

# Tasauslaskentaopas 2018

Rakennuksen lämpöhäviön  
määräystenmukaisuuden osoittaminen

31.3.2017

## Esipuhe

Tämä opas käsittelee ympäristöministeriön asetuksessa uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 2018 olevaa rakennuksen lämpöhäviön vaatimustenmukaisuuden osoittamista. Oppaassa käsitellään yksityiskohtaisesti lämpöhäviöiden tasauslaskenta, vaipan ilmanpitävyyden osoittaminen ja lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskenta. Opas sisältää esimerkkejä eri rakennustyyppien tasauslaskelmista. Asetuksen velvoittavista säännöksistä käytetään tässä oppaassa nimitystä määräys.

Tämä opas on päivitetty versio Tasauslaskentaoppaasta 2012 (24.11.2011), Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden osoittaminen.

Oppaan sovellusesimerkit, suositukset ja lisätiedot eivät sellaisenaan ole asetuksen määräysten tasoisia kannanottoja, jotka sitoisivat suunnittelua ja rakentamista. Oppaan tarkoituksena on havainnollistaa määräystenmukaisuuden osoittamista ja selventää määräysten ja ohjeiden tulkintaa ja kohdentumista.

Oppaan ovat laatineet ympäristöministeriön toimeksiannosta Mikko Saari ja Mikko Nyman VTT Expert Services Oy:stä. Aiemmin julkaistun aineiston laatimiseen ovat osallistuneet myös Erkki Kokko (Ympäristöopas 106) ja Mika Vuolle (moniste 122).

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

# Sisältö

<b>Esipuhe</b> .....	<b>2</b>
<b>1 Johdanto</b> .....	<b>6</b>
<b>2 Määritelmiä ja käsitteitä</b> .....	<b>9</b>
<b>3 Määräystenmukaisuuden osoittaminen</b> .....	<b>11</b>
3.1 Tasauslaskenta .....	11
3.1.1 Tasauslaskennan periaatteet .....	11
3.1.2 Esimerkki lämpöhäviövaatimuksen täyttämisestä .....	15
3.2 Rakennuksen pinta-alojen ja tilavuuksien määrittäminen .....	18
3.3 Rakennuksen vaipan lämpöhäviö.....	18
3.3.1 Rakennuksen vaipan lämpöhäviön laskenta .....	18
3.3.2 Rakennusosien pinta-alojen määrittäminen .....	19
3.3.3 Rakennusosien lämmönläpäisykerroimet.....	20
3.3.4 Alapohjat ja maanvastaiset rakenteet.....	21
3.3.5 Ikkunat, ovet ja luukut .....	22
3.3.6 Kylmäsiltojen huomioon ottaminen.....	23
3.3.7 Massiivipuuseinän lämmönläpäisykerroin.....	24
3.3.8 Loma-asumiseen suunniteltu pientalo.....	24
3.4 Rakennuksen vuotoilman lämpöhäviö .....	24
3.4.1 Rakennuksen vuotoilman lämpöhäviön laskenta.....	24
3.4.2 Vuotoilmavirta .....	25
3.4.3 Ilmanpitävyyden osoittaminen .....	25
3.5 Ilmanvaihdon lämpöhäviö.....	26
3.5.1 Ilmanvaihdon lämpöhäviön laskenta .....	26
3.5.2 Ilmavirrat.....	27
3.5.3 Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde .....	28
<b>4 Esimerkki loma-asumiseen suunniteltavan pientalon lämpöhäviövaatimuksen täyttämisestä</b> .....	<b>30</b>
<b>LIITE 1 Tasauslaskentalomake ja sen täyttöohje</b> .....	<b>32</b>
<b>1 Määräystenmukaisuuden osoittaminen</b> .....	<b>32</b>
<b>2 Lämpöhäviöiden tasauslaskentataulukon käyttö</b> .....	<b>32</b>
2.1 Kohteen tiedot ja rakennuksen laajuustiedot .....	32
2.2 Rakennusosien pinta-alat .....	32
2.3 Rakennusosien U-arvot .....	32
2.4 Vaipan ominaislämpöhäviöt .....	35
2.5 Vaipan ilmavuodot.....	35
2.6 Ilmavirrat.....	35
2.7 Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde .....	35
2.8 Ilmanvaihdon ominaislämpöhäviöt.....	35
<b>3 Määräystenmukaisuuden tarkistuslistan käyttö</b> .....	<b>36</b>
3.1 Yleistä .....	36
3.2 Pinta-ala- ja lämpöhäviövaatimukset .....	36
<b>LIITE 2 Lämmönjohtavuus ja lämmönläpäisykerroin</b> .....	<b>37</b>
<b>1 Lämmönjohtavuus</b> .....	<b>37</b>

1.1	Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo ja sen valintamahdollisuudet.....	37
<b>2</b>	<b>Lämmönläpäisykerroin .....</b>	<b>38</b>
2.1	Lämmönläpäisykerroimen laskenta.....	38
2.2	Kylmäsiltojen laskenta.....	38
	<b>Kirjallisuutta .....</b>	<b>38</b>
	<b>Rakennusten lämpöhäviöitä koskevia standardeja .....</b>	<b>39</b>
	<b>LIITE 3 Selvitys vaipan ilmanpitävyydestä .....</b>	<b>40</b>
<b>1</b>	<b>Johdanto .....</b>	<b>40</b>
<b>2</b>	<b>Vaipan ilmanpitävyyden mittaukseen perustuva selvitys .....</b>	<b>40</b>
2.1	Mittausmenetelmä.....	40
2.2	Selvityksen sisältö.....	41
<b>3</b>	<b>Muuhun menettelyyn perustuva selvitys vaipan ilmanpitävyydestä .....</b>	<b>41</b>
	<b>LIITE 4 Ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskenta (Moniste 122).....</b>	<b>42</b>
<b>1</b>	<b>Johdanto .....</b>	<b>42</b>
<b>2</b>	<b>Määritelmiä.....</b>	<b>44</b>
2.1	Käsitteitä .....	44
2.2	Lämmöntalteenotto erikoistapauksissa .....	45
2.3	Liitteessä 4 käytetyt merkinnät .....	46
<b>3</b>	<b>Rakennuksen ilmanvaihto .....</b>	<b>47</b>
3.1	Rakennuksen ilmavirrat .....	47
3.2	Laskennassa käytettävät ilmavirrat .....	48
<b>4</b>	<b>Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhteet.....</b>	<b>50</b>
<b>5</b>	<b>Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskenta lämmöntarveluvuilla .....</b>	<b>52</b>
5.1	Ilmanvaihdon lämmityksen energiantarve .....	52
5.2	Poistoilmasta talteenotettu lämpöenergia.....	54
5.3	Vuosihyötysuhteen laskenta.....	58
<b>6</b>	<b>Säätiedot ja lämmöntarveluvut.....</b>	<b>59</b>
6.1	Ulkolämpötilojen pysyvyystiedot .....	59
6.2	Lämmöntarveluvun laskenta .....	60
<b>7</b>	<b>Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskentaesimerkkejä .....</b>	<b>61</b>
7.1	Pientaloesimerkki.....	61
7.2	Toimistotaloesimerkki .....	63
	<b>Kirjallisuutta .....</b>	<b>65</b>
	<b>LIITE 5 Esimerkkejä lämpöhäviöiden tasauslaskelmista .....</b>	<b>66</b>
<b>1</b>	<b>Pientaloesimerkit.....</b>	<b>67</b>
1.1	Suuri ikkunapinta-ala .....	67
1.2	Ei lämmöntalteenottoa .....	70
1.3	Hirsitalo.....	73
1.4	Painovoimainen ilmanvaihto.....	76
1.5	Loma-asunto.....	79

<b>2</b>	<b>Asuinkerrostaloesimerkki.....</b>	<b>81</b>
2.1	Parempi ilmanpitävyys.....	81
<b>4</b>	<b>Toimistotaloesimerkki.....</b>	<b>85</b>
4.1	Puolet julkisivusta lasia.....	85
<b>5</b>	<b>Teollisuusrakennusesimerkki .....</b>	<b>89</b>
<b>6</b>	<b>Tyhjät määräystenmukaisuuden osoittamistaulukot .....</b>	<b>92</b>

# 1 Johdanto

Euroopan unionin joulukuussa 2008 hyväksymässä ilmasto- ja energiapaketissa asetettiin seuraavat vuoteen 2020 ulottuvat ilmasto- ja energiavoitteet: kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen vähintään 20 prosenttia vuoteen 1990 verrattuna, uusiutuvien energialähteiden osuuden nostaminen keskimäärin 20 prosenttiin EU:n energian loppukulutuksesta ja energiatehokkuuden parantaminen 20 prosentilla verrattuna ilman uusia toimenpiteitä toteutuvaan kehitykseen. Suomelle asetettiin sitova tavoite nostaa uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian osuus energian kokonaisloppukulutuksesta 38 prosenttiin.

Uudelleenlaadittu Euroopan parlamentin ja neuvoston rakennusten energiatehokkuudesta antama direktiivi (2010/31/EU, jäljempänä EPBD) on keskeinen väline EU:n energiatehokkuuspolitiikassa. Direktiivissä edellytetään muun muassa toimia lähes nollaenergiarakentamiseen siirtymiseksi. Direktiivin 2 artiklan 2 alakohdan mukaan ”**lähes nollaenergiarakennuksella**” tarkoitetaan **rakennusta, jolla on erittäin korkea energiatehokkuus, sellaisena kuin se on määritettynä liitteen I mukaisesti. Tarvittava lähes olematon tai erittäin vähäinen energian määrä olisi hyvin laajalti katettava uusiutuvista lähteistä peräisin olevalla energialla, mukaan lukien paikan päällä tai rakennuksen lähellä tuotettava uusiutuvista lähteistä peräisin oleva energia.**

Direktiivin 9 artiklan 1 kohdan mukaan jäsenvaltion on varmistettava, että:

- a) 31 päivään joulukuuta 2020 mennessä kaikki uudet rakennukset ovat lähes nollaenergiarakennuksia; ja
- b) 31 päivän joulukuuta 2018 jälkeen uudet rakennukset, jotka ovat viranomaisten käytössä ja omistuksessa, ovat lähes nollaenergiarakennuksia.

Suomessa pääosa rakennuksissa käytettävästä energiasta kuluu rakennusten lämmittämiseen. Lähes nollaenergiarakennuksella on **erittäin korkea energiatehokkuus**, joka Suomen ilmastossa edellyttää kylmästä ulkoilmasta aiheutuvan energiantarpeen pienentämistä. Energiantarpeen pienentämisessä on samalla varmistettava terveellisen, turvallisen ja viihtyisän sisäilmaston toteutuminen. Rakennuksen lämmityksen energiantarpeen osalta korkea energiatehokkuus osoitetaan lämpöhäviöiden tasauslaskennalla. Vuoden 2018 asetuksessa lämpöhäviövaatimus säilyy vähimmäisvaatimuksena energiatehokkuuden vertailuluvun (E-luku) ohella. Lämpöhäviövaatimuksella voidaan varmistaa, että rakennuksen pitkäikäiset ja yleensä vaikeasti ja kalliisti korjattavat perusratkaisut ovat energiatehokkaita riippumatta lämmitysenergiamuodosta tai muista energiaratkaisuista nyt tai tulevaisuudessa. Toisaalta pieni rakennuksen lämmityksen energiantarve mahdollistaa aikaisempaa paremmin uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian hyödyntämisen ja osuuden lisäämisen lämmityksessä. Tämä vastaa omalta osaltaan lähes nollaenergiarakennusten määritelmän vaatimuksia.

Rakennuksen energiatehokkuudesta ja lämpöhäviöistä esitetään määräyksiä ympäristöministeriön asetuksessa uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 2018, josta käytetään jatkossa nimitystä ”asetus”.

Lämpöhäviölaskennassa käytettävät vertailuarvot ovat jonkin verran muuttuneet vuoden 2012 tasosta. Lämpöhäviön laskentaan on myös tullut pieniä muutoksia. Uudessa asetuksessa rakennusosien lämmönläpäisykertoimilla ei ole lainkaan enimmäisarvoja.

Uutena E-lukuvaatimuksen korvaavana menettelynä asuinrakennuksille on asetukseen tullut mukaan rakenteellisen energiatehokkuuden vaatimukset. Näiden vaatimusten täytyminen osoitetaan pääosin lämpöhäviölaskelmilla.

Hirsiseinällä ja nyt myös muille massiivipuorakenteisille seinille on asetuksessa muita seinärakenteita suurempi lämmönläpäisykertoimen vertailuarvo. Helpotuksella otetaan huomioon puuhun sitoutuneen hiilen suotuisat vaikutukset ilmastonmuutoksen hillintään sekä perinteisen hirsirakentamisen turvaaminen ja sen erityispiirteet.

Uutena asiana asetuksessa määrätään, että painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä voidaan toteuttaa ilman lämmöntalteenottoa, eikä sen puuttumisesta aiheutuvaa lämpöhäviön suurentumista tarvitse tasata muita lämpöhäviöitä pienentämällä. Asetuksella halutaan turvata mahdollisuus toteuttaa painovoimaisella ilmanvaihdolla varustettuja uudisrakennuksia lämpöhäviövaatimuksen osalta. Vaatimus lämmöntalteenotosta olisi epätarkoituksenmukainen, koska painovoimaiseen ilmanvaihtojärjestelmään soveltuvia toimintavarmoja lämmöntalteenoton toteutusratkaisuja ei ole yleisessä käytössä. Lisäksi lämmöntalteenotto saattaa estää painovoimaisen ilmanvaihdon suunnitelmien mukaisen toiminnan. Painovoimaista ilmanvaihtoa suunniteltaessa on kuitenkin huomattava, että sen tulee täyttää myös rakennuksen sisäilmastoa ja ilmanvaihtoa koskevan asetuksen velvoittavat määräykset. Painovoimaisella ilmanvaihdolla varustetun rakennuksen tulee myös muut energiatehokkuusvaatimukset, kuten esimerkiksi laskennallisen energiatehokkuuden vertailuluvun (E-luku) vaatimus.

Opas käsittelee rakennuksen lämpöhäviön vaatimustenmukaisuuden osoittamista. Lisäksi se pyrkii selventämään asetukseen liittyviä tulkintoja. Oppaan rakenne esitetään kuvassa 1.



Kuva 1. Oppaan rakenne.

Oppaan liitteissä käsitellään yksityiskohtaisemmin tasauslaskentalomake, U-arvon laskenta, vaipan ilmanpitävyyden osoittaminen ja lämmöntalteenoton (LTO) vuosihyötysuhteen laskenta. Liitteessä 5 on esimerkkilaskelmia eri rakennustyyppien lämpöhäviöiden tasauksesta.

Ympäristöministeriön internetsivuilta ([www.ymp.fi](http://www.ymp.fi)) löytyvät laskentatyökalut lämpöhäviöiden tasaukseen ja lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskentaan:

- Tasauslaskin 2018
- Finska värmeförlust utjämnare 2018 (ruotsinkielinen Tasauslaskin 2018)
- Finnish Heat Loss Compliance Calculator 2018 (englanninkielinen Tasauslaskin 2018)
- LTO-laskin 2018
- PILP-laskin 2018

Lisäksi ympäristöministeriön internetsivuilla on PILP-opas 2018, joka käsittelee ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskemista poistoilmalämpöpumpuille rakennuksen lämpöhäviön tasauslaskentaa varten.



## 2 Määritelmiä ja käsitteitä

**Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus** on laskennallinen menettelytapa lämpöhäviölle asetetun vaatimuksen täyttämiseksi. Jonkin osatekijän (vaippa, vuotoilma, ilmanvaihto) vertailulämpöhäviötä suurempi lämpöhäviö edellyttää vähintään vastaavaa lämpöhäviön vähentämistä toisen osatekijän kohdalla.

Määräystenmukaisuus osoitetaan erikseen lämpimille tiloille ja puolilämpimille tiloille. Lämpimien tilojen lämpöhäviöiden pienentämisestä ei voi saada etua puolilämpimien tilojen lämpöhäviöiden tasauksessa eikä päinvastoin.

**Vertailuratkaisu** tarkoittaa lämpöhäviöiden tasauslaskelmissa vertailukohtana käytettävää suunnitelmaa, jossa kunkin rakennusosan lämmönläpäisykerroin, yhteenlaskettu ikkunapinta-ala, rakennuksen vuotoilma- ja ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde ovat vertailuarvojen mukaisia. Vertailuratkaisun mukaisen rakennuksen ulottuvuudet, mitat ja pinta-alat ovat lämpöhäviöiden tasauslaskelmissa samat kuin suunnitellun kohderakennuksen kuitenkin niin, että yhteenlaskettu ikkunapinta-ala on vertailuarvon mukainen (vaipan kokonaispinta-ala ei muutu).

**Suunnitteluratkaisu** tarkoittaa kohderakennuksen toteutettavaksi aiottua suunnitelmaa.

**Vertailulämpöhäviö** tarkoittaa vertailuratkaisun mukaisen rakennuksen vaipan, vuotoilman ja ilmanvaihdon yhteenlaskettua lämpöhäviötä, johon suunnitteluratkaisun vastaavaa lämpöhäviötä verrataan.

**Lämmönläpäisykerroin (U-arvo)** ilmoittaa lämpövirran tiheyden, joka jatkuvuustilassa läpäisee rakennusosan, kun lämpötilaero rakennusosan eri puolilla olevien ilmatilojen välillä on yksikön suuruinen. Lämpöhäviöiden tasauslaskennassa käytetään U-arvona rakennusosan korjattua lämmönläpäisykerrointa  $U_c$ , jossa on tarvittaessa otettu huomioon lämmönläpäisykerroimen korjaustermi (lämmöneristeen ilmarakojen korjaustekijä, mekaanisten kiinnikkeiden ja muiden säännöllisten pistemäisten kylmäsiltojen korjaustekijä sekä käännettyjen kattojen korjaustekijä).

**Lämmönläpäisykerroimen vertailuarvo** tarkoittaa asetuksen 24 § mukaista rakennusosalta esitettyä lämmönläpäisykerroimen arvoa, jota käytetään vertailulämpöhäviön laskennassa.

**Ikkunapinta-alan vertailuarvo** on 15 % maanpäällisten kerrosten yhteenlasketusta kerrostasosalasta kuitenkin enintään 50 % rakennuksen julkisivupinta-alasta.

Ikkunapinta-ala sisältää sekä lämpimien että puolilämpimien tilojen julkisivujen ikkunat, kattoikkunat ja kattovalokuvut. Tasauslaskennassa vertailuikkunapinta-ala jaetaan näiden kesken suunniteltujen ikkunapinta-alojen suhteessa.

Jos samassa rakennuksessa on hirsiseinää ja muuta seinärakennetta, tasauslaskennassa vertailuikkunapinta-ala jaetaan hirsiseinän ja muiden seinärakenteiden kesken suunniteltujen seinäpinta-alojen suhteessa.

**Poistoilman (ulospuhallusilman) lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen vertailuarvo** tarkoittaa asetuksessa esitettyä ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton (LTO) vaatimusta, joka pienentää 55 % ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemää lämpömäärää. Mikäli lämmöntalteenotto on epätarkoituksenmukaista, voidaan rakennuksen tai sen yksittäisen tilan poistoilmavirran osalta

luopua lämmöntalteenottovaatimuksesta ja käyttää kyseisen poistoilmavirran osalta LTO:n vuosihyötysuhteen vertailuarvona arvoa 0 %.

Ulospuhallusilma on poistoilmaa, joka johdetaan rakennuksesta ulos. Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemalla lämpömäärällä tarkoitetaan sitä lämpömäärää, joka tarvitaan ilmanvaihdon ilmavirran lämmittämiseksi ulkoilman lämpötilasta huonelämpötilaan.

Lämmöntalteenotto on epätarkoituksenmukaista, jos poistoilman poikkeuksellinen likaisuus estää lämmöntalteenoton toiminnan, puolilämpimän 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 sen poistoilmavirrat eivät kuulu lämmöntalteenottovaatimuksen piiriin.

**Rakennuksen poistoilman (ulospuhallusilman) lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde ( $\eta_a$ )** 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. Vuotoilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemaa lämpömäärää ei oteta vuosihyötysuhteen laskennassa huomioon.

**Ilmoitettu lämmönjohtavuus** tarkoittaa voimassa olevan SFS-EN-standardin tai eurooppalaisen teknisen hyväksynnän mukaisesti määritettyä lämmönjohtavuutta. Ilmoitettua lämmönjohtavuutta käytetään lämmönjohtavuuden suunnitteluarvon lähtötietona.

Ilmoitettu lämmönjohtavuus perustuu yleensä 10 °C keskilämpötilassa suoritettuihin lämmönjohtavuuden mittauksiin sekä mittaustulosten tilastolliseen käsittelyyn. Vaatimukset lämmönjohtavuuden mittauksille ja tilastolliselle käsittelytavalle määritellään asianomaisessa tuotestandardissa tai eurooppalaisessa teknisessä hyväksynnässä (ETA).

**Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo** tarkoittaa rakennusaineen suunnittelukäyttöön tarkoitettua lämmönjohtavuuden arvoa, joka pätee suunnitelman mukaisessa käyttökohteessa.

Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo määritetään SFS-EN-standardin tai eurooppalaisen teknisen hyväksynnän mukaan tai se on SFS-EN-standardissa esitetty taulukoitu lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo, ympäristöministeriön ohjeissa annettu lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo tai muulla tavalla määritetty, rakennusosalle soveltuva lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo (esimerkiksi tyyppihyväksyty arvo).

## 3 Määräystenmukaisuuden osoittaminen

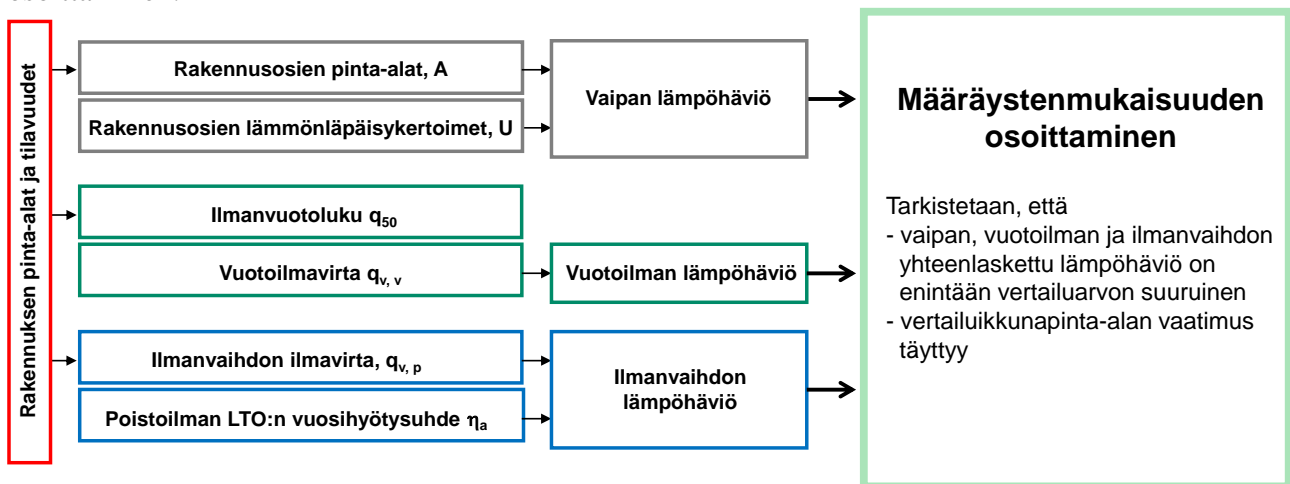
### 3.1 Tasauslaskenta

#### 3.1.1 Tasauslaskennan periaatteet

Rakennuksen lämpöhäviöiden tasauslaskennalla osoitetaan rakennuksen lämpöhäviölle asetetun vaatimuksen täyttyminen. Jonkin osatekijän (vaippa, vuotoilma, ilmanvaihto) vertailulämpöhäviötä suurempi lämpöhäviö edellyttää vähintään vastaavaa lämpöhäviön vähentämistä toisen osatekijän kohdalla.

Asetuksessa rakennuksen lämpöhäviölle asetettu vaatimus täytetään, kun tasauslaskelmalla osoitetaan, että rakennuksen vaipan, vuotoilman ja ilmanvaihdon yhteenlaskettu lämpöhäviö on enintään vertailuratkaisun mukainen.

Kuvassa 2 esitetään rakennuksen lämpöhäviön tasauslaskennan vaiheet ja määräystenmukaisuuden osoittaminen.



Kuva 2. Rakennuksen lämpöhäviön tasauslaskennan vaiheet ja määräystenmukaisuuden osoittaminen.

Lämpöhäviöiden tasauskohteet ovat

- rakennusosien lämmönläpäisykertoimet (U-arvot)
- ikkunapinta-ala
- ilmanvuotoluku ja vuotoilmavirta
- ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton (LTO) vuosihyötysuhde.

Muut lähtö- ja laskentatiedot ovat vertailuratkaisussa ja suunnitteluratkaisussa samoja eikä niitä voi käyttää lämpöhäviöiden tasaukseen.

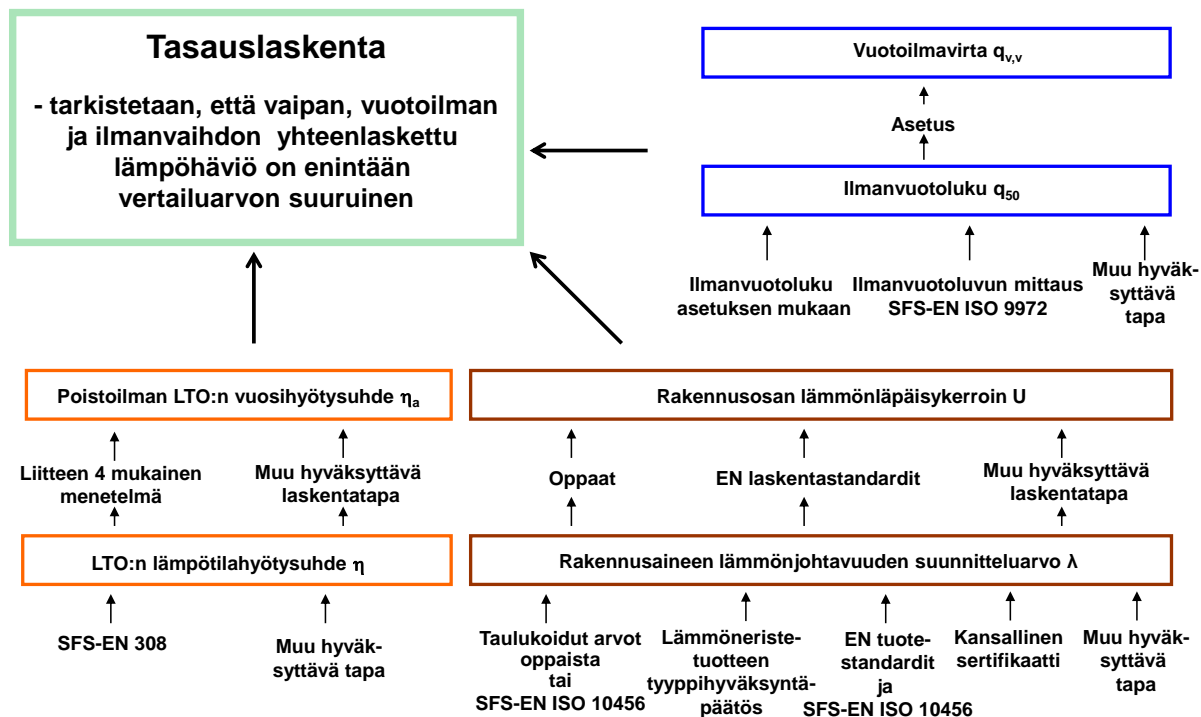
Seuraavassa on selvyiden vuoksi lueteltu sellaisia rakennuksen lämpöhäviöihin ja lämmitysenergiankulutukseen vaikuttavia tekijöitä ja ratkaisuja, joita ei voi hyödyntää lämpöhäviöiden tasauksessa

- ilmanvaihtoa tulee käyttää ja ohjata tarpeen mukaan, mutta sitä ei oteta huomioon lämpöhäviön laskennassa, eikä suunnitteluratkaisussa saa käyttää pienempää ilmanvaihdon ilmavirtaa kuin vertailuratkaisussa
- tulo- tai poistoilmaikkuna eivät ole määräysten tarkoittamia LTO-ratkaisuja, eikä niissä myöskään voi käyttää muista ikkunoista poikkeavasti määritettyjä U-arvoja tasauslaskelmissa, jollei selvityksin toisin osoiteta
- lämmitysvesivaraajaa lämmittävä ilmanvaihdon LTO-ratkaisu hyväksytään LTO-ratkaisuksi vain siltä osin kuin talteenotettu lämpö hyödynnetään lämmityksessä
- laitesähkönkulutus, kuten esimerkiksi ilmanvaihdon puhaltimien ja pumppujen sähkönkulutus, ei kuulu tasausmenettelyn piiriin.

Rakennus voidaan tarvittaessa jakaa käyttötarkoituksen mukaan itsenäisiin osiin, joiden määräystenmukaisuus osoitetaan erikseen (esimerkiksi asuinkäyttöön ja toimistokäyttöön tarkoitetut tilat tai toimistorakennuksen maanalaiset pysäköintitilat ja vastaavat). Tällöin käyttötarkoitukseltaan itsenäiset osat käsitellään kuten erilliset rakennukset, joten yhden osan kerrostasoa tai lämpöhäviötä ei voi hyödyntää toisen osan määräystenmukaisuuden osoittamisessa.

Kaikki keinot rakennuksen energiatehokkuuden ja sisäilmaston parantamiseksi ovat suositeltavia, vaikka niitä ei tasauslaskennassa voikaan hyödyntää. On hyvä muistaa, että rakennuksen saa aina rakentaa myös asetusten vaatimuksia paremmaksi.

Kuvassa 3 esitetään rakennuksen lämpöhäviön tasauslaskennan lähtötietojen vaihtoehtoisia määrittämistapoja.



Kuva 3. Rakennuksen lämpöhäviön tasauslaskennan lähtötietojen vaihtoehtoisia määrittämistapoja.

## **Lämpöhäviövaatimuksen täyttymisen ehdot**

Rakennuksen vaipan, vuotoilman ja ilmanvaihdon yhteenlaskettu lämpöhäviö saa olla enintään vertailuratkaisun lämpöhäviön suuruinen. Tämän lisäksi tasauslaskennan tulee täyttää seuraavat ehdot:

### Pinta-alat

- Vertailuikkunapinta-ala on 15 % yhteenlasketuista maanpäällisistä kerrostasoaloista, mutta kuitenkin enintään 50 % rakennuksen julkisivupinta-alasta
- Valoaukon pinta-ala on asuinhuoneissa vähintään 10 % lattiapinta-alasta (asetus G1/2005)
- Rakennusosien yhteenlaskettu pinta-ala on sama vertailu- ja suunnitteluratkaisuisissa

### Rakennusosien U-arvot ja vaipan lämpöhäviö

- Vertailuratkaisun U-arvot ovat osan asetuksen vertailuarvojen suuruisia

### Selvitykset lähtötiedoista

- Jos lämpöhäviölaskelmissa vaipan ilmanvuotoluvun  $q_{50}$  suunnitteluarvo on pienempi kuin  $4 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ , ilmanpitävyydestä on esitettävä selvitys
- Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittämisestä on esitettävä selvitys.

Taulukossa 1 esitetään rakennusosien lämmönläpäisykertoimien vertailuarvot. Kylmäsiltoja käsitellään tarkemmin kohdassa 3.3.9.

Siirtokelpoisen rakennuksen vaipan vertailulämpöhäviön laskennassa käytetään taulukon 1 puolilämpimän tilan mukaisia vertailuarvoja.

Loma-asumiseen suunniteltavan pientalon, joka on tarkoitettu käytettäväksi vähintään neljä kuukautta vuodessa, koskevat vain vaipan lämpöhäviön vaatimukset. Vaipan lämpöhäviö saa olla enintään yhtä suuri kuin taulukossa 2 esitetyillä vertailuarvoilla laskettu lämpöhäviö. Vaipan lämpöhäviön laskennassa on otettava huomioon vertailuikkunapinta-alaa koskevat vaatimukset.

Maankäyttö- ja rakennuslain mukaan loma-asumiseen tarkoitettuun asuinrakennukseen, joka on tarkoitettu käytettäväksi vähemmän kuin neljän kuukauden ajan vuodessa, ei sovelleta lämpöhäviövaatimuksia eikä muitakaan energiatehokkuuden vähimmäisvaatimuksia.

Rakennusten energiatehokkuusvaatimukset ja niihin kuuluvat lämpöhäviövaatimukset eivät koske lainkaan kerrosalaltaan alle  $50 \text{ m}^2$  rakennuksia.

E-lukuvaatimuksen korvaavana menettelynä asuinrakennuksille (käyttötarkoitussuokissa 1 ja 2) on asetukseen tullut mukaan rakenteellisen energiatehokkuuden vaatimukset (taulukko 3). Näiden vaatimusten täyttyminen osoitetaan pääosin lämpöhäviölaskelmilla. Lisävaatimuksia on ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteholle sekä lämmitysjärjestelmälle.

Taulukko 1. Rakennusosien lämmönläpäisykertoimien vertailuarvot ja erikoistilojen välisten rakenteiden lämmönläpäisykertoimien enimmäisarvot.

RAKENNUSOSAT	
U-arvot, W/(m <sup>2</sup> K)	Vertailuarvo
<b>Lämpimät tilat</b>	
Ulkoseinä	0,17
Massiivipuuseinä <sup>1)</sup>	0,40
Yläpohja	0,09
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)	0,09
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)	0,17
Alapohja (maanvastainen)	0,16
Muu maanvastainen rakennusosa	0,16
Ikkunat	1,0
Ulko-ovet ja tuuletusluukut	1,0
Kattoikkunat	1,0
Kattovalokuvut	1,0
<b>Puolilämpimät tilat ja siirtokelpoiset rakennukset</b>	
Ulkoseinä	0,26
Massiivipuuseinä <sup>1)</sup>	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	1,4
Ulko-ovet ja tuuletusluukut	1,4
Kattoikkunat	1,4
Kattovalokuvut	1,4
<sup>1)</sup> massiivipuuseinä, jonka keskimääräinen paksuus on vähintään 180 mm	
<b>Lämpimän ja puolilämpimän tilan väliset rakenteet</b>	Enimmäisarvo
Seinä ja välipohja	0,60
Ikkunat ja ovet	2,80
<b>Jäähdytettävän kylmän tilan ja muiden tilojen väliset</b>	Enimmäisarvo
Seinä ja välipohja	0,27
Ovet	1,40

Taulukko 2. Rakennusosien lämmönläpäisykertoimien vertailuarvot loma-asunnolle, jota koskevat vain vaipan lämpöhäviön vaatimukset.

RAKENNUSOSAT	
U-arvot, W/(m <sup>2</sup> K)	Vertailuarvo
Ulkoseinä	0,24
Massiivipuuseinä <sup>1)</sup>	0,80
Yläpohja	0,15
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)	0,15
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)	0,19
Alapohja (maanvastainen)	0,24
Muu maanvastainen rakennusosa	0,24
Ikkunat	1,4
Ulko-ovet ja tuuletusluukut	1,4
Kattoikkunat	1,4
Kattovalokuvut	1,4
<sup>1)</sup> massiivipuuseinä, jonka keskimääräinen paksuus on vähintään 130 mm	

Taulukko 3. Rakenteellisen energiatehokkuuden vaatimukset asuinrakennuksille. Lämpöhäviövaatimuksen täyttymisen osoittamisessa käytettävät rakennusosien lämmönläpäisykertoimien, ilmanvuotoluvun ja poistoilman lämmöntalteenoton (LTO) vuosihyötysuhteen vertailuarvot. Lisäksi on täytettävä ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteholle ja rakennuksen lämmitysjärjestelmälle asetetut vaatimukset. Käyttötarkoituksiluokkaan 2 kuuluvat vähintään kolmen asuin kerroksen asuin kerrostalot. Muut asuinrakennukset kuuluvat käyttötarkoitukseluokkaan 1.

