

# Lämmitysjärjestelmät ja lämmin käyttövesi - laskentaopas

Järjestelmien lämpöhäviöiden laskenta ja  
hyötysuhteiden määrittäminen

15.9.2011

## Esipuhe

Käsillä oleva opas käsittelee vuonna 2012 uusiutuvien Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 lämmitys- ja käyttövesijärjestelmän lämpöhäviöiden ja hyötysuhteiden laskentaa. Oppaassa käsitellään yksityiskohtaisesti lämmitysjärjestelmän lämmönluovutuksen, lämmönluovutuksen säädön, lämmönjaon ja lämmöntuoton lämpöhäviöiden ja hyötysuhteiden laskenta. Lisäksi opas sisältää lämpimän käyttöveden jakojärjestelmän ja lämmöntuoton lämpöhäviöiden laskennan.

Oppaan suositukset, sovellusesimerkit ja lisätiedot eivät sellaisenaan ole rakennusmääräyskokoelman määräysten tai ohjeiden taseisia kannanottoja, jotka sitoisivat suunnittelua ja rakentamista.

Oppaan ovat laatineet Sitran ja ympäristöministeriön toimeksiannosta seuraavat henkilöt:

- lämmönluovutus ja lämmönluovutuksen säätö, Principal Scientist Jari Shemeikka
- lämmönjako, Senior Scientist, Ari Laitinen
- lämmöntuotto, Senior Scientist, Krzysztof Klobut
- lämpimän käyttöveden järjestelmä, Senior Expert Mikko Saari ja Expert Petri Kukkonen

Aineiston laatimiseen on osallistunut lisäksi Research Scientist Teemu Vesanen.

Työtä on Sitran puolesta valvonut johtava asiantuntija Jarek Kurnitski ja ympäristöministeriön puolesta yli-insinöörit Pekka Kalliomäki ja Maarit Haakana.

# Sisältö

<b>Esipuhe</b> .....	<b>2</b>
<b>1 Johdanto</b> .....	<b>7</b>
<b>2 Määritelmiä ja käsitteitä</b> .....	<b>8</b>
<b>3 Lämmitysjärjestelmän energiankulutuksen laskennan yleinen periaate</b> .....	<b>10</b>
3.1 Johdanto .....	10
3.2 Lämmitysjärjestelmien laskennan yleinen periaate .....	11
3.2.1 Osajärjestelmän energiavirrat ja hyötysuhde .....	11
3.2.2 Järjestelmän energiaketjun käsittely .....	13
<b>4 Lämmitysjärjestelmän energiankulutuksen laskenta D5:n mukaan</b> .....	<b>14</b>
4.1 Tilojen lämmitys .....	15
4.1.1 Lämmitysjärjestelmän sähkökäyttö.....	18
4.2 Ilmanvaihdon lämmitys.....	18
4.3 Käyttöveden lämmitys .....	19
4.3.1 Siirron hyötysuhde .....	19
4.3.2 Varastointi .....	20
4.3.3 Kierto .....	21
4.3.4 Pumppu .....	22
4.4 Lämmöntuotto.....	23
4.4.1 Lämmöntuoton apulaitteiden sähkökäyttö .....	23
<b>5 Tilojen lämmityksen energiaketju</b> .....	<b>25</b>
5.1 Lämmön luovutus tilassa .....	26
5.1.1 Luovutuksen häviö.....	27
5.1.1.1 Tilassa olevat lämmittimet.....	27
5.1.1.2 Rakenteisiin integroidut lämmittimet.....	27
5.1.2 Säätyjärjestelmän laskenta .....	27
5.1.3 Lämmönluovutuksen hyötysuhde .....	28
5.2 Lämmönjaon lämpöhäviöt ja pumppauksen laskenta .....	28
5.2.1 Lämmön jakelun hyötysuhde .....	29
5.3 Lämmönluovutuksen ja jakelun yhdistetty hyötysuhde.....	30
5.4 Lämmön varastointi .....	30
<b>6 Lämpimän käyttöveden lämmityksen energiaketju</b> .....	<b>30</b>
6.1 Lämmön luovutus veden kulutuspisteessä.....	31
6.1.1 Luovutuksen häviö.....	31
6.2 LKV jako.....	31
6.2.1 Lämpöhäviöt ja häviöistä hyödyksi saatava lämpö.....	31
6.2.2 Apulaitteiden sähkönkulutus.....	32
6.3 LKV varastointi.....	32
<b>7 Koneellisen ilmanvaihdon lämmityksen energiaketju</b> .....	<b>33</b>
7.1 Lämmön luovutus ilmanvaihtokoneessa .....	33
7.1.1 Luovutuksen häviö.....	33
7.1.2 Säätyjärjestelmän laskenta .....	33
7.2 Lämmönjako .....	34
7.3 Lämmön varastointi .....	34
<b>8 Lämmön tuotto</b> .....	<b>34</b>

8.1	Integroidut järjestelmät .....	35
8.1.1	Kattilat.....	35
8.1.1.1	Kaukolämpö.....	35
8.1.1.2	Tilojen sähkölämmitys.....	36
8.1.1.3	Lämpimän käyttöveden sähkölämmitys.....	36
<b>LIITE 1 Lämmönluovutus ja lämmönluovutuksen säätö .....</b>		<b>37</b>
<b>1</b>	<b>Yleiskuvaus.....</b>	<b>37</b>
<b>2</b>	<b>Periaate.....</b>	<b>37</b>
<b>3</b>	<b>Rakenteisiin integroitujen lämmittimien laskenta, lämmönluovutus .....</b>	<b>40</b>
3.1	Yleistä .....	40
3.2	Useampikerroksiset rakennukset.....	41
3.3	Rakenteisiin integroitujen lämmönluovuttimien lämpöhäviöt ulkoilmaan ja lämmittämättömään tilaan.....	41
<b>4</b>	<b>Tilojen lämmityksen säätö .....</b>	<b>45</b>
4.1	Tilan lämmityksen säädön laskenta .....	45
<b>Standardeja .....</b>		<b>46</b>
<b>LIITE 2 Lämmönjako .....</b>		<b>47</b>
<b>1</b>	<b>Yleistä .....</b>	<b>47</b>
<b>2</b>	<b>Lämmönjakoverkoston lämpöhäviöiden laskentaperiaate .....</b>	<b>48</b>
<b>3</b>	<b>Verkoston meno- ja paluulämpötilan laskenta.....</b>	<b>49</b>
3.1	Ulkolämpötilaohjaus .....	49
3.2	Jatkuva säätö termostaattiventtiileillä .....	50
3.3	On-off- säätö .....	51
<b>4</b>	<b>Kerroksellisen putken ja sylinterin lämmönläpäisykerroin .....</b>	<b>52</b>
<b>5</b>	<b>Suorakaiteen muotoisen virtausputken lämmönläpäisykerroin.....</b>	<b>52</b>
<b>6</b>	<b>Neliömäisen eristyksen lämpövastus .....</b>	<b>53</b>
<b>7</b>	<b>Pintojen lämmönsiirtokertoimet .....</b>	<b>54</b>
<b>8</b>	<b>Rakenteisiin integroidut putket .....</b>	<b>56</b>
8.1	Rakenteisiin integroitujen lämmönjako- ja lämmitysputkien lämpöhäviöiden laskenta ...	56
<b>9</b>	<b>Maahan asennettu putki.....</b>	<b>63</b>
9.1	Yksiputkisten lämpöjohtojen lämpöhäviö .....	64
9.2	Kaksiputkielementin lämpöhäviö .....	66
<b>10</b>	<b>Eristyspaksuudet ja eristeiden lämmönjohtavuudet .....</b>	<b>68</b>
<b>11</b>	<b>Putkikannakkeiden ja putkivarusteiden lisälämpöhäviö.....</b>	<b>68</b>
<b>12</b>	<b>Lämmönjakoverkostojen pumppauksen laskenta .....</b>	<b>69</b>
<b>Kirjallisuutta .....</b>		<b>71</b>
<b>Standardeja .....</b>		<b>71</b>
<b>LIITE 3 Lämmitysjärjestelmien energiavarastojen lämpöhäviöiden laskenta .....</b>		<b>72</b>
<b>1</b>	<b>Yleistä .....</b>	<b>72</b>
<b>2</b>	<b>Periaatteen kuvaus .....</b>	<b>72</b>

<b>3</b>	<b>Varaajan vaipan lämmönläpäisykerroin .....</b>	<b>73</b>
<b>4</b>	<b>Pallomaisen pinnan lämmönläpäisykerroin .....</b>	<b>73</b>
<b>5</b>	<b>Varaajan tukirakenteen lisälämpöhäviö.....</b>	<b>74</b>
<b>6</b>	<b>Eristeiden lämmönjohtavuus.....</b>	<b>74</b>
	<b>Kirjallisuutta .....</b>	<b>74</b>
	Standardeja .....	74
	<b>LIITE 4 Lämmöntuotto .....</b>	<b>75</b>
<b>1</b>	<b>Lämmityskattilat .....</b>	<b>75</b>
1.1	Häviöt korkealla kattilan kuormitusasteella.....	76
1.2	Häviöt matalalla kattilan kuormitusasteella.....	77
1.3	Kattilan häviöenergia ja energiatase tarkastelujaksolla .....	78
<b>2</b>	<b>Kaukolämpö .....</b>	<b>79</b>
	Standardeja .....	81
	<b>LIITE 5 Lämminkäyttövesijärjestelmä .....</b>	<b>82</b>
<b>1</b>	<b>Yleistä .....</b>	<b>82</b>
<b>2</b>	<b>Kulutusasteissa tapahtuvan odotusajasta johtuvan luovutuksen lämpöhäviö .....</b>	<b>82</b>
<b>3</b>	<b>Lämpimän käyttöveden lämmitystarpeen laskenta .....</b>	<b>83</b>
3.1	Ominaiskulutus .....	83
3.2	Lämpimän käyttöveden kulutusprofiilit.....	85
3.3	RakMk D3-menetelmä.....	89
<b>4</b>	<b>Lämpimän käyttöveden siirtolaitteiden häviöt .....</b>	<b>89</b>
4.1	Lämpimän käyttöveden kiertojohtojen lämpöhäviöiden laskenta .....	89
4.1.1	Vakiolämpöhäviö .....	89
4.1.2	Lämmönläpäisykerroin .....	90
4.2	Apulaitteet, varusteet ja saattolämmitys .....	91
4.2.1	Lämpimän käyttöveden saattolämmityksen lämpöhäviöiden laskenta.....	91
4.2.2	Lämpimän käyttöveden putkistovarusteiden lämpöhäviöiden laskenta.....	91
4.2.3	Lämpimän käyttöveden käyttöasteen lämpöhäviöiden laskenta.....	92
4.2.4	Lämpimän käyttöveden apulaitteiden energiankulutuksen laskeminen.....	92
4.3	Lämpimän käyttöveden jakojohdon lämpöhäviöiden laskenta.....	94
4.3.1	Asuinpinta-alaan perustuva menetelmä .....	94
4.3.2	Käyttökertojen lukumäärään perustuva .....	95
4.3.3	Vakiolämpötila.....	96
<b>5</b>	<b>Lämpimän käyttöveden tehontarve mitoitusvirtaamalla .....</b>	<b>97</b>
	<b>Kirjallisuutta .....</b>	<b>98</b>
	<b>LIITE 6 Pientaloesimerkki lämmitys- ja lämpimän käyttöveden järjestelmän hyötysuhteiden laskennasta .....</b>	<b>99</b>
<b>1</b>	<b>Laskennan kulku.....</b>	<b>99</b>
<b>2</b>	<b>Esimerkkientalon kuvaus .....</b>	<b>99</b>
<b>3</b>	<b>Geometria.....</b>	<b>101</b>
<b>4</b>	<b>Rakenteet .....</b>	<b>104</b>

<b>5</b>	<b>Lisäkonduktanssit .....</b>	<b>105</b>
<b>6</b>	<b>Vuotoilmanvaihto.....</b>	<b>105</b>
<b>7</b>	<b>Ilmanvaihto.....</b>	<b>105</b>
<b>8</b>	<b>Sisäilmasto.....</b>	<b>106</b>
<b>9</b>	<b>Säätiedot .....</b>	<b>107</b>
9.1	Helsingin ulkoilman lämpötila.....	107
9.2	Maan lämpötila .....	107
<b>10</b>	<b>Lämmitystehontarve.....</b>	<b>107</b>
10.1	Tilojen ja ilmanvaihdon tehontarve .....	107
<b>11</b>	<b>Lämmin käyttövesi .....</b>	<b>108</b>
11.1	Käyttöveden nettotarve .....	108
11.2	Lämpimän käyttövesiverkoston lämpöhäviö .....	108
<b>12</b>	<b>Sisäiset lämpökuormat .....</b>	<b>111</b>
<b>13</b>	<b>Lämmitysjärjestelmät .....</b>	<b>113</b>
<b>14</b>	<b>Jäähdytysjärjestelmä .....</b>	<b>113</b>
<b>15</b>	<b>Laskettu lämmitysenergian tarve.....</b>	<b>113</b>
<b>16</b>	<b>Lämmönjakojärjestelmän hyötysuhteet .....</b>	<b>114</b>
16.1	Lämmönluovutuksen hyötysuhteet .....	115
16.2	Lämmönjaon hyötysuhteet.....	117
16.2.1	Meno- ja paluueden lämpötilat .....	118
16.2.2	Lämmönjaon lämpöhäviöt ja hyötysuhteet .....	119
16.2.3	Apulaitteiden sähkönkäyttö.....	120
<b>17</b>	<b>Kattilan lämpöhäviöt ja hyötysuhteet .....</b>	<b>121</b>
17.1	Lähtötiedot .....	121
17.2	Kattilan kuormitusaste ja lämpöhäviöt .....	122
17.3	Kattilan häviöenergia ja hyötysuhde tarkastelujaksolla.....	123
<b>LIITE 7 Maahan asennettujen lämpöjohtojen lämpöhäviö .....</b>		<b>126</b>
<b>1</b>	<b>Lähtötiedot .....</b>	<b>126</b>
<b>2</b>	<b>Lämmönjaon lämpötilat .....</b>	<b>127</b>
<b>3</b>	<b>Maahan asennetun lämmönjakoputken lämpöhäviö .....</b>	<b>127</b>
<b>4</b>	<b>Maahan asennetun lämpimän käyttöveden kiertojohtoon lämpöhäviö .....</b>	<b>130</b>

# 1 Johdanto

Rakennusten energiatehokkuuden parantamisen taustalla on Kioton ilmastopöytäkirja sekä Suomen energia- ja ilmastostrategia, jonka tavoitteena on kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen. Rakennusten energian käyttö aiheuttaa noin 30 % Suomen kasvihuonekaasupäästöistä. Energian käytöstä rakennusten osuus oli lähes 40 % vuonna 2003. Vuonna 2003 tehdyn rakentamismääräysten muutoksen avulla rakennusten energiankulutuksesta pyrittiin säästämään 25 - 30 % aiempaan määräystasoon verrattuna. Ympäristöministeriö antoi kesällä 2007 uudet rakennuksen energiatehokkuutta ja lämpöhäviöitä koskevat vaatimukset (RakMk 2007). Tällöin vaatimuksia ei muutettu oleellisesti. Joulukuussa 2008 annetuissa määräyksissä (RakMk 2010) energiatehokkuusvaatimukset parantuivat noin 25 – 30 %. Maaliskuussa 2011 annetuissa uusissa määräyksissä energiatehokkuusvaatimuksia parannetaan edelleen noin 20 % ja samalla määräysten rakenne ja sisältö uudistettiin perusteellisesti.

Rakennuksen energiatehokkuutta ja lämpöhäviötä käsitellään seuraavissa Suomen rakentamismääräyskokoelman osissa

- C4 Lämmöneristys, Ohjeet 2012
- D3 Rakennuksen energiatehokkuus, Määräykset ja ohjeet 2012
- D5 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, Ohjeet 2012.

Rakentamismääräysten uudistaminen on osa rakennusten energiatehokkuusdirektiivin toimeenpanoa Suomessa. Uudistetut määräykset mahdollistavat aiempaa suuremman joustavuuden suunnittelutyössä ja toisaalta antavat vapauden käyttää eri laskentamenetelmiä energiatehokkuuden laskennassa.

Tämä opas käsittelee rakentamismääräyskokoelman osien D3 ja D5 lämmitysjärjestelmien ja lämpimän käyttövesijärjestelmien lämpöhäviöiden laskentaa ja hyötysuhteiden määrittämistä. Lisäksi se pyrkii selvittämään määräyksiin liittyviä tulkintoja.

Oppaassa ohjeistetaan D5:n lämmitysjärjestelmien laskentaa, esitetään menetelmät D5:ssä taulukoitujen hyötysuhteiden ja lämpöhäviöiden laskentaan ja annetaan ohjeistusta simulointiohjelmien käytöstä määrittäessä lämmitysjärjestelmien energiankulutusta tai laskettaessa yksittäisen komponentin vaikutusta D5:n hyötysuhdelukuihin. Oppaan liitteissä esitellään yksityiskohtaisemmin lämmönluovutuksen, lämmönjaon, lämmön varastoinnin ja lämmöntuoton sekä lämpimän käyttöveden järjestelmien lämpöhäviöiden käsinlaskentamenetelmiä. Lisäksi liitteissä käydään läpi esimerkein pientalon lämmitysjärjestelmien hyötysuhteiden määrittäminen. Lämpöpumput ja aurinkolämpöjärjestelmät eivät sisälly tähän oppaaseen, vaan niiden käsittely on esitetty erillisissä oppaissaan. Tässä oppaassa ei myöskään käsitellä uusiutuvan omavaraisenergian tuottojärjestelmiä eikä tulisijoja.

## 2 Määritelmiä ja käsitteitä

**Hyödynnettävissä oleva lämpöhäviö** tarkoittaa esimerkiksi lämmönjakojärjestelmän lämpöhäviöitä, jotka ovat hyödynnettävissä lämmityksessä.

Lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöt on jaettavissa kahteen eri osaan: 1) lämpöhäviöt, jotka menevät suoraan häviöiksi ulos ja 2) lämpöhäviöt, jotka menevät lämpökuormiksi lämmitettyyn huoneeseen/tilaan. Suoraan ulos menevät lämpöhäviöt eivät ole hyödynnettävissä lämmityksessä. Tällaisia ovat esimerkiksi maahan asennetut lämmitysputket, jotka yhdistävät eri rakennuksissa olevat lämmöntuottolaitteet ja muun lämmönjakojärjestelmän. Lämpöhäviöiden lämpökuormiksi menevistä lämpöhäviöistä, jotka ovat siis hyödynnettävissä olevia lämpöhäviöitä, osa tulee hyödyksi lämmityksessä ja vain osa menee häviöinä ulos.

**Hyödynnetty lämpöhäviö** tarkoittaa esimerkiksi lämmönjakojärjestelmän lämpöhäviöiden sitä osuutta, joka on hyödynnetty lämmityksessä.

**Lämmönluovutuksen hyötysuhde** on lämmönluovuttimen tilaan luovuttaman energian (= lämmöntarve) ja lämmönluovuttimen kuluttaman energian suhde. Lämmönluovuttimen kuluttamassa energiassa otetaan huomioon lämmönluovutuksen lämpöhäviöt. Apulaitteiden lämmityksessä hyödynnettävät lämpöhäviöt otetaan huomioon lämmöntarpeessa.

**Lämmönjaon hyötysuhde** on lämmönjakojärjestelmän luovuttaman ja siirtämän lämpöenergian suhde. Lämmönjakojärjestelmän siirtämässä lämpöenergiassa otetaan huomioon lämmönjaon lämpöhäviöt. Apulaitteiden lämmityksessä hyödynnettävät lämpöhäviöt otetaan huomioon lämmöntarpeessa lämpökuormina. Apulaitteiden lämmitysjärjestelmään tuottama lämpöenergia vähentää lämmöntuoton lämmitysenergiankulutusta.

**Lämmöntuoton hyötysuhde** on lämmöntuottoyksikön lämmönjakojärjestelmään, ilmanvaihtojärjestelmään ja lämpimän käyttöveden järjestelmään luovuttaman lämpöenergian ja lämmöntuottoyksikköön viedyn energian (esimerkiksi polttoaineena tai sähkönä) suhde. Lämmöntuottoyksikköön viedyssä energiassa otetaan huomioon lämmöntuottoyksikön lämpöhäviöt ottaen huomioon apulaitteet.

**Lämmitysjärjestelmän hyötysuhde** on tilojen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden lämmöntarpeiden summan vähennettynä mahdollisen aurinkojärjestelmän tuottaman lämpöenergian ja lämmöntuottojärjestelmään viedyn energian suhde. Lämmöntuottojärjestelmään viedyssä energiassa otetaan huomioon kaikki järjestelmiin liittyvät lämpöhäviöt ottaen huomioon apulaitteet.

Lämmitysjärjestelmän hyötysuhteen laskenta aloitetaan huonepään lämmöntarpeen määrittämisestä. Tilalle/huoneelle lasketaan nettolämmöntarve ilman lämmitysjärjestelmää. Nettotarpeeseen lisätään vaihteittain lämmönluovutuksen, lämmönjaon, lämmönvarastoinnin ja lämmöntuoton lämpöhäviöt ja näin laskien päästään rakennuksen bruttoenergiatarpeeseen.

**Rakennuksen lämmitysenergian tarpeella** tarkoitetaan sisäilmasto-olosuhteiden ylläpitämiseksi ja lämpimän käyttöveden lämmittämiseksi tarvittavaa energiamäärää ilman järjestelmähäviöitä ja -muunnoksia. Lämmitysenergian tarve muodostuu rakennuksen lämpöhäviöistä.



**Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarpeella** tarkoitetaan lämmitysenergian tarvetta, joka muodostuu ilman lämmittämisestä lämmöntalteenoton jälkeen tuloilman lämpötilaan ja mahdollisesta lämmittämisestä ennen lämmöntalteenottoa jäätyksen estämiseksi;

**Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarpeella** tarkoitetaan lämmitysenergian tarvetta, joka sisältää kulutetun lämpimän käyttöveden lämmittämiseen kylmän veden lämpötilasta lämpimän veden lämpötilaan;

**Tilan lämmitysenergian tarpeella** tarkoitetaan tilan lämmitysenergian tarvetta, joka katetaan lämmitysjärjestelmällä tilaan tuotavalla lämmitysenergialla. Tilan lämmitysenergiatarve sisältää vaipan johtumishäviöistä, vuotoilman lämmitystarpeesta sekä ilmanvaihdon tilassa tapahtuvasta lämmittämiseen kuluvasta energiasta.

Tilaan tuotava tuloilma on usein alilämpöistä sisäilman tavoitelämpötilaan (+21 °C) nähden, jolloin ilmanvaihdon loppulämmitys katetaan lämmitysjärjestelmällä.

**Lämmitysjärjestelmän energiankulutuksella** tarkoitetaan tilojen lämmityksen, ilmanvaihdon lämmityksen ja lämpimän käyttöveden lämmityksen energiankulutusta. Lämmitysjärjestelmän energiankulutus lasketaan lämmitysenergian nettotarpeesta ottamalla huomioon järjestelmähäviöt ja -muunnokset. Järjestelmähäviöt muodostuvat lämmitysenergian tuoton, varastoinnin, jaon ja luovutuksen häviöistä. Energian muunnokset tapahtuvat esim. lämpöpumpuissa ja polttokennoissa. Lämmitysjärjestelmän energiankulutus eritellään sähkö- ja lämpöenergian osalta.

**Ilmanvaihtojärjestelmän energiankulutuksella** tarkoitetaan puhallinsähköä ja mahdollisten apulaitteiden sähkönkulutusta (pumput, taajuusmuuttajat, säätölaitteet). Tuloilman lämmitys lasketaan lämmitysjärjestelmän energiankulutuksen osana.

**Lämmitetyllä nettoalalla** tarkoitetaan lämmitettyjen kerrostasoalojen summaa kerrostasoja ympäröivien ulkoseinien sisäpintojen mukaan laskettuna (voidaan laskea myös lämmitettynä bruttoalana, josta on vähennetty ulkoseinien rakennusosa-ala).

**Uusiutuvalla omavaraisenergialla** tarkoitetaan kiinteistöön kuuluvalla laitteistolla paikallisista uusiutuvista energialähteistä tuotettua uusiutuvaa energiaa, lukuun ottamatta uusiutuvia polttoaineita. Uusiutuvaa omavaraisenergiaa on esimerkiksi aurinkopaneeleista ja –keräimistä tuotettu energia, paikallinen tuulienergia ja lämpöpumpun lämmönlähteestä ottama energia. Uusiutuvat polttoaineet käsitellään osana uusiutuvaa ostoenergiaa

**Uusiutuvilla polttoaineilla** puu ja puupohjaisia sekä muita biopolttoaineita pois lukien turve, joka käsitellään näissä määräyksissä fossiilisenä polttoaineena

## 3 Lämmitysjärjestelmän energiankulutuksen laskennan yleinen periaate

### 3.1 Johdanto

Oppaan yleisenä tavoitteena on täyttää energiatehokkuusdirektiivin vaatimus rakennusten kokonaisjärjestelmälaskennasta lämmitysjärjestelmien osalta. Lisäksi oppaassa esitettävä laskentamenetelmä tukee direktiivin suosimia uusiutuvia energiamuotoja (mm. biopolttoaineet). Aurinkojärjestelmät käsitellään omassa oppaassaan.

Oppaassa esitetään:

- ohjeistusta lämmitysjärjestelmien D5 laskentaan
- menettelytavat D5 laskennassa esitettyjen hyötysuhteiden laskemiseksi
- menettelytavat lämmitysjärjestelmän eri komponenttien lämpöhäviöiden laskemiselle lämmitysjärjestelmän energiaketjuille aina nettotarpeesta lämmöntuottoyksikön polttoaineeseen
- menettelytavat komponenttien häviöistä lämmityksessä hyödynnettävälle osuudelle
- menettelytavat lämmitysjärjestelmää tukevien apusähkölaitteiden (pumput, puhaltimet yms.) energiankulutuksen laskennalle
- peruseriaatteet kehittyneempien laskentamenetelmien/-ohjelmien käytöstä lämmitysjärjestelmien energiankulutuksen laskennassa
- esimerkki pientalon lämmitys- ja lämpimänkäyttövesijärjestelmän hyötysuhteiden ja apulaitteiden sähkökäytön laskennasta

Tässä oppaassa kokonaisjärjestelmälaskenta rakennusten lämmitykselle tulkitaan alkavan rakennuksen (1) tilojen, (2) lämpimän käyttöveden ja (3) ilmanvaihdon nettotarpeesta ja päättyvän järjestelmän käyttämien energiamuotojen energiankulutukseen.

Lämmitysjärjestelmän komponenttien lämpöhäviöt voidaan määrittää eri tavoin. Määrittystavat ovat jaettavissa karkeasti kahteen tasoon:

1) Yksittäisen komponentin laskenta tarkemmin käsinlaskentana siten, että muiden komponenttien vaikutukset nettolämmöntarpeeseen otetaan huomioon esimerkiksi D5:ssä esitettyjen hyötysuhteiden mukaisesti. Tarkasteltavan komponentin lämpöhäviöt voidaan laskea tämän oppaan kappaleissa 5-8 ja liitteissä esitettyjen menetelmien mukaisesti tai vaihtoehtoisesti käyttäen yleisesti hyväksytyjä kehittyneempiä malleja.

2) Kokonaisjärjestelmän, osajärjestelmän tai yksittäisen komponentin simulointi ottaen huomioon kaikki lämpötekniset vuorovaikutukset.

Oppaan laskentamenetelmien tavoitteena on ollut läpinäkyvyys sekä lämmitysjärjestelmätuotteiden fysikaalisten ominaisuuksien kunnioittaminen. Tavoitteena on ollut myös, että laskentamenetelmät mahdollistavat energiatehokkaiden järjestelmäratkaisujen edistämisen. Laskentamenetelmiä kehitettäessä on ensisijaisesti tukeuduttu voimassa oleviin EN standardeihin, mikäli menetelmien on katsottu soveltuvan myös Suomen olosuhteisiin.

Rakennus lämmitysjärjestelmineen on monimuotoinen ja monista ilmiöistä toisiinsa nivoutuva kokonaisuus. Lämmitysjärjestelmien komponenttien (luovutus, jako, varastointi ja tuotto) lämpöhäviöt siirtyvät osittain samaan tilaan kuin mihin ko. komponentti on asennettu lämpökuormana ja osittain joko suoraan tai epäsuorasti ulkoilmaan. Luonteeltaan lämpöhäviöt ovat usein sellaisia, että ne riippuvat tarpeesta. Toisaalta lämmöntarve on riippuvainen lämpökuormista, jolloin tarkoissa laskelmissa joudutaan helposti iteratiiviseen prosessiin.

Rakentamismääryskokoelman osassa D5 esitetyissä hyötysuhteissa on pyritty upottamaan fysikaalinen monimuotoisuus taulukoitujen hyötysuhdelukujen ja taulukoitujen lämpöhäviöiden sisään, jolloin laskijalla itsellään ei tarvitse olla tarkkaa ymmärrystä eri ilmiöiden riippuvuuksista toisiinsa. Hyötysuhdelukuja määritettäessä on kuitenkin pyritty pitämään huoli fysikaalisista lainalaisuuksista, jotta laskentatarkkuus säilyisi kohtuullisena. Tässä oppaassa esitetään menetelmät, joilla yksittäisten komponenttien fysikaalisista suureista päästään komponenttien lämpöhäviöihin ja hyötysuhteeseen sekä edelleen osajärjestelmien lämpöhäviöihin tai hyötysuhteeseen.

Koska tässä oppaassa esitetty lämmitysjärjestelmien laskentamenettely ei ole kaiken kattava laskentakehys, saattaa joissain tapauksissa (esim. säätöstrategiat rakennuksessa, useiden tukilämmitysmuotojen yhtäaikainen laskenta yms.) olla tarpeellista soveltaa kokonaisvaltaisten simulointiohjelmien menetelmiä. Rakennussimulointiohjelmiä voidaan käyttää esim. D5 taulukkoarvojen tuottamiseen tarvittaessa - riittävää huolellisuutta noudattaen. Tällaisissa tilanteissa laskijalle jää vastuu ongelmakentän (järjestelmät ja rakennusmallin) kuvauksesta ja valittujen lukuarvojen asianmukaisuudesta. Tässä oppaassa ohjeistetaan yleisellä tasolla simulointiohjelmien käyttöä lämmitysjärjestelmien energiankulutuksen laskennassa. Se, mikä simulointiohjelma on soveltuva rakennuksen energiankäytön ongelmakentän ratkaisuun ja millä kriteereillä, on rajattu tämän oppaan ulkopuolelle.

## **3.2 Lämmitysjärjestelmien laskennan yleinen periaate**

Rakennusten lämmitysjärjestelmien lämpöhäviöiden yleinen laskentaproseduuri sisältää seuraavien osajärjestelmien energiataseiden analysoinnin:

- Luovutus osajärjestelmä säätöjärjestelmineen
- Jako osajärjestelmä säätöjärjestelmineen
- Varastointi osajärjestelmä säätöjärjestelmineen
- Tuotto osajärjestelmä säätöjärjestelmineen

Laskentaproseduuri noudattaa järjestelmien fysikaalista rakennetta.

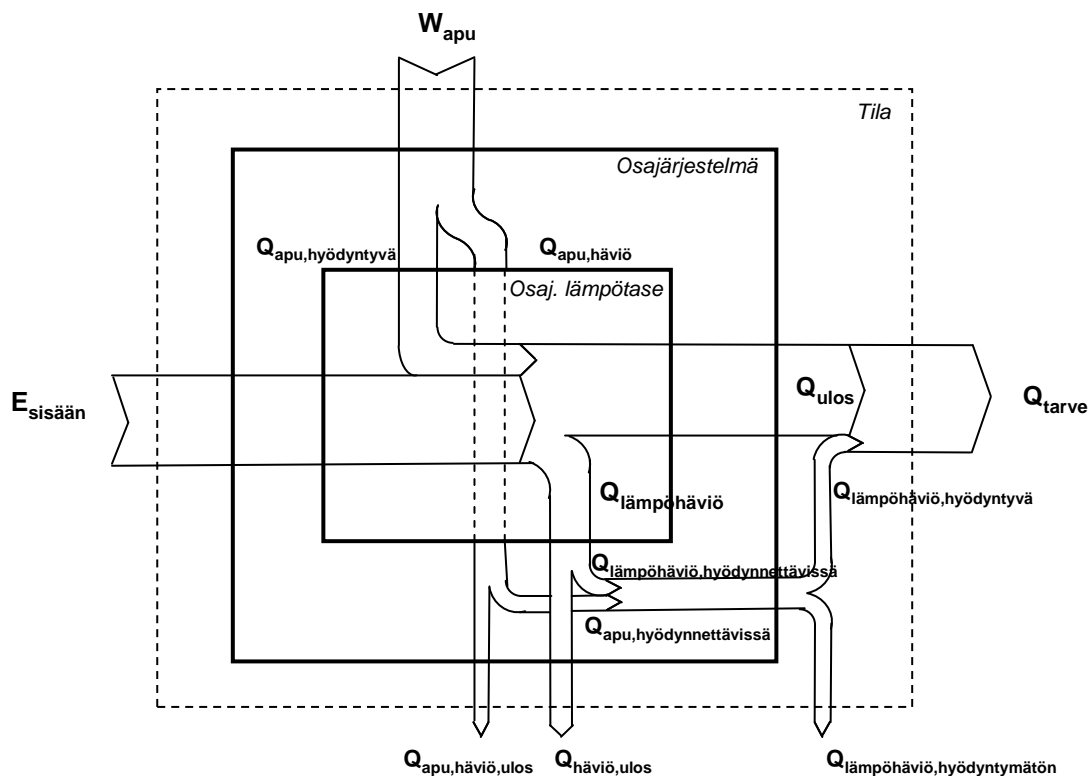
Energialaskennassa erotellaan lämmitysjärjestelmän käyttämä lämpöenergia ja sähköenergia.

### **3.2.1 Osajärjestelmän energiavirrat ja hyötysuhde**

Kuvassa 1 havainnollistetaan yleisellä tasolla yksittäiseen osajärjestelmään tai komponenttiin liittyviä energiavirtoja. Osajärjestelmälle määritetään seuraavat energiavirrat:

- Energiavirta sisään (lämpö, sähkö, polttoaine),  $E_{\text{sisään}}$
- Apulaitteiden sähkönkulutus,  $W_{\text{apu}}$
- Tilan lämmitysenergian tarve,  $Q_{\text{tarve}}$

- Lämpöenergia ulos (= seuraavan osajärjestelmän lämpöenergia sisään),  $Q_{ulos}$
- Lämpöhäviöt,  $Q_{häviö}$
- Lämpöhäviöistä lämmityksessä hyödyntymätön osuus  $Q_{häviö,ulos}$
- Lämpöhäviöistä lämmityksessä hyödynnettävissä oleva osuus (=lämpökuorma tilaan),  $Q_{häviö,hyödynnettävissä}$
- Apulaitteiden sähkönkulutuksesta osajärjestelmässä hyödyntyvä lämpöenergia,  $Q_{apu,hyödyntyvä}$
- Apulaitteiden sähkönkulutuksesta lämmityksessä hyödyntymätön lämpöenergia,  $Q_{apu,häviö,ulos}$
- Apulaitteiden sähkönkulutuksesta lämmityksessä hyödynnettävissä oleva lämpöenergia (=lämpökuorma tilaan),  $Q_{apu,hyödynnettävissä}$
- Lämpöhäviöistä tilojen lämmityksessä hyödyntyvä lämpöenergia,  $Q_{lämpöhäviö,hyödyntyvä}$
- Lämpöhäviöistä hyödyntymätön lämpöenergia,  $Q_{lämpöhäviö,hyödyntymätön}$



Kuva 1. Komponentin/osajärjestelmän energiataase.

Osajärjestelmän hyötysuhde määritellään tässä oppaassa kuvassa 1 esitettyjen energiavirtojen perusteella seuraavalla kaavalla

$$\eta_{osajärjestelmä} = \frac{Q_{tarve}}{Q_{ulos} + Q_{lämpöhäviö,hyödynnettävissä} + Q_{apu,hyödynnettävissä} + Q_{apu,häviö,ulos} + Q_{häviö,ulos}} \quad (1)$$

jossa

$Q_{\text{tarve}}$	on lämmitysketjussa seuraavana olevan osajärjestelmän tai viimekädessä tilan lämmöntarve, kWh
$Q_{\text{ulos}}$	on osajärjestelmän siirtämä lämpövirta, kWh
$Q_{\text{lämpöhäviö,hyödynnettävissä}}$	on osajärjestelmän lämpöhäviöistä lämmityksessä hyödynnettävissä oleva lämpöenergia, kWh
$Q_{\text{apu,hyödynnettävissä}}$	on apulaitteiden lämpöhäviöistä lämmityksessä hyödynnettävissä oleva lämpöenergia, kWh
$Q_{\text{apu,häviö,ulos}}$	on apulaitteiden lämpöhäviöistä lämmityksessä hyödyntymätön lämpöenergia, kWh
$Q_{\text{häviö,ulos}}$	on apulaitteiden lämpöhäviöistä lämmityksessä hyödyntymätön oleva lämpöenergia, kWh

D5 laskennassa niiden komponenttien ja osajärjestelmien, jotka eivät fyysisesti sijaitse tarkasteltavassa rakennuksessa tai tilassa, lämpöhäviöt käsitellään erikseen, ja ne eivät sisälly hyötysuhteeseen. Tällaisia lämpöhäviöitä ovat esimerkiksi rakennuksen ulkopuolella sijaitsevat lämmönjakoputket. Sen sijaan esimerkiksi rakennuksen sisällä sijaitsevien alapohjaan sijoitettujen lämmönjakoputkien ulos tai maahan suuntautuvat lämpöhäviöt sisältyvät hyötysuhteeseen.

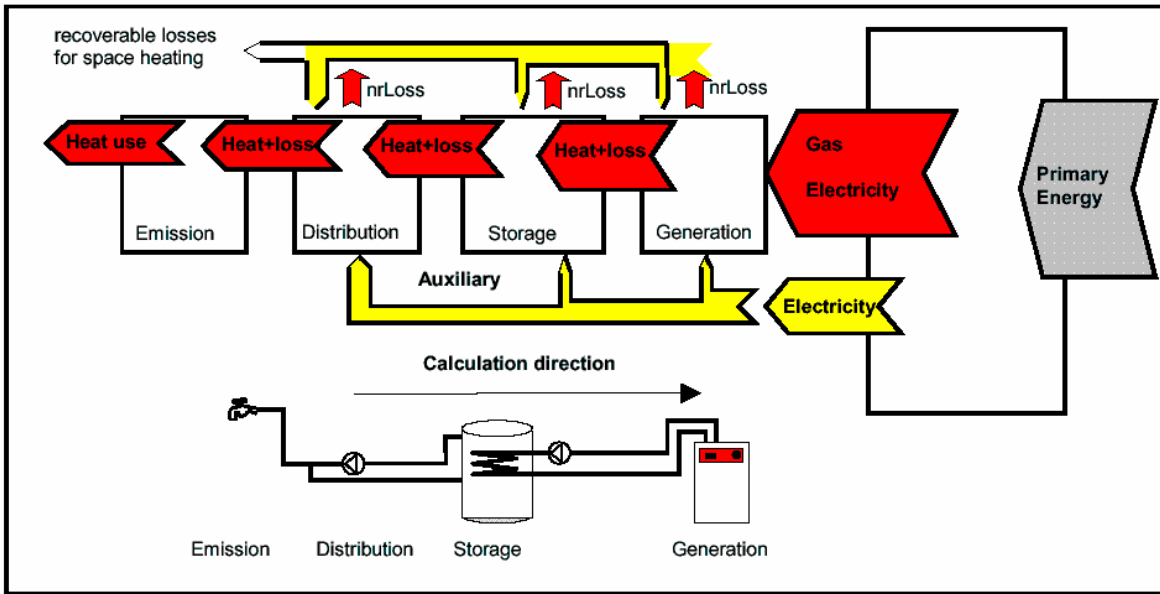
Lämpöhäviöistä lämmityksessä hyödyntyvä osuus on aina tapauskohtainen, jonka suuruus riippuu rakennuksen/tilan lämmöntarpeen ja kokonaislämpökuormien suhteesta tarkastelujaksolla sekä rakennuksen massiivisuudesta. Hyödyntyvä osuus voidaan laskea esimerkiksi EN 13790 menetelmällä tai jollain muulla laskentamenetelmällä tai simulointiohjelmalla.

### 3.2.2 Järjestelmän energiaketjun käsittely

Tilojen lämmitysjärjestelmien energiaketjun laskenta aloitetaan huonetilan nettotarpeesta ja edetään laskennassa vastakkaiseen suuntaan energiavirtaan nähden (kuva 2). Laskenta etenee lämmityksen energiaketjussa seuraavasti

1. Määritetään tilan/rakennuksen nettotarve
2. Määritetään kunkin osajärjestelmän lämpöhäviöt ja lisätään ne osajärjestelmän lämmöntarpeeseen, jolloin saadaan energiaketjussa seuraavana olevan osajärjestelmän lämmöntarve
3. Näin edetään aina lämmöntuoton osajärjestelmään asti
4. Lämmöntuottoratkaisusta riippuen määritetään eri polttoainevirrat ja järjestelmän sähkönkäyttö

## Laskentakehys



Kuva 2. Lämmitysjärjestelmien energiatehokkuuden laskenta

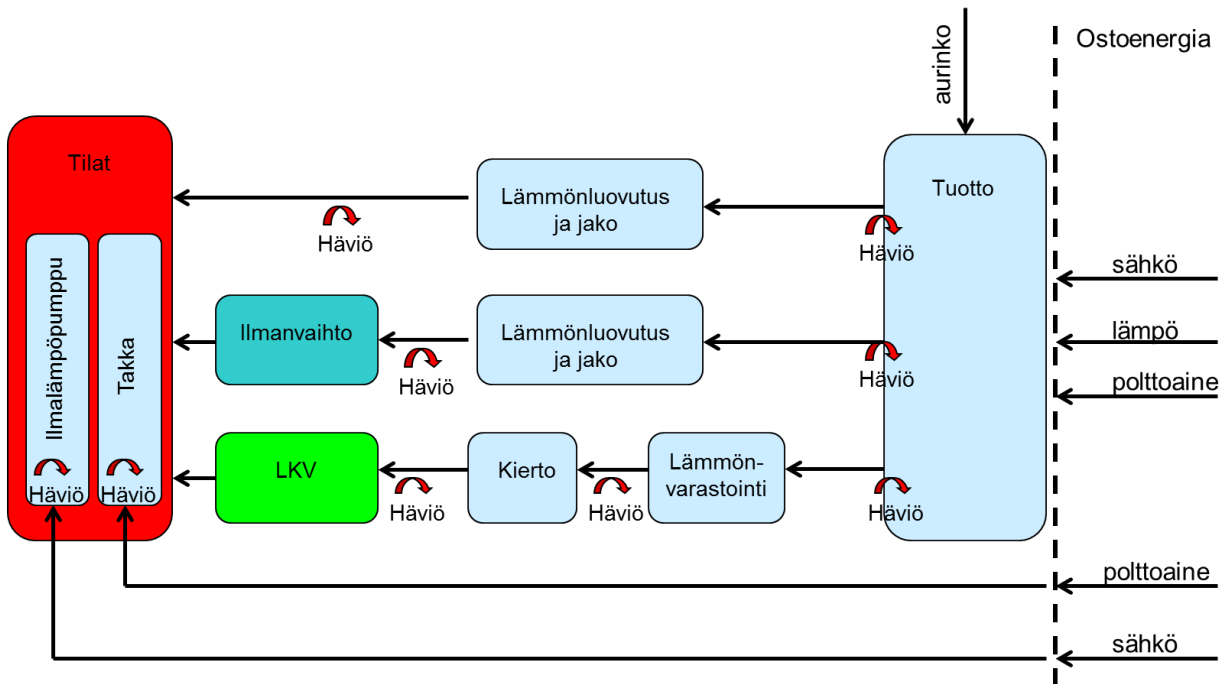
Lämpimän käyttöveden ja ilmanvaihtokoneen lämmityspiirin lämmön tuoton häviöiden laskentaa ei tehdä, mikäli lämmöntuottoyksikkö on yhteinen (ns. integroitu tuottoyksikkö) kullekin osajärjestelmälle.

## 4 Lämmitysjärjestelmän energiankulutuksen laskenta D5:n mukaan

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D5 lämmityksen energiantarpeen laskenta on jaettu kolmeen erilliseen komponenttiin: 1) tilojen lämmitys, 2) ilmanvaihdon lämmitys ja 3) lämpimän käyttöveden lämmitys. Laskentaa on havainnollistettu kuvassa 3.

Tilojen ja ilmanvaihdon energiaketju lasketaan suoraan käyttäen yleisimmille järjestelmille taulukoituja hyötysuhteiden lukuarvoja ja suoraan ulos suuntuvat lämpöhäviöt voidaan arvioida taulukoitujen tunnuslukujen avulla.

Käyttöveden lämmitysjärjestelmän käsittely poikkeaa tilojen ja ilmanvaihdon lämmitysjärjestelmien käsittelytavasta. Käyttöveden jakeluverkoston ja käyttövesivaraajan lämmityksessä hyödynnettävissä olevat lämpöhäviöt viedään lämpökuormina tilojen lämmöntarvelaskentaan ja lämpökuormista lämmityksessä hyödynnyvä osuus lasketaan yhdessä tiloihin tulevien muiden lämpökuormien kanssa. Näin voidaan menetellä, rikkomatta laskennan suoraviivaisuutta, koska käyttövesiverkoston lämpöhäviöt eivät riipu tilojen lämmöntarpeesta toisin kuin lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöt.



Kuva 3. Lämmitysenergian laskenta Rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaisesti.

#### 4.1 Tilojen lämmitys

Tilojen lämmityksen energiantarpeen laskenta lähtee tilojen lämpöhäviöiden määrittämisestä. Tilojen lämpöhäviöt muodostuvat vaipan johtumislämpöhäviöistä (lattia, katto, seinät, ikkunat ja kylmäsilat), vuotoilmanvaihdon lämmitystarpeesta sekä ilmanvaihdon tiloissa tapahtuvasta lämmitystarpeesta.

Tilojen nettoenergiatarve katetaan lämmitysjärjestelmällä, joka koostuu eri järjestelmäosista: 1) lämmönluovuttimista tilassa (patteri, lattialämmitin, kattolämmitin, ilmanlämmitin) 2) lämmönjakoverkostosta (kiertoputkisto, sähkökaapeli, ilmankanavisto), 3) lämmönvaraajista (vesivaraaja) sekä kiinteistökohtaisesta lämmöntuottoyksiköstä (kaukolämpösiirrin, lämpöpumppu, öljykattila, sähkökattila).

Kuhunkin lämmitysjärjestelmän komponenttiin liittyy lämpöhäviöitä. Lämpöhäviöt jaetaan kahteen eri ryhmään: 1) lämmityksessä hyödynnettävät häviöt ja 2) lämmityksessä hyödyntymättömät häviöt.

Lämmityksessä hyödynnettävät häviöt ovat häviöitä, jotka tulevat säätämättöminä lämmitettävään tilaan. Tässä säätämättömillä häviöillä tarkoitetaan lämpökuormia, jotka eivät riipu tarkasteltavan tilan lämmityksen säätölaitteen toiminnasta. Esimerkiksi huoneen läpi kulkeva lämmityksen jakoputki on säätämätöntä lämpökuormaa. Sen sijaan jakoputkesta patterille lähtevästä kytkentäputkesta tuleva lämpö ei ole säätämätöntä lämpökuormaa, koska sen lämpöhäviö säätyy lämmönluovuttimen säätölaitteen toiminnan mukaan. Lämmityksessä hyödynnettävät lämpöhäviöt ovat tilojen lämmityksen kannalta lämpökuormia, jotka pyrkivät nostamaan tilan lämpötilaa ja näin lisäämään energiankulutusta ideaaliseen tilanteeseen (=vakio lämpötila) verrattuna.

Energiankulutuksen lisääntyminen riippuu säätölaitteen toiminnasta ja tarkastelujakson lämmöntarpeesta eli siitä, tarvitaanko tilassa kyseisellä hetkellä lämmitystä vai ei. Lämmityksessä

hyödynnettävistä häviöistä osa siis pienentää lämmityksen energiankulutusta, puhutaan hyödyntyneistä lämpöhäviöistä, mutta osaa häviöistä ei voida käyttää lämmityksessä hyväksi ja ovat siis todellisia häviöitä. Todellisten lämpöhäviöiden laskeminen johtaa usein iteratiiviseen tarkasteluun, näin käy esimerkiksi vesikiertoisten lämmitysjärjestelmien osalla. Vesikiertoisissa järjestelmissä erityisesti paluu puolen putkien lämpötilat, ja siten myös lämpöhäviöt eli tilojen lämpökuormat, riippuvat virtausolosuhteista ja verkoston virtaamat puolestaan tilojen lämpökuormista ja säätölaitteiden toiminnasta.

Lämmityksessä hyödyntymättömät häviöt menevät suoraan häviöinä ulos tarkasteltavasta taseesta, näin käy esimerkiksi erillisessä rakennuksessa sijaitsevan lämmöntuottoyksikön ja asuinrakennuksen välille maahan asennettujen lämmönjakoputkien lämpöhäviöiden osalta. Samoin käy myös rakenteisiin asennettujen lämmönluovuttimien (lattialämmitys, kattolämmitys, seinälämmitys) tai lämmönjakoverkoston osien lämpöhäviöiden osalta niiltä osin kuin rakenteen toisella puolella on lämmittämätöntä tilaa (maa, ulkoilma).

D5 laskennassa on eroteltu lämmityksessä hyödyntymättömät häviöt, jotka lasketaan tapauskohtaisesti erikseen. Tilaan tulevien lämpöhäviöiden hyödyntämättömän osuuden laskennassa käytetään hyväksi erilaisille järjestelmille esilaskettuja hyötysuhteita. Hyötysuhdetarkastelulla on laskennasta saatu juoheva, koska sillä vältytään iteratiivisesta tarkastelusta. Jotta on vältytty massiiviselta taulukoinnilta, on hyötysuhteet määritetty vain yleisimmille järjestelmille ja lukuarvot on valittu siten, että ne soveltuisivat mahdollisimman hyvin eri rakennustyypeille.

