

Tasauslaskentaopas 2010

Rakennuksen lämpöhäviön
määräystenmukaisuuden osoittaminen

6.5.2010

Esipuhe

Tämä opas käsittelee Suomen rakentamismääräyskokoelman osien C3/2010, D2/2010 ja D3/2010 lämpöhäviön vaatimustenmukaisuuden osoittamista. Oppaassa käsitellään yksityiskohtaisesti U-arvon laskenta, vaipan ilmanpitävyyden osoittaminen ja lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskenta. Opas sisältää esimerkkejä eri rakennustyyppien tasauslaskelmista. Lisäksi esitetään esimerkkilaskelmin myös matalaenergiarakennuksen lämpöhäviötason saavuttamista.

Tämä opas on päivitetty versio Tasauslaskentaoppaasta 2007 (24.1.2008), Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden osoittaminen.

Oppaan sovellusesimerkit, suositukset ja lisätiedot eivät sellaisenaan ole rakentamismääräyskokoelman määräysten tai ohjeiden taseisia 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 erikoistutkijat Mikko Nyman ja Tuomo Ojanen sekä tutkijat Petri Kukkonen ja Mikko Saari VTT Expert Services Oy:stä. Aiemmin julkaistun aineiston laatimiseen ovat osallistuneet myös filosofian maisteri Erkki Kokko (Ympäristöopas 106) ja tekniikan lisensiaatti Mika Vuolle (moniste 122).

Työtä ovat ympäristöministeriön puolesta valvoneet ja ohjanneet yli-insinöörit Maarit Haakana ja Pekka Kalliomäki.

Sisältö

Esipuhe	2
1 Johdanto	6
2 Määritelmiä ja käsitteitä	8
3 Määräystenmukaisuuden osoittaminen	10
3.1 Tasauslaskenta.....	10
3.1.1 Tasauslaskennan periaatteet	10
3.1.2 Lämpöhäviövaatimuksen täyttymisen ehdot.....	12
3.1.3 Esimerkki lämpöhäviövaatimuksen täyttämisestä.....	13
3.2 Rakennuksen pinta-alojen ja tilavuuksien määrittäminen	16
3.3 Rakennuksen vaipan lämpöhäviö	17
3.3.1 Rakennuksen vaipan lämpöhäviön laskenta.....	17
3.3.2 Rakennusosien pinta-alojen määrittäminen.....	17
3.3.3 Rakennusosien lämmönläpäisykerroimet.....	18
3.3.4 Alapohjarakenteet lämpöhäviöiden tasauslaskennassa.....	19
3.3.5 Maanvastaisten rakennusosien ja alapohjien vertailuarvot	19
3.3.6 Ikkunoiden, ovien ja tuuletusluukkujen vertailuarvot	20
3.3.7 Kylmäsiltojen huomioon ottaminen.....	21
3.3.8 Hirsiseinän lämmönläpäisykerroin	21
3.4 Rakennuksen vuotoilman lämpöhäviö	23
3.4.1 Rakennuksen vuotoilman lämpöhäviön laskenta.....	23
3.4.2 Vuotoilmavirta.....	23
3.4.3 Vuotoilmakerroin.....	23
3.4.4 Ilmanpitävyyden osoittaminen	24
3.5 Ilmanvaihdon lämpöhäviö.....	25
3.5.1 Ilmanvaihdon lämpöhäviön laskenta	25
3.5.2 Ilmavirrat	25
3.5.3 Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde	26
4 Matalaenergiarakennuksen lämpöhäviö	28
4.1 Esimerkki matalaenergiarakennuksen lämpöhäviötason saavuttamisesta.....	28
LIITE 1 Tasauslaskentalomake ja sen täyttöohje	31
1 Määräystenmukaisuuden osoittaminen	31
2 Lämpöhäviöiden tasauslaskentataulukon käyttö	34
2.1 Kohteen tiedot ja rakennuksen laajuustiedot.....	34
2.2 Rakennusosien pinta-alat	34
2.3 Rakennusosien U-arvot.....	34
2.4 Vaipan ominaislämpöhäviöt.....	34
2.5 Vaipan ilmavuodot	34
2.6 Ilmavirrat.....	34
2.7 LTO:n vuosihyötysuhde.....	35
2.8 Ilmanvaihdon ominaislämpöhäviöt	35
3 Määräystenmukaisuuden tarkistuslistan käyttö	36
3.1 Yleistä	36
3.2 Pinta-ala- ja lämpöhäviövaatimukset.....	36
LIITE 2 Lämmönjohtavuus ja lämmönläpäisykerroin	37

1	Lämmönjohtavuus.....	37
1.1	Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvojen valintamahdollisuudet	37
1.1.1	Taulukoidut suunnitteluarvot.....	38
1.1.2	CE-merkinnällä varustetut lämmöneristeet ja rakennustuotteet.....	38
1.1.3	Lämmönjohtavuuden suhteen tyyppihyväksytyt lämmöneristeet	39
1.1.4	Kansallisen sertifiointin avulla määritetty lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo	39
1.1.5	Muu hyväksyttävä lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo	39
1.2	Lämmöneristeiden lämmönjohtavuuden suunnitteluarvojen määrittämisen periaatteet ...	40
1.2.1	Normaalisen lämmönjohtavuuden tyyppihyväksyntä.....	40
1.2.2	EN-standardien mukainen suunnitteluarvo	40
1.2.3	λ_n -arvon ja EN-standardien mukaisen λ_{design} -arvon erot.....	42
1.3	Esimerkki lämmöneristeiden lämmönjohtavuuden määrittämisestä.....	43
2	Lämmönläpäisykerroin	45
2.1	Lämmönläpäisykerroimen laskentatapojen erot ohjeen C4 ja standardin SFS-EN ISO 6946 välillä	45
2.2	Kylmäsiltojen laskenta.....	45
2.3	Lämmöneristyksen ilmavirtausten ottaminen huomioon.....	46
2.4	Esimerkki lämmönläpäisykerroimen laskennasta	47
2.5	Ilmavälien ja -tilojen lämmönvastus.....	51
2.6	Maanvastaiset rakenteet	52
2.7	Ikkunan, oven ja tuuletusluukun lämmönläpäisykerroimen laskenta.....	52
2.7.1	Ikkunan valoaukko.....	52
2.7.2	Ikkunan kehän ja ikkunan keskimääräinen lämmönläpäisykerroin.....	52
2.7.3	Kattovalokuvut ja valoaukolliset savunpoistoluukut.....	53
2.7.4	Ovi ja tuuletusluukku	53
	Kirjallisuutta	54
	Rakennusten lämmöneristystä koskevia standardeja.....	55
	LIITE 3 Selvitys vaipan ilmanpitävyydestä	56
1	Johdanto	56
2	Vaipan ilmanpitävyyden mittaukseen perustuva selvitys	56
2.1	Mittausmenetelmä	56
2.2	Selvityksen sisältö	57
3	Muuhun menettelyyn perustuva selvitys vaipan ilmanpitävyydestä	57
	LIITE 4 Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskenta	58
1	Johdanto	58
2	Määritelmiä.....	60
2.1	Käsitteitä	60
2.2	Lämmöntalteenotto erikoistapauksissa.....	61
2.3	Käytetyt merkinnät	62
3	Rakennuksen ilmanvaihto	63
3.1	Rakennuksen ilmavirrat	63
3.2	Laskennassa käytettävät ilmavirrat.....	64
4	Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskenta perusmenetelmällä	66
4.1	Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhteet.....	66

