiheuttavat veden tilavuuden kasvun sen lämmitessä ja supistumisen sen jäähtyessä. Vesikiertoisen lämmitysverkoston lämpötila muuttuu jaksoittain, joten järjestelmässä on oltava paisunta-astia johon vesi virtaa laajetessaan tai josta verkostoon pääsee vettä sen jäähtyessä. (Kapanen 1995, 61.)

Paisuntajärjestelmät jaetaan avoimiin sekä suljettuihin järjestelmiin. Mitoituksessa keskitytään alle 120 asteessa toimivien suljettujen järjestelmien paisunta-astian ja varolaitteiden mitoitukseen. Oikein mitoitettu paisuntajärjestelmä pidentää lämmitysverkoston käyttöikä ja parantaa sen käyttövarmuutta. Nykyaikainen paisuntajärjestelmä käsittää paisunta-astian lisäksi varoventtiilit, painemittarit ja paisuntajärjestelmään liittyvät putket. (LVI 11-10472, 1; Harju 2010, 94.)

## 6.1 Avoin järjestelmä

Avoimessa paisuntajärjestelmässä paisunta-astia on nimensä mukaisesti avoin eli suoraan yhteydessä ulkoilmaan. Paisunta-astia on lämmitysverkoston korkeimmalla sijaitsevien lämmittimien yläpuolella ja se on liitetty verkostoon paisuntajohdolla. Kun lämmitysverkoston veden lämpötila muuttuu, se virtaa paisuntajohdon kautta paisunta-astiaan, tai paisunta-astiasta takaisin lämmitysverkostoon. (Kapanen 1995, 61; Harju 2010, 94.)

Täysin avointa paisuntajärjestelmää ei saa asentaa uusiin tai uusittaviin laitoksiin korrosiovaaran vuoksi (LVI 11-10472, 1). Avoin paisunta-astia on jatkuvasti kosketuksessa hapen kanssa, mikä aiheuttaa syöpymistä veden ja ilman rajapinnasta. Lisäksi avoimen järjestelmän paisunta-astia sijaitsee yleensä rakennuksen ullakolla, jossa se voi jäättyä. (Harju 2010, 94.)

## 6.2 Suljettu järjestelmä

Nykyaikaisissa laitoksissa käytetään suljettua paisuntajärjestelmää. Suljetussa paisuntajärjestelmässä paisuntasäiliö ei ole yhteydessä ulkoilmaan, vaan lämmitysverkoston veden tilavuuden muutokset tapahtuvat paisuntasäiliössä olevaa kalvoa tai kumipussia vasten. (LVI 11-10472, 1.)

Suljetun järjestelmän suurin etu on, että paisuntasäiliötä ei tarvitse asentaa lämmitysverkoston yläpuolelle. Paisuntasäiliö asennetaan lämmönjakohuoneeseen, jolloin asennus on yksinkertaisempi ja se tuo säästöä niin asennus- kuin materiaalikustannuksissa. Lämmönjakohuoneeseen asennetulla paisunta-astialla ei myöskään ole korrosio- tai jäätymisvaaraa. Lisäksi suljetut paisuntajärjestelmät soveltuvat myös verkostoihin, joissa käytetään vesi-glykoliseosta. (Harju 2010, 94-95; LVI 11-10329, 1.)

Mitoituksessa keskitytään seuraaviin suljettujen järjestelmien paisunta-astioihin:

- kalvopaisunta-astia
- kumipussilla varustettu paisunta-astia
- kaasutäytteinen paisunta-astia

Yleisimmin käytetään kalvopaisunta-astiaa. Muut edellä mainitut mallit noudattavat samaa mitoitusperiaatetta. (LVI 11-10472, 1-6.)

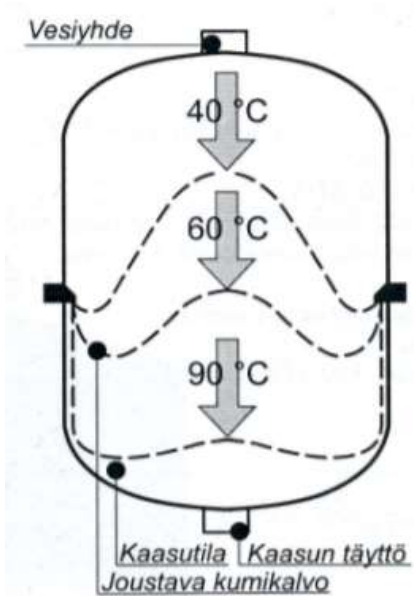
Muita suljetun järjestelmän paisunta-astioita ovat kompressoriohjattu ja pumppukäyttöinen paisunta-astia. Kyseisiä malleja käytetään lähinnä suurissa laitoksissa ja korkeissa rakennuksissa (> 50m), kun halutaan pienentää paisunta-astian kokoa esimerkiksi välttyäkseen sen rekisteröinniltä. Suomessa kyseiset paisunta-astiat ovat kuitenkin harvinaisia, eikä niitä oteta huomioon mitoituksessa. (LVI 11-10472, 1; LVI 11-10329, 1.)

Suljetut lämmitysverkostot ovat paineistettuja ja ne varustetaan aina myös varoventtiileillä. Varoventtiilien tehtävä on varmistaa, että suurinta sallittua käyttöpainetta ei ylitetä. Kattilalaitoksessa varoventtiilit sijoitetaan kattilan yläpuolelle, jolloin ulospuhallus on höyryä. Alle 120 kW laitoksessa on oltava vähintään yksi varoventtiili, ja yli 120 kW laitoksessa kaksi varoventtiiliä joiden puhallusteho vastaa vähintään laitoksen suurimmalla teholla kehittyvää höyryvirtaa. Lisäksi paisunta-astian yhteyteen asennetaan yleensä neste varoventtiili, jonka tehtävä on päästää vettä pois järjestelmästä, jos paisunta-astia on mitoitettu liian pieneksi tai verkosto on täytetty liian täyteen. (LVI 11-10472, 7; Harju 2010, 94.)

### 6.2.1 Kalvopaisunta-astia

Kalvopaisunta-astia on jaettu kahteen osaan joustavalla kumikalvolla. Kalvon toinen puoli on täytetty kaasulla, yleensä tyrellä, ja toinen puoli verkoston nesteellä. Kun verkoston vesi lämpenee, se laajenee ja puristaa kalvoa kaasutilaan päin. Kaasutilassa vallitsee esipaine, joka määritetään laitoksen staattisen paineen mukaan. (Harju 2010, 94; LVI 11-10472, 2.)

Kuviossa 12 on havainnollistettuna kalvopaisunta-astian toimintaperiaate. Kuviosta voidaan nähdä, kuinka paisunta-astian vesitilavuus kasvaa ja kaasutilavuus pienenee, kun veden lämpötilan nousee. Verkoston paine pysyy näin ollen vakiona, eikä nesteen tilavuuden kasvu aiheuta häiriötilanteita järjestelmässä.



Kuvio 12 Kalvopaisunta-astian toimintaperiaate (Harju 2010, 95)

Kumipussilla varustetun paisunta-astian toimintaperiaate on samanlainen, kuin kalvopaisunta-astian. Ainut ero on se, että verkoston vesi on kumipussin sisässä eikä kosketuksissa säilöin metallin kanssa. Kaasutäytteinen paisunta-astia noudattaa samaa toimintaperiaatetta, kuin kalvo- ja kumipussisäiliöt. Kaasutäytteisessä paisunta-astiassa ei kuitenkaan ole kalvoa, vaan kaasu ja verkoston vesi ovat suorassa yhteydessä toisiinsa. (LVI 11-10472, 2-6.)

### 6.3 Paisuntalaitteiston mitoitus

Kalvopaisunta-astian mitoitus perustuu laitoksen käyttöpaineisiin ja lämpötiloihin sekä verkoston vesitilavuuteen. Teksteissä paineet käsitellään suhteellisina painearvoina. Lopullisessa laskennassa käytettävät paineet ovat absoluuttisia painearvoja. Absoluuttiset paineet merkitään isolla kirjaimella "P" ja suhteelliset paineet pienellä kirjaimella "p", eli  $P = p + 100 \text{ kPa}$ . (LVI 11-10472, 2.)

