

Ympäristöministeriön moniste

122

**Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto
lämpöhäviöiden tasaus-
laskennassa**

HELSINKI 2003

Ympäristöministeriön moniste 122

Ympäristöministeriö

Asunto- ja rakennusosasto

Taitto: Leila Haavasoja

Helsinki 2003

Esipuhe

Tässä monisteessa käsitellään rakennuksen ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskennallista määrittämistä. Vuosihyötysuhdetta tarvitaan niin sanotussa laajennetussa lämpöhäviöiden tasauslaskennassa, kun osoitetaan, että rakennuksen vaipan ja ilmanvaihdon yhteenlasketut lämpöhäviöt täyttävät rakentamismääräysten vaatimukset.

Ympäristöministeriö on julkaissut syyskuussa 2003 oppaan "*LÄMMÖNERISTYSMÄÄRÄYSTEN 2003 TÄYTTÄMINEN - Lämpöhäviöiden tasaus ja U-arvon laskenta*" (*Ympäristöopas 106*). Oppaassa kuvataan eri tavat, joilla täytetään rakennuksen lämmöneristystä ja ilmanvaihdon energiatehokkuutta koskevat vaatimukset, jotka esitetään Suomen rakentamismääräyskokoelman lokakuun alusta 2003 voimassaolevissa *osissa C3 Rakennuksen lämmöneristys ja D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto*. Edellä mainitussa oppaassa ei anneta tarkempia ohjeita rakennuksen ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskennalliseen erillisselvitykseen. Tämä moniste täydentää edellä mainittua opasta tältä osin.

Tämän monisteen sovellusesimerkit, suositukset ja lisätiedot eivät sellaisenaan ole rakentamismääräyskokoelman määräysten tai ohjeiden taseisia kannanottoja, jotka sitoisivat suunnittelua ja rakentamista.

Monisteen ovat laatineet erikoistutkija Mikko Nyman ja tutkija Mikko Saari VTT:sta sekä ympäristöministeriöstä yli-insinööri Mika Vuolle, joka on myös valvonut ja ohjannut työtä. Moniste on ollut asiantuntijalausuntokierroksella, jonka antamaa palautetta on otettu huomioon viimeistelytyössä. Lausun parhaimmat kiitokseni monisteen valmistelutyöhön osallistuneille.

Helsingissä joulukuun 17 päivänä 2003

Kehittämisjohtaja

Helena Säteri

Sisältö

Esipuhe	3
Käytetyt merkinnät	5
1 Johdanto	6
2 Määritelmiä	8
2.1 Käsitteitä	8
2.2 Lämmöntalteenotto erikoistapauksissa	10
3 Rakennuksen ilmanvaihto	11
3.1 Rakennuksen ilmavirrat	11
3.2 Laskennassa käytettävät ilmavirrat	12
3.3 Vuotoilmanvaihto	12
4 Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskenta perusmenetelmällä	14
4.1 Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhteet	14
4.2 Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde	16
5 Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskenta lämmöntarveluvuilla	18
5.1 Ilmanvaihdon lämmityksen energiantarve	18
5.2 Poistoilmasta talteenotettu lämpöenergia	20
5.3 Vuosihyötysuhteen laskenta	24
6 Laskentaesimerkkejä	25
6.1 Pientaloesimerkki	25
6.2 Toimistotaloesimerkki	29
7 Säätiidot ja lämmöntarveluvut	33
7.1 Ulkolämpötilojen pysyvyytiedot	33
7.2 Lämmöntarveluvun laskenta	34
Kirjallisuutta	35

Käytetyt merkinnät

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 ³ /s
$q_{p,i}$	lämmöntalteenottovaatimuksen piiriin kuuluva poistoilmavirta (i), m ³ /s
q_{pLTO}	lämmöntalteenoton läpi kulkeva poistoilmavirta, m ³ /s
q_{ep1}	lämmöntalteenottovaatimuksen piiriin <u>kuuluvan</u> erillispoiston ilmavirta, m ³ /s
q_{ep2}	lämmöntalteenottovaatimuksen piiriin <u>kuulumattoman</u> erillispoiston ilmavirta, m ³ /s
q_{tLTO}	lämmöntalteenoton läpi kulkevan tuloilmavirran tilavuusvirta, m ³ /s
HUOM. kaikki tässä monisteessa esitetyt ilmavirrat vastaavat ilman tiheyttä 1,2 kg/m ³ .	
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) 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), °C
t_{tLTO}	tuloilman lämpötila LTO:n jälkeen, °C
t_u	ulkoilman lämpötila, °C
η_a	ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde, -
η_p	lämmöntalteenoton poistoilman lämpötilahyötysuhde, -
η_t	lämmöntalteenoton tuloilman lämpötilahyötysuhde, -
ρ	ilman tiheys, kg / m ³ , (= 1,2 kg/m ³)
$\Delta\tau$	aikajakso, jolloin ko. lämpötilaero esiintyy, d

1 Johdanto

Suomen rakentamismääräyskokoelman *osan D2 "Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto"* määräyksessä 4.1.2 esitetään, että ilmanvaihdon poistoilmasta on otettava talteen lämpömäärä, joka vastaa vähintään 30 % ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemasta lämpömäärästä.

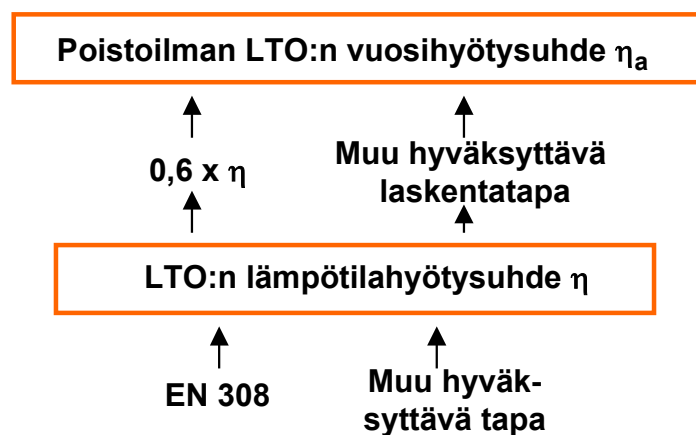
Osan D2 kohdan 4.1.2.1 ohjetekstissä on esitetty, että laskelmissa käytetään lämmöntalteenottolaitteen vuosihyötysuhteena lämmönsiirtimen tuloilman lämpötilahyötysuhdetta kerrottuna 0,6:lla jollei selvityksin toisin osoiteta. Laskennassa käytetään valmistajan ilmoittamaa esimerkiksi *standardin EN 308* mukaan mitattua tuloilman lämpötilahyötysuhdetta (tulo- ja poistoilman massavirrat ovat yhtä suuret) tai voimassa olevan tyyppihyväksyntäohjeen mukaisella tavalla mitattua hyötysuhdetta. Lämpötilahyötysuhde määritellään suunnitteluratkaisun poistoilmavirralla. *Ympäristöoppaassa 106 Lämmöneristysmääräysten 2003 täytäminen* esitetään seuraavat vaatimukset em. selvitykselle:

"Mikäli laskelmissa käytetään lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteena muuta kuin lämmönsiirtimen tuloilman lämpötilahyötysuhdetta kerrottuna 0,6:lla, on vuosihyötysuhteen osoittamisessa otettava huomioon ainakin tulo- ja poistoilmavirtojen suhde ja jäätymissuojauksen toiminta sekä mahdollinen tuloilman lämpötilan rajoittaminen."

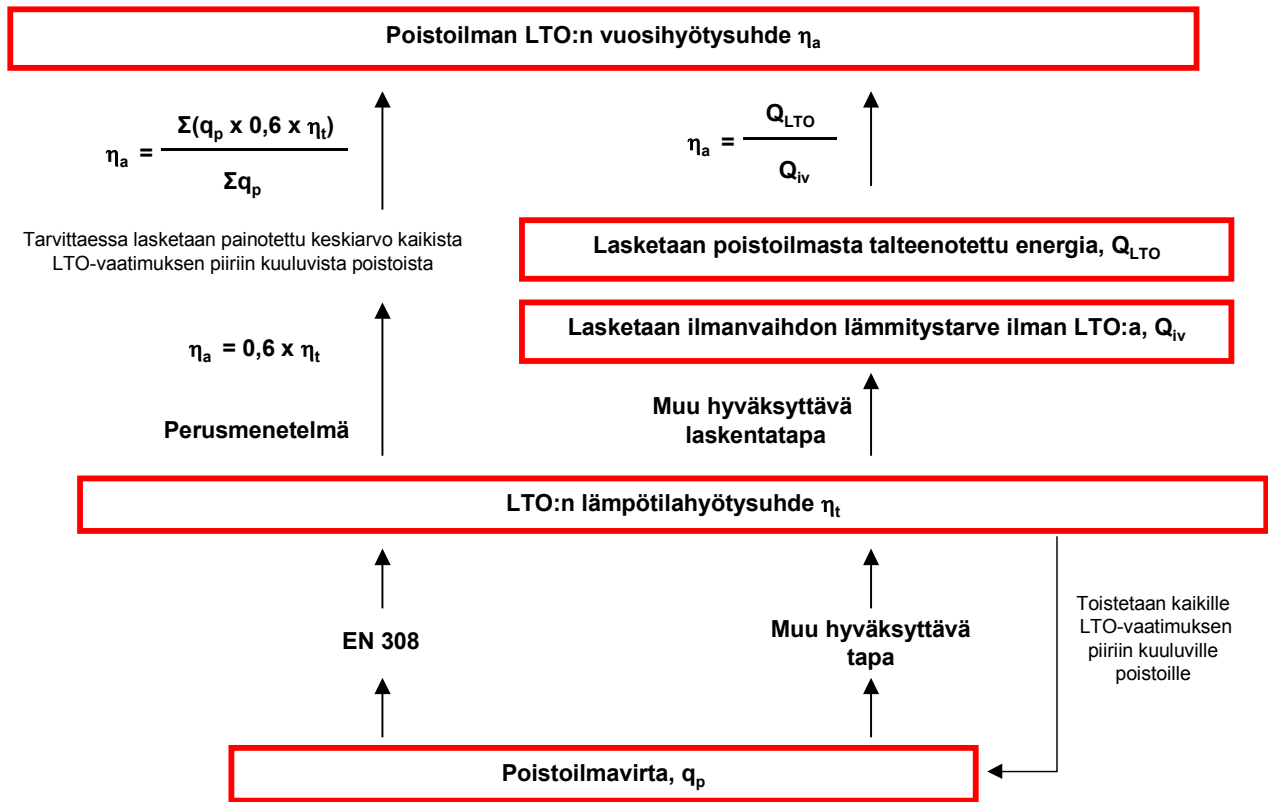
Kyseisessä oppaassa on esitetty myös lyhyesti perusteet vuosihyötysuhteen määrittämiseksi pysyvyyssäilytarkastelulla. Tässä monisteessa esitetään yksityiskohtaisemmat ohjeet, miten ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde voidaan laskea tuloilman lämpötilahyötysuhteen ja ulkolämpötilan pysyvyystietojen avulla.

Tässä monisteessa kuvatut yksinkertaistetut menetelmät on tarkoitettu rakennuksen suunnitteluratkaisun määräystenmukaisuuden osoittamiseen. Menetelmät eivät pyri ottamaan huomioon kaikkia lämmitysenergiankulutukseen vaikuttavia tekijöitä todellisessa rakennuksessa ja todellisessa käytössä. Tämä moniste on suunniteltu käytettäväksi yhdessä *Ympäristöoppaan 106* kanssa.

Kuvassa 1 esitetään *Ympäristöoppaassa 106* oleva kaavio rakennuksen ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittämistavoista. Kuvassa 2 esitetään yksityiskohtaisempi kaavio rakennuksen ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittämiseksi tämän monisteen pohjalta.