4.2	Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde	68
5	Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskenta lämmöntarveluvuilla	70
5.1	Ilmanvaihdon lämmityksen energiantarve	70
5.2	Poistoilmasta talteenotettu lämpöenergia	72
5.3	Vuosihyötysuhteen laskenta.....	76
6	Laskentaesimerkkejä.....	77
6.1	Pientaloesimerkki	77
6.2	Toimistotaloesimerkki	80
7	Säätiedot ja lämmöntarveluvut.....	83
7.1	Ulkolämpötilojen pysyvyystiedot.....	83
7.2	Lämmöntarveluvun laskenta	84
	Kirjallisuutta	85
	LIITE 5 Esimerkkejä lämpöhäviöiden tasauslaskelmista	86
1	Pientaloesimerkit	87
1.1	Suuri ikkunapinta-ala.....	87
1.2	Ei lämmöntalteenottoa	90
1.3	Hirsitalo.....	93
2	Asuinkerrostaloesimerkit.....	96
2.1	Parempi ilmanpitävyys	96
2.2	Matalaenergiatalo	99
3	Toimistotaloesimerkit.....	102
3.1	Puolet julkisivusta lasia	102
3.2	Lasinen kaksoisjulkisivu.....	105
4	Teollisuusrakennus	108
5	Tyhjät määräystenmukaisuuden osoittamistaulukot	111

1 Johdanto

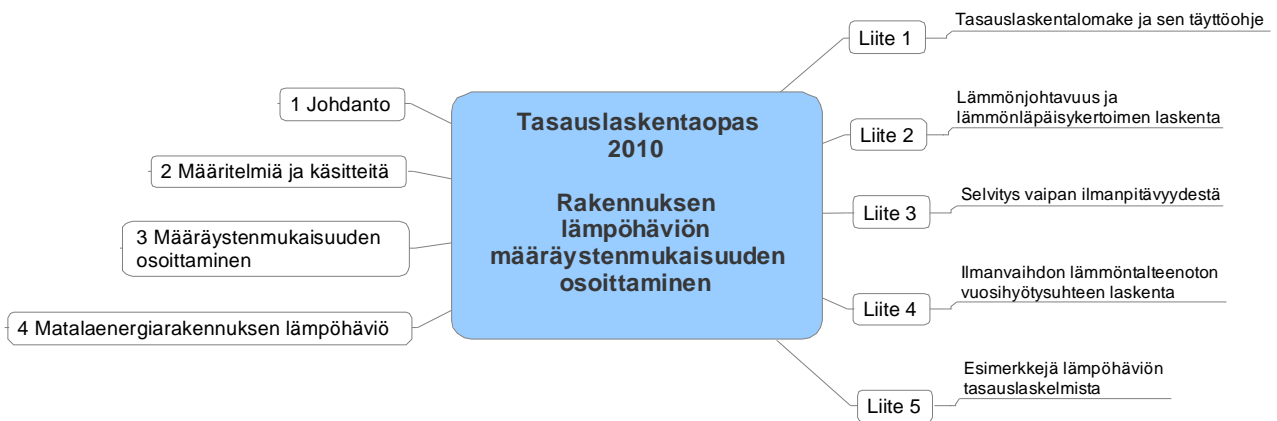
Rakennusten energiatehokkuuden parantamisen taustalla on Kioton ilmastopöytäkirja sekä Suomen energia- ja ilmastostrategia, jonka tavoitteena on kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen. Rakennusten energian käyttö aiheuttaa noin 30 % Suomen kasvihuonekaasupäästöistä. Energian käytöstä rakennusten osuus oli lähes 40 % vuonna 2003. Vuonna 2003 tehdyn rakentamismääräysten muutoksen avulla rakennusten energiankulutuksesta pyrittiin säästämään 25 - 30 % aiempaan määräystasoon verrattuna. Ympäristöministeriö antoi kesällä 2007 uudet rakennuksen energiatehokkuutta ja lämpöhäviöitä koskevat vaatimukset (RakMk 2007). Tällöin vaatimuksia ei kiristetty oleellisesti. Joulukuussa 2008 annetuissa uusissa määräyksissä (RakMk 2010) energiatehokkuusvaatimukset kiristyivät noin 25 – 30 %.

Rakennuksen energiatehokkuutta ja lämpöhäviötä käsitellään seuraavissa Suomen rakentamismääräyskokoelman osissa

- C3 Rakennuksen lämmöneristys, Määräykset 2010
- C4 Lämmöneristys, Ohjeet 2003
- D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, Määräykset ja ohjeet 2010
- D3 Rakennuksen energiatehokkuus, Määräykset ja ohjeet 2010
- D5 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, Ohjeet 2007.

Rakentamismääräysten uudistaminen on osa rakennusten energiatehokkuusdirektiivin toimeenpanoa Suomessa. Uudistetut määräykset mahdollistavat aiempaa suuremman joustavuuden suunnittelutyössä. Vaipan lämpöhäviön jousto on lisätty 20 %:sta 30 %:iin. Jousto tasataan parantamalla rakennuksen ilmanpitävyyttä tai ilmanvaihdon lämmöntalteenottoa. Lämpöhäviöiden tase ohjaa kokonaisvaltaisempaan ajatteluun, jossa vaatimusten kohteena nähdään pikemminkin rakennus kuin sen komponentit erikseen. Uutena asiana on otettu mukaan hirsiseinän muita seinärakenteita suurempi lämmönläpäisykertoimen vertailuarvo. Helpotuksella otetaan huomioon perinteisen hirsirakentamisen turvaaminen, sen erityispiirteet ja puuhun sitoutuneen hiilen suotuisat vaikutukset ilmastonmuutoksen hillintään.

Opas käsittelee rakentamismääräyskokoelman osien C3, D2 ja D3 lämpöhäviön vaatimustenmukaisuuden osoittamista. Lisäksi se pyrkii selventämään määräyksiin liittyviä tulkintoja. Luvussa 4 esitetään yksityiskohtaisesti ja esimerkkilaskelmin matalaenergiarakennuksen lämpöhäviötason saavuttamista. 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.ymparisto.fi) löytyvät laskentatyökalut lämpöhäviöiden tasaukseen ja lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskentaan.