Mitoitus on jaettu kahdelle eri tyyppin rakennuksille: rakennuksille joiden rakennepaine on 150 kPa (pientalot) ja rakennuksille joiden rakennepaine on 300 kPa tai yli. Rakennepaineella tarkoitetaan lämmitysverkoston heikoimman osan paineenkestävyyttä.



### 6.3.1 Esipaineen valinta

Esipaine määräytyy laitoksen staattisen paineen mukaan. Laitoksen staattinen paine määritetään paisunta-astian alimman kohdan ja lämmitysverkoston ylimmän lämmityslaitteen korkeuseron perusteella kaavalla 12:

$$p_{st} = \frac{\rho * g * h}{1000} \quad (12)$$

missä  $p_{st}$  = laitoksen staattinen paine, kPa

$\rho$  = verkostossa käytettävän nesteen ominaistilavuus, vesi 1000 kg/m<sup>3</sup>

$g$  = putoamiskiihtyvyys, 9,81 m/s<sup>2</sup>

$h$  = paisunta-astian alimman kohdan ja lämmitysverkoston ylimmän lämmityslaitteen korkeusero, m

Laitoksissa, joiden rakennepaine on 300 kPa tai yli (suuret kiinteistöt), esipaine valitaan 1-10 kPa suuremmaksi kuin laitoksen staattinen paine pyöristäen seuraavaan tasakymmeneen. Mitoitus edellyttää, että paisuntalaitteisto sijoitetaan kiertovesipumpun imupuolelle. Laitteiston tai sen osien sijoittaminen kiertovesipumpun painepuolelle muuttaa mitoitusta. (Mts, 2.)

Pienissä laitoksissa, joiden rakennepaine on 150 kPa, esipaine valitaan yhtä suureksi kuin laitoksen staattinen paine. Paisuntalaitteisto tulee sijoittaa kiertovesipumpun imupuolelle. (Mts, 9.)

### 6.3.2 Varoventtiilit

Varoventtiilien valinta suoritetaan avautumispaineen ja tarvittavan ulospuhallustehon mukaan. Avautumispaineen on oltava suurempi kuin laitoksen esipaine, mutta korkeintaan yhtä suuri kuin laitoksen korkein käyttöpaine. Avautumispaine määritetään yleensä hieman pienemmäksi, kuin laitoksen korkein käyttöpaine. (LVI 11-10472, 7.)

Varoventtiilin valintaa varten täytyy tietää myös tarvittava ulospuhallusteho. Ulospuhallusteho lasketaan kaavalla 13 (Mts, 7):

$$G = 3600 * K * \frac{\Phi}{h} \quad (13)$$

missä  $G$  = varoventtiilin ulospuhallusteho, kg/h (höyryä)  
 $\Phi$  = kattilateho, kW  
 $K$  = varmuuskerroin 1,5-2,0  
 $h$  = veden höyrystymislämpö (+ 120 °C) = 2202 kJ/kg

### 6.3.3 Enimmäis- ja vähimmäiskäyttöpaine

Kun varoventtiilin valittu avautumispaine on 300-500 kPa, verkoston enimmäiskäyttöpaine saadaan kaavasta 14. Jos avautumispaineeksi valitaan yli 500 kPa, määritetään enimmäiskäyttöpaine kaavalla 15. Rakennepaineen ollessa 150 kPa, käytetään kaavaa 16 (LVI 11-10472, 3-9):

$$p_{max} = p_{sv} - 50 \text{ kPa} \quad (14)$$

$$p_{max} = p_{sv} - (0,1 * p_{sv}) \quad (15)$$

$$p_{max} = p_{sv} - 10 \text{ kPa} \quad (16)$$

missä  $p_{max}$  = verkoston enimmäiskäyttöpaine, kPa

$p_{sv}$  = varoventtiilin avautumispaine, kPa

Kun rakennepaine on 300 kPa tai yli, määritetään vähimmäiskäyttöpaine verkoston esipaineen mukaan kaavalla 17. Rakennepaineen ollessa 150 kPa, käytetään kaavoja 18 ja 19. Kaavaa 18 käytetään silloin, kun paineen mittaukset ovat luotettavia ja ne sijaitsevat samalla korkeudella kuin paisunta-astia. Kun mittaukset ovat epäluotettavia, käytetään kaavaa 19 (Mts, 3-9):

$$p_{min} = p_e + 50 \text{ kPa} \quad (17)$$

$$p_{min} = p_e + 10 \text{ kPa} \quad (18)$$

$$p_{min} = p_e + 20 \dots 30 \text{ kPa} \quad (19)$$

missä  $p_{min}$  = verkoston vähimmäiskäyttöpaine, kPa

$p_e$  = verkoston esipaine, kPa

### 6.3.4 Laitoksen vesitilavuuden määrittäminen

Jos laitoksen tarkka vesitilavuus ei ole tiedossa, voidaan se määrittää laskemalla putkien sekä verkoston muiden komponenttien vesitilavuudet yhteen. Komponenttien tilavuudet saadaan selvitettyä esimerkiksi valmistajien ilmoittamista arvoista. (LVI 11-10472, 5.)

Vesitilavuus voidaan myös arvioida laitoksen lämmitystehon perusteella kaavalla 20. Kaava perustuu kokemusperäisiin tunnuslukuihin (Mts, 5):

$$V_o = k_2 * \Phi \quad (20)$$

missä  $V_o$  = laitoksen vesitilavuus,  $\text{dm}^3$

$k_2$  = laitoksen vesitilavuuskerroin

$\Phi$  = lämmitys- tai jäähdytysteho, kW

Laitoksen vesitilavuuskerroin  $k_2$  valitaan seuraavin perustein (Mts, 5.):

- Ilmanvaihtoverkosto 4-5  $\text{dm}^3/\text{kW}$
- Lämmitysverkosto (kattilalaitos) 13-14  $\text{dm}^3/\text{kW}$
- Lämmitysverkosto (kaukolämpö) 9-12  $\text{dm}^3/\text{kW}$
- Turvallinen arvio (lämmitys) 15  $\text{dm}^3/\text{kW}$
- Jäähdytysverkosto 20-26  $\text{dm}^3/\text{kW}$

### 6.3.5 Laitoksen mitoituslämpötilat

Laitoksen mitoituslämpötilat vaikuttavat nesteiden lämpölaajenemiskertoimen "a" valintaan. Mitoituslämpötilat valitaan vähintään enimmäismitoituslämpötilan mukaan. Esimerkiksi, jos verkosto toimii lämpötiloissa + 70/40 °C, valitaan mitoituslämpötilaksi + 70 °C. Veden lämpölaajenemiskertoimet eri lämpötilatasoilla ovat esitettyinä taulukossa 9. (LVI 11-10472, 3.)

Taulukko 9 Veden lämpölaajenemiskerroin eri lämpötiloissa (LVI 11-10472, 4)

Veden lämpölaajenemiskerroin $a$ (%)	
Laitoksen mitoitustilämpötila ( $^{\circ}\text{C}$ )	$a$ (%)
10	0,04
20	0,18
30	0,44
40	0,79
50	1,21
60	1,71
70	2,28
80	2,96
85	3,21
90	3,59
95	3,94
100	4,35
105	4,74
107	4,99
110	5,15
120	6,06
130	6,94

Kun rakennuksen rakennepaine on 150 kPa, käytetään laskennassa nesteen lämpölaajenemiskertoimen "a" sijaan kerrointa " $a_{150}$ ". Kerroin määritetään seuraavin perustein (LVI 11-10472, 9):

- $a_{150} = 3 \%$ , kun polttoaineensyöttö on automaattinen
- $a_{150} = 5 \%$ , kun kyseessä on täysin varaaja järjestelmä

Kertoimet perustuvat järjestelmien lämpötilatasoihin. Automaattisen polttoaineensyötön omaavissa kattiloissa lämpötila pidetään asetusarvossa, eikä kiehumista esiinny. Täysin varaavassa järjestelmässä veden lämpötila voi vaihdella kylmästä lähes kiehuvaan. (Mts, 9.)