D5:ssä tilojen lämmitysenergiantarve lasketaan kaavasta

$$Q_{\text{lämmitys,tilat}} = \frac{Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}}}{\eta_{\text{lämmitys,tilat}}} + Q_{\text{jakelu,ulos}} - Q_{\text{omavarais,lämmitys,tilat}} \quad (2)$$

jossa

$Q_{\text{lämmitys,tilat}}$	on tilojen lämmityksen lämmöntarve, joka lämmöntuottoyksiköllä täytyy tuottaa
$Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}}$	tilojen nettolämmöntarve, jossa on huomioitu lämpöhäviöt ja toisaalta otettu huomioon lämpökuormista talteen otettu lämpö ja joka lasketaan D5:ssä esitetyn menettelyn mukaisesti
$\eta_{\text{lämmitys,tilat}}$	on lämmönluovutuksen ja lämmönjaon yhdistetty hyötysuhde, joka ottaa huomioon niihin liittyvät lämpöhäviöt (taulukkoarvo D5:ssä)
$Q_{\text{jakelu,ulos}}$	on jakelujärjestelmän lämpöhäviöt, joita ei voida hyödyntää rakennuksen lämmityksessä, esimerkiksi ulkona tai maassa sijaitsevat jakoputkiosuudet (D5:ssä taulukoitu ominaislämpöhäviöitä eri tapauksille)
$Q_{\text{omavarais,lämmitys,tilat}}$	mahdollisella uusiutuvan omavaraisenergian tuottojärjestelmällä tuotettu tilojen lämmitysenergia, kWh

Tilojen nettolämmöntarvetta ( $Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}}$ ) laskettaessa on lämpökuormituksessa otettava huomioon paitsi laite- ja henkilökuormat, niin myös esimerkiksi lämpimän käyttöveden järjestelmän lämpökuormat.

Uusiutuvalla omavaraisenergialla ( $Q_{\text{omavarais,lämmitys,tilat}}$ ) tarkoitetaan kiinteistöön kuuluvalla laitteistolla paikallisista uusiutuvista energialähteistä tuotettua uusiutuvaa energiaa, lukuun ottamatta uusiutuvia polttoaineita. Uusiutuvaa omavaraisenergiaa on esimerkiksi aurinkopaneeleista



ja –keräimistä tuotettu energia, paikallinen tuulienergia ja lämpöpumpun lämmönlähteestä ottama energia. Uusiutuvat polttoaineet (puu ja puupohjaisia sekä muita biopolttoaineita pois lukien turve) käsitellään osana uusiutuvaa ostoenergiaa ja ne käsitellään osana lämmöntuottojärjestelmää luvussa 4.4. Tämä opas ei sisällä uusiutuvan omavaraisenergian laskentaa.

Lämmönjakojärjestelmän hyötysuhteessa ( $\eta_{\text{lämmitys,tilat}}$ ) on otettu huomioon sekä lämmönuovutukseen, että lämmönjakoon liittyvät lämpöhäviöt.

Lämmönuovutukseen liittyy lähinnä kolmenlaisia epäideaalisuuksia, jotka kaikki on otettu huomioon määritettäessä D5:n taulukkoarvoja: 1) lämmönuovuttimen ja ympäröivien pintojen säteily- ja konvektiovuorovaikutukset, 2) huoneilman lämpötilakerrostuminen ja 3) lämmönuovuttimen sijoituksesta johtuvat (esim. kattolämmitys) lisääntyneet rakenteiden läpi siirtyvät lämpöhäviöt. Lämmönuovutuksen hyötysuhteeseen liittyy myös oleellisesti se kuinka lämmönuovutusta säädetään, tarkemmalla säädöllä päästään pienempiin lämpöhäviöihin. D5:ssä esitetystä hyötysuhdetaulukon arvoissa on oletettu eri järjestelmiin yleisimmin käytetty säätötapa. Taulukkoarvot on määritetty olettamalla vesikiertoisten lämmitysjärjestelmien olevan varustettu suhdesäätöisillä termostaattiventtiileillä, suhdealueeksi on oletettu 2 °C. Sähköpatterit on oletettu varustetun elektronisilla PI-säätimillä.

Lämmönjaossa syntyy lämpöhäviöitä lämpimistä putkista ympäröiviin tiloihin. Jakoputkien lämpöhäviöt lämmittävät tiloja ja pienentävät lämmitystarvetta. Riippuen tilojen lämmöntarpeen ja lämpökuormien suhteesta osa lämmönjakoputkiston säätämättömistä lämpöhäviöistä kuitenkin menee hukkaan eli niitä ei voida hyödyntää lämmityksessä. Näin tapahtuu erityisesti keväällä ja syksyllä, jolloin rakennukseen tulee ylimääräistä lämpöä auringon säteilystä. Lämmönjakoverkoston lämpöhäviöt riippuvat mitoitus- ja suunnitteluparametreista (lämpötilatasot, putkimitoitus, putkieristys, verkoston topologia) ja niiden perusteella lasketut hyötysuhteet rakennuksen parametreista (lämpöhäviöt ja lämpökuormat). D5:ssä esitetyt hyötysuhdearvot on määritetty nykyisten määräysten mukaisilla lämpöhäviöillä tietyille tyyppiratkaisuille, jotka edustavat keskimääräistä rakennus- ja suunnittelutapaa. Hyötysuhdearvoihin on myös vesikiertoisissa järjestelmissä sisällytetty kiertovesipumpun energiavirtojen vaikutus hyötysuhteeseen.

Osa lämmönjakoverkostosta voi sijaita lämmittämättömässä tilassa (kellari, tuulettuva asennushormi, ulkoilma, maassa), jolloin lämmönjakoputkien lämpöhäviöt ( $Q_{\text{jakelu,ulos}}$ ) menevät kokonaan hukkaan. D5:ssä lämmittämättömään tilaan menevät lämmönjakoverkoston lämpöhäviöt lasketaan kaavasta

$$Q_{\text{jakelu,ulos}} = q_{\text{jakeluhäviöt,ulos}} L \quad (3)$$

jossa

$Q_{\text{jakelu,ulos}}$  on lämmönjakoverkoston lämmityksessä hyödyntymättömät lämpöhäviöt laskentajaksolla, kWh

$q_{\text{jakeluhäviöt,ulos}}$  on lämmittämättömässä tilassa olevien lämmityspotkien ominaislämpöhäviö, kWh/m

$L$  on meno- ja paluuputken yhteenlaskettu pituus lämmittämättömässä tilassa, m

Lämmittämättömässä tilassa olevien putkien ominaislämpöhäviöille on D5:ssä annettu taulukko, jonka arvoja suositellaan käytettäväksi harkiten varsin karkeisiin arvioihin. On suositeltavaa, että

hyödyntymättömät lämpöhäviöt lasketaan tapauskohtaisesti tarkemmin käyttäen suunnitteluratkaisun parametreja ja tässä oppaassa esitettyjä menettelyjä.

Tässä oppaassa esitetään menetelmät, joilla D5:ssä esitetyt taulukkoarvot hyötysuhteelle ( $\eta_{\text{lämmitys,tilat}}$ ) ja ulos suuntautuville lämpöhäviöille ( $Q_{\text{jakelu,ulos}}$ ) voidaan määrittää tarkemmin, esimerkiksi tietyn suunnitteluratkaisun tuotetiedoilla.

#### 4.1.1 Lämmitysjärjestelmän sähkökäyttö

Järjestelmien sähkökäyttö lasketaan D5:ssä kaavasta

$$W_{\text{tilat}} = e_{\text{tilat}} A \quad (4)$$

jossa

$W_{\text{tilat}}$	on tilojen lämmitysjärjestelmän apulaitteiden sähkökulutus, kWh/a
$e_{\text{tilat}}$	on apulaitteiden sähkön ominaiskulutus, kWh/(m <sup>2</sup> a)
A	on lämmitetty nettoala, m <sup>2</sup>

D5:ssä on annettu apulaitteiden ominaiskulutuslukuja, jotka soveltuvat sähkökäytön karkeaan arviointiin. Apulaitteiden sähkökäyttöön on laskettu tarvittavien pumppujen ja säätölaitteiden sähkökäyttö.

Pumppujen sähkökäyttöön vaikuttavat monet tekijät, kuten verkoston mitoituslämpötilat, pumpun ominaisuudet, pumpun säätötapa, lämmityksen säätöjärjestelmä, rakennuksen lämmöntarve ja lämpökuormat. Pumppauksen energiankulutuksen tarkka laskenta on varsin monitahoista ja tarkoissa laskelmissa on suositeltavaa käyttää simulointiohjelmia, joilla verkoston topologia, virtausdynamiikka ja pumpun ominaisuudet voidaan kuvata. D5:n laskentamenetelmää voi tarkentaa tässä oppaassa (liite 2) ja erityisesti standardissa SFS EN 15316-2-3:2007 kuvattujen menetelmien avulla.

Säätölaitteiden sähköenergian kulutus on laskettu 2 W:n jatkuvalla sähköteholla yhtä säädintä (=lämmönluovutinta) kohti, ja huonelaitteen sähkökulutus on laskettu kaavasta

$$W_{\text{säätö}} = P \Delta t \quad (5)$$

jossa

$W_{\text{säätö}}$	on säätölaitteiden sähköenergian kulutus yhtä säädintä kohti, Wh
P	on säätölaitteiden sähköteho yhtä säädintä kohti, W
$\Delta t$	on laskentajakso, h

## 4.2 Ilmanvaihdon lämmitys

D5:ssä ilmanvaihdon lämmitysjärjestelmän energiankulutus lasketaan kaavasta

$$Q_{\text{lämmitys,iv}} = \frac{Q_{\text{lämmitys,iv,netto}}}{\eta_{\text{lämmitys,iv}}} \quad (6)$$

jossa

- $Q_{\text{lämmitys,iv}}$  on ilmanvaihdon lämmitysenergia, kWh  
 $Q_{\text{lämmitys,iv,netto}}$  on ilmanvaihdon nettolämmitysenergian tarve, kWh  
 $\eta_{\text{lämmitys,iv}}$  on ilmanvaihdon lämmitysjärjestelmän hyötysuhde, -

D5:ssä ilmanvaihdon lämmitysjärjestelmän hyötysuhteena käytetään oletusarvoisesti  $\eta_{\text{lämmitys,iv}}=1$ . Tarkasti ottaen tämä pätee vain lähes häviöttömälle sähkölämmitykselle. Laajempien vesikiertoisten ilmanvaihdon lämmitysjärjestelmien lämpöhäviöt ja hyötysuhteet on laskettava samoilla menetelmillä kuin tilojen vesikiertoisten lämmitysjärjestelmienkin.

### 4.3 Käyttöveden lämmitys

D5:ssä lämpimän käyttöveden lämmityksen energiankulutus lämmöntuotosta vesipisteille asti  $Q_{\text{lämmitys,lkv}}$  lasketaan kaavalla

$$Q_{\text{lämmitys,lkv}} = \frac{Q_{\text{lkv,netto}}}{\eta_{\text{lkv}}} + Q_{\text{lkv,varastointi}} + Q_{\text{lkv,kierto}} - Q_{\text{aurinko,lkv}} - Q_{\text{muu,lkv}} \quad (7)$$

jossa

- $Q_{\text{lkv,netto}}$  lämpimän käyttöveden lämmityksen nettotarve, kWh  
 $\eta_{\text{lkv}}$  lämpimän käyttöveden siirron hyötysuhde, -  
 $Q_{\text{lkv,varastointi}}$  lämpimän käyttöveden varastoinnin häviö, kWh  
 $Q_{\text{lkv,kierto}}$  lämpimän käyttöveden kiertojohton häviö, kWh  
 $Q_{\text{aurinko,lkv}}$  aurinkokeräimellä tuotettu lämmin käyttövesi, kWh  
 $Q_{\text{muu,lkv}}$  muulla uusiutuvan omavaraisenergian tuottojärjestelmällä tuotettu lämmin käyttövesi, kWh

Aurinkokeräimellä tuotetun lämmitysenergian ( $Q_{\text{aurinko,lkv}}$ ) laskenta on esitetty erillisessä oppaassa. Muita uusiutuvan omavaraisenergian tuottojärjestelmiä ( $Q_{\text{muu,lkv}}$ ) ei käsitellä tässä oppaassa.

#### 4.3.1 Siirron hyötysuhde

Lämpimän käyttöveden siirron hyötysuhde kattaa lämpimän käyttöveden jakojohdon häviöt. Kiertojohton häviöt lasketaan kohdan 4.3.3 mukaan. Ellei tarkempaa tietoa ole, voidaan lämpimän käyttöveden siirron hyötysuhteena käyttää taulukossa 1 esitettyä rakennustyyppikohtaista hyötysuhdetta. Taulukossa on siirron hyötysuhteita jakojohdon eri eristystasoille ja tapaukselle jossa käytössä on kiertojohto. Eristyspaksuus on ilmoitettu jakojohdon halkaisijaan, D, suhteutettuna. Tässä 0,5D tarkoittaa eristyspaksuutta joka on puolet eristettävän putken halkaisijasta ja 1,5D tarkoittaa eristystä jonka paksuus on 1,5-kertainen eristettävän putken halkaisijaan nähden.

Taulukko1. Lämpimän käyttöveden siirron hyötysuhde.

	$\eta_{\text{lkv}}$				
	Kierto	Ei kiertoa			
Rakennustyyppi		eristämätön	suojaputkessa	eristetty, perustaso <sup>1)</sup>	eristetty, parempi <sup>2)</sup>

Erillinen pientalo sekä rivi- ja ketjutilat	0,96	0,75	0,85	0,89	0,92
Asuinkerrostalo	0,97	0,76	0,86	0,90	0,94
Toimistorakennus	0,88	0,69	0,78	0,82	0,85
Liikerakennus	0,87	0,68	0,77	0,81	0,84
Majoitusliikerakennus	0,97	0,76	0,86	0,90	0,94
Opetusrakennus ja päiväkot	0,89	0,70	0,79	0,83	0,86
Liikuntahalli	0,98	0,77	0,87	0,91	0,95
Sairaala	0,94	0,74	0,84	0,88	0,91
<sup>1)</sup> eristyksen perustaso tarkoittaa vähintään eristyspaksuutta 0,5D, missä D on putken halkaisija					
<sup>2)</sup> eristyksen parempi taso tarkoittaa vähintään eristyspaksuutta 1,5D, missä D on putken halkaisija					

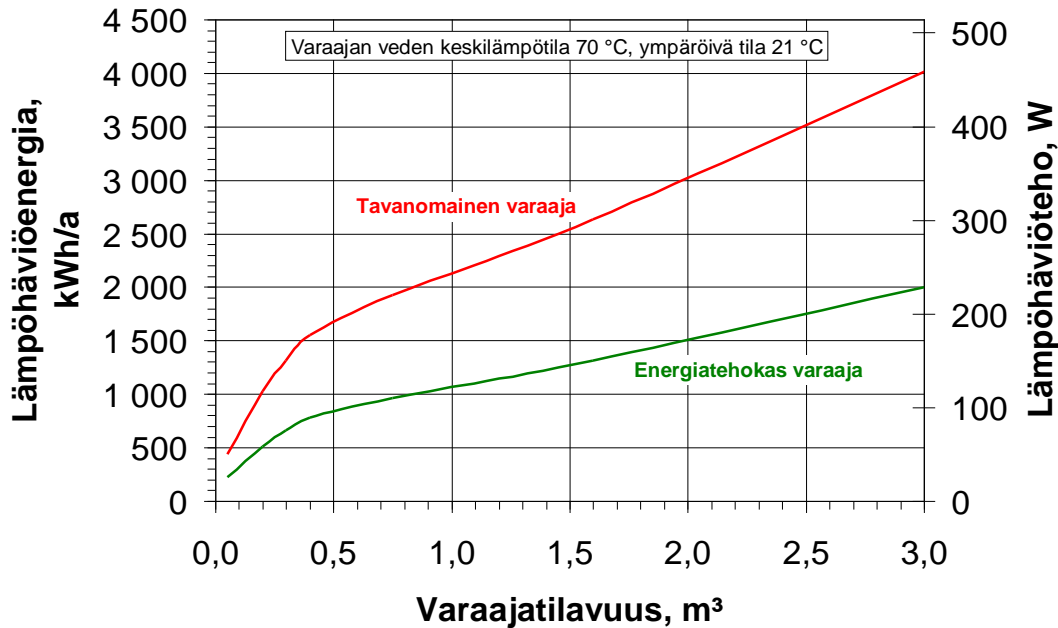
Eristystasokohtaisesti esitetyt hyötysuhteet perustuvat laskennallisesti todettuun häviöiden riippuvuuteen putken halkaisijan ja eristepaksuuden suhteesta. Lasketut arvot pätevät putkille joiden sisähalkaisija on enintään 20 mm.

### 4.3.2 Varastointi

Ellei tarkempaa tietoa ole, voidaan lämpimän käyttöveden varastoinnin häviönä käyttää taulukon 2 mukaista käyttövesivaraajan lämpöhäviötehoon perustuvaa arvoa. Varastoinnin häviö voidaan vaihtoehtoisesti määrittää myös kuvan 4 käyrien mukaan.

Taulukko 2. Lämpimän käyttöveden varastoinnin häviö.

Varaajan tilavuus, l	Varaajan lämpöhäviö, $Q_{lkv,varastointi}$ , kWh/a	
	40 mm eriste	100 mm eriste
50	440	220
100	640	320
150	830	420
200	1000	500
300	1300	650
500	1700	850
1000	2100	1100
2000	3000	1500
3000	4000	2000



Kuva 4. Lämpimän käyttöveden varastoinnin häviö

### 4.3.3 Kierto

Järjestelmissä, jossa on lämpimän käyttöveden kiertojohto, voidaan kiertojohdon lämpöhäviö laskea putkipituuden ja vakiolämpöhäviön avulla. Kiertojohdon lämpöhäviön ominaistehon ohjearvona voidaan käyttää 40 W/m, ellei yksityiskohtaisempia laskelmia suoriteta. Mikäli kiertojohdon eristystaso tunnetaan, voidaan käyttää taulukon 3 mukaisia arvoja. Pumpun käyttöaikana  $t_{lkv,pumppu}$  käytetään arvoa 24h/vrk. Kierron lämpöhäviö  $Q_{lkv,kierto}$  (kWh/a) lasketaan kaavalla

$$Q_{lkv,kierto} = (\phi_{lkv,kierto,omin} L_{lkv} + \phi_{lkv,lämmitys,omin} n_{lämmityslaite}) \frac{t_{lkv,pumppu} 365}{1000} \quad (8)$$

jossa

$\phi_{lkv,kierto,omin}$	lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviön ominaisteho, W/m
$L_{lkv}$	lämpimän käyttöveden kiertojohdon pituus, m
$t_{lkv,pumppu}$	lämpimän käyttöveden kiertojohdon pumpun käyttöaika, h/vrk
$\phi_{lkv,lämmitys,omin}$	lämpimän käyttöveden kiertojohtoon kytkettyjen lämmityslaitteiden ominaisteho, W/kpl
$n_{lämmityslaite}$	lämpimän käyttöveden kiertojohtoon kytkettyjen lämmityslaitteiden lukumäärä, kpl.

Kiertojohdon lämpöhäviön ominaisteholle voidaan käyttää taulukon 3 mukaisia arvoja. Taulukoituna on lämpöhäviön ominaistehoja riippuen lämpimän käyttöveden kiertojohdon eristystasosta. Eristyspaksuus on ilmoitettu kiertojohdon halkaisijaan,  $D$ , suhteutettuna. Tässä 0,5D tarkoittaa eristyspaksuutta joka on puolet eristettävän putken halkaisijasta ja 1,5D tarkoittaa eristystä jonka paksuus on 1,5-kertainen eristettävän putken halkaisijaan nähden. Mikäli lämpimän käyttöveden kiertojohtoon on kytketty kuivaukseen käytettäviä lämmityslaitteita, mutta niiden lukumäärää ei tiedetä, lisätään kiertojohdon lämpöhäviön ominaistehoon +40 W/m. Mikäli lämmityslaitteiden lukumäärä tiedetään, voidaan tarkemman tiedon puuttuessa käyttää yhden lämmityslaitteen tehoa arvoa 200 W.

Taulukko 3. Lämpimän käyttöveden kiertojohtoon lämpöhäviön ominaisteho ja lämpimän käyttöveden kiertojohtoon kytkettyjen lämmityslaitteiden ominaisteho.

Eristystaso	Kiertojohtoon lämpöhäviön ominaisteho $\phi_{lkv,kierto,omin}$
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
Lämmityslaitteiden lukumäärä	Kiertojohtoon kytkettyjen lämmityslaitteiden ominaisteho
lukumäärää ei tiedossa	lisäys kiertojohtoon lämpöhäviön ominaistehoon $\phi_{lkv,kierto,omin}$ +40 W/m
Lukumäärä tiedossa	lämpimän käyttöveden kiertojohtoon kytkettyjen lämmityslaitteiden ominaisteho $\phi_{lkv,lämmitys,omin}$ 200 W/kpl

Mikäli tarkempaa tietoa rakennuksen lämpimän käyttöveden kiertojohtoon pituudesta ei ole, voidaan käyttää taulukon 4 rakennustyyppikohtaista arvoa kiertojohtoon ominaispituudelle. Ominaispituuden avulla saadaan kiertojohtoon pituus, kun se kerrotaan rakennuksen lämmitetyllä nettoalalla.

Taulukko 4. Kiertojohtoon pituus lämmitettyä nettoalaa kohti.

Rakennustyyppi	Kiertojohtoon ominaispituus, $m/m^2$
Erillinen pientalo sekä rivi- ja ketjutalot	0,043
Asuinkerrostalo	0,043
Toimistorakennus	0,020
Liikerakennus	0,020
Majoitusliikerakennus	0,043
Opetusrakennus ja päiväkotit	0,020
Liikuntahalli	0,020
Sairaala	0,043

#### 4.3.4 Pumppu

Lämpimän käyttöveden kiertopumpun käyttämä energia  $W_{lkv,pumppu}$  (kWh/a) voidaan laskea kaavalla (9). Pumpun käyttöaikana  $t_{lkv,pumppu}$  käytetään arvoa 24h/vrk. Mikäli tarkempaa tietoa pumpun tehontarpeesta ei ole, voidaan pumpun ottotehona  $P_{lkv,pumppu}$  käyttää virtaamasta riippuvaa arvoa 200 W/dm<sup>3</sup>/s kerrottuna mitoitettulla virtaamalla.

$$W_{lkv,pumppu} = P_{lkv,pumppu} t_{lkv,pumppu} \frac{365}{1000} \quad (9)$$

jossa

$P_{lkv,pumppu}$  lämpimän käyttöveden kiertojohtoon pumpun ottoteho, W

$t_{lkv,pumppu}$  lämpimän käyttöveden kiertojohdon pumpun käyttöaika, h/vrk.

## 4.4 Lämmöntuotto

D5:ssä lämmitysjärjestelmän energiankulutus koostu lämmitysenergian  $Q_{lämmitys}$  ja sähköenergian  $W_{lämmitys}$  kulutuksesta, jotka lasketaan erikseen. Lämmitysjärjestelmän lämmitysenergian kulutus  $Q_{lämmitys}$  lasketaan, lämpöpumppuja lukuun ottamatta (lasketaan erikseen), kaavalla (10)

$$Q_{lämmitys} = \frac{Q_{lämmitys,tilat} + Q_{lämmitys,iv} + Q_{lämmitys,lkv}}{\eta_{tuotto}} \quad (10)$$

jossa

$Q_{lämmitys,tilat}$  tilojen lämmityksen energiankulutus lämmönluovutuksesta lämmöntuottoon, kWh  
 $Q_{lämmitys,iv}$  ilmanvaihdon lämmityksen energiakulutus, kWh  
 $Q_{lämmitys,lkv}$  lämpimän käyttöveden lämmityksen energiankulutus lämmöntuotosta vesipisteille asti, kWh  
 $\eta_{tuotto}$  lämmitysenergian tuoton hyötysuhde tilojen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden lämmityksessä (taulukot 5 ja 6), -

Jos rakennuksessa on useampia lämmöntuottojärjestelmiä, lasketaan lämmitysenergiankulutus järjestelmittäin sen tuoton hyötysuhteen ja järjestelmään kohdistuvan lämmöntarpeen avulla. Varaavien tulisijojen kokonaisvuosihyötysuhteen luovutuksesta ostoenergiaan voidaan D5:n mukaisesti käyttää lukuarvoa 0,60 ellei tarkempia tietoja ole käytettävissä. Tämä opas ei sisällä tulisijojen hyötysuhteen tarkempaa määrittämistä.

Lämmitysjärjestelmän sähköenergian kulutus  $W_{lämmitys}$  lasketaan kaavalla (11)

$$W_{lämmitys} = W_{tilat} + W_{tuotto,apu} + W_{lkv,pumppu} \quad (11)$$

jossa

$W_{tilat}$  lämmönluovutuksen ja lämmönjaon apulaitteiden sähköenergiankulutus, kWh  
 $W_{tuotto,apu}$  lämmöntuottojärjestelmän apulaitteiden sähköenergian kulutus, kWh  
 $W_{lkv,pumppu}$  lämpimän käyttöveden kiertopumpun käyttämä sähköenergia, kWh

Lämpöpumppujärjestelmän ja aurinkolämpöjärjestelmän sähkönkäyttö lasketaan erikseen, laskenta on esitetty erillisissä oppaissa. Mikäli osa lämmityksestä on sähkölämmitystä, lasketaan se erikseen muusta lämmitysenergiasta ja esitetään yhdessä apulaitteiden sähköenergian kanssa lämmitysjärjestelmän sähköenergiankulutuksena.

### 4.4.1 Lämmöntuoton apulaitteiden sähkönkäyttö

Lämmöntuottojärjestelmän apulaitteiden (esimerkiksi polttimen) sähkönkulutus  $W_{tuotto}$  lasketaan kaavalla (12). Taulukossa 5 esitetään apulaitteiden ominaiskulutuksen ohjearvoja, joita voidaan käyttää, mikäli ominaiskulutuksia ei tunneta tarkemmin.

$$W_{tuotto} = e_{tuotto} A \quad (12)$$

jossa

$e_{tuotto}$  apulaitteiden ominaiskulutus (taulukko 5), kWh/(m<sup>2</sup>a)

A lämmitetty nettoala, m<sup>2</sup>

Taulukko 5. Erillisten pientalojen sekä rivi- ja ketjutalojen kattiloiden ja KL-lämmönjako-keskusten hyötysuhteiden ja sähkönkulutuksen ohjearvoja. Huonekohtaisen sähkölämmityksen hyötysuhteena käytetään arvoa  $\eta_{\text{tuotto}}=1$  kaikille kuukausille ja koko vuodelle. Huonekohtaisen sähkölämmityksen lämmöntuoton sähkönkulutuksen ohjearvo = 0 kWh/(m<sup>2</sup>a).

Kuukausi	standardi öljy/kaasu	kondenssi öljy	kondenssi kaasu	pelletti kattila	puukattila energia- varaajalla	sähkö- kattila	kauko- lämpö
1	0,86	0,92	0,98	0,81	0,78	0,94	0,96
2	0,86	0,92	0,98	0,81	0,78	0,93	0,96
3	0,83	0,89	0,94	0,77	0,71	0,90	0,95
4	0,79	0,85	0,91	0,73	0,75	0,86	0,93
5	0,72	0,79	0,84	0,65	0,69	0,79	0,91
6	0,67	0,73	0,78	0,60	0,55	0,74	0,91
7	0,68	0,74	0,78	0,60	0,67	0,74	0,91
8	0,67	0,73	0,78	0,60	0,57	0,74	0,91
9	0,73	0,79	0,84	0,66	0,67	0,79	0,91
10	0,80	0,86	0,91	0,74	0,76	0,87	0,94
11	0,83	0,90	0,95	0,78	0,74	0,91	0,95
12	0,85	0,91	0,97	0,80	0,79	0,93	0,96
<b>Vuosi- hyötysuhde</b>	<b>0,81</b>	<b>0,87</b>	<b>0,92</b>	<b>0,75</b>	<b>0,73</b>	<b>0,88</b>	<b>0,94</b>
<b>Sähkö kWh/(m<sup>2</sup>a)</b>	<b>0,99</b> <sup>(1)</sup> <b>0,59</b> <sup>(2)</sup>	<b>1,07</b>	<b>0,68</b>	<b>0,77</b>	<b>0,38</b>	<b>0,02</b>	<b>0,6</b>

<sup>1)</sup> öljy

<sup>2)</sup> kaasu

Taulukko 6. Muiden (isompien) rakennusten kattiloiden ja KL-lämmönjakokeskusten hyötysuhteiden ja sähkönkulutuksen ohjearvoja. Huonekohtaisen sähkölämmityksen hyötysuhteena käytetään arvoa  $\eta_{\text{tuotto}}=1$  kaikille kuukausille ja koko vuodelle. Huonekohtaisen sähkölämmityksen lämmöntuoton sähkönkulutuksen ohjearvo = 0 kWh/(m<sup>2</sup>a).

Kuukausi	standardi öljy/kaasu	kondenssi öljy	kondenssi kaasu	pelletti- kattila	puukattila energiavaraajalla	kaukolämpö
1	0,92	0,97	1,03	0,87	0,84	0,98
2	0,92	0,97	1,03	0,88	0,84	0,98
3	0,91	0,96	1,02	0,86	0,83	0,98
4	0,88	0,93	0,99	0,80	0,80	0,95
5	0,78	0,83	0,88	0,64	0,71	0,88
6	0,68	0,73	0,77	0,51	0,60	0,83
7	0,67	0,71	0,76	0,50	0,59	0,82
8	0,67	0,72	0,77	0,51	0,61	0,83
9	0,77	0,82	0,87	0,63	0,72	0,88
10	0,88	0,93	0,99	0,81	0,82	0,96
11	0,91	0,96	1,02	0,86	0,83	0,98
12	0,92	0,97	1,03	0,88	0,84	0,99
<b>Vuosi- hyötysuhde</b>	<b>0,90</b>	<b>0,95</b>	<b>1,01</b>	<b>0,84</b>	<b>0,82</b>	<b>0,97</b>
<b>Sähkö kWh/(m<sup>2</sup>a)</b>	<b>0,24</b> <sup>(1)</sup> <b>0,11</b> <sup>(2)</sup>	<b>0,25</b>	<b>0,12</b>	<b>0,13</b>	<b>0,25</b>	<b>0,07</b>

<sup>1)</sup> öljy

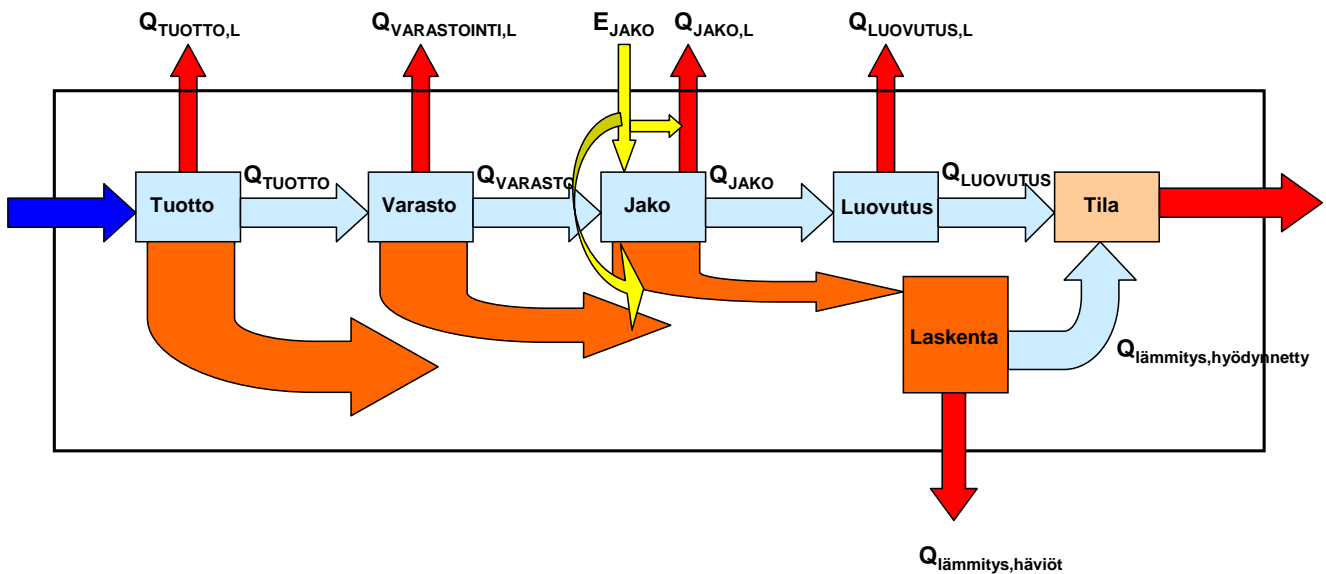
<sup>2)</sup> kaasu



## 5 Tilojen lämmityksen energiaketju

Tässä esitetty menetelmä kuvaa rakennuksen tilojen lämmityksen energiaketjun lämpöhäviöiden ja apusähköenergian laskennan sekä esittää proseduurit D5:ssä käytettyjen hyötysuhteiden ja taulukoitujen lämpöhäviöiden määrittämiseen. Laskenta alkaa tilojen lämmityksen nettotarpeesta ja päättyy lämmöntuottoyksikön polttoaine-energiaan.

Seuraavassa käydään läpi tilojen lämmitysketjun lämpöhäviöiden ja hyötysuhteiden määrittämistä yksittäisille komponenteille sekä lämmitysjärjestelmän kokonaishyötysuhteen muodostumista yksittäisten komponenttien hyötysuhteista.



Kuva 5. Tilojen lämmityksen jakeluketju ja siihen liittyvät energiavirrat. Kuvassa apulaitteiden sähköenergian käyttöön liittyvät energiavirrat on merkitty vain jakoverkoston osajärjestelmälle, apulaitteiden sähkönkäyttö voi liittyä kaikkiin osajärjestelmiin.

Järjestelmien ja komponenttien D5:ssä esitetyt hyötysuhteet on laskettu seuraavassa esitettävällä systematiikalla, jota tulee noudattaa myös silloin kun (1) halutaan laskea uusi taulukkoarvon jollekin uudelle komponentille tai (2) halutaan tuottaa tarkemmin juuri tietylle tuotteelle ominaiset lämpöhäviöt ja hyötysuhteen tai (3) halutaan määrittää häviö ja hyötysuhde tietyn rakennuksen suunnitteluratkaisulle. Tarkkaan ottaen saman järjestelmän tai komponentin lämpöhäviö ja hyötysuhde on erisuuruinen erilaisen lämmöntarpeen omaaville rakennuksille, johtuen lämpökuormien erilaisesta hyödyntämisasteista erilaisille lämmöntarpeen ja lämpökuormien suhteille.

Lämmittämättömässä tilassa oleville järjestelmän osille (esimerkiksi ulkona tai maassa kulkevat lämmönjakoputket) lämpöhäviöt ovat suoraan häviöitä eikä niitä tarvitse laskea edellä esitetyn prosessin mukaisesti. Liitteissä on esitetty yleisimpien tapausten osalta ulos suuntautuvien lämpöhäviöiden laskenta. D5:n hyötysuhdetaulukoissa on lattialämmityksen, kattolämmityksen ja alapohjaan asennettujen putkien ulos tai maahan johtuva lämpöhäviö sisällytetty hyötysuhteisiin.

Hyötysuhteiden laskentasystematiikka lämmitettävissä tiloissa oleville lämmitysjärjestelmän komponenteille, kun lämpöhäviöt tulevat säätämättöminä lämpökuormina tarkasteltavaan tilaan, on tarkasteltavalle jaksolle (kuukausi, vuosi, ym.) seuraava:

1. Laske rakennuksen nettolämmöntarve  $Q_{\text{lämmitys,tilat,netto,1}}$  tarkasteltavalle jaksolle (esim. kuukausi) ilman tarkasteltavaa komponenttia/järjestelmää. Menetelmänä voi olla D5 menetelmä, EN 13790 standardi tai joku muu hyväksyttävissä oleva tarkempi simulointiohjelma
2. Laske komponentin tai järjestelmän lämpöhäviöt (= sekä lämpökuormat tarkasteltavaan tilaan että lämpöhäviöt suoraan ulos) kyseessä olevan suunnitteluratkaisun reunaehdoilla. Tämän oppaan liitteissä on esitetty käsinlaskentaan soveltuvia laskentamenetelmiä, lisäksi laskentamenetelmiä on esitetty EN standardeissa.

$$Q_{\text{häviö}} = Q_{\text{häviö,tilaan}} + Q_{\text{häviö,ulos}} \quad (13)$$

3. Laske rakennuksen lämmöntarve  $Q_{\text{lämmitys,tilat,netto,2}}$  komponentin/järjestelmän lämpökuormilla samalla menetelmällä, jolla lämmöntarve laskettiin kohdassa 1. Tarkasteltavan tilan palvelutaso (esim. lämpöolosuhteet) ilman komponenttia (kohta 1) ja komponentin kanssa täytyy olla samoja. Vertailussa käytettävä sisäolosuhde voi olla sisälämpötila, operatiivinen lämpötila tai joku muu paremmin komponentin tai järjestelmän palvelutasoa kuvaava suure.
4. Lasketaan järjestelmän/komponentin hyötysuhde kaavasta

$$\eta_{\text{järjestelmä/komponentti}} = \frac{Q_{\text{lämmitys,tilat,netto,1}}}{Q_{\text{lämmitys,tilat,netto,2}} + Q_{\text{häviö,tilaan}}} \quad (14)$$

jossa

$\eta_{\text{järjestelmä/komponentti}}$	on komponentin/järjestelmän hyötysuhde, -
$Q_{\text{lämmitys,tilat,netto,1}}$	on rakennuksen/tilan nettolämmöntarve ilman tarkasteltavaa komponenttia/järjestelmää, kWh
$Q_{\text{lämmitys,tilat,netto,2}}$	on rakennuksen/tilan nettolämmöntarve kun otetaan huomioon tarkasteltavan komponentin/järjestelmän lämpöhäviöt (=lämpökuormat), kWh
$Q_{\text{häviö,tilaan}}$	on tarkasteltavan komponentin/järjestelmän lämpöhäviöt (=lämpökuormat) tarkasteltavaan tilaan, kWh

Jos komponentin lämpöhäviöt tarkasteltavaan tilaan ( $Q_{\text{lämpöhäviö}}$ ) ovat ko. tilan lämmöntarpeesta riippuvia, niin laskenta joudutaan suorittamaan iteratiivisesti. Näin on esimerkiksi vesikiertoisissa lämmitysjärjestelmissä, joissa jakoputkien lämpöhäviöt riippuvat lämmöntarpeesta. Tämä johtuu suurimmaksi osaksi lämmönluovuttimelta palaavan veden lämpötilan riippuvuudesta lämmönluovutuksesta.

## 5.1 Lämmön luovutus tilassa

Eri lämmönluovutustapoja laskettaessa on tärkeää määritellä järjestelmän tuottama palvelu eli lämpöolot tilassa. Lämpöolojen kokonaisuuden (sisälämpötila, operatiivinen lämpötila, veto, säteilygradientti yms.) vaikutuksen huomioon ottaminen vaatii yleensä erottelukykyisten CFD-simulointiohjelmien käyttöä, joissa ilman lämpötila, ilmavirtaukset, lämmönsiirto rakenteissa (johtuminen + konvektio + säteily) on mallinnettu riittäväällä erottelukyvällä ja joissa näiden lämpöteknisten suureiden vuorovaikutus ihmisen kanssa on otettu huomioon. Liitteissä 1 ja 2 on esitetty eräitä yksinkertaistettuja laskentamenetelmiä lämmönluovutusilmion hahmottamiseen.

Yksittäisen lämmönluovutustavan lämpöhäviön tunnusluku saadaan soveltamalla tässä esitettyä ilmiömallintamista halutulla erottelukyvyllä.

Lämmönluovutuksen lämpöhäviön tunnusluku sisältää erottelukykyisellä tasolla seuraavat ilmiöt:

- lämpötilan kerrostuminen, jolloin huonetilan katossa on lämmityskaudella korkeampi lämpötila kuin alempana
- lämmityslaitteen aiheuttama korkeampi ilman lämpötila paikallisesti (esim. ikkunan lähellä tai lämmityslaitteen takana)
- huonetilan säteily - konvektiosuhteen muuttuminen lämmityslaitteen lämmönluovutuksen takia; lisääntynyt säteilylämmönluovutus lämmityslaitteesta voi lisätä johtumishäviöitä rakenteiden läpi ulos
- ulkoilmaan tai maahan rajoittuviin rakenteisiin integroidun lämmityslaitteen (esim. lattia- tai kattolämmitys) lisääntynyt johtumishäviö ulos
- toisiin lämpimiin tiloihin rajoittuviin rakenteisiin integroidun lämmityslaitteen (esim. lattia- tai kattolämmitys useampikerroksisen rakennuksen välipohjassa) aiheuttama lämpökuorma ja sen epätäydellinen hyödyntyminen toisessa tilassa

## **5.1.1 Luovutuksen häviö**

### **5.1.1.1 Tilassa olevat lämmittimet**

Tilassa olevien lämmittimien (radiaattorit, konvektorit, sähköpatterit, ilmalämmitys) lisälämpöhäviöiden laskenta on esitetty liitteessä 1. Liitteessä esitetyssä laskentamallissa otetaan huomioon lämmönluovuttimen huonetilan ilman pystysuuntaisen lämpötila-kerrostumisen aiheuttama lisälämpöhäviö sekä lämpösäteilyn ja ilmavirtausten aiheuttaman kohonneiden pintalämpötilojen seurauksena olevat lämpöhäviöt. Esitetyllä menetelmällä ei voida laskea huoneilman lämpötilagradienttia tai pintalämpötiloja, vaan ne ovat lähtötietoja, jotka saadaan esimerkiksi laskennallisesti tarkemmilla simulointiohjelmilla tai mittauksista. Liitteen 1 laskentamenetelmä noudattelee pitkälti standardia SFS EN-15316-2-1 täydennettynä pintalämpötilojen avulla laskettavalla menetelmällä.

Laskennan lähtötietoina käytetään huoneilman lämpötilakerrostuneisuutta, pintojen lämpötiloja, rakenneosien U-arvoja, rakenneosien pinta-aloja ja ilman lämpötilaa.

### **5.1.1.2 Rakenteisiin integroidut lämmittimet**

Rakenteisiin integroitujen lämmittimien (vesikiertoiset ja sähkölämmitteiset) lämpöhäviöt lasketaan liitteessä 1 esitetyllä menetelmällä. Esitetty menetelmä pitää sisällään standardin SFS EN-15316-2-1 menetelmän täydennettynä useampikerroksisten rakennusten lattia-/kattolämmityksen laskentaproseduurilla ja rakenteisiin integroitujen lämmityspotkien yksityiskohtaisella lämpöhäviöiden laskentamenetelmällä.

Laskennan lähtötietoina tarvitaan lämmittimen palvelevan tilan lämmöntarve ja rakenneosan molemminpuoliset lämpötilat tarkastelujaksolla sekä rakenneosaan integroidun lämmittimen pinta-ala ja rakennekerrosten lämpövastukset.

## **5.1.2 Säätojärjestelmän laskenta**

Tilan lämmityksen säädön mallintamiseen käytetään samaa logiikkaa kuin lämmön luovutuksenkin osalta. Olennaista on määrittää säätojärjestelmän tilan lämpöolosuhteille tuottama palvelu.

### 5.1.3 Lämmönluovutuksen hyötysuhde

Standardin SFS EN 15316-2-1 mukaan lämmönluovutuksen lämpöhäviöt muodostuvat kolmesta eri komponentista, jotka ovat rinnakkaisia eli lämpöhäviöt eivät ole riippuvaisia toisistaan.

Lämpöhäviöt on jaoteltu seuraavasti: 1) lämpötilan pystysuuntaisen kerrostuman aiheuttama lämpöhäviö, 2) rakenteiden läpi suoraan ulos suuntautuvat lämpöhäviöt ja 3) säädön epäideaalisuuksien lisälämpöhäviö. Lämpöhäviöiden laskenta on esitetty liitteessä 1. Rinnan olevat hyötysuhteet yhdistetään yhdeksi kokonaishyötysuhteeksi kaavalla

$$\eta_{\text{luovutus}} = \frac{1}{\frac{1}{\eta_{\text{kerrostuma}}} + \frac{1}{\eta_{\text{rakenne}}} + \frac{1}{\eta_{\text{säätö}}} - 2} \quad (15)$$

Lämmönjaon lämpöenergian tarve, jota tarvitaan lämmönjaon hyötysuhdetta määritettäessä, lasketaan kaavasta

$$Q_{\text{lämmitys, luovutus}} = \frac{Q_{\text{lämmitys, tilat, netto}}}{\eta_{\text{luovutus}}} \quad (16)$$

On syytä huomauttaa, että tilojen nettoenergiatarvetta laskettaessa on otettava huomioon lämpimän käyttövesiverkoston lämpökuormitus.

## 5.2 Lämmönjaon lämpöhäviöt ja pumppauksen laskenta

Jakojärjestelmän lämpöhäviön laskenta on esitetty liitteessä 2 erilaisille jakojärjestelmille. Laskentamenetelmässä käsitellään ilmaan tai maahan asennetun pyöreän tai suorakaiteenmuotoisen putken lämpöhäviöiden laskenta ympäristöön. Laskenta perustuu fysikaalisiin malleihin, joissa on sovellettu EN ISO 12241 standardia. Lämpöhäviöiden laskentamenetelmä on esitetty myös standardissa SFS EN-15316-2-3, jota voidaan myös käyttää laskentaan. Kyseisessä standardissa on esitetty radiaattori- ja lattialämmitysverkoston meno-, paluu- ja keskilämpötilan laskentayhtälöt osakuormitustilanteille, joita voidaan käyttää ko. verkostojen lämpöhäviöiden laskennassa. Verkoston lämpötilojen laskenta on esitetty liitteessä 2.

Laskennassa tarvitaan lähtötietoina putken ja putkieristyksen geometria ja materiaalitiedot sekä lämmönsiirtoaineen ja ympäristön keskimääräinen lämpötila tarkastelujaksolla. Putkieristyksen mitoitus ja materiaaliominaisuuksia on esitetty ohjekorteissa LVI 50-10345 ja LVI 50-10344 sekä SFS Käsikirjassa 132 Teollisuuseristys.

Lämmönjaon lämpöhäviöistä lämmityksessä hyödynnettävä osuus lasketaan D5:n tai jonkun muun hyväksytyin laskentamenetelmän mukaisesti. Ulkona tai maassa sijaitsevien putkien lämpöhäviöitä ei voi hyödyntää lämmityksessä.

Vesikiertoisen lämmönjaon pumppauksen ja ilmalämmitysjärjestelmän puhaltimien sähkökulutuksen laskenta on esitetty liitteessä 2. Pumppauksen energiankäytön laskemiseksi on tunnettava laskentajakson keskimääräinen verkoston painehäviö, virtaama ja pumpun/puhaltimen hyötysuhde. Standardissa SFS EN-15316-2-3 on esitetty yksityiskohtainen vesikiertoisten

järjestelmien pumppausenergian laskentamenetelmä, joka ottaa huomioon verkoston osakuormituksen ja pumpputyypin (taajuusmuuttajaohjaus), mutta sitä ei suositella käytettävän ennen kuin menetelmän sisältävien parametrien soveltuvuus Suomen olosuhteisiin on varmennettu.

## 5.2.1 Lämmönjaon hyötysuhde

Lämmönjaon hyötysuhde lasketaan kaavalla

$$\eta_{\text{jakelu}} = \frac{Q_{\text{lämmitys,luovutus}}}{Q_{\text{lämmitys,jako}} + (Q_{\text{häviö,jako,hyödynnettävissä}} + Q_{\text{apu,häviö,hyödynnettävissä}})} \quad (17)$$

jossa

$Q_{\text{lämmitys,luovutus}}$	on rakennuksen/tilan nettolämmöntarve + lämmönluovutuksen lämpöhäviöt ilman lämmönjakoverkoston lämpöhäviöitä, kWh
$Q_{\text{lämmitys,jako}}$	on lämmityksen lämmöntarve kun jakeluverkoston hyödynnettävissä olevat lämpöhäviöt on otettu huomioon, kWh
$Q_{\text{häviö,jako,hyödynnettävissä}}$	on tarkasteltavan jakoverkoston lämpöhäviöt (=lämpökuormat) tarkasteltavaan tilaan, kWh
$Q_{\text{apu,häviö,hyödynnettävissä}}$	on tarkasteltavan jakeluverkoston apulaitteiden sähkön kulutuksesta tarkasteltavaan tilaan tulevat lämpöhäviöt (=lämpökuormat), kWh

Lämmönjaon hyötysuhdetta laskettaessa on huomattava, että tilojen lämmitysenergiantarpeeseen on laskettava mukaan tilojen nettoenergiantarpeen lisäksi lämmönluovutuksen lämpöhäviöt. Lisäksi suoraan ulos menevät lämmönjaon lämpöhäviöt lasketaan erikseen.

Koska lämmönjaon lämpöhäviöt riippuvat lämmöntarpeesta, on lämmönjaon hyötysuhde laskettava iteratiivisesti. Lämmönjaon lämpöhäviöihin lasketaan mukaan apulaitteiden (=pumppu) sähkökäytöstä lämmityksessä hyödynnettävissä oleva osuus ja toisaalta lämmöntarpeesta on vähennettävä apulaitteiden sähkökäytöstä lämmityksessä suoraan hyödyntyvä osuus

Iterointiproseduuri käsinlaskennassa on seuraava:

1. Lasketaan rakennuksen nettolämmöntarve ilman lämmönjaon lämpöhäviöitä.
2. Lisätään rakennuksen nettolämmöntarpeeseen lämmönluovutuksen lämpöhäviöt
3. Määritellään lämmönjakoverkoston meno- ja paluulämpötilat verkoston mitoituslämpötilojen ja laskentajaksolla vallitsevan keskimääräisen ulkolämpötilan sekä verkoston kuormitusolosuhteiden perusteella
4. Lasketaan lämmönjaon lämpöhäviöt ja niistä hyödynnettävissä olevat osuudet suunnitteluratkaisun tiedoilla
5. Hyödynnettävissä olevat lämmönjaon lämpökuormat viedään lämpökuormaksi rakennuksen lämmöntarvelaskentaan ja lasketaan uusi lämmöntarve
6. Palataan kohtaan 1 ja jatketaan iterointia, kunnes lämmöntarve saavuttaa riittävän tarkkuuden
7. Lasketaan hyötysuhde kaavasta 17

Lämmöntuoton lämpöenergian tarve, jota tarvitaan lämmöntuoton hyötysuhdetta määritettäessä, lasketaan kaavasta

$$Q_{\text{lämmitys,tuotto}} = \frac{Q_{\text{lämmitys,jakelu}}}{\eta_{\text{jakelu}}} - Q_{\text{apu,häviö,hyödyntyvä}} + Q_{\text{jakelu,ulos}} \quad (18)$$

jossa

$Q_{\text{apu,häviö,hyödyntyvä}}$  on apulaitteiden sähkön kulutuksesta suoraan lämmönjaossa hyödyntyvä osuus (=verkoston virtaamaan ja painehäviöön verrannollinen) , kWh  
 $Q_{\text{jakelu,ulos}}$  on lämmönjaon häviöt lämmittämättömään tilaan, kWh

### 5.3 Lämmönluovutuksen ja -jaon yhdistetty hyötysuhde

Sarjassa olevat lämmönluovutuksen ja lämmönjaon hyötysuhteet voidaan yhdistää yhdeksi kokonaishyötysuhteeksi kertomalla hyötysuhteet keskenään.

$$\eta_{\text{lämmitys,tilat}} = \eta_{\text{jakelu}} \eta_{\text{luovutus}} \quad (19)$$

D5:n talukossa 6.1 on esitetty juuri näin laskettuja hyötysuhteen arvoja eri lämmitysratkaisuille.