2 Määritelmiä ja käsitteitä

Lämmönläpäisykerroin (U-arvo) ilmoittaa lämpövirran tiheyden, joka jatkuvuustilassa läpäisee rakennusosan, kun lämpötilaero rakennusosan eri puolilla olevien tilojen välillä on yksikön suuruinen (osa C3).

Lämmönläpäisykerroimen vertailuarvo tarkoittaa rakentamismääräyskokoelman osan C3 kohdissa 3.2.1 ja 3.2.2 rakennusosalle esitettyä lämmönläpäisykerroimen arvoa.

Vuotoilmakerroimen vertailuarvo tarkoittaa rakentamismääräyskokoelman osan D3 kohdassa 3.3.2 esitettyä vuotoilmakerroimen arvoa, joka on 0,08 kertaa tunnissa.

Ikkunapinta-alan vertailuarvo on 15 % maanpäällisten kerrosten yhteenlasketusta kerrostasosalasta kuitenkin enintään 50 % julkisivupinta-alasta (osa C3 kohta 3.2.4).

Ikkunapinta-ala sisältää sekä lämpimien että puolilämpimien tilojen julkisivujen ikkunat ja kattoikkunat. 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 (jäteilman) lämmöntalteenoton vertailuarvo tarkoittaa rakentamismääräyskokoelman osan D2 määräyksessä 4.1.2 esitettyä ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton (LTO) vaatimusta, joka pienentää 45 % ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemää lämpömäärää. Jäteilma on poistoilmaa, joka johdetaan rakennuksesta ulos.

Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemalla lämpömäärällä tarkoitetaan sitä lämpömäärää, joka tarvitaan ilmanvaihdon ilmavirran lämmittämiseksi ulkoilman lämpötilasta huonelämpötilaan (osa D2). Lämmöntalteenoton vähimmäisvaatimuksen täytyminen edellyttää, että poistoilmasta talteenotettu lämpömäärä käytetään vaadittavalta osaltaan rakennuksen tuloilman tai tilojen lämmitykseen lämmityskauden aikana.

Vertailuratkaisu tarkoittaa lämpöhäviöiden tasauslaskelmassa vertailukohtana käytettävää suunnitelmaa, jossa kunkin rakennusosan lämmönläpäisykerroin, yhteenlaskettu ikkunapinta-ala, rakennuksen vuotoilmakerroin ja ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde ovat vertailuarvojen mukaisia. Vertailuratkaisun mukaisen rakennuksen ulottuvuudet, mitat ja pinta-alat ovat lämpöhäviön tasauslaskelmassa 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.

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.

Ilmoitettu lämmönjohtavuus tarkoittaa valmistajan ilmoittamaa CE-merkityn lämmöneristeen tai lämmöneristeenä käytettävän tuotteen lämmönjohtavuuden mittaustuloksiin ja niiden tilastolliseen käsittelyyn perustuvaa lämmönjohtavuuden arvoa.

Vaatimukset lämmönjohtavuuden mittauksille ja tilastolliselle käsittelytavalle määritellään ao. tuotestandardissa tai ETA-hyväksynnässä.

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

Rakennuksen poistoilman (jäteilman) lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde 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.

3 Määräystenmukaisuuden osoittaminen

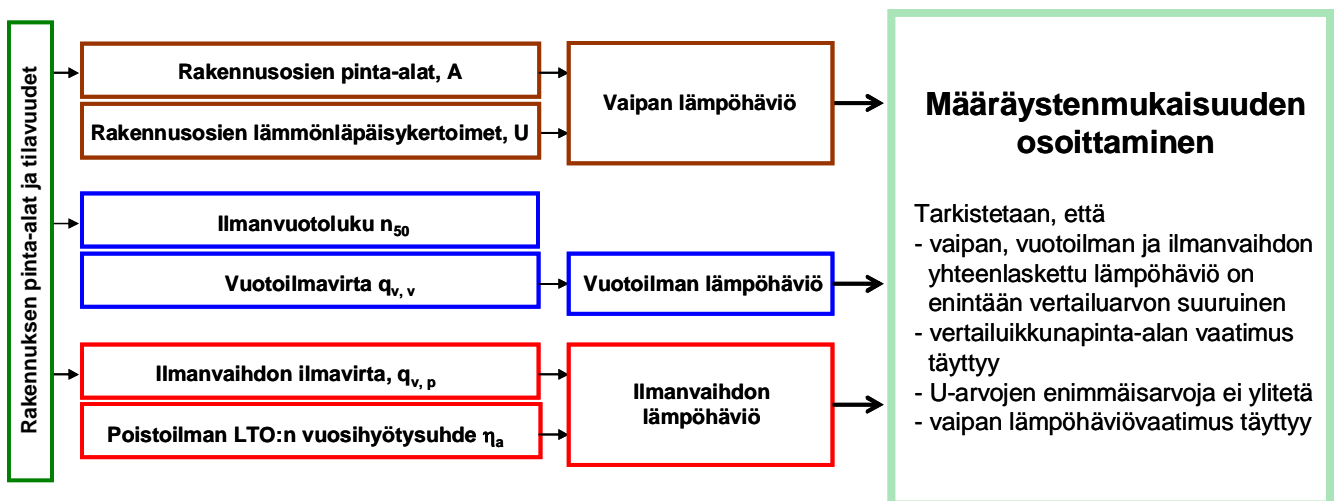
3.1 Tasauslaskenta

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.

Rakentamismääräysten osassa D3 rakennuksen lämpöhäviölle asetettu vaatimus täytetään, kun tasauslaskelmalla osoitetaan, että rakennuksen vaipan, vuotoilman ja ilmanvaihdon yhteenlaskettu lämpöhäviö on enintään vertailuratkaisun mukainen (D3, kohta 2.2.1).

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.