### 6.3.6 Paisunta-astian tilavuus

Kalvopaisunta-astian tilavuus rakennuksille, joiden rakennepaine on 300 kPa tai yli, lasketaan edellä mainittujen tietojen perusteella kaavoilla 21-25. Laskennassa käytetään absoluuttisia painearvoja (LVI 11-10472, 2):

$$H_{brutto} = 1 - \frac{P_e}{P_{max}} = 1 - \frac{p_e+100}{p_{max}+100} \quad (21)$$

$$H_{vara} = 1 - \frac{P_e}{P_{min}} = 1 - \frac{p_e+100}{p_{min}+100} \quad (22)$$

$$H_{netto} = H_{brutto} - H_{vara} \quad (23)$$

$$K_{mit} = 1/H_{netto} \quad (24)$$

$$V = a * K_{mit} * V_0 \quad (25)$$

missä  $H_{brutto}$  = kalvopaisunta-astian bruttonestetilavuus, suhdeluku

$H_{vara}$  = kalvopaisunta-astian häiriö/vuotovara nestetilavuus, suhdeluku

$H_{netto}$  = kalvopaisunta-astian nettonestetilavuus, suhdeluku

$K_{mit}$  = paisunta-astian mitoituskerroin

$P_e$  = paisunta-astian absoluuttinen esipaine, kPa

$P_{max}$  = verkoston absoluuttinen enimmäiskäyttöpaine, kPa

$P_{min}$  = verkoston absoluuttinen vähimmäiskäyttöpaine, kPa

$a$  = verkoston nesteen lämpölaajenemiskerroin, %

$V_0$  = laitoksen vesitilavuus, dm<sup>3</sup>

$V$  = kalvopaisunta-astian vesitilavuus, dm<sup>3</sup>

Rakennuksille, joiden rakennepaine on 150 kPa, käytetään kaavaa 26 (Mts, 9):

$$V = a_{150} * K_{mit150} * V_0 \quad (26)$$

missä  $V$  = kalvopaisunta-astian tilavuus, dm<sup>3</sup>

$V_0$  = laitoksen vesitilavuus, dm<sup>3</sup>

$a_{150}$  = nesteen lämpölaajenemiskerroin, %

$K_{mit150}$  = paisunta-astian mitoituskerroin

Paisunta-astian mitoituskerroin  $K_{mit150}$  lasketaan käyttämällä kaavoja 21-24. (Mts, 9.)

### 6.3.7 Kiehunta- ja ulospuhallusputki

Kiehuntaputkella tarkoitetaan kattilan ja varoventtiilin välistä putkea. Alle 120 kW nestekattilalaitoksen kiehuntaputki voidaan mitoittaa seuraavasti (LVI 11-10472, 8):

- laitoksen teho 0...30 kW = 20 mm
- laitoksen teho 30...120 kW = 25 mm

Yli 120 kW kattilalaitoksissa mitoitus perustetaan kuvion 14 mukaisiin arvoihin. Kuviossa kiehuntaputken ekvivalenttipituudella "L" tarkoitetaan kiehuntaputken koko pituuden ja kertavastuslukuja vastaavan pituuden summaa. Kertavastuslukuja vastaava pituus lasketaan käyttämällä kaavaa 27 (Mts, 8):

$$L_v = \sum \xi * d / \lambda \quad (27)$$

Missä  $L_v$  = kertavastuslukuja vastaava pituus, m

$\sum \xi$  = kertavastuslukujen summa

d = putken sisähalkaisija, m

$\lambda$  = kitkavastuskerroin 0,02

Kaavassa tarvittavat kertavastusluvut ovat nähtävissä kuviossa 13.

Kiehuntaputken osa	Kertavastusluku $\xi$
Äkillinen poikkipinnan muutos nestekattilasta kiehuntaputkeen	1,5
Haaraantumiskohta (T-yhde)	
- suorassa suunnassa	1,0
- haaraantumissuunnassa	1,5
Käyrä 90°	0,5
Käyrä 180°	1,0
Kolmitieventtiili	3,5

Kuvio 13 Kertavastusluvut (LVI 11-10472, 8)

Kiehuunputken sisähalkaisija min	Kiehuunputken ekvivalenttipituus L							
	20 m	40 m	60 m	80 m	100 m	150 m	200 m	250 m
mm	Nestekattilan teho kW							
27	100	70	57	50	44	36	31	28
36	205	145	120	100	90	75	65	60
42	280	210	170	150	135	110	95	85
53	450	380	310	270	240	190	170	150
69	760	740	600	520	460	380	330	290
81	1 050	1 050	900	780	690	570	490	440
92	1 350	1 350	1 240	1 070	960	780	680	600
105	1 760	1 760	1 720	1 490	1 330	1 090	940	840
129	2 660	2 660	2 660	2 500	2 230	1 820	1 580	1 410
156	3 900	3 900	3 900	3 900	3 500	2 900	2 500	2 200
179	5 100	5 100	5 100	5 100	5 000	4 100	3 500	3 200
203	6 500	6 500	6 500	6 500	6 500	5 600	4 900	4 300
228	8 300	8 300	8 300	8 300	8 300	7 500	6 500	5 800
256	10 400	10 400	10 400	10 400	10 400	10 100	8 700	7 800
304	14 700	14 700	14 700	14 700	14 700	14 700	13 400	12 000
333	17 700	17 700	17 700	17 700	17 700	17 700	16 900	15 100
382	23 300	23 300	23 300	23 300	23 300	23 300	23 300	21 300
477	36 300	36 300	36 300	36 300	36 300	36 300	36 300	36 300

Kuvio 14 Kiehuunputken sisähalkaisijan valinta (LVI 11-10472, 8)

Kuvion 14 mukaiset arvot perustuvat puhalluspaineelle 1 bar. Jos puhalluspaine on yli 1 bar, käytetään mitoituksessa vertailutehoa, joka saadaan jakamalla kattilan enimmäisteho kuviossa 15 esitetyillä kertoimilla.

Puhalluspaine, bar	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0
Kerroin	1,00	1,60	2,10	2,60	3,10	3,60	4,10

Kuvio 15 Puhalluspaineiden kertoimet vertailutehon laskentaan (LVI 11-10472, 8)

Ulospuhallusputki on varoventtiilistä ulkoilmaan menevä putki. Ulospuhallusputken tehtävä on suunnata ulospuhallettava höyry niin, että se ei aiheuta henkilö- tai omaisuusvahinkoja. Ulospuhallusputki mitoitetetaan niin, että se ei rajoita varoventtiilin puhallustehoa. (Mts, 8.)

### 6.3.8 Mitoituksessa huomioitavia asioita

Paisunta-astian mitoituksessa on otettava huomioon painesäiliön rekisteröintiraja. Painesäiliön suurimman sallitun käyttöpaineen ja sisäpuolisen tilavuuden tulo saa olla enintään 3000 bar \* L (L 953/1999, 3 §). Rekisteröinnin välttämiseksi suurissa rakennuksissa voidaan tarvita kompressori/pumppukäyttöisiä paisunta-astioita.

Esi- ja vähimmäispainetta määritettäessä tulee ottaa huomioon pumpun vähimmäisimupaine. Pumpun vähimmäisimupaine tulee tarkistaa valmistajalta. Myös painemittareiden korkeustason vaikutus mittarin lukemaan tulee huomioida. Yli 100 asteessa toimivissa laitoksissa on myös oltava varma, että paine ei alita verkoston missään osassa veden höyrystymispainetta kyseisessä lämpötilassa. (LVI 11-10472, 4-9.)

## 7 Yhteenveto

Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää perustellut mitoitusmallit, jotka voidaan lisätä laskentajärjestelmään. Mitoitusmallit toteutettiin matemaattisin kaavoin kirjallisuuteen, standardeihin ja muihin mitoitusohjeisiin perustuen. Niistä pyrittiin tekemään mahdollisimman selkeät esitykset, joiden perusteella toimeksiantajan henkilöstö pystyy muokkaamaan laskennat php-koodiksi laskentajärjestelmään.

