

**Lämpöpumppujen
energialaskentaopas**

3.10.2012

ESIPUHE

Lisätään myöhemmin...(oppaan laatimiseen ovat osallistuneet tutkija Lari Eskola, erikoistutkija Juha Jokisalo sekä professori Kai Sirén Aalto-yliopistosta.)

Sisältö

1	JOHDANTO.....	5
2	YKSINKERTAINEN LASKENTAMENETELMÄ.....	6
2.1.	Laskentaperiaate ja rajaukset.....	6
2.2.	Lämpöpumpun tuottama lämmitysenergia.....	6
2.3.	Lämpöpumpun ostoenergiankulutus.....	10
3	YKSITYISKOHTAINEN LASKENTAMENETELMÄ.....	14
3.1.	Laskentaperiaatteet ja rajaukset.....	14
3.1.1	Pysyvyyskäyrämenetelmä.....	14
3.1.2	Laskentamenetelmän rajaukset.....	15
3.2.	Laskentajärjestys.....	15
3.2.1	Laskennan kuvaus.....	15
3.2.2	Laskentajärjestys.....	16
3.3.	Laskennan lähtötiedot.....	17
3.3.1	Lämmitys.....	17
3.3.1.1	Tilojen lämmitys.....	17
3.3.1.2	Lämmin käyttövesi.....	17
3.3.2	Lämpöpumput.....	17
3.4.	Laskentatulokset.....	18
3.5.	Laskenta.....	18
3.5.1	Tehomitoituspisteen lämpötila.....	18
3.5.2	Lämpökertoimen korjaus.....	19
3.5.2.1	Lämpökertoimen korjaus lämmönsiirtoaineen lämpötilaeron suhteen.....	19
3.5.2.2	Useampi tunnettu toiminnan lämpötilataso.....	20
3.5.2.3	Yksi tunnettu toiminnan lämpötilataso.....	20
3.5.3	Toimintapisteen lämpötila.....	21
3.5.4	Painokertoimet lämpötilaväleille.....	21
3.5.4.1	Tilojen lämmityksen painokerroin.....	22
3.5.4.2	Aika lämpötilavälillä.....	23
3.5.4.3	Lämpimän käyttöveden painokerroin.....	23
3.5.4.4	Osateho.....	23
3.5.5	Lisälämmitys.....	24
3.5.5.1	Lämpöpumpun toimintarajasta johtuva lisälämmitys.....	24
3.5.5.2	Lisälämmitys tehomitoituspisteen alapuolella ulkolämpötilasta riippumatta.....	25
3.5.5.3	Lisälämmitys tehomitoituspisteen alapuolella ulkolämpötilasta riippuen.....	26
3.5.5.4	Lämpöpumpun minimi käyntilämpötila rajoittaa lämpöpumpun toimintaa.....	27
3.5.5.5	Käyntiaika.....	29
3.5.5.6	Täydentävä lisälämmitys.....	29
3.5.5.7	Lisälämmityksen energiankulutuksen jakautuminen tilojen ja LKV:n kesken.....	30
3.5.6	Lämpöpumpun sähköenergiankulutus.....	30
3.5.7	Apulaitteiden sähkönkulutus.....	31
3.5.8	Lämpöpumpun tuottama lämpöenergia.....	31
3.5.9	SPF-luku.....	32
	LÄHTEET.....	33
	LIITE 1.....	34
	LIITE 2.....	51
	LIITE 3.....	54

Määritelmiä

Käyntiaika	Aika, jonka lämpöpumppu tuottaa lämpöenergiaa tietyllä ulkolämpötilan pysyvyyskäyrän lämpötilavälillä.
Lisälämmitys	Lämpöpumpun tuottaman lämpöenergian ja rakennuksen lämmitysenergian välinen erotus, jos lämpöpumppu ei pysty tuottamaan tarvittavaa lämpötehoa. Lisälämmitystarve aiheutuu joko lämpöpumpun toimintaan liittyvistä lämpötilarajoituksista (vrt. toimintarajalämpötila ja ylärajalämpötila) tai lämpöpumpun osatehomitoituksesta, jolloin lämpöpumppu ei tuota rakennuksen lämmitystehontarvetta mitoitustilanteessa.
Lämpötilaväli	Valittu laskentaväli ulkolämpötilan pysyvyyskäyrällä.
Lämmityskauden rajalämpötila	Ulkolämpötila, jota matalammilla lämpötilan arvoilla rakennuksen tiloissa on lämmitystarvetta.
Osateho	Inverteri-säätöinen lämpöpumppu voi toimia osateholla lämmöntarpeen ollessa pienempi kuin lämpöpumpun tuottama suurin mahdollinen lämmöntuotto toimintalämpötilassa.
Painokerroin	Kerroin, jonka avulla koko laskentajakson tilojen ja käyttöveden lämmitysenergia jaetaan pysyvyyskäyrän lämpötilavälien kesken.
Pysyvyyskäyrä	Ulkolämpötilan pysyvyys ajan suhteen graafisesti esitettyinä.
SPF-luku	Lämpöpumpun vuoden keskimääräinen lämpökerroin, joka on lämpöpumpulla tuotetun vuotuisen energian suhde lämpöpumpun sekä apulaitteiden vuotuisen sähkönkulutukseen.
Tehomitoituspisteen lämpötila	Matalin ulkolämpötila, johon asti lämpöpumpulla pystytään tuottamaan rakennuksen lämmitystehontarve ilman lisälämmitystä.
Toiminta-aika	Pysyvyyskäyrän lämpötilavälin ylärajan ja alarajan erotus.
Toimintalämpötila	Pysyvyyskäyrän lämpötilavälille valittu toimintalämpötila, joka edustaa koko välin lämpötilaa. Lämpötilavälillä toimintalämpötila oletetaan vakioksi, vaikka todellisuudessa toimintalämpötila muuttuu astetuntien muuttuessa.
Toimintarajalämpötila	Ulkolämpötila, jonka alapuolella lämpöpumppu ei pysty tuottamaan lämmitystehoa
Täydentävä lisälämmitys	Täydentävää lisälämmitys on yksityiskohtaisessa laskentamenetelmässä (luku 3) käytössä oleva laskentaparametri, jolla varmistetaan, että lisälämmitysenergia riittää kattamaan kaiken lisälämmitystarpeen. Täydentävä lisälämmitysenergia on osa lisälämmitysenergiaa (vrt. lisälämmitys), joka tuotetaan samalla lisälämmitysjärjestelmällä kuin muukin lisälämmitys.
Ylärajalämpötila	Lämpöpumpun tuottama korkein mahdollinen (esim. lämmönjakoverkoston tai käyttöveden) lämpötila ilman lisälämmitystä.

1 JOHDANTO

EU:n tavoitteena on lisätä uusiutuvan energian osuus 20 prosenttiin energian loppukulutuksesta vuoteen 2020 mennessä Suomelle asetetun tavoitteen ollessa 38%. Lämpöpumput hyödyntävät lämpöpumpputyypistä riippuen ulkoilmaan tai maaperään sitoutunutta uusiutuvaa energiaa tai ilmanvaihdon poistoilman jätelämpöä. Ulkoilma- ja maalämpöpumppujen käyttö näin ollen edesauttaa Suomea tämän tavoitteen saavuttamisessa.

Lämpöpumpuista saatavan hyödyn arvioimiseksi tarvitaan laskentamenetelmä, jolla pystytään laskemaan lämpöpumpun tuottama energia Suomen ilmastossa. Lämpöpumppujen suorituskykyyn vaikuttaa useat tekijät ja Suomen kylmät ilmasto-olot vaikuttavat erityisesti ulkoilmalämpöpumppujen toimintaan.

Tämä opas käsittelee rakentamismääräyskokoelman ohjeen (D5 2012) lämpöpumppujärjestelmien energialaskentaa. Oppaassa esitellään laskentaohjeen (D5) lämpöpumppujen yksinkertainen energialaskentamenetelmä sekä yksityiskohtainen laskentamenetelmä, joilla voidaan laskea lämmityskäytössä olevan lämpöpumpun ostoenergiankulutus, lämpöpumpun tuottama lämmitysenergia sekä tarvittava lisälämmitysenergia. Menetelmät on tarkoitettu lämpöpumppujen energialaskentaan, eikä niillä voida tehdä lämpöpumppujen tehomitoitusta.

Yksinkertaista laskentamenetelmää voidaan käyttää valmiiksi laskettujen taulukoitujen SPF-lukujen avulla, jotka kuvaavat suomalaisessa pientaloissa tyypillisesti käytettävien lämpöpumppujen suorituskykyä. Lämpöpumpun ostoenergiankulutus ja suorituskyky ovat aika kuitenkin tapauskohtaisia riippuen merkittävästi käytössä olevasta lämpöpumppumallista, lämpöpumpun mitoituksesta, lämpöpumpun käytöstä sekä käyttökohteesta. Tässä oppaassa esitettävällä yksityiskohtaisella menetelmällä voidaan ottaa tarkemmin huomioon lämpöpumpun suorituskykyyn vaikuttavia tekijöitä, joten yksityiskohtaisen laskentamenetelmän käyttö on suositeltavaa erityisesti lämpöpumpun hankintaa ja valintaa tehtäessä.

Oppaan laskentamenetelmiä voidaan soveltaa ulkoilmalämpöpumppujen (ilma-ilma ja ilma-vesi), maalämpöpumpun sekä poistoilmalämpöpumpun energialaskentaan. Oppaan liitteissä on esitetty lisäksi yksityiskohtainen laskentaesimerkki sekä annettu maalämpöpumppujen lämmönkeruupiirin mitoitukseen liittyvää ohjeistusta. Suomen säävyöhykkeiden I-IV säätiedot (D3 2012), joita voidaan käyttää yksityiskohtaisen laskentamenetelmän kanssa, on esitetty myös liitteissä.

2 YKSINKERTAINEN LASKENTAMENETELMÄ

2.1. Laskentaperiaate ja rajaukset

Lämpöpumppujen yksinkertaista laskentamenetelmää voidaan käyttää lämpöpumppujen energialaskentaan, mutta menetelmällä ei voida tehdä lämpöpumppujen tehomitoitusta. Yksinkertaisella laskentamenetelmällä voidaan laskea lämmityskäytössä olevan lämpöpumpun sähköenergian kulutus, lämpöpumpun tuottama tilojen ja käyttöveden lämmitysenergia sekä tilojen ja käyttöveden lämmitykseen tarvittava lisälämmitysenergia. Yksinkertaista laskentamenetelmää voidaan käyttää myös tapauksissa, joissa lämpöpumppua käytetään tilojen lämmityksen lisäksi myös ilmanvaihdon lämmitykseen. Tällöin ilmanvaihdon lämmitysenergian tarve lisätään tilojen lämmitysenergiatarpeeseen ja ilmanvaihto lasketaan osana tilojen lämmitystä.

Lämpöpumpun sähköenergian kulutus koostuu lämmitysenergian tuoton energiankulutuksesta sekä lämpöpumpun apulaitteiden sähkönkulutuksesta. Lämpöpumpun sähköenergiankulutus lasketaan lämpöpumpun tuottaman tilojen tai käyttöveden lämmitysenergian sekä lämpöpumpun kausisuorituskyykertoimen (SPF-luku) avulla, joka määritellään tarkemmin luvussa 2.3. Luvun 2.3 taulukoissa esitetyt SPF-luvut ovat vuoden keskimääräisiä lämpökertoimia, joita voidaan käyttää vain silloin, kun energiankulutus lasketaan koko vuoden lämmöntarpeesta.

Luvussa 2.2 esitettävässä lämpöpumppujen lisälämmitysenergian laskentamenetelmässä (taulukot 1-4) sekä luvussa 2.3 esitettävien lämpöpumpun SPF-lukujen esimerkkiarvojen (taulukot 5-7) laskennassa on oletettu, että ulkoilmalämpöpumppujen alin toimintalämpötila on -20°C . Samoin on oletettu, että tiloja ja käyttövettä lämmittävät ulkoilma- ja maalämpölämpöpumput lämmittävät vuorotellen joko käyttövettä tai tiloja siten, että käyttövettä lämmitetään ensisijaisesti. Poistoilmalämpöpumpun oletetaan lämmittävän tiloja sekä käyttövettä samanaikaisesti. Mikäli nämä oletukset eivät päde laskettavassa tapauksessa, on tapaus laskettava tarkemmin muilla menetelmillä, kuten esimerkiksi luvussa 3 esitettävällä laskentamenetelmällä.

2.2. Lämpöpumpun tuottama lämmitysenergia

Lämpöpumpun tuottaman tilojen ja käyttöveden lämmitysenergian sekä tarvittavan lisälämmitysenergian osuus voidaan arvioida esimerkiksi taulukoiden 1-4 avulla tai laskea tarkemmin luvussa 2 esitetyllä menetelmällä tai muulla vaihtoehtoisella menetelmällä.

Ulkoilma- ja maalämpöpumppujen tuottama lämmitysenergian osuus voidaan arvioida taulukoiden 1-3 avulla, jos lämpöpumpun nimellistehon ϕ_{lpn} suhde rakennuksen tilojen lämmityksen mitoitustehoon $\phi_{lämmax}$ tunnetaan. Näiden suureiden suhdetta ($\phi_{lpn}/\phi_{lämmax}$) kutsutaan tässä oppaassa suhteelliseksi lämpötehoksi. Taulukoissa 1-3 käytettävä lämpöpumppujen nimellisteho ϕ_{lpn} ilmoitetaan standardin SFS-EN 14511-2 mukaisissa testausolosuhteissa ulkoilmalämpöpumppujen osalta ulkoilman lämpötilalla $+7^{\circ}\text{C}$ ja sisäilman lämpötilalla 20°C tai maalämpöpumppujen osalta keruupiirin paluunesteen lämpötilalla 0°C ja lämmönjakoverkoston menoveden lämpötilalla 35°C . Taulukoiden 1-3 avulla voidaan lisäksi arvioida lämmönjakoverkoston lämpötilatason, tilojen- ja käyttöveden lämmitysenergian suhteen sekä Suomen säävyöhykkeiden vaikutus lisälämmitysenergian tarpeeseen.

Poistoilmalämpöpumpun tuottama tilojen ja käyttöveden lämmitysenergian osuus voidaan arvioida taulukon 4 avulla, jos tilojen lämmitysenergian kulutus $Q_{lämmitys,tilat}$ tunnetaan. Taulukon 4 avulla voidaan lisäksi arvioida poistoilmalämpöpumpun jäteilman lämpötilan sekä SPF-luvun vaikutus lämpöpumpulla tuotettavan lämmitysenergian osuuteen.

Kaikkien edellä mainittujen lämpöpumpputyyppeiden lisälämmitykseen tarvittava energiankulutus voidaan arvioida taulukoiden 1-4 avulla määritettävän lämpöpumpun tuottaman lämpöenergian osuuden avulla. Lämpöpumpun tuottama lämpöenergian osuus on lämpöpumpun tuottaman

lämmitysenergian Q_{lp} ja rakennuksen tilojen ja käyttöveden lämmitysenergian yhteenlasketun tarpeen $Q_{lämmitys,tilat,LKV}$ suhde, kun lämpöpumppu lämmittää sekä tiloja että käyttövettä. Suureiden suhdetta ($Q_{lp} / Q_{lämmitys,tilat,LKV}$) kutsutaan tässä oppaassa suhteelliseksi lämpöenergiaksi. Vastaavasti ulkoilmalämpöpumpun (ilma-ilma) tapauksessa lämpöpumpun tuottama lämpöenergian osuus on tilojen lämmitysenergian Q_{lp} ja rakennuksen tilojen lämmitysenergiatarpeen $Q_{lämmitys,tilat}$ suhde ja suhteellinen lämpöenergia on tällöin ($Q_{lp} / Q_{lämmitys,tilat}$).

Taulukko 1. Maalämpöpumpun suhteellinen lämpöenergia ($Q_{lp}/Q_{lämmitys,tilat,LKV}$) taulukoituna suhteellisen lämpötehon (Φ_{lpn}/Φ_{tila}) suhteen, tilojen- ja käyttöveden lämmitysenergioiden suhteen ($Q_{lämmitys,tilat}/Q_{lämmitys,LKV}$) ja tilojen lämmityksen menoveden max. lämpötilan (T_m) funktiona eri säävyöhykkeillä. Lämpöpumpun nimellisteho Φ_{lpn} annetaan toimintapisteessä T_{liuos} / T_{meno} (0/35 °C).

Φ_{lpn}/Φ_{tila}	$Q_{lämmitys,tilat}/Q_{lämmitys,LKV}$	Säävyöhyke: I-II				Säävyöhyke: III				Säävyöhyke: IV			
		$T_m, \text{°C}$				$T_m, \text{°C}$				$T_m, \text{°C}$			
		30	40	50	60	30	40	50	60	30	40	50	60
0,3	0,5	0,39	0,39	0,39	0,39	0,38	0,38	0,38	0,38	0,36	0,36	0,36	0,36
	1	0,47	0,47	0,47	0,47	0,46	0,46	0,46	0,46	0,44	0,44	0,44	0,44
	2	0,62	0,60	0,58	0,56	0,60	0,58	0,56	0,54	0,44	0,54	0,52	0,51
	4	0,68	0,65	0,62	0,59	0,67	0,63	0,60	0,58	0,63	0,59	0,56	0,54
0,4	0,5	0,52	0,52	0,52	0,52	0,51	0,51	0,51	0,51	0,48	0,48	0,48	0,48
	1	0,67	0,66	0,65	0,64	0,65	0,64	0,63	0,62	0,61	0,60	0,59	0,59
	2	0,78	0,75	0,72	0,70	0,76	0,73	0,70	0,68	0,59	0,69	0,67	0,64
	4	0,84	0,79	0,76	0,73	0,82	0,77	0,73	0,70	0,78	0,73	0,69	0,66
0,5	0,5	0,65	0,65	0,65	0,65	0,63	0,63	0,63	0,63	0,61	0,61	0,61	0,61
	1	0,82	0,80	0,78	0,76	0,80	0,78	0,76	0,74	0,77	0,74	0,73	0,71
	2	0,90	0,87	0,84	0,81	0,89	0,85	0,82	0,79	0,71	0,81	0,78	0,75
	4	0,92	0,89	0,86	0,83	0,91	0,88	0,84	0,81	0,89	0,84	0,80	0,76
0,6	0,5	0,81	0,80	0,79	0,78	0,79	0,78	0,77	0,76	0,75	0,74	0,74	0,73
	1	0,92	0,90	0,88	0,86	0,91	0,88	0,86	0,84	0,88	0,85	0,82	0,80
	2	0,95	0,93	0,91	0,89	0,95	0,92	0,90	0,87	0,80	0,90	0,86	0,83
	4	0,96	0,94	0,92	0,90	0,96	0,93	0,91	0,88	0,95	0,91	0,88	0,85
0,7	0,5	0,92	0,90	0,88	0,87	0,90	0,88	0,87	0,86	0,87	0,85	0,84	0,83
	1	0,97	0,95	0,94	0,92	0,96	0,95	0,93	0,91	0,95	0,92	0,90	0,88
	2	0,98	0,96	0,95	0,93	0,98	0,96	0,94	0,92	0,88	0,95	0,92	0,90
	4	0,98	0,97	0,95	0,94	0,98	0,96	0,95	0,93	0,98	0,95	0,93	0,90
0,8	0,5	0,97	0,96	0,95	0,94	0,97	0,95	0,94	0,93	0,95	0,93	0,91	0,90
	1	0,99	0,98	0,97	0,96	0,99	0,97	0,96	0,95	0,98	0,96	0,95	0,93
	2	0,99	0,98	0,97	0,96	0,99	0,98	0,97	0,95	0,99	0,97	0,95	0,95
	4	0,99	0,98	0,97	0,96	0,99	0,98	0,97	0,95	0,99	0,98	0,96	0,94
0,9	0,5	0,99	0,98	0,98	0,97	0,99	0,98	0,97	0,96	0,99	0,97	0,96	0,95
	1	1,00	0,99	0,98	0,97	1,00	0,99	0,98	0,97	0,99	0,98	0,97	0,96
	2	1,00	0,99	0,98	0,98	1,00	0,99	0,98	0,97	1,00	0,99	0,97	0,96
	4	1,00	0,99	0,98	0,97	1,00	0,99	0,98	0,97	1,00	0,99	0,97	0,96
1,0	0,5	1,00	0,99	0,99	0,98	1,00	0,99	0,99	0,98	1,00	0,99	0,98	0,97
	1	1,00	1,00	0,99	0,99	1,00	1,00	0,99	0,98	1,00	0,99	0,99	0,98
	2	1,00	1,00	0,99	0,99	1,00	1,00	0,99	0,98	1,00	0,99	0,99	0,98
	4	1,00	1,00	0,99	0,99	1,00	1,00	0,99	0,98	1,00	1,00	0,99	0,98

Taulukossa 1 maalämpöpumpun suhteellisen lämpötehon (ϕ_{ipn}/ϕ_{tila}) arvo 1,0 vastaa lämpöpumpun tehomitoitusta keruupiirin paluunesteen lämpötilalla 0°C menoveden lämpötilan ollessa 35°C. Mikäli keruupiiri on mitoitettu siten, että keruupiirin paluunesteen lämpötila on vähintään 0°C lämmitysjärjestelmän mitoitavassa ulkolämpötilassa (D3 2012), on lämpöpumppu tällöin mitoitettu täystehon mukaan. Maalämpöpumppujen mitoituksessa käytetään täystehomitoituksen lisäksi usein myös osatehomitoitusta, jolloin lämpöpumppu mitoitetaan vastaamaan tyypillisesti 50-70% rakennuksen lämmitystehon enimmäistarpeesta. Tällöin lämpöpumppu voi tuottaa tapauksesta riippuen 60-98% vuotuisesta lämmitysenergian tarpeesta.

Taulukossa 2 ulkoilmalämpöpumpun (ilma-vesi) suhteellisen lämpötehon (ϕ_{ipn}/ϕ_{tila}) arvo 1,0 vastaa lämpöpumpun tehomitoitusta noin -5°C ulkolämpötilassa sa menoveden lämpötilan ollessa 35°C. Tarkka mitoituspisteen ulkolämpötila riippuu lämpöpumpun lämmöntuottokyvystä alle +7°C ulkolämpötiloilla ja se voidaan tarvittaessa määrittää laitekohtaisesti.

Ulkoilmalämpöpumppujen (ilma-vesi ja ilma-ilma) tehomitoitus vastaa osatehomitoitusta, koska niiden toimintarajalämpötila (tyypillisesti noin -20°C) on korkeampi kuin lämmitysjärjestelmän mitoitettava ulkolämpötila Suomen ilmastovyöhykkeillä (D3 2012).

Taulukko 2. Ulkoilmalämpöpumpun (ilma-vesi) suhteellinen lämpöenergia ($Q_{ip}/Q_{lämmitys,tilat,LKV}$) taulukoituna suhteellisen lämpötehon (ϕ_{ipn}/ϕ_{tila}) suhteen, tilojen lämmitys- ja käyttövesienergioiden suhteen ($Q_{lämmitys,tilat}/Q_{lämmitys,LKV}$) ja tilojen lämmityksen menoveden max. lämpötilan (T_m) funktiona eri säävyöhykkeillä. Lämpöpumpun nimellisteho ϕ_{ipn} annetaan toimintapisteessä $T_{ulko} / T_{meno} (+7/35)$.

ϕ_{ipn}/ϕ_{tila}	$Q_{lämmitys,tilat}/Q_{lämmitys,LKV}$	Säävyöhyke: I-II				Säävyöhyke: III				Säävyöhyke: IV			
		$T_m, \text{°C}$				$T_m, \text{°C}$				$T_m, \text{°C}$			
		30	40	50	60	30	40	50	60	30	40	50	60
0,3	0,5	0,33	0,33	0,33	0,33	0,31	0,31	0,31	0,31	0,28	0,28	0,28	0,28
	1	0,39	0,39	0,39	0,39	0,37	0,37	0,37	0,37	0,33	0,33	0,33	0,33
	2	0,49	0,48	0,47	0,46	0,46	0,45	0,44	0,44	0,40	0,39	0,39	0,38
	4	0,56	0,54	0,52	0,50	0,53	0,51	0,49	0,48	0,46	0,44	0,43	0,41
0,4	0,5	0,44	0,44	0,44	0,44	0,42	0,42	0,42	0,42	0,38	0,38	0,38	0,38
	1	0,52	0,52	0,52	0,52	0,50	0,50	0,49	0,49	0,44	0,44	0,44	0,44
	2	0,63	0,61	0,60	0,58	0,60	0,58	0,57	0,56	0,52	0,51	0,50	0,49
	4	0,68	0,65	0,63	0,61	0,64	0,62	0,60	0,58	0,56	0,54	0,52	0,51
0,5	0,5	0,54	0,54	0,54	0,54	0,52	0,52	0,52	0,52	0,47	0,47	0,47	0,47
	1	0,65	0,64	0,64	0,63	0,62	0,61	0,61	0,60	0,55	0,54	0,54	0,53
	2	0,73	0,71	0,69	0,68	0,70	0,68	0,66	0,64	0,61	0,60	0,58	0,57
	4	0,78	0,75	0,72	0,70	0,74	0,71	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60	0,58
0,6	0,5	0,64	0,64	0,64	0,64	0,62	0,62	0,62	0,61	0,55	0,55	0,55	0,55
	1	0,75	0,74	0,72	0,72	0,72	0,70	0,69	0,69	0,64	0,63	0,62	0,61
	2	0,82	0,79	0,77	0,75	0,78	0,76	0,74	0,72	0,69	0,67	0,65	0,64
	4	0,84	0,82	0,80	0,77	0,81	0,78	0,76	0,73	0,71	0,69	0,66	0,64
0,7	0,5	0,73	0,73	0,73	0,73	0,70	0,70	0,70	0,70	0,63	0,63	0,63	0,63
	1	0,83	0,81	0,80	0,78	0,79	0,78	0,76	0,75	0,71	0,69	0,68	0,67
	2	0,87	0,85	0,83	0,82	0,84	0,82	0,80	0,78	0,75	0,73	0,71	0,69
	4	0,89	0,87	0,85	0,83	0,86	0,84	0,81	0,79	0,76	0,74	0,72	0,70
0,8	0,5	0,81	0,80	0,80	0,79	0,80	0,80	0,79	0,78	0,72	0,71	0,71	0,70
	1	0,88	0,87	0,85	0,84	0,86	0,85	0,84	0,82	0,77	0,76	0,74	0,73
	2	0,90	0,89	0,88	0,86	0,88	0,86	0,85	0,84	0,79	0,77	0,76	0,74
	4	0,91	0,90	0,88	0,87	0,88	0,87	0,85	0,84	0,79	0,77	0,76	0,74

0,9	0,5	0,89	0,88	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83	0,77	0,76	0,76	0,75
	1	0,92	0,91	0,90	0,89	0,89	0,88	0,87	0,86	0,81	0,80	0,78	0,77
	2	0,92	0,91	0,90	0,89	0,90	0,89	0,88	0,87	0,81	0,80	0,79	0,77
	4	0,92	0,91	0,90	0,89	0,89	0,88	0,87	0,86	0,81	0,80	0,78	0,77
1,0	0,5	0,92	0,92	0,91	0,90	0,90	0,89	0,88	0,88	0,82	0,81	0,80	0,79
	1	0,93	0,92	0,92	0,91	0,91	0,90	0,90	0,89	0,83	0,82	0,81	0,80
	2	0,93	0,92	0,92	0,91	0,91	0,90	0,89	0,89	0,83	0,82	0,81	0,80
	4	0,93	0,92	0,91	0,90	0,90	0,90	0,89	0,88	0,82	0,81	0,80	0,79

Taulukko 3. Ulkoilmalämpöpumpun (ilma-ilma) suhteellinen lämpöenergia ($Q_{lp}/Q_{\text{lämmitys,tilat}}$) taulukoituna suhteellisen lämpötehon ($\phi_{lpn}/\phi_{\text{tila}}$) funktiona eri säävyöhykkeillä. Lämpöpumpun nimellisteho ϕ_{lpn} annetaan toimintapisteessä $T_{\text{ulko}}/T_{\text{sisä}}$ (+7/20°C).

$\phi_{lpn}/\phi_{\text{tila}}$	Säävyöhyke		
	I-II	III	IV
0,3	0,54	0,51	0,44
0,4	0,66	0,62	0,53
0,5	0,75	0,71	0,61
0,6	0,81	0,78	0,68
0,7	0,85	0,83	0,73

Taulukko 4. Poistoilmalämpöpumpun tuottama osuus tilojen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarpeesta ($Q_{LP}/Q_{\text{lämmitys,tilat,iv,lkv}}$) lämpöpumpun SPF-luvun, tilojen, ilmanvaihdon ja käyttöveden lämpöenergian tarpeen ja jäteilman lämpötilan funktiona.

$Q_{\text{lämmitys,tilat,iv,lkv}}$ kWh/m ² a	$Q_{LP}/Q_{\text{lämmitys,tilat,iv,lkv}}$							
	SPF = 2,0				SPF = 3,0			
	$T_{\text{jäte}} -3^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{jäte}} 1^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{jäte}} 3^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{jäte}} 5^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{jäte}} -3^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{jäte}} 1^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{jäte}} 3^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{jäte}} 5^{\circ}\text{C}$
100	0,99	0,95	0,90	0,84	0,94	0,86	0,80	0,74
150	0,82	0,72	0,66	0,60	0,70	0,61	0,56	0,51
200	0,66	0,56	0,51	0,46	0,55	0,47	0,43	0,39
250	0,55	0,46	0,41	0,37	0,45	0,38	0,35	0,31

Tilojen ja käyttöveden lämmityksessä tarvittava lisälämmityksen energiankulutus ($Q_{\text{lisälämmitys,tilat}}$ ja $Q_{\text{lisälämmitys,LKV}}$) voidaan laskea kaavoilla (1) ja (2) käyttäen taulukoissa 1-4 esitettyjä lämpöpumpun suhteellisen lämpöenergian arvoja

$$Q_{\text{lisälämmitys,tilat}} = \left(1 - Q_{lp} / Q_{\text{lämmitys,tilat,LKV}}\right) Q_{\text{lämmitys,tilat}} \quad (1)$$

$Q_{\text{lämmitys,tilat}}$ tilojen lämmitysenergian kulutus, kWh.

Mikäli lämpöpumpua käytetään ilmanvaihdon tuloilman lämmityksessä, ilmanvaihdon lämmityksen energiankulutus lisätään kaavassa (1) rakennuksen tilojen lämmitysenergian kulutukseen $Q_{LP,\text{lämmitys,tilat}}$.

$$Q_{\text{lisälämmitys,LKV}} = \left(1 - Q_{lp} / Q_{\text{lämmitys,tilat,LKV}}\right) Q_{\text{lämmitys,LKV}} \quad (2)$$

$Q_{\text{lämmitys,LKV}}$ käyttöveden lämmityksen energiankulutus, kWh.

Lämpöpumpulla tuotettava tilojen ja käyttöveden lämmitysenergia lasketaan ottamalla lisälämmitykseen tarvittava energiankulutus huomioon kaavojen (3) ja (4) mukaisesti.

$$Q_{LP,lämmitys,tilat} = Q_{lämmitys,tilat} - Q_{lisälämmitys,tilat} \quad (3)$$

$Q_{LP,lämmitys,tilat}$ lämpöpumpun tuottama tilojen lämmitysenergia, kWh

$Q_{lämmitys,tilat}$ tilojen lämmitysjärjestelmän energiankulutus, kWh

$Q_{lisälämmitys,tilat}$ tilojen lisälämmitysjärjestelmän energiankulutus, kWh

$$Q_{LP,lämmitys,LKV} = Q_{lämmitys,LKV} - Q_{lisälämmitys,LKV} \quad (4)$$

$Q_{LP,lämmitys,LKV}$ lämpöpumpun tuottama käyttöveden lämmitysenergia, kWh

$Q_{lämmitys,LKV}$ käyttöveden lämmitysjärjestelmän energiankulutus, kWh

$Q_{lisälämmitys,LKV}$ käyttöveden lisälämmitysjärjestelmän energiankulutus, kWh.

Tilojen ja käyttöveden lämmitysjärjestelmän energiankulutukset ($Q_{lämmitys,tilat}$ ja $Q_{lämmitys,LKV}$) voidaan laskea esimerkiksi RakMk (D5 2012) laskentamenetelmällä.

2.3. Lämpöpumpun ostoenergiankulutus

Lämpöpumppu otetaan huomioon lämmityksen sähköenergiankulutusta laskettaessa vain sen ajanjakson osalta, jonka aikana lämpöpumppua käytetään. Lämmityskäytössä olevan lämpöpumpun sähköenergiankulutus $W_{LP,lämmitys}$ voidaan laskea kaavalla

$$W_{LP,lämmitys} = Q_{LP,lämmitys,tilat} / \text{SPF}_{tilat} + Q_{LP,lämmitys,LKV} / \text{SPF}_{LKV} \quad (5)$$

SPF_{tilat} lämpöpumpun SPF-luku tilojen lämmityksessä

SPF_{LKV} lämpöpumpun SPF-luku käyttöveden lämmityksessä.

Ulkoilmalämpöpumpun (ilma-ilma) sähköenergiankulutus lasketaan kaavalla (5) käyttäen ainoastaan niiden tilojen lämmitysenergian kulutusta, jotka ovat lämpöpumpun vaikutuspiirissä. Näiden tilojen, lämmitysenergian kulutus on laskettava erikseen esimerkiksi RakMk (D5 2012) laskentamenetelmällä.

Kaavassa (5) eri lämpöpumpputyypin SPF-lukuina voidaan käyttää taulukoiden 5-7 lukuarvoja, ellei tarkempaa tietoa ole käytettävissä. Taulukossa 5 esitetyt SPF-lukujen arvot ovat samat säävyöhykkeillä I ja II. Taulukoista 5-6 nähdään, että lämmönjakoverkoston menoveden lämpötila vaikuttaa lämpöpumpun suorituskykyyn. Lämmönjakoverkoston menoveden lämpötilan noustessa lämpöpumpun suorituskyky heikkenee ja SPF-luku pienenee.

Vesikiertoisien lämmönjakojärjestelmän paluueden lämpötila vaikuttaa myös lämpöpumpun suorituskykyyn. Taulukoissa 5, 6 ja 7 esillä olevien lämpöpumppujen SPF-luvut on laskettu käyttäen standardin SFS-EN 14511 mukaisten testausolosuhteiden meno- ja paluueden lämpötilaerotusta 5°C. Mikäli mitoitusolosuhteet eivät vastaa tältä osin testausolosuhteita, voidaan mitoitusolosuhteiden meno- ja paluueden lämpötilaerosta aiheutuva lämpökertoimen korjaus ottaa huomioon luvussa 3 esitettävällä yksityiskohtaisella laskentamenetelmällä (kts. kaava 11).

Lämpöpumpun suorituskyky riippuu myös lämmönlähteen lämpötilatasosta, joten esimerkiksi ulkoilmalämpöpumppujen SPF-lukuun (Taulukko 5) vaikuttaa ulkoilman lämpötila ja maalämpöpumppujen SPF-lukuun lämmönkeruupiirin lämpötilataso (Taulukko 6). On syytä huomata, että erittäin hyvin lämmöneristetyissä rakennuksissa esim. passiivitaloissa, ulkoilmalämpöpumppujen SPF-luku voi olla taulukossa 5 esitettyjä arvoja pienempi. Tämä johtuu siitä, että e.m. rakennuksissa

lämmitystarve ajoittuu tyypillisesti matalammille ulkolämpötiloille kuin heikommin lämmöneristetyissä rakennuksissa.

Mikäli taulukoissa 5-6 esitetyt lämmönjakoverkoston lämpötilatasot eivät vastaa laskettavan tapauksen lämmönjakoverkoston lämpötilatasoa, voidaan taulukoissa esitettyjen SPF-lukujen väliarvoja tarvittaessa interpoloida.

Maalämpöpumpun käyttö rakennuksen jäähtytykseen nostaa maaperän lämpötilaa ja vähentää maaperän jäähtymisen riskiä pitkällä aikavälillä. Tällöin maalämpöpumpun käyttö myös jäähtytykseen parantaa lämpöpumpun toimintaedellytyksiä lämmityskäytössä pitkällä aikavälillä. Maalämpöpumpujen lämmönkeruupiirin mitoituksesta on kerrottu tarkemmin liitteessä 3.

Taulukko 5. Ulkoilmalämpöpumppujen SPF-lukuja.

Ulkoilmalämpöpumput max. lämpötila (menovesi), °C	SPF-luku		
	Säävyöhykkeet		
	I-II	III	IV
Ilma-ilma	2,8	2,8	2,7
Ilma-vesi (tilojen lämmitys)			
30	2,8	2,8	2,7
40	2,5	2,5	2,4
50	2,3	2,3	2,2
60	2,2	2,1	2,0
Ilma-vesi (käyttöveden lämmitys)			
60	1,8	1,6	1,3

Taulukko 6. Maalämpöpumppujen SPF-lukuja.

Maalämpöpumppu max. lämpötila (menovesi), °C	SPF-luku	
	Vuotuinen keruupiirin paluunesteen keskilämpötila, °C	
	-3	+3
Tilojen lämmitys		
30	3,4	3,5
40	3,0	3,1
50	2,7	2,7
60	2,5	2,5
Käyttöveden lämmitys		
60	2,3	2,3

Taulukossa 7 on esillä poistoilmalämpöpumppujen tilojen ja käyttöveden lämmityksen yhteisiä SPF-lukuja eri jäteilmän minimilämpötiloilla poistoilmän lämpötilan ollessa 21°C. Taulukon SPF-lukuja voidaan käyttää, mikäli tarkempaa tietoa ei ole käytettävissä. Mikäli lämpöpumpun poistoilmän minimilämpötila on matalampi tai korkeampi kuin taulukossa esitetyt lämpötilat, voidaan SPF-luvut laskea tarkemmin esimerkiksi luvun 3 yksityiskohtaisemmalla laskentamenetelmällä.

Taulukko 7. Poistoilmalämpöpumpun tilojen ja käyttöveden lämmityksen SPF-lukuja.

Poistoilmalämpöpumppu	SPF-luku
Jäteilmän min. lämpötila	
-3	2,4

+1	2,1
+3	2,0
+5	1,9

Lämpöpumpun SPF-luku voidaan laskea tarkemmin esimerkiksi luvussa 3 esitetyllä yksityiskohtaisella laskentamenetelmällä tai muulla vaihtoehtoisella menetelmällä käyttäen lähtötietona esimerkiksi standardien SFS-EN 16147 tai SFS EN 14511-3 mukaisilla testausmenetelmillä mitattuja tai muulla tavoin varmennettuja lämpöpumppujen tuotetietoja. Lämpöpumpun SPF-luvun määrittämisessä käytettävässä lämpöpumpun lämpökertoimessa otetaan huomioon mahdollisiin sulatusjaksoihin kuluva energia sekä lämpöpumpun apulaitteiden, kuten esimerkiksi lämpöpumpun säätölaitteiden, puhaltimien sekä pumppujen sähkönkulutus standardin SFS-EN 14511-3 osoittamalla tavalla.

Lämpöpumpun apulaitteiden sähkönkulutus, joka ei sisälly lämpöpumpun lämpökertoimen mitattuihin arvoihin, joissakin laitteissa esimerkiksi lämmönkeruupiirin pumppaukseen kuluva sähköenergia, otetaan erikseen huomioon SPF-luvun laskennassa. Rakennuksen lämmönjakopiirin pumppujen sähkönkulutus lasketaan kuitenkin osana lämmönjakoverkoston sähkönkulutusta. Tällöin lämmönjakopiirin pumppausenergiaa ei lasketa mukaan lämpöpumpun apulaitteiden sähkönkulutukseen.

Poistoilmalämpöpumpulla varustetun rakennuksen ilmanvaihtokoneen puhaltimien sähkönkulutusta ei tarvitse ottaa huomioon laskettaessa ilmanvaihtojärjestelmän sähkönkulutusta, koska poistoilmalämpöpumpun puhaltimien sähkönkulutus sisältyy SPF-lukuun.

Kaavassa (5) käytettävät tilojen ja käyttöveden lämmitykselle erikseen määriteltävät lämpöpumpun SPF-luvut lasketaan kaavojen (6 ja 7) avulla

$$SPF_{\text{tilat}} = \frac{Q_{LP,\text{lämmitys,tilat}}}{W_{LP,\text{tilat}} + W_{apu,\text{tilat}}} \quad (6)$$

$Q_{LP,\text{lämmitys,tilat}}$ lämpöpumpun tuottama tilojen vuotuinen lämmitysenergia, kWh

$W_{LP,\text{tilat}}$ lämpöpumpun vuotuinen sähkönkulutus tilojen lämmityksessä, kWh

$W_{apu,\text{tilat}}$ lämpöpumpun apulaitteiden vuotuinen sähkönkulutus (tilojen lämmitys), joka ei sisälly lämpöpumpun lämpökertoimen mitattuihin arvoihin, kWh.

$$SPF_{LKV} = \frac{Q_{LP,\text{lämmitys,LKV}}}{W_{LP,LKV} + W_{apu,LKV}} \quad (7)$$

$Q_{LP,\text{lämmitys,LKV}}$ lämpöpumpun tuottama käyttöveden vuotuinen lämmitysenergia, kWh

$W_{LP,LKV}$ lämpöpumpun vuotuinen sähkönkulutus käyttöveden lämmityksessä, kWh

$W_{apu,LKV}$ lämpöpumpun apulaitteiden vuotuinen sähkönkulutus (käyttöveden lämmitys), joka ei sisälly lämpöpumpun lämpökertoimen mitattuihin arvoihin, kWh.

Koko lämpöpumpun sekä tilojen että käyttöveden lämmityksen yhteinen SPF-luku määritellään kaavan (8) avulla

$$SPF_{\text{tilat+LKV}} = \frac{Q_{LP,\text{lämmitys}}}{W_{LP} + W_{apu}} \quad (8)$$

$Q_{LP,\text{lämmitys}}$ rakennuksen tilojen ja käyttöveden vuotuinen lämmitysenergian kulutus, joka voidaan tuottaa lämpöpumpulla, kWh

W_{LP} lämpöpumpun vuotuinen sähkönkulutus tilojen ja käyttöveden lämmityksessä, kWh
 W_{apu} lämpöpumpun apulaitteiden vuotuinen sähkönkulutus (tilat ja LKV), joka ei sisälly lämpöpumpun lämpökertoimen mitattuihin arvoihin, kWh.

Lämpöpumpun apulaitteiden sähkönkulutus W_{apu} , joka ei sisälly lämpöpumpun lämpökertoimen mitattuihin arvoihin, voidaan laskea kaavan (9) avulla

$$W_{apu} = P_{apu} \Delta t \quad (9)$$

P_{apu} lämpöpumpun apulaitteiden sähköteho, joka ei sisälly mitattuun lämpökertoimen arvoon, kW

Δt apulaitteiden käyttöaika laskentajaksolla, h.

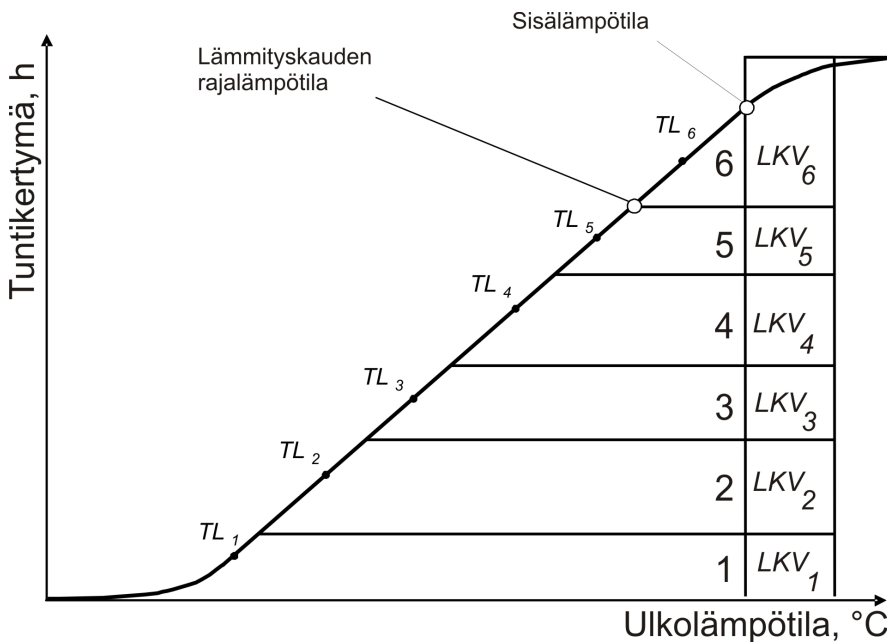
3 YKSITYISKOHTAINEN LASKENTAMENETELMÄ

Yksityiskohtaisempaa laskentamenetelmää voidaan käyttää, kun lämpöpumpun ominaisuudet tunnetaan tarkemmin ja lämpöpumpusta on tehty esimerkiksi standardin SFS-EN 14511-3 mukaiset mittaukset. Laskentamenetelmällä voidaan laskea lämpöpumpun ja lisälämmitysjärjestelmän käyttämä sähköenergia, lämpöpumpun tuottama lämpöenergia sekä vuotuinen SPF-luku (kts. kaavat 4-5). Laskenta voidaan tehdä tilojen tai käyttöveden lämmitykseen käytettäville lämpöpumpuille tai lämpöpumpuille, jotka lämmittävät sekä tiloja että käyttövettä. Tulokset voidaan laskea tietyllä ajanjaksolla tai koko vuodelle lämpöpumpusta ja lämmöntarpeesta sekä laskennan tarpeesta riippuen. Tässä luvussa sekä liitteissä 1-4 esillä olevissa laskentaesimerkeissä laskenta tehdään koko vuoden jaksolle. Laskennassa otetaan huomioon lämpöpumpun ominaisuudet, lämmönlähde sekä lämmönjakojärjestelmä. Tarvittaessa lämpöpumpun energialaskenta voidaan tehdä tarkemmin esimerkiksi standardin SFS-EN 15316-4-2 avulla.

3.1. Laskentaperiaatteet ja rajaukset

3.1.1 Pysyvyyskäyrämenetelmä

Lämpöenergian tarpeen ja lämpöpumpun tuottaman lämpöenergian sekä lisälämmitystarpeen laskennassa käytetään pysyvyyskäyrämenetelmää. Ulkolämpötilan pysyvyyskäyrä jaetaan lämpötilaväleihin, joille valitaan toimintalämpötila (TL). Laskennassa oletetaan, että toimintalämpötila pysyy vakiona kullakin lämpötilavälillä. Jakoperusteena voidaan käyttää esimerkiksi standardin SFS-EN 14511-2 mukaisia mittauspisteitä, jotka ovat -15, -7, +2, +7 ja +20 °C. Suomen kylmästä ilmastosta johtuen tässä laskentamenetelmässä käytetään lisäksi lämpötilapistettä -20 °C. Lähtötietoina voidaan käyttää esimerkiksi standardin SFS-EN 14511-3 mukaisesti mitattuja tai muulla tavoin varmennettuja tuotetietoja. Lämpökertoimille lasketaan lämpötilakorjaus, jos toimintalämpötilat ovat muita kuin standardin mukaisia mittauspisteiden lämpötiloja.



Kuva 1. Ulkolämpötilan pysyvyyskäyrä. Kuvassa lämpötilavälit on numeroitu (1-6) ja toimintalämpötilat TL₁-TL₆ on esitetty pysyvyyskäyrällä. Lämpimän käyttöveden energiankulutus jakautuu lämpötilaväleille LKV₁-LKV₆.

Pysyvyyskäyrä on jaettu laskentaa varten kuuteen lämpötilaväliin kuvassa 1. Keskimääräistä lämpötilaa edustavat lämpötilaväleille valitut toimintalämpötilat TL₁-TL₆. Lämmitystarve jakautuu tilojen

ja lämpimän käyttöveden lämmitykseen. Lämpötilaväliä rajaavat ylä- ja alarajalämpötilat, jotka valitaan laskettavan rakennuksen sijainnin mukaan liitteessä 2 esitetyistä säätiedoista.

Laskennassa käytettävä sisälämpötila on rakennuksen mitoitussisälämpötila (kuva 1). Lämmityskauden rajalämpötila (kuva 1) on ulkolämpötila, jota matalammilla lämpötiloilla rakennuksen tiloja lämmitetään. Lämpöpumppua ei käytetä lämmityskauden ulkolämpötilarajan yläpuolella tilojen lämmitykseen. Lämpöpumpun ominaisuudet otetaan huomioon, kun lasketaan lämpöpumpun tuottama lämpöenergia. Laskentaa varten tarvitaan lämpöpumpun lämpökerroin, toimintarajat sekä lämmitysteho. Laskennassa otetaan huomioon lämmitysverkoston menoveden lämpötilan säätöarvot sekä käyttöveden lämpötilan asetusarvo. Laskentamenetelmällä voidaan ottaa huomioon myös lämpöpumpun osatehokuormituksen vaikutus käyttäen lähtötietoina esimerkiksi CEN menetelmän (CEN/TS 14825) mukaisesti mitattuja tai muilla tavoin varmennettuja tuotetietoja.

3.1.2 Laskentamenetelmän rajaukset

Lämpötilavälillä toimintalämpötilan oletetaan pysyvän vakiona. Todellisuudessa toimintalämpötila muuttuu lämpötilaväleillä ulkolämpötilan muutosten mukana. Laskentamenetelmässä lämpökertoimen oletetaan pysyvän vakiona valituilla lämpötilaväleillä (kts. kuva 1).

Laskentamenetelmässä ei oteta huomioon lämmönjakojärjestelmän ja lämminvesivaraajan häviöitä. Nämä häviöt voidaan ottaa huomioon rakennuksen energiankulutuksen laskennassa esimerkiksi RakMk D5 (2012) mukaisella laskentamenetelmällä

Laskentamenetelmässä oletetaan, että tiloja ja käyttövettä lämmittävät lämpöpumput lämmittävät tiloja ja käyttövettä vuorotellen. Mikäli lämpöpumppu toimii siten, että se lämmittää tiloja ja käyttövettä samanaikaisesti, voidaan tapaus laskea tarkemmin muilla menetelmillä, esimerkiksi standardin SFS-EN 15316-4-2 mukaisesti.

3.2. Laskentajärjestys

3.2.1 Laskennan kuvaus

Laskentaa varten tarvitaan tieto rakennuksen energiankulutuksesta ja tiedot lämpöpumpun ominaisuuksista. Mikäli lämpöpumpun lämpökertoimen tai lämmitystehon arvoa ei tunneta niissä lämmönlähteen tai lämmönjakoverkoston lämpötiloissa, joissa laskenta suoritetaan, voidaan lämpökertoimen tai lämmitystehon arvoille tehdä lämpötilakorjaus. Tarvittavat lämpökertoimen ja lämmitystehon arvot mitattujen pisteiden väleille voidaan esimerkiksi interpoloida, kun lämpökertoimen arvot tunnetaan esimerkiksi standardin SFS-EN 14511-3 mukaisesti mitatuissa pisteissä.

Lämmöntarpeen ja lisälämmöntarpeen laskenta tehdään valituille lämpötilaväleille. Suositeltavaa on, että laskettavat lämpötilavälit valitaan siten, että Suomen olosuhteissa käytetään ainakin kuutta lämpötilaväliä. Pysyvyyssäyrän lämpötilavälien toimintalämpötilat voidaan valita esimerkiksi testipisteistä standardin SFS-EN 14511-2 mukaisesti. Suomen oloihin valitaan ylimääräinen testipiste -20 °C. Laskennassa voidaan käyttää liitteessä 2 esitettyä Helsingin, Jyväskylän tai Sodankylän säätietoja.

Seuraavaksi lämpötilaväleille lasketaan painokerroimet. Painokerrointen avulla rakennuksen lämmitysenergian kulutus jaetaan pysyvyyssäyrän lämpötilaväleille. Lämpimän käyttöveden energiankulutus jaetaan lämpötilavälien painokerrointen mukaisesti koko vuodelle.

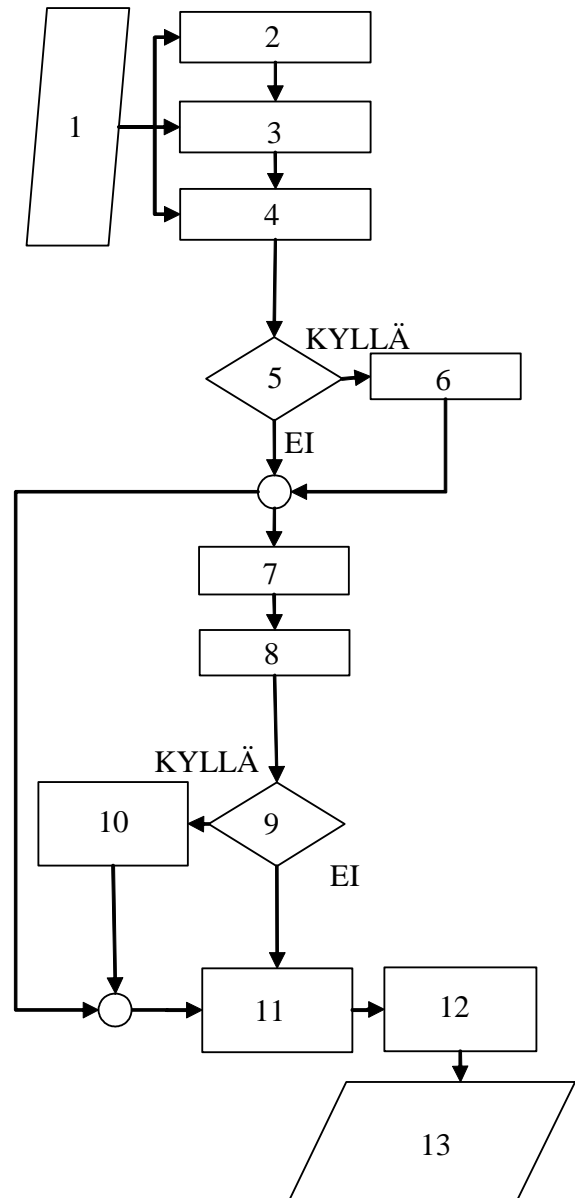
Pysyvyyssäyrän lämpötilaväleille lasketaan tarvittaessa lisälämmityksen energiankulutus. Lisälämmitystä tarvitaan, jos lämpöpumppu ei pysty tuottamaan tilojen ja käyttöveden lämmitysenergiaa kokonaan. Lämpöpumpulla voi olla käyntiaika-, lämpötila- tai tehorajoituksia. Lisälämmitysenergia voidaan tuottaa esimerkiksi lämpöpumppujärjestelmän sähköisellä lisälämmittimellä tai muilla lämmitysjärjestelmillä. Lämpötilaväleille lasketaan tarvittaessa lämpöpumpun apulaitteiden sähkönkulutus, joka ei sisälly lämpöpumpun lämpökertoimen mitattuihin arvoihin.

Kun jokaiselle pysyvyyskäyrän lämpötilaväleille on laskettu lämpöpumpun tuottama lämmitysenergia ja sähköenergian kulutus, saadaan lämpöpumpun kokonaistuotto ja -kulutus laskettua koko laskentakauden aikana. Lämpöpumpun SPF-luku voidaan laskea sekä tiloille (SPF_{tilat}) että lämpimälle käyttövedelle (SPF_{lkv}).

3.2.2 Laskentajärjestys

Laskenta suoritetaan vaiheittain jokaiselle pysyvyyskäyrän lämpötilavälille seuraavasti.

- Vaihe 1 Lähtötiedot
- Tilojen ja lämpimän käyttöveden lämmitysenergian tarve (LUKU 3.3.1)
 - Säätiiedot (LIITE 2)
 - Lämpöpumpun ominaisuudet (LUKU 3.3.2)
 - Suunnitteluparametrit
 - Rakennuksen tehomitoituspiste (LUKU 3.5.1)
- Vaihe 2 Pysyvyyskäyrän lämpötilavälien valinta
- Vaihe 3 Painokertoimien ja lämmitysenergian tarpeen laskenta pysyvyyskäyrän lämpötilaväleillä (LUKU 3.5.4)
- Vaihe 4 Lämpökertoimen lämpötilakorjaus (LUKU 3.5.2)
- Vaihe 5 Käytetäänkö lämpöpumpussa osatehosäätöä (invertteri-säätö): KYLLÄ / EI
- Vaihe 6 Osatehon laskenta (LUKU 3.5.4.4)
- Vaihe 7 Lisälämmitystarpeen laskenta pysyvyyskäyrän lämpötilaväleille (LUKU 3.5.5)
- Vaihe 8 Lämpöpumpun käyntiajan laskenta ja vertaaminen pysyvyyskäyrän lämpötilavälin keston (LUKU 3.5.5.5)
- Vaihe 9 Lämpöpumpun käyntiaika on pidempi kuin lämpötilavälin kesto: KYLLÄ / EI
- Vaihe 10 Täydentävän lisälämmityksen laskenta (LUKU 3.5.5.6 ja 3.5.5.7)
- Vaihe 11 Lämpöpumpun sähköenergiankulutuksen laskenta (LUKU 3.5.6)
- Vaihe 12 Apulaitteiden sähköenergian kulutuksen laskenta (LUKU 3.5.7)
- Vaihe 13 Lämpöpumpun tuottaman lämmitysenergian laskenta (LUKU 3.5.8)
Lämpöpumpun SPF-luvun laskenta (LUKU 3.5.9)



Kuva 2. Laskentajärjestyksen vuokaavio

Laskennan vaiheet on esitetty lisäksi kuvan 2 vuokaaviossa. Vaiheessa 5 voidaan ottaa huomioon lämpöpumpun osateho. Jos lämpöpumppu on mitoitettu siten, ettei lisälämmitystä ei tarvita millään lämpötilavälillä, voidaan jokainen pysyvyysskäyrän lämpötilaväli laskea siten, että siirrytään suoraan vaiheesta 5 vaiheeseen 11 ilman välivaiheita.

Jos tehomitoituspiste sijaitsee pysyvyysskäyrällä, täytyy lisälämmöntarve laskea lämpötilaväleille laskemalla myös vaiheet 7-10. Inverteri-säätöisen lämpöpumpun tapauksessa lisälämmöntarpeen laskenta tehdään myös vaiheiden 7-10 avulla. Vaiheissa 7-10 laskettava lisälämmitystarkastelu täytyy tehdä erikseen jokaiselle lämpötilavälille. Jos tarvitaan täydentävää lisälämmitystä, tarkastelu tehdään vaiheessa 9.

Vaiheen 12 apulaitteiden sähkönkulutus täytyy laskea, ellei sitä ole otettu huomioon lämpöpumpun lämpökertoimen arvossa.

3.3. Laskennan lähtötiedot

3.3.1 Lämmitys

Rakennuksen vuotuinen energiankulutus tilojen lämmityksen ja lämpimän käyttöveden osalta voidaan laskea esimerkiksi rakennusmääräyskokoelman (D5 2012) laskentamenetelmän avulla.

3.3.1.1 Tilojen lämmitys

Sisälämpötilan arvona käytetään lämmityksen asetusarvoa. Lämmityskauden rajalämpötilana käytetään Suomessa yleensä ulkolämpötilaa väliltä +12...+15°C.

Mikäli lämpöpumppua käytetään vesikiertoisen lämmönjakojärjestelmän lämmönlähteenä, laskennan lähtötiedoiksi tarvitaan verkoston menoveden lämpötilat eri toimintalämpötiloilla (TL, kts. kuva 1)

Mikäli lämpöpumppua käytetään tilojen lämmityksen ohella myös ilmanvaihdon tuloilman jälkilämmitykseen, lisätään ilmanvaihdon lämmitysenergian kulutus tilojen lämmitysenergian kulutukseen.

Tilojen lämmityksen lähtötietona tulee määrittää myös lämpöpumpun tehomitoituspiste, joka on matalin ulkolämpötila, johon asti lämpöpumppu pystyy tuottamaan tilojen lämmitystehontarpeen kokonaan. Tehomitoituspiste voidaan määrittää, kun tunnetaan rakennuksen lämmitystehontarve ja lämpöpumpun lämmitysteho eri ulkolämpötiloilla.

3.3.1.2 Lämmin käyttövesi

Mikäli lämpöpumppua käytetään käyttöveden lämmitykseen, laskennan lähtötiedoksi tarvitaan lämpimän käyttöveden energiankulutus laskentajakson aikana sekä lämpötila, johon käyttövesi lämmitetään.

3.3.2 Lämpöpumput

Lähtötietoina voidaan käyttää esimerkiksi standardin SFS-EN 14511-3 mukaisesti mitattuja tai muulla tavoin varmennettuja lämpöpumpun tuotetietoja. Tarvittavia tuotetietoja ovat lämpöpumpun lämpökerroin, lämmitysteho eri toimintalämpötiloilla (TL, kts. kuva 1) sekä lämpöpumpun toimintarajat.

Toimintarajoja ovat korkein lämpötila, johon lämpöpumppu pystyy lämmittämään tiloja tai käyttövettä sekä matalin ulkoilman lämpötila, jolla ilmalämpöpumppua voidaan käyttää. Lämpöpumpun toimintarajat saadaan valmistajan ilmoittamista tuotetiedoista tai ne voidaan valita, jos lämpöpumpun toimintaa halutaan rajoittaa. Korkein toimintalämpötila vaikuttaa lisälämmitystarpeeseen, jos tilojen tai lämpimän käyttöveden tarvitsemää lämpötilarajaa ei pystytä saavuttamaan lämpöpumpulla.

Lämpöpumpputyypistä riippuen tarvitaan lisäksi seuraavia lähtötietoja:

- Maalämpöpumpun lähtötiedoiksi tarvitaan lisäksi lämmönkeruupiirin paluunesteen lämpötila eri toimintalämpötiloissa (TL).
- Poistoilmalämpöpumpulle tarvitaan poistoilmalämpöpumpun höyrystimen teho, joka voidaan laskea rakennuksen poistoilmavirran, sisäilman lämpötilan ja poistoilmalämpöpumpun jäteilman lämpötilan avulla.

Lähtötietoina tarvitaan lisäksi niiden lämpöpumpun apulaitteiden sähköteho, joka ei sisälly lämpökertoimen arvoon.

3.4. Laskentatulokset

Laskentamenetelmä antaa seuraavat tulokset:

- Lämpöpumpun tuottama lämmitysenergia.
- Lisälämmitysenergia, mikäli lämpöpumppu ei pysty tuottamaan kaikkea tarvittavaa lämmitysenergiaa.
- Lämpöpumpun sähkönkulutus.
- Niiden lämpöpumpun apulaitteiden sähkönkulutus, jotka eivät sisälly lämpöpumpun lämpökertoimen arvoon.
- Lämpöpumpun SPF-luku tilojen lämmitykselle ja käyttöveden lämmitykselle.

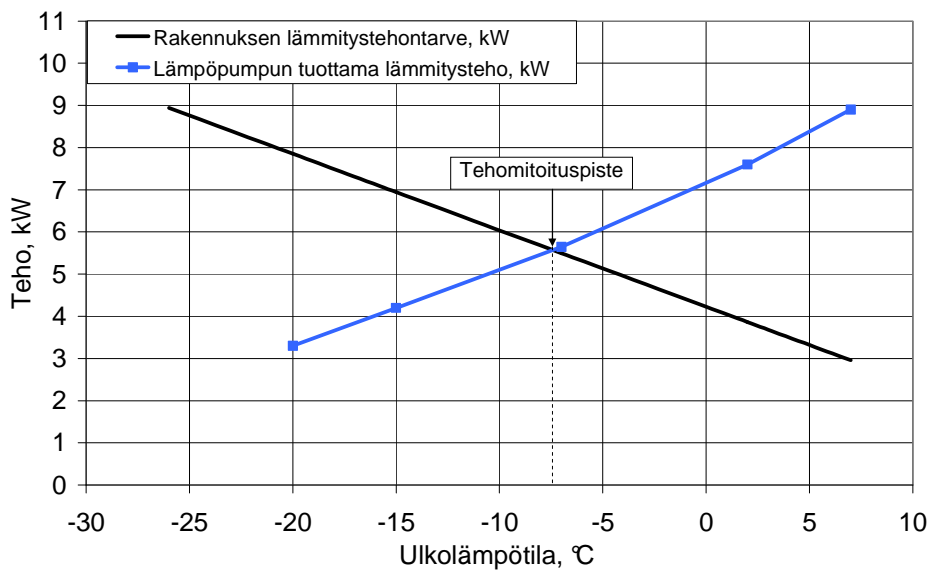
3.5. Laskenta

3.5.1 Tehomitoituspisteen lämpötila

Lämpöpumpun tehomitoituspisteellä tarkoitetaan ulkolämpötilaa, johon saakka lämpöpumpulla pystytään tuottamaan rakennuksen lämmitystehontarve. Tehomitoituspistettä matalammilla ulkolämpötilan arvoilla tarvitaan lisälämmitystä, koska lämpöpumppu ei pysty kokonaan tuottamaan rakennuksen kuluttamaa lämpöenergiaa.

Tehomitoituspisteen lämpötilan määrittämiseen tarvitaan rakennuksen lämmitystehontarve ja lämpöpumpun tuottama lämmitysteho. Rakennuksen lämmitystehontarve voidaan laskea RakMk (D5 2012) laskentamenetelmällä tai esimerkiksi simulointiohjelmilla. Lämpöpumpun tuottama lämmitysteho eri toimintalämpötiloissa saadaan esimerkiksi valmistajan ilmoittamien mittauspisteiden avulla interpoloimalla.

Kuvassa 3 on esillä ilma-vesi lämpöpumpun tehomitoituspiste pientalossa, jonka tilojen lämmityksen mitoitusteho säävyöhykkeiden I-II mitoitusulkolämpötilassa (-26°C) on 9kW. Tehomitoituspisteen lämpötila on tapauskohtainen riippuen lämpöpumpun tuottamasta lämmitystehosta sekä rakennuksen lämmitystehontarpeesta.



Kuva 3. Lämpöpumpun tehomitoituspiste. Tehomitoituspiste on kohdassa, jossa rakennuksen lämmitystehontarve ja lämpöpumpun tuottaman lämmitysteho ovat yhtä suuret.

3.5.2 Lämpökertoimen korjaus

Laskenta perustuu siihen oletukseen, että lämpöpumpun toiminta pysyy vakiona kullakin pysyvyyssäyrän lämpötilavälillä. Mikäli laskentakohteen mitoitustilanteen meno- ja paluueden lämpötilaero lämpöpumpun lauhduttimessa poikkeaa lämpöpumpun testausolosuhteissa käytetystä lämpötilaerosta, voidaan lämpökertoimelle tehdä lämpötilakorjaus meno- ja paluueden lämpötilaeron suhteen. Jos lämpöpumpun lämpökertoimen ja lämmitystehon arvoa ei tunneta niissä lämmönlähteen tai lämmönjakoverkoston lämpötiloissa, joissa laskenta suoritetaan, voidaan lämpökertoimen ja lämmitystehon arvoille tehdä lisäksi myös lämpötilakorjaus.

3.5.2.1 Lämpökertoimen korjaus lämmönsiirtoaineen lämpötilaeron suhteen

Meno- ja paluueden lämpötilaero lämpöpumpun lauhduttimessa määritellään kaavan (10) avulla

$$\Delta T = \frac{\phi_{lpn}}{m_n c_n} \quad (10)$$

ΔT meno- ja paluueden lämpötilaero lauhduttimessa, °C

ϕ_{lpn} lämpöpumpun lämmitysteho, W

m_n menoveden massavirta lauhduttimessa, kg/s

c_n lämmönsiirtoaineen lämpökapasiteetti, J/(kg·K).

Standardin (SFS-EN 14511-2) mukaisessa testausolosuhteissa lämpötilaero ΔT on 5°C ilma-vesi-, poistoilma- ja maalämpöpumpuille. Jos meno- ja paluueden lämpötilaerotus testaus- ja mitoitusolosuhteissa eroaa toisistaan, voidaan lämpökertoimelle tehdä korjaus kaavan (11) mukaisesti.

$$\text{COP}_T = \text{COP}_M \left[1 - \frac{\frac{\Delta T_{LM} - \Delta T_{LS}}{2}}{\left\{ T_{HJ} - \frac{\Delta T_{LM}}{2} + \Delta T_L - (T_{L\ddot{A}H} - \Delta T_H) \right\}} \right] \quad (11)$$

COP_T lämpötilakorjattu lämpökerroin

COP_M mitattu lämpökerroin testausolosuhteissa

ΔT_{LM} meno- ja paluuveden lämpötilaerotus testausolosuhteissa, °C

ΔT_{LS} meno- ja paluuveden lämpötilaerotus mitoitusolosuhteissa, °C

T_{HJ} lämmönjakojärjestelmän menoveden lämpötila, °C

ΔT_L lämpötilaero lämmönsiirtoaineen ja kylmäaineen välillä lauhduttimessa, °C

$T_{L\ddot{A}H}$ lämmönlähteen lämpötila, °C

ΔT_H lämpötilaero lämmönsiirtoaineen ja kylmäaineen välillä höyrystimessä, °C

3.5.2.2 Useampi tunnettu toiminnan lämpötilataso

Jos lämpöpumpun lämpökertoimet tai lämmitysteho tunnetaan useammassa lämmönjakoverkoston tai lämmönlähteen lämpötilassa, niin toimintapisteiden välisiä lämpökertoimia ja tehoja voidaan interpoloida.

3.5.2.3 Yksi tunnettu toiminnan lämpötilataso

Mikäli lämpöpumpun lämpökertoimen arvo tunnetaan vain yhdellä lämmönjakoverkoston ja lämmönlähteen lämpötilatasolla, ei lämpökertoimen lämpötilakorjausta voida tehdä interpoloimalla, eikä lämmitystehon lämpötilakorjausta voida suorittaa. Tällöin lämpökertoimen arvo voidaan kuitenkin korjata Carnot-lämpökertoimen avulla vastaamaan laskentakohteen lämmönjakopiirin ja lämmönlähteen lämpötilatasoa. Lämpöpumpun Carnot-lämpökerroin määritellään

$$\text{COP}_C = \frac{T_L}{T_L - T_H} \quad (12)$$

T_L lämpöpumpun lauhtumislämpötila, K

T_H lämpöpumpun höyrystymislämpötila, K.

Mikäli lämpöpumpun lauhtumis- ja höyrystymislämpötilaa ei tunneta, ne voidaan laskea kaavan (13) avulla

$$T_L = T_{L1} + \Delta T_L \quad (13)$$

$$T_H = T_{H1} - \Delta T_H$$

T_{L1} lauhduttimen läpi virtaavan lämmönsiirtoaineen (ilma tai neste) lämpötila, K

ΔT_L kylmäaineen ja lämmönsiirtoaineen välinen lämpötilaero lauhduttimessa, °C

T_{H1} höyrystimen läpi virtaavan lämmönsiirtoaineen (ilma tai neste) lämpötila, K

ΔT_H kylmäaineen ja lämmönsiirtoaineen välinen lämpötilaero höyrystimessä, °C.

Mikäli kylmäaineen ja lämmönsiirtoaineen (ilma tai neste) välisiä lämpötilaeroja (asteisuuksia) lauhduttimessa ja höyrystimessä ei tarkemmin tunneta, voidaan laskennassa käyttää esimerkiksi taulukon 8 arvoja.

Taulukko 8. Tyypillisiä lauhduttimen ja höyrystimen asteisuuksia.

Lämpöpumppu	$\Delta T_L, \Delta T_H, K$
<i>Ilma-ilma lämpöpumppu</i>	
Lauhdutin (sisäilmassa)	15
Höyrystin (ulkoilmassa)	5
<i>Ilma-vesilämpöpumppu</i>	
Lauhdutin (vesipiiri)	10
Höyrystin (ulkoilma)	8
<i>Maalämpöpumppu</i>	
Lauhdutin (vesipiiri)	10
Höyrystin (vesipiiri)	5
<i>Poistoilmalämpöpumppu</i>	
Lauhdutin (vesipiiri)	10
Höyrystin (poistoilma)	5

Lämpöpumpun mitatun tai muulla tavoin varmennetun lämpökertoimen COP_M sekä kaavalla (12) lasketun Carnot-lämpökertoimen avulla voidaan laskea lämpöpumpun lämmitysprosessin häviöt huomioon ottaava häviökerroin f_T . Mikäli mitatulle lämpökertoimelle on tehty lämpötilakorjaus meno- ja paluuveden lämpötilaerotuksen suhteen, käytetään kaavassa (14) lämpökertoimen COP_M sijaan kaavan (11) avulla korjattua lämpökerrointa COP_T .

$$f_T = \frac{COP_M}{COP_C} \quad (14)$$

COP_M lämpöpumpun mitattu tai muulla tavoin varmennettu lämpökerroin

COP_C lämpöpumpun Carnot-lämpökerroin.

Lämpökertoimen lämpötilakorjaus tehdään laskemalla ensin kaavan (14) avulla häviökerroin niille toimintapisteille, joissa lämpökerroin COP_M tunnetaan. Koska häviökerroin f_T ei yleensä pysy vakiona koko lämpöpumpun toiminta-alueella, saadaan lämpötilakorjaus tehtyä sitä tarkemmin, mitä useammassa toimintapisteessä häviökerroin määritetään. Tämän jälkeen lasketaan lämpöpumpun Carnot-lämpökerroin kaavojen (12) ja (13) avulla käyttäen laskentakohteen lämmönjakopiirin ja lämmönlähteen lämpötiloja. Laskennassa käytettävä lämpötilakorjattu lämpökerroin COP_M lasketaan kaavan (12) avulla tulokseksi saatujen häviökertoimien ja Carnot-lämpökertoimien avulla.

3.5.3 Toimintapisteen lämpötila

Toimintapisteeet valitaan lämpötilaväleille siten, että ne mahdollisimman hyvin kuvaavat välin keskilämpötilaa lämpötilavälillä. Toimintapisteeet voidaan valita vastaamaan esimerkiksi standardin SFS-EN 14511-2 mittauslämpötiloja.

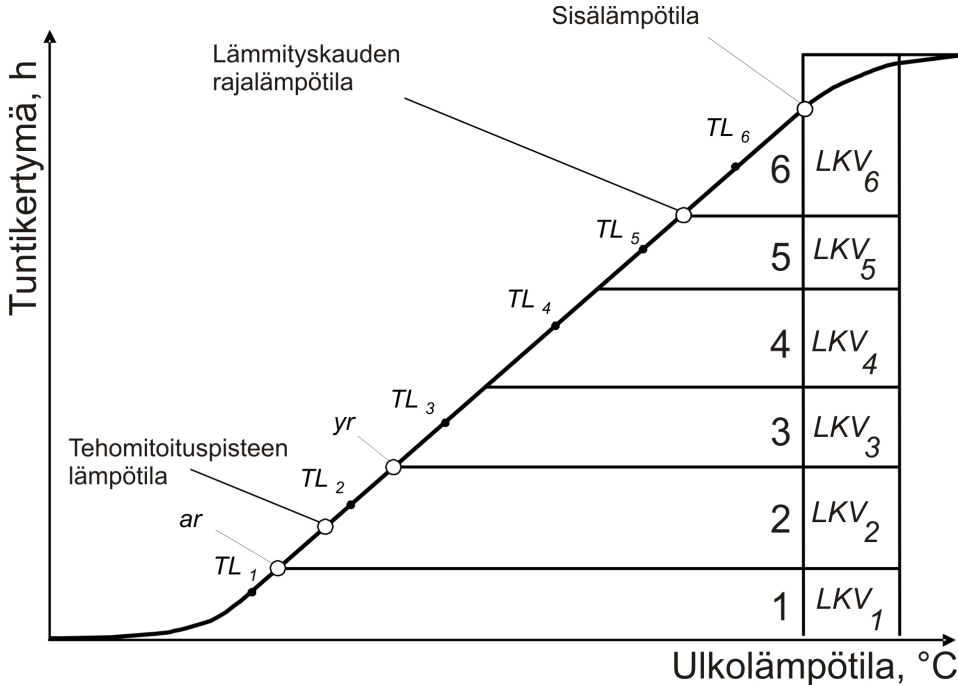
3.5.4 Painokertoimet lämpötilaväleille

Painokertoimen avulla vuotuinen tilojen lämmöntarve ja lämpimän käyttöveden lämmöntarve jaetaan toimintapisteeiden mukaisille lämpötilaväleille.

Painokertoimet tilojen lämmitykselle lasketaan pysyvyykäyrälle astetuntien kertymän avulla lämmityskaudelle. Painokertoimet lämpimälle käyttövedelle lasketaan jakamalla vuotuinen kulutus välien tuntikertymien suhteessa koko vuoden ajalle.

3.5.4.1 Tilojen lämmityksen painokerroin

Pysyvyyskäyrämenetelmä perustuu arvioon ulkolämpötilan kestosta ajan suhteen. Pysyvyyskäyrä jaetaan lämpötilaväleihin tunnin keskiarvolämpötilan mukaisesti. Lämpötilavälillä (TP₁-TP₆) on ylä- ja alalämpötila sekä toimintalämpötila. Laskennassa oletetaan, että toimintalämpötila vastaa koko lämpötilavälin keskimääräistä lämpötilaa.



Kuva 4. Ulkolämpötilan pysyvyyskäyrä. Pysyvyyskäyrällä on esitetty toimintapisteet TL₁-TL₆. Välille 2 on esitetty välin yläraja (yr) ja alaraja (ar). Lämpimälle käyttövedelle lasketaan kertoimet, joilla lämpimän käyttöveden (LKV) lämmitysenergian tarve jaetaan vastaaville lämpötilaväleille. Tuntikertymän mukaisten yläraja ja alaraja-arvojen avulla lasketaan väleille painokertoimet.

Painokertoimet tilojen lämmityksen lämpötilaväleille lasketaan seuraavasti.

$$k = \frac{DH_{yr} - DH_{ar}}{DH_{lk}} \quad (15)$$

k painokerroin

DH_{yr} kertyneet astetunnit välin yläraja-arvon kohdalla (luetaan liitteen 2 taulukosta) °Ch

DH_{ar} kertyneet astetunnit välin alaraja-arvon kohdalla (luetaan liitteen 2 taulukosta) °Ch

DH_{lk} lämmityskauden ulkolämpötilaa vastaava astelukujen kertymä (luetaan liitteen 2 taulukosta) °Ch.

Tilojen lämmitysenergian tarve jokaiselle lämpötilavälille (pysyvyyskäyrävälille) lasketaan seuraavan kaavan avulla

$$Q_{lt} = kQ_{klt} \quad (16)$$

Q_{lt} jakson lämmöntarve, kWh

Q_{klt} tilojen kokonaislämmöntarve lämmityskaudella, kWh.

3.5.4.2 Aika lämpötilavälillä

Tilojen lämmityksessä lämpöpumpun toiminta-aika lämpötilavälillä lasketaan pysyvyyskäyrältä luettujen tuntien ylä- ja alarajan erotuksena.

$$t_j = N_{yr} - N_{ar} \quad (17)$$

t_j aika lämpötilavälillä, h

N_{yr} kertyneet tunnit ylemmälle lämpötilarajalle asti, h

N_{ar} kertyneet tunnit alemmalle lämpötilarajalle asti, h

Jos lämpöpumpun käyntiajalle on rajoituksia esimerkiksi lämpötilan tai sähkön kulutuksen vuorokausirytmiiin liittyen, käyntiaika lämpötilavälillä lasketaan kaavalla (18)

$$t_{t,j} = t_j \frac{24 - t_{katko}}{24} \quad (18)$$

$t_{t,j}$ käyntiaika lämpötilavälillä, h

t_{katko} toiminnalle asetettu katko 24 tunnin aikana, h.

3.5.4.3 Lämpimän käyttöveden painokerroin

Lämpimän käyttöveden lämmöntarve lämpötilavälillä lasketaan painokertoimen avulla. Painokerroin lasketaan jakamalla aika lämpötilavälillä koko vuoden tunneilla. Painokertoimen avulla käyttöveden lämmöntarve lasketaan jokaiselle lämpötilavälille.

$$k_{lkv} = \frac{t_j}{t_{tot}} \quad (19)$$

k_{lkv} lämpimän käyttöveden painokerroin

t_j aika lämpötilavälillä, h

t_{tot} kokonaislaskenta-aika (vuosi), h.

Käyttöveden lämmitysenergian tarve lämpötilavälillä lasketaan kaavalla (20)

$$Q_{lkv,lt} = k_{lkv} Q_{lkv,kl} \quad (20)$$

$Q_{lkv,lt}$ lämmöntarve lämpimälle käyttövedelle lämpötilavälillä, kWh

$Q_{lkv,kl}$ kokonaislämmöntarve lämpimälle käyttövedelle vuoden aikana, kWh.

3.5.4.4 Osateho

On/off-tyyppisistä lämpöpumpuista poiketen, invertteri-säätöiset lämpöpumput voivat toimia myös osateholla. Osatehosäädön huomioon ottamiseksi lämpökertoimen arvossa, tarvitaan osatehon arvolla mitattuja tuloksia. Tällöin tarvitaan esimerkiksi menetelmän CEN/TS 14825 mukaisesti määritetyt lämpökertoimen arvoja lämpöpumpun osateholla. Lämpöpumpun kuormituksen käyttösuhte voidaan laskea kaavalla

$$\beta_j = \frac{Q_{jlt}}{\phi_{lp,jlt} t_j} \quad (21)$$

β_j	kuormituksen käyttösuhtekerroin
$\phi_{lp,jlt}$	lämpöpumpun lämpöteho lämpötilavälillä, kW
Q_{jlt}	jakson lämmöntarve, kWh
t_j	käyntiaika lämpötilavälillä, h.

Mikäli lämpökertoimen arvot tunnetaan esimerkiksi 50% ja 100% osatehoilla, voidaan lämpökertoimen arvoja interpoloida kuormituksen käyttösuhtekerroimen suhteen välillä 0,5 ja 1,0.

3.5.5 Lisälämmitys

Lisälämmitystä tarvitaan, kun lämpöpumppu ei pysty tuottamaan tilojen ja käyttöveden lämmitystehontarvetta kokonaan. Lisälämmitystarve aiheutuu joko lämpöpumpun toimintaan liittyvistä lämpötilarajoituksista tai lämpöpumpun osatehomitoituksesta, jolloin lämpöpumppu ei tuota rakennuksen lämmitystehontarvetta kokonaan. Esimerkiksi ulkoilmalämpöpumpuilla on ulkoilman alarajalämpötila, jota matalammilla lämpötiloilla lämpöpumppua ei ole suositeltavaa käyttää.

Jokaiselle lämpötilavälille lasketaan oma lisälämmityskerroin, jotta saadaan laskettua jakson lisälämmitystarve. Lisälämmitystarve lasketaan jokaiselle lämpötilavälille. Lisälämmitystarve lasketaan sekä tiloille että lämpimälle käyttövedelle seuraavan kaavan avulla

$$Q_{ll} = k Q_{jlt} \quad (22)$$

Q_{ll}	jakson lisälämmitystarve, kWh
Q_{jlt}	jakson lämmöntarve, kWh
k	lisälämmityskerroin.

Kun lisälämmitystarve riippuu lämpöpumpun ominaisuuksista, niin tarvittavan lisälämmityksen kertoimet lasketaan seuraavissa luvuissa esitettyjen laskentakaavojen avulla. Riippuen lämpöpumpun toiminnalle asetettavista rajoituksista ja valituista lämpötilaväleistä, laskentakaavoja tulee käyttää esitettyjen periaatteiden mukaisesti.

3.5.5.1 Lämpöpumpun toimintarajasta johtuva lisälämmitys

Kun lämpöpumpulla ei pystytä tuottamaan lämmitystehoa lämpöpumpun ylärajanlämpötilasta johtuen, tarvitaan lisälämmitystä. Esimerkiksi patteriverkoston menoveden tai lämpimän käyttöveden lämmityksen vaatima lämpötila voi olla korkeampi kuin lämpöpumpun ylärajalämpötila.

Tilojen lämmityksen lisälämmöntarve lasketaan kaavalla

$$k = \frac{Q_{ll}}{Q_{jlt}} = \frac{m_n c_n (T_{lj} - T_{lr}) t_k}{Q_{jlt}} \quad (23)$$

m_n	lämmönjakojärjestelmän massavirta, kg/s
c_n	lämmönjakojärjestelmän kiertonesteen lämpökapasiteetti, J/kg K
T_{lj}	lämmönjakojärjestelmän menoveden lämpötila lämpötilavälillä, °C
T_{lr}	lämpöpumpun ylärajalämpötila, °C
t_k	lämpöpumpun käyntiaika lämpötilavälillä, h.

Lisälämmitystä tarvitaan yleensä lämpimän käyttöveden lämmityksessä. Lisälämmityskerroin lämpimälle käyttövedelle lasketaan kaavalla

$$k = \frac{Q_{ll}}{Q_{jlt}} = \frac{T_{lkv} - T_{lr}}{T_{lkv} - T_{kv}} \quad (24)$$

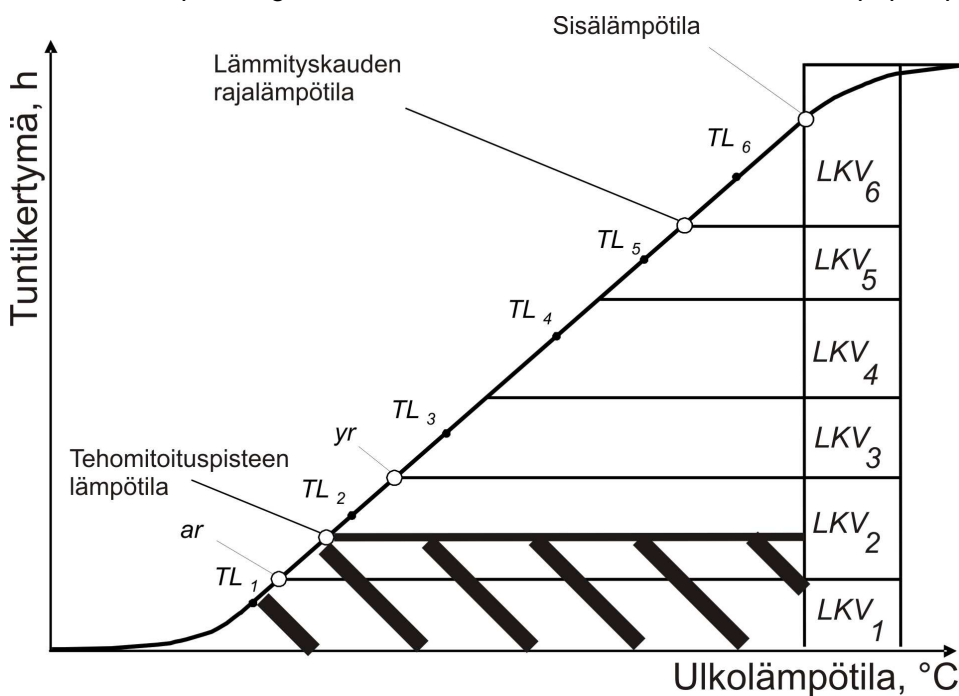
T_{lkv} lämpimän käyttöveden lämpötila, °C

T_{lr} lämpöpumpun ylärajalämpötila, °C

T_{kv} kylmän käyttöveden lämpötila, °C.

3.5.5.2 Lisälämmitys tehomitoituspisteen alapuolella ulkolämpötilasta riippumatta

Tässä tapauksessa lämmityspumpun toimintaa on rajoitettu siten, että tehomitoituspisteen alapuolella tarvittava lämpöenergia tuotetaan kokonaan muulla tavoin kuin lämpöpumpulla (kuva 5).



Kuva 5. Lämpöpumpua ei käytetä tehomitoituspisteen lämpötilaa matalammilla lämpötiloilla, koska tällöin lämmitys tuotetaan lisälämmittimellä. Tehomitoituspiste on merkitty kuvan lämpötilaväliin 2, mutta se voi olla myös muissa lämpötilaväleissä rakennuksen lämmöntarpeesta ja lämpöpumpun tuottamasta lämpötehosta riippuen. Lisälämmitystä tarvitaan viivoitetulla alueella.

Kun tehomitoituspiste on alimmassa lämpötilavälissä, niin lisälämmityksen osuus lasketaan kaavalla (25). Pysyvyyskäyrän lämpötilat ja astetuntien kertymät on esitetty liitteestä 2.

$$k = \frac{DH_{tpiste}}{DH_{yr}} \quad (25)$$

DH_{tpiste} kertyneet astetunnit tehomitoituspisteeseen asti, °Ch

DH_{yr} kertyneet astetunnit jakson ylärajalle asti, °Ch

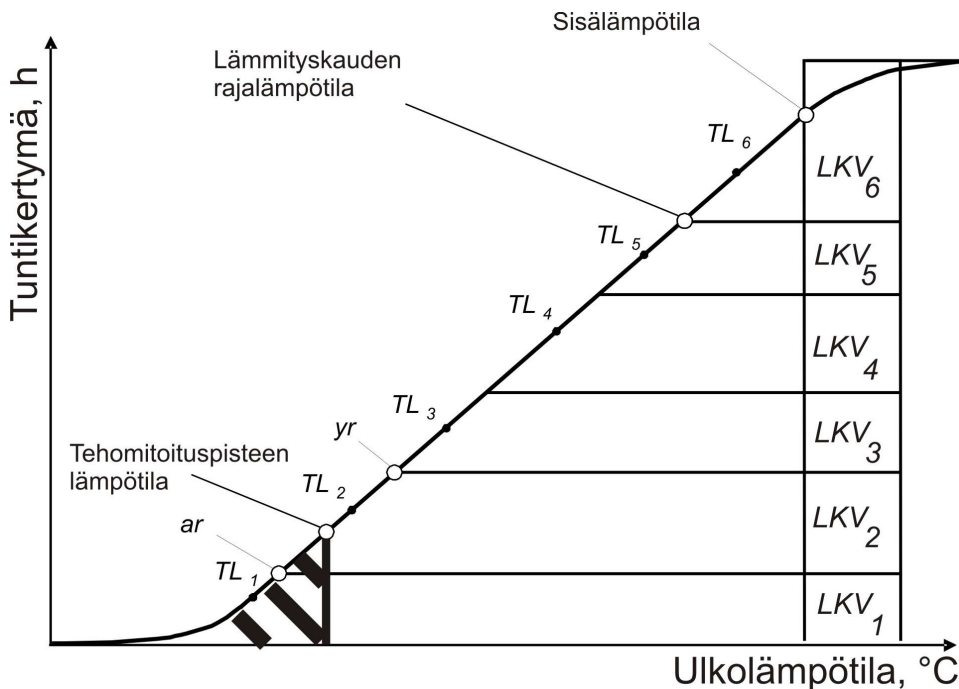
Jos tehomitoituspiste sijaitsee muussa kuin alimmassa lämpötilavälissä, niin kyseisessä lämpötilavälissä lisälämmityksen painokerroin lasketaan käytetään kaavaa (26). Muissa lämpötilaväleissä lisälämmityksen painokerroin saa arvon 1, kun lämpötilavälin ylärajalämpötila on pienempi kuin tehomitoituspisteen lämpötila.

$$k = \frac{DH_{\text{tpiste}} - DH_{\text{ar}}}{DH_{\text{yr}} - DH_{\text{ar}}} \quad (26)$$

DH_{ar} kertyneet astetunnit jakson alarajalle asti, °Ch .

3.5.5.3 Lisälämmitys tehomitoituspisteen alapuolella ulkolämpötilasta riippuen

Tässä tapauksessa lämpöpumppu toimii koko lämmityskauden, mutta ei pysty tuottamaan huipputarpeen aikaista lämpöenergiaa tehomitoituspistelämpötilan alapuolella.



Kuva 6. Lämpöpumpulla ei pystytä tuottamaan huippupakkasten aikana koko energiantarvetta. Lisäenergia tuotetaan lisälämmittimellä. Tehomitoituspiste on merkitty kuvassa lämpötilavälille 2.

Kun tehomitoituspiste on alimmassa lämpötilavälissä, niin lisälämmityksen osuus lasketaan kaavalla (27). Pysyvyyssäyrän lämpötilat ja astetuntien kertymät on esitetty liitteestä 2.

$$k = \frac{DH_{\text{tpiste}} - (T_s - T_{\text{tpiste}})N_{\text{tpiste}}}{DH_{\text{yr}}} \quad (27)$$

DH_{tpiste} kertyneet astetunnit tehomitoituspisteeseen asti, °Ch

T_s astepäivälukua vastaava sisälämpötila, °C

T_{tpiste} tehomitoituspisteen lämpötila, °C

N_{yr} kertyneet tunnit ylemmälle lämpötilarajalle asti, h.

Jos tehomitoituspiste on muussa kuin alimmassa välissä, tarvittava lisälämmitys lasketaan lämpötilaväleillä kaavoilla (28). ja (29). Kaavaa (28) käytetään siinä lämpötilavälissä, jossa tehomitoituspiste sijaitsee.

$$k = \frac{(DH_{\text{tpiste}} - DH_{\text{ar}}) - (T_s - T_{\text{tpiste}})(N_{\text{tpiste}} - N_{\text{ar}})}{DH_{\text{yr}} - DH_{\text{ar}}} \quad (28)$$

DH_{tpiste} kertyneet astetunnit tehomitoituspisteeseen asti, °Ch

DH_{yr} kertyneet astetunnit jakson ylärajalle asti, °C h

DH_{ar} kertyneet astetunnit jakson alarajalle asti, °Ch

T_s astepäivälukua vastaava sisälämpötila, °C

N_{tpiste} kertyneet tunnit tehomitoituspisteeseen asti, h

N_{ar} kertyneet tunnit alemmalle lämpötilarajalle asti, h.

Kun tehomitoituspistelämpötila on suurempi kuin välin ylärajalämpötila, niin niissä väleissä lisälämmityskerroin lasketaan kaavalla (29).

$$k = \frac{(DH_{\text{yr}} - DH_{\text{ar}}) - (T_s - T_{\text{tpiste}})(N_{\text{yr}} - N_{\text{ar}})}{DH_{\text{yr}} - DH_{\text{ar}}} \quad (29)$$

DH_{tpiste} kertyneet astetunnit tehomitoituspisteeseen asti, °Ch

DH_{yr} kertyneet astetunnit jakson ylärajalle asti, °C h

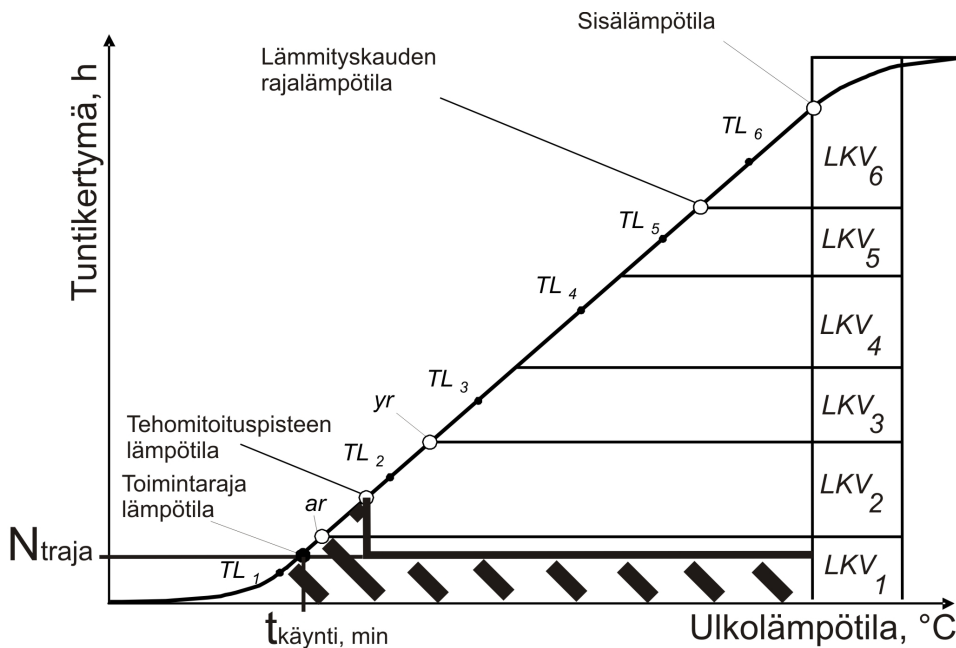
T_s astepäivälukua vastaava sisälämpötila, °C

T_{tpiste} tehomitoituspisteen lämpötila, °C

N_{yr} kertyneet tunnit ylemmälle lämpötilarajalle asti, h.

3.5.5.4 Lämpöpumpun minimi käyntilämpötila rajoittaa lämpöpumpun toimintaa

Tässä tapauksessa lämpöpumpun toimintarajalämpötila on tehomitoituspisteen lämpötilan alapuolella. Lämpöpumppu tuottaa kaiken tarvittavan lämpötilan tehomitoituspisteen lämpötilan yläpuolella ja osan lämpöenergiasta sen alapuolella. Toimintarajalämpötilan alapuolella kaikki tarvittava lämpöenergia tuotetaan lisälämmittimellä.



Kuva 7. Tehomitoituspisteen lämpötilan alapuolella tarvitaan lisälämmitystä. Lämpöpumpua ei käytetä toimintarajalämpötilan, $t_{\text{käynti,min}}$, alapuolella. Lämpötilarajoituksella voidaan rajata lämpöpumpun toimintaa, kun sen toiminta ei enää ole kannattavaa lämmön tuottamiseen.

Kun tehomitoituspiste ja toimintaraja ovat alimman lämpötilavälin sisällä, niin kyseisessä lämpötilavälissä lisälämmityskertoin lasketaan kaavalla (30).

$$k = \frac{DH_{\text{tpiste}} - (T_s - T_{\text{tpiste}})(N_{\text{tpiste}} - N_{\text{traja}})}{DH_{\text{yr}}} \quad (30)$$

DH_{tpiste} kertyneet astetunnit tehomitoituspisteeseen asti, °Ch

DH_{yr} kertyneet astetunnit jakson ylärajalle asti, °Ch

T_s astepäivälukua vastaava sisälämpötila, °C

T_{tpiste} tehomitoituspisteen lämpötila, °C

N_{tpiste} kertyneet tunnit tehomitoituspisteeseen asti, h

N_{traja} kertyneet tunnit minimi käyntilämpötilaan asti, h.

Jos tehomitoituspiste ei sijaitse alimmassa lämpötilavälissä, niin välien lisälämmitysenergia lasketaan kaavoilla (31) ja (32). Kaavaa (31) käytetään siinä lämpötilavälissä, jossa tehomitoituspiste sijaitsee.

$$k = \frac{(DH_{\text{tpiste}} - DH_{\text{ar}}) - (T_s - T_{\text{tpiste}})(N_{\text{tpiste}} - N_{\text{ar}})}{DH_{\text{yr}} - DH_{\text{ar}}} \quad (31)$$

DH_{ar} kertyneet astetunnit jakson alarajalle asti, °Ch

N_{ar} kertyneet tunnit alemmalle lämpötilarajalle asti, h.

Kun tehomitoituspistelämpötila on suurempi kuin välin ylärajalämpötila ja toimintarajalämpötila on lämpötilavälillä, niin lisälämmityskertoin lasketaan kaavalla (32).

$$k = \frac{(DH_{yr} - DH_{ar}) - (T_s - T_{tpiste})(N_{yr} - N_{traja})}{DH_{yr} - DH_{ar}} \quad (32)$$

DH_{yr}	kertyneet astetunnit jakson ylärajalle asti, °Ch
T_s	astepäivälukua vastaava sisälämpötila, °C
T_{tpiste}	tehomitoituspisteen lämpötila, °C
N_{yr}	kertyneet tunnit ylemmällä lämpötilarajalle asti, h
N_{traja}	kertyneet tunnit asetetulle toimintarajalle asti, h

Jos tehomitoituspisteen lämpötila on suurempi kuin ylärajalämpötila ja toimintarajalämpötila on pienempi kuin lämpötilavälin alarajalämpötila, niin lohkon lisälämmityskerroin lasketaan kaavalla (29).

Jos toimintarajalämpötila on suurempi kuin lämpötilavälin ylärajalämpötila, niin lämpötilavälin lisälämmityskerroin on 1.

3.5.5.5 Käyntiaika

Lämpöpumpun käyntiaikaan lasketaan sekä tilojen lämmityksen vaatima käyntiaika että lämpimän käyttöveden lämmityksen vaatima käyntiaika.

$$t_k = \frac{Q_{jlt}(1-k)}{\phi_{lp}} \quad (33)$$

t_k	käyntiaika, h
Q_{jlt}	jakson lämmöntarve (tilojen lämmitys ja lämmin käyttövesi), kWh
k	jakson lisälämmityskerroin,
ϕ_{lp}	lämpöpumpun lämmitysteho lämpötilavälillä, kW.

Käyntiaika t_k , lasketaan sekä tilojen että käyttöveden lämmitykselle. Kokonaiskäyntiaika on lämmityksen ja lämpimän käyttöveden lämmitykseen kuluva aika.

Yhteenlaskettu käyntiaika ei voi olla kohdassa 3.5.4.2 laskettua lämpötilavälin aikaa pidempi. Jos yhteenlaskettu käyntiaika on kuitenkin lämpötilavälin aikaa pidempi, niin täydentävää lisälämmitystä tarvitaan tälle yli menevälle ajalle.

3.5.5.6 Täydentävä lisälämmitys

Luvussa 3.5.5.5. lasketun käyntiajan t_k avulla tarkistetaan riittääkö luvuissa 3.5.5.3 ja 3.5.5.4 käytetyllä laskentamenetelmällä laskettu lisälämmitysenergia kattamaan kaiken lisälämmitystarpeen. E.m. luvuissa käytetty lisälämmityksen laskentamenetelmä ei ota huomioon sitä, että lämpöpumpun lämmitysteho riippuu lämmönlähteen lämpötilasta. Täydentävää lisälämmitystä tarvitaan, mikäli lämpöpumpun lämmitysteho pienenee tehomitoituspistettä alemmilla ulkolämpötiloilla. Täydentävä lisälämmitysenergia lasketaan seuraavan kaavan avulla.

$$Q_{tll} = \phi_{lp}(t_k - t_j) \quad (34)$$

Q_{tll}	täydentävä lisälämmitys, kWh
t_k	käyntiaika, h
t_j	aika lämpötilavälillä, h

ϕ_{lp} lämpöpumpun lämmitysteho lämpötilavälillä, kW.

3.5.5.7 Lisälämmityksen energiankulutuksen jakautuminen tilojen ja LKV:n kesken

Kun lämpöpumpun SPF-luku määritellään erikseen tilojen ja käyttöveden lämmitykselle (kts. luku 3.5.9), tulee lisälämmitysenergia määritellä erikseen sekä tiloille että käyttövedelle. Tilojen ja käyttöveden lisälämmitysenergian osuudet voidaan arvioida esimerkiksi tilojen ja käyttöveden energiankulutuksien suhteen avulla seuraavasti tai laskea tarkemmin muilla laskentamenetelmillä.

Täydentävä lisälämmitys jaetaan tilojen ja LKV:n energiankulutuksien suhteen avulla laskemalla tilojen ja käyttöveden energiankulutuksien osuudet kaavojen (35) ja (36) avulla lämpötilaväleille. Lämmityskauden ulkopuolella n_{lkv} on 1.

$$n_{tilat} = \frac{Q_{tilat}}{Q_{tilat} + Q_{lkv}} \quad (35)$$

$$n_{lkv} = \frac{Q_{lkv}}{Q_{tilat} + Q_{lkv}} \quad (36)$$

Tilojen kokonaislisälämmitysenergia ($Q_{kl,tilat}$) on tällöin

$$Q_{kl,tilat} = n_{tilat} (Q_{ll,tilat} + Q_{tl,tilat}) \quad (37)$$

$Q_{ll,tilat}$ lisälämmitys tiloille, kWh

$Q_{tl,tilat}$ täydentävä lisälämmitys tiloille, kWh.

Käyttöveden kokonaislisälämmitysenergia ($Q_{kl,lkv}$) on tällöin

$$Q_{kl,lkv} = n_{lkv} (Q_{ll,tilat} + Q_{tl,tilat}) + Q_{ll,LKV} \quad (38)$$

$Q_{ll,LKV}$ lämpöpumpun ylärajalämpötilasta johtuva LKV:n lisälämmitystarve (kts. kaava 24).

3.5.6 Lämpöpumpun sähköenergiankulutus

Lämpöpumpun sähköenergiankulutus lasketaan tiloille ja lämpimälle käyttövedelle erikseen. Jokaiselle lämpötilavälille lasketaan kulutus seuraavan kaavan avulla

$$W_{lp,tilat} = \frac{Q_{jlt,tilat} - Q_{kl,tilat}}{COP_{tp,tilat}} \quad (39)$$

$W_{lp,tilat}$ lämpöpumpun vuotuinen sähkönkulutus tilojen lämmityksessä, kWh

$Q_{jlt,tilat}$ jakson lämmöntarve tiloille, kWh

$COP_{tp,tilat}$ lämpökerroin toimintapisteessä tilojen lämmitykselle

$Q_{kl,tilat}$ tilojen kokonaislisälämmitysenergia, kWh.

$$W_{lp,lkv} = \frac{Q_{jlt,lkv} - Q_{kl,lkv}}{COP_{tp,lkv}} \quad (40)$$

$W_{lp,lkv}$ lämpöpumpun vuotuinen sähkönkulutus lkv:n lämmityksessä, kWh

$Q_{jlt, lkv}$	jakson lämmöntarve lämpimälle käyttövedelle, kWh
$Q_{kil, lkv}$	käyttöveden kokonaislisälämmitysenergia, kWh
$COP_{tp, lkv}$	lämpöeroin toimintapisteessä käyttöveden lämmitykselle.

Lämpöpumpun vuotuinen sähkönkulutus saadaan laskemalla yhteen lämpötilavälien sähkönkulutus.

3.5.7 Apulaitteiden sähkönkulutus

Apulaitteiden energiankulutus, joka ei sisälly lämpökertoimen mitattuihin arvoihin, joissain laitteissa esimerkiksi lämmönkeruupiirin pumppaukseen kuluva sähköenergia, lasketaan erikseen. Poistoilmalämpöpumpun puhaltimien sähkönkulutus lasketaan mukaan apulaitteiden sähkönkulutukseen, siltä osin kuin se ei ole mukana lämpöpumpun lämpökertoimen mitatussa arvossa. Rakennuksen lämmönjakopiirin pumppujen sähkönkulutus lasketaan osana lämmönjakoverkoston sähkönkulutusta esimerkiksi D5 (2012) laskentamenetelmällä. Tällöin lämmönjakopiirin pumppausenergiaa ei lasketa mukaan lämpöpumpun apulaitteiden sähkönkulutukseen.

Jos tarkempaa tietoa ei ole saatavilla, voidaan apulaitteiden sähkönkulutus jakaa tilojen ja käyttöveden kesken tilojen ja käyttöveden lämmitysenergioiden suhteessa.

Lämpöpumpun apulaitteiden sähkönkulutus W_{apu} , joka ei sisälly lämpöpumpun lämpökertoimen mitattuihin arvoihin, voidaan laskea kaavan (41) avulla

$$W_{apu} = P_{apu} \Delta t \quad (41)$$

P_{apu} lämpöpumpun apulaitteiden sähköteho, joka ei sisälly mitattuun lämpökertoimen arvoon, kW

Δt apulaitteiden käyttöaika laskentajaksolla, h.

3.5.8 Lämpöpumpun tuottama lämpöenergia

Lämpöpumpulla tuotettava tilojen ja käyttöveden lämmitysenergia lasketaan jokaiselle lämpötilavälille ottamalla lisälämmitykseen tarvittava energiankulutus huomioon kaavojen (42) ja (43) mukaisesti.

$$Q_{LP, lämmitys, tilat} = Q_{jlt, tilat} - Q_{kil, tilat} \quad (42)$$

$Q_{LP, lämmitys, tilat}$ lämpöpumpun tuottama tilojen lämmitysenergia, kWh

$Q_{jlt, tilat}$ tilojen lämmitysjärjestelmän energiankulutus, kWh

$Q_{kil, tilat}$ tilojen lisälämmitysjärjestelmän kokonaienergiankulutus, kWh

Mikäli lämpöpumppua käytetään ilmanvaihdon tuloilman lämmityksessä, ilmanvaihdon lämmityksen energiankulutus lisätään kaavassa (44) rakennuksen tilojen lämmitysenergian kulutukseen $Q_{LP, lämmitys, tilat}$.

$$Q_{LP, lämmitys, LKV} = Q_{jlt, LKV} - Q_{kil, LKV} \quad (43)$$

$Q_{LP, lämmitys, LKV}$ lämpöpumpun tuottama käyttöveden lämmitysenergia, kWh

$Q_{jlt, LKV}$ käyttöveden lämmitysjärjestelmän energiankulutus, kWh

$Q_{kil, LKV}$ käyttöveden lisälämmitysjärjestelmän kokonaisenergiankulutus, kWh.

Tilojen ja käyttöveden lämmitysjärjestelmän energiankulutukset ($Q_{\text{lämmitys,tilat}}$ ja $Q_{\text{lämmitys,LKV}}$) voidaan laskea esimerkiksi RakMk (D5 2012) laskentamenetelmällä.

3.5.9 SPF-luku

Lämpöpumpun SPF-luku tilojen lämmitykselle lasketaan kaavan (44) avulla

$$\text{SPF}_{\text{tilat}} = \frac{Q_{\text{LP,lämmitys,tilat}}}{W_{\text{lp,tilat}} + W_{\text{apu}}} \quad (44)$$

$Q_{\text{LP,lämmitys,tilat}}$ lämpöpumpun tuottama tilojen lämmitysenergia, kWh

$W_{\text{lp,tilat}}$ lämpöpumpun vuotuinen sähkönkulutus tilojen lämmityksessä, kWh

W_{apu} apulaitteiden sähkönkulutus, kWh.

Lämpöpumpun SPF-luku lämpimälle käyttövedelle lasketaan kaavan (45) avulla

$$\text{SPF}_{\text{lkv}} = \frac{Q_{\text{LP,lämmitys,LKV}}}{W_{\text{lp,lkv}} + W_{\text{apu}}} \quad (45)$$

$Q_{\text{LP,lämmitys,LKV}}$ lämpöpumpun tuottama käyttöveden lämmitysenergia, kWh

$W_{\text{lp,lkv}}$ lämpöpumpun vuotuinen sähkönkulutus lkv:n lämmityksessä, kWh

W_{apu} apulaitteiden sähkönkulutus, kWh.

LÄHTEET

CEN/TS 14825. Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps with electrically driven compressors for space heating and cooling -Testing and rating at part load conditions. Technical specification.

D3. 2012. Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, Helsinki, Ympäristöministeriö.

D5. 2012. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, ohjeet 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, Helsinki, Ympäristöministeriö.

SFS-EN 15316-4-2. 2009. Heating systems in buildings - Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies - Part 4-2: Space heating generation systems, heat pump systems.

SFS-EN 14511-2. Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps with electrically driven compressors for space heating and cooling - Part 2: Test conditions

SFS-EN 14511-3. 2008. Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps with electrically driven compressors - Heating mode - Part 3: Testing and requirements for marking for sanitary hot water units.

SFS-EN 16147. 2011. Heat pumps with electrically driven compressors. Testing and requirements for marking of domestic hot water units.

LIITE 1

Seuraavissa esimerkeissä 1-4 lasketaan pientaloon asennetun maalämpöpumpun tuottama lämmitysenergia, tarvittava lisälämmitysenergia sekä sähkönkulutus. Maalämpöpumppua käytetään tilojen, ilmanvaihdon jälkilämmityksen ja käyttöveden lämmitykseen. Laskenta suoritetaan sekä yksinkertaisella että yksityiskohtaisella menetelmällä.

Esimerkit 1 ja 2 kuvaavat tapausta, jossa käytetään vesikiertoista lattialämmitystä (40/30°C) mitoituksella ja esimerkit 3 ja 4 kuvaavat tapausta, jossa käytetään vesikiertoista radiaattorilämmitystä (45/30°C) mitoituksella.

On syytä korostaa, että laskentaesimerkeissä ei tehdä lämpöpumpun tehomitoitusta. Laskentaesimerkeissä lähdetään siitä, että lämpöpumppu on jo valittu energialaskentaa tehtäessä. Tässä laskentaoppaassa esitetty yksinkertainen ja yksityiskohtainen laskentamenetelmä ottaa kuitenkin huomioon lämpöpumpun tehomitoituksen vaikutuksen energiankulutukseen.

Esimerkki 1. Yksinkertainen laskentamenetelmä: maalämpöpumppu ja vesikiertoinen lattialämmitys,

Lähtötiedot

Rakennus sijaitsee Helsingissä eli säävyöhykkeellä I-II.

Rakennuksen lämmitysenergiankulutus voidaan laskea esimerkiksi RakMk (D5 2012) laskentamenetelmällä:

Tilojen lämmityksen vuotuinen energiankulutus $Q_{\text{lämmitys,tilat}}$ on 17087 kWh.

Käyttöveden lämmityksen vuotuinen energiankulutus $Q_{\text{lämmitys,ikv}}$ on 5350 kWh.

Lämmitysjärjestelmän menoveden lämpötila T_m on 40 °C (mitoitustilanteessa $T_u = -26$ °C).

Lämpöpumpun lämmitysteho (ϕ_{lpn}) saadaan valmistajan ilmoittamista lämpöpumpun tuotetiedoista. Rakennuksen tilojen tarvitsema lämmitysteho (ϕ_{tila}) mitoituslämpötilassa saadaan esimerkiksi RakMk (D5 2012) mukaisesti tehtävästä tehontarvelaskelmasta.

$$\phi_{\text{lpn}} [T_{\text{ulko}} / T_{\text{meno}} (0/35)^\circ\text{C}] = 7300 \text{ W}$$

$$\phi_{\text{tila}} [-26 \text{ }^\circ\text{C}] = 8400 \text{ W}$$

Lämpöpumppu on valittu siten, että sillä tuotetaan osa rakennuksen lämmitystarpeesta, eli lämpöpumppu on mitoitettu osateholle. Lämpöpumpun lämmönkeruupiiri on mitoitettu siten, että keruupiirin paluunesteen vuotuinen keskilämpötila on -3°C.

Laskenta

Lämpöpumpun suhteellinen lämpöteho lasketaan lämpöpumpun lämpötehon $\phi_{\text{lpn}}(0/35)^\circ\text{C}$ ja rakennuksen tilojen lämmitystehontarpeen $\phi_{\text{tila}}(-26^\circ\text{C})$ avulla.

$$\phi_{\text{lpn}}/\phi_{\text{tila}} = 0,87$$

Suhteellisen lämpötehon lukuarvot on taulukoitu (kts. taulukko 1) yhden desimaalin tarkkuudella, joten laskentatapauksen suhteellinen lämpöteho voidaan pyöristää lähimpään taulukkoarvoon tai interpoloida. Tässä tapauksessa laskettu lukuarvo 0,87 pyöristetään arvoon 0,9.

Tilojen ja käyttöveden vuotuinen lämmitysenergioiden suhde on

$$Q_{\text{lämmitys, tilat}} / Q_{\text{lämmitys, LKV}} = 17087 \text{ kWh} / 5350 \text{ kWh}$$

$$Q_{\text{lämmitys, tilat}} / Q_{\text{lämmitys, LKV}} = 3,19$$

Taulukossa 1 tilojen ja käyttöveden lämmitysenergioiden suhteelle on ilmoitettu lukuarvot 0,5, 1, 2 ja 4, joten laskentatapauksen lämmitysenergioiden suhde voidaan pyöristää lähimpään taulukkoarvoon tai interpoloida. Tässä tapauksessa laskettu arvo pyöristetään arvoon 4.

Taulukosta 1. voidaan lukea em. lähtötietojen (rakennuksen sijainti: säävyöhyke I-II, lämpöpumpun suhteellinen lämpöteho: 0,9, tilojen ja käyttöveden lämmitysenergioiden suhde: 4 ja lämmitysjärjestelmän menoveden maksimi lämpötila: 40°C) avulla maalämpöpumpun suhteellinen lämpöenergia

$$Q_{\text{lp}} / Q_{\text{lämmitys, tilat, LKV}} = 0,99 \quad (T_m = 40 \text{ °C})$$

Tilojen lisälämmitysenergia lasketaan kaavan 1 mukaisesti

$$Q_{\text{lisälämmitys, tilat}} = (1 - 0,99) \times 17087 \text{ kWh}$$

$$Q_{\text{lisälämmitys, tilat}} = 171 \text{ kWh}$$

Käyttöveden lämmityksen lisälämmitysenergia lasketaan kaavan 2 mukaisesti

$$Q_{\text{lisälämmitys, LKV}} = (1 - 0,99) \times 5350 \text{ kWh}$$

$$Q_{\text{lisälämmitys, LKV}} = 54 \text{ kWh}$$

Kaavan 3 avulla voidaan laskea lämpöpumpun tuottama lämmitysenergia tiloille.

$$Q_{\text{LP, lämmitys, tilat}} = 17087 - 171 \text{ kWh}$$

$$Q_{\text{LP, lämmitys, tilat}} = 16916 \text{ kWh}$$

Kaavan 4 avulla voidaan laskea lämpöpumpun tuottama lämmitysenergia lämpimälle käyttövedelle.

$$Q_{\text{LP, lämmitys, LKV}} = 5350 - 54 \text{ kWh}$$

$$Q_{\text{LP, lämmitys, LKV}} = 5296 \text{ kWh}$$

Taulukosta 6 saadaan maalämpöpumpun SPF-luvut tilojen ja käyttöveden lämmitykselle, kun lämmitysjärjestelmän menoveden maksimi lämpötila (40°C) ja käyttöveden lämpötila (60°C) tunnetaan ja vuotuinen keruupiiriin paluunesteen keskilämpötila on -3 °C. Sijoittamalla SFP-luvut kaavaan 5 saadaan laskettua vuotuinen lämpöpumpun sekä apulaitteiden kuluttama sähköenergia.

$$W_{\text{LP, lämmitys}} = 16916 / 3 + 5296 / 2,3$$

$$W_{\text{LP, lämmitys}} = 7941 \text{ kWh}$$

Yhteenveto

Lämpöpumpun tuottama lämmitysenergia tilojen ja käyttöveden lämmitykseen on yhteensä 22212 kWh.

Tarvittava lisälämmitysenergia tilojen ja käyttöveden lämmityksessä on yhteensä 225 kWh.

Lämpöpumpun sekä apulaitteiden sähköenergiankulutus tilojen ja käyttöveden lämmityksessä on 7941 kWh.

Esimerkki 2. Yksityiskohtainen laskentamenetelmä: maalämpöpumppu ja vesikiertoinen lattialämmitys

VAIHE 1. Lähtötiedot

Rakennus sijaitsee Helsingissä ja laskennassa käytetään liitteen 2 säätietoja.

Tilojen lämmitysenergian kulutus on 17087 kWh.

Sisälämpötila on 21 °C.

Lämmityskauden rajalämpötila 12 °C.

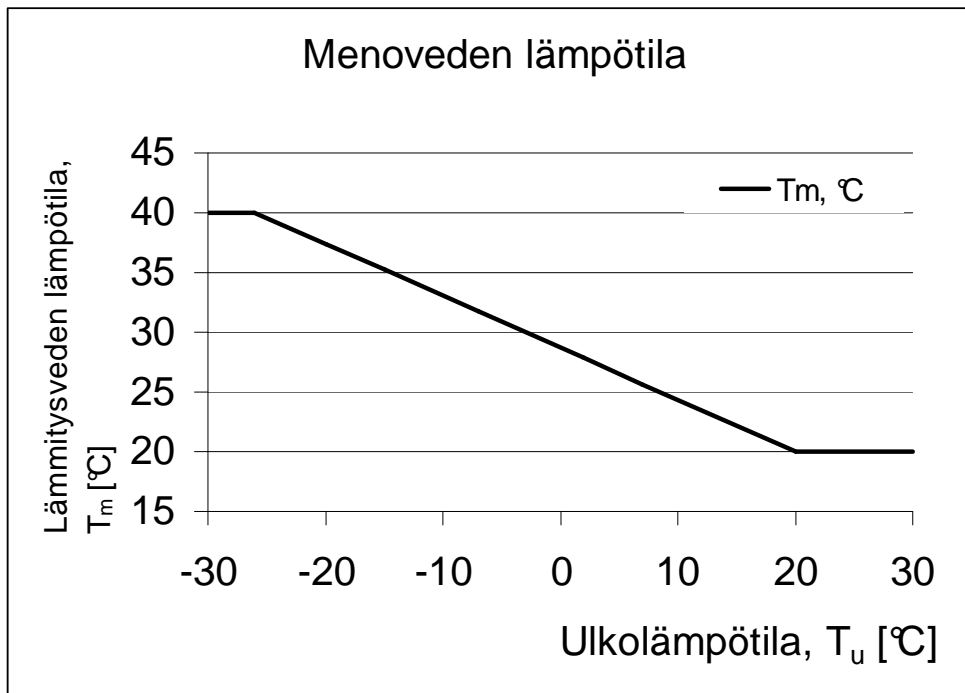
Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian kulutus 5350 kWh.

Kylmän käyttöveden lämpötila on +5 °C.

Lämpimän käyttöveden lämpötila on 60 °C.

Lämmitysjärjestelmä

Lämmitysjärjestelmänä on vesikiertoinen lattialämmitys, jossa käytetään 40/30°C mitoitusta.



Kuva L 1. Lämmitysverkoston menoveden säätökäyrä ulkolämpötilan mukaan.

Lämpöpumppu

Lämpöpumpun tuottaman lämpöenergian ja rakennuksen energiankulutustietojen avulla lasketaan lämpöpumpun tehomitoituspiste. Tehomitoituspiste saadaan interpoloimalla, kun lämpöpumpun lämmitysteho on yhtä suuri kuin rakennuksen lämmöntarve. Tehomitoituspiste sijaitsee ulkoilman lämpötilassa - 8 °C.

Lämpöpumppu toimii on/off-periaatteella ja lämmitysjärjestelmä on varustettu sähköisellä lisälämmittimellä, joka toimii tarvittaessa yhtä aikaa lämpöpumpun kanssa. Tiloja ja lämmintä käyttövettä lämmitetään vuorotellen. Lämpöpumpun toimintayläraja on 65 °C.

Laskennan lähtötiedoiksi tarvitaan maalämpöpumpun keruupiirin paluuveden lämpötila eri ulkolämpötiloilla. Tämän esimerkkitapauksen keruupiirin paluuveden lämpötila on esitetty taulukossa L1. Lämmönlähteen lämpötila voidaan määrittää esimerkiksi lämpöpumpun keruupiirin mitoitusohjelman avulla.

Taulukko L 1. Lämpöpumpun toimintalämpötilat eri ulkolämpötiloilla.

Toimintalämpötilat, ulkoilman lämpötila, TL_1 - TL_6 , °C	-20	-15	-7	2	7	20
Lämmönlähteen lämpötila, (keruupiirin paluuveden lämpötila, T_{H1} , °C)	-6,1	-6	-5,6	-4,1	-2,9	0,8

Höyrystimen ja lauhduttimen asteisuuksina käytetään seuraavia arvoja:

Höyrystimen asteisuus, ΔT_{Hr} , 5 °C

Lauhduksen asteisuus, ΔT_L , 10 °C

Valitun lämpöpumpun ominaisuudet toimintalämpötiloissa saadaan valmistajan ilmoittamista lämpöpumpun tuotetiedoista.

Taulukko L 2. Lämpöpumpun ominaisuudet eri toimintalämpötiloilla.

Toimintalämpötilat, ulkoilman lämpötila, TL_1 - TL_6 , °C	-20	-15	-7	2	7	20
Lämpöteho, Φ_{LP} (+55°C), kW	5,6	5,6	5,7	6	6,3	6,8
Lämpöpumpun sähköteho, P_{LP} , (+55°C), kW	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
Lämpökerroin, COP(+55°C), W/W	2,3	2,3	2,4	2,5	2,6	2,8

Lämpöpumpun lämpöteho, sähköteho ja lämpökerroin on ilmoitettu +55 °C lämmönjakoverkoston menoveden lämpötilalla sekä taulukossa L 1 esitetyillä lämmönlähteen lämpötiloilla.

Kun tunnetaan lämpöpumpun lämpöteho ja lämpöpumpun ottama sähköteho, voidaan laskea lämpöpumpun lämpökerroin kyseisessä pisteessä.

VAIHE 2. Valitse lämpötilavälit

Lämpötilavälit on valittu standardin (SFS-EN 14511) mukaisten testipisteiden sekä Helsingin energialaskennan referenssivuoden ulkolämpötilojen perusteella. Helsingin referenssivuoden ulkolämpötilat vaihtelevat vuoden aikana välillä -22 - +28 °C. Rakennusten lämmitysjärjestelmän tehomitoitus tehdään mitoituslämpötilassa -26°C.

Taulukko L 3. Valitut lämpötilavälit ja lämpötilaväliden rajat.

Toimintalämpötilat, ulkoilman lämpötila, TL_1 - TL_6 , °C	-20	-15	-7	2	7	20
Lämpötilavälän alaraja, T_{ar} , °C	-22	-18	-11	-2	4	14
Lämpötilavälän yläraja, T_{yr} , °C	-18	-11	-2	4	14	28

VAIHE 3. Laske lämpötilavälien painokertoimet ja lämpöenergian tarve: Luku 3.5.4

Painokertoimet lasketaan kaavoilla 15 ja 19.

Taulukko L 4. Painokertoimet tilojen lämmitykselle ja tilojen lämpöenergian tarve lämpötilavälillä.

Toimintalämpötilat, ulkoilman lämpötila, TL_1 - TL_6 , °C	-20	-15	-7	2	7	20
k, tilojen lämmitykselle	0,02	0,11	0,28	0,37	0,22	
Tilojen lämmitysenergia, $Q_{it,tilat}$, kWh	369	1839	4650	6027	3586	

Taulukko L 5. Painokertoimet lämpimän käyttöveden energiankulutukselle ja lämpöenergian tarve lämpötilavälillä.

Toimintalämpötilat, ulkoilman lämpötila, TL_1 - TL_6 , °C	-20	-15	-7	2	7	20
k, lämmin käyttövesi	0,01	0,05	0,16	0,27	0,34	0,18
Lämpimän käyttöveden lämmitysenergia, $Q_{it,LKV}$, kWh	43	247	844	1471	1795	950

VAIHE 4. Laske lämpökertoimen lämpötilakorjaus: Luku 3.5.2

Koska meno ja paluuveden lämpötilaerotus mitoitusolosuhteissa ($\Delta T_{LS}=10^\circ\text{C}$) eroaa testausolosuhteista ($\Delta T_{LM}=5^\circ\text{C}$) tehdään lämpökertoimelle korjaus kaavan 11 mu kaisesti.

Taulukko L 6. Testaus- ja käyttöolosuhteiden eroista johtuva lämpökertoimen korjaus.

Toimintalämpötilat, ulkoilman lämpötila, TL_1 - TL_6 , °C	-20	-15	-7	2	7	20
$COP_{M,tilat}$	2,33	2,33	2,38	2,50	2,63	2,83
ΔT_{LM}	5	5	5	5	5	5
ΔT_{LS}	10	10	10	10	10	10
T_{HJ}	37	35	32	28	26	20
ΔT_L	10	10	10	10	10	10
$T_{LÄH}$	-6,1	-6	-5,6	-4,1	-2,9	0,8
ΔT_H	5	5	5	5	5	5
COP_T	2,44	2,44	2,49	2,64	2,78	3,06

Kun käytössä on vain yksi tunnettu toiminnan lämpötilataso, tehdään lämpökertoimelle lämpötilakorjaus kaavan 12 avulla.

Taulukko L 7. Lämpökertoimen korjaus.

Toimintalämpötilat, ulkoilman lämpötila, TL_1 - TL_6 , °C	-20	-15	-7	2	7	20
Carnot lämpökerroin, COP_c	4,44	4,45	4,47	4,56	4,64	4,89
Häviökerroin, $f_{T,tilat}$	0,55	0,55	0,56	0,58	0,60	0,63
Häviökerroin, f_{TLKV}	0,53	0,52	0,53	0,55	0,57	0,58

$COP_{M, tilat}$	2,33	2,33	2,38	2,50	2,63	
$COP_{M, LKV} (t=60^{\circ}C)$	2,22	2,22	2,26	2,38	2,49	2,68

VAIHE 5. Koska lämpöpumppu on on/off-tyyppiä, siirrytään suoraan vaiheeseen 7.

VAIHE 6. Osatehon laskenta

VAIHE 7. Laske lisälämmitystarve lämpötilaväleille: Luku 3.5.5

Lisälämmitystä tarvitaan, kun lämpöpumppu ei pysty tuottamaan rakennuksen kuluttamaa lämpöenergiaa. Lisälämmitystä tarvitaan tehomitoituspisteen osoittaman ulkolämpötilan alapuolella, lämpötilaväleissä 1-3 (kts. kuva 6 luku 3.5.5.3). Lisälämmityksen painokerroin lasketaan käyttämällä sisälämpötilana $+20^{\circ}C$. Lisälämmityksen laskentaan käytettävät astepäivätunnit ovat liitteessä 2.

Maalämpöpumpulle käytetään luvussa 3.5.5.3 esitettyjä lisälämmitysenergian laskentakaavoja.

Taulukko L 8. Lisälämmityskerroin ja lisälämmitysenergiat.

Toimintalämpötilat, ulkoilman lämpötila, TL_1 - TL_6 , $^{\circ}C$	-20	-15	-7	2	7	20
k	0,29	0,17	0,01	0	0	0
$Q_{II, tilat}$, kWh	105	320	23	0	0	0
$Q_{II, LKV}$, kWh	12	43	4	0	0	0

VAIHE 8. Laske lämpöpumpun käyntiaika ja vertaa aikaa lämpötilavälin keston: Luku 3.5.5.5

Vaiheessa 8 varmistetaan vertaamalla lämpöpumpun käyntiaikaa lämpötilavälien keston, riittääkö vaiheessa 7 laskettu lisälämmitysenergia kattamaan kaiken lisälämmitystarpeen. Jos lämpöpumpun käyntiaika lämpötilavälillä on pidempi kuin kyseisen lämpötilavälin kesto, ei lämpöpumppu pysty tuottamaan lämpötilavälillä tarvittavaa lämpöenergiaa. Tämä lisälämmitysenergia tuotetaan lisälämmittimellä ja sitä kutsutaan laskennassa täydentäväksi lisälämmitykseksi, joka lasketaan vaiheessa 9.

Taulukossa L9 on esillä lämpöpumpun toiminta-aika (kts. kaava 18) ja lämpötilavälien kesto.

Taulukko L 9. Toiminta-aika ja lämpötilavälin kesto.

Toimintalämpötilat, ulkoilman lämpötila, TL_1 - TL_6 , $^{\circ}C$	-20	-15	-7	2	7	20
Aika lämpötilavälillä, t_i , h	70	404	1382	2408	2940	1556
Toiminta-aika lämpötilavälillä, ei asetettu toimintakatkoja, t_{ij} , h	70	404	1382	2408	2940	1556

Lämpöpumpun toiminta-ajalle ei ole asetettu rajoituksia, joten toiminta-aika on yhtä suuri kuin lämpötilavälin kesto. Mikäli toiminta-aika on pienempi kuin lämpötilavälin kesto, käytetään toiminta-aikaa täydentävän lisälämmitystarpeen määrittämisessä.

Lämpöpumpun käyntiaika tilojen ja käyttöveden lämmityksessä on esillä taulukossa L 9 (kts. kaava 33).

Taulukko L 10. Lämpöpumpun käyntiaika lämpötilaväleillä.

Toimintalämpötilat, ulkoilman lämpötila, TL_1 - TL_6 , °C	-20	-15	-7	2	7	20
Käyntiaika tiloille, t_k , h	47	271	812	1005	569	
Käyntiaika LKV, t_k , h	5	36	147	245	285	140
Käyntiaika koko lämpötilavälillä, h	53	308	959	1250	854	140

Taulukossa L10 lämpöpumpun tilojen ja käyttöveden lämmityksen käyntiaikojen summa on pienempi kuin taulukossa L9 esitetyt lämpötilavälien kesto, joten täydentävää lisälämmitystä ei tarvita.

VAIHE 9. Käyntiaika lämpötilavälillä on pienempi kuin lämpötilavälin kesto, joten täydentävää lisälämmitystä ei tarvita ja voidaan siirtyä suoraan vaiheeseen 11.

VAIHE 10. Täydentävän lisälämmityksen laskenta

VAIHE 11. Laske sähköenergian tarve, jolla tuotetaan tarvittava lämmitysenergia: Luku 3.5.6

Lämpöpumpun tarvitsema sähköenergia lämpötilaväleille lasketaan kaavalla 39.

Taulukko L 11. Lämpöpumpun sähköenergian kulutus.

Toimintalämpötilat, ulkoilman lämpötila, TL_1 - TL_6 , °C	-20	-15	-7	2	7	20	
							Σ
$W_{LP,tilat}$, kWh	93	512	1389	1551	822		4367
$W_{LP,lkv}$, kWh	19	111	373	619	720	354	2197

Lisälämmitys jaetaan tiloille ja lämpimälle käyttövedelle energiankulutusten suhteessa. Laskenta on esitetty luvussa 3.5.5.7.

Taulukko L 12. Lisälämmityksen sähköenergian jako tiloille ja lämpimälle käyttövedelle.

Toimintalämpötilat, ulkoilman lämpötila, TL_1 - TL_6 , °C	-20	-15	-7	2	7	20	
							Σ
n_{tilat}	0,90	0,88	0,85	0,80	0,67		
n_{lkv}	0,10	0,12	0,15	0,20	0,33	1,00	
$Q_{kll,tilat}$, kWh	94	282	20	0	0	0	396
$Q_{kll,lkv}$, kWh	11	38	4	0	0	0	52

Tarvittava kokonaislisälämmitysenergia on tällöin tilojen lämmitykseen 396kWh ja käyttöveden lämmitykseen 52kWh.

VAIHE 12. Laske apulaitteiden sähkönkulutus: Luku 3.5.7

Taulukossa L 13 on laskettu maalämpöpumpun lämmönkeruupiirin pumppausenergian kulutus $W_{apu,kp}$. On syytä huomata, että lämmönjakopiirin pumppausenergia lasketaan RakMk (D5 2012) laskentamenetelmällä osana lämmönjakoverkoston energiankulutusta.

Taulukko L 13. Lämmönkeruupiirin pumpun sähkönkulutus.

Toimintalämpötilat, ulkoilman lämpötila, TL_1 - TL_6 , °C	-20	-15	-7	2	7	20	
							Σ
$W_{apu,kp}$, kWh	4	23	71	93	63	10	264

VAIHE 13. Tulokset

Lämpöpumpun tuottama lämpöenergia lämpötilaväleillä, Luku 3,5,8

Taulukko L 14. Lämpöpumpun tuottama lämpöenergia laskettavalla lämpötilaväillä.

Toimintalämpötilat, ulkoilman lämpötila, TL_1 - TL_6 , °C	-20	-15	-7	2	7	20	Σ
$Q_{LP,lämmitys.tilat}$, kWh	275	1557	4630	6027	3586	0	16075
$Q_{LP,lämmitys.lkv}$, kWh	32	209	841	1471	1795	950	5298

Lämpöpumpun SPF-luku, Luku 3.5.9.

SPF-luku tiloille ja lämpimälle käyttövedelle saadaan jakamalla tuotettu lämpöenergia kulutetulla sähköenergialla.

Taulukko L 15. SPF-luvut tilojen ja LKV:n lämpöpumpulla tuotetulle lämpöenergialle.

SPF _{.tilat}	3,5
SPF _{.lkv}	2,3

Yhteenveto

Lämpöpumpun tuottama lämmitysenergia tilojen ja käyttöveden lämmitykseen on yhteensä 21372kWh (taulukko L14).

Tarvittava lisälämmitysenergia tilojen ja käyttöveden lämmityksessä on yhteensä 449kWh (taulukko L12).

Lämpöpumpun kuluttama sähköenergia ilman keruupiirin pumpun sähkönkulutusta tilojen ja käyttöveden lämmityksessä (taulukko L11) on yhteensä 6567kWh.

Lämpöpumpun keruupiirin sähkönkulutus on yhteensä 264kWh (taulukko L13).

Lämpöpumpun sekä kaikkien apulaitteiden sähköenergiankulutus tilojen ja käyttöveden lämmityksessä on yhteensä 7016kWh.

Lämpöpumpun SPF-luvut ovat 3,5 tilojen lämmitykselle ja 2,3 käyttöveden lämmitykselle.

Esimerkeissä 1 ja 2 on esitetty sama laskentatapa laskettuna yksinkertaisella ja yksityiskohtaisella laskentamenetelmällä. Tulosten perusteella yksityiskohtaisella laskentamenetelmällä laskettu lämpöpumpun sekä apulaitteiden sähkönkulutus on 12% pienempi kuin yksinkertaisella laskentamenetelmällä laskettuna. Eli voidaan todeta, että laskennan suorittaminen yksityiskohtaisemmalla tasolla on suositeltavaa.

Esimerkki 3. Yksinkertainen laskentamenetelmä: maalämpöpumppu ja vesikiertoinen radiaattorilämmitys

Lähtötiedot

Rakennus sijaitsee Helsingissä eli säävyöhykkeellä I-II.

Rakennuksen lämmitysenergiankulutus voidaan laskea esimerkiksi RakMk (D5 2012) laskentamenetelmällä:

Tilojen lämmityksen vuotuinen energiankulutus, $Q_{\text{lämmitys,tilat}}$ on 16471 kWh.

Käyttöveden lämmityksen vuotuinen energiankulutus, $Q_{\text{lämmitys,lkv}}$ on 5350 kWh.

Lämmitysjärjestelmän menoveden lämpötila T_m on 45 °C (mitoitustilanteessa $T_u = -26$ °C).

Lämpöpumpun lämmitysteho (ϕ_{lpn}) saadaan valmistajan ilmoittamista lämpöpumpun tuotetiedoista. Rakennuksen tilojen tarvitsema lämmitysteho (ϕ_{tila}) mitoitustilanteessa saadaan esimerkiksi RakMk (D5 2012) mukaisesti tehtävästä tehontarvelaskelmasta.

$$\phi_{\text{lpn}} [T_{\text{ulko}} / T_{\text{meno}} (0/35)^\circ\text{C}] = 7300 \text{ W}$$

$$\phi_{\text{tila}} [-26^\circ\text{C}] = 8400 \text{ W}$$

Lämpöpumppu on valittu siten, että sillä tuotetaan osa rakennuksen lämmitystarpeesta, eli lämpöpumppu on mitoitettu osateholle. Lämpöpumpun lämmönkeruupiiri on mitoitettu siten, että keruupiirin paluunesteen vuotuinen keskilämpötila on -3°C.

Laskenta

Lämpöpumpun suhteellinen lämpöteho lasketaan lämpöpumpun lämmitystehon $\phi_{\text{lpn}}(0/35)^\circ\text{C}$ ja rakennuksen tilojen lämmitystehontarpeen $\phi_{\text{tila}}(-26^\circ\text{C})$ avulla. Suhteellinen lämpöteho on tällöin $\phi_{\text{lpn}}/\phi_{\text{tila}} = 0,87$, jolloin taulukossa 1 käytetään lukuarvoa 0,9.

Tilojen ja käyttöveden vuotuinen lämmitysenergioiden suhde on

$$Q_{\text{lämmitys,tilat}} = 16471 \text{ kWh} / 5350 \text{ kWh}$$

$$Q_{\text{lämmitys,tilat}}/Q_{\text{lämmitys,LKV}} = 3,08$$

Tällöin lämmitysenergioiden suhteen lukuarvona käytetään taulukossa 1 lukuarvoa 4.

Taulukosta 1. voidaan lukea lähtötietojen avulla maalämpöpumpun suhteellinen lämpöenergia. Koska menoveden maksimilämpötila on tapauksessa 45°C ja taulukossa 1 menoveden lämpötilat on ilmoitettu 10°C väliin, voidaan suhteellisen lämpöenergian arvot pyöristää lähimpään taulukkoarvoon tai interpoloida. Tässä tapauksessa lukuarvo interpoloidaan.

$$Q_{\text{lp}}/Q_{\text{lämmitys,tilat,LKV}} = 0,985$$

Tilojen lisälämmitysenergia lasketaan kaavan 1 mukaisesti

$$Q_{\text{lisälämmitys, tilat}} = (1-0,985) \times 16471 \text{ kWh}$$

$$Q_{\text{lisälämmitys, tilat}} = 247 \text{ kWh}$$

Käyttöveden lämmityksen lisälämmitysenergia lasketaan kaavan 2 mukaisesti

$$Q_{\text{lisälämmitys, LKV}} = (1-0,985) \times 5350 \text{ kWh}$$

$$Q_{\text{lisälämmitys, LKV}} = 80 \text{ kWh}$$

Kaavan 3 avulla voidaan laskea lämpöpumpun tuottama lämmitysenergia tiloille.

$$Q_{\text{LP, lämmitys, tilat}} = 16471 - 247 \text{ kWh}$$

$$Q_{\text{LP, lämmitys, tilat}} = 16224 \text{ kWh}$$

Kaavan 4 avulla voidaan laskea lämpöpumpun tuottama lämmitysenergia lämpimälle käyttövedelle.

$$Q_{\text{LP, lämmitys, LKV}} = 5350 \text{ kWh} - 80 \text{ kWh}$$

$$Q_{\text{LP, lämmitys, LKV}} = 5270 \text{ kWh}$$

Taulukosta 6 saadaan maalämpöpumpun SPF-luvut, kun vuotuinen keruupiirin paluunesteen keskilämpötila on $-3 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Tilojen lämmityksen SPF-luku interpoloidaan lämpötilan $45 \text{ }^{\circ}\text{C}$ mukaisesti. Sijoittamalla SPF-luvut kaavaan 5 saadaan laskettua lämpöpumpun sekä apulaitteiden kuluttama sähköenergia.

$$W_{\text{LP, lämmitys}} = 16224 / 2,85 + 5270 / 2,3$$

$$W_{\text{LP, lämmitys}} = 7984 \text{ kWh}$$

Yhteenveto

Lämpöpumpun tuottama lämmitysenergia tilojen ja käyttöveden lämmitykseen on yhteensä 21494 kWh.

Tarvittava lisälämmitysenergia tilojen ja käyttöveden lämmityksessä on yhteensä 327 kWh.

Lämpöpumpun sekä apulaitteiden sähköenergiankulutus tilojen ja käyttöveden lämmityksessä on 7984 kWh.

Esimerkki 4. Yksityiskohtainen laskentamenetelmä: maalämpöpumppu ja vesikiertoinen radiaattorilämmitys

VAIHE 1. Lähtötiedot

Rakennus sijaitsee Helsingissä ja laskennassa käytettävä säädata on vuodelta 2012.

Tilojen lämmitysenergian kulutus on 16471 kWh.

Sisälämpötila on 21 °C.

Lämmityskauden rajalämpötila 12 °C.

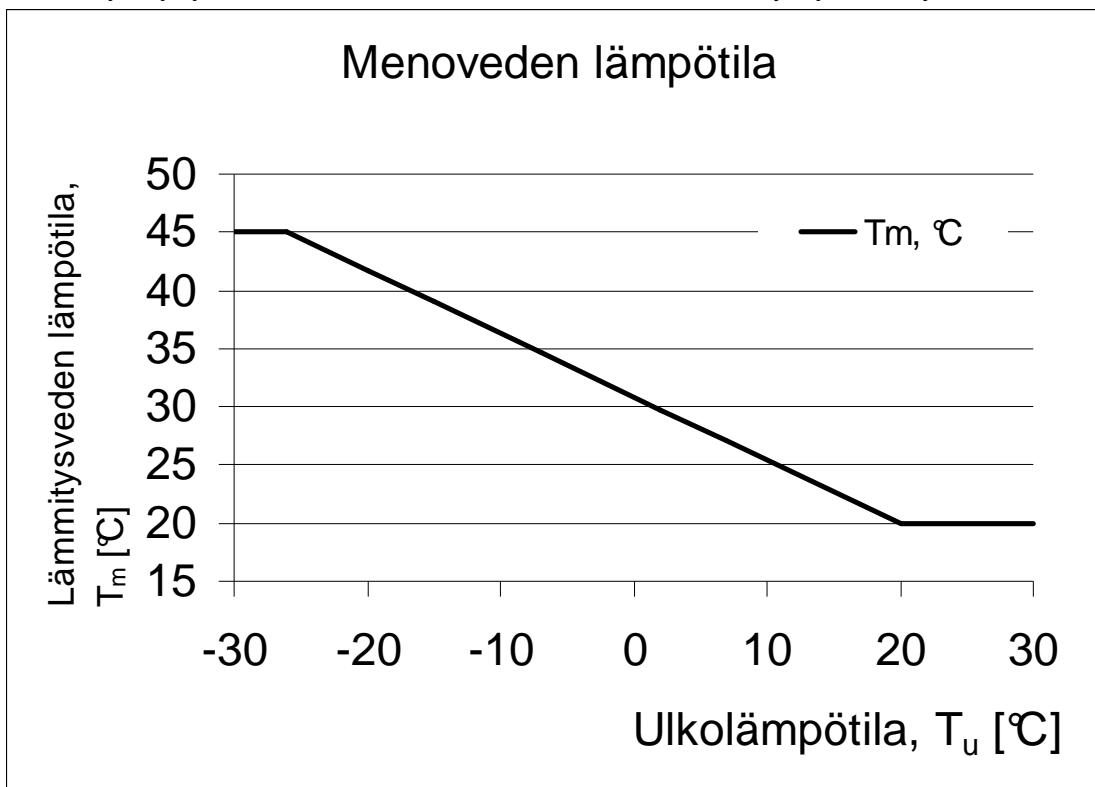
Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian kulutus 5350 kWh.

Kylmän käyttöveden lämpötila on +5 °C.

Lämpimän käyttöveden lämpötila on 60 °C.

Lämmönjakojärjestelmä

Lämmönjakojärjestelmänä on vesikiertoinen radiaattorilämmitys, jossa käytetään 45/30°C mitoitusta.



Kuva L 2. Lämmitysverkoston menoveden säätökäyrä ulkolämpötilan mukaan.

Lämpöpumppu

Lämpöpumpun tuottaman lämpöenergian ja rakennuksen energiankulutustietojen avulla lasketaan lämpöpumpun tehomitoituspiste. Tehomitoituspiste saadaan interpoloimalla, kun lämpöpumpun lämmitysteho on yhtä suuri kuin rakennuksen lämmöntarve. Tehomitoituspiste sijaitsee ulkoilman lämpötilassa -9 °C.

Lämpöpumppu toimii on/off-periaatteella ja lämmitysjärjestelmä on varustettu sähköisellä lisälämmittimellä, joka toimii tarvittaessa yhtä aikaa lämpöpumpun kanssa. Tiloja ja lämmintä käyttövettä lämmitetään vuorotellen. Lämpöpumpun toimintalämpötila on 65 °C.

Maalämpöpumpulle tarvitaan maan lämpötila eri ulkolämpötiloilla. Maan lämpötila on esitetty Taulukossa L1. Käytettävä maan lämpötila on riippuvainen rakennuksen sijainnista.

Taulukko L 16. Lämpöpumpun toimintalämpötilat ulkolämpötilan suhteen.

Toimintalämpötilat, ulkoilman lämpötila, TL_1 - TL_6 , °C	-20	-15	-7	2	7	20
Lämmönlähteen lämpötila, keruupiirin paluuv veden lämpötila, T_{H1} , °C	-6,1	-6	-5,6	-4,1	-2,9	0,8

Lämmönlähteen lämpötila saadaan mitoitusohjelmasta tai muulla tavoin laskemalla.

Lämpöpumpun ominaisuudet toimintalämpötiloissa saadaan valmistajan ilmoittamista lämpöpumpun tuotetiedoista.

Taulukko L 17. Lämpöpumpun ominaisuudet toimintalämpötilassa.

Toimintalämpötilat, ulkoilman lämpötila, TL_1 - TL_6 , °C	-20	-15	-7	2	7	20
Lämpöteho, Φ_{LP} , kW	5,6	5,6	5,7	6	6,3	6,8
Lämpöpumpun sähköteho, P_{LP} , (+55°C), kW	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
Lämpökerroin, COP(+55°C), W/W	2,3	2,3	2,4	2,5	2,6	2,8

Lämpöpumpun sähköteho ja lämpökerroin on ilmoitettu +55 °C mitoitusilanteessa.

Kun tunnetaan lämpöpumpun lämpöteho ja lämpöpumpun ottama sähköteho voidaan laskea lämpökerroin kyseisessä pisteessä.

Höyrytimen ja lauhduttimen asteisuuksina käytetään seuraavia arvoja:

Höyrytimen asteisuus, ΔT_{Hr} , 5 °C

Lauhduksen asteisuus, ΔT_L , 10 °C

VAIHE 2. Valitse lämpötilavälit

Lämpötilavälit on valittu standardin (SFS-EN 14511) mukaisten testipisteiden sekä Helsingin energialaskennan referenssivuoden ulkolämpötilojen perusteella. Helsingin referenssivuoden ulkolämpötilat vaihtelevat vuoden aikana välillä -22 - +28 °C. Rakennusten lämmitysjärjestelmän tehomitoitus tehdään mitoituslämpötilassa -26°C.

Taulukko L 18. Valitut lämpötilavälit ja lämpötilavälien rajat.

Toimintalämpötilat, ulkoilman lämpötila, TL_1 - TL_{6r} , °C	-20	-15	-7	2	7	20
Lämpötilavälin alaraja, T_{ar} , °C	-22	-18	-11	-2	4	14
Lämpötilavälin yläraja, T_{yr} , °C	-18	-11	-2	4	14	28

VAIHE 3. Laske lämpötilavälien painokertoimet ja lämpöenergian tarve: Luku 3.5.4

Painokertoimet lasketaan kaavoilla 15 ja 19. Painokertoimilla vuotuinen energiankulutus jaetaan lämpötilaväleille. Lämpötilavälien yhteenlaskettu energiakuulutus on sama kuin vuotuinen energiankulutus.

Taulukko L 19. Painokertoimet tilojen lämmitykselle ja tilojen lämpöenergian tarve lämpötilavälillä.

Toimintalämpötilat, ulkoilman lämpötila, TL_1 - TL_{6r} , °C	-20	-15	-7	2	7	20
k, tilojen lämmitykselle	0,02	0,11	0,28	0,37	0,22	
Tilojen lämmitysenergia, $Q_{it,tilat}$, kWh	369	1839	4650	6027	3586	

Taulukko L 20. Painokertoimet lämpimän käyttöveden energiankulutukselle ja lämpöenergian tarve lämpötilavälillä.

Toimintalämpötilat, ulkoilman lämpötila, TL_1 - TL_{6r} , °C	-20	-15	-7	2	7	20
k, lämmin käyttövesi	0,01	0,05	0,16	0,27	0,34	0,18
Lämpimän käyttöveden lämmitysenergia, $Q_{it,LKV}$, kWh	43	247	844	1471	1795	950

VAIHE 4. Laske lämpökertoimen lämpötilakorjaus: Luku 3.5.2

Koska meno ja paluuveden lämpötilaerotus mitoitusolosuhteissa ($\Delta T_{LS}=15^\circ\text{C}$) eroaa testausolosuhteista ($\Delta T_{LM}=5^\circ\text{C}$) tehdään lämpökertoimelle korjaus kaavan 11 mukaisesti.

Taulukko L 21. Testaus- ja mitoitusolosuhteen erosta johtuva lämpökertoimen korjaus.

Toimintalämpötilat, ulkoilman lämpötila, TL_1 - TL_{6r} , °C	-20	-15	-7	2	7	20
$COP_{M,tilat}$	2,33	2,33	2,38	2,50	2,63	2,83
ΔT_{LM}	5	5	5	5	5	5
ΔT_{LS}	15	15	15	15	15	15
T_{HJ}	42	39	35	30	27	20
ΔT_L	10	10	10	10	10	10
$T_{LÄH}$	-6,1	-6	-5,6	-4,1	-2,9	0,8
ΔT_H	5	5	5	5	5	5
COP_T	2,53	2,54	2,60	2,77	2,93	3,28

Kun käytössä on vain yksi tunnettu toiminnan lämpötilataso, tehdään lämpökertoimelle lämpötilakorjaus kaavan 12 avulla.

Taulukko L 22. Lämpökertoimen korjaus.

Toimintalämpötilat, ulkoilman lämpötila, TL_1 - TL_6 , °C	-20	-15	-7	2	7	20
Carnot lämpökerroin, COP_c	4,44	4,45	4,47	4,56	4,64	4,89
Häviökerroin, $f_{T\ tilat}$	0,57	0,57	0,58	0,61	0,63	0,67
Häviökerroin, $f_{T\ LKV}$	0,53	0,52	0,53	0,55	0,57	0,58
$COP_{\ tilat}$	2,94	3,06	3,34	3,89	4,36	
$COP_{LKV} (t=60^\circ C)$	2,41	2,41	2,47	2,63	2,79	3,10

VAIHE 5. Koska lämpöpumppu on on/off-tyyppiä, siirrytään suoraan vaiheeseen 7.

VAIHE 6. Osatehon laskenta

VAIHE 7. Laske lisälämmitystarve lämpötilaväleille: Luku 3.5.5

Lisälämmitystä tarvitaan, kun lämpöpumppu ei pysty tuottamaan rakennuksen kuluttamaa lämpöenergiaa. Lisälämmitystä tarvitaan tehomitoituspisteen osoittaman ulkolämpötilan alapuolella, lämpötilaväleissä 1-3 (kts. kuva 6 luku 3.5.5.3).

Maalämpöpumpulle käytetään luvussa 3.5.5.3 esitettyjä lisälämmitysenergian laskentakaavoja.

Taulukko L 23. Lisälämmityskerroin ja lisälämmitysenergiat.

Toimintalämpötilat, ulkoilman lämpötila, TL_1 - TL_6 , °C	-20	-15	-7	2	7	20
k	0,26	0,14	0,001	0	0	0
$Q_{ll, \tilde{t}ilat}$, kWh	96	266	7	0	0	0
$Q_{ll, LKV}$, kWh	11	36	1	0	0	0

VAIHE 8. Laske lämpöpumpun käyntiaika ja vertaa aikaa lämpötilavälin keston: Luku 3.5.5.5

Vaiheessa 8 varmistetaan vertaamalla lämpöpumpun käyntiaikaa lämpötilavälien keston, riittääkö vaiheessa 7 laskettu lisälämmitysenergia kattamaan kaiken lisälämmitystarpeen. Jos lämpöpumpun käyntiaika lämpötilavälillä on pidempi kuin kyseisen lämpötilavälin kesto, ei lämpöpumppu pysty tuottamaan lämpötilavälillä tarvittavaa lämpöenergiaa. Tämä lisälämmitysenergia tuotetaan lisälämmittimellä ja sitä kutsutaan laskennassa täydentäväksi lisälämmitykseksi, joka lasketaan vaiheessa 9.

Taulukossa L 24 on esillä lämpöpumpun toiminta-aika (kts. kaava 18) ja lämpötilavälien kesto.

Taulukko L 24. Toiminta-aika ja lämpötilavälin kesto.

Toimintalämpötilat, ulkoilman lämpötila, TL_1 - TL_6 , °C	-20	-15	-7	2	7	20
Aika lämpötilavälillä, t_i , h	70	404	1382	2408	2940	1556
Toiminta-aika lämpötilavälillä, ei asetettuja toimintakatkoja, t_{tj} , h	70	404	1382	2408	2940	1556

Lämpöpumpun toiminta-ajalle ei ole asetettu rajoituksia, joten toiminta-aika on yhtä suuri kuin lämpötilavälin kesto. Mikäli toiminta-aika on pienempi kuin lämpötilavälin kesto, käytetään toiminta-aikaa täydentävän lisälämmitystarpeen määrittämisessä.

Lämpöpumpun käyntiaika tilojen ja käyttöveden lämmityksessä on esillä taulukossa L 25 (kts. kaava 33).

Taulukko L 25. Lämpöpumpun käyntiaika lämpötilaväleillä.

Toimintalämpötilat, ulkoilman lämpötila, TL_1 - TL_6 , °C	-20	-15	-7	2	7	20
Käyntiaika tiloille, t_k , h	49	281	815	1005	569	
Käyntiaika LKV, t_k , h	6	38	148	245	285	140
Käyntiaika koko lämpötilaväleillä, h	54	319	963	1250	854	140

Taulukossa L 25 lämpöpumpun tilojen ja käyttöveden lämmityksen käyntiaikojen summa on pienempi kuin taulukossa L 24 esitetyt lämpötilavälien kesto, joten täydentävää lisälämmitystä ei tarvita.

VAIHE 9. Käyntiaika lämpötilaväleillä on pienempi kuin lämpötilavälin kesto, joten täydentävää lisälämmitystä ei tarvita ja voidaan siirtyä suoraan vaiheeseen 11

VAIHE 10. Täydentävän lisälämmityksen laskenta

VAIHE 11. Laske sähköenergian tarve, jolla tuotetaan tarvittava lämmitysenergia: Luku 3.5.6

Lämpöpumpun tarvitsema sähköenergia lämpötilaväleille lasketaan kaavalla 39.

Taulukko L 26. Lämpöpumpun sähköenergian kulutus.

Toimintalämpötilat, ulkoilman lämpötila, TL_1 - TL_6 , °C	-20	-15	-7	2	7	20	
							Σ
$W_{LP,tilat}$, kWh	93	514	1389	1551	822		4369
$W_{LP,lkv}$, kWh	19	111	373	619	720	354	2197

Lisälämmitys jaetaan tiloille ja lämpimälle käyttövedelle energiankulutusten suhteessa. Laskenta on esitetty luvussa 3.5.5.7.

Taulukko L 27. Lisälämmityksen sähköenergian jako tiloille ja lämpimälle käyttövedelle.

Toimintalämpötilat, ulkoilman lämpötila, TL_1 - TL_6 , °C	-20	-15	-7	2	7	20	
							Σ
n_{tilat}	0,90	0,88	0,85	0,80	0,67		
n_{lkv}	0,10	0,12	0,15	0,20	0,33	1,00	
$Q_{kill,tilat}$, kWh	86	235	6	0	0	0	326
$Q_{kill,lkv}$, kWh	10	31	1	0	0	0	42

Tarvittava kokonaislisälämmitysenergia on tällöin tilojen lämmitykseen 326 kWh ja käyttöveden lämmitykseen 42 kWh.

VAIHE 12. Laske apulaitteiden sähkönkulutus: Luku 3.5.7

Taulukossa L 28 on laskettu maalämpöpumpun lämmönkeruupiirin pumppausenergian kulutus $W_{apu, kp}$. On syytä huomata, että lämmönjakopiirin pumppausenergia lasketaan RakMk (D5 2012) laskentamenetelmällä osana lämmönjakoverkoston energiankulutusta. Tällöin sitä ei tarvitse laskea tämän oppaan energialaskentamenetelmällä.

Taulukko L 28. Lämmönkeruupiirin pumpun sähkönkulutus.

Toimintalämpötilat, ulkoilman lämpötila, TL_1 - TL_6 , °C	-20	-15	-7	2	7	20	
							Σ
$W_{apu, kp}$, kWh	4	24	71	93	63	10	265

VAIHE 13. Tulokset

Lämpöpumpun tuottama lämpöenergia lämpötilaväleillä, Luku 3,5,8

Taulukko L 29. Lämpöpumpun tuottama lämpöenergia laskettavalla lämpötilaväillä.

Toimintalämpötilat, ulkoilman lämpötila, TL_1 - TL_6 , °C	-20	-15	-7	2	7	20	Σ
$Q_{LP, lämmitys, tilat}$, kWh	283	1605	4644	6027	3586	0	16145
$Q_{LP, lämmitys, lkv}$, kWh	33	215	843	1471	1795	950	5308

Lämpöpumpun SPF-luku, Luku 3.5.9

Taulukko L 30. SPF-luvut tilojen ja LKV:n lämpöpumpulla tuotetulle lämpöenergialle.

SPF _{tilat}	3,5
SPF _{lkv}	2,4

SPF-luku tiloille ja lämpimälle käyttövedelle saadaan jakamalla tuotettu lämpöenergia kulutetulla sähköenergialla.

Yhteenveto

Lämpöpumpun tuottama lämmitysenergia tilojen ja käyttöveden lämmitykseen on yhteensä 21453kWh (taulukko L29).

Tarvittava lisälämmitysenergia tilojen ja käyttöveden lämmityksessä on yhteensä 368 kWh (taulukko L27).

Lämpöpumpun kuluttama sähköenergia ilman keruupiirin pumpun sähkönkulutusta tilojen ja käyttöveden lämmityksessä (taulukko L26) on yhteensä 6567kWh.

Lämpöpumpun keruupiirin sähkönkulutus on yhteensä 265 kWh (taulukko L28).

Lämpöpumpun sekä kaikkien apulaitteiden sähköenergiankulutus tilojen ja käyttöveden lämmityksessä on yhteensä 6935kWh.

Lämpöpumpun SPF-luvut ovat 3,5 tilojen lämmitykselle ja 2,4 käyttöveden lämmitykselle.

Esimerkeissä 3 ja 4 on esitetty sama laskentatapaus laskettuna yksinkertaisella ja yksityiskohtaisella laskentamenetelmällä. Tulosten perusteella yksityiskohtaisella laskentamenetelmällä laskettu lämpöpumpun sekä apulaitteiden sähkönkulutus on 15% pienempi kuin yksinkertaisella laskentamenetelmällä laskettuna. Eli voidaan todeta, että laskennan suorittaminen yksityiskohtaisemmalla tasolla on suositeltavaa.

Säätiedot

Oheisissa säätiedoissa lämpötilan pysyvyystiedot perustuvat Suomen energialaskennan referenssivuoden (D3 2012) tunnittaisiin ulkolämpötiloihin.

Säävyöhykkeet I ja II

Ulkoilman lämpötila Tu, °C	Lämpötilavälin kesto h	Kumulatiivinen	DH (20 °C)	Kumulatiivinen DH (20 °C)
		lämpötilavälin kesto h	astetunnit °Ch	kumulatiiviset astetunnit °Ch
-22	0	0	0	0
-21	7	7	287	287
-20	19	26	771	1058
-19	23	49	888	1946
-18	21	70	799	2745
-17	30	100	1102	3847
-16	55	155	1987	5834
-15	83	238	2913	8747
-14	63	301	2144	10891
-13	72	373	2370	13262
-12	52	425	1654	14916
-11	49	474	1521	16436
-10	49	523	1472	17908
-9	76	599	2210	20118
-8	124	724	3483	23601
-7	146	870	3950	27551
-6	169	1039	4396	31947
-5	174	1213	4358	36305
-4	193	1406	4625	40930
-3	214	1620	4916	45846
-2	237	1856	5203	51050
-1	301	2158	6328	57378
0	519	2676	10372	67750
1	494	3170	9387	77137
2	460	3630	8278	85415
3	354	3984	6016	91432
4	280	4264	4485	95917
5	301	4566	4520	100437
6	279	4844	3900	104337
7	300	5144	3895	108232
8	280	5424	3364	111595
9	285	5709	3132	114727
10	290	5999	2900	117627
11	293	6292	2641	120268
12	293	6585	2341	122608
13	322	6907	2257	124865
14	297	7204	1782	126647
15	291	7495	1454	128101
16	309	7804	1237	129338
17	209	8014	628	129966
18	180	8194	361	130327
19	160	8354	160	130487
20	142	8496	0	130487
21	98	8594	0	130487
22	48	8643	0	130487
23	41	8684	0	130487
24	29	8713	0	130487
25	33	8746	0	130487
26	6	8752	0	130487
27	3	8755	0	130487
28	5	8760	0	130487

Säävyöhyke III

Ulkoilman lämpötila Tu, °C	Lämpötilavälin kesto h	Kumulatiivinen		DH (20 °C)	
		lämpötilavälin kesto h	astetunnit °Ch	kumulatiiviset astetunnit	kumulatiiviset astetunnit
-29	0	0	0	0	0
-28	6	6	294	294	294
-27	9	15	412	706	706
-26	6	21	282	988	988
-25	14	35	631	1619	1619
-24	14	49	617	2236	2236
-23	12	61	527	2763	2763
-22	15	76	625	3388	3388
-21	31	107	1257	4645	4645
-20	62	169	2488	7133	7133
-19	67	236	2596	9730	9730
-18	42	278	1598	11328	11328
-17	32	310	1199	12527	12527
-16	50	360	1798	14324	14324
-15	41	401	1441	15765	15765
-14	38	439	1281	17046	17046
-13	44	483	1445	18491	18491
-12	54	537	1738	20229	20229
-11	76	613	2363	22592	22592
-10	120	733	3600	26192	26192
-9	140	873	4065	30257	30257
-8	241	1114	6745	37002	37002
-7	186	1300	5014	42016	42016
-6	255	1555	6628	48644	48644
-5	263	1818	6570	55214	55214
-4	329	2146	7884	63098	63098
-3	375	2521	8623	71722	71722
-2	370	2891	8133	79854	79854
-1	343	3233	7193	87047	87047
0	470	3703	9391	96438	96438
1	357	4060	6791	103229	103229
2	277	4337	4983	108211	108211
3	299	4636	5078	113290	113290
4	248	4884	3967	117256	117256
5	335	5218	5019	122276	122276
6	298	5516	4170	126445	126445
7	262	5778	3405	129850	129850
8	257	6035	3080	132930	132930
9	243	6277	2669	135600	135600
10	295	6573	2952	138552	138552
11	270	6842	2428	140980	140980
12	257	7099	2053	143033	143033
13	268	7367	1876	144910	144910
14	223	7590	1335	146245	146245
15	217	7807	1086	147331	147331
16	202	8009	809	148140	148140
17	156	8165	468	148608	148608
18	126	8291	252	148860	148860
19	115	8406	115	148975	148975
20	133	8539	0	148975	148975
21	85	8624	0	148975	148975
22	53	8678	0	148975	148975
23	39	8717	0	148975	148975
24	18	8735	0	148975	148975
25	11	8745	0	148975	148975
26	9	8754	0	148975	148975
27	2	8756	0	148975	148975
28	4	8760	0	148975	148975

Säävyöhyke IV

Ulkoilman lämpötila Tu, °C	Lämpötilavälin kesto h	Kumulatiivinen	DH (20 °C)	Kumulatiivinen
		lämpötilavälin kesto h	astetunnit °Ch	DH (20 °C) kumulatiiviset astetunnit °Ch
-35	0	0	0	0
-34	7	7	378	378
-33	9	16	464	843
-32	25	41	1321	2164
-31	31	72	1564	3727
-30	39	110	1927	5655
-29	39	150	1932	7586
-28	37	187	1766	9352
-27	30	216	1400	10752
-26	53	269	2418	13170
-25	66	335	2957	16126
-24	59	393	2582	18709
-23	56	449	2411	21119
-22	53	503	2244	23364
-21	60	563	2478	25842
-20	60	624	2418	28260
-19	67	691	2631	30890
-18	79	770	2996	33886
-17	88	858	3241	37128
-16	85	943	3059	40187
-15	93	1035	3250	43436
-14	97	1133	3306	46742
-13	158	1290	5203	51946
-12	166	1457	5326	57272
-11	154	1611	4779	62051
-10	177	1788	5309	67360
-9	159	1947	4624	71984
-8	196	2144	5494	77478
-7	223	2366	6008	83485
-6	263	2629	6833	90318
-5	251	2879	6263	96582
-4	248	3127	5950	102531
-3	369	3496	8482	111014
-2	351	3847	7728	118742
-1	321	4168	6733	125475
0	385	4553	7691	133166
1	260	4813	4943	138109
2	300	5112	5393	143502
3	265	5378	4512	148014
4	265	5642	4233	152247
5	204	5846	3062	155309
6	251	6097	3508	158816
7	254	6351	3303	162119
8	228	6579	2733	164852
9	250	6828	2746	167598
10	230	7058	2295	169893
11	229	7287	2058	171951
12	240	7527	1920	173871
13	208	7734	1453	175324
14	187	7921	1120	176444
15	167	8088	837	177281
16	141	8229	564	177845
17	111	8340	334	178178
18	99	8439	198	178376
19	85	8524	85	178461
20	66	8590	0	178461
21	56	8646	0	178461
22	42	8688	0	178461
23	31	8719	0	178461
24	20	8739	0	178461
25	2	8741	0	178461
26	7	8748	0	178461
27	6	8754	0	178461
28	6	8760	0	178461

Maalämpöpumpun keruupiiri

Maalämpöpumpun lämmönkeruuputkisto voidaan sijoittaa maaperän pintaosiin, kallioperään, tai vesistöön. Maaperän pintaosista lämpöä kerätään noin metrin syvyyteen asennettavalla vaakaputkistolla. Kallioperästä lämpöä kerätään lämpökaivoon asennettavan lämmönkeruuputkiston avulla ja vesistöistä lämpöä voidaan kerätä lammen, järven tai merenpohjaan asennettavan vaakasuuntaisen lämmönkeruuputkiston avulla. Seuraavaksi esitettäviä karkeita ohjearvoja lämmönkeruupiireistä saatavista vuotuisista energiamääristä voidaan pitää vain viitteellisinä ja keruupiirien tarkempi mitoitus tulee aina tehdä tapauskohtaisesti käyttäen esim. mitoitukseen soveltuvia laskentaohjelmia.

Maaperä

Maaperään vaakatasoon asennettavan lämmönkeruuputkiston merkittävimmät mitoitustekijät ovat rakennuksen lämmöntarpeen lisäksi maaperän lämmönjohtavuus ja kosteuspitoisuus, jotka voivat vaihdella merkittävästi alueesta riippuen. Suurin osa maalajeista soveltuu keruupiirin lämmönlähteeksi. Tyypillisesti vain soraharjujen kosteuspitoisuus on liian pieni, mutta kosteat maalajit savi ja siltti ovat parhaita keruupiirin toiminnan kannalta (Aittomäki 2001). Putkisto asennetaan tyypillisesti 0,7-1,2 m syvyyteen kohteen sijainnista riippuen (yleensä Etelä-Suomessa matalammalle ja Pohjois-Suomessa syvemmälle) ja pientalon lämmönkeruupiirille tarvitaan tyypillisesti tonttimaata 1,5m² putkimetriä kohti. Taulukossa L1 on esillä karkeita ohjearvoja maaperästä saatavasta lämpöenergiasta maaperän laadusta ja sijainnista riippuen. (LVI 11-10332)

Taulukko L1. Maaperästä vaakasuuntaisella lämmönkeruuputkistolla tyypillisesti saatava vuotuinen lämpöenergia keruupiirin pituutta kohti (LVI 11-10332, SULPU a).

Sijainti	Lämpöenergia, kWh/putkimetri	
	Savi	Hiekka
Etelä-Suomi ¹	50...60	30...40
Keski-Suomi	40...45	15...20
Pohjois-Suomi ²	30...35	0...10

¹ Linjan Kokkola – Savonlinna eteläpuoli.

² Lappia lukuun ottamatta.

Kallioperä

Lämpökaivoon asennetulla lämmönkeruuputkistolla siirretään kallioon tai pohjaveteen varastoitunutta lämpöä. Lämpökaivo porataan tyypillisesti alle 200m syvyyteen. Tarvittava porareijän syvyys tai reikien lukumäärä riippuu rakennuksen lämmöntarpeesta sekä kallion vedentuottokyvystä ja pohjaveden virtauksesta (Aittomäki 2001). Lämpökaivosta saadaan yleensä vaakasuuntaiseen keruupiiriin verrattuna noin kaksinkertainen määrä energiaa putkimetriä kohden (vrt. taulukko L1). Lämpökaivon käyttö rakennuksen jäähdytykseen nostaa maaperän lämpötilaa, joten se nostaa maaperän lämpötilaa ja parantaa sen vuoksi lämpöpumpun toimintaedellytyksiä lämmityskäytössä pitkällä aikavälillä. (LVI 11-10332)

Vesistö

Veden hyvien lämmönsiirto-ominaisuuksien vuoksi vesistön pohjaan ankkuroidulla lämmönkeruuputkistolla saadaan lähes yhtä hyvä lämmöntuotto putkimetriä kohden kuin

lämpökaivosta. Vesistöistä vuodessa saatava lämmitysenergia putkimetriä kohden on tyypillisesti noin 70-80 kWh/m (LVI 11-10332, SULPU b).

LÄHTEET

Aittomäki, A. 2001. Lämpöpumppulämmitys. Suomen lämpöpumppuyhdistys ry. Tampere.

Juvonen, J. 2009. Lämpökaivo – maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. Ympäristöopas, Suomen ympäristökeskus. Helsinki.

LVI 11-10332. 2002. Lämpöpumput. LVI-kortti. Rakennustietosäätiö RTS ja LVI-keskusliitto ry

SULPU a. Suomen lämpöpumppuyhdistys. Maalämpöpumppu. (sivulla vierailtu 5.5.2011)
http://www.sulpu.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=20&Itemid=114

SULPU b. Suomen lämpöpumppuyhdistys. Lämpöpumppujärjestelmän suunnittelu. (sivulla vierailtu 5.5.2011) http://www.sulpu.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=17&Itemid=119