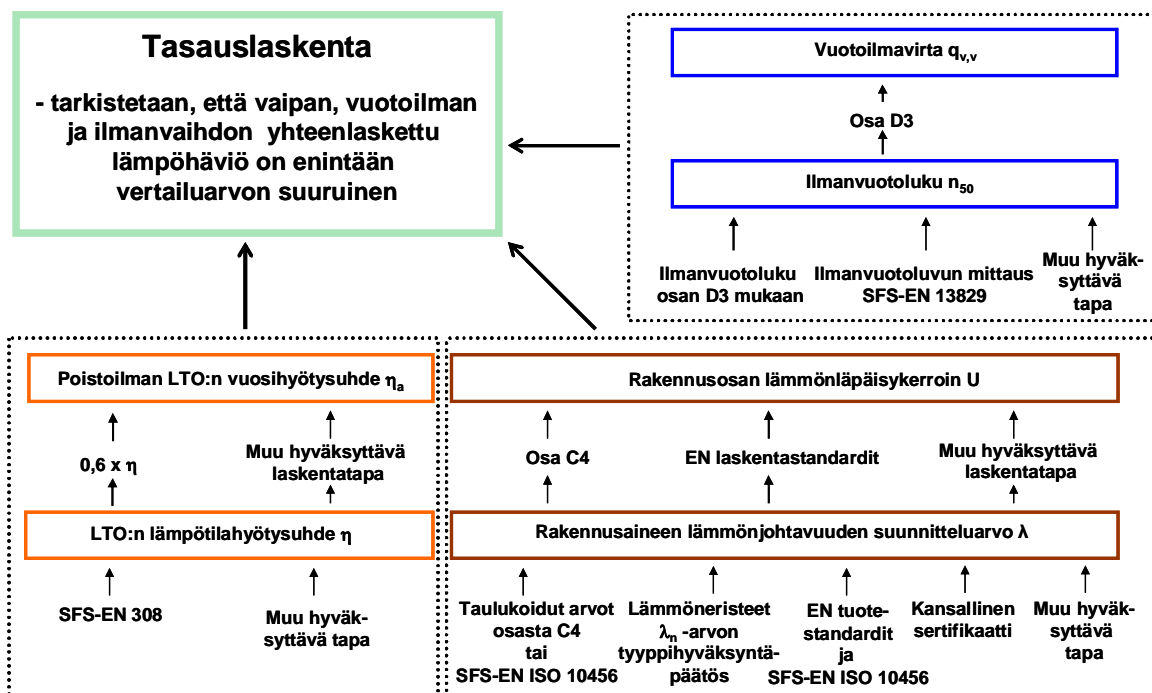
Seuraavassa on selvyiden vuoksi lueteltu sellaisia rakennuksen lämpöhäviöihin ja lämmitysenergiankulutukseen vaikuttavia tekijöitä ja ratkaisuja, joita ei voi hyödyntää lämpöhäviöiden tasauksessa

- ilmanvaihtoa tulee käyttää ja ohjata tarpeen mukaan, mutta suunnitteluratkaisussa ei 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
- esimerkiksi lämmitysvesivaraajaa lämmittävä ilmanvaihdon LTO-ratkaisu hyväksytään LTO-ratkaisuksi vain siltä osin kuin talteenotettu lämpö käytetään tuloilman tai tilojen lämmitykseen osan D3 kohdan 2.2.1 mukaisesti
- laitesähkönkulutus, kuten esimerkiksi ilmanvaihdon puhaltimien ja pumppujen sähkönkulutus, ei kuulu tasausmenettelyn piiriin.

Rakennus voidaan tarvittaessa jakaa toiminnallisesti itsenäisiin osiin, joiden määräystenmukaisuus osoitetaan erikseen (esimerkiksi toimistorakennuksen maanalaiset pysäköintitilat ja vastaavat). Toiminnallisesti itsenäiset osat käsitellään kuten erilliset rakennukset, joten yhden osan kerrostasoaalaa tai lämpöhäviötä ei voi hyödyntää toisen osan määräystenmukaisuuden osoittamisessa.

Kaikki keinot rakennuksen energiatehokkuuden ja sisäilmaston parantamiseksi ovat suositeltavia. Rakennuksen saa aina rakentaa määräysten vaatimuksia paremmaksi.

Kuvassa 3 esitetään rakennuksen lämpöhäviön tasauslaskennan lähtötietojen vaihtoehtoisia määrittämistapoja.



Kuva 3. Rakennuksen lämpöhäviön tasauslaskennan lähtötietojen vaihtoehtoisia määrittämistapoja.

3.1.2 Lämpöhäviövaatimuksen täyttymisen ehdot

Sen lisäksi, että rakennuksen vaipan, vuotoilman ja ilmanvaihdon yhteenlaskettu lämpöhäviö on enintään vertailuratkaisun suuruinen, tulee tasauslaskennan täyttää seuraavat ehdot:

Pinta-alat

- Vertailuikkunapinta-ala on 15 % yhteenlasketuista maanpäällisistä kerrostasoaloista, mutta kuitenkin enintään 50 % julkisivujen pinta-alasta
- Valoaukon pinta-ala on asuinhuoneissa vähintään 10 % lattiapinta-alasta (RakMK osa G1)
- Rakennusosien yhteenlaskettu pinta-ala on sama vertailu- ja suunnitteluratkaisuissa

Rakennusosien U-arvot ja vaipan lämpöhäviö

- Vertailuratkaisun U-arvot ovat osan C3 vertailuarvojen suuruisia
- Suunnitteluratkaisun U-arvot ovat enintään enimmäisarvojen suuruisia
- Vaipan suunnittelu- ja vertailuratkaisun ominaislämpöhäviön suhde on enintään 1,3 (RakMK osa C3, kohta 3.1.2)

Lisäselvitykset

- Jos lämpöhäviölaskelmissa vaipan ilmanvuotoluvun n_{50} suunnitteluarvo on alle 4 l/h, ilmanpitävyydestä on esitettävä selvitys
- Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittämisestä on esitettävä selvitys.

Taulukossa 1 esitetään rakennusosien lämmönläpäisykertoimien vertailuarvot. Lisäksi esitetään suunnitteluratkaisussa käytettävien lämmönläpäisykertoimien enimmäisarvot. Kylmäsiltoja lukuun ottamatta ei minkään yksittäisen rakennusosan lämmönläpäisykerroin saa ylittää enimmäisarvoja. Kylmäsiltoja käsitellään tarkemmin kohdassa 3.3.7.

Taulukko 1. Rakennusosien lämmönläpäisykertoimien vertailuarvot ja suunnitteluratkaisussa käytettävien lämmönläpäisykertoimien enimmäisarvot.