Tuloksina saatiin Suomen olosuhteisiin tarkoitettut valmiit mitoitusmallit suurten rakennusten/rakennusryhmien käyttövesivaraajille, sekä kalvopaisunta-astioille ja lämmitysverkon varolaitteille. Mitoitusmalleista tehtiin lisäksi Mathcad-laskentaesimerkit joissa tulevat esille laskennan vaiheet, kaavat sekä funktiot. Esimerkeissä tuotiin myös esille mitä lähtötietoja käyttäjän täytyy syöttää suorittaakseen laskennan ja mitä lähtötietoja laskennassa tulisi olla valmiina. Mathcad-laskennat nopeuttavat mitoitusmallien kirjoittamista koodimuotoon. Mathcadilla tehdyt laskentaesimerkit ovat esitetty liitteissä 8-11.

## 8 Pohdinta

### 8.1 Työn suoritus

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia käyttövesivaraajien ja paisunta-astioiden mitoituksen laskentaperiaatteita ja kehittää niiden perusteella mitoitusmallit jotka voidaan lisätä toimeksiantajan laskentajärjestelmään oman henkilökunnan, yhteistyökumppaneiden ja asiakkaiden käytettäväksi. Opinnäytetyön teoria pyrittiin rakentamaan niin, että se tukee mitoitusmalleissa käsiteltäviä asioita ja luo yleiskuvan käsiteltävien järjestelmien toiminnasta. Työssä käytetyt kaavat ja taulukot muokattiin työhön sopivaksi, jotta eri lähteistä saatuja tietoja voitiin yhdistää laskennassa.



Muokkaukset keskittyivät lähinnä merkintöihin ja ulkoasuun, arvojen pysyessä lähteiden mukaisina.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin valmiit ja selkeät mitoitusmallit, jotka voidaan muuntaa php-koodiksi ja lisätä toimeksiantajan laskentajärjestelmään. Kaikki mitoituksissa käsitellyt laskennat ovat perusteltuja sekä kohdennettuja Suomen olosuhteisiin ja rakennuskantaan.

Opinnäytetyön haastavimmaksi osuudeksi osoittautui käyttövesivaraajan mitoitus. Käyttövesivaraajien mitoitukselle ei ole virallista standardia, joten tietoa lähdettiin hakemaan kirjallisuuden, tutkimusraporttien ja muiden mitoitusmallien kautta. Opinnäytetyön edetessä varaajien mitoitusprosessi osoittautui huomattavasti oletettua laajemmaksi ja mitoitusperiaatteita tuli vastaan useita. Tietoa etsittiin useista eri kansainvälisistä lähteistä ja vertailtiin keskenään mahdollisimman laajan käsityksen saamiseksi. Vertailussa kävi ilmi, että käyttövesijärjestelmien ja vedenkäytön tottumusten erot ovat suuret eri kansallisuuksien välillä. Mitoitusmallin haluttiin vastaavan mahdollisimman hyvin Suomen olosuhteita ja käyttötottumuksia, ja sen takia päätettiin käyttää ainoastaan suomalaisia ja Suomessa vahvistettuja lähteitä. Ongelmaksi muodostui kuitenkin Suomalaisten lähteiden ikä. Löydetyt lähteet koskien varaajien mitoitusta olivat peräisin 1980- ja 1990-lukujen vaihteesta, eikä niissä esitettyjä kulutustietoja voitu pitää nykyaikaista käyttöä vastaavana. Tästä syystä vedenkulutuksen arvioinnissa käytettiin Suomessa vahvistettua eurooppalaista standardia SFS-EN 15316-3-2:2007. Standardin menettely on melko yksinkertainen verrattuna muihin tutkittuihin malleihin ja se sopii hyvin normaalin asuinrakennuksen vedenkulutuksen arviointiin.

Käyttövesijärjestelmän häviöt laskettiin pääasiassa käyttämällä Suomen rakentamismääräyskokoelmassa esitettyjä arvoja. Arvoja käytetään yleisesti energialaskennassa ja niitä voidaan pitää luotettavina Suomen olosuhteissa. Arvot ovat myös helposti ymmärrettäviä laskentajärjestelmän käyttäjälle.

Paisunta-astian ja lämmitysverkon varolaitteiden mitoitus vastaa täysin LVI-ohjekortissa 11-10472 esitettyä mitoitusmallia. Ohjekortissa esitetyt mitoitusperiaatteet eivät vaatineet lisäselvitystä opinnäytetyöhön.

## 8.2 Luotettavuus

Opinnäytetyössä esitetty tieto perustuu pääosin alan kirjallisuuteen, tutkimusraportteihin ja standardeihin. Tietoa pyrittiin vertailemaan aina usean eri lähteen kesken, millä varmistuttiin tiedon oikeellisuudesta ja vältettiin tulkintavirheitä. Tietojen paikansapitävyyttä analysoitiin myös toimeksiantajan henkilökunnan kanssa. Mitoitusmalleissa käytettiin suomalaista tai Suomessa vahvistettua tietoa, jotta eri maiden rakennuskannan tai ihmisten tottumuksien erot eivät vaikuttaisi laskentojen tuloksiin väärentävästi.

Suurin epävarmuustekijä opinnäytetyössä oli käyttöveden kulutuksen arviointi. Kulutuksen tarkka arvio tulisi perustaa aina kohteen yksilökohtaisiin tietoihin tai tilastoihin. Mitoitustyökalua varten tarvittiin kuitenkin asuinrakennuksille yleisesti pätevä arviointitapa, joten kulutusta päädyttiin arvioimaan eurooppalaisten standardisoitujen kulutusprofiilien perusteella. Kyseiset kulutusprofiilit eivät ota huomioon rakennuksessa asuvien ihmisten elintasoja tai rakennusteknisiä asioita, kuten huoneisto-kohtaisen vesimittauksen mahdollisuutta. Tutkimusten mukaan nämä vaikuttavat selvästi vedenkulutukseen. Myöskään kulutuksen vaihtelua viikompäivien välillä ei profiileissa otettu huomioon. Näiden asioiden takia kulutuksen arviointia kulutusprofiilien perusteella ei voida pitää aukottomana.

Käyttövesiverkon lämpöhäviöiden laskennassa käytettiin pääasiassa Suomen rakentamismääräyskokoelmassa esitettyjä arvoja, jotka ovat yleisesti käytössä rakennusten energialaskennassa. Rakentamismääräyskokoelmassa esitetyt arvot ovat usein kuitenkin vuoden keskimääräisiä arvoja, jolloin esimerkiksi lämpöhäviölaskennan tuloksena on keskiarvoinen lämpöhäviö eikä talviajan suurin mahdollinen lämpöhäviö. Opinnäytetyössä päädyttiin oletukseen, että rakennuksen sisätiloissa kulkevaa käyttövesiverkkoa käsiteltäessä sillä ei ole suurta vaikutusta.

Kalvopaisunta-astian ja varolaitteiden mitoitusmallia voidaan pitää luotettavana, sillä se perustuu LVI-ohjekortissa 11-10472 esitettyihin laskentasääntöihin.

### 8.3 Jatkotoimenpiteet

Opinnäytetyötä voidaan jatkaa seuraavaksi kääntämällä mitoitusmallit laskentajärjestelmässä käytettävään php-koodimuotoon. Mitoitusmalleja ei ehditty lisätä laskentajärjestelmään opinnäytetyön aikataulun puitteissa. Myös muut toimeksiantajan esittämät kehitystarpeet on tarkoitus tulevaisuudessa lisätä laskentajärjestelmään.

Lämpimän käyttöveden kulutuksen tutkiminen nykyaikaisessa kerrostalossa olisi hyvä ja tarpeellinen tutkimuskohde käyttövesivaraajien mitoitusoptimointiin.

Käyttöveden kulutus perustettiin opinnäytetyössä eurooppalaisiin standardeihin.

Eurooppalaiset kulutusprofiilit eivät kuitenkaan vastaa täysin Suomalaista vedenkulutusta olosuhteiden, sekä esimerkiksi saunan tuomien erojen takia.