<b>RAKENNUSOSAT</b>	<b>Vertailuarvo</b>
<b>U-arvo, W/(m<sup>2</sup> K)</b>	
Ulkoseinä (käyttötarkoitukseluokka 1)	<b>0,12</b>
Ulkoseinä (käyttötarkoitukseluokka 2)	<b>0,14</b>
Yläpohja	<b>0,07</b>
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)	<b>0,07</b>
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva tuuletettu)	<b>0,10</b>
Alapohja (maanvastainen)	<b>0,10</b>
Muu maanvastainen rakennusosa	<b>0,10</b>
Ikkunat	<b>0,70</b>
Ulko-ovet ja tuuletusluukut	<b>0,70</b>
Kattoikkunat	<b>0,70</b>
Kattovalokuvut	<b>0,70</b>
<b>RAKENNUKSEN ILMANVUOTOLUKU</b>	
<b>q<sub>50</sub>, m<sup>3</sup>/(h m<sup>2</sup>)</b>	<b>0,6</b>
<b>LTO:n VUOSIHYÖTYSUHDE</b>	
<b>η<sub>a</sub>, %</b>	<b>65</b>
<b>KONEELLISEN TULO- JA POISTOILMANVAIHTO-JÄRJESTELMÄN OMINAISSÄHKÖTEHO</b>	<b>Enimmäisarvo</b>
<b>kW/(m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>1,5</b>
<b>RAKENNUKSEN LÄMMITYSJÄRJESTELMÄ</b>	<b>Vaatus</b>
<b>Rakennuksen lämmitysjärjestelmänä on käytettävä</b>	<b>Kaukolämpöä, maalämpöpumppua tai ilma-vesilämpöpumppua</b>

### 3.1.2 Esimerkki lämpöhäviövaatimuksen täyttämisestä

Seuraavassa on esimerkki 1-kerroksisen erillisen pientalon lämpöhäviövaatimuksen täyttämisestä. Taulukossa 3 esitetään kohteen laajuustiedot. Taulukossa 4 esitetään rakennusosien pinta-alat ja vertailuarvoja vastaavat U-arvot. Suuren ikkunapinta-alan takia esimerkkipientalon vaipan lämpöhäviö on yli 30 % suurempi kuin vertailuratkaisun.

Vaipan suuret lämpöhäviöt tasataan ensimmäisessä vaiheessa parantamalla vaipan tiiviyyttä ja ilmanvaihdon LTO:a. Talopakettitoimittajan laadunvalvonta-asiakirjojen perusteella käytetään vaipan ilmanvuotoluvun suunnitteluarvona arvoa  $q_{50} = 1,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$  (vastaa arvoa  $n_{50} = 1,2 \text{ 1/h}$ ). Ilmanvuotoluku varmennetaan ennen rakennuksen käyttöönottoa tiiviysmittauksella.

Ilmanvaihdon lämpöhäviötä pienennetään valitsemalla vertailutasoa parempi ilmanvaihdon lämmöntalteenotto laite, jossa on tehokas vastavirtalevylämmönsiirrin ja hyvä hyötysuhteen takaava tarpeen mukainen LTO:n sulatus toiminto. Ilmanvaihtokoneen LTO:n vuosihyötysuhde oli VTT:n tuotesertifikaatin mukaan 71 %.

Taulukossa 5 esitetään tilanne sen jälkeen, kun vaipan ilmanvuotolukua on pienennetty ja ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhdetta on parannettu. Parannusten jälkeenkin lämpöhäviö on vielä 9 % suurempi kuin vertailuratkaisun lämpöhäviö. Ylimenevä osuus voidaan tasata rakenteiden ominaislämpöhäviöitä pienentämällä.

Taulukossa 6 esitetään tilanne sen jälkeen, kun vaipan lämpöhäviötä on pienennetty parantamalla ulkoseinän ja ikkunoiden U-arvoja.

Parannuksen jälkeen rakennuksen yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö on pienempi kuin vertailulämpöhäviö. Suunnitteluratkaisu täyttää lämpöhäviövaatimuksen.

Taulukko 4. Esimerkkipientalon laajuustiedot.

#### Rakennuksen laajuustiedot

Rakennustilavuus	522 rak-m <sup>3</sup>
Maanpäälliset kerrostasoalat yhteensä	163 m <sup>2</sup>
Lämmitetty nettoala, lämpimät tilat	147 m <sup>2</sup>
Lämmitetty nettoala, puolilämpimät tilat	m <sup>2</sup>
Rakennusluokka (1 - 9)	1
Rakennuksen kerrosmäärä	1 kerrosta

Taulukko 5. Esimerkkipientalon vaipan ominaislämpöhäviö on suurempi kuin vertailuratkaisun ominaislämpöhäviö. Suuren ikkunapinta-alan takia vaipan lämpöhäviö on 31 % suurempi kuin vertailuratkaisun.

Perustiedot	Pinta-alat, m <sup>2</sup>		U-arvot, W/(m <sup>2</sup> K)		Lämpöhäviöiden taseus	
	[A]		[U]		Ominaislämpöhäviö, W/K	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
<b>RAKENNUSOSAT</b>						
<i>Lämpimät tilat</i>						
Ulkoseinä	113	80	0,17	0,17	19,2	13,6
Massiivipuuseinä <sup>1)</sup>			0,40		-	-
Yläpohja	147	147	0,09	0,09	13,2	13,2
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,09		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,17		-	-
Alapohja (maanvastainen)		147	0,16	0,16	23,5	23,5
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16		-	-
Ikkunat	24,5	57,5	1,00	1,00	24,5	57,5
Ulko-ovet ja tuuletusluukut <sup>2)</sup>	8,2		1,00	1,00	8,2	8,2
Kattoikkunat			1,00		-	-
Kattovalokuvut			1,00		-	-
<b>Lämpimät tilat yhteensä</b>	<b>440</b>	<b>440</b>			<b>88,7</b>	<b>116,1</b>

Taulukko 6. Esimerkkipientalon vaipan ilmanvuotoluvun suunnittelu-arvoa on pienennetty arvoon  $q_{50} = 1,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ . Ilmanvaihdon ominaislämpöhäviötä on pienennetty valitsemalla tehokkaalla lämmöntalteenotolla varustettu ilmanvaihtokone. Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton varmennettu vuosihyötysuhde on 71 %. Rakennuksen ominaislämpöhäviön vaatimus ei kuitenkaan vielä aivan täyty.



VAIPAN ILMAVUODOT	Ilmanvuotoluku, m <sup>3</sup> /(h m <sup>2</sup> ) [q <sub>50</sub> ]		Vuotoilmavirta, m <sup>3</sup> /s [q <sub>v,v</sub> = q <sub>50</sub> / · A/3600]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H <sub>vuotoilma</sub> = 1200 · q <sub>v,v</sub> ]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
<b>Vuotoilma</b>						
Lämpimät tilat	2,0	1,0	0,0070	0,0035	8,4	4,2
Puolilämpimät tilat	2,0				-	-
ILMANVAIHTO	Poistoilmavirta, m <sup>3</sup> /s [q <sub>v,p</sub> ]		Ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhde, % [η <sub>a</sub> ]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H <sub>iv</sub> = 1200 · q <sub>v,p</sub> · (1-η <sub>a</sub> )]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
<b>Hallittu ilmanvaihto</b>						
Lämpimät tilat		0,059	55	71	31,8	20,5
Lämpimät tilat, ei LTO.vaatimusta			0		-	-
Puolilämpimät tilat			55		-	-
Puolilämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus					Ominaislämpöhäviö, W/K [H = H <sub>joht</sub> + H <sub>vuotoilma</sub> + H <sub>iv</sub> ]	
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö					129	141
Puolilämpimien tilojen					-	-

Taulukko 7. Esimerkkipientalon vaipan ominaislämpöhäviötä on pienennetty parantamalla ulkoseinän ja ikkunoiden U-arvoja. Vaipan ominaislämpöhäviö on edelleen 15 % suurempi kuin vertailuratkaisun, mutta ylimenevä osuus on tasattu vuotoilman ja ilmanvaihdon ominaislämpöhäviötä pienentämällä. Kaikkien parannusten jälkeen rakennuksen yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö on pienempi kuin vertailulämpöhäviö. Suunnitteluratkaisu täyttää lämpöhäviövaatimuksen.

Perustiedot	Pinta-alat, m <sup>2</sup> [A]		U-arvot, W/(m <sup>2</sup> K) [U]		Lämpöhäviöiden tasaus	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
<b>RAKENNUSOSAT</b>						
<i>Lämpimät tilat</i>						
Ulkoseinä	113	80	0,17	0,14	19,2	11,2
Massiivipuseinä <sup>1)</sup>			0,40		-	-
Yläpohja	147	147	0,09	0,09	13,2	13,2
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,09		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,17		-	-
Alapohja (maanvastainen)		147	0,16	0,16	23,5	23,5
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16		-	-
Ikkunat	24,5	57,5	1,00	0,80	24,5	46,0
Ulko-ovet ja tuuletusluukut <sup>2)</sup>	8,2		1,00	1,00	8,2	8,2
Kattoikkunat			1,00		-	-
Kattovalokuvut			1,00		-	-
<b>Lämpimät tilat yhteensä</b>	<b>440</b>	<b>440</b>			<b>88,7</b>	<b>102,2</b>
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus					Ominaislämpöhäviö, W/K [H = H <sub>joht</sub> + H <sub>vuotoilma</sub> + H <sub>iv</sub> ]	
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö					129	127

## 3.2 Rakennuksen pinta-alojen ja tilavuuksien määrittäminen

Vaatimustenmukaisuuden osoittamista varten on määritettävä seuraavat lämpöhäviöiden taseuslaskelmissa tarvittavat rakennuksen pinta-alat ja tilavuudet.

### Rakennustilavuus

Rakennuksen tilavuudella tarkoitetaan tilaa, jota rajoittavat ulkoseinien ulkopinnat, alapohjan alapinta ja yläpohjan yläpinta. Milloin rakennuksessa ei ole yläpohjaa tai yläpohja liittyy ilman ullakkoa vesikattoon, katsotaan rajoittavaksi pinnaksi vesikaton yläpinta suojauksineen. Milloin rakennuksen alapohjan paksuutta ei voida arvioida, lasketaan alapohjan paksuudeksi 200 mm alapohjan yläpinnasta. Rakennuksen tilavuuden laskenta esitetään standardissa SFS 2460.

### Rakennuksen maanpäällisten kerrosten yhteenlaskettu kerrostasoala

Maanpäällisten kerrosten kerrostasoala lasketaan rakennuksen kaikkien kokonaan tai osittain maan päällä sijaitsevien kerrosten kerrostasoalojen summana. Kerrostasoalat lasketaan kokonaisina riippumatta kerrostason sijainnista ja sen sisältämien huoneiden käyttötarkoituksista. Kerrostasoalaan lasketaan kaikki tilat riippumatta myös siitä, ovatko huoneet kylmiä vai lämpimiä. Kerrostasoala on kerrostason ala, jonka rajoina ovat kerrostasoa ympäröivien ulkoseinien ulkopinnat tai niiden ajateltu jatke ulkoseinän pinnassa olevien aukkojen ja koristeosien osalla. Kerrostasoala sisältää myös porraskorotukset sekä alat, joissa huonekorkeus on alle 1600 mm. Rakennuksen kerrostasoalan laskenta esitetään standardissa SFS 5139.

### Rakennuksen julkisivupinta-ala

Rakennuksen julkisivupinta-ala on ulkoseinien ja niissä olevien ikkunoiden ja ovien yhteenlaskettu pinta-ala. Rakennusosien pinta-alat lasketaan kokonaissisämittojen mukaan. Maanvastaiset rakenteet eivät sisälly julkisivupinta-alaan.

### Vaipan pinta-ala

Vaipan pinta-ala on vaipan kaikkien rakennusosien yhteenlaskettu pinta-ala. Rakennusosien pinta-alat lasketaan kokonaissisämittojen mukaan.

## 3.3 Rakennuksen vaipan lämpöhäviö

### 3.3.1 Rakennuksen vaipan lämpöhäviön laskenta

Rakennuksen vaipan lämpöhäviö lasketaan yhtälön (1) mukaan

$$\sum H_{\text{joht}} = \sum (U_{\text{ulkoseinä}} A_{\text{ulkoseinä}}) + \sum (U_{\text{yläpohja}} A_{\text{yläpohja}}) + \sum (U_{\text{alapohja}} A_{\text{alapohja}}) + \sum (U_{\text{ikkuna}} A_{\text{ikkuna}}) + \sum (U_{\text{ovi}} A_{\text{ovi}}) \quad (1)$$

jossa

$\sum H_{\text{joht}}$	rakennusosien yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö, W/K
U	rakennusosan lämmönläpäisykerroin, W/(m <sup>2</sup> K)
A	rakennusosan pinta-ala, m <sup>2</sup> .

Rakennuksen vertailulämpöhäviön laskennassa käytetään asetuksen 24 § esitettyjä rakennusosakohtaisia lämmönläpäisykertoimia ja ikkunapinta-alan vertailuarvoa.

Rakennuksen suunnitteluratkaisun lämpöhäviön laskennassa käytetään suunniteltuja rakennusosakohtaisia lämmönläpäisykertoimia ja ikkunapinta-aloja.

### **3.3.2 Rakennusosien pinta-alojen määrittäminen**

Vaatimustenmukaisuutta osoitettaessa määritetään lämpöhäviöiden tasauslaskelmissa tarvittavat vaipan eri rakennusosien pinta-alat kokonaissisämittojen mukaan

#### Ulkoseinä

Ulkoseinien pinta-ala määritetään kokonaissisämittojen mukaan.

Seinän korkeus tarkastelukohdassa on alapohjan yläpinnan ja yläpohjan alapinnan välinen pystysuuntainen etäisyys. Jos yläpohjan alapuolella on ilmaväli ja sisäverhous tai ilmaväli ja alas laskettu katto, katsotaan ilmaväliä rajoittava yläpinta yläpohjan alapinnaksi. Kun yläpohja on kallistettu, lasketaan korkeudeltaan muuttuvalle ulkoseinälle keskimääräinen korkeus, jota käytetään pinta-alan laskennassa.

Ulkoseinän leveys on vaakasuora etäisyys seinän sisäpinnan nurkasta seuraavaan seinän sisäpinnan nurkkaan.

Ulkoseinällä olevien ikkunoiden ja ovien yhteenlaskettu pinta-ala ei sisälly ulkoseinän pinta-alaan, vaan tämä osuus vähennetään korkeuden ja leveyden avulla laskettavasta pinta-alasta. Ikkunoiden ja ovien pinta-alat lasketaan kehän ulkomittojen mukaan.

Väliseinien ja välipohjien sekä ulkoseinän liittymän kohdat sisältyvät ulkoseinän pinta-alaan.

#### Ikkunat ja ovet

Yksittäisen ikkunan ja oven pinta-ala lasketaan kehän ulkomittojen mukaan.

Lämpöhäviöiden tasauslaskelmassa ikkunaksi katsotaan läpinäkyvällä tai valoa läpäisevällä lasituksella varustettu avautumaton ja avattava ikkunarakenne. Lisäksi yhteenlaskettuun ikkunapinta-alaan luetaan valoaukolla varustetut ovet silloin, kun ovi ei ole tilan käyttötarkoituksen mukainen kulkutie sisätilasta ulos, ulkotilaan tai kylmään tilaan. Esimerkiksi niin sanotulle ranskalaiselle parvekkeelle johtava valoaukollinen ovi luetaan mukaan yhteenlaskettuun ikkunapinta-alaan, kun taas tavanomainen parvekeovi katsotaan ikkunapinta-alaan kuulumattomaksi oveksi.

Kupumaisen kattoikkunan ja valoaukollisen savunpoistoluukun kehän ulkomitat lasketaan kohdan 3.3.7 mukaisesti.

## Yläpohja

Yläpohjan pinta-ala määritetään kokonaissisämittojen mukaan soveltaen edellä ulkoseinille esitettyä periaatetta. Kallistetun yläpohjan pinta-ala määritetään siten, että yläpohjan pituus ja leveys määritetään yläpohjan alapinnan suunnassa.

Kattoikkunoiden ja kattovalokupujen yhteenlaskettu pinta-ala ei sisälly yläpohjan pinta-alaan vaan ikkunoiden yhteenlaskettuun pinta-alaan, joten se vähennetään yläpohjan pituuden ja leveyden perusteella lasketusta pinta-alasta.

Väliseinien ja yläpohjan liittymien kohdat sisältyvät yläpohjan pinta-alaan.

Yläpohjan läpivientejä kuten kanavat, hormit ja tuuletusputket ei vähennetä yläpohjan pinta-alasta.

## Alapohja

Alapohjan pinta-ala määritetään kokonaissisämittojen mukaan soveltaen edellä ulkoseinille esitettyä periaatetta. Väliseinien ja alapohjan liittymien kohdat sisältyvät alapohjan pinta-alaan. Alapohjan läpivientejä kuten kanavat, pilarit, viemärit ja vesijohdot ei vähennetä alapohjan pinta-alasta.

## Vaipan osan (julkisivu, yläpohja, alapohja) rinnakkaiset rakenteet

Kun samassa vaipan osassa (julkisivu, yläpohja, alapohja) on rinnakkain rakenteeltaan ja lämmönläpäisykertoimeltaan erilaisia osa-alueita, määritetään suunnitelman perusteella osa-alueiden väliset rajat tarkasteltavan vaipan osan (julkisivu, yläpohja, alapohja) sisäpinnan puolella. Rajaviivalle annetaan tarkka sijainti tarkoituksenmukaisella tavalla silloinkin, kun suunnitelmassa osa-alueen (esimerkiksi seinärakenteen) vaihtuminen toiseksi tapahtuu tarkkaan rajaviivaan verrattuna leveähköllä vyöhykkeellä. U-arvoltaan erilaisten osa-alueiden pinta-alat lasketaan sisämittojen ja osien välisten rajaviivojen perusteella.

### **3.3.3 Rakennusosien lämmönläpäisykertoimet**

Asetuksen 24 § sisältää rakennuksen lämmöneristystä koskevat vaatimukset sekä vertailulämpöhäviön laskennassa käytettävät lämmönläpäisykertoimien vertailuarvot.

Ympäristöministeriön ohje lämmönläpäisykertoimen määrittämiseen riittää yleensä U-arvojen suunnitteluarvojen määrittämiseen. Myös muita tarkkuudeltaan vähintäänkin yhtä hyviä menetelmiä voidaan käyttää. Erityisesti SFS-EN-standardien mukaisia menetelmiä voidaan käyttää.

Lämmönjohtavuuden ja U-arvon erilaisia määrittämisvaihtoehtoja käsitellään liitteessä 2.

### 3.3.4 Alapohjat ja maanvastaiset rakenteet

Maanvastaisen alapohja- tai seinärakenteen lämmönläpäisykerroin voidaan ympäristöministeriön ohjeen mukaisesti laskea yksinkertaistetusti kertomalla pelkän alapohja- tai seinärakenteen lämmönläpäisykerroin kertoimella 0,9. Kerroin ottaa huomioon maan lämmönvastuksen. Yksinkertaistettu menetelmä ei ota huomioon rakennuksen geometrian vaikutusta.

Maanvastaisen alapohjan lämmönläpäisykerroin voidaan laskea myös tarkemmin yksityiskohtaisten SFS-EN-standardien mukaisilla menetelmillä.

Maanvastainen alapohja katsotaan lämmönläpäisykerroimen laskennassa sisä- ja ulkoilman väliseksi rakennusosaksi ja voidaan siten laskea yhteen rakennuksen vaipan muiden osien lämpöhäviöiden kanssa.

Rakennuksen alapohjan lämmöneristyksen suunnittelussa on otettava asetuksen 28 § mukaisesti huomioon routaeristys ja mahdollinen vaippaan kuulumaton perusmuurin lämmöneristys routavaurioiden välttämiseksi. Asianmukaisen routaeristyksen suunnitteluun ja rakentamiseen on kiinnitettävä erityistä huomiota varsinkin silloin, kun maanvastainen alapohja toteutetaan vertailuarvoja paremmin eristävänä.

Jos alapohja rajoittuu lievästi tuuletettuun ryömintätilaan, voidaan ympäristöministeriön ohjeen mukaan yksityiskohtaisesti lasketun U-arvon sijaan käyttää suunnitellun rakenteen U-arvoa kerrottuna kertoimella 0,9. Alapohjan lämmönläpäisykerroin lasketaan siten huoneilman ja ryömintätilan väliselle alapohjarakenteelle. Tällä tavalla otetaan huomioon ryömintätilan ilman ulkoilmaa korkeampi vuotuinen keskilämpötila. Alapohjan lämpöhäviö on reducedu vastaamaan sisä- ja ulkoilman lämpötilaeroa ja voidaan siten laskea yhteen rakennuksen vaipan muiden osien lämpöhäviöiden kanssa. Ryömintätilaan rajoittuvan alapohjan lämmönläpäisykerroimen vertailuarvo on  $0,17 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ .

Jos ryömintätilaisen alapohjan tuuletusaukkojen määrä on yli 8 promillea alapohjan pinta-alasta tai ryömintätilan tuulettuudesta ei muutoin voida pitää lievänä, alapohja käsitellään ulkoilmaan rajoittuvana alapohjana. Tällöin U-arvon vertailuarvo on  $0,09 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$  eikä suunniteltua U-arvoa kerrota muuntokertoimella 0,9.

Jos ryömintätilaisen alapohjan lämmönläpäisykerroin on laskettu standardin SFS-EN ISO 13370:2007 mukaisella laskelmalla niin, että laskelmassa on otettu huomioon perusmuurin ja maaperän lämmönvastukset, alapohja käsitellään ulkoilmaan rajoittuvana alapohjana. Tällöin U-arvon vertailuarvo on  $0,09 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$  eikä suunniteltua U-arvoa kerrota muuntokertoimella 0,9.

Asetuksen 24 § esitetään maanvastaisen rakennusosan lämmönläpäisykerroimen vertailuarvot, jotka ovat lämpimän tilan rakennusosille  $0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$  ja puolilämpimän tilan sekä loma-asunnon rakennusosille  $0,24 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ . Nämä arvot ovat selvästi suurempia kuin ulkoilmaan rajoittuvilla alapohjarakenteilla. Taustalla on matalaan perustettujen rakennusten routavaurioriskin suureneminen, mikäli lämmön siirtyminen alapohjan läpi perusmaahan vähenee. Asetuksen 28 § edellyttääkin, että routaeristys tulee suunnitella yhdessä alapohjan lämmöneristyksen kanssa niin, että vältetään routavauriot. Asetuksessa ei kuitenkaan määrätä maanvastaisen alapohjan lämmönläpäisykerroimen suunnitteluarvon minimiarvoa.

### 3.3.5 Ikkunat, ovet ja luukut

Asetuksen 24 § asetetut vertailuarvot ikkunan ja oven ja tuuletusluukun lämmönläpäisykertoimelle kohdistuvat rakenteen keskimääräiseen lämmönläpäisykertoimeen, joka lasketaan kehän (karmirakenteen) ulkomittojen mukaan.

Ikkunoiden yhteenlasketulle pinta-alalle asetetaan vertailuarvo asetuksen 24 § mukaisesti.

Poikkeaminen vertailuarvosta on mahdollista, kun noudatetaan seuraavia periaatteita:

- Ikkunoiden yhteenlasketun pinta-alan ylittäessä pinta-alan vertailuarvon, tasataan ylittävästä pinta-alasta aiheutuva lämpöhäviön lisäys
- Ikkunoiden yhteenlasketun pinta-alan alittaessa pinta-alan vertailuarvon, saa alituksen käyttää lämpöhäviöiden tasauslaskelmassa hyötynä.

Jos suunnittelukohteessa on rakenteeltaan samanlaisia, mutta pinta-alaltaan erilaisia ikkunoita, ovia tai tuuletusluukkuja, osoitetaan määräystenmukaisuus määrittämällä lämmönläpäisykerroin yleisimmin käytetyn pinta-alan mukaiselle rakenteelle. Saatua U-arvoa voidaan soveltaa kaikkiin samanlaisiin rakenneratkaisuihin pinta-alan vaihtelusta riippumatta.

Ikkunoiden lämmönläpäisykertoimen määräystenmukaisuuden osoittamiseen riittää myös, että näyttö on annettu ikkunarakenteella, jonka pinta-ala on vähintään 1,4 m<sup>2</sup>. Ikkunoiden ja ovien tuotestandardin mukaan U-arvo määritetään ikkunalle, jonka koko on 1,23 m x 1,48 m. Saatua U-arvoa voidaan soveltaa ikkunapinta-alasta riippumatta suunnittelukohteen kaikkiin rakenteeltaan samanlaisiin ikkunoihin.

Ikkunoiden ja ovien tuotestandardin mukaan U-arvo määritetään ovelle, jonka koko on 1,23 m x 2,18 m.

Mikäli ovi on käyttötarkoituksen mukainen kulkutie tilasta toiseen ja siihen sisältyy valoaukko, katsotaan määräystenmukaisuutta osoitettaessa valoaukko ovirakenteen osaksi, eikä sitä oteta huomioon laskettaessa yhteenlaskettua ikkunapinta-alaa. Tällainen ovi on esimerkiksi valoaukollinen parvekeovi, jossa voi olla yksi tai kaksi ovilevyä lasituksineen. Sen sijaan niin sanotulle ranskalaiselle parvekkeelle johtava valoaukollinen ovi luetaan mukaan yhteenlaskettuun ikkunapinta-alaan.

Umpinaiset tuuletus-, savunpoisto-, uloskäynti- ja huoltoluukut sekä muut vastaavat luukut eivät sisälly yhteenlaskettuun ikkunapinta-alaan, vaan ne lasketaan ja otetaan huomioon erikseen kuten ovet.

Oven, huoltoluukun ja tuuletusluukun lämmönläpäisykertoimen laskentaa käsitellään ympäristöministeriön ohjeessa. Ovessa olevaa valoaukkoa ei katsota ikkunaksi, vaan se on oven osa. Edellytyksenä on, että ovi on rakennuksen ja tilojen käyttötarkoituksen mukainen kulkutie. Oven valoaukkoa ei siten lueta kuuluvaksi yhteenlaskettuun ikkunapinta-alaan.

Kattovalokuvut ja valoaukolliset savunpoistoluukut katsotaan myös ikkunarakenteiksi ja asetuksen 24 § esitetty ikkunan U-arvon vertailuarvo koskee myös niitä. Koska vaatimus on asetettu ikkunan keskimääräiselle lämmönläpäisykertoimelle, on määriteltävä se kattovalokuvun ja savunpoistoluukun kehärakenne, jonka lämmönläpäisykerroin otetaan huomioon laskettaessa keskimääräinen lämmönläpäisykerroin. On määriteltävä myös kehärakenteeksi katsottavan osan

mitat ja niihin perustuva rakenteen kokonaispinta-ala. Käytännössä kehärakenteena on jalustarakenne tai tarkoituksenmukainen osa siitä.

Ohjeita kehärakenteen määrittelemiseksi ei esitetä ympäristöministeriön ohjeessa eikä myöskään standardissa SFS-EN ISO 10077-1. Kehärakenteen ja kattovalokuvun pinta-alan määrittelyssä voidaan noudattaa tuotteen valmistajan antamia ohjeita. Ellei tarkempaa tietoa ole käytettävissä, kehärakenteeksi voidaan katsoa jalustarakenteen yläosa enintään 300 mm korkeudelta, koska toiminnallisista syistä jalustan yläreuna on yleensä nostettu 300 mm vesikaton yläpuolelle. Kehärakenteen lämmönläpäisykerroin voidaan määrittää tarkoitukseen soveltuvalla numeerisella laskentamenetelmällä.

### 3.3.6 Kylmäsiltojen huomioon ottaminen

Kun osoitetaan rakennusosien lämmönläpäisykertoimen määräystenmukaisuus, ei kaikkia rakennuksen vaipan kylmäsiltoja tarvitse ottaa huomioon. Lämmönläpäisykertoimessa otetaan huomioon vain ne kylmäsiltoja, jotka ovat ko. rakennusosaan olennaisesti kuuluvia komponentteja kuten lämmöneristyksen läpäisevät tai sitä paikallisesti ohentavat siteet, kannakset sekä tuki- ja runkorakenteet. Tyypillistä on, että tällaisia kylmäsiltoja joudutaan tekemään ko. tyyppiseen rakennusosaan suunnittelukohteesta riippumatta ja ne ovat sen käytön välttämätön edellytys.

Kylmäsiltojen tyyppit, joita ei oteta huomioon osoitettaessa lämpöhäviön määräystenmukaisuutta, ovat seuraavat:

- rakennuksen vaipan nurkkauksiin muodostuvat rakenteelliset tai geometriasta johtuvat kylmäsiltoja (ulkoseinien nurkkaus, ulkoseinän ja yläpohjan nurkkaus palkistoineen)
- rakennuksen vaipan ja väliseinien tai välipohjien liitoksiin muodostuvat kylmäsiltoja (kantavat palkit tms. tukirakenteet)
- ikkuna- ja oviaukkojen pielirakenteiden muodostamat kylmäsiltoja
- ulkoseinän, alapohjan ja perusmuurin liitokseen muodostuvat kylmäsiltoja (esim. perusmuurin päällä oleva puurunkoseinän alaohjauspuu)
- vaipan lämmöneristyksen läpäisevä tai sitä ohentava parvekkeen kannatus, kantava pilari tms. yksittäiselle suunnittelukohteelle ominainen ratkaisu
- vaipan lämmöneristyksen läpäisevä tai sitä ohentava hormi, kanava, putki tms. rakenne, joka yleensä on osa talotekniikan järjestelmää.

### 3.3.7 Massiivipuuseinän lämmönläpäisykerroin

Massiivipuuseinällä tarkoitetaan seinää, jossa kantavana rakenteena toimivan massiivipuukurakenteen keskimääräinen paksuus on vähintään 180 mm, paitsi loma-asumiseen suunnitelluissa pientaloissa, joissa se on vähintään 130 mm. Paksuudella tarkoitetaan yhtenäisen massiivipuukurakenteen paksuutta. Massiivipuuseinä voi olla myös kokonaan tai osittain lämmöneristetty. Tyypillisiä massiivipuukurakenteita ovat erilaiset hirsirakenteet.

Asetuksen 24 § esitetään massiivipuuseinän lämmönläpäisykerroimen vertailuarvot, jotka ovat lämpimän tilan rakennusosille 0,40 W/(m<sup>2</sup> K), puolilämpimän tilan rakennusosille 0,60 W/(m<sup>2</sup> K) ja loma-asumiseen suunnitellulle pientalon rakennusosille 0,80 W/(m<sup>2</sup> K). Nämä arvot ovat selvästi suurempia kuin muiden seinärakenteiden. Näitä arvoja käytetään lämpöhäviön määräysten mukaisuuden osoittamisessa. Taustalla ovat puuhun sitoutuneen hiilen suotuisat vaikutukset ilmastonmuutoksen hillintään sekä perinteisen hirsirakentamisen ja sen erityispiirteiden turvaaminen.

### 3.3.8 Loma-asumiseen suunniteltu pientalo

Loma-asumiseen suunniteltavan pientalon, joka on tarkoitettu käytettäväksi vähintään neljä kuukautta vuodessa, koskevat vain vaipan lämpöhäviön vaatimukset. Vaipan lämpöhäviö saa olla enintään yhtä suuri kuin taulukossa 2 esitetyillä vertailuarvoilla laskettu lämpöhäviö. Vaipan lämpöhäviön laskennassa on otettava huomioon vertailuikkunapinta-alaa koskevat vaatimukset. Muita loma-asumiseen suunniteltuja rakennustyyppisiä koskevat asetuksen 23 § esitetty rakennuksen lämpöhäviön vaatimus.

Maankäyttö- ja rakennuslain mukaan loma-asumiseen tarkoitettuun asuinrakennukseen, joka on tarkoitettu käytettäväksi vähemmän kuin neljän kuukauden ajan vuodessa, ei sovelleta lämpöhäviövaatimuksia. Rakennusten energiatehokkuusvaatimukset ja niihin kuuluvat lämpöhäviövaatimukset eivät koske lainkaan kerrosalaltaan alle 50 m<sup>2</sup> rakennuksia.

## 3.4 Rakennuksen vuotoilman lämpöhäviö

### 3.4.1 Rakennuksen vuotoilman lämpöhäviön laskenta

Rakennuksen vuotoilman lämpöhäviö lasketaan yhtälön (2) mukaan.

$$H_{\text{vuotoilma}} = \rho_i c_{pi} Q_{v,\text{vuotoilma}} \quad (2)$$

jossa

$H_{\text{vuotoilma}}$	vuotoilman ominaislämpöhäviö, W/K
$\rho_i$	ilman tiheys, 1,2 kg/m <sup>3</sup>
$c_{pi}$	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 Ws/(kgK)
$Q_{v,\text{vuotoilma}}$	vuotoilmavirta, m <sup>3</sup> /s



### 3.4.2 Vuotoilmavirta

Vuotoilmavirta lasketaan yhtälöstä (3).

$$q_{v,vuotoilma} = \frac{q_{50}}{3600 \cdot x} A_{vaippa} \quad (3)$$

jossa

$q_{v,vuotoilma}$	vuotoilmavirta, m <sup>3</sup> /s
$q_{50}$	rakennusvaipan ilmanvuotoluku, m <sup>3</sup> /(h m <sup>2</sup> )
$A_{vaippa}$	rakennusvaipan pinta-ala, m <sup>2</sup>
$x$	kerroin, joka on yksikerroksisille rakennuksille 35, kaksikerroksisille 24, kolme- ja nelikerroksisille 20 ja viisikerroksisille korkeimmille rakennuksille 15
3600	kerroin, joka ilmavirran m <sup>3</sup> /h yksiköstä m <sup>3</sup> /s yksikköön.

Rakennuksen vertailulämpöhäviön laskennassa käytetään rakennusvaipan ilmanvuotolukua  $q_{50} = 2,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ .

### 3.4.3 Ilmanpitävyyden osoittaminen

Rakennuksen suunnitteluratkaisun lämpöhäviön laskennassa voidaan käyttää rakennusvaipan ilmanvuotolukua  $q_{50} = 4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ . Tällöin ilmanpitävyyttä ei tarvitse erikseen osoittaa. Pienempää ilmanvuotolukua voidaan käyttää, jos ilmanpitävyys osoitetaan joko jälkikäteen mittaamalla tai muulla menettelyllä.

Asetuksen 27 § mukaan rakennuksen vaipan ilmanvuotoluku ( $q_{50}$ ) voi olla enintään  $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ . Ilmanvuotoluku voi ylittää arvon  $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ , jos rakennuksen käytön vaatimat rakenteelliset ratkaisut sitä edellyttävät.

Sekä rakennusvaipan että tilojen välisten rakenteiden tulee olla niin ilmanpitäviä, että vuotokohtien läpi tapahtuvat ilmavirtaukset eivät aiheuta merkittäviä haittoja rakennuksen käyttäjille, rakenteille tai rakennuksen energiatehokkuudelle. Erityistä huomiota tulee kiinnittää rakenteiden liitosten ja läpivientien suunnitteluun sekä rakennustyön huolellisuuteen. Rakenteisiin on tarvittaessa tehtävä erillinen ilmansulku.

Ikkunan ja oven liittyminen ympäröiviin rakenteisiin tulee olla ilmanpitävä. Karmin ja puitteen tiivistämiseen käytettävien tarvikkeiden tulee olla sellaisia, että ne kestävät käytössä esiintyvät rasitukset oleellisesti vaurioitumatta. Pientaloissa alapohjan ja seinän sekä yläpohjan ja seinän liitokset on tehtävä erityisen huolellisesti, jotta hyvä ilmanpitävyys voidaan saavuttaa.

Rakennuksen vaipan ilmanpitävyydelle esitetään vaatimuksia myös ympäristöministeriön asetuksessa rakennuksen kosteusteknisestä toimivuudesta. Määräysten taustalla on toiminnallinen vaatimus siitä, ettei kosteaa sisäilmaa saa vuotaa haitallisessa määrin rakennuksen vaipan läpi kylmään suuntaan.

Rakennusvaipan pieni ilmanvuotoluku ei kuitenkaan takaa vaipparakenteiden moitteetonta toimintaa ilmatiiviyden osalta, koska vaipassa voi silti esiintyä paikallisesti merkittäviä ilmanvuotokohtia. Siksi ilmansulun kaikkien liitosten ja reikien huolellinen tiivistäminen on tärkeää.

Rakennuksen vaipan ilmanvuotoluku  $q_{50}$  määritetään standardissa SFS-EN ISO 9972:2015 kuvatulla tavalla. Liitteessä 3 esitetään vaipan ilmanpitävyyden osoittamiseksi vaadittavan selvityksen tiedot.

### Mittaus

Jälkikäteen tehtyjen mittausten perusteella määritettyä ilmanvuotolukua voidaan käyttää sellaisenaan suunnitteluratkaisun lämpöhäviön laskennassa.

Jos ilmanpitävyys osoittautuu mittauksessa paremmaksi kuin alkuperäisessä suunnitteluratkaisussa käytetty arvo, voidaan parempi arvo hyödyntää tasauslaskelman ja energiatodistuksen päivytyksessä.

Ilmanvuotoluku  $q_{50}$  voi olla enintään  $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ . Jos ilmanpitävyys todetaan mittaamalla tätä huonommaksi, on ilmanpitävyyden parantaminen vähintään vertailuarvon tasoon energiatehokkuuden ja toimivuuden kannalta yleensä välttämätöntä. Lämpöhäviölaskelmissa voidaan käyttää arvoa  $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ , vaikka mitattu ilmanvuotoluku olisikin tätä suurempi, jos suuren ilmanvuotoluvun syynä ovat rakennuksen käytön vaatimat rakenteelliset ratkaisut.

Jos tasauslaskelmassa on käytetty parempaa ilmanpitävyyttä kuin jälkikäteen mittaamalla voidaan osoittaa eikä rakennuksen lämpöhäviövaatimus täyty, on vaipan ilmanpitävyyttä parannettava. Vaihtoehtoisesti voidaan pienentää vaipan ja ilmanvaihdon lämpöhäviötä vastaavasti. Suunnitteluratkaisun ilmanvuotolukuna ei ole syytä käyttää liian optimistista arvoa, koska vaipan ja lämmöntalteenoton parantaminen jälkikäteen on vaikeaa.

### Muu menettely

Ilmanvuotolukua  $q_{50} = 4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$  parempi ilmanpitävyys voidaan osoittaa myös muulla menettelyllä kuin jälkikäteen mittaamalla. Muulla menettelyllä tarkoitetaan esimerkiksi sellaista teollisen talonvalmistuksen laadunvarmistusmenettelyä, jolla lämpöhäviön laskennassa käytettävä ilmanpitävyys voidaan luotettavasti arvioida ennakolta.

Laadunvarmistusmenettely sisältää yleensä ilmanpitävyyteen vaikuttavat vaiheet suunnittelussa, tuotannossa ja työmaatoiminnoissa sekä ulkopuolisen laadunvalvonnan. Ulkopuoliseen laadunvalvontaan kuuluu valmistajan sisäisen laadunvalvonnan katselmus, näytteenotto ja näytteiden testaus.

## **3.5 Ilmanvaihdon lämpöhäviö**

### **3.5.1 Ilmanvaihdon lämpöhäviön laskenta**

Rakennuksen ilmanvaihdon lämpöhäviö lasketaan yhtälön (4) mukaan

$$H_{iv} = \rho_i c_{p,i} q_{v,poisto} f_d t_v (1 - \eta_a) \quad (4)$$

jossa

$H_{iv}$  ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö, W/K

$\rho_i$  ilman tiheys,  $1,2 \text{ kg/m}^3$

$c_{pi}$	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 Ws/(kgK)
$q_{v, poisto}$	standardikäytön mukainen laskennallinen poistoilmavirta, m <sup>3</sup> /s
$t_d$	ilmanvaihtojärjestelmän keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde, $\tau_d/24$ , missä $\tau_d$ on käyntiaika tuntia vuorokaudessa
$t_v$	ilmanvaihtojärjestelmän viikoittainen käyntiaikasuhde, $\tau_w/7$ , missä $\tau_w$ on käyntipäivien lukumäärä viikossa
$\eta_a$	ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton (LTO) vuosihyötysuhde, joka on lämmöntalteenottolaitteistolla vuodessa talteenotettavan ja hyödynnettävän energian suhde ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemaan energiaan, kun lämmöntalteenottoa ei ole.

Rakennuksen ilmanvaihdon lämpöhäviö lasketaan tarvittaessa erikseen jokaiselle ilmanvaihtokoneelle.

### 3.5.2 Ilmavirrat

Ilmanvaihdon poistoilmavirta ( $q_{v, poisto}$ ) määritetään asetuksen mukaan. Ilmanvaihdon ilmavirta on sama vertailu- ja suunnitteluratkaisussa. Tarpeenmukaista ilmanvaihtoa ei oteta vertailulämpöhäviön ja suunnitteluratkaisun lämpöhäviön laskennassa huomioon. Tasauslaskelmissa ilmanvaihdon käyntiaikasuhteet ( $t_d$  ja  $t_v$ ) on sisällytetty ilmavirran  $q_{v, p}$  lukuarvoon ( $q_{v, p} = q_{v, poisto} t_d t_v$ ). Käyntiaikatekijä  $t_d$  on ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde ja  $t_v$  on ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde.

Ilmanvaihdon ulkoilmavirtojen ja ilmanvaihdon käyntiaikojen arvot esitetään taulukossa 7. Lämpöhäviön tasauslaskennassa poistoilmavirta ja ulospuhallusilmavirta ovat yhtä suuria kuin ulkoilmavirta. Lämpöhäviön laskennassa on käytettävä kunkin rakennustyyppin käyttötarkoitukseluokan vakioitua käyttöä vastaavia arvoja. Näistä poikkeavia rakennuksen suunniteltua käyttöä vastaavia arvoja ei saa lämpöhäviölaskennassa käyttää lukuun ottamatta käyttötarkoitukseluokan 9 rakennuksia, joissa käytetään suunnitteluarvoja. LTO-vaatimuksen ulkopuolelle jäävien tilojen suunnitellut poistoilmavirrat lisätään tasauslaskentaan erikseen omaan kohtaansa. Nämä ilmavirrat eivät yleensä sisälly vakioitun käytön kokonaisilmavirtaan. Poikkeuksena on esimerkiksi painovoimaisen ilmanvaihdon rakennus, jonka ilmavirta sisältyy vakioitun käytön ilmavirtaan.

Ilmanvaihdon poistoilmavirta ja ilmanvaihdon käyntiaika määritetään asetuksen mukaan. Arvot esitetään taulukossa 7. Poistoilmavirtana voidaan käyttää taulukon ulkoilmavirtoja. Lämpöhäviön laskennassa on aikaisemmista määräyksistä poiketen käytettävä kunkin rakennustyyppin käyttötarkoitukseluokan vakioitua käyttöä vastaavia arvoja. Näistä poikkeavia rakennuksen suunniteltua käyttöä vastaavia arvoja ei saa lämpöhäviölaskennassa käyttää lukuun ottamatta käyttötarkoitukseluokan 9 rakennuksia, joissa käytetään suunnitteluarvoja.

LTO-vaatimuksen ulkopuolelle jäävien tilojen suunnitellut poistoilmavirrat lisätään tasauslaskentaan erikseen omaan kohtaansa. Nämä ilmavirrat eivät sisälly vakioitun käytön kokonaisilmavirtaan.

Taulukko 8. Rakennuksen lämpöhäviön laskennassa käytettävät ilmanvaihdon ilmavirrat ja käyntiajat käyttötarkoitukseluokittain. Eri käyttötarkoitukseluokkiin kuuluvat rakennustyypit esitetään tarkemmin asetuksessa.

Käyttötarkoitukseluokka	Käyttöajan ulkoilmavirta dm <sup>3</sup> /(s m <sup>2</sup> )	Käyttöajan ulkopuolinen ulkoilmavirta dm <sup>3</sup> /(s m <sup>2</sup> )	Käyntiaika $\tau_d$ , tuntia vuorokaudessa <sup>1)</sup>	Käyntiaika $\tau_w$ , päiviä viikossa	Käyntiajoilla painotettu ulkoilmavirta dm <sup>3</sup> /(s m <sup>2</sup> )
1. Erillinen pientalo, rivija ketjutalo sekä enintään kahden asuinkerroksen asuinkerrostalo	0,4	-	24	7	0,4
2. Vähintään kolmen asuinkerroksen asuinkerrostalo	0,5	-	24	7	0,5
2. Vähintään kolmen asuinkerroksen asuinkerrostalo, ilmanvaihdon ohjaus <sup>2)</sup>	0,4	-	24	7	0,4
3. Toimistorakennus	2	0,15	11 + 2 = 13	5	0,866
4. Liikerakennus	2	0,15	13 + 2 = 15	6	1,141
5. Majoitusliikerakennus	2	-	24	7	2
6. Opetusrakennus ja päiväkot	3	0,15	8 + 2 = 10	5	0,998
7. Liikuntahalli	2	0,15	14 + 2 = 16	7	1,383
8. Sairaala	4	-	24	7	4
9. Muu rakennus	suunnitteluarvoilla				
<sup>1)</sup> Jos ilmanvaihto ei ole jatkuvasti päällä, lisätään rakennuksen käyttöajan alkuun ja loppuun yksi tunti lisää käyntiaikaa.					
<sup>2)</sup> Käyttötarkoitukseluokan 2 rakennuksessa, jossa asukkaalla on mahdollisuus ohjata tulo- ja poistoilmavirtoja siten, että niitä voidaan huoneistokohtaisesti tehostaa vähintään 30 % ja pienentää vähintään 40 % suunnitellun käyttöajan ilmavirroista, rakennuksen ulkoilmavirtana voidaan käyttää 0,4 dm <sup>3</sup> /(s m <sup>2</sup> ).					

### 3.5.3 Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde

Poistoilmasta lämmöntalteenottolaitteella hyödynnettävä lämpö voidaan laskea poistoilman lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhteen  $\eta$  avulla. Poistoilman lämmöntalteenottolaitteistojen erityyppisten lämmönsiirtimien tuloilman lämpötilahyötysuhteet ovat tyypillisesti seuraavanlaisia:

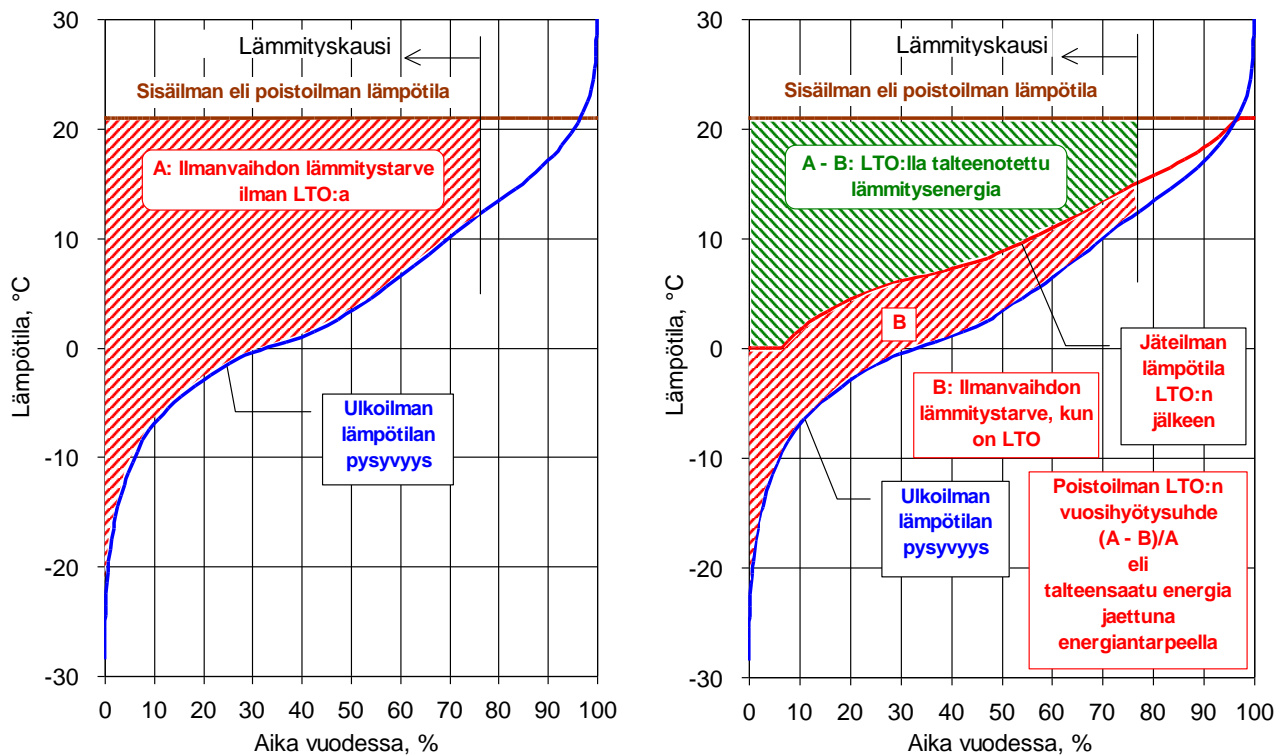
- virtaavan väliaineen välityksellä lämpöä siirtävät lämmönsiirinyhdistelmät: 40 - 60 %
- ristivirtalevylämmönsiirtimet: 50 - 70 %
- vastavirtalevylämmönsiirtimet: 60 - 80 %
- regeneratiiviset lämmönsiirtimet: 60 - 80 %.

Laskennassa käytetään valmistajan ilmoittamaa standardin SFS-EN 308 mukaan mitattua tuloilman lämpötilahyötysuhdetta (tulo- ja poistoilman massavirrat ovat yhtä suuret). Lämpötilahyötysuhde määritetään standardikäyttöä vastaavalla suunnitteluratkaisun poistoilmavirralla.

Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen osoittamisessa on otettava huomioon ainakin tulo- ja poistoilmavirtojen suhde ja jäätymissuojauksen toiminta sekä mahdollinen tuloilman lämpötilan rajoittaminen.

Poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde esitetään kuvassa 4. Vuosihyötysuhde on lämmöntalteenottolaitteistolla vuodessa talteenotettavan ja hyödynnettävän energian (A - B) suhde ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemaan energiaan (A), kun lämmöntalteenottoa ei ole. B on ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia, kun lämmöntalteenotto on. Poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde  $\eta_a = (A - B)/A$ .

Poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteesta kerrotaan lisää oppaan liitteessä 4.



Kuva 4. Poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on lämmöntalteenottolaitteistolla (LTO) talteenotettavan ja hyödynnettävän energian (A-B) suhde ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemaan energiaan A, kun lämmöntalteenottoa ei ole.

## 4 Esimerkki loma-asumiseen suunniteltavan pientalon lämpöhäviövaatimuksen täyttämisestä

Loma-asumiseen suunniteltavan pientalon, joka on tarkoitettu käytettäväksi vähintään neljä kuukautta vuodessa, koskevat vain vaipan lämpöhäviön vaatimukset. Vaipan lämpöhäviön laskennassa on otettava huomioon vertailuikkunapinta-alaa koskevat vaatimukset. Rakennuksen vaipan ilmanpitävyydelle ja ilmavaihdon lämmöntalteenotolle ei ole vaatimuksia. Loma-asumiseen suunnitellun pientalon vaipan lämpöhäviö saa olla enintään yhtä suuri kuin taulukossa 2 esitetyillä vertailuarvoilla laskettu lämpöhäviö. Sellaiseen loma-asumiseen tarkoitettuun asuinrakennukseen, joka on tarkoitettu käytettäväksi vähemmän kuin neljän kuukauden ajan vuodessa, ei sovelleta lämpöhäviövaatimuksia.

Esimerkkikohteena on 1-kerroksinen loma-asunto, jonka maanpäällisten kerrosten kerrostasoala on 78 m<sup>2</sup>. Loma-asuntoon on suunniteltu kokovuotiseen käyttöön tarkoitettu lämmitysjärjestelmä. Loma-asuntoa ei ole tarkoitettu majoituselinkeinoon harjoittamiseen. Taulukossa 8 esitetään kohteen laajuustiedot. Taulukossa 9 esitetään rakennusosien pinta-alat ja alustavat U-arvot. Suunnitteluratkaisun ikkunapinta-ala on 20 % kerrostasoalasta. Julkisivusta 16 % on ikkunaa.

Taulukko 9. Loma-asunnon laajuustiedot.

### Rakennuksen laajuustiedot

Rakennustilavuus	250 rak-m <sup>3</sup>
Maanpäälliset kerrostasoalat yhteensä	78 m <sup>2</sup>
Lämmitetty nettoala	71 m <sup>2</sup>
Rakennustyyppi	Loma-asunto, pientalo

Kohteen ulkoseinät ovat pääasiassa eristämätöntä massiivista pyöröhirttä (tiheys on 550 kg/m<sup>3</sup> ja keskimääräinen paksuus on 130 mm). Seinärakenteen U-arvo on 0,90 W/(m<sup>2</sup> K). Tämä ylittää loma-asunnon hirsiseinän U-arvon vertailuarvon, joka on 0,80 W/(m<sup>2</sup> K).

Taulukko 10. Loma-asunnon rakennusosien pinta-alat ja alustavat U-arvot. Vertailuarvon ylittävän hirsiseinän U-arvon takia lämpöhäviövaatimus ei täyty muiden rakennusosien U-arvojen vertailuarvoja käyttämällä.

Perustiedot	Pinta-alat, m <sup>2</sup>		U-arvot, W/(m <sup>2</sup> K)		Lämpöhäviöiden tasaus	
	[A]		[U]		Ominaislämpöhäviö, W/K	
RAKENNUSOSAT	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Ulkoseinä	4	4	0,24	0,62	1,0	2,5
Massiivipuuseinä <sup>1)</sup>	81	78	0,80	0,90	65,1	70,2
Yläpohja	75	75	0,15	0,15	11,3	11,3
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,15		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,19		-	-
Alapohja (maanvastainen)		71	0,24	0,24	17,0	17,0
Muu maanvastainen rakennusosa			0,24		-	-
Ikkunat	11,7	15,3	1,40	1,40	16,4	21,4
Ulko-ovet ja tuuletusluukut <sup>2)</sup>		5,7	1,40	1,40	8,0	8,0
Kattoikkunat			1,40		-	-
Kattovalokuvut			1,40		-	-
<b>Yhteensä</b>	<b>249</b>	<b>249</b>			<b>118,8</b>	<b>130,4</b>

Vaipan lämpöhäviötä pienennetään parantamalla yläpohjan, ikkunoiden ja ovien U-arvoja.

Vaipan lämpöhäviötä pienennetään parantamalla

- yläpohjan U-arvoa arvosta 0,15 W/(m<sup>2</sup>K) arvoon 0,10 W/(m<sup>2</sup>K),
- ikkunoiden U-arvoa arvosta 1,4 W/(m<sup>2</sup>K) arvoon 1,0 W/(m<sup>2</sup>K) ja
- ovien U-arvoa arvosta 1,4 W/(m<sup>2</sup>K) arvoon 1,0 W/(m<sup>2</sup>K).

Parannusten jälkeen rakennuksen vaipan yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö (taulukko 10) alittaa vertailulämpöhäviön. Suunnitteluratkaisu täyttää loma-asunnon lämpöhäviövaatimuksen.

*Taulukko 11. Loma-asunnon rakennusosien pinta-alat ja parannetut U-arvot. Vertailuarvon ylittävän hirsiseinän U-arvon takia lisääntynyt lämpöhäviö on tasattu muiden rakennusosien U-arvoja parantamalla. Kohteen rakennesuunnitelmat päivitettiin vastaamaan lämpöhäviön taseauslaskelmaa.*

Perustiedot	Pinta-alat, m <sup>2</sup>				U-arvot, W/(m <sup>2</sup> K)		Lämpöhäviöiden taseus	
	[A]		[U]		Ominaislämpöhäviö, W/K		[H <sub>joht</sub> = A · U]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu		
<b>RAKENNUSOSAT</b>								
Ulkoseinä	4	4	0,24	0,62	1,0	2,5		
Massiivipuuseinä <sup>1)</sup>	81	78	0,80	0,90	65,1	70,2		
Yläpohja	75	75	0,15	0,10	11,3	7,5		
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,15		-	-		
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,19		-	-		
Alapohja (maanvastainen)		71	0,24	0,24	17,0	17,0		
Muu maanvastainen rakennusosa			0,24		-	-		
Ikkunat	11,7	15,3	1,40	1,00	16,4	15,3		
Ulko-ovet ja tuuletusluukut <sup>2)</sup>		5,7	1,40	1,00	8,0	5,7		
Kattoikkunat			1,40		-	-		
Kattovalokuvut			1,40		-	-		
<b>Yhteensä</b>	<b>249</b>	<b>249</b>			<b>118,8</b>	<b>118,2</b>		

Vaikka loma-asunnon vaipan ilmanpitävyydelle ei ole määräyksissä vaatimuksia, niin rakentamisvaiheessa kiinnitettiin erityistä huomiota hirsirakenteiden sekä ikkuna- ja oviliitosten ilmanpitävyyteen. Samoin läpiviennit pyrittiin saamaan mahdollisimman tiiviiksi.

Vaikka loma-asunnon ilmanvaihdon lämmöntalteenotolle ei ole määräyksissä vaatimuksia, niin loma-asunto varustettiin koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmällä, jossa on tehokas vastavirtalevyllämmönsiirtimellä varustettu lämmöntalteenotto. Tällä ratkaisulla haluttiin varmistaa hallittu ja vedoton ilmanvaihto sekä hyvä sisäilmasto kaikissa olosuhteissa. Lisäksi ratkaisulla varmistettiin tulisijan hormin hyvä veto.

# LIITE 1 Tasauslaskentalomake ja sen täyttöohje

## 1 Määräystenmukaisuuden osoittaminen

Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuus osoitetaan asetuksen 3 luvun mukaan lämpöhäviön tasauslaskelmalla. Taulukoissa 1 ja 2 on esimerkit tasauslaskentalomakkeesta ja määräystenmukaisuuden tarkistuslistasta.

Liitteen 5 esimerkissä 1.6 esitetään tasauslaskentalomake loma-asunnolle, jota koskee vain vaipan lämpöhäviön vaatimus.

## 2 Lämpöhäviöiden tasauslaskentataulukon käyttö

### 2.1 Kohteen tiedot ja rakennuksen laajuustiedot

Kohteesta esitetään yleisiä tietoja tarvittavassa laajuudessa. Suunnitteluratkaisu ja käytetyt tasauskeinot kuvataan lyhyesti. Rakennuksen maanpäällisen kerrostasoalan ilmoittaminen on välttämätöntä määräystenmukaisuuden osoittamiseksi. Lämmitettyä nettoalaa ja rakennuksen käyttötarkoituusluokkaa tarvitaan ilmanvaihdon ilmapvirran määrittämiseen. Kerrosmäärää tarvitaan vuotoilmavirran laskentaan.

### 2.2 Rakennusosien pinta-alat

Taulukkoon kirjoitetaan eri rakennusosien pinta-alat. Yleensä pinta-ala on sama vertailuratkaisussa ja suunnitteluratkaisussa. Jos suunnitteluratkaisussa käytetään vertailuratkaisusta poikkeavaa ikkunapinta-alaa, niin myös ulkoseinien tai yläpohjan pinta-alat voivat poiketa toisistaan. Rakennusosien kokonaispinta-alan (=vaipan pinta-ala) tulee kuitenkin olla sama molemmissa ratkaisuissa. Oppaan tekstiosassa kohdassa 3.3.2 kuvataan tarkemmin vaipan eri rakennusosien pinta-alojen määrittämistapoja.

### 2.3 Rakennusosien U-arvot

Taulukkoon kirjoitetaan eri rakennusosien U-arvot. Pääsääntöisesti käytetään varsinaiselle rakenteelle määritettyä U-arvoa. Oppaan tekstiosassa kohdassa 3.3 käsitellään yksityiskohtaisemmin U-arvojen määrittämistä ja muun muassa kylmäsiltojen huomioon ottamista. Jos suunnitteluratkaisussa rakennusosa koostuu useasta eri rakennetyypistä, käytetään taulukossa pinta-aloilla painotettua keskimääräistä U-arvoa. Taulukossa mainittuja suurimpia sallittuja U-arvoja (enimmäisarvo) ei saa ylittää. Oppaan liitteessä 2 kerrotaan lyhyesti U-arvojen määrittämistavoista.



Taulukko 1. Tasauslaskentalomake rakennuskohteen lämpöhäviön laskemiseksi.

<b>Rakennuskohde</b>	
<b>Rakennuslupatunnus</b>	
Rakennustyyppi	1-kerroksinen pientalo, ikkunapinta-ala 15 % kerrostasosalasta.
Pääsuunnittelija	
Tasauslaskelman tekijä	
Päiväys	
Tulos: Suunnitteluratkaisu	<b>TÄYTTÄÄ VAATIMUKSET</b>

**Rakennuksen laajuustiedot**

Rakennustilavuus	522 rak-m <sup>3</sup>
Maanpäälliset kerrostasosalat yhteensä	163 m <sup>2</sup>
Lämmitetty nettoala, lämpimät tilat	147 m <sup>2</sup>
Lämmitetty nettoala, puolilämpimät tilat	m <sup>2</sup>
Rakennusluokka (1 - 9)	1
Rakennuksen kerrosmäärä	1 kerrosta

**Laskentatuloksia**

Julkisivupinta-ala on 146 m<sup>2</sup>  
 Ikkunapinta-ala on 15 % maanpäällisestä kerrostasosalasta  
 Ikkunapinta-ala on 17 % julkisivun pinta-alasta  
 Lämpöhäviö on 100 % vertailutasosta (lämpimät tilat)

Perustiedot	Pinta-alat, m <sup>2</sup>		U-arvot, W/(m <sup>2</sup> K)		Lämpöhäviöiden tasaus	
	[A]		[U]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H <sub>oh</sub> = A · U]	
RAKENNUSOSAT	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
<b>Lämpimät tilat</b>						
Ulkoseinä	113	113	0,17	0,17	19,2	19,2
Massiivpuuseinä <sup>1)</sup>			0,40		-	-
Yläpohja	147	147	0,09	0,09	13,2	13,2
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,09		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,17		-	-
Alapohja (maanvastainen)		147	0,16	0,16	23,5	23,5
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16		-	-
Ikkunat	24,5	24,5	1,00	1,00	24,5	24,5
Ulko-ovet ja tuuletusluukut <sup>2)</sup>	8,2		1,00	1,00	8,2	8,2
Kattoikkunat			1,00		-	-
Kattovalokuvut			1,00		-	-
<b>Lämpimät tilat yhteensä</b>	<b>440</b>	<b>440</b>			<b>88,7</b>	<b>88,7</b>
<b>Puolilämpimät tilat tai määräaikaiset rakennukset</b>						
Ulkoseinä			0,26		-	-
Massiivpuuseinä <sup>1)</sup>			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 <sup>2)</sup>			1,40		-	-
Kattoikkunat			1,40		-	-
Kattovalokuvut			1,40		-	-
<b>Puolilämpimät tilat yhteensä</b>	<b>-</b>	<b>-</b>			<b>-</b>	<b>-</b>
<b>VAIPAN ILMAVUODOT</b>	Ilmanvuotoluku, m <sup>3</sup> /(h m <sup>2</sup> ) [q <sub>v,50</sub> ]		Vuotoilmavirta, m <sup>3</sup> /s [q <sub>v,v</sub> = q <sub>v,50</sub> / 35 · A/3600]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H <sub>vuotoilma</sub> = 1200 · q <sub>v,v</sub> ]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
<b>Vuotoilma</b>						
Lämpimät tilat	2,0	4,0	0,0070	0,0140	8,4	16,8
Puolilämpimät tilat	2,0				-	-
<b>ILMANVAIHTO</b>	Poistoilmavirta, m <sup>3</sup> /s [q <sub>v,p</sub> ]		Ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhde, % [η <sub>a</sub> ]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H <sub>iv</sub> = 1200 · q <sub>v,p</sub> · (1-η <sub>a</sub> )]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
<b>Hallittu ilmanvaihto</b>						
Lämpimät tilat		0,059	55	67	31,8	23,3
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-
Puolilämpimät tilat			55		-	-
Puolilämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-
<b>Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus</b>					Ominaislämpöhäviö, W/K [H = H <sub>oh</sub> + H <sub>vuotoilma</sub> + H <sub>iv</sub> ]	
	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu			Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
<b>Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö</b>					129	129
<b>Puolilämpimien tilojen</b>					-	-

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

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

Taulukko 2. Rakennuskohteen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden tarkistuslista.

Rakennuskohde			
Rakennuslupatunnus			
<b>Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden tarkistuslista</b>			
<b>Pinta-alat</b>			
Vertailuikkunapinta-ala on 15 % yhteenlasketuista maanpäällisistä kerrostasooaloista, mutta kuitenkin enintään 50 % julkisivujen pinta-alasta		kyllä v	ei 
Rakennusosien yhteenlaskettu pinta-ala sama molemmissa ratkaisuissa			
- lämpimissä tiloissa		v	
- puolilämpimissä tiloissa			
<b>Rakennusvaipan ilmanpitävyys</b>			
Rakennusvaipan ilmanvuotoluvun $q_{50}$ suunnitteluarvo on enintään enimmäisarvon suuruinen		kyllä v	ei 
- lämpimissä tiloissa			Enimmäisarvo 4
- puolilämpimissä tiloissa			Suunnitteluarvo 4,00
			4
<b>Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus</b>			
Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään vertailuratkaisun suuruinen		kyllä v	ei 
- lämpimissä tiloissa			Vertailuarvo 129 W/K
- puolilämpimissä tiloissa			Suunnitteluarvo 129 W/K
<b>Tarkistuslistan yhteenveto</b>			
<b>Suunnitteluratkaisu täyttää lämpöhäviövaatimukset</b>		kyllä v	ei 
<b>Lisätietoja</b>			
<b>Rakennuksen ilmanpitävyys</b>			
Rakennuksen suunnitteluratkaisun lämpöhäviön laskennassa käytetään rakennusvaipan ilmanvuotoluvun $q_{50}$ suunnitteluarvoa. Rakennuksen vaipan ilmanvuotoluku $q_{50}$ saa olla enintään 4,0 m <sup>3</sup> /(h m <sup>2</sup> ), mutta ilmanvuotoluku voi ylittää tämän arvon, jos rakennuksen käytön vaatimat rakenteelliset ratkaisut huonontavat merkittävästi ilmanpitävyyttä. Jos ilmanpitävyyttä ei tulla osoittamaan mittaamalla tai teollisen talonrakennuksen laadunvarmistusmenettelyllä, rakennusvaipan ilmanvuotolukuna käytetään arvoa 4,0 m <sup>3</sup> /(h m <sup>2</sup> ).			
<b>Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) vuosihyötysuhde</b>			
Ilmanvaihtokoneen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde määritetään käyttäen lämmöntalteenottolaitteen ominaisuuksia ja ilmanvaihtokoneen suunniteltuja ilmavirtoja sekä asetuksen liitteessä 1 säädetyn säävyöhykkeen 1 säätiötietoja. Kahden tai useamman ilmanvaihtokoneen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde määritetään suunniteltujen ilmavirtojen ja käyntiaikojen painotettuna vuosihyötysuhteena. Rakennuksen suunnitteluratkaisun ilmanvaihdon lämpöhäviö lasketaan käyttäen näin määritettyä poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta ja asetuksen 26 § mukaisia ilmavirtojen arvoja ja käyntiaikoja.			
<b>Huomaus</b>			
Tässä lomakkeessa esitetyt lämpöhäviövaatimukset koskevat rakennuksia, joiden kerrosala on 50 m <sup>2</sup> tai enemmän.			

## 2.4 Vaipan ominaislämpöhäviöt

Vaipan eri rakennusosien ominaislämpöhäviöt lasketaan vertailuratkaisulle ja suunnitteluratkaisulle. Rakennusosan ominaislämpöhäviö on yksinkertaisesti pinta-ala kerrottuna U-arvolla.

## 2.5 Vaipan ilmavuodot

Taulukkoon kirjoitetaan vaipan ilmanvuotoluku  $q_{50}$ . Vuotoilmavirta lasketaan vaipan ilmanvuotoluvun avulla. Ominaislämpöhäviö lasketaan vuotoilmavirrasta. Vaipan ilmavuotojen ominaislämpöhäviöt lasketaan vertailuratkaisulle ja suunnitteluratkaisulle.

## 2.6 Ilmavirrat

Lämpöhäviöiden tasauslaskelmissa käytetään hallitun ilmanvaihdon ilmavirtana yleensä poistoilmavirtaa. Poistoilmavirtana ( $q_{v,p}$ ) käytetään käyntiajalla painotettua poistoilmavirtaa. Ilmanvaihdon ilmavirta on sama vertailu- ja suunnitteluratkaisussa. Ilmanvaihdon poistoilmavirta on asetuksen 26 § mukaan määritelty vakioitua käyttöä vastaava ilmavirta. Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon ohjauksen vaikutusta ei oteta huomioon. Ilmavirtoja ja käyntiaikatekijöitä käsitellään tarkemmin oppaan tekstiosassa kohdassa 3.5 ja liitteessä 4.

## 2.7 Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde

Poistoilmasta lämmöntalteenottolaitteella hyödynnettävä lämpö voidaan laskea poistoilman lämmöntalteenoton (LTO) vuosihyötysuhteen  $\eta_a$  avulla.

Poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskennassa käytetään valmistajan ilmoittamaa standardin SFS-EN 308 mukaan mitattua tai tyyppihyväksyttyä tuloilman lämpötilahyötysuhdetta (tulo- ja poistoilman massavirrat ovat yhtä suuret). Lämpötilahyötysuhde määritetään suunnitteluratkaisun poistoilmavirralla.

Poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteesta kerrotaan lisää oppaan liitteessä 4. Vuosihyötysuhde ( $\eta_a$ ) on lämmöntalteenottolaitteistolla vuodessa talteenotettavan ja hyödynnettävän energian suhde ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemaan energiaan, kun lämmöntalteenottoa ei ole.

Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen osoittamisessa on otettava huomioon ainakin tulo- ja poistoilmavirtojen suhde ja jäätymissuojauksen toiminta sekä mahdollinen tuloilman lämpötilan rajoittaminen.

## 2.8 Ilmanvaihdon ominaislämpöhäviöt

Ilmanvaihdon ominaislämpöhäviöt lasketaan vertailuratkaisulle ja suunnitteluratkaisulle. Taulukon 1 mukaisesti ja siinä käytettyjä yksiköitä käyttäen ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö on  $1,2 \cdot 1000 q_{v,p} (1 - \eta_a)$ .

### **3 Määräystenmukaisuuden tarkistuslistan käyttö**

#### **3.1 Yleistä**

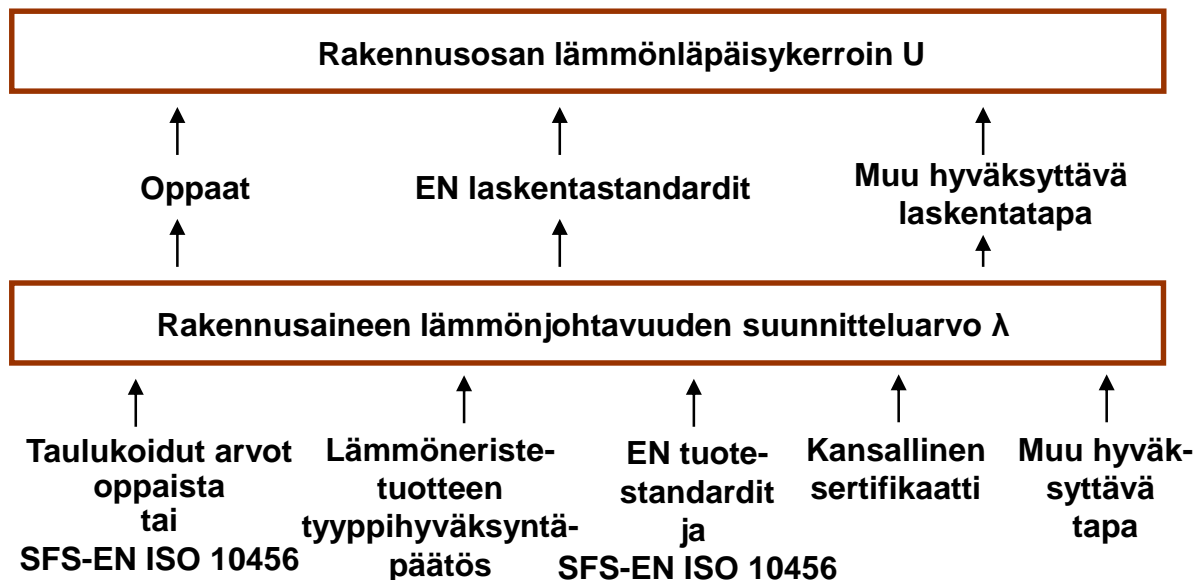
Määräystenmukaisuuden tarkistuslista on jaettu neljään osaan. Määräystenmukaisuus käydään jokaisessa osassa läpi kohta kohdalta. Jos yksikin ehto tai vaatimus ei täyty, niin suunnitteluratkaisu ei ole määräysten mukainen. Eräiden vaatimusten täyttymisen osoittamisen helpottamiseksi tarkistuslistassa on kohdat vertailu- ja suunnitteluarvoille. Numeroarvot näihin kohtiin saadaan taseuslaskentataulukosta. Vaatimusten täyttyminen osoitetaan erikseen lämpimille tiloille ja puolilämpimille tiloille. Lämpimien tilojen lämpöhäviöiden pienentämisestä ei voi saada etua puolilämpimien tilojen lämpöhäviöiden tasauksessa eikä päinvastoin.

#### **3.2 Pinta-ala- ja lämpöhäviövaatimukset**

Ikkunapinta-alavaatimus täyttyy, kun vertailuikkunapinta-ala on 15 % maanpäällisten kerrosten yhteenlasketusta kerrostasosalasta, kuitenkin enintään 50 % rakennuksen julkisivupinta-alasta.

Lämpöhäviövaatimukset täyttyvät, kun vaipan ilmanpitävyyden enimmäisarvovaatimus täyttyy ja suunnitteluratkaisun vaipan, vuotoilman ja ilmanvaihdon yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö ei ylitä vertailuratkaisun yhteenlaskettua ominaislämpöhäviötä.

## LIITE 2 Lämmönjohtavuus ja lämmönläpäisykerroin



### 1 Lämmönjohtavuus

#### 1.1 Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo ja sen valintamahdollisuudet

Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvona ( $\lambda_U$ ) voidaan käyttää SFS-EN-standardin tai eurooppalaisen teknisen hyväksynnän mukaan määritettyä lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoa, SFS-EN-standardissa esitettyä taulukoitua lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoa, ympäristöministeriö tai muiden julkaisemien oppaiden taulukoitua lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoa tai muulla tavalla määritettyä, rakennusosalle soveltuvaa lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoa (esimerkiksi tyyppihyväksyttyä arvoa). Ensisijaisesti käytetään SFS-EN-standardin tai eurooppalaisen teknisen hyväksynnän mukaan määritettyä lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoa, tämän jälkeen taulukoitua  $\lambda_U$ -arvoa ja viimeisenä muulla menetelmällä määritettyä lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoa. Jos samalle aineelle on annettu useita  $\lambda_U$ -arvoja, valitaan lämmönjohtavuudeksi parhaiten tarkasteltavaan kohteeseen soveltuva arvo.  $\lambda_U$ -arvo vastaa aikaisemmin käytössä ollutta  $\lambda_d$ -arvoa.

Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo  $\lambda_U$  korvaa aikaisemmin käytössä olleen kansallisen lämmönjohtavuuden suunnitteluarvon  $\lambda_n$  (normaalinen lämmönjohtavuus). Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo  $\lambda_U$  sisältää aineen lämmönjohtavuuden mittaustulosten hajonnan sekä lämpötilan, kosteuspitoisuuden ja ikääntymisen vaikutukset lämmönjohtavuuteen. Nämä tekijät ovat sisältyneet myös aikaisempaan normaalisen lämmönjohtavuuden arvoon, tosin eri tavoin määritettynä. Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo  $\lambda_U$  ei sisällä lämmöneristeessä olevista ilmaraoista ja epäideaalisesta asennuksesta eikä lämmöneristeen suuresta ilmanläpäisevyydestä aiheutuvaan lämmön siirtymisen lisäystä ainekerroksessa. Aikaisempi normaalisen lämmönjohtavuuden arvo on sisältänyt myös näiden tekijöiden vaikutuksen. Näiden tekijöiden vaikutukset on tarkistettava ja

otettava tarvittaessa huomioon lämmöneristettä valittaessa ja rakennusosan korjattua lämmönläpäisykerrointa  $U_c$  määritettäessä.

## 2 Lämmönläpäisykerroin

### 2.1 Lämmönläpäisykerroimen laskenta

Rakennusosien ja rakenteiden lämmönläpäisykerroin ( $U$ ) voidaan laskea ympäristöministeriön ohjeen, muiden oppaiden tai soveltuvien SFS-EN-standardien mukaan. Rakennuksen määräystenmukaisuutta osoitettaessa ja rakennuksen energiankulutuslaskelmissa käytetään korjattua lämmönläpäisykerrointa ( $U_c$ ), jossa rakenteen ja materiaalien käyttökohdekohtaiset ominaisuudet ja epäideaalisuudet otetaan lämmöneristävyyttä heikentävinä tekijöinä huomioon.

Myös kokeellista tulosta voidaan käyttää, jos laskennallinen määrittäminen on kohtuuttoman vaikeaa tai laskennassa tarvittava lähtötieto määritetään kokeellisesti.

Lämmönläpäisykerroimen yksittäinen mittaustulos pätee vain tutkitulle koe-rakenteelle mittausoiloissa. Jos lämmönläpäisykerroimen laskenta on kohtuuttoman hankalaa, voidaan koetuloksen perusteella kuitenkin arvioida rakennerratkaisulle käytännön suunnitteluun soveltuva lämmönläpäisykerroimen arvo. Tällöin on pyrittävä ottamaan huomioon mittausten epätarkkuus, rakenteen ja siinä käytettävien aineiden ominaisuuksien vaihtelu käytännössä, rakennesuunnitelmien mukainen materiaalien käyttölämpötilaolosuhteiden ja -kosteuspitoisuuden vaikutus sekä rakennusaineiden mahdollinen lämmönjohtavuuden palautumaton muuttuminen käyttöiän aikana.

### 2.2 Kylmäsiltojen laskenta

Rakennusosissa olevat säännölliset kylmäsilat otetaan huomioon rakennusosan lämmönläpäisykerroimen laskennassa ja lämpöhäviöiden tasauslaskennassa. Rakennuksen vaippaan eri syistä tehtäviä yksittäisiä kylmäsiltoja ei tarvitse ottaa huomioon rakennusosan lämmönläpäisykerrointa laskettaessa. Yksittäisen kylmäsilan voi muodostaa esimerkiksi suuri läpivienti, hormi, parvekkeen kannatus, alapohjan läpäisevä pilari, rakenteeseen sijoitettu talotekniikan komponentti tai muu erikseen suunniteltu ja toteutettu yksittäinen ratkaisu. Myöskään rakennusosien välisten liitosten aiheuttamia kylmäsiltoja ei oteta huomioon lämpöhäviöiden tasauslaskennassa.

## Kirjallisuutta

1. Ympäristöministeriön ohje lämmönläpäisykerroimen laskennasta, 2018.
2. RIL 225 Rakennusosien lämmönläpäisykerroimen laskenta. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto r.y.
3. Lämmöneristetuotteiden tyyppihyväksyntä, Ohjeet 2007, Ympäristöministeriö 2007. Siltä osin kuin lämmöneristetuotteiden ominaisuuksia ei voida osoittaa yhdenmukaistettuun tuotestandardiin tai eurooppalaiseen tekniseen hyväksyntään perustuvalla CE-merkinnällä tuotteelle voidaan myöntää tyyppihyväksyntä koskien lämmönjohtavuutta.

## Rakennusten lämpöhäviöitä koskevia standardeja

### Lämmöneristeiden tuotestandardit

SFS-EN 13162: 2012 + A1:2015 – SFS-EN 13171:2012 + A1:2015, Thermal insulation products for buildings - Factory made products

SFS-EN 13172:2012, Thermal insulation products - Evaluation of conformity

### Ikkunoiden ja ovien tuotestandardit

SFS-EN 114351-1:2006/A1:2010, Windows and doors - Product standard, performance characteristics - Part 1: Windows and external pedestrian doorsets without resistance to fire and/or smoke leakage characteristics

### Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo

SFS-EN ISO 10456:2007, Building materials and products - Hygrothermal properties - Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values

SFS-EN ISO 10456:2007/AC:2009, Korjaus AC standardiin SFS-EN ISO 10456:2007

SFS-EN 1745:2012, Masonry and masonry products - Methods for determining thermal properties

### Lämmönvastus ja lämmönläpäisykerroin

SFS-EN ISO 6946:2007, Building components and building elements - Thermal resistance and thermal transmittance - Calculation method

SFS-EN ISO 13370:2007, Thermal performance of buildings - Heat transfer via the ground – Calculation methods

SFS-EN ISO 10077-1:2006, Thermal performance of windows, doors and shutters - Calculation of thermal transmittance. Part 1: General

SFS-EN ISO 10077-1:2006/AC:2009, Korjaus AC standardiin SFS-EN ISO 10077-1:2006

SFS-EN ISO 10077-2:2012, Thermal performance of windows, doors and shutters - Calculation of thermal transmittance - Part 2: Numerical method for frames

SFS-EN ISO 10077-2:2012/AC:2012, Korjaus AC standardiin SFS-EN ISO 10077-2:2012

### Kylmäsilat

SFS-EN ISO 10211:2007, Thermal bridges in building construction - Heat flows and surface temperatures - Detailed calculations

SFS-EN ISO 14683:2007, Thermal bridges in building construction - Linear thermal transmittance - Simplified methods and default values

### Lämpöhäviöt ja pinta-alojen määrittelyt

SFS-EN ISO 13789:2007, Thermal performance of buildings - Transmission and ventilation heat transfer coefficients - Calculation method

### Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto

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

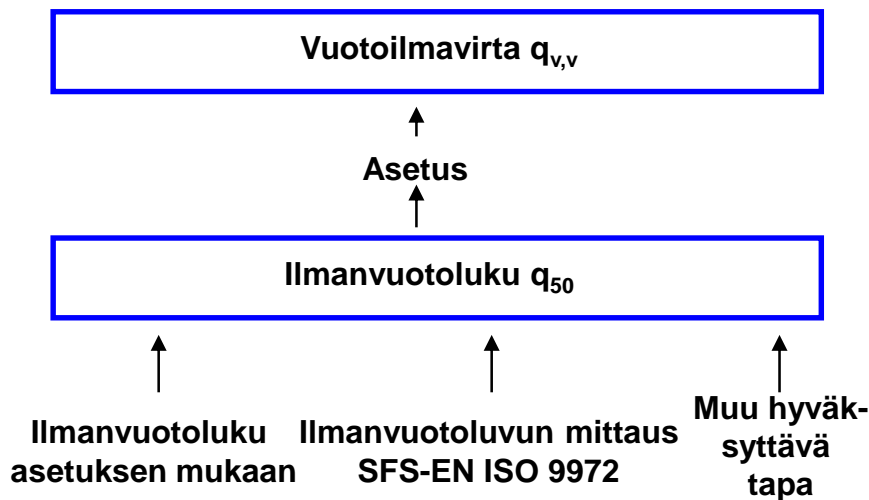
SFS-EN 13141-7:2010, Ventilation for buildings - Performance testing of components/products for residential ventilation - Part 7: Performance testing of a mechanical supply and exhaust ventilation units (including heat recovery) for mechanical ventilation systems intended for single family dwellings

# LIITE 3 Selvitys vaipan ilmanpitävyydestä

## 1 Johdanto

Selvitys vaipan ilmanpitävyydestä voi perustua vaipan ilmanpitävyyden mittaukseen tai muuhun menettelyyn. Ilmanpitävyyden mittaus perustuu standardiin SFS-EN ISO 9972:2015 <sup>1)</sup>. Muulla menettelyllä tarkoitetaan esimerkiksi sellaista teollisen talonvalmistuksen laadunvarmistusmenettelyä, jolla lämpöhäviön laskennassa käytettävä ilmanpitävyys voidaan luotettavasti arvioida ennakolta.

<sup>1)</sup> SFS-EN ISO 9972:2015, Thermal performance of buildings - Determination of air permeability of buildings - Fan pressurization method



## 2 Vaipan ilmanpitävyyden mittaukseen perustuva selvitys

### 2.1 Mittausmenetelmä

Tasauslaskentaa varten rakennuksen vaipan ilmanvuotoluku määritetään standardin SFS-EN ISO 9972:2015 (yleensä menetelmä 2) mukaan 50 Pa paine-erolla ulkoilmaan verrattuna. Menetelmässä suljetaan tiiviisti mittauksen ajaksi rakennuksen vaipassa olevat aukot kuten ulko- ja ulospuhallusilma-aukot sekä viemärit ja savupiiput. Ulko-ovet ja ikkunat ovat mittauksen aikana kiinni.

Rakennuksen vaipan ilmanvuotoluku  $q_{50}$  ( $\text{m}^3/(\text{h m}^2)$ ) lasketaan 50 Pa:n paine-erolla määritetyn vuotoilmavirran ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) ja rakennuksen vaipan pinta-alan ( $\text{m}^2$ ) suhteena. Rakennusvaipan pinta-alaan lasketaan ulkoseinät aukotuksineen sekä ylä- ja alapohja.

Kokeessa havaitut merkittävimmät vuotokohdat paikannetaan ja raportoidaan



## 2.2 Selvityksen sisältö

Selvityksessä vaipan ilmanpitävyydestä esitetään vähintään seuraavat tiedot:

- Rakennuksen tunniste- ja laajuustiedot
- Rakennuksen tai sen mitatun osan ilmatilavuus ja vaipan pinta-ala
- Mittaajan nimi ja mittauspäivämäärä
- Säättiedot
  - ulkolämpötila
  - tuulen nopeus
  - tuulen suunta
  - ilmanpaine
- Tiiviysmittausten kattavuus
  - koko rakennus/osarakennus
- Tiedot mittauksissa käytetyistä laitteista ja koejärjestelyistä
  - Kalibrointitiedot
  - Paine-eron tuottamistapa
    - Apupuhallin
    - Rakennuksen oma ilmanvaihtojärjestelmä
  - Mittauspisteiden sijainti
  - Mittauksen ajaksi suljetut aukot
  - Mahdolliset poikkeamat standardista
- Mittaustulokset
  - Mittauspaine-erot
  - Mitatut vuotoilmavirrat eri paine-eroilla
  - Sisälämpötila
  - Ulkolämpötila
  - Ilmanpaine
  - Kokeessa havaitut merkittävimmät vuotokohdat raportoidaan
- Mittaustuloksista määritetty vuotoilmavirta 50 Pa:n alipaineella
- Vaipan ilmanvuotoluku  $q_{50}$

## 3 Muuhun menettelyyn perustuva selvitys vaipan ilmanpitävyydestä

Selvityksessä esitetään talotyypikohtainen tasauslaskennassa käytettävä rakennuksen ilmanvuotoluku  $q_{50}$  50 Pa:n paine-erolla ja perusteena oleva laadunvarmistusmenettely. Menettelyyn löytyy soveltamiskelpoisia ohjeita RT-ohjekortista RT 80-10974 (2009) Teollisesti valmistettujen asuinrakennusten ilmanpitävyyden laadunvarmistusohje.

Talotyypikohtaisen ilmanvuotoluvun määrittäminen perustuu toteutetuista kohteista mitattuun riittävän suureen aineistoon. Talotyypikohtaisessa ilmanvuotoluvussa on oltava riittävästi varmuutta, jotta rakennuksen toteutunut ilmanvuotoluku olisi enintään talotyypikohtaisen ilmanvuotoluvun suuruinen. Laadunvarmistusmenettelystä esitetään se mittausaineisto ja tilastollinen laskenta, johon talotyypikohtainen ilmanvuotoluku perustuu. Selvityksessä esitetään myös lyhyesti ilmanpitävyyden varmistaminen suunnittelussa, rakennusosien tuotannossa ja työmaatoiminnoissa sekä ulkopuolinen laadunvalvonta.

# LIITE 4 Ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskenta (Moniste 122)

## 1 Johdanto

Tässä liitteessä käsitellään rakennuksen ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton (LTO) vuosihyötysuhteen ( $\eta_a$ ) laskennallista määrittämistä. Vuosihyötysuhdetta tarvitaan lämpöhäviöiden tasauslaskennassa, kun osoitetaan, että rakennuksen lämpöhäviö täyttää rakentamismääräysten vaatimukset. Tämä liite on päivitetty versio aiemmin julkaistusta ympäristöministeriön monisteesta 122 (2003). Päivitystarpeen on aiheuttanut rakentamismääräysten uudistuminen.

Asetuksen mukaan ilmanvaihdon poistoilmasta on otettava talteen lämpömäärä, joka vastaa vähintään 55 % ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemasta lämpömäärästä. Vastaava lämpöenergiatarpeen pienentäminen voidaan toteuttaa:

- 1) rakennuksen vaipan lämmöneristystä parantamalla;
- 2) rakennuksen vaipan ilmanpitävyyttä parantamalla; tai
- 3) vähentämällä ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemää lämpömäärää muulla tavalla kuin poistoilman lämmöntalteenotolla.

Vastaava lämpöenergiatarpeen pienentäminen osoitetaan rakennuksen lämpöhäviön tasauslaskennalla.

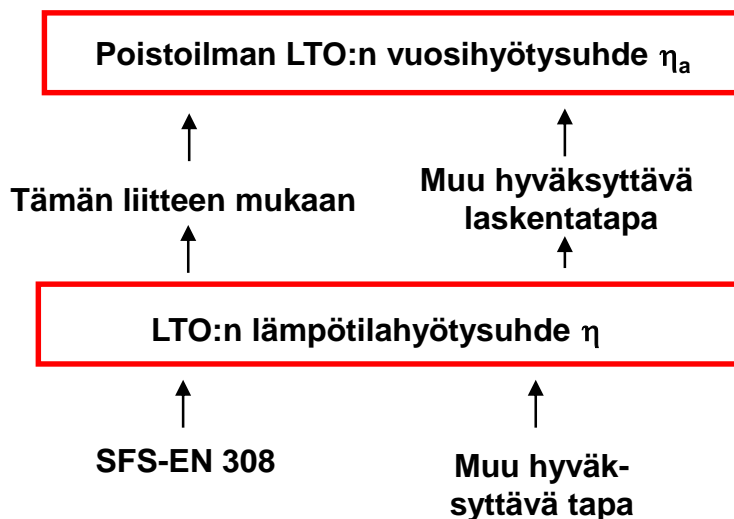
Lämpöhäviön tasauslaskennassa ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhteen vertailuarvona käytetään arvoa 55 %. Suunnitteluratkaisun ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhde voidaan määrittää tämän ohjeen mukaisilla laskelmilla. Laskentaan löytyy myös työkalu ympäristöministeriön internetsivuilta osoitteesta [www.ym.fi/rakentamismaaraykset](http://www.ym.fi/rakentamismaaraykset).

Laskennassa käytetään valmistajan ilmoittamaa esimerkiksi standardin SFS-EN 308 mukaan mitattua tuloilman lämpötilahyötysuhdetta (tulo- ja poistoilman massavirrat ovat yhtä suuret) tai voimassa olevan tyyppihyväksyntäohjeen mukaisella tavalla mitattua hyötysuhdetta. Lämpötilahyötysuhde määritellään todellisen suunnitteluratkaisun ilmavirralla.

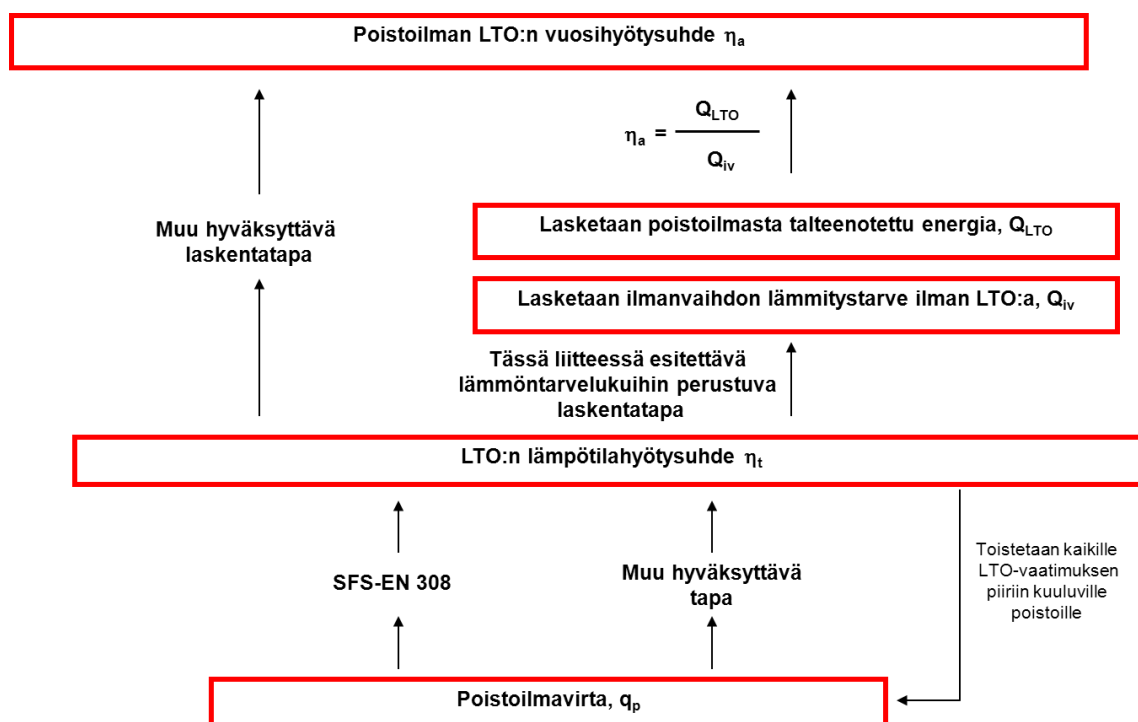
Vuosihyötysuhteen määrittämisessä on otettava huomioon tulo- ja poistoilmavirtojen suhde ja jäätymissuojauksen toiminta sekä mahdollinen tuloilman lämpötilan rajoittaminen.

Tässä liitteessä esitetään yksityiskohtaisemmat ohjeet, miten ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde voidaan laskea tuloilman lämpötilahyötysuhteen ja ulkolämpötilan pysyvyystietojen avulla.

Tässä kuvatut yksinkertaistetut menetelmät on tarkoitettu rakennuksen suunnitteluratkaisun määräystenmukaisuuden osoittamiseen. Menetelmät eivät pyri ottamaan huomioon kaikkia lämmitysenergiankulutukseen vaikuttavia tekijöitä todellisessa rakennuksessa ja todellisessa käytössä. Kuvassa 1 esitetään kaavio rakennuksen ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittämistavoista. Kuvassa 2 esitetään yksityiskohtaisempi kaavio rakennuksen ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittämiseksi.



Kuva 1. Kaavio rakennuksen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittämistavoista.



Kuva 2. Kaavio rakennuksen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittämiseksi määräystenmukaisuuden osoittamista ja siihen liittyvää tasauslaskelmaa varten.

## 2 Määritelmiä

### 2.1 Käsitteitä

**Poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen vertailuarvo** tarkoittaa asetuksessa esitettyä ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton (LTO) vaatimusta, joka pienentää 55 % ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemaa lämpömäärää. Mikäli lämmöntalteenotto on epätarkoituksenmukaista, voidaan rakennuksen tai sen yksittäisen tilan poistoilmavirran osalta luopua lämmöntalteenottovaatimuksesta ja käyttää kyseisen poistoilmavirran osalta LTO:n vuosihyötysuhteen vertailuarvona arvoa 0 %. Ulospuhallusilma on poistoilmaa, joka johdetaan rakennuksesta ulos.

**Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemalla lämpömäärällä** tarkoitetaan sitä lämpömäärää, joka tarvitaan ilmanvaihdon ilmavirran lämmittämiseksi ulkoilman lämpötilasta huonelämpötilaan. Lämpöhäviön tasauslaskelmissa ei oteta huomioon rakennukseen tulevia tai rakennuksessa syntyviä ilmaislämpöjä, joten lämpömäärän lämpötilaeron käytetään sisälämpötilan ja ulkolämpötilan välistä erotusta ja sisälämpötilan oletetaan olevan koko vuoden ajan vakio. Mitoittava sisälämpötila on +21 °C, jollei rakennuksen käyttötarkoituksesta tai muusta vastaavasta syystä johtuen ole perusteltua käyttää muuta arvoa.

**Rakennuksen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde** on lämmöntalteenottolaitteistolla talteenotettavan ja hyödynnettävän lämpömäärän suhde rakennuksen ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemaan lämpömäärään, kun rakennuksessa ei ole lämmöntalteenottoa. Rakennuksen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteella ei siis tarkoiteta yksittäisen ilmanvaihtokoneen tuloilman lämmittämisen vuosihyötysuhdetta. Vuotoilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemaa lämpömäärää ei oteta vuosihyötysuhteen laskennassa huomioon.

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

**Lämmön talteenottovaatimuksen piiriin kuuluva poistoilmavirta** sisältää kaikki muut kuin asetuksen mukaan epätarkoituksenmukaiseksi osoitetut poistoilmavirrat. Lämmöntalteenotto on epätarkoituksenmukaista, jos poistoilman poikkeuksellinen likaisuus estää lämmöntalteenoton toiminnan, puolilämpimän 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 sen poistoilmavirrat eivät kuulu lämmöntalteenottovaatimuksen piiriin.

**Sisälämpötilalla** lämpöhäviön 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** on LTO:ssa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen suhde poistoilman ja ulkoilman väliseen lämpötilaerotukseen. Tuloilman lämpötilahyötysuhteeseen vaikuttaa lämmöntalteenottolaitteen rakenteen lisäksi tulo- ja poistoilmavirtojen suhde. Poistoilman lämmöntalteenottolaitteistojen erityyppisten lämmönsiirtimien tuloilman lämpötilahyötysuhteet ovat tyypillisesti:

- virtaavan väliaineen välityksellä lämpöä siirtävät lämmönsiirryhdistelmät: 40 - 60 %
- ristivirtalevyllämmönsiirtimet: 50 - 70 %
- vastavirtalevyllämmönsiirtimet: 60 - 80 %
- regeneratiiviset lämmönsiirtimet: 60 - 80 %.

**Poistoilman lämpötilahyötysuhde** on LTO:ssa tapahtuvan poistoilman jäähtymisen suhde poistoilman ja ulkoilman väliseen lämpötilaerotukseen.

**Lämmöntarveluku** on lämmitysenergian tarvetta kuvaava lämpötilaeron ja esiintymisajan tulo. Tässä oppaassa lämmöntarveluvut lasketaan lämmityskaudelle eli jaksolle, jolla ulkoilman lämpötila on alle +12 °C.

## 2.2 Lämmöntalteenotto erikoistapauksissa

Lämpöhäviövaatimusten täyttämiseksi on käytössä rajalliset keinot. Poistoilman lämmöntalteenotossa puhutaan yleensä poistoilmasta tuloilmaan lämpöä siirtävistä lämmöntalteenottolaitteista. Muille lämmöntalteenottotavoille voidaan käyttää tässä liitteessä esitettyä menettelytapaa soveltuvin osin. Oppaassa on kuvattu määräysten mukaisuuden osoittamistavat yksityiskohtaisesti. Seuraavassa esitetään muutamia rajoituksia, jotka tulee ottaa huomioon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta määriteltäessä

### Tarpeenmukainen ilmanvaihto ei ole poistoilman lämmöntalteenottoratkaisu

- ilmanvaihtoa tulee käyttää ja ohjata tarpeen mukaan, suunnitteluratkaisussa ei saa käyttää pienempää ilmanvaihdon ilmavirtaa kuin vertailuratkaisussa vaan kummassakin tapauksessa käytetään samoja ilmavirtoja

### Tulo- tai poistoilmaikkuna eivät ole poistoilman lämmöntalteenottoratkaisuja

- tulo- tai poistoilmaikkunassa ei voi myöskään käyttää muista ikkunoista poikkeavasti määritettyjä U-arvoja tasauslaskelmissa, jollei selvityksin toisin osoiteta

### Varaajaan poistoilmasta lämpöä siirtävät lämmöntalteenottoratkaisut

- esimerkiksi lämmitysvesivaraajaa lämmittävä ilmanvaihdon lämmöntalteenottoratkaisu hyväksytään LTO-ratkaisuksi tasauslaskennassa vain siltä osin kuin talteenotettu lämpö hyödynnetään lämmityksessä.

### Lämpöpumppu poistoilman lämmöntalteenottoratkaisuna

- jos poistoilman lämmöntalteenotossa käytetään lämpöpumppua, otetaan vuosihyötysuhdetta laskettaessa huomioon ainoastaan poistoilmasta höyrystimeen siirtyvä (talteenotettu) lämpöenergia. Ulkoilman lämpötilaa kylmemmäksi jäädytetystä poistoilmasta saatua lämpöä ei lasketa mukaan talteenotettuun lämpöenergiaan. Kompressorin tekemä työ ei ole myöskään lämmöntalteenottoa. Tuloilmaan, huoneilmaan tai varaajaan siirtyvä lämpömäärä lauhduttimesta on siis suurempi kuin höyrystimellä talteenotettu lämpömäärä. Lauhdutinlämpö on voitava hyödyntää lämmityksessä.

### Laitesähkönkulutus ei kuulu lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittämisen ja tasauslaskennan piiriin

- esimerkiksi ilmanvaihdon puhaltimien ja pumppujen sähkönkulutus

Määräystenmukaisuus osoitetaan ja ilmanvaihdon lämmitysenergian tarve lasketaan erikseen lämpimille tiloille ja puolilämpimille tiloille. Lämpimien tilojen lämpöhäviöiden pienentämisestä ei voi saada etua puolilämpimien tilojen tasauslaskennassa.

## 2.3 Liitteessä 4 käytetyt merkinnät

*Merkinnät poikkeavat osittain muulla oppaassa käytetyistä merkinnöistä historiallisista syistä.*

$c_p$	ilman ominaislämpökapasiteetti, J/kgK, (= 1006 J/kgK)
$Q_{iv}$	ilmanvaihdon tarvitsema lämmitysenergia lämmityskaudella, kWh
$Q_{LTO}$	poistoilmasta talteenotettu energia lämmityskaudella, kWh
$q_p$	lämmöntalteenottovaatimuksen piiriin kuuluvien poistoilmavirtojen summa, m <sup>3</sup> /s
	HUOM. Muualla oppaassa käytetään merkintää $q_{v,p}$
$q_{p,i}$	lämmöntalteenottovaatimuksen piiriin kuuluva poistoilmavirta (i), m <sup>3</sup> /s
$q_{pLTO}$	lämmöntalteenoton läpi kulkeva poistoilmavirta, m <sup>3</sup> /s
$q_{ep1}$	lämmöntalteenottovaatimuksen piiriin <u>kuuluvan</u> erillispoiston ilmavirta, m <sup>3</sup> /s
$q_{ep2}$	lämmöntalteenottovaatimuksen piiriin <u>kuulumattoman</u> erillispoiston ilmavirta, m <sup>3</sup> /s
$q_{tLTO}$	lämmöntalteenoton läpi kulkevan tuloilmavirran tilavuusvirta, m <sup>3</sup> /s
$R_T$	ilmanvaihtokoneen tuloilmavirran ja lämmöntalteenottovaatimuksen piiriin kuuluvien poistoilmavirtojen summan suhde, -
$R_P$	ilmanvaihtokoneen poistoilmavirran ja lämmöntalteenottovaatimuksen piiriin kuuluvien poistoilmavirtojen summan suhde, -
$R_{LTO}$	lämmöntalteenoton läpi kulkevan tuloilmavirran ja poistoilmavirran suhde, -
$S_S$	sisäilman lämpötilan $t_s$ ja ulkoilman lämpötilan $t_u$ välinen lämmöntarveluku, Kd
$S_T$	tuloilman lämpötilan $t_{tLTO}$ (LTO:n jälkeen) ja ulkoilman lämpötilan $t_u$ välinen lämmöntarveluku, Kd
$S_J$	jäteilman lämpötilan $t_j$ (poistoilma LTO:n jälkeen, nykyisin käytetään myös nimitystä ulospuhallusilma) ja sisäilman lämpötilan $t_s$ välinen lämmöntarveluku, Kd
$t_s$	sisäilman lämpötila, °C (on tässä monisteessa sama kuin $t_p$ eli poistoilman lämpötila)
$t_j$	jäteilman lämpötila (poistoilma LTO:n jälkeen, nykyisin käytetään myös nimitystä ulospuhallusilma), °C
$t_{tLTO}$	tuloilman lämpötila LTO:n jälkeen, °C
$t_u$	ulkoilman lämpötila, °C
$\eta_a$	ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde, -
$\eta_p$	lämmöntalteenoton poistoilman lämpötilahyötysuhde, -
$\eta_t$	lämmöntalteenoton tuloilman lämpötilahyötysuhde, -
$\Delta\tau$	aikajakso, jolloin ko. lämpötilaero esiintyy, d
$\rho$	ilman tiheys, kg / m <sup>3</sup> , (= 1,2 kg/m <sup>3</sup> )

HUOM. kaikki esitetyt ilmavirrat vastaavat ilman tiheyttä 1,2 kg/m<sup>3</sup>.

## 3 Rakennuksen ilmanvaihto

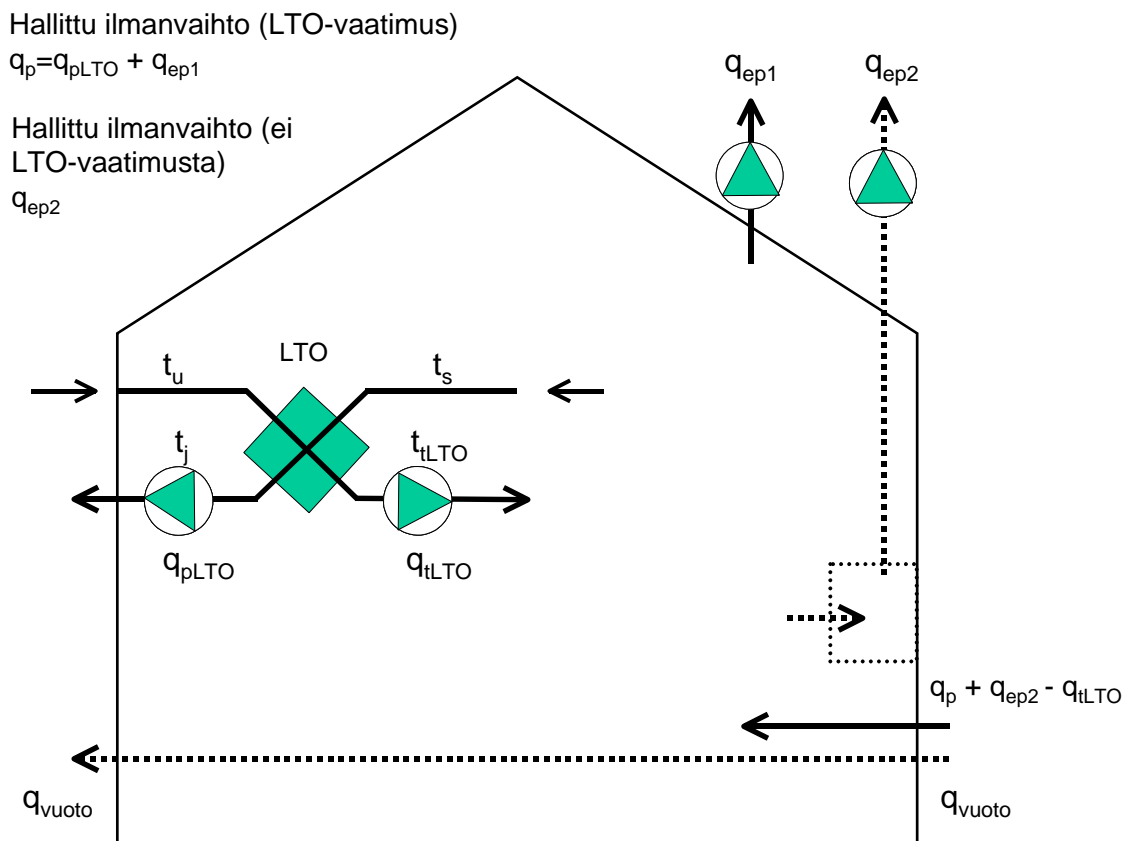
### 3.1 Rakennuksen ilmavirrat

Poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittämisessä ja määräystenmukaisuuden osoittamisessa käytetään kuvassa 3 määriteltyjä ilmavirtoja.

Lämmöntalteenottovaatimuksen piiriin kuuluva kokonaispoistoilmavirta ( $q_p$ ) koostuu lämmöntalteenoton kautta menevistä poistoilmavirroista ( $q_{pLTO}$ ) ja niistä erillisistä poistoilmavirroista ( $q_{ep1}$ ), jotka kuuluvat lämmöntalteenottovaatimuksen piiriin. Lisäksi rakennuksessa voi olla tiloja, joissa lämmöntalteenotto on osoitettu epätarkoituksenmukaiseksi asetuksen mukaisesti (esim. poistoilman likaisuus tai kylmyys). Näiden tilojen erilliset poistot ( $q_{ep2}$ ) esitetään määräystenmukaisuutta osoittaessa erikseen.

Koska rakennukset tulee suunnitella lämmityskaudella yleensä aina alipaineisiksi ulkoilmaan verrattuna, hallittu tuloilmavirta on aina hieman pienempi kuin hallittu poistoilmavirta. Tällöin osa ilmasta tulee vuotoina ( $q_p + q_{ep2} - q_{tLTO}$ ) rakenteiden kautta tai ulkoilmalaitteiden kautta. Tulo- ja poistoilmavirtojen ero otetaan huomioon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteessa.

Lisäksi rakennuksissa on aina hallitsematonta vuotoilmanvaihtoa ( $q_{vuoto}$ ), joka riippuu vaipan ilmanpitävyydestä, lämpötila- ja paine-eroista, tuulesta, rakennuksen korkeudesta ym. Vuotoilmanvaihto on ns. "läpituulemista". Yhtä suuri vuotoilmavirta virtaa sisään rakennukseen kuin virtaa ulos rakennuksesta. Vuotoilmavirta ( $q_{vuoto}$ ) esitetään määräystenmukaisuutta osoittaessa erikseen.



Kuva 3. Poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittämisessä ja määräystenmukaisuuden osoittamisessa käytettävät ilmavirrat.

### 3.2 Laskennassa käytettävät ilmavirrat

Asetuksessa esitetään rakennustyyppi-kohtaiset vakioidun käytön ilmavirrat ja ilmanvaihdon käyntiajat, joita on käytettävä lämpöhäviöiden tasauslaskennassa. Ilmanvaihdon ilmavirta on sama vertailu- ja suunnitteluratkaisussa. Rakennuksen ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittämisessä käytetään kuitenkin suunniteltuja ilmavirtoja. Tämä siksi, että vakioidun käytön kokonaisilmavirtaa ei ole mielekäästä jakaa rakennuksen eri tilojen ja ilmanvaihtokoneiden kesken. Myöskään suunnitteluilmavirtojen perusteella valittujen ilmanvaihtokoneiden suoritusarvojen määrittäminen kuvitteellisessa vakioidun käytön toimintapisteessä ei olisi ongelmattonta.

Rakennuksen ilmanvaihdon suunniteltu poistoilmavirta  $q$  määritetään sisäilmastoa ja ilmanvaihtoa koskevan asetuksen ja siihen liittyvien oppaiden mukaan lähtien ilmanvaihdon tila- ja toimintokohtaisista tarpeista ja ilmavirtojen ohjearvoista.

Tasauslaskennassa käytettävän ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskennassa käytettävät ominaisilmavirrat ja käyntiajat esitetään tämän oppaan tekstiosan kohdassa 3.5.2. LTO-vaatimuksen ulkopuolelle jäävien tilojen suunnitellut poistoilmavirrat lisätään tasauslaskentaan erikseen omaan kohtaansa. Nämä ilmavirrat eivät sisälly yleensä standardikäytön kokonaisilmavirtaan.

Seuraavalla sivulla olevassa laskentaesimerkissä esitetään keskimääräisten suunnitteluilmavirtojen laskenta. Muuttuvilmavirtaisissa ilmanvaihtojärjestelmissä voidaan käyttää arvioitua



keskimääräistä ilmavirtaa, mikäli tarkempaa tietoa tarpeenmukaisuudesta ei ole. Ilmanvaihtolaitoksen käyntiaikojen on vastattava mahdollisimman hyvin rakennuksen tulevaa käyttöä.

Esimerkki:

Pienehkössä virastotalossa toimii poliisilaitos ja verotoimisto. Taulukoissa 1 ja 2 esitetään rakennuksen eri ilmanvaihtokoneiden käyntiajat ja poistoilmavirrat. Lähtötiedot ovat kuvitteellisia.

Taulukko 1. Rakennuksen eri ilmanvaihtokoneiden tiedot.

Tila	Ilmanvaihdon käyntiaika	Poistoilmavirta q, m <sup>3</sup> /s	LTO
<b>Poliisilaitos</b>			
kanslia	ma-pe 6-18	0,6	on
muut tilat	ma-su 0-24	1,5	on
erillispoistot	ma-su 0-24	0,2	ei
<b>Verotoimisto</b>			
toimistotilat	ma-pe 6-18	1,2	on
erillispoistot	ma-su 0-24	0,3	ei
<b>Yhteensä</b>		<b>3,8</b>	
<b>Jätehuone</b>	ma-su 0-24	0,1	ei vaad.

Taulukko 2. Rakennuksen eri ilmanvaihtokoneiden käyttöajoilla painotetun poistoilmavirran laskenta.

Tila	Vuorokautinen käyntiaikasuhde, t <sub>d</sub>	Viikottainen käyntiaikasuhde, t <sub>v</sub>	Käyttöajoilla painotettu poistoilmavirta, m <sup>3</sup> /s t <sub>d</sub> x t <sub>v</sub> x q = q <sub>p</sub>
<b>Poliisilaitos</b>			
kanslia	12/24	5/7	12/24x5/7x0,6= <b>0,2</b>
muut tilat	24/24	7/7	<b>1,5</b>
erillispoistot	24/24	7/7	<b>0,2</b>
<b>Verotoimisto</b>			
toimistotilat	12/24	5/7	12/24x5/7x1,2= <b>0,4</b>
erillispoistot	24/24	7/7	<b>0,3</b>
<b>Yhteensä</b>			<b>2,6</b>
Tilat, jotka eivät kuulu lämmöntalteenoton piiriin			Poistoilmavirta, m <sup>3</sup> /s t <sub>d</sub> x t <sub>v</sub> x q = q <sub>ep2</sub>
<b>Jätehuone</b>	24/24	7/7	<b>0,1</b>

Virastotalon suunniteltu kokonaispoistoilmavirta q<sub>p</sub> on 2,6 m<sup>3</sup>/s. Tätä käytetään vuosihyötysuhdetta laskettaessa. Jätehuoneen suunniteltu poistoilmavirta, joka ei kuulu LTO-vaatimuksen piiriin, esitetään määräystenmukaisuutta osoitettaessa tasauslaskennassa kohdassa "Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta".

## 4 Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhteet

Ilmanvaihdon lämmöntalteenottolaitteen kykyä ottaa poistoilmasta lämpöä talteen voidaan kuvata tuloilman lämpötilahyötysuhteella ja poistoilman lämpötilahyötysuhteella.

Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton tuloilman ja poistoilman lämpötilahyötysuhteet soveltuvat molemmat käytettäväksi lämmöntalteenotolla varustettujen tulo- ja poistoilmanvaihtokoneiden laskennassa. Jos poistoilman lämmöntalteenotto toteutetaan erillisenä esimerkiksi nestekiertoisena järjestelmänä, laskenta suositellaan tehtäväksi selvyyden vuoksi poistoilman lämpötilahyötysuhteen avulla. Tällaisessa järjestelmässä ei aina ole löydettävissä selviä poisto- ja tuloilmavirtapareja. Pääsääntöisesti lämmöntalteenoton laskelmissa käytetään valmistajan ilmoittamaa standardin SFS-EN 308:1997 mukaan laskettua tuloilman lämpötilahyötysuhdetta. Hyötysuhde määritetään yhtä suurilla tuloilman ja poistoilman massavirroilla, lämmönsiirtimet kuivina ja ilman jäähtymisen estoja tai tuloilman lämpötilan rajoituksia. Tällöin tulo- ja poistoilman lämpötilahyötysuhteet ovat yhtä suuria.

Poistoilmapuhaltimen vaikutusta poistoilman lämpötilaan ei tarvitse ottaa tämän monisteen laskelmissa huomioon. Kanavistossa tapahtuva ilmapvirran lämpeneminen ja jäähtyminen on otettava laskelmissa huomioon, jos ne vaikuttavat rakennuksen lämpötaseeseen oleellisesti. Määräystenmukaisuuden osoittamisessa asianmukaisesti lämpöeristettyjen ulko- ja jäteilmakanavan lämpöhäviöt voidaan yleensä jättää huomioon ottamatta. Poistoilman lämpötilahyötysuhdetta tarvitaan, kun lasketaan jäähtymisen estoon tarvittavaa lämpötilanhyötysuhteen säätämistä poistopuolella. Tuloilman lämpötilahyötysuhdetta tarvitaan, jos tuloilman lämpötilaa rajoitetaan lämmityskaudella lämmöntalteenottoa heikentämällä.

Tuloilman lämpötilahyötysuhde on

$$\eta_t = \frac{(t_{LTO} - t_u)}{(t_s - t_u)} \quad (1)$$

Poistoilman lämpötilahyötysuhde on

$$\eta_p = \frac{(t_s - t_j)}{(t_s - t_u)} \quad (2)$$

Esimerkki:

Eräs valmistaja ilmoittaa seuraavat lämpötilat ilmanvaihtokoneen mitoituslaskelmassa, joka on tehty ulkoilman lämpötilalla  $t_u$  on 0 °C.

Sisäilman lämpötila  $t_s$  on 21 °C

Tuloilman lämpötila LTO:n jälkeen  $t_{LTO}$  on 15 °C

Jäteilman lämpötila LTO:n jälkeen  $t_j$  on 8 °C

Tuloilman lämpötilahyötysuhde  $\eta_t = (15 - 0)/(21 - 0) = 71 \%$

Poistoilman lämpötilahyötysuhde  $\eta_p = (21 - 8)/(21 - 0) = 62 \%$

Tuloilman lämpötilahyötysuhteen ja poistoilman lämpötilahyötysuhteen yhteys saadaan lämpötaseen perusteella asettamalla poistoilmasta otettu lämpöteho samaksi kuin tuloilmaan siirtyvä lämpöteho

$$c \rho q_{pLTO} (t_s - t_j) = c \rho q_{tLTO} (t_{LTO} - t_u) \quad (3)$$

Korvaamalla molempien puolien lämpötilaerot poisto- ja tuloilman lämpötilahyötysuhteilla (1) ja (2) saadaan yhtälö (3) muotoon

$$c \rho q_{pLTO} \eta_p (t_s - t_u) = c \rho q_{iLTO} \eta_t (t_s - t_u) \quad (4)$$

olettamalla ominaislämpökapasiteetit ja tiheydet yhtä suuriksi saadaan yhtälö muotoon

$$\eta_p = \eta_t R_{LTO} \quad (5)$$

missä  $R_{LTO}$  on lämmöntalteenoton läpi kulkevien tuloilmavirran ja poistoilmavirran suhde

$$R_{LTO} = \frac{q_{iLTO}}{q_{pLTO}} \quad (6)$$

Jos lämmöntalteenottolaitteen valmistaja ilmoittaa tuloilman lämpötilahyötysuhteen epäsuhteisilla ilmavirroilla, niin poistoilman lämpötilahyötysuhde voidaan laskea siitä yhtälöllä (5). Tuloilman lämpötilahyötysuhde yhtä suurilla ilmavirroilla voidaan laskea epäsuhteisilla ilmavirroilla ilmoitetusta lämpötilahyötysuhteesta riittävällä tarkkuudella seuraavasti

$$\eta_{t(R_{LTO}=1)} = \frac{(1 + R_{LTO})}{2} \eta_{t(R_{LTO})} \quad (7)$$

ja päinvastoin

$$\eta_{t(R_{LTO})} = \frac{2}{(1 + R_{LTO})} \eta_{t(R_{LTO}=1)} \quad (8)$$

Esimerkki:

Edellisen esimerkin ilmanvaihtokoneen ilmavirrat eivät olleet tasapainossa, koska tulo- ja poistoilman lämpötilahyötysuhteet poikkesivat toisistaan. Tuloilmavirta on 1,3 m<sup>3</sup>/s ja poistoilmavirta on 1,5 m<sup>3</sup>/s. Seuraavassa lasketaan samalle koneelle yhtä suurilla ilmavirroilla vastaava tuloilman lämpötilahyötysuhde.

Lasketaan tulo- ja poistoilmavirran suhde  $R_{LTO}$  lasketaan yhtälön (6) mukaan

$$R_{LTO} = q_t/q_p = 1,3 / 1,5 = 0,87$$

Yhtälön (7) mukaan

$$\eta_{t(R_{LTO}=1)} = (1 + 0,87)/2 \times 71 \% = \underline{66 \%}$$

## 5 Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskenta lämmöntarveluvuilla

### 5.1 Ilmanvaihdon lämmityksen energiantarve

Ilmanvaihdon tarvitsema lämmitysenergia lämmityskaudella  $Q_{iv}$  määritellään rakennuksen ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittämistä varten osan asetuksen mukaisesti kaikkien lämmöntalteenottovaatimuksen piiriin kuuluvien poistoilmavirtojen tarvitsemana lämmitysenergiana siinä tapauksessa, että lämmöntalteenottoa ei ole eli

$$Q_{iv} = \sum_i Q_{iv,i} = Q_{iv,1} + Q_{iv,2} + Q_{iv,3} + \dots \quad (9)$$

$$Q_{iv,i} = c_p \rho q_{p,i} \sum (t_s - t_u) \Delta \tau \quad (10)$$

missä	$c_p$	on ilman ominaislämpökapasiteetti, J / kg K
	$\rho$	ilman tiheys, kg / m <sup>3</sup>
	$q_{p,i}$	lämmöntalteenoton vaatimusten piiriin kuuluva poistoilmavirta (i), m <sup>3</sup> / s
	$t_s$	sisäilman lämpötila (= poistoilman lämpötila), °C
	$t_u$	ulkoilman lämpötila, °C
	$\Delta \tau$	aikajakso vuodesta, jolloin lämpötilaero ( $t_s - t_u$ ) esiintyy, d

Yhtälössä (10) summalausekkeen sisä- ja ulkoilman lämpötilaeron ja aikajakson tulo vastaa sisäilman ja ulkoilman lämpötilan välistä lämmöntarvelukua  $S_s$

$$S_s = \sum (t_s - t_u) \Delta \tau \quad (\text{pinta-ala } A \text{ kuvassa 4}) \quad (11)$$

missä	$S_s$	on sisäilman lämpötilan $t_s$ ja ulkoilman lämpötilan $t_u$ välinen lämmöntarveluku lämmityskaudella, Kd
-------	-------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------

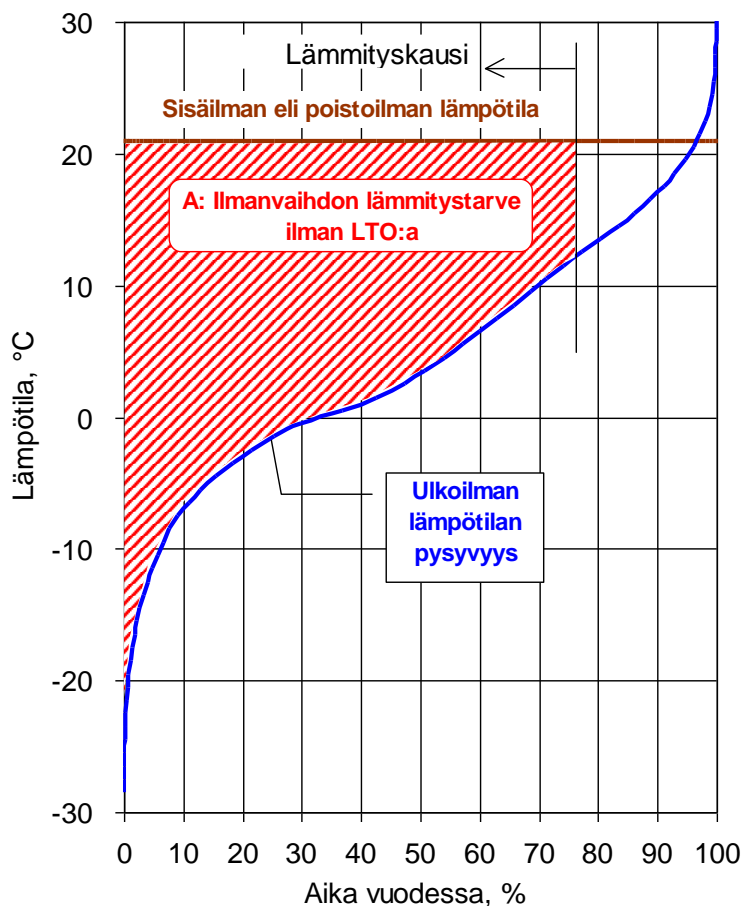
Yhtälö (10) voidaan esittää lämmöntarveluvun avulla myös yksinkertaisemmassa muodossa

$$Q_{iv} = c_p \rho \sum_i q_{p,i} S_{s,i} \quad (12)$$

tai

$$Q_{iv} = c_p \rho q_p S_s \quad (13)$$

missä	$q_p$	on lämmöntalteenottovaatimuksen piiriin kuuluvien poistoilmavirtojen summa, m <sup>3</sup> /s
-------	-------	-----------------------------------------------------------------------------------------------



Kuva 4. Ulkoilman ja sisäilman välinen viivoitettu alue (A) on ilmanvaihdon vuotuinen lämmitystarve, kun LTO:a ei ole. Pinta-ala A vastaa lämmöntarvelukua  $S_s$ . Lämmitystarvelaskelmat tehdään lämmityskaudelle, joka päättyy, kun ulkoilman lämpötila ylittää  $12\text{ °C}$ .

Yleensä rakennuksen määräystenmukaisuuden osoittamiseen riittää sisäilman lämpötilassa  $21\text{ °C}$  tai vastaavassa keskilämpötilassa tehty tarkastelu. Useimmissa tapauksissa on perusteltua käyttää mitoittavaa sisälämpötilaa  $21\text{ °C}$  koko rakennukselle, vaikka rakennuksessa olisikin eri lämpöisiä tiloja. Laskentaa suoritettaessa ei välttämättä ole tarkempia tietoja käytettävissä. Vakiolämpötilaa käytettäessä ei synny ristiriitaa ilmanvaihdon ja vaipan rakennusosien lämpöhäviöiden käsittelytapojen välille määräystenmukaisuutta osoitettaessa.

Jos rakennuksessa on useamman lämpöisiä tiloja, voidaan tarvittaessa laskea pinta-alalla tai yhtälön (16) mukaisesti tilojen poistoilmavirroilla painotettu keskilämpötila, jota käytetään lämmöntarveluvun määrittämiseen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta laskettaessa.

$$t_s = \frac{\sum_i q_{p,i} t_{s,i}}{\sum_i q_{p,i}} \quad (14)$$

## 5.2 Poistoilmasta talteenotettu lämpöenergia

Poistoilmasta talteenotettu lämpöenergia lämmityskaudella  $Q_{LTO}$  voidaan esittää poistoilmavirtakohtaisesti yhtälöitä (9) ja (10) muistuttavissa muodoissa eli

$$Q_{LTO} = \sum_i Q_{LTO,i} = Q_{LTO,1} + Q_{LTO,2} + Q_{LTO,3} + \dots \quad (15)$$

$$Q_{LTO,i} = c_p \rho q_{p,i} \sum (t_s - t_j) \Delta\tau \quad (16)$$

missä	$c_p$	on ilman ominaislämpökapasiteetti, J / kg K
	$\rho$	ilman tiheys, kg / m <sup>3</sup>
	$q_{p,i}$	lämmöntalteenoton vaatimusten piiriin kuuluva poistoilmavirta (i), m <sup>3</sup> / s
	$t_s$	sisäilman lämpötila (= poistoilman lämpötila), °C
	$t_j$	jäteilman lämpötila (= poistoilman lämpötila LTO:n jälkeen), °C
	$\Delta\tau$	aikajakso vuodesta, jolloin lämpötilaero ( $t_s - t_j$ ) esiintyy, d

Jos koneellisen poiston jäteilma puhalletaan rakennuksesta ulos sisäilman lämpötilassa, poistoilmasta talteenotettu lämpöenergia on 0. Jos jäteilma pystyttäisiin puhaltamaan rakennuksesta ulos aina ulkoilman lämpötilassa, poistoilmasta talteenotettu lämpöenergia olisi sama kuin ilmanvaihdon tarvitsema lämmitysenergia  $Q_{iv}$ .

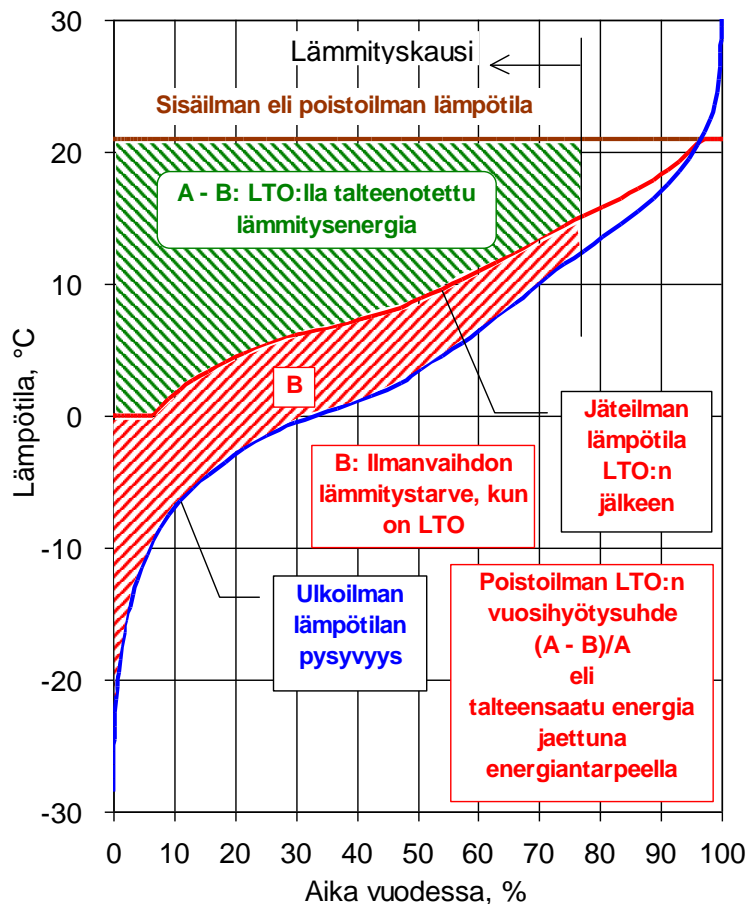
Yhtälössä (16) summalausekkeen sisälämpötilan ja jäteilman lämpötilan erotuksen ja aikajakson tulo vastaa sisäilman ja jäteilman välistä lämmöntarvelukua  $S_J$

$$S_J = \sum (t_s - t_j) \Delta\tau \quad (\text{pinta-ala A - B kuvassa 5}) \quad (17)$$

missä	$S_J$	on sisäilman lämpötilan $t_s$ ja jäteilman lämpötilan $t_j$ välinen lämmöntarveluku lämmityskaudella, Kd
-------	-------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------

Yhtälö (16) voidaan esittää lämmöntarveluvun avulla myös yksinkertaisemmassa muodossa

$$Q_{LTO} = c_p \rho \sum_i q_{p,i} S_{J,i} \quad (18)$$



Kuva 5. Jäteilman ja sisäilman välinen viivoitettu alue (A - B) on ilmanvaihdon poistoilmasta talteenotettu vuotuinen lämpöenergia. Pinta-ala A - B vastaa lämmöntarvelukua  $S_j$ . Ulkoilman ja jäteilman välinen viivoitettu alue (B) on ilmanvaihdon vuotuinen lämmitystarve, kun on LTO. LTO:n huurtumisenesto on toteutettu rajoittamalla jäteilman lämpötila  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ :een. Tuloilman lämpötilaa kuvan tapauksessa ei ole rajoitettu.

Yksittäiselle tulo- ja poistoilmanvaihtokoneelle lämmöntalteenoton lämmönsiirtimessä toteutuvan lämpötaseen perusteella talteenotetun lämpöenergian  $Q_{LTO,i}$  laskenta voidaan tehdä myös tuloilmapuolelle, mikä on ilmastointialalla yleisemmin käytetty tapa kuin poistoilmapuolelle tehty tarkastelu. Tarkastelun perusteet on esitetty useissa oppikirjoissa mm. Seppänen 1996. Poistoilmasta talteenotettu lämpöenergia voidaan esittää myös tuloilman lämmitysenergiana eli

$$Q_{LTO,i} = c_p \rho q_{LTO,i} \sum (t_{LTO} - t_u) \Delta \tau \quad (19)$$

missä	$c_p$	on ilman ominaislämpökapasiteetti, J / kg K
	$\rho$	ilman tiheys, kg / m <sup>3</sup>
	$q_{LTO,i}$	lämmöntalteenoton läpi kulkeva tuloilmavirta (i), m <sup>3</sup> /s
	$t_{LTO}$	tuloilman lämpötila LTO:n jälkeen, °C
	$t_u$	ulkoilma lämpötila, °C
	$\Delta \tau$	aikajakso vuodesta, jolloin lämpötilaero ( $t_{LTO} - t_u$ ) esiintyy, d

Yhtälössä (19) summalausekkeen tuloilman lämpötilan ja ulkoilman lämpötilan erotuksen ja aikajakson tulo vastaa tuloilman ja ulkoilman välistä lämmöntarvelukua lämmityskaudella  $S_T$

$$S_T = \sum (t_{LTO} - t_u) \Delta \tau \quad (\text{pinta-ala A - B kuvassa 6}) \quad (20)$$

missä	$S_T$	on LTO:n jälkeisen tuloilman lämpötilan $t_{LTO}$ ja ulkoilma lämpötilan $t_u$ välinen lämmöntarveluku lämmityskaudella, Kd
-------	-------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

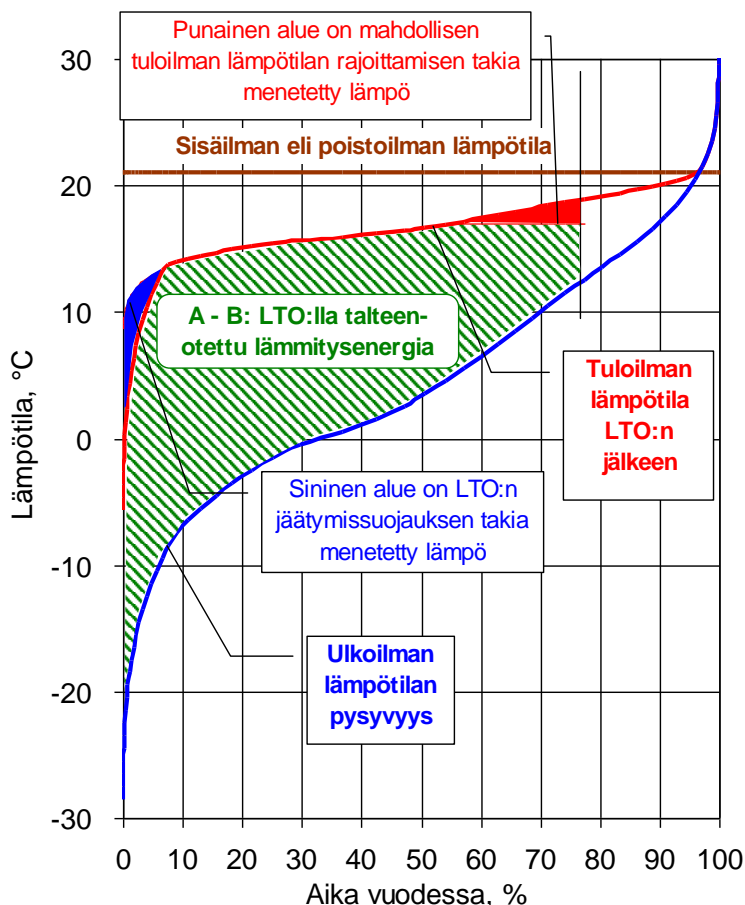
Yhtälö (19) voidaan esittää myös yksinkertaisemmassa muodossa

$$Q_{LTO,i} = c_p \rho q_{LTO,i} S_{T,i} \quad (21)$$

Talteenotettu lämpöenergia voidaan esittää myös yhtälöä (18) vastaavassa muodossa

$$Q_{LTO} = c_p \rho \sum_i q_{LTO,i} S_{T,i} \quad (22)$$





Kuva 6. Ulkoilman ja tuloilman välinen viivoitettu alue (A - B) on ilmanvaihdon poistoilmasta tuloilmaan talteenotettu vuotuinen lämpöenergia. Pinta-ala A - B vastaa lämmöntarvelukua  $S_T$ . LTO:n jäätyminenesto on toteutettu rajoittamalla jäteilmän lämpötila  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ :een. Sininen alue vastaa jäätymineneston vuoksi menetettyä energiaa. Tuloilman lämpötila on kuvan tapauksessa rajoitettu  $17\text{ }^{\circ}\text{C}$ :een. Punainen alue vastaa tuloilman lämpötilarajoituksen vuoksi menetettyä energiaa. Tuloilman lämpötilaa ei ole syytä rajoittaa LTO:a heikentämällä, jos rakennuksessa on lämmitystarvetta.

Laskennassa on otettava huomioon lämpötilahyötysuhteen heikentäminen esimerkiksi ohittamalla LTO, jotta lämmönsiirrin ei jäätyisi. Lisäksi joissain tapauksissa lämpötilahyötysuhdetta heikennetään, jotta LTO:n jälkeinen tuloilman lämpötila ei ylittäisi annettua raja-arvoa. Jäätyminenestossa tarvitaan tulo- ja poistoilmavirtojen ja hyötysuhteiden yhteyttä, joka on esitetty kohdassa 4.

Jäteilmän jäätymineneston rajoituslämpötilan asettaminen on ongelmallista, koska siihen vaikuttaa sekä rakennus ja sen sisäiset lämpö- ja kosteuskuormat että ilmanvaihtojärjestelmä ja lämmöntalteenottolaitteen tyyppi. Useat edellä mainitut asiat eivät ole tiedossa siinä suunnitteluvaiheessa, kun laskelmat suoritetaan. Jäätymineneston rajoituslämpötilan pienillä muutoksilla ei ole kovin suurta merkitystä rakennuksen vuosihyötysuhteessa. Vuosihyötysuhteen laskennassa voidaan jäätymineneston ohjeellisena rajoituslämpötilana käyttää kuivissa toimistotiloissa jäteilmän lämpötilaa  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  ja tavanomaisissa asuintiloissa  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , jos laitteen valmistaja, jäätymissuojauksen ja käyttöolosuhteet sen sallivat [Nyman 2003].

Vaikka jäteilmän keskilämpötila olisikin yli 0 °C, voi osa jäteilmasta jäähtyä alle 0 °C:een, koska jäteilmavirtauksen lämpötilajakautuma lämmöntalteenoton lämmönsiirtimessä on epätasainen. Jäätymissuojauksen vaikutus suurenee paremmilla lämpötilahyötysuhteilla ja Helsinkiä kylmemmissä sääoloissa.

### 5.3 Vuosihyötysuhteen laskenta

Rakennuksen ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde määritellään talteenotetun lämpöenergian  $Q_{LTO}$  ja kaikkien lämmöntalteenottovaatimusten piiriin kuuluvien poistoilmavirtojen mukana rakennuksesta poiskulkeutuvan lämpöenergian  $Q_{iv}$  suhteena eli

$$\eta_a = \frac{Q_{LTO}}{Q_{iv}} \quad (23)$$

eli

$$\eta_a = \frac{c_p \rho \sum_i q_{iLTO,i} S_{T,i}}{c_p \rho \sum_i q_{p,i} S_{S,i}} = \frac{c_p \rho \sum_i q_{p,i} S_{J,i}}{c_p \rho \sum_i q_{p,i} S_{S,i}} \quad (24)$$

$$\eta_a = \frac{c_p \rho \sum_i q_{iLTO,i} S_{T,i}}{c_p \rho q_p S_S} = \frac{c_p \rho \sum_i q_{p,i} S_{J,i}}{c_p \rho q_p S_S} \quad (25)$$

Koska ilmavirtojen ominaislämpökapasiteettien ja tiheyksien oletetaan olevan yhtä suuret, yhtälö saa muodon

$$\eta_a = \frac{\sum_i q_{iLTO,i} S_{T,i}}{q_p S_S} = \frac{\sum_i q_{p,i} S_{J,i}}{q_p S_S} \quad (26)$$

Yhtälö (26) voidaan myös kirjoittaa muotoon

$$\eta_a = \frac{\sum_i R_{T,i} S_{T,i}}{S_S} = \frac{\sum_i R_{P,i} S_{J,i}}{S_S} \quad (27)$$

missä  $R_{T,i}$  on ilmanvaihtokoneen (i) tuloilmavirran ja kaikkien lämmöntalteenottovaatimuksen piiriin kuuluvien poistoilmavirtojen suhde, -  
 $R_{P,i}$  on ilmanvaihtokoneen (i) poistoilmavirran ja kaikkien lämmöntalteenottovaatimuksen piiriin kuuluvien poistoilmavirtojen suhde, -.

## 6 Sää tiedot ja lämmöntarveluvut

### 6.1 Ulkolämpötilojen pysyvyystiedot

Taulukossa 3 olevat ulkolämpötilojen pysyvyystiedot ovat Ilmatieteen laitoksen uuden testivuoden TRY 2012 tietoja. Rakennuksen ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskenta tehdään säävyöhykkeen I -II ulkolämpötilatiedoilla.

*Taulukko 3. Rakennuksen ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskennassa käytetään asetuksen mukaisesti alla olevia Ilmatieteen laitoksen testivuoden TRY 2012 säävyöhykkeen I-II ulkoilman lämpötilasta laskettuja pysyvyystietoja. Prosenttiosuus ilmoittaa, kuinka suuri osuus vuodesta on kyseistä ulkoilman lämpötilaa kylmempi.*

Ulkoilman lämpötila, °C	Helsinki TRY 2012, %
-21	0
-20	0,07991
-19	0,3311
-18	0,5594
-17	0,8333
-16	1,199
-15	1,872
-14	2,763
-13	3,550
-12	4,349
-11	4,932
-10	5,445
-9	6,050
-8	7,032
-7	8,459
-6	10,11
-5	12,00
-4	14,12
-3	16,29
-2	18,76
-1	21,45
0	25,03
1	31,24
2	36,80
3	41,97
4	45,86
5	49,08
6	52,36
7	55,71
8	59,01
9	62,24
10	65,56
11	68,80
12	72,20

## 6.2 Lämmöntarveluvun laskenta

Lämmöntarveluvut lasketaan pysyvyyskäyrän avulla lämpötila-alue kerrallaan alla olevilla kaavoilla

$$S_S = \sum_n (\tau_n - \tau_{n-1}) (t_s - t_{u,n}) \quad (28)$$

$$S_T = \sum_n (\tau_n - \tau_{n-1}) (t_{LTO,n} - t_{u,n}) \quad (29)$$

$$S_J = \sum_n (\tau_n - \tau_{n-1}) (t_s - t_{j,n}) \quad (30)$$

missä	$S_S$	on sisäilman lämpötilan $t_s$ ja ulkoilman lämpötilan $t_u$ välinen lämmöntarveluku, Kd
	$S_T$	LTO:n jälkeisen tuloilman lämpötilan $t_{LTO}$ ja ulkoilma lämpötilan $t_u$ välinen lämmöntarveluku, Kd
	$S_J$	sisäilman lämpötilan $t_s$ ja jäteilman lämpötilan $t_j$ välinen lämmöntarveluku, Kd
	$\tau_n$	tarkasteltavan ajanhetken aika, d
	$\tau_{n-1}$	tarkasteltavaa ajanhetkeä edeltävän ajanhetken aika, d

Jos ulkolämpötilan pysyvyydet ilmaistaan prosentteina vuodesta, pitää yllä yhtälöiden (28) - (30) oikea puoli kertoa luvulla 365 ja jakaa luvulla 100, jotta lämmöntarveluvun yksiköksi tulee Kd. Laskennassa voidaan käyttää esimerkiksi kohdassa 6.1 esitettyjä ulkolämpötilan pysyvyyden arvoja. Tässä monisteessa lämmöntarveluvut lasketaan lämmityskaudelle eli ulkoilman lämpötilaan +12 °C saakka.

## 7 Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskentaesimerkkejä

### 7.1 Pientaloesimerkki

#### *Lähtötiedot:*

Esimerkkikohteena on 1-kerroksinen pientalo, jonka maanpäällisten kerrosten kerrostasoala on 163 m<sup>2</sup>. Ulkoseinän vertailuarvoa suuremman U-arvon ja suuren ikkunapinta-alan takia muiden rakennusosien lämpöhäviöitä pitää pienentää ja/tai LTO:a pitää parantaa.

Rakennuksessa on ilmanvaihtolaitteisto, jonka poistoilmavirta on 0,5 l/h eli 0,053 m<sup>3</sup>/s. Tulo- ja poistoilmavirtojen suhde on 90 % ( $R_T = 0,9$ ), mikä edellyttää hyvää rakennuksen vaipan ilmanpitävyyttä. Kaikki lämmöntalteenoton piiriin kuuluvat ilmavirrat kulkevat LTO:n kautta ( $R_{LTO} = 0,9$ ). Rakennus sijaitsee Ivalossa. Laskennassa käytetään kuitenkin Helsingin testivuoden TRY 2012 ulkolämpötilan pysyvyystietoja, jotka on esitetty kohdassa 6.1.

Suunnitteluratkaisussa ilmanvaihdon LTO:a parannetaan. LTO-ratkaisuksi valitaan lämpötilahyötysuhteeltaan 63 %:n laite (yhtä suurilla ilmavirroilla), jonka LTO:n jälkeinen poistoilman lämpötila saa olla minimissään +5 °C. Seuraavassa esitetään rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskenta.

#### *Laskenta:*

Tuloilman lämpötilahyötysuhde 90 %:n ilmavirtasuhteella on  $2 / (1 + 0,90) \times 63 \% = 66 \%$ . Poistoilman lämpötilahyötysuhde on  $0,90 \times 66 \% = 60 \%$ , kun jäätymissuojaus tai tuloilman lämpötilan rajoitus eivät heikennä hyötysuhdetta.

#### *Lämmöntalteenoton jäätyminenesto lämmöntalteenottoa heikentämällä*

Esimerkiksi ulkolämpötilalla -20 °C ja poistoilman lämpötilahyötysuhteella 60,0 % saadaan jäteilman lämpötilaksi  $t_j = t_s - \eta_p \times (t_s - t_u) = 21 - 0,60 \times (21 - (-20)) = -3,6$  °C. Koska LTO:n jälkeinen poistoilman lämpötila on liian matala, hyötysuhdetta on säädettävä niin, että lämpötila on minimissään +5 °C.

Jäätyminenestosta johtuen ulkolämpötilalla -20 °C poistoilman lämpötilahyötysuhde voi maksimissaan olla  $\eta_p = (21 - 5)/(21 - (-20)) = 39,0 \%$ . Tällöin tulopuolen lämpötilahyötysuhde kyseisellä ulkolämpötilalla voi olla maksimissaan  $39,0 \% / 0,90 = 43,4 \%$ . Eli tuloilma lämpenee jäätyminenestosta johtuen vain -2,2 °C:een eikä +7,3 °C:een.

Näin ollen kyseisen lämpötilan aikainen tuloilman lämmöntarveluku ( $S_T$ ) ilmanvaihdon LTO:n säästämälle energialle on  $(0,080 \% - 0 \%) \times 365 \times (-2,2$  °C - (-20 °C)) = 5,2 Kd.

#### *Tuloilman sisäänpuhalluslämpötilan rajoittaminen lämmöntalteenottoa heikentämällä*

Esimerkissä  $t_{LTO} = 17$  °C. Jäätymissuojauksesta poiketen tuloilman lämpötilan rajoittaminen ei ole välttämätön toimenpide varsinkaan asuinrakennuksissa.

Kun ulkolämpötila on 12 °C, niin tuloilman lämpötilahyötysuhde voi maksimissaan olla  $(17 - 12)/(21 - 12) = 56 \%$ . LTO:ta on säädettävä. Näin ollen kyseisen lämpötilan aikainen tuloilman lämmöntarveluku ( $S_T$ ) ilmanvaihdon LTO:n säästämälle energialle on  $(72,20 \% - 68,80 \%) \times 365 \times (17,0$  °C - 12 °C) = 62,1 Kd.

Laskemalla osissa taulukon 4 mukaisesti koko lämpötilapysyvyyden yli ottamalla edellä esitetyt asiat huomioon niin LTO:n jälkeisen tuloilman ja ulkolämpötilan väliseksi lämmöntarveluvuksi

( $S_T$ ) saadaan Helsingin (TRY 2012) säätiedoilla 3 207 Kd. Helsingin säätiedoilla sisälämpötilan ja ulkolämpötilan välinen lämmöntarveluku on 5 050 Kd. Rakennuksen tulo- ja poistoilmavirtojen suhde ( $R_T$ ) on 0,90. Näin ollen rakennuksen ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteeksi saadaan 57 %.

$$\eta_a = \frac{R_T S_T}{S_S} = \frac{0,9 * 3\,207}{5\,050} = 57\% \quad (\eta_a = \frac{R_p S_J}{S_S} = \frac{1,0 * 2\,886}{5\,050} = 57\%)$$

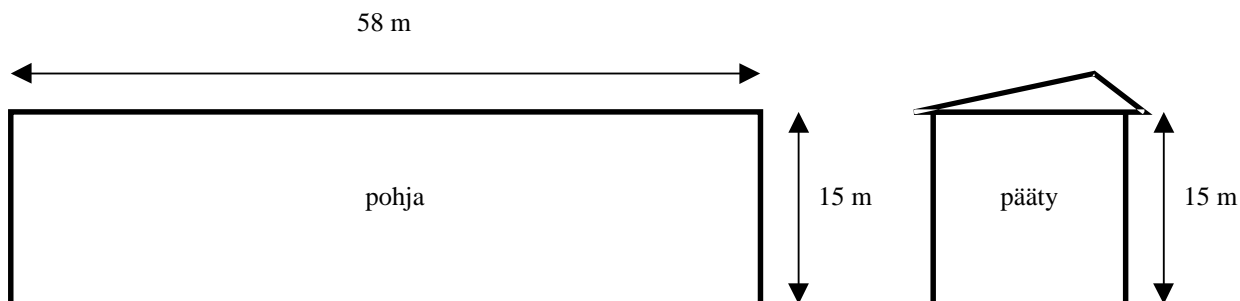
Laskelmat on tehty vain lämmityskaudelle eli kun ulkolämpötila on alle 12 °C. Näin määritettyä LTO:n vuosihyötysuhdetta käytetään lämpöhäviöiden tasauslaskennassa ja rakennus täyttää lämpöhäviövaatimuksen.

Taulukko 4. Pientalon poistoilman lämmöntalteenoton esimerkkilaskelma.

$t_u$ °C	Aika vuodesta, %	$t_{LTO}, ^\circ\text{C}$ maks.	$t_j, ^\circ\text{C}$ min.	$t_s$ °C	$t_j$ °C	$t_{LTO}$ °C	$R_{LTO}$	$\eta_t$	$\eta_p$	$S_S$ , Kd ( $t_s - t_u$ )	$S_T$ , Kd ( $t_{LTO} - t_u$ )	$S_J$ , Kd ( $t_s - t_j$ )
-21	0	17	5	21	5,0	-3,2	0,9	0,42	0,38	0	0	0
-20	0,080	17	5	21	5,0	-2,2	0,9	0,43	0,39	12	5	5
-19	0,331	17	5	21	5,0	-1,2	0,9	0,44	0,40	37	16	15
-18	0,559	17	5	21	5,0	-0,2	0,9	0,46	0,41	33	15	13
-17	0,833	17	5	21	5,0	0,8	0,9	0,47	0,42	38	18	16
-16	1,199	17	5	21	5,0	1,8	0,9	0,48	0,43	49	24	21
-15	1,872	17	5	21	5,0	2,8	0,9	0,49	0,44	89	44	39
-14	2,763	17	5	21	5,0	3,8	0,9	0,51	0,46	114	58	52
-13	3,550	17	5	21	5,0	4,8	0,9	0,52	0,47	98	51	46
-12	4,349	17	5	21	5,0	5,8	0,9	0,54	0,48	96	52	47
-11	4,932	17	5	21	5,0	6,8	0,9	0,56	0,50	68	38	34
-10	5,445	17	5	21	5,0	7,8	0,9	0,57	0,52	58	33	30
-9	6,050	17	5	21	5,0	8,8	0,9	0,59	0,53	66	39	35
-8	7,032	17	5	21	5,0	9,8	0,9	0,61	0,55	104	64	57
-7	8,459	17	5	21	5,0	10,8	0,9	0,63	0,57	146	93	83
-6	10,11	17	5	21	5,0	11,8	0,9	0,66	0,59	163	107	97
-5	12,00	17	5	21	5,5	12,2	0,9	0,66	0,60	179	119	107
-4	14,12	17	5	21	6,1	12,6	0,9	0,66	0,60	194	128	116
-3	16,29	17	5	21	6,7	12,9	0,9	0,66	0,60	190	126	113
-2	18,76	17	5	21	7,3	13,3	0,9	0,66	0,60	207	137	124
-1	21,45	17	5	21	7,9	13,6	0,9	0,66	0,60	216	143	129
0	25,03	17	5	21	8,5	13,9	0,9	0,66	0,60	275	182	164
1	31,24	17	5	21	9,1	14,3	0,9	0,66	0,60	453	301	271
2	36,80	17	5	21	9,7	14,6	0,9	0,66	0,60	386	256	230
3	41,97	17	5	21	10,3	14,9	0,9	0,66	0,60	340	225	203
4	45,86	17	5	21	10,9	15,3	0,9	0,66	0,60	241	160	144
5	49,08	17	5	21	11,5	15,6	0,9	0,66	0,60	188	125	112
6	52,36	17	5	21	12,0	15,9	0,9	0,66	0,60	180	119	107
7	55,71	17	5	21	12,6	16,3	0,9	0,66	0,60	171	113	102
8	59,01	17	5	21	13,2	16,6	0,9	0,66	0,60	157	104	93
9	62,24	17	5	21	13,8	17,0	0,9	0,66	0,60	142	94	84
10	65,56	17	5	21	14,7	17,0	0,9	0,64	0,57	133	85	76
11	68,80	17	5	21	15,6	17,0	0,9	0,60	0,54	118	71	64
12	72,20	17	5	21	16,5	17,0	0,9	0,56	0,50	112	62	56
Yhteensä										5050	3207	2886

## 7.2 Toimistotaloesimerkki

Esimerkkikohteena on 4-kerroksinen toimistotalo, jonka maanpäällisten kerrosten kerrostasoala on 3 480 m<sup>2</sup>.



Puolet talon julkisivusta on ikkunaa tai muuta lasirakennetta. Vertailuarvoa suuremmasta ikkunapinta-alasta johtuvan suuremman lämpöhäviön takia rakennusosien lämpöhäviöitä pitää pienentää tai LTO:a pitää parantaa.

Suunnitteluratkaisussa pienennetään ulkoseinän, ikkunoiden ja ulko-ovien U-arvoja. Lisäksi ilmanvaihdon LTO:a parannetaan. LTO-ratkaisuksi valitaan lämpötilahyötysuhteeltaan 55 %:n laite, jonka LTO:n jälkeinen poistoilman lämpötila saa olla minimissään 0 °C. Seuraavassa esitetään rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskenta.

Laskelmissa käytetään ilmanvaihtolaitoksen käyttöajoilla painotettua mitoituspoistoilmavirtaa. Mitoitusilmavirta on 2 dm<sup>3</sup>/s neliötä kohti. Huonepinta-ala on 3 248 m<sup>2</sup>. Ilmanvaihtolaitos on käynnissä viisi päivää viikossa eli viikoittainen käyntiaikasuhte  $t_v$  on 5 vrk/7 vrk. Laitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaika on 12 tuntia (klo 6 - 18). Ilmanvaihtokoneen tulo- ja poistoilmavirtoina käytetään ilmavirtaa  $q_{pLTO}$ . Laskelmissa LTO:n jälkeinen tuloilman lämpötila on rajoitettu +17 °C:een (huom. rajoituslämpötilaa ei ylitetä tässä esimerkissä).

$$q_{pLTO} = 2 \text{ dm}^3/(\text{s m}^2) \times 3\,248 \text{ m}^2 \times 12 \text{ h}/24 \text{ h} \times 5 \text{ vrk}/7 \text{ vrk} = 2\,320 \text{ dm}^3/\text{s} = 2,320 \text{ m}^3/\text{s}$$

Oletetaan, että rakennus on likaisten tilojen poiston verran alipaineinen ja että käyttäjän ulkopuolinen ilmanvaihto on hoidettu likaisten tilojen erillispoistoilla, joiden ilmavirta on määräysten mukainen 0,15 dm<sup>3</sup>/(s m<sup>2</sup>) eli

$$q_{ep1} = 0,15 \text{ dm}^3/(\text{s m}^2) \times 3\,248 \text{ m}^2 = 487 \text{ dm}^3/\text{s} = 0,487 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Näin ollen } R_{LTO} = 1 \text{ ja } R_T = 2,320 / (2,320 + 0,487) = 2,320 / 2,807 = 0,83$$

Lisäksi rakennuksen joissakin tiloissa (mm. jätehuone, viileät varastot) LTO osoitettiin epätarkoituksenmukaiseksi asetuksen mukaisesti ja tilat varustettiin koneellisella poistoilmavaihdolla ilman LTO:a. Näiden tilojen yhteenlaskettu poistoilmavirta  $q_{ep2}$  on 0,3 m<sup>3</sup>/s.

Kun ilmanvaihdon vuosihyötysuhteen laskenta suoritetaan edellä mainituilla arvoilla pysyvyyssäyrän yli (taulukko 5) kuten edellisessäkin esimerkissä, saadaan laskettua rakennuksen ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde. Ilmanvaihtokoneen tulo- ja poistoilmavirtojen suhde on 1, mutta erillispoistojen takia rakennuksen tulo- ja poistoilmavirtojen suhde on 0,83.

Näin ollen rakennuksen ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhteeksi tulee

$$\eta_a = \frac{R_T S_T}{S_S} = \frac{0,83 * 2\,776}{5\,050} = 46\%$$

Ilmavaihtokoneen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteeksi saadaan 55 % (=S<sub>T</sub>/S<sub>S</sub>).

Rakennuksen ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhdetta käytetään lämpöhäviöiden tasauslaskennassa ja rakennus täyttää lämpöhäviövaatimuksen.

Taulukko 5. Toimistotalon poistoilman lämmöntalteenoton esimerkkilaskelma.

t <sub>u</sub> °C	Aika vuodesta, %	t <sub>LTO</sub> , °C maks.	t <sub>j</sub> , °C min.	t <sub>s</sub> °C	t <sub>j</sub> °C	t <sub>LTO</sub> °C	R <sub>LTO</sub>	η <sub>t</sub>	η <sub>p</sub>	S <sub>S</sub> , Kd (t <sub>s</sub> - t <sub>u</sub> )	S <sub>T</sub> , Kd (t <sub>LTO</sub> - t <sub>u</sub> )	S <sub>J</sub> , Kd (t <sub>s</sub> - t <sub>j</sub> )
-21	0	17	0	21	0,0	0,0	1	0,50	0,50	0	0	0
-20	0,080	17	0	21	0,0	1,0	1	0,51	0,51	12	6	6
-19	0,331	17	0	21	0,0	2,0	1	0,53	0,53	37	19	19
-18	0,559	17	0	21	0,0	3,0	1	0,54	0,54	33	18	18
-17	0,833	17	0	21	0,0	4,0	1	0,55	0,55	38	21	21
-16	1,199	17	0	21	0,6	4,4	1	0,55	0,55	49	27	27
-15	1,872	17	0	21	1,2	4,8	1	0,55	0,55	89	49	49
-14	2,763	17	0	21	1,8	5,3	1	0,55	0,55	114	63	63
-13	3,550	17	0	21	2,3	5,7	1	0,55	0,55	98	54	54
-12	4,349	17	0	21	2,9	6,2	1	0,55	0,55	96	53	53
-11	4,932	17	0	21	3,4	6,6	1	0,55	0,55	68	37	37
-10	5,445	17	0	21	4,0	7,1	1	0,55	0,55	58	32	32
-9	6,050	17	0	21	4,5	7,5	1	0,55	0,55	66	36	36
-8	7,032	17	0	21	5,1	8,0	1	0,55	0,55	104	57	57
-7	8,459	17	0	21	5,6	8,4	1	0,55	0,55	146	80	80
-6	10,11	17	0	21	6,2	8,9	1	0,55	0,55	163	90	90
-5	12,00	17	0	21	6,7	9,3	1	0,55	0,55	179	98	98
-4	14,12	17	0	21	7,3	9,8	1	0,55	0,55	194	107	107
-3	16,29	17	0	21	7,8	10,2	1	0,55	0,55	190	105	105
-2	18,76	17	0	21	8,4	10,7	1	0,55	0,55	207	114	114
-1	21,45	17	0	21	8,9	11,1	1	0,55	0,55	216	119	119
0	25,03	17	0	21	9,5	11,6	1	0,55	0,55	275	151	151
1	31,24	17	0	21	10,0	12,0	1	0,55	0,55	453	249	249
2	36,80	17	0	21	10,6	12,5	1	0,55	0,55	386	212	212
3	41,97	17	0	21	11,1	12,9	1	0,55	0,55	340	187	187
4	45,86	17	0	21	11,7	13,4	1	0,55	0,55	241	132	132
5	49,08	17	0	21	12,2	13,8	1	0,55	0,55	188	103	103
6	52,36	17	0	21	12,8	14,3	1	0,55	0,55	180	99	99
7	55,71	17	0	21	13,3	14,7	1	0,55	0,55	171	94	94
8	59,01	17	0	21	13,9	15,2	1	0,55	0,55	157	86	86
9	62,24	17	0	21	14,4	15,6	1	0,55	0,55	142	78	78
10	65,56	17	0	21	15,0	16,1	1	0,55	0,55	133	73	73
11	68,80	17	0	21	15,5	16,5	1	0,55	0,55	118	65	65
12	72,20	17	0	21	16,1	17,0	1	0,55	0,55	112	61	61
Yhteensä										5050	2776	2776



## Kirjallisuutta

Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto lämpöhäviöiden tasauslaskennassa. Ympäristöministeriön moniste 122. Helsinki 2003. 35 s.

Seppänen, Olli. 1996. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Helsinki. 348 s. ISBN 951-96098-0-6

SFS-EN ISO 13789:2007, Thermal performance of buildings. Transmission and ventilation heat transfer coefficients. Calculation method. 18 s.

SFS-EN 308:1997, Heat exchangers - Test procedures for establishing performance of air to air and flue gases heat recovery devices. 12 s.

SFS-EN ISO 13790:2008. Rakennusten lämpötekniset ominaisuudet. lämmityksen ja jäähdytyksen energiantarpeen laskenta. Energy performance of buildings. Calculation of energy use for space heating and cooling. 162 s.

Ympäristöministeriön asetus pienten ilmapuhaltimien tyypin hyväksynnästä. Tyypin hyväksyntäohjeet 2008. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriö, rakennetun ympäristön osasto. Helsinki 2008. 12 s.

Ympäristöministeriön asetus ilmapuhaltimien tyypin hyväksynnästä. Tyypin hyväksyntäohjeet 2008. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriö, rakennetun ympäristön osasto. Helsinki 2008. 12 s.

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

## LIITE 5 Esimerkkejä lämpöhäviöiden tasauslaskelmista

Tässä liitteessä esitetään eri rakennustyypeille lämpöhäviöiden tasaukseen liittyviä esimerkkilaskelmia. Esimerkkien rakennukset ovat kuvitteellisia. Tasauslaskelmilla voidaan osoittaa suunnitteluratkaisun lämpöhäviön määräystenmukaisuus.

Liitteen sisältö:

### 1 Pientaloesimerkit

- Esimerkki 1: pientalo, jossa on suuri ikkunapinta-ala  
Esimerkki 2: pientalo, jonka ilmanvaihto on toteutettu ilman LTO:a  
Esimerkki 3: pientalo, jossa on hirsiseinät, U-arvo 0,53 W/(m<sup>2</sup>K)  
Esimerkki 4: pientalo, jonka ilmanvaihto on toteutettu painovoimaisena  
Esimerkki 5: loma-asunto

### 2. Kerrostaloesimerkki

- Esimerkki 1: kerrostalo, jonka ilmanpitävyys on vertailutasoa parempi,  $q_{50} = 0,9$  l/h

### 3. Toimistotaloesimerkki

- Esimerkki 1: toimistotalo, jonka julkisivuista puolet on lasia

### 4. Teollisuusrakennusesimerkki

- Esimerkki 1: vertailutasoa pienempi ikkunapinta-ala, vaippa on kevytbetonirakenteinen, U-arvo 0,28 W/(m<sup>2</sup>K)

### 5. Tyhjät määräystenmukaisuuden osoittamistaulukot

Liitteenä on esimerkkilaskelmissa käytetyt taulukkopohjat tyhjinä. Niitä voi käyttää erilaisten suunnittelukohteiden määräystenmukaisuuden osoittamiseen.

# 1 Pientaloesimerkit

## 1.1 Suuri ikkunapinta-ala

Esimerkkikohteena on 1-kerroksinen pientalo, jonka maanpäällisten kerrosten kerrostasoala on 163 m<sup>2</sup>.

Kohteessa on haluttu käyttää suuria ikkunapintoja. Suuren ikkunapinta-alan takia talon vaipan lämpöhäviö olisi 23 % suurempi kuin vertailuratkaisun. Syntynyttä lämpöhäviötä tasataan vaippaa parantamalla, jotta yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö saadaan pysymään vertailuarvon alapuolella.

Koska kohteessa on paljon ikkunapinta-alaa, saavutetaan ikkunoiden parantamisella suhteessa suuri hyöty. Ikkunoiden U-arvoa parannetaan arvosta 1,0 W/(m<sup>2</sup>K) arvoon 0,8 W/(m<sup>2</sup>K).

Ilmanpitävyyteen kiinnitetään huomiota rakennusvaiheessa ja ennen rakennuksen käyttöönottoa mitattu ilmanvuotoluku  $q_{50}$  on 2,0 m<sup>3</sup>/(h m<sup>2</sup>), mikä on yhtä suuri kuin ilmanvuotoluvun vertailuarvo.

Tasauslaskennassa käytetään ilmanvaihtolaitoksen käyttöajoilla painotettua poistoilmavirtaa.

Poistoilmavirtana käytetään asetuksen mukaista ominaisilmavirtaa 0,4 dm<sup>3</sup>/s neliötä kohti.

Lämmitetty nettopinta-ala on 147 m<sup>2</sup>. Asetuksen mukaisesti ilmanvaihto on käynnissä jatkuvasti eli viikoittainen käyntiaikasuhde  $t_v$  on 1 ja vuorokautinen käyntiaikasuhde  $t_d$  on 1. Tasauslaskelmissa käytettävä ilmavirta  $q_{v,p}$  on

$$q_{v,p} = 0,4 \text{ dm}^3/(\text{s m}^2) \cdot 147 \text{ m}^2 \cdot 24\text{h}/24\text{h} \cdot 7\text{vrk}/7\text{vrk} = 59 \text{ dm}^3/\text{s} = 0,059 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ilmanvaihdon lämpöhäviötä pienennetään valitsemalla vertailutasoa parempi ilmanvaihdon lämmöntalteenottoalaite, jolla ilmanvaihtojärjestelmän lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde saadaan nostettua 55 %:sta 70 %:iin. Ilmanvaihtokoneesta tehdyn erillisen selvityksen mukaan LTO:n vuosihyötysuhde on 70 %, jota voidaan käyttää lämpöhäviöiden tasauksessa. Keittiön liesikuvussa on tehokas rasvasuodatin ja hyvä kärynsieppauskyky. Liesikuvun poistoilmavirta johdetaan kokonaisuudessaan lämmöntalteenoton kautta ulos.

Parannusten jälkeen rakennuksen yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö on pienempi kuin vertailulämpöhäviö. Suunnitteluratkaisu täyttää lämpöhäviövaatimuksen.

<b>Rakennuskohde</b>	<b>Pientalo 1</b>
<b>Rakennuslupatunnus</b>	<b>Esimerkki</b>
Rakennustyyppi	1-kerroksinen pientalo, ikkunapinta-ala 30 % kerrostasosalasta.
Päsuunnittelija	
Tasauslaskelman tekijä	
Päiväys	
Tulos: Suunnitteluratkaisu	<b>TÄYTTÄÄ VAATIMUKSET</b>

**Rakennuksen laajuustiedot**

Rakennustilavuus	522 rak-m <sup>3</sup>
Maanpäälliset kerrostasosalat yhteensä	163 m <sup>2</sup>
Lämmitetty nettoala, lämpimät tilat	147 m <sup>2</sup>
Lämmitetty nettoala, puolilämpimät tilat	m <sup>2</sup>
Rakennusluokka (1 - 9)	1
Rakennuksen kerrosmäärä	1 kerrosta

**Laskentatuloksia**

Julkisivupinta-ala on 146 m<sup>2</sup>  
Ikkunapinta-ala on 30 % maanpäällisestä kerrostasosalasta  
Ikkunapinta-ala on 34 % julkisivun pinta-alasta  
Lämpöhäviö on 100 % vertailutasosta (lämpimät tilat)

Perustiedot	Pinta-alat, m <sup>2</sup>		U-arvot, W/(m <sup>2</sup> K)		Lämpöhäviöiden tasaus	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
<b>RAKENNUSOSAT</b>						
<i>Lämpimät tilat</i>						
Ulkoseinä	113	88,5	0,17	0,17	19,2	15,0
Massiivipuuseinä <sup>1)</sup>			0,40		-	-
Yläpohja	147	147	0,09	0,09	13,2	13,2
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,09		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,17		-	-
Alapohja (maanvastainen)		147	0,16	0,16	23,5	23,5
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16		-	-
Ikkunat	24,5	49,0	1,00	0,80	24,5	39,2
Ulko-ovet ja tuuletusluukut <sup>2)</sup>	8,2		1,00	1,00	8,2	8,2
Kattoikkunat			1,00		-	-
Kattovalokuvut			1,00		-	-
<b>Lämpimät tilat yhteensä</b>	<b>440</b>	<b>440</b>			<b>88,7</b>	<b>99,2</b>
<i>Puolilämpimät tilat tai määräaikaiset rakennukset</i>						
Ulkoseinä			0,26		-	-
Massiivipuuseinä <sup>1)</sup>			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 <sup>2)</sup>			1,40		-	-
Kattoikkunat			1,40		-	-
Kattovalokuvut			1,40		-	-
<b>Puolilämpimät tilat yhteensä</b>	<b>-</b>	<b>-</b>			<b>-</b>	<b>-</b>
<b>VAIPAN ILMAVUODOT</b>						
<i>Vuotoilma</i>						
Lämpimät tilat	2,0	2,0	0,0070	0,0070	8,4	8,4
Puolilämpimät tilat	2,0				-	-
<b>ILMANVAIHTO</b>						
<i>Hallittu ilmanvaihto</i>						
Lämpimät tilat		0,059	55	70	31,8	21,2
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta				0	-	-
Puolilämpimät tilat			55		-	-
Puolilämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta				0	-	-
<b>Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus</b>						
<b>Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö</b>					<b>129</b>	<b>129</b>
<b>Puolilämpimien tilojen</b>					<b>-</b>	<b>-</b>

<sup>1)</sup> Massiivipuuseinä, jonka keskimääräinen paksuus on vähintään 180 mm.

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

<b>Rakennuskohde</b>	<b>Pientalo 1</b>
<b>Rakennuslupatunnus</b>	<b>Esimerkki</b>

**Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden tarkistuslista**
**Pinta-alat**

Vertailuikkunapinta-ala on 15 % yhteenlasketuista maanpäällisistä kerrostasoaloista, mutta kuitenkin enintään 50 % julkisivujen pinta-alasta

kyllä	ei
v	

Rakennusosien yhteenlaskettu pinta-ala sama molemmissa ratkaisuisissa

- lämpimissä tiloissa
- puolilämpimissä tiloissa

v	

**Rakennusvaipan ilmanpitävyys**

Rakennusvaipan ilmanvuotoluvun  $q_{50}$  suunnitteluarvo on enintään enimmäisarvon suuruinen

- lämpimissä tiloissa
- puolilämpimissä tiloissa

kyllä	ei	Enimmäisarvo	Suunnitteluarvo
v		4	2,00
		4	

**Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus**

Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään vertailuratkaisun suuruinen

- lämpimissä tiloissa
- puolilämpimissä tiloissa

kyllä	ei	Vertailuarvo	Suunnitteluarvo
v		129 W/K	129 W/K

**Tarkistuslistan yhteenveto**

Suunnitteluratkaisu täyttää lämpöhäviövaatimukset

kyllä	ei
v	

**Lisätietoja**
**Rakennuksen ilmanpitävyys**

Rakennuksen suunnitteluratkaisun lämpöhäviön laskennassa käytetään rakennusvaipan ilmanvuotoluvun  $q_{50}$  suunnitteluarvoa.

Rakennuksen vaipan ilmanvuotoluku  $q_{50}$  saa olla enintään  $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ , mutta ilmanvuotoluku voi ylittää tämän arvon,

jos rakennuksen käytön vaatimat rakenteelliset ratkaisut huonontavat merkittävästi ilmanpitävyyttä.

Jos ilmanpitävyyttä ei tulla osoittamaan mittaamalla tai teollisen talonrakennuksen laadunvarmistusmenettelyllä, rakennusvaipan ilmanvuotolukuna käytetään arvoa  $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ .

**Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) vuosihyötysuhde**

Ilmanvaihtokoneen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde määritetään käyttäen lämmöntalteenottolaitteen ominaisuuksia ja ilmanvaihtokoneen suunniteltuja ilmavirtoja sekä asetuksen liitteessä 1 säädetyn säävyöhykkeen 1 säätiöta. Kahden tai useamman ilmanvaihtokoneen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde määritetään suunniteltujen ilmavirtojen ja käyntiaikojen painotettuna vuosihyötysuhteena. Rakennuksen suunnitteluratkaisun ilmanvaihdon lämpöhäviö lasketaan käyttäen näin määritettyä poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta ja asetuksen 26 § mukaisia ilmavirtojen arvoja ja käyntiaikoja.

**Huomautus**

Tässä lomakkeessa esitetyt lämpöhäviövaatimukset koskevat rakennuksia, joiden kerrosala on  $50 \text{ m}^2$  tai enemmän.

## 1.2 Ei lämmöntalteenottoa

Esimerkkikohteena on 1-kerroksinen pientalo, jonka maanpäällisten kerrosten kerrostasoala on 163 m<sup>2</sup>.

Kohde on haluttu toteuttaa ilman lämmöntalteenottoa poistoilmasta (LTO). Ilmanvaihdon suuremman lämpöhäviön takia parannetaan rakennuksen vaippaa. Rakennuksen vaipan ilmavuotojen minimoimiseksi kiinnitettiin työn laatuun erityistä huomiota ja rakennuksen ilmanpitävyys mitattiin ennen rakennuksen käyttöönottoa. Mittausten mukaan vaipan ilmanvuotoluvun  $q_{50}$  arvoksi osoittautui 0,6 m<sup>3</sup>/(h m<sup>2</sup>), joka on parempi kuin vertailuarvo 2,0 m<sup>3</sup>/(h m<sup>2</sup>).

Poistoilmavirta on laskettu esimerkissä 1.1.

Vaipan lämpöhäviötä pienennetään parantamalla ulkoseinän U-arvoa arvosta 0,17 W/(m<sup>2</sup>K) arvoon 0,10 W/(m<sup>2</sup>K), yläpohjan U-arvoa arvosta 0,09 W/(m<sup>2</sup>K) arvoon 0,07 W/(m<sup>2</sup>K), alapohjan U-arvoa arvosta 0,16 W/(m<sup>2</sup>K) arvoon 0,09 W/(m<sup>2</sup>K), ikkunoiden U-arvoa arvosta 1,0 W/(m<sup>2</sup>K) arvoon 0,6 W/(m<sup>2</sup>K) ja ovien U-arvoa arvosta 1,0 W/(m<sup>2</sup>K) arvoon 0,75 W/(m<sup>2</sup>K).

Näiden parannusten jälkeen rakennuksen yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö on pienempi kuin vertailulämpöhäviö. Suunnitteluratkaisu täyttää lämpöhäviövaatimuksen.

<b>Rakennuskohde</b>	<b>Pientalo 2</b>
<b>Rakennuslupatunnus</b>	<b>Esimerkki</b>
Rakennustyyppi	1-kerroksinen pientalo, ilmanvaihto on toteutettu ilma LTO:a.
Päsuunnittelija	
Tasauslaskelman tekijä	
Päiväys	
Tulos: Suunnitteluratkaisu	<b>TÄYTTÄÄ VAATIMUKSET</b>

**Rakennuksen laajuustiedot**

Rakennustilavuus	522 rak-m <sup>3</sup>
Maanpäälliset kerrostasosalat yhteensä	163 m <sup>2</sup>
Lämmitetty nettoala, lämpimät tilat	147 m <sup>2</sup>
Lämmitetty nettoala, puolilämpimät tilat	m <sup>2</sup>
Rakennusluokka (1 - 9)	1
Rakennuksen kerrosmäärä	1 kerrosta

**Laskentatuloksia**

Julkisivupinta-ala on 146 m<sup>2</sup>  
Ikkunapinta-ala on 15 % maanpäällisestä kerrostasosalasta  
Ikkunapinta-ala on 17 % julkisivun pinta-alasta  
Lämpöhäviö on 100 % vertailutasosta (lämpimät tilat)

Perustiedot	Pinta-alat, m <sup>2</sup>		U-arvot, W/(m <sup>2</sup> K)		Lämpöhäviöiden tasaus	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
<b>RAKENNUSOSAT</b>						
<b>Lämpimät tilat</b>						
Ulkoseinä	113	113	0,17	0,10	19,2	11,3
Massiivipuuseinä <sup>1)</sup>			0,40		-	-
Yläpohja	147	147	0,09	0,07	13,2	10,3
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,09		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,17		-	-
Alapohja (maanvastainen)		147	0,16	0,09	23,5	13,2
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16		-	-
Ikkunat	24,5	24,5	1,00	0,60	24,5	14,7
Ulko-ovet ja tuuletusluukut <sup>2)</sup>	8,2		1,00	0,75	8,2	6,2
Kattoikkunat			1,00		-	-
Kattovalokuvut			1,00		-	-
<b>Lämpimät tilat yhteensä</b>	<b>440</b>	<b>440</b>			<b>88,7</b>	<b>55,7</b>
<b>Puolilämpimät tilat tai määräaikaiset rakennukset</b>						
Ulkoseinä			0,26		-	-
Massiivipuuseinä <sup>1)</sup>			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 <sup>2)</sup>			1,40		-	-
Kattoikkunat			1,40		-	-
Kattovalokuvut			1,40		-	-
<b>Puolilämpimät tilat yhteensä</b>	<b>-</b>	<b>-</b>			<b>-</b>	<b>-</b>
<b>VAIPAN ILMAVUODOT</b>						
<b>Vuotoilma</b>						
Lämpimät tilat	2,0	0,6	0,0070	0,0021	8,4	2,5
Puolilämpimät tilat	2,0				-	-
<b>ILMANVAIHTO</b>						
<b>Hallittu ilmanvaihto</b>						
Lämpimät tilat		0,059	55	0	31,8	70,6
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta				0	-	-
Puolilämpimät tilat			55		-	-
Puolilämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta				0	-	-
<b>Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus</b>						
<b>Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö</b>					129	129
<b>Puolilämpimien tilojen</b>					-	-

<sup>1)</sup> Massiivipuuseinä, jonka keskimääräinen paksuus on vähintään 180 mm.

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

<b>Rakennuskohde</b>	<b>Pientalo 2</b>
<b>Rakennuslupatunnus</b>	<b>Esimerkki</b>

### Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden tarkistuslista

#### Pinta-alat

Vertailuikkunapinta-ala on 15 % yhteenlasketuista maanpäällisistä kerrostasoaloista, mutta kuitenkin enintään 50 % julkisivujen pinta-alasta

kyllä	ei
v	

Rakennusosien yhteenlaskettu pinta-ala sama molemmissa ratkaisuissa

- lämpimissä tiloissa
- puolilämpimissä tiloissa

v	

#### Rakennusvaipan ilmanpitävyys

Rakennusvaipan ilmanvuotoluvun  $q_{50}$  suunnittelu-arvo on enintään enimmäisarvon suuruinen

- lämpimissä tiloissa
- puolilämpimissä tiloissa

kyllä	ei	Enimmäisarvo	Suunnittelu-arvo
v		4	0,60
		4	

#### Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus

Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään vertailuratkaisun suuruinen

- lämpimissä tiloissa
- puolilämpimissä tiloissa

kyllä	ei	Vertailuarvo	Suunnittelu-arvo
v		129 W/K	129 W/K

#### Tarkistuslistan yhteenveto

Suunnitteluratkaisu täyttää lämpöhäviövaatimukset

kyllä	ei
v	

#### Lisätietoja

##### Rakennuksen ilmanpitävyys

Rakennuksen suunnitteluratkaisun lämpöhäviön laskennassa käytetään rakennusvaipan ilmanvuotoluvun  $q_{50}$  suunnittelu-arvoa.

Rakennuksen vaipan ilmanvuotoluku  $q_{50}$  saa olla enintään  $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ , mutta ilmanvuotoluku voi ylittää tämän arvon,

jos rakennuksen käytön vaatimat rakenteelliset ratkaisut huonontavat merkittävästi ilmanpitävyyttä.

Jos ilmanpitävyyttä ei tulla osoittamaan mittaamalla tai teollisen talonrakennuksen laadunvarmistusmenettelyllä, rakennusvaipan ilmanvuotolukuna käytetään arvoa  $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ .

##### Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) vuosihyötysuhde

Ilmanvaihtokoneen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde määritetään käyttäen lämmöntalteenottolaitteen ominaisuuksia

ja ilmanvaihtokoneen suunniteltuja ilmavirtoja sekä asetuksen liitteessä 1 säädetyin säävyöhykkeen 1 säätietoja. Kahden tai useamman

ilmanvaihtokoneen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde määritetään suunniteltujen ilmavirtojen ja käytäntökojen painotettuna

vuosihyötysuhteena. Rakennuksen suunnitteluratkaisun ilmanvaihdon lämpöhäviö lasketaan käyttäen näin määritettyä poistoilman

lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta ja asetuksen 26 § mukaisia ilmavirtojen arvoja ja käytäntökoja.

#### Huomautus

Tässä lomakkeessa esitetyt lämpöhäviövaatimukset koskevat rakennuksia, joiden kerrosala on  $50 \text{ m}^2$  tai enemmän.



### 1.3 Hirsitalo

Esimerkkikohteena on 1-kerroksinen pientalo, jonka maanpäällisten kerrosten kerrostasoala on 78 m<sup>2</sup>.

Kohteessa on haluttu käyttää ulkoseinissä eristämätöntä massiivihirttä. Seinärakenteen U-arvo on 0,53 W/(m<sup>2</sup>K). Tässä kohteessa vaipan lämpöhäviötä pienennetään parantamalla alapohjan, ovien ja ikkunoiden U-arvoja.

Rakennuksen vaipan ilmavuotojen minimoimiseksi kiinnitettiin työn laatuun erityistä huomiota ja rakennuksen ilmanpitävyys mitattiin ennen rakennuksen käyttöönottoa. Mittausten mukaan vaipan ilmanvuotoluvun q<sub>50</sub> arvoksi osoittautui 2,0 m<sup>3</sup>/(h m<sup>2</sup>), joka on sama kuin vertailuarvo.

Lämmöntalteenoton osalta valitaan käytettäväksi ratkaisu, jonka vuosihyötysuhde on erillisen selvityksen mukaan 75 %. Keittiön liesikuvussa on tehokas rasvasuodatin ja kuvun poistoilmavirta johdetaan lämmöntalteenoton kautta ulos. Poistoilmavirtana käytetään asetuksen mukaista ominaisilmavirtaa 0,4 dm<sup>3</sup>/s neliötä kohti. Lämmitetty nettopinta-ala on 71 m<sup>2</sup>. Asetuksen mukaisesti ilmanvaihto on käynnissä jatkuvasti eli viikoittainen käyntiaikasuhte t<sub>v</sub> on 1 ja vuorokautinen käyntiaikasuhte t<sub>d</sub> on 1. Tasauslaskelmissa käytettävä ilmavirta q<sub>v, p</sub> on

$$q_{v, p} = 0,4 \text{ dm}^3/(\text{s m}^2) \cdot 71 \text{ m}^2 \cdot 24\text{h}/24\text{h} \cdot 7\text{vrk}/7\text{vrk} = 28 \text{ dm}^3/\text{s} = 0,028 \text{ m}^3/\text{s}$$

Vaipan lämpöhäviötä pienennetään parantamalla alapohjan U-arvoa arvosta 0,16 W/(m<sup>2</sup>K) arvoon 0,12 W/(m<sup>2</sup>K) ja ikkunoiden U-arvoa arvosta 1,0 W/(m<sup>2</sup>K) arvoon 0,8 W/(m<sup>2</sup>K).

Parannusten jälkeen rakennuksen yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö on pienempi kuin vertailulämpöhäviö. Suunnitteluratkaisu täyttää lämpöhäviövaatimuksen.

<b>Rakennuskohde</b>	<b>Pientalo 3</b>
<b>Rakennuslupatunnus</b>	<b>Esimerkki</b>
Rakennustyyppi	1-kerroksinen hirsirakenteinen pientalo, ulkoseinät massiinihirttä, U-arvo on 0,53 W/(m²K).
Pääsuunnittelija	
Tasauslaskelman tekijä	
Päiväys	
Tulos: Suunnitteluratkaisu	<b>TÄYTTÄÄ VAATIMUKSET</b>

**Rakennuksen laajuustiedot**

Rakennustilavuus	250 rak-m³
Maanpäälliset kerrostasoalat yhteensä	78 m²
Lämmitetty nettoala, lämpimät tilat	71 m²
Lämmitetty nettoala, puolilämpimät tilat	m²
Rakennusluokka (1 - 9)	1
Rakennuksen kerrosmäärä	1 kerrosta

**Laskentatuloksia**

Julkisivupinta-ala on 103 m²  
Ikkunapinta-ala on 20 % maanpäällisestä kerrostasoalasta  
Ikkunapinta-ala on 15 % julkisivun pinta-alasta  
Lämpöhäviö on 100 % vertailutasosta (lämpimät tilat)

Perustiedot	Pinta-alat, m²		U-arvot, W/(m² K)		Lämpöhäviöiden tasaus	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
<b>RAKENNUSOSAT</b>						
<b>Lämpimät tilat</b>						
Ulkoseinä	4	4	0,17	0,16	0,7	0,6
Massiivipuuseinä <sup>1)</sup>	81	78	0,40	0,53	32,6	41,3
Yläpohja	75	75	0,09	0,09	6,8	6,8
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,09		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,17		-	-
Alapohja (maanvastainen)		71	0,16	0,12	11,4	8,5
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16		-	-
Ikkunat	11,7	15,3	1,00	0,80	11,7	12,2
Ulko-ovet ja tuuletusluukut <sup>2)</sup>	5,7		1,00	1,00	5,7	5,7
Kattoikkunat			1,00		-	-
Kattovalokuvut			1,00		-	-
<b>Lämpimät tilat yhteensä</b>	<b>249</b>	<b>249</b>			<b>68,8</b>	<b>75,2</b>
<b>Puolilämpimät tilat tai määräaikaiset rakennukset</b>						
Ulkoseinä			0,26		-	-
Massiivipuuseinä <sup>1)</sup>			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 <sup>2)</sup>			1,40		-	-
Kattoikkunat			1,40		-	-
Kattovalokuvut			1,40		-	-
<b>Puolilämpimät tilat yhteensä</b>	<b>-</b>	<b>-</b>			<b>-</b>	<b>-</b>
<b>VAIPAN ILMAVUODOT</b>						
<b>Vuotoilma</b>						
Lämpimät tilat	2,0	2,0	0,0040	0,0040	4,7	4,7
Puolilämpimät tilat	2,0				-	-
<b>ILMANVAIHTO</b>						
<b>Hallittu ilmanvaihto</b>						
Lämpimät tilat		0,028	55	75	15,3	8,5
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-
Puolilämpimät tilat			55		-	-
Puolilämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-
<b>Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus</b>						
<b>Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö</b>					<b>89</b>	<b>88</b>
<b>Puolilämpimien tilojen</b>					<b>-</b>	<b>-</b>

<sup>1)</sup> Massiivipuuseinä, jonka keskimääräinen paksuus on vähintään 180 mm.

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

<b>Rakennuskohde</b>	<b>Pientalo 3</b>
<b>Rakennuslupatunnus</b>	<b>Esimerkki</b>

### Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden tarkistuslista

#### Pinta-alat

Vertailuikkunapinta-ala on 15 % yhteenlasketuista maanpäällisistä kerrostasoaloista, mutta kuitenkin enintään 50 % julkisivujen pinta-alasta

kyllä	ei
v	

Rakennusosien yhteenlaskettu pinta-ala sama molemmissa ratkaisussa

- lämpimissä tiloissa

- puolilämpimissä tiloissa

v	

#### Rakennusvaipan ilmanpitävyys

Rakennusvaipan ilmanvuotoluvun  $q_{50}$  suunnittelu-arvo on enintään enimmäisarvon suuruinen

- lämpimissä tiloissa

- puolilämpimissä tiloissa

kyllä	ei	Enimmäisarvo	Suunnittelu-arvo
v		4	2,00
		4	

#### Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus

Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään vertailuratkaisun suuruinen

- lämpimissä tiloissa

- puolilämpimissä tiloissa

kyllä	ei	Vertailuarvo	Suunnittelu-arvo
v		89 W/K	88 W/K

#### Tarkistuslistan yhteenveto

Suunnitteluratkaisu täyttää lämpöhäviövaatimukset

kyllä	ei
v	

#### Lisätietoja

##### Rakennuksen ilmanpitävyys

Rakennuksen suunnitteluratkaisun lämpöhäviön laskennassa käytetään rakennusvaipan ilmanvuotoluvun  $q_{50}$  suunnittelu-arvoa.

Rakennuksen vaipan ilmanvuotoluku  $q_{50}$  saa olla enintään  $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ , mutta ilmanvuotoluku voi ylittää tämän arvon,

jos rakennuksen käytön vaatimat rakenteelliset ratkaisut huonontavat merkittävästi ilmanpitävyyttä.

Jos ilmanpitävyyttä ei tulla osoittamaan mittaamalla tai teollisen talonrakennuksen laadunvarmistusmenettelyllä, rakennusvaipan ilmanvuotolukuna käytetään arvoa  $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ .

##### Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) vuosihyötysuhde

Ilmanvaihtokoneen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde määritetään käyttäen lämmöntalteenottolaitteen ominaisuuksia

ja ilmanvaihtokoneen suunniteltuja ilmavirtoja sekä asetuksen liitteessä 1 säädetyn säävyöhykkeen 1 säätietoja. Kahden tai useamman

ilmanvaihtokoneen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde määritetään suunniteltujen ilmavirtojen ja käyntiaikojen painotettuna

vuosihyötysuhteena. Rakennuksen suunnitteluratkaisun ilmanvaihdon lämpöhäviö lasketaan käyttäen näin määritettyä poistoilman

lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta ja asetuksen 26 § mukaisia ilmavirtojen arvoja ja käyntiaikoja.

#### Huomautus

Tässä lomakkeessa esitetyt lämpöhäviövaatimukset koskevat rakennuksia, joiden kerrosala on  $50 \text{ m}^2$  tai enemmän.

## 1.4 Painovoimainen ilmanvaihto

Esimerkkikohteena on 1-kerroksinen pientalo, jonka maanpäällisten kerrosten kerrostasoala on 163 m<sup>2</sup>.

Kohde on haluttu toteuttaa painovoimaisella ilmanvaihtojärjestelmällä ilman lämmöntalteenottoa poistoilmasta (LTO). Painovoimaisen ilmanvaihdon poistoilmavirrat eivät kuulu LTO-vaatimuksen piiriin. LTO:n puuttumista ja siitä aiheutuvaa ilmanvaihdon suurempaa lämpöhäviötä ei tarvitse tasata esimerkiksi parantamalla rakennuksen vaippaa.

Rakennuksen vaipan ilmapuotojen minimoimiseksi kiinnitettiin työn laatuun erityistä huomiota, mutta rakennuksen ilmanpitävyyttä ei mitattu ennen rakennuksen käyttöönottoa. Rakennuksen vaipan ilmapuotoluvun  $q_{50}$  arvona käytettiin asetuksen mukaisesti arvoa 4,0 m<sup>3</sup>/(h m<sup>2</sup>), joka on huonompi kuin vertailuarvo 2,0 m<sup>3</sup>/(h m<sup>2</sup>). Suuremman puotoluvun aiheuttama lisälämpöhäviö joudutaan tasaamaan parantamalla rakennuksen vaippaa.

Vaipan lämpöhäviötä pienennetään parantamalla ulkoseinän U-arvoa arvosta 0,17 W/(m<sup>2</sup>K) arvoon 0,16 W/(m<sup>2</sup>K) ja ikkunoiden U-arvoa arvosta 1,0 W/(m<sup>2</sup>K) arvoon 0,7 W/(m<sup>2</sup>K).

Poistoilmavirta on laskettu esimerkissä 1.1.

Näiden parannusten jälkeen rakennuksen yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö on pienempi kuin vertailulämpöhäviö. Suunnitteluratkaisu täyttää lämpöhäviövaatimuksen. Tässä tapauksessa painovoimaisella ilmanvaihdolla varustetulle rakennukselle sallitaan 30 % suurempi lämpöhäviö kuin koneellisen ilmanvaihdon rakennukselle.

<b>Rakennuskohde</b>	<b>Pientalo 4</b>
<b>Rakennuslupatunnus</b>	<b>Esimerkki</b>
Rakennustyyppi	1-kerroksinen pientalo, ilmanvaihto on painovoimainen.
Päsuunnittelija	
Tasauslaskelman tekijä	
Päiväys	
Tulos: Suunnitteluratkaisu	<b>TÄYTTÄÄ VAATIMUKSET</b>

**Rakennuksen laajuustiedot**

Rakennustilavuus	522 rak-m <sup>3</sup>
Maanpäälliset kerrostasoalat yhteensä	163 m <sup>2</sup>
Lämmitetty nettoala, lämpimät tilat	147 m <sup>2</sup>
Lämmitetty nettoala, puoiliämpimät tilat	m <sup>2</sup>
Rakennusluokka (1 - 9)	1
Rakennuksen kerrosmäärä	1 kerrosta

**Laskentatuloksia**

Julkisivupinta-ala on 146 m<sup>2</sup>  
Ikkunapinta-ala on 15 % maanpäällisestä kerrostasoalasta  
Ikkunapinta-ala on 17 % julkisivun pinta-alasta  
Lämpöhäviö on 100 % vertailutasosta (lämpimät tilat)

Perustiedot	Pinta-alat, m <sup>2</sup>		U-arvot, W/(m <sup>2</sup> K)		Lämpöhäviöiden tasaus	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
<b>RAKENNUSOSAT</b>						
<i>Lämpimät tilat</i>						
Ulkoseinä	113	113	0,17	0,16	19,2	18,1
Massiivipuuseinä <sup>1)</sup>			0,40		-	-
Yläpohja	147	147	0,09	0,09	13,2	13,2
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,09		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,17		-	-
Alapohja (maanvastainen)		147	0,16	0,16	23,5	23,5
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16		-	-
Ikkunat	24,5	24,5	1,00	0,70	24,5	17,2
Ulko-ovet ja tuuletusluukut <sup>2)</sup>		8,2	1,00	1,00	8,2	8,2
Kattoikkunat			1,00		-	-
Kattovalokuvut			1,00		-	-
<b>Lämpimät tilat yhteensä</b>	<b>440</b>	<b>440</b>			<b>88,7</b>	<b>80,2</b>
<i>Puoiliämpimät tilat tai määräaikaiset rakennukset</i>						
Ulkoseinä			0,26		-	-
Massiivipuuseinä <sup>1)</sup>			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 <sup>2)</sup>			1,40		-	-
Kattoikkunat			1,40		-	-
Kattovalokuvut			1,40		-	-
<b>Puoiliämpimät tilat yhteensä</b>	<b>-</b>	<b>-</b>			<b>-</b>	<b>-</b>
<b>VAIPAN ILMAVUODOT</b>						
	Ilmanvuotoluku, m <sup>3</sup> /(h m <sup>2</sup> )		Vuotoilmavirta, m <sup>3</sup> /s		Ominaislämpöhäviö, W/K	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
<b>Vuotoilma</b>						
Lämpimät tilat	2,0	4,0	0,0070	0,0140	8,4	16,8
Puoiliämpimät tilat	2,0				-	-
<b>ILMANVAIHTO</b>						
	Poistoilmavirta, m <sup>3</sup> /s		Ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhde, % [η <sub>a</sub> ]		Ominaislämpöhäviö, W/K	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
<b>Hallittu ilmanvaihto</b>						
Lämpimät tilat			55		-	-
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta		0,059		0	70,6	70,6
Puoiliämpimät tilat			55		-	-
Puoiliämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta				0	-	-
<b>Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus</b>						
					Ominaislämpöhäviö, W/K	
					[H = H <sub>joht</sub> + H <sub>vuotoilma</sub> + H <sub>iv</sub> ]	
	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu			Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
<b>Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö</b>					168	167
<b>Puoiliämpimien tilojen</b>					-	-

<sup>1)</sup> Massiivipuuseinä, jonka keskimääräinen paksuus on vähintään 180 mm.

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

<b>Rakennuskohde</b>	<b>Pientalo 4</b>
<b>Rakennuslupatunnus</b>	<b>Esimerkki</b>

**Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden tarkistuslista**
**Pinta-alat**

Vertailuikkunapinta-ala on 15 % yhteenlasketuista maanpäällisistä kerrostasoaloista, mutta kuitenkin enintään 50 % julkisivujen pinta-alasta

kyllä	ei
v	

Rakennusosien yhteenlaskettu pinta-ala sama molemmissa ratkaisussa

- lämpimissä tiloissa
- puolilämpimissä tiloissa

v	

**Rakennusvaipan ilmanpitävyys**

Rakennusvaipan ilmanvuotoluvun  $q_{50}$  suunnitteluarvo on enintään enimmäisarvon suuruinen

- lämpimissä tiloissa
- puolilämpimissä tiloissa

kyllä	ei	Enimmäisarvo	Suunnitteluarvo
v		4	4,00
		4	

**Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus**

Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään vertailuratkaisun suuruinen

- lämpimissä tiloissa
- puolilämpimissä tiloissa

kyllä	ei	Vertailuarvo	Suunnitteluarvo
v		168 W/K	167 W/K

**Tarkistuslistan yhteenveto**

Suunnitteluratkaisu täyttää lämpöhäviövaatimukset

kyllä	ei
v	

**Lisätietoja**
**Rakennuksen ilmanpitävyys**

Rakennuksen suunnitteluratkaisun lämpöhäviön laskennassa käytetään rakennusvaipan ilmanvuotoluvun  $q_{50}$  suunnitteluarvoa.

Rakennuksen vaipan ilmanvuotoluku  $q_{50}$  saa olla enintään  $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ , mutta ilmanvuotoluku voi ylittää tämän arvon,

jos rakennuksen käytön vaatimat rakenteelliset ratkaisut huonontavat merkittävästi ilmanpitävyyttä.

Jos ilmanpitävyyttä ei tulla osoittamaan mittaamalla tai teollisen talonrakennuksen laadunvarmistusmenettelyllä, rakennusvaipan ilmanvuotolukuna käytetään arvoa  $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ .

**Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) vuosihyötysuhde**

Ilmanvaihtokoneen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde määritetään käyttäen lämmöntalteenottolaitteen ominaisuuksia

ja ilmanvaihtokoneen suunniteltuja ilmavirtoja sekä asetuksen liitteessä 1 säädetyt säävyöhykkeen 1 säätietoja. Kahden tai useamman

ilmanvaihtokoneen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde määritetään suunniteltujen ilmavirtojen ja käytäntökojen painotettuna

vuosihyötysuhteena. Rakennuksen suunnitteluratkaisun ilmanvaihdon lämpöhäviö lasketaan käyttäen näin määritettyä poistoilman

lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta ja asetuksen 26 § mukaisia ilmavirtojen arvoja ja käytäntökoja.

**Huomautus**

Tässä lomakkeessa esitetyt lämpöhäviövaatimukset koskevat rakennuksia, joiden kerrosala on  $50 \text{ m}^2$  tai enemmän.

## 1.5 Loma-asunto

Esimerkkikohteena on 1-kerroksinen loma-asunto, jonka maanpäällisten kerrosten kerrostasoala on 78 m<sup>2</sup>. Loma-asumiseen suunniteltavaa pientaloa, joka on tarkoitettu käytettäväksi vähintään neljä kuukautta vuodessa, koskevat vain vaipan lämpöhäviölle asetetut vaatimukset.

Kohteen ulkoseinät ovat pääasiassa eristämätöntä massiivista pyöröhirttä (keskimääräinen paksuus on 130 mm). Seinärakenteen U-arvo on 0,82 W/(m<sup>2</sup>K), joka ylittää hieman vertailuarvon 0,80 W/(m<sup>2</sup>K).

Kohteessa on haluttu käyttää suuria ikkunapintoja järvelle. Kohteen ikkunapinta-ala on 44 % maanpäällisestä kerrostasoalasta. Vertailupinta-ala on 15 %. Suuren ikkunapinta-alan takia talon vaipan lämpöhäviö olisi paljon suurempi kuin vertailuratkaisun eikä vaipan lämpöhäviövaatimus täytyisi. Syntynyttä lämpöhäviötä tasataan vaippaa parantamalla, jotta yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö saadaan pienemmäksi kuin vertailulämpöhäviö.

Suuren ikkunapinta-alan takia, ikkunoiden parantamisella saavutetaan suuri hyöty. Ikkunoiden U-arvoa parannetaan vertailuarvosta 1,4 W/(m<sup>2</sup>K) arvoon 1,0 W/(m<sup>2</sup>K).

Vaipan lämpöhäviötä pienennetään parantamalla yläpohjan U-arvoa arvosta 0,15 W/(m<sup>2</sup>K) arvoon 0,10 W/(m<sup>2</sup>K), alapohjan U-arvoa arvosta 0,24 W/(m<sup>2</sup>K) arvoon 0,20 W/(m<sup>2</sup>K) ja ikkunoiden U-arvoa arvosta 1,4 W/(m<sup>2</sup>K) arvoon 1,0 W/(m<sup>2</sup>K).

Parannusten jälkeen rakennuksen vaipan yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö on pienempi kuin vertailulämpöhäviö. Suunnitteluratkaisu täyttää loma-asunnon lämpöhäviövaatimuksen.

Vaikka loma-asunnon vaipan ilmanpitävyydelle ei ole määräyksissä vaatimuksia, niin rakentamisvaiheessa kiinnitettiin erityistä huomiota hirsirakenteiden sekä ikkuna- ja oviliitosten ilmanpitävyyteen. Samoin läpiviennit pyrittiin saamaan mahdollisimman tiiviiksi.

Vaikka loma-asunnon ilmanvaihdon lämmöntalteenotolle ei ole määräyksissä vaatimuksia, niin loma-asunto varustettiin koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmällä, jossa on tehokas vastavirtalevyllämmönsiirtimellä varustettu lämmöntalteenotto. Keittiön liesikuvussa on tehokas rasvasuodatin ja kuvun poistoilmavirta johdetaan lämmöntalteenoton kautta ulos. Tällä ratkaisulla haluttiin varmistaa hallittu ja vedoton ilmanvaihto sekä hyvä sisäilmasto kaikissa olosuhteissa. Lisäksi ratkaisulla varmistettiin tulisijan hormin hyvä veto.

<b>Rakennuskohde</b>	<b>Loma-asunto 5</b>
<b>Rakennuslupatunnus</b>	<b>Esimerkki</b>
Rakennustyyppi	1-kerroksinen hirsirakenteinen loma-asunto, ikkunapinta-ala 44 % maanpäällisestä kerrostasoalasta
Pääsuunnittelija	
Tasauslaskelman tekijä	
Päiväys	
Tulos: Suunnitteluratkaisu	<b>TÄYTTÄÄ VAATIMUKSET</b>

**Rakennuksen laajuustiedot**

Rakennustilavuus	250 rak-m <sup>3</sup>
Maanpäälliset kerrostasoalat yhteensä	78 m <sup>2</sup>
Lämmitetty nettoala	71 m <sup>2</sup>
Rakennustyyppi	<b>Loma-asunto, pientalo</b>

**Laskentatuloksia**

Julkisivupinta-ala on 97 m<sup>2</sup>  
Ikkunapinta-ala on 44 % maanpäällisestä kerrostasoalasta  
Ikkunapinta-ala on 35 % julkisivun pinta-alasta  
Lämpöhäviö on 99 % vertailutasosta

Perustiedot	Pinta-alat, m <sup>2</sup>		U-arvot, W/(m <sup>2</sup> K)		Lämpöhäviöiden tasaus	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
<b>RAKENNUSOSAT</b>						
Ulkoseinä	5	4	0,24	0,35	1,2	1,4
Massiivipuuseinä <sup>1)</sup>	82	63	0,80	0,82	65,2	51,7
Yläpohja	74	71	0,15	0,10	11,0	7,1
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,15		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,19		-	-
Alapohja (maanvastainen)		71	0,24	0,20	17,0	14,2
Muu maanvastainen rakennusosa			0,24		-	-
Ikkunat	10,3	30,0	1,40	1,00	14,5	30,0
Ulko-ovet ja tuuletusluukut <sup>2)</sup>		5,7	1,40	1,40	8,0	8,0
Kattoikkunat	1,4	4,0	1,40	1,40	1,9	5,6
Kattovalokuvut			1,40		-	-
<b>Yhteensä</b>	<b>249</b>	<b>249</b>			<b>118,9</b>	<b>117,9</b>

<sup>1)</sup> Massiivipuuseinä, jonka keskimääräinen paksuus on vähintään 130 mm.

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

**Loma-asunnon vaipan lämpöhäviön määräystenmukaisuuden tarkistus****Pinta-alat**

Vertailuikkunapinta-ala on 15 % yhteenlasketuista maanpäällisistä kerrostasoaloista, mutta kuitenkin enintään 50 % julkisivujen pinta-alasta  
Rakennusosien yhteenlaskettu pinta-ala sama molemmissa ratkaisuisa

kyllä	ei
✓	
✓	

**Loma-asunnon vaipan lämpöhäviövaatimus**

Suunnitteluratkaisun vaipan ominaislämpöhäviö on enintään vertailuratkaisun suuruinen

kyllä	ei	Vertailuarvo	Suunnitteluarvo
✓		119 W/K	118 W/K

**Tarkistuksen yhteenveto**

Suunnitteluratkaisu täyttää lämpöhäviövaatimuksen

kyllä	ei
✓	

**Lisätietoja****Rakennuksen ilmanpitävyys**

Loma-asunnon vaipan vuotoilman lämpöhäviölle ei ole asetettu vaatimuksia, mutta hyvää ilmanpitävyyttä suositellaan tavoiteltavan.  
Sekä rakennuksen vaipan että tilojen välisten rakenteiden tulee olla niin ilmanpitäviä, että vuotokohtien läpi tapahtuvat ilmavirtaukset eivät aiheuta merkittäviä haittoja rakennuksen käyttäjille, rakenteille tai rakennuksen energiatehokkuudelle.

**Rakennuksen sisäilmasto ja ilmanvaihto**

Loma-asunnon ilmanvaihdon lämpöhäviölle ei ole asetettu vaatimuksia.  
Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta koskee myös tässä käsiteltäviä loma-asuntoja.

**Huomautus**

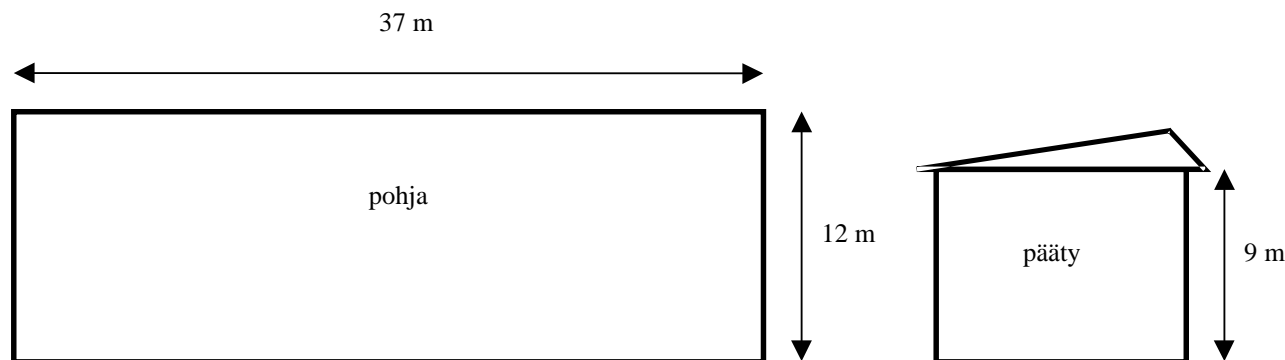
*Tällä lomakkeella voidaan osoittaa sellaisen loma-asumiseen suunnitellun pientalon lämpöhäviön määräystenmukaisuus, joka on tarkoitettu käytettäväksi vuodessa neljä kuukautta tai enemmän.  
Lisäksi loma-asunnon kerrosalan tulee olla 50 m<sup>2</sup> tai enemmän.*



## 2 Asuinkerrostaloesimerkki

### 2.1 Parempi ilmanpitävyys

Esimerkkikohteena on 3-kerroksinen asuinkerrostalo, jonka maanpäällisten kerrosten kerrostasoala on 1 330 m<sup>2</sup>. Talossa on 17 huoneistoa.



Ulkoseinät ovat betonielementtirakenteisia ja niiden U-arvo on 0,17 W/(m<sup>2</sup>K). Muidenkin vaipan rakennusosien U-arvot ovat vertailuarvojen mukaisia.

Asuinhuoneistojen ilmanvaihto toteutettiin huoneistokohtaisilla ilmanvaihtokoneilla, joiden lämmöntalteenoton (LTO) vuosihyötysuhde on 65 %. Ilmanvaihto on asukkaan ohjattavissa. Tulo- ja poistoilmavirtoja pystytään tehostamaan huoneistokohtaisesti 30 % ja pienentämään 50 %. Muissa tiloissa on koneellinen poistoilmavaihto ilman LTO:a. Näissä ilmanvaihtokoneen LTO:n vuosihyötysuhteena käytetään arvoa 0 %. Koko rakennuksen ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde laskettiin ympäristöministeriö www-sivuilta löytyvällä LTO-laskimella (oheinen taulukko). LTO:n vuosihyötysuhdetta määritettäessä ilmavirtoina käytetään suunniteltuja ilmavirtoja. Koko rakennuksen ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhteeksi saadaan 55 %. Tätä arvoa käytetään tasauslaskennassa.

Tasauslaskennassa käytetään ilmanvaihtolaitoksen käyttöajoilla painotettua poistoilmavirtaa. Poistoilmavirtana käytetään asetuksen mukaista ominaisilmavirtaa 0,4 dm<sup>3</sup>/s neliötä kohti. Mikäli ilmanvaihto ei olisi ollut asukkaiden ohjattavissa huoneistokohtaisesti, niin ominaisilmavirtana käytettäisiin arvoa 0,5 dm<sup>3</sup>/s neliötä kohti. Todellinen suunniteltu ilmavirta poikkesi tästä ilmavirrasta. Lämmitetty nettopinta-ala on 1215 m<sup>2</sup>. Asetuksen mukaisesti ilmanvaihto on käynnissä jatkuvasti eli viikoittainen käyntiaikasuhde  $t_v$  on 1 ja vuorokautinen käyntiaikasuhde  $t_d$  on 1. Tasauslaskelmissa käytettävä ilmavirta  $q_{v,p}$  on

$$q_{v,p} = 0,5 \text{ dm}^3/(\text{s m}^2) \cdot 1215 \text{ m}^2 \cdot 24\text{h}/24\text{h} \cdot 7\text{vrk}/7\text{vrk} = 608 \text{ dm}^3/\text{s} = 0,608 \text{ m}^3/\text{s}$$



<b>Rakennuskohde</b>	<b>Asuinkerrostalo 1</b>
<b>Rakennuslupatunnus</b>	<b>Esimerkki</b>
Rakennustyyppi	3-kerroksinen asuinkerrostalo, ilmanpitävyys on mitattu ennen rakennuksen käyttöönottoa
Pääsuunnittelija	
Tasauslaskelman tekijä	
Päiväys	
Tulos: Suunnitteluratkaisu	<b>TÄYTTÄÄ VAATIMUKSET</b>

**Rakennuksen laajuustiedot**

Rakennustilavuus	4 220 rak-m <sup>3</sup>
Maanpäälliset kerrostasoalat yhteensä	1 330 m <sup>2</sup>
Lämmitetty nettoala, lämpimät tilat	1 215 m <sup>2</sup>
Lämmitetty nettoala, puolilämpimät tilat	m <sup>2</sup>
Rakennusluokka (1 - 9)	2
Ilmanvaihdon huoneistokohtainen ohjausmahdollisuus (0 tai 1)	
Rakennuksen kerrosmäärä	3 kerrosta

**Laskentatuloksia**

Julkisivupinta-ala on 826 m<sup>2</sup>  
Ikkunapinta-ala on 15 % maanpäällisestä kerrostasosalasta  
Ikkunapinta-ala on 24 % julkisivun pinta-alasta  
Lämpöhäviö on 96 % vertailutasosta (lämpimät tilat)

Perustiedot	Pinta-alat, m <sup>2</sup>		U-arvot, W/(m <sup>2</sup> K)		Lämpöhäviöiden tasaus	
	[A]		[U]		Ominaislämpöhäviö, W/K	
RAKENNUSOSAT	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
<b>Lämpimät tilat</b>						
Ulkoseinä	580	580	0,17	0,17	98,6	98,6
Massiivipuuseinä <sup>1)</sup>			0,40		-	-
Yläpohja	405	405	0,09	0,09	36,5	36,5
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,09		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)		405	0,17	0,17	68,9	68,9
Alapohja (maanvastainen)			0,16		-	-
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16		-	-
Ikkunat	199,5	199,5	1,00	1,00	199,5	199,5
Ulko-ovet ja tuuletusluukut <sup>2)</sup>		46,0	1,00	1,00	46,0	46,0
Kattoikkunat			1,00		-	-
Kattovalokuvut			1,00		-	-
<b>Lämpimät tilat yhteensä</b>	<b>1 636</b>	<b>1 636</b>			<b>449,4</b>	<b>449,4</b>
<b>Puolilämpimät tilat tai määräaikaiset rakennukset</b>						
Ulkoseinä			0,26		-	-
Massiivipuuseinä <sup>1)</sup>			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 <sup>2)</sup>			1,40		-	-
Kattoikkunat			1,40		-	-
Kattovalokuvut			1,40		-	-
<b>Puolilämpimät tilat yhteensä</b>						
<b>VAIPAN ILMAVUODOT</b>						
	Ilmanvuotoluku, m <sup>3</sup> /(h m <sup>2</sup> )		Vuotoilmavirta, m <sup>3</sup> /s		Ominaislämpöhäviö, W/K	
	[q <sub>50</sub> ]		[q <sub>v,v</sub> = q <sub>50</sub> / 20 · A/3600]		[H <sub>vuotoilma</sub> = 1200 · q <sub>v,v</sub> ]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
<b>Vuotoilma</b>						
Lämpimät tilat	2,0	0,9	0,0454	0,0204	54,5	24,5
Puolilämpimät tilat	2,0				-	-
<b>ILMANVAIHTO</b>						
	Poistoilmavirta, m <sup>3</sup> /s		Ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhde, % [η <sub>a</sub> ]		Ominaislämpöhäviö, W/K	
	[q <sub>v,p</sub> ]				[H <sub>iv</sub> = 1200 · q <sub>v,p</sub> · (1-η <sub>a</sub> )]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
<b>Hallittu ilmanvaihto</b>						
Lämpimät tilat		0,608	55	55	328,1	328,1
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-
<b>Puolilämpimät tilat</b>						
Puolilämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			55		-	-
			0		-	-
<b>Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus</b>						
					Ominaislämpöhäviö, W/K	
					[H = H <sub>joht</sub> + H <sub>vuotoilma</sub> + H <sub>iv</sub> ]	
	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
<b>Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö</b>					<b>832</b>	<b>802</b>
<b>Puolilämpimien tilojen</b>						

<sup>1)</sup> Massiivipuuseinä, jonka keskimääräinen paksuus on vähintään 180 mm.

<sup>2)</sup> Ulko-oviin ja tuuletusluukuihin sisältyvät myös savunpoisto-, uloskäynti- ja huoltoluukut sekä muut vastaavat luukut.

<b>Rakennuskohde</b>	<b>Asuinkerrostalo 1</b>
<b>Rakennuslupatunnus</b>	<b>Esimerkki</b>

**Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden tarkistuslista**
**Pinta-alat**

Vertailuikkunapinta-ala on 15 % yhteenlasketuista maanpäällisistä kerrostasoaloista, mutta kuitenkin enintään 50 % julkisivujen pinta-alasta

kyllä	ei
v	

Rakennusosien yhteenlaskettu pinta-ala sama molemmissa ratkaisuissa

- lämpimissä tiloissa
- puolilämpimissä tiloissa

v	

**Rakennusvaipan ilmanpitävyys**

Rakennusvaipan ilmanvuotoluvun  $q_{50}$  suunnittelu-arvo on enintään enimmäisarvon suuruinen

- lämpimissä tiloissa
- puolilämpimissä tiloissa

kyllä	ei	Enimmäisarvo	Suunnittelu-arvo
v		4	0,90
		4	

**Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus**

Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään vertailuratkaisun suuruinen

- lämpimissä tiloissa
- puolilämpimissä tiloissa

kyllä	ei	Vertailuarvo	Suunnittelu-arvo
v		832 W/K	802 W/K

**Tarkistuslistan yhteenveto**

Suunnitteluratkaisu täyttää lämpöhäviövaatimukset

kyllä	ei
v	

**Lisätietoja**
**Rakennuksen ilmanpitävyys**

Rakennuksen suunnitteluratkaisun lämpöhäviön laskennassa käytetään rakennusvaipan ilmanvuotoluvun  $q_{50}$  suunnittelu-arvoa.

Rakennuksen vaipan ilmanvuotoluku  $q_{50}$  saa olla enintään  $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ , mutta ilmanvuotoluku voi ylittää tämän arvon,

jos rakennuksen käytön vaatimat rakenteelliset ratkaisut huonontavat merkittävästi ilmanpitävyyttä.

Jos ilmanpitävyyttä ei tulla osoittamaan mittaamalla tai teollisen talonrakennuksen laadunvarmistusmenettelyllä, rakennusvaipan ilmanvuotolukuna käytetään arvoa  $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ .

**Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) vuosihyötysuhde**

Ilmanvaihtokoneen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde määritetään käyttäen lämmöntalteenottolaitteen ominaisuuksia

ja ilmanvaihtokoneen suunniteltuja ilmavirtoja sekä asetuksen liitteessä 1 säädetyin säävyöhykkeen 1 säätiötietoja. Kahden tai useamman

ilmanvaihtokoneen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde määritetään suunniteltujen ilmavirtojen ja käytäntökojen painotettuna

vuosihyötysuhteena. Rakennuksen suunnitteluratkaisun ilmanvaihdon lämpöhäviö lasketaan käyttäen näin määritettyä poistoilman

lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta ja asetuksen 26 § mukaisia ilmavirtojen arvoja ja käytäntökoja.

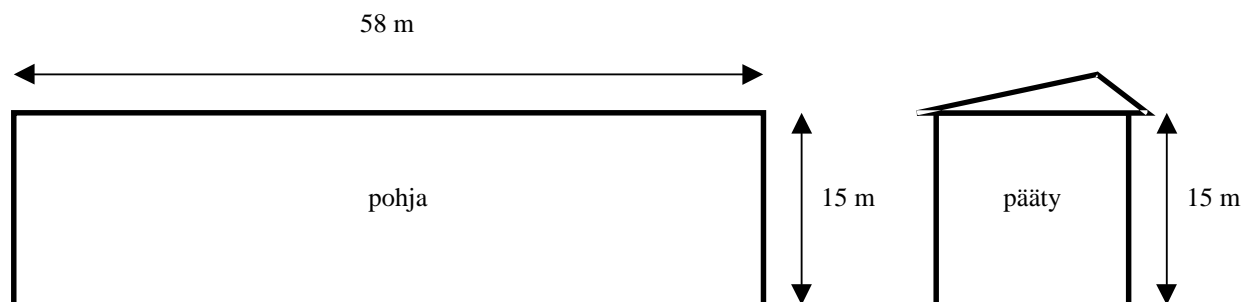
**Huomautus**

Tässä lomakkeessa esitetyt lämpöhäviövaatimukset koskevat rakennuksia, joiden kerrosala on  $50 \text{ m}^2$  tai enemmän.

## 4 Toimistotaloesimerkki

### 4.1 Puolet julkisivusta lasia

Esimerkkikohteena on 4-kerroksinen toimistorakennus, jonka maanpäällisten kerrosten kerrostasoala on 3 480 m<sup>2</sup>.



Puolet talon julkisivusta on perinteistä ikkunaa tai muuta lasirakennetta. Ikkunoiden kokonaispinta-ala on 50 % julkisivun pinta-alasta. Suuresta ikkunapinta-alasta johtuvan lämpöhäviön takia rakennusosien lämpöhäviöitä pitää pienentää tai LTO:a pitää parantaa.

Suunnitteluratkaisussa pienennetään vaipan U-arvoja valitsemalla laadukkaat ikkunat ja ovet. Ikkunoiden U-arvo paranee arvosta 1,0 W/(m<sup>2</sup>K) arvoon 0,8 W/(m<sup>2</sup>K) ja ulko-ovien arvosta 1,0 W/(m<sup>2</sup>K) arvoon 0,7 W/(m<sup>2</sup>K). Kokemuspohjasta tiedettiin, että suunnitellun rakennuksen ilmanvuotoluku ei tulisi ylittämään ainakaan arvoa 3,0 m<sup>3</sup>/(h m<sup>2</sup>), joten sitä käytettiin suunnitteluarvona.

Pääilmanvaihtokoneet varustettiin tehokkaalla LTO:illa, joiden vuosihyötysuhteet ovat 75 ja 70 %. Lisäksi portaikkojen ilmanvaihtojärjestelmäksi valittiin tulo- ja poistoilmanvaihto LTO:lla. Portaikkojen ilman laatu parani merkittävästi ja LTO:n vuosihyötysuhdetta saatiin parannettua kustannustehokkaasti. Koko rakennuksen LTO:n vuosihyötysuhde on erillisen selvityksen mukaan 62 % (oheinen taulukko).

Tasauslaskelmissa käytetään ilmanvaihtolaitoksen käyttöajoilla painotettua poistoilmavirtaa. Toimistorakennuksen asetuksen mukainen ulkoilmavirta on 2 dm<sup>3</sup>/s neliötä kohti. Lämmitetty nettoala on 3 248 m<sup>2</sup>. Ilmanvaihtolaitos on käynnissä asetuksen mukaisesti viisi päivää viikossa eli viikoittainen käyntiaikasuhde  $t_v$  on 5vrk/7vrk. Laitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaika on asetuksen mukaisesti 11 tuntia (klo 6 - 18). Lisäksi ilmanvaihtoa käytetään asetuksen mukaisesti yksi tunti ennen rakennuksen käyttöä ja yksi tunti rakennuksen käytön jälkeen. Vuorokautinen käyntiaikasuhde  $t_d$  on 13h/24h. Käyttöajan ulkopuolella ilmanvaihto on asetuksen mukaisesti 0,15 dm<sup>3</sup>/s neliötä kohti. Tasauslaskelmissa käytettävä ilmavirta  $q_{v,p}$  on

$$q_{v,p} = 2 \text{ dm}^3/(\text{s m}^2) \cdot 3\,248 \text{ m}^2 \cdot 13\text{h}/24\text{h} \cdot 5\text{vrk}/7\text{vrk} + 0,15 \text{ dm}^3/(\text{s m}^2) \cdot 3\,248 \text{ m}^2 \cdot (11\text{h}/24\text{h} \cdot 5\text{vrk}/7\text{vrk} + 24\text{h}/24\text{h} \cdot 2\text{vrk}/7\text{vrk}) = 2\,513 + 299 \text{ dm}^3/\text{s} = 2,812 \text{ m}^3/\text{s}$$

Energiatohokkuuden parannusten jälkeen rakennuksen yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö on pienempi kuin vertailulämpöhäviö. Suunnitteluratkaisu täyttää lämpöhäviövaatimuksen.



<b>Rakennuskohde</b>	<b>Toimistotalo 1</b>
<b>Rakennuslupatunnus</b>	<b>Esimerkki</b>
Rakennustyyppi	4-kerroksinen toimistotalo, jossa 50 % julkisivusta on ikkunaa
Päsuunnittelija	
Tasauslaskelman tekijä	
Päiväys	
Tulos: Suunnitteluratkaisu	<b>TÄYTTÄÄ VAATIMUKSET</b>

**Rakennuksen laajuustiedot**

Rakennustilavuus	12 790 rak-m <sup>3</sup>
Maanpäälliset kerrostasosalat yhteensä	3 480 m <sup>2</sup>
Lämmitetty nettoala, lämpimät tilat	3 248 m <sup>2</sup>
Lämmitetty nettoala, puolilämpimät tilat	m <sup>2</sup>
Rakennusluokka (1 - 9)	3
Rakennuksen kerrosmäärä	4 kerrosta

**Laskentatuloksia**

Julkisivupinta-ala on 1970 m<sup>2</sup>  
Ikkunapinta-ala on 28 % maanpäällisestä kerrostasosalasta  
Ikkunapinta-ala on 50 % julkisivun pinta-alasta  
Lämpöhäviö on 99 % vertailutasosta (lämpimät tilat)

PERUSTIEDOT	Pinta-alat, m <sup>2</sup> [A]		U-arvot, W/(m <sup>2</sup> K) [U]		Lämpöhäviöiden tasaus Ominaislämpöhäviö, W/K [H <sub>joht</sub> = A · U]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
<b>RAKENNUSOSAT</b>						
<i>Lämpimät tilat</i>						
Ulkoseinä	1 408	945	0,17	0,17	239,4	160,7
Massiivipuuseinä <sup>1)</sup>			0,40		-	-
Yläpohja	812	812	0,09	0,09	73,1	73,1
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,09		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)		812	0,17	0,15	138,0	121,8
Alapohja (maanvastainen)			0,16		-	-
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16		-	-
Ikkunat	522,0	985,0	1,00	0,80	522,0	788,0
Ulko-ovet ja tuuletusluukut <sup>2)</sup>	40,0		1,00	0,70	40,0	28,0
Kattoikkunat			1,00		-	-
Kattovalokuvut			1,00		-	-
<b>Lämpimät tilat yhteensä</b>	<b>3 594</b>	<b>3 594</b>			<b>1 012,5</b>	<b>1 171,5</b>
<i>Puolilämpimät tilat tai määräaikaikaiset rakennukset</i>						
Ulkoseinä			0,26		-	-
Massiivipuuseinä <sup>1)</sup>			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 <sup>2)</sup>			1,40		-	-
Kattoikkunat			1,40		-	-
Kattovalokuvut			1,40		-	-
<b>Puolilämpimät tilat yhteensä</b>	-	-			-	-
<b>VAIPAN ILMAVUODOT</b>						
	Ilmanvuotoluku, m <sup>3</sup> /(h m <sup>2</sup> ) [q <sub>50</sub> ]		Vuotoilmavirta, m <sup>3</sup> /s [q <sub>v,v</sub> = q <sub>50</sub> / 20 · A/3600]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H <sub>vuotoilma</sub> = 1200 · q <sub>v,v</sub> ]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
<b>Vuotoilma</b>						
Lämpimät tilat	2,0	3,0	0,0998	0,1498	119,8	179,7
Puolilämpimät tilat	2,0				-	-
<b>ILMANVAIHTO</b>						
	Poistoilmavirta, m <sup>3</sup> /s [q <sub>v,p</sub> ]		Ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhde, % [η <sub>a</sub> ]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H <sub>iv</sub> = 1200 · q <sub>v,p</sub> · (1-η <sub>a</sub> )]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
<b>Hallittu ilmanvaihto</b>						
Lämpimät tilat		2,812	55	62	1 518,5	1 282,3
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-
Puolilämpimät tilat			55		-	-
Puolilämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-
<b>Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus</b>						
					Ominaislämpöhäviö, W/K [H = H <sub>joht</sub> + H <sub>vuotoilma</sub> + H <sub>iv</sub> ]	
					Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
<b>Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö</b>					<b>2 651</b>	<b>2 634</b>
<b>Puolilämpimien tilojen</b>					-	-

<sup>1)</sup> Massiivipuuseinä, jonka keskimääräinen paksuus on vähintään 180 mm.

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

<b>Rakennuskohde</b>	<b>Toimistotalo 1</b>
<b>Rakennuslupatunnus</b>	<b>Esimerkki</b>

### Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden tarkistuslista

#### Pinta-alat

Vertailuikkunapinta-ala on 15 % yhteenlasketuista maanpäällisistä kerrostasoaloista, mutta kuitenkin enintään 50 % julkisivujen pinta-alasta

kyllä	ei
v	

Rakennusosien yhteenlaskettu pinta-ala sama molemmissa ratkaisuissa

- lämpimissä tiloissa
- puolilämpimissä tiloissa

v	

#### Rakennusvaipan ilmanpitävyys

Rakennusvaipan ilmanvuotoluvun  $q_{50}$  suunnitteluarvo on enintään enimmäisarvon suuruinen

- lämpimissä tiloissa
- puolilämpimissä tiloissa

kyllä	ei	Enimmäisarvo	Suunnitteluarvo
v		4	3,00
		4	

#### Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus

Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään vertailuratkaisun suuruinen

- lämpimissä tiloissa
- puolilämpimissä tiloissa

kyllä	ei	Vertailuarvo	Suunnitteluarvo
v		2 651 W/K	2 634 W/K

#### Tarkistuslistan yhteenveto

Suunnitteluratkaisu täyttää lämpöhäviövaatimukset

kyllä	ei
v	

#### Lisätietoja

##### Rakennuksen ilmanpitävyys

Rakennuksen suunnitteluratkaisun lämpöhäviön laskennassa käytetään rakennusvaipan ilmanvuotoluvun  $q_{50}$  suunnitteluarvoa.

Rakennuksen vaipan ilmanvuotoluku  $q_{50}$  saa olla enintään  $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ , mutta ilmanvuotoluku voi ylittää tämän arvon,

jos rakennuksen käytön vaatimat rakenteelliset ratkaisut huonontavat merkittävästi ilmanpitävyyttä.

Jos ilmanpitävyyttä ei tulla osoittamaan mittaamalla tai teollisen talonrakennuksen laadunvarmistusmenettelyllä, rakennusvaipan ilmanvuotolukuna käytetään arvoa  $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ .

##### Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) vuosihyötysuhde

Ilmanvaihtokoneen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde määritetään käyttäen lämmöntalteenottolaitteen ominaisuuksia

ja ilmanvaihtokoneen suunniteltuja ilmavirtoja sekä asetuksen liitteessä 1 säädetyin säävyöhykkeen 1 säätietoja. Kahden tai useamman

ilmanvaihtokoneen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde määritetään suunniteltujen ilmavirtojen ja käyntiaikojen painotettuna vuosihyötysuhteena. Rakennuksen suunnitteluratkaisun ilmanvaihdon lämpöhäviö lasketaan käyttäen näin määritettyä poistoilman

lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta ja asetuksen 26 § mukaisia ilmavirtojen arvoja ja käyntiaikoja.

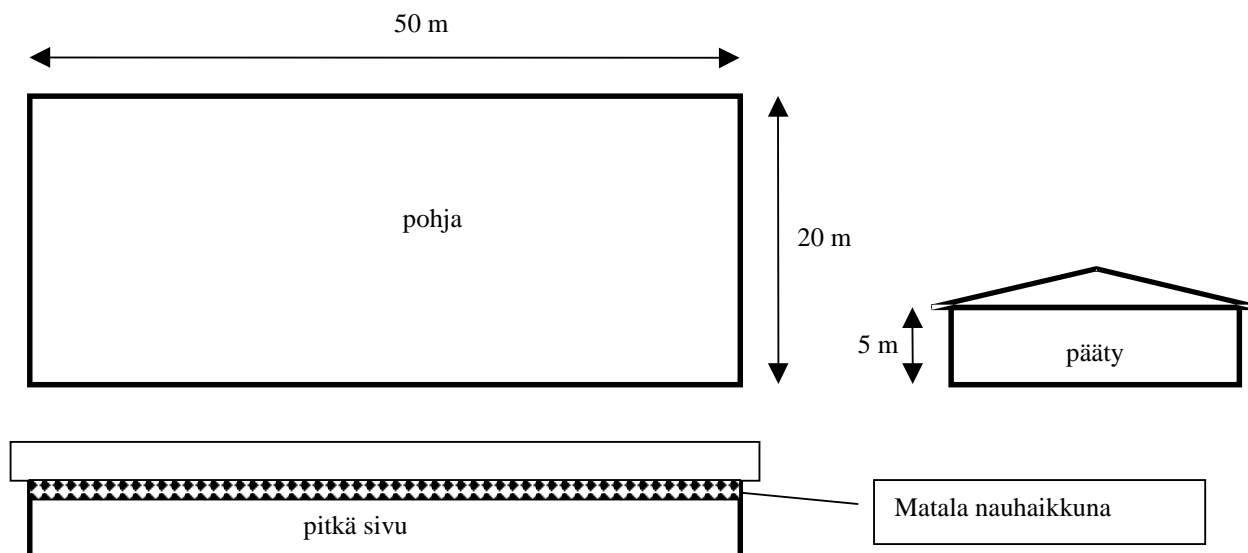
#### Huomautus

Tässä lomakkeessa esitetyt lämpöhäviövaatimukset koskevat rakennuksia, joiden kerrosala on  $50 \text{ m}^2$  tai enemmän.



## 5 Teollisuusrakennusesimerkki

Esimerkkikohteena on 1-kerroksinen teollisuusrakennus, jonka maanpäällisten kerrosten kerrostasoala on 1 000 m<sup>2</sup>.



Ulkoseinät ja yläpohja ovat kevytbetonia. Ulkoseinän U-arvo on 0,28 W/(m<sup>2</sup>K). Rakennuksessa on pitkän sivuseinän mittaiset nauhaikkunat. Ikkunoiden kokonaispinta-ala on 5 % kerrostasoalasta. Tämä pienentää ikkunoiden lämpöhäviötä vertailutasoon verrattuna. Ulkoseinän ja yläpohjan suuren lämpöhäviön takia muiden rakennusosien lämpöhäviöitä pitää pienentää tai LTO:a pitää parantaa.

Suunnitteluratkaisussa kevytbetoninen yläpohja eristetään niin, että sen U-arvoksi saadaan 0,14 W/(m<sup>2</sup>K), joka on vielä vertailuarvoa huonompi. Vaipan muiden rakennusosien osien U-arvot ovat vertailuarvojen mukaisia. Rakennuksen ilmanpitävyyttä ei mitattu, joten ilmanvuotoluvun suunnitteluarvona käytetään arvoa q<sub>50</sub> on 4,0 m<sup>3</sup>/(h m<sup>2</sup>).

Koska teollisuusrakennus kuuluu asetuksen mukaan käyttötarkoitukseluokkaan 9 (Muu rakennus), tasauslaskennassa käytetään suunniteltuja ilmanvaihdon ilmavirtoja ja käyntiaikoja. Tuotantotilojen (927 m<sup>2</sup>) ilmanvaihdon käyntiaika on 14 tuntia vuorokaudessa, viisi päivää viikossa. Suunniteltu käyttöajan poistoilmavirta on 1,5 dm<sup>3</sup>/s neliötä kohti. Käyttöajan ulkopuolinen ilmanvaihto on toteutettu taukokäytöllä niin, että keskimääräinen ilmavirta on 150 dm<sup>3</sup>/s. Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on erillisen selvityksen mukaan 65 %. Tuotantotilojen lisäksi rakennuksessa on 20 m<sup>2</sup> liuotin- ja happovarasto, jonka ilmanvaihto on toteutettu poistoilmavaihdolla (jatkuvasti 50 dm<sup>3</sup>/s) ilman LTO:a. Syövyttävien aineiden ja muiden epäpuhtauksien sekä pienen ilmavirran takia LTO:n rakentaminen on epätarkoituksenmukaista. Lisäksi tila pidetään poistoilmavaihdolla alipaineisena muihin tiloihin verrattuna.

$$q_{v,p} = 1,5 \text{ dm}^3/(\text{s m}^2) \cdot 927 \text{ m}^2 \cdot 14\text{h}/24\text{h} \cdot 5\text{vrk}/7\text{vrk} + 150 \text{ dm}^3/\text{s} \cdot (10\text{h}/24\text{h} \cdot 5\text{vrk}/7\text{vrk} + 24\text{h}/24\text{h} \cdot 2\text{vrk}/7\text{vrk}) = 579 + 88 \text{ dm}^3/\text{s} = 667 \text{ dm}^3/\text{s} = 0,667 \text{ m}^3/\text{s}$$

Näillä suunnitteluratkaisuilla rakennuksen ominaislämpöhäviö on pienempi kuin vertailulämpöhäviö. Suunnitteluratkaisu täyttää lämpöhäviövaatimuksen.

<b>Rakennuskohde</b>	<b>Teollisuusrakennus</b>
<b>Rakennuslupatunnus</b>	<b>Esimerkki</b>
Rakennustyyppi	1-kerroksinen teollisuusrakennus, ulkoseinät ja yläpohja kevytbetonia
Päsuunnittelija	
Tasauslaskelman tekijä	
Päiväys	
Tulos: Suunnitteluratkaisu	<b>TÄYTTÄÄ VAATIMUKSET</b>

**Rakennuksen laajuustiedot**

Rakennustilavuus	60 000 rak-m <sup>3</sup>
Maanpäälliset kerrostasosalat yhteensä	1 000 m <sup>2</sup>
Lämmitetty nettoala, lämpimät tilat	947 m <sup>2</sup>
Lämmitetty nettoala, puolilämpimät tilat	m <sup>2</sup>
Rakennusluokka (1 - 9)	9
Rakennuksen kerrosmäärä	1 kerrosta

**Laskentatuloksia**

Julkisivupinta-ala on 685 m<sup>2</sup>  
Ikkunapinta-ala on 5 % maanpäällisestä kerrostasosalasta  
Ikkunapinta-ala on 7 % julkisivun pinta-alasta  
Lämpöhäviö on 100 % vertailutasosta (lämpimät tilat)

Perustiedot	Pinta-alat, m <sup>2</sup>		U-arvot, W/(m <sup>2</sup> K)		Lämpöhäviöiden tasaus	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
<b>RAKENNUSOSAT</b>						
<b>Lämpimät tilat</b>						
Ulkoseinä	495	595	0,17	0,28	84,2	166,6
Massiivipuuseinä <sup>1)</sup>			0,40		-	-
Yläpohja	947	947	0,09	0,14	85,2	132,6
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,09		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)		947	0,17	0,17	161,0	161,0
Alapohja (maanvastainen)			0,16		-	-
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16		-	-
Ikkunat	150,0	50,0	1,00	1,00	150,0	50,0
Ulko-ovet ja tuuletusluukut <sup>2)</sup>	40,0		1,00	1,00	40,0	40,0
Kattoikkunat			1,00		-	-
Kattovalokuvut			1,00		-	-
<b>Lämpimät tilat yhteensä</b>	<b>2 579</b>	<b>2 579</b>			<b>520,4</b>	<b>550,2</b>
<b>Puolilämpimät tilat tai määräaikaikaiset rakennukset</b>						
Ulkoseinä			0,26		-	-
Massiivipuuseinä <sup>1)</sup>			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 <sup>2)</sup>			1,40		-	-
Kattoikkunat			1,40		-	-
Kattovalokuvut			1,40		-	-
<b>Puolilämpimät tilat yhteensä</b>	-	-			-	-
<b>VAIPAN ILMAVUODOT</b>						
<b>Vuotoilma</b>						
Lämpimät tilat	2,0	4,0	0,0409	0,0819	49,1	98,2
Puolilämpimät tilat	2,0				-	-
<b>ILMANVAIHTO</b>						
<b>Hallittu ilmanvaihto</b>						
Lämpimät tilat		0,667	55	65	360,2	280,1
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta		0,050	0		60,0	60,0
Puolilämpimät tilat			55		-	-
Puolilämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-
<b>Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus</b>						
<b>Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö</b>					<b>990</b>	<b>989</b>
<b>Puolilämpimien tilojen</b>					-	-

© Ympäristöministeriö, Tasauslaskin 2017 (versio maaliskuun 2017)

<sup>1)</sup> Massiivipuuseinä, jonka keskimääräinen paksuus on vähintään 180 mm.

<sup>2)</sup> Ulko-ovien ja tuuletusluukkuihin sisältyvät myös savunpoisto-, uloskäynti- ja huoltoluukut sekä muut vastaavat luukut.

<b>Rakennuskohde</b>	<b>Teollisuusrakennus</b>
<b>Rakennuslupatunnus</b>	<b>Esimerkki</b>

### Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden tarkistuslista

#### Pinta-alat

Vertailuikkunapinta-ala on 15 % yhteenlasketuista maanpäällisistä kerrostasoaloista, mutta kuitenkin enintään 50 % julkisivujen pinta-alasta

kyllä	ei
v	

Rakennusosien yhteenlaskettu pinta-ala sama molemmissa ratkaisuissa

- lämpimissä tiloissa
- puolilämpimissä tiloissa

v	

#### Rakennusvaipan ilmanpitävyys

Rakennusvaipan ilmanvuotoluvun  $q_{50}$  suunnitteluarvo on enintään enimmäisarvon suuruinen

- lämpimissä tiloissa
- puolilämpimissä tiloissa

kyllä	ei	Enimmäisarvo	Suunnitteluarvo
v		4	4,00
		4	

#### Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus

Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään vertailuratkaisun suuruinen

- lämpimissä tiloissa
- puolilämpimissä tiloissa

kyllä	ei	Vertailuarvo	Suunnitteluarvo
v		990 W/K	989 W/K

#### Tarkistuslistan yhteenveto

Suunnitteluratkaisu täyttää lämpöhäviövaatimukset

kyllä	ei
v	

#### Lisätietoja

##### Rakennuksen ilmanpitävyys

Rakennuksen suunnitteluratkaisun lämpöhäviön laskennassa käytetään rakennusvaipan ilmanvuotoluvun  $q_{50}$  suunnitteluarvoa.

Rakennuksen vaipan ilmanvuotoluku  $q_{50}$  saa olla enintään  $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ , mutta ilmanvuotoluku voi ylittää tämän arvon,

jos rakennuksen käytön vaatimat rakenteelliset ratkaisut huonontavat merkittävästi ilmanpitävyyttä.

Jos ilmanpitävyyttä ei tulla osoittamaan mittaamalla tai teollisen talonrakennuksen laadunvarmistusmenettelyllä, rakennusvaipan ilmanvuotolukuna käytetään arvoa  $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ .

##### Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) vuosihyötysuhde

Ilmanvaihtokoneen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde määritetään käyttäen lämmöntalteenottolaitteen ominaisuuksia

ja ilmanvaihtokoneen suunniteltuja ilmavirtoja sekä asetuksen liitteessä 1 säädetyin säävyöhykkeen 1 säätietoja. Kahden tai useamman

ilmanvaihtokoneen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde määritetään suunniteltujen ilmavirtojen ja käyntiaikojen painotettuna

vuosihyötysuhteena. Rakennuksen suunnitteluratkaisun ilmanvaihdon lämpöhäviö lasketaan käyttäen näin määritettyä poistoilman

lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta ja asetuksen 26 § mukaisia ilmavirtojen arvoja ja käyntiaikoja.

#### Huomautus

Tässä lomakkeessa esitetyt lämpöhäviövaatimukset koskevat rakennuksia, joiden kerrosala on  $50 \text{ m}^2$  tai enemmän.

## 6 Tyhjät määräystenmukaisuuden osoittamistaulukot

Liitteenä ovat esimerkkilaskelmissa käytetyt taulukkopohjat tyhjinä. Niitä voidaan käyttää erilaisten suunnittelukohteiden lämpöhäviön määräystenmukaisuuden osoittamiseen.

<b>Rakennuskohde</b>
<b>Rakennuslupatunnus</b>
Rakennustyyppi
Pääsuunnittelija
Tasauslaskelman tekijä
Päiväys
Tulos: Suunnitteluratkaisu <input type="checkbox"/> täyttää vaatimukset, <input type="checkbox"/> ei täytä vaatimuksia

**Rakennuksen laajuustiedot**

Rakennustilavuus	rak-m <sup>3</sup>
Maanpäälliset kerrostasoalat yhteensä	m <sup>2</sup>
Lämmitetty nettoala, lämpimät tilat	m <sup>2</sup>
Lämmitetty nettoala, puolilämpimät tilat	m <sup>2</sup>
Rakennusluokka (1 - 9)	
Ilmanvaihdon huoneistokohtainen ohjausmahdollisuus (ei tai on)	
Rakennuksen kerrosmäärä	kerrosta

**Laskentatuloksia**

Julkisivun pinta-ala on _____ m <sup>2</sup>
Ikkunapinta-ala on _____ % maanpäällisestä kerrostasoalasta
Ikkunapinta-ala on _____ % julkisivun pinta-alasta
Lämpöhäviö on _____ % vertailutasosta (lämpimät tilat)
Lämpöhäviö on _____ % vertailutasosta (puolilämpimät tilat)
1 k. x = 35, 2 k. x = 24, 3-4 k. x = 20, 5- k. x = 15.

Perustiedot	Pinta-alat, m <sup>2</sup>		U-arvot, W/(m <sup>2</sup> K)		Lämpöhäviöiden tasaus	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
<b>RAKENNUSOSAT</b>						
<i>Lämpimät tilat</i>						
Ulkoseinä			0,17			
Massiivipuuseinä <sup>1)</sup>			0,40			
Yläpohja			0,09			
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,09			
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,17			
Alapohja (maanvastainen)			0,16			
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16			
Ikkunat			1,00			
Ulko-ovet ja tuuletusluukut <sup>2)</sup>			1,00			
Kattoikkunat			1,00			
Kattovalokuvut			1,00			
<b>Lämpimät tilat yhteensä</b>						
<i>Puolilämpimät tilat tai määräaikaiset rakennukset</i>						
Ulkoseinä			0,26			
Massiivipuuseinä <sup>1)</sup>			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 <sup>2)</sup>			1,40			
Kattoikkunat			1,40			
Kattovalokuvut			1,40			
<b>Puolilämpimät tilat yhteensä</b>						
<b>VAIPAN ILMAVUODOT</b>						
<i>Ilmanvuotoluku, m<sup>3</sup>/(h m<sup>2</sup>)</i>						
<i>Vuotoilmavirta, m<sup>3</sup>/s</i>						
<i>Ominaislämpöhäviö, W/K</i>						
<b>Vuotoilma</b>	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Lämpimät tilat	2,0				-	-
Puolilämpimät tilat	2,0				-	-
<b>ILMANVAIHTO</b>						
<i>Poistoilmavirta, m<sup>3</sup>/s</i>						
<i>Ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhde, % [η<sub>a</sub>]</i>						
<i>Ominaislämpöhäviö, W/K</i>						
<b>Hallittu ilmanvaihto</b>	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Lämpimät tilat			55			
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0			
Puolilämpimät tilat			55			
Puolilämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0			
<b>Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus</b>						
<i>Ominaislämpöhäviö, W/K</i>						
<b>Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö</b>	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu				
<b>Puolilämpimien tilojen</b>						

<sup>1)</sup> Massiivipuuseinä, jonka keskimääräinen paksuus on vähintään 180 mm.

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

<b>Rakennuskohde</b> <b>Rakennuslupatunnus</b>
---------------------------------------------------

**Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden tarkistuslista**

<b>Pinta-alat</b> Vertailuikkunapinta-ala on 15 % yhteenlasketuista maanpäällisistä kerrostasoaloista, mutta kuitenkin enintään 50 % julkisivujen pinta-alasta	<table border="1"><tr><td>kyllä</td><td>ei</td></tr><tr><td></td><td></td></tr></table>	kyllä	ei		
kyllä	ei				

Rakennusosien yhteenlaskettu pinta-ala sama molemmissa ratkaisuisissa - lämpimissä tiloissa - puolilämpimissä tiloissa	<table border="1"><tr><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td></tr></table>				

**Rakennusvaipan ilmanpitävyys**

Rakennusvaipan ilmanvuotoluvun $q_{50}$ suunnitteluarvo on enintään enimmäisarvon suuruinen - lämpimissä tiloissa - puolilämpimissä tiloissa	<table border="1"><tr><td>kyllä</td><td>ei</td><td>Enimmäisarvo</td><td>Suunnitteluarvo</td></tr><tr><td></td><td></td><td>4</td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>4</td><td></td></tr></table>	kyllä	ei	Enimmäisarvo	Suunnitteluarvo			4				4	
kyllä	ei	Enimmäisarvo	Suunnitteluarvo										
		4											
		4											

**Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus**

Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään vertailuratkaisun suuruinen - lämpimissä tiloissa - puolilämpimissä tiloissa	<table border="1"><tr><td>kyllä</td><td>ei</td><td>Vertailuarvo</td><td>Suunnitteluarvo</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	kyllä	ei	Vertailuarvo	Suunnitteluarvo								
kyllä	ei	Vertailuarvo	Suunnitteluarvo										

**Tarkistuslistan yhteenveto**

Suunnitteluratkaisu täyttää lämpöhäviövaatimukset	<table border="1"><tr><td>kyllä</td><td>ei</td></tr><tr><td></td><td></td></tr></table>	kyllä	ei		
kyllä	ei				

**Lisätietoja**

<b>Rakennuksen ilmanpitävyys</b> Rakennuksen suunnitteluratkaisun lämpöhäviön laskennassa käytetään rakennusvaipan ilmanvuotoluvun $q_{50}$ suunnitteluarvoa. Rakennuksen vaipan ilmanvuotoluku $q_{50}$ saa olla enintään $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ , mutta ilmanvuotoluku voi ylittää tämän arvon, jos rakennuksen käytön vaatimat rakenteelliset ratkaisut huonontavat merkittävästi ilmanpitävyyttä. Jos ilmanpitävyyttä ei tulla osoittamaan mittaamalla tai teollisen talonrakennuksen laadunvarmistusmenettelyllä, rakennusvaipan ilmanvuotolukuna käytetään arvoa $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ .
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) vuosihyötysuhde**

Ilmanvaihtokoneen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde määritetään käyttäen lämmöntalteenottolaitteen ominaisuuksia ja ilmanvaihtokoneen suunniteltuja ilmavirtoja sekä asetuksen liitteessä 1 säädetyn säävyöhykkeen 1 säätietoja. Kahden tai useamman ilmanvaihtokoneen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde määritetään suunniteltujen ilmavirtojen ja käyntiaikojen painotettuna vuosihyötysuhteena. Rakennuksen suunnitteluratkaisun ilmanvaihdon lämpöhäviö lasketaan käyttäen näin määritettyä poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta ja asetuksen 26 § mukaisia ilmavirtojen arvoja ja käyntiaikoja.
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**Huomautus**

Tässä lomakkeessa esitetyt lämpöhäviövaatimukset koskevat rakennuksia, joiden kerrosala on $50 \text{ m}^2$ tai enemmän.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<b>Rakennuskohde</b>
<b>Rakennuslupatunnus</b>
Rakennustyyppi
Pääsuunnittelija
Tasauslaskelman tekijä
Päiväys
Tulos: Suunnitteluratkaisu <input type="checkbox"/> täyttää vaatimukset, <input type="checkbox"/> ei täytä vaatimuksia

**Rakennuksen laajuustiedot**

Rakennustilavuus	rak-m <sup>3</sup>
Maanpäälliset kerrostasoalat yhteensä	m <sup>2</sup>
Lämmitetty nettoala	m <sup>2</sup>
Rakennustyyppi	<b>Loma-asunto, pientalo</b>

**Laskentatuloksia**

Julkisivun pinta-ala on \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup>  
 Ikkunapinta-ala on \_\_\_\_\_ % maanpäällisestä kerrostasoalasta  
 Ikkunapinta-ala on \_\_\_\_\_ % julkisivun pinta-alasta  
 Lämpöhäviö on \_\_\_\_\_ % vertailutasosta

Perustiedot	Pinta-alat, m <sup>2</sup>		U-arvot, W/(m <sup>2</sup> K)		Lämpöhäviöiden taseus	
	[A]		[U]		Ominaislämpöhäviö, W/K	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
RAKENNUSOSAT						
Ulkoseinä			0,24			
Massiivipuuseinä <sup>1)</sup>			0,80			
Yläpohja			0,15			
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,15			
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,19			
Alapohja (maanvastainen)			0,24			
Muu maanvastainen rakennusosa			0,24			
Ikkunat			1,40			
Ulko-ovet ja tuuletusluukut <sup>2)</sup>			1,40			
Kattoikkunat			1,40			
Kattovalokuvut			1,40			
<b>Yhteensä</b>						

1) Massiivipuuseinä, jonka keskimääräinen paksuus on vähintään 130 mm.

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

**Loma-asunnon vaipan lämpöhäviön määräystenmukaisuuden tarkistus****Pinta-alat**

Vertailuikkunapinta-ala on 15 % yhteenlasketuista maanpäällisistä kerrostasoaloista, mutta kuitenkin enintään 50 % julkisivujen pinta-alasta  
 Rakennusosien yhteenlaskettu pinta-ala sama molemmissa ratkaisuissa

kyllä	ei

**Loma-asunnon vaipan lämpöhäviövaatimus**

Suunnitteluratkaisun vaipan ominaislämpöhäviö on enintään vertailuratkaisun suuruinen

kyllä	ei	Vertailuarvo	Suunnitteluarvo

**Tarkistuksen yhteenveto**

Suunnitteluratkaisu täyttää lämpöhäviövaatimuksen

kyllä	ei

**Lisätietoja****Rakennuksen ilmanpitävyys**

Loma-asunnon vaipan vuotoilman lämpöhäviölle ei ole asetettu vaatimuksia, mutta hyvää ilmanpitävyyttä suositellaan tavoiteltavan.  
 Sekä rakennuksen vaipan että tilojen välisten rakenteiden tulee olla niin ilmanpitäviä, että vuotokohtien läpi tapahtuvat ilmavirtaukset eivät aiheuta merkittäviä haittoja rakennuksen käyttäjille, rakenteille tai rakennuksen energiatehokkuudelle.

**Rakennuksen sisäilmasto ja ilmanvaihto**

Loma-asunnon ilmanvaihdon lämpöhäviölle ei ole asetettu vaatimuksia.  
 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta koskee myös tässä käsiteltäviä loma-asuntoja.

**Huomautus**

*Tällä lomakkeella voidaan osoittaa sellaisen loma-asumiseen suunnitellun pientalon lämpöhäviön määräystenmukaisuus, joka on tarkoitettu käytettäväksi vuodessa neljä kuukautta tai enemmän.  
 Lisäksi loma-asunnon kerrosalan tulee olla 50 m<sup>2</sup> tai enemmän.*