RAKENNUSOSAT	U-arvot, W/(m ² K)	
	Vertailuarvo	Enimmäisarvo
Lämpimät tilat		
Ulkoseinä	0,17	0,60
Hirsiseinä	0,40	0,60
Yläpohja	0,09	0,60
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)	0,09	0,60
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)	0,17	0,60
Alapohja (maanvastainen)	0,16	0,60
Muu maanvastainen rakennusosa	0,16	0,60
Ikkunat	1,00	1,80
Ulko-ovet	1,00	-
Kattoikkunat	1,00	1,80
Puolilämpimät tilat		
Ulkoseinä	0,26	0,60
Hirsiseinä	0,60	0,60
Yläpohja	0,14	0,60
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)	0,14	0,60
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)	0,26	0,60
Alapohja (maanvastainen)	0,24	0,60
Muu maanvastainen rakennusosa	0,24	0,60
Ikkunat	1,40	2,80
Ulko-ovet	1,40	-
Kattoikkunat	1,40	2,80
Lämpimän ja puolilämpimän tilan väliset rakenteet		
Seinä ja välipohja		0,6
Ikkunat ja ovet		2,80
Jäähdytettävän kylmän tilan ja muiden tilojen väliset		
Seinä ja välipohja		0,27
Ovet		1,40

3.1.3 Esimerkki lämpöhäviövaatimuksen täyttämisestä

Seuraavassa on esimerkki 1-kerroksisen erillisen pientalon lämpöhäviövaatimuksen täyttämisestä. Taulukossa 1 esitetään kohteen laajuustiedot. Taulukossa 2 esitetään rakennusosien pinta-alat ja U-arvot. Suuren ikkunapinta-alan takia esimerkkipientalon vaipan lämpöhäviö on yli 30 % suurempi kuin vertailuratkaisun. Vaipan lämpöhäviötä on pienennettävä siten, että lämpöhäviö on enintään 30 % suurempi kuin vertailulämpöhäviö.

Taulukossa 3 esitetään tilanne sen jälkeen, kun vaipan lämpöhäviötä on pienennetty parantamalla ulkoseinän, alapohjan, ikkunoiden ja ovien U-arvoja. Parannusten jälkeenkin vaipan lämpöhäviö on vielä 9 % suurempi kuin vertailuratkaisun lämpöhäviö. Ylimenevä osuus voidaan tasata vuotoilman tai ilmanvaihdon ominaislämpöhäviöitä pienentämällä.

Vaipan ilmanvuotoluku on vertailuarvon mukainen (ilmanpitävyydestä on esitettävä selvitys). Ilmanvaihdon lämpöhäviötä pienennetään valitsemalla vertailutasoa parempi ilmanvaihdon lämmöntalteenotto laite, jolla selvityksen mukaan ilmanvaihtojärjestelmän lämmöntalteenoton

vuosihyötysuhde saadaan nostettua 45 %:sta 60 %:iin (taulukko 4). Parannuksen jälkeen rakennuksen yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö on pienempi kuin vertailulämpöhäviö. Suunnitteluratkaisu täyttää lämpöhäviövaatimuksen.

Taulukko 1. Esimerkkiipientalon laajuustiedot.

Rakennuksen laajuustiedot		
Rakennustilavuus	522	rak-m ³
Maanpäälliset kerrostasoalat yhteensä	163	m ²
Kerroskorkeus	3,0	m
Huonekorkeus	2,6	m
Ilmatilavuus, V, lämpimät tilat	382	m ³
Julkisivupinta-ala	146	m ²

Taulukko 2. Esimerkkiipientalon vaipan ominaislämpöhäviö on suurempi kuin vertailuratkaisun ominaislämpöhäviö. Suuren ikkunapinta-alan takia vaipan lämpöhäviö on 31 % suurempi kuin vertailuratkaisun. Vaipan lämpöhäviötä on pienennettävä siten, että lämpöhäviö on enintään 30 % suurempi kuin vertailulämpöhäviö.

Perustiedot	Pinta-alat, m ² [A]					U-arvot, W/(m ² K) [U]			Lämpöhäviöiden tasaus	
	Pinta-alat, m ² [A]		U-arvot, W/(m ² K) [U]			Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{oht} = A x U]				
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Enimmäis- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu			
RAKENNUSOSAT										
<i>Lämpimät tilat</i>										
Ulkoseinä	113	80	0,17	0,60	0,17	19,2	13,6			
Hirsiseinä			0,40	0,60		-	-			
Yläpohja	147	147	0,09	0,60	0,09	13,2	13,2			
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,09	0,60		-	-			
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹⁾			0,17	0,60		-	-			
Alapohja (maanvastainen)		147	0,16	0,60	0,16	23,5	23,5			
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16	0,60		-	-			
Ikkunat	24,5	57,5	1,00	1,80	1,00	24,5	57,5			
Ulko-ovet		8,2	1,00	-	1,00	8,2	8,2			
Kattoikkunat			1,00	1,80		-	-			
Lämpimät tilat yhteensä	440	440				88,7	116,1			

Taulukko 3. Esimerkkipientalon vaipan ominaislämpöhäviötä on pienennetty parantamalla ulkoseinän, alapohjan, ikkunoiden ja ovien U-arvoja. Vaipan ominaislämpöhäviö on 9 % suurempi kuin vertailuratkaisun. Ylimenevä osuus on tasattava vuotoilman tai ilmanvaihdon ominaislämpöhäviöitä pienentämällä.

Perustiedot	Pinta-alat, m ² [A]		U-arvot, W/(m ² K) [U]			Lämpöhäviöiden tasaus	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Enimmäis- arvo	Suunnittelu- arvo	Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{joht} = A × U]	
RAKENNUSOSAT						Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Lämpimät tilat							
Ulkoseinä	113	80	0,17	0,60	0,14	19,2	11,2
Hirsiseinä			0,40	0,60		-	-
Yläpohja	147	147	0,09	0,60	0,09	13,2	13,2
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,09	0,60		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹⁾			0,17	0,60		-	-
Alapohja (maanvastainen)		147	0,16	0,60	0,14	23,5	20,6
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16	0,60		-	-
Ikkunat	24,5	57,5	1,00	1,80	0,80	24,5	46,0
Ulko-ovet		8,2	1,00	-	0,70	8,2	5,7
Kattoikkunat			1,00	1,80		-	-
Lämpimät tilat yhteensä	440	440				88,7	96,8

Taulukko 4. Esimerkkipientalon ilmanvaihdon ominaislämpöhäviötä on pienennetty parantamalla ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosiyhötysuhdetta 45 %:sta 60 %:iin. Vaipan ilmanvuotoluku on vertailuarvon mukainen. Rakennuksen ominaislämpöhäviö täyttää vaatimuksen.

VAIPAN ILMAVUODOT	Ilmanvuotoluku, 1/h [n ₅₀]		Vuotoilmavirta, m ³ /s [q _{v, v} = n ₅₀ /25 × V/3600]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{vuotoilma} = 1200 × q _{v, v}]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Vuotoilma						
Lämpimät tilat	2,0	2,0	0,0085	0,0085	10,2	10,2

ILMANVAIHTO	Poistoilmavirta, m ³ /s [q _{v, p}]		LTO:n vuosiyhötysuhde, % [η _a]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{iv} = 1200 × q _{v, p} × (1-η _a)]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Hallittu ilmanvaihto						
Lämpimät tilat		0,053	45	60	35,0	25,4
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-

Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus	Ominaislämpöhäviö, W/K [H = H _{joht} + H _{vuotoilma} + H _{iv}]	
	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä	134	132

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 porraskäytävät sekä alat, joissa huonekorkeus on alle 1600 mm. Rakennuksen kerrostasoalan laskenta esitetään standardissa SFS 5139.

