

PILP-opas 2018

Poistoilmalämpöpumpun (PILP)
lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen
määrittäminen lämpöhäviöiden tasauslaskentaa
varten

31.3.2017

Esipuhe

Tämä opas käsittelee ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskemista poistoilmalämpöpumpulle ja käyttämistä rakennuksen lämpöhäviön vaatimustenmukaisuuden osoittamisessa ympäristöministeriön asetuksen uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 2018 mukaisesti.

Opas täydentää lämpöhäviöiden tasauslaskentaopasta Tasauslaskentaopas 2018 ja ympäristöministeriön monistetta 122 Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto lämpöhäviöiden tasauslaskennassa, jonka päivitetty versio esitetään Tasauslaskentaopas 2018 liitteessä 4.

Oppaassa käsitellään erilaisten poistoilmalämpöpumppujen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskentaa. Opas sisältää myös esimerkkejä poistoilmalämpöpumppujen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskelmista. **Opasta ei ole tarkoitettu poistoilmalämpöpumppuun perustuvan lämmitysjärjestelmän energiatehokkuuden laskentaan tai suunnitteluun. Tämän oppaan mukaan määritelty vuosihyötysuhde ei ole kokonaisenergiatarkastelun ilmanvaihdon vuosihyötysuhteen lähtöarvo.** Oppaan lisäksi ympäristöministeriö on julkaissut laskimen poistoilmalämpöpumpun lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskentaan. Ympäristöministeriö on julkaissut myös lämpöpumppujen energialaskentaoppaan, jossa käsitellään erilaisten lämpöpumppujen energialaskentaa yksityiskohtaisemmin.

Oppaan sovellusesimerkit, suositukset ja lisätiedot eivät sellaisenaan ole lakien ja asetusten määräysten tasoisia kannanottoja, jotka sitoisivat suunnittelua ja rakentamista. Oppaan tarkoituksena on helpottaa ja yhdenmukaistaa poistoilmalämpöpumpun käsittelyä rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden osoittamisessa ja selventää määräysten tulkintaa. Oppaan esimerkit eivät ole suunnitteluohjeita eivätkä malliesimerkkejä tai suosituksia suunnittelusta tai laiteratkaisuista. **Oppaaseen liittyvä PILP-laskin ei ole suunnittelutyökalu.**

Oppaan ovat laatineet ympäristöministeriön toimeksiannosta Mikko Saari ja Mikko Nyman VTT Expert Services Oy:stä. Aiemmin julkaistun monisteen 122 laatimiseen on osallistunut myös Mika Vuolle, jolta saatiin arvokkaita kommentteja myös tämän oppaan laadinnan yhteydessä. Myös Ari Laitiselta Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:stä saadut parannusehdotukset on otettu huomioon opasta laadittaessa.

Työtä ovat ympäristöministeriöstä valvoneet ja ohjanneet rakennusneuvos Pekka Kalliomäki ja ympäristöneuvos Maarit Haakana.

Sisältö

Esipuhe.....	2
1 Johdanto	4
2 Määritelmiä ja käsitteitä	6
3 Poistoilmalämpöpumppu lämmöntalteenotossa	8
3.1 Yleistä	8
3.2 Poistoilmalämpöpumpun toimintaperiaate	8
3.3 Poistoilmasta tuloilmaan lämpöä siirtävä lämpöpumppu	14
3.4 Poistoilmasta varaajaan lämpöä siirtävä lämpöpumppu	15
3.5 Poistoilmasta tuloilmaan lämpöä siirtävä lämpöpumppu ja LTO- lämmönsiirrin.....	16
3.6 Poistoilmasta varaajaan lämpöä siirtävä lämpöpumppu ja LTO-lämmönsiirrin	18
3.7 Ulkoilman esilämmitys	20
3.8 Poistoilmalämpöpumpun ohjaus- ja säätötavat.....	20
4 Poistoilmalämpöpumpun lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskenta	21
4.1 Ilmanvaihdon lämpöhäviön laskenta	21
4.2 Ilmavirrat ja käyntiajat lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskennassa	21
4.3 Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde	21
4.4 Ilmanvaihdon lämmityksen energiantarve ilman lämmöntalteenottoa	22
4.5 LTO-lämmönsiirtimellä (LTO) talteen saatu energia	24
4.6 Poistoilmalämpöpumpulla (PILP) talteen saatu energia	26
4.7 Lämmöntarpeen laskenta	30
4.7.1 Tilojen lämmitys	30
4.7.2 Lämpöhäviöt	30
4.7.3 Lämpökuormat	31
4.7.4 Lämpökuormien hyödyntäminen	32
4.7.5 Muu lämmitys	33
4.7.6 Lämmöntarve yhteensä	33
5 Poistoilmalämpöpumpun lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskentaesimerkit.....	34
5.1 Lämmöntalteenotto poistoilmasta lämpöpumpulla tuloilmaan.....	34
5.1.1 Kuvaus ja lähtötiedot	34
5.1.2 Laskentatulokset.....	37
5.2 Lämmöntalteenotto poistoilmasta lämmönsiirtimellä ja lämpöpumpulla tuloilmaan.....	43
5.2.1 Kuvaus ja lähtötiedot	43
5.2.2 Laskentatulokset.....	44
5.3 Lämmöntalteenotto poistoilmasta lämmönsiirtimellä tuloilmaan ja lämpöpumpulla varaajaan	50
5.3.1 Kuvaus ja lähtötiedot	50
5.3.2 Laskentatulokset.....	51
Kirjallisuutta	57
Liite 1. Säätiiedot	
Liite 2. PILP-laskimen käyttöohjeita	

1 Johdanto

Tässä oppaassa käsitellään rakennuksen ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) vuosihyötysuhteen (η_a) laskennallista määrittämistä poistoilmalämpöpumpulle (PILP). Vuosihyötysuhdetta tarvitaan lämpöhäviöiden tasauslaskennassa, kun osoitetaan, että rakennuksen lämpöhäviö täyttää vaatimukset.

Ympäristöministeriön asetuksessa uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 2018 (jatkossa ”asetuksessa”) esitetään, että ilmanvaihdon poistoilmasta on otettava vuodessa talteen lämpömäärä, joka vastaa vähintään 55 % ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemasta lämpömäärästä. Lämmöntalteenottovaatimusta vastaava lämpöenergiantarpeen pienentäminen voidaan toteuttaa kokonaan tai osittain rakennuksen vaipan lämmöneristystä parantamalla, rakennuksen vaipan ilmanpitävyyttä parantamalla tai vähentämällä ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemää lämpömäärää muulla tavalla kuin poistoilman lämmöntalteenotolla.

Vastaava lämpöenergiantarpeen pienentäminen osoitetaan rakennuksen lämpöhäviön tasauslaskennalla.

Lämpöhäviön tasauslaskennassa ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhteen vertailuarvona käytetään arvoa 55 %. Poistoilmalämpöpumpun tapauksessa suunnitteluratkaisun ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhteen arvona tasauslaskennassa voidaan käyttää tässä oppaassa esitetyllä menetelmällä määritettyä arvoa. Poistoilmalämpöpumpun lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskentaan on saatavissa myös työkalu (PILP-laskin 2018) ympäristöministeriön internetsivuilta osoitteesta:

www.ym.fi/rakentamismaaraykset

Rakennuksen laskennallisen energiatehokkuuden vertailuluvun (E-luku) vaatimuksen lisäksi rakennusten tulee täyttää myös lämpöhäviövaatimukset. Lämpöhäviölaskennassa käytettävät lämmönläpäisykertoimien vertailuarvot eivät ole uudessa asetuksessa muuttuneet vuoden 2012 tasosta. Uutena E-lukuvaatimuksen korvaavana menettelynä asuinrakennuksille on tullut mukaan rakenteellisen energiatehokkuuden vaatimukset.

Lämpöhäviön tasauslaskennassa käytettävät ilmanvaihdon ominaisilmavirrat ja käyttöajat on annettu asetuksessa. Ne ovat vakioitua käyttöä vastaavia arvoja. Sen sijaan ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskennassa käytetään suunniteltuja ilmavirtoja ja käyttöaikoja.

Lämpöhäviön tasauslaskenta: asetuksen mukaiset vakioidut ilmavirrat ja käyttöajat

Ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskenta: rakennuksen suunnitellut ilmavirrat ja käyttöajat

Nämä koskevat myös poistoilmalämpöpumppua. Jos rakennuksessa on poistoilmalämpöpumpun lisäksi muita ilmanvaihtokoneita, tasauslaskennassa käytettävän ominaisilmavirran vaatimus koskee koko rakennuksen yhteenlaskettua ilmavirtaa. Mahdollinen tilakohtainen tarpeenmukainen ilmanvaihdon ohjaus ei vaikuta kokonaisilmavirtaan tasauslaskennassa. Suunnittelija määrittelee poistoilmalämpöpumpun suoritusarvot suunnitellun toimintapisteen ja suunniteltujen ilmavirtojen perusteella. Lämpöhäviön tasauslaskennassa käytettävä asetuksen mukainen ilmavirta poikkeaa yleensä suunnitteluilmavirrasta.

Tässä oppaassa esitetään asetusta yksityiskohtaisemmat ohjeet, miten poistoilmalämpöpumpun lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde voidaan laskea ulkolämpötilan pysyvyystietojen avulla. Laskennassa sovelletaan ympäristöministeriön ohjetta rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskennasta 2018 (jatkossa ”energialaskentaohje 2018”). Oppaan rakenne esitetään taulukossa 1.

Taulukko 1. Oppaan rakenne.

1. Johdanto
2. Määritelmiä ja käsitteitä
3. Poistoilmalämpöpumppu lämmöntalteenotossa • poistoilmalämpöpumppujen toiminta yleisesti • erilaisten poistoilmalämpöpumppujen kytkennät ja toimintaperiaatteet
4. Poistoilmalämpöpumpun lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskenta • ilmanvaihdon lämpöhäviö • lämmöntalteenoton hyötysuhteen laskenta • energialaskenta pysyvyyssäyrän avulla • rakennuksen lämmöntarpeen laskenta poistoilmalämpöpumpun tuottaman lämmön hyödyntämisen arviointia varten
5. Poistoilmalämpöpumpun lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskentaesimerkit • lämmöntalteenotto poistoilmasta lämpöpumpulla tuloilmaan • lämmöntalteenotto poistoilmasta lämmönsiirtimellä ja lämpöpumpulla tuloilmaan • lämmöntalteenotto poistoilmasta lämmönsiirtimellä tuloilmaan ja lämpöpumpulla varaajaan
Liite 1. Sää tiedot • ulkoilman lämpötilan pysyvyys TRY 2012 • auringon säteilyenergian pysyvyys TRY 2012
Liite 2. PILP-laskimen käyttöohjeita

2 Määritelmiä ja käsitteitä

Lämmöntalteenottolaitteisto on laitteisto, jonka avulla poistoilmasta siirtyy lämpöä joko tuloilmaan taikka rakennuksen lämmitysjärjestelmään ja joka näin alentaa rakennuksen lämmitysenergiakulutusta.

Tyypillisimmät lämmöntalteenottolaitteistot perustuvat lämmönsiirtimiin, lämmöntalteenottopattereihin tai lämpöpumppuihin. Talteenotettua lämpöä voidaan käyttää tilojen lämmityksen lisäksi myös käyttöveden lämmitykseen.

HUOM: Tässä oppaassa LTO-lämmönsiirtimellä varustetulla lämmöntalteenotolla (lyhenne: LTO) tarkoitetaan levylämmönsiirtimillä (ristivirta ja vastavirta), pyörivällä regeneratiivisella lämmönsiirtimellä tai epäsuorilla pumppukiertoisilla LTO-pattereilla varustettua lämmöntalteenottoa erotuksena poistoilmalämpöpumpulla (lyhenne: PILP) tapahtuvasta lämmöntalteenotosta.

Poistoilman (ulospuhallusilman) lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen vertailuarvo tarkoittaa asetuksessa esitettyä ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vaatimusta, joka pienentää 55 % ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemaa lämpömäärää. Ulospuhallusilma on poistoilmaa, joka johdetaan rakennuksesta ulos.

Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemalla lämpömäärällä tarkoitetaan sitä lämpömäärää, joka tarvitaan ilmanvaihdon ilmapirran lämmittämiseksi ulkoilman lämpötilasta huonelämpötilaan (asetus).

Rakennuksen poistoilman (ulospuhallusilman) lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde (η_a) on lämmöntalteenottolaitteistolla talteenotettavan ja hyödynnettävän lämpömäärän suhde rakennuksen ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemaan lämpömäärään, kun lämmöntalteenottoa ei ole.

Rakennuksen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteella ei tarkoiteta yksittäisen ilmanvaihtokoneen tuloilman lämmittämisen vuosihyötysuhdetta vaan rakennuksen kaikkien ilmanvaihtokoneiden ja erillispoistojen perusteella laskettua lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta.

Perinteisten lämmönsiirtimien lisäksi poistoilman lämpöä voidaan ottaa talteen poistoilmalämpöpumpulla. Tällöin on huomattava, että poistoilmalämpöpumpun kompressorin sähkönkulutus ei ole talteenotettua lämpöä, vaan se käsitellään sähkölämmitysenergiana. Myöskään ulkoilman lämpötilaa alempaan lämpötilaan viilennetystä poistoilmasta saatu lämpö ei ole talteenotettua lämpöä. Tämä osuus lämmöstä vastaa ulkoilmalämpöpumpulla tuotettua lämpöä, jota ei oteta huomioon lämpöhäviön tasauslaskennassa käytettävässä vuosihyötysuhteessa.

Poistoilmalämpöpumpun tuottama lauhdutinlämpö sisältää sekä talteenotettua lämpöä että kompressorisähköllä tuotettua lämpöä. Lauhdutinlämpö on pystyttävä hyödyntämään kokonaisuudessaan, jotta talteenotettu lämpö voidaan hyödyntää kokonaisuudessaan ja laskea mukaan vuosihyötysuhteeseen.

Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde määritetään lämmityskauden ajalta. Lämmityskausi on se aika vuodesta, jolloin ulkoilman lämpötila on enintään +12 °C.

Sisälämpötilan oletetaan olevan koko vuoden ajan vakio (+21 °C), jollei rakennuksen käyttötarkoituksesta tai muusta vastaavasta syystä johtuen ole perusteltua käyttää muuta arvoa.

Rakennuksen vaipan läpi menevän vuotoilman lämmityksen tarvitsemaa lämpömäärää ei oteta vuosihyötysuhteen laskennassa huomioon.

Lämmön talteenottovaatimuksen piiriin kuuluva poistoilmavirta sisältää kaikki muut poistoilmavirrat paitsi asetuksessa mainitut poistoilmavirrat. Rakennuksen tai yksittäisten tilojen poistoilmavirrat, joista lämmöntalteenotto on epätarkoituksenmukaista, ovat poistoilmavirrat, joissa poistoilman poikkeuksellinen likaisuus estää lämmöntalteenoton toiminnan (esimerkiksi ammattimaisten keittiöiden ja vetokaappien poistoilma), tai puolilämpimän tilan poistoilmavirrat, jos tilan lämpötila on alle +10 °C eikä poistoilmasta ole saatavissa lämpöä talteen kustannustehokkaasti. Painovoimaisen ilmanvaihdon poistoilmasta ei asetuksen mukaan myöskään ole tarkoituksenmukaista ottaa lämpöä talteen, joten se ei kuulu lämmöntalteenottovaatimuksen piiriin.

Suunnitteluratkaisu tarkoittaa kohderakennuksen toteutettavaksi aiottua suunnitelmaa.

Sisälämpötilalla tasauslaskelmissa tarkoitetaan poistoilman keskimääräistä lämpötilaa lämmityskaudella. Näin ollen esimerkiksi jaksoittaisessa lämmityksessä keskimääräinen sisälämpötila on määritettävä erikseen. Samoin samaan ilmavaihtokoneeseen kytkettyjen eri lämpöisten tilojen poistoilmavirroilla painotettu keskimääräinen poistoilman lämpötila on laskettava.

Tuloilman lämpötilahyötysuhde eli lämpötilasuhde (η_t) on lämmöntalteenotossa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen suhde lämmöntalteenottoon tulevan poistoilman ja ulkoilman lämpötilan eroon. Tuloilman lämpötilahyötysuhteeseen vaikuttaa lämmöntalteenottolaitteen rakenteen lisäksi tulo- ja poistoilmavirtojen suhde. Poistoilman lämmöntalteenottolaitteistojen lämmönsiirtimien tuloilman lämpötilahyötysuhteet ovat tyypillisesti 40 - 80 %. Tuloilman lämpötilasuhteeseen ei oteta mukaan puhaltimen aiheuttamaa lämpötilannousua eikä poistoilmalämpöpumpun kompressorin vaikutusta.

Poistoilman lämpötilahyötysuhde eli lämpötilasuhde (η_p) on lämmöntalteenotossa tapahtuvan poistoilman jäähtymisen suhde lämmöntalteenottoon tulevan poistoilman ja ulkoilman lämpötilan eroon.

Poistoilmalämpöpumpun lämpökerroin (COP) on poistoilmalämpöpumpun tuottaman lämpötehon suhde kompressorin ottamaan sähkötehoon.

Poistoilmalämpöpumpun kompressorin ottama sähköteho/-energia ei sisällä apulaitteiden kuten säätöautomaatiikan ja toimilaitteiden sähköä eikä puhaltimien sähköä vaan pelkästään kompressorin ottaman sähkötehon/-energian.

Poistoilmalämpöpumpun tuottama lämpöteho/-energia on poistoilmalämpöpumpun lauhduttimesta saatu ja lämmityksessä hyödynnetty lämpöteho/-energia.

Poistoilmalämpöpumpulla talteen otettu lämpöteho/-energia on poistoilmalämpöpumpun höyrystimellä poistoilmasta otettu lämpöteho/-energia.

3 Poistoilmalämpöpumppu lämmöntalteenotossa

3.1 Yleistä

Oppaassa käsitellään erilaisten poistoilmalämpöpumppujen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskentaa. Opasta ei ole tarkoitettu poistoilmalämpöpumppuun perustuvan lämmitysjärjestelmän energiatehokkuuden laskentaan tai suunnitteluun. Tämän oppaan mukaan määritelty vuosihyötysuhde ei ole kokonaisenergiatarkastelun ilmanvaihdon vuosihyötysuhteen lähtöarvo. Oppaan esimerkit eivät ole suunnitteluohjeita eivätkä malliesimerkkejä tai suosituksia suunnittelusta tai laiteratkaisuista. Oppaaseen liittyvä PILP-laskin ei ole suunnittelutyökalu.

Poistoilmalämpöpumpun kompressorin käyttää sähköä teknisestä toteutuksesta riippuen tyypillisesti 25 - 100 % siitä, mitä lämpöpumppu pystyy poistoilmasta ottamaan lämpöä talteen. Jos kompressorin kuluttaa yhden osan sähköä, niin höyrystin ottaa talteen poistoilmasta tyypillisesti yhdestä neljään osaa lämpöä. Poistoilmalämpöpumpun lauhduttimesta saadaan hyödynnettävää lämpöä näiden summa eli kahdesta kolmeen osaa lämpöä. Kompressorin sähkökulutuksen takia poistoilmalämpöpumppu voi tuottaa lämpöä enemmän kuin ilmanvaihdon lämmittämiseen tarvitaan, etenkin leudolla säällä. Laiteratkaisuista riippuen tuotettua lämpöä voidaan siirtää tuloilman lisäksi myös varaajaan tilojen tai käyttöveden lämmittämiseksi.

Laskennassa käytetään poistoilmalämpöpumpun valmistajan ilmoittamaa varmennettua lämpökerrointa, jonka todentamisessa, määrittelyssä ja laskennassa on otettu huomioon soveltuvin osin standardien SFS-EN 13141-7:2010, SFS-EN 16147:2011, SFS-EN 14511-3:2013, SFS-EN 15316-4-2:2008 ja CEN-TC156-WG2 N0609 sekä komission asetusten (EU) N:o 813/2013, 814/2013 ja 2016/2281 vaatimukset. Lämpökerroin määritellään todellisen suunnitteluratkaisun ilmavirroilla ja lämpötilatasoilla.

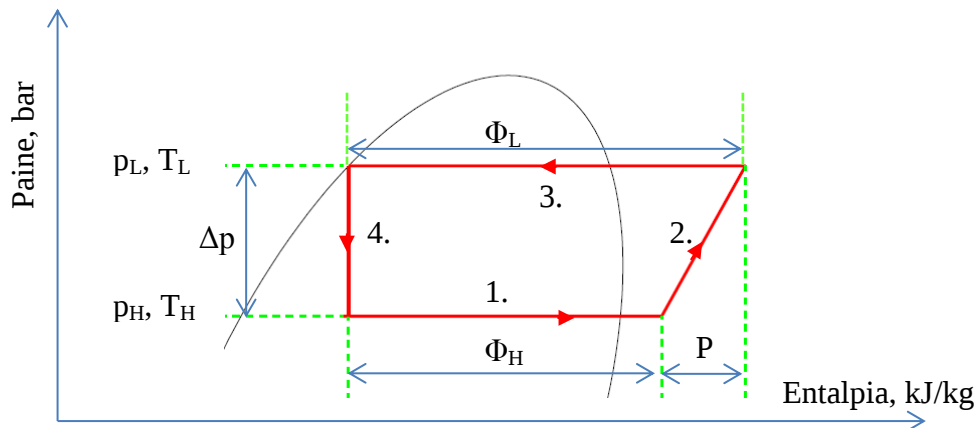
Poistoilmalämpöpumpun lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittämisessä on otettava huomioon tulo- ja poistoilmavirtojen suhde, jäätymissuojauksen toiminta sekä mahdollinen tuloilman lämpenemisen rajoittaminen ja rakennuksen lämmöntarve, joka voi rajoittaa poistoilmalämpöpumpulla talteen saatavan lämmön hyödyntämistä. Poistoilmalämpöpumpun lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskennassa on käytettävä suunniteltujen ilmavirtojen ja lämpöpumpun keskimääräisissä lämmityskauden toimintalämpötiloissa (höyrystys- ja lauhdumislämpötila) määritettyjä suoritusarvoja. Poistoilmalämpöpumpun lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskennassa oleelliset suoritusarvot ovat kompressorin sähköteho ja lämpökerroin (COP). Poistoilmalämpöpumpulla talteenotettu lämpö ja tuotettu lämpö saadaan laskennan tuloksena.

Tässä oppaassa ja sen laskentaesimerkeissä esitetään yksityiskohtaiset ohjeet, miten poistoilmalämpöpumpun lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde voidaan laskea ulkolämpötilan pysyvyystietojen avulla. Tässä kuvatut yksinkertaistetut menetelmät on tarkoitettu käytettäväksi rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden osoittamisessa. Menetelmät eivät pyri ottamaan huomioon kaikkia poistoilmalämpöpumpun toimintaan ja lämmitysenergiankulutukseen vaikuttavia tekijöitä rakennuksen käytön aikana.

3.2 Poistoilmalämpöpumpun toimintaperiaate

Poistoilmalämpöpumpun toimintaperiaate ja tehot kylmäainepiirin puolelta esitetään kuvassa 1. Tässä oppaassa ei paneuduta syvällisesti kylmäaineprosessin yksityiskohtiin eikä

epäideaalisuuksiin, mitkä kuitenkin oleellisesti vaikuttavat poistoilmalämpöpumpun suorituskykyyn. Nämä asiat tulee ottaa huomioon suunnittelussa ja laitevalinnoissa. Myöskään poistoilmalämpöpumpputjärjestelmän suunnittelua ja mitoitusta ei tässä oppaassa käsitellä. Poistoilmalämpöpumpun suorituskyvyn kannalta oleelliset tekijät ovat poistoilmavirta, lämpöeroin ja kompressorin sähköteho sekä näiden perusteella määritettävät höyrystinteho ja lauhdutinteho. Seuraavassa käydään läpi näiden tekijöiden laskenta ja riippuvuus toisistaan.



Kuva 1. Poistoilmalämpöpumpun toiminta kylmäainekierto-prosessilla kuvattuna (kuva on suuntaa-antava). Vaaka-asteikkona on kylmäaineen energiasisältö eli entalpia (kJ/kg) ja pystyasteikkona on kylmäaineen paine (bar) (logaritmisella asteikolla, $\log(p)$).

1. Poistoilmalämpöpumppu ottaa poistoilmasta lämpöä talteen kylmäaineeseen höyrystimellä (H) höyrystyslämpötilassa T_H höyrystinteholla Φ_H .
2. Poistoilmalämpöpumpun kompressorin nostaa sähkötehoilla P kylmäainehöyryn höyrystyspaineesta p_H lauhtumispaineeseen p_L .
3. Lauhduttimessa poistoilmalämpöpumpun tuottama lämpö poistuu kylmäaineesta tuloilmaan tai varaajaan lauhdutinteholla Φ_L . Pääosa lauhdutinlämmöstä poistuu lauhtumislämpötilassa T_L (harmaan kaarevan kylästyskäyrän sisäpuolisella alueella), mutta kompressorin jälkeen tullut kylmäaine on huomattavasti kuumempaa kuin lauhtumislämpötila.
4. Paisuntaventtiilistä nestemäinen kylmäaine purkautuu alempaan höyrystyspaineeseen p_H ja samalla kylmäaine jäähtyy höyrystyslämpötilaan T_H .

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.

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

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

Poistoilmalämpöpumpun höyrystinteho Φ_H voidaan laskea tunnetuista muuttujista riippuen yhtälöiden (4) ja (5) mukaan.

$$\Phi_H = (COP - 1) \cdot P = \Phi_L - P \quad (4)$$

$$\Phi_H = \Phi_L \left(1 - \frac{1}{COP} \right) \quad (5)$$

joissa Φ_L poistoilmalämpöpumpun lauhdutinteho (kaavioissa Φ_{lauhd}), kW
 Φ_H poistoilmalämpöpumpun höyrystinteho (kaavioissa $\Phi_{höyr}$), kW
 COP poistoilmalämpöpumpun lämpökerroin, -
 P poistoilmalämpöpumpun kompressorin ottama sähköteho (kaavioissa P_{kompr}), kW

Poistoilmalämpöpumpun lauhdutinteho Φ_L ja höyrystinteho Φ_H voidaan laskea ilmapuolelta yhtälöiden (6) ja (7) mukaan. Tässä menetelmässä ei oteta ilman kosteuden vaikutusta huomioon. Jos ilman kosteuden vaikutus halutaan ottaa huomioon, on käytettävä muita laskentamenetelmiä ja ilman lämpötilaeron sijasta entalpiaeroa.

$$\Phi_L = \rho_i \cdot c_{p,i} \cdot q_{v,t} (T_{t, \text{lauhduttimen jälkeen}} - T_{t, \text{ennenlauhdutinta}}) \quad (6)$$

$$\Phi_H = \rho_i \cdot c_{p,i} \cdot q_{v,p} (T_{p, \text{ennenhöyrystintä}} - T_{p, \text{höyrystimen jälkeen}}) \quad (7)$$

joissa ρ_i ilman tiheys, 1,2 kg/m³
 c_{pi} ilman ominaislämpökapasiteetti, 1,0 kJ/kgK
 $q_{v,t}$ tuloilmavirta, m³/s
 $q_{v,p}$ poistoilmavirta, m³/s
 $T_{t, \text{lauhduttimen jälkeen}}$ tuloilman lämpötila lauhduttimen jälkeen (kaavioissa T_t), °C
 $T_{t, \text{ennen lauhtutinta}}$ tuloilman lämpötila ennen lauhdutinta (kaavioissa T_u tai T_y), °C
 $T_{p, \text{ennen höyrystintä}}$ poistoilman lämpötila ennen höyrystintä (kaavioissa T_p tai T_z), °C
 $T_{p, \text{höyrystimen jälkeen}}$ poistoilman lämpötila höyrystimen jälkeen (kaavioissa T_x tai T_j), °C

Kaavioissa käytetty merkintä riippuu osien sijainnista.

Vastaava lauhdutinenergia Q_L ja höyrystinenergia Q_H voidaan laskea yhtälöiden (8) ja (9) mukaan. Kompressorin sähköenergia voidaan laskea yhtälön (10) mukaan.

$$Q_L = \Phi_L \cdot \Delta \tau \quad (8)$$

$$Q_H = \Phi_H \cdot \Delta \tau \quad (9)$$

$$W_{kompr} = P \cdot \Delta \tau \quad (10)$$

joissa Q_L poistoilmalämpöpumpun lauhdutinenergia, kWh
 Q_H poistoilmalämpöpumpun höyrystinteho, kWh

W_{kompr} poistoilmalämpöpumpun kompressorin kuluttama sähköenergia, kWh
 $\Delta\tau$ ajanjakson pituus, h

Poistoilmalämpöpumpun lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskennassa poistoilman lämpötila höyrystimen (T_p , höyrystimen jälkeen) jälkeen ei voi olla alempi kuin ulkoilman lämpötila. Jos poistoilmaa jäädytetään ulkoilmaa viileämmäksi, poistoilmalämpöpumppu toimii kuin ulkoilmalämpöpumppu. Vuosihyötysuhteen laskennassa poistoilmalämpöpumpun tehoa rajoitetaan niin, että ulkoilman lämpötilaa ei aliteta.