### 5.4 Lämmön varastointi

Lämmitysjärjestelmissä käytettävien erillisten energiavarastojen lämpöhäviöiden laskenta on esitetty liitteessä 3. Lämmityskattiloihin integroidut varaajat käsitellään liitteessä 4. Laskenta ei ota kantaa lämpövarastona käytettyyn aineeseen (vesi, faasimuutosaine, ym.) vaan se on yleispätevä kaikille varastotyypeille. Lämpöhäviöiden laskenta perustuu puhtaasti fysikaaliseen malliin. Energiavarastojen lämpöhäviöiden määrittämiseen ei toistaiseksi ole EN- standardia, mutta joissakin standardeissa on esitetty järjestelmään integroidun varaajan lämpöhäviöiden laskenta (esim. lämpöpumpputandardi). Lisäksi kehitteillä on EuP laskentamenetelmät varaajahäviöiden määrittämiseksi.

Lämpöhäviöiden laskemiseksi on tunnettava varaston geometria (vaipan pinta-ala), keskimääräinen varaajan lämpötila tarkastelujaksolla (esim. kuukausi) ja ympäristön lämpötila vastaavalla tarkastelujaksolla. Tarvittavat eristemateriaalien tiedot saadaan SFS-Käsikirjasta 132 Teollisuuseristys ja LVI-ohjekortista LVI 50-10344.

## 6 Lämpimän käyttöveden lämmityksen energiaketju

Tässä esitetty menetelmä kuvaa rakennuksen lämpimän käyttöveden energiaketjun häviöiden ja apusähköenergian laskennan. Tarkennettu laskenta (=muu kuin suoraviivainen D5-menetelmä) alkaa kulutuspisteen (hanojen) nettotarpeesta ja päättyy LKV:n lämmöntuottoyksikön polttoaine-energiaan. Lämpimän käyttöveden lämmityksen D5-menetelmän mukainen laskenta on esitelty tämä oppaan luvussa 4.3.

Hyötysuhteiden laskenta lämpimän käyttöveden siirrolle tapahtuu vastaavalla systematiikalla kuin edellä esitetty tilojen lämmityksen energiaketjun hyötysuhteiden laskenta. Lämpimän käyttöveden siirron D5:ssä esitetyt hyötysuhteet on laskettu seuraavassa esitettävällä systematiikalla, jota tulee noudattaa myös silloin kun (1) halutaan laskea uusi taulukkoarvo jollekin uudelle komponentille tai (2) halutaan tuottaa tarkemmin juuri kyseiselle tuotteelle ominaiset lämpöhäviö ja hyötysuhde tai (3) halutaan määrittää häviö ja hyötysuhde tietylle rakennuksen suunnitteluratkaisulle. Järjestelmän lämpöhäviö ja hyötysuhde määräytyvät erisuuruinen erilaisen lämpimän käyttöveden tarvitseman lämmitysenergian omaaville rakennuksille. Huomioitavaa on että hyötysuhteen ollessa D5-laskennan mukainen, tulee varastoinnin ja kierron häviöt laskea lisähäviöinä, hyötysuhteen

ulkopuolisina tekijöinä. Laskettava siirron hyötysuhde,  $\eta_{lkv}$ , kattaa siis ainoastaan käyttöveden jakojohdon häviöt.

Laskentamatiikka lämpimän käyttöveden siirron hyötysuhteelle on seuraava tarkasteltavalle jaksolle (kuukausi, vuosi, ym.):

1. Laske lämpimän käyttöveden nettoenergiantarve  $Q_{lkv,netto}$  tarkasteltavalle jaksolle. Menetelmänä voi olla D5/D3 menetelmä, SFS-EN 15316-3-1 standardi tai joku muu tarkempi laskentamenetelmä.
2. Laske lämpimän käyttöveden siirron (pelkkä jakajohto) lämpöhäviöt kyseessä olevan suunnitteluratkaisun reunaehdoilla soveltuvalla laskentamenetelmällä. Tämän raportin liitteissä on esitetty soveltuvia laskentamenetelmiä, lisäksi voidaan käyttää esimerkiksi standardin SFS-EN 15316-3-2 menetelmiä tai muulla laskentamenetelmällä.
3. Lasketaan lämpimän käyttöveden siirron (pelkkä jakajohto) hyötysuhde kaavalla

$$\eta_{lkv} = \frac{Q_{lkv,netto}}{Q_{lkv,siirto} + Q_{lkv,netto}} \quad (20)$$

jossa

$\eta_{lkv}$  on lämpimän käyttöveden siirron (pelkkä jakajohto) hyötysuhde, -  
 $Q_{lkv,netto}$  on nettolämpöenergiantarve, kWh tai MJ  
 $Q_{lkv,siirto}$  on lämpimän käyttöveden siirron lämpöhäviöenergia, joka kattaa ainoastaan jakojohdon häviöt, kWh tai MJ

Huomioitavaa on että laskettaessa D5-laskennan mukaista hyötysuhdetta, tulee varastoinnin ja kierron häviöt laskea lisähäviöinä, hyötysuhteen ulkopuolisina tekijöinä. Laskettava siirron hyötysuhde,  $\eta_{lkv}$ , kattaa siis ainoastaan käyttöveden jakojohdon häviöt.

Mikäli lämpimän käyttöveden lämmityksen lämpöhäviöt halutaan laskea D5-menetelmää tarkemmin, ei ole tarpeen laskea D5-laskennan mukaista hyötysuhdetta. Tällöin lämpöhäviöiden laskenta voidaan suorittaa tämän oppaan menetelmin tai jollakin muulla tarkemmalla laskentamenetelmällä.

## 6.1 Lämmön luovutus veden kulutuspisteessä

### 6.1.1 Luovutuksen häviö

Lämpimän käyttöveden luovutuksen (odotusaika) lämpöhäviö riippuu päätelaitteen (hana ym.) ominaisuuksista. Liitteessä 5 on esitetty menetelmä LKV:n odotusajasta riippuvan lämpöhäviön laskemiseksi. Laskennassa käyttöveden kulutuspisteessä tulevia lämpöhäviöitä ei hyödynnetä tilojen lämmityksessä. Luovutuksen häviö lasketaan vain kierrotoimissa tapauksissa.

## 6.2 LKV jako

### 6.2.1 Lämpöhäviöt ja häviöistä hyödyksi saatava lämpö

Lämpimän käyttöveden jakeluverkostotyyppinä on neljä: 1) ei kiertojohtoa, 2) kiertojohto, 3) kiertojohto + lämmityslaitteita (ns. rätipattereita) ja 4) sähköinen saattolämmitys. Seuraavassa esitetään lämpöhäviöiden laskenta eri jakeluverkostotyypeille.

1) Kiertojohdottomassa tapauksessa lämpimän käyttöveden jakoputkien lämpöhäviöön vaikuttaa odotusaika ja kytkentäjohdon käyttöjakson pituus. Laskennassa oletetaan, että käyttökerran alussa hukattu vesi on jäähtynyt jakeluverkostossa kokonaan. Odotusajan lämpöhäviö lasketaan seuraavien parametrien avulla:

- odotusaika (s)
- nimellisvirtaama (dm<sup>3</sup>/s)
- käyttökertojen lukumäärä (kertaa/vrk/asukas)
- sekoitetun veden lämpötila +40 °C, kylmän veden lämpötila +5 °C
- asukkaiden lukumäärä

Liitteessä 5 on esitetty menetelmä LKV:n odotusajasta riippuvan lämpöhäviön laskemiseksi.

Käyttöjakson aikainen jakoputkien lämpöhäviö lasketaan liitteessä 2 esitetyn lämmönjakoverkoston lämpöhäviöiden laskentamenetelmää soveltaen tai yhdellä liitteen 5 laskentamenetelmistä kohdassa 4.3 ”Lämpimän käyttöveden jakojohdon lämpöhäviöiden laskenta”.

2) Kiertojohdollisessa tapauksessa lämpöhäviöiden laskennassa oletetaan, että kulutuspiiste on riittävän lähellä kiertojohtoa, jolloin lämpimän käyttöveden kiertojohdon häviö on ainoa merkittävä häviökomponentti. Kiertojohdon lämpöhäviöt voidaan laskea soveltaen liitteen 2 menetelmää. Putkipituuteen on laskettava mukaan varsinaisen kuumavesiputken lisäksi kiertoputkien pituus. Vaihtoehtoisesti laskentamenetelmänä voidaan käyttää liitteen 5 kohdan 4.1 ’Lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviöiden laskenta’ menetelmää.

3) Kiertojohdollinen ja lämmityslaitteita sisältävän verkoston lämpöhäviöt lasketaan kuten kohdassa 2, mutta lisäksi lasketaan lämmityslaitteiden teho, joka voidaan olettaa kohtuullisella tarkkuudella vakioksi ympäri vuoden. Lämmityslaitteiden (ns. räppipattereiden) huomioiminen laskennassa voidaan suorittaa oppaan kohdan 4.3.3 mukaisesti.

4) Saattolämmityksellä varustetun verkoston lämpöhäviöt voidaan laskea kuten kohdassa 2, mutta olettaen, että putkipituus on vain puolet kiertojohdolla varustetusta tapauksesta. Jakeluverkostojen tilaan tuoma lämpöhäviö voidaan osin hyödyntää tilojen lämmityksessä. Hyödyntäminen lasketaan kappaleessa 5 kuvatulla tavalla. Saattolämmityksen lämpöenergiähäviö voidaan laskea myös liitteen 5 kohdan 4.2 menetelmin.

## 6.2.2 Apulaitteiden sähkönkulutus

LKV-jakeluverkoston kiertojohdon kiertovesipumppujen sähkönkulutus lasketaan soveltaen liitteen 5 menetelmiä.

## 6.3 LKV varastointi

Lämpimän käyttöveden varastojen lämpöhäviö lasketaan liitteen 3 mukaisesti.

Lämpöhäviöiden laskemiseksi on tunnettava LKV-varaston geometria (vaipan pinta-ala), keskimääräinen varaajan lämpötila tarkastelujaksolla (esim. kuukausi) ja ympäristön lämpötila vastaavalla tarkastelujaksolla. Tarvittavat eristemateriaalien tiedot ovat saatavilla esimerkiksi SFS-Käsikirjasta 132 Teollisuuseristys ja LVI-ohjekortista LVI 50-10344.

Perinteisen lämpimän käyttöveden varaajan laskemisessa tarvittava laskentajakson keskilämpötila on 70 °C, mikäli muuta ei osoiteta. Aurinkolämpövaraajien lämpöhäviöiden laskennassa tulee käyttää valmistajan ilmoittamia arvoja.



LKV-varaajien tilaan tuoma lämpöhäviö voidaan osin hyödyntää tilojen lämmityksessä. Hyödyntäminen lasketaan kappaleessa 5 kuvatulla tavalla.

Lämpimän käyttöveden varastoinnin häviö voidaan määrittää myös oppaan kappaleen 4.3.2 mukaisesti (D5-menetelmä).

## **7 Koneellisen ilmanvaihdon lämmityksen energiaketju**

Tässä esitetty menetelmä kuvaa rakennuksen koneellisen ilmanvaihdon lämmityksen energiaketjun häviöiden ja apusähköenergian laskennan. Laskenta alkaa ilmanvaihtokoneen tuloilman esi- ja jälkilämmityksen nettotarpeesta ja päättyy lämmöntuottoyksikön polttoaine-energiaan. Tämä laskenta käsittelee vain ilmanvaihtokoneessa tapahtuvan tuloilman lämmityksen. Vuotoilman ja alilämpöisen tuloilman lämmittämisen huonelämpötilaan tarvitsemat energiat ovat mukana tilojen lämmityksen nettoenergiantarpeessa.

Mikäli tuloilmaa ei lämmitetä IV-koneessa (koneellinen poistoilmajärjestelmä, painovoimainen ilmanvaihto, lämmittimet puuttuvat iv-koneesta yms.), tämän kappaleen laskentaa ei sovelleta. Tällöin ilmavaihdon lämpöhäviöt ovat D5-menetelmästä johtuen kokonaisuudessaan tilojen lämmityksen nettoenergiantarpeessa mukana.

### **7.1 Lämmön luovutus ilmanvaihtokoneessa**

#### **7.1.1 Luovutuksen häviö**

Ilman lämmitykseen käytetään vesikiertoisissa järjestelmissä patteria, jossa vesi kiertää kupari- tai teräsputkissa, jotka ovat lämmönsiirtymisen tehostamiseksi varustettu ulkopuolisella rivoituksella (rivoitus usein alumiinia). Vesipatterissa putket ovat usein lenkitettyinä siten, että lenkkien päät tulevat ulos patterista, jolloin mm. näistä lenkeistä aiheutuu lämpöhäviöitä. Tässä oppaassa ei ole esitetty lämmityspattereiden lämpöhäviöiden laskentaan erityistä menetelmää ja häviöt on D5 laskennassa oletettu vähäisiksi verrattuna muihin häviöihin. Jos häviöt ovat määriteltävissä joko mittamalla tai laskemalla tai ne ovat saatavissa tuotetietona, niin lämpöhäviöistä määritellään lämmityksessä hyödynnettävissä oleva osuus, josta käytetyn laskentamenetelmän (D5 tai joku muu hyväksytty menetelmä) mukaisesti määritellään todellinen häviö ja toisaalta lämmityksessä hyödyntynyt osuus.

#### **7.1.2 Säätojärjestelmän laskenta**

Säädön lämpöhäviön laskentaan ei ole yksinkertaista laskentatapaa, vaan laskelmat on suoritettava kehittyneillä simulointiohjelmilla, joilla on mahdollista kuvata dynaamisesti koko prosessin toimintaa. Lisäksi ilmanvaihtokoneen lämmityspatterin säätöhäviötä ei voi määrittää tarkastelemalla pelkästään lämmityspatterin säätöä, vaan tarkastelussa on oltava lisäksi mukana rakennus tai tila, jota kyseessä oleva ilmanvaihdon lämmityspatteri palvelee sekä lämmitysjärjestelmä säätöineen. Lämmityspatterin säädön vaikutus lämmitysenergiankulutukseen saadaan tällöin vertailulaskelmilla, jossa tarkasteltavan ilmanvaihdon lämmityspatterin säätötulosta (energiankulutusta) valitulla säätimellä verrataan ideaalisäädöllä laskettuun energiankulutukseen.

## 7.2 Lämmönjako

Vesikiertoisen lämmönjaon lämpöhäviöt lasketaan soveltaen liitteessä 2 esitettyä laskentamenetelmää. Lämpöhäviöiden perusteella on lämmönjakelulle laskettavissa hyötysuhde kappaleen 5.2 menettelyn mukaan. Jos ilmanvaihtojärjestelmä sijaitsee teknisessä tilassa, johon tulee lämpökuormia myös muista järjestelmistä, niin lämpöhäviöistä lämmityksessä hyödynnettävä osuus on määritettävä tilakohtaisesti erikseen tekniselle tilalle.

Ilmanvaihtokoneessa olevan sähkölämmityksen jakelujohdon resistiiviset häviöt voidaan olettaa mitättömiksi.

## 7.3 Lämmön varastointi

Ilmanvaihdon lämmityspiiriin liittyvän lämpövaraston lämpöhäviöiden laskennassa sovelletaan liitteessä 3 esitettyä lämmitysjärjestelmien energiavarastojen lämpöhäviöiden laskentaa. Lämpöhäviöistä lämmityksessä hyödyntyvä osuus lasketaan kappaleen 5 laskentatapaa noudattaen. Jos varaaja sijaitsee teknisessä tilassa, johon tulee lämpökuormia myös muista järjestelmistä, niin lämpöhäviöistä lämmityksessä hyödynnettävä osuus on määritettävä tilakohtaisesti erikseen tekniselle tilalle.

# 8 Lämmön tuotto

Tässä osiossa esitellään lämmityksen osajärjestelmien (tilat, LKV, IV) lämmitysenergiantarpeen tuoton laskenta eri järjestelmätyypeille. Päälämmitysjärjestelmät on jaettu kahteen osaan ns. integroituihin ja erillisiin. Integroiduilla tuottoratkaisuilla (esim. öljykattila, kaukolämmön lämmönjakokeskus) tuotetaan samalla polttoaineella samassa tuottoyksikössä kaikkien osajärjestelmien tarvitsema lämmitysenergia. Erillisissä lämmön tuottoratkaisuissa (esim. huonekohtainen sähkölämmitys ja LKV varaaja) voidaan kullekin osajärjestelmälle tuottaa omalla järjestelmällään tai omalla polttoaineellaan sen tarvitsema lämmitysenergia. Lisäksi lämpöä voidaan tuottaa päälämmitysjärjestelmän rinnalla olevilla tukilämmitysjärjestelmillä (esim. aurinko, tulisijat)

Lämmöntuottoyksiköiden lämpöhäviöiden käsittely poikkeaa lämmitysjärjestelmien muiden komponenttien käsittelystä. Seuraavassa esitellään kaikille tilojen lämmöntuottotavoille (päälämmitysjärjestelmille) yhteiset käsittelytavat vuosihyötysuhteelle ja lämmöntuottoyksikön tilaan luovuttamille lämpökuormille. Menettely koskee sekä pelkkää tilojen lämmitystä tuottavia yksiköjä että tilojen ja käyttöveden lämmitystä tuottavia yksiköjä.

Lämpimän käyttöveden järjestelmän laskennassa erillisen tuottoyksikön hyötysuhde sisältää vain konversiohyötysuhteen polttoaineesta lämpimään veteen. Erillisten käyttövesivaraajien häviöt varaajan sijoitustilaan hyödynnetään itse laskentamenetelmän sisällä tilojen lämmityksen energiaketjussa - vastaavalla EN13790:n menettelyllä kuin tilojen lämmöntuottoyksiköiden tilaan tulevat häviöt. Tämä oletus pätee, kun LKV:n tuottoyksikkö tarvitsee varaajan.

Rakennuksen lämmöntuottojärjestelmien käsittelyssä luotiin yhteinen käsittelytapa kaikille tilojen lämmöntuottotavoille. Kunkin lämmöntuottoyksikön kykyä muuntaa ostettu energia (polttoaine, kaukolämpö, sähkö yms.) lämmöntuottolaitteen järjestelmään luovuttamaksi energiaksi kutsutaan tässä dokumentissa vuosihyötysuhteeksi. Määrittelyn aikajaksona käytetään nimessäkin esiintyvää yhtä vuotta. Vuosihyötysuhde sisältää lämmöntuottoyksikön kaikki häviöt vuositason tiettyä lämmitysjärjestelmään luovutettua energiantarvetta vasten sekä myös lämmöntuottoyksikön tilaan luovuttamista häviöistä osin hyödynnetyt energiat.

Tilojen lämmityksen vuosihyötysuhteen laskenta on kaksivaiheinen prosessi:

1. Lasketaan lämmöntuottoyksikön polttoaineen kulutus lämmitysjärjestelmään luovutettua energiantarvetta vasten kunkin lämmöntuottoyksikön omalla laskentamenetelmällä. Tässä laskentavaiheessa lämmöntuottoyksikön tilaan luovuttamat lämpöhäviöt eivät vaikuta polttoaineen kulutukseen vaan ovat aitoja häviöitä lämmöntuottoyksikön näkökulmasta.
2. Sijoitetaan lämmöntuottoyksikkö suunnitteluratkaisun mukaiseen tekniseen tilaan rakennuksessa ja lasketaan uusi korjattu vuosihyötysuhde, jossa lämmöntuotto-yksiköstä tekniseen tilaan tulleet lämpöhäviöt otetaan huomioon (kuva 3).

Kaksivaiheinen menettely on valittu siksi, että kohdan 1 laskelmat voidaan tehdä ilman tarkkaa tietoa lämmöntuottoyksikön sijoittumisesta mihinkään tiettyyn tekniseen tilaan rakennuksessa. Kohdassa 2 voidaan laskea kokonaisvuosihyötysuhde kohdan 1 tiedoilla, kun suunnitteluratkaisun teknisen tilan ominaisuudet ja lämmöntuottoyksikön tilaan tuomat lämpöhäviöt ovat tiedossa.

Jotta tämä vuosihyötysuhteen laskentamenettely olisi pätevä, vaiheessa 2 käytetään aina samoja vaiheen 1 lähtötietoja  $Q_{net}$ ,  $Q_{pa}$  ja  $Q_{surf}$ . Termien määrittelyt ovat seuraavat:

$Q_{net}$	lämmöntuottoyksikön lämmitysjärjestelmään luovuttama energia (kWh/a)
$Q_{pa}$	lämmöntuottoyksikön polttoaineen kulutus $Q_{net}$ :n tuottamiseksi (kWh/a)
$Q_{surf}$	lämmöntuottoyksiköstä tekniseen tilaan tulleet lämpöhäviöt (kWh/a)

## 8.1 Integroidut järjestelmät

### 8.1.1 Kattilat

Lämmityskattiloiden lämpöhäviöiden laskentamenetelmä on esitetty liitteessä 4. Esitetyssä laskentamenetelmässä on sovellettu CEN standardia SFS EN 15316-4-1:2008. Laskentamenetelmä soveltuu kaikille lämmityskattiloille polttoaineesta (öljy, puu, kaasua, yms.) ja käyttöveden tuottomenetelmästä (integroitu, erillinen varaaja) riippumatta. Menetelmässä lasketaan kattilan häviöt kaikilla kuormitustasoilla käyttäen hyväksi standardien mukaisesti virallisissa testeissä määritetyt kattilan suoritusarvot kolmella kuormitustasolla. Kattiloiden suoritusarvot (hyötysuhteet, savukaasuhäviöt ja lämpöhäviöt) mitataan seuraavien standardien mukaisesti:

- öljykattilat; EN 304:1992 (SFS julk. 2000)
- kaasukattilat; EN 297:1995 (SFS julk. 1995)
- puukattilat; EN 303-5:1999 (SFS julk. 2001)

Pellettikattiloille ei tällä hetkellä ole tuotestandardissa menetelmää, jolla voisi määrittää kattilan tyhjäkäyntihäviöt.

Kattilan sijoitustilaan tulevasta kattilan lämpöhäviöistä on osa hyödynnettävissä ko. tilan lämmityksessä. D5 laskennassa häviöiden hyödyntyminen huomioidaan kattilan hyötysuhdetta laskettaessa kappaleen 5 menettelyn mukaan.

#### 8.1.1.1 Kaukolämpö

Kaukolämmön lämmönjakokeskuksen häviöt muodostuvat suoraan putkiston, putkisto-osien ja lämmönsiirtimien lämpöhäviöistä lämmönjakohuoneessa. Tähän perustuen liitteessä 4 esitetään fysikaalisiin kaavoihin perustuva menetelmä lämpöhäviöiden laskemiseksi. Osa häviöistä voidaan

hyödyntää tilan (lämmönjakohuone) lämmityksessä. Häviöiden hyödyntymisen vaikutus vuosihyötysuhteeseen lasketaan kappaleen 5 menettelyn mukaan.

Liitteen 4 laskentamenetelmässä lämpöhäviöt määritellään keskuksen putkidimensioiden, - pituuksien, eristyspaksuuksien ja putkivarusteiden lämpöhäviöiden avulla. Esitetty menetelmä perustuu fysikaalisiin yhtälöihin eristettyjen tai eristämättömien putkihäviöiden laskentaan eli siinä on sovellettu liitteessä 2 esitettyä lämmönjakoverkoston lämpöhäviöiden laskentamenetelmää. Putkisto-osat (venttiilit, kannakkeet, laipat, lämmönsiirtimet yms.) otetaan laskennassa huomioon osakohtaisilla ekvivalenttipituuksilla.

Standardissa SFS EN 15316-4-5:2007 on esitetty empiiriseen kaavaan perustuva lämmönjakokeskusten lämpöhäviöiden laskentamenetelmä. Sen käyttäminen edellyttää lämmönjakokeskusten mitattuihin lämpöhäviöihin perustuvien parametrien tuntemista, joita ei toistaiseksi ole saatavilla suomalaisista järjestelmistä.

### **8.1.1.2 Tilojen sähkölämmitys**

Sähkölämmityksille pätee yleisesti, että sähkövastuksen konversiohyötysuhde sähköstä lämmöksi on 100 %. Itse huonekohtaiset lämmittimet (patterit, lattialämmitys) ja niiden epäideaalinen lämmönluovutus tilassa lasketaan kappaleessa 5.1 esitetyllä tavalla ja liitteen 1 menetelmällä.

### **8.1.1.3 Lämpimän käyttöveden sähkölämmitys**

Sähkölämmitteisen lämpimän käyttöveden tuoton (vesivaraaja) lämpöhäviöt lasketaan liitteen 3 menetelmällä. Varaajatyypin (tuntivaraaja, vuorokausivaraaja) vaikutus lämpöhäviöihin otetaan huomioon laskennassa varaajan tarkastelujakson keskilämpötilassa.

Lämpöhäviöistä lämmityksessä hyödyntyvä osuus lasketaan kappaleessa 5 esitetyn periaatteen mukaisesti.

Varaajassa käytettävän sähkövastuksen konversiohyötysuhde on 100%.

# LIITE 1 Lämmönluovutus ja lämmönluovutuksen säätö

## 1 Yleiskuvas

Tilojen lämmityksen lämmönluovutuksen lämpöhäviöiden laskennan yleistiedot on esitetty taulukossa 1.

*Taulukko 1. Tilojen lämmönluovutuksen laskennan yleiskuvas*

Menetelmän kuvaus	Menetelmällä voidaan laskea tilassa olevien lämmittimien (radiaattorit, puhallinkonvektorit, sähköpatterit) aiheuttama lämpöhäviö (lisähäviö ulos lämmittimen takaosasta, sisäilman lämpötilakerrostuneisuuden vaikutus) Menetelmässä on kaksi tasoa: taso 1 mahdollistaa lämpöhäviön laskennan sisäilman pystysuuntaisen lämpötilakerrostuneisuuden perusteella, taso 2 mahdollistaa lämpöhäviöiden tarkemman laskennan pintalämpötilojen avulla.
Lähtötiedot	Taso 1: Huonelämpötilan kerrostuneisuus tarpeenmukaisin välein lattiasta kattoon. Ulkoilmaan rajoittuvien rakenneosien pinta-alat, korkeus ja korkeusasema lattiasta lukien sekä U-arvot RakMk C4:n mukaan laskettuna. Taso 2: Rakenneosien pintalämpötilat laskentajaksottain sekä pinta-alat ja U-arvot RakMk C4:n mukaan laskettuna.
Tulokset	Taso 1: Tilan ilman lämpötilakerrostuneisuuden lisälämpöhäviö laskentajaksottain. Taso 2: Kohonneen rakenteen sisäpuolisen pintalämpötilan (esimerkiksi radiaattorin takaosan tms. reitin) lisälämpöhäviö lämmitettävän tilan ulkopuolelle laskentajaksottain.
Oletukset	Taso 1: Lämpötilajakauma on sama koko tarkasteltavassa tilassa eli ikkunan edessä ja huoneen takaosassa on sama korkeussuuntainen jakauma. Taso 2: Lämpöhäviö on laskettu RakMk D5:n mukaan ja rakenneosien U-arvot RakMk C3:n ja C4:n mukaan. Laskenta olettaa, että laskettavan tilan poistoilman lämpötila on asetusarvon mukainen. Tilan lämmityksen palvelutaso on huonelämpötila 1,1 m korkeudella oleskeluvyöhykkeellä.
Rajaukset	Tasossa 1 menetelmä antaa karkean arvion tilan lämmittimien lisälämpöhäviöistä ideaaliseen lämmitykseen verrattuna. Mikäli erottelukykyisemmät laskelmat ovat tarpeen, ne tulee suorittaa kokonaisvaltaisilla CFD-simulointiohjelmilla, jossa ilmavirtaukset, lämmönsiirto (konvektio + säteily) dynaamisine ilmiöineen on mallinnettavissa. Säteilylämmönsiirron osuus huonetilan lämpötaseesta ei kuulu tason 1 menetelmän sovellusalueeseen. Mikäli tilassa on merkittäviä säteilylämmönsiirtoa (esim. laajat ikkunapinnat) tai vetoa (suuret ilmamäärät) aiheuttavia ratkaisuja, tulee käyttää tason 2 menetelyä ja operatiivisen lämpötilan arvoa 1,1 metrin korkeudella oleskeluvyöhykkeellä.
Laskennassa käytettävät standardit	SFS EN 15316-2-1; Heating systems in buildings. Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies. Part 1: Space heating emission systems. SFS 5511 Ilmastointi. Rakennusten sisäilmasto. Lämpöolojen kenttämittaukset prEN ISO 7730 rev Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort (ISO/DIS 7730:2003)

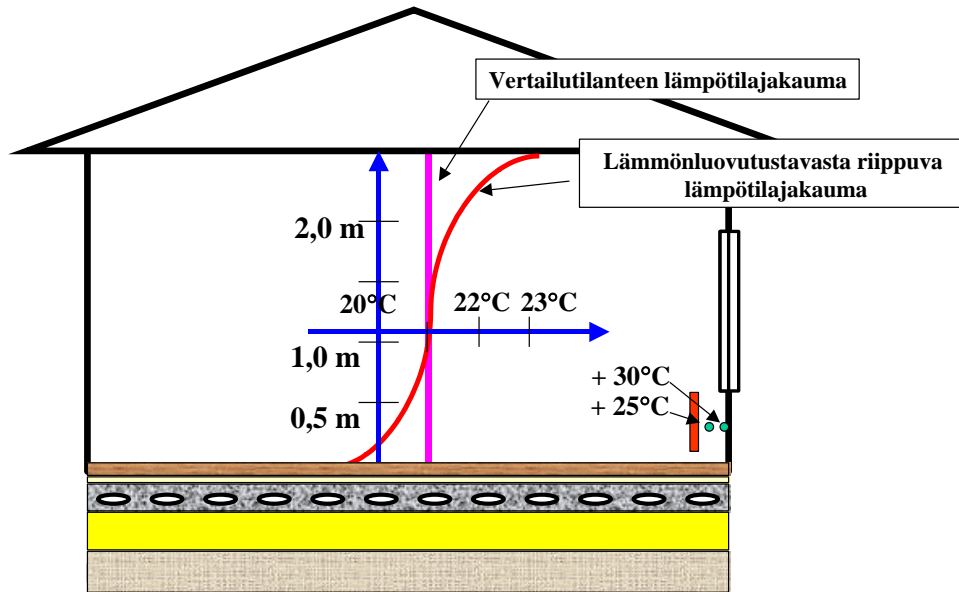
## 2 Periaate

Lämmönluovuttimen tehtävä on tuottaa halutut lämpöolosuhteet tarkasteltavassa tilassa.

Lämmönluovutustavan vaikutukset tilan lisälämpöhäviöihin ovat ilmiöinä hyvin monimutkaisia:

lämmittin saa aikaiseksi ilman lämpötilakerrostuneisuutta, joka riippuu paitsi itse

lämmönluovuttimesta, niin myös ulkoilmaan rajoittuvien pintojen lämpöteknisistä ominaisuuksista ja pinta-alasuhteista sekä ilmanvaihdon toteutuksesta. Lämmönluovutustapa vaikuttaa myös paikallisiin ilman lämpötilaeroihin esimerkiksi patterin ja seinän muodostamassa raossa.



Kuva 1. Tilan lämmönluovutustavasta riippuva lisälämpöhäviö aiheutuu huonelämpötilajakauman epäideaalisuudesta: katonrajassa on kuumempaa kuin lattian tasolla. Lisälämpöhäviöitä voi aiheutua myös paikallisesti esimerkiksi patterin seinää lämmittävistä vaikutuksesta.

Laskennan voi suorittaa 2 tasolla:

1. Karkealla tavalla sisäilman kerrostuneisuuden avulla
2. Erottelukykyisemmällä tavalla rakenteiden sisäpintalämpötilojen avulla (mitattu tai CFD-laskenta).

Tässä menetelmässä tarkastellaan lämmönluovutustavan (radiaattori, lattialämmitys, kattolämmitys ym.) vaikutuksia tilan lämpöhäviöihin halutun lämpöolosuhteen tuottamiseksi. Lisälämpöhäviö lasketaan D5:n mukaiseen oletukseen tasalämpötilaiseen ilman lämpötilaan verrattuna. Rakenteisiin integroitujen lämmittimien johtumishäviöt käsitellään liitteessä 1.

### 1. Lisälämpöhäviön laskenta sisäilman pystysuuntaisen lämpötilakerrostuneisuuden avulla

Ilman lämpötilan kerrostuneisuuden aiheuttama lisälämpöhäviö verrattuna tapaukseen, jossa lämpötilakerrostuneisuutta ei ole, lasketaan kaavalla (2). Oletuksena on, että sisäpinnan lämmönsiirtokerroin on yhtä suuri sekä kerrostuneessa tapauksessa että vertailutapauksessa (tasalämpöinen).

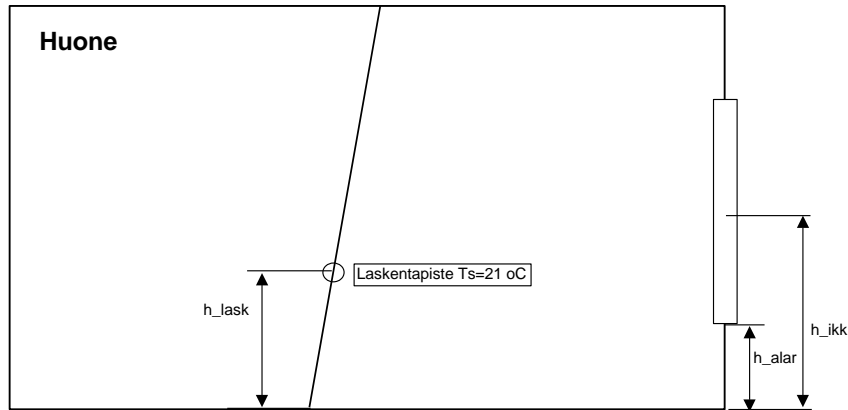
$$Q_{el, str} = \sum A_i \cdot U_i \cdot (T_{ss,i} - T_s) \cdot t \quad (2)$$

jossa

$Q_{el, str}$	on lämmönluovutustavasta riippuvan ilman lämpötilakerrostuneisuuden aiheuttama lisälämpöhäviö, Wh
$A_i$	on rakenneosan (katto, ulkoseinä, ikkuna, lattia) pinta-ala, m <sup>2</sup>
$U_i$	on rakenneosan (katto, ulkoseinä, ikkuna, lattia) lämmönläpäisykerroin, m <sup>2</sup>
$T_{ss,i}$	on kerrostuneen ilman lämpötila rakenneosan keskipisteen korkeudella, °C
$T_s$	on huonelämpötila vertailutapauksessa (ei lämpötila-kerrostumista), °C
$t$	on tarkastelujakso, h

Lämpöhäviöiden laskemista varten ulkoilmaa vasten olevat rakenteet jaetaan U-arvon mukaan (katto, ikkuna, seinä, lattia) ja korkeusaseman mukaan eri alueisiin. Eri alueiden lämpöhäviöt

lasketaan alueen keskipisteen korkeusaseman (pinta-alalla painotettu) lämpötilan perusteella. Laskentapisteen asetusarvon korkeusasema (1,1 m) on määritelty standardissa SFS 5511.



Kuva 2. Lämmönlvoutustavasta riippuva, ilman lämpötilajakaumasta aiheutuva lisälämpöhäviö verrattuna vertailutilanteen tasalämpöiseen tilaan, lasketaan jakamalla rakenneosat alueisiin U-arvon ja korkeusaseman perusteella. Kiintopiste laskennassa on 1,1 m:n korkeudella (SFS 5511) oleva haluttu lämpötila (+21 °C), jonka ylä- ja alapuolella vallitseva lämpötila vaihtelee lämmönlvoutustavasta riippuen.

## 2. Lisälämpöhäviön laskenta rakenneosien sisäpinnan lämpötilojen avulla

Tapauksissa, joissa rakenteen pinnan lämpötila poikkeaa - esimerkiksi säteilylämmönsiirrosta johtuen - vertailutapauksen pintalämpötilasta, lämpöhäviöt lasketaan kaavalla (3). Tästä hyvänä esimerkkinä on radiaattorin takana olevan seinän lämpötila, joka on korkeampi kuin muun seinäosan pintalämpötila pitkälti radiaattorin lämpösäteilyn ja osittain poikkeuksellisten konvektioolosuhteiden vuoksi. Ilma lämpenee patterin ja seinän välissä korkeammalle kuin huoneen keskellä olevan ilman lämpötila. Laskentatarkasteluissa  $T_{w,i}$ :n arvot voidaan määrittää esimerkiksi CFD-laskentaohjelmilla valitulla rakenneosa-jaolla.

$$Q_{el,rad} = \sum A_i \cdot U_{out,i} \cdot (T_{w,i} - T_{w,ref}) \cdot t \quad (3)$$

jossa

$Q_{el,rad}$	on referenssitilanteesta poikkeavien säteily- ja konvektio-olosuhteiden aiheuttama lisälämpöhäviö, Wh
$A_i$	on ulkoilmaa vasten olevan rakenneosan pinta-ala, jolla poikkeavat olosuhteet vallitsevat, m <sup>2</sup>
$U_{out,i}$	on rakenneosan U-arvo laskettuna sisäpinnasta ulkoilmaan, W/(m <sup>2</sup> K)
$T_{w,i}$	on rakenneosan pinnan lämpötila poikkeavissa olosuhteissa, °C
$T_{w,ref}$	on rakenneosan pinnan lämpötila vertailutilanteessa, °C

Rakenneosan U-arvo ( $U_{out,i}$ ) sisäpinnasta ulkoilmaan saadaan rakenteen RakMk C4:n mukaan lasketusta U-arvosta poistamalla siitä rakenteen sisäpinnan lämpövastus, joka on määritelty RakMk C4:ssä.

$$\frac{1}{U_{out,i}} = \frac{1}{U} - R_{si} \quad (4)$$

jossa

$U_{out,i}$	on rakenneosan U-arvo laskettuna sisäpinnasta ulkoilmaan, $W/m^2 \cdot K$
$U$	on rakenneosan U-arvo, $W/m^2 \cdot K$
$R_{si}$	on rakenneosan sisäpuolinen pintavastus (arvot eri tilanteille on esitetty RakMk C4:ssä), $m^2 \cdot K/W$

Vertailutilanteen pintalämpötila tietyille rakenteelle ja tietyille lämpötilaolosuhteille lasketaan kaavalla (5).

$$T_{w,ref} = T_s - R_{si} \cdot U \cdot (T_s - T_{out}) \quad (5)$$

jossa

$T_{w,ref}$	on rakenteen pintalämpötila referenssitilanteessa, °C
$T_s$	on huoneilman lämpötila, °C
$R_{si}$	on rakenneosan sisäpuolinen pintavastus (arvot eri tilanteille on esitetty RakMk C4:ssä), $m^2 \cdot K/W$
$U$	on rakenteen lämmönläpäisykerroin, $W/m^2 \cdot K$
$T_{out}$	on ulkoilman lämpötila, °C

### 3 Rakenteisiin integroitujen lämmittimien laskenta, lämmönlouvuutus

#### 3.1 Yleistä

Taulukossa 1 on esitetty laskentamenetelmän yleiskuvaus. Rakenteisiin integroitujen lämmittimien lämmönlouvuutuksen tilaan on vastattava tilan nettolämmöntarvetta. Tilan nettolämmöntarve lasketaan D5:n mukaisesti ottamalla huomioon lämpökuormista hyödynnettävä energia. Lämmöntarpeeseen ei lasketa rakenteen (esim. lattian), johon lämmitin on integroitu, osalta lämpöhäviöitä. Tämä tarkoittaa, että lämmöntarve laskelmat (D5 laskelmat) on suoritettava alusta alkaen ottamatta huomioon integroitujen rakenteiden lämpöhäviöitä, koska tällä on vaikutusta lämpökuormien hyödyntämiseen.

Tilan lämmöntarpeeseen on laskettava mukaan lämmönlouvuutuksen lisälämpöhäviöt. Lämmönlouvuutuksen lisälämpöhäviöitä ovat esimerkiksi huoneilman lämpötilakerrostumien aiheuttama lisälämpöhäviö ideaaliseen verrattuna. Sen sijaan säädön epäideaalisuuksien aiheuttamia lisälämpöhäviöitä ei lasketa tilan lämmöntarpeeseen määritettäessä integroidun lämmittimen lämpöhäviöitä. Säätohäviöt lasketaan erikseen tämän liitteen kohdan 4 mukaisella menettelyllä.

Taulukko 2. Rakenteisiin integroitujen lämmittimien laskennan yleistiedot.

Menetelmän kuvaus	Menetelmä laskee rakenneosan lämpöhäviön, kun siihen on integroitu lämmitinelementti. Laskenta soveltuu sekä vesikiertoisille että sähkölämmitteisille ratkaisuille.
Lähtötiedot	Lämmittimen palvelemaan tilan lämmön tarve (netto + kerrostuneisuus) ja laskennallinen sisälämpötila kuukausittain (12 arvoa). Rakenneosien, joihin on integroitu lämmitin, pinta-ala ja rakenneosan rakennekerrosten lämmönjohtavuudet ja paksuudet. Rakenneosan molemminpuoliset (sisä-/ulkopuoli) lämpötilat kuukausittain (12 x 2 arvoa)



Tulokset	Lämmittimellä varustetun rakenneosan kokonaislämpöhäviö lämmittimen palveleman tilan ulkopuolelle kuukausittain
Oletukset	Nettolämmöntarve lämmittimen palvelemalle tilalle ratkaistaan D5:n mukaan. Lämpöhäviölaskennassa ei saa olla mukana ulkoilmaan tai maahan rajoittuvien rakenneosien pinta-aloja lämpöteknisine ominaisuuksineen (konduktanssi ja lämpökapasiteetti) niiltä osin kun rakenneosa sisältää lämmitinelementin (lämmitin kompensoi häviön vaikutuksen).
Rajaukset	Menetelmä antaa arvion tilan lämmittimien lisälämpöhäviöistä ideaaliseen lämmitykseen verrattuna. Mikäli erottelukykyisemmät laskelmat ovat tarpeen, ne tulee suorittaa kokonaisvaltaisilla 3D- ja CFD-simulointiohjelmilla, jossa lämmityselementin 3-ulotteinen lämmönjohtuminen, huonetilan ilmavirtaukset, ja lämmönsiirto (konvektio + säteily) dynaamisine ilmiöineen on mallinnettavissa.  Säteilylämmönsiirron osuus huonetilan lämpötaseesta ei kuulu tämän menetelmän sovellusalueeseen.  Menetelmä soveltuu myös yhdistetyn katto- ja lattialämmityksen laskentaan, mikäli katto- ja lattialämmittimien tuotto-osuudet tilan lämmöntarpeesta ovat tiedossa (tämä menetelmä ei niitä anna).
Laskennassa käytettävät standardit	EN ISO 13370, RakMk C4, SFS EN 15316-2-1, "Heating systems in buildings - Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies - Part 1: Space heating emission systems"

### 3.2 Useampikerroksiset rakennukset

Jotta vältyttäisiin välipohjien kautta tulevien lämpökuormien iteratiiviselta ratkaisulta monikerroksisten rakennusten lattia- tai kattolämmityksen laskennassa, laskenta etenee kerros (tila) kerrallaan seuraavasti riippuen rakenteisiin integroidun lämmittimen sijoituksesta:

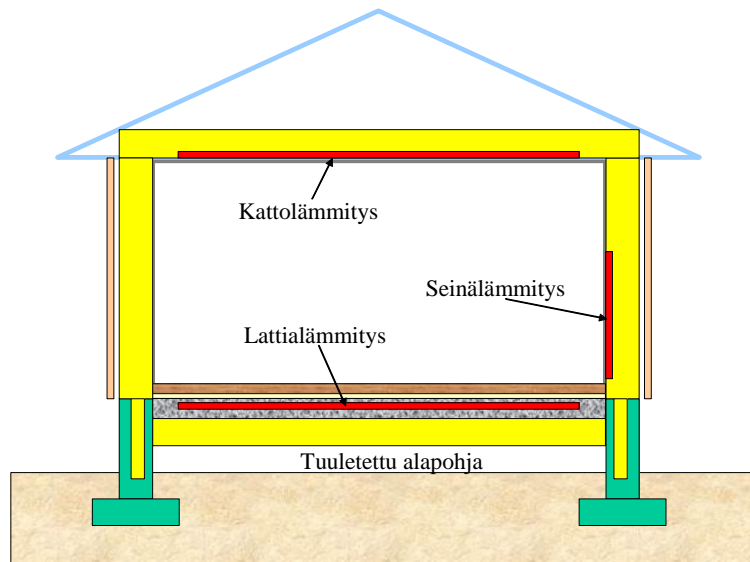
- Lattialämmitys: yläkerrasta alakertaan
- Kattolämmitys: alakerrasta yläkertaan

Algoritmi on seuraava:

1. Laske ensimmäisen tilan (ylä- tai alakerta) nettoenergian tarve ja lisää kerrostuneisuuden vaikutus (Liitteen 1 menetelmä)
2. Laske integroidun lämmityksen häviöt lämmittimen toisella puolella olevaan tilaan (tämä menetelmä)
3. Laske seuraavan tilan nettoenergian tarve (D5:llä), siten että edellisen kerroksen lämpöhäviö käsitellään lämpökuormana
4. Jatketaan kohdasta 2, kunnes kerrokset on käyty läpi

### 3.3 Rakenteisiin integroitujen lämmönluovuttimien lämpöhäviöt ulkoilmaan ja lämmittämättömään tilaan

Rakenteisiin integroitujen lämmittimien lämpöhäviöiksi lasketaan vain lämmittimien takaa ulkoilmaan tai lämmittämättömiin tiloihin johtuva lämpöenergia. Lämpöhäviöt ovat verrannollisia lämmityselementin lämpötilaan ja lämmittimen takana olevan rakenteen lämmönvastukseen. Lämpöhäviöt lasketaan tiloittain ja tarvittaessa, jos rakennusosan rakenteet vaihtelevat lämmittimen eri alueilla, lämmittimet jaetaan tarkoituksenmukaisesti eri alueisiin ja kokonaishäviöt summataan alueittain tai erilaisille rakenneosille lasketaan keskimääräinen lämpövastus RakMk C4 mukaisesti. Rakenneosien lämmönvastusta laskettaessa otetaan huomioon kylmäsiilat RakMk C4 mukaisesti.



Kuva 3. Rakenteisiin integroituja lämmönluovuttimia.

Rakenteisiin integroitujen lämmitysjärjestelmien (katto-, lattia- ja seinälämmitys) lämpöhäviöiden laskennassa ulkoilmaan sovelletaan standardia SFS EN 15316-2-1. Lämpöhäviöt ulkoilmaan ja lämmittämättömään tilaan lasketaan tarkasteltavan jakson tilan nettolämmöntarpeen, rakenteen lämpövastusten, lämmitetyn pinta-alan ja laskentatason keskimääräisten ulko- ja huonelämpötilojen funktiona kaavasta (6).

$$Q_{e,a} = Q_i \frac{R_i}{R_e} + \frac{A(T_i - T_e)\Delta t}{R_e} \quad (6)$$

jossa

- $Q_i$  on tilan nettolämmöntarve + lämmönluovutuksen lämpöhäviö, Wh
- $R_i$  on lämmityselementin sisäpuolisten rakennekerrosten lämpövastus,  $m^2K/W$
- $R_e$  on lämmityselementin ulkopuolisten rakennekerrosten lämpövastus,  $m^2K/W$
- $A$  on lämmitetyn rakenneosan pinta-ala,  $m^2$
- $T_i$  on keskimääräinen huonelämpötila lämmitettävässä tilassa tarkastelujaksolla,  $^{\circ}C$
- $T_e$  on ulkoilman keskimääräinen lämpötila tarkastelujaksolla,  $^{\circ}C$
- $\Delta t$  on tarkastelujakson pituus, h

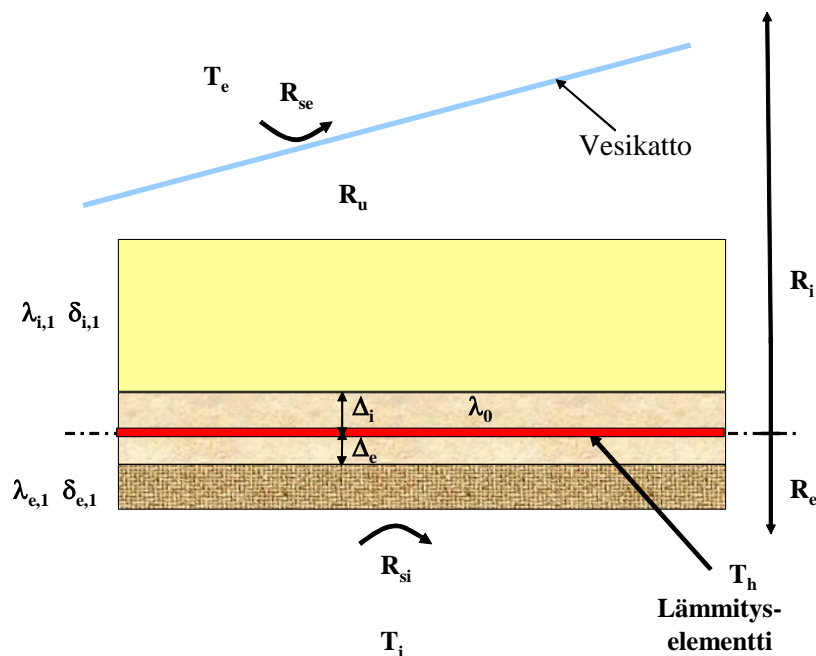
Rakennusosien, joiden ainekerrokset ovat tasapaksuja ja tasa-aineisia ja lämpö siirtyy ainekerroksiin nähden kohtisuorasti, lasketaan lämmityselementin sisäpuoliset ( $R_i$ ) ja ulkopuoliset ( $R_e$ ) lämpövastukset kaavoista (7) ja (8). Muussa tapauksessa (rakenteessa on esimerkiksi kylmäsiltoja) lämmönvastukset lasketaan RakMk C4 mukaisesti. Aineiden ja tarvikkeiden lämmönjohtavuuksina käytetään CE-merkittyjen ja tyyppihyväksytyjen tuotteiden osalta tuotekohtaisia arvoja, jos tarkempaa tietoa ei ole, voidaan lämmönjohtavuuksina käyttää RakMk C4:ssä annettuja lämmönjohtavuuden arvoja.

$$R_i = R_{si} + \sum_j \frac{\delta_{i,j}}{\lambda_{i,j}} + \frac{\Delta_i}{\lambda_0} + R_{g,i} + R_{q,e} \quad (7)$$

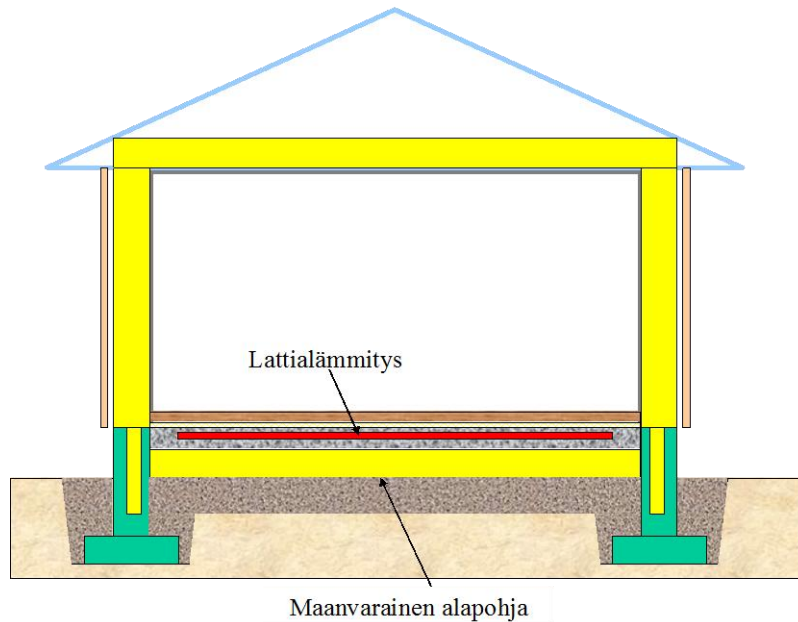
$$R_e = R_{se} + \sum_j \frac{\delta_{e,j}}{\lambda_{e,j}} + \frac{\Delta_e}{\lambda_0} + R_{g,e} + R_{q,e} \quad (8)$$

jossa

- $R_i$  on lattialämmityselementin sisäpuolisten rakennekerrosten lämpövastus (kts. kuva 4), ( $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ )
- $R_e$  on lattialämmityselementin ulkopuolisten rakennekerrosten lämpövastus (kts. kuva 4), ( $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ )
- $R_{si}$  on sisäpuolinen pinnan lämpönvastus ( $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ )
- $R_{se}$  on ulkopuolinen pinnan lämpönvastus, ( $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ )
- $\delta_{i,j}$  on sisäpuolisen ainekerroksen j paksuus, m
- $\lambda_{i,j}$  on sisäpuolisen ainekerroksen j lämmönjohtavuus,  $\text{W}/(\text{mK})$
- $\delta_{e,j}$  on ulkopuolisen ainekerroksen j paksuus, m
- $\lambda_{e,j}$  on ulkopuolisen ainekerroksen j lämmönjohtavuus,  $\text{W}/(\text{mK})$
- $R_{g,i}$  on sisäpuolisessa rakennusosassa olevien ilmakerrosten lämpönvastus, ( $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ )
- $R_{g,e}$  on ulkopuolisessa rakennusosassa olevien ilmakerrosten lämpönvastus, ( $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ )
- $R_{q,i}$  on sisäpuolisessa rakennusosassa olevien ohuiden ainekerrosten lämpönvastus, ( $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ )
- $R_{q,e}$  on ulkopuolisessa rakennusosassa olevien ohuiden ainekerrosten lämpönvastus, ( $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ )



Kuva 4. Kattolämmittimen lämpöhäviölaskentaan liittyvien lämpönvastusten laskentaan liittyviä merkintöjä.



Kuva 5. Maanvarainen alapohja ja lattialämmitys.

Maanvaraisen lattialämmityksen lämpöhäviöt maahan lasketaan EN ISO 13370 standardia soveltaen. Standardin mukaan lattian lämpöhäviöt lasketaan kuukausittain jakson ulkoilman ja huonelämpötilan keskilämpötilojen sekä lattiarakenteen ja maan lämpötekniisten ominaisuuksien perusteella. Laskennassa otetaan huomioon maaperän lämpödynamiikan aiheuttamat viiveet lämpöhäviöihin. Laskentamalli ei sovellu kuukautta lyhyempien jaksojen tarkasteluun. Lisäksi mallissa ei oteta huomioon maan jäätyksen vaikutuksia lämpöhäviöihin.

Standardissa EN ISO 13370 esitetään yleisesti maanvaraisten rakenteiden lämpöhäviöiden laskenta maahan. Seuraavassa ei käydä läpi koko standardia, vaan selvennetään sen soveltamista lattialämmityksen lämpöhäviöiden laskentaan. Lämpöhäviöiden määrittämiseksi tarvitaan tämän oppaan lisäksi siis myös kyseinen standardi.

Laskennassa tarvitaan tarkastelujakson (esim. kuukauden) keskimääräinen lämmityselementin lämpötila, jota vasten alapohjan lämpöhäviöt maahan määritetään. Lattialämmityselementin tarkasteltavan jakson (kuukausi) keskilämpötila ( $T_h$ ) lasketaan kaavasta (9). Tilan lämmöntarpeeseen lasketaan mukaan lämmönluovutuksen lämpöhäviöt mutta tilan nettolämmöntarve on laskettava ottamatta huomioon alapohjan lämpöhäviöitä siltä osalta, johon lattialämmitys on asennettu.

$$T_h = T_i + \frac{R_i Q_i}{A \Delta t} \quad (9)$$

jossa

- $T_h$  on lattialämmityselementin keskimääräinen lämpötila tarkastelujaksolla, °C
- $T_i$  on keskimääräinen huonelämpötila lämmitettävässä tilassa tarkastelujaksolla, °C
- $Q_i$  on tilan nettolämmöntarve + lämmönluovutuksen lämpöhäviö, Wh
- $R_i$  on lattialämmityselementin yläpuolisten rakennekerrosten lämpövastus (kts. kuva 6),  $m^2K/W$
- $A$  on lämmitetyn lattiaosan pinta-ala,  $m^2$
- $\Delta t$  on tarkastelujakson pituus, h

Standardin mukaisessa (EN ISO 13370) lämpöhäviölaskennassa tarvittava lattian ekvivalenttipaksuus  $d_t$  lasketaan vain lämmönluovutustasoon asti

$$d_t = w + \lambda \cdot R_e \quad (10)$$

jossa

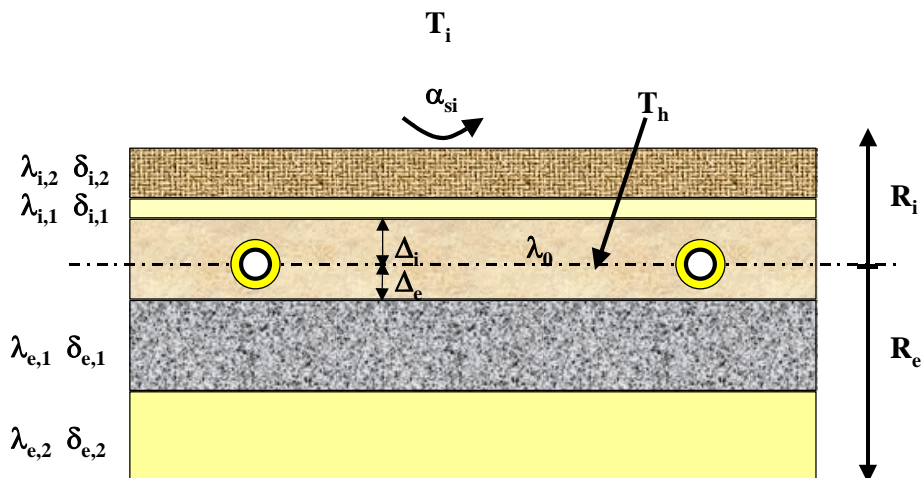
$d_t$  on standardilaskennassa (EN ISO 13370) tarvittava ekvivalenttipaksuus, m  
 $w$  on seinän paksuus, m  
 $\lambda$  on maan lämmönjohtavuus, W/(m,K)  
 $R_e$  on lämmönluovutustason alapuolisen rakenteen lämpövastus ( $m^2, K$ )/W

Lämmönluovutustason alapuolisen lattiarakenteen lämpövastus,  $R_e$ , lasketaan kaavalla (11). Lämmönvastukseen ei lasketa mukaan maan lämpövastusta.

$$R_e = \frac{\Delta_e}{\lambda_0} + \sum_i \frac{\delta_{e,i}}{\lambda_{e,i}} \quad (11)$$

jossa

$R_e$  on lämmönluovutustason alapuolisen lattiarakenteen lämpövastus, ( $m^2, K$ )/W  
 $\Delta_e$  on lämmityselementtikerroksen elementtitason alapuolinen paksuus, m  
 $\lambda_0$  on lämmityselementtikerroksen lämmönjohtavuus, W/(m,K)  
 $\delta_{e,i}$  on lattian lämmönluovutustason alapuolisen rakennekerroksen (i) paksuus, m  
 $\lambda_{e,i}$  on lattian lämmönluovutustason alapuolisen rakennekerroksen (i) lämmönjohtavuus, W/(m,K)



Kuva 6. Maanvaraiseen lattiaan integroidun lattialämmityksen poikkileikkaus.  $R_i$  on lämmitystason yläpuolisen rakenteen lämpövastus ja  $R_e$  on lämmitystason alapuolisen lattiarakenteen lämpövastus.  $\lambda$  on homogeenisen rakennekerroksen lämmönjohtavuus ja  $\delta$  vastaavan rakennekerroksen paksuus.

## 4 Tilojen lämmityksen säätö

### 4.1 Tilan lämmityksen säädön laskenta

Tilan lämmityksen säätöjärjestelmän lisälämpöhäviöiden laskennan yhteenveto on esitetty taulukossa 3.

*Taulukko 3. Tilojen lämmityksen säätöjärjestelmien laskennan yleiskuvaus*

Menetelmän kuvaus	Menetelmä laskee tilan lämmityksen säätöjärjestelmän lämpöhäviön. Laskenta soveltuu sekä vesikiertoisille että sähkölämmitteisille ratkaisuille.
Lähtötiedot	Säätimeen liittyvän lämmittimen palveleman tilan nettolämmön tarve D5:llä laskettuna Tilan lämmittimen säätimen tyyppi (P tai PI) ja suhdealue (°C)
Tulokset	Tilan lämmityksen säätöjärjestelmän lisähäviö $Q_{rc}$ jokaiselle laskentajaksoille.
Oletukset	Laskentajakson nettolämmöntarve lämmittimen palvelemalle tilalle ratkaistaan D5:n mukaan.
Rajaukset	Menetelmä on taulukkopohjainen ja soveltuu vain tilan lämmityksen säätöhäviöiden laskentaan. Mikäli säätöstrategioita halutaan tarkastella järjestelmissä korkeammalla tasolla, täytyy niiden ohjausstrategiat implementoida soveltuviin tuntitason dynaamisiin laskentaohjelmiin. Säätimien mallin tulee sisältää antureiden ominaisuudet (aikavakio käyttötarkoituksessaan), toimilaitteen ominaisuudet (hystereesi, kulku aika yms.) ja säätimen ominaisuudet (PID-arvot, kuollut alue) riittävällä tarkkuudella. Laskelmat tulee tehdä oikein viritetyillä säätimillä.  Laskenta olettaa, että säätimen lisälämpöhäviö on vain säädintyyppin funktio.  Laskenta sopii vain D5-menetelmän kanssa sovellettavaksi.
Laskennassa käytettävät standardit	Ei standardeja. Tämän laskentamallin säädön hyötysuhteen arvot on saatu simuloimalla esimerkkipientaloo eri säädintyypeillä.

Tilan lämmityksen säädön häviö lasketaan kaavalla 12. Säätöhyötysuhteen arvot eri huonetilan säätimille saadaan taulukosta 4.

$$Q_{rc} = Q_{netto} * (1 - \eta_{rc}) / \eta_{rc} \quad (12)$$

*Taulukko 4. Lämmityksen huonekohtaisten säätöjärjestelmien säätöhyötysuhteet eri säädintyypeillä*

Säätimen tyyppi	Säätöhyötysuhde $\eta_{rc}$
PI-säädin	0,99
P-säädin suhdealue 1 °C	0,98
P-säädin suhdealue 2 °C	0,97

## Standardeja

EN ISO 13370  
SFS EN 15316-2-1

# LIITE 2 Lämmönjako

## 1 Yleistä

Laskentamenetelmässä käsitellään ilmaan tai maahan asennetun pyöreän tai suorakaiteenmuotoisen putken lämpöhäviöiden laskenta ympäristöön. Laskenta perustuu fysikaaliseen malliin, jossa on sovellettu standardia EN ISO 12241. Lämpöhäviöiden laskentamenetelmä on esitetty myös standardissa SFS EN 15316-2-3, jota voidaan myös käyttää laskentaan. Kyseisessä standardissa on myös esitetty radiaattori- ja lattialämmitysverkoston meno-, paluu- ja keskilämpötilan laskentayhtälöt osakuormitustilanteille, joita voidaan käyttää ko. verkostojen lämpöhäviöiden laskennassa. Vesikiertoisen jakojärjestelmän meno- ja paluueden lämpötilat voidaan olettaa riittävällä tarkkuudella vakioiksi koko verkoston matkalla.

Ilmalämmitysjärjestelmissä tulee ottaa huomioon ilman jäähtyminen jakokanavassa. Laskennassa tarvitaan lähtötietoina putken ja putkieristyksen geometria ja materiaalitiedot sekä lämmönsiirtoaineen ja ympäristön keskimääräinen lämpötila tarkastelujaksolla. Putkieristyksen mitoitus ja materiaaliominaisuuksia on esitetty ohjekorteissa LVI 50-10345 ja LVI 50-10344 sekä SFS Käsikirjassa 132 Teollisuuseristys.

Lämmönjaon lämpöhäviöistä lämmityksessä hyödynnettävä osuus lasketaan kappaleessa 3 esitetyllä proseduurilla. Ulkona tai maassa sijaitsevien putkien lämpöhäviöitä ei voi hyödyntää lämmityksessä.

Pumppauksen energiankäytön laskemiseksi on tunnettava laskentajakson keskimääräinen verkoston painehäviö, virtaama ja pumpun/puhaltimen hyötysuhde. Standardissa SFS EN 15316-2-3:2007 on esitetty yksityiskohtainen vesikiertoisten järjestelmien pumppausenergian laskentamenetelmä, joka ottaa huomioon verkoston osakuormituksen ja pumpputyypin (taajuusmuuttajaohjaus).

Vesikiertoisen lämmönjakoputkiston lämpöhäviöiden laskennan yhteenveto on esitetty taulukossa 1

*Taulukko 1. Vesikiertoisten verkostojen lämpöhäviöiden laskenta, yhteenveto.*

Menetelmän kuvaus	Menetelmä laskee vesikiertoisten putkiverkostojen lämpöhäviöt yhdessä ympäristön lämpötilassa. Menetelmää voidaan soveltaa yleisesti nestekiertoisten jakojärjestelmien (lattia-, radiaattoriipiirit sekä lämmin käyttövesi) laskentaan. Laskentajakson pituus on vapaasti valittavissa.  Laskentaa voidaan soveltaa eri lämpöisten tilojen ja sijaintipaikkojen (sisä-, ulko-, roilotilat, maa) läpi kulkevien verkoston osien laskentaan laskemalla kukin tila (eri ympäristön lämpötila) erikseen ja summaamalla tulos yhteen koko verkoston tasolle.
Lähtötiedot	Jakoverkoston ympäristön keskilämpötilat laskentajaksoilla (N kpl)  Jakoverkoston pituus putkidimensioittain ja eristyspaksuussittain (N kpl). Kunkin verkosto-osan lineaarinen lämpövastus (m,K/W). Jakoverkosto-osan kiertonesteen lämpötilat laskentajaksoilla (N x N arvoa)
Tulokset	Jakoverkoston lämpöhäviöt sijoituspaikan ympäristön lämpötilaan laskentajaksoittain.
Oletukset	Vesikiertoisissa järjestelmissä: Laskennan yksinkertaistamiseksi verkoston meno- ja paluulämpötilat oletetaan vakioiksi verkoston koko matkalta. Lisäksi laskenta olettaa ympäristön lämpötilan tunnetuksi.  Laskenta olettaa, että roiloissa, joissa on myös muita jakoverkoston osia, laskennallinen ympäristön lämpötila on sama kuin huonelämpötilan asetusarvo.  Ilmakiertoisissa järjestelmissä: Otetaan huomioon ilman jäähtyminen kanavassa. Lisäksi laskenta olettaa ympäristön lämpötilan tunnetuksi.
Rajaukset	Menetelmä sopii hyvällä tarkkuudella tunnetuissa ympäristön lämpötiloissa sijaitseville jakoverkostoille, jotka

	<p>kulkevat sisä- tai ulkotiloissa tai omissa putkikanaaleissaan.</p> <p>Menetelmä antaa karkean arvion roiloissa sijaitsevien verkosto-osien lämpöhäviöistä ympäristön vakiolämpötilaoletuksesta johtuen. Mikäli erottelukykyisemmät laskelmat ovat tarpeen, ne tulee suorittaa kokonaisvaltaisilla 3D- ja CFD-simulointiohjelmilla, joissa jakoverkosto ja roilo muine talotekniikkaverkoston osineen on mallinnettavissa riittävän yksityiskohtaisesti (3-ulotteinen lämmönjohtuminen, roilon ilmavirtaukset, ja lämmönsiirto, konvektio + säteily).</p>
Laskennassa käytettävät standardit	EN ISO 12241 Thermal insulation for building equipment and industrial installations - Calculation rules, sisältää yleiset määrittelyt lämpövästusten yms. laskemiseen. LVI 50-10345 Taloteknisten eristysten mitoitus ja käyttö. LVI 50-10344 Talotekniikassa yleisesti käytettävät eristysmateriaalit ja niiden asennus. SFS-Käsikirja 132 Teollisuuseristys. SFS EN 15316-2-3:2007 "Heating systems in buildings - Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies - Part 2.3: Space heating distribution systems"

## 2 Lämmönjakoverkoston lämpöhäviöiden laskentaperiaate

Lämmönjakoverkoston (nestekiertoinen) lämpöhäviöt lasketaan putkidimensioittain, eristystasoittain ja tarkastelujaksottain kaavalla (1). Putken lämpöhäviö riippuu paitsi putkidimensiosta ja eristystasosta, niin myös lämmönsiirtonesteen ja ympäristön lämpötilasta tarkastelujaksolla sekä putkipituudesta. Putkien lämpöhäviöiden laskenta on esitetty tämän liitteen kohdissa 4-7 ja lämmönjakoverkoston lämpötilan laskenta kohdassa 3. Kaava (1) ei ota huomioon putkikannakkeiden ja putkivarusteiden lisälämpöhäviöitä, joiden laskenta on esitetty tämän liitteen kohdassa 11.

$$Q_D = \sum_i U'_i \cdot (\theta_{m,i} - \theta_{a,i}) \cdot L_i \cdot t_H \quad (1)$$

jossa

$Q_D$	on lämmönjakoverkoston putkien lämpöhäviö tarkastelujaksolla, (Wh)
$U'_i$	on putkielementin, i, U-arvo, W/m
$\theta_{m,i}$ °C	on lämmönjakonesteen keskimääräinen lämpötila putkielementissä tarkastelujaksolla,
$\theta_{a,i}$	on ympäristön keskimääräinen lämpötila tarkastelujaksolla, °C
$L_i$	on putkielementin pituus, m
$t_H$	on tarkastelujakson (esim. lämmityskausi, kk) pituus, h

Kaava 1 soveltuu myös ilmakehävien lämpöhäviöiden laskentaan, kun ilman jäähtyminen kanavassa otetaan huomioon (nesteellä jäähtymistä ei käsinlaskennassa tarvitse ottaa huomioon). Kanavassa tai putkessa kaasun ja nesteen jäähtymä lasketaan standardin EN ISO 12241:1998 mukaan kaavoista:

$$|\theta_{fm} - \theta_a| = |\theta_{im} - \theta_a| \cdot e^{-\alpha \cdot L} \quad (2)$$

$$\alpha = \frac{U'}{q_m \cdot c_p} \quad (3)$$

jossa

$\theta_{fm}$	on loppulämpötila kanavan/putken lopussa, °C
$\theta_{im}$	on alkulämpötila kanavan/putken alussa, °C
$\theta_a$	on ympäristön lämpötila, °C
$L$	on kanavan/putken pituus, m
$U'$	on kanavan/putken lämmönläpäisykerroin, W/(m,K)



$q_m$  on kaasun/nesteen massavirta, kg/s  
 $c_p$  on kaasun/nesteen ominaislämpökapasiteetti, J/(kg,K)

Kaasun keskimääräinen lämpötila kanavassa lasketaan aritmeettisena keskilämpötilana:

$$\theta_m = \frac{\theta_{fm} + \theta_{im}}{2} \quad (4)$$

### 3 Verkoston meno- ja paluulämpötilan laskenta

Karkeissa laskelmissa voidaan verkoston meno- ja paluulämpötilat laskea standardin SFS EN 15316-2-3:2007 mukaan, joka esitetään seuraavassa.

Standardissa EN 15316-2-3:2007 esitetään verkostojen lämpötilan laskenta kolmelle eri säätötavalle:

1. Ulkolämpötilaohjaus (vakio virtaama, muuttuva lämpötila)
2. Jatkuva säätö termostaattiventtiileillä (asetettu lämpötila, muuttuva virtaama)
3. On-off- säätö (huonetermostaatit)

#### 3.1 Ulkolämpötilaohjaus

Verkoston keskimääräinen lämpötila ja menolämpötila sekä paluulämpötila lasketaan verkoston osakuormituksen funktiona kaavoista

$$\theta_m(\beta_{dis}) = \Delta\theta_{des} \cdot \beta_{dis}^{\frac{1}{n}} + \theta_i \quad (5)$$

$$\theta_s(\beta_{dis}) = (\theta_{s,des} - \theta_i) \cdot \beta_{dis}^{\frac{1}{n}} + \theta_i \quad (6)$$

$$\theta_r(\beta_{dis}) = (\theta_{r,des} - \theta_i) \cdot \beta_{dis}^{\frac{1}{n}} + \theta_i \quad (7)$$

joissa

$\theta_m$  on verkoston keskimääräinen lämpötila, °C

$\theta_s$  on verkoston menolämpötila, °C

$\theta_r$  on verkoston paluulämpötila, °C

$\beta_{dis}$  on verkoston osakuormitus, -

$$\beta_{dis} = \frac{Q_{H,dis,out}}{\Phi_{em} t_{op}}$$

$Q_{H,dis,out}$  on lämmönjaon luovuttama lämpöenergia laskentajaksolla, kWh

$\Phi_{em}$  on mitoituslämpöteho, kW

$t_{op}$  on laskentajakson lämmitystunnit, h

$\Delta \theta_{des}$	on verkoston mitoitus tilanteen keskilämpötilan ja huonelämpötilan erotus, °C
	$\Delta \theta_{des} = \frac{\theta_{s,des} + \theta_{r,des}}{2} - \theta_i$
$\theta_{s,des}$	on verkoston mitoitusmenolämpötila, °C
$\theta_{r,des}$	on verkoston mitoituspaluulämpötila, °C
$\theta_i$	on mitoitus huonelämpötila, °C
n	on lämmönluovutustavasta riippuva eksponentti (taulukko 1), -

Taulukko 2. Eri lämmönluovutustapojen lämmönluovutuseksponentit standardin SFS EN 15316-2-3:2007 mukaan. Näitä voidaan käyttää, jos tarkempaa suunnittelutietoa ei ole.

Lämmönluovutustapa	Lämmönluovutuseksponentti, n
Radiaattorit	1,33
Lattialämmitys	1,1

### 3.2 Jatkuva säätö termostaattiventtiileillä

Verkoston keskimääräinen lämpötila ja menolämpötila sekä paluulämpötila lasketaan verkoston osakuormituksen funktiona kaavoista

$$\theta_m(\beta_{dis}) = \Delta \theta_{des} \cdot \beta_{dis}^{\frac{1}{n}} + \theta_i \quad (8)$$

$$\theta_s = \text{mitoitus} - \text{tai} \text{asetusarvo} \quad (9)$$

$$\theta_r = \max(2 \cdot \theta_m - \theta_s, \theta_i) \quad (10)$$

joissa

$\theta_m$	on verkoston keskimääräinen lämpötila, °C
$\theta_s$	on verkoston menolämpötila, °C
$\theta_r$	on verkoston paluulämpötila, °C
$\beta_{dis}$	on verkoston osakuormitus, -

$$\beta_{dis} = \frac{Q_{H,dis,out}}{\Phi_{em} t_{op}}$$

$Q_{H,dis,out}$	on lämmönjaon luovuttama lämpöenergia laskentajaksolla, kWh
$\Phi_{em}$	on mitoituslämpöteho, kW
$t_{op}$	on laskentajakson lämmitystunnit, h
$\Delta \theta_{des}$	on verkoston mitoitus tilanteen keskilämpötilan ja huonelämpötilan erotus, °C
	$\Delta \theta_{des} = \frac{\theta_{s,des} + \theta_{r,des}}{2} - \theta_i$
$\theta_{s,des}$	on verkoston mitoitusmenolämpötila, °C
$\theta_{r,des}$	on verkoston mitoituspaluulämpötila, °C
$\theta_i$	on mitoitus huonelämpötila, °C
n	on lämmönluovutustavasta riippuva eksponentti (taulukko 1), -

### 3.3 On-off- säätö

Verkoston menolämpötila ja paluulämpötila määritetään kullekin laskentajaksolle mitoitus tietojen perusteella

$$\theta_s = \theta_{s,des} \quad (11)$$

$$\theta_r = \theta_{r,des} \quad (12)$$

joissa

$\theta_s$  on verkoston menolämpötila laskentajaksolla, °C

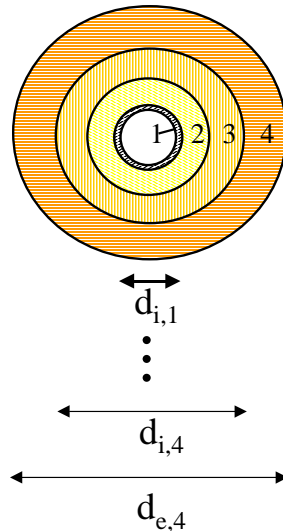
$\theta_{s,des}$  on verkoston mitoitusmenolämpötila laskentajaksolla, °C

$\theta_r$  on verkoston paluulämpötila laskentajaksolla, °C

$\theta_{r,des}$  on verkoston mitoituspaluulämpötila laskentajaksolla, °C

Huom.: mitoitusolosuhde voi vaihdella laskentajakson mukaan

## 4 Kerroksellisen putken ja sylinterin lämmönläpäisykerroin



Kuva 1. Kerroksellinen putkieristys.

Pyöreän kerroksellisen putken lämmönläpäisykerroin pituusyksikköä kohti lasketaan standardin EN ISO 12241 mukaisesti kaavalla (13). Vastaavanlainen, joskin hieman yksinkertaistettu, menetelmä on esitetty standardissa SFS EN 15316-2-3:2007.

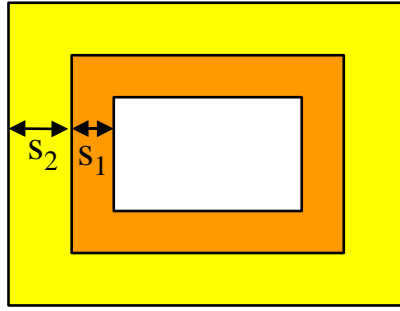
$$\frac{1}{U'} = \frac{1}{\alpha_{i,1} \cdot \pi \cdot d_{i,1}} + \frac{1}{2 \cdot \pi} \sum_{j=1}^n \frac{1}{\lambda_j} \cdot \ln \frac{d_{e,j}}{d_{i,j}} + \frac{1}{\alpha_{e,n} \cdot \pi \cdot d_{e,n}} \quad (13)$$

jossa

$U'$	on putken lämmönläpäisykerroin pituusyksikköä kohti, W/(m,K)
$\alpha_{i,1}$	on putken sisäpinnan lämmönsiirtokerroin, W/(m <sup>2</sup> ,K)
$d_{i,1}$	on putken sisähalkaisija, (m)
$\lambda_j$	on putkikerroksen, j, lämmönjohtavuus, W/(m,K)
$d_{e,j}$	on putkikerroksen, j, ulkohalkaisija, m
$d_{i,j}$	on putkikerroksen, j, sisähalkaisija, m
$\alpha_{e,n}$	on putken ulkopinnan lämmönsiirtokerroin, W/(m <sup>2</sup> ,K)
$d_{e,n}$	on putken ulkohalkaisija, (m)

Nestemäisillä lämmönsiirtoaineilla (esimerkiksi vesikiertoisissa lämmönjako-verkostoissa) putken sisäpuolinen lämmönsiirtokerroin ( $\alpha_{i,1}$ ) on usein suuri ja siten pintavastus ( $1/(\alpha_{i,1} \cdot \pi \cdot d_{i,1})$ ) niin pieni muihin lämmönvastuksiin verrattuna, että se voidaan jättää huomioon ottamatta. Kaasumaisilla aineilla (ilmanvaihtokanavat) sisäpuolinen lämpövastus tulee aina ottaa huomioon laskelmissa.

## 5 Suorakaiteen muotoisen virtausputken lämmönläpäisykerroin



Kuva 2. Suorakaiteen muotoinen kerroksellisesti eristetty kanava.

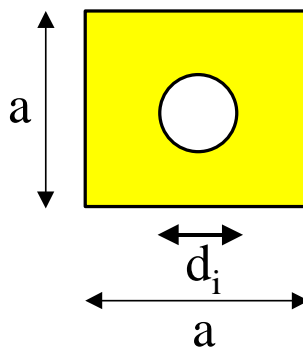
Suorakaiteen muotoisen kerroksellisen kanavan lämmönläpäisykerroin lasketaan standardin EN ISO 12241 mukaisesti kaavalla (14).

$$\frac{1}{U'} = \frac{1}{\alpha_{i,1} \cdot P_{i,1}} + \sum_{j=1}^n \frac{s_j}{\lambda_j} \cdot \left( \frac{1}{0,5 \cdot (P_{i,j} + P_{e,j})} \right) + \frac{1}{\alpha_{e,n} \cdot P_{e,n}} \quad (14)$$

jossa

$U'$	on kanavan lämmönläpäisykerroin, W/(m,K)
$\alpha_{i,1}$	on kanavan sisäpinnan lämmönsiirtokerroin, W/(m <sup>2</sup> ,K)
$P_{i,1}$	on kanavan sisäpiirin pituus, m
$s_j$	on kerroksen, j, paksuus, m
$\lambda_j$	on kerroksen, j, lämmönjohtavuus, W/(m,K)
$P_{e,j}$	on kerroksen, j, ulkopiirin pituus, m
$P_{i,j}$	on kerroksen, j, sisäpiirin pituus, m
$\alpha_{e,n}$	on kanavan ulkopinnan lämmönsiirtokerroin, W/(m <sup>2</sup> ,K)
$P_{e,n}$	on kanavan ulkopiirin pituus, m

## 6 Neliömäisen eristyksen lämpövastus



Kuva 3. Neliömäinen putkieristys.

Putken ympärillä olevan neliömäisen eristyksen aiheuttama lämpövastus lasketaan yhtälöstä (15) (EN ISO 12241)

$$R' = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_j} \cdot \ln\left(\frac{1,073 \cdot a}{d_i}\right) \quad (15)$$

jossa

- $R'$  on neliömäisen eristekerroksen lämpövastus, (m·K)/W  
 $\lambda_j$  on eristekerroksen lämmönjohtavuus, W/(m·K)  
 $a$  on neliömäisen eristeen sivun pituus, m  
 $d_i$  on putken ulkohalkaisija, m

## 7 Pintojen lämmönsiirtokerroimet

Ulkopuoliselle lämmönsiirtokerroimelle voidaan laskelmissa kohtuullisella tarkkuudella käyttää standardissa SFS EN 15316-2-3:2007 annettuja oletusarvoja, taulukko 3. Vesikiertoisille lämmitysjärjestelmille ei putken sisäpuolista lämmönsiirtokerrointa, standardin SFS EN 15316-2-3:2007 mukaan, tarvitse ottaa huomioon.

*Taulukko 3. Ulkopuolisen lämmönsiirtokerroimen (konvektio+säteily) oletusarvot standardin EN 15316-2-3:2007 mukaan.*

Lämpöeristys	Lämmönsiirtokerroin, $\alpha_{e,n}$ W/m <sup>2</sup> K
Eristetyille putkille sisätiloissa	8
Eristämättömille putkille sisätiloissa	14

Lämmittämättömässä tilassa tai ulkona sijaitseville putkille voidaan putken ulkopinnan lämmönsiirtokerroimelle käyttää oletusarvoisesti arvoa  $\alpha_{e,n}=25$  W/m<sup>2</sup>K.

Pintojen lämmönsiirtokerroimet voidaan tarkemmin määrittää standardissa EN ISO 12241 esitetyllä tavalla.

Lämmönsiirto putken ulkopinnalta ympäristöön tapahtuu konvektiolla ja säteilemällä ja kokonaislämmönsiirtokerroin on näiden summa, kaava (16).

$$\alpha_{e,n} = \alpha_{e,kon} + \alpha_{e,sät} \quad (16)$$

jossa

- $\alpha_{e,n}$  on ulkopinnan lämmönsiirtokerroin, W/(m<sup>2</sup>,K)  
 $\alpha_{e,kon}$  on konvektion lämmönsiirtokerroin ulkopinnalla, W/(m<sup>2</sup>,K)  
 $\alpha_{e,sät}$  on säteilyn lämmönsiirtokerroin ulkopinnalla, W/(m<sup>2</sup>,K)

Konvektion lämmönsiirtokerroin rakennuksen sisällä pystysuoralle putkelle lasketaan laminaarisella alueella ( $d_e^3 \cdot (T_e - T_a) < 10$  m<sup>3</sup>·K) kaavasta (17) (standardi EN ISO 12241).

$$\alpha_{e,kon} = 1,32 \cdot \sqrt[4]{\frac{T_e - T_a}{d_e}} \quad (17)$$

jossa

$\alpha_{e,kon}$	on konvektion lämmönsiirtokerroin putken ulkopinnalla, W/(m <sup>2</sup> ,K)
$T_e$	on putken ulkopinnan lämpötila, °C
$T_a$	on ilman lämpötila putken ympäristössä, °C
$d_e$	on putken ulkohalkaisija, m

Turbulenttisella alueella ( $d_e^3 \cdot (T_e - T_a) \geq 10 \text{ m}^3 \cdot \text{K}$ ) pystysuoran putken ulkopinnan konvektion lämmönsiirtokerroin lasketaan kaavalla (18) (standardi EN ISO 12241)

$$\alpha_{e,kon} = 1,74 \cdot \sqrt[3]{T_e - T_a} \quad (18)$$

jossa

$\alpha_{e,kon}$	on konvektion lämmönsiirtokerroin putken ulkopinnalla, W/(m <sup>2</sup> ,K)
$T_e$	on putken ulkopinnan lämpötila, °C
$T_a$	on ilman lämpötila putken

Vaakasuoralle putkelle konvektion lämmönsiirtokerroin laminaarisella alueella ( $d_e^3 \cdot (T_e - T_a) < 10 \text{ m}^3 \cdot \text{K}$ ) määritellään yhtälöllä (19) ja turbulenttisella alueella ( $d_e^3 \cdot (T_e - T_a) \geq 10 \text{ m}^3 \cdot \text{K}$ ) vastaavasti kaavalla (20) (standardi EN ISO 12241).

$$\alpha_{e,kon} = 1,25 \cdot \sqrt[4]{\frac{T_e - T_a}{d_e}} \quad (19)$$

$$\alpha_{e,kon} = 1,21 \cdot \sqrt[3]{T_e - T_a} \quad (20)$$

Ulkona sijaitseville vaaka- ja pystyputkille pätevät seuraavat kaavat (21) ja (22) (standardi EN ISO 12241):

1) laminaarinen virtaus ( $v \cdot d_e < 8,55 \cdot 10^{-3}$ )

$$\alpha_{e,kon} = \frac{8,1 \cdot 10^{-3}}{d_e} + 3,14 \cdot \sqrt{\frac{v}{d_e}} \quad (21)$$

2) turbulenttinen virtaus ( $v \cdot d_e \geq 8,55 \cdot 10^{-3}$ )

$$\alpha_{e,kon} = 8,9 \cdot \frac{v^{0,9}}{d_e^{0,1}} \quad (22)$$

jossa

$\alpha_{e,kon}$	on konvektion lämmönsiirtokerroin putken ulkopinnalla, W/(m <sup>2</sup> ,K)
$v$	on ilman virtausnopeus (tuulen nopeus), m/s
$d_e$	on putken ulkohalkaisija, m

Säteilyn lämmönsiirtokerroin sekä sisällä että ulkona sijaitsevalle putkelle voidaan useimmissa tapauksissa arvioida kaavalla (23) (standardi EN ISO 12241).

$$\alpha_{e,sät} = \varepsilon_p \cdot \sigma \cdot \frac{T_e^4 - T_s^4}{T_e - T_s} \quad (23)$$

jossa

$\alpha_{e,sät}$	on säteilyn lämmönsiirtokerroin putken ulkopinnalla, W/(m <sup>2</sup> ,K)
$\varepsilon_p$	on putken ulkopinnan emissiviteetti, -
$\sigma$	on Stefan-Boltzmannin säteilyvakio 5,67·10 <sup>-8</sup> , W/(m <sup>2</sup> ·K <sup>4</sup> )
$T_e$	on putken ulkopinnan lämpötila Kelvin asteissa, K
$T_s$	on ympäröivien pintojen keskilämpötila Kelvin asteissa, K

Yleisimpien taloteknisten eristeiden päällysteiden emissiviteettejä on esitetty esimerkiksi LVI ohjetiedostossa LVI 50-10344.

Kaavassa (23) oletetaan, että putkea ympäröivien pintojen pinta-ala on huomattavasti suurempi kuin putken ulkopinnan pinta-ala. Jos putki sijaitsee esimerkiksi roilossa, on putken emissiviteetti  $\varepsilon_p$  kaavasta (23) korvattava putken ja roilon pintojen välisellä emissiviteetillä, kaava (24).

$$\varepsilon = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{A_p}{A_s} \cdot \left( \frac{1}{\varepsilon_s} - 1 \right)} \quad (24)$$

jossa

$\varepsilon$	on putken ja ympäristön välinen emissiviteetti, (-)
$\varepsilon_p$	on putken ulkopinnan emissiviteetti, (-)
$\varepsilon_s$	on putkea ympäröivän tilan pintojen emissiviteetti, (-)
$A_p$	on putken ulkopinnan pinta-ala, m <sup>2</sup>
$A_s$	on putkea ympäröivien pintojen pinta-ala, m <sup>2</sup>

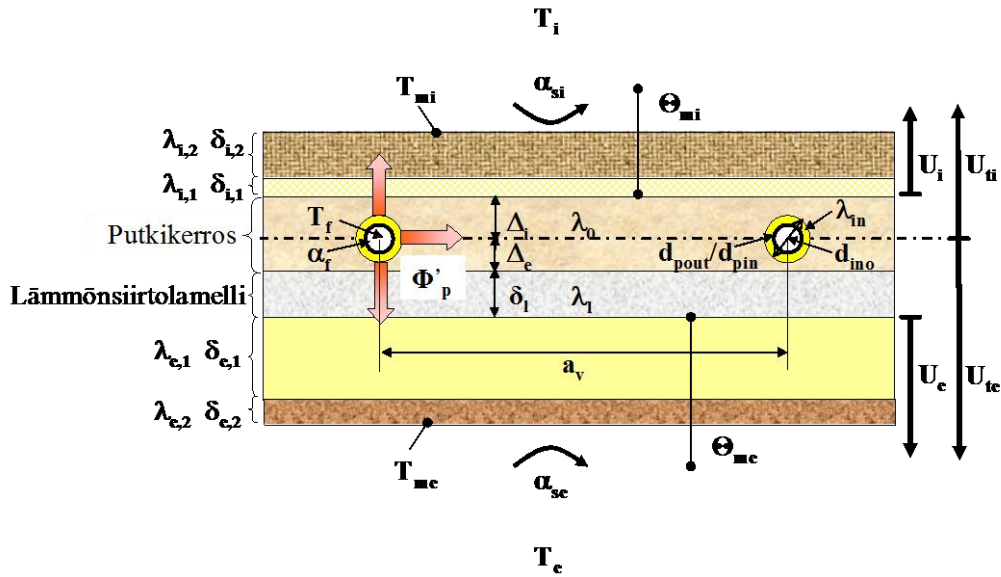
## 8 Rakenteisiin integroidut putket

Rakenteisiin integroitujen lämmönjakoverkoston osien lämpöhäviöt lasketaan seuraavassa esitettävällä käsinlaskentamenetelmällä tai yleisesti tunnetuilla simulointiohjelmilla, jotka hallitsevat 2D/3D-lämmönsiirron.

### 8.1 Rakenteisiin integroitujen lämmönjako- ja lämmitysputkien lämpöhäviöiden laskenta

Seuraavassa esitettäviä kaavoja voidaan käyttää laskettaessa rakenteeseen integroitujen lämmönjakoputkien lämpöhäviöitä, ja samoja yhtälöitä voidaan soveltaa myös esimerkiksi lattialämmityksen lämmönluovutus ja lämpöhäviöiden tarkempaan laskentaan. Menetelmä on kuvattu lähteessä (Hanel Juni 2003). Laskentamenetelmässä lämmönjohtumista homogeenisessa putkikerroksessa (lämmitys tai jäähdytysputkisto) käsitellään kaksiulotteisesti. Menetelmässä voidaan ottaa huomioon myös putkikerroksen ala- tai yläpuolisen ”lämmönsiirtolamellin” lämmönsiirtoa parantavat vaikutukset 2-ulotteisesti (esimerkiksi lattialämmityksessä puulattioiden yhteydessä käytettävät metallilevyt).





Kuva 5. Rakenteeseen integroitujen lämmitys/jäähdytysputkien lämpöhäviöiden laskentaan liittyviä merkintöjä.

Seuraavassa määritellään lämpöhäviöiden laskennassa tarvittavat kaavat. Kuvassa 5 esitellään kaavoissa tarvittavat geometriset ja lämpötekniset merkinnät.

Putkikerroksen sisäpuolisen (=huoneenpuoleisen) rakenteen lämmönläpäisykerroin,  $U_i$ , lasketaan kaavasta (25) ja vastaavasti putkikerroksen ja lämmönsiirtolamellin ulkopuolisen rakenteen lämmönläpäisykerroin,  $U_e$ , kaavasta (26).

$$U_i = \left[ R_{si} + \left( \frac{\delta_{i,1}}{\lambda_{i,1}} + \frac{\delta_{i,2}}{\lambda_{i,2}} + \dots \right) \right]^{-1} \quad (25)$$

jossa

- $U_i$  on sisäpuolisen rakenteen lämmönläpäisykerroin,  $W/(m^2, K)$
- $R_{si}$  on sisäpuolisen pinnan lämmönsiirtovastus  $= 1/\alpha_{si}$ ,  $(m^2, K)/W$
- $\delta_{i,1,2,\dots,n}$  on sisäpuolisen ainekerroksen paksuus, m
- $\lambda_{i,1,2,\dots,n}$  on sisäpuolisen ainekerroksen lämmönjohtavuus,  $W/(m, K)$

$$U_e = \left[ R_{se} + \left( \frac{\delta_{e,1}}{\lambda_{e,1}} + \frac{\delta_{e,2}}{\lambda_{e,2}} + \dots \right) \right]^{-1} \quad (26)$$

jossa

- $U_e$  on ulkopuolisen rakenteen lämmönläpäisykerroin,  $W/(m^2, K)$
  - $R_{se}$  on ulkopuolisen pinnan lämmönsiirtovastus  $= 1/\alpha_{se}$ ,  $(m^2, K)/W$
  - $\delta_{e,1,2,\dots,n}$  on ulkopuolisen ainekerroksen paksuus, m
  - $\lambda_{e,1,2,\dots,n}$  on ulkopuolisen ainekerroksen lämmönjohtavuus,  $W/(m, K)$
- Putkitason sisäpuolisen rakenteen kokonaislämmönläpäisykerroin,  $U_{ti}$ , lasketaan kaavalla

$$U_{ii} = \left[ \frac{1}{U_i} + \frac{\Delta_i}{\lambda_0} \right]^{-1} \quad (27)$$

jossa

$U_{ii}$  on putkitason sisäpuolisen rakenneosan lämmönläpäisykerroin,  $W/(m^2, K)$   
 $U_i$  on sisäpuolisen rakenneosan lämmönläpäisykerroin,  $W/(m^2, K)$   
 $\Delta_i$  putkikerroksen putkitason sisäpuolisen rakennekerroksen paksuus, m  
 $\lambda_0$  putkikerrosmateriaalin lämmönjohtavuus,  $W/(m, K)$

$$U_{te} = \left[ \frac{1}{U_e} + \frac{\Delta_e}{\lambda_0} + \frac{\delta_l}{\lambda_l} \right]^{-1} \quad (28)$$

jossa

$U_{te}$  on putkitason ulkopuolisen rakenneosan lämmönläpäisykerroin,  $W/(m^2, K)$   
 $U_e$  on ulkopuolisen rakenneosan lämmönläpäisykerroin,  $W/(m^2, K)$   
 $\Delta_e$  putkikerroksen putkitason ulkopuolisen rakennekerroksen paksuus, m  
 $\lambda_0$  putkikerrosmateriaalin lämmönjohtavuus,  $W/(m, K)$   
 $\delta_l$  on lämmönsiirtolamellikerroksen paksuus, m  
 $\lambda_l$  on lämmönsiirtolamellikerrosmateriaalin lämmönjohtavuus,  $W/(m, K)$

Laskennassa tarvittavat apuparametrit,  $G_i$ ,  $G_e$  ja  $\Sigma$  määritellään kaavoilla(29),(30) ja (31)

$$G_i = \frac{-2\lambda_0}{U_{te} + U_{ii}} \quad (29)$$

jossa

$G_i$  on sisäpuolisen rakenneosan apuparametri  
 $U_{ii}$  on putkitason sisäpuolisen rakenneosan lämmönläpäisykerroin,  $W/(m^2, K)$   
 $U_{te}$  on putkitason sisäpuolisen rakenneosan lämmönläpäisykerroin,  $W/(m^2, K)$   
 $\lambda_0$  on putkikerrosmateriaalin lämmönjohtavuus,  $W/(m, K)$

$$G_e = \frac{U_{te} - U_{ii}}{U_{te} + U_{ii}} \quad (30)$$

jossa

$G_e$  on ulkopuolisen rakenneosan apuparametri  
 $U_{ii}$  on putkitason sisäpuolisen rakenneosan lämmönläpäisykerroin (kuva 5),  $W/(m^2, K)$   
 $U_{te}$  on putkitason ulkopuolisen rakenneosan lämmönläpäisykerroin (kuva 5),  $W/(m^2, K)$

$$\Sigma = \sum_{s=1}^{\infty} \frac{g_e(s) + g_i(s)}{s} \quad (31)$$

Parametrit  $g_e(s)$  ja  $g_i(s)$  määritellään yhtälöillä (34) ja (35),  $s$  on juokseva lukuarvo  $s = 1, 2, 3, \dots, n$  (yleensä  $20 < s < 200$ ).