Julkisivupinta-ala

Julkisivupinta-ala lasketaan ulkoseinien kokonaissisämittojen mukaan. Seinän korkeus tarkastelukohdassa on alapohjan yläpinnan ja yläpohjan alapinnan välinen pystysuuntainen etäisyys. Ulkoseinän leveys on vaakasuora etäisyys ulkoseinän sisäpinnan nurkasta seuraavaan ulkoseinän sisäpinnan nurkkaan. Julkisivupinta-ala sisältää ulkoseinien lisäksi siinä olevien ikkunoiden ja ovien pinta-alat.

Kerroskorkeus

Rakennuksen kerroskorkeus on keskimääräinen kerroskorkeus. Kerroskorkeus mitataan alemman kerroksen lattian pinnasta välittömästi yläpuolella olevan kerroksen lattian pintaan. Välipohja sisältyy kerroskorkeuteen. Ala- ja yläpohja voidaan ottaa kerroskorkeutta laskettaessa huomioon kuten rakennustilavuutta laskettaessa.

Huonekorkeus

Rakennuksen huonekorkeus on keskimääräinen huonekorkeus. Huonekorkeus mitataan huoneen lattian pinnasta huoneen katon alapintaan.

Ilmatilavuus

Rakennuksen ilmatilavuus on keskimääräisen huonekorkeuden ja kokonaissisämittojen mukaan lasketun huonealan tulo. Väliseiniä ja välipohjia ei lasketa ilmatilavuuteen. Huoneen ilmatilavuus on sen sisäpintojen rajoittaman tilakappaleen tilavuus. Milloin huoneessa on alakatto, jonka pinta-alasta aukkojen osuus on vähemmän kuin puolet, katsotaan huonetta yläpuolelta rajoittavaksi pinnaksi alakaton alapinta. Huoneen tilavuuden laskennassa ei oteta huomioon vähäisten palkkien, pilareiden, ovi- ja ikkunasyvennyksien, listojen ja vastaavien vaikutusta. Kaikkien rakennuksen tilojen tilavuus voidaan laskea kuten huoneen tilavuus. Huoneen tilavuuden laskenta esitetään standardissa SFS 2460.

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 ² K)
A	rakennusosan pinta-ala, m ² .

Rakennuksen vertailulämpöhäviön laskennassa käytetään rakentamismääräyskokoelman osan C3 kohdassa 3.2 esitettyjä rakennusosakohtaisia lämmönläpäisykerroimia ja ikkunapinta-alan vertailuarvoa.

Rakennuksen suunnitteluratkaisun lämpöhäviön laskennassa käytetään suunniteltuja rakennusosakohtaisia lämmönläpäisykerroimia 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 mukaan valoaukolla varustetut ovet silloin, kun ovi ei ole tilan käyttötarkoituksen mukainen kulkutie sisätilasta ulos, ulkotilaan tai kylmään tilaan. Esimerkiksi ns. 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 liitteen 2 kohdan 2.7.3 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 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

Rakentamismääräyskokoelman osa C3 sisältää rakennuksen lämmöneristystä koskevat vaatimukset sekä vertailulämpöhäviön laskennassa käytettävät lämmönläpäisykertoimien vertailuarvot. Siinä

ilmoitetaan myös rakennusosien lämmönläpäisykertoimien eli U-arvojen enimmäisarvot, joita ei saa lämpöhäviöiden tasauksessa ylittää.

Rakentamismääräyskokoelman osa C4 sisältää verraten kattavan ohjeiston rakennusosien ja komponenttien lämmönläpäisykertoimen määrittämiseen. Se riittää U-arvojen suunnitteluarvojen määrittämiseen. Myös muita tarkkuudeltaan vähintäänkin yhtä hyviä menetelmiä voidaan käyttää. Erityisesti EN-standardien mukaisia menetelmiä voidaan käyttää.

Lämmönjohtavuuden ja U-arvon erilaisia laskentavaihtoehtoja käsitellään tarkemmin liitteessä 2.

3.3.4 Alapohjarakenteet lämpöhäviöiden tasauslaskennassa

Maanvastainen alapohja

Maanvastaisen alapohjan lämmönläpäisykerroin sisältää alapohjarakenteen ja maan lämmönvastuksen. Maanvastainen alapohja katsotaan lämmönläpäisykertoimen laskennassa sisä- ja ulkoilman väliseksi rakennusosaksi osan C4 mukaisesti.

Maanvastaisen alapohjan lämmöneristys pitää suunnitella osan C3 kohdan 3.1.5 mukaisesti yhdessä routaeristyksen kanssa ja toteuttaa siten, että vältetään routavaurioilta. Asianmukaisen routaeristyksen suunnitteluun ja rakentamiseen on kiinnitettävä erityistä huomiota varsinkin silloin, kun maanvastainen alapohja toteutetaan vertailuarvoja paremmin eristävänä.

Ryömintätilainen alapohja

Jos alapohja rajoittuu tuuletettuun ryömintätilaan, jonka tuuletusaukkojen määrä on enintään 8 promillea alapohjan pinta-alasta, kerrotaan alapohjan ominaislämpöhäviö lämpöhäviöiden tasauslaskennassa luvulla 0,8. Tällä tavalla otetaan huomioon ryömintätilan ilman ulkoilmaa korkeampi vuotuinen keskilämpötila. Alapohjan lämpöhäviö on redusoitu tällöin vastaamaan sisä- ja ulkoilman lämpötilaeroa ja voidaan siten laskea yhteen rakennuksen vaipan muiden osien lämpöhäviöiden kanssa.

Jos ryömintätilaisen alapohjan tuuletusaukkojen määrä on yli 8 promillea alapohjan pinta-alasta, alapohja käsitellään ulkoilmaan rajoittuvana alapohjana. Tällöin U-arvon vertailuarvo on 0,09 W/(m² K) eikä lämpöhäviötä kerrota muuntokertoimella 0,8.

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 W/(m² K) eikä lämpöhäviötä kerrota muuntokertoimella 0,8.

3.3.5 Maanvastaisten rakennusosien ja alapohjien vertailuarvot

Rakentamismääräyskokoelman osan C3 kohdissa 3.2.1 ja 3.2.2 esitetään maanvastaisen rakennusosan lämmönläpäisykertoimen vertailuarvot, jotka ovat lämpimän tilan rakennusosille 0,16 W/(m² K) ja puolilämpimän tilan 0,24 W/(m² K). Nämä arvot ovat selvästi suurempia kuin ulkoilmaan rajoittuvilla alapohjarakenteilla. Taustalla on matalaan perustettujen rakennusten routavaurioriskin suureneminen, mikäli lämmön siirtyminen alapohjan läpi perusmaahan vähenee.

Määräys 3.1.5 edellyttääkin, että routaeristys tulee suunnitella yhdessä alapohjan lämmöneristysten kanssa niin, että vältetään routavauriot.

Kun alapohjan alla olevaan ryömintätilaan johtavien tuuletusaukkojen yhteenlaskettu pinta-ala on enintään 8 promillea alapohjan pinta-alasta, katsotaan alapohja ryömintätilaiseksi alapohjaksi, johon sovelletaan rakentamismääräyskokoelman osan C3 määräyksessä 3.2.1 esitettyä lämmönläpäisykerroimen vertailuarvoa $0,17 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. Jos tuuletusaukkojen yhteenlaskettu pinta-ala on edellä mainittua suurempi, katsotaan alapohja ulkoilmaan rajoittuvaksi alapohjaksi, jolloin lämmönläpäisykerroimen vertailuarvo on $0,09 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. Tuuletusaukon pinta-alaksi katsotaan aukon vapaan virtauspoikkipinnan ala, joka saadaan vähentämällä säleiden, ritilöiden tms. pinta-alaosuus aukon kokonaisalasta.

Lämmönläpäisykerroimen vertailuarvo on ryömintätilaiselle alapohjalle suurempi kuin ulkoilmaan rajoittuvalle alapohjalle. Perusteena on ryömintätilan ilman ulkoilmaa korkeampi lämpötila talvikautena. Täten ryömintätilaisen alapohjan määräys kohdistuu sisäilman ja ryömintätilan välissä olevaan alapohjarakenteeseen. Alapohjan lämmönläpäisykerroin lasketaan siten huoneilman ja ryömintätilan väliselle alapohjarakenteelle. Ryömintätilaisen alapohjan ulkopuolisena pintavastuksena käytetään laskelmissa arvoa $R_{se} = 0,17 \text{ (m}^2 \text{ K)/W}$, kun taas ulkoilmaan rajoittuvalla alapohjalla käytetään arvoa $R_{se} = 0,04 \text{ (m}^2 \text{ K)/W}$.

Standardissa SFS-EN ISO 13370:2007 esitetään ryömintätilaisen alapohjan lämmönläpäisykerroimen laskentamenetelmä. Esitetystä menetelmästä lasketaan erikseen alapohjarakenteen, alapohjan alla olevien maakerrosten sekä ulkoilmaa vasten olevan perusmuurin lämmönläpäisykerroimet. Saatujen arvojen avulla lasketaan koko alapohjarakenteen lämmönläpäisykerroin olettaen alapohja aina huoneilman ja ulkoilman väliseksi rakennusosaksi.

Kun osoitetaan ryömintätilaisen alapohjan vaatimustenmukaisuus standardin SFS-EN ISO 13370:2007 mukaisella laskelmalla, riittää pelkän alapohjarakenteen lämmönläpäisykerroimen laskenta, joten maaperän tai perusmuurin lämmönläpäisykerrointa ei tällöin saa ottaa huomioon.

3.3.6 Ikkunoiden, ovien ja tuuletusluukujen vertailuarvot

Rakentamismääräyskokoelman osassa C3 asetetut vertailuarvot ikkunan ja oven ja tuuletusluukun lämmönläpäisykerroimelle kohdistuvat rakenteen keskimääräiseen lämmönläpäisykerroimeen, joka lasketaan kehän (karmirakenteen) ulkomittojen mukaan.

Ikkunoiden yhteenlasketulle pinta-alalle asetetaan vertailuarvo osan C3 kohdassa 3.2.4.

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 lämmönläpäisykerroimen määräystenmukaisuuden osoittamiseen riittää myös, että näyttö on

annettu ikkunarakenteella, jonka pinta-ala on vähintään 1,4 m². Saatua U-arvoa voidaan soveltaa ikkunapinta-alasta riippumatta suunnittelukohteen kaikkiin rakenteeltaan samanlaisiin ikkunoihin.

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.

Tuuletusluukut eivät sisälly yhteenlaskettuun ikkunapinta-alaan, vaan ne lasketaan ja otetaan huomioon erikseen kuten ovet.

3.3.7 Kylmäsiltojen huomioon ottaminen

Määräys 3.2.3 osassa C3 sallii kylmäsiltoja, mikäli niistä ei aiheudu kosteusteknistä haittaa. Ohjeen C4 kohtaan 2.3.2 liittyvässä selostuksessa muistutetaan lisäksi, että oleskeluhyökköillä tulee saavuttaa osan D2 mukaiset lämpöolot. Täten rakennusvaipan kaikki kylmäsiltoja tulee suunnitella kosteusteknisesti toimiviksi ja lämpöolojen kannalta haitattomiksi.

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 ole tarpeen ottaa huomioon osoitettaessa määräystenmukaisuus, ovat seuraavat:

- rakennuksen vaipan nurkkauksiin muodostuvat rakenteelliset tai geometriasta johtuvat kylmäsiltoja (ulkoseinien nurkkaus, ulkoseinän ja yläpohjan nurkkaus palkistoinen)
- rakennuksen vaipan ja väliseinien tai välipohjien liitoksiin muodostuvat kylmäsiltoja (kantavat palkit tms. tukirakenteet)
- ikkuna- ja oviaukkojen piilirakenteiden 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.

3.3.8 Hirsiseinän lämmönläpäisykerroin

Hirsiseinällä tarkoitetaan seinää, jossa hirsirakenteen keskimääräinen paksuus on vähintään 180 mm. Tällä tarkoitetaan yhtenäisen massiivirakenteen paksuutta. Hirsiseinä voi olla myös kokonaan tai osittain lämmöneristetty.

Rakentamismääräyskokoelman osan C3 kohdissa 3.2.1 ja 3.2.2 esitetään hirsiseinän lämmönläpäisykertoimen vertailuarvot, jotka ovat lämpimän tilan rakennusosille 0,40 W/(m² K) ja puolilämpimän tilan 0,60 W/(m² K). Nämä arvot ovat selvästi suurempia kuin muiden seinärakenteiden. Näitä arvoja käytetään lämpöhäviön määräystenmukaisuuden osoittamisessa.

Taustalla on perinteisen hirsirakentamisen turvaaminen, sen erityispiirteet ja puuhun sitoutuneen hiilen suotuisat vaikutukset ilmastonmuutoksen hillintään.

Rakennusvaippaan kuuluvan hirsiseinän lämmönläpäisykerroin saa olla enintään $0,60 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$, kuten muidenkin vaippaan kuuluvien seinärakenteiden.

Rakentamismääräyskokoelman osan D3 kohdan 2.2.1 selostuksen mukaan, kun suunnitellaan matalaenergiarakennusta, käytetään vertailulämpöhäviön laskennassa ulkoseinille lämmönläpäisykerroimen vertailuarvoa $0,17 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ lämpimissä tiloissa ja $0,26 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ puolilämpimissä tiloissa.