Kuva 1. *Ympäristöoppaan 106* mukainen kaavio rakennuksen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittämistavoista.



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

2 Määritelmiä

2.1 Käsitteitä

Poistoilman (jäteilman) lämmöntalteenoton perusvaatimus tarkoittaa rakentamismääräyskokoelman *osan D2* määräyksessä 4.1.2 esitettyä ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton (LTO) vähimmäisvaatimusta, joka on 30 % ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemasta lämpömäärästä. Jäteilma on poistoilmaa, joka johdetaan rakennuksesta ulos. Lämmöntalteenoton perusvaatimuksen täytyminen edellyttää, että poistoilmasta talteenotettu lämpömäärä käytetään vaadittavalta osaltaan rakennuksen tuloilman tai tilojen lämmitykseen lämmityskauden aikana.

Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemalla lämpömäärällä tarkoitetaan sitä lämpömäärää, joka tarvitaan ilmanvaihdon ilmavirran lämmittämiseksi ulkoilman lämpötilasta huonelämpötilaan. Tasauslaskelmissa ei siis oteta huomioon rakennukseen tulevia tai rakennuksessa syntyviä ilmaislämpöjä, joten lämpömäärän lämpötilaerona käytetään sisälämpötilan ja ulkolämpötilan välistä erotusta ja sisälämpötilan oletetaan olevan koko vuoden ajan vakio. Sisälämpötila määritellään erilaisille rakennuksille ja tiloille *osan D2* kohdassa 2.2.1.1. ja myös *osan C3* kohdan 3.4.3 määräyksessä sanotaan, että mitoitettava sisälämpötila on +21 °C, jollei rakennuksen käyttötarkoituksesta tai muusta vastaavasta syystä johtuen ole perusteltua käyttää muuta arvoa.

Rakennuksen poistoilman (jäteilman) 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 tiloja lämmittävään järjestelmään ja joka näin alentaa rakennuksen lämmitysenergiakulutusta.

Lämmön talteenottovaatimuksen piiriin kuuluva poistoilmavirta sisältää kaikki muut kuin *osan D2* kohdan 4.1.2.2 mukaan epätarkoituksenmukaiseksi osoitetut poistoilmavirrat. Näitä epätarkoituksenmukaisia poistoilmavirtoja voivat olla esimerkiksi ammattimaisten keittiöiden ja vetokaappien poistoilmavirrat.

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

Perusratkaisu tarkoittaa lämpöhäviöiden tasauslaskelmassa vertailukohtana käytettävää suunnitelmaa, jossa kunkin rakennusosan lämmönläpäisykerroin on sille asetetun

perusvaatimuksen mukainen, yhteenlaskettu ikkunapinta-ala on perusvaatimuksen mukainen ja enintään rakentamismääräyskokoelman *osan C3* määräyksessä 3.2.5 esitetyn suuruisen ja ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenotto on perusvaatimuksen mukainen. Perusratkaisun mukaisen rakennuksen ulottuvuudet, mitat ja pinta-alat ovat lämpöhäviöiden tasauslaskelmassa samat kuin suunnitellun kohderakennuksen kuitenkin niin, että yhteenlasketulle ikkunapinta-alalle on asetettu enimmäisarvo, jota perusratkaisussa ei saa ylittää.

Suunnitteluratkaisu tarkoittaa kohderakennuksen toteutettavaksi aiottua suunnitelmaa.

Tuloilman lämpötilahyötysuhde on 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 poistoilman jäähtymisen suhde poistoilman ja ulkoilman väliseen lämpötilaerotukseen.

Lämmöntarveluku on lämmitysenergian tarvetta kuvaava lämpötilaeron ja esiintymisajan tulo. Tässä monisteessa lämmöntarveluvut lasketaan lämmityskaudelle eli ulkoilman lämpötilaan +12 °C saakka.

2.2 Lämmöntalteenotto erikoistapauksissa

Lämmöneristysmääräysten 2003 täyttämiseksi on käytössä rajalliset keinot. Poistoilman lämmöntalteenotossa puhutaan yleensä poistoilmasta tuloilmaan lämpöä siirtävistä lämmöntalteenottolaitteista. Muille lämmöntalteenottotavoille voidaan käyttää tässä monisteessa esitettyä menettelytapaa soveltuvin osin. *Ympäristöoppaassa 106* on kuvattu määräystenmukaisuuden osoittamistavat yksityiskohtaisesti. Seuraavassa esitetään muutamia rajauksia, 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 ilmapvirtaa kuin perusratkaisussa vaan kummasakin tapauksessa käytetään samoja ilmapvirtoja

Rakennuksen ilmanpitävyyden parantaminen ei ole poistoilman lämmöntalteenottoratkaisu

- rakennuksen ulkovaipan ilmanpitävyyden tulee olla mahdollisimman hyvä, suunnitteluratkaisussa ei saa käyttää pienempää vuotoilmanvaihdon ilmapvirtaa kuin perusratkaisussa eli kummassakin tapauksessa käytetään samoja vuotoilmapvirtoja

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 vain siltä osin kuin talteen otettu lämpö käytetään tuloilman tai tilojen lämmitykseen *osan C3 kohdan 3.4.1 ja osien C3 ja D2 soveltamisalan mukaisesti* eli lämpimän käyttöveden lämmittämiseen käytettyä talteenotettua energiaa ei oteta huomioon.

Lämpöpumppu poistoilman lämmöntalteenottoratkaisuna

- jos poistoilman lämmöntalteenotossa käytetään lämpöpumppua, otetaan vuosihyötysuhdetta laskettaessa huomioon ainoastaan poistoilmasta höyrystimeen siirtyvä (talteen otettu) lämpöenergia. Kompressorin tekemää työtä ei oteta huomioon. Tuloilmaan, huoneilmaan tai varaajaan siirtyvä lämpömäärä lauhduttimesta on siis suurempi kuin höyrystimellä talteenotettu lämpömäärä. Mahdollista varaajaa koskevat edellä esitetyt rajoitukset.

Laitesähkönkulutus ei kuulu lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittämisen ja tasauslaskennan piiriin

- esimerkiksi ilmanvaihdon puhaltimien ja pumppujen sähkönkulutus

Ympäristöoppaan 106 mukaan määräystenmukaisuus osoitetaan ja ilmanvaihdon lämmitysenergiantarve lasketaan erikseen lämpimille tiloille ja puolilämpimille tiloille. Lämpimien tilojen lämpöhäviöiden pienentämisestä ei voi saada etua puolilämpimien tilojen tasauslaskennassa. Samaa periaatetta voidaan soveltaa myös esimerkiksi erityisen lämpimiin tiloihin, jos niiden osuus rakennuksen tiloista on merkittävä. Niille tiloille voidaan tarvittaessa tehdä erillinen lämpöhäviölaskenta sekä vaipan että ilmanvaihdon osalta. Erityisen lämpimien tilojen lämpöhäviöiden pienentämisestä ei voi saada etua muiden tilojen tasauslaskennassa.

3 Rakennuksen ilmanvaihto

3.1 Rakennuksen ilmajirrat

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

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 *osan D2* mukaisesti (esim. poistoilman likaisuus). 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.

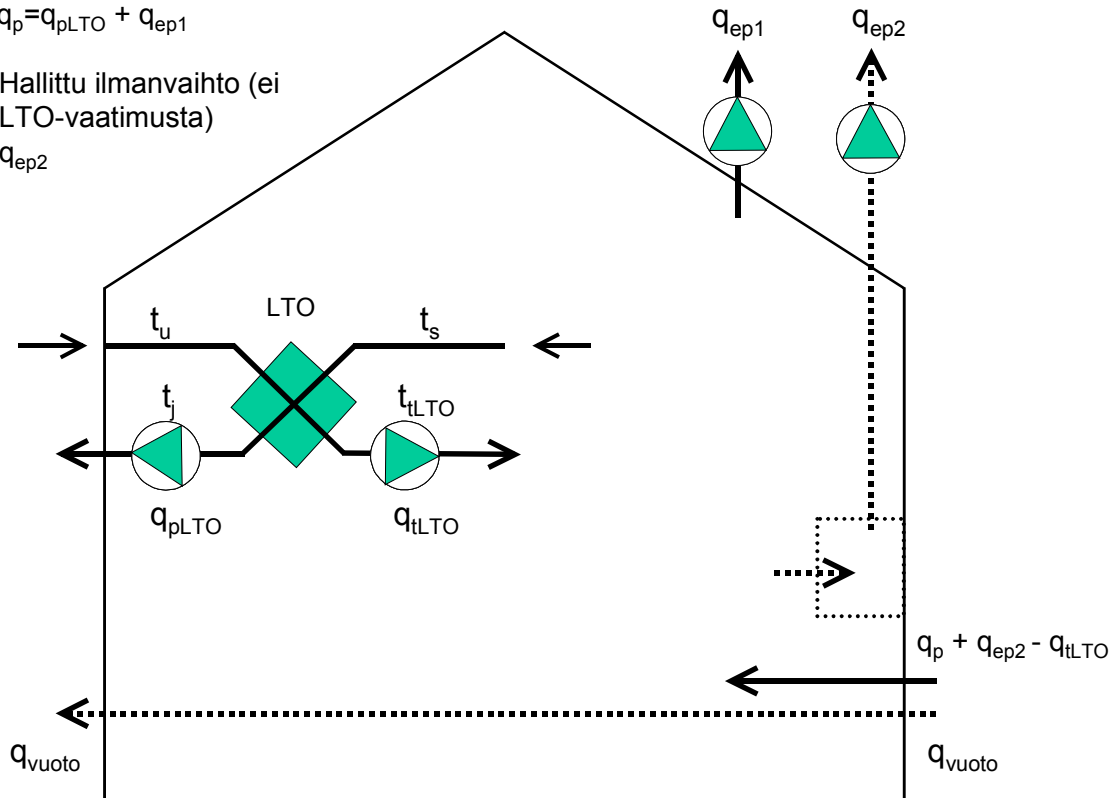
Lisäksi rakennuksissa on aina hallitsematonta vuotoilmanvaihtoa (q_{vuoto}), joka riippuu vaipan ilmanpitävyydestä, lämpötila- ja paine-eroista, tuulesta, rakennuksen korkeudesta ym. Vuotoilmanvaihto on ns. "läpituulemista". Yhtä suuri vuotoilmavirta virtaa sisään rakennukseen kuin virtaa ulos rakennuksesta.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

Hallittu ilmanvaihto (LTO-vaatimus)

$$q_p = q_{pLTO} + q_{ep1}$$

Hallittu ilmanvaihto (ei LTO-vaatimusta)

$$q_{ep2}$$



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

3.2 Laskennassa käytettävät ilmavirrat

Ilmanvaihdon poistoilmavirta q määritetään osan D2 mukaan. Ilmanvaihdon ilmavirta on sama perus- ja suunnitteluratkaisussa.

Tasauslaskelmissa käytetään ilmavirtoina koko vuodelle laskettuja keskimääräisiä arvoja Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 "Rakennusten lämmityksen tehon- ja energiantarpeen laskenta" mukaan. Seuraavalla sivulla olevassa laskentaesimerkissä esitetään keskimääräisten ilmavirtojen laskenta. Muuttuvilmavirtaisessa ilmavaihtojärjestelmissä tulee käyttää arvioitua keskimääräistä ilmavirtaa eikä järjestelmän maksimi-ilmavirtaa. Ilmavaihtolaitoksen käyntiaikojen on vastattava mahdollisimman hyvin rakennuksen tulevaa käyttöä.

Asuinrakennusten ilmavirtana käytetään tasauslaskelmissa yleensä käyttöajan tehostamatonta poistoilmavirtaa (q_p). Tyypillinen asuntoilmanvaihdon ominaisilmavirta on $0,35 - 0,50 \text{ (dm}^3\text{/s)/m}^2$, mikä vastaa ilmanvaihtokerrointa $0,5 - 0,7 \text{ 1/h}$. Asuinrakennusten poistoilman lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhde ja vuosihyötysuhde määritellään yleensä tällä poistoilmavirralla.

Toimistorakennuksissa ilmavirtana voidaan tasauslaskelmissa yleensä käyttää käyntiajalla painotettua rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän poistoilmavirtaa. Tasauslaskelmissa ilmanvaihdon käyntiaikatekijät (t , r ja t_v) sisällytetään ilmavirran q_p lukuarvoon ($q_p = q \cdot t \cdot r \cdot t_v$). Käyntiaikatekijä t on ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde, t_v on ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde ja r on kerroin, joka ottaa huomioon ilmanvaihtolaitoksen vuorokautisen käyntiajan. Kerroin r on ilmanvaihdon ympärivuorokautisessa käytössä $1,00$, päiväaikaisessa käytössä $0,93$ ja yöaikaisessa käytössä $1,07$.

Toimistorakennuksissa poistoilman lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhde ja vuosihyötysuhde määritellään lämmityskauden yleisimmällä käyntiajan poistoilmavirralla.

3.3 Vuotoilmanvaihto

Vuotoilmanvaihto on mukana määräystenmukaisuuden osoittamislomakkeissa, koska se on merkittävä lämpöhäviötekijä eikä sitä tule unohtaa. Vuotoilmanvaihtoa ei kuitenkaan voi hyödyntää lämpöhäviöiden tasauslaskelmissa. Vuotoilmanvaihtoa ei myöskään voi hyödyntää ilmanvaihdon osana, esimerkiksi poissaoloajan ilmanvaihtona.

Vuotoilmanvaihtokerroin voidaan tasauslaskelmissa valita esimerkiksi osan D5 mukaan, ellei tarkempaa tietoa ole. Vuotoilmanvaihtokerroin on sama perus- ja suunnitteluratkaisussa. *Ympäristöoppaan 106* kaikissa tasauslaskelmien esimerkeissä rakennuksen vuotoilmanvaihtokerroin on $0,1 \text{ 1/h}$ (laskettuna ilmatilavuutta kohti).

Vuotoilmanvaihto ei korvaa rakennuksen hallittua ilmanvaihtoa. Vuotoilmanvaihto voi aiheuttaa epäviihtyisyyttä ja rakenteiden vaurioitumista, joten sen tulisi olla mahdollisimman pientä.

Vaipan ilmanpitävyys vaikuttaa välillisesti myös poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteeseen. Lämmityskaudella rakennuksen tulisi olla alipaineinen ulkoilmaan verrattuna. Vuotoilman tulisi siis virrata normaaleissa olosuhteissa ulkoa sisälle päin. Tämä edellyttää, että rakennuksen vaipan ilmanpitävyys on riittävä ja että hallitun ilmanvaihdon kautta tuleva ulkoilmavirta on hieman pienempi kuin hallittu poistoilmavirta.

Tyypillinen tulo- ja poistoilmavirtojen suhde on $0,8 - 0,9$. Jos rakennuksen vaipan ilmanpitävyys on hyvä, voidaan vuosihyötysuhteen laskennassa käyttää arvoa $0,9$.

Vuotoilmanvaihto ja tarvittava ilmavirtasuhde voidaan laskea esimerkiksi standardin EN 832 mukaan.

Esimerkki:

Pienehkössä virastotalossa toimii poliisilaitos ja verotoimisto. Oheisessa taulukossa on rakennuksen eri ilmanvaihtokoneiden käyntiajat ja poistoilmavirrat. Lähtötiedot ovat kuvitteellisia.

Tila	Ilmanvaihdon käyntiaika	Poistoilmavirta q , m^3/s	LTO
Poliisilaitos			
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
Verotoimisto			
toimistotilat	ma-pe 6-18	1,2	on
erillispoistot	ma-su 0-24	0,3	ei
Yhteensä		3,8	
Jätehuone	ma-su 0-24	0,1	ei vaad.

Tila	Vuorokautinen käyntiaikasuhde, t	Viikottainen käyntiaikasuhde, t_v	Vuorokautinen käyntiaikakerroin, r	Käyttöajoilla painotettu poistoilmavirta, m^3/s $t \times t_v \times r \times q = q_p$
Poliisilaitos				
kanslia	12/24	5/7	0,93	$12/24 \times 5/7 \times 0,93 \times 0,6 = 0,2$
muut tilat	24/24	7/7	1	1,5
erillispoistot	24/24	7/7	1	0,2
Verotoimisto				
toimistotilat	12/24	5/7	0,93	$12/24 \times 5/7 \times 0,93 \times 1,2 = 0,4$
erillispoistot	24/24	7/7	1	0,3
Yhteensä				2,6
Tilat, jotka eivät kuulu lämmöntalteenoton piiriin				Poistoilmavirta, m^3/s $t \times t_v \times r \times q = q_{ep2}$
Jätehuone	24/24	7/7	1	0,1

Virastotalon kokonaispoistoilmavirta q_p on 2,6 m^3/s . Tätä käytetään vuosihyötysuhdetta laskettaessa ja tasauslaskelmissa. Jätehuoneen poistoilmavirta, joka ei kuulu LTO-vaatimuksen piiriin, esitetään määrysten mukaisesti osoitettaessa kohdassa "Lämpimät toissijaiset tilat, ei LTO:a".

4 Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskenta perusmenetelmällä

4.1 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 käytettäviksi 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 EN 308:1997 mukaan laskettua tuloilman lämpötilahyötysuhdetta. Hyötysuhde määritetään yhtä suurilla tuloilman ja poistoilman massavirroilla, lämmönsiirtimet kuivina ja ilman jäätyminen estoja tai tuloilman lämpötilan rajoituksia. Tällöin tulo- ja poistoilman lämpötilahyötysuhteet ovat yhtä suuria.

Jäteilmapuhaltimen vaikutusta jäteilman lämpötilaan ei tarvitse ottaa tämän monisteen laskelmissa huomioon. Kanavistossa tapahtuva ilmavirran 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 jäätyminen estoon tarvittavaa lämpötilahyötysuhteen 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

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

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

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

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

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

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 m³/s ja poistoilmavirta on 1,5 m³/s. Seuraavassa lasketaan samalle koneelle yhtä suurilla ilmavirtoilla 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

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

4.2 Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde

Osan C3 määräyksen 3.4.2 mukaan yksittäisen ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde voidaan laskea yhtä suurilla ilmavirroilla määritetystä tuloilman lämpötilahyötysuhteesta seuraavasti, ellei toisin osoiteta

$$\eta_a = 0,6\eta_t \quad (9)$$

Tämä on lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde yhden lämmöntalteenottolaitteen tai ilmanvaihtokoneen osalta. Jos suunniteltu todellinen laitteen ilmavirtasuhde on pienempi kuin 0,6, ei yhtälöä (9) tule käyttää. Tällöin on käytettävä esimerkiksi kappaleessa 5 esitettyä menetelmää. Määräysten vaatimus 30 % lämmöntalteenotosta tulee tarvittaessa osoittaa erikseen.

Jos rakennuksessa on useita ilmanvaihtokoneita tai erillispoistoja, niille kaikille tulee laskea vastaava vuosihyötysuhde. Mikäli rakennuksesta poistetaan lämmöntalteenottovaatimuksen piiriin kuuluvaa ilmaa ilman lämmöntalteenottoa, näiden osalta vuosihyötysuhde on 0 %. Koko rakennuksen ilmanvaihdon vuosihyötysuhde on poistoilmavirroilla painotettu vuosihyötysuhde.

$$\eta_a = 0,6 \frac{\sum_i q_{p,i} \eta_{t,i}}{\sum_i q_{p,i}} = \frac{\sum_i q_{p,i} \eta_{a,i}}{\sum_i q_{p,i}} \quad (10)$$

Laskentayhtälön (10) jälkimmäisessä osassa voidaan käyttää myös muilla kuin yhtälön (9) mukaisilla tavoilla määritettyjä lämmöntalteenottolaitteiden vuosihyötysuhteita.

Esimerkki:

Seuraavassa lasketaan kappaleessa 3.2 olleen esimerkin virastotalon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde. Rakennuksessa on kaksi LTO:lla varustettua ilmanvaihtokonetta (LTO1 ja LTO2) ja kaksi erillistä koneellista poistoa (huippuimurit: ep1), jotka kaikki kuuluvat LTO-vaatimuksen piiriin. Lisäksi on yksi erillinen koneellinen poisto, joka ei kuulu LTO-vaatimuksen piiriin (ep2). Lämpötilahyötysuhteet on ilmoitettu yhtä suurilla tulo- ja poistoilmavirroilla, kun poistoilmavirta on q (käyttöajoilla painottamaton ilmavirta).

Tila	Ilmanvaihdon käyntiaika	Poistoilmavirta q , m ³ /s	LTO:n lämpötilahyötysuhde, η_t	Käyttöajoilla painotettu poistoilmavirta, q_p , m ³ /s
Poliisilaitos				
kanslia	ma-pe 6-18	0,6	50 % (LTO1)	0,2
muut tilat	ma-su 0-24	1,5	66 % (LTO2)	1,5
erillispoistot	ma-su 0-24	0,2	0 % (ep1)	0,2
Verotoimisto				
toimistotilat	ma-pe 6-18	1,2	50 % (LTO1)	0,4
erillispoistot	ma-su 0-24	0,3	0 % (ep1)	0,3
Jätehuone	ma-su 0-24	0,1	ei vaad. (ep2)	0,1

$$q_{pLTO1} = 0,2 + 0,4 \text{ m}^3/\text{s} = 0,6 \text{ m}^3/\text{s}, \eta_{t1} = 50 \%, \eta_{a1} = 0,6 \times 50 \% = 30 \%$$

$$q_{pLTO2} = 1,5 \text{ m}^3/\text{s}, \eta_{t2} = 66 \%, \eta_{a1} = 0,6 \times 66 \% = 40 \%$$

$$q_{ep1} = 0,2 + 0,3 \text{ m}^3/\text{s} = 0,5 \text{ m}^3/\text{s}, \eta_t = 0 \%, \eta_{a1} = 0,6 \times 0 \% = 0 \%$$

$$q_p = q_{pLTO1} + q_{pLTO2} + q_{ep1} = 0,6 + 1,5 + 0,5 \text{ m}^3/\text{s} = \underline{2,6 \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$q_{ep2} = \underline{0,1 \text{ m}^3/\text{s}}$$

Koko rakennuksen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on

$$\eta_a = \frac{(0,6 \text{ m}^3/\text{s} \times 30 \% + 1,5 \text{ m}^3/\text{s} \times 40 \% + 0,5 \text{ m}^3/\text{s} \times 0 \%)}{(0,6 \text{ m}^3/\text{s} + 1,5 \text{ m}^3/\text{s} + 0,5 \text{ m}^3/\text{s})} = \underline{30\%}$$

Rakennuksen poistoilman lämmöntalteenotto on perusvaatimuksen mukainen.

Ympäristöoppaassa 106 esitettyyn määräystenmukaisuuden osoittamistaulukkoon lasketut arvot syötetään seuraavasti:

ILMANVAIHTO	Ilmavirta, m ³ /s [q_d]		LTO:n vuosihyötysuhde, % [η_a]	
	Perusratkaisu	Suunnitteluratkaisu	Perusratkaisu	Suunnitteluratkaisu
Hallittu ilmanvaihto				
Lämpimät tilat		2,6	30	30
Lämpimät toissijaiset tilat (ei LTO:a)		0,1	0	0
Puolilämpimät tilat			30	

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 D2* mukaisesti kaikkien lämmöntalteenottovaatimuksen piiriin kuuluvien poistoilmavirtojen tarvitsemana lämmitysenergiana siinä tapauksessa, että lämmöntalteenottoa ei ole eli

$$Q_{iv} = \sum_i Q_{iv,i} = Q_{iv,1} + Q_{iv,2} + Q_{iv,3} + \dots \quad (11)$$

$$Q_{iv,i} = c_p \rho q_{p,i} \sum (t_s - t_u) \Delta \tau \quad (12)$$

missä	c_p	on ilman ominaislämpökapasiteetti, J / kg K
	ρ	ilman tiheys, kg / m ³
	$q_{p,i}$	lämmöntalteenoton vaatimusten piiriin kuuluva poistoilmavirta (i), m ³ / 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 (12) summalausekkeen sisä- ja ulkoilman lämpötilaeron ja aikajakson tulo vastaa sisäilman ja ulkoilman lämpötilan välistä lämmöntarvelukua S_S

$$S_S = \sum (t_s - t_u) \Delta \tau \quad (\text{pinta-ala } A \text{ kuvassa 4}) \quad (13)$$

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

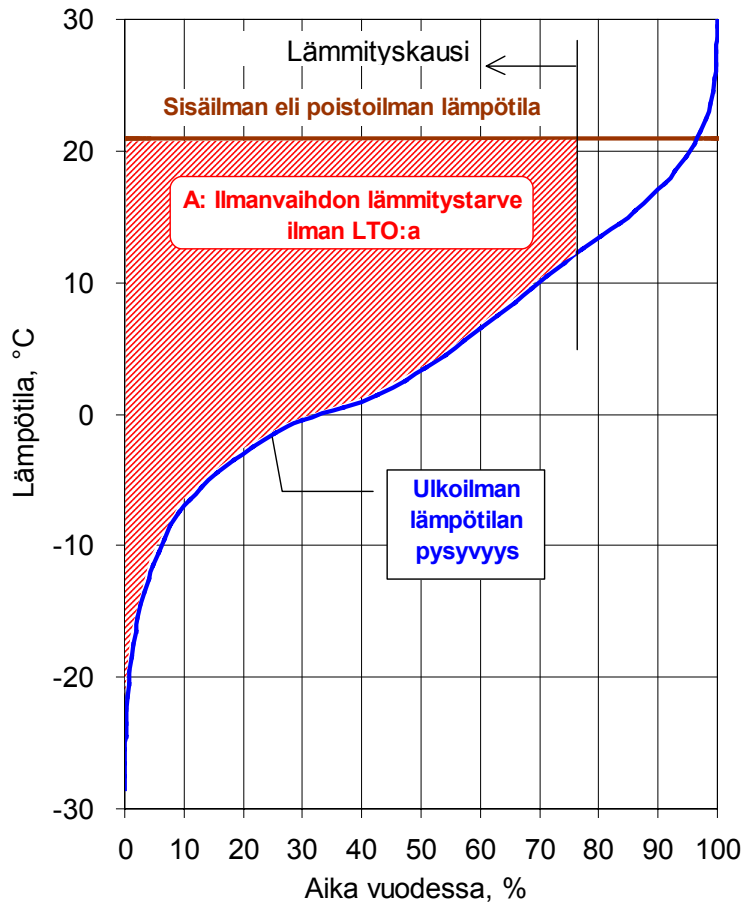
Yhtälö (12) voidaan esittää lämmöntarveluvun avulla myös yksinkertaisemmassa muodossa

$$Q_{iv} = c_p \rho \sum_i q_{p,i} S_{S,i} \quad (14)$$

tai

$$Q_{iv} = c_p \rho q_p S_S \quad (15)$$

missä	q_p	on lämmöntalteenottovaatimuksen piiriin kuuluvien poistoilmavirtojen summa, m ³ /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 °C .

Yleensä rakennuksen määräystenmukaisuuden osoittamiseen riittää sisäilman lämpötilassa 21 °C tai vastaavassa keskilämpötilassa tehty tarkastelu. Useimmissa tapauksissa on perusteltua käyttää mitoittavaa sisälämpötilaa 21 °C koko rakennukselle, vaikka rakennuksessa olisikin eri lämpöisiä tiloja. Laskentaa suorittaessa ei välttämättä ole tarkempaa tietoa 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 vuosiyhötysuhdetta laskettaessa. Sama keskimääräinen huonelämpötila ilmoitetaan myös tasauslaskentalomakkeessa.

$$t_s = \frac{\sum_i q_{p,i} t_{s,i}}{\sum_i q_{p,i}} \quad (16)$$

5.2 Poistoilmasta talteenotettu lämpöenergia

Poistoilmasta talteenotettu lämpöenergia lämmityskaudella Q_{LTO} voidaan esittää poistoilmavirtakohtaisesti yhtälöitä (11) ja (12) muistuttavissa muodoissa eli

$$Q_{LTO} = \sum_i Q_{LTO,i} = Q_{LTO,1} + Q_{LTO,2} + Q_{LTO,3} + \dots \quad (17)$$

$$Q_{LTO,i} = c_p \rho q_{p,i} \sum (t_s - t_j) \Delta \tau \quad (18)$$

missä	c_p	on ilman ominaislämpökapasiteetti, J / kg K
	ρ	ilman tiheys, kg / m ³
	$q_{p,i}$	lämmöntalteenoton vaatimusten piiriin kuuluva poistoilmavirta (i), m ³ / 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} .

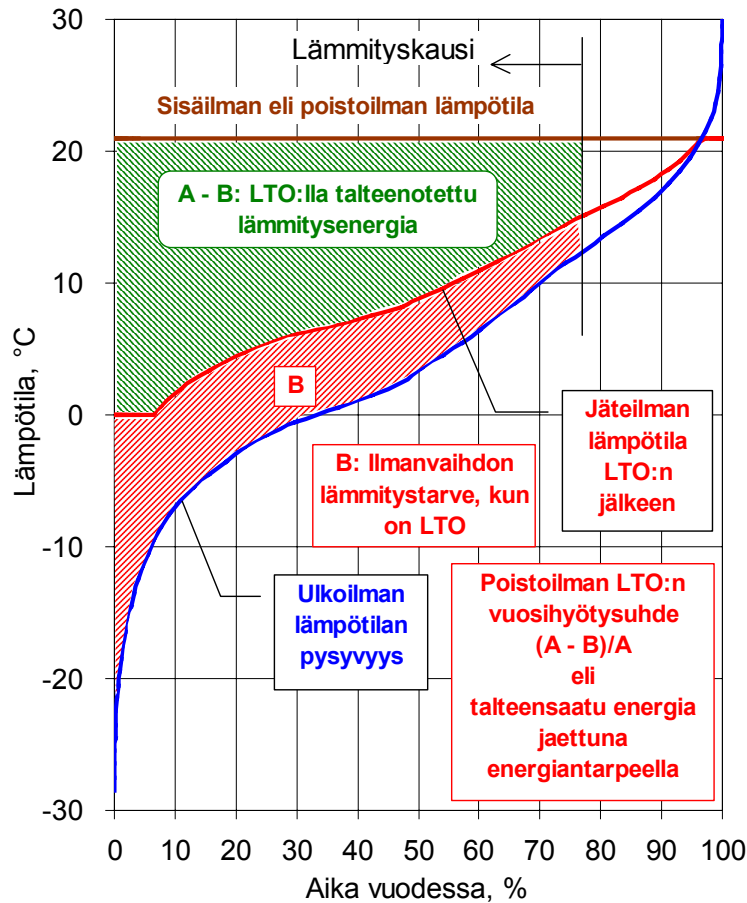
Yhtälössä (18) summalausekkeen sisälämpötilan ja jäteilman lämpötilan erotuksen ja aikajakson tulo vastaa sisäilman ja jäteilman välistä lämmöntarvelukua S_J

$$S_J = \sum (t_s - t_j) \Delta \tau \text{ (pinta-ala A - B kuvassa 5)} \quad (19)$$

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

Yhtälö (18) voidaan esittää lämmöntarveluvun avulla myös yksinkertaisemmassa muodossa

$$Q_{LTO} = c_p \rho \sum_i q_{p,i} S_{J,i} \quad (20)$$



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 °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

$$Q_{LTO,i} = c_p \rho q_{LTO,i} \sum (t_{LTO} - t_u) \Delta \tau \quad (21)$$

missä c_p on ilman ominaislämpökapasiteetti, J / kg K
 ρ ilman tiheys, kg / m³
 $q_{LTO,i}$ lämmöntalteenoton läpi kulkeva tuloilmavirta (i), m³/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 (21) summalausekkeen tuloilman lämpötilan ja ulkoilman lämpötilan erotuksen ja aikajakson tulo vastaa tuloilman ja ulkoilman välistä lämmöntarvelukua lämmityskaudella S_T

$$S_T = \sum (t_{LTO} - t_u) \Delta \tau \text{ (pinta-ala A - B kuvassa 6)} \quad (22)$$

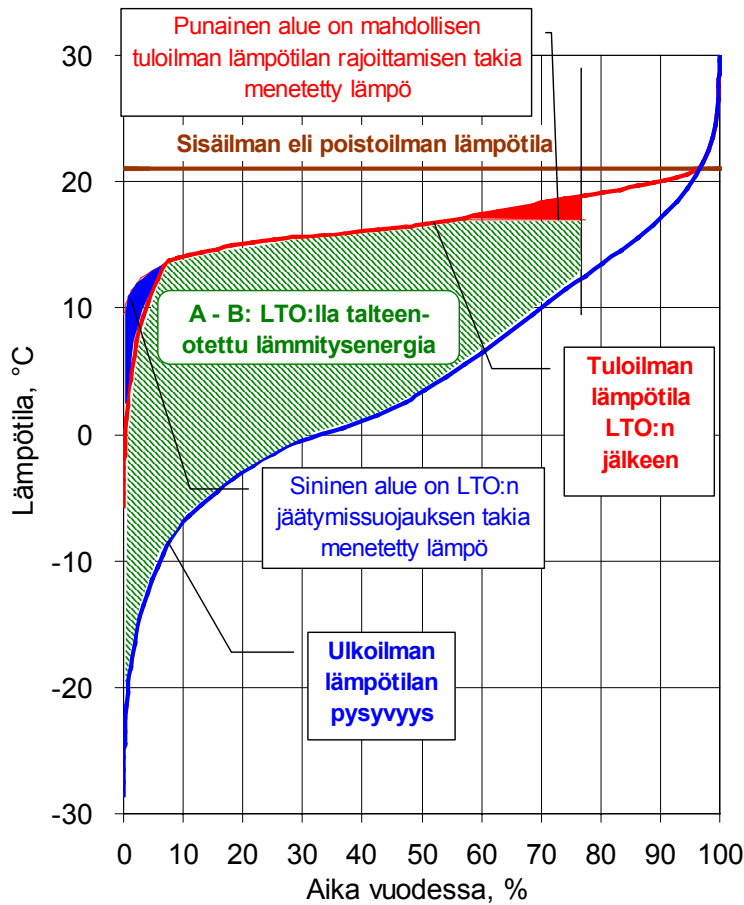
missä S_T on LTO:n jälkeisen tuloilman lämpötilan t_{LTO} ja ulkoilma lämpötilan t_u välinen lämmöntarveluku lämmityskaudella, Kd

Yhtälö (21) voidaan esittää myös yksinkertaisemmassa muodossa

$$Q_{LTO,i} = c_p \rho q_{LTO,i} S_{T,i} \quad (23)$$

Talteenotettu lämpöenergia voidaan esittää myös yhtälöä (20) vastaavassa muodossa

$$Q_{LTO} = c_p \rho \sum_i q_{LTO,i} S_{T,i} \quad (24)$$



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 jäätymisenesto on toteutettu rajoittamalla jäteilman lämpötila 0 °C:een. Sininen alue vastaa jäätymisen eston vuoksi menetettyä energiaa. Tuloilman lämpötila on kuvan tapauksessa rajoitettu 17 °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 jäätynä. Lisäksi joissain tapauksissa lämpötilahyötysuhdetta heikennetään, jotta LTO:n jälkeinen tuloilman lämpötila ei ylittäisi annettua raja-arvoa. Jäätymisenestossa tarvitaan tulo- ja poistoilmavirtojen hyötysuhteiden yhteyttä, joka on esitetty kappaleessa 4.1.

Jäteilman jäätymiseneston 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. Jäätymiseneston rajoituslämpötilan pienillä muutoksilla ei ole kovin suurta merkitystä rakennuksen vuosihyötysuhteessa.

Vuosihyötysuhteen laskennassa voidaan jäätymiseneston ohjeellisena rajoituslämpötilana käyttää kuivissa toimistotiloissa jäteilman lämpötilaa 0 °C ja tavanomaisissa asuintiloissa +5 °C, jos laitteen valmistaja, jäätymissuojaus ja käyttöolosuhteet sen sallivat [Nyman 2003].

Vaikka jäteilman 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.

Osan D2 ohjeen 4.1.2.1 mukaan lämmöntalteenoton jäätymissuojaus ja poistoilmasta tiivistyvän veden poisto on toteutettava toimintavarmalla tavalla.

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

$$\eta_a = \frac{Q_{LTO}}{Q_{iv}} \quad (25)$$

eli

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

$$\eta_a = \frac{c_p \rho \sum_i q_{iLTO,i} S_{T,i}}{c_p \rho q_p S_S} = \frac{c_p \rho \sum_i q_{p,i} S_{J,i}}{c_p \rho q_p S_S} \quad (27)$$

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

$$\eta_a = \frac{\sum_i q_{iLTO,i} S_{T,i}}{q_p S_S} = \frac{\sum_i q_{p,i} S_{J,i}}{q_p S_S} \quad (28)$$

Yhtälö (28) voidaan myös kirjoittaa muotoon

$$\eta_a = \frac{\sum_i R_{T,i} S_{T,i}}{S_S} = \frac{\sum_i R_{P,i} S_{J,i}}{S_S} \quad (29)$$

missä $R_{T,i}$ on ilmavaihtokoneen (i) tuloilmavirran ja kaikkien lämmön talteenottovaatimuksen piiriin kuuluvien poistoilmavirtojen suhde, -.

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

6 Laskentaesimerkkejä

6.1 Pientaloesimerkki

Lähtötiedot:

Esimerkkikohteena on 1-kerroksinen pientalo, jonka kerrosala on 165 m². Ulkoseinien U-arvo on 0,28 W/(m²K). Ulkoseinän perusvaatimusta suuremman lämpöhäviön ja suuren ikkunapinta-alan takia muiden rakennusosien lämpöhäviöitä pitää pienentää ja/tai LTO:a pitää parantaa.

Rakennuksessa on ilmanvaihtolaitteisto, jonka poistoilmavirta on 0,5 1/h eli 0,053 m³/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 koko lämmityskauden ($R_{LTO} = 0,9$). Rakennus sijaitsee Helsingissä, jonka ulkolämpötilan pysyvyys on esitetty kohdassa 7.1.

Suunnitteluratkaisussa ilmanvaihdon LTO:a parannetaan. LTO-ratkaisuksi valitaan lämpötilahyötysuhteeltaan 63 %:n laite (yhtä suurilla ilmavirroilla). Laskelmissa saadaan käyttöä 38 %:n vuosihyötysuhdetta (0,6 x 63 %). Tämä ei kuitenkaan riitä tasaukseen vaan on tehtävä erillinen selvitys rakennuksen ilmanvaihtolaitoksen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteesta.

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 jäätymisenesto lämmöntalteenottoa heikentämällä

Esimerkiksi ulkolämpötilalla -24 °C ja poistoilman lämpötilahyötysuhteella 60,0 % saadaan jäteilman lämpötilaksi $t_j = t_s - \eta_p \times (t_s - t_u) = 21 - 0,60 \times (21 - (-24)) = -6,0$ °C. Koska LTO:n jälkeinen poistoilman lämpötila on liian alhainen, hyötysuhdetta on säädettävä niin, että lämpötila on minimissään +5 °C.

Jäätymisenestosta johtuen ulkolämpötilalla -24 °C poistoilman lämpötilahyötysuhde voi maksimissaan olla $\eta_p = (21 - 5)/(21 - (-24)) = 35,6 \%$. Tällöin tuloilman lämpötilahyötysuhde kyseisellä ulkolämpötilalla voi olla maksimissaan $35,6 \% / 0,90 = 39,6 \%$. Eli tuloilma lämpenee jäätymisenestosta johtuen -6,2 °C:een eikä +5,7 °C:een.

Näin ollen kyseisen lämpötilan aikainen tuloilman lämmöntarveluku (S_T) ilmanvaihdon LTO:n säästämälle energialle on $(0,365 \% - 0,297 \%) \times 365 \times (-6,2$ °C - (-24 °C)) = 4,4 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 $(72,49 \% - 69,43 \%) \times 365 \times (17,0$ °C - 12 °C) = 55,8 Kd.

Laskemalla osissa taulukon 1 mukaisesti koko lämpötilapysyvyyden yli ottamalla edellä esitetyt asiat huomioon niin LTO:n jälkeisen tuloilman ja ulkolämpötilan väliseksi lämmöntarveluvuksi (S_T) saadaan Helsingin säätiedoilla 3 412 Kd. Helsingin säätiedoilla sisälämpötilan ja ulkolämpötilan välinen lämmöntarveluku on 5 505 Kd. Rakennuksen ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteeksi saadaan 56 %. Laskelmat on tehty vain lämmityskaudelle eli kun ulkolämpötila on alle 12 °C. Lämmöntalteenoton lisäselvityksen avulla rakennus täyttää vaatimukset laajennetun lämpöhäviöiden tasauksen kautta oheisten taulukoiden 2 ja 3 mukaisesti.

Taulukko 1. Pientalon poistoilman lämmöntalteenoton esimerkkilaskelma.

t_u °C	Aika vuodesta, %	t_{LTO} , °C maks.	t_j , °C min.	t_s °C	t_j °C	t_{LTO} °C	R_{LTO}	η_t	η_p	S_s , Kd ($t_s - t_u$)	S_T , Kd ($t_{LTO} - t_u$)	S_J , Kd ($t_s - t_j$)
-30	0,011	17	5	21	5,0	-12,2	0,9	0,35	0,31	2	1	1
-29	0,034	17	5	21	5,0	-11,2	0,9	0,36	0,32	4	1	1
-28	0,057	17	5	21	5,0	-10,2	0,9	0,36	0,33	4	1	1
-27	0,137	17	5	21	5,0	-9,2	0,9	0,37	0,33	14	5	5
-26	0,217	17	5	21	5,0	-8,2	0,9	0,38	0,34	14	5	5
-25	0,297	17	5	21	5,0	-7,2	0,9	0,39	0,35	13	5	5
-24	0,365	17	5	21	5,0	-6,2	0,9	0,40	0,36	11	4	4
-23	0,514	17	5	21	5,0	-5,2	0,9	0,40	0,36	24	10	9
-22	0,799	17	5	21	5,0	-4,2	0,9	0,41	0,37	45	19	17
-21	1,164	17	5	21	5,0	-3,2	0,9	0,42	0,38	56	24	21
-20	1,461	17	5	21	5,0	-2,2	0,9	0,43	0,39	44	19	17
-19	1,678	17	5	21	5,0	-1,2	0,9	0,44	0,40	32	14	13
-18	2,203	17	5	21	5,0	-0,2	0,9	0,46	0,41	75	34	31
-17	2,568	17	5	21	5,0	0,8	0,9	0,47	0,42	51	24	21
-16	3,219	17	5	21	5,0	1,8	0,9	0,48	0,43	88	42	38
-15	3,790	17	5	21	5,0	2,8	0,9	0,49	0,44	75	37	33
-14	4,600	17	5	21	5,0	3,8	0,9	0,51	0,46	104	53	47
-13	5,913	17	5	21	5,0	4,8	0,9	0,52	0,47	163	85	77
-12	6,963	17	5	21	5,0	5,8	0,9	0,54	0,48	127	68	61
-11	7,831	17	5	21	5,0	6,8	0,9	0,56	0,50	101	56	51
-10	8,893	17	5	21	5,0	7,8	0,9	0,57	0,52	120	69	62
-9	10,22	17	5	21	5,0	8,8	0,9	0,59	0,53	145	86	77
-8	11,63	17	5	21	5,0	9,8	0,9	0,61	0,55	150	92	83
-7	12,91	17	5	21	5,0	10,8	0,9	0,63	0,57	131	83	75
-6	14,74	17	5	21	5,0	11,8	0,9	0,66	0,59	180	119	107
-5	16,62	17	5	21	5,5	12,2	0,9	0,66	0,60	179	119	107
-4	18,82	17	5	21	6,1	12,6	0,9	0,66	0,60	201	133	120
-3	21,35	17	5	21	6,7	12,9	0,9	0,66	0,60	221	147	132
-2	23,44	17	5	21	7,3	13,3	0,9	0,66	0,60	175	116	105
-1	27,02	17	5	21	7,9	13,6	0,9	0,66	0,60	288	191	172
0	32,04	17	5	21	8,5	13,9	0,9	0,66	0,60	385	255	230
1	38,64	17	5	21	9,1	14,3	0,9	0,66	0,60	482	319	287
2	43,60	17	5	21	9,7	14,6	0,9	0,66	0,60	344	228	205
3	47,73	17	5	21	10,3	14,9	0,9	0,66	0,60	272	180	162
4	51,43	17	5	21	10,9	15,3	0,9	0,66	0,60	230	152	137
5	54,66	17	5	21	11,5	15,6	0,9	0,66	0,60	189	125	113
6	57,16	17	5	21	12,0	15,9	0,9	0,66	0,60	137	91	82
7	59,26	17	5	21	12,6	16,3	0,9	0,66	0,60	107	71	64
8	61,37	17	5	21	13,2	16,6	0,9	0,66	0,60	100	66	60
9	64,09	17	5	21	13,8	17,0	0,9	0,66	0,60	119	79	71
10	66,84	17	5	21	14,7	17,0	0,9	0,64	0,57	110	70	63
11	69,43	17	5	21	15,6	17,0	0,9	0,60	0,54	95	57	51
12	72,49	17	5	21	16,5	17,0	0,9	0,56	0,50	101	56	50
Yhteensä										5 505	3 412	3 071

Rakennuksen tulo- ja poistoilmavirtojen suhde (R_T) on 0,90. Näin ollen vuosihyötysuhdeeksi tulee

$$\eta_a = \frac{R_T S_T}{S_S} = \frac{0,9 * 3\,412}{5\,505} = 56\% \quad (\eta_a = \frac{R_p S_J}{S_S} = \frac{1,0 * 3\,071}{5\,505} = 56\%)$$

Taulukko 2. Pientalon lämpöhäviöiden esimerkkitasauslaskelma.

Talotyyppi: 1-kerroksinen pientalo
 Suunnitteluratkaisu: ulkoseinän U-arvo 0,28 W/m²K
 Lämpöhäviöiden tasaus: ulkoseinän lämpöhäviöt on tasattu LTO:a parantamalla.