Seuraavissa yhtälöissä tarvittavat apusuureet  $h_i$  ja  $h_e$  lasketaan kaavoilla (32) ja (33).

$$h_i = \frac{U_i \cdot a_v}{\lambda_o} \quad (32)$$

$$h_e = \frac{U_e \cdot a_v}{\lambda_o} \quad (33)$$

joissa

$U_i$  on putkikerroksen sisäpuolisen rakenteen lämmönläpäisykerroin,  $W/(m^2, K)$   
 $U_e$  on putkikerroksen ulkopuolisen rakenteen lämmönläpäisykerroin,  $W/(m^2, K)$   
 $a_v$  on putkien asennusväli (kuva 5), m  
 $\lambda_o$  on putkikerrosmateriaalin lämmönjohtavuus,  $W/(m, K)$

$$g_i(s) = \frac{\left( \lambda_o + \frac{\lambda_l}{N_1} - \frac{\lambda_l}{N_2} \right) \left( e^{-\frac{4\pi s}{a_v} \Delta_e} - R \right)}{\lambda_o(1+R) + \left( \frac{\lambda_l}{N_2} - \frac{\lambda_l}{N_1} \right) (1-R)} \quad (34)$$

jossa

$\lambda_o$  on putkikerrosmateriaalin lämmönjohtavuus,  $W/(m, K)$   
 $\lambda_l$  on lämmönsiirtolamellikerrosmateriaalin lämmönjohtavuus,  $W/(m, K)$   
 $N_1, N_2$  ja  $R$  ovat parametreja (kts. kaavat (36), (37) ja (38))

$$g_e(s) = -\frac{h_i - 2\pi s}{h_i + 2\pi s} e^{-\frac{4\pi s}{a_v} \Delta_i} (1 + g_i(s)) \quad (35)$$

jossa

$h_i$  on apuparametri, määritelty kaavalla (32),  
 $s$  on juokseva lukuarvo 1,2,3,...n  
 $\Delta_i$  on putkikerroksen putkitason sisäpuolinen paksuus (kuva 5), m  
 $a_v$  on putkien asennusväli (kuva 5), m  
 $g_i(s)$  on parametri (kaava (34))

$$N_1 = 1 - \frac{h_e + 2\pi s}{h_e - 2\pi s} e^{\frac{4\pi s}{a_v} \delta_i} \quad (36)$$

$$N_2 = 1 - \frac{h_e - 2\pi s}{h_e + 2\pi s} e^{-\frac{4\pi s}{a_v} \delta_i} \quad (37)$$

joissa

$h_e$  on apuparametri, määritelty kaavalla (32)  
 $s$  on juokseva lukuarvo 1,2,3,...n  
 $\delta_i$  on lämmönsiirtolamellin paksuus (kuva 5), m

$a_v$  on putkien asennusväli (kuva 5), m

$$R = \frac{h_i - 2\pi s}{h_i + 2\pi s} e^{-\frac{4\pi s}{a_v}(\Delta_e + \Delta_i)} \quad (38)$$

jossa

$h_i$  on apuparametri, määritelty kaavalla (32)

$s$  on juokseva lukuarvo 1,2,3,...n

$\Delta_i$  on putkikerroksen putkitason sisäpuolinen paksuus (kuva 5), m

$\Delta_e$  on putkikerroksen putkitason ulkopuolinen paksuus (kuva 5), m

$a_v$  on putkien asennusväli (kuva 5), m

Ylilämpötilaeroja laskettaessa tarvittava vakio,  $A$ , lasketaan kaavasta (39)

$$B = \frac{T_{ino} - \frac{T_i U_{ii} + T_e U_{te}}{U_{ii} + U_{te}}}{\ln\left(\frac{a_v}{\pi d_{ino}}\right) - \frac{\pi}{a_v} G_i + \Sigma} \quad (39)$$

jossa

$U_{ii}$  on putkitason sisäpuolisen rakenneosan lämmönläpäisykerroin (kuva 5),  $W/(m^2, K)$

$U_{te}$  on putkitason ulkopuolisen rakenneosan lämmönläpäisykerroin (kuva 5),  $W/(m^2, K)$

$a_v$  on putkien asennusväli (kts. kuva 5), m

$d_{ino}$  on putkirakenteen ulkohalkaisija (esimerkiksi eristeen ulkohalkaisija, kuva 5)

$G_i$  on sisäpuolisen rakenneosan apuparametri

$\Sigma$  on apuparametri, määritelty kaavalla (31)

Keskimääräinen ylilämpötilaero putkikerroksen sisäpuolisen lämpötilan ja huonelämpötilan välillä lasketaan kaavalla (40) ja vastaavasti keskimääräinen ylilämpötilaero putkikerroksen ulkopuolisen lämpötilan ja ulkolämpötilan välillä kaavalla (41).

$$\Theta_{mi} = \frac{B\pi\lambda_0}{a_v U_i} (1 - G_e) + (T_e - T_i) \frac{\frac{1}{U_i}}{\frac{1}{U_{te}} + \frac{1}{U_i}} \quad (40)$$

$$\Theta_{me} = \frac{B\pi\lambda_0}{a_v U_e} (1 + G_e) - (T_e - T_i) \frac{\frac{1}{U_e}}{\frac{1}{U_{te}} + \frac{1}{U_i}} \quad (41)$$

joissa

$B$  on apuparametri, määritelty kaavalla (39)

$\lambda_0$  on putkikerrosmateriaalin lämmönjohtavuus,  $W/(m, K)$

$a_v$  on putkien asennusväli (kuva 5), m

$U_i$  on putkikerroksen sisäpuolisen rakenneosan lämmönläpäisykerroin (kuva 5),  $W/(m^2, K)$

$U_e$	on putkikerroksen ulkopuolisen rakenneosan lämmönläpäisykerroin (kuva 5), $W/(m^2,K)$
$G_e$	on ulkopuolisen rakenneosan apuparametri
$T_e$	on ulkopuolinen lämpötila (kts. kuva 5), °C
$T_i$	on sisäpuolinen lämpötila (kts. kuva 5), °C
$U_{ti}$	on putkitason sisäpuolisen rakenneosan lämmönläpäisykerroin (kuva 5), $W/(m^2,K)$
$U_{te}$	on putkitason ulkopuolisen rakenneosan lämmönläpäisykerroin (kuva 5), $W/(m^2,K)$

Keskimääräisistä ylälämpötiloista voidaan keskimääräinen pintalämpötila rakenneosan sisä- ja ulkopinnoilla laskea kaavoista (42) ja (43)

$$T_{mi} = \Theta_{mi} \frac{U_i}{\alpha_{si}} + T_i \quad (42)$$

$$T_{me} = \Theta_{me} \frac{U_e}{\alpha_{se}} + T_e \quad (43)$$

joissa

$\Theta_{mi}$	on keskimääräinen ylälämpötilaero putkikerroksen sisäpuolisen lämpötilan ja huonelämpötilan välillä (kaava (40)), °C
$\Theta_{me}$	on keskimääräinen ylälämpötilaero putkikerroksen ulkopuolisen lämpötilan ja ulkolämpötilan välillä (kaava (41)), °C
$U_i$	on putkikerroksen sisäpuolisen rakenneosan lämmönläpäisykerroin (kuva 5), $W/(m^2,K)$
$U_e$	on putkikerroksen ulkopuolisen rakenneosan lämmönläpäisykerroin (kuva 5), $W/(m^2,K)$
$\alpha_{si}$	on rakenneosan sisäpinnan lämmönsiirtokerroin, $W/(m^2,K)$
$\alpha_{se}$	on rakenneosan ulkopinnan lämmönsiirtokerroin, $W/(m^2,K)$
$T_i$	on sisäpuolinen lämpötila (kuva 5), °C
$T_e$	on ulkopuolinen lämpötila (kuva 5), °C

Lämmitysputken kokonaislämpöhäviö putkimetriä kohti jatkuvuustilassa on yhtä suuri kuin sisään ja ulos suuntautuvien lämpövirtojen summa kerrottuna putkien asennusvälillä.

$$\Phi'_p = (q'_{pi} + q'_{pe})a_v \quad (44)$$

Sisään ja ulos suuntautuvat lämpövirran tiheydet voidaan laskea yhtälöistä:

$$q'_{pi} = U_i \Theta_{mi} \quad (45)$$

$$q'_{pe} = U_e \Theta_{me} \quad (46)$$

joissa

$U_i$	on putkikerroksen sisäpuolisen rakenneosan lämmönläpäisykerroin (kuva 5), $W/(m^2,K)$
$U_e$	on putkikerroksen ulkopuolisen rakenneosan lämmönläpäisykerroin (kuva 5), $W/(m^2,K)$
$\Theta_{mi}$	on keskimääräinen ylälämpötilaero putkikerroksen sisäpuolisen lämpötilan ja huonelämpötilan välillä (kaava (40)), °C

$\Theta_{me}$  on keskimääräinen ylälämpötilaero putkikerroksen ulkopuolisen lämpötilan ja ulkolämpötilan välillä (kaava (41)), °C

Putken lämpöhäviö putkimetriä kohti voidaan kirjoittaa edellä esitettyjen yhtälöiden avulla muotoon:

$$\Phi'_p = 2\pi\lambda_0 \frac{T_f - \frac{T_i U_{ti} + T_e U_{te}}{U_{ti} + U_{te}}}{\frac{2\lambda_0}{d_{pin}\alpha_f} + \frac{\lambda_0}{\lambda_p} \ln\left(\frac{d_{pout}}{d_{pin}}\right) + \frac{\lambda_0}{\lambda_{in}} \ln\left(\frac{d_{ino}}{d_{pout}}\right) + \ln\left(\frac{a_v}{\pi d_{ino}}\right) - \frac{\pi}{a_v} G_i + \Sigma} \quad (47)$$

jossa

$\Phi'_p$	on putken lämpöhäviö putkimetriä kohti, W/m
$\lambda_0$	on putkikerrosmateriaalin lämmönjohtavuus, W/(m,K)
$T_f$	on lämmönsiirtonesteen lämpötila (kuva 5), °C
$T_i$	on sisäpuolinen ilmanlämpötila (kuva 5), °C
$T_e$	on ulkopuolinen ilmanlämpötila (kuva 5), °C
$U_{ti}$	on putkitason sisäpuolisen rakenneosan lämmönläpäisykerroin (kuva 5), W/(m <sup>2</sup> ,K)
$U_{te}$	on putkitason ulkopuolisen rakenneosan lämmönläpäisykerroin (kuva 5), W/(m <sup>2</sup> ,K)
$d_{pin}$	on virtausputken sisähalkaisija, m
$\alpha_f$	on lämmönsiirtokerroin virtausputken sisäpinnalla, W/(m <sup>2</sup> ,K)
$\lambda_p$	on virtausputkimateriaalin lämmönjohtavuus, W/(m,K)
$d_{pin}$	on virtausputken sisähalkaisija, m
$d_{pout}$	on virtausputken ulkohalkaisija, m
$\lambda_{in}$	on mahdollisen putkieristysmateriaalin lämmönjohtavuus, W/(m,K)
$d_{ino}$	on mahdollisen putkieristyksen ulkohalkaisija, m
$a_v$	on putkien asennusväli (kuva 5), m
$G_i$	on sisäpuolisen rakenneosan apuparametri, määritelty kaavalla (29)
$\Sigma$	on apuparametri, määritelty kaavalla (31)

Lämpöhäviöt ulos tietyn tarkastelujakson ajalta, joka on esimerkiksi yksi kuukausi, lasketaan lämpövirrantiheyden avulla:

$$Q_{ex} = q'_{pe} \cdot A \cdot \Delta t \quad (48)$$

jossa

$Q_{ex}$	on tarkastelujakson lämpöhäviö, kWh
$q'_{pe}$	on keskimääräinen lämpövirran tiheys ulos tarkastelujaksolla, W/m <sup>2</sup>
$A$	on lämmitetyn alueen pinta-ala, m <sup>2</sup>
$\Delta t$	on tarkastelujakson pituus (esimerkiksi kuukausi)

Laskettaessa yksittäisen putken lämmönluvutusta on putkien asennusväliksi määritettävä vähintään  $a_v \geq 0,5$  m. Tällöin oletettujen vieressä sijaitsevien putkien vaikutus ei enää ole merkittävä. Taulukossa 4 on suositellut (Hanel) rakenteen sisäpuolisen pinnan lämmönsiirtokerroimet.

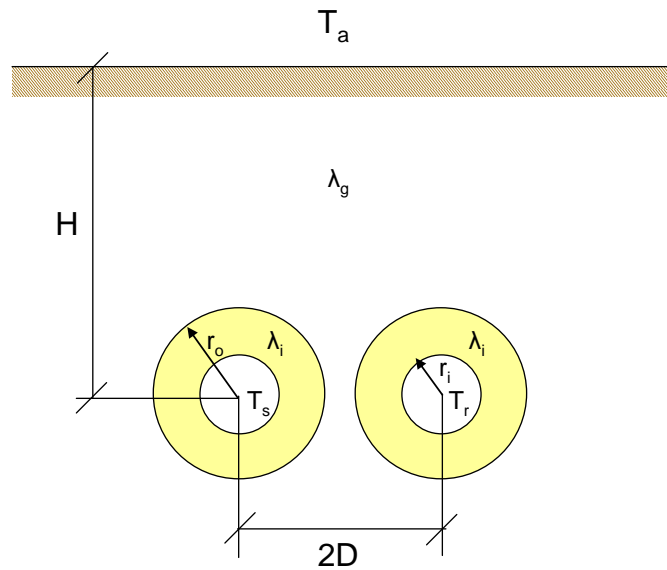
Taulukko 4. Yksittäisen putken laskennassa suositellut rakenteen sisäpuolisen pinnan lämmönsiirtokerroimet eri tapauksille (Hanel).

Tapaus	Sisäpuolisen pinnan lämmönsiirtokerroin, W/m <sup>2</sup> K
Vaakasuora pinta lämmönsiirto ylöspäin (lattia)	9
Vaakasuora pinta lämmönsiirto alaspäin (katto)	6,7
Pystysuora pinta (seinä)	7,5

## 9 Maahan asennettu putki

Maahan asennettujen lämpöjohtojen lämpöhäviöiden arviointi voidaan suorittaa seuraavassa esitettävällä käsinlaskentamenetelmällä tai tarkemmin simulointiohjelmilla, jotka hallitsevat 2D/3D-lämmönsiirron. Esitettävä käsinlaskentamenetelmä perustuu Chalmersin teknillisen yliopiston esittämään laskentamenetelmään (Jarfelt, U.). Käsinlaskentamenetelmä ei sovellu hetkellisten tehojen laskentaan, koska malli on stationäärinen. Tästä syystä menetelmää ei suositella käytettäväksi alle kuukauden pituisille laskentajaksoille.

## 9.1 Yksiputkisten lämpöjohtojen lämpöhäviö



Kuva 6. Maahan asennettujen yksi putkisten lämpöjohtojen lämpöhäviöiden määrittämisessä tarvittavia merkintöjä.

Maahan upotettujen putkien tapauksessa putkien kokonaislämpöhäviö putken pituutta kohti määritellään menoputken ja paluuputken lämpöhäviöiden summana (kaava 49).

$$\Phi'_t = \Phi'_s + \Phi'_r \quad (49)$$

jossa

$\Phi'_t$  on putkien kokonaislämpöhäviö per putkipituus, W/m

$\Phi'_s$  on menoputken lämpöhäviö per putkipituus, W/m

$\Phi'_r$  on paluuputken lämpöhäviö per putkipituus, W/m

Lämpöhäviöenergia lasketaan kokonaislämpöhäviön ja laskentajakson perusteella

$$Q_{\text{häviö, jakelu}} = \Phi'_t \Delta t \quad (50)$$

jossa

$\Phi'_t$  on putkien kokonaislämpöhäviö per putkipituus, W/m

$\Delta t$  on laskentajakson pituus, h

Lämpöhäviöt voidaan määrittää toisella tavalla, ajattelemalla lämpöhäviöiden koostuvan putkesta ympäristöön siirtyvästä komponentista ja putkien välisestä lämmönsiirtokomponentista (menoputkesta paluuputkeen). Tällöin meno- ja paluuputkien lämpöhäviöt voidaan määrittää kaavoilla

$$\Phi'_s = \Phi'_a + \Phi'_b \quad (51)$$



$$\Phi'_r = \Phi'_a - \Phi'_b \quad (52)$$

joissa

$\Phi'_a$  on putkien lämpöhäviö ulkoilmaan per putkipituus, W/m

$\Phi'_b$  on putkien välinen lämpövirta per putkipituus, W/m

Lämpöhäviö ulkoilmaan määritellään kaavalla

$$\Phi'_a = \left( \frac{T_s + T_r}{2} - T_a \right) 2\pi\lambda_g h_a \quad (53)$$

joissa

$T_s$  on keskimääräinen menoveden lämpötila tarkastelujaksolla, °C

$T_r$  on keskimääräinen paluueden lämpötila tarkastelujaksolla, °C

$T_a$  on keskimääräinen ulkolämpötila tarkastelujaksolla, °C

$\lambda_g$  on maan lämmönjohtavuus, W/mK

$h_a$  on putkien ja maan pinnan välinen lämmönsiirtokerroin,

Lämpövirta meno- ja paluuputkien välillä määritellään kaavalla

$$\Phi'_b = \left( \frac{T_s - T_r}{2} \right) 2\pi\lambda_g h_b \quad (54)$$

joissa

$T_s$  on menoveden keskimääräinen lämpötila tarkastelujaksolla, °C

$T_r$  on paluueden keskimääräinen lämpötila tarkastelujaksolla, °C

$\lambda_g$  on maan lämmönjohtavuus, W/mK

$h_b$  on putkien välinen lämmönsiirtokerroin,

Lämmönsiirtokerroin ulkoilmaan määritellään kaavalla

$$\frac{1}{h_a} = \ln\left(\frac{2H}{r_o}\right) + \beta + \ln\left(\sqrt{1 + \left(\frac{H}{D}\right)^2}\right) - \frac{\left(\frac{r_o}{2D}\right)^2 + \left(\frac{r_o}{2H}\right)^2 + \frac{r_o^2}{4(D^2 + H^2)}}{\frac{1 + \beta}{1 - \beta} + \left(\frac{r_o}{2D}\right)^2} \quad (55)$$

joissa

$H$  on putkien asennussyvyys, m

$r_o$  on putken säde ulkopintaan, m

$2D$  on putkien asennusetäisyys, m

$\beta$  on apumuuttuja

$$\beta = \frac{\lambda_g}{\lambda_i} \ln\left(\frac{r_o}{r_s}\right)$$

$\lambda_g$  on maan lämmönjohtavuus, W/mK

$\lambda_i$  on putkieristeen lämmönjohtavuus, W/mK

$r_s$  on putken säde sisäpintaan, m

Lämmönsiirtokerroin putkien välillä määritellään kaavalla

$$\frac{1}{h_b} = \ln\left(\frac{2H}{r_o}\right) + \beta - \ln\left(\sqrt{1 + \left(\frac{H}{D}\right)^2}\right) - \frac{\left(\frac{r_o}{2D}\right)^2 + \left(\frac{r_o}{2H}\right)^2 + \frac{r_o^2}{4(D^2 + H^2)}}{\frac{1 + \beta}{1 - \beta} - \left(\frac{r_o}{2D}\right)^2} \quad (56)$$

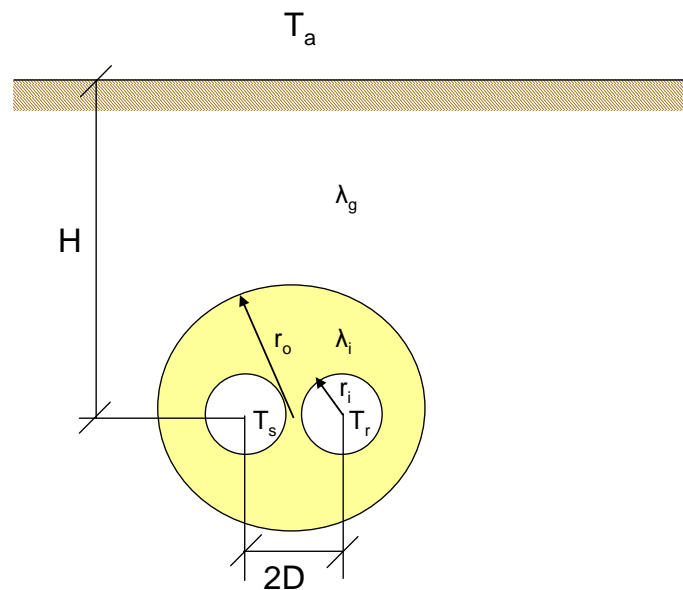
jossa

$H$  on putkien asennussyvyys, m  
 $r_o$  on putken säde ulkopintaan, m  
 $2D$  on putkien asennusetäisyys, m  
 $\beta$  on apumuuttuja

$$\beta = \frac{\lambda_g}{\lambda_i} \ln\left(\frac{r_o}{r_s}\right)$$

$\lambda_g$  on maan lämmönjohtavuus, W/mK  
 $\lambda_i$  on putkieristeen lämmönjohtavuus, W/mK  
 $r_s$  on putken säde sisäpintaan, m

## 9.2 Kaksiputkielementin lämpöhäviö



Kuva 7. Maahan asennetun kaksiputkielementin lämpöhäviöiden määrittämisessä tarvittavia merkintöjä.

Laskentaperiaate on sama kuin yksiputkielementin kohdalla, ainoastaan lämpövirrat ulkoilmaan ja putkien välillä sekä lämmönsiirtokertoimet putkielementistä ulkoilmaan ja toisaalta putkien välillä lasketaan hieman poikkeavista kaavoista. Kaavat soveltuvat hyvällä tarkkuudella myös tapaukselle, jossa virtausputket ovat päällekkäin.

Lämpöhäviö ulkoilmaan määritellään kaavalla

$$\Phi'_a = \left(\frac{T_s + T_r}{2} - T_a\right) 2\pi\lambda_i h_a \quad (57)$$

jossa

- $T_s$  on keskimääräinen menoveden lämpötila tarkastelujaksolla, °C  
 $T_r$  on keskimääräinen paluuv veden lämpötila tarkastelujaksolla, °C  
 $T_a$  on keskimääräinen ulkolämpötila tarkastelujaksolla, °C  
 $\lambda_i$  on eristeen lämmönjohtavuus, W/mK  
 $h_a$  on putkien ja maan pinnan välinen lämmönsiirtokerroin,

Lämpövirta meno- ja paluuputkien välillä määritellään kaavalla

$$\Phi'_b = \left( \frac{T_s - T_r}{2} \right) 2\pi\lambda_i h_b \quad (58)$$

jossa

- $T_s$  on menoveden keskimääräinen lämpötila tarkastelujaksolla, °C  
 $T_r$  on paluuv veden keskimääräinen lämpötila tarkastelujaksolla, °C  
 $\lambda_i$  on eristeen lämmönjohtavuus, W/mK  
 $h_b$  on putkien välinen lämmönsiirtokerroin,

Lämmönsiirtokerroin ulkoilmaan määritellään kaavalla

$$\frac{1}{h_a} = \frac{2\lambda_i}{\lambda_g} \ln\left(\frac{2H}{r_o}\right) + \ln\left(\frac{r_o^2}{2Dr_s}\right) + \sigma \ln\left(\frac{r_o^4}{r_o^4 - D^4}\right) - \frac{\left(\frac{r_s}{2D} - \frac{\sigma 2r_s D^3}{r_o^4 - D^4}\right)^2}{1 + \left(\frac{r_o}{2D}\right)^2 + \sigma \left(\frac{2r_s r_o^2 D}{r_o^4 - D^4}\right)^2} \quad (59)$$

jossa

- $H$  on putkien asennussyvyys, m  
 $r_o$  on putken säde ulkopintaan, m  
 $r_s$  on putken säde sisäpintaan, m  
 $2D$  on putkien asennusetäisyys, m  
 $\sigma$  on apumuuttuja

$$\sigma = \frac{\lambda_i - \lambda_g}{\lambda_i + \lambda_g}$$

- $\lambda_g$  on maan lämmönjohtavuus, W/mK  
 $\lambda_i$  on putkieristeen lämmönjohtavuus, W/mK

Lämmönsiirtokerroin putkien välillä määritellään kaavalla

$$\frac{1}{h_b} = \ln\left(\frac{2D}{r_s}\right) + \sigma \ln\left(\frac{r_o^2 + D^2}{r_o^2 - D^2}\right) - \frac{\left(\frac{r_s}{2D} - \chi \frac{Dr_s}{4H^2} + \frac{2\sigma r_s r_o^2 D}{r_o^4 - D^4}\right)^2}{1 - \left(\frac{r_s}{2D}\right)^2 - \frac{\chi r_s}{2H} + 2\sigma r_s^2 r_o^2 \frac{r_o^4 + D^4}{(r_o^4 - D^4)^2}} - \chi \left(\frac{D}{2H}\right)^2 \quad (60)$$

jossa

- $2D$  on putkien asennusetäisyys, m  
 $r_s$  on putken säde sisäpintaan, m  
 $r_o$  on putken säde ulkopintaan, m

$\sigma$	on apumuuttuja $\sigma = \frac{\lambda_i - \lambda_g}{\lambda_i + \lambda_g}$
$\chi$	on apumuuttuja $\chi = \frac{2(1 - \sigma^2)}{1 - \sigma \left( \frac{r_o}{2H} \right)^2}$
$\lambda_g$	on maan lämmönjohtavuus, W/mK
$\lambda_i$	on putkieristeen lämmönjohtavuus, W/mK
H	on putkien asennussyvyys, m

## 10 Eristyspaksuudet ja eristeiden lämmönjohtavuudet

Lämmönjakoverkostoissa käytettävät putkieristyspaksuudet on esitetty standardissa SFS 3976 sekä LVI ohjetiedostossa LVI 50-10345 "Taloteknisten eristysten mitoitus ja käyttö". Yleisesti käytetyt eristysmateriaalit, eristeiden lämmönjohtavuus, eristeiden päällysteet ja niiden asennus on esitetty LVI ohjetiedostossa LVI 50-10344 "Talotekniikassa yleisesti käytettävät eristysmateriaalit ja niiden asennus".

Lämmönjakoverkostojen eristemateriaalien lämmönjohtavuuksina käytetään standardissa SFS 3976 tai ohjetiedostossa LVI 50-10344 esitettyjä +50 °C:n keskilämpötilassa ilmoitettuja arvoja. Sertifioitujen tai tyyppihyväksytyjen materiaalien osalta voidaan käyttää valmistajan ilmoittamia lämmönjohtavuuksia.

## 11 Putkikannakkeiden ja putkivarusteiden lisälämpöhäviö

Lämmönjakoverkoston lämpöhäviöt muodostuvat paitsi putkien häviöistä niin myös putkivarusteiden lämpöhäviöistä. Putkivarusteita ovat esimerkiksi venttiilit, putkien kiinnitysvarusteet, lämpömittarit taskuineen, ym.

Kun lämmitysjärjestelmän putkivarusteita ei tunneta, voidaan varusteiden lämpöhäviöt arvioida karkeasti olettamalla putkivarusteiden lisäävän putkipituutta 15 % (SFS EN 15316-2-3:2007). Jos putkien kiinnittimet on lämpöeristetty putkieristystä vastaavasti, ei kiinnittimien lisälämpöhäviöitä tule huomioon laskelmissa.

Tarkoissa laskelmissa putkivarusteet ja kiinnitys- ja tukirakenteet on otettava huomioon lämpöhäviölaskelmissa. Mikäli muuta ei osoiteta, lasketaan putkiston lämpöhäviö ottamalla kannakkeiden ja varusteiden lisälämpöhäviö huomioon kaavalla (61) (korvaa kaavan (1)).

$$Q_D = \left( \sum_i U_i' \cdot (\theta_{m,i} - \theta_{a,i}) \cdot (L_i \cdot b + \sum L_{eq,i}) \right) \cdot t_H \quad (61)$$

jossa

$Q_D$  on lämmönjakoverkoston putkien, putkikannakkeiden ja varusteiden lämpöhäviö tarkastelujaksolla, (Wh)

$U'_i$	on putkielementin, $i$ , $U$ -arvo, (W/m)
$\theta_{m,i}$	on lämmönjakonesteen keskimääräinen lämpötila putkielementissä tarkastelujaksolla, (°C)
$\theta_{a,i}$	on ympäristön keskimääräinen lämpötila tarkastelujaksolla, (°C)
$L_i$	on putkielementin pituus, (m)
$b$	on kannakkeiden lämpöhäviökerroin
$\Sigma L_{eq,i}$	on putkielementtiin $i$ liittyvien putkivarusteiden ekvivalenttipituus, (m)
$t_H$	on tarkastelujakson (esim. lämmityskausi, kk) pituus, (h)

Kannakkeiden aiheuttamalle lämpöhäviökertoimelle  $b$  käytetään arvoja (Partek):

- putket riippukannakkeilla sisällä 1,1
- putket liukukannakkeilla sisällä 1,15
- putket liukukannakkeilla ulkona 1,2

Venttiileitä ja laippaliitoksia verrataan lämpöhäviökertoimiltaan eristetyn suoran putken pituuksiin, jolloin niistä voidaan käyttää seuraavia ekvivalenttipituuden  $L_{eq}$  arvoja (Partek):

- laippakotelo 2 - 3 m
- venttiilikotelo 3 - 5 m
- eristämätön laippaliitos 4 - 6 m
- eristämätön hitsattu venttiili 10 - 20 m
- eristämätön laipallinen venttiili 15 - 25 m
- käyrä 0,5 - 1,0 m

## 12 Lämmönjakoverkoston pumppauksen laskenta

Lämmönjakoverkoston pumppauksen sähköenergiankulutuksen laskennan yhteenveto on esitetty taulukossa

*Taulukko 5. Lämmönjakoverkoston pumppauksen laskenta, yhteenveto.*

Menetelmän kuvaus	Menetelmä laskee nesteverkoston pumppauksen sähköenergiankäytön
Lähtötiedot	Jakoverkoston tilavuusvirrat, painehäviö ja pumpun tai puhaltimen hyötysuhde laskentajaksottain.
Tulokset	Pumppauksen sähköenergiankulutus laskentajaksottain. Lämmityksessä hyödyksi tulevat lämpöenergiat.
Oletukset	Menetelmä olettaa, että pumpun ja puhaltimen hyötysuhde on vakio laskentajaksolla
Rajaukset	-
Laskennassa käytettävät standardit	Vesikiertoisten lämmitysjärjestelmien kiertopumppujen sähköenergiankulutus ja lämmityksessä pumppaussähköstä hyödynnettävän osuuden laskenta on esitetty standardissa SFS EN 15316-2-3:2007 "Heating systems in buildings. Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies. Part 2-3: Space heating distribution systems"  Nestekiertoisille pumpuille hyötysuhde saadaan standardin ISO 9906 mittauksista ja puhaltimille EN 13141-7 "Ventilation for buildings - Performance testing of components/products for residential ventilation - Part 7: Performance testing of a mechanical supply and exhaust ventilation units (including heat recovery) for mechanical ventilation systems intended for.."

Yksinkertaistettuna lämmitysjärjestelmän puhaltimen tai pumpun sähköenergia laskentajaksolla voidaan laskea kaavasta 62 tai 63. Tarkempi laskentamenetelmä on esitetty standardissa SFS EN15316-2-3:2007. Pumppauksen energiankulutus voidaan laskea myös tarkemmilla tunnetuilla laskentatyökaluilla, joissa virtaustaseiden laskenta on mahdollista eri kuormitusolosuhteissa.

$$E_{aux} = P_{aux} \cdot t \quad (62)$$

jossa

$E_{aux}$  on puhaltimen/pumpun sähköenergiantarve laskentajaksolla, kWh/jakso  
 $P_{aux}$  on puhaltimen/pumpun sähköteho laskentajaksolla, kW  
 $t$  on käyntiaika laskentajaksolla, h/jakso

$$E_{aux} = \frac{q_v \cdot \Delta p}{\eta \cdot 1000} \cdot t \quad (63)$$

jossa

$E_{aux}$  on puhaltimen/pumpun sähköenergiantarve laskentajaksolla, kWh/jakso  
 $q_v$  on siirrettävän väliaineen keskimääräinen tilavuusvirta laskentajaksolla, m<sup>3</sup>/s  
 $\Delta p$  on paineenkorotus, Pa  
 $\eta$  on puhaltimen/pumpun hyötysuhde laskentajaksolla, -  
 $t$  on puhaltimen/pumpun käyntiaika laskentajaksolla, h/jakso

Osa lämmityksen kiertopumppujen sähköenergiasta muuttuu lämmöksi lämmönjakoverkostossa ja osa siirtyy lämpökuormaksi tilaan. Jakojärjestelmässä hyödynnetty lämpöenergia lasketaan standardin SFS EN15316-2-3:2007 mukaan kaavasta

$$Q_{aux,jako} = f_{aux,hyöd} \cdot E_{aux} \quad (64)$$

Tilan lämmityksessä hyödynnettävissä oleva lämpökuorma lasketaan standardin SFS EN15316-2-3:2007 mukaan kaavasta

$$Q_{aux,tila} = (1 - f_{aux,hyöd}) \cdot E_{aux} \quad (65)$$

joissa

$Q_{aux,jako}$  on pumppausenergiasta jakojärjestelmässä hyödynnetty lämpöenergia, kWh/jakso  
 $Q_{aux,tila}$  on pumppausenergiasta lämmityksessä hyödynnettävissä oleva tilaan siirtyvä lämpöenergia, kWh/jakso

$f_{aux,hyöd}$  on hyödyntämiskerroin, kWh/jakso  
 $E_{aux}$  on pumpun sähköenergiantarve laskentajaksolla, kWh/jakso

Hyödyntämiskertoimelle voidaan karkeissa laskelmissa käyttää standardissa SFS EN15316-2-3:2007 annettuja oletusarvoja (taulukko 6).

Taulukko 6. Hyödyntämiskertoimia standardin SFS EN15316-2-3:2007 mukaan.

Tapaus	Hyödyntämiskerroin, $f_{aux,hyöd}$
Eristämätön pumppu	0,75
Eristetty pumppu	0,90

## **Kirjallisuutta**

LVI 50-10345 Taloteknisten eristysten mitoitus ja käyttö.

LVI 50-10344 Talotekniikassa yleisesti käytettävät eristysmateriaalit ja niiden asennus.

SFS-Käsikirja 132 Teollisuuseristys.

Partek, Putki- ja laite-eristysten mitoitus. Helsinki 1981.

Hanel, B., Wärmeströme von Rohrleitungen in Fußboden - und Wandkonstruktionen - Teil 1. HLH Bd. 54, 2003 Nr.6 - Juni.

Hanel, B., Wärmeströme von Rohrleitungen in Fußboden - und Wandkonstruktionen - Teil 2. HLH Bd. 54, 2003 Nr.7 - Juli.

VDI 2055. Wärme- und Kälteschutz für betriebs- und haustechnische Anlagen. Juli 1994.

VDI 2055. Wärme- und Kälteschutz für betriebs- und haustechnische Anlagen. Entwurf April 2003.

Schmitt, F., Hoffmann, H.-W., and Göhler, T., Strategies to manage heat losses – Technique and Economy. International Energy Agency Program of research. Development and demonstration of District Heating. 2005. 112p.

Jarfelt, U. Jämförelse mellan dubbel- och enkelrör, Ackumulerande värmeförluster och miljöbelastning under 5 års drifttid. FoU 2002:79, Svenska Fjärrvärmeföreningens Sverige AB, Stockholm, Sweden 2002.

## **Standardeja**

EN ISO 12241 Thermal insulation for building equipment and industrial installations - Calculation rules.

SFS-EN 15316-1:2007, Rakennusten lämmitysjärjestemät. Järjestelmien energiavaatimusten ja järjestelmätehokkuuden laskenta. Osa 1: Yleistä

SFS-EN 15316-2-1:2007, Rakennusten lämmitysjärjestemät. Järjestelmien energiavaatimusten ja järjestelmätehokkuuden laskenta. Osa 2-1: Lämmönjakojärjestelmien huonelaitteet

SFS-EN 15316-2-3:2007, Rakennusten lämmitysjärjestemät. Järjestelmien energiavaatimusten ja järjestelmätehokkuuden laskenta. Osa 2-1: Lämmönjakojärjestelmien siirtolaitteistot

# LIITE 3 Lämmitysjärjestelmien energiavarastojen lämpöhäviöiden laskenta

## 1 Yleistä

Lämmitysjärjestelmien energiavarastojen (vesi) lämpöhäviöiden laskennan yhteenveto on esitetty taulukossa 1.

*Taulukko 1. Vesikiertoisten verkostojen energiavarastojen lämpöhäviöiden laskenta, yhteenveto.*

Menetelmän kuvaus	Menetelmä laskee vesikiertoisten järjestelmien ja LKV-järjestelmien energiavarastojen lämpöhäviöt yhdessä ympäristön lämpötilassa.
Lähtötiedot	Varaston sijoituspaikan ympäristön lämpötilat tarkastelujaksottain (esim. kuukausittain) Varaston sisällön lämpötilan keskiarvot laskentajaksoittain. Varaajan dimensiot, rakennemateriaali, eristyspaksuus, eristeen lämmönjohtavuus, pinnoitemateriaali.
Tulokset	Varaston kuukausittainen lämpöhäviö sijoituspaikan ympäristön lämpötilaan. Varaston lämpövastus ympäristöön (K/W) laskettuna standardin ISO 12241 mukaan.
Oletukset	Varaaja oletetaan täysin sekoittuneeksi eli varaajan sisälämpötila on keskimääräinen arvo tarkastelujaksolla. Eristeiden lämmönjohtavuudet oletetaan vakioiksi. Varaston sijoituspaikan ympäristön lämpötila säilyy vakiona laskentajakson sisällä.
Rajaukset	Menetelmä sopii hyvällä tarkkuudella tunnetuissa ympäristön lämpötiloissa sijaitseville vesivaraajille, jotka sijaitsevat sisä- tai ulkotiloissa. Menetelmä antaa karkean arvion varaajien tukirakenteiden lisälämpöhäviöistä. Mikäli erottelukykyisemmät laskelmat ovat tarpeen, ne tulee suorittaa erottelukykyisillä 3D-laskentaohjelmilla, joissa varaaja tukirakenteineen ja muine varusteineen on mallinnettavissa riittävän yksityiskohtaisesti (3-ulotteinen lämmönjohtuminen, ja lämmönsiirto, konvektio + säteily).
Laskennassa käytettävät standardit	ISO 12241 Thermal insulation for building equipment and industrial installations - Calculation rules, sisältää yleiset määrittelyt lämpövastusten yms. laskemiseen LVI 50-10344 Talotekniikassa yleisesti käytettävät eristysmateriaalit ja niiden asennus. SFS-Käsikirja 132 Teollisuuseristys.

## 2 Periaatteen kuvaus

Varaajan lämpöhäviö riippuu paitsi varaajan koosta ja eristystasosta, niin myös varaajan sisälämpötilasta ja ympäristön lämpötilasta tarkastelujaksolla. Varaajan lämpöhäviöt ympäristöön lasketaan kaavalla (1).

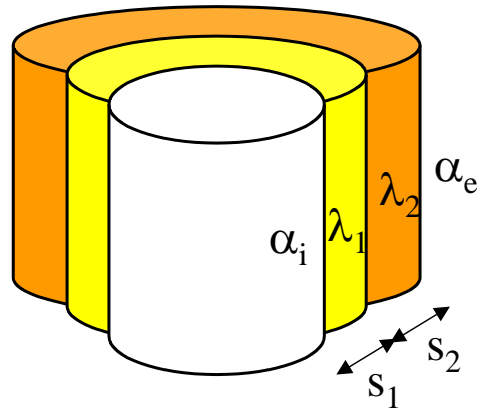
$$Q_S = U \cdot (\theta_m - \theta_a) \cdot A \cdot t_H \quad (1)$$

jossa

$Q_S$	on varaajan lämpöhäviö tarkastelujaksolla, Wh
$U$	on varaajan lämmönläpäisykerroin, W/(K,m <sup>2</sup> )
$\theta_m$	on varaajan keskimääräinen lämpötila tarkastelujaksolla, °C
$\theta_a$	on ympäristön keskimääräinen lämpötila tarkastelujaksolla, °C
$A$	on varaajan vaipan pinta-ala (ulkomittojen mukaan), m <sup>2</sup>
$t_H$	on tarkastelujakson (esim. lämmityskausi, kk) pituus, h



### 3 Varaajan vaipan lämmönläpäisykerroin



Kuva 1. Eristetty lieriönmuotoinen varaaja.

Eristetyn varaajan lämmönläpäisykerroin voidaan suorakaiteen muotoiselle varaajalle ja hyvällä tarkkuudella sylinterimäiselle varaajalle laskea standardin EN ISO 12241 mukaisesti kaavalla (2). Sylinterimäiselle varaajalle voidaan myös soveltaa pyöreän putken lämpövastuskaavaa (liite 2, kohta 4).

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{\alpha_i} + \sum_{j=1}^n \frac{s_j}{\lambda_j} + \frac{1}{\alpha_e} \quad (2)$$

jossa

U	on varaajan lämmönläpäisykerroin, W/(m <sup>2</sup> ,K)
α <sub>i</sub>	on varaajan sisäpinnan lämmönsiirtokerroin, W/(m <sup>2</sup> ,K)
s <sub>j</sub>	on eristekerroksen, j, paksuus, m
λ <sub>j</sub>	on eristekerroksen, j, lämmönjohtavuus, W/(m,K)
α <sub>e</sub>	on varaajan ulkopinnan lämmönsiirtokerroin, W/(m <sup>2</sup> ,K)

Ulkopinnan lämmönsiirtokerroin lasketaan soveltaen liitteessä 2 esitetyillä kaavoilla 5 - 13. Sisäpinnan lämmönsiirtokerroin on nestemäisillä aineilla usein suuri, jolloin sisäpinnan lämpövastus on pieni verrattuna muihin lämpövastuksiin ja se voidaan varaajan lämpöhäviölaskelmissa (kaava (2)) jättää huomiotta (1/α<sub>i</sub> ≈ 0).

### 4 Pallomaisen pinnan lämmönläpäisykerroin

Pallomaisen kerroksellisen pinnan lämmönläpäisykerroin lasketaan standardin EN ISO 12241 mukaisesti kaavalla (3). Pallomaisia pintoja voidaan käyttää esimerkiksi lämpövarastojen päätykappaleina.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{\alpha_{i,1} \cdot \pi \cdot d_{i,1}^2} + \frac{1}{2 \cdot \pi} \sum_{j=1}^n \frac{1}{\lambda_j} \cdot \left( \frac{1}{d_{i,j}} - \frac{1}{d_{e,j}} \right) + \frac{1}{\alpha_{e,n} \cdot \pi \cdot d_{e,n}^2} \quad (3)$$

jossa

U	on onton pallon vaipan lämmönläpäisykerroin, W/K
---	--

$\alpha_{i,1}$	on pallon sisäpinnan lämmönsiirtokerroin, $W/(m^2,K)$
$d_{i,1}$	on pallon sisähalkaisija, m
$\lambda_j$	on pallon vaippakerroksen, j, lämmönjohtavuus, $W/(m,K)$
$d_{e,j}$	on pallon vaippakerroksen, j, ulkohalkaisija, m
$d_{i,j}$	on pallon vaippakerroksen, j, sisähalkaisija, m
$\alpha_{e,n}$	on pallon ulkopinnan lämmönsiirtokerroin, $W/(m^2,K)$
$d_{e,n}$	on pallon ulkohalkaisija, m

## 5 Varaajan tukirakenteen lisälämpöhäviö

Varaajan tukirakenteiden, putkiläpivientien ja varusteiden aiheuttama lisälämpöhäviö otetaan huomioon, jos tarkempaa tietoa ei ole, kertoimella b.

$$Q_{s,tod} = Q_s \cdot b \quad (4)$$

jossa

$Q_{s,tod}$  on varaajan kokonaislämpöhäviö, Wh

$Q_s$  on varaajan lämpöhäviö ilman tukirakenteita ja varusteita, Wh

b on lämpöhäviökerroin: b = 1,1 sisällä olevalle varaajalle ja b = 1,15 ulkona olevalle varaajalle

## 6 Eristeiden lämmönjohtavuus

Eristemateriaalien lämmönjohtavuuksina käytetään standardissa SFS 3976 tai ohjetiedostossa LVI 50-10344 ilmoitettuja arvoja soveltuvassa lämpötilassa. Sertifioitujen tai tyyppihyväksytyjen materiaalien osalta voidaan käyttää valmistajan ilmoittamia lämmönjohtavuuksia.

### Kirjallisuutta

LVI 50-10345 Taloteknisten eristysten mitoitus ja käyttö.

LVI 50-10344 Talotekniikassa yleisesti käytettävät eristysmateriaalit ja niiden asennus.

Partek, Putki- ja laite-eristysten mitoitus. Helsinki 1981.

### Standardeja

EN ISO 12241 Thermal insulation for building equipment and industrial installations - Calculation rules.

SFS 3976 Eristeet, eristys-elementit ja päällysteet.

SFS-Käsikirja 132 Teollisuuseristys.

## LIITE 4 Lämmöntuotto

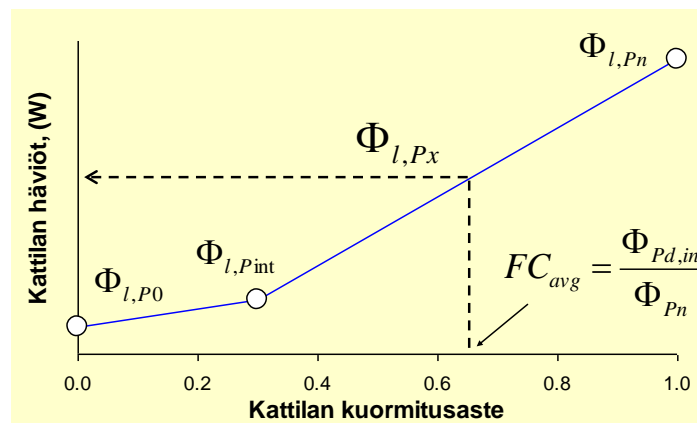
### 1 Lämmityskattilat

Lämmityskattiloiden lämpöhäviöiden laskennan yhteenveto on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Lämmityskattiloiden laskenta, yhteenveto.

Menetelmän kuvaus	Menetelmässä lasketaan kattilan häviöt kaikilla kuormitustasoilla käyttäen hyväksi standardien mukaisesti määritetyt kattilan suoritusarvot kolmella kuormitustasolla.
Lähtötiedot	Lämmityskattilan a) nimellisteho (kilvestä), b) hyötysuhde nimellisteholla, c) hyötysuhde 30% kuormituksella, ja d) tyhjäkäyntiteho  Kattilalla tuotettavan lämmitysenergian tarve laskentajaksoittain (esim. kuukausi).
Tulokset	Kattilan kuormitusastetta vastaavat lämpöhäviöt laskentajaksoittain.
Oletukset	Menetelmä olettaa, että kattila kykenee tuottamaan tarvittavan lämmitysenergian.
Rajaukset	Menetelmä ei käsittele kattilaa dynaamisena komponenttina. Hetkittäiset suuret minuuttitaso tehontarpeet (esim. LKV) ovat niin lyhyitä, että kattilan lämpökapasiteetti pystyy ne käsittelemään.  Suurilla lämpimän käyttöveden tehontarpeilla laskettaessa on käytettävä dynaamisia menetelmiä.
Laskennassa käytettävät standardit	CEN standardi: SFS-EN 15316-4-1:2008 "Heating systems in buildings. Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies. Part 4-1: Space Heating Generation Systems - Combustion systems". CEN published 2008, SFS julk. 2009; sisältää kolme laskentamenetelmää, joista keskimäinen on parhaiten soveltuvana adaptoitu suomalaisiin oloihin.  Seuraavat standardit kuvaavat lämmityskattiloiden hyötysuhteen ja savukaasuhäviöiden määrittämisen ja laskentamenetelmiä:  Öljykattilat: SFS-EN 304:1992 "Heating Boilers - Test code for heating boilers for atomizing oil burners". CEN published 1992, SFS julk. 2000. Lisäosat A1 ja A2 julk. 2001 - 2004.  Kaasukattilat: EN 297:1994 "Gas fired central heating boilers - Type B11 and B11BS boilers fitted with atmospheric burners of nominal heat input not exceeding 70 kW." CEN published 1994, SFS julk. 1995. Lisäosat A2-A6 julk. 1996-2005.  Puukattilat: SFS-EN 303-5:1999 "Heating boilers - Part 5: Heating boilers for solid fuels, hand and automatically fired, with a nominal heat output of up to 300 kW - Terminology, requirements, testing and marking." CEN published 1999, SFS julk. 2001.

Menetelmässä lasketaan kattilan häviöt kaikilla kuormitustasoilla käyttäen hyväksi standardien mukaisesti virallisissa testeissä määritetyt kattilan suoritusarvot kolmella kuormitustasolla. Näiden kolmen pisteen välissä käytetään hyväksi lineaarisointiperiaatetta, kts ao. kuvaa 1:



Kuva 1. Kattilan häviöt kuormitusasteen funktiona, periaatekuva.

Menetelmä ei aseta rajoituksia käsittelyaikajakson suhteen, eli häviöt voidaan määrittää esim. viikoksi, kuukaudeksi, lämmityskaudeksi tai koko vuodeksi.

Käsittelyjaksoa vastaava keskimääräinen kattilan kuormitusaste on:

$$FC_{avg} = \frac{\Phi_{Pd,in}}{\Phi_{Pn}} \quad (1)$$

jossa

$\Phi_{Pd,in}$  on generointiyksiköstä eteenpäin (varastointi- tai jakojärjestelmään) siirretty jakson keskimääräinen teho, kW

$\Phi_{Pn}$  on kattilan nimellisteho (kilvessä), kW

### 1.1 Häviöt korkealla kattilan kuormitusasteella

Jos yhtälön (1) mukaan laskettu kuormitusaste on 30 % ja 100 % (nimellisteho) välillä, kattilan keskimääräinen lämpöhäviö ( $\Phi_{l,Px}$ ) on:

$$\Phi_{l,Px} = \frac{(\Phi_{Px} - \Phi_{Pint})}{(\Phi_{Pn} - \Phi_{Pint})} \cdot (\Phi_{l,Pn} - \Phi_{l,Pint}) + \Phi_{l,Pint} \quad (2)$$

jossa

$\Phi_{Px}$  on kattilan keskimääräinen teho aikajaksossa, kW

$\Phi_{Pn}$  on kattilan nimellisteho (kilvessä), kW

$\Phi_{Pint}$  on kattilan 30%:n osakuorman teho, kW, eli  $\Phi_{Pint} = 0.3 \cdot \Phi_{Pn}$

$\Phi_{l,Pn}$  on kattilan lämpöhäviöt nimellisteholla, W

$\Phi_{l,Pint}$  on kattilan lämpöhäviöt 30%:n osakuormalla, W

Kattilan lämpöhäviöt nimellisteholla lasketaan yhtälöstä:

$$\Phi_{l,Pn} = \frac{(100 - \eta_{Pn,cor})}{\eta_{Pn,cor}} \cdot \Phi_{Pn} \cdot 1000 \quad (3)$$

ja

$$\eta_{Pn,cor} = \eta_{Pn} + f_{cor,Pn} \cdot (\theta_{g,test,Pn} - \theta_{w,h,g}) \quad (4)$$

joissa

$\eta_{Pn,cor}$  on kattilan lämpötila-korjattu hyötysuhde käsittelyaikajaksossa, %

$f_{cor,Pn}$  on korjauskerroin, jolla otetaan huomioon kattilan hyötysuhteen muutos kattilaveden lämpötilan funktiona, % / °C  
jos mittaustietoa ei ole saatavissa, käytetään standardikattiloille arvo  
 $f_{cor,Pn} = 0.1$ ,

$\theta_{g,test,Pn}$  on kattilaveden lämpötila nimellistehon hyötysuhteen virallisessa määrittämiskokeessa (=70°C kattiladirektiivin mukaan), °C

$\theta_{w,h,g}$  on kattilaveden todellinen lämpötila käsittelyaikajaksossa, °C

Kattilan lämpöhäviöt 30%:n osakuormalla lasketaan yhtälöistä:

$$\Phi_{l,Pint} = \frac{(100 - \eta_{Pint,cor})}{\eta_{Pint,cor}} \cdot \Phi_{Pint} \cdot 1000 \quad (5)$$

$$\eta_{Pint,cor} = \eta_{Pint} + f_{cor,Pint} \cdot (\theta_{g,test,Pint} - \theta_{w,h,g}) \quad (6)$$

joissa

$\eta_{Pint,cor}$	on kattilan lämpötila-korjattu hyötysuhde käsittelyaikajaksossa, %
$f_{cor,Pint}$	on korjauskerroin, jolla otetaan huomioon kattilan hyötysuhteen muutos kattilaveden lämpötilan funktiona, % / °C jos mittaus tietoa ei ole saatavissa, käytetään standardikattiloille arvo $f_{cor,iPint} = 0.1$ ,
$\theta_{g,test,Pint}$	on kattilaveden lämpötila nimellistehon hyötysuhteen virallisessa määrittämiskokeessa (=50°C kattiladirektiivin mukaan), °C
$\theta_{w,h,g}$	on kattilaveden todellinen lämpötila käsittelyaikajaksossa, °C

## 1.2 Häviöt matalalla kattilan kuormitusasteella

Jos yhtälön (1) mukaan laskettu kuormitusaste on nollan (tyhjäkäynti) ja 30% välillä, kattilan keskimääräinen lämpöhäviö ( $\Phi_{l,Px}$ ) on:

$$\Phi_{l,Px} = \frac{\Phi_{Px}}{\Phi_{Pint}} \cdot (\Phi_{l,Pint} - \Phi_{l,P0}) + \Phi_{l,P0} \quad (7)$$

jossa

$\Phi_{Px}$	on kattilan keskimääräinen teho käsittelyaikajaksossa, kW
$\Phi_{Pint}$	on kattilan 30%:n osakuorman teho, (kW), eli $\Phi_{Pint} = 0.3 \cdot \Phi_{Pn}$
$\Phi_{l,P0}$	on kattilan tyhjäkäyntihäviö, W
$\Phi_{l,Pint}$	on kattilan lämpöhäviö 30%:n osakuormalla, W

Tyhjäkäyntihäviö yhtälössä (7) on lämpötila-korjattu, virallisen kokeen arvosta vastaamaan todellista käsittelyjakson kattilaveden ja ilman lämpötiloja, siten että:

$$\Phi_{l,P0} = \Phi_{P0} \cdot \left( \frac{\theta_{w,h,g} - \theta_{i,g}}{\Delta\theta_{P0}} \right)^a \quad (8)$$

jossa

$\Phi_{P0}$	on virallisessa testissä määritetty tyhjäkäyntiteho, W; tämä koe tehdään kattilaveden lämpötilassa 70°C (standardi EN 304 öljykattiloille) tai 50°C (standardi EN 297 kaasukattiloille) ilmanlämpötilan ollessaan 20°C,
$\Delta\theta_{P0}$	on virallisessa testissä (jossa määritettiin $\Phi_{P0}$ ) ollut lämpötilaero kattilaveden ja huoneilman välillä, °C

$\theta_{w,h,g}$  on kattilaveden todellinen lämpötila käsittelyaikajaksossa, °C  
 $\theta_{i,g}$  on kattilahuoneen ilman todellinen lämpötila käsittelyaikajaksossa, °C

Yhtälön (8) eksponentti ( $a$ ) määräytyy seuraavasti:

Taulukko 2. Tyhjäkäyntihäviötehon laskennassa käytetty eksponentti  $a$ .

$\Delta\theta_{p0}$ (°C)	Eksponentti, $a$	Viite
30	1.25	EN 297/A2, EN 304/A1
50	1.15	EN 304
60	1.0	DIN 4702 Teil 2

Jos tyhjäkäyntitehon virallisesti määritettyä arvoa ei ole tiedossa, oletetaan että  $\Phi_{P0} = C \cdot (\Phi_{Pn} / \eta_{Pn})$ . Ehdotetaan vakion arvoksi  $C=1.5 \text{ ‰}=0.015$  lämpötilaerolla  $\Delta\theta_{p0} = 50^\circ\text{C}$

### 1.3 Kattilan häviöenergia ja energiatase tarkastelujaksolla

Kattilan häviöenergia tarkastelujakson aikana lasketaan yhtälöstä:

$$Q_{l,g} = \frac{\Phi_{l,Px} \cdot \tau_{period}}{1000} \quad (9)$$

jossa

$\Phi_{l,Px}$  on kattilan keskimääräinen lämpöhäviö käsittelyaikajaksossa, W  
 $\tau_{period}$  on tarkastelujakson kesto, h

Tällöin kattilan energiatase tarkastelujakson aikana voidaan esittää muodossa:

$$Q_{in,g} = Q_{out,g} + Q_{l,g} \quad (10)$$

jossa

$Q_{in,g}$  on käsittelyaikajaksossa kulutetun polttoaineen energiasisältö, kWh  
 $Q_{out,g}$  on käsittelyaikajaksossa kattilasta jakojärjestelmään toimitettu energia, kWh

## 2 Kaukolämpö

Kaukolämmön lämmönjakokeskuksen lämpöhäviöiden laskentamenetelmän yhteenveto on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Kaukolämmön lämmönjakokeskuksen lämpöhäviöiden laskenta, yhteenveto.

Menetelmän kuvaus	Menetelmällä voidaan laskea kaukolämmön lämmönjakokeskuksen lämpöhäviöt halutulla laskentajaksolla.
Lähtötiedot	Lämmönjakokeskuksen kaikkien verkosto-osien putkien halkaisijat ja pituudet sekä eristyspaksuudet lämmönjohtavuksineen. Ulkoilman lämpötilan pysyvyys laskentajaksoittain. Ensiö- ja toisiopuolen verkostojen nesteiden lämpötilat laskentajaksoittain. Putkistovarusteiden (laipat, venttiilit, pumput) lukumäärä piireittäin.
Tulokset	Lämmönjakokeskuksen lämpöhäviö tilaan laskentajaksoittain.
Oletukset	Laskennassa oletetaan, että jakokeskuksen eri osien lämpötilat määräytyvät kaukolämpöverkon (ensiö) ja jakoverkon (toisio) lämpötilojen mukaan, jotka puolestaan ovat ulkolämpötilan funktioita.
Rajaukset	-
Laskennassa käytettävät standardit	ISO 12241 Thermal insulation for building equipment and industrial installations - Calculation rules, sisältää yleiset määrittelyt lämpövästusten yms. laskemiseen

Laskenta perustuu yksinkertaisesti yhtälöön:

$$\eta_{\text{jakso}} = \frac{Q_{\text{hyöty, jakso}}}{Q_{\text{hyöty, jakso}} + Q_{\text{häviöt, jakso}}} \quad (1)$$

jossa

$Q_{\text{hyöty, jakso}}$  on rakennuksen jakoverkoston toimitettu hyötyenergia tarkastelulla, kWh

$Q_{\text{häviöt, jakso}}$  on lämmönjakokeskuksen pintahäviöt tarkastelujakson aikana, kWh

Lämmönjakokeskuksen pintahäviöt tarkastelujakson aikana (kWh) lasketaan yhtälöstä:

$$Q_{\text{häviöt, jakso}} = \frac{\sum_{n=1}^6 \sum_{t=-35}^{t=35} U'_n \cdot [T_n(t) - 21] \cdot L_n \cdot \tau(t)}{1000} \quad (2)$$

jossa

21 on sisäilman lämpötila, °C

T on veden lämpötila putkessa (ulkolämpötilan funktio), °C

U' on lämpöhäviökerroin (putken pituusyksikköä kohden), W/(m·K)

L putken laskennallinen pituus, m

$\tau$  ulkolämpötilan pysyvyys, h

t ulkolämpötila, °C

n on indeksi: KL\_meno, KL\_paluu, LÄM\_meno, LÄM\_paluu, LKV\_meno, LKV\_kierto.

Putken laskennallinen pituus muodostuu putken fyysisestä pituudesta johon lisätään putki-varusteiden (venttiilit, laipat, liitokset) ekvivalenttipituuksien määrä.

Taulukko 4. Tyypillisiä putkivarusteiden ekvivalenttipituuksia.

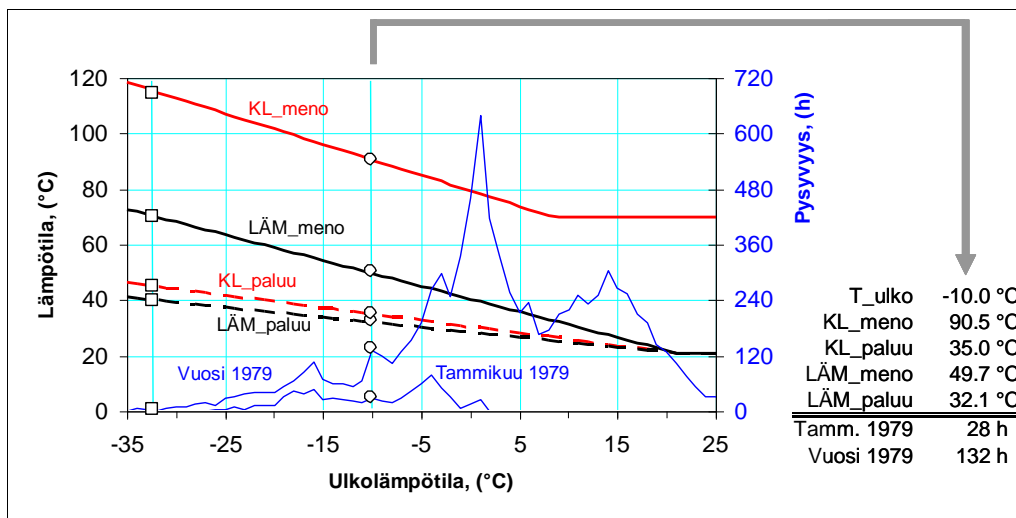
Putkistovaruste	Varusteiden ekvivalentti-putkipituus (m) ilmaistuna eristämättömänä putkena
Venttiili ja kesäsulkuventtiili	0,4
Eristetty lämmönsiirrin	0,08
Paisunta-astia	0,8
Pumppu	0,4
Laippa	0,15

Putken lämpöhäviökerroin lasketaan kaavasta:

$$\frac{1}{U'} = \frac{1}{\pi d_{ps} \alpha_s} + \frac{1}{2\pi \lambda_p} \cdot \ln\left(\frac{d_{pu}}{d_{ps}}\right) + \frac{1}{2\pi \lambda_e} \cdot \ln\left(\frac{d_{eu}}{d_{es}}\right) + \frac{1}{\pi d_{eu} \alpha_u} \quad (3)$$

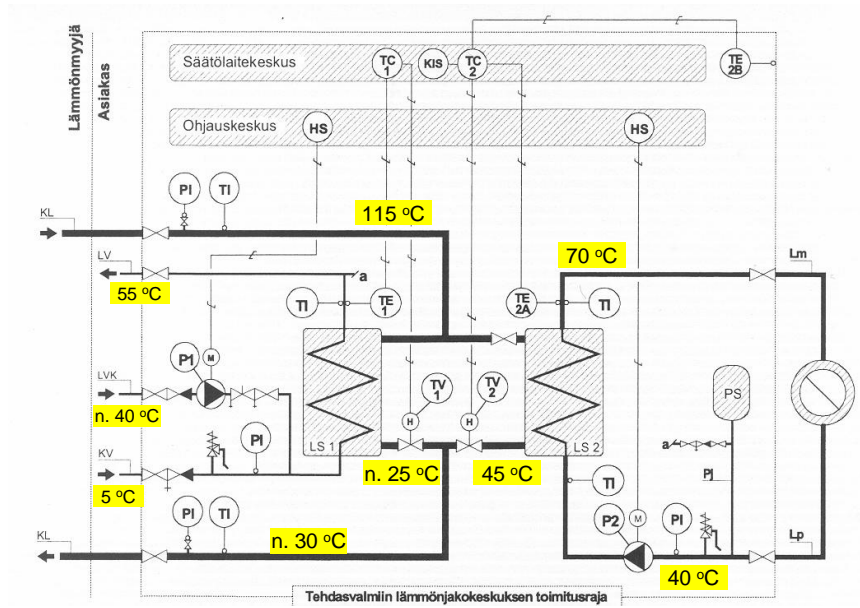
jossa

- $d_{ps}$  on putken sisähalkaisija,
- $d_{pu}$  on putken ulkohalkaisija,
- $\lambda_p$  on putken materiaalin lämmönjohtavuus,
- $d_{es}$  on eristeen sisähalkaisija, (käytännössä =  $d_{pu}$ )
- $d_{eu}$  on eristeen ulkohalkaisija,
- $\lambda_e$  on eristeen materiaalin lämmönjohtavuus.



Kuva 2. Esimerkki kaukolämpökeskuksen eri osien lämpötiloista ulkolämpötilan funktiona sekä niiden pysyvyys. Sää testivuosi 1979 Helsinki-Vantaa.





Kuva 3. Kaukolämpökeskuksen lay-out ja eri osien lämpötilat mitoitusstilanteessa.

## Standardeja

EN 15316-4-1:2008. Heating systems in buildings. Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies. Part 4-1: Space heating generation systems, combustion systems (boilers)

SFS-EN 15316-4-1:en Rakennusten lämmitysjärjestelmät. Järjestelmien energiavaatimusten ja järjestelmätehokkuuden laskenta. Osa 4-1: Lämmöntuottojärjestelmät - polttolaitteet ja lämmityskattilat. CENin julkaisupäivä: 2008-05-28, SFS-julkaisun ilmestymispäivä: 2009-01-09

# LIITE 5 Lämminkäyttövesijärjestelmä

## 1 Yleistä

Tässä liitteessä esitetään lämminkäyttövesijärjestelmän laskentaan vaihtoehtoisia tapoja. Tämän liitteen laskentamenetelmien sijasta voidaan lämminkäyttövesijärjestelmän häviöiden laskentaan soveltuvin osin käyttää oppaan muiden liitteiden (4 ja 5) menetelmiä, kuten on oppaan kappaleessa 7 ohjeistettu.

Tarkassa laskennassa (=muu kuin suoraviivainen D5-menetelmä), kun lämpimän käyttöveden jakojärjestelmä ei sisällä kiertoa, lasketaan kulutuspisteissä tapahtuvan odotusajasta johtuvan luovutuksen lämpöhäviö tämän liitteen kappaleen 2 mukaisesti.

Kappaleessa 3 esitetään kolme vaihtoehtoista tapaa lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarpeen laskentaan. Kohtien 3.1 ja 3.2 menetelmät perustuvat standardissa SFS-EN 15316-3-1:2007 esitettyyn laskentaan. Kohdan 3.3 menetelmä on Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3/2012 menetelmä, jolla laskettua nettotarvetta voidaan käyttää laskettaessa häviöitä tarkennetulla laskennalla.

Kappaleessa 4 esitetään laskentamenetelmät lämpimän käyttöveden siirron häviölle. Kohdassa 4.1 esitetään kaksi vaihtoehtoista tapaa kiertojohdon lämpöhäviöiden laskennalle. Kohta 4.2 käsittää apulaitteiden, tarvikkeiden ja saattolämmityksen laskennan. Kohdassa 4.3 esitetään kolme standardiin SFS-EN 15316-3-2:2007 perustuvaa tarkennettua menetelmää lämpimän käyttöveden jakojohdon lämpöhäviöenergioiden määrittämiseen.

## 2 Kulutuspisteissä tapahtuvan odotusajasta johtuvan luovutuksen lämpöhäviö

Kulutuspisteissä tapahtuvan odotusajasta johtuvan luovutuksen lämpöhäviön laskennan periaate on esitetty taulukossa 1.

*Taulukko 1. Lämpimän käyttöveden kulutuspisteissä tapahtuvan odotusajasta johtuva luovutuksen lämpöhäviö*

Menetelmän kuvaus	Menetelmällä voidaan laskea hanoissa tapahtuva lämpöhäviö, kun odotusaika tunnetaan.
Lähtötiedot	Hanatyypeittäin, odotusaika (s), nimellisvirtaama (l/s), käyttäjien määrä, vuorokautinen käyttökertojen lukumäärä per hanatyypin, hanan lämpimän ja kylmän veden lämpötilat
Tulokset	Laskentajaksoittain lämpimän käyttöveden odotusajasta johtuva lämpöhäviö
Oletukset	Hanatyypikohtainen (1-ote, 2-ote, automaatti) odotusaika voidaan olettaa riippuvan hanatyypistä.
Rajaukset	-
Laskennassa käytettävät standardit	ei standardeja

Käyttöveden kulutuspisteissä tapahtuvan luovutuksen lämpöhäviö yhdelle laskentajaksoille saadaan kaavalla:

$$Q_{lkv,e,j} = t_o \cdot q_{v,nom,j} \cdot N_{asukas} \cdot N_{kaytto,j} \cdot N_{vrk} \cdot c_p \cdot (\theta_{lkv} - \theta_k) / 3600 \quad (1)$$

jossa

j	viittaa hanatyyppiin
$Q_{lkv,e,j}$	käyttöveden luovutuksen häviö kulutuspisteessä, kWh/jakso
$t_o$	odotusaika, s
$q_{v,nom,j}$	hanan nimellisvirtaama, l/s
$N_{asukas}$	asukkaiden lukumäärä, -
$N_{kaytto,j}$	käyttö (kertaa / asukas, jakso)
$N_{vrk}$	vuorokausien lukumäärä jaksossa (esim. 365 vrk/a), vrk/jakso
$c_p$	veden ominaislämpökapasiteetti 4,19 kJ/kg,K
$\theta_{lkv}$	sekoitetun veden lämpötila (esim. 40 °C), °C
$\theta_k$	kylmän veden lämpötila (esim. 5 °C), °C

Lämpöhäviöt summataan kaikille hanatyypeille, laskentajaksoille ja käyttöprofiileille. Mikäli käyttöprofiilista ei ole tarkempaa tietoa, voidaan yhdelle taloudelle käyttää parhaiten soveltuvaa käyttöprofiilia kohdan 3.2 profiileista.

### 3 Lämpimän käyttöveden lämmitystarpeen laskenta

#### 3.1 Ominaiskulutus

Seuraavassa esitetään standardin SFS-EN 15316-3-1:2007 mukainen lämpimän käyttöveden lämmitystarpeen laskentamenetelmä.

Käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia  $Q_w$  lasketaan kaavalla (2).

$$Q_w = \frac{4,182}{3,6} \cdot V_{w,day} \cdot (\theta_{w,del} - \theta_{w,0}) \quad (\text{kWh/vuorokausi}) \quad (2)$$

jossa

$V_{w,day}$	lämpimän käyttöveden kulutus vuorokaudessa, m <sup>3</sup> vuorokaudessa
$\theta_{w,del}$	toimitetun lämpimän käyttöveden lämpötila, °C
$\theta_{w,0}$	kylmän käyttöveden lämpötila, °C

Lämpimän käyttöveden lämpötilana voidaan käyttää arvoa 55 °C. Kylmän veden lämpötilana voidaan käyttää arvoa 5 °C. Tarvittaessa voidaan kylmän veden lämpötilana käyttää kuukausikeskiarvoja

Taulukko 2. Kylmän veden lämpötilan kuukausikeskiarvot.

Kuukausi	Kylmän veden lämpötila
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 kulutus vuorokaudessa  $V_{w, day}$  lasketaan kaavalla (3).

$$V_{w, day} = \frac{V_{w, f, day} \cdot f}{1000} \quad (\text{m}^3/\text{vuorokausi}) \quad (3)$$

jossa

$V_{w, f, day}$  lämpimän käyttöveden ominaiskulutus,  $\text{dm}^3/\text{yksikköä}$  kohti vuorokaudessa  
 $f$  yksikkö, jota kohti lämpimän käyttöveden ominaiskulutus esitetään, esim.  $\text{m}^2$  tai lukumäärä

Standardin SFS-EN 15316-3-1:2007 mukaiset lämpimän käyttöveden ominaiskulutukset ja yksiköt esitetään taulukossa 1.

Yhden perheen asunnoille lämpimän käyttöveden vuorokausikulutuksena voidaan käyttää myös kansallisia arvoja, jotka esitetään taulukossa 3.

Vaihtoehtoisesti yhden perheen asunnoille lämpimän käyttöveden ominaiskulutus vuorokaudessa  $V_{w, f, day}$  lasketaan kaavoilla (4) ja (5).

$$V_{w, f, day} = \frac{39,5 \cdot \ln(f) - 90,2}{f}, \text{ kun } f > 27 \text{ m}^2 \quad (\text{dm}^3/\text{m}^2/\text{vuorokausi}) \quad (4)$$

$$V_{w, f, day} = 1,49, \text{ kun } 14 \text{ m}^2 \leq f \leq 27 \text{ m}^2 \quad (\text{dm}^3/\text{m}^2/\text{vuorokausi}) \quad (5)$$

jossa

$f$  asunnon lattiapinta-ala,  $\text{m}^2$

Jos asunnon pinta-ala on  $50 \text{ m}^2$ , niin lämpimän käyttöveden ominaiskulutus on  $1,29 \text{ dm}^3/\text{m}^2/\text{vuorokausi}$ . Jos asunnon pinta-ala on  $100 \text{ m}^2$ , niin lämpimän käyttöveden ominaiskulutus on

0,917 dm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/vuorokausi. Jos asunnon pinta-ala on 300 m<sup>2</sup>, niin lämpimän käyttöveden ominaiskulutus on 0,450 dm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/vuorokausi.

*Taulukko 3. Lämpimän käyttöveden tarpeen laskennassa käytettävät ominaiskulutukset eri rakennustyypeissä ja toiminnoissa (SFS-EN 15316-3-1:2007).*

Rakennustyyppi ja toiminnot	V <sub>w, f, day</sub> , dm <sup>3</sup> /vrk/yksikkö	f, yksikkö
Asuinrakennukset (RakMk D5/2007)		
huoneistokohtainen vedenmittaus ja laskutus	50	vuodetta kohti
ei huoneistokohtaista vedenmittausta	60	vuodetta kohti
vuoteiden määrä ei ole tiedossa	1,64	brm <sup>2</sup>
Majoitus	28	vuodetta kohti
Terveystoimilaitos		
ilman majoitusta	19	vuodetta kohti
majoituksella ilman pesulaa	56	vuodetta kohti
majoituksella ja pesulalla	88	vuodetta kohti
Koulutus	-	ei oteta huomioon
Toimistot	-	ei oteta huomioon
Teatterit, luentosalit	-	ei oteta huomioon
Kaupat	-	ei oteta huomioon
Ateriapalvelulaitos		
kaksi ateriaa päivässä, perinteinen ruokavalikoima	21	aterioiden lukumäärä
kaksi ateriaa päivässä, itsepalvelu	8	aterioiden lukumäärä
yksi ateria päivässä, perinteinen ruokavalikoima	10	aterioiden lukumäärä
yksi ateria päivässä, itsepalvelu	4	aterioiden lukumäärä
Hotelli		
yhden tähden hotelli ilman pesulaa	56	vuodetta kohti
kahden tähden hotelli ilman pesulaa	76	vuodetta kohti
kolmen tähden hotelli ilman pesulaa	97	vuodetta kohti
neljän tähden hotelli ilman pesulaa	118	vuodetta kohti
lisäys, jos hotellissa on pesula	+14	vuodetta kohti
Urheilurakennukset	101	suihkua kohti
Varastot	-	ei oteta huomioon
Teollisuus	-	ei oteta huomioon
Kuljetus	-	ei oteta huomioon
Muut	-	ei oteta huomioon

### **3.2 Lämpimän käyttöveden kulutusprofiilit**

Seuraavassa esitetään standardin SFS-EN 15316-3-1:2007 mukaiset veden kulutuskohteet ja niiden lämmitysenergiankulutus (taulukko 4) ja lämpimän käyttöveden kulutusprofiilit (taulukot 5 - 7). Kulutusprofiilit esitetään yhdelle vuorokaudelle. Viikonpäivien ja vuodenaikojen vaihtelua ei niissä oteta huomioon. Standardin kulutusprofiilien lisäksi esitetään tyypillinen suomalainen kulutusprofiili taulukossa 8, jonka prosentuaalisia arvoja voidaan käyttää simuloinnissa.

Taulukko 4. Lämpimän käyttöveden standardoidut kulutuskohteet (SFS-EN 15316-3-1:2007). Kulutukset perustuvat lämpimän käyttöveden lämpötilaan 60 °C ja kylmän veden lämpötilaan 10 °C.

Veden kulutuskohte ja toiminto	Sekoittajasta otettavan käyttöveden lämpötila, °C	Lämmitysenergia, kWh/käyttökerta	Lämpimän käyttöveden kulutus, dm <sup>3</sup> /käyttökerta	Veden kulutus yhteensä, dm <sup>3</sup> /käyttökerta
K1. Pesuallashana tms. pieni kulutus	25	0,105	1,8	6,0
K2. Pesuallashana tms. suuri kulutus	40	0,525	9,1	15
K3. Siivous	40	0,105	1,8	3,0
K4. Astianpesu, pieni kulutus	55	0,315	5,4	6,0
K5. Astianpesu, keskisuuri kulutus	55	0,420	7,2	8,0
K6. Astianpesu, suuri kulutus	55	0,735	13	14
K7. Suihku	40	1,400	24	40
K8. Kylpyamme	40	3,605	62	100

Taulukko 5. Lämpimän käyttöveden standardoitu vuorokautinen kulutusprofiili yhdelle henkilölle (SFS-EN 15316-3-1:2007). Kulutusprofiili perustuu lämpimän käyttöveden lämpötilaan 60 °C ja kylmän veden lämpötilaan 10 °C. Lämpimän käyttöveden kulutus on 36 dm<sup>3</sup>/henkilö/vuorokausi.

klo	Prosenttia vrk:n kulutuksesta	LKV:n lämmitystarve, kWh	LKV:n kulutus, dm <sup>3</sup>	LKV:n käytön kuvaus
0-1	0 %	0	0	
1-2	0 %	0	0	
2-3	0 %	0	0	
3-4	0 %	0	0	
4-5	0 %	0	0	
5-6	0 %	0	0	
6-7	0 %	0	0	
7-8	10 %	0,21	3,6	2 x K1
8-9	5 %	0,10	1,8	K1
9-10	5 %	0,10	1,8	K1
10-11	0 %	0	0	
11-12	10 %	0,21	3,6	2 x K1
12-13	15 %	0,31	5,4	K4
13-14	0 %	0	0	
14-15	0 %	0	0	
15-16	0 %	0	0	
16-17	0 %	0	0	
17-18	0 %	0	0	
18-19	10 %	0,21	3,6	K3 + K1
19-20	0 %	0	0	
20-21	20 %	0,42	7,2	K5
21-22	25 %	0,52	9,0	K2
22-23	0 %	0	0	
23-24	0 %	0	0	
yht:	<b>100.00 %</b>	0,63	36,0	

Taulukko 6. Lämpimän käyttöveden standardoitu vuorokautinen kulutusprofiili yhdelle perheelle, joka käyttää suihkua (SFS-EN 15316-3-1:2007). Tämä profiili edustaa keskimääräistä eurooppalaista vedenkäyttöä. Kulutusprofiili perustuu lämpimän käyttöveden lämpötilaan 60 °C ja kylmän veden lämpötilaan 10 °C. Lämpimän käyttöveden kulutus on 100 dm<sup>3</sup>/perhe/vuorokausi.

Klo	Prosenttia vrk:n kulutuksesta	LKV:n lämmitys- tarve, kWh	LKV:n kulutus, dm <sup>3</sup>	LKV:n käytön kuvaus
0-1	0 %	0	0	
1-2	0 %	0	0	
2-3	0 %	0	0	
3-4	0 %	0	0	
4-5	0 %	0	0	
5-6	0 %	0	0	
6-7	0 %	0	0	
7-8	28 %	1,60	27,54	K7 + 2 x K1
8-9	7 %	0,42	7,19	4 x K1
9-10	4 %	0,21	3,59	2 x K1
10-11	2 %	0,10	1,80	K3
11-12	4 %	0,21	3,59	2 x K1
12-13	5 %	0,31	5,39	K4
13-14	0 %	0	0	
14-15	2 %	0,10	1,80	K1
15-16	2 %	0,10	1,80	K1
16-17	2 %	0,10	1,80	K1
17-18	0 %	0	0	
18-19	5 %	0,31	5,39	2 x K3 + K1
19-20	2 %	0,10	1,80	K1
20-21	13 %	0,73	12,57	K6
21-22	26 %	1,50	25,75	K7 + K1
22-23	0 %	0	0	
23-24	0 %	0	0	
yht:	<b>100 %</b>	5,81	100	

Taulukko 7. Lämpimän käyttöveden standardoitu vuorokautinen kulutusprofiili kolmen henkilön perheelle, joka käyttää kylpyammetta (SFS-EN 15316-3-1:2007). Kulutusprofiili perustuu lämpimän käyttöveden lämpötilaan 60 °C ja kylmän veden lämpötilaan 10 °C. Lämpimän käyttöveden kulutus on 67 dm<sup>3</sup>/henkilö/vuorokausi.

klo	Prosenttia vrk:n kulutuksesta	LKV:n lämmitystarve, kWh	LKV:n kulutus, dm <sup>3</sup>	LKV:n käytön kuvaus
0-1	0 %	0	0	
1-2	0 %	0	0	
2-3	0 %	0	0	
3-4	0 %	0	0	
4-5	0 %	0	0	
5-6	0 %	0	0	
6-7	0 %	0	0	
7-8	15 %	1,71	29,43	K7 + 3 x K1
8-9	34 %	3,91	67,27	K8 + 3 x K1
9-10	2 %	0,21	3,60	2 x K1
10-11	1 %	0,10	1,80	K3
11-12	2 %	0,21	3,60	2 x K1
12-13	3 %	0,31	5,41	K4
13-14	0 %	0	0	
14-15	1 %	0,10	1,80	K1
15-16	1 %	0,10	1,80	K1
16-17	1 %	0,10	1,80	K1
17-18	0 %	0	0	
18-19	3 %	0,31	5,41	2 x K3 + K1
19-20	1 %	0,10	1,80	K1
20-21	6 %	0,73	12,61	K6
21-22	32 %	3,70	63,66	K8 + K1
22-23	0 %	0	0	
23-24	0 %	0	0	
yht:	<b>100 %</b>	11,62	200	

Taulukko 8. Tyypillinen pientalon lämpimän käyttöveden vuorokautinen kulutusprofiili yhtä käyttäjää kohti. Huom! Tämä profiili on ns. keskiarvovuorokauden profiili.

Kello	Suhteellinen kulutus, %	Absoluuttinen kulutus, dm <sup>3</sup> /hlö
0-1	0,61 %	0,28
1-2	0,09 %	0,04
2-3	0,07 %	0,03
3-4	0,07 %	0,03
4-5	0,06 %	0,03
5-6	0,34 %	0,16
6-7	0,86 %	0,39
7-8	1,68 %	0,77
8-9	2,60 %	1,20
9-10	4,30 %	1,98
10-11	4,64 %	2,14
11-12	4,67 %	2,15
12-13	4,10 %	1,88
13-14	4,12 %	1,89



14-15	4,25 %	1,96
15-16	5,04 %	2,32
16-17	4,83 %	2,22
17-18	5,81 %	2,67
18-19	6,82 %	3,14
19-20	9,07 %	4,17
20-21	13,67 %	6,29
21-22	13,13 %	6,04
22-23	6,55 %	3,02
23-24	2,59 %	1,19
Yhteensä	100,00 %	46

### 3.3 RakMk D3-menetelmä

Rakentamismääräyskokoelman osan D3/2012 kohdan 3.4.1 mukaisesti.

Lämpimän käyttöveden tarvitsema vuotuinen lämmitysenergia lasketaan käyttämällä taulukon 9 ominaiskulutuksia ja niitä vastaavia lämmitysenergian nettotarpeita. Kylmän veden lämpötilana käytetään 5 °C ja lämpimän veden lämpötilana 55 °C.

*Taulukko 9. Lämpimän käyttöveden ominaiskulutus ja sitä vastaava lämmitysenergian nettotarve lämmitettyä nettoalaa kohti.*

Käyttötarkoitukseluokka	LKV:n ominaiskulutus dm <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> a)	Lämmitysenergia kWh/(m <sup>2</sup> a)
Erillinen pientalo, rivi- ja ketjutilat, asuinkerrostalo	600	35
Toimistorakennus	103	6
Liikerakennus	68	4
Majoitusliikerakennus	685	40
Opetusrakennus ja päiväkot	188	11
Liikuntahalli	343	20
Sairaala	515	30

## 4 Lämpimän käyttöveden siirtolaitteiden häviöt

Seuraavassa esitetään standardiin SFS-EN 15316-3-2:2007 perustuvat laskentatavat käyttöveden kierto- ja jakojohtojen lämpöhäviöille ja muulle (apulaitteet) siirron lisäenergiatarpeelle.

### 4.1 Lämpimän käyttöveden kiertojohtojen lämpöhäviöiden laskenta

Standardissa SFS-EN 15316-3-2:2007 esitetään seuraavat kaksi tapaa laskea lämpimän käyttöveden kiertojohtojen lämpöhäviöt.

#### 4.1.1 Vakiolämpöhäviö

Ensimmäinen tapa on laskea lämpimän käyttöveden kiertojohtojen lämpöhäviö putkipituuden ja vakiolämpöhäviön avulla. Tätä menetelmää suositellaan, mikäli tarkkoja suunnitelmia ja putkien

eristyspaksuustietoja ei ole käytettävissä. Kiertojohdon lämpöhäviönä käytetään standardin arvoa 40 W/m, koska muuta arvoa ei ole määritelty kansallisesti. Lämpöenergiähäviö  $Q_{W, dis, ls, col}$  lasketaan kaavalla (6).

$$Q_{W, dis, ls, col} = \frac{1}{1000} \cdot 40 \cdot L_W \cdot t_W \quad (\text{kWh/vrk}) \quad (6)$$

jossa

40 lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviön ominaisteho, W/m  
 $L_W$  lämpimän käyttöveden kiertojohdon pituus, m  
 $t_W$  lämpimän käyttöveden kiertojohdon pumpun käyttöaika, h/vrk.

#### 4.1.2 Lämmönläpäisykerroin

Toinen tapa on laskea lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviö tarkemmin putken lämpötilan ja lämmönläpäisykerroimen avulla. Tätä menetelmää käytettäessä tarjoo standardin SFS-EN 15316-3-2:2007 mukainen laskenta mahdollisuuden lämpöhäviön laskentaan erikseen kierron ollessa päällä ja pois päältä. Suomessa kierron pysäyttämistä ei voi käyttää energiatehokkuuden parantamisessa (RakMK osa D1), joten sitä ei käsitellä tässä oppaassa.

Lämpöenergiähäviö  $Q_{W, dis, ls, col, on}$  lasketaan kaavalla (7).

$$Q_{W, dis, ls, col, on} = \sum_i Q_{W, dis, ls, col, on, i} = \sum_i \frac{1}{1000} \cdot U_{W, i} \cdot L_{W, i} (\theta_{W, dis, avg, i} - \theta_{amb, i}) \cdot t_W \quad (\text{kWh/vrk}) \quad (7)$$

jossa

$Q_{W, dis, ls, col, on, i}$  lämpimän käyttöveden kiertojohdon osan  $i$  lämpöhäviö pumpun käydessä, MJ/vrk  
 $U_{W, i}$  lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämmönläpäisykerroin putken pituutta kohti osassa  $i$ , W/mK  
 $L_{W, i}$  lämpimän käyttöveden kiertojohdon osan  $i$  pituus, m  
 $\theta_{W, dis, avg, i}$  toimitetun lämpimän käyttöveden keskimääräinen lämpötila kiertojohdon osassa  $i$ , °C  
 $\theta_{amb, i}$  ympäristön keskimääräinen lämpötila kiertojohdon osassa  $i$ , °C  
 $t_W$  lämpimän käyttöveden kiertojohdon pumpun käyttöaika, h/vrk.

Lämpimän käyttöveden putkien lämmönläpäisykerroimien laskenta

Lämpimän käyttöveden putkien lämmönläpäisykerroin  $U_W$  putken pituutta kohti voidaan laskea karkeammin standardin SFS-EN 15316-3-2:2007 kaavalla (8a) tai tarkemmin kaavalla (8b)

$$U_W = \frac{\pi}{\frac{1}{2 \cdot \lambda_{insul}} \cdot \frac{D_e}{D_{int}} + \frac{1}{\alpha \cdot D_e}} \quad (\text{W/mK}) \quad (8a)$$

$$U_W = \frac{\pi}{\frac{1}{\alpha_{int,1} \cdot D_{int,1}} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_1} \cdot \ln \frac{D_{e,1}}{D_{int,1}} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_2} \cdot \ln \frac{D_{e,2}}{D_{int,2}} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_3} \cdot \ln \frac{D_{e,3}}{D_{int,3}} + \frac{1}{\alpha_{e,3} \cdot D_{e,3}}} \quad (\text{W/mK}) \quad (8b)$$

jossa	
$\lambda_1$	putkimateriaalin lämmönjohtavuus, W/mK muoviputkille $\lambda_1 = 0,35$ W/mK, ellei tarkempaa tietoa ole käytettävissä kupariputkille $\lambda_1 = 370$ W/mK, ellei tarkempaa tietoa ole käytettävissä
$\lambda_2$	ilmavälin tai alimmaisen putkieristeen lämmönjohtavuus, W/mK ilmavälille $\lambda_2 = 0,03$ W/mK eristeelle $\lambda_2 = 0,05$ W/mK, ellei tarkempaa tietoa ole käytettävissä
$\lambda_3$	päällimmäisen putkieristeen lämmönjohtavuus, W/mK eristeelle $\lambda_3 = 0,05$ W/mK, ellei tarkempaa tietoa ole käytettävissä
$D_{int,1}$	käyttövesiputken sisähalkaisija, m
$D_{e,1}$	käyttövesiputken ulkohalkaisija, m
$D_{int,2}$	ilmavälin tai alimmaisen putkieristeen sisähalkaisija, m
$D_{e,2}$	ilmavälin tai alimmaisen putkieristeen ulkohalkaisija, m
$D_{int,3}$	päällimmäisen putkieristeen sisähalkaisija, m
$D_{e,3}$	päällimmäisen putkieristeen ulkohalkaisija, m
$\alpha_{int,1}$	putken sisäpuolinen lämmönsiirtokerroin, W/m <sup>2</sup> K $\alpha_{int,1} = 20$ W/m <sup>2</sup> K, ellei tarkempaa tietoa ole käytettävissä
$\alpha_{e,3}$	putken ulkopuolinen lämmönsiirtokerroin, W/m <sup>2</sup> K eristetyille putkille $\alpha = 8$ W/m <sup>2</sup> K eristämättömille putkille $\alpha = 14$ W/m <sup>2</sup> K.

## 4.2 Apulaitteet, varusteet ja saattolämmitys

### 4.2.1 Lämpimän käyttöveden saattolämmityksen lämpöhäviöiden laskenta

Jos lämpimän käyttöveden kiertojohdon sijaan käytetään jakojohdon saattolämmitystä, niin lämpöenergiähäviö  $Q_{W,dis,rib}$  lasketaan kaavalla (9).

$$Q_{W,dis,rib} = \frac{1}{1000} \cdot L_{W,rib} \cdot U_{W,dis} (\theta_{W,dis,avg} - \theta_{amb}) \cdot t_W \quad (\text{kWh/vrk}) \quad (9)$$

jossa	
$L_{W,rib}$	lämpimän käyttöveden jakojohdon saattolämmitetyn osan pituus, m
$U_{W,dis}$	lämpimän käyttöveden jakojohdon lämmönläpäisykerroin putken pituutta kohti, W/mK
$\theta_{W,dis,avg}$	lämpimän käyttöveden keskimääräinen lämpötila jakojohdon saattolämmitetyssä osassa, °C
$\theta_{amb}$	ympäristön keskimääräinen lämpötila jakojohdon saattolämmitetyssä osassa, °C
$t_W$	lämpimän käyttöveden käyttöaika, h/vrk.

### 4.2.2 Lämpimän käyttöveden putkistovarusteiden lämpöhäviöiden laskenta

Venttiilien, kannakkeiden ja muiden putkistovarusteiden lisälämpöhäviö määritetään ekvivalentiksi ylimääräiseksi putkipituudeksi. Ellei tarkempaa tietoa ole käytettävissä, kansallisesti voidaan sopia, että lisälämpöhäviö on 1 metri putkea/putkistovaruste.

### 4.2.3 Lämpimän käyttöveden käyttöpisteen lämpöhäviöiden laskenta

Lämpimän käyttöveden käyttöpisteessä tapahtuvia lämpöhäviöitä ei tarvitse ottaa erikseen huomioon.

### 4.2.4 Lämpimän käyttöveden apulaitteiden energiankulutuksen laskeminen

Perustuen standardiin SFS-EN 15316-3-2:2007, lämpimän käyttöveden kiertopumpun käyttämä energia  $W_{W, dis, pmp}$  voidaan laskea kaavalla (10) (yksinkertaistettu menetelmä).

$$W_{W, dis, pmp} = P_{pmp} \cdot t_{pmp} \quad (\text{kWh/vrk}) \quad (10)$$

jossa

$P_{pmp}$  pumpun sähköteho, kW  
 $t_{pmp}$  pumpun käyntiaika, h/vrk.

Käyttöaikana  $t_{pmp}$  voidaan käyttää oletusarvoa 24 h/vrk, ellei tarkempaa tietoa ole. Pumpun energiasta 80 % oletetaan siirtyvän kiertoveteen, ellei tarkempaa tietoa ole.

Jos vedenjakojärjestelmän yksityiskohdat ovat tiedossa, voidaan pumpun käyttämä energia  $W_{W, dis, pmp}$  laskea yksityiskohtaisemmin veden siirtämiseen tarvittavan hydraulisen energian ja pumpun suorituskykykerroin avulla kaavalla 11.

$$W_{W, dis, pmp} = W_{W, dis, hydr} \cdot e_{W, dis, pmp} \quad (\text{kWh/vrk}) \quad (11)$$

jossa

$W_{W, dis, hydr}$  veden siirtämiseen tarvittava hydraulinen energia, kW  
 $e_{W, dis, pmp}$  pumpun suorituskykykerroin, -.

Tarvittava hydraulinen energia  $W_{W, dis, hydr}$  voidaan laskea kaavalla 12.

$$W_{W, dis, hydr} = P_{hydr} \cdot t_W \quad (\text{kWh/vrk}) \quad (12)$$

jossa

$P_{hydr}$  tarvittava hydraulinen teho, joka pumpun pitää tuottaa, kW  
 $t_W$  lämpimän käyttöveden palveluaika, h/vrk.

Lämpimän käyttöveden palveluaikana  $t_W$  voidaan käyttää arvoa 24 h/vrk.

Tarvittava hydraulinen teho  $P_{hydr}$ , joka tarvitaan putkiston painehäviöiden takia, voidaan laskea kaavalla 13.

$$P_{hydr} = \frac{1}{3600} \cdot \Delta p \cdot \dot{V} \quad (\text{kW}) \quad (13)$$

jossa

$\Delta p$  paine-ero pumpun yli, kPa

$\dot{V}$  veden tilavuusvirta, m<sup>3</sup>/h.

Tarvittava veden tilavuusvirta  $\dot{V}$  riippuu lämmöntuottolaitteen lämmöntuottotehosta  $Q_{W, gen, out}$ , ja maksimi lämpötilaerosta lämmöntuottolaitteen yli. Veden tilavuusvirta voidaan laskea kaavalla 14.

$$\dot{V} = \frac{Q_{W, gen, out}}{1.15 \cdot \Delta \theta_{W, gen}} \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (14)$$

jossa

$Q_{W, gen, out}$  lämmöntuottolaitteen lämmöntuottoteho, kW

$\Delta \theta_{W, gen}$  maksimi lämpötilaerosta lämmöntuottolaitteen yli, °C.

Tarvittava paine-ero kiertovesipumpun yli riippuu kiertovesiputkiston ja sen putkistovarusteiden vastuksista. Paine-ero voidaan laskea kaavalla 15.

$$\Delta p = 0,1 \cdot L_{W, dis, col} + \sum \Delta p_{W, fittings} + \Delta p_{W, gen} \quad (\text{kPa}) \quad (15)$$

jossa

$L_{W, dis, col}$  maksimi putkipituus, m

$\Delta p_{W, fittings}$  putkistovarusteiden, kuten takaiskuventtiilien ja termostaattisten venttiilien paine-ero, kPa

$\Delta p_{W, gen}$  paine-ero lämmöntuottolaitteen yli, kPa.

Ellei tarkempia lämmöntuottolaitteiden tuotetietoja ole käytettävissä, käytetään varaajille paine-erona arvoa 1 kPa ja jatkuvan virtauksen lämmönsiirtojärjestelmille arvoa 15 kPa.

Mikäli tarkempia suunnitelmia ei ole käytettävissä, voidaan suorakaiteen muotoisen rakennuksen maksimi putkipituus laskea kaavalla 16.

$$L_{W, dis, col} = 2 \cdot (L_B + 2,5 + n_f \cdot h_f) \quad (\text{m}) \quad (16)$$

jossa

$L_{W, dis, col}$  maksimi putkipituus (SFS-EN 15316-3-2:2007 mukaisesti) rakennuksessa, m

$L_B$  Rakennuksen pisimmän sivun pituus, m

$n_f$  lämmitettyjen kerrosten lukumäärä, -

$h_f$  keskimääräinen kerroskorkeus, m.

Pumpun suorituskykykerroin  $e_{W, dis, pmp}$  voidaan laskea kaavalla 17.

$$e_{W, dis, pmp} = f_{eff} \cdot C_{pmp} \cdot \beta_D^{-0,94} \quad (-) \quad (17)$$

jossa  
 $f_{eff}$  tehokkuuskerroin, -  
 $C_{pmp}$  pumpun ohjaustavasta riippuva kerroin, -  
 $\beta_D$  kuormituskerroin, -.

Jos pumpun sähköteho tiedetään, voidaan tehokkuuskerroin  $f_{eff}$  laskea kaavalla 18.

$$f_{eff} = \frac{P_{pmp}}{P_{hydr}} \quad (-) \quad (18)$$

jossa  
 $P_{pmp}$  pumpun sähköteho, kW  
 $P_{hydr}$  tarvittava hydraulinen teho, joka pumpun pitää tuottaa, kW.

Jos pumpun sähkötehoa ei tiedetä, voidaan tehokkuuskerroin  $f_{eff}$  laskea kaavalla 19.

$$f_{eff} = \frac{1,5 \cdot b}{0,015 \cdot P_{hydr}^{0,74} + 0,04} \quad (-) \quad (19)$$

jossa  $b = 1$  uusissa rakennuksissa ja  $b = 2$  olemassa olevissa rakennuksissa.

Pumpun ohjaustavasta riippuva kerroin  $C_{pmp}$  valitaan taulukosta 10.

*Taulukko 10. Pumpun ohjaustavasta riippuva kerroin  $C_{pmp}$ .*

Pumpun ohjaustapa	$C_{pmp}$
Vakionopeus	0,97
Vakiopaine, $\Delta p_{const}$	0,66
Muuttuva paine, $\Delta p_{var}$	0,52

Pumpun kuormituksesta riippuva kerroin  $\beta_D$  on todellisen vesivirran suhde maksimi vesivirtaan. Ellei virtauksen säätöä ole, kuormituskerroin  $\beta_D = 1$ .

### **4.3 Lämpimän käyttöveden jakojohdon lämpöhäviöiden laskenta**

Standardissa SFS-EN 15316-3-2:2007 esitetään vaihtoehtoisia tapoja laskea lämpimän käyttöveden jakojohdon lämpöhäviöt. Tässä oppaassa käsitellään näistä menetelmistä käyttökelpoisimmiksi arvioidut. Kohdan 4.3.1 menetelmää suositellaan käytettäväksi ainoastaan tarkemman tiedon puuttuessa.

#### **4.3.1 Asuinpinta-alaan perustuva menetelmä**

Ensimmäinen tapa pohjautuu huoneistoalaan ja siitä saatavaan laskennalliseen putkien pituuteen. Tässä menetelmässä lämpimän käyttöveden jakojohdolle määritellään vakiolämpöhäviö, jonka avulla saadaan laskettua jakojohdon kokonaislämpöhäviö. Tässä menetelmässä ei tarvita tietoja

jakojohton pituuksista tai muista ominaisuuksista, kuten eristyspaksuudesta. Vaikka putkien pituuksia ei huomioida laskennassa, tulee putkien pituudet pyrkiä minimoimaan. Menetelmää voidaan käyttää järjestelmille jotka ei sisällä kiertojohtoa. Jakojohton lämpöhäviönä käytetään arvoa 0,05 kWh/vrk/m. Lämpöenergiähäviö  $\sum_{ind} Q_{W,dis,ls,ind}$  lasketaan kaavalla (20).

$$\sum_{ind} Q_{W,dis,ls,ind} = 0,05 \cdot L_w \quad (\text{kWh/vrk}) \quad (20)$$

jossa

0,05 lämpimän käyttöveden jakojohton lämpöhäviön ominaisteho, kWh/vrk/m  
 $L_w$  lämpimän käyttöveden kiertojohton pituus, m

Laskennallinen jakoputkien pituus huoneistoalasta saadaan kaavalla (21):

$$L_w = 0,31 \cdot A \quad (\text{m}) \quad (21)$$

jossa

A rakennuksen huoneistoala, m<sup>2</sup>

#### 4.3.2 Käyttökertojen lukumäärään perustuva

Toinen tapa perustuu putkien pituuksiin ja käyttökertojen lukumäärään. Tämä tapa soveltuu ainoastaan jakojohtoihin, ei kiertosilmukalle. Tätä laskentatapaa sovellettaessa tarvitaan tieto putkien pituuksista ja läpimitoista, kullekin yksittäiselle jakoputkiston osalle. Yksinkertaisimmassa laskentatavassa otetaan huomioon putkissa oleva vesimäärä ja siitä vapautuva energia. Tällöin yksittäisen putkiston osion lämpöenergiähäviö  $Q_{W,dis,ls,ind,i}$  lasketaan kaavalla (22).

$$Q_{W,dis,ls,ind,i} = \frac{\rho_w \cdot c_w}{3600} \cdot V_{w,dis,i} \cdot (\theta_{W,dis,nom,i} - \theta_{amb,i}) \cdot n_{tap,i} \quad (\text{kWh/vrk}) \quad (22)$$

jossa

$Q_{W,dis,ls,ind,i}$  lämpimän käyttöveden jakojohton osan i lämpöhäviö, kWh/vrk  
 $\rho_w$  veden tiheys, kg/m<sup>3</sup>  
 $c_w$  veden ominaislämpökapasiteetti, kJ/kgK  
 $V_{w,dis,i}$  jakoputken osassa i olevan veden tilavuus, m<sup>3</sup>  
 $\theta_{W,dis,nom,i}$  toimitetun lämpimän käyttöveden keskimääräinen lämpötila jakojohton osassa i, °C  
 $\theta_{amb}$  jakojohton osan i ympäristön keskimääräinen lämpötila, °C  
 $n_{tap,i}$  lämpimän käyttöveden käyttökertojen lukumäärä putkiston osassa i, kpl/vrk.

Laskentatavassa voidaan ottaa huomioon vedestä aiheutuvan lämpöenergiähäviön lisäksi myös johdosta aiheutuva energiahäviö, tällöin lämpöhäviö lasketaan kaavalla (23).

$$Q_{W,dis,ls,ind,i} = \frac{\rho_w \cdot c_w \cdot V_{w,dis,i} + c_p \cdot m_{p,dis,i}}{3600} \cdot (\theta_{W,dis,nom,i} - \theta_{amb,i}) \cdot n_{tap,i} \quad (\text{kWh/vrk}) \quad (23)$$

jossa

$Q_{W,dis,ls,ind,i}$  lämpimän käyttöveden jakojohton osan i lämpöhäviö, kWh/vrk  
 $\rho_w$  veden tiheys, kg/m<sup>3</sup>  
 $c_w$  veden ominaislämpökapasiteetti, kJ/kgK

$V_{W, dis, i}$	jakoputken osassa i olevan veden tilavuus, m <sup>3</sup>
$c_w$	johdon materiaalin ominaislämpökapasiteetti, kJ/kgK
$m_{p, dis, i}$	johdon osuuden i massa, kg
$\Theta_{W, dis, nom, i}$	toimitetun lämpimän käyttöveden keskimääräinen lämpötila jakojohdon osassa i, °C
$\Theta_{amb}$	jakojohtoon osan i ympäristön keskimääräinen lämpötila, °C
$n_{tap, i}$	lämpimän käyttöveden käyttökertojen lukumäärä putkiston osassa i, kpl/vrk.

Lyhyiden käyttökertojen aikavälien tapauksessa voidaan ottaa huomioon myös johdon eristys. Kun johdon eristysvaikutus lämpöhäviöön otetaan huomioon, lasketaan lämpöhäviö yksittäiselle käyttökerralle (aikaväli seuraavaan käyttöön  $t_{tap}$ ) kaavoilla (24) ja (25).

$$Q_{W, dis, ls, ind, i} = \frac{\rho_w \cdot c_w \cdot V_{w, dis, i} + c_p \cdot m_{p, dis, i}}{3600} \cdot (\theta_{W, dis, nom, i} - \theta_{W, i}) \quad (\text{kWh}) \quad (24)$$

$$\theta_{W, i} = \theta_{amb} + (\theta_{W, dis, nom, i} - \theta_{amb, i}) \cdot e^{-\frac{(q_i \cdot L_i \cdot t_{tap})}{(\rho_w \cdot c_w \cdot V_{w, dis, i} + c_p \cdot m_{p, dis, i}) \cdot (\theta_{W, dis, nom, i} - \theta_{amb, i}) \cdot 1000}} \quad (^\circ\text{C}) \quad (25)$$

jossa

$\Theta_{w, i}$	lämpimän käyttöveden jakojohdossa i olevan veden loppulämpötila ennen seuraavaa käyttökertaa, °C
$q_i$	lämpövirran tiheys johdossa i, W/m
$L_i$	jakoputken osuuden i pituus, m
$t_{tap}$	aikaväli ennen seuraavaa käyttökertaa, s

lämpövirran tiheys saadaan kaavalla (26):

$$q_i = U_R \cdot (\theta_{W, dis, nom, i} - \theta_{amb, i}) \quad (\text{W/m}) \quad (26)$$

jossa

$U_R$	on lämmönläpäisykerroin putken pituutta kohti (lasku kaavan 8 mukaan), W/mK
-------	---

### 4.3.3 Vakiolämpötila

Kolmas standardissa esitetty ja tässä oppaassa käsiteltävä tapa perustuu lämpimän käyttöveden jakojohdon lämpöhäviön laskemiseen sen keskilämpötilan avulla. Tällöin käytetään samoja laskennallisia menetelmiä kuin kiertojohtoon lämpöhäviön tarkassa laskennassa, eli laskenta suoritetaan lämmönläpäisykerroimen, putkien pituuksien ja putken lämpötilan avulla. Laskennassa käytetään tämän liitteen kappaleen 4.1.2 menetelmiä ja kaavoja. Menetelmää käytettäessä jakoputkiston putkipituudet pitää olla tiedossa.

Lämpöenergiahäviö lasketaan kappaleen 4.1.2 kaavalla (7). Lämpimän veden lämpötilana ei käytetä samaa arvoa kuin kiertojohtoon tapauksessa, vaan kaavan (7) tekijä  $\Theta_{W, dis, avg}$  määritellään uudestaan siten että se on jakojohdon keskilämpötila, jonka arvona käytetään 32 °C. Putkien pituuksina ja lämmönläpäisykerroimina käytetään kiertojohtoon sijasta jakojohdon vastaavia arvoja. Lämpöenergiahäviön laskennassa tarvittava lämmönläpäisykerroin lasketaan kappaleen 4.1.2 kaavalla (8).



## 5 Lämpimän käyttöveden tehontarve mitoitusvirtaamalla

Lämpimän käyttöveden tehontarvetta määritettäessä voidaan ohjeena käyttää tässä esitettävää laskelmaa. Vesipisteiden lukumäärä on RakMK D1:n mukaan 4. Normivirtaamien summaksi valitaan  $0,8 \text{ dm}^3/\text{s}$  ja tätä vastaavaksi mitoitusvirtaamaksi  $0,34 \text{ dm}^3/\text{s}$ . Tehontarve  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ :een lämpötilannousulla on 71 kW.

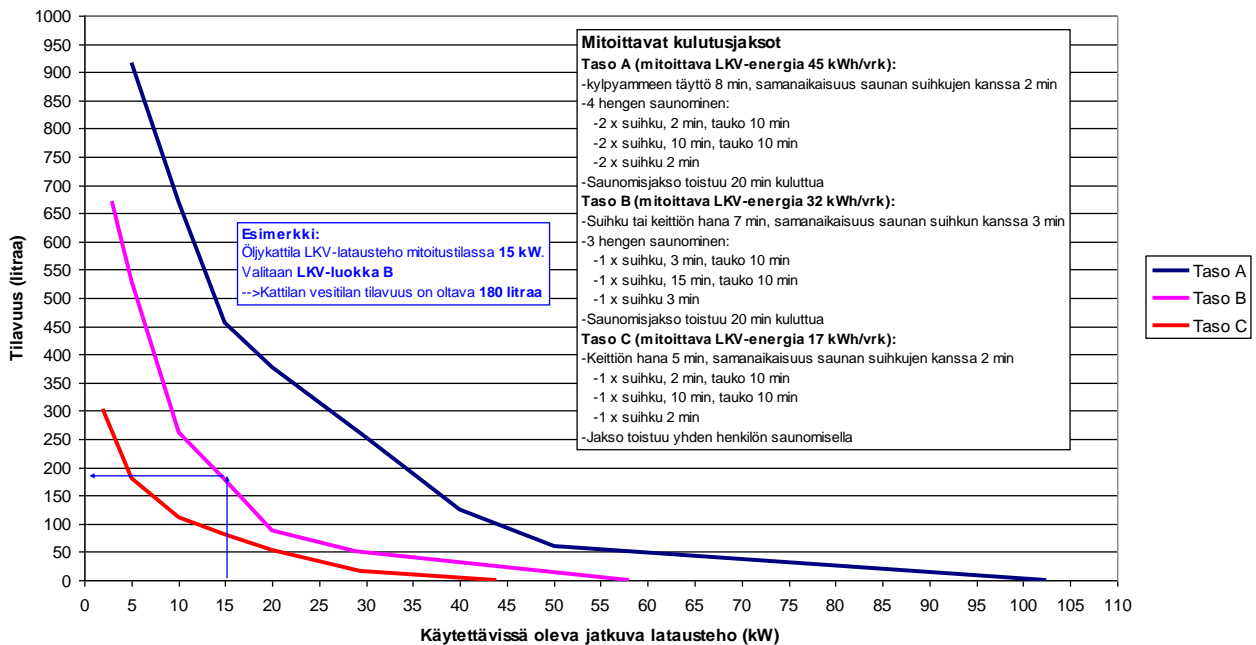
Käyttöveden tuottoluokaksi valitaan luokka B, jonka mitoittava kulutusjakso (n. 1 h 46 min) 24 kWh/jakso on:

- Suihku tai keittiön hana 7 min, samanaikaisuus saunan suihkun kanssa 3 min
- 3 hengen saunominen:
  - 1 x suihku, 3 min, tauko 10 min
  - 1 x suihku, 15 min, tauko 10 min
  - 1 x suihku 3 min
- Saunomisjakso toistuu 20 min kuluttua

Koko vuorokauden mitoittava LKV-energia luokassa B on 32 kWh/vrk.

Eri järjestelmäratkaisujen tehontarpeet ja varaajatilavuudet voidaan lukea kuvasta 2 kulutusluokan B kohdalta. Kuvaajaa voidaan käyttää järjestelmille, joiden LKV:n latausteho on jatkuvatoimista (esim. jatkuvakäyttöiset lämmityskattilat, LKV-varaajalla varustetut lämpöpumput yms.).

Varaajan tilavuus eri lataustehon arvoilla omakotitalossa, parametrina lämpimän käyttöveden tuottoluokka. Tehollinen lämpötilaero 30 K.



Kuva 2. Käyttöveden varaajan tilavuus ja lataustehon välinen riippuvuus eri LKV-tuottoluokilla. Latausteho jatkuva (Määttä).

Jaksottaisesti ladattaville LKV-tuottojärjestelmille (esim yö sähköllä ladattavat varaajat) saadaan varaajatilavuus ja tarvittava 8 h:n latausteho taulukosta 11 LKV-luokan B kohdalta.

*Taulukko 11. Jaksottaisesti ladattavan LKV-varaajan mitoitus.*

Taso	Normivirtaamien summa (l/s)	Mitoittavat energiat (kWh/vrk)	Mitoitusjakson energia (kWh)	Varaajan tilavuus (litra)	Latausteho (kW 8h)	Varaajan lämpöhäviö (kW)
A	> 1,0	45	34	548	6,2	0,2
B	0,6-1,0	32	24	390	4,5	0,15
C	<0,6	17	13	207	2,4	0,1

## **Kirjallisuutta**

Määttä, Jukka. Käyttöveden lämmityksen suunnittelu ja mitoitus. Espoo, VTT, 1993. 49 s. + liitt. 23 s. VTT tiedotteita -Meddelanden - Research Notes; 1440 ISBN 951-38-4334-3

# LIITE 6 Pientaloesimerkki lämmitys- ja lämpimän käyttöveden järjestelmän hyötysuhteiden laskennasta

## 1 Laskennan kulku

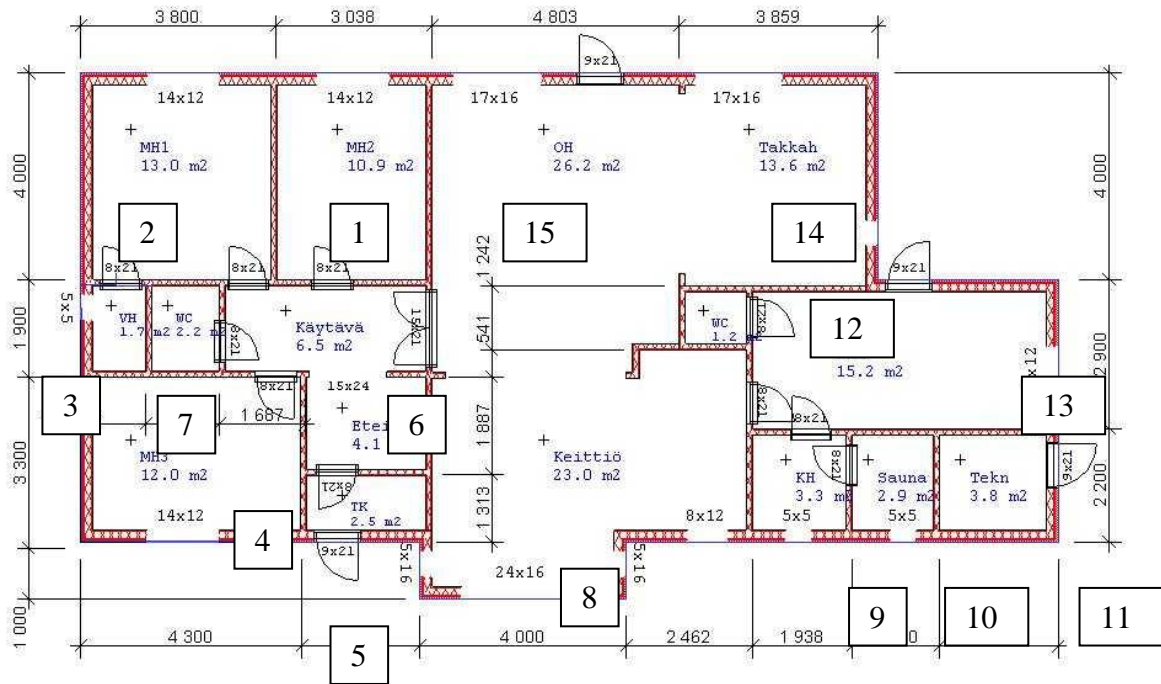
Laskentaproseduuri:

- 1) Määritetään pientalon rakenteet, ilmanvaihto ja lämpimän käyttöveden nettotarve
- 2) Lasketaan lämpimän käyttövesiverkoston lämpöhäviöt
- 3) Lasketaan rakennuksen lämmöntarve ilman lämmönjakojärjestelmää, jolloin saadaan vertailutilanteen lämmöntarve
- 4) Lasketaan lämmönluovutuksen lämpöhäviöt ja lisätään se lämmöntarpeeseen, joka lämmönjakojärjestelmällä täytyy siirtää
- 5) Lasketaan verkoston lämpötilat kuormitussuhteen funktiona (SFS EN 15316:2-3:2007)
- 6) Lasketaan lämmönjakoverkoston lämpöhäviöt
- 7) Siirretään lasketuista jakoverkoston lämpöhäviöistä rakennuksen lämpökuormiksi hyödynnettävissä oleva osuus
- 8) Lasketaan rakennuksen lämmöntarve lasketuilla uusilla lämpökuormilla, joissa on siis otettu huomioon putkien lämpöhäviöt
- 9) Lasketaan verkoston lämpötilat
- 10) Lasketaan vastaavat putkien lämpöhäviöt
- 11) Siirretään lämpöhäviöistä hyödynnettävissä oleva osuus lämpökuormiksi eli siirrytään proseduurin kohtaan 7)
- 12) Prosessia iteroidaan (kohdat 7 – 10), kunnes lämmitysverkoston lämpöhäviöt eivät enää muutu
- 13) Hyötysuhde lasketaan kohdassa 2) lasketun vertailutilanteen lämmöntarpeen ja iteraation perusteella lasketun tilanteen perusteella kaavasta

$$\eta_{\text{jakelu}} = \frac{Q_{\text{lämmitys,tilat,netto,1}}}{Q_{\text{lämmitys,tilat,netto,2}} + Q_{\text{putkien lämpöhäviötilaan}}}$$

## 2 Esimerkki pientalon kuvaus

Asuinpienitalo on harjakattoinen puutalo, jonka pohjapiirustus on esitetty kuvassa 1. Rakennus on sijoitettu siten, että olohuone on pohjoissuuntaan ja keittiö etelään. Talossa asuu 4 henkinen perhe, 2 aikuista ja 2 lasta.



Kuva 1. Tyypipientialon pohjapiirustus ja huoneiden numerointi.

Rakennuksen tärkeimmät laajuustiedot on esitetty taulukoissa 1 ja 2.

Taulukko 1. Tyypipientialon laajuustiedot.

Rakennustilavuus	466 m <sup>3</sup>
Ilmatilavuus	355 m <sup>3</sup>
Hyötyala *)	130 m <sup>2</sup>
Asuntoala **)	143 m <sup>2</sup>
Huoneala ***)	142 m <sup>2</sup>
Huoneistoala ****)	147 m <sup>2</sup>
Bruttoala	163 m <sup>2</sup>
Piiri	56 m
Huonekorkeus	2,5 m

\*) Huoneistoala pois lukien tekninen tila, tuulikaappi, eteinen ja käytävä

\*\*\*) Huoneistoala - teknisen tilan ala

\*\*\*\*) Huoneistoala - väliseinien "alle" jäävä pinta-ala

\*) Huoneistoala - tekninen tila, tuulikaappi, eteinen ja käytävä  
 \*\*) Huoneistoala - teknisen tilan ala  
 \*\*\*) Huoneistoala - väliseinien "alle" jäävä pinta-ala  
 \*\*\*\*) Kaikkien tilaohjelmaan kuuluvien huoneiden ala + väliseinärakenteiden ja väliovien kynnyksen (yht. 50,1 jm, d=0,1 m) alle jäävä ala (=5 m<sup>2</sup>)

Taulukko 2. Tyypipientialon rakenneosien pinta-ala suuntauksittain. Pinta-alat on laskettu kokonaisämitoilla.

Ilmansuunta	Ulkoseinä m <sup>2</sup>	Ikkuna m <sup>2</sup>	Ulko-ovi m <sup>2</sup>
Pohjoinen	36,6	8,52	3,8
Länsi	22,4	0,95	-
Etelä	35,7	7,04	2,2
Itä	19,5	2,36	2,2
Yhteensä	114,2	18,9	8,2

Muiden rakenteiden laajuudet ovat seuraavat:

- Ylä- ja alapohjarakenteiden pinta-ala on sama kuin huoneistoala eli 147 m<sup>2</sup>.
- Väliseinien pinta-ala on yhteensä 118 m<sup>2</sup>.
- Väliovien pinta-ala on yhteensä 10 x 1,7 m<sup>2</sup> + 1 x 3,2 m<sup>2</sup> = 20 m<sup>2</sup>.

### 3 Geometria

Taulukossa 3 esitetään eri tilojen mitat. Pinta-alat on laskettu kokonaissisämittojen mukaan. Taulukossa esitetään myös eri tilojen kalustuksen peittämä pinta-ala sekä rakenteiden suuntaukset ja pinta-alat. Tilavuudet on laskettu tilojen sisäpintojen mukaan. Ikkunoiden pinta-aloilla tarkoitetaan ikkunan koko pinta-alaa puitteineen, ikkunoiden pinta-alat eivät sisälly ulkoseinän pinta-aloihin.

*Taulukko 3. TyypipiENTALON tilojen ja rakenteiden mitat sekä tilojen sisältämien kalusteiden peittämä lattiapinta-ala. Huoneiden numerointi on esitetty kuvassa 1. Rakenneosien rakenteet ja merkintä on esitetty taulukossa 4.*

Tila	Huoneala m <sup>2</sup>	Ilmatilavuus m <sup>3</sup>	Kalustepinta-ala m <sup>2</sup>	Rakenne	Suuntaus	Pinta-ala m <sup>2</sup>
MH1	10,9	26,5	5	US1	P	6,8
				IK1	P	1,74
				VS1	H15	
					H6	
					H2	
SO1	H6					
MH2	13,0	32,0	5	US1	P	8,6
					L	10,7
				IK1	P	1,74
				VS1	H1	
					H6	
					H7	
					H3	
SO1	H6					
	H3					
VH3	1,7	2,4	1	US1	L	4,7
				IK1	L	0,25
				VS1	H2	10,3
					H7	
					H4	
SO1	H2					
MH4	12,0	29,5	5,7	US1	L	8,3
					E	10,4
				IK1	E	1,74
				VS1	H3	
					H7	
					H6	
					H5	
SO1	H6					
TK5	2,5	6,0	0,6	US1	E	4,4
				UO1	E	2,2
				VS1	H6	
					H8	
					H4	
SO1	H6					
ET6	10,6	25,7	1,4	VS1	H8	

					H5	
					H4	
				SO1	H2	
					H1	
					H5	
					H4	
					H7	
				IA1	H15	
					H8	
WC7	2,2	5,0	0,9	VS1	H2	
					H6	
					H4	
					H3	
				SO1	H6	
KT8	23,0	57,0	10,3	US1	L	2,3
					E	10,8
					I	2,3
				IK1	L	0,7
					E	4,8
					I	0,7
				VS1	H12	
					H13	
					H9	
					H5	
					H6	
				SO1	H13	
				IA1	H15	
					H6	
KH9	3,3	8,0	0,4	US1	E	5,3
				IK1	E	0,25
				VS1	H13	
					H8	
				VS2	H10	
				SO1	H13	
				SO2	H10	
SA10	2,9	6,8	2,1	US1	E	4,7
				IK1	E	0,25
				VS2	H13	
					H11	
					H8	
				SO2	H9	
TKN11	3,8	9,2		US1	E	5,6
					I	3,8
				UO2	I	1,9
				VS1	H13	
					H10	
WC12	1,2	2,8	0,3	VS1	H14	
					H13	
					H8	
					H15	
				SO1	H13	
KHH13	15,2	37,4	3,5	US1	I	6,6
					P	7,4
				IK1	I	0,96
				UO1	P	1,9

				VS1	H14	
					H11	
					H10	
					H9	
					H8	
					H12	
				SO1	H9	
					H8	
					H12	
TH14	13,6	33,7	3,5	US1	I	10,1
					P	7,3
				IK1	I	0,70
					P	2,38
				VS1	H13	
					H12	
IA1	H15					
OH15	26,2	65,0	5	US1	P	9,6
				IK1	P	2,52
				UO1	P	1,9
				VS1	H12	
					H1	
				IA1	H14	
					H8	
					H6	H6

## 4 Rakenteet

Taulukossa 4 esitetään tyyppipientalossa käytettyjen rakenneosien rakenteet ja U-arvot. U-arvot vastaavat määräysten (RakMk C3) mukaista minimitasoa, paitsi alapohjan U-arvo, joka on parempi kuin määräykset edellyttävät.

Taulukko 4. Tyyppipientalon rakenteet ja U-arvot.

	Rakenne	U-arvo	Efektiiivinen lämpökapasiteetti rakenneosan pinta-alayksikköä kohti (kJ/K,m <sup>2</sup> )
Ulkoseinä, US1	Ulkoverhous 28 mm Tuuletusrako 22 mm Tuulensuojalevy 25 mm ( $\lambda_n=0,05$ W/m,K) Koolaus 50x150 kk 600 Eriste 250 mm ( $\lambda_n=0,037$ W/m,K) Kosteussulku Sisäverhouslevy 13 mm ( $\lambda_n=0,23$ W/m,K)	0,17 W/m <sup>2</sup> ,K	10,0
Yläpohja, YP1	Peltikate Tuuletustila Eriste 550 mm ( $\lambda_n=0,045$ W/m,K) Kattotuolit (alapaarre) 48x300 kk 1200 Tuuletusrako 22 mm Sisäverhouspaneli 12 mm ( $\lambda_n=0,23$ W/m,K)	0,09 W/m <sup>2</sup> ,K	8,5
Alapohja, AP2	Perusmaa Tiivistetty sora 300 mm Solupolystyreeni 100 mm ( $\lambda_n=0,04$ W/m,K) Teräsbetoni 80 mm ( $\lambda_n=1,7$ W/m,K) Pintamateriaali (puu) 15 mm ( $\lambda_n=0,14$ W/m,K)	0,16 W/m <sup>2</sup> ,K (perusmaan vastus mukana) 0,40 W/m <sup>2</sup> ,K (pelkkä lattiarakenne)	10,6 (pintamat.) + 117,6 (betoni) = 128
Ikkunat, IK1	3-lasinen (lasin paksuus = 4 mm), yksi selektiivikalvopinnoitettu, lasiosan g-arvo = 0,65. Lasialan ja kokonaisalan suhde on keskimäärin 0,76 **)	1,0 W/m <sup>2</sup> ,K	0
Ulko-ovet, UO1		1,0 W/m <sup>2</sup> ,K	0,5
Väliseinät	Sisäverhouslevy 13 mm ( $\lambda_n=0,23$ W/m,K) Koolaus 50x50 kk 600 Äänieristevilla 50 mm ( $\lambda_n=0,037$ W/m,K) Sisäverhouslevy 13 mm ( $\lambda_n=0,23$ W/m,K)	0,76 W/m <sup>2</sup> ,K	20,0 *)
Väliovet	Puu 40 mm ( $\lambda_n=0,14$ W/m,K)	1,8 W/m <sup>2</sup> ,K	28,3

\*) Luvussa mukana väliseinän molemmat puolet

\*\*\*) Lasiosan reunan ja karmien ulkoreunan välinen etäisyys on 8 cm.

Rakennusosista laskettu efektiiivinen lämpökapasiteetti on tyyppipientalolle 7360 Wh/K, joka lukuarvona edustaa dynamiikaltaan kevyttä rakennusta.



## 5 Lisäkonduktanssit

Nurkkaliitosten määrä ja lisäkonduktanssit on esitetty taulukossa 5. Liitoksista otetaan huomioon ulkonurkat ulkoilmaan tai maahan rajoittuvissa rakenteissa. Lisäksi nurkkakulmien (esim. US-US-YP) 3D-lisäkonduktanssi on jätetty tarkastelun ulkopuolelle. Ulkoseinien sisänurkkien osuus on vähennetty ulkonurkkien pituudesta, koska niiden on oletettu kompensoivan toisensa.

Taulukko 5. Rakenteiden lisäkonduktanssit ja määrät

Liitoksen tyyppi	Määrä	Määrän yksikkö	Lisäkonduktanssi	Lisäkonduktanssin yksikkö
Ulkoseinä – yläpohja	56	m	0,08	W/mK
Ulkoseinä – alapohja	56	m	0,19	W/mK
Ulkoseinän pystynurkat US-US	12,5	m	0,06	W/mK
Ikkuna-US liitos	63,4	m	0,04	W/mK
Ulko-ovi-US liitos	24	m	0,04	W/mK
<b>Yhteensä</b>	-	-	<b>19,4</b>	<b>W/K</b>

**Huom!** Oheisen taulukon lisäkonduktanssin perustuvat RakMK C4:n oletusarvoihin. Tyypipiientaloon sovellettavien rakenneratkaisujen lisäkonduktanssit tulee ratkaista tapauskohtaisesti erikseen sopivalla 2D- tai 3D -laskentaohjelmalla, joka pystyy ottamaan huomioon eri rakennetyyppien nurkkaliitosdetaljien moniulotteisen lämmönsiirron.

Rakennusosien (US, YP, IKK, AP, OVET) konduktanssi ilman lisäkonduktansseja on yhteensä n. 109 W/K. Lisäkonduktanssit edustavat siis n. 15 %:a rakenteiden johtumislämpöhäviöistä.

## 6 Vuotoilmanvaihto

Vaipan ilmanvuotoluvun suunnitteluarvo on  $q_{50} = 2 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ .

## 7 Ilmanvaihto

Tyypipiientalo on varustettu koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmällä, jossa on poistoilman lämmöntalteenotto (LTO). LTO:n vuosihyötysuhde on 75 % ilmavirtasuhteella 1. Ilmanvaihtokone on varustettu tuloilman jälkilämmityksellä (vesikiertoinen lämmityspatteri) ja sisäänpuhalluslämpötila on lämmityskaudella +17 °C. Huonekohtaiset tulo- ja poistoilmavirrat esitetään taulukossa 6. Ilmanvaihdon ilmavirrat mitoittavat poistoilmavirrat, jotka ovat RakMk D2:n mukaiset. Perustapauksessa on oletettu, että ainoastaan keittiön ilmavirtoja voidaan tehostaa erillisellä liesituulettimella. Liesituulettimen poistoilma johdetaan suoraan katolle eikä siitä siis oteta lämpöä talteen.

LTO:n jäätymissuojaus voidaan toteuttaa katkomalla tuloilmapuhaltimen käyntiä tai esilämmittämällä ulkoilmaa ennen lämmöntalteenottoa. Jäätymissuojauksen termostaatin asetusarvo on -10 °C. Jäätymissuojausta ohjaavan lämpötilan mittaus toteutetaan jäteilmakanavasta virtaussuunnassa LTO:n jälkeen.

Taulukko 6. Ilmanvaihdon ilmapirrat. Käyntiaika jatkuva 24 h/vrk ja 7 vrk/vko.

Tila	Tuloilmavirta dm <sup>3</sup> /s	Poistoilmavirta dm <sup>3</sup> /s	Tehostus dm <sup>3</sup> /s
MH1	12	-	-
MH2	12	-	-
VH3	-	3	-
MH4	12	-	-
TK5	-	-	-
ET6	-	-	-
WC7	-	10	-
KT8	-	8	25 *)
PH9	-	15	-
SA10	6	6	-
TKN11	-	-	-
WC12	-	10	-
KHH13	-	15	-
TH14	10	-	-
OH15	10	-	-
Yhteensä	62	67	-

\*) Käyntiaika 2 h/vrk

## 8 Sisäilmasto

Oleskeluvyöhykkeen huonelämpötilan lämmityskauden suunnitteluarvot eri tiloille on esitetty taulukossa 7. Hyväksyttävä poikkeama huonelämpötilan suunnitteluarvosta huoneen keskellä 1,1 m:n korkeudella on  $\pm 1$  °C.

Jos tiloissa on sellaisia rakenteita tai laitteita, jotka aiheuttavat voimakasta lämpösäteilyä tai matalia tai korkeita pintalämpötiloja, huonelämpötilana käytetään operatiivisen lämpötilaa.

Taulukko 7. Tilakohtaiset lämmityskauden mitoittavat sisälämpötilat ja ilman liikkeen ohjearvot (RakMk D2)

Tila	Huonelämpötila korkeudella 1,1 m keskellä huonetta °C	Ilman nopeus m/s
MH1	21	0,20
MH2	21	0,20
VH3	21	-
MH4	21	0,20
TK5	21	-
ET6	21	-
WC7	21	-
KT8	21	0,20
PH9	22	0,20
SA10	21	-
TKN11	17	-
WC12	21	-
KHH13	21	0,30
TH14	21	0,20
OH15	21	0,20

## 9 Säätiiedot

Laskentasäänä käytetään kuukausitason laskelmissa RakMK D5:n mukaisia ulkolämpötila- ja auringon säteilytietoja. Dynaamisissa tuntitason laskelmissa käytetään Ilmatieteen laitoksen Testivuoden tuntitason säätiietoja.

### 9.1 Helsingin ulkoilman lämpötila

Taulukossa 8 on esitetty RakMK D5:n mukaiset ulkolämpötilat kuukausittain, joita on käytetty esimerkkipientalon laskelmissa.

Taulukko 8. Helsingin ulkoilman lämpötilat (RakMK D5).

Kuukausi	Ulkoilman lämpötila, °C
Tammi	-4,0
Helmi	-4,5
Maalis	-2,6
Huhti	4,5
Touko	10,8
Kesä	14,2
Heinä	17,3
Elo	16,1
Syys	10,5
Loka	6,2
Marras	0,5
Joulu	-2,2
Vuosi	5,6

### 9.2 Maan lämpötila

Mikäli simulointiohjelmassa ei ole mahdollisuutta laskea maanvaraisen alapohjalaatan lämmönsiirtoa sisätiloista ulkoilmaan asti, alapohjarakenteen alapuolisen maan lämpötilana käytetään laskelmissa arvoa  $T_{\text{maa}} = 9 \text{ °C}$ .

## 10 Lämmitystehontarve

### 10.1 Tilojen ja ilmanvaihdon tehontarve

Taulukossa 9 esitetään huonekohtaiset mitoitustehot. Mitoitustehot on laskettu mitoitusulkolämpötilalla  $-26 \text{ °C}$  (Helsinki).

Taulukko 9. Tilakohtaiset kokonaislämmitystehontarpeet.

Tila	Yhteensä
	W
MH1	259
MH2	376
VH3	65
MH4	361
TK5	144
ET6	42
WC7	55
KT8	752
PH9	127
SA10	137
TKN11	161
WC12	25
KHH13	509
TH14	453
OH15	579
Tilat yhteensä	4113
Ilmanvaihdon lämmitys IV-koneella	1512
Yhteensä	5625

Huonetilojen lämmityksen tehontarve on  $28,0 \text{ W/m}^2$  ja ilmanvaihdon lämmityksen tehontarve  $10,3 \text{ W/m}^2$ . Yhteensä lämmitysteho on  $38,3 \text{ W/m}^2$ .

## 11 Lämmin käyttövesi

### 11.1 Käyttöveden nettotarve

RakMK D3:n mukainen lämpimän käyttöveden ominaiskulutus on  $600 \text{ dm}^3/(\text{m}^2 \text{ a})$ . Kun kylmän veden lämpötilana käytetään  $5 \text{ }^\circ\text{C}$  ja lämpimän veden lämpötilana  $55 \text{ }^\circ\text{C}$ , saadaan lämmitysenergiaksi  $35 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ . Kun tämä kerrotaan lämmitetyllä nettoalalla, saadaan esimerkkikohteen lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarpeeksi  $5145 \text{ kWh/a}$ .

### 11.2 Lämpimän käyttövesiverkoston lämpöhäviö

Lämpimän käyttövesiverkoston lämpöhäviölaskenta suoritetaan liitteen 5 kohdan 4.3.2 menetelmällä, joka perustuu käyttökertojen lukumäärään. Laskennassa käytetään kyseisen menetelmän yhtälöitä (23) ja (24), sekä näihin tarvittavien apuparametrien osalta yhtälöitä (25) ja (26). Esimerkkikohteen lämpimän käyttöveden jakoverkosto on kuvan 2 mukainen. Lämpimän käyttöveden käyttöpisteitä on yhteensä 6 kappaletta. Menetelmässä olennaista on tietää käyttökertojen lukumäärä ja mahdollisten lyhyen aikavälin peräkkäisten käyttöjen lukumäärä. Määritellään esimerkiksi kodinhoitohuoneen osalta käyttöä olevan neljä kertaa vuorokaudessa, joista yksi on peräkkäin edellisen käyttökerran kanssa. Menetelmän kaavojen tarkempi läpikäynti liitteen 5 kohdassa 4.3.2, seuraavassa laskuesimerkki kodinhoitohuoneen osalta:

lämpöhäviö kolmesta käyttökerrasta, (yhtälö 23):

$$Q_{W, dis, ls, ind, i} = \frac{\rho_w \cdot c_w \cdot V_{w, dis, i} + c_p \cdot m_{p, dis, i}}{3600} \cdot (\theta_{W, dis, nom, i} - \theta_{amb, i}) \cdot n_{tap, i}$$

$$= \frac{4,183 \text{ kg/m}^3 \cdot 998 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \cdot 0,001 \text{ m}^3 + 0,024 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \cdot 2,3 \text{ kg}}{3600} \cdot (55^\circ\text{C} - 21^\circ\text{C}) \cdot 3 = 0,12 \text{ kWh/vrk}$$

lyhyen aikavälin käyttökerran lämpöhäviö (yhtälö 24):

$$Q_{W, dis, ls, ind, i} = \frac{\rho_w \cdot c_w \cdot V_{w, dis, i} + c_p \cdot m_{p, dis, i}}{3600} \cdot (\theta_{W, dis, nom, i} - \theta_{W, i})$$

$$= \frac{4,183 \text{ kg/m}^3 \cdot 998 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \cdot 0,001 \text{ m}^3 + 0,024 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \cdot 2,3 \text{ kg}}{3600} \cdot (55^\circ\text{C} - 49^\circ\text{C}) = 0,01 \text{ kWh/vrk}$$

jossa apuparametri  $\Theta_{W, i}$  (yhtälö 25)

$$\theta_{W, i} = \theta_{amb} + (\theta_{W, dis, nom, i} - \theta_{amb, i}) \cdot e^{-\frac{(q_i \cdot L_i \cdot t_{ap})}{(\rho_w \cdot c_w \cdot V_{w, dis, i} + c_p \cdot m_{p, dis, i}) \cdot (\theta_{W, dis, nom, i} - \theta_{amb, i}) \cdot 1000}}$$

$$= 21^\circ\text{C} + (55^\circ\text{C} - 21^\circ\text{C}) \cdot e^{-\frac{(4,12 \text{ W/m} \cdot 5,9 \text{ m} \cdot 1200 \text{ s})}{(4,183 \text{ kg/m}^3 \cdot 998 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \cdot 0,001 \text{ m}^3 + 0,024 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \cdot 2,3 \text{ kg}) \cdot (55^\circ\text{C} - 21^\circ\text{C}) \cdot 1000}}$$

$$= 49^\circ\text{C}$$

jossa apuparametri  $q_i$  (yhtälö 26)

$$q_i = U_R \cdot (\theta_{W, dis, nom, i} - \theta_{amb, i}) = 0,12 \text{ W/m} \cdot \text{K} \cdot (55^\circ\text{C} - 21^\circ\text{C})$$

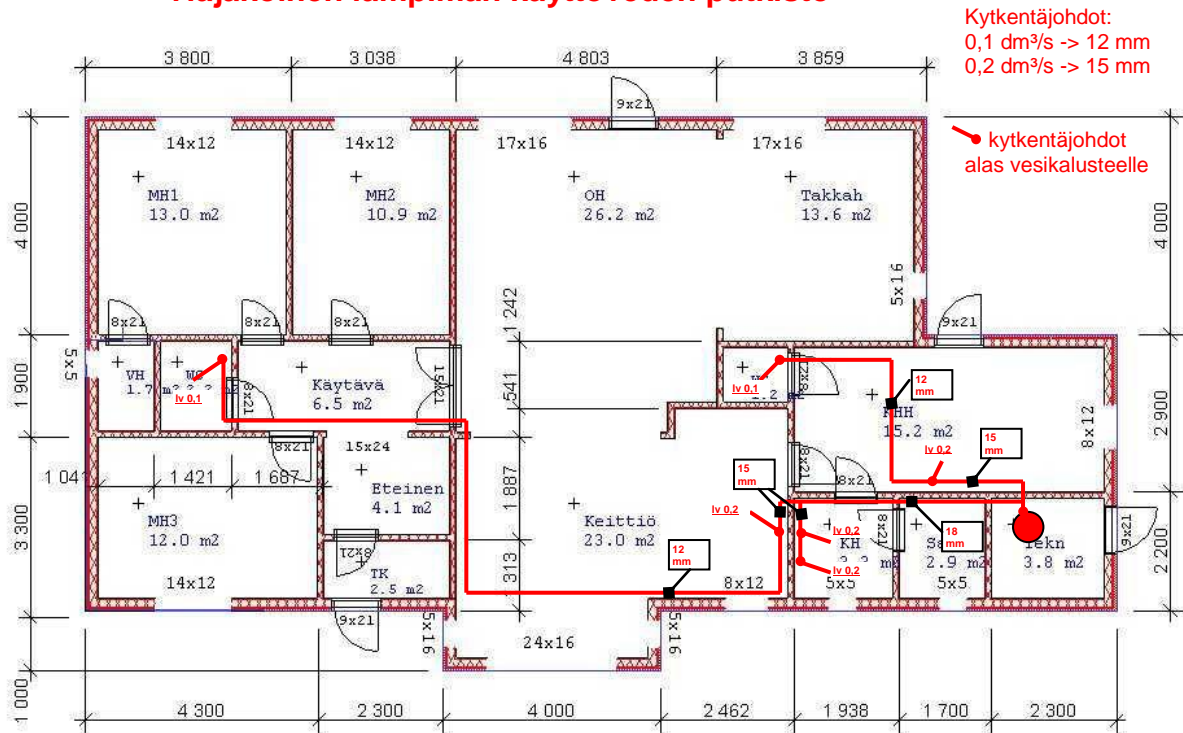
Kun laskenta toistetaan kaikille putkiosuuksille, saadaan koko jakoputkiston lämpöhäviöiksi 1,17 kWh/vrk eli 426 kWh/a. Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve on 5145 kWh/a. Näin ollen siirron hyötysuhteeksi (oppaan kappale 6, kaava 20) saadaan:

$$\eta_{lkv} = \frac{Q_{lkv, netto}}{Q_{lkv, siirto} + Q_{lkv, netto}} = \frac{5145 \text{ kWh}}{5145 \text{ kWh} + 426 \text{ kWh}} = 0,92$$

Käytetään laskettua hyötysuhdetta apuna määrittämään lämpimän käyttöveden kokonaisenergiantarve. Kokonaisenergiantarpeen laskennassa voidaan käyttää myös suoraan laskettuja häviöenergioita, jolloin kokonaisenergiantarve saadaan laskemalla yhteen häviöenergia ja nettoenergiantarve. Esimerkin vuoksi käytetään laskettua hyötysuhdetta, jolloin saadaan tapaus, jossa lasketun hyötysuhteen voi korvata oppaan kappaleen 4.3.1 D5-hyötysuhteilla. Järjestelmässä ei ole lämpimän käyttöveden kiertoa tai erillistä varaajaa. Kiertovesipumppua ei ole, joten järjestelmä ei käytä lainkaan sähköenergiaa. Näin ollen lämpimän käyttöveden lämmitysenergiantarpeeksi saadaan:

$$Q_{lämmitys, lk} = \frac{Q_{lkv, netto}}{\eta_{lkv}} + Q_{lkv, varastointi} + Q_{lkv, kierto} = \frac{5145 \text{ kWh/a}}{0,92} + 0 \text{ kWh/a} + 0 \text{ kWh/a} = 5592 \text{ kWh/a}$$

## Yläjakoinen lämpimän käyttöveden putkisto



Kuva 2. Laskentaesimerkin lämpimän käyttöveden jakoverkoston mitoitus.

Lämpimän käyttöveden lämmityksen netto- ja kokonaisenergiatarpeet sekä jakoputkiston lämpöhäviöt jakautuvat kuukausittain taulukon 11 mukaisesti.

Taulukko 11. Lämpimän käyttöveden lämmityksen lämpöhäviöt kuukausittain.

Kuukausi	Lämpimän käyttöveden lämmityksen nettoenergiatarve, kWh	Jakoputkiston lämpöhäviöt, kWh	Lämpimän käyttöveden lämmityksen kokonaisenergiatarve, kWh
Tammi	437	38	475
Helmi	395	34	429
Maalis	437	38	475
Huhti	423	37	460
Touko	437	38	475
Kesä	423	37	460
Heinä	437	38	475
Elo	437	38	475
Syys	423	37	460
Loka	437	38	475
Marras	423	37	460
Joulu	437	38	475
Vuosi	5145	447	5592

Lämpöhäviöiden tilakohtaisessa laskennassa huomioidaan putkipituudet kussakin tilassa, sekä kunkin käyttöpiesteen käyttöprofiilin mukainen käyttö. Tilakohtaisesti on määriteltävä mitkä

kulutuspiestet aiheuttavat lämpökuormaa kuhunkin tilaan. Esimerkkitapauksessa on käytetty liitteen 5 kappaleen 3.2 taulukon 6 mukaista lämpimän käyttöveden standardoitua vuorokautista kulutusprofiilia yhdelle perheelle. Kulutusprofiilin käyttökerrat on jaoteltu soveltuvasti esimerkkikohteen käyttöpisteisiin. Lämpimän käyttöveden jakoputkiston lämpöhäviöiden jakautuminen tilojen kesken esitetään taulukossa 12.

*Taulukko 12. Lämpimän käyttöveden jakoputkiston lämpöhäviöiden jakautuminen tiloittain*

Tila	LKV käyttöpisteet jotka aiheuttavat kuormaa tilaan	Osuus jakoputkiston häviöistä
Tekn.	WC12 hana + KHH hana + KH hana + KH suihku + keittiö hana + WC7 hana	28,3 %
Sauna	KH hana + KH suihku + keittiö hana + WC7 hana	11,2 %
KH	KH hana + KH suihku + keittiö hana + WC7 hana	30,6 %
KHH	WC12 hana + KHH hana	23,8 %
WC12	WC12 hana	1,4 %
Keittiö	keittiö hana + WC7 hana	4,1 %
Käytävä	WC7 hana	0,3 %
WC7	WC7 hana	0,3 %

## 12 Sisäiset lämpökuormat

Sisäisinä lämpökuormina voidaan käyttää yksinkertaistetuissa laskelmissa arvoa  $5,5 \text{ W/m}^2 = 4,05 \text{ kWh/m}^2, \text{kk}$  (=ihmiset + sähkölaitteet) mikäli muuta ei tiedetä. Lämpimän käyttöveden järjestelmästä ei tule hyödynnettäviä lämpökuormia. Keskimääräiset tuntitason sisäiset lämpökuormat eri tilatyypeille on esitetty taulukoissa 13.

Taulukko 13. Keskimääräiset pientalon lämpökuormat tilatyypeittäin.

Klo	Keittiö			KHH			OH + takkahuone			MH1 ja MH2 (1 hlö makkarit)			MH3 (2 hlö makkari vanhemm)			KH, 2xWC, Eteinen, Käytävä		
	Valaistus	Ihmiset	Laitteet	Valaistus	Ihmiset	Laitteet	Valaistus	Ihmiset	Laitteet	Valaistus	Ihmiset	Laitteet	Valaistus	Ihmiset	Laitteet	Valaistus	Ihmiset	Laitteet
0-1	0	0	78	0	0	10	0	0	21	0	75	10	0	150	10	0	0	0
1-2	0	0	78	0	0	10	0	0	21	0	75	10	0	150	10	0	0	0
2-3	0	0	78	0	0	10	0	0	21	0	75	10	0	150	10	0	0	0
3-4	0	0	78	0	0	10	0	0	21	0	75	10	0	150	10	0	0	0
4-5	0	0	78	0	0	10	0	0	21	0	75	10	0	150	10	0	0	0
5-6	48	0	78	23	0	10	0	0	66	48	75	10	48	150	10	0	0	0
6-7	95	35	226	23	40	10	60	0	76	48	75	20	48	75	10	15	0	0
7-8	95	150	108	23	75	10	60	75	66	48	0	10	48	0	10	15	0	0
8-9	48	150	78	0	0	10	60	75	66	0	0	10	0	0	10	15	0	0
9-10	0	75	78	0	0	10	0	0	21	0	0	10	0	0	10	15	0	0
10-11	0	0	78	0	0	10	0	0	21	0	0	10	0	0	10	0	0	0
11-12	0	0	78	0	0	10	0	0	21	0	0	10	0	0	10	0	0	0
12-13	0	0	78	0	0	10	0	0	21	0	0	10	0	0	10	0	0	0
13-14	0	0	108	0	0	10	0	0	66	0	0	10	0	0	10	0	0	0
14-15	24	0	108	0	0	10	30	75	123	0	75	67	0	0	10	15	0	0
15-16	48	75	78	0	0	10	60	0	123	0	75	67	0	0	10	15	0	0
16-17	48	75	78	0	0	10	60	75	123	0	75	67	0	0	10	15	0	0
17-18	95	75	935	0	0	10	60	75	178	0	75	67	0	0	10	15	0	0
18-19	95	150	581	9	75	10	90	75	178	24	0	67	24	0	10	15	0	0
19-20	72	150	78	9	50	10	90	0	178	24	0	67	24	0	10	15	0	0
20-21	72	75	671	23	50	582	90	150	178	48	0	67	48	0	10	15	0	0
21-22	48	0	266	23	25	177	60	50	178	48	75	67	48	75	10	15	0	0
22-23	48	0	78	23	25	10	60	50	113	24	75	57	24	75	10	15	0	0
23-24	24	0	78	9	0	10	30	0	113	12	75	57	12	150	10	0	0	0



## 13 Lämmitysjärjestelmät

Huonekohtaiset lämmittimet (radiaattorit) mitoitetaan taulukon 7 tehontarvetiedoilla valitsemalla sopivat ratkaisut laitevalmistajan tuotteista. Vesikiertoisen jakojärjestelmän osat (jakoputkisto yms.) mitoitetaan huonekohtaisten vesivirtojen ja painehäviön suunnitteluarvojen mukaan. Jakeluverkoston eristystaso toteutetaan esim. LVI-kortin "LVI 50-10345" mukaan.

Mikäli järjestelmän energiankulutus halutaan laskea, käytetään kunkin mallinnusohjelman omia valmistajakohtaisia komponenttimalleja. Komponenttimallien lähtötiedot ovat kunkin laskentaohjelman mukaisia.

Yksinkertaistettuun järjestelmälaskentaan voidaan käyttää RakMK D5:ssä esitettyä menetelmää, jossa on esitetty yleisimpien lämmitysjärjestelmäratkaisujen energiankulutuksen laskenta.

## 14 Jäähdytysjärjestelmä

Jäähdytysjärjestelmää ei yleensä tarvita pientaloissa Suomen ilmastossa, mikäli ikkunoiden aurinkosuojaus ja/tai ulkoinen varjostus on hoidettu asianmukaisesti eikä normaalia asumiskäyttöä suurempia sisäisiä lämpökuormia ole.

Mikäli sisälämpötilojen tarkka hallinta on myös lämmityskauden ulkopuolella tärkeää, voidaan jäähdytysjärjestelmän huonekohtaiset tehontarpeet mitoittaa RakMK D5:n mukaisella menettelyllä tai vastaavalla dynaamisella tuntitason laskentaohjelmalla.

## 15 Laskettu lämmitysenergian tarve

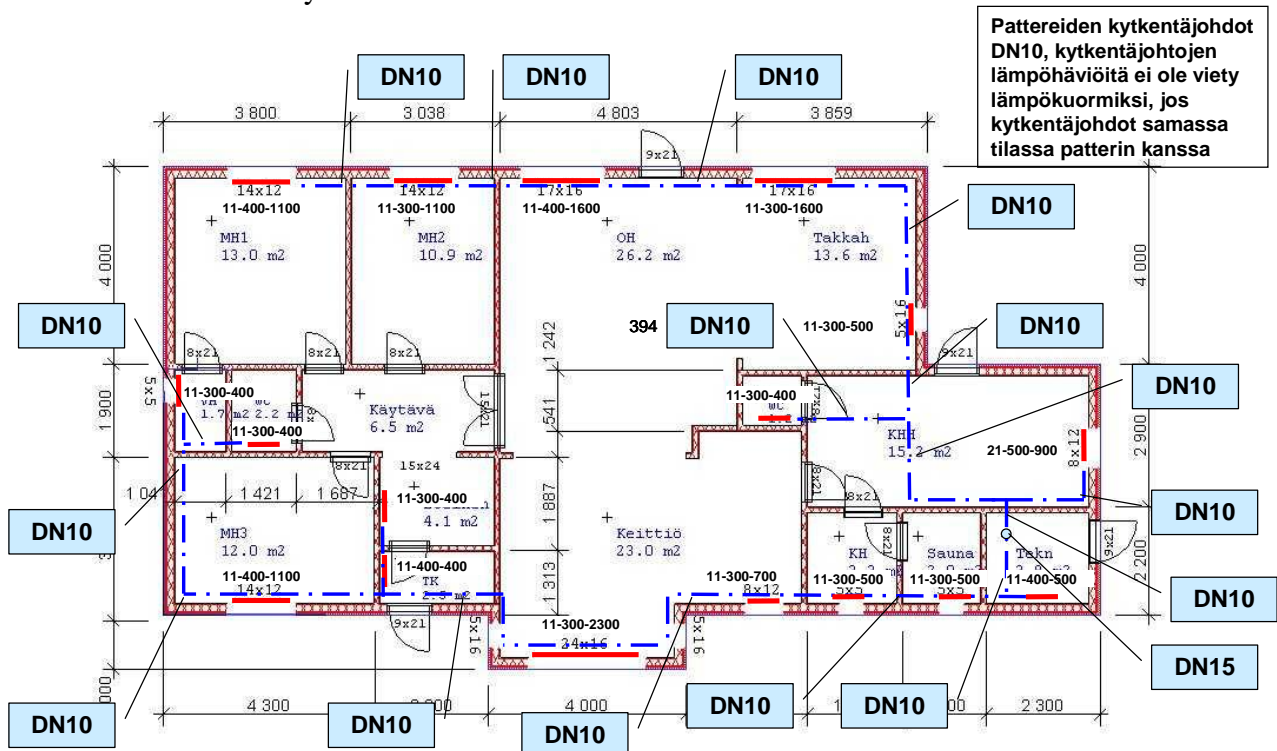
Esimerkkipientalon tilojen kuukausittainen lämmitysenergiankulutus ilman lämmitysjärjestelmän lämpökuormia, Helsingin ilmastossa, on esitetty taulukossa 14. Lämpimän veden järjestelmän lämpöhäviöistä on oletettu siirtyvän 100 %:a lämpökuormaksi.

*Taulukko 14. Pientaloesimerkin kuukausittaiset tilojen ja ilmanvaihdon jälkilämmityksen lämmitysenergian nettotarpeet ilman lämmitysjärjestelmän lämpökuormia.*

Kuukausi	Tilojen lämmitysenergian nettotarve, kWh	Ilmanvaihdon jälkilämmityksen nettotarve, kWh
Tammi	1416	106
Helmi	1196	103
Maalis	1004	87
Huhti	404	18
Touko	57	0
Kesä	13	0
Heinä	0	0
Elo	12	0
Syys	125	1
Loka	543	8
Marras	1002	55
Joulu	1288	83
Vuosi	7060	460

## 16 Lämmönjakojärjestelmän hyötysuhteet

Vesiradiaattoriverkosto muodostuu kahdesta ulkoseiniä kiertävästä linjasta. Pattereiden mitoitustiedot on esitetty taulukossa 15.



Kuva 1. Yläjakoisen 2-putkijärjestelmän lämmitysverkon putkisuunnitelma. Putkidimensiot on määritetty mitoitustilapötiloilla 70°C/40 °C/21 °C ja pattereiden mitoitustehoilla.

Taulukko 15. Pattereiden mitoitustiedot.

Tila	Mitoitus- lämpö- teho W	Patterit	Taulukkoteho mitoitustl. 70/40/21	Yli- mitoitus%	Lämmönluovutus- eksponentti
Linja 1					
MH2	376	11-400-1100	433	15 %	1,3026
MH1	259	11-300-1100	333	29 %	1,2981
OH15	579	11-400-1600	630	9 %	1,3026
TH14	453	11-300-1600	485	41 %	1,2981
WC12	25	11-300-400	121	378 %	1,2981
KHH13	509	21-500-900	575	13 %	1,3076
Linja 2					
WC7	55	11-300-400	121	120 %	1,2981
VH3	65	11-300-400	121	86 %	1,2981
MH4	361	11-400-1100	433	20 %	1,3026
ET6	112	11-300-400	121	8 %	1,2981
TK5	144	11-400-400	158	10 %	1,3026
K8	752	11-300-2300	697	21 %	1,2981
KH9	127	11-300-500	152	20 %	1,2981
S10	137	11-300-500	152	11 %	1,2981
TKN11	161	11-400-500	197	23 %	1,3026
Yht.	4113	-	5093	24 %	-

## 16.1 Lämmönluovutuksen hyötysuhteet

Radiaattorijärjestelmän lämmönluovutuksen hyötysuhde lasketaan kaavalla:

$$\eta_{luovutus} = \frac{1}{\frac{1}{\eta_{kerrostuma}} + \frac{1}{\eta_{rakenne}} + \frac{1}{\eta_{säätö}} - 2}$$

jossa  $\eta_{rakenne} = 1$ , kun järjestelmässä ei ole rakenteisiin integroituja lämmitysjärjestelmän lämmönluovuttimia.

Tässä laskentaesimerkissä esimerkkipientalon radiaattorijärjestelmän lämmönluovutuksen ominaisuudet tunnetaan seuraavasti:

- Eri rakenneosien pintalämpötilat on ratkaistu CFD-ohjelmalla lämmityskauden keskimääräisellä ulkolämpötilalla 0 °C, jolloin voidaan laskea lämmönluovuttimien aiheuttama lisälämpöhäviö ideaaliseen sekoittuneeseen tilanteeseen verrattuna. Esimerkki kuvassa 4. Taulukossa 16 esimerkkipientalon rakenteiden pintalämpötilat
- Säätöjärjestelmänä on termostaattiset patteriventtiilit (P-säätö, suhdealue 1 °C).

Taulukko 16. Esimerkkipientalon rakenteiden pintalämpötilat radiaattorijärjestelmällä lämmityskauden keskimääräisellä ulkolämpötilalla 0 °C ja lisälämpöhäviö

	Pinta-ala (m <sup>2</sup> )	U-arvo, W/Km <sup>2</sup>	Pinta-vastus, m <sup>2</sup> K/W	U-arvo ilman pinta-vastusta, W/Km <sup>2</sup>	Tp,ref (oC)	Tp CFD (oC)	Häviö ref (kWh/jakso)	Häviö CFD (kWh/jakso)	Qkerrostuma (kWh/jakso)
US	109.23	0.17	0.13	0.174	20.5	<b>20.9</b>	2611	2657	<b>46.3</b>
Yläpohja	147.00	0.09	0.10	0.091	20.8	<b>21.3</b>	1860	1904	<b>43.7</b>
Alapohja	147.00	0.16	0.17	0.164	20.7	<b>20.5</b>	1890	1862	<b>-28.1</b>
Ikkunat	18.90	1.00	0.13	1.149	18.3	<b>18.9</b>	2658	2745	<b>87.3</b>
Ulko-ovi	8.20	1.00	0.13	1.149	18.3	<b>18.3</b>	1153	1155	<b>1.9</b>
Rad.tausta	4.97	0.17	0.13	0.174	20.5	<b>22.0</b>	119	127	<b>8.5</b>
							<b>Yht.</b>		<b>160</b>

Kerrostuman lisälämpöhäviö  $Q_{kerrostuma}$  lasketaan pintalämpötilojen avulla liitteen 1 menetelmän mukaisesti (Taulukko 16) ja sijoitetaan yhtälöön:

$$\eta_{kerrostuma} = \frac{Q_{lämmitys,tilat,netto}}{Q_{lämmitys,tilat,netto} + Q_{kerrostuma}} = \frac{7258kWh}{7258kWh + 160kWh} = 98\%$$

Säätöhyötysuhde liitteen 1 menetelmän mukaan on 98% . Sijoittamalla lukuarvot lämmön luovutuksen hyötysuhteen kaavaan saadaan:

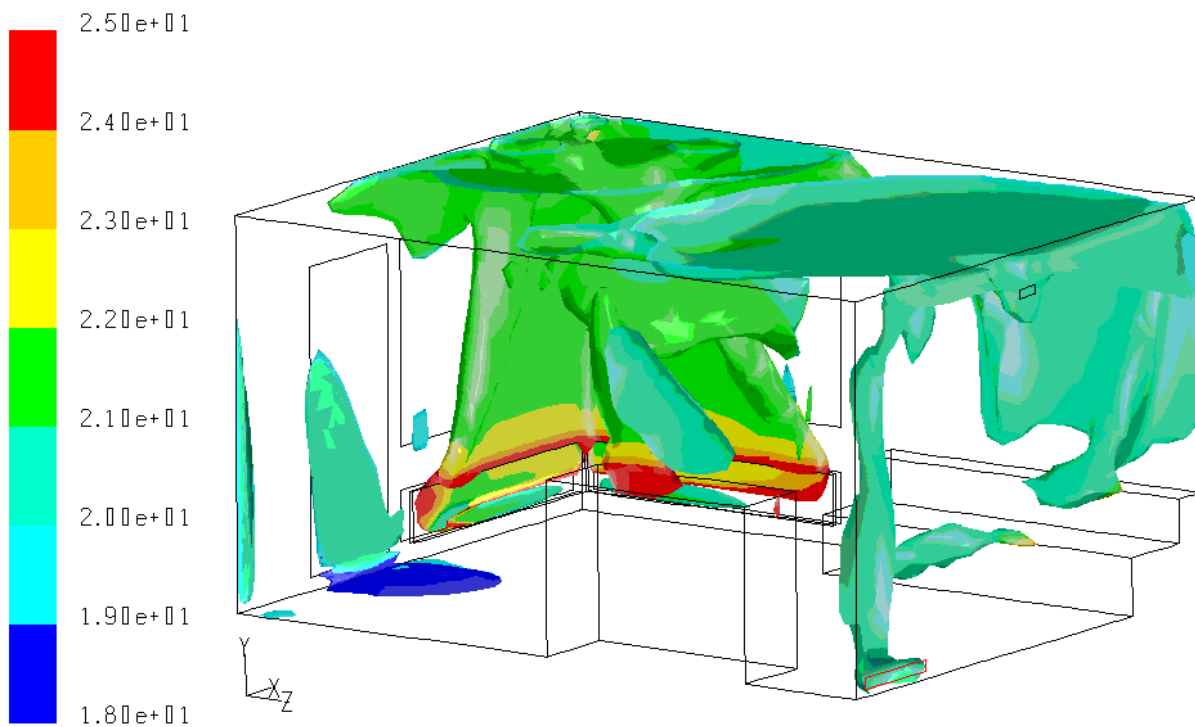
$$\eta_{luovutus} = \frac{1}{\frac{1}{0,98} + \frac{1}{1,0} + \frac{1}{0,98} - 2} = 96\%$$

Lämmönjaon lämpöenergian tarve (Taulukko 17), jota tarvitaan lämmönjaon hyötysuhdetta määritettäessä, lasketaan kaavasta

$$Q_{\text{lämmitys,luovutus}} = \frac{Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}}}{\eta_{\text{luovutus}}}$$

Taulukko 17. Lämmönjakojärjestelmään siirtyvä tarve  $Q_{\text{lämmitys,luovutus}}$

Kuukausi	$Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}}$ kWh	$Q_{\text{lämmitys,luovutus}}$ kWh
Tammi	1416	1475
Helmi	1196	1246
Maalis	1004	1046
Huhti	404	421
Touko	57	59
Kesä	13	14
Heinä	0	0
Elo	12	13
Syys	125	130
Loka	543	566
Marras	1002	1044
Joulu	1288	1342
Vuosi	7060	7354



Kuva 4. Esimerkkikuva ilmavirtauksista ja niiden lämpötiloista radiaattorijärjestelmällä ulkolämpötilassa 0 °C.

## 16.2 Lämmönjaon hyötysuhteet

Taulukossa 18 esitetään kuvassa 3 esitetyn verkoston putkipituudet huoneittain, joiden perusteella voidaan laskea huonekohtaiset putkista tulevat lämpökuormat.

Taulukko 18. Tiloihin lämpökuormia aiheuttavien putkien pituus, putkikoko ja putkessa kulkevien tilojen virtaamat. Putkipituus on yhden putken pituus eli vain joko meno- tai paluuputken pituus.

Tila	Putkipituus, m	Putkikoko	Putkessa kulkevan tilojen vesivirrat
Linja 1			
MH2	-	-	-
MH1	2,3 0,8	DN10 DN10	MH2 kytkentäputki MH2+MH1
OH15	2,2	DN10	MH2+MH1
	2,8	DN10	MH2+MH1+OH15
TH14	2,0	DN10	MH2+MH1+OH15
	4,8	DN10	MH2+MH1+OH15+TH14/1
	0,6	DN10	MH2+MH1+OH15+TH14/1+TH14/2
WC12	-	-	-
13KH H	1,0	DN10	MH2+MH1+OH15+TH14/1+TH14/2
	3,6	DN10	MH2+MH1+OH15+TH14/1+TH14/2+WC12
	2,0	DN10	WC12 kytkentäputki
	0,2	DN10	MH2+MH1+OH15+TH14/1+TH14/2+WC12+13KHH
Linja 2			
WC7	-	-	-
VH3	0,9	DN10	WC7 kytkentäputki
	0,2	DN10	WC7+VH3
MH4	5,3	DN10	WC7+VH3
	1,6	DN10	WC7+VH3+MH4
ET6	-	-	-
TK5	1,0	DN10	ET6 kytkentäputki
	2,0	DN10	WC7+VH3+MH4+ET6+TK5
K8	4,0	DN10	WC7+VH3+MH4+ET6+TK5
	4,0	DN10	WC7+VH3+MH4+ET6+TK5+K8/1
	0,3	DN10	WC7+VH3+MH4+ET6+TK5+K8/1+K8/2
KH9	1,4	DN10	WC7+VH3+MH4+ET6+TK5+K8/1+K8/2
	0,4	DN10	WC7+VH3+MH4+ET6+TK5+K8/1+K8/2+KH9
S10	1,6	DN10	WC7+VH3+MH4+ET6+TK5+K8/1+K8/2+KH9
	0,1	DN10	WC7+VH3+MH4+ET6+TK5+K8/1+K8/2+KH9+S10
TKN11	0,5	DN10	WC7+VH3+MH4+ET6+TK5+K8/1+K8/2+KH9+S10
	1,2	DN10	WC7+VH3+MH4+ET6+TK5+K8/1+K8/2+KH9+S10+TKN11
	0,5	DN15	Linja 1 + Linja 2

## 16.2.1 Meno- ja paluueden lämpötilat

Lämmönjakoverkoston lämpötilat lasketaan standardin SFS EN 15316-2-3:2007 mukaan. Verkoston lämpötiloihin vaikuttavat pattereiden mitoituslämpötilat sekä lämmöntarpeen osakuormitus.

Verkoston keskimääräinen lämpötila ja menolämpötila sekä paluulämpötila lasketaan verkoston osakuormituksen funktiona kaavoista (esitetty liitteessä 2 kohdassa 3.1).

$$\theta_s(\beta_{dis}) = (\theta_{s,des} - \theta_i) \cdot \beta_{dis}^{\frac{1}{n}} + \theta_i \quad (6)$$

$$\theta_r(\beta_{dis}) = (\theta_{r,des} - \theta_i) \cdot \beta_{dis}^{\frac{1}{n}} + \theta_i \quad (7)$$

joissa

$\theta_s$  on verkoston menolämpötila, °C

$\theta_r$  on verkoston paluulämpötila, °C

$\theta_{s,des}$  on verkoston mitoitusmenolämpötila, °C

$\theta_{r,des}$  on verkoston mitoituspaluulämpötila, °C

$\theta_i$  on mitoitusluonnelämpötila, °C

$n$  on lämmönluovutustavasta riippuva eksponentti (taulukko 1), -

$\beta_{dis}$  on verkoston osakuormitus, -

$$\beta_{dis} = \frac{Q_{H,dis,out}}{\Phi_{em} t_{op}}$$

$Q_{H,dis,out}$  on lämmönjaon luovuttama lämpöenergia laskentajaksolla, kWh

$\Phi_{em}$  on mitoituslämpöteho, kW

$t_{op}$  on laskentajakson lämmitystunnit, h

Taulukossa 19 esitetään lasketut lämmönjakoverkoston lämpötilat esimerkkientalolle

*Taulukko 19. Verkoston lämpötilat 70/40/21 mitoituslämpötiloilla ja eristämättömille lämmönjakoputkille laskettuna esimerkkientalolle.*

Kuukausi	Suhteellinen lämmöntarve, $\beta_{dis}$	Verkoston menolämpötila, °C	Verkoston paluulämpötila °C
Tammi	0,396	45,0	30,3
Helmi	0,382	44,4	30,1
Maalis	0,298	40,3	28,5
Huhti	0,150	32,4	25,4
Touko	0,064	26,9	25,0
Kesä	0,060	26,7	26,0
Heinä	0,063	26,8	26,8
Elo	0,055	26,3	25,9
Syys	0,064	26,9	23,4
Loka	0,176	33,9	26,0

Marras	0,297	40,3	28,5
Joulu	0,356	43,1	29,6

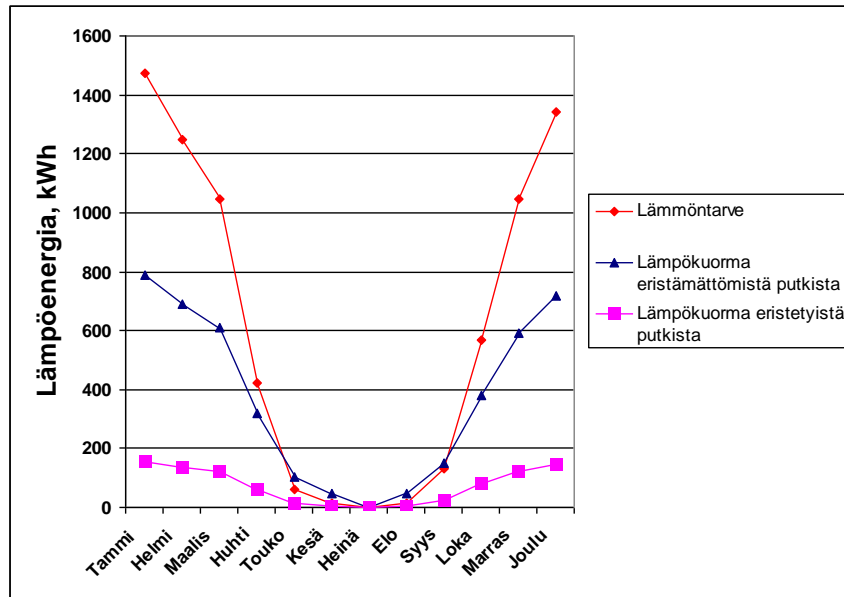
## 16.2.2 Lämmönjaon lämpöhäviöt ja hyötysuhteet

Taulukossa 3 esitetään laskennan tulokset kuukausitasolla. Vertailutilanteen lämmitysenergiankulutus sisältää paitsi vaipan, vuotoilman ja ilmanvaihdon tiloissa tarvittavan lämmitysenergiankulutuksen, niin myös lämmönluvuttimen lämpöhäviöt.

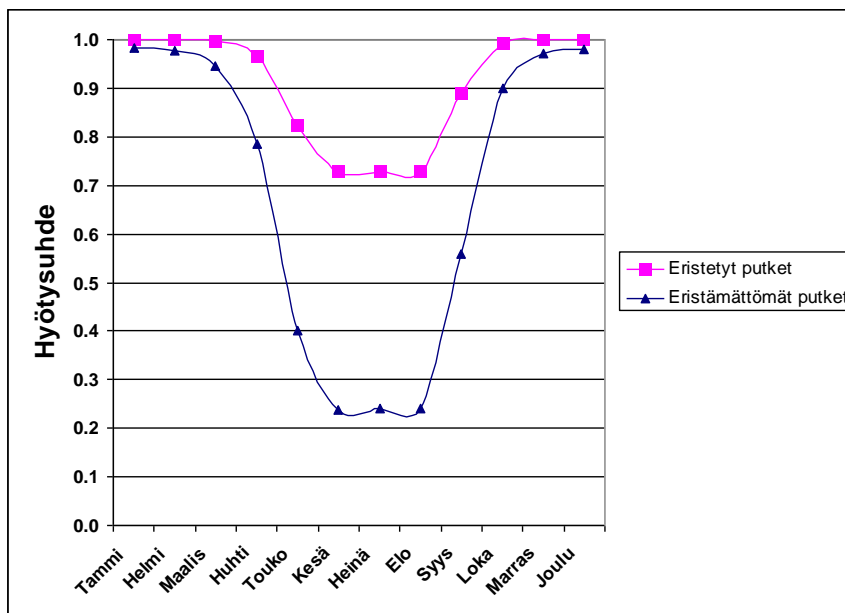
*Taulukko 20. Laskennan tulokset 70/40/21 mitoituslämpötiloilla ja eristämättömille lämmönjakoputkille laskettuna.*

Kuukausi	Vertailutilanteen lämmitysenergiankulutus ilman putkien lämpökuormaa, kWh	Putkien lämpökuorma, kWh	Lämmitysjärjestelmän lämmitysenergiankulutus lämmönjakoverkoston lämpökuormien yhteydessä, kWh	Hyötysuhde
Tammi	1475	789	1498	0,98
Helmi	1246	690	1305	0,98
Maalis	1046	611	1126	0,95
Huhti	421	320	546	0,78
Touko	59	103	149	0,53
Kesä	14	47	59	0,48
Heinä	0	0	0	-
Elo	13	47	60	0,24
Syys	130	149	228	0,56
Loka	566	381	664	0,9
Marras	1044	590	1088	0,97
Joulu	1342	717	1347	0,98
Vuosi	7354	4443	8070	93

Kuvissa 5 ja 6 on esitetty laskentatulokset sekä eristämättömille (vastaa taulukon 20 arvoja) että eristetyille lämmönjakoputkille.



Kuva 5. Laskentaesimerkin tilojen lämmöntarve ja eristämättömien sekä eristettyjen lämmönjakoputkien lämpöhäviöt.



Kuva 6. Laskentaesimerkin kuukausittaiset hyötysuhteet eristämättömälle ja eristetyille lämmitysverkostolle.

### 16.2.3 Apulaitteiden sähkökäyttö

Esimerkin tapauksessa lämmönjaon sähkökäyttö muodostuu ainoastaan kiertovesipumpun sähkön kulutuksesta. Lämmönjaon pumppauksen sähkökäytön laskenta on esitetty liitteen 2 kohdassa 12.

Oletetaan, että pumpun sähköteho on vakio = 30 W koko tarkastelujaksolla. Tällöin pumpun sähkökäyttö tammikuussa on



$$E_{aux} = P_{aux} \cdot t = 0,030 \text{ kW} \cdot 744 \text{ h} = 22,32 \text{ kWh}$$

Sähkönkulutus muuttuu lämmöksi, joka on osittain hyödynnettävissä suoraan lämmönjaossa ja osittain tilojen lämmityksessä. Lämmönjaossa hyödyntyvä osuus tammikuussa lasketaan seuraavasti. Esimerkin pumppu on eristämätön, jolloin hyödyntämiskerroin  $f_{aux,hyöd} = 0,75$

$$Q_{aux,jakelu} = f_{aux,hyöd} \cdot E_{aux} = 0,75 \cdot 22,32 \text{ kWh} = 16,74 \text{ kWh}$$

Tilan lämmityksessä hyödynnettävissä oleva lämpökuorma lasketaan tammikuulle kaavasta

$$Q_{aux,tila} = (1 - f_{aux,hyöd}) \cdot E_{aux} = (1 - 0,75) \cdot 22,32 \text{ kWh} = 5,58 \text{ kWh}$$

Pumpun sähkönkäyttö ja lämmityksessä hyödynnettävissä olevat lämpöenergiat on laskettu taulukkoon 21.

Taulukko 21. Lämmönjaon pumppauksen sähkönkäyttö

Kuukausi	Käyttötunnit t h	Sähköteho $P_{aux}$ W	Sähköenergia $E_{aux}$ kWh	Lämmönjaossa hyödyntyvä kWh	Lämmityksessä hyödynnettävissä kWh
Tammi	744	30	22.32	16.74	5.58
Helmi	672	30	20.16	15.12	5.04
Maalis	744	30	22.32	16.74	5.58
Huhti	720	30	21.60	16.20	5.40
Touko	744	30	22.32	16.74	5.58
Kesä	720	30	21.60	16.20	5.40
Heinä	744	30	22.32	16.74	5.58
Elo	744	30	22.32	16.74	5.58
Syys	720	30	21.60	16.20	5.40
Loka	744	30	22.32	16.74	5.58
Marras	720	30	21.60	16.20	5.40
Joulu	744	30	22.32	16.74	5.58
<b>Vuosi</b>			<b>262.80</b>	<b>197.10</b>	<b>65.70</b>

## 17 Kattilan lämpöhäviöt ja hyötysuhteet

### 17.1 Lähtötiedot

Oletetaan seuraavassa, että lämmöntuottoyksikkö sijaitsee asuinrakennuksen teknisessä tilassa, kuva 3. Oletetaan, että varaajaa ei tarvita, koska lämmöntuottoyksikkönä on öljyllä toimiva ns. standardi-kattila, jossa lämpimän käyttöveden tuotto tapahtuu kattilan vesitilassa olevassa ns. kierukassa, eli läpivirtausperiaatteella toimivassa lämmönsiirtimessä. Kattila on valittu tehotasoltaan omakoti-

taloon sopivaksi ja sen suoritusarvot, jotka on todettu virallisissa luokitustesteissä ja merkitty kattilan kilpeen ja tuotedokumentaatioon, ovat esimerkiksi:

$\Phi_{Pn}$	= 17 kW	maksimi hyötäteho (nimellisteho),
$\eta_{Pn}$	= 92 %	hyötysuhde nimellisteholla,
$\eta_{Pint}$	= 91 %	hyötysuhde 30%-osakuormalla,
$\Phi_{l,P0}$	= 277 W	kattilan tyhjäkäyntihäviö.

Laskenta noudattelee liitteessä 4 esitettyä menetelmää. Oletetaan edelleen, että kattilan termostaatti on asetettu ylläpitämään kattilaveden lämpötila 70 °C tasolla, jolloin liitteen 4 korjausyhtälöt (4), (6) ja (8) ovat tarpeettomia. Taulukossa 22 esitetään energiatarpeet, joita kattilan tulisi tuottaa järjestelmään kuukausittain.

*Taulukko 22. Lämmityksen, lämpimän käyttöveden valmistuksen ja jälkilämmityksen energiantarpeet kuukausittain.*

Kuukausi	Tuntimäärä kuukaudessa	Lämmityksen energiantarve (Taul3. s. 123)	Lämpimän käyttöveden lämmityksen kokonaisenergiantarve (Taul.4 s.113)	IV- jälkilämmityksen energiantarve (Taul10. s. 117)	Energian tarve yhteensä
	(h)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)
Tammi	744	1 498	475	106	2 079
Helmi	672	1 305	429	103	1 837
Maalis	744	1 126	475	87	1 688
Huhti	720	546	459	18	1 023
Touko	744	149	475	0	624
Kesä	720	59	459	0	518
Heinä	744	0	475	0	475
Elo	744	60	475	0	535
Syys	720	228	459	1	688
Loka	744	664	475	8	1 147
Marras	720	1 088	459	55	1 602
Joulu	744	1 347	475	83	1 905
Vuosi	8 760	8 070	5 592	460	14 121

## **17.2 Kattilan kuormitusaste ja lämpöhäviöt**

Kattilan kuormitusaste lasketaan liitteen 4 yhtälön (1) mukaan. Esimerkiksi tammikuuta (taulukko21) vastaava keskimääräinen kattilan kuormitusaste on:

$$FC_{avg} = \frac{\Phi_{Pd,in}}{\Phi_{Pn}} = \frac{(2079/744)}{17} = 0,164$$

jossa:

$\Phi_{Pd,in}$  on generointiyksiköstä eteenpäin (jakelujärjestelmään) siirretty jakson keskimääräinen teho, kW

$\Phi_{Pn}$  on kattilan nimellisteho, kW.

Toistamalla samaa kaavaa kaikille kuukausille todetaan, että kattilan kuormitusaste on aina alle 30%, jolloin häviöiden laskennassa toimitaan liitteen 4 yhtälöiden (5) ja (7) mukaan.

Kattilan lämpöhäviöt 30%:n osakuormalla lasketaan yhtälöstä (liite 4 yhtälö (5)):

$$\Phi_{l,Pint} = \frac{(100 - \eta_{Pint})}{\eta_{Pint}} \cdot \Phi_{Pint} \cdot 1000 = \frac{(100 - 91)}{91} \cdot 0,3 \cdot 17 \cdot 1000 = 504 \text{ W}$$

jossa

$\eta_{Pint}$  on kattilan hyötysuhde 30%:n osakuormalla, %

$\Phi_{Pint}$  on kattilan 30%:n osakuorman teho ( $\Phi_{Pint} = 0,3 \cdot \Phi_{Pn}$ ), (kW),

Kattilan häviöt matalalla kuormitusasteella lasketaan liitteen 4 yhtälön (7) mukaan. Esimerkiksi tammikuussa kattilan keskimääräinen lämpöhäviö ( $\Phi_{l,Px}$ ) on:

$$\Phi_{l,Px} = \frac{\Phi_{Px}}{\Phi_{Pint}} \cdot (\Phi_{l,Pint} - \Phi_{l,P0}) + \Phi_{l,P0} = \frac{2,79}{(0,3 \cdot 17)} \cdot (504 - 277) + 277 = 402 \text{ W}$$

jossa

$\Phi_{Px}$  on kattilan keskimääräinen teho käsittelyaikajaksossa, kW

$\Phi_{Pint}$  on kattilan 30%:n osakuorman teho, (kW)

$\Phi_{l,P0}$  on kattilan tyhjäkäyntihäviö, W

$\Phi_{l,Pint}$  on kattilan lämpöhäviö 30%:n osakuormalla, W.

Toistamalla samaa kaavaa saadaan keskimääräiset lämpöhäviöt kaikille vuoden kuukausille.

### **17.3 Kattilan häviöenergia ja hyötysuhde tarkastelujaksolla**

Kattilan häviöenergia tarkastelujakson aikana lasketaan liitteen 4 yhtälön (9) mukaan. Esimerkiksi tammikuussa:

$$Q_{l,g} = \frac{\Phi_{l,Px} \cdot \tau_{period}}{1000} = \frac{402 \cdot 744}{1000} = 299 \text{ kWh}$$

jossa

$\Phi_{l,Px}$  on kattilan keskimääräinen lämpöhäviö käsittelyaikajaksossa, W  
 $\tau_{period}$  on tarkastelujakson kesto, h.

Kattilan hyötysuhde tarkastelujakson aikana voidaan esittää seuraavassa muodossa (luvut tammikuulle):

$$HS = \frac{Q_{out,g}}{(Q_{out,g} + Q_{l,g})} = \frac{2079}{(2079 + 299)} = 0,87$$

jossa

$Q_{l,g}$  on käsittelyaikajakson häviöenergia, kWh

$Q_{out,g}$  on käsittelyaikajaksossa kattilasta jakelujärjestelmään toimitettu energia, kWh.

*Taulukko 23. Polttoaineen ominaisuudet, kevyt polttoöljy.*

Öljyn tiheys	Öljyn tehollinen (alempi) lämpöarvo			
	kg/L	kJ/kg	kWh/kg	kWh/L
0,840	42 780	11,88	9,98	

Polttoaineen kulutus tarkastelujakson aikana lasketaan seuraavasti (luvut tammikuulle):

$$Q_{öl} = \frac{Q_{out,g}}{HS \cdot h_{öl}} = \frac{2079}{0,87 \cdot 9,98} = 238 \text{ L}$$

jossa

$h_{öl}$  on polttoaineen tehollinen lämpöarvo (taulukko 23), kWh/l

Polttimen öljyteho lasketaan kaavasta:

$$\Phi_{öl} = \frac{\Phi_{Pn}}{\eta_{Pn} \cdot h_{öl}} = \frac{17}{0,92 \cdot 9,98} = 1,85 \text{ l/h}$$

Öljykattilan sähkönkulutus tarkastelujaksolla voidaan laskea seuraavasti (luvut tammikuulle):

$$Q_{öl,el} = \frac{Q_{öl}}{\Phi_{öl}} \cdot \varphi_{öl,el} = \frac{238}{1,85} \cdot 0,2 = 26 \text{ kWh}$$

jossa

$\varphi_{öl,el}$  on öljypolttimen sähkönottoteho, kW .

Tässä esimerkissä on öljypolttimen sähkötehoksi oletettu 0,2 kW. Laitekohtaisia arvoja löytyy poltinvalmistajan tuotedokumentaatiosta.

Toistamalla edellä esitetyt vaiheet kaikille kuukausille saadaan seuraava yhteenvetotaulukko.

*Taulukko 24. Kattilan hyötysuhde, öljynkulutus ja sähkönkulutus kuukausittain.*

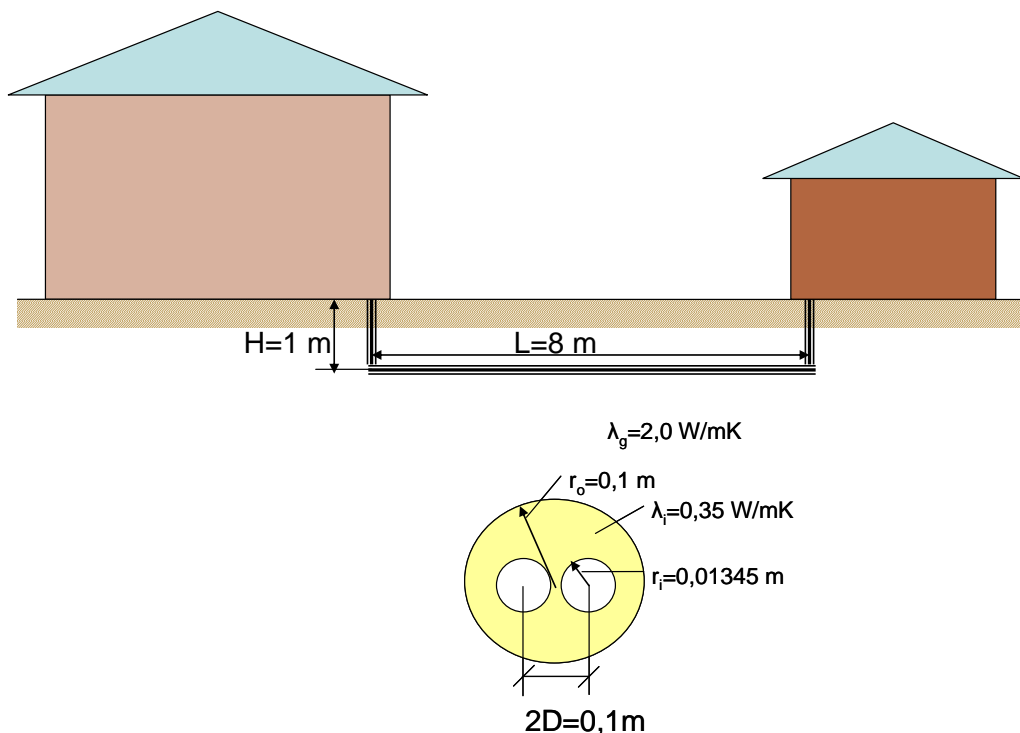
Kuukausi	Tuntimäärä	Energiantarve (Taul.1 s. 131)	Keskim. tehon tarve	Kattilan kuormi-tusaste	Keskim. lämpöhäviö	Kattilan häviö-energia	Hyötysuhde	Öljyn kulutus	Sähkön kulutus
	(h)	(kWh)	(kW)	(-)	(W)	(kWh)	(-)	(L)	(kWh)
Tammi	744	2 079	2,79	0,16	402	299	0,87	238	26
Helmi	672	1 837	2,73	0,16	399	268	0,87	211	23
Maalis	744	1 688	2,27	0,13	378	281	0,86	197	21
Huhti	720	1 023	1,42	0,08	340	245	0,81	127	14
Touko	744	624	0,84	0,05	315	234	0,73	86	9
Kesä	720	518	0,72	0,04	309	223	0,70	74	8
Heinä	744	475	0,64	0,04	306	227	0,68	70	8
Elo	744	535	0,72	0,04	309	230	0,70	77	8
Syys	720	688	0,96	0,06	320	230	0,75	92	10
Loka	744	1 147	1,54	0,09	346	257	0,82	141	15
Marras	720	1 602	2,23	0,13	376	271	0,86	188	20
Joulu	744	1 905	2,56	0,15	391	291	0,87	220	24
Vuosi	8 760	14 121	1,61	0,09	349	3057	0,82	1 721	186

# LIITE 7 Maahan asennettujen lämpöjohtojen lämpöhäviö

## 1 Lähtötiedot

Oletetaan seuraavassa, että lämmöntuottoyksikkö sijaitsee asuinrakennuksesta erillään sijaitsevassa huoltorakennuksessa ja laskenta suoritetaan seuraavin parametrein:

- Rakennus sijaitsee Helsingissä
- Huoltorakennuksen ja asuinrakennuksen etäisyys on 8 m
- Lämmönjakojärjestelmän mitoituslämpötilat ovat 70°C/40°C
- Lämmöntuottoyksikkö ja asuinrakennuksen lämmönjakoverkko on yhdistetty eristetyllä kaksiputkielementillä
  - Virtausputkina käytettyjen teräsputkien dimensiot ovat DN20, jota vastaava teräsputken säde  $r_s = 0,01345$  m
  - Virtausputkien keskipisteiden etäisyys virtausputkessa on  $2D=0,1$  m
  - Elementin ulkosäde  $r_o = 0,1$  m
  - Elementissä käytetyn lämmöneristeen lämmönjohtavuus on  $\lambda_i = 0,035$  W/mK
  - Elementin asennussyvyys maassa on  $H=1$  m
  - Maan lämmönjohtavuus  $\lambda_g = 2,0$  W/mK



Kuva 1. Esimerkin kaksiputkilämpöjohdon havainnekuva.

## 2 Lämmönjaon lämpötilat

Lämmönjakoverkoston lämpötilat lasketaan standardin SFS EN 15316-2-3:2007 mukaan. Verkoston lämpötiloihin vaikuttavat pattereiden mitoituslämpötilat sekä lämmöntarpeen osakuormitus. Verkoston lämpötilat on esitetty liitteen 6 taulukossa 8.

## 3 Maahan asennetun lämmönjakoputken lämpöhäviö

Lasketaan ensin kohdassa 1 annettujen lähtötietojen perusteella häviöiden laskennassa tarvittavat parametrit. Laskennassa tarvittavat kaavat on esitetty liitteessä 4 luvussa 3.1.

Apuparametri,  $\sigma$

$$\sigma = \frac{\lambda_i - \lambda_g}{\lambda_i + \lambda_g} = \frac{0,035 \frac{W}{mK} - 2,0 \frac{W}{mK}}{0,035 \frac{W}{mK} + 2,0 \frac{W}{mK}} = -0,966$$

Apuparametri,  $\chi$

$$\chi = \frac{2(1 - \sigma^2)}{1 - \sigma \left( \frac{r_o}{2H} \right)^2} = \frac{2 \cdot (1 - (-0,966)^2)}{1 + 0,966 \cdot \left( \frac{0,1m}{2 \cdot 1m} \right)^2} = 0,135$$

Lämmönsiirtokerroin ulkoilmaan,  $h_a$

$$\begin{aligned} \frac{1}{h_a} &= \frac{2\lambda_i}{\lambda_g} \ln\left(\frac{2H}{r_o}\right) + \ln\left(\frac{r_o^2}{2Dr_s}\right) + \sigma \ln\left(\frac{r_o^4}{r_o^4 - D^4}\right) - \frac{\left(\frac{r_s}{2D} - \frac{\sigma 2r_s D^3}{r_o^4 - D^4}\right)^2}{1 + \left(\frac{r_o}{2D}\right)^2 + \sigma \left(\frac{2r_s r_o^2 D}{r_o^4 - D^4}\right)^2} \\ &= \frac{2 \cdot 0,035 \frac{W}{mK}}{2,0 \frac{W}{mK}} \ln\left(\frac{2 \cdot 1m}{0,1m}\right) + \ln\left(\frac{(0,1m)^2}{0,1m \cdot 0,01345m}\right) - 0,966 \cdot \ln\left(\frac{(0,1m)^4}{(0,1m)^4 - (0,05m)^4}\right) \\ &\quad - \frac{\left(\frac{0,01345m}{0,1m} - \frac{-0,966 \cdot 2 \cdot 0,01345m \cdot (0,05m)^3}{(0,1m)^4 - (0,05m)^4}\right)^2}{1 + \left(\frac{0,1m}{0,1m}\right)^2 - 0,966 \cdot \left(\frac{2 \cdot 0,01345m \cdot (0,1m)^2 \cdot 0,05m}{(0,1m)^4 - (0,05m)^4}\right)} \\ &= 2,040 \end{aligned}$$

Putkien välinen lämmönsiirtokerroin,  $h_b$

$$\begin{aligned} \frac{1}{h_b} &= \ln\left(\frac{2D}{r_s}\right) + \sigma \ln\left(\frac{r_o^2 + D^2}{r_o^2 - D^2}\right) - \frac{\left(\frac{r_s}{2D} - \chi \frac{Dr_s}{4H^2} + \frac{2\sigma r_s r_o^2 D}{r_o^4 - D^4}\right)^2}{1 - \left(\frac{r_s}{2D}\right)^2 - \frac{\chi r_s}{2H} + 2\sigma r_s^2 r_o^2 \frac{r_o^4 + D^4}{(r_o^4 - D^4)^2}} - \chi \left(\frac{D}{2H}\right)^2 \\ &= \ln\left(\frac{0,1m}{0,01345m}\right) - 0,966 \cdot \ln\left(\frac{(0,1m)^2 + (0,05m)^2}{(0,1m)^2 - (0,05m)^2}\right) \\ &\quad - \frac{\left(\frac{0,01345m}{0,1m} - 0,135 \cdot \frac{0,05m \cdot 0,01345m}{4 \cdot (1m)^2} + \frac{2 \cdot (-0,966) \cdot 0,01345m \cdot (0,1m)^2 \cdot 0,05m}{(0,1m)^4 - (0,05m)^4}\right)^2}{1 - \left(\frac{0,01345m}{0,1m}\right)^2 - \frac{0,135 \cdot 0,01345m}{2 \cdot 1m} + 2 \cdot (-0,966) \cdot (0,01345m)^2 \cdot (0,1m)^2 \cdot \frac{(0,1m)^4 + (0,05m)^4}{((0,1m)^4 - (0,05m)^4)^2}} \\ &\quad - 0,135 \cdot \left(\frac{0,05m}{2 \cdot 1m}\right)^2 \\ &= 1,513 \end{aligned}$$

Lasketaan seuraavassa lämpövirrat ja lämpöhäviö tammikuussa. Tammikuun ulkolämpötila on esitetty liitteessä 6 kohdassa 12.1.

Lämpöhäviö ulkoilmaan,  $\Phi'_a$

$$\begin{aligned} \Phi'_a &= \left(\frac{T_s + T_r}{2} - T_a\right) 2\pi\lambda_i h_a \\ &= \left(\frac{44,58^\circ\text{C} + 30,14^\circ\text{C}}{2} - (-3,95^\circ\text{C})\right) \cdot 2 \cdot \pi \cdot 0,035 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \cdot \left(\frac{1}{2,040}\right) \\ &= 4,45 \frac{\text{W}}{\text{m}} \end{aligned}$$

Lämpövirta putkien välillä,  $\Phi'_b$



$$\begin{aligned}\Phi'_b &= \left( \frac{T_s - T_r}{2} \right) 2\pi\lambda_i h_b \\ &= \left( \frac{44,58^\circ\text{C} - 30,14^\circ\text{C}}{2} \right) \cdot 2 \cdot \pi \cdot 0,035 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \left( \frac{1}{1,513} \right) \\ &= 5,43 \frac{\text{W}}{\text{m}}\end{aligned}$$

Menoputken lämpöhäviö,  $\Phi'_s$

$$\begin{aligned}\Phi'_s &= \Phi'_a + \Phi'_b \\ &= 4,45 \frac{\text{W}}{\text{m}} + 5,43 \frac{\text{W}}{\text{m}} \\ &= 9,89 \frac{\text{W}}{\text{m}}\end{aligned}$$

Paluuputken lämpöhäviö,  $\Phi'_r$

$$\begin{aligned}\Phi'_r &= \Phi'_a - \Phi'_b \\ &= 4,45 \frac{\text{W}}{\text{m}} - 5,43 \frac{\text{W}}{\text{m}} \\ &= -0,98 \frac{\text{W}}{\text{m}}\end{aligned}$$

Kokonaislämpöhäviö,  $\Phi'_t$

$$\begin{aligned}\Phi'_t &= \Phi'_s + \Phi'_r \\ &= 9,89 \frac{\text{W}}{\text{m}} + (-0,98 \frac{\text{W}}{\text{m}}) \\ &= 8,91 \frac{\text{W}}{\text{m}}\end{aligned}$$

Lämpöhäviöenergia,  $Q_{\text{häviö,jako}}$

$$Q_{\text{häviö, jako}} = \Phi'_t \Delta t / 1000$$

$$= 8,91 \frac{W}{m} \cdot 31 \cdot 24h / 1000$$

$$= 6,63 \frac{kWh}{m}$$

Taulukko 2. Kaksiputkilämpöjohtoelementin lämpöhäviö kuukausittain esimerkipientalolle. Laskennan lähtötiedot on esitetty luvussa 1 ja verkoston lämpötilat luvussa 2.

Kuukausi	$\Phi'_a$ kaava W/m	$\Phi'_b$ kaava W/m	$\Phi'_s$ kaava W/m	$\Phi'_r$ kaava W/m	$\Phi'_t$ kaava W/m	Lämpöhäviö kWh/m
Tammi	4,45	5,43	9,89	-0,98	8,91	6,63
Helmi	4,44	5,33	9,78	-0,89	8,88	5,97
Maalis	3,96	4,96	8,92	-1,00	7,92	5,89
Huhti	2,69	4,28	6,97	-1,59	5,39	3,88
Touko	1,61	3,73	5,34	-2,12	3,22	2,39
Kesä	0,99	3,40	4,39	-2,41	1,98	1,43
Heinä	0,51	3,21	3,72	-2,69	1,03	0,76
Elo	0,70	3,28	3,97	-2,58	1,39	1,04
Syys	1,66	3,76	5,42	-2,11	3,31	2,39
Loka	2,58	4,38	6,96	-1,80	5,16	3,84
Marras	3,64	4,98	8,62	-1,34	7,28	5,24
Joulu	4,14	5,26	9,39	-1,12	8,27	6,16
Vuosi						45,6

## 4 Maahan asennetun lämpimän käyttöveden kiertojohtoon lämpöhäviö

Seuraavassa lasketaan vastaavan kaksiputkielementin lämpöhäviöt lämpimän käyttöveden kiertojohtolle. Kaksiputkielementti on ominaisuuksiltaan sama kuin kappaleessa 3 esitetty kaksiputkielementti. Lämpimän käyttöveden kiertojohtoon pituus asuinrakennuksen ja huoltorakennuksen välillä on 8 metriä. Kiertojohtoon menoveden lämpötila on 58 °C ja paluulämpötila 53 °C. Kiertojohtoon vuoksi tarvitaan myös kiertovesipumppu, joka esimerkissä on teholtaan 40 W.

Lasketaan seuraavassa kaksiputkielementin lämpövirrat ja lämpöhäviö tammikuussa. Tammikuun ulkolämpötila on esitetty liitteessä 6 kohdassa 9.1.

Lämpöhäviö ulkoilmaan,  $\Phi'_a$

$$\begin{aligned}\Phi'_a &= \left( \frac{T_s + T_r}{2} - T_a \right) 2\pi\lambda_i h_a \\ &= \left( \frac{58^\circ\text{C} + 53^\circ\text{C}}{2} - (-3,97^\circ\text{C}) \right) \cdot 2 \cdot \pi \cdot 0,035 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \cdot \left( \frac{1}{2,040} \right) \\ &= 6,41 \frac{\text{W}}{\text{m}}\end{aligned}$$

Lämpövirta putkien välillä,  $\Phi'_b$

$$\begin{aligned}\Phi'_b &= \left( \frac{T_s - T_r}{2} \right) 2\pi\lambda_i h_b \\ &= \left( \frac{58^\circ\text{C} - 53^\circ\text{C}}{2} \right) \cdot 2 \cdot \pi \cdot 0,035 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \left( \frac{1}{1,513} \right) \\ &= 8,07 \frac{\text{W}}{\text{m}}\end{aligned}$$

Menoputken lämpöhäviö,  $\Phi'_s$

$$\begin{aligned}\Phi'_s &= \Phi'_a + \Phi'_b \\ &= 6,41 \frac{\text{W}}{\text{m}} + 8,07 \frac{\text{W}}{\text{m}} \\ &= 14,48 \frac{\text{W}}{\text{m}}\end{aligned}$$

Paluuputken lämpöhäviö,  $\Phi'_r$

$$\begin{aligned}\Phi'_r &= \Phi'_a - \Phi'_b \\ &= 6,41 \frac{\text{W}}{\text{m}} - 8,07 \frac{\text{W}}{\text{m}} \\ &= -1,66 \frac{\text{W}}{\text{m}}\end{aligned}$$

Kokonaislämpöhäviö,  $\Phi'_t$

$$\Phi'_t = \Phi'_s + \Phi'_r$$

$$= 14,48 \frac{W}{m} + (-1,66 \frac{W}{m})$$

$$= 12,82 \frac{W}{m}$$

Lämpöhäviöenergia,  $Q_{\text{häviö, lkv, jako}}$

$$Q_{\text{häviö, jako}} = \Phi'_t \Delta t / 1000$$

$$= 12,82 \frac{W}{m} \cdot 31 \cdot 24h / 1000$$

$$= 9,54 \frac{kWh}{m}$$

Taulukko 3. Lämpimän käyttöveden kaksiputkielementin lämpöhäviö kuukausittain esimerkkiपालललल. Laskennan lähtötiedot on esitetty luvussa 1 ja verkoston menolämpötilana on käytetty 58 °C ja paluulämpötilana 53 °C.

Kuukausi	$\Phi'_a$ kaava W/m	$\Phi'_b$ kaava W/m	$\Phi'_s$ kaava W/m	$\Phi'_r$ kaava W/m	$\Phi'_t$ kaava W/m	Lämpöhäviö kWh/m
Tammi	6,41	8,07	14,48	-1,66	12,82	9,54
Helmi	6,47	8,07	14,53	-1,60	12,94	8,69
Maalis	6,26	8,07	14,33	-1,81	12,52	9,32
Huhti	5,50	8,07	13,56	-2,57	11,00	7,92
Touko	4,82	8,07	12,89	-3,24	9,65	7,18
Kesä	4,45	8,07	12,52	-3,62	8,90	6,41
Heinä	4,12	8,07	12,18	-3,95	8,24	6,13
Elo	4,25	8,07	12,32	-3,81	8,51	6,33
Syys	4,85	8,07	12,91	-3,22	9,70	6,98
Loka	5,31	8,07	13,38	-2,75	10,63	7,91
Marras	5,93	8,07	14,00	-2,14	11,86	8,54
Joulu	6,22	8,07	14,29	-1,85	12,44	9,25
Vuosi						94,18

Kiertojohdo päättyy jakotukkiin, joka sijaitsee maahan sijoitetun kiertojohton päätelsteessä. Tällöin laskettaessa lämpimän käyttöveden lämmityksen kokonaislämpöhäviöitä, käsitellään asuinrakennusta vastaavasti kuin liitteen 6 esimerkissä. Kun lasketut kaksiputkielementin lämpöhäviöenergiat ja kiertoelipumpun käyttämä energia lasketaan yhteen liitteen 6

laskentaesimerkin lämpöhäviöiden kanssa, saadaan esimerkitapauksen lämpimän käyttöveden lämmityksen kokonaislämpöhäviöt. Lämpöhäviöiden jakautuminen kuukausittain esitetään taulukossa 4.

Esimerkitapauksen teholtaan 40 W:n kiertovesipumpun käyttämä energia, kWh/a:

$$W_{lkv,pumppu} = P_{lkv,pumppu} \cdot t_{lkv,pumppu} \cdot \frac{365}{1000} = 40 \text{ W} \cdot 24 \text{ h} \cdot \frac{365}{1000} = 350 \text{ kWh/a}$$

Taulukko 4. Lämpimän käyttöveden lämmityksen lämpöhäviöt kuukausittain.

Kuukausi	Lämpimän käyttöveden lämmityksen nettoenergiantarve, kWh	Jakoputkiston lämpöhäviöt, kWh	Kaksiputki-elementin lämpöhäviöt, kWh	Kiertovesipumpun käyttämä energia, kWh	Lämpimän käyttöveden lämmityksen kokonaisenergiantarve, kWh
Tammi	437	38	76	30	581
Helmi	395	34	70	27	525
Maalis	437	38	75	30	579
Huhti	423	37	63	29	552
Touko	437	38	57	30	562
Kesä	423	37	51	29	540
Heinä	437	38	49	30	554
Elo	437	38	51	30	555
Syys	423	37	56	29	544
Loka	437	38	63	30	568
Marras	423	37	68	29	557
Joulu	437	38	74	30	579
Vuosi	5145	447	753	350	6696