Suomessa tehdyt tutkimukset lämpimän käyttöveden kulutuksesta keskittyvät 1980- ja 1990-luvun vaihteeseen. Vesikalusteiden kehittyminen energiatehokkaammiksi ja huoneistokohtaisten mittausten yleistyessä myös ihmisen vedenkäytön tottumukset ovat muuttuneet, joten vanhoja tutkimuksia ei voida pitää luotettavina nykyaikana.

## Lähteet

2010/31/EU. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi rakennusten energiatehokkuudesta. Viitattu 31.1.2017.

BS-EN 15450:2007. Heating systems in buildings. Design of heat pump heating systems. Lamit Oy:n standardikirjasto.

D1 Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2007. Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot. Määräykset ja ohjeet 2007. Saantitapa: <https://www.edilex.fi/rakentamismaaraykset>

D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2011. Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012. Saantitapa: [https://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/D3-2012\\_S.pdf](https://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/D3-2012_S.pdf)

D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2013. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ympäristöministeriö, rakennetun ympäristö osasto. Saantitapa: [https://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/D5\\_2012.pdf](https://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/D5_2012.pdf)

Day, A, R. Ratcliffe, M, S. Shepherd, K, J. 2003. Heating systems. Plant and control. Blackwell publishing. Viitattu 20.2.2017.

Energiatodistus 2017. Artikkelit Motiva Oy:n sivuilla. Viitattu 5.5.2017. Saantitapa: <http://www.motiva.fi/rakentaminen/energiatodistus>

FinZEB-hanke. 2015. Lähes nollaenergiarakennuksen käsitteet, tavoitteet ja suunta-  
viivat kansallisella tasolla. Loppuraportti. Viitattu 24.4.2017.

Harju, P. 2006. Vesi ja veden käyttö kiinteistöissä. Penan tieto opus. Viitattu 18.4.2017.

Harju, P. 2010. Lämmitystekniikan oppikirja. Penan tieto opus. Viitattu 18.4.2017.

L 50/2013. Laki rakennuksen energiatodistuksesta. Viitattu 4.5.2017. Saantitapa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130050>

L 953/1999. Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös painelaiteturvallisuudesta. Viitattu 27.4.2017. Saantitapa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1999/19990953>

- LVI 11-10472. 2011. Paisuntajärjestelmän valinta ja mitoitus. LVI-ohjekortti. Viitattu 20.4.2017. Lamit Oy:n standardikirjasto.
- LVI 11-10329. 2001. Paisuntajärjestelmän valinta ja mitoitus. LVI-ohjekortti. Viitattu 20.4.2017. Lamit Oy:n standardikirjasto.
- Kananen, J. 2015. Kehittämistutkimuksen kirjoittamisen käytännön opas. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Viitattu 12.5.2017.
- Kapanen, J. 1995. Kiinteistön lämmitys- ja vesiputkistojen kunnossapito. Helsinki: Kiinteistöalan kustannus Oy-Rep Ltd. Viitattu 10.2.2017.
- Kerttula, P. 2017. Energiasuunnittelija Lamit Oy. Haastattelu 15.2.2017.
- Lappalainen, M. 2010. Suunnittelu ja rakentaminen. Energia- ja ekologiakäsikirja. Helsinki: Rakennustieto Oy. Viitattu 2.2.2017.
- Laskukaavat: Lämmin käyttövesi. 2017. Artikkelit Motiva Oy:n sivuilla. Viitattu 13.2.2017. Saantitapa: [https://www.motiva.fi/julkinen\\_sektori/kiinteiston\\_energian\\_kaytto/kulutuksen\\_normitus/laskukaavat\\_lammin\\_kayttovesi](https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energian_kaytto/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kayttovesi)
- Lämmönvarauksen ytimessä. 2013. Julkaisu Akvarterm Oy internet sivuilla. Viitattu 4.4.2017. Saantitapa: [http://www.akvaterm.fi/files/lammonvarauksen\\_ytimessa\\_rakentaja.pdf](http://www.akvaterm.fi/files/lammonvarauksen_ytimessa_rakentaja.pdf)
- Määttä, J. 1993. Käyttöveden lämmityksen suunnittelu ja mitoitus. Valtion teknillinen tutkimuslaitos VTT. Viitattu 24.4.2017.
- Rakennuksen energia- ja ekotehokkuus. 2016. Artikkelit Ympäristö.fi sivustolla. Viitattu 1.2.2017. Saantitapa: [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Rakennuksen\\_energia\\_ja\\_ekotehokkuus](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Rakennuksen_energia_ja_ekotehokkuus)
- SFS-EN 15316-3-1:2007. Rakennusten lämmitysjärjestelmät. Järjestelmien energia-vaatimusten ja järjestelmätehokkuuden laskenta. Osa 3-1: Lämpimän veden energiatarpeen määrittäminen. Vahvistettu 5.12.2008. Viitattu 10.4.2017. Lamit Oy:n standardikirjasto.
- SFS-EN 15316-3-2:2007. Rakennusten lämmitysjärjestelmät. Järjestelmien energia-vaatimusten ja järjestelmätehokkuuden laskenta. Osa 3-2: Lämpimän käyttöveden

laitteistot, siirtolaitteet. Vahvistettu 5.12.2008. Viitattu 10.4.2017 Lamit Oy:n standardikirjasto.

Seppänen, O. 1995. Rakennusten lämmitys. Jyväskylä: Suomen LVI-yhdistysten liitto ry. Viitattu 25.2.2017.

Sitran selvityksiä. 2010. Rakennetun ympäristön energiankäyttö ja kasvihuonekaasupäästöt. Helsinki. Viitattu 2.2.2017.

Suomen kunnallistekninen yhdistys. 1987. Rakennusten vesijohdot ja viemärit. 1987. Helsinki. Julkaisu 7/1987. Viitattu 24.4.2017.

Suomen virallinen tilasto (SVT). Asumisen energiankulutus 2015. Helsinki: Tilastokeskus. Viitattu 1.2.2017. Saantitapa:

[http://www.stat.fi/til/asen/2015/asen\\_2015\\_2016-11-18\\_tau\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/asen/2015/asen_2015_2016-11-18_tau_001_fi.html)

Suomen virallinen tilasto (SVT). Rakennuskanta 2015. Helsinki: Tilastokeskus. Viitattu:

6.2.2017. Saantitapa: [http://www.stat.fi/til/rakke/2015/rakke\\_2015\\_2016-05-](http://www.stat.fi/til/rakke/2015/rakke_2015_2016-05-26_kat_002_fi.html)

[26\\_kat\\_002\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/rakke/2015/rakke_2015_2016-05-26_kat_002_fi.html)

## Liitteet

### Liite 1. SFS-EN 15316-3-1:2007 mukaiset käyttöveden kulutusprofiilit

Taulukko 10 Yhden henkilön talouden lämpimän käyttöveden kulutusprofiili vuorokauden ajalle (SFS-EN 15316-3-1:2007, 13)

No	Start, time of the day hh/mm	Energy kWh	Type of tapping	$\Delta\theta$ desired (to be achieved during tapping) °C	Minimum $\Delta\theta$ (for start of counting useful energy) °C
1	07.00	0,105	small		15
2	07.30	0,105	small		15
3	08.30	0,105	small		15
4	09.30	0,105	small		15
5	11.30	0,105	small		15
6	11.45	0,105	small		15
7	12.45	0,315	dishwashing	45	0
8	18.00	0,105	small		15
9	18.15	0,105	household cleaning		30
10	20.30	0,420	dishwashing	45	0
11	21.30	0,525	large		30
<b>Total</b>		<b>2,100</b>			
<b>Equivalent hot water volume at 60 °C</b>			<b>36 litres</b>		

Taulukko 11 Yhden suihkua käyttävän perheen lämpimän käyttöveden kulutusprofiili vuorokauden ajalle (SFS-EN 15316-3-1:2007, 14)

No	Start, time of the day hh/mm	Energy kWh	Type of tapping	$\Delta\theta$ desired (to be achieved during tapping) °C	Minimum $\Delta\theta$ (for start of counting useful energy) °C
1	07.00	0,105	small		15
2	07.15	1,400	shower		30
3	07.30	0,105	small		15
4	08.01	0,105	small		15
5	08.15	0,105	small		15
6	08.30	0,105	small		15
7	08.45	0,105	small		15
8	09.00	0,105	small		15
9	09.30	0,105	small		15
10	10.30	0,105	floor cleaning	30	0
11	11.30	0,105	small		15
12	11.45	0,105	small		15
13	12.45	0,315	dishwashing	45	0
14	14.30	0,105	small		15
15	15.30	0,105	small		15
16	16.30	0,105	small		15
17	18.00	0,105	small		15
18	18.15	0,105	household cleaning		30
19	18.30	0,105	household cleaning		30
20	19.00	0,105	small		15
21	20.30	0,735	dishwashing	45	0
22	21.15	0,105	small		15
23	21.30	1,400	shower		30
<b>Total</b>		<b>5,845</b>			
<b>Equivalent hot water volume at 60 °C</b>			<b>100,2 litres</b>		



Taulukko 12 Yhden ammetta käyttävän perheen lämpimän käyttöveden kulutusprofiili vuorokauden ajalle (SFS-EN 15316-3-1:2007, 15)

No	Start, time of the day hh/mm	Energy kWh	Type of tapping	$\Delta\theta$ desired (to be achieved during tapping) °C	Minimum $\Delta\theta$ (for start of counting useful energy) °C
1	07.00	0,105	small		15
2	07.05	1,400	shower		30
3	07.30	0,105	small		15
4	07.45	0,105	small		15
5	08.05	3,605	bath	30	0
6	08.25	0,105	small		15
7	08.30	0,105	small		15
8	08.45	0,105	small		15
9	09.00	0,105	small		15
10	09.30	0,105	small		15
11	10.30	0,105	floor cleaning	30	0
12	11.30	0,105	small		15
13	11.45	0,105	small		15
14	12.45	0,315	dishwashing	45	0
15	14.30	0,105	small		15
16	15.30	0,105	small		15
17	16.30	0,105	small		15
18	18.00	0,105	small		15
19	18.15	0,105	household cleaning		30
20	18.30	0,105	household cleaning		30
21	19.00	0,105	small		15
22	20.30	0,735	dishwashing	45	0
23	21.00	3,605	bath	30	0
24	21.30	0,105	small		15
<b>Total</b>		<b>11,655</b>			
<b>Equivalent hot water volume at 60 °C</b>			<b>199,8 litres</b>		

Liite 2. Esimerkki maahan asennettujen jakojohdojen lämpöhäviöiden laskennasta (kaksiputkielementti)

Lämmöntuottoyksikkö sijaitsee asuinrakennuksesta erillään olevassa rakennuksessa. Lämpimän käyttöveden kiertojohto kulkee maahan asennetun kaksiputkielementin kautta. Laskennan parametrit ovat:

- Lämpimän veden jakojohdo on toteutettu kaksiputkielementillä
- Virtausputkien dimensiot ovat DN20
- Virtausputkien säde  $r_s = 0,01345$  m
- Kaksiputkielementin ulkosäde  $r_o = 0,1$  m
- Virtausputkien keskipisteiden etäisyys putkessa  $2D = 0,1$  m
- Elementin lämmöneristeen lämmönjohtavuus on  $\lambda_i = 0,023$  W/mK (polyuretaani)
- Elementin asennussyvyys on  $H = 0,8$  m
- Maan lämmönjohtavuus on  $\lambda_g = 1,4$  W/mK (savi, hiekka ja sora, salaojitettu)
- Kiertojohdon menolämpötila on  $T_s = 58$  °C
- Kiertojohdon paluulämpötila on  $T_r = 53$  °C
- Rakennus sijaitsee Helsingissä
- Ulkoilman lämpötila on  $T_a = - 26$  °C

Laskennan vaiheet:

Lasketaan lähtötietojen perusteella laskennassa tarvittavat apuparametrit.

Apuparametri  $\sigma$

$$\sigma = \left( \frac{\lambda_i - \lambda_g}{\lambda_i + \lambda_g} \right) = \frac{0,023 \frac{W}{mK} - 1,4 \frac{W}{mK}}{0,023 \frac{W}{mK} + 1,4 \frac{W}{mK}} = -0,968$$

Apuparametri  $\chi$

$$\chi = \frac{2 * (1 - \sigma^2)}{1 - \sigma * \left( \frac{r_o}{2 * H} \right)^2} = \frac{2 * (1 - (-0,968)^2)}{1 - (-0,968) * \left( \frac{0,1 \text{ m}}{2 * 0,8 \text{ m}} \right)^2} = 0,125$$

Lämmönsiirtokerroin ulkoilmaan  $h_a$

$$\frac{1}{h_a} = \frac{2 * \lambda_i}{\lambda_g} * \ln \left( \frac{2 * H}{r_o} \right) + \ln \left( \frac{r_o^2}{2 * D * r_s} \right) + \sigma * \ln \left( \frac{r_o^4}{r_o^4 - D^4} \right) - \frac{\left( \frac{r_s}{2 * D} \right) - (\sigma * 2 * r_s * D^3)}{1 + \left( \frac{r_o}{2 * D} \right)^2 + \sigma * \left( \frac{2 * r_s * r_o * D}{r_o^4 - D^4} \right)^2} =$$

2,020

Lämmönsiirtokerroin putkien välillä  $h_b$

$$\frac{1}{h_b} = \ln\left(\frac{2 \cdot D}{r_s}\right) + \sigma \cdot \ln\left(\frac{r_o^2 + D^2}{r_o^2 - D^2}\right) - \frac{\left(\left(\frac{r_s}{2 \cdot D}\right) - \chi \cdot \frac{D \cdot r_s}{4 \cdot H^2} + \frac{2 \cdot \sigma \cdot r_s \cdot r_o^2 \cdot D}{r_o^4 - D^4}\right)^2}{1 - \left(\frac{r_s}{2 \cdot D}\right)^2 - \frac{\chi \cdot r_s}{2 \cdot H} + 2 \cdot \sigma \cdot r_s^2 \cdot r_o^2 \cdot \left(\frac{r_o^4 + D^4}{(r_o^4 - D^4)^2}\right)} - \chi \cdot \left(\frac{D}{2 \cdot H}\right)^2 =$$

1,512

Lämpöhäviö ulkoilmaan  $\Phi_a$

$$\Phi_a = \left(\left(\frac{T_s + T_r}{2}\right) - T_a\right) \cdot 2 \cdot \pi \cdot \lambda_i \cdot h_a = 5,830 \frac{W}{m}$$

Lämpövirta putkien välillä  $\Phi_b$

$$\Phi_b = \frac{T_s - T_r}{2} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \lambda_i \cdot h_b = 0,239 \frac{W}{m}$$

Menoputken lämpöhäviö  $\Phi_s$

$$\Phi_s = \Phi_a + \Phi_b = 5,830 \frac{W}{m} + 0,239 \frac{W}{m} = 6,069 \frac{W}{m}$$

Paluuputken lämpöhäviö  $\Phi_r$

$$\Phi_r = \Phi_a - \Phi_b = 5,830 \frac{W}{m} - 0,239 \frac{W}{m} = 5,591 \frac{W}{m}$$

Kokonaislämpöhäviö  $\Phi_t$

$$\Phi_t = \Phi_s + \Phi_r = 6,069 \frac{W}{m} + 5,591 \frac{W}{m} = 11,659 \frac{W}{m}$$

### Liite 3. Esimerkki maahan asennettujen jakojohdojen lämpöhäviöiden laskennasta (yksiputkielementti)

Lämmöntuottoyksikkö sijaitsee asuinrakennuksesta erillisessä olevassa rakennuksessa. Lämpimän veden kiertojohto kulkee maahan asennetun yksiputkielementin kautta. Laskennan parametrit ovat:

- Lämpimän veden jakojohdo on toteutettu yksiputkielementillä
- Virtausputkien dimensiot ovat DN20
- Virtausputkien säde  $r_s = 0,01345$  m
- Kaksiputkielementin ulkosäde  $r_o = 0,05$  m
- Virtausputkien etäisyys toisistaan  $2D = 0,1$  m
- Elementin lämmöneristeen lämmönjohtavuus on  $\lambda_i = 0,023$  W/mK (polyuretaani)
- Elementin asennussyvyys on  $H = 0,8$  m
- Maan lämmönjohtavuus on  $\lambda_g = 1,4$  W/mK (savi, hiekka ja sora, salaojitettu)
- Kiertojohdon menolämpötila on  $T_s = 58$  °C
- Kiertojohdon paluulämpötila on  $T_r = 53$  °C
- Rakennus sijaitsee Helsingissä
- Ulkoilman lämpötila on  $T_a = -26$  °C

Laskennan vaiheet:

Lasketaan lähtötietojen perusteella tarvittava apuparametri  $\beta$

$$\beta = \frac{\lambda_g}{\lambda_i} * \ln\left(\frac{r_o}{r_s}\right) = \frac{1,4 \text{ W/mK}}{0,023 \text{ W/mK}} * \ln\left(\frac{0,05 \text{ m}}{0,01345 \text{ m}}\right) = 79,924$$

Lämmönsiirtokerroin ulkoilmaan  $h_a$

$$\frac{1}{h_a} = \ln\left(\frac{2H}{r_o}\right) + \beta + \ln\left(\sqrt{1 + \left(\frac{H}{D}\right)^2}\right) - \frac{\left(\left(\frac{r_o}{2D}\right)^2 + \left(\frac{r_o}{2H}\right)^2 + \frac{r_o^2}{4*(D^2+H^2)}\right)}{\frac{1+\beta}{1-\beta} + \left(\frac{r_o}{2D}\right)^2} = 85,544$$

Lämmönsiirtokerroin putkien välillä  $h_b$

$$\frac{1}{h_b} = \ln\left(\frac{2H}{r_o}\right) + \beta - \ln\left(\sqrt{1 + \left(\frac{H}{D}\right)^2}\right) - \frac{\left(\left(\frac{r_o}{2D}\right)^2 + \left(\frac{r_o}{2H}\right)^2 + \frac{r_o^2}{4*(D^2+H^2)}\right)}{\frac{1+\beta}{1-\beta} - \left(\frac{r_o}{2D}\right)^2} = 81,362$$

Lämpöhäviö ulkoilmaan  $\Phi_a$

$$\Phi_a = \left(\left(\frac{T_s+T_r}{2}\right) - T_a\right) * 2 * \pi * \lambda_g * h_a = 8,381 \frac{W}{m}$$

Lämpöhäviö meno- ja paluuputkien välillä  $\Phi_b$

$$\Phi_b = \frac{T_s - T_r}{2} * 2 * \pi * \lambda_g * h_b = 0,270 \frac{W}{m}$$

Menoputken lämpöhäviö  $\Phi_s$

$$\Phi_s = \Phi_a + \Phi_b = 8,381 \frac{W}{m} + 0,270 \frac{W}{m} = 8,651 \frac{W}{m}$$

Paluuputken lämpöhäviö  $\Phi_r$

$$\Phi_r = \Phi_a - \Phi_b = 8,381 \frac{W}{m} - 0,270 \frac{W}{m} = 8,111 \frac{W}{m}$$

Kokonaislämpöhäviö  $\Phi_t$

$$\Phi_t = \Phi_s + \Phi_r = 8,651 \frac{W}{m} + 8,111 \frac{W}{m} = 16,762 \frac{W}{m}$$

#### Liite 4. Esimerkki käyttövesivaraajan mitoituksesta

Asuinkerrostalossa on 60 asuntoa, joista 20 on varustettu ammeella ja 40 suihkulla. Rakennuksessa on lämpimän käyttöveden kierto, joka on eristystasoltaan 0,5D ja johon on liitettyä 60 räppipatteria. Rakennuksen suurin pituus on 70 m ja suurin leveys 12,5 m. Rakennuksessa on 6 kerrosta, joiden korkeus on 2,8 m. Rakennuksen lämmitysmuotona toimii maalämpöpumppu, jolla pystytään tuottamaan 60 asteista käyttövettä varaajaan. Maalämpöpumpulta on saatavissa 30 kW latausteho käyttöveteen mitoitusjakson ajalle.

Laskennan vaiheet:

Lasketaan käyttöveden lämmöntarve mitoitusjaksolle kulutusprofiilien perusteella.

$$Q_{lkv,netto} = (20 * 4,445 kWh) + (40 * 2,24 kWh) + (0 * 0,945 kWh)$$

$$Q_{lkv,netto} = 178,5 kWh = 178,5 kW$$

Lasketaan taulukkoa varten ammeiden lukumäärä.

$$n = 20 * 1n + 40 * 0,5n + 0 * 0,5n = 40$$

Valitaan taulukosta ammeiden lukumäärää vastaavat samanaikaisuuskerroin ja mitoitusjakson pituus ja lasketaan mitoitusjakson keskiteho samanaikaisuuskertoimen perusteella (ks. taulukko 4).

$$S = 0,35$$

$$t_H = 2,9 h$$

$$\Phi_{lkv} = S * Q_{lkv,netto} = 0,35 * 178,5 kW = 62,5 kW$$

Siirron hyötysuhde taulukosta 5 kohdasta asuinkerrostalo/kierto (ks. taulukko 5). Lasketaan jakajohtojen häviöt.

$$Q_{lkv,siirto} = \frac{Q_{lkv,netto}}{\eta_{lkv,siirto}} - Q_{lkv,netto} = \frac{178,5 kWh}{0,97} - 178,5 kWh = 5,5 kWh$$

Lasketaan kiertojohdon pituus ja määritetään kierron häviöt.

$$L_v = 2 * L_b + 0,0125 * L_b * B_b = 2 * 70 m + 0,0125 * 70 * 12,5 m = 150 m$$

$$L_s = 0,075 * L_b * B_b * n_f * h_f = 0,075 * 70 m * 12,5 m * 6 * 2,8 m = 1102,5 m$$

$$Q_{lkv,kierto} = (\Phi_{lkv,kiertohäviö,omin} * L_{lkv} + \Phi_{lämmitys,omin} * n_{lämmityslaitte}) * \frac{t_H}{1000}$$

$$Q_{lkv,kierto} = \left(10 \frac{W}{m} * (150 m + 1102,5 m) + 200 W * 60\right) * \frac{2,9 h}{1000} = 71,1 kWh$$

Lasketaan varastoinnin häviöt arvioimalla varaajan koko. Arvioidaan varaajan tilavuudeksi 3 m<sup>3</sup>. Lämpöhäviöteho kuvion 10 perusteella (ks. kuvio 10)

$$Q_{lkv,varastointi} = \Phi_{lkv,varastointi} * t_H = 230 W * \frac{2,9 h}{1000} = 0,67 kWh$$

Lasketaan kokonaislämmöntarve mitoitusjakson ajalle.

$$Q_{lämmitys,lkv} = Q_{lkv,netto} + Q_{lkv,siirto} + Q_{lkv,varastointi} + Q_{lkv,kierto} + Q_{lkv,kanaalit}$$

$$Q_{lämmitys,lkv} = 178,5 kWh + 5,5 kWh + 0,67 kWh + 71,1 kWh = 255,8 kWh$$

Lasketaan lataustehosta saatava lämpöenergia mitoitusjakson ajalle.

$$Q_{lkv,lataus} = P * t_H = 30 kW * 2,9 h = 87 kWh$$

Määritetään varaajan tilavuus.

$$V = \frac{(Q_{lämmitys,lkv} - Q_{lkv,lataus}) * 3600}{c * \rho * (T_{lv} - T_{kv})}$$

$$V = \frac{(255,8 kWh - 87 kWh) * 3600}{4,18 \frac{kJ}{kgK} * 1000 \frac{kg}{m^3} * (60 °C - 5 °C)} = 2,64 m^3 \approx 2,7 m^3$$

Jos varaajan tilavuus arvioitiin varastoinnin häviölaskennassa kauas todellisesta arvosta, laskee järjestelmä loopilla laskutoimituksen uudestaan, kunnes varaajahäviöt vastaavat laskennan tulosta.