TÄYTTÄÄ VAATIMUKSET

Yleistiedot

Rakennustilavuus	500 rak-m ³	Mitoittava sisälämpötila	21 °C
Kerrosala	165 krs-m ²	Mitoittava sisälämpötila (puolilämmin)	16 °C
Lämmin huoneala	140 m ²	Mitoittava ulkolämpötila	-26 °C
Kerroskorkeus	3,0 m		
Huonekorkeus	2,7 m		
Lämmin ilmatilavuus	378 m ³		
Puolilämmin ilmatilavuus	m ³		

1. Perusvaatimukset

RAKENNUSOSAT	Pinta-alat, m ² [A]		U-arvot, W/(m ² K) [U]			
	Perus-ratkaisu	Suunnittelu-ratkaisu	Perus-ratkaisu	Min	Max	Suunnittelu-ratkaisu
Lämpimät tilat						
Ulkoseinä	128	123	0,25		0,60	0,28
Yläpohja	165	165	0,16		0,60	0,16
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,16		0,60	
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,20		0,60	
Alapohja (maanvastainen, matalaper.)	165	165	0,25	0,15	0,60	0,25
Muu maanvastainen rakennusosa			0,25		0,60	
Ikkunat	24,8	30,0	1,40		1,80	1,40
Ulko-ovet	6,0	6,0	1,40		-	1,40
Kattoikkunat			1,50		1,80	
Puolilämpimät tilat						
Ulkoseinä			0,40		0,60	
Yläpohja			0,30		0,60	
Alapohja			0,30		0,60	
Alapohja (maanvastainen, matalaper.)			0,36	0,25	0,60	
Muu maanvastainen rakennusosa			0,36		0,60	
Ikkunat			1,80		2,80	
Ulko-ovet			1,80		-	
Lämpimän ja puolilämpimän tilan väliset rakenteet (eivät kuulu rakennuksen vaippaan)						
Väliseinät ja välipohjat			0,45		0,45	
Ikkunat ja ovet			2,80		2,80	
Lämpimät tilat yhteensä	489	489				
Puolilämpimät tilat yhteensä	-	-				

2. Vaipan lämpöhäviöiden tasaus

Ominaislämpöhäviöt, W/K [A * U]	
Perus-ratkaisu	Suunnittelu-ratkaisu
32,0	34,4
26,4	26,4
-	-
- 1)	- 1)
41,3	41,3
-	-
34,7	42,0
8,4	8,4
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
142,7	152,4
-	-

ILMANVAIHTO	Ilmavirta, m ³ /s [q _v]		LTO:n vuosihyötysuhde, % [η _a]	
	Perus-ratkaisu	Suunnittelu-ratkaisu	Perus-ratkaisu	Suunnittelu-ratkaisu
Hallittu ilmanvaihto				
Lämpimät tilat	0,053		30	56
Lämpimät toissijaiset tilat (ei LTO:a)			0	0
Puolilämpimät tilat			30	
Vuotoilmanvaihto (vuotoilmanvaihtokerroin on 0,1 1/h)				
Lämpimät tilat	0,011			
Puolilämpimät tilat				

Ominaislämpöhäviöt, W/K [1.2*1000*q _v *(1-η _a)]	
Perus-ratkaisu	Suunnittelu-ratkaisu
44,5	28,0
-	-
-	-
12,6	12,6
-	-

3. Laajennettu lämpöhäviöiden tasaus

Lämpimien tilojen rakennusosien ja ilmanvaihdon ominaislämpöhäviöt yhteensä	199,8	193,0
Puolilämpimien tilojen rakennusosien ja ilmanvaihdon ominaislämpöhäviöt yhteensä	-	-

1) Lämpimissä tiloissa ryömintätilaan rajoittuvan alapohjan lämpöhäviö kerrotaan luvulla 0,8 osan D5 ohjeiden mukaisesti. Tällä tavalla otetaan huomioon ryömintätilan ilman ulkoilmaa korkeampi vuotuinen keskilämpötila.

Taulukko 3. Esimerkkipientalon määräystenmukaisuuden tarkistuslista.

Määräystenmukaisuuden tarkistuslista

1. Perusvaatimukset	Täyttyykö ?	Vaatus-	Suunniteltu-
Pinta-alavaatimukset:	<input checked="" type="checkbox"/> kyllä <input type="checkbox"/> ei	arvo	arvo
Ikkunapinta-ala saa olla enintään 15 % kerrosalasta	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> x	15 %	18 %
Ikkunapinta-ala saa olla enintään 50 % ulkoseinien bruttoalasta	<input checked="" type="checkbox"/> x <input type="checkbox"/>	50 %	19 %
G1: Valoaukon pinta-ala on asuinhuoneissa vähintään 10 % lattiapinta-alasta.	<input checked="" type="checkbox"/> x <input type="checkbox"/>	(suunnittelijan ilmoitus)	
Rakennusosien U-arvojen vaatimukset:			
U-arvot eivät ylitä määräysten perusvaatimusta	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> x		
Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) hyötysuhteen vaatimukset:		Vaatus-	Suunniteltu-
LTO:n vuosihyötysuhde on vähintään 30 %		arvo	arvo
- lämpimissä tiloissa	<input checked="" type="checkbox"/> x <input type="checkbox"/>	30 %	56 %
- puoliilämpimissä tiloissa	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
Täyttääkö suunnitteluratkaisu perusvaatimukset ?	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> x		
<p>Mikäli kaikki perusvaatimukset täyttyivät, suunnitteluratkaisu on määräysten mukainen eikä lisäselvityksiä tai laskelmia tarvita. Mikäli perusvaatimukset eivät täyttyneet, tarvitaan vaipan lämpöhäviöiden tasausta. Siinä sallittua suuremmat vaipan lämpöhäviöt tasataan muuta vaippaa parantamalla.</p>			
EI TÄYTÄ VAATIMUKSIA, käytä tapaa 2 tai 3			

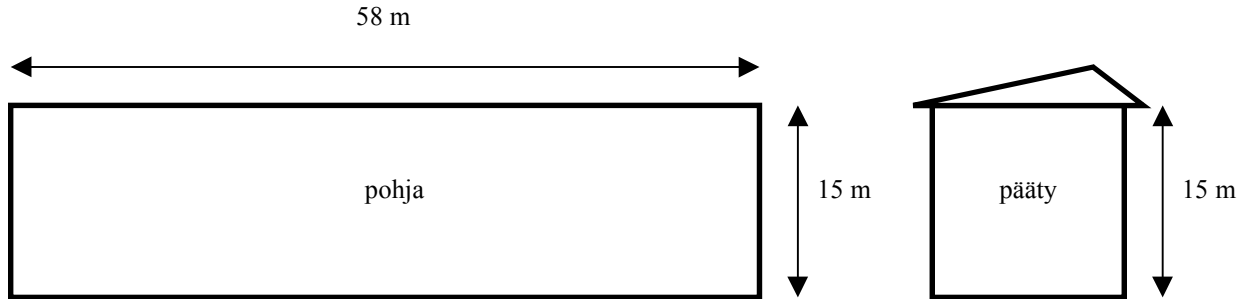
2. Vaatimukset vaipan lämpöhäviöiden tasaukseen	Täyttyykö ?	Vaatus-	Suunniteltu-
Rakennusosien U-arvojen vaatimukset:	<input checked="" type="checkbox"/> kyllä <input type="checkbox"/> ei		
U-arvot eivät ylitä suurimpia sallittuja arvoja (Max)	<input checked="" type="checkbox"/> x <input type="checkbox"/>		
Matalaperusteisen alapohjan U-arvot eivät alita pienimpiä sallittuja arvoja (Min)	<input checked="" type="checkbox"/> x <input type="checkbox"/>		
Rakennusosien lämpöhäviöiden vaatimukset:		Vaatus-	Suunniteltu-
Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään perusratkaisun suuruinen		arvo	arvo
- lämpimissä tiloissa	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> x	143 W/K	152 W/K
- puoliilämpimissä tiloissa	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
LTO:n hyötysuhteen vaatimukset:			
LTO:n vuosihyötysuhde on vähintään 30 %	<input checked="" type="checkbox"/> x <input type="checkbox"/>		
Täyttääkö suunnitteluratkaisu vaipan lämpöhäviövaatimukset ?	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> x		
<p>Mikäli kaikki vaipan lämpöhäviöiden vaatimukset täyttyivät, suunnitteluratkaisu on määräysten mukainen eikä lisäselvityksiä tai laskelmia tarvita. Mikäli vaipan vaatimukset eivät täyttyneet, tarvitaan laajennettua lämpöhäviöiden tasausta. Siinä sallittua suuremmat lämpöhäviöt tasataan joko vaippaa parantamalla tai jäteilmän LTO:a parantamalla.</p>			
EI TÄYTÄ VAATIMUKSIA, käytä tapaa 3			

3. Vaatimukset laajennettuun lämpöhäviöiden tasaukseen	Täyttyykö ?	Vaatus-	Suunniteltu-
Suunnitteluratkaisun rakennusosien lämpöhäviöiden vaatimukset:	<input checked="" type="checkbox"/> kyllä <input type="checkbox"/> ei	Vaatus-	Suunniteltu-
Vaipan ominaislämpöhäviö on enintään 10 % perusratkaisua suurempi		arvo	arvo
- lämpimissä tiloissa	<input checked="" type="checkbox"/> x <input type="checkbox"/>	110 %	107 %
- puoliilämpimissä tiloissa	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
Rakennusosien ja ilmanvaihdon lämpöhäviöiden vaatimukset:		Vaatus-	Suunniteltu-
Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään perusratkaisun suuruinen		arvo	arvo
- lämpimissä tiloissa	<input checked="" type="checkbox"/> x <input type="checkbox"/>	200 W/K	193 W/K
- puoliilämpimissä tiloissa	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
Täyttääkö suunnitteluratkaisu laajennetut lämpöhäviövaatimukset ?	<input checked="" type="checkbox"/> x <input type="checkbox"/>		
<p>Mikäli kaikki laajennetut lämpöhäviövaatimukset täyttyivät, suunnitteluratkaisu on määräysten mukainen. Mikäli vaatimukset eivät täyttyneet, tulee määräystenmukaisuuden osoittamisen menettely aloittaa alusta. Yksinkertaisesti hyväksyttävään lopputulokseen pääsee kaikki perusvaatimukset erikseen täyttämällä.</p>			
TÄYTTÄÄ VAATIMUKSET			

Koska LTO:n vuosihyötysuhde on suurempi kuin 30 %, niin siitä tarvitaan lisäselvitys.

6.2 Toimistotaloesimerkki

Esimerkkikohteena on 4-kerroksinen toimistotalo, jonka kerrosala on 3 480 m².



Puolet talon julkisivusta on ikkunaa tai muuta lasirakennetta. Ikkunoiden kokonaispinta-ala ylittää perusvaatimuksen rajan eli 15 % kerrosalasta, mutta jää kuitenkin alle 50 %:n rajan yhteenlasketusta ulkoseinien pinta-alasta (bruttopinta, joka sisältää ovet ja ikkunat). Perusvaatimuksen ylitys näkyy suunnitteluratkaisun suurempana ikkunapinta-alana ja pienempänä ulkoseinän pinta-alana verrattuna perustapauksen pinta-aloihin. Perusvaatimusta suuremmasta ikkunapinta-alasta johtuvan suuremman lämpöhäviön takia rakennusosien lämpöhäviötä 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, joten laskelmissa voidaan käyttää 33 %:n vuosihyötysuhdetta (0,6 x 55 %). Tällä arvolla tasauslaskelmat eivät kuitenkaan täyty, joten tarvitaan ilmanvaihdon vuosihyötysuhteen lisätarkastelu.

Laskelmissa käytetään ilmanvaihtolaitoksen käyttöajoilla painotettua mitoituspoistoilmavirtaa. Mitoitusilmavirta on 2 dm³/s neliötä kohti. Huonepinta-ala on 2 960 m². Lasketaan ilmavirta Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 "Rakennusten lämmityksen tehon- ja energiantarpeen laskenta" mukaan. 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). Kerroin r on päiväaikaisessa käytössä 0,93. 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).

$$q_{pLTO} = 2 \text{ dm}^3/(\text{s m}^2) \times 2\,960 \text{ m}^2 \times 12 \text{ h}/24 \text{ h} \times 5 \text{ vrk}/7 \text{ vrk} \times 0,93 = 1\,996 \text{ dm}^3/\text{s} = 1,996 \text{ m}^3/\text{s}$$

Oletetaan, että rakennus on likaisten tilojen poiston verran alipaineinen ja että käyttöajan ulkopuolinen ilmanvaihto on hoidettu likaisten tilojen erillispoistoilla, joiden ilmavirta on määräysten mukainen 0,15 dm³/(s m²) eli

$$q_{ep1} = 0,15 \text{ dm}^3/(\text{s m}^2) \times 2\,960 \text{ m}^2 = 444 \text{ dm}^3/\text{s} = 0,44 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Näin ollen } R_{LTO} = 1 \text{ ja } R_T = 1,996 / (1,996 + 0,44) = 1,996 / 2,436 = 0,82$$

Lisäksi rakennuksen toissijaisissa tiloissa (mm. hissikonehuone, sähköpääkeskus, viileät varastot) LTO osoitettiin epätarkoituksenmukaiseksi D2:n ohjeen 4.1.2.2 mukaisesti ja tilat varustettiin koneellisella poistoilmavaihdolla ilman LTO:a. Näiden tilojen yhteenlaskettu poistoilmavirta q_{ep2} on 0,3 m³/s.

Kun ilmanvaihdon vuosihyötysuhteen laskenta suoritetaan edellä mainituilla arvoilla pysyvyyssäyrän yli paloittain (taulukko 4) kuten omakotitaloesimerkissä, saadaan rakennuksen ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteeksi 45 %. Ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteeksi saadaan 55 % (=S_T/S_S). Lämmöntalteenoton lisäselvityksen avulla rakennus täyttää vaatimukset laajennetun lämpöhäviöiden tasauksen kautta oheisten taulukoiden 5 ja 6 mukaisesti.

Taulukko 4. Toimistotalon poistoilman lämmöntalteenoton esimerkkilaskelma.

t_u °C	Aika vuodesta, %	t_{LTO} , °C maks.	t_j , °C min.	t_s °C	t_j °C	t_{LTO} °C	R_{LTO}	η_t	η_p	S_s , Kd ($t_s - t_u$)	S_T , Kd ($t_{LTO} - t_u$)	S_J , Kd ($t_s - t_j$)
-30	0,011	17	0	21	0,0	-9,0	1	0,41	0,41	2	1	1
-29	0,034	17	0	21	0,0	-8,0	1	0,42	0,42	4	2	2
-28	0,057	17	0	21	0,0	-7,0	1	0,43	0,43	4	2	2
-27	0,137	17	0	21	0,0	-6,0	1	0,44	0,44	14	6	6
-26	0,217	17	0	21	0,0	-5,0	1	0,45	0,45	14	6	6
-25	0,297	17	0	21	0,0	-4,0	1	0,46	0,46	13	6	6
-24	0,365	17	0	21	0,0	-3,0	1	0,47	0,47	11	5	5
-23	0,514	17	0	21	0,0	-2,0	1	0,48	0,48	24	11	11
-22	0,799	17	0	21	0,0	-1,0	1	0,49	0,49	45	22	22
-21	1,164	17	0	21	0,0	0,0	1	0,50	0,50	56	28	28
-20	1,461	17	0	21	0,0	1,0	1	0,51	0,51	44	23	23
-19	1,678	17	0	21	0,0	2,0	1	0,53	0,53	32	17	17
-18	2,203	17	0	21	0,0	3,0	1	0,54	0,54	75	40	40
-17	2,568	17	0	21	0,1	3,9	1	0,55	0,55	51	28	28
-16	3,219	17	0	21	0,6	4,4	1	0,55	0,55	88	48	48
-15	3,790	17	0	21	1,2	4,8	1	0,55	0,55	75	41	41
-14	4,600	17	0	21	1,8	5,3	1	0,55	0,55	104	57	57
-13	5,913	17	0	21	2,3	5,7	1	0,55	0,55	163	90	90
-12	6,963	17	0	21	2,9	6,2	1	0,55	0,55	127	70	70
-11	7,831	17	0	21	3,4	6,6	1	0,55	0,55	101	56	56
-10	8,893	17	0	21	4,0	7,1	1	0,55	0,55	120	66	66
-9	10,22	17	0	21	4,5	7,5	1	0,55	0,55	145	80	80
-8	11,63	17	0	21	5,1	8,0	1	0,55	0,55	150	82	82
-7	12,91	17	0	21	5,6	8,4	1	0,55	0,55	131	72	72
-6	14,74	17	0	21	6,2	8,9	1	0,55	0,55	180	99	99
-5	16,62	17	0	21	6,7	9,3	1	0,55	0,55	179	98	98
-4	18,82	17	0	21	7,3	9,8	1	0,55	0,55	201	111	111
-3	21,35	17	0	21	7,8	10,2	1	0,55	0,55	221	122	122
-2	23,44	17	0	21	8,4	10,7	1	0,55	0,55	175	96	96
-1	27,02	17	0	21	8,9	11,1	1	0,55	0,55	288	158	158
0	32,04	17	0	21	9,5	11,6	1	0,55	0,55	385	212	212
1	38,64	17	0	21	10,0	12,0	1	0,55	0,55	482	265	265
2	43,60	17	0	21	10,6	12,5	1	0,55	0,55	344	189	189
3	47,73	17	0	21	11,1	12,9	1	0,55	0,55	272	149	149
4	51,43	17	0	21	11,7	13,4	1	0,55	0,55	230	126	126
5	54,66	17	0	21	12,2	13,8	1	0,55	0,55	189	104	104
6	57,16	17	0	21	12,8	14,3	1	0,55	0,55	137	75	75
7	59,26	17	0	21	13,3	14,7	1	0,55	0,55	107	59	59
8	61,37	17	0	21	13,9	15,2	1	0,55	0,55	100	55	55
9	64,09	17	0	21	14,4	15,6	1	0,55	0,55	119	65	65
10	66,84	17	0	21	15,0	16,1	1	0,55	0,55	110	61	61
11	69,43	17	0	21	15,5	16,5	1	0,55	0,55	95	52	52
12	72,49	17	0	21	16,1	17,0	1	0,55	0,55	101	55	55
Yhteensä										5 505	3 010	3 010

Ilmanvaihdon tulo- ja poistoilmavirtojen suhde on 1, mutta erillispoistojen takia rakennuksen tulo- ja poistoilmavirtojen suhde on 0,82. Näin ollen vuosihyötysuhteeksi tulee

$$\eta_a = \frac{R_T S_T}{S_S} = \frac{0,82 * 3 010}{5 505} = 45 \%$$

Taulukko 5. Toimistotalon lämpöhäviöiden esimerkkitasauslaskelma.

Talotyyppi: 4-kerroksinen toimistorakennus
 Suunnitteluratkaisu: Lasijulkisivu 50 % julkisivusta.
 Lämpöhäviöiden tasaus: Rakenteiden lämpöhäviöt on tasattu rakenteita ja LTO:a parantamalla.

TÄYTTÄÄ VAATIMUKSET

Yleistiedot

Rakennustilavuus	13 400 rak-m ³	Mitoittava sisälämpötila	21 °C
Kerrosala	3 480 krs-m ²	Mitoittava sisälämpötila (puolilämmin)	16 °C
Lämmin huoneala	2 960 m ²	Mitoittava ulkolämpötila	-26 °C
Kerroskorkeus	3,6 m		
Huonekorkeus	3 m		
Lämmin ilmatilavuus	8 880 m ³		
Puolilämmin ilmatilavuus	m ³		

1. Perusvaatimukset

RAKENNUSOSAT	Pinta-alat, m ² [A]		U-arvot, W/(m ² K) [U]				2. Vaipan lämpöhäviöiden tasaus		
	Perus- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	Perus- ratkaisu	Min	Max	Suunnittelu- ratkaisu	Ominaislämpöhäviöt, W/K [A * U]	Perus- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Lämpimät tilat									
Ulkoseinä	1 628	1 069	0,25		0,60	0,22		407,0	235,3
Yläpohja	870	870	0,16		0,60	0,15		139,2	130,5
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,16		0,60			-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)	870	870	0,20		0,60	0,20		139,2 1)	139,2 1)
Alapohja (maanvastainen, matalaper.)			0,25	0,15	0,60			-	-
Muu maanvastainen rakennusosa			0,25		0,60			-	-
Ikkunat	522	1 081	1,40		1,80	1,00		730,8	1 080,5
Ulko-ovet	40	40	1,40		-	0,70		56,0	28,0
Kattoikkunat			1,50		1,80			-	-
Puolilämpimät tilat									
Ulkoseinä			0,40		0,60			-	-
Yläpohja			0,30		0,60			-	-
Alapohja			0,30		0,60			-	-
Alapohja (maanvastainen, matalaper.)			0,36	0,25	0,60			-	-
Muu maanvastainen rakennusosa			0,36		0,60			-	-
Ikkunat			1,80		2,80			-	-
Ulko-ovet			1,80		-			-	-
Lämpimän ja puolilämpimän tilan väliset rakenteet (eivät kuulu rakennuksen vaippaan)									
Väliseinä ja välipohja			0,45		0,45				
Ikkunat ja ovet			2,80		2,80				
Lämpimät tilat yhteensä	3 930	3 930						1 472,2	1 613,5
Puolilämpimät tilat yhteensä	-	-						-	-

ILMANVAIHTO	Ilmavirta, m ³ /s [q _v]		LTO:n vuosihyötysuhde, % [η _a]		Ominaislämpöhäviöt, W/K [1.2*1000*q _v *(1-η _a)]	
	Perus- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	Perus- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	Perus- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Hallittu ilmanvaihto						
Lämpimät tilat	2,440		30	45	2 050	1 610
Lämpimät toissijaiset tilat (ei LTO:a)	0,300		0	0	360,0	360,0
Puolilämpimät tilat			30		-	-
Vuotoilmanvaihto (vuotoilmanvaihtokerroin on 0,1 1/h)						
Lämpimät tilat	0,247				296,0	296,0
Puolilämpimät tilat					-	-

3. Laajennettu lämpöhäviöiden tasaus

Lämpimien tilojen rakennusosien ja ilmanvaihdon ominaislämpöhäviöt yhteensä	4 178	3 880
Puolilämpimien tilojen rakennusosien ja ilmanvaihdon ominaislämpöhäviöt yhteensä	-	-

1) Lämpimissä tiloissa ryömintätilaan rajoittuvan alapohjan lämpöhäviö kerrotaan arvolla 0,8 osan D5 ohjeiden mukaisesti. Tällä tavalla otetaan huomioon ryömintätilan ilman ulkoilmaa korkeampi vuotuinen keskilämpötila.

Taulukko 6. Esimerkkitoimistotalon määräystenmukaisuuden tarkistuslista.