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
ρ_i	ilman tiheys, 1,2 kg/m ³
c_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 Ws/(kgK)
$q_{v, \text{vuotoilma}}$	vuotoilmavirta, m ³ /s

3.4.2 Vuotoilmavirta

Vuotoilmavirta lasketaan yhtälöstä (3).

$$q_{v, \text{vuotoilma}} = n_{\text{vuotoilma}} V / 3600 \quad (3)$$

jossa

$q_{v, \text{vuotoilma}}$	vuotoilmavirta, m ³ /s
$n_{\text{vuotoilma}}$	rakennuksen vuotoilmakerroin, kertaa tunnissa, 1/h
V	rakennuksen tilavuus, m ³
3600	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos m ³ /h => m ³ /s, yksikkö on s/h.

3.4.3 Vuotoilmakerroin

Rakennuksen vertailulämpöhäviön laskennassa käytetään rakennuksen vuotoilmakerroinena arvoa $n_{\text{vuotoilma}} = 0,08$ 1/h, mikä vastaa ilmanvuotolukua $n_{50} = 2,0$ 1/h. Rakennuksen vuotoilmakerroin lasketaan yhtälön (4) mukaan

$$n_{\text{vuotoilma}} = n_{50} / 25 \quad (4)$$

jossa

$n_{\text{vuotoilma}}$	rakennuksen vuotoilmakerroin, kertaa tunnissa, 1/h
n_{50}	rakennuksen ilmanvuotoluku 50 Pa paine-erolla, kertaa tunnissa, 1/h.

3.4.4 Ilmanpitävyyden osoittaminen

Rakennuksen suunnitteluratkaisun lämpöhäviön laskennassa voidaan käyttää rakennuksen vuotoilmakertoimen arvoa $n_{\text{vuotoilma}} = 0,16$ 1/h, mikä vastaa ilmanvuotolukua $n_{50} = 4,0$ 1/h. Tällöin ilmanpitävyyttä ei tarvitse erikseen osoittaa. Pienempää ilmanvuotolukua voidaan käyttää, jos ilmanpitävyys osoitetaan joko jälkikäteen mittaamalla tai muulla menettelyllä.

Rakentamismääräyskokoelman osan C3 kohta 2.3 sisältää toiminnallisen vaatimuksen rakennuksen vaipan ilmanpitävyydelle. Määräys velvoittaa huolehtimaan siitä, että sekä vaipan että tilojen välisten rakenteiden tulee olla niin ilmanpitäviä, että rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä voi toimia suunnitellusti. Rakenteisiin on tarvittaessa tehtävä erillinen ilmansulku. Erityistä huomiota tulee kiinnittää rakenteiden liitosten ja läpivientien suunnitteluun sekä rakennustyön huolellisuuteen. 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 määräyksiä myös rakentamismääräyskokoelman osassa C2 Kosteus (kohdat 1.4.2 ja 4.1.2). Määräysten taustalla on toiminnallinen vaatimus siitä, ettei kosteaa sisäilmaa saa vuotaa haitallisessa määrin rakennuksen vaipan läpi kylmään suuntaan.

Rakennuksen vaipan ilmanvuotoluku n_{50} määritetään standardissa SFS-EN 13829 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 päivityksessä.

Ilmanvuotolukua $n_{50} = 4,0$ 1/h suurempaa arvoa ei tarvitse käyttää, vaikka ilmanpitävyys olisi mittaamalla todettu tätä huonommaksi. Tässä tilanteessa ilmanpitävyyden parantaminen vähintään vertailuarvon tasoon on energiatehokkuuden kannalta suositeltavaa ja toimivuuden kannalta yleensä välttämätöntä.

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

Muu menettely

Ilmanvuotolukua $n_{50} = 4,0$ 1/h 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 (5) mukaan

$$H_{iv} = \rho_i c_{pi} q_{v,poisto} t_d r t_v (1 - \eta_a) \quad (5)$$

jossa

H_{iv}	ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö, W/K
ρ_i	ilman tiheys, 1,2 kg/m ³
c_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 Ws/(kgK)
$q_{v, poisto}$	poistoilmavirta, m ³ /s
t_d	ilmanvaihtojärjestelmän keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde, h/24h
t_v	ilmanvaihtojärjestelmän viikoittainen käyntiaikasuhde, vrk/7 vrk
r	muuntokerroin, joka ottaa huomioon ilmanvaihtojärjestelmän vuorokautisen käyntiajan, kerroin r on 1,00 ympärivuorokautisessa käytössä, 0,93 päiväaikaisessa käytössä ja 1,07 yöaikaisessa käytössä.
η_a	ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton (LTO) vuosihyötysuhde.

Rakennuksen ilmanvaihdon lämpöhäviö lasketaan tarvittaessa erikseen jokaiselle ilmanvaihtokoneelle.

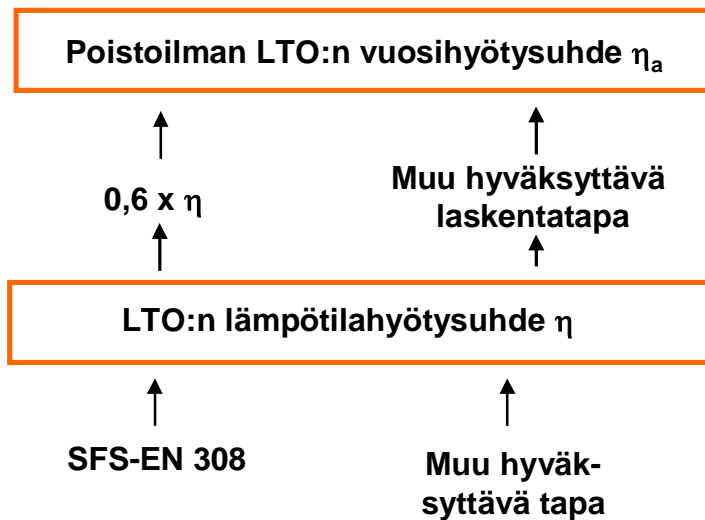
3.5.2 Ilmavirrat

Ilmanvaihdon poistoilmavirta ($q_{v, poisto}$) määritetään osan D2 mukaan. Ilmanvaihdon ilmavirta on sama vertailu- ja suunnitteluratkaisussa. Tasauslaskelmissa ilmanvaihdon käyntiaikatekijät (t_d , r ja t_v) on sisällytetty ilmavirran $q_{v, p}$ lukuarvoon ($q_{v, p} = q_{v, poisto} t_d r t_v$). Käyntiaikatekijä t_d on ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde, t_v on ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde ja r on kerroin, joka ottaa huomioon ilmanvaihtolaitoksen vuorokautisen käyntