

Lämpöpumput

TkL Mika Vuolle

Equa Simulation Finland Oy

EQUA

1

ILMALÄMPÖPUMPPU

2

Ilma-ilmalämpöpumppu pienessä asuinrakennuksessa

- Kun kyseessä on pieni asuinrakennus (erillinen pientalo, ketjutalon osana oleva rakennus, rivitalo tai asuinkerrostalo, jossa on asuinkerroksia enintään kahdessa kerroksessa), ja käytössä on ilma-ilmalämpöpumppu, joka tuottaa lämmitysenergian suoraan tilaan, tuotettuna lämmitysenergiana käytetään enintään taulukossa esitetyjä vuosittaisia arvoja. Taulukossa ilmoitetut enimmäismäärät ovat laitekohtaisia.

Rakennuksen vuosittainen lämmitysenergia	1000 W	1000 W	3000 W
Ilma-ilmalämpöpumpun lämmitysenergia	6000 kWh/a 1000 kWh/10000 10 kWh/10000	6000 kWh/a 1000 kWh/10000 20 kWh/10000	6000 kWh/a

EQUA

3

Tehotarkastus

Taulukko 7.6 Ilmailmalämpöpumpun (ilma-ilma) tuottama osuus tilojen lämpöenergian tarpeesta ($Q_{ILP} / Q_{lämmitys, tilat}$) suhteellisen lämpötehon funktiona (ϕ_{ILP} / ϕ_{tila}) eri säävyhykeillä. Lämpöpumpun nimellisteho (Q_{ILP}) annetaan toimintapisteessä $T_a/T_i = +7/20^{\circ}\text{C}$.

ϕ_{ILP} / ϕ_{tila}	$Q_{ILP} / Q_{lämmitys, tilat}$			
	Säävyhyke I ja II	Säävyhyke III	Säävyhyke 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	

EQUA

4

Esimerkki

- Rakennus on valmistunut ennen vuotta 1985.
- Omakotitalon tilojen lämmitystehontarve 5 000 W. Ja tilojen lämmitysenergiatarve on 9 500 kWh. Paljonko tilojen lämmitysenergiatarpeesta 1 kW ILP kattaa.
- Entä 3 kW laite?

EQUA

5

- Kun ILP nimellisteho on 1000 W:
 $\frac{\phi_{ILP}}{\phi_{tila}} = \frac{1000\text{ W}}{5000\text{ W}} = 0,2 \Rightarrow 0,42$
 $Q_{ILP} = 0,42 \cdot Q_{lämmitys,tilat} = 0,42 \cdot 9500\text{ kWh} = 3990\text{ kWh}$
- Kun ILP nimellisteho on 3000 W:
 $\frac{\phi_{ILP}}{\phi_{tila}} = \frac{3000\text{ W}}{5000\text{ W}} = 0,6 \Rightarrow 0,81$
 $Q_{ILP} = 0,6 \cdot Q_{lämmitys,tilat} = 0,81 \cdot 9500\text{ kWh} = 7\text{ 695 kWh}$
- ILP energia enintään $Q_{ILP,max} = 6\text{ 000 kWh}$

EQUA

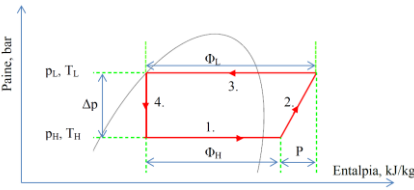
6

PILP

- Poistoilmalämpöpumpun tuottama tilojen ja käyttöveden lämmitysenergian osuus voidaan arvioida taulukon 7.7 avulla, jos tilojen, ilmanvaihdon ja käyttöveden lämmityksen lämpöenergian tarve ($Q_{\text{lämmitys, tilat, iv, lkv}}$) tunnetaan. Taulukon 7.7 avulla voidaan lisäksi arvioida poistoilmalämpöpumpun ulospuhallusilman sekä SPF-luvun lämpötilan vaikutus lämpöpumpulla tuotettavan lämmitysenergian osuuteen. Arvot on laskettu normaalin asuntoilmanvaihdon poistoilmavirroilla ja lämpöpumppu lämmittää tiloja, ilmanvaihtoa ja käyttövettä. Muissa tapauksissa tulee käyttää yksityiskohtaisempaa menetelmää. Taulukkojen arvoja ei voida soveltaa, jos poistoilmalämpöpumpussa on mukana myös suoraan tuloilmaan lämpöä siirtävä lämmöntalteenottoalite.

Taulukko 7.7 Poistoilmalämpöpumpun tuottama osuus tilojen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarpeesta ($Q_{\text{LHV}} / Q_{\text{lämmitys, tilat, iv, lkv}}$) lämpöpumpun SPF-luvun, tilojen, ilmanvaihdon ja käyttöveden lämpöenergian tarpeen ja ulospuhallusilman lämpötilan funktiona. Taulukkoarvoja voidaan käyttää vain, mikäli poistoilmalämpöpumppu tuottaa lämpöenergiaa tilojen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden tarpeeseen.

$Q_{\text{lämmitys, tilat, iv, lkv}}$ kWh/(m ² ·a)	$Q_{\text{LHV}} / Q_{\text{lämmitys, tilat, iv, lkv}}$							
	SPF = 2,0				SPF = 3,0			
	$T_{\text{int}} -3\text{ °C}$	$T_{\text{int}} -1\text{ °C}$	$T_{\text{int}} 1\text{ °C}$	$T_{\text{int}} 3\text{ °C}$	$T_{\text{int}} -3\text{ °C}$	$T_{\text{int}} -1\text{ °C}$	$T_{\text{int}} 1\text{ °C}$	$T_{\text{int}} 3\text{ °C}$
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



Poistoilmalämpöpumpun lämpökerroin COP lasketaan yhtälön (1) mukaan.

$$COP = \frac{\Phi_L}{P} \quad (1)$$

Poistoilmalämpöpumpun lauhdutinteho Φ_L voidaan laskea tunnetuista muuttujista riippuen yhtälöiden (2) ja (3) mukaan.

$$\Phi_L = COP \cdot P = \Phi_H + P \quad (2)$$

$$\Phi_L = \frac{\Phi_H}{\left(1 - \frac{1}{COP}\right)} \quad (3)$$

$$\Phi_L = \rho_L \cdot c_{p,L} \cdot q_{v,L} (T_{L, \text{lauhdutimen jalkaan}} - T_{L, \text{aukionlauhdistus}}) \quad (6)$$

$$\Phi_H = \rho_L \cdot c_{p,L} \cdot q_{v,L} (T_{p, \text{aukionhöyrystin}} - T_{p, \text{höyrystimen jalkaan}}) \quad (7)$$

joissa ρ_L ilman tiheys, 1,2 kg/m³
 $c_{p,L}$ ilman ominaislämpökapasiteetti, 1,0 kJ/kgK
 $q_{v,L}$ tuloilmavirta, m³/s
 $q_{v,p}$ poistoilmavirta, m³/s
 $T_{L, \text{lauhdutimen jalkaan}}$ tuloilman lämpötila lauhdutimen jälkeen (kaavioissa T_L), °C
 $T_{L, \text{aukionlauhdistus}}$ tuloilman lämpötila ennen lauhdutinta (kaavioissa T_a tai T_L), °C
 $T_{p, \text{aukionhöyrystin}}$ poistoilman lämpötila ennen höyrystintä (kaavioissa T_p tai T_L), °C
 $T_{p, \text{höyrystimen jalkaan}}$ poistoilman lämpötila höyrystimen jälkeen (kaavioissa T_a tai T_L), °C

Esimerkki

- Poistoilmalämpöpumppu jäädyttää poistoilman +21 C:sta aina -3 C:een. Poistoilmavirta on 60 l/s . Mikä on poistoilmalämpöpumpun lämmön tuotto, kun COP = 2 ja COP =3
- Onko tulokset loogisia?

EQUA.

13

$$q_p = 0,06 \frac{m^3}{s}$$
$$\Phi_H = \rho \cdot c_p \cdot q_p (T_{p,ennen} - T_{p,jälkeen}) = 1,2 \frac{kg}{m^3} \cdot 1000 \frac{J}{kg K} \cdot 0,06 \frac{m^3}{s} (21 - (-3))K = 1728 W$$

- Kun COP = 2

$$\Phi_L = \frac{\Phi_H}{1 - \frac{1}{COP}} = \frac{1728 W}{1 - \frac{1}{2}} = 3456 W$$

- Kun COP = 3

$$\Phi_L = \frac{\Phi_H}{1 - \frac{1}{COP}} = \frac{1728 W}{1 - \frac{1}{3}} = 2592 W$$

EQUA.

14

Ilma-vesi LP

EQUA.

15

Laskentaperiaate

$$W_{LP,lämmitys} = Q_{LP,lämmitysluotat} / SPF_{luotat} + Q_{LP,lämmitys,tilat} / SPF_{tilat} + W_{läämmitys} \tag{1}$$

jossa

$W_{LP,lämmitys}$ lämpöpumppujärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh
 $Q_{LP,lämmitys,tilat}$ lämpöpumpun tuottama tilojen lämmitysenergia, kWh
 SPF_{luotat} lämpöpumpun SPF-luku tilojen lämmityksessä, -
 $Q_{LP,lämmitys,tilat}$ lämpöpumpun tuottama käyttöveden lämmitysenergia, kWh
 SPF_{kv} lämpöpumpun SPF-luku käyttöveden lämmityksessä, -
 $W_{läämmitys}$ tilojen ja lämpimän käyttöveden lämmityksessä tarvittavan lisälämmityksen sähköenergian tarve ($Q_{läämmitys,tilat} + Q_{läämmitys,kv}$), kWh.

EQUA.

16

Taulukko 7.8 Ulkoilmalämpöpumpujen SPF-lukuja.

Ulkoilmalämpöpumput: menoveden korkein lämpötila, °C	SPF-luku		
	Säilyvyshyökkeet		
	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

EQUA.

17

Φ_{out}/Φ_{in}	$Q_{läämmitys,tilat}$ $Q_{läämmitys,kv}$	Ulkoilmalämpöpumpun (ilma-vesi) karkaisu osuus tilojen ja lämpimän käyttöveden lämmitysenergiasta ($Q_{out}/Q_{läämmitys,tilat}$)											
		Säilytyskylä: I-II				Säilytyskylä: III				Säilytyskylä: IV			
		T_{in} °C											
		30	40	50	60	30	40	50	60	30	40	50	60
0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20

EQUA.

18

Laskentatehtävä

- Laske esimerkkirakennuksen maalämpöpumpun ostoenergia vyöhykkeille I, kun lämpöpumpun tehomitoitus on 70 %? Lopputeho katetaan sähkövastuksella.
- LKV energiantarve 5 415 kWh.
- Vesikiertoisen lattialämmityksen menoveden lämpötila on + 40 °C.
- Keruupiirin keskilämpötila on +3°C.

EQUA.

25

Maalämpöpumpun tehon osuus tilojen ja lämmityskäyttöiden lämpöenergiasta $Q_{\text{tilat}}/Q_{\text{tilat}}+Q_{\text{käyttö}}$, m ²												
Rak.	Käyttö	Säätöalue I:1					Säätöalue II:2					
		50	40	30	20	10	50	40	30	20	10	
Käyttö	1	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	
	2	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	
	3	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	
	4	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	
	5	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	
Tilojen	1	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	
	2	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	
	3	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	
	4	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	
	5	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	

Taulukko 7.9 Maalämpöpumpujen SPF-lukuja		SPF-luku
Maalämpöpumpun menoveden korkein lämpötila, °C		Vuosikuten keruupiirin pa-luunsteen keskilämpötila, °C
-3		+3
Tilojen lämmitys		
30	3,4	3,5
40	3,0	3,1
50	2,7	
60	2,5	2,5
Käyttöveden lämmitys		
60	2,3	2,3

EQUA.

26

Ostoenergia

$$W_{LP,lämmitys} = \frac{0,96 \cdot 13\,580}{3,1} + \frac{0,96 \cdot 5\,415 \text{ kWh}}{2,3} + \frac{0,04 \cdot (13\,580 + 6\,784 \text{ kWh})}{1,0}$$

$$W_{LP,lämmitys} = 4205 + 2360 + 814 = 6565 + 814 = 7379 \text{ kWh}$$

EQUA.

27

Esimerkki

- Kuinka paljon 3 kW ILP säästää sähköä tilojen lämmityksen osalta maalämpöpumppu talossa, jossa on 40/30 C lattialämmitys (η_{lämmitys,tilat}=0,8) ja MLP SPF=3,0 lämmitykselle? Tilojen lämmitysen energiantarve on 9 500 kWh.
- Kuinka paljon ilmalämpöpumppu säästää sähköä, jos MLP asemesta rakennuksessa on sähkökattila?

EQUA.

28

1. Vain MLP

1.1 Lämmitysen energia MLP:ltä

$$Q_{MLP} = \frac{Q_{lämmitys,tilat}}{\eta_{lämmitys,tilat}} = \frac{9\,500 \text{ kWh}}{0,8} = 11\,875 \text{ kWh}$$

1.2 MLP:n sähkönkulutus:

$$W_{MLP} = \frac{Q_{MLP}}{SPF_{MLP}} = \frac{11\,875 \text{ kWh}}{3} = 3\,958,3 \text{ kWh}$$

EQUA.

29

2. MLP + ILP

MLP osuus tilan lämmitystarpeesta

$$Q_{MLP} = Q_{tilat} - Q_{ILP,max} = 9\,500 \text{ kWh} - 6\,000 \text{ kWh} = 3\,500 \text{ kWh}$$

Lattialämmityksen energiakulutus

$$Q_{MLP} = \frac{Q_{lämmitys,tilat}}{\eta_{lämmitys,tilat}} = \frac{3\,500 \text{ kWh}}{0,8} = 4\,375 \text{ kWh}$$

MLP:n sähkönkulutus:

$$W_{MLP} = \frac{Q_{MLP}}{SPF_{MLP}} = \frac{4\,375 \text{ kWh}}{3} = 1\,458,3 \text{ kWh}$$

EQUA.

30

Taulukko 7.8 Ulkoinnallispumppujen SPF-lukujen

	SPF-luku
Ulkoinnallispumppuun:	Säilytyshykyt
merenveden korkein lämpötila, °C	Säilytyshykyt
time, min	2,8 2,8 2,7
time, min (pöytämittaus)	
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
time, min (käytännön laimennus)	
40	1,8 1,6 1,3

31

[illegible]

32

4.3 *ILP:n sähkönkulutus*

$W_{ILP} = 2142,8 \text{ kWh (ks. 2.3)}$

4.4 *Kokonaissähkönkulutus*

$W_{SK+ILP} = Q_{lammitys,SK} + W_{ILP} = 4\,971 + 2\,142,8 = \mathbf{7\,114 \text{ kWh}}$

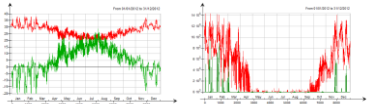
4.5 *Säästö*

$W_{säästö} = W_{lammitys,SK} - W_{SK+ILP} = 13\,494 - 7\,114 = \mathbf{6\,380 \text{ kWh}}$

33

Esimerki dynaamisen laskennan tuloksista

- Esimerkki, jossa kerrostalon tilojen lämmitys ilma-vesilämpöpumpulla, sähkövastuksella ja 40 °C menoveden korkeimmalla lämpötilalla. (ei käyttöveden tai IV lämmitystä)
 - ilma-vesilämpöpumppu 20 kW, tilojen lämmityksen mitoitustehontarve 42 kW = 20/42 = 0,47
 - Taulukko 7.8, SPF-luku: 2,5 J Taulukko 1.2.2 energiaeplitto $\phi(P)/\phi(t)$ 0,50 -> kattama osuus max 0,75
 - IDA ICE simuloinnin tulokset: Tilojen lämmityksen energiantarve 35 461 kWh, ilma-vesilämpöpumpun lämmöntuotto 33 732 kWh ja sähkövastuksen tuotto 1729 kWh



EQUA

34

Esimerkki dynaamisen laskennan tuloksista

- Energiapaitto (lämpöpumpun kattama osuus): 33 732 kWh / 35 461 kWh = 0,95
- Lauhduttimen energia: 33 732 kWh, Höyrystimen energia: 25 334 kWh, Kompressorin energia: 8398 kWh
- SPF (Seasonal Performance Factor) = 33 732 kWh / 8398 kWh = 4,0
- Tilojen lämmityksen sähkönkulutus: Kompressorin 8398 kWh ja sähkövastus 1729 kWh

Käytetty sähköenergia (kWh)

Käytetty lämpöenergia (kWh)

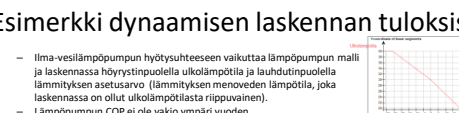
— Kompressorin sähkö (kWh)
— Sähkövastus (kWh)
— Lämpöpumpun sähkö (kWh)

— Lämpöpumpun sähkö (kWh)
— Sähkövastus (kWh)
— Kompressorin sähkö (kWh)

35

Esimerkki dynaamisen laskennan tuloksista

- Ilma-vesilämpöpumpun hyötysuhteeseen vaikuttaa lämpöpumpun malli ja laskennassa höyrystinpuolella ulkolämpötila ja lauhdutinpuolella lämmityksen asetusarvo (lämmityksen meroveden lämpötila, joka laskennassa on ollut uulkolämpötilasta riippuvainen).
- Lämpöpumpun COP ei ole vakio ympäri vuoden



The top left graph shows the COP of the heat pump as a function of outdoor temperature. The y-axis is labeled 'COP' and ranges from 3.0 to 4.5. The x-axis is labeled 'Ulkolämpötila, °C' and ranges from -10 to 10. A red line shows a decreasing trend from approximately 4.5 at -10°C to 3.0 at 10°C. The top right graph shows the COP of the heat pump as a function of outdoor temperature, with a red line fluctuating between 3.0 and 4.5. The bottom graph shows the COP of the heat pump as a function of outdoor temperature, with a red line fluctuating between 3.0 and 4.5.

36