## Liite 5. Esimerkki kalvopaisunta-astian mitoituksesta kerrostaloon

### Lähtötiedot:

- laitoksen rakennepaine 600 kPa (suurin sallittu käyttöpaine)
- varoventtiilin avautumispaine 300 kPa
- paisunta-astian alimman kohdan ja verkoston ylimmän lämmityslaitteen korkeusero 8 m
- laitoksen lämmitysteho 150 kW
- rakennuksen lämmitysjärjestelmänä toimii nestekattilalaitos
- rakennuksessa on vesikiertoinen patteriverkosto ja toimii lämpötiloissa + 70/40 °C

### Laskennan vaiheet:

Lasketaan laitoksen staattinen paine korkeuseron perusteella

$$p_{st} = \frac{\rho * g * h}{1000} = \frac{1000 \frac{kg}{m^3} * 9,81 \frac{m}{s^2} * 8 m}{1000} = 78,5 kPa \approx 80 kPa$$

Esipaine määritetään 1-10 kPa suuremmaksi kuin staattinen paine, pyöristäen seuraavaan tasakymmeneen.

$$p_e = 90 kPa$$

Lasketaan verkoston enimmäiskäyttöpaine varoventtiilin avautumispaineen perusteella

$$p_{max} = p_{sv} - 50 kPa = 300 kPa - 50 kPa = 250 kPa$$

Vähimmäiskäyttöpaine määritetään esipaineen perusteella

$$p_{min} = p_e + 50 kPa = 80 kPa + 50 kPa = 130 kPa$$

Varoventtiilin ulospuhallusteho lasketaan kattilatehon perusteella

$$G = 3600 * K * \frac{\Phi}{h} = 3600 * 2 * \frac{150}{2202} = 490,5 kg/h$$

Arvot varoventtiilin valintaan siis avautumispaine 300 kPa, ulospuhallusteho 490,5 kg/h

Veden lämpölaajenemiskerroin taulukosta 9, kohdasta + 70 °C (ks. taulukko 9)

$$a = 2,28 \%$$



Laitoksen vesitilavuus lasketaan käyttämällä lämmitysverkoston turvallista arviota 15 dm<sup>3</sup>/kW

$$V_o = k_2 * \Phi = 15 \frac{dm^3}{kW} * 150 kW = 2250 dm^3$$

Lasketaan paisunta-astian tilavuus edeltävien tietojen perusteella

$$H_{brutto} = 1 - \frac{P_e}{P_{max}} = 1 - \frac{90+100}{250+100} = 0,4571$$

$$H_{vara} = 1 - \frac{P_e}{P_{min}} = 1 - \frac{90+100}{130+100} = 0,1739$$

$$H_{netto} = H_{brutto} - H_{vara} = 0,4571 - 0,1739 = 0,2832$$

$$K_{mit} = \frac{1}{H_{netto}} = \frac{1}{0,2832} = 3,531$$

$$V = a * K_{mit} * V_o = 0,0226 * 3,531 * 2250 dm^3 = 179,6 dm^3$$

Paisunta-astian tilavuus oltava siis vähintään 180 dm<sup>3</sup>

## Liite 6. Esimerkki kalvopaisunta-astian mitoituksesta pientaloon

### Lähtötiedot:

- laitoksen rakennepaine 150 kPa (suurin sallittu käyttöpaine)
- varoventtiilin avautumispaine 150 kPa
- paisunta-astian alimman kohdan ja verkoston ylimmän lämmityslaitteen korkeusero 5 m
- lämmitys 20 kW öljykattilalla
- rakennuksessa on vesikiertoinen patteriverkosto ja toimii lämpötiloissa + 70/40 °C
- laitoksen paineen mittaukset ovat luotettavia

### Laskennan vaiheet:

#### Laitoksen staattinen paine

$$p_{st} = \frac{\rho * g * h}{1000} = \frac{1000 \frac{kg}{m^3} * 9,81 \frac{m}{s^2} * 4 m}{1000} = 49,05 kPa \approx 50 kPa$$

Esipaine valitaan yhtä suureksi kuin staattinen paine

$$p_e = 50 kPa$$

Varoventtiilin ulospuhallusteho kattilatehon perusteella

$$G = 3600 * K * \frac{\Phi}{h} = 3600 * 2 * \frac{20}{2202} = 65,4 kg/h$$

Arvot varoventtiilin valintaan 150 kPa, 65,4 kg/h

Enimmäiskäyttöpaine

$$p_{max} = p_{sv} - 10 kPa = 150 kPa - 10 kPa = 140 kPa$$

Vähimmäiskäyttöpaine

$$p_{min} = p_e + 10 kPa = 50 kPa + 10 kPa = 60 kPa$$

Laitoksen vesitilavuus kattilalaitoksen vesitilavuuskertoimella

$$V_o = k_2 * \Phi = 14 \frac{dm^3}{kW} * 20 kW = 280 dm^3$$

Nesteen lämpölaajenemiskerroin valitaan automaattisen polttoaineensyötön mukaan

$$\alpha_{150} = 3 \%$$

Lasketaan paisunta-astian mitoituskertoin

$$H_{brutto} = 1 - \frac{P_e}{P_{max}} = 1 - \frac{50+100}{140+100} = 0,375$$

$$H_{vara} = 1 - \frac{P_e}{P_{min}} = 1 - \frac{50+100}{60+100} = 0,0625$$

$$H_{netto} = H_{brutto} - H_{vara} = 0,375 - 0,0625 = 0,3125$$

$$K_{mit150} = \frac{1}{H_{netto}} = \frac{1}{0,3125} = 3,2$$

Määritetään paisunta-astian tilavuus

$$V = a_{150} * K_{mit150} * V_0 = 0,03 * 3,2 * 280 = 26,88 \approx 27 \text{ dm}^3$$

## Liite 7. Esimerkki kiehun- ja ulospuhallusputken mitoituksesta

Lähtötiedot:

- Kattilateho 200 kW
- Puhalluspaine 1 bar
- Kiehunputken suora pituus 15 m
- Kiehunputken kertavastusluvut:
  - o yksi haaraantumiskohta suorassa suunnassa
  - o kaksi 90 asteen käyrää
  - o kaksi kolmitieventtiiliä

Lasketaan kiehunputken kertavastuslukuja vastaava pituus käyttämällä kuviossa 11 esitettyjä arvoja (ks. Kuvio 11, s. 40). Kaavassa tarvittava putken sisähalkaisija arvioidaan olevan 0,03 m.

$$L_v = \sum \xi * \frac{d}{\lambda} = (1 + 0,5 + 0,5 + 3,5 + 3,5) * \frac{0,03 \text{ m}}{0,02} = 13,5 \text{ m}$$

Lasketaan kiehunputken ekvivalenttipituus

$$L = L_s + L_v = 15 \text{ m} + 13,5 \text{ m} = 28,5 \text{ m}$$

Mitoitetaan kiehunputken pienin sisähalkaisija kuvion 12 mukaan (ks. kuvio 12).

Kiehunputken pienimmäksi sisähalkaisijaksi saadaan ekvivalenttipituuden ja lämmitystehon mukaan määritetty, kuviossa 14 esitetty 42 mm.

Kiehunputken sisähalkaisija min	Kiehunputken ekvivalenttipituus L		
	20 m	40 m	60 m
mm	Nestekattilan teho kW		
27	100	70	57
36	205	145	120
42	280	210	170
53	450	380	310
69	760	740	600
81	1 050	1 050	900

Kuvio 16 Kiehunputken sisähalkaisijan valinta

Ulospuhallusputki mitoitetaan niin että se ei rajoita varoventtiilin ulospuhallustehoa

## Liite 8. Mathcad-laskentaesimerkki käyttövesivaraajan mitoituksesta





## Liite 9. Mathcad-laskentaesimerkki paisunta-astian mitoituksesta









Liite 10. Mathcad-laskenta kiehunputken mitoituksesta







Liite 11. Mathcad-laskenta lämpökanaalien lämpöhäviöiden laskennasta