Määräystenmukaisuuden tarkistuslista

1. Perusvaatimukset	Täyttykö?	Vaatus-	Suunnittelu-
Pinta-alavaatimukset:	<input checked="" type="checkbox"/> kyllä <input type="checkbox"/> ei	arvo	arvo
Ikkunapinta-ala saa olla enintään 15 % kerrosalasta	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> x	15 %	31 %
Ikkunapinta-ala saa olla enintään 50 % ulkoseinien bruttoalasta	<input checked="" type="checkbox"/> x <input type="checkbox"/>	50 %	49 %
G1: Valoaukon pinta-ala on asuinhuoneissa vähintään 10 % lattiapinta-alasta.	<input checked="" type="checkbox"/> x <input type="checkbox"/>	(suunnittelijan ilmoitus)	
Rakennusosien U-arvojen vaatimukset:			
U-arvot eivät ylitä määräysten perusvaatimusta	<input checked="" type="checkbox"/> x <input type="checkbox"/>		
Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) hyötysuhteen vaatimukset:		Vaatus-	Suunnittelu-
LTO:n vuosihyötysuhde on vähintään 30 %		arvo	arvo
- lämpimissä tiloissa	<input checked="" type="checkbox"/> x <input type="checkbox"/>	30 %	45 %
- puolilämpimissä tiloissa	<input type="checkbox"/>		
Täyttääkö suunnitteluratkaisu perusvaatimukset ?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> x	
<p>Mikäli kaikki perusvaatimukset täyttyivät, suunnitteluratkaisu on määräysten mukainen eikä lisäselvityksiä tai laskelmia tarvita. Mikäli perusvaatimukset eivät täyttyneet, tarvitaan vaipan lämpöhäviöiden tasausta. Siinä sallittua suuremmat vaipan lämpöhäviöt tasataan muuta vaippaa parantamalla.</p>			
EI TÄYTÄ VAATIMUKSIA, käytä tapaa 2 tai 3			

2. Vaatimukset vaipan lämpöhäviöiden tasaukseen	Täyttykö ?	Vaatus-	Suunnittelu-
Rakennusosien U-arvojen vaatimukset:	<input checked="" type="checkbox"/> kyllä <input type="checkbox"/> ei		
U-arvot eivät ylitä suurimpia sallittuja arvoja (<i>Max</i>)	<input checked="" type="checkbox"/> x <input type="checkbox"/>		
Matalaperusteisen alapohjan U-arvot eivät alita pienimpiä sallittuja arvoja (<i>Min</i>)	<input checked="" type="checkbox"/> x <input type="checkbox"/>		
Rakennusosien lämpöhäviöiden vaatimukset:		Vaatus-	Suunnittelu-
Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään perusratkaisun suuruinen		arvo	arvo
- lämpimissä tiloissa	<input type="checkbox"/>	1 472 W/K	1 614 W/K
- puolilämpimissä tiloissa	<input type="checkbox"/>		
LTO:n hyötysuhteen vaatimukset:			
LTO:n vuosihyötysuhde on vähintään 30 %	<input checked="" type="checkbox"/> x <input type="checkbox"/>		
Täyttääkö suunnitteluratkaisu vaipan lämpöhäviövaatimukset ?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> x	
<p>Mikäli kaikki vaipan lämpöhäviöiden vaatimukset täyttyivät, suunnitteluratkaisu on määräysten mukainen eikä lisäselvityksiä tai laskelmia tarvita. Mikäli vaipan vaatimukset eivät täyttyneet, tarvitaan laajennettua lämpöhäviöiden tasausta. Siinä sallittua suuremmat lämpöhäviöt tasataan joko vaippaa parantamalla tai jäteilman LTO:a parantamalla.</p>			
EI TÄYTÄ VAATIMUKSIA, käytä tapaa 3			

3. Vaatimukset laajennettuun lämpöhäviöiden tasaukseen	Täyttykö ?	Vaatus-	Suunnittelu-
Suunnitteluratkaisun rakennusosien lämpöhäviöiden vaatimukset:	<input checked="" type="checkbox"/> kyllä <input type="checkbox"/> ei	Vaatus-	Suunnittelu-
Vaipan ominaislämpöhäviö on enintään 10 % perusratkaisua suurempi		arvo	arvo
- lämpimissä tiloissa	<input checked="" type="checkbox"/> x <input type="checkbox"/>	110 %	110 %
- puolilämpimissä tiloissa	<input type="checkbox"/>		
Rakennusosien ja ilmanvaihdon lämpöhäviöiden vaatimukset:		Vaatus-	Suunnittelu-
Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään perusratkaisun suuruinen		arvo	arvo
- lämpimissä tiloissa	<input checked="" type="checkbox"/> x <input type="checkbox"/>	4 178 W/K	3 880 W/K
- puolilämpimissä tiloissa	<input type="checkbox"/>		
Täyttääkö suunnitteluratkaisu laajennetut lämpöhäviövaatimukset ?	<input checked="" type="checkbox"/> x <input type="checkbox"/>		
<p>Mikäli kaikki laajennetut lämpöhäviövaatimukset täyttyivät, suunnitteluratkaisu on määräysten mukainen. Mikäli vaatimukset eivät täyttyneet, tulee määräystenmukaisuuden osoittamismenettely aloittaa alusta. Yksinkertaisesti hyväksyttävään lopputulokseen pääsee kaikki perusvaatimukset erikseen täyttämällä.</p>			
TÄYTTÄÄ VAATIMUKSET			

Koska LTO:n vuosihyötysuhde on suurempi kuin 30 %, niin siitä tarvitaan lisäselvitys.

7 Säätiiedot ja lämmöntarveluvut

7.1 Ulkolämpötilojen pysyvyystiedot

Taulukossa 7 olevat ulkolämpötilojen pysyvyystiedot ovat Ilmatieteen laitoksen testi-
vuoden 1979 tietoja. Rakennuksen ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuh-
teen laskenta tulee yleensä tehdä rakennuksen sijaintipaikkaa lähinnä vastaavilla ul-
kolämpötilatiedoilla.

*Taulukko 7. Rakennuksen ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen las-
kennassa voidaan käyttää esimerkiksi alla olevia Ilmatieteen laitoksen testivuoden
1979 [Tammelin & Erkiö 1987] ulkoilman lämpötilasta laskettuja pysyvyystietoja. Pro-
senttiosuus ilmoittaa, kuinka suuri osuus vuodesta on kyseistä ulkoilman lämpötilaa
kylmempi.*

Ulkoilman lämpötila, °C	Helsinki, %	Jyväskylä, %	Sodankylä, %	Ulkoilman lämpötila, °C	Helsinki, %	Jyväskylä, %	Sodankylä, %
-41			0	-4	18,82	22,91	35,42
-40			0,011	-3	21,35	26,29	38,92
-39			0,068	-2	23,44	29,10	43,44
-38			0,137	-1	27,02	32,93	47,73
-37			0,263	0	32,04	38,18	52,00
-36			0,422	1	38,64	45,47	56,08
-35		0	0,548	2	43,60	50,21	59,17
-34		0,057	0,685	3	47,73	54,03	61,20
-33		0,080	0,902	4	51,43	56,95	63,09
-32		0,091	1,301	5	54,66	59,39	65,01
-31	0	0,171	1,667	6	57,16	62,07	67,52
-30	0,011	0,263	2,066	7	59,26	63,95	70,48
-29	0,034	0,377	2,603	8	61,37	65,96	73,01
-28	0,057	0,548	3,071	9	64,09	68,37	75,98
-27	0,137	0,753	3,539	10	66,84	70,88	78,39
-26	0,217	0,902	4,018	11	69,43	73,74	80,76
-25	0,297	1,210	4,578	12	72,49	76,39	83,71
-24	0,365	1,553	5,194	13	76,18	79,26	86,43
-23	0,514	1,975	6,016	14	80,27	82,74	88,70
-22	0,799	2,432	6,804	15	83,90	85,79	91,05
-21	1,164	2,911	7,591	16	87,31	88,69	93,22
-20	1,461	3,368	8,425	17	90,70	91,07	94,71
-19	1,678	3,984	9,326	18	93,31	93,24	96,13
-18	2,203	4,749	10,06	19	95,25	94,90	97,36
-17	2,568	5,731	10,91	20	96,61	96,35	98,17
-16	3,219	6,963	11,84	21	97,52	97,52	98,82
-15	3,790	7,740	12,87	22	98,44	98,39	99,24
-14	4,600	8,402	14,09	23	99,13	99,00	99,63
-13	5,913	9,064	15,75	24	99,36	99,35	99,83
-12	6,963	9,680	17,49	25	99,74	99,69	99,97
-11	7,831	10,45	19,33	26	99,90	99,86	100,00
-10	8,893	11,95	21,44	27	99,94	99,95	
-9	10,22	13,32	23,48	28	99,97	100,00	
-8	11,63	14,51	25,75	29	100,00		
-7	12,91	15,96	27,65				
-6	14,74	17,71	29,67				
-5	16,62	19,90	32,02				

7.2 Lämmöntarveluvun laskenta

Lämmöntarveluvut lasketaan pysyvyyskäyrän avulla lämpötila-alue kerrallaan alla olevilla kaavoilla

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

$$S_T = \sum_n (\tau_n - \tau_{n-1}) (t_{uLTO,n} - t_{u,n}) \quad (31)$$

$$S_J = \sum_n (\tau_n - \tau_{n-1}) (t_s - t_{j,n}) \quad (32)$$

missä	S_S	on sisäilman lämpötilan t_s ja ulkoilman lämpötilan t_u välinen lämmöntarveluku, Kd
	S_T	LTO:n jälkeisen tuloilman lämpötilan t_{uLTO} ja ulkoilman lämpötilan t_u välinen lämmöntarveluku, Kd
	S_J	sisäilman lämpötilan t_s ja jäteilman lämpötilan t_j välinen lämmöntarveluku, Kd

Jos ulkolämpötilan pysyvyydet ilmaistaan prosentteina vuodesta, pitää yllä yhtälöiden (30) - (32) oikea puoli kertoa luvulla 365 ja jakaa luvulla 100, jotta lämmöntarveluvun yksiköksi tulee Kd.

Laskennassa voidaan käyttää esimerkiksi kohdassa 7.1 esitettyjä ulkolämpötilan pysyvyyden arvoja. Tässä monisteessa lämmöntarveluvut lasketaan lämmityskaudelle eli ulkoilman lämpötilaan +12 °C saakka.

Kirjallisuutta

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

Lämmöneristysmääräysten 2003 täyttäminen. Lämpöhäviöiden tasaus ja U-arvon laskenta. Ympäristöministeriö, asunto- ja rakennusosasto. Rakennustieto Oy, Helsinki. 81 s. (Ympäristö-opas 106) ISBN 951-682-736-5

Osa C3 Rakennuksen lämmöneristys. Määräykset 2003. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriö, asunto- ja rakennusosasto. Helsinki 2003. 7 s.

Osa C4 Lämmöneristys. Ohjeet 2003. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriö, asunto- ja rakennusosasto. Helsinki 2003. 24 s.

Osa D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2003. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriö, asunto- ja rakennusosasto. Helsinki 2003. 30 s.

Osa D5 Rakennusten lämmityksen tehon- ja energiantarpeen laskenta. Ohjeet. 1985. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriö, asunto- ja rakennusosasto. Helsinki 1985. 14 s.

Tammelin, B. & Erkiö, E. 1987. Energialaskennan säätiedot - suomalainen testivuosi. Ilmatieteen laitos. Helsinki. 108 s.

EN ISO 13789:1999, Thermal performance of buildings – Transmission heat loss coefficient – Calculation method. 8 s.

EN 308:1997, Heat exchangers - Test procedures for establishing performance of air to air and flue gases heat recovery devices. 13 s.

EN 832:1998. Thermal performance of buildings - Calculation of energy use for heating. Residential buildings. 46 s.

prEN ISO 13790:2000. Thermal performance of buildings - Calculation of energy use for heating. 54 s. (korvaa voimaan tullessaan EN 832:1998)

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

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