Rakennuksen lämmitystarve rajoittaa poistoilmalämpöpumpun tuottamaa lauhdutintehoa yhtälön (11) mukaisesti. Tilojen lämmitystarpeen laskentatapa esitetään kohdassa 4.7.1.

$$\Phi_L \leq \Phi_{\text{lämmitys, tilat, netto}} + \Phi_{\text{tulopatterit}} + \Phi_{\text{muu lämmitys}} \quad (11)$$

jossa Φ_L poistoilmalämpöpumpun lauhdutinteho, W
 $\Phi_{\text{lämmitys, tilat, netto}}$ tilojen lämmityksen nettotehontarve, W
 $\Phi_{\text{tulopatterit}}$ tuloilman jälkilämmityspatterin nettotehontarve, W
 $\Phi_{\text{muu lämmitys}}$ lämpimän käyttöveden lämmitysteho tai varaajan lämpöhäviöteho tai muu ulkoilman lämpötilasta riippumaton vakio­lämmitysteho, W

Kompressorin sähkötehona ja lämpökertoimen COP arvona käytetään ensisijaisesti laitevalmistajan ja suunnittelijan määrittämiä arvoja.

Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskennassa voidaan käyttää kompressorin sähkötehona (ei sisällä puhaltimien sähkötehoa) ja poistoilmalämpöpumpun lämpökertoimen vakioarvoja, jotka vastaavat poistoilmalämpöpumpun **suunniteltuja ilmavirtoja** ja toimintaa lämmityskauden keskimääräisissä käyttöolosuhteissa mukaan lukien lämpötilatasot.

Mikäli tarkempia käyttöolosuhteita vastaavia mittaustuloksia ei ole käytettävissä, voidaan käyttää Komission asetusten (EU) N:o 813/2013 (vesikiertoinen tilojen lämmitys ja yhdistelmä­lämmittimissä myös käyttöveden lämmitys), N:o 814/2013 (käyttöveden lämmitys) ja N:o 2016/2281 (ilmalämmitys) ekologista suunnittelua koskevien vaatimusten mukaisesti määritettyjä ja pakollisissa tuotetiedoissa esitettyjä suoritusarvoja kuten ilmoitettua lämpökerrointa $COP_d(T_j)$ ja ilmoitettua lämmitystehoa $P_{dh}(T_j)$ tai mikäli näitä ei voida käyttää, voidaan käyttää standardin SFS-EN 14825:2016 mukaisia vastaavia suoritusarvoja.

Asetusten mukaisissa tuotetiedoissa ei vaadita esitettäväksi kompressorin sähkötehoa, joten se on yleensä laskettava poistoilmalämpöpumpun tuottamasta lämpötehosta lämpökertoimen avulla. Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskennassa käytettävä kompressorin sähköteho P on lämmitysteho / lämpökerroin.

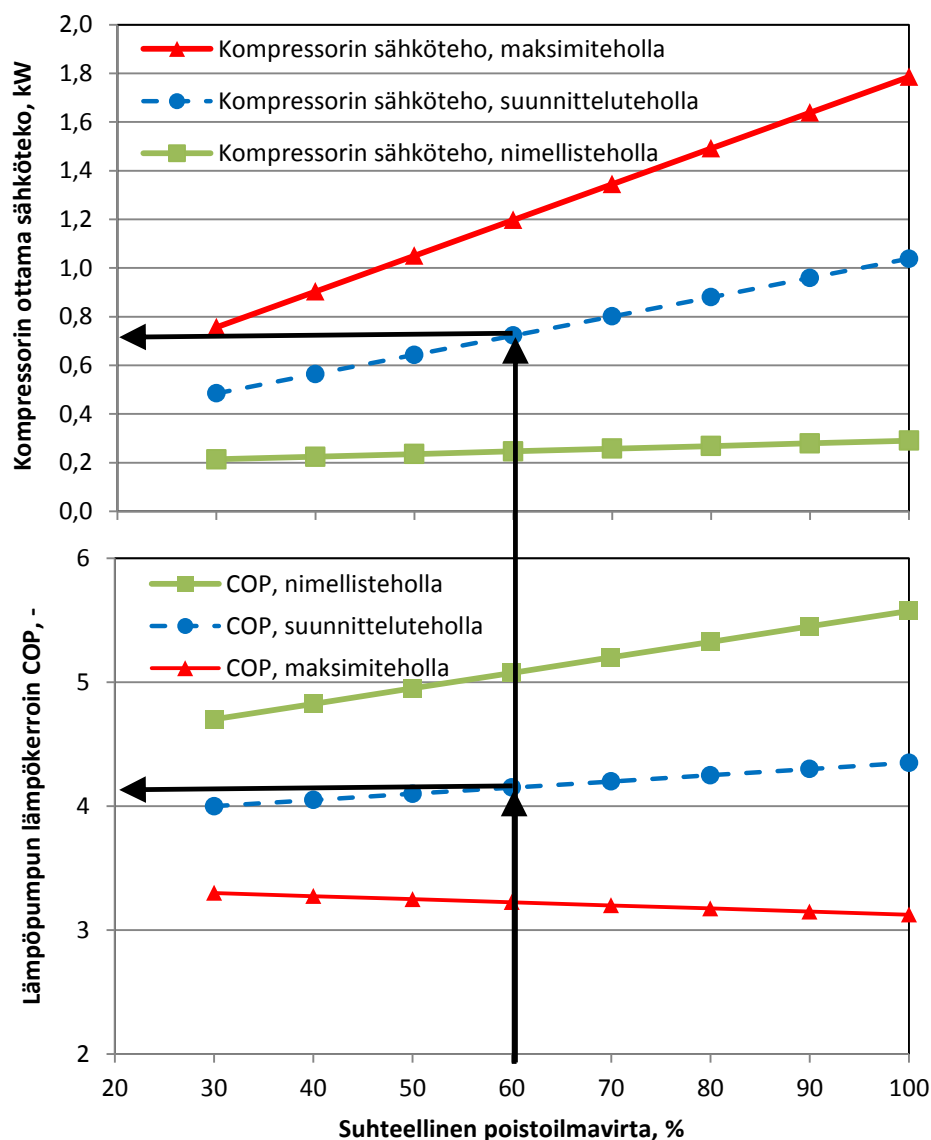
Ellei tarkempaa tietoa ole, voidaan kompressorin sähkötehona käyttää valmistajan ilmoittamaa kompressorin nimellistehoa. Tarkemman tiedon puuttuessa, voidaan lämpökertoimen COP käyttää taulukossa 2 esitettyjä ympäristöministeriön energialaskentaohjeen 2018 mukaisia SPF-lukuja. SPF-luku on lämpöpumpun vuoden keskimääräinen lämpökerroin. SPF-luvun käyttämisessä on otettava huomioon, että se sisältää myös poistoilmalämpöpumpun tapauksessa myös ilmanvaihtojärjestelmään kuuluvien puhaltimien kuluttamaa sähköä. Puhaltimien sähkönkulutusta ei tämän oppaan laskelmissa oteta lainkaan huomioon.

Höyrystimen jälkeisen poistoilman lämpötilaa voidaan joutua rajoittamaan jäätymisen estämiseksi. Ensisijaisesti käytetään laitevalmistajan antamia arvoja. Mikäli näitä ei ole käytettävissä, voidaan käyttää LTO-lämmönsiirtimille suositeltuja raja-arvoja: kuivissa toimistotiloissa 0 °C ja tavanomaisissa asuintiloissa +5 °C [Nyman 2003]. Höyrystimen jälkeisellä poistoilman minimilämpötilalla tarkoitetaan keskimääräistä minimilämpötilaa tarkasteltavalla talvijaksolla (esimerkiksi -20 °C), kun poistoilma sisältää kosteutta ja mahdollinen jäätymissuojaus- tai sulatustoiminto on käytössä. Minimilämpötilalla ei siis tarkoiteta yksittäistä alinta mitattua lämpötilaa. Minimilämpötila tulee määrittää laitteesta lähtevästä ilmakehän lämpötilamittauksen perusteella, koska ilman tulee olla hyvin sekoittunutta ja tasalämpöistä mittauskohdassa.

Taulukko 2. Lämpökertoimen COP arvona käytetään ensisijaisesti laitevalmistajan antamia arvoja. Mikäli näitä ei ole käytettävissä, voidaan COP-arvona käyttää taulukossa esitettyjä energialaskentaohjeen 2018 mukaisia poistoilmalämpöpumppujen tilojen ja käyttöveden lämmityksen yhteisiä SPF-lukuja poistoilman lämpötilan ollessa 21 °C. Poistoilmalämpöpumpun SPF-luku sisältää myös ilmanvaihtojärjestelmään kuuluvien puhaltimien kuluttamaa sähköä, jota tämän oppaan laskelmissa ei oteta huomioon. Kehittyneillä teknisillä laiteratkaisuilla on mahdollista huomattavasti taulukon arvoja parempia COP-arvoja.

Poistoilmalämpöpumppu	SPF-luku
<i>Jäteilman alin lämpötila</i>	
-3	2,4
+1	2,1
+3	2,0
+5	1,9

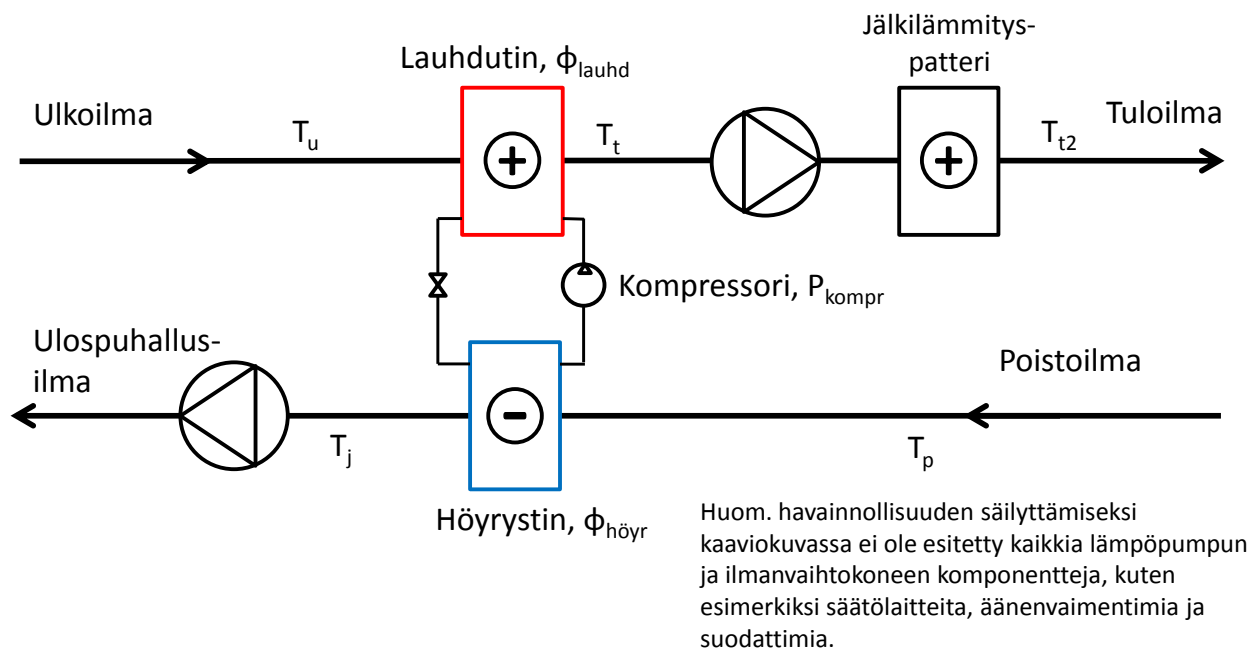
Mikäli poistoilmalämpöpumpun toiminnasta on varmennettua mittaustietoa käytettävissä, voidaan kompressorin sähkötehon ja lämpökertoimen riippuvuus toimintapisteestä ottaa huomioon laskelmissa tarkemmin. Lämpökerroin voidaan määrittää esimerkiksi poistoilmalämpöpumpun höyrystimelle tulevan poistoilman lämpötilasta ja lauhduttimelle tulevan ilman lämpötilasta riippuvana tai muulla vastaavalla tavalla. Lämpöpumpun lämpökerroin pienenee silloin, kun lämpötilaero lämmönlähteen (poistoilma) ja lämmön luovutuksen (tuloilma, varaaja) lämpötilaero kasvaa. Näiden tietojen avulla pystytään laskemaan höyrystin- ja lauhdutustehot. Poistoilmalämpöpumpun tehonsäädön toteutustavasta riippuen osateholla lämpökerroin voi muuttua (kuva 2). Tarkemmassa laskennassa voidaan hyödyntää Lämpöpumppujen energialaskentaopasta 2012. Tässä oppaassa ei käsitellä tarkempaa laskentaa. Tässä oppaassa käsitellään yksinkertaistettua laskentamenetelmää, jota käytetään ympäristöministeriön PILP-laskimessa.



Kuva 2. Esimerkki invertteriohjatun poistoilmalämpöpumpun suoritusarvojen periaatteellisesta riippuvuudesta poistoilmavirrasta ja säädetystä tehosta. Poistoilmalämpöpumpun suoritusarvot lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskentaa varten määritetään samasta toimintapisteestä, joka vastaa parhaiten laitteen toimintaa keskimääräisissä lämmityskauden olosuhteissa. Esimerkin suunnitellussa toimintapisteessä kompressorin sähköteho on 0,72 kW ja lämpökerroin COP on 4,2.

3.3 Poistoilmasta tuloilmaan lämpöä siirtävä lämpöpumppu

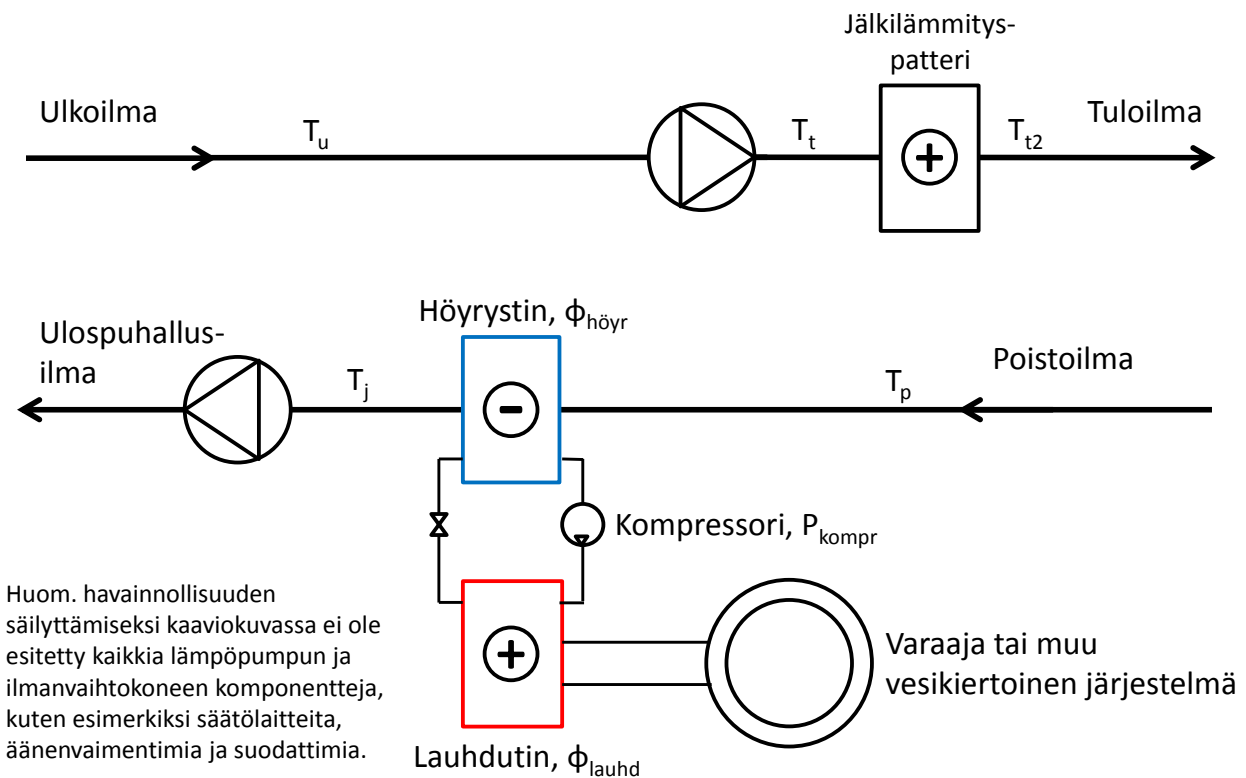
Yksinkertaisin poistoilmalämpöpumpun perustyyppi on poistoilmasta tuloilmaan lämpöä siirtävä lämpöpumppu (kuva 3). Pääkomponentit ovat puhaltimet, poistoilmakanavassa sijaitseva höyrystin, tuloilmakanavassa sijaitseva lauhdutin, kompressorin ja kylmäainekierron tarvittavine komponentteineen. Poistoilmalämpöpumpun toimintaa ohjataan yleensä poistoilman tai huonelämpötilan mittauksen perusteella. Jotta poistoilmalämpöpumppu ottaisi lämpöä talteen lämmityskaudella jatkuvasti, tulee sen lämpötilan asetustarvonta olla korkeampi kuin rakennuksen muiden mahdollisten lämmitysjärjestelmien. Joissakin ratkaisuissa kylmäainekierron toiminta voidaan kesällä kääntää toisinpäin, jolloin tuloilmaa voidaan viilentää.



Kuva 3. Periaatekuva poistoilmalämpöpumpusta, jossa poistoilmasta siirretään lämpöä tuloilmaan.

3.4 Poistoilmasta varaajaan lämpöä siirtävä lämpöpumppu

Toinen poistoilmalämpöpumpun perustyyppi on poistoilmasta vesivaraajaan tai muuhun vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään lämpöä siirtävä lämpöpumppu (kuva 4). Kuvasta poiketen järjestelmään ei välttämättä kuulu lainkaan tuloilmapuhallinta. Tällöin järjestelmää voidaan käyttää myös koneellisen poiston ilmanvaihtojärjestelmissä. Pääkomponentit ovat poistoilmakanavassa sijaitseva höyrystin, varaajassa tai sen vaipassa sijaitseva lauhdutin, kompressorin ja kylmäainepiirin tarvittavine komponentteineen. Lisäksi järjestelmässä voi olla yhdistettynä nestekiertoisia ja kylmäainekiertoisia piirejä ja näitä yhdistäviä lämmönsiirtimiä. Poistoilmalämpöpumpun toimintaa ohjataan yleensä lämmitystarpeen mukaan. Varaajaan siirrettyä lämpöä voidaan käyttää tuloilman, tilojen tai käyttöveden lämmittämiseen.

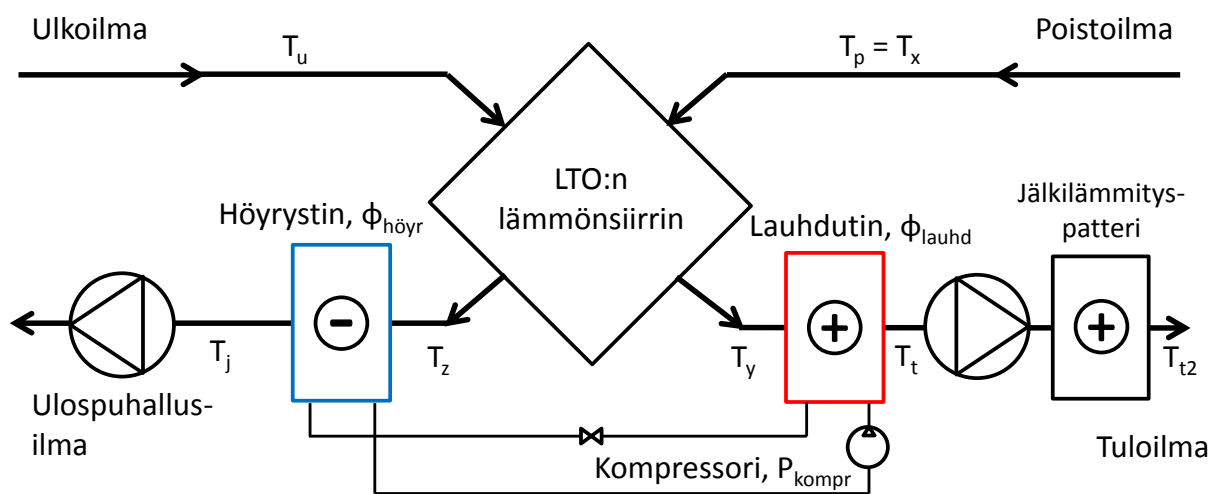


Kuva 4. Poistoilmalämpöpumppu, jossa poistoilmasta siirretään lämpöä varaajaan tai muuhun vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään. Tämän tyyppiseen järjestelmään ei aina sisälly ilmanvaihdon tuloilmajärjestelmää, jolloin ilmanvaihdon ulkoilman sisäänotto toteutetaan yleensä ulkoilmaventtiileillä.

3.5 Poistoilmasta tuloilmaan lämpöä siirtävä lämpöpumppu ja LTO-lämmönsiirrin

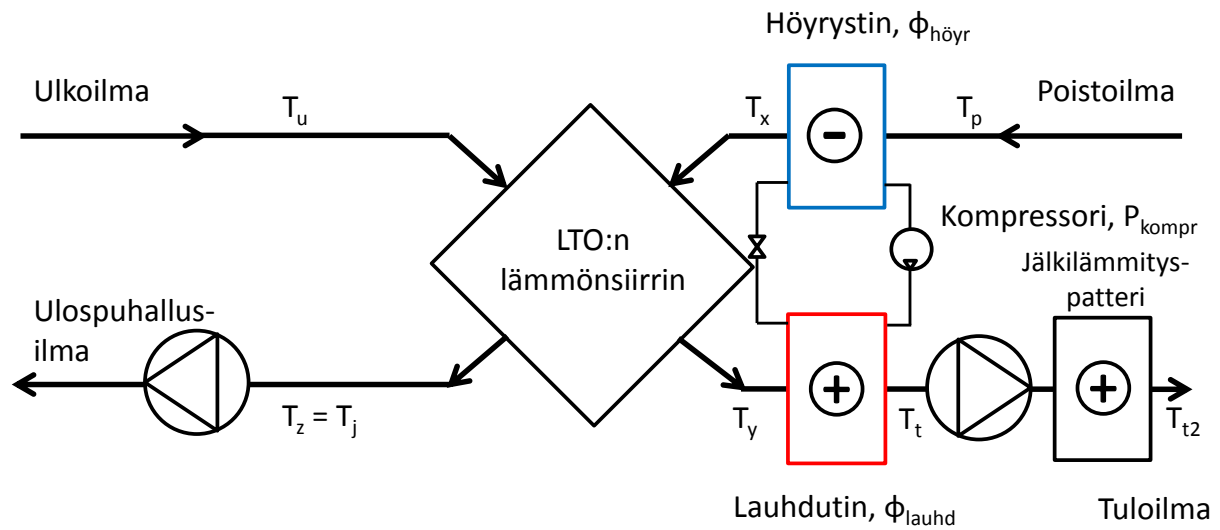
Poistoilmalämpöpumppua voidaan täydentää poistoilman lämmöntalteenoton rekuperatiivisella tai regeneratiivisella lämmönsiirtimellä (kuvat 5 ja 6). Tällöin lämmöntalteenotto toimii, vaikka poistoilmalämpöpumppu ei olisi käynnissä. Lämmönsiirrin lämmittää tuloilmaa ja pienentää ilmanvaihdon lämmitystarvetta. Tällaisissa poistoilmalämpöpumpuissa höyrystin voi olla joko poistoilmassa ennen LTO-lämmönsiirrintä tai LTO-lämmönsiirtimen jälkeen.

Poistoilmalämpöpumpun kannalta LTO-lämmönsiirtimen jälkeinen poistoilma on merkittävästi viileämpi lämmönlähde kuin poistoilma ennen LTO-lämmönsiirrintä. Sijainti vaikuttaa poistoilmalämpöpumpun toimintalämpötiloihin ja lämpökertoimeen. Poistoilmalämpöpumpun lauhdutin on yleensä tuloilmassa lämmöntalteenoton lämmönsiirtimen jälkeen.



Huom. havainnollisuuden säilyttämiseksi kaaviokuvassa ei ole esitetty kaikkia lämpöpumpun ja ilmanvaihdon komponentteja, kuten esimerkiksi säätölaitteita, äänenvaimentimia ja suodattimia.

Kuva 5. Poistoilmalämpöpumppu, jossa poistoilmasta siirretään lämpöä tuloilmaan sekä lämmönsiirtimellä että poistoilmalämpöpumpulla. Poistoilmalämpöpumpun höyrystin sijaitsee poistoilmassa lämmönsiirtimen jälkeen.

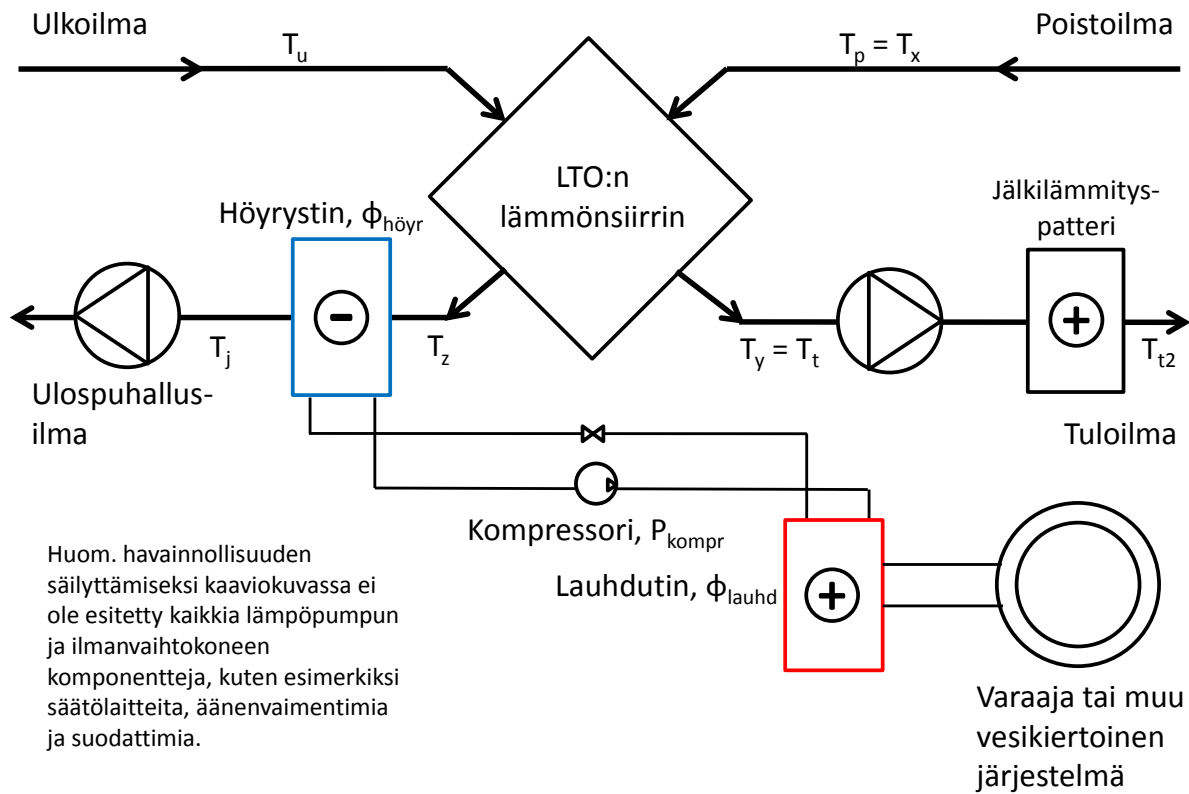


Huom. havainnollisuuden säilyttämiseksi kaaviokuvassa ei ole esitetty kaikkia lämpöpumpun ja ilmanvaihtokoneen komponentteja, kuten esimerkiksi säätölaitteita, äänenvaimentimia ja suodattimia.

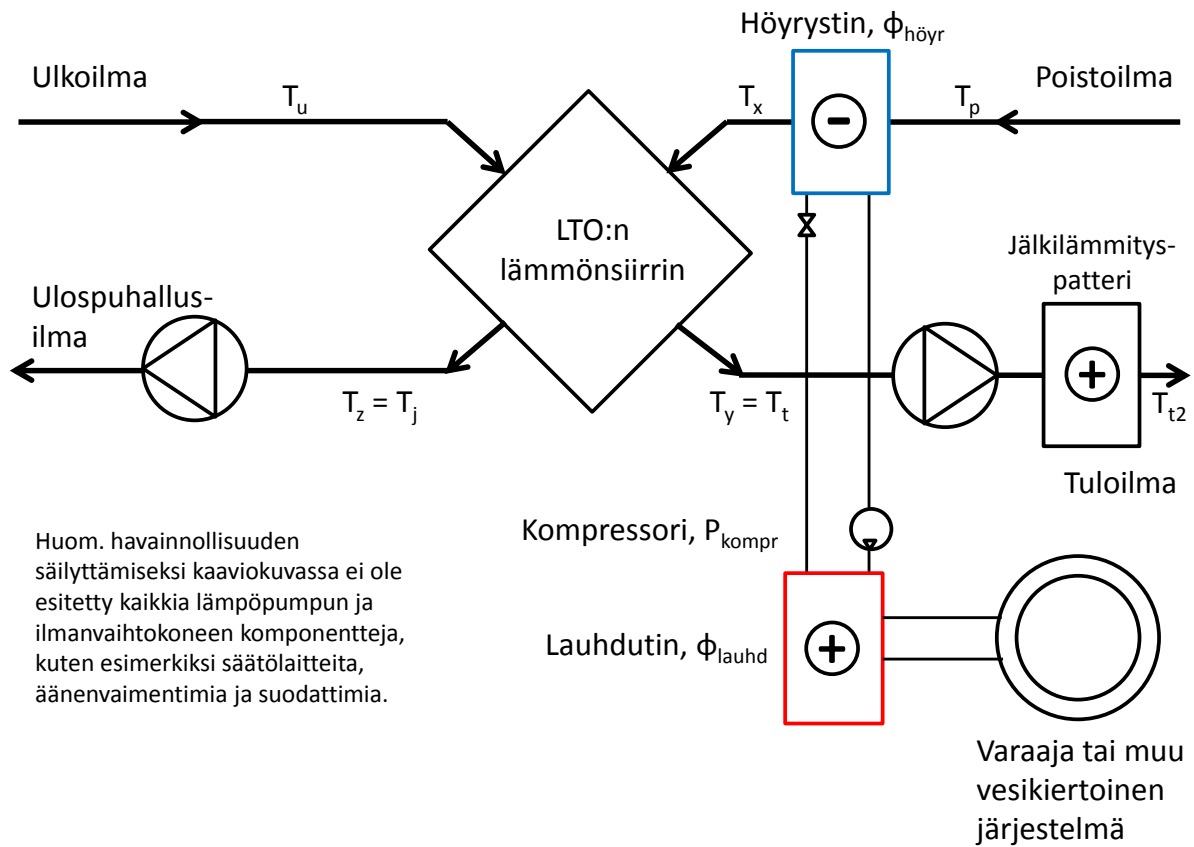
Kuva 6. Poistoilmalämpöpumppu, jossa poistoilmasta siirretään lämpöä tuloilmaan sekä lämmönsiirtimellä että poistoilmalämpöpumpulla. Poistoilmalämpöpumpun höyrystin sijaitsee poistoilmassa ennen lämmöntalteenoton lämmönsiirrintä.

3.6 Poistoilmasta varaajaan lämpöä siirtävä lämpöpumppu ja LTO-lämmönsiirrin

LTO-lämmönsiirtimellä varustettu poistoilmalämpöpumppu voi siirtää lämpöä poistoilmasta vesivaraajaan tai muuhun vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään (kuvat 7 ja 8). Varaajaan siirrettyä lämpöä voidaan käyttää tilojen ja tuloilman lämmitykseen, märkätilojen mukavuuslattialämmitykseen sekä käyttöveden lämmittämiseen.



Kuva 7. Poistoilmalämpöpumppu, jossa poistoilmasta siirretään lämpöä tuloilmaan lämmöntalteenoton lämmönsiirtimellä ja varaajaan lämpöpumpulla. Poistoilmalämpöpumpun höyrystin sijaitsee poistoilmassa lämmöntalteenoton lämmönsiirtimen jälkeen.



Kuva 8. Poistoilmalämpöpumppu, jossa poistoilmasta siirretään lämpöä tuloilmaan lämmöntalteenoton lämmönsiirtimellä ja varaajaan lämpöpumpulla. Poistoilmalämpöpumpun höyrystin sijaitsee poistoilmassa ennen lämmöntalteenoton lämmönsiirrintä.

3.7 Ulkoilman esilämmitys

Poistoilmalämpöpumppu voi sisältää tai siihen voidaan asentaa lisävarusteena ulkoilman esilämmitys. Tällä nostetaan ilmanvaihtokoneelle tulevan ulkoilman lämpötilaa niin, että vähennetään LTO-lämmönsiirtimen jäätymisriskiä ja nostetaan poistoilmalämpöpumpun toimintalämpötilaa. Esilämmitys voidaan tehdä ostoenergialla (esimerkiksi sähkövastuksella) tai esimerkiksi maapiiristä saatavalla lämmöllä (jäätymättömällä nestekiertoisella esilämmityspatterilla). Nestekiertoinen maapiiri voi käyttää lämmönlähteenä porakaivoa tai keräysputkisto voi olla maassa vaakatasossa. Poistoilmalämpöpumppu voi vaatia esilämmityksen toimiakseen matalissa ulkolämpötiloissa. Tässä oppaassa ei käsitellä tarkemmin ulkoilman esilämmityksen laskentaa.

3.8 Poistoilmalämpöpumpun ohjaus- ja säätötavat

Poistoilmalämpöpumpun ohjaus- ja säätötapoja ei käsitellä tässä oppaassa yksityiskohtaisesti. Tässä oppaassa kuvattu laskentamenetelmä ottaa huomioon tärkeimmät poistoilmalämpöpumpun toimintaan liittyvät asiat menemättä kuitenkaan yksityiskohtaisiin tuoteratkaisuihin.

Laskentamenetelmän tavoitteena on, että suurin osa tuotteista pystytään laskemaan tätä ohjetta soveltaen.

Poistoilmalämpöpumpun ja lämmönsiirtimen ohjauksen toimintaa kuvataan yksinkertaistetusti lämpötiloja rajoittamalla. Poistoilmalämpöpumpun höyrystimen jälkeiselle poistoilmalle voidaan antaa alin sallittu lämpötila-arvo. Vastaavasti LTO-lämmönsiirtimen jälkeiselle poistoilmalle voidaan antaa alin sallittu lämpötila-arvo.

Lisäksi laskennan kohteena olevan rakennuksen lämmöntarve voi rajoittaa poistoilmalämpöpumpun lämmöntuottoa. Jos poistoilmalämpöpumppu kykenee viilentämään poistoilmaa ulkoilman lämpötilaa kylmemmäksi, niin tätä osuutta ei lasketa mukaan lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteeseen.

4 Poistoilmalämpöpumpun lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskenta

4.1 Ilmanvaihdon lämpöhäviön laskenta

Lämpöhäviöiden tasauslaskennassa käytettävä rakennuksen ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö lasketaan yhtälön (12) mukaan.

$$H_{iv} = \rho_i c_{pi} q_{v,poisto} t_d t_v (1 - \eta_a) \quad (12)$$

jossa	H_{iv}	on ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö, W/K
	ρ_i	ilman tiheys, 1,2 kg/m ³
	c_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/kgK
	$q_{v, poisto}$	vakioidun käytön mukainen laskennallinen poistoilmavirta, m ³ /s
	t_d	ilmanvaihtojärjestelmän keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde, $\tau_d/24$, missä τ_d on käyntiaika tuntia vuorokaudessa
	t_v	ilmanvaihtojärjestelmän viikoittainen käyntiaikasuhde, $\tau_w/7$, missä τ_w on käyntipäivien lukumäärä viikossa
	η_a	ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton (LTO) vuosihyötysuhde, joka on lämmöntalteenottolaitteistolla vuodessa talteenotettavan ja hyödynnettävän energian suhde ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemaan energiaan, kun lämmöntalteenottoa ei ole.

Ilmanvaihdon lämpöhäviö lasketaan tarvittaessa erikseen jokaiselle ilmanvaihtokoneelle mukaan lukien poistoilmapuhaltimet, joissa ei ole lämmöntalteenottoa, sekä poistoilmalämpöpumput. Koko rakennuksen ilmanvaihdon lämpöhäviö on kaikkien ilmanvaihtokoneiden lämpöhäviöiden summa. Ilmanvaihdon lämpöhäviöiden laskennasta ja lämmöntalteenoton hyötysuhteista on lisätietoa Tasauslaskentaoppaassa 2018. Poistoilmalämpöpumpulla saattaa olla poistoilmavirran minimiarvo, jota ei saa alittaa, jotta kylmäainepiirin toimisi häiriöttömästi. Jos suunniteltu ilmavirta on pienempi kuin poistoilmalämpöpumpun minimi-ilmavirta, tätä opasta ei voida käyttää vuosihyötysuhteen laskentaan. Tämä tulee ottaa huomioon mitoituksessa ja laitevalinnassa.

4.2 Ilmavirrat ja käyntiajat lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskennassa

Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskennassa käytetään suunniteltuja ilmavirtoja ja suunniteltuja käyttöaikoja.

4.3 Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde

Rakennuksen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on lämmöntalteenottolaitteistolla talteenotettavan ja hyödynnettävän lämpöenergian suhde rakennuksen ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemaan lämpöenergiaan, kun lämmöntalteenottoa ei ole. Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde η_a lasketaan yhtälön (13) mukaan ottamalla huomioon kaikki rakennuksen lämmöntalteenoton piiriin kuuluvat poistoilmavirrat.

$$\eta_a = \frac{\sum Q_{LTO} + \sum Q_{PILP}}{\sum Q_{iv}} \quad (13)$$

jossa η_a on rakennuksen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde, -
 Q_{LTO} poistoilmasta LTO-lämmönsiirtimellä (LTO) talteenotettu ja suoraan tuloilman lämmityksessä hyödynnetty lämpöenergia lämmityskaudella, kWh
 Q_{PILP} poistoilmasta poistoilmalämpöpumpulla (PILP) talteenotettu ja tuloilman tai tilojen lämmityksessä hyödynnetty lämpöenergia lämmityskaudella, kWh
 Q_{iv} ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema lämmitysenergia lämmityskaudella, jos ei ole lämmöntalteenottoa tai poistoilmalämpöpumppua, kWh

Tässä oppaassa LTO-lämmönsiirtimellä varustetulla lämmöntalteenotolla (LTO) tarkoitetaan levylämmönsiirtimillä (ristivirta ja vastavirta), pyörivällä regeneratiivisella lämmönsiirtimellä tai epäsuorilla pumppukiertoisilla LTO-pattereilla varustettua lämmöntalteenottoa erotuksena poistoilmalämpöpumpulla (PILP) tapahtuvasta lämmöntalteenotosta.

Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde voidaan laskea yhtälön (13) mukaan myös erikseen kullekin ilmanvaihtokoneelle ottamalla huomioon vain kyseessä olevan ilmanvaihtokoneen kautta kulkeva suunniteltu poistoilmavirta ($q_{v, poisto, s}$). Ilmanvaihtokonekohtaisista lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteista ($\eta_{a, ivkone}$) voidaan laskea koko rakennuksen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde ilmavirroilla painotettuna keskiarvona yhtälön (14) mukaan. Painotuksessa käytetään suunniteltua poistoilmavirtaa, joka on kerrottu käyntiaikatekijöillä.

$$\eta_a = \frac{\sum q_{v, poisto, s} t_d t_v \eta_{a, ivkone}}{\sum q_{v, poisto, s} t_d t_v} \quad (14)$$

jossa η_a on rakennuksen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde, -
 $q_{v, poisto, s}$ suunniteltu poistoilmavirta, m³/s
 t_d ilmanvaihtojärjestelmän keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde, $\tau_d/24$, missä τ_d on käyntiaika tuntia vuorokaudessa
 t_v ilmanvaihtojärjestelmän viikoittainen käyntiaikasuhde, $\tau_w/7$, missä τ_w on käyntipäivien lukumäärä viikossa
 $\eta_{a, ivkone}$ yksittäiselle ilmanvaihtokoneelle määritetty poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde, -

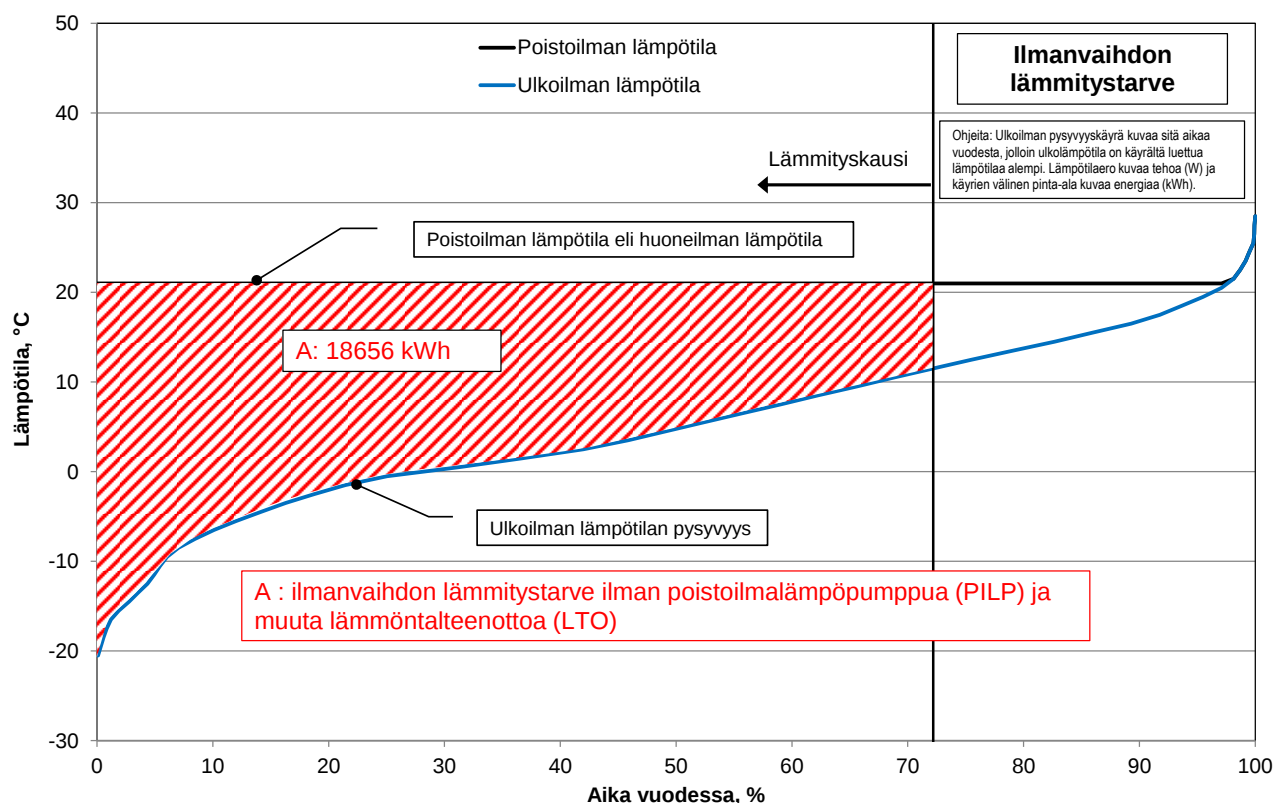
4.4 Ilmanvaihdon lämmityksen energiantarve ilman lämmöntalteenottoa

Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema lämmitysenergia lämmityskaudella ilman lämmöntalteenottoa Q_{iv} lasketaan yhtälön (15) mukaan. Jos rakennuksessa on useita ilmanvaihtokoneita, niin niiden tarvitsema lämmitysenergia lasketaan erikseen ja yhtälössä (13) käytetään lämmitysenergioiden summaa.

$$Q_{iv} = c_p \rho \sum q_{v, poisto, s} t_d t_v \sum_i (T_s - T_{u, i}) \Delta \tau_i \quad (15)$$

jossa	Q_{iv}	on ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema lämmitysenergia lämmityskaudella ilman LTO:a tai PILP:a, kWh (vastaa kuvassa 9 pinta-alaa A)
	c_p	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1,0 kJ/kgK
	ρ	ilman tiheys, 1,2 kg/m ³
	$q_{v, poisto, s}$	suunniteltu poistoilmavirta, m ³ /s
	t_d	ilmanvaihtojärjestelmän keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde, $\tau_d/24$, missä τ_d on käyntiaika tuntia vuorokaudessa
	t_v	ilmanvaihtojärjestelmän viikoittainen käyntiaikasuhde, $\tau_w/7$, missä τ_w on käyntipäivien lukumäärä viikossa
	T_s	sisäilman lämpötila (= poistoilman lämpötila), °C
	$T_{u, i}$	ulkoilman lämpötila, °C
	$\Delta\tau_i$	ajanjakson pituus, jolloin ulkoilman lämpötila $T_{u, i}$ esiintyy, h (liite 1).

Tässä oppaassa esitetään menetelmä, jossa laskenta tehdään pysyvyyskäyrän avulla. Siinä ulkolämpötila on jaettu yhden asteen välein esiintymisajanjaksoihin, joilla laskenta tehdään. Säätieloina käytetään asetuksen mukaisia säätieloina (liite 1). Ilmanvaihdon lämmitystarve ilman LTO:a esitetään kuvassa 9. Esimerkkilaskelman lämmitystarve (kWh vuodessa) on laskettu poistoilmavirralla 125 dm³/s, joka on ilmanvaihdon tarpeen perusteella käyttöajan suunniteltu poistoilmavirta.



Kuva 9. Ilmanvaihdon lämmitystarve Q_{iv} ilman lämmöntalteenottoa ja poistoilmalämpöpumppua. Q_{iv} vastaa kuvassa pinta-alaa A. Vuotuinen lämmitystarve lasketaan lämmityskaudelle eli jaksolle, jolla ulkoilman lämpötila on alle +12 °C. Lämmitystarve (kWh vuodessa) on laskettu poistoilmavirralla 125 dm³/s, joka on ilmanvaihdon tarpeen perusteella käyttöajan suunniteltu poistoilmavirta. Ohjeita pysyvyyskäyräkuvan lukemiseen: ulkoilman pysyvyyskäyrä kuvaa sitä aikaa vuodesta, jolloin ulkolämpötila on käyrältä luettua lämpötilaa alempi. Käyrien välinen lämpötilaero kuvaa tehoa (W) ja pinta-ala energiaa (kWh).

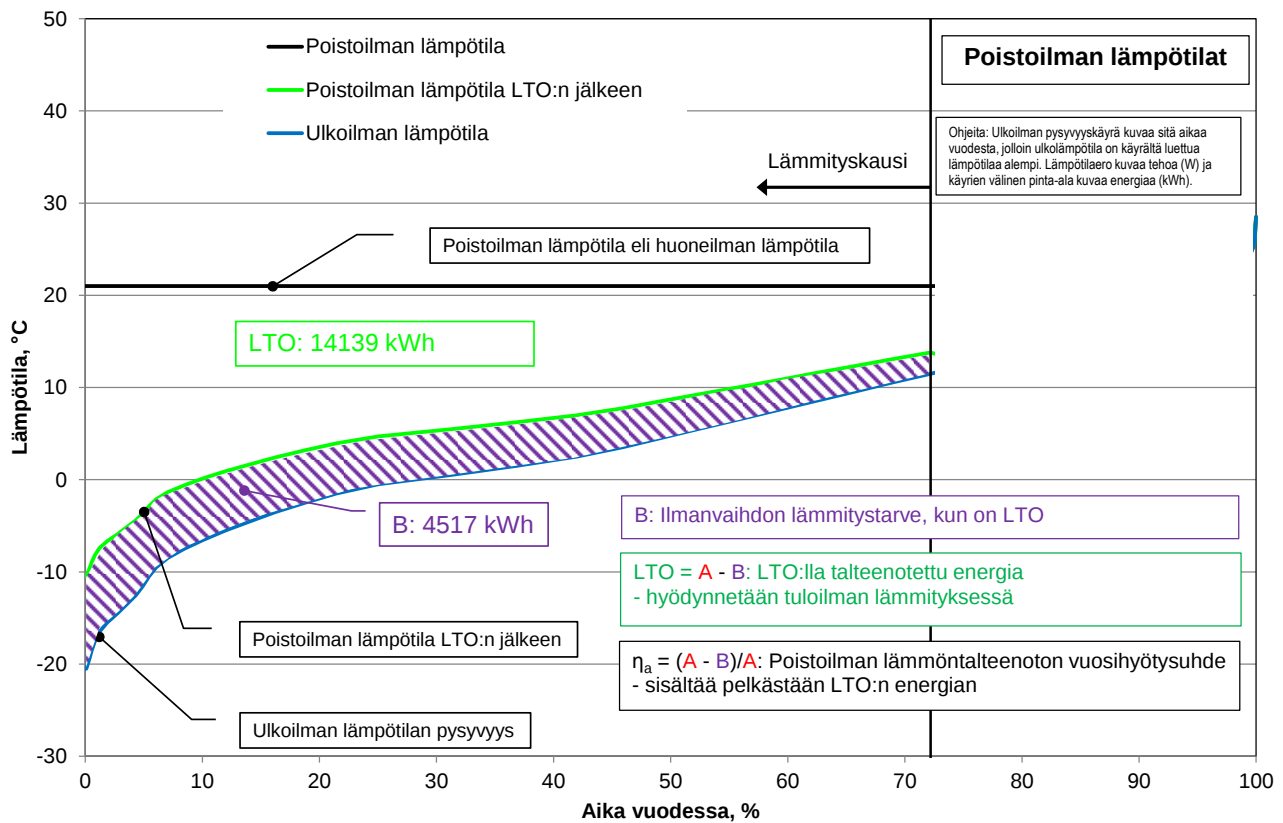
4.5 LTO-lämmönsiirtimellä (LTO) talteen saatu energia

Poistoilmasta LTO-lämmönsiirtimellä (LTO) talteenotettu lämpöenergia Q_{LTO} lasketaan yhtälön (16) mukaan. Jos rakennuksessa on useita LTO:lla varustettuja ilmanvaihtokoneita, niin niiden talteenottama lämpöenergia lasketaan erikseen ja yhtälössä (13) käytetään energioiden summaa.

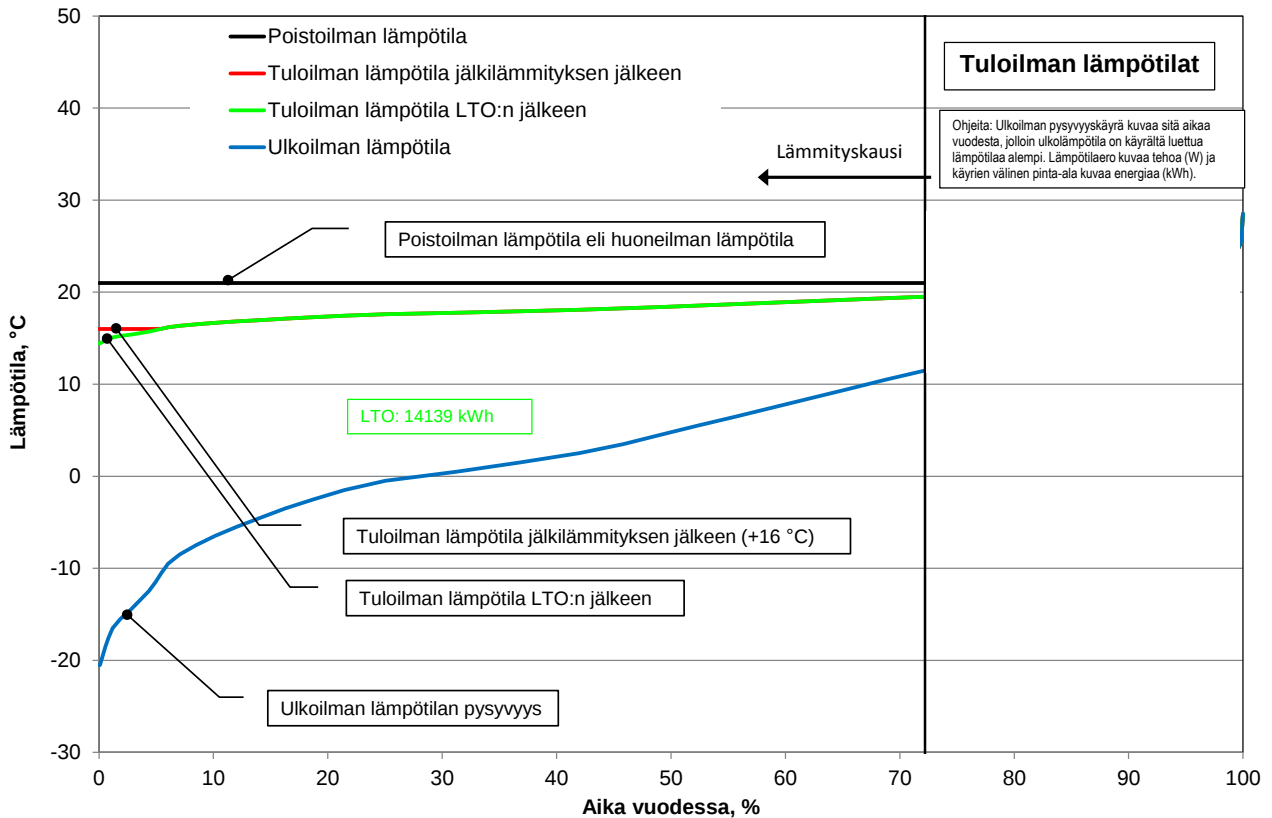
$$Q_{LTO} = c_p \rho q_{v, poisto, s} t_d t_v \sum_i (T_{p, i} - T_{j, i}) \Delta \tau_i \quad (16)$$

jossa	Q_{LTO}	on poistoilmasta lämmönsiirtimellä talteenotettu ja suoraan tuloilman lämmityksessä hyödynnetty lämpöenergia lämmityskaudella, kWh (vastaa kuvassa 10 pinta-alaa LTO)
	c_p	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1,0 kJ/kgK
	ρ	ilman tiheys, 1,2 kg/m ³
	$q_{v, poisto, s}$	suunniteltu poistoilmavirta, m ³ /s
	t_d	ilmanvaihtojärjestelmän keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde, $\tau_d/24$, missä τ_d on käyntiaika tuntia vuorokaudessa
	t_v	ilmanvaihtojärjestelmän viikoittainen käyntiaikasuhde, $\tau_w/7$, missä τ_w on käyntipäivien lukumäärä viikossa
	$T_{p, i}$	poistoilman lämpötila ennen lämmönsiirrintä, °C
	$T_{j, i}$	poistoilman lämpötila lämmönsiirtimen jälkeen, °C
	$\Delta \tau_i$	ajanjakson pituus, jolloin poistoilman lämpötiloja $T_{p, i}$ ja $T_{j, i}$ vastaava ulkoilman lämpötila esiintyy, h.

Ilmanvaihdon lämmitystarve LTO:n kanssa esitetään kuvassa 10. Samassa kuvassa esitetään myös poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskenta. Kuvassa 11 esitetään sama LTO-ratkaisu tuloilmapuolelta tuloilman lämpötiloilla kuvattuna. Koska tuloilmavirta on 10 % pienempi kuin poistoilmavirta (125 dm³/s), tuloilman lämpötilanmuutos LTO-lämmönsiirtimessä on hieman suurempi kuin poistoilmavirran. LTO-lämmönsiirtimen tuloilman lämpötilasuhde yhtä suurilla ilmavirroilla on 0,80. Lämpötilasuhteiden laskenta esitetään tarkemmin Tasauslaskentaoppaan 2018 liitteessä 4.



Kuva 10. Ilmanvaihdon LTO ja lämmitystarve LTO:n kanssa. Poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on lämmöntalteenottolaitteistolla (LTO) talteenotettavan ja hyödynnettävän energian ($LTO = A - B$) suhde ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemaan energiaan A (kuvasta 9), kun lämmöntalteenottoa ei ole. Lämmitystarve ja talteenotettu energia (kWh vuodessa) on laskettu poistoilmavirralla $125 \text{ dm}^3/\text{s}$, joka on ilmanvaihdon tarpeen perusteella käyttöajan suunniteltu poistoilmavirta. Laskentatapauksessa lämmöntalteenoton tehoa ei rajoiteta jäätyksen estämiseksi. Lämpimällä säällä lämmöntalteenottoa ei rajoiteta tuloilman lämpötilan tai tilojen lämmitystarpeen takia. Kuvan esimerkissä lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteeksi η_a tulee $14\,139 / 18\,656 = 76 \%$.



Kuva 11. Tuloilman lämpötila lämmöntalteenoton jälkeen. Ulkoilman ja tuloilman välinen alue vastaa poistoilmasta talteenotettua energiaa eli pinta-alaa LTO kuvassa 10. Lisäksi kuvassa on tuloilman lämpötila jälkilämmityksen jälkeen. Tuloilman jälkilämmityspatterin asetusarvo on tässä esimerkissä +16 °C. Talteenotettu energia (kWh vuodessa) on laskettu poistoilmavirralla 125 dm³/s, joka on ilmanvaihdon tarpeen perusteella käyttöajan suunniteltu poistoilmavirta. Tuloilmavirta on 90 % poistoilmavirrasta.

4.6 Poistoilmalämpöpumpulla (PILP) talteen saatu energia

Poistoilmalämpöpumpulla (PILP) talteen otettu lämpöenergia lämmityskaudella Q_{PILP} lasketaan yhtälön (17) mukaan.

$$Q_{PILP} = c_p \rho q_{v, poisto, s} t_d t_v \sum_i (T_{p,i} - T_{j,i}) \Delta \tau_i \quad (17)$$

jossa Q_{PILP} on poistoilmasta lämpöpumpulla talteenotettu ja tuloilman tai tilojen lämmityksessä hyödynnetty lämpöenergia lämmityskaudella, kWh (vastaa kuvassa 12 pinta-alaa PILP)

c_p ilman ominaislämpökapasiteetti, 1,0 kJ/kgK

ρ ilman tiheys, 1,2 kg/m³

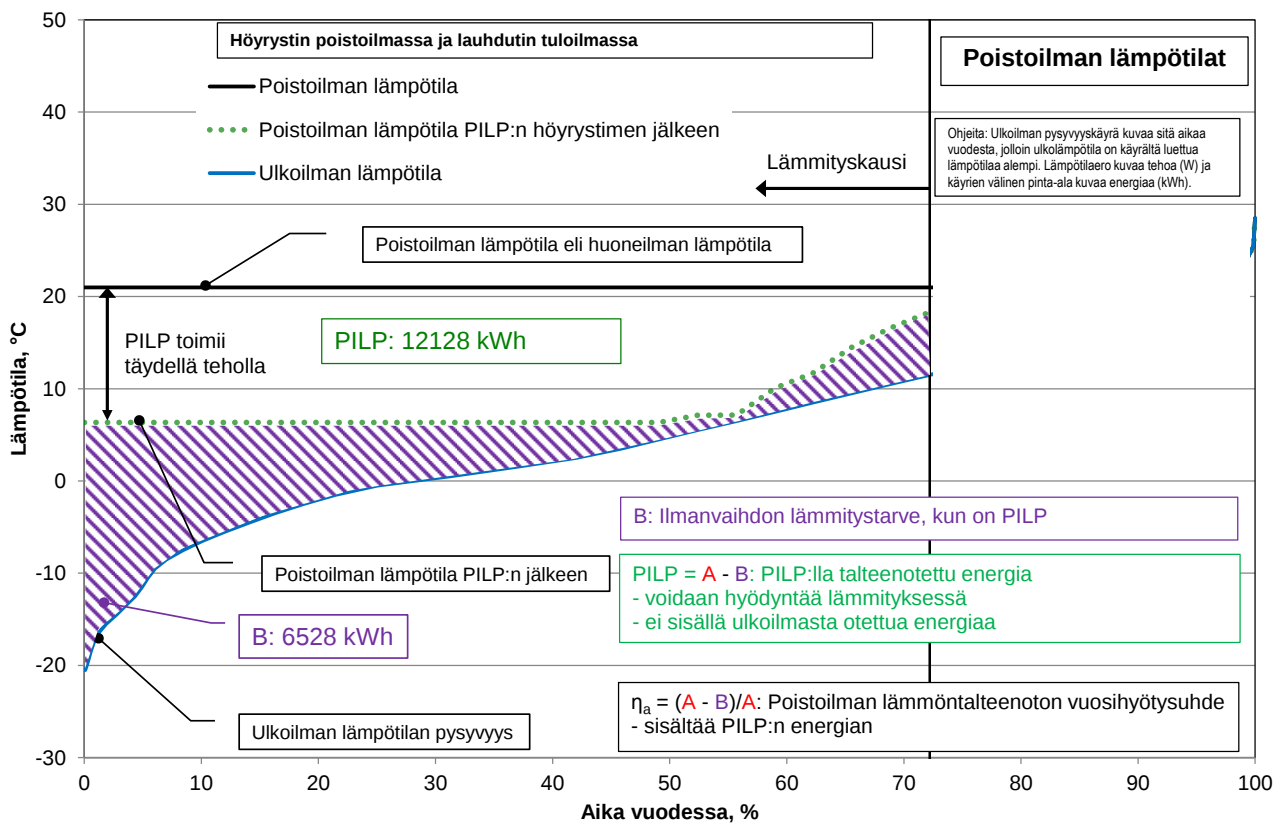
$q_{v, poisto, s}$ suunniteltu poistoilmavirta, m³/s

t_d ilmanvaihtojärjestelmän keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde, $\tau_d/24$, missä τ_d on käyntiaika tuntia vuorokaudessa

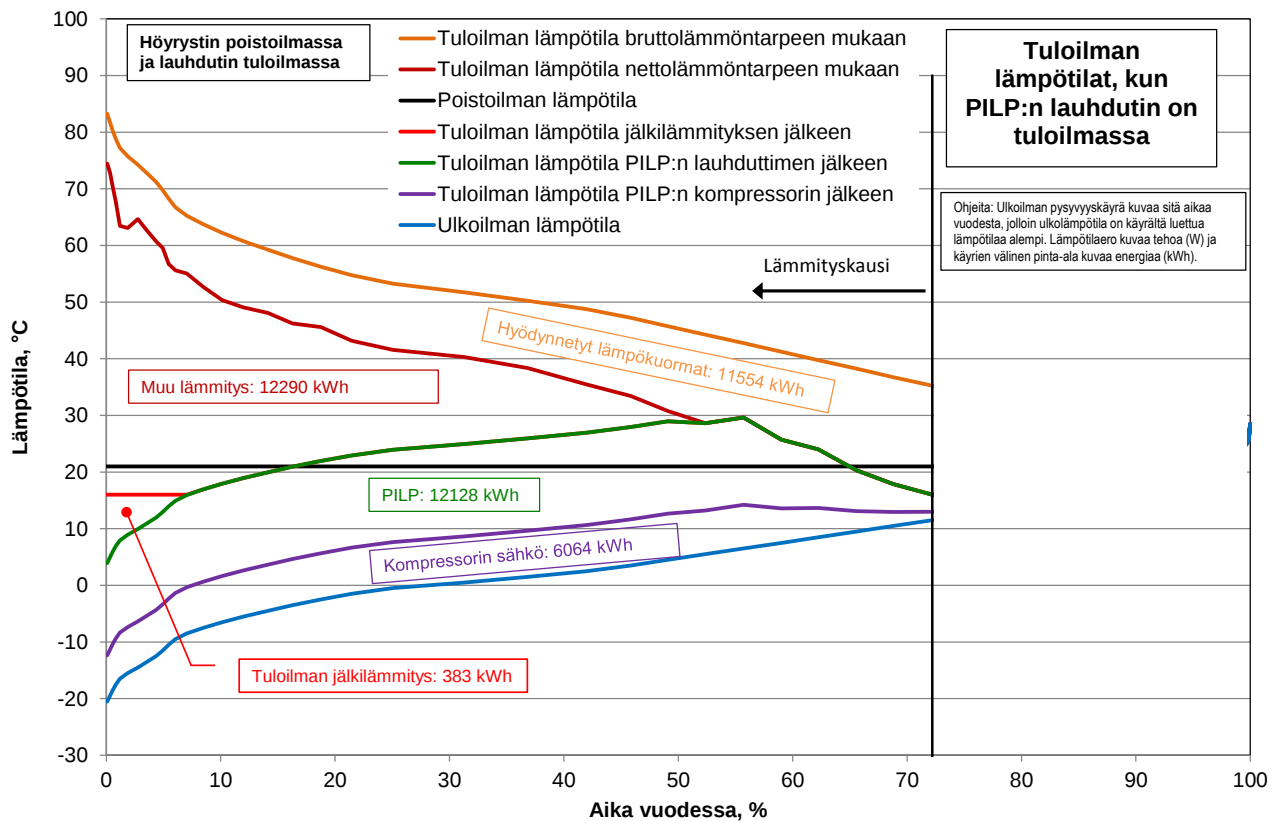
t_v ilmanvaihtojärjestelmän viikoittainen käyntiaikasuhde, $\tau_w/7$, missä τ_w on käyntipäivien lukumäärä viikossa

$T_{p,i}$ poistoilmalämpöpumpun höyrystimelle tulevan poistoilman lämpötila, °C
 $T_{j,i}$ poistoilman lämpötila poistoilmalämpöpumpun höyrystimen jälkeen, °C
 $\Delta\tau_i$ ajanjakson pituus, jolloin poistoilman lämpötiloja $T_{p,i}$ ja $T_{j,i}$ vastaava ulkoilman lämpötila esiintyy, h.

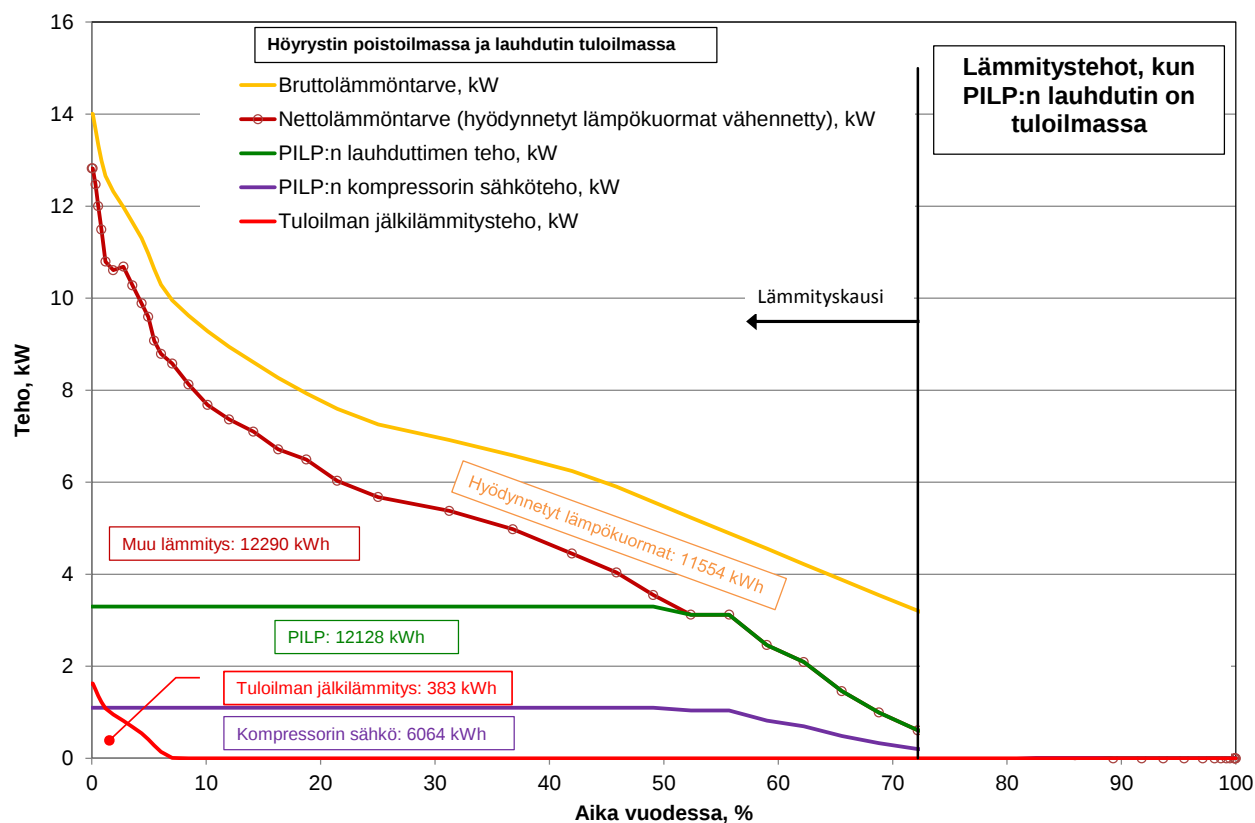
Ilmanvaihdon lämmitystarve poistoilmalämpöpumpun kanssa esitetään kuvassa 12. Poistoilmalämpöpumpun lämpökerroin on 3,0 ja kompressorin sähköteho on 1 100 W. Poistoilmavirta on 125 dm³/s. Täydellä teholla PILP kykenee jäähdyttämään poistoilman lämpötilasta 21 °C lämpötilaan 6,3 °C. Samassa kuvassa esitetään myös poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskenta. Kuvassa 13 esitetään sama poistoilmalämpöpumppuratkaisu tuloilmapuolelta tuloilman lämpötiloilla ja kuvassa 14 tehoilla kuvattuna. Yhtälössä (7) käytetty poistoilman lämpötila höyrystimen jälkeen ei voi olla ulkoilman lämpötilaa alempi, kun määritetään lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta lämpöhäviöiden tasauskalkentaa varten. Tasauskalkennassa energiantuotantoa ei oteta huomioon. Ulkoilman lämpötilaa alemmaksi jäähdytetty poistoilma ei ole lämmöntalteenottoa, vaan tältä osin saatu lämpö rinnastetaan ulkoilmalämpöpumpulla tapahtuvaan lämmöntuotantoon.



Kuva 12. Poistoilmalämpöpumpulla talteenotettu lämpöenergia ja ilmanvaihdon lämmitystarve PILP:n kanssa. Täydellä teholla PILP kykenee jäähdyttämään poistoilman lämpötilasta 21 °C lämpötilaan 6,3 °C. Poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on PILP:llä talteenotettavan ja hyödynnettävän energian (PILP = A - B) suhde ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemaan energiaan (A kuvassa 9), kun lämmöntalteenottoa ei ole. Lämpimällä säällä rakennuksen lämmöntarpeen pieneneminen rajoittaa PILP:n tehoa. Lämmitystarve ja talteenotettu energia (kWh vuodessa) on laskettu poistoilmavirralla 125 dm³/s, joka on ilmanvaihdon tarpeen perusteella käyttöajan suunniteltu poistoilmavirta. Kuvan esimerkissä PILP:lla tapahtuvan lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteeksi η_a tulee 12 128 / 18 656 = 65 %.



Kuva 13. Poistoilmalämpöpumpun tuottaman lämmön hyödyntäminen tuloilman ja tilojen lämmityksessä. Poistoilmalämpöpumpun tehot esitetään kuvassa tuloilman lämpötiloina. Kompressorin sähkön kulutus on 6 064 kWh, joka siirtyy lämpönä tuloilmaan. Tuloilmaan siirtyy myös 12 128 kWh poistoilmasta talteen saatua lämpöä. Poistoilmalämpöpumpun lisäksi tarvitaan 12 290 kWh tilojen lämmitysenergiaa (esimerkiksi lattialämmitystä). Hyödyksi saadut lämpökuormat ovat pienentäneet rakennuksen lämmitystarvetta 11 554 kWh lämmityskauden aikana. Lämpimällä säällä rakennuksen lämmöntarpeen pieneneminen rajoittaa poistoilmalämpöpumpun tehoa. Lisäksi kuvassa on tuloilman lämpötila jälkilämmityksen jälkeen. Tuloilman jälkilämmityspatterin asetusarvo on tässä esimerkissä +16 °C. Talteenotettu energia on laskettu poistoilmavirralla 125 dm³/s, joka on ilmanvaihdon tarpeen perusteella käyttöajan suunniteltu poistoilmavirta.



Kuva 14. Poistoilmalämpöpumpun tuottaman lämmön hyödyntäminen tuloilman ja tilojen lämmityksessä lämmitystehoina. Vastaa kuvassa 13 esitettyä tapausta. Mikäli poistoilmalämpöpumpun tuottamaa lämpöä siirretään varaaajaan ja käytetään käyttöveden lämmitykseen tai muuhun vesikiertoiseen lämmitykseen, niiden tehot esitetään vastaavassa kuvassa (laskentaesimerkin kuva 31).

4.7 Lämmöntarpeen laskenta

4.7.1 Tilojen lämmitys

Poistoilmalämpöpumppulaskelmissa lasketaan ympäristöministeriön energialaskentaohjeen 2018 mukaisesti kuitenkin niin, että laskentayhtälöissä käytetään lämpötehoja energialaskentaohjeessa 2018 käytettyjen lämpöenergioiden sijasta. Lämpötehosta saadaan laskettua lämpöenergia kertomalla se ajanjakson pituudella. Osa tässä oppaassa esitetyistä yhtälöistä on koostettu useammasta energialaskentaohjeen 2018 yhtälöstä.

Lämpöhäviöiden tasauslaskennassa poistoilmalämpöpumpun tuottama lämpö tulee käyttää tilojen lämmitykseen, joka sisältää rakennusosien, vuotoilman ja ilmanvaihdon lämpöhäviöistä syntyvän lämmitystarpeen. Poistoilmalämpöpumpun tuottaman lämmön hyödyntämisen laskentaa varten tulee määrittää tilojen lämmityksen nettotehontarve, joka saadaan vähentämällä lämpöhäviöistä lämmityksessä hyödynnetyt lämpökuormat. Tilojen lämmitysjärjestelmän hyötysuhdetta tai muita lämpöhäviöitä ei oteta yleensä huomioon erikseen poistoilmalämpöpumpun osalta, koska se ei yleensä ole päälämmitysjärjestelmä. Häviöt voi tarvittaessa ottaa huomioon esimerkiksi lämmityksen nettotehontarpeessa. Poistoilmalämpöpumpun tuottama lämpöteho ei voi olla suurempi kuin tilojen lämmityksen nettotehontarve yhtälön (11) mukaisesti. Tilojen lämmityksen nettotehontarve lasketaan energialaskentaohjeen 2018 lämpökuormaenergioiden hyödyntämisen laskentaa soveltaen yhtälöllä (18).

$$\Phi_{\text{lämmitys, tilat, netto}} = \Phi_{\text{joht}} + \Phi_{\text{vuotoilma}} + \Phi_{\text{iv}} - \Phi_{\text{tulopatterit}} - \eta_{\text{lämpö}} \cdot \Phi_{\text{lämpökuorma}} \quad (18)$$

jossa	$\Phi_{\text{lämmitys, tilat, netto}}$	on tilojen lämmityksen nettotehontarve, W
	Φ_{joht}	rakenteiden läpi johtuva lämpöteho ilman rakenneliitosten kylmäsiltojen vaikutusta, W
	$\Phi_{\text{vuotoilma}}$	vuotoilman lämmityksen tarvitsema lämpöteho, W
	Φ_{iv}	ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema lämpöteho, W
	$\Phi_{\text{tulopatterit}}$	tuloilman jälkilämmityspatterin tarvitsema lämpöteho, W
	$\eta_{\text{lämpö}}$	lämpökuormien hyödyntämisaste, -
	$\Phi_{\text{lämpökuorma}}$	rakennuksen sisälle vapautuva lämpökuorma, W

4.7.2 Lämpöhäviöt

Ilmanvaihdon lämmitystarpeen määritelmä ja laskenta on esitetty kohdassa 4.4. Rakennusosien ja vuotoilman aiheuttama lämmitystarve on laskettava erikseen. Yksinkertaisimmin lämmitystarve voidaan laskea Tasauslaskimella 2018, joka on saatavissa ympäristöministeriön [www-sivuilta](http://www.sivuilta). Sillä voidaan laskea riittävällä tarkkuudella tilojen ja vuotoilman ominaislämpöhäviö (W/K). Tilojen ja vuotoilman lämpöhäviöteho saadaan kertomalla ominaislämpöhäviö sisä- ja ulkolämpötilan erolla. **Poistoilmalämpöpumpun tuottaman lämmön hyödyntämisen laskentaa varten tulee tietää poistoilmalämpöpumpun vaikutusalueella olevat tilat, mikäli poistoilmalämpöpumppu ei palvele koko rakennusta.**

4.7.3 Lämpökuormat

Laitteista, valaistuksesta, ihmisistä ja ikkunoiden läpi auringosta tulevat lämpökuormat pienentävät rakennuksen lämmitystarvetta. Rakennuksen lämpökuorma lasketaan yhtälöllä (19) energialaskentaohjetta 2018 soveltaen. Poistoilmalämpöpumppulaskelmissa voidaan käyttää asetuksen 11 § mukaisia vakioitua käyttöä vastaavia käyttöasteella kerrottuja ominaiskuormia. Myös suunnitelmien mukaisia lämpökuormia voidaan käyttää. Lämpimän käyttöveden järjestelmistä tulevia lämpökuormia ei oteta tässä yksinkertaistetussa laskennassa huomioon.

$$\Phi_{\text{lämpökuorma}} = \Phi_{\text{henk}} + \Phi_{\text{säh}} + \Phi_{\text{aur}} + \Phi_{\text{lkv, kierto, kuorma}} + \Phi_{\text{lkv, varastointi, kuorma}} \quad (19)$$

jossa	$\Phi_{\text{lämpökuorma}}$	on rakennuksen lämpökuorma, W
	Φ_{henk}	henkilöiden luovuttama lämpöteho (esim. käyttötarkoitussuokka 1: 1,2 W/m ²), W
	$\Phi_{\text{säh}}$	valaistuksesta ja sähkölaitteista rakennuksen sisälle tuleva lämpökuorma (esim. käyttötarkoitussuokka 1: 0,6 + 1,8 W/m ²), W
	Φ_{aur}	ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyteho, W
	$\Phi_{\text{lkv, kierto, kuorma}}$	lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviöistä lämpökuormaksi tuleva lämpöteho, ei oteta tässä huomioon (0 W), W
	$\Phi_{\text{lkv, varastointi, kuorma}}$	lämpimän käyttöveden varastoinnin lämpöhäviöistä lämpökuormaksi tuleva lämpöteho, ei oteta tässä huomioon (0 W), W

Auringon säteilyenergiakuorma lasketaan energialaskentaohjeen 2018 kohdan 5.3 mukaisesti yhtälöllä (20). Laskennassa käytettävät auringon kokonaissäteilyenergiat ulkolämpötiloittain esitetään tämän oppaan liitteessä 1.

$$Q_{\text{aur}} = G_{\text{säteily, vaakapinta}} \cdot F_{\text{suunta}} \cdot F_{\text{läpäisy}} \cdot A_{\text{ikk}} \cdot g \quad (20)$$

jossa	Q_{aur}	ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia ulkolämpötilajaksolla, kWh
	$G_{\text{säteily, vaakapinta}}$	vaakatasolle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia pinta-alan yksikköä kohti ulkolämpötilajaksolla, kWh/m ²
	F_{suunta}	muuntokerroin, jolla vaakatasolle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia muunnetaan ilmansuunnittain pystypinnalle tulevaksi kokonaissäteilyenergiaksi, -
	$F_{\text{läpäisy}}$	säteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskerroin, -
	A_{ikk}	ikkuna-aukon pinta-ala (kehys- ja karmirakenteineen), m ²
	g	ikkunan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin, -

Auringon säteilyn lämpökuorma laskettiin eri ulkolämpötiloissa yhtälöllä (21).

$$\Phi_{\text{aur}} = \frac{Q_{\text{aur}}}{\Delta t} \cdot 1000 \quad (21)$$

jossa	Φ_{aur}	on ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyteho ulkolämpötilajaksolla, W
	Δt	ulkolämpötilajakson pituus, h
	Q_{aur}	ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia ulkolämpötilajaksolla, kWh

Ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyteho lasketaan annettujen ikkunapinta-alojen ja -suuntausten perusteella. Laskennassa käytetään ilmansuunnittain annettuja ikkunoiden auringon säteilyn läpäisy tietoja (g -arvo ja $F_{\text{läpäisy}}$). Ellei esimerkiksi esisuunnitteluvaiheessa ole tarkempaa tietoa ikkunoista saatavissa, voidaan laskennassa käyttää ikkunan g -arvona arvoa 0,5 ja $F_{\text{läpäisy}}$ -kertoimina taulukossa 34 esitettyjä arvoja. Taulukossa 3 esitetään myös lämmityskauden keskimääräiset muuntokertoimet (F_{suunta}), joilla vaakatasolle tuleva auringon säteilyteho muunnetaan ilmansuunnittain pystypinnalle tulevaksi säteilytehoksi.

Taulukko 3. Ikkunan auringonsäteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskertoimen $F_{\text{läpäisy}}$ ohjearvoja lämmityskaudelle ja suuntakertoimet F_{suunta} . Läpäisykerroin $F_{\text{läpäisy}} = F_{\text{kehä}} \cdot F_{\text{verho}} \cdot F_{\text{varjostus}}$. Suuntakertoimilla vaakatason säteilyteho muunnetaan pystypinnalle tulevaksi säteilytehoksi. Lisätietoja energialaskentaohjeessa 2018.

Ilmansuunta	$F_{\text{läpäisy}}$, -	$F_{\text{kehä}}$	F_{verho}	$F_{\text{varjostus}}$	F_{suunta} , -
Pohjoinen	0,720	0,75	1,0	0,96	0,509
Itä	0,623	0,75	1,0	0,83	0,688
Etelä	0,570	0,75	1,0	0,76	1,251
Länsi	0,623	0,75	1,0	0,83	0,689

4.7.4 Lämpökuormien hyödyntäminen

Poistoilmalämpöpumppulaskelmissa lämpökuormien hyödyntäminen lasketaan energialaskentaohjeen 2018 kohtien 3.1 ja 5.5 kuukausilaskennan mukaisesti käyttämällä laskennassa lämpötehoja lämpöenergioiden sijasta. Lämpökuormien hyödyntämisaste $\eta_{\text{lämpö}}$ lasketaan energialaskentaohjeen 2018 yhtälöistä (5.11) ja (5.12) poiketen ideaalisena (taulukko 4). Ideaalinen hyödyntäminen tarkoittaa, että kaikki hyödynnettävissä oleva lämpökuorma hyödynnetään. Jos lämpökuormia on enemmän kuin lämmöntarvetta, yli meneviä lämpökuormia ei hyödynnetä.

Taulukko 4. Lämpökuormien ideaalisen hyödyntämisasteen $\eta_{\text{lämpö}}$ laskenta.

Kuormitustilanne	Lämpökuormien hyödyntämisaste, $\eta_{\text{lämpö}}$
Lämpökuormia on enintään lämmöntarpeen verran	1
Lämpökuormia on enemmän kuin lämmöntarvetta	Lämmön tarve / Lämpökuorma

Lämpökuormien hyödyntämisen laskennassa tarvittava rakennuksen tilojen lämmitystehontarve (lämmöntarve) on energialaskentaohjeen 2018 mukaan rakennusosien, vuotoilman sekä tilan tuloilman ja korvausilman aiheuttama lämmitystehontarve. Rakennusosien lämmitystehontarve lasketaan ilman rakenneliitosten kylmäsiltojen vaikutusta.

Poistoilmalämpöpumppua käsitellään lämpökuormien hyödyntämisen laskennassa tilojen lämmityslaitteena eikä tuloilman jälkilämmityspatterina, vaikka lämpö siirrettäisiinkin tuloilman välityksellä huoneeseen. Sen sijaan lämmönsiirtimillä talteen otettu lämpö ja tuloilman jälkilämmitys otetaan huomioon lämpökuormien hyödyntämistä pienentävinä tekijöinä lämpökuormien hyödyntämisen laskennassa.

4.7.5 Muu lämmitys

Poistoilmalämpöpumpulla tuotettua lämpöä voidaan käyttää myös käyttöveden lämmitykseen. Käyttöveden lämmitystarve määritetään lämpimän käyttöveden vuotuisen lämmitysenergian perusteella. Lisäksi käyttövesivaraajan ja käyttövesijärjestelmän muu vuotuinen lämpöhäviöenergia voidaan laskea lämmitystarpeeseen mukaan. Laskennassa vuosienenergiat muunnetaan käyttöajan keskimääräisiksi tehoiksi. Laskenta ei ota kantaa käyttöveden lämpötilatasoihin. Niiden vaikutus tulee ottaa huomioon PILP:n lähtötiedoissa (lämpökerroin ja kompressorin sähköteho).

Lämpimän käyttöveden käyttö ja lämmitys oletetaan kohdistuvan kokonaisuudessaan ilmanvaihdon käyttöaikaan. Järjestelmähäviöitä oletetaan olevan jatkuvasti vakioteholla 8760 tuntia vuodessa.

4.7.6 Lämmöntarve yhteensä

Bruttolämmöntarve koostuu johtumishäviöistä, vuotoilman häviöistä ja ilmanvaihdon häviöistä ilman LTO:a tai PILP:ä ja lämpökuormien hyödyntämistä. Lisäksi bruttolämmöntarve sisältää muun lämmöntarpeen kuten käyttöveden lämmityksen, varaajahäviöt ja muut järjestelmähäviöt soveltuvin osin.

Nettolämmöntarve on bruttolämmöntarve vähennettynä hyödynnetyillä lämpökuormilla. Nettolämmöntarpeeseen lisätään leudolla säällä tarvittaessa tuloilman jälkilämmitys.

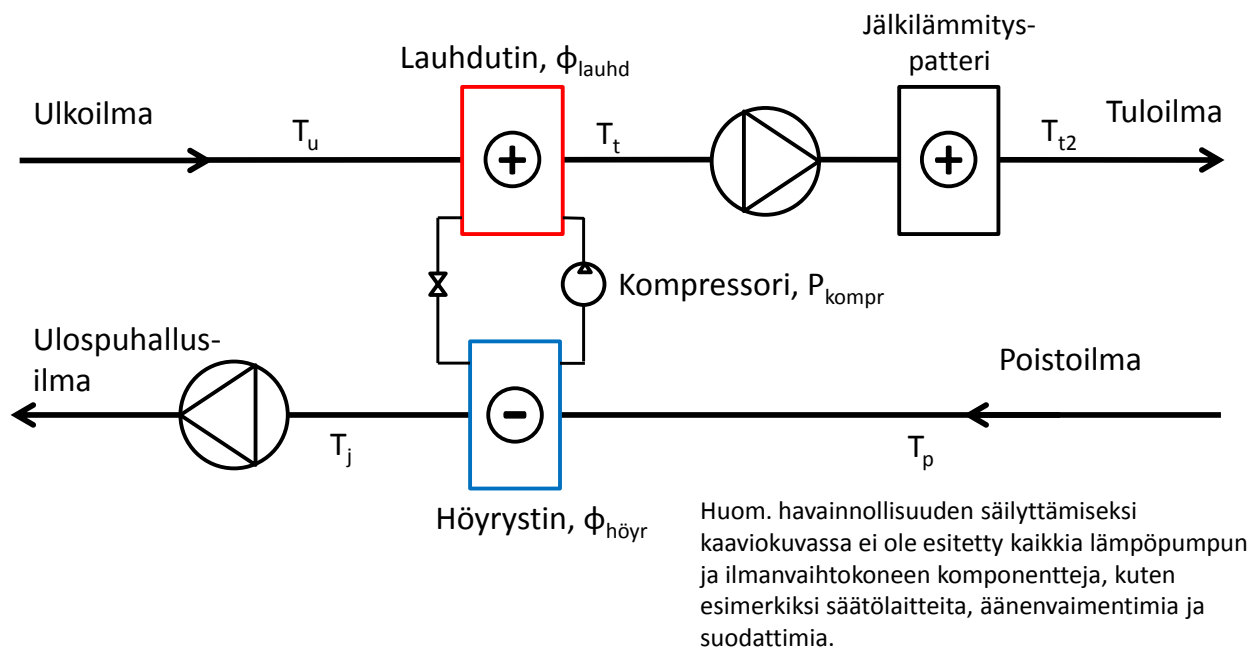
Muu lämmitys on muilla tavoilla kuin LTO:lla ja PILP:llä tapahtuva lämmitys. Muu lämmitys on nettolämmöntarve vähennettynä LTO:lla tuotetulla lämmöllä ja PILP:lla tuotetulla lämmöllä (lauhdutinlämpö).

5 Poistoilmalämpöpumpun lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskentaesimerkit

5.1 Lämmöntalteenotto poistoilmasta lämpöpumpulla tuloilmaan

5.1.1 Kuvaus ja lähtötiedot

Esimerkkitapauksessa pientalo on varustettu poistoilmalämpöpumpulla, joka siirtää poistoilmasta otettua lämpöä suoraan tuloilmaan. Laiteratkaisun kytkentä esitetään kuvassa 15 ja toimintaperiaate on kuvattu oppaan kohdassa 3.3.



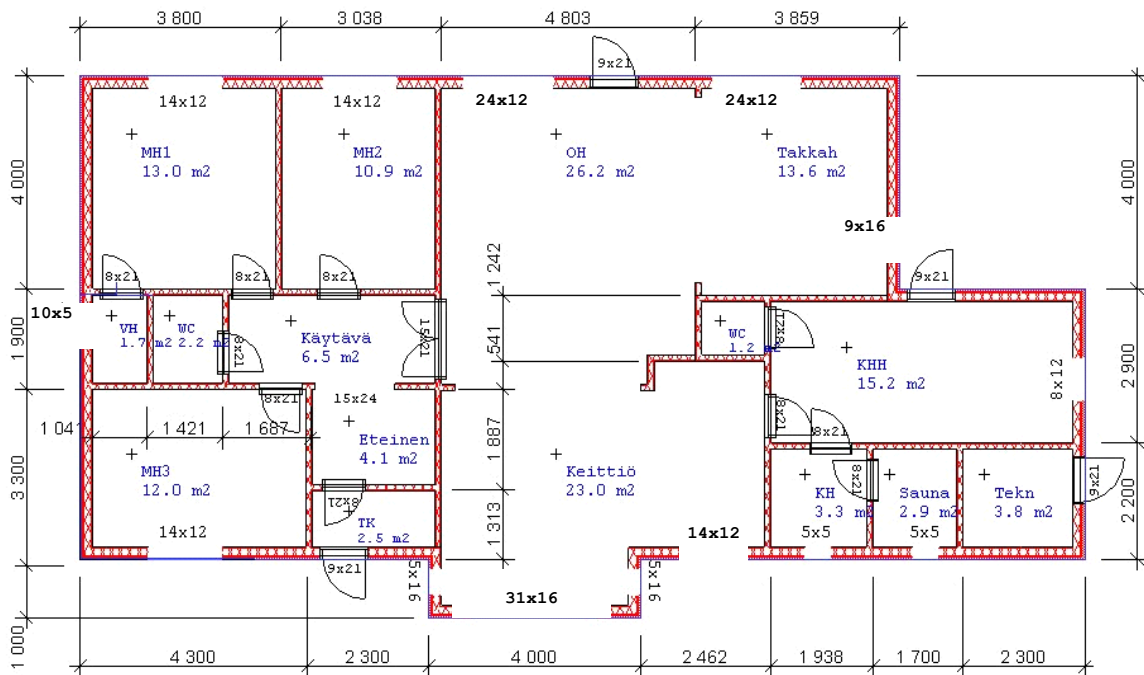
Kuva 15. Esimerkin poistoilmalämpöpumpun kytkentäperiaate.

Poistoilmalämpöpumpun kompressorin nimellissähköteho on 900 W. Höyrystimen jälkeisen ulospuhallusilman lämpötilan minimiarvona käytetään arvoa $+5\text{ °C}$ [Nyman 2003], koska laitevalmistaja ei ole ilmoittanut minimiarvoa. Lämpökertoimenä käytetään tarkemman tiedon puuttuessa taulukon 2 mukaista arvoa COP on 1,9. Sähköteho ja COP oletetaan vakioiksi koko lämmityskaudella, myös osateholla käytettäessä. Tuloilman jälkilämmityksen asetusarvo on $+15\text{ °C}$. Jälkilämmitys kytkeytyy päälle, mikäli lauhduttimesta saatu teho ei riitä pitämään tuloilmaa vähintään asetusarvossaan.

Rakennus on RET-pientalo 2012, jonka tiedot esitetään taulukossa 5. Kuvassa 16 esitetään RET-pientalon pohjapiirros. Taulukossa 6 esitetään rakennuksen vaipan ja vuotoilman lämpöhäviön taseaselkelmä lähtötietoineen. Päälämmönjakomuotona on kaikissa tiloissa lattialämmitys. Poistoilmalämpöpumpun vuosihyötysuhteen esimerkkilaskennassa oletetaan, että poistoilmalämpöpumpun tuottama lämpö jakautuu kaikkiin tuloilmalaitteella varustettuihin tiloihin ja voi leudolla säällä näissä tiloissa korvata päälämmönjakojärjestelmän kokonaisuudessaan, mikäli poistoilmalämpöpumpun lämmitysteho siihen riittää. Mikäli lämpö ei jakaudu tasaisesti koko taloon, voivat eri huoneiden lämpötilat poiketa toisistaan jonkin verran.

Taulukko 5. RET-pientalon lähtötiedot.

Rakennustilavuus	522	rak-m ³
Bruttoala	163	brm ²
Lämmitetty nettoala	147	m ²
Vaipan pinta-ala	440	m ²
Julkisivujen pinta-ala	146	m ²
Kerroskorkeus	3,0	m
Huonekorkeus	2,6	m
Ilmatilavuus, lämpimät tilat	382	m ³
Ikkunapinta-ala	24,5	m ²
- pohjoiseen	8,8	m ²
- itään	1,3	m ²
- etelään	11,1	m ²
- länteen	3,3	m ²
Poistoilmavirta	59	dm ³ /s
Tuloilmavirta	53	dm ³ /s
Sisäiset lämpökuormat	3,8	W/m ²
Huoneistojen lukumäärä	1	
Kerrostien lukumäärä	1	
Henkilöiden lukumäärä	4	
Sisälämpötila, lämmitys	21	°C
Sisälämpötila, jäähdytys	-	°C
Tuloilman jälkilämmityksen asetusarvo	15	°C
Mitoitusulkolämpötila	-26	°C
Säävyöhyke I-II	Helsinki/Vantaa TRY 2012	



Kuva 16. 1-kerroksisen RET-pientalon pohjapiirros. Laskennassa oletetaan, että seuraavat tilat eivät ole tuloilmalla tapahtuvan PILP-lämmityksen piirissä: VH, TK, Tekn, KH sekä WC:t. Näiden tilojen pinta-ala on yhteensä 14,7 m² eli 10 % lämmitetystä nettoalasta. Lämmöntarpeen voidaan olettaa pienentyvän samassa suhteessa.

Taulukko 6. RET-pientalon vaipan ja vuotoilman lämpöhäviölaskelma. Vaipan ja vuotoilman yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö on $88,7 + 8,4 = 97 \text{ W/K}$.

Rakennuskohde	Lue ohjeet ✓	RET-pientalo
Rakennuslupatunnus		
Rakennustyyppi	1-kerroksinen pientalo, ikkunapinta-ala 15 % kerrostasosalasta.	
Pääsuunnittelija		
Tasauslaskelman tekijä		
Päiväys		
Tulos: Suunnitteluratkaisu	TÄYTTÄÄ VAATIMUKSET	

Rakennuksen laajuustiedot

Rakennustilavuus	522 rak-m³
Maanpäälliset kerrostasosalat yhteensä	163 m²
Lämmitetty nettoala, lämpimät tilat	147 m²
Lämmitetty nettoala, puoliilämpimät tilat	m²
Rakennusluokka (1 - 9)	1
Rakennuksen kerros määrä	1 kerrosta

Laskentatuloksia

Julkisivupinta-ala on 146 m²
Ikkunapinta-ala on 15 % maanpäällisestä kerrostasosalasta
Ikkunapinta-ala on 17 % julkisivun pinta-alasta
Lämpöhäviö on 100 % vertailutasosta (lämpimät tilat)

Perustiedot				Lämpöhäviöiden tasaus	
RAKENNUSOSAT	Pinta-alat, m²		U-arvot, W/(m² K)		Ominaislämpöhäviö, W/K
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	[H _{joht} = A · U]
Lämpimät tilat					
Ulkoseinä	113	113	0,17	0,17	19,2
Massiivipuuseinä ¹⁾			0,40		-
Yläpohja	147	147	0,09	0,09	13,2
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,09		-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,17		-
Alapohja (maanvastainen)	147		0,16	0,16	23,5
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16		-
Ikkunat	24,5	24,5	1,00	1,00	24,5
Ulko-ovet ja tuuletusluukut ²⁾	8,2		1,00	1,00	8,2
Kattoikkunat			1,00		-
Kattovalokuvut			1,00		-
Lämpimät tilat yhteensä	440	440			88,7
Puoliilämpimät tilat tai määräaikaikaiset rakennukset					
Ulkoseinä			0,26		-
Massiivipuuseinä ¹⁾			0,60		-
Yläpohja			0,14		-
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,14		-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,26		-
Alapohja (maanvastainen)			0,24		-
Muu maanvastainen rakennusosa			0,24		-
Ikkunat			1,40		-
Ulko-ovet ja tuuletusluukut ²⁾			1,40		-
Kattoikkunat			1,40		-
Kattovalokuvut			1,40		-
Puoliilämpimät tilat yhteensä	-	-			-
VAIPAN ILMAVUODOT	Ilmanvuotoluuku, m³/(h m²)		Vuotoilmavirta, m³/s		Ominaislämpöhäviö, W/K
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	[H _{vuotoilma} = 1200 · q _{v, v}]
Vuotoilma					
Lämpimät tilat	2,0	2,0	0,0070	0,0070	8,4
Puoliilämpimät tilat	2,0				-
ILMANVAIHTO	Poistoilmavirta, m³/s		Ilmanvaihdon LTO:n vuosiyötysuhde, % [η _a]		Ominaislämpöhäviö, W/K
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	[H _{iv} = 1200 · q _{v, p} · (1-η _a)]
Hallittu ilmanvaihto					
Lämpimät tilat			55		-
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-
Puoliilämpimät tilat			55		-
Puoliilämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus					Ominaislämpöhäviö, W/K
					[H = H _{joht} + H _{vuotoilma} + H _{iv}]
					Vertailu- ratkaisu
					Suunnittelu- ratkaisu
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö					97
Puoliilämpimien tilojen					-

¹⁾ Massiivipuuseinä, jonka keskimääräinen paksuus on vähintään 180 mm.

²⁾ Ulko-oviin ja tuuletusluukkuihin sisältyvät myös savunpoisto-, uloskäynti- ja huoltoluukut sekä muut vastaavat luukut.

5.1.2 Laskentatulokset

Poistoilmalämpöpumpun maksimilauhdutinteho Φ_L on $COP \cdot P = 1,9 \cdot 900 \text{ W} = \underline{1\,710 \text{ W}}$ (yhtälö 2). Höyrystinteho Φ_H on $\Phi_L - P = 1\,710 - 900 \text{ W} = \underline{810 \text{ W}}$ (yhtälö 4). Mikäli tällä höyrystinteholla poistoilma jäähtyy alle ulkoilman lämpötilan tai lämmitystarve on pienempi kuin lauhdutinteho, poistoilmalämpöpumpun tehoa pienennetään vastaavasti. Puhaltimien sähkötehoja ja niiden vaikutuksia lämpötiloihin ei oteta huomioon. Seuraavassa esitetään PILP-laskimella tehtyä PILP:n lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskentaa tarkemmin. PILP-laskin 2018 on saatavissa ympäristöministeriön [www-sivuilla](http://www.sivuilla). Puhaltimien sähkötehoja ja niiden vaikutuksia lämpötiloihin ei oteta huomioon.

Koko rakennuksen vaipan ja vuotoilman yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö on 97 W/K. Koska 10 % tiloista ei ole tuloilmalla tapahtuvan PILP-lämmityksen piirissä, niin laskennassa käytetään 10 % pienempää ominaislämpöhäviötä 87 W/K. Vastaavasti pohjoiseen suuntautuvien ikkunoiden pinta-ala on 8,3 m² ja itään 0,8 m². Rakennuksen lämmitettyä nettoalaa pienennetään myös 10 % ja se on 132 m². Ilmanvaihdon (poistoilmavirta 59 dm³/s) ominaislämpöhäviö ilman PILP:a on 71 W/K. Bruttolämmitystehontarve -20 °C ulkolämpötilassa on 6,9 kW. Lämmityskauden bruttolämmitysenergian tarve on 20 870 kWh.

Lämmityskauden lämmityksessä hyödynnetyt lämpökuormat ovat 5 667 kWh. Lämmityskauden nettolämmitysenergian tarve on 20 870 - 5 667 = 15 203 kWh. Tätä lämmitysenergian tarvetta voidaan kattaa PILP:llä tuotetulla lämmöllä.

Lämmityskaudella ilmanvaihdon lämmitystarve on 8 806 kWh. Poistoilmalämpöpumpulla voidaan ottaa talteen 4 416 kWh lämpöä. Poistoilmalämpöpumpun vuosihyötysuhde on höyrystinenergia jaettuna ilmanvaihdon lämpöhäviöenergialla eli $4\,416 \text{ kWh} / 8\,806 \text{ kWh} = \underline{50 \%}$ (yhtälö 13).

Tätä lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta voidaan käyttää rakennuksen lämpöhäviöiden tasauslaskennassa sellaisenaan. Mikäli rakennuksessa on muita ilmanvaihtokoneita tai poistoilmapuhaltimia, otetaan ne huomioon, kun lasketaan koko rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta esimerkiksi PILP-laskimen välilehteä Ilmanvaihto apuna käyttäen ja Tasauslaskentaoppaan 2018 ohjeistus huomioon ottaen.

Lämmityskauden aikana poistoilmalämpöpumpun kompressorin kuluttaa 4 906 kWh sähköä. PILP:n tuottaman lämmön (lauhdutinlämpö) lisäksi tarvitaan 5 892 kWh muulla lämmitystavalla tuotettua lämpöä tilojen ja tuloilman lämmittämiseen. Kovimmilla pakkasilla PILP:n teho ei riitä pitämään tuloilman lämpötilaa asetusarvossaan, vaan tällöin tarvitaan tuloilman jälkilämmitystä. Tuloilman jälkilämmityksen energiankulutus on 77 kWh.

Taulukossa 7 esitetään PILP-laskimen lähtötiedot. Kuvissa 17 - 20 esitetään PILP-laskimen laskentatulokset lämpötilojen ja tehojen pysyvyyksinä sekä energiamäärinä.

Taulukko 7. PILP-laskimen lähtötiedot ja tuloksena saatu poistoilmalämpöpumpun lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde.

Kone	Palvelualue	Käyttötapa	Ulkoilmavirta m³/s	Poistoilmavirta m³/s
PILP	Koko rakennus	jatkuva käyttö	0,053	0,059

Rakennuksen tiedot

Rakennuksen käyttötarkoitusluokka (1 - 9)	1	
Lämmitetty nettoala	132,0	m²
Ilmanvaihdon käyttöaika vuorokaudessa	24	h/vrk
Ilmanvaihdon käyttöaika viikossa	7	vrk/viikko
Rakennuksen vaipan ja vuotoilman ominaislämpöhäviö	87,0	W/K
Rakennuksen muu vakioilämmitystarve	0,0	W

Hae oletusarvot

Sisäiset lämpökuormat käyttöaikana

Lämpökuorma valaistuksesta	0,6	W/m²
Lämpökuorma kuluttajalaitteista	1,8	W/m²
Lämpökuorma ihmisistä	1,2	W/m²
Sisäiset lämpökuormat yhteensä	475	W

Auringon lämpökuorma

Ikkunoiden tiedot ilmansuunnittain	Pinta-ala, m²	g-arvo	F _{läpäisy}
Pohjoinen	8,3	0,5	0,720
Koillinen			
Itä	0,8	0,5	0,623
Kaakko			
Etelä	11,1	0,5	0,570
Lounas			
Länsi	3,3	0,5	0,623
Luode			
Yhteensä	23,5		
Auringon lämpökuorma käyttöaikana keskimäärin	327	W	

Poistoilmalämpöpumpun tuottama lämpöä käytetään käyttöveden lämmittämiseen:

Lämpimän käyttöveden vuotuinen lämmitysenergiankulutus	kWh/m²/a
Lämpimän käyttöveden vuotuinen lämpöhäviöenergia	kWh/a

Poistoilmalämpöpumpun tiedot:

Poistoilmalämpöpumpun lämpökerroin, COP	1,90
Poistoilmalämpöpumpun kompressorin sähköteho	900 W

2. Höyrystin poistoilmassa ennen LTO:a tai ilman LTO:a ▼

1. Lauhdutin on tuloilmassa ▼

Ulkoilmavirran suhde poistoilmavirtaan PILP:ssa	0,90
---	------

LTO-lämmönsiirtimen tiedot:

Tuloilman lämpötilasuhde yhtäsuurilla ilmavirroilla	0,00
Tuloilman lämpötilasuhde	0,00
Poistoilman lämpötilasuhde	0,00

Lämpötilat:

Huoneilman eli poistoilman lämpötila	21,0 °C
Poistoilman minimilämpötila LTO:n jäätymissuojauksessa	5,0 °C
Poistoilman minimilämpötila PILP:n jäätymissuojauksessa	5,0 °C
Tuloilman jälkilämmityksen asetuslämpötila	15,0 °C
	1

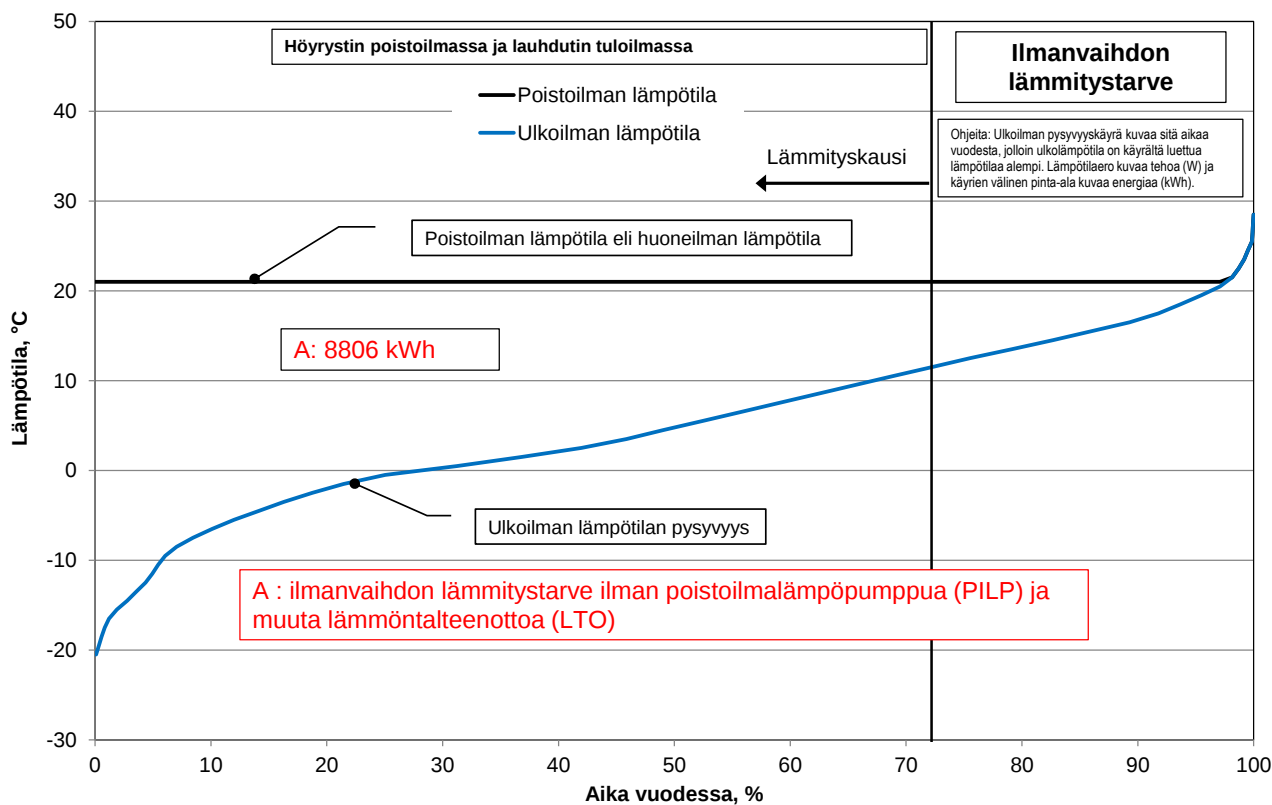
Poistoilmalämpöpumpun lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde ($\eta_{a, PILP}$)

Säävyöhyke

I Helsinki-Vantaa TRY 2012 testivuosi	49,8 %
---------------------------------------	--------

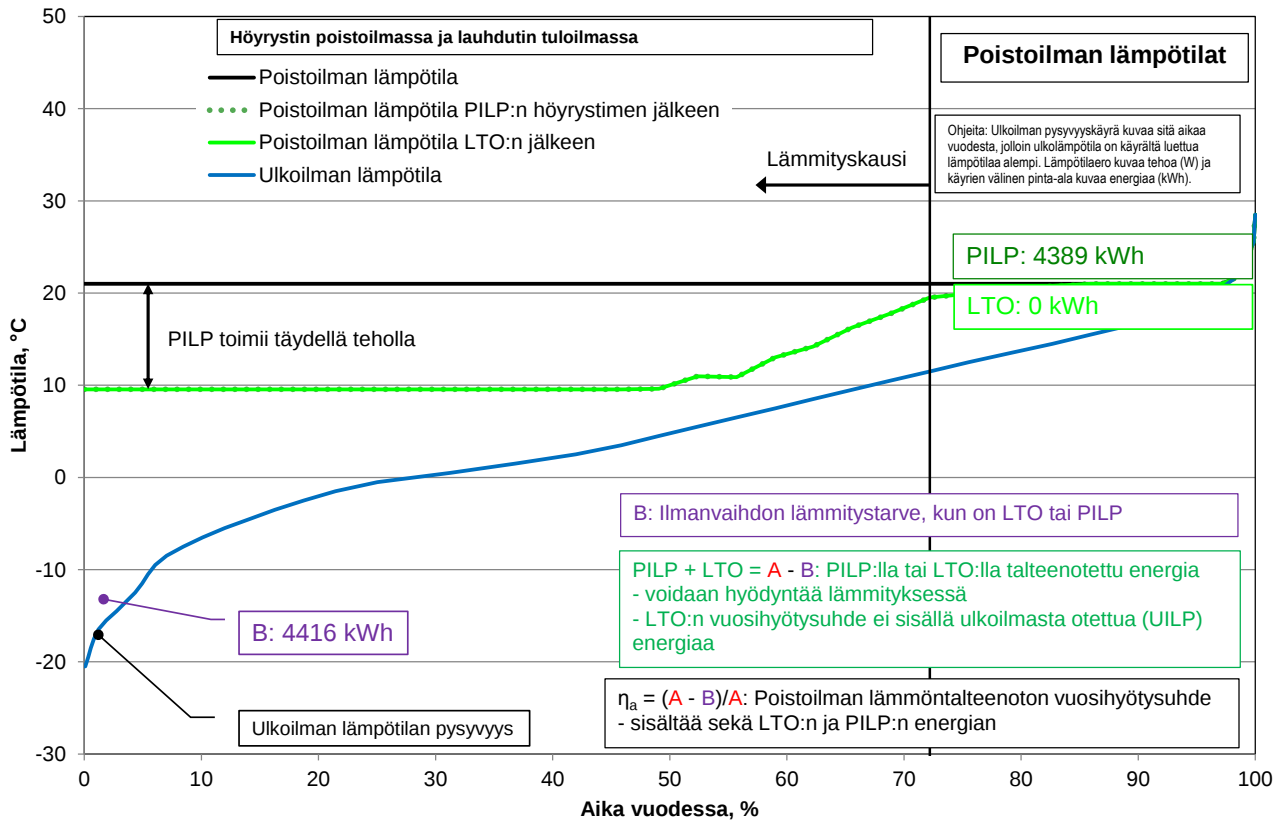
Laske

Poistoilmalämpöpumpun kompressorin sähkönkulutus	4 877 kWh/lämmityskausi
--	-------------------------

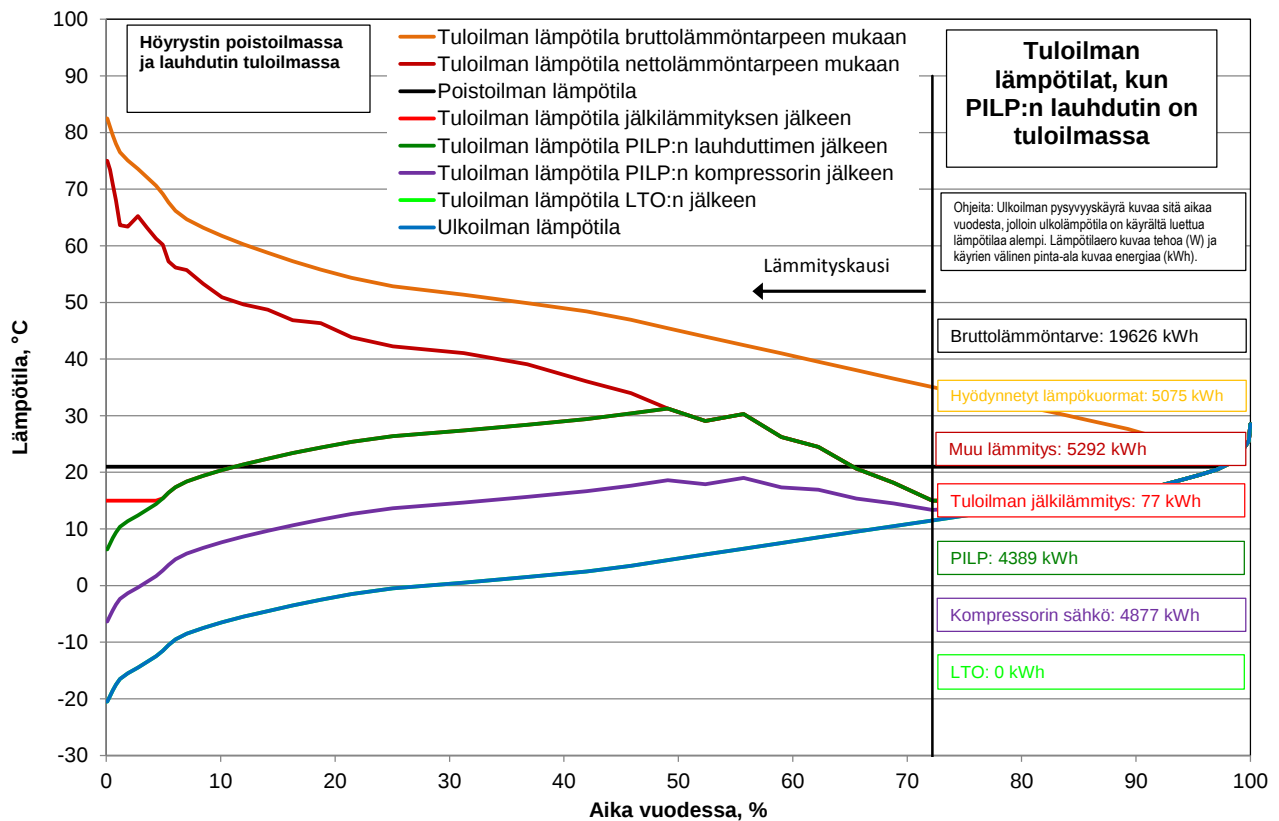


© Ympäristöministeriö, PILP-laskin 2017 (versio maaliskuu 2017)

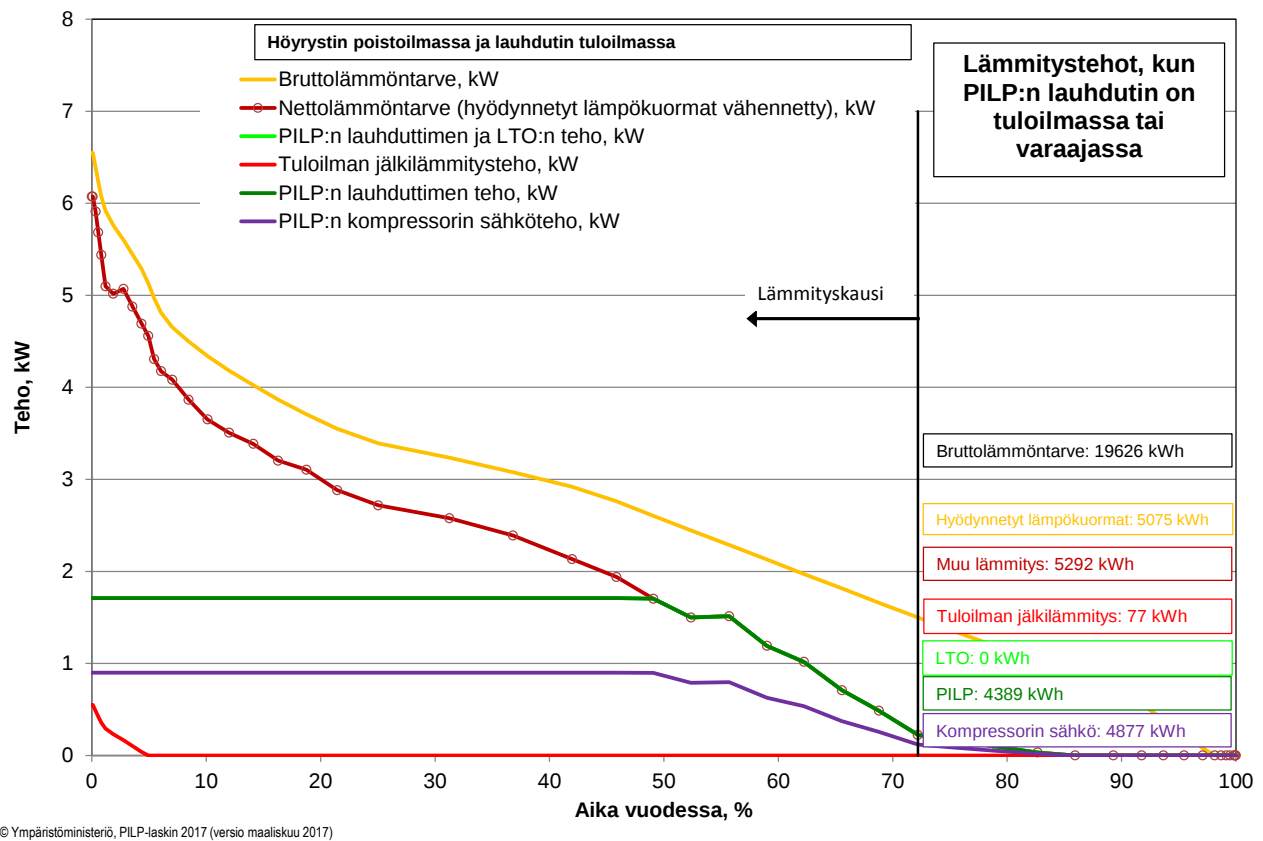
Kuva 17. Esimerkin RET-pientalon ilmanvaihdon lämmitystarve ilman poistoilmalämpöpumpua tai muuta lämmöntalteenottoa on 8 806 kWh lämmityskauden aikana (ulkolämpötila on alle 12 °C).



Kuva 18. Esimerkin RET-pientalon ilmanvaihdon lämmitystarve poistoilmalämpöpumpun kanssa on 4 416 kWh lämmityskauden aikana. Höyrystimellä poistoilmasta on saatu talteen 4 389 kWh lämpöä. Täydellä teholla PILP kykenee jäähdyttämään poistoilman lämpötilasta 21 °C lämpötilaan 9,6 °C. Poistoilmalämpöpumpun vuosihyötysuhde on höyrystinenergia jaettuna ilmanvaihdon lämpöhäviöenergialla eli $4\,389\text{ kWh} / 8\,806\text{ kWh} = 50\%$ (yhtälö 13).



Kuva 19. Esimerkin RET-pientalon poistoilmalämpöpumpun energiat ja tehot tuloilman lämpötiloina kuvattuna. Kompressorin sähkön kulutus on 4 877 kWh, joka siirtyy lämpönä tuloilmaan. Tuloilmaan siirtyy lisäksi 4 389 kWh poistoilmasta talteen saatua lämpöä. Tuloilman jälkilämmityksen energiankulutus on 77 kWh. Poistoilmalämpöpumpun lisäksi tarvitaan 5 292 kWh tilojen lämmitysenergiaa (esimerkiksi lattialämmitystä ja tuloilman jälkilämmitystä). Hyödyksi saadut lämpökuormat ovat pienentäneet rakennuksen lämmitystarvetta 5 075 kWh lämmityskauden aikana.

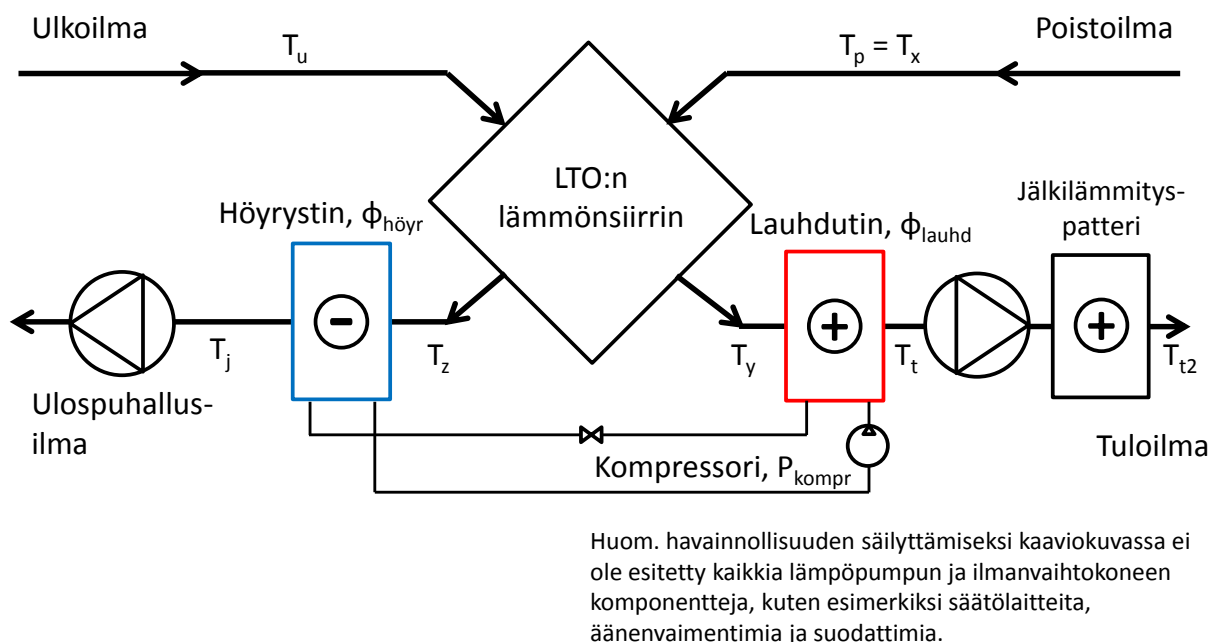


Kuva 20. Esimerkin RET-pientalon ja poistoilmalämpöpumpun lämmitystehot.

5.2 Lämmöntalteenotto poistoilmasta lämmönsiirtimellä ja lämpöpumpulla tuloilmaan

5.2.1 Kuvaus ja lähtötiedot

Toisessa laskentaesimerkissä käytetään samaa RET-pientaloa kuin ensimmäisessä laskentaesimerkissäkin (taulukko 5 ja kuva 16). Tässä esimerkissä pientalo on varustettu poistoilmalämpöpumpulla, jossa on lämpöpumpun lisäksi LTO-lämmönsiirrin. Poistoilmalämpöpumppu siirtää LTO-lämmönsiirrimen jälkeisestä ulospuhallusilmasta otettua lämpöä tuloilmaan. Laiteratkaisun kytkentä esitetään kuvassa 21 ja toimintaperiaate on kuvattu oppaan kohdassa 3.5.



Kuva 21. Esimerkin poistoilmalämpöpumpun kytkentäperiaate.

Poistoilmalämpöpumpun kompressorin nimellissähköteho on 350 W. Lämpökertoimena käytetään valmistajan ilmoittamaa +2 °C ulkolämpötilalla määritettyä varmennettua COP arvoa 2,5. Sähköteho ja COP oletetaan vakioiksi koko lämmityskaudella, myös osateholla käytettäessä. Poistoilmalämpöpumpun höyrystimen jälkeisen ulospuhallusilman minimilämpötilana käytetään valmistajan ilmoittamaa varmennettua arvoa 0 °C. Lämmönsiirrimen lämmöntalteenoton lämpötilasuhde on 0,60 yhtä suurilla ilmavirroilla. Poistoilman lämpötilan minimiarvona LTO-lämmönsiirrimen jälkeen käytetään valmistajan ilmoittamaa varmennettua arvoa +5 °C. Tuloilman jälkilämmityksen asetusarvo on +15 °C. Jälkilämmitys kytkeytyy päälle, mikäli LTO:n ja PILP:n lauhduttimen teho ei riitä pitämään tuloilmaa vähintään asetusarvossaan.

Päälämmönjakomuotona on kaikissa tiloissa lattialämmitys. Poistoilmalämpöpumpun vuosihyötysuhteen esimerkkilaskennassa oletetaan, että poistoilmalämpöpumpun tuottama lämpö jakautuu kaikkiin tuloilmalaitteella varustettuihin tiloihin ja voi leudolla säällä näissä tiloissa korvata päälämmönjakojärjestelmän kokonaisuudessaan, mikäli poistoilmalämpöpumpun lämmitysteho siihen riittää. Mikäli lämpö ei jakaudu tasaisesti koko taloon, voivat eri huoneiden lämpötilat poiketa toisistaan jonkin verran.

5.2.2 Laskentatulokset

Poistoilmalämpöpumpun lauhdutinteho Φ_L on $COP \cdot P = 2,5 \cdot 350 \text{ W} = 875 \text{ W}$ (yhtälö 2). Höyrystinteho Φ_H on $\Phi_L - P = 875 - 350 \text{ W} = 525 \text{ W}$ (yhtälö 4). Mikäli tällä höyrystinteholla poistoilma jäähtyy alle ulkoilman lämpötilan tai lämmitystarve on pienempi kuin lauhdutinteho, poistoilmalämpöpumpun tehoa pienennetään vastaavasti. Seuraavassa esitetään PILP-laskimella tehtyä PILP:n ja LTO-lämmönsiirtimen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskentaa tarkemmin. Puhaltimien sähkötehoja ja niiden vaikutuksia lämpötiloihin ei oteta huomioon.

Koko rakennuksen vaipan ja vuotoilman yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö on 97 W/K. Koska 10 % tiloista ei ole tuloilmalla tapahtuvan PILP-lämmityksen piirissä, niin laskennassa käytetään 10 % pienempää ominaislämpöhäviötä 87 W/K. Vastaavasti pohjoiseen suuntautuvien ikkunoiden pinta-ala on 8,3 m² ja itään 0,8 m². Rakennuksen lämmitettyä nettoalaa pienennetään myös 10 % ja se on 132 m². Ilmanvaihdon (poistoilmavirta 59 dm³/s) ominaislämpöhäviö ilman PILP:a on 71 W/K. Bruttolämmitystehontarve -20 °C ulkolämpötilassa on 6,9 kW. Lämmityskauden bruttolämmitysenergiantarve on 20 870 kWh.

Lämmityskauden lämmityksessä hyödynnetyt lämpökuormat ovat 5 608 kWh. Lämmityskauden nettolämmitysenergiantarve on 20 870 - 5 608 = 15 262 kWh. Tätä lämmitysenergiantarvetta voidaan kattaa PILP:llä tuotetulla lämmöllä.

Lämmityskaudella ilmanvaihdon lämmitystarve on 8 806 kWh. Poistoilmalämpöpumpulla voidaan ottaa talteen 2 603 kWh ja LTO:lla 4 853 kWh lämpöä. Yhdistetyn LTO- ja poistoilmalämpöpumpunjärjestelmän lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on höyrystinenergian (PILP) ja LTO-energian (LTO) summa jaettuna ilmanvaihdon lämpöhäviöenergialla (A) eli $(2\,603 \text{ kWh} + 4\,853 \text{ kWh}) / 8\,806 \text{ kWh} = \underline{85\%}$ (yhtälö 13).

Tätä lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta voidaan käyttää rakennuksen lämpöhäviöiden tasauslaskennassa sellaisenaan. Mikäli rakennuksessa on muita ilmanvaihtokoneita tai poistoilmapuhaltimia, otetaan ne huomioon, kun lasketaan koko rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta esimerkiksi PILP-laskimen välilehteä Ilmanvaihto apuna käyttäen ja Tasauslaskentaoppaan 2018 ohjeistus huomioon ottaen.

Lämmityskauden aikana poistoilmalämpöpumpun kompressorin kuluttaa 1 736 kWh sähköä. PILP:n tuottaman lämmön (lauhdutinlämpö) lisäksi tarvitaan 6 069 kWh muulla lämmitystavalla tuotettua lämpöä tilojen ja tuloilman lämmittämisen. Kovimmilla pakkasilla PILP:n teho ei riitä pitämään tuloilman lämpötilaa asetusarvossaan, vaan tällöin tarvitaan tuloilman jälkilämmitystä. Tuloilman jälkilämmityksen energiankulutus on 72 kWh.

Taulukossa 8 esitetään PILP-laskimen lähtötietosivu. Kuvissa 22 - 25 esitetään PILP-laskimen laskentatulokset lämpötilojen ja tehojen pysyvyyksinä sekä energiamäärinä.

Taulukko 8. PILP-laskimen lähtötiedot ja tuloksena saatu poistoilmalämpöpumpun lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde.

Kone	Palvelualue	Käyttötapa	Ulkoilmavirta m³/s	Poistoilmavirta m³/s
PILP	Koko rakennus	jatkuva käyttö	0,053	0,059

Rakennuksen tiedot

Rakennuksen käyttötarkoitusluokka (1 - 9)	1	
Lämmitetty nettoala	132,0	m²
Ilmanvaihdon käyttöaika vuorokaudessa	24	h/vrk
Ilmanvaihdon käyttöaika viikossa	7	vrk/viikko
Rakennuksen vaipan ja vuotoilman ominaislämpöhäviö	87,0	W/K
Rakennuksen muu vakioilämmitystarve	0,0	W

Hae oletusarvot

Sisäiset lämpökuormat käyttöaikana

Lämpökuorma valaistuksesta	0,6	W/m²
Lämpökuorma kuluttajalaitteista	1,8	W/m²
Lämpökuorma ihmisistä	1,2	W/m²
Sisäiset lämpökuormat yhteensä	475	W

Auringon lämpökuorma

Ikkinuiden tiedot ilmansuunnittain	Pinta-ala, m²	g-arvo	F _{läpäisy}
Pohjoinen	8,3	0,5	0,720
Koillinen			
Itä	0,8	0,5	0,623
Kaakko			
Etelä	11,1	0,5	0,570
Lounas			
Länsi	3,3	0,5	0,623
Luode			
Yhteensä	23,5		
Auringon lämpökuorma käyttöaikana keskimäärin	327	W	

Poistoilmalämpöpumpun tuottama lämpöä käytetään käyttöveden lämmittämiseen:

Lämpimän käyttöveden vuotuinen lämmitysenergiankulutus	kWh/m²/a
Lämpimän käyttöveden vuotuinen lämpöhäviöenergia	kWh/a

Poistoilmalämpöpumpun tiedot:

Poistoilmalämpöpumpun lämpökerroin, COP	2,50
Poistoilmalämpöpumpun kompressorin sähköteho	350 W

1. Höyrystin poistoilmassa LTO:n jälkeen	▼
1. Lauhdutin on tuloilmassa	▼

Ulkoilmavirran suhde poistoilmavirtaan PILP:ssa	0,90
---	------

LTO-lämmönsiirtimen tiedot:

Tuloilman lämpötilasuhde yhtäsuurilla ilmavirroilla	0,60
Tuloilman lämpötilasuhde	0,63
Poistoilman lämpötilasuhde	0,57

Lämpötilat:

Huoneilman eli poistoilman lämpötila	21,0 °C
Poistoilman minimilämpötila LTO:n jäätymissuojauksessa	5,0 °C
Poistoilman minimilämpötila PILP:n jäätymissuojauksessa	0,0 °C
Tuloilman jälkilämmityksen asetuslämpötila	15,0 °C
	1

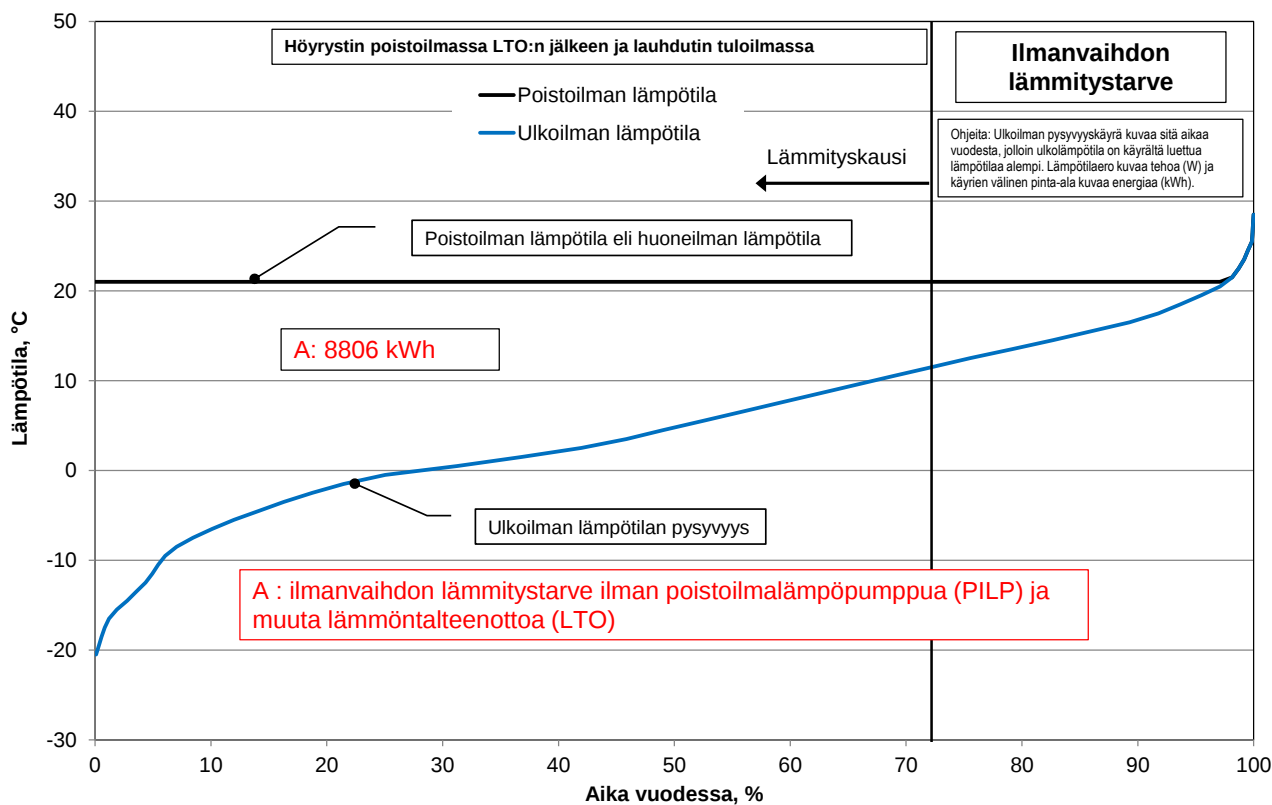
Poistoilmalämpöpumpun lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde ($\eta_{a, PILP}$)

Säävyöhyke

I Helsinki-Vantaa TRY 2012 testivuosi	84,5 %
---------------------------------------	--------

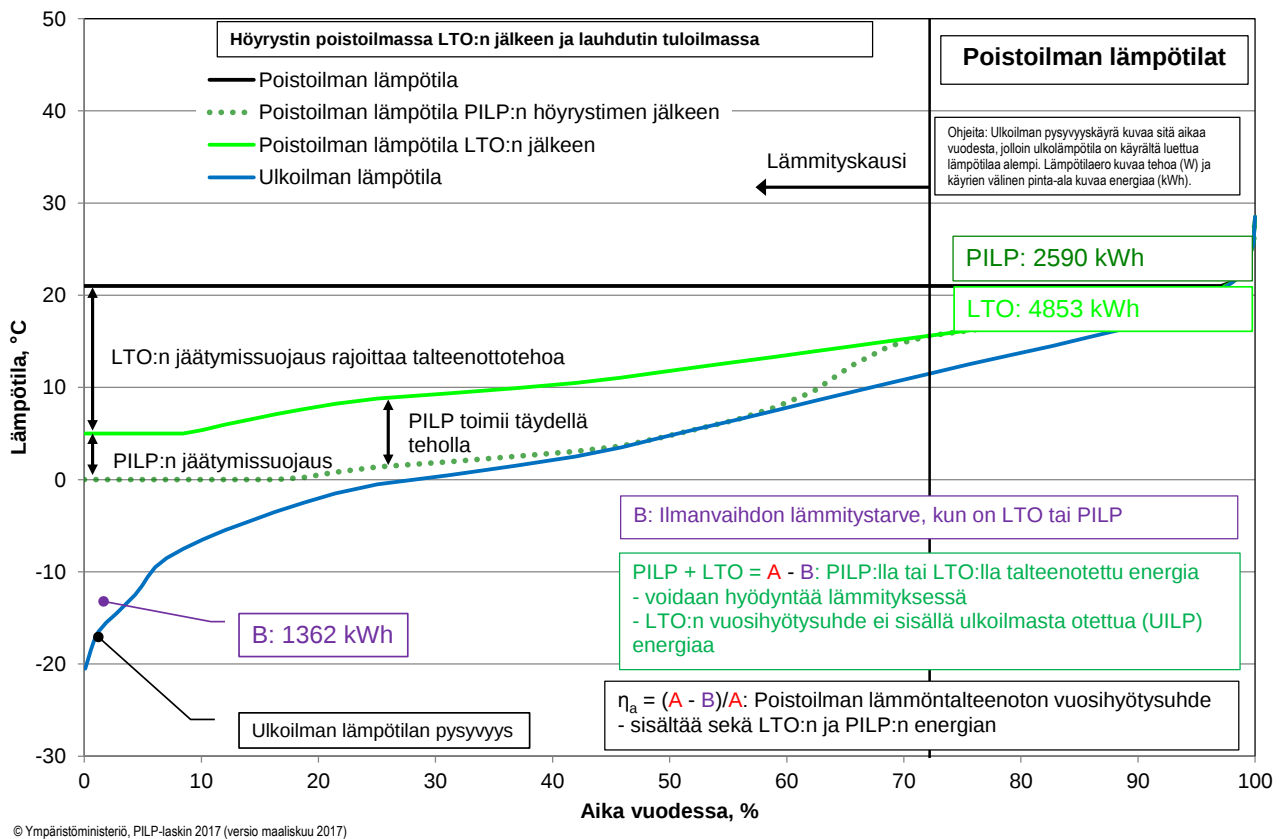
Laske

Poistoilmalämpöpumpun kompressorin sähkönkulutus	1 727 kWh/lämmityskausi
--	-------------------------

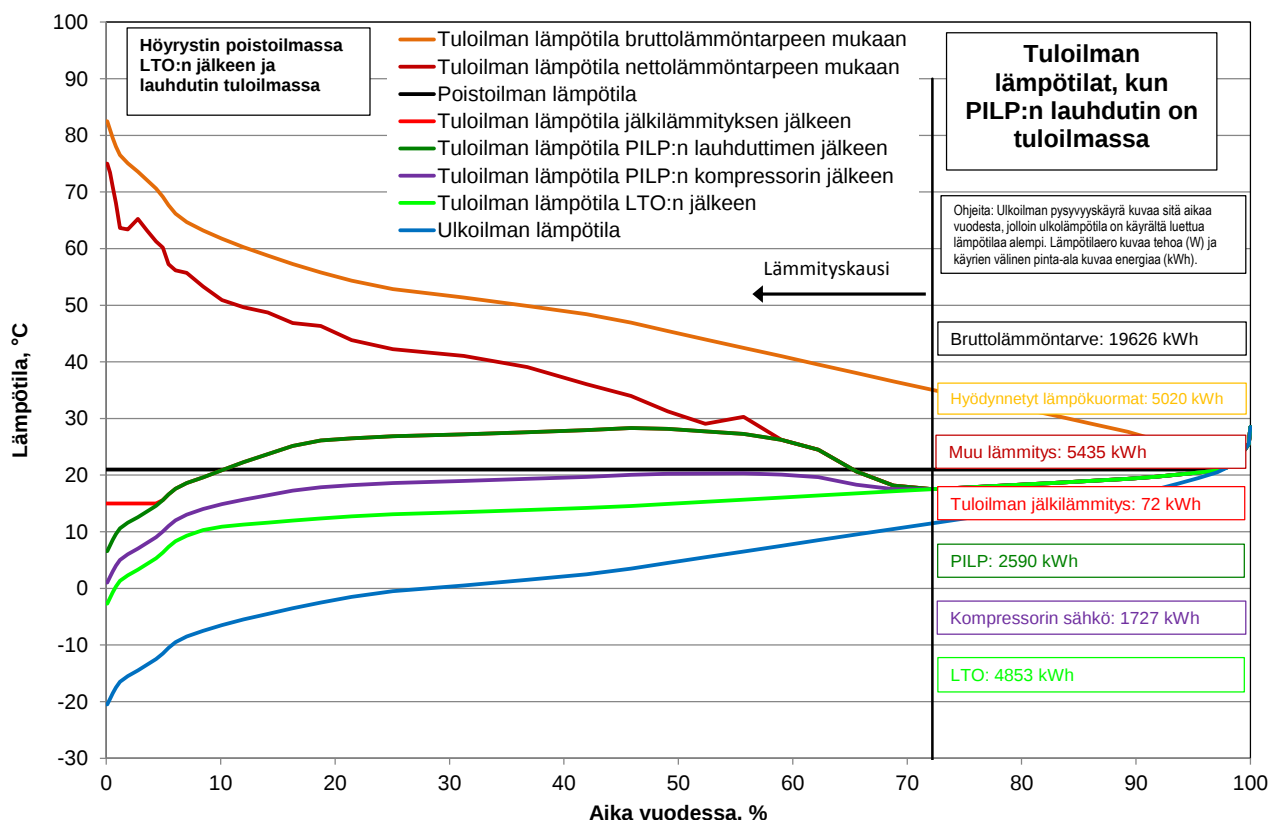


© Ympäristöministeriö, PILP-laskin 2017 (versio maaliskuu 2017)

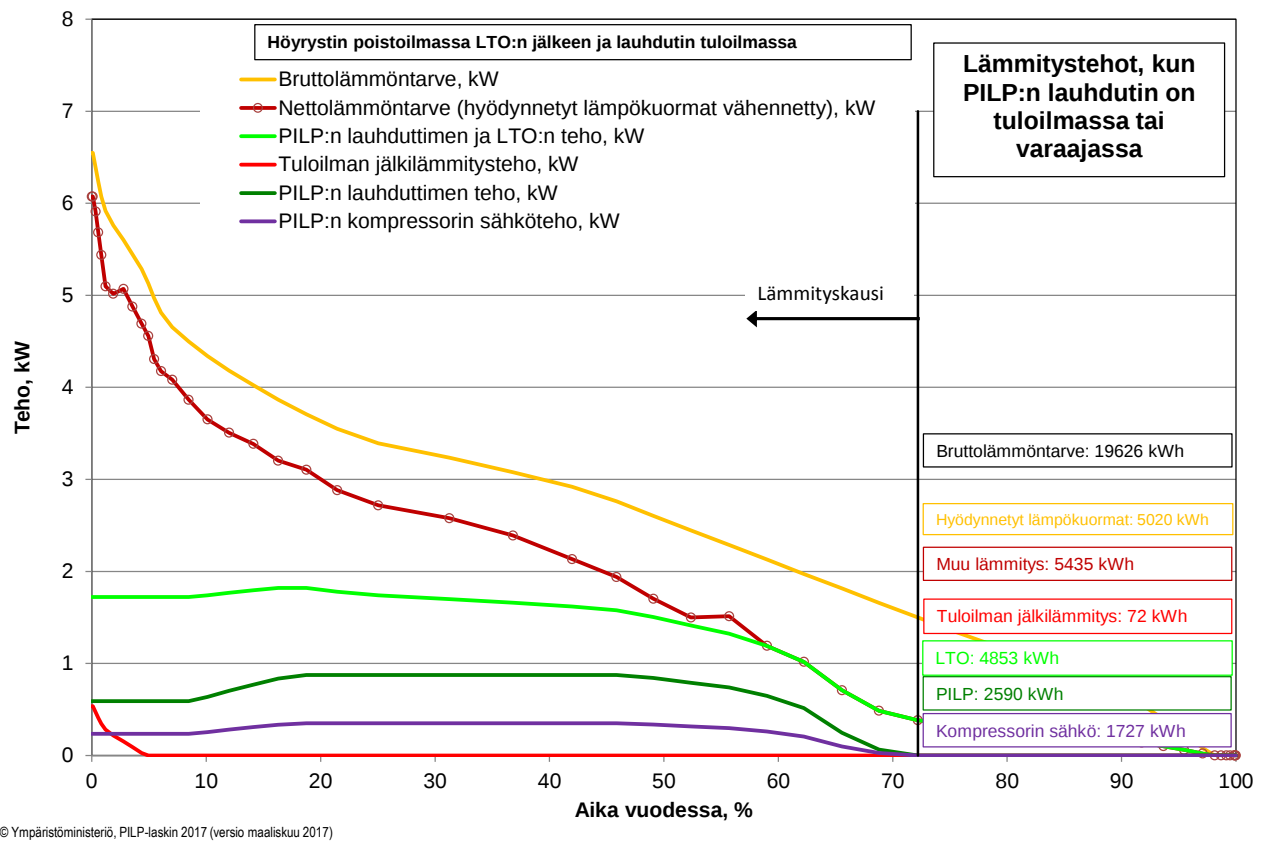
Kuva 22. Esimerkin RET-pientalon ilmanvaihdon lämmitystarve ilman poistoilmalämpöpumpua tai muuta lämmöntalteenottoa on 8 806 kWh lämmityskauden aikana (ulkolämpötila on alle 12 °C).



Kuva 23. Esimerkin RET-pientalon ilmanvaihdon lämmitystarve poistoilmalämpöpumpun ja LTO:n kanssa on 1 362 kWh lämmityskauden aikana. Höyrystimellä poistoilmasta on saatu talteen 2 590 kWh lämpöä ja LTO:lla 4 853 kWh lämmityskauden aikana. Ulkoilmasta olisi ollut saatavissa hieman lisää hyödynnettävää lämpöä (PILP:n jälkeisen poistoilman lämpötila sivuaa ulkoilman lämpötilaa), mutta se ei kuitenkaan ole lämmöntalteenottoa, eikä sitä lasketa mukaan lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteeseen. Pakkasella LTO:n ja PILP:n jäätymissuojaukset rajoittavat lämmöntalteenottotehoa, jotta haitallista jäätymistä ei tapahdu. Kun ulkoilman lämpötila on 0 °C vaiheilla, LTO ja PILP toimivat täydellä teholla. Yhdistetyn LTO- ja poistoilmalämpöpumppujärjestelmän lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on höyrystinenergian (PILP) ja LTO-energian (LTO) summa jaettuna ilmanvaihdon lämpöhäviöenergialla (A) eli $(2\,590\text{ kWh} + 4\,853\text{ kWh}) / 8\,806\text{ kWh} = 85\%$ (yhtälö 13).



Kuva 24. Esimerkin RET-pientalon poistoilmalämpöpumpun ja LTO:n energiat ja tehot tuloilman lämpötiloina kuvattuna. LTO:lla talteen saatu energia on 4 853 kWh lämmityskauden aikana. Kompressorin sähkön kulutus on 1 727 kWh, joka siirtyy lämpönä tuloilmaan. Tuloilmaan siirtyy myös 2 590 kWh poistoilmasta PILP:llä talteen saatua lämpöä. Tuloilman jälkilämmityksen energiankulutus on 72 kWh. Poistoilmalämpöpumpun lisäksi tarvitaan 5 435 kWh tilojen lämmitysenergiaa (esimerkiksi lattialämmitystä tai tuloilman jälkilämmitystä). Hyödyksi saadut lämpökuormat ovat pienentäneet rakennuksen lämmitystarvetta 5 020 kWh lämmityskauden aikana. Hyödynnetyt lämpökuormat ovat hieman pienemmät kuin kohdan 5.1 esimerkissä, koska lämmöntalteenotto LTO-lämmönsiirtimellä pienentää lämmitystarvetta ja heikentää hieman lämpökuormien hyödyntämisen tehokkuutta.

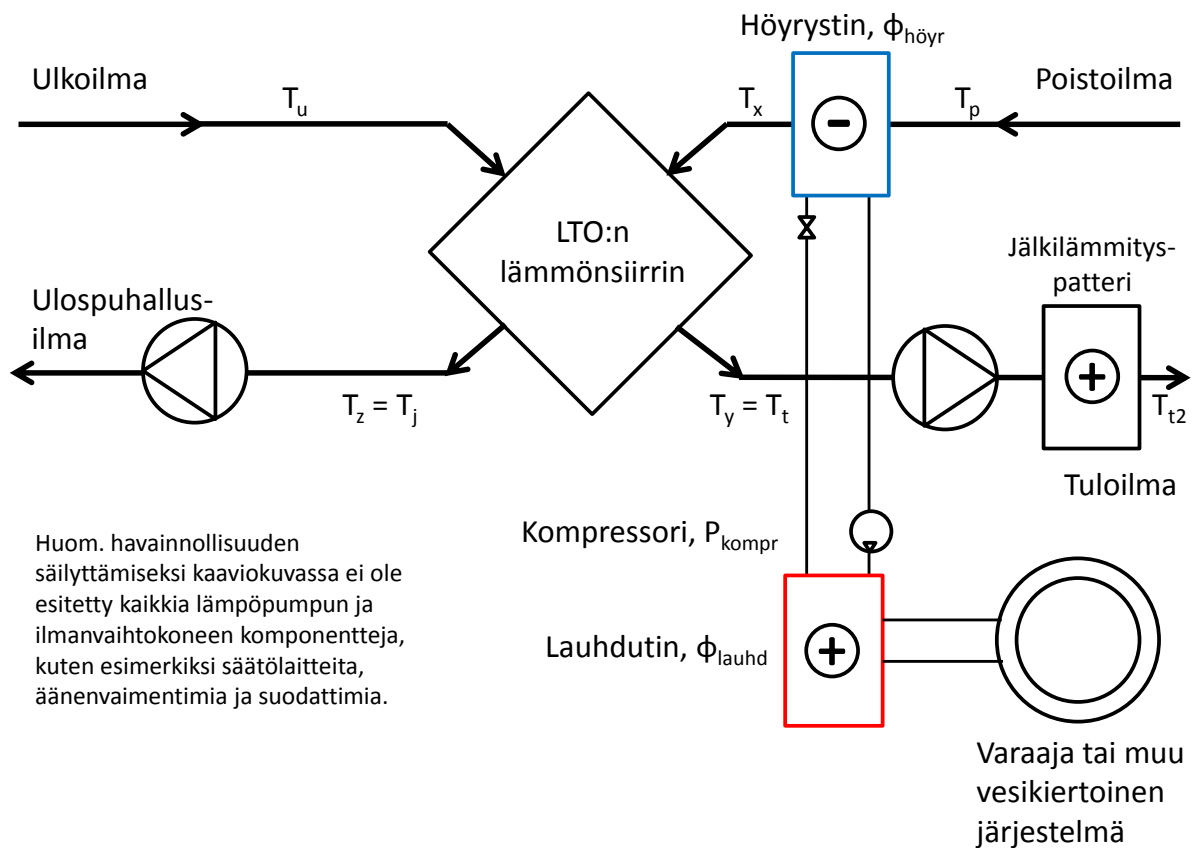


Kuva 25. Esimerkin RET-pientalon, poistoilmalämpöpumpun ja LTO:n lämmitystehot.

5.3 Lämmöntalteenotto poistoilmasta lämmönsiirtimellä tuloilmaan ja lämpöpumpulla varaajaan

5.3.1 Kuvaus ja lähtötiedot

Kolmannessa laskentaesimerkissä käytetään samaa RET-pientaloa kuin ensimmäisessä laskentaesimerkissäkin (taulukko 5 ja kuva 16). Tässä esimerkissä pientalo on varustettu poistoilmalämpöpumpulla, jossa on lämpöpumpun lisäksi LTO-lämmönsiirrin. Poistoilmalämpöpumppu siirtää poistoilmasta ennen LTO-lämmönsiirrintä otettua lämpöä varaajaan. Laiteratkaisun kytkentä esitetään kuvassa 26 ja toimintaperiaate on kuvattu oppaan kohdassa 3.6. Varaajan lämpöä käytetään myös käyttöveden lämmittämiseen.



Huom. havainnollisuuden säilyttämiseksi kaaviokuvassa ei ole esitetty kaikkia lämpöpumpun ja ilmanvaihdon komponentteja, kuten esimerkiksi säätölaitteita, äänenvaimentimia ja suodattimia.

Kuva 26. Esimerkin poistoilmalämpöpumpun kytkentäperiaate.

Poistoilmalämpöpumpun kompressorin nimellissähköteho on 350 W. Lämpökertoimena käytetään valmistajan ilmoittamaa +2 °C ulkolämpötilalla määritettyä varmennettua COP arvoa 2,5. Sähköteho ja COP oletetaan vakioiksi koko lämmityskaudella, myös osateholla käytettäessä. Poistoilmalämpöpumpun höyrystinin jälkeisen poistoilman minimilämpötilana käytetään valmistajan ilmoittamaa varmennettua arvoa +5 °C. LTO-lämmönsiirtimeen lämmöntalteenoton lämpötilasuhde on 0,60 yhtä suurilla ilmajirroilla. Ulospuhallusilman lämpötilan minimiarvona LTO-lämmönsiirtimeen jälkeen käytetään valmistajan ilmoittamaa varmennettua arvoa 0 °C. Tuloilman jälkilämmityksen asetusarvo on +15 °C. Jälkilämmitys kytkeytyy päälle, mikäli LTO:n teho ei riitä pitämään tuloilmaa vähintään asetusarvossaan. Jälkilämmitykseen käytetään mahdollisuuksien mukaan varaajasta saatavaa PILP:n lauhdutinlämpöä.

Päälämmönjakomuotona on kaikissa tiloissa lattialämmitys, jossa käytetään PILP-varaajasta otettua lämpöä. Poistoilmalämpöpumpun vuosihyötysuhteen laskennassa oletetaan, että poistoilmalämpöpumpun tuottamaa lämpöä jaetaan varaajasta koko taloon ja voi leudolla säällä korvata päälämmönjakojärjestelmän kokonaisuudessaan, mikäli poistoilmalämpöpumpun lämmitysteho siihen riittää. Lisäksi leudolla säällä varaajan lämmöllä voidaan lämmittää käyttövedettä. Tässä oppaassa ei käsitellä järjestelmän mitoitus- ja lämpötilatasojen vaikutuksia.

5.3.2 Laskentatulokset

Poistoilmalämpöpumpun lauhdutinteho Φ_L on $COP \cdot P = 2,5 \cdot 350 \text{ W} = 875 \text{ W}$ (yhtälö 2). Höyrystinteho Φ_H on $\Phi_L - P = 875 - 350 \text{ W} = 525 \text{ W}$ (yhtälö 4). Mikäli tällä höyrystinteholla poistoilma jäähtyy alle ulkoilman lämpötilan tai lämmitystarve on pienempi kuin lauhdutinteho, poistoilmalämpöpumpun tehoa pienennetään vastaavasti. Seuraavassa esitetään PILP-laskimella tehtyä PILP:n ja LTO-lämmönsiirtimen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskentaa tarkemmin. Puhaltimien sähkötehoja ja niiden vaikutuksia lämpötiloihin ei oteta huomioon.

Koko rakennuksen vaipan ja vuotoilman yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö on 97 W/K. Koska PILP lämmittää varaajaa, niin lämpöä voidaan käyttää koko rakennuksen lämmittämiseen. Ilmanvaihdon (poistoilmavirta 59 dm³/s) ominaislämpöhäviö ilman PILP:a on 71 W/K. Lämpimän käyttöveden keskimääräinen lämmitysteho on 587 W ja vastaava lämmitysenergia 3 715 kWh lämmityskaudella (5 145 kWh/a). Varaajan ja muun käyttövesijärjestelmän lämpöhäviö on 58 W eli 368 kWh lämmityskaudella (510 kWh/a). Bruttolämmitystehontarve -20 °C ulkolämpötilassa on 7,6 kW. Lämmityskauden yhteenlaskettu bruttolämmitysenergian tarve on 24 953 kWh.

Lämmityskauden lämmityksessä hyödynnetyt lämpökuormat ovat 5 656 kWh. Lämmityskauden nettolämmitysenergian tarve on 24 953 - 5 656 = 19 297 kWh. Tätä lämmitysenergian tarvetta voidaan kattaa PILP:llä tuotetulla lämmöllä.

Lämmityskaudella ilmanvaihdon lämmitystarve on 8 806 kWh. Poistoilmalämpöpumpulla voidaan ottaa talteen 3 296 kWh ja LTO:lla 3 053 kWh lämpöä. Yhdistetyn LTO- ja poistoilmalämpöpumppujärjestelmän lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on höyrystinenergian (PILP) ja LTO-energian (LTO) summa jaettuna ilmanvaihdon lämpöhäviöenergialla (A) eli $(3 296 \text{ kWh} + 3 053 \text{ kWh}) / 8 806 \text{ kWh} = 72 \%$ (yhtälö 13).

Tätä lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta voidaan käyttää rakennuksen lämpöhäviöiden tasauslaskennassa sellaisenaan. Mikäli rakennuksessa on muita ilmanvaihtokoneita tai poistoilmapuhaltimia, otetaan ne huomioon, kun lasketaan koko rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta esimerkiksi PILP-laskimen välilehteä Ilmanvaihto apuna käyttäen ja Tasauslaskentaoppaan 2018 ohjeistus huomioon ottaen.

Lämmityskauden aikana poistoilmalämpöpumpun kompressorin kuluttaa 2 197 kWh sähköä. PILP:n tuottaman lämmön (lauhdutinlämpö) lisäksi tarvitaan 10 750 kWh muulla lämmitystavalla tuotettua lämpöä tilojen, tuloilman ja käyttöveden lämmittämiseen. LTO:n teho ei riitä pitämään tuloilman lämpötilaa asetusarvossaan, vaan koko lämmityskauden ajan tarvitaan tuloilman jälkilämmitystä. Tuloilman jälkilämmityksen energiankulutus on 2 443 kWh.

Taulukossa 9 esitetään PILP-laskimen lähtötietosivu. Kuvissa 27 - 31 esitetään PILP-laskimen laskentatulokset lämpötilojen ja tehojen pysyvyyksinä sekä energiamäärinä.

Taulukko 9. PILP-laskimen lähtötiedot ja tuloksena saatu poistoilmalämpöpumpun lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde.

Kone	Palvelualue	Käyttötapa	Ulkoilmavirta m³/s	Poistoilmavirta m³/s
PILP	Koko rakennus	jatkuva käyttö	0,053	0,059

Rakennuksen tiedot

Rakennuksen käyttötarkoitusluokka (1 - 9)	1	
Lämmitetty nettoala	147,0	m²
Ilmanvaihdon käyttöaika vuorokaudessa	24	h/vrk
Ilmanvaihdon käyttöaika viikossa	7	vrk/viikko
Rakennuksen vaipan ja vuotoilman ominaislämpöhäviö	97,0	W/K
Rakennuksen muu vakiolämmitystarve	0,0	W

Hae oletusarvot

Sisäiset lämpökuormat käyttöaikana

Lämpökuorma valaistuksesta	0,6	W/m²
Lämpökuorma kuluttajalaitteista	1,8	W/m²
Lämpökuorma ihmisistä	1,2	W/m²
Sisäiset lämpökuormat yhteensä	529	W

Auringon lämpökuorma

Ikkinuiden tiedot ilmansuunnittain	Pinta-ala, m²	g-arvo	F _{läpäisy}
Pohjoinen	8,8	0,5	0,720
Koillinen			
Itä	1,3	0,5	0,623
Kaakko			
Etelä	11,1	0,5	0,570
Lounas			
Länsi	3,3	0,5	0,623
Luode			
Yhteensä	24,5		
Auringon lämpökuorma käyttöaikana keskimäärin	337	W	

Poistoilmalämpöpumpun tuottama lämpöä käytetään käyttöveden lämmittämiseen:

Lämpimän käyttöveden vuotuinen lämmitysenergiankulutus	35,0	kWh/m²/a
Lämpimän käyttöveden vuotuinen lämpöhäviöenergia	510,0	kWh/a

Poistoilmalämpöpumpun tiedot:

Poistoilmalämpöpumpun lämpökerroin, COP	2,50	
Poistoilmalämpöpumpun kompressorin sähköteho	350	W

2. Höyrystin poistoilmassa ennen LTO:a tai ilman LTO:a	▼
2. Lauhdutin on varaajassa	▼

Ulkoilmavirran suhde poistoilmavirtaan PILP:ssa	0,90
---	------

LTO-lämmönsiirtimen tiedot:

Tuloilman lämpötilasuhde yhtäsuurilla ilmavirroilla	0,60
Tuloilman lämpötilasuhde	0,63
Poistoilman lämpötilasuhde	0,57

Lämpötilat:

Huoneilman eli poistoilman lämpötila	21,0	°C
Poistoilman minimilämpötila LTO:n jäätymissuojauksessa	0,0	°C
Poistoilman minimilämpötila PILP:n jäätymissuojauksessa	5,0	°C
Tuloilman jälkilämmityksen asetuslämpötila	15,0	°C
Tuloilman jälkilämmitys PILP-varaajasta (1 = kyllä, 0 = ei)	1	

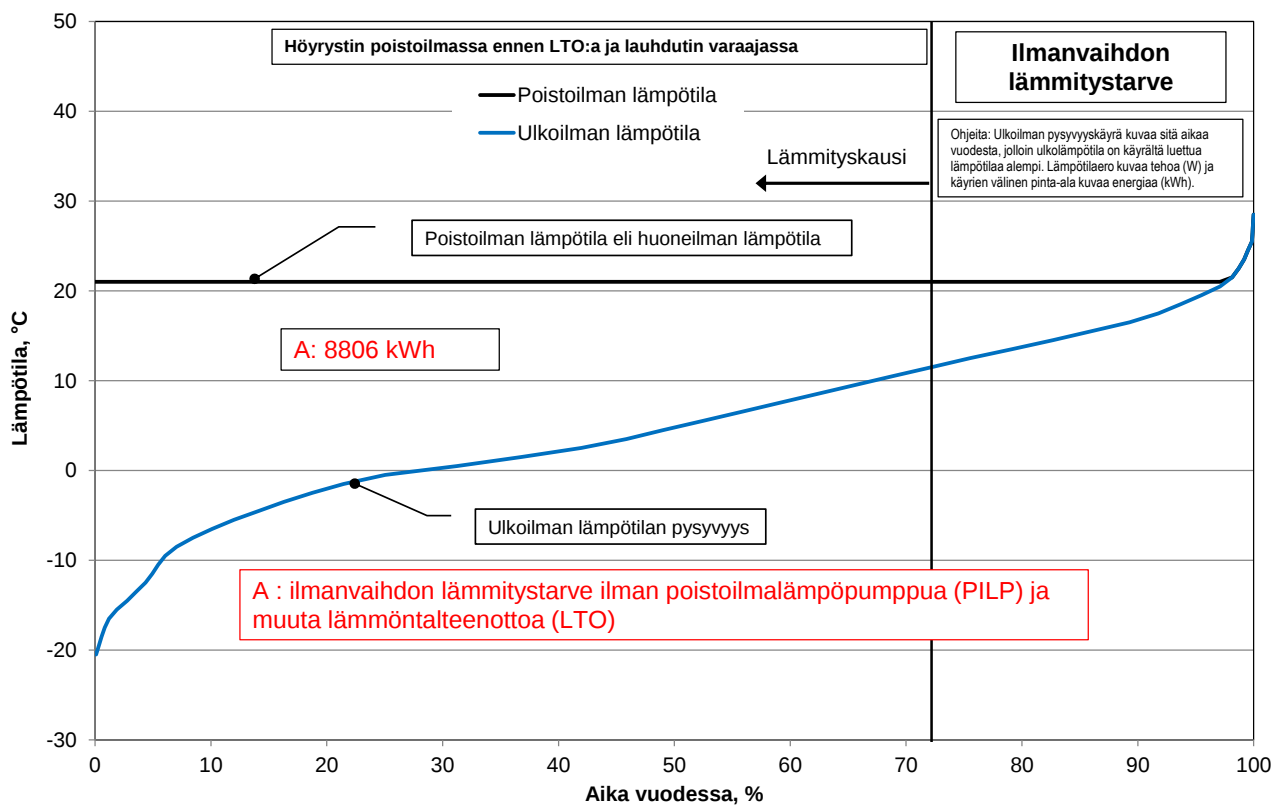
Poistoilmalämpöpumpun lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde ($\eta_{a, PILP}$)

Säävyöhyke

I Helsinki-Vantaa TRY 2012 testivuosi	72,1 %
---------------------------------------	--------

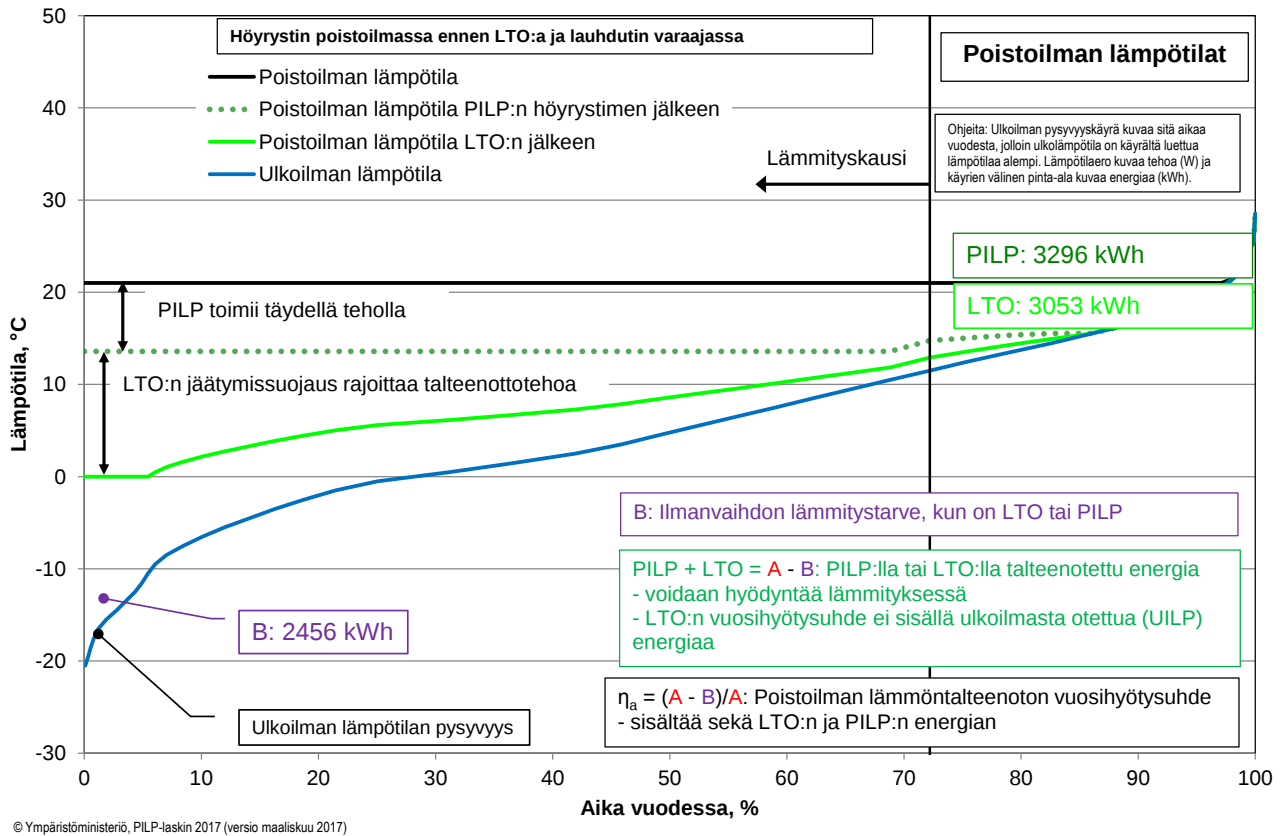
Laske

Poistoilmalämpöpumpun kompressorin sähkönkulutus	2 197	kWh/lämmityskausi
--	-------	-------------------

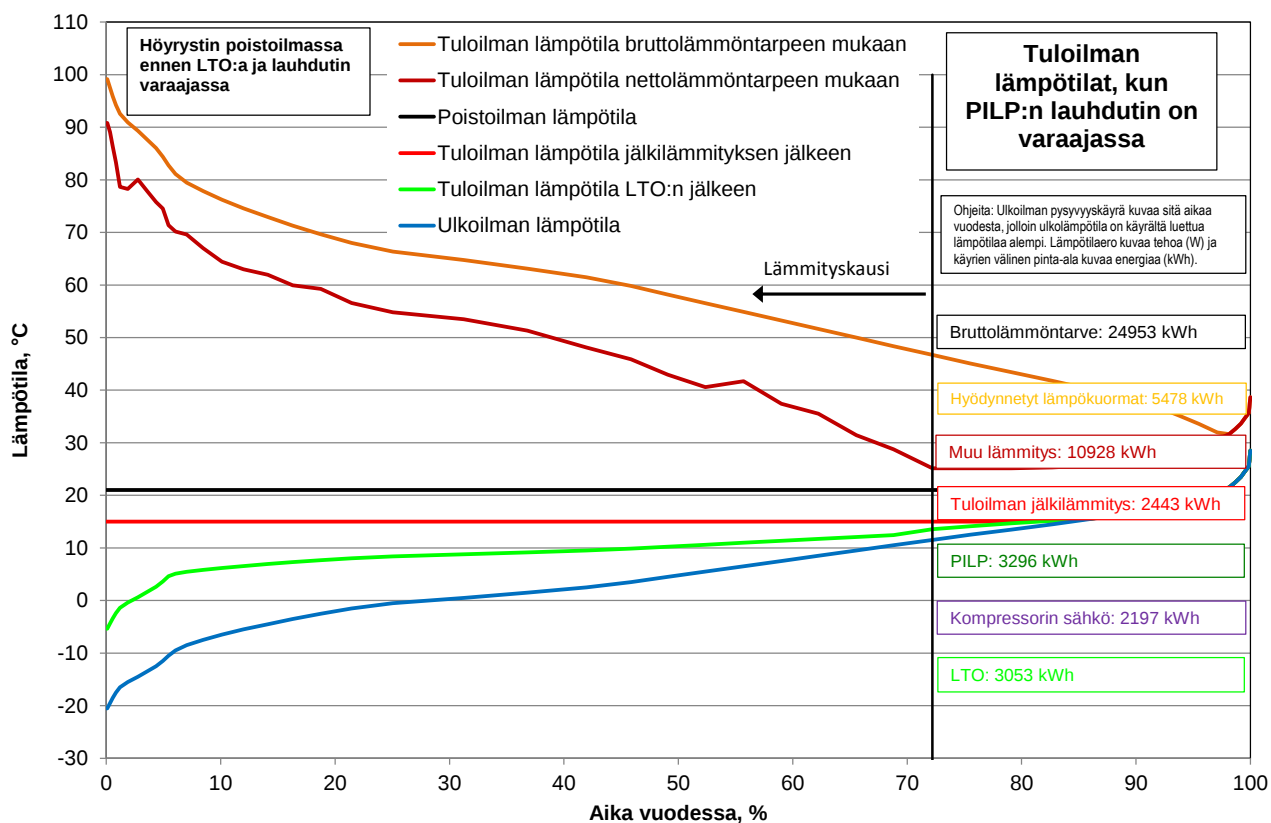


© Ympäristöministeriö, PILP-laskin 2017 (versio maaliskuu 2017)

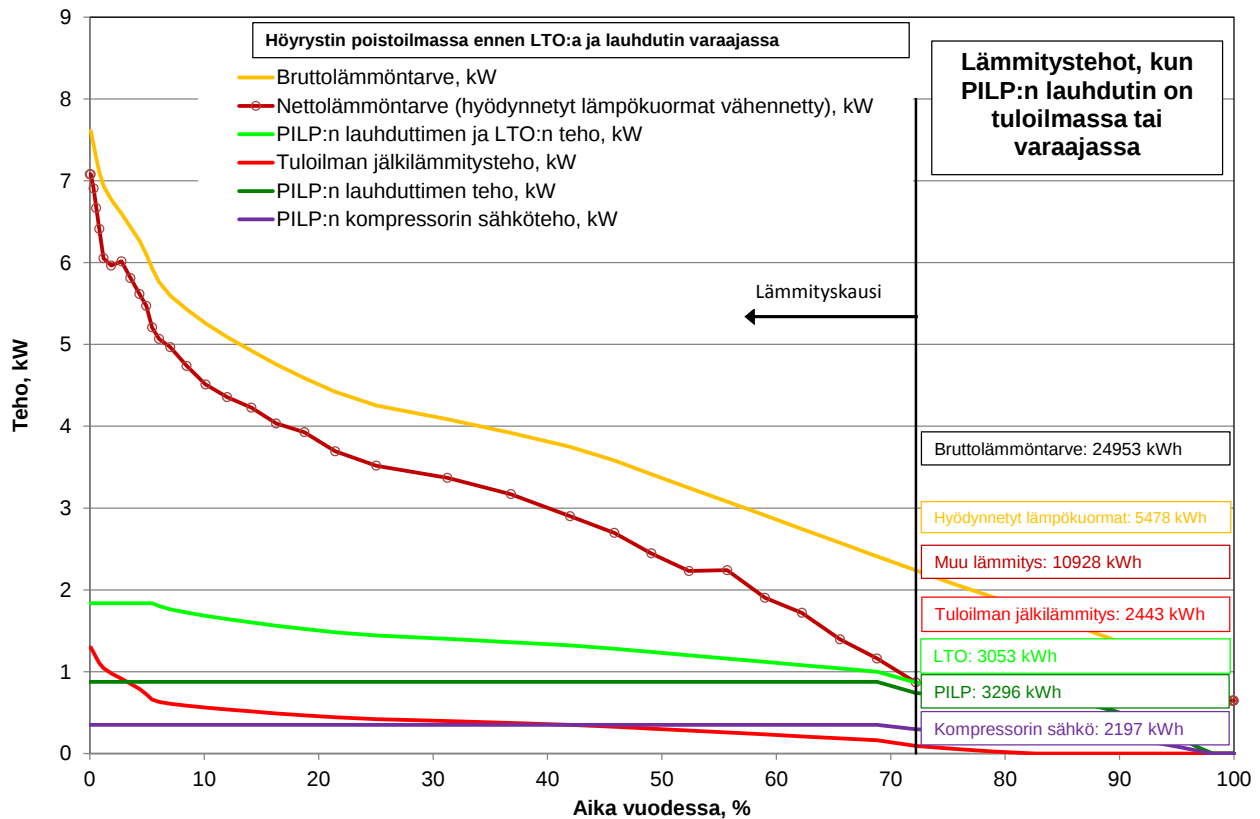
Kuva 27. Esimerkin RET-pientalon ilmanvaihdon lämmitystarve ilman poistoilmalämpöpumppua tai muuta lämmöntalteenottoa on 8 806 kWh lämmityskauden aikana (ulkolämpötila on alle 12 °C).



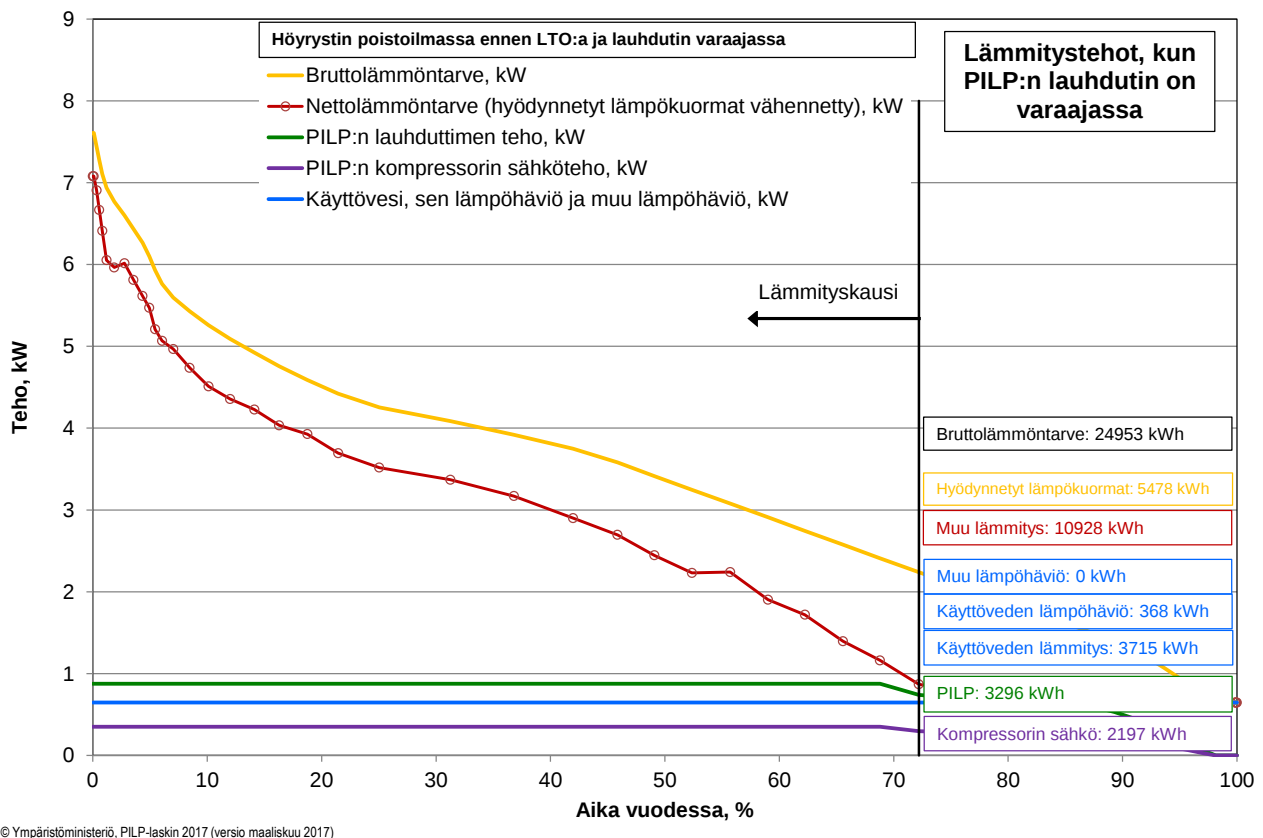
Kuva 28. Esimerkin RET-pientalon ilmanvaihdon lämmitystarve poistoilmalämpöpumpun ja LTO:n kanssa on 2 456 kWh lämmityskauden aikana. Höyrystimellä poistoilmasta on saatu talteen 3 296 kWh lämpöä ja LTO:lla 3 053 kWh lämmityskauden aikana. Täydellä teholla PILP kykenee jäähdyttämään poistoilman lämpötilasta 21 °C lämpötilaan 13,6 °C. Pakkasella LTO:n jäätymissuojaus rajoittaa lämmöntalteenottotehoa, jotta haitallista jäätymistä ei tapahdu. Yhdistetyn LTO- ja poistoilmalämpöpumppujärjestelmän lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on höyrystinenergian (PILP) ja LTO-energian (LTO) summa jaettuna ilmanvaihdon lämpöhäviöenergialla (A) eli $(3\,296\text{ kWh} + 3\,053\text{ kWh}) / 8\,806\text{ kWh} = 72\%$ (yhtälö 13).



Kuva 29. Esimerkin RET-pientalon poistoilmalämpöpumpun ja LTO:n energiat ja tehot tuloilman lämpötiloina kuvattuna. LTO:lla talteen saatu energia on 3 053 kWh lämmityskauden aikana. Kompressorin sähkön kulutus on 2 197 kWh, joka siirtyy lämpönä varaajaan. Varaajaan siirtyy myös 3 296 kWh poistoilmasta PILP:llä talteen saatua lämpöä. Tuloilman jälkilämmityksen energiankulutus on 2 443 kWh. Poistoilmalämpöpumpun lisäksi tarvitaan 10 928 kWh muulla lämmitystavalla tuotettua lämpöä tilojen, tuloilman ja käyttöveden lämmittämiseen. Hyödyksi saadut lämpökuormat ovat pienentäneet rakennuksen lämmitystarvetta 5 478 kWh lämmityskauden aikana.



Kuva 30. Esimerkin RET-pientalon, poistoilmalämpöpumpun ja LTO:n lämmitystehot.



Kuva 31. Esimerkin RET-pientalon, poistoilmalämpöpumpun ja käyttöveden lämmitystehot.

Kirjallisuutta

Asetus. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 2018. Ympäristöministeriö. Helsinki. 16 s.

Energialaskentaohje 2018. Ympäristöministeriön ohje rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskennasta 2018. Ympäristöministeriö. Helsinki.

Tasauslaskentaopas 2018. Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden osoittaminen. Ympäristöministeriö. Helsinki. 95 s.

Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto lämpöhäviöiden tasauslaskennassa. Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto. Helsinki 2003. 35 s. (Ympäristöministeriön moniste 122).

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 2018. Ympäristöministeriö. Helsinki. 15 s.

SFS-EN 308:1997, Heat exchangers - Test procedures for establishing performance of air to air and flue gases heat recovery devices.

CEN Final draft. Ventilation for Buildings - Performance testing of components for residential buildings - Multifunctional balanced ventilation units for single family dwellings, including heat pumps. 59 s. CEN-TC156-WG2_N0609_WI_00156168_Draft_2012-04-18

SFS-EN 13141-7:2010, Performance testing of mechanical supply and exhaust units [including heat recovery] for mechanical ventilation systems intended for single family dwellings.

SFS-EN 1886:2007, Ventilation for buildings - Air handling units – Mechanical performance.

SFS-EN 14511-1:2013, Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps with electrically driven compressors for space heating and cooling – Part 1: Terms, definitions and classification.

SFS-EN 14511-2:2013, Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps with electrically driven compressors for space heating and cooling – Part 2: Test conditions.

SFS-EN 14511-3:2013, Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps with electrically driven compressors for space heating and cooling – Part 3: Test methods.

SFS-EN 14511-4:2013, Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps with electrically driven compressors for space heating and cooling – Part 4: Operating requirements, marking and instructions.

SFS-EN 15316-4-2:2008, 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 14825:2016, Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps, with electrically driven compressors, for space heating and cooling – Testing and rating at part load conditions and calculation of seasonal performance.

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

KOMISSION ASETUS (EU) 2016/2281. Energiaan liittyvien tuotteiden ekologiselle suunnittelulle asetettavien vaatimusten puitteista annetun Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2009/125/EY täytäntöönpanemisesta ilmalämmitystuotteiden, jäähdytystuotteiden, korkeassa lämpötilassa käytettävien prosessijäähdytyslaitteiden ja puhallinkonvektorien ekologista suunnittelua koskevien vaatimusten osalta. Annettu 30 päivänä marraskuuta 2016.

KOMISSION ASETUS (EU) N:o 813/2013. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2009/125/EY täytäntöönpanemisesta tilalämmittimien ja yhdistelmälämmittimien ekologista suunnittelua koskevien vaatimusten osalta. Annettu 2 päivänä elokuuta 2013.

KOMISSION ASETUS (EU) N:o 814/2013. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2009/125/EY täytäntöönpanemisesta vedenlämmittimien ja kuumavesisäiliöiden ekologista suunnittelua koskevien vaatimusten osalta. Annettu 2 päivänä elokuuta 2013.

Suomen rakentamismääräyskokoelma. Pienet ilmankäsittelykoneet. Tyyppihyväksyntäohjeet 2008. Ympäristöministeriön asetus pienten ilmankäsittelykoneiden tyyppihyväksynnästä, 10.11.2008.

Poistoilmasta tuloilmaan lämpöä siirtävien lämmöntalteenottolaitteiden tyyppihyväksyntä- ja testausohje, ympäristöministeriön kirje no. 1765/545/81, 6.5.1983.

Nyman, M. 2003 (1987). Ilmanvaihdon lämmöntalteenottolaitteiden jäätyminen. VTT Rakennus- ja yhdyskuntateknikka, Espoo. 45 s. (Tutkimusraportti RTE3344/03)

Kaappola, E. 2010. Lämpöpumppujen toiminta kylmäainepuolelta katsottuna. Lämpöpumppuratkaisut kiinteistöille ja teollisuudelle 28.04.2010. Koulutusaineisto. Suomen LVI-liitto, SuLVI ry. 62 s.

Lämpöpumppujen energialaskentaopas. 3.10.2012. http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma

Rämä, M., Niemi, R. & Similä, L. 2015. Poistoilmalämpöpumput kaukolämpöjärjestelmässä. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, Espoo. 93 s. (Asiakasraportti VTT-CR-00564-15)

Laitinen, A. 2016. Ilma-ilmalämpöpumppujen energiankulutusvaikutukset pientaloissa. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, Espoo. 47 s. + liitt. 31 s. (VTT Technology 262)

Laitinen, A., Tuominen, P., Holopainen, R., Tuomaala, P., Jokisalo, J., Eskola, L. & Sirén, K. 2014. Suomalaisten lämpöpumppujen uusiutuvan energian tuotto. SPF-hankkeen loppuraportti. VTT, Espoo. 90 s. + liitt. 30 s. (VTT Technology 164)

Liite 1. Säättiedot

Ulkolämpötilojen pysyvyystiedot

Taulukossa 1 olevat ulkolämpötilojen pysyvyystiedot ovat Ilmatieteen laitoksen testivuoden TRY 2012 tietoja. Rakennuksen ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskenta lämpöhäviöiden tasauslaskentaa varten tehdään säävyöhykkeen I -II ulkolämpötilatiedoilla.

Auringon säteilyenergian pysyvyystiedot

Taulukossa 1 olevat auringon vaakatasolle tulevan säteilyenergian pysyvyystiedot ovat Ilmatieteen laitoksen testivuoden TRY 2012 tietoja. Taulukossa esitetään, kuinka suuri määrä säteilyenergiaa tulee vuodessa jaksolla, jolloin on kyseistä ulkoilman lämpötilaa kylmempää. Pysyvyyskäyrä laskettiin koko vuoden tuntitiedoista tämän oppaan laatimisen yhteydessä.

Poistoilmalämpöpumpun tuottaman lämmön hyödyntämisen laskenta tehdään säävyöhykkeen I -II aurinkokuormilla.

Taulukko 1. Ilmatieteen laitoksen testivuoden TRY 2012 [asetus] ulkoilman lämpötilasta lasketut pysyvyytiedot säävyöhykkeellä I - II. Esiintymisaajan prosenttiosuus ilmoittaa, kuinka suuri osuus vuodesta on kyseistä ulkoilman lämpötilaa kylmempi. Esimerkiksi -5 °C kylmempää on 12 % vuodesta eli 44 vuorokautta. Lisäksi taulukossa on vaakatasolle tulevasta auringon kokonaissäteilytehosta lasketut säteilyenergian pysyvyytiedot. Auringon säteilyenergia vaakatason pinta-alaa kohti (kWh/m²) esitetään kumulatiivisena ulkoilman lämpötiloittain. Esimerkiksi ulkolämpötilan ollessa -5 °C ja -6 °C välillä (jakson kesto 12,00 - 10,11 = 1,89 % eli 6,9 vrk) saadaan auringon säteilyenergiaa vaakatasolle 5,2 kWh/m² (25,92 - 20,74).

Ulkoilman lämpötila, °C	Säävyöhyke I - II Helsinki TRY 2012, Esiintymisaika, % vuodesta	Säävyöhyke I - II Helsinki TRY 2012, Auringon säteilyenergia vaakatasolle, kWh/m ²
-21	0	
-20	0,07991	0
-19	0,3311	0,0166
-18	0,5594	0,2502
-17	0,8333	0,8564
-16	1,199	2,591
-15	1,872	5,078
-14	2,763	5,765
-13	3,550	6,748
-12	4,349	8,055
-11	4,932	8,821
-10	5,445	10,15
-9	6,050	11,50
-8	7,032	12,81
-7	8,459	15,89
-6	10,11	20,74
-5	12,00	25,92
-4	14,12	30,70
-3	16,29	36,31
-2	18,76	40,66
-1	21,45	47,79
0	25,03	57,67
1	31,24	73,19
2	36,80	89,44
3	41,97	111,6
4	45,86	130,1
5	49,08	149,0
6	52,36	170,4
7	55,71	184,2
8	59,01	205,3
9	62,24	226,7
10	65,56	255,6
11	68,80	286,7
12	72,20	325,4

Liite 2. PILP-laskimen käyttöohjeita

PILP-laskimella voidaan laskea poistoilmalämpöpumpun lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde lämpöhäviöiden tasauslaskentaa varten. Lämmöntalteenoton laskenta voidaan tehdä sekä pelkälle lämpöpumpulle että lämpöpumpun ja lämmönsiirtimeen yhdistelmälle. Lämmönsiirrin voi olla ennen höyrystintä tai sen jälkeen.

Ensimmäisenä PILP-laskimeen annetaan laskennan kohteena olevan ilmanvaihtokoneen yleistiedot ja ilmavirrat. Ilmavirrat ja muut tiedot saadaan yleensä suunnitteluasiakirjoista.

Kone	Palvelualue	Käyttötapa	Tuloilmavirta m ³ /s	Poistoilmavirta m ³ /s
PILP	Koko rakennus	jatkuva käyttö	0,053	0,059

Tämän jälkeen annetaan rakennuksen käyttötarkoitusluokka ja lämmitetty nettoala. Näiden perusteella voidaan hakea muille lähtötiedoille valmiit oletusarvot [Hae oletusarvot]-nappia painamalla. Tämä helpottaa alustavien arviointien tekoa. Arvoja voidaan muuttaa myöhemmin tai syöttää kaikki arvot käsin.

Laajuustietojen jälkeen annetaan ilmanvaihdon käyttöajat, vaipan ja vuotoilman ominaislämpöhäviö, rakennuksen muu vakiolämmitystarve sekä sisäiset lämpökuormat. Ikkunoiden kautta tulevan auringon säteilyn tuoman lämpökuorman laskemiseksi tarvitaan rakennuksen ikkunoiden pinta-alat ja suuntaukset sekä auringon säteilyn läpäisyominaisuudet.

Ilmanvaihdon käyttöajat ja sisäiset lämpökuormat ovat yleensä asetuksen 11 § mukaiset.

Rakennuksen vaipan ja vuotoilman ominaislämpöhäviö saadaan esimerkiksi tasauslaskimesta. Se ei sisällä ilmanvaihdon lämpöhäviötä ($H = H_{\text{joht}} + H_{\text{vuotoilma}}$).

Rakennuksen muu vakiolämmitystarve voi olla esimerkiksi talotekniikkajärjestelmän lämpöhäviö, joka on vakio ympäri vuoden eikä riipu ulkolämpötilasta eikä tule sisälle lämpökuormaksi.

Mikäli PILP:lla tuotettua lämpöä käytetään käyttöveden lämmitykseen, tulee antaa lämpimän käyttöveden vuotuinen lämmitysenergia sekä käyttövesijärjestelmän ja mahdollisen varaajan vuotuinen lämpöhäviöenergia. Laskennassa käytetään käyttöajan keskimääräisiä tehoja. Lämpöhäviön oletusarvona on 10 % käyttöveden lämmityksen tarvitsemasta lämmitysenergiasta.

Lämpimän käyttöveden lämmitys ja auringon lämpökuormat oletetaan kohdistuvan kokonaisuudessaan ilmanvaihdon käyttöaikaan. Sisäiset lämpökuormat oletetaan kohdistuvan kokonaisuudessaan rakennuksen käyttöaikaan. Auringon lämpökuormissa keskimääräinen teho määritetään 10 tunnin käyttöajan mukaan silloin, kun vuorokautinen käyttöaika on tätä pienempi. Yksinkertaistetun laskennan luotettavuus heikkenee, mikäli käytetään erikoisia käyttöaikoja, esimerkiksi yökäyttö.

Rakennuksen tiedot

Rakennuksen käyttötarkoitusluokka (1 - 9)	1	
Lämmitetty nettoala	147,0	m ²
Ilmanvaihdon käyttöaika vuorokaudessa	24	h/vrk
Ilmanvaihdon käyttöaika viikossa	7	vrk/viikko
Rakennuksen vaipan ja vuotoilman ominaislämpöhäviö	97,0	W/K
Rakennuksen muu vakiolämmitystarve	0,0	W

Hae oletusarvot

Sisäiset lämpökuormat käyttöaikana

Lämpökuorma valaistuksesta	0,6	W/m ²
Lämpökuorma kuluttajalaitteista	1,8	W/m ²
Lämpökuorma ihmisistä	1,2	W/m ²
Sisäiset lämpökuormat yhteensä	529	W

Auringon lämpökuorma

Ikkunoiden tiedot ilmansuunnittain	Pinta-ala, m ²	g-arvo	F _{läpäisy}
Pohjoinen	8,8	0,5	0,720
Koillinen			
Itä	1,3	0,5	0,623
Kaakko			
Etelä	11,1	0,5	0,570
Lounas			
Länsi	3,3	0,5	0,623
Luode			
Yhteensä	24,5		
Auringon lämpökuorma käyttöaikana keskimäärin	337	W	

Poistoilmalämpöpumpun tuottama lämpöä käytetään käyttöveden lämmittämiseen:

Lämpimän käyttöveden vuotuinen lämmitysenergiankulutus	35,0	kWh/m ² /a
Lämpimän käyttöveden vuotuinen lämpöhäviöenergia	510,0	kWh/a

Ennen laskentaa annetaan poistoilmalämpöpumpun tiedot. Lämpökerroin (COP) ja kompressorin sähköteho voidaan antaa keskimääräisen toimintapisteen arvona.

Poistoilmalämpöpumpun tyyppi voidaan valita kahdesta vaihtoehdosta kahdesta pudotusvalikosta. Jos lämmöntalteenotossa on myös lämmönsiirrin, niin sen tuloilman lämpötilasuhde annetaan.

Lopuksi annetaan lämpötilatiedot. Huoneilman eli poistoilman lämpötila on ilmanvaihtokoneen palvelualueen keskimääräinen lämpötila lämmityskaudella eli yleensä 21 °C. Poistoilman jäätymissuojauksen minimilämpötilat rajoittavat lämmöntalteenottoa. Rajoitus on erikseen LTO:n lämmönsiirtimen ja PILP:n höyrystimen jäätymissuojaukselle. Arvot saadaan yleensä ilmanvaihtosuunnittelijalta tai laitevalmistajalta. Jäätymissuojauksen lämpötiloissa on tarvittaessa otettava huomioon LTO:n lämmönsiirtimen ja PILP:n höyrystimen sijainti toisiinsa nähden. Tuloilman jälkilämmitykselle voidaan antaa asetusarvo, jonka mukaan lasketaan tuloilman jälkilämmitysenergia. Asetusarvo on rajoitettu laskennallisista syistä poistoilman lämpötilaan. Jos PILP:n lauhdutin on varaajassa, niin voidaan valita, käytetäänkö PILP:n tuottamaa lämpöä tuloilman jälkilämmitykseen vai ei (esimerkiksi sähkövastus).

Poistoilmalämpöpumpun tiedot:

Poistoilmalämpöpumpun lämpökerroin, COP	2,50
Poistoilmalämpöpumpun kompressorin sähköteho	350 W

2. Höyrystin poistoilmassa ennen LTO:a tai ilman LTO:a ▼

2. Lauhdutin on varaajassa ▼

Ulkoilmavirran suhde poistoilmavirtaan PILP:ssa	0,90
---	------

LTO-lämmönsiirtimen tiedot:

Tuloilman lämpötilasuhde yhtäsuurilla ilmavirroilla	0,60
Tuloilman lämpötilasuhde	0,63
Poistoilman lämpötilasuhde	0,57

Lämpötilat:

Huoneilman eli poistoilman lämpötila	21,0 °C
Poistoilman minimilämpötila LTO:n jäätymissuojauksessa	0,0 °C
Poistoilman minimilämpötila PILP:n jäätymissuojauksessa	5,0 °C
Tuloilman jälkilämmityksen asetuslämpötila	15,0 °C
Tuloilman jälkilämmitys PILP-varaajasta (1 = kyllä, 0 = ei)	1

Kun kaikki lähtötiedot on annettu, niin painamalla [Laske]-nappia **poistoilmalämpöpumpun lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde** lasketaan siniseen ruutuun. Arvo voidaan kopioida ilmanvaihtolomakkeeseen tai suoraan tasauslaskentalomakkeeseen ja hyödyntää rakennuksen lämpöhäviöiden määräystenmukaisuuden osoittamisessa. Lisäksi lasketaan PILP:n kompressorin sähkönkulutus lämmityskaudella. Sähkönkulutus pienentää rakennuksen muuta lämmitystä. Laskentaa ja tuloksia havainnollistetaan PILP-laskimessa pysyvyyskäyräkuvilla ja niissä esitetyillä lämmityskauden energiankulutustiedoilla, joita tarvitaan poistoilmalämpöpumpun lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittämiseen. Esitetyt kulutukset eivät vastaa esimerkiksi kuukausimenetelmällä laskettuja vuosikulutuksia.

Jos lähtötietoihin tehdään pieniä muutoksia, ei tulosten päivittyminen aina edellytä [Laske]-napin painamista.

Poistoilmalämpöpumpun lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde ($\eta_{a, \text{PILP}}$)

Säävyöhyke

I Helsinki-Vantaa TRY 2012 testivuosi	72,1 %
---------------------------------------	--------

Laske

Poistoilmalämpöpumpun kompressorin sähkönkulutus	2 197 kWh/lämmityskausi
--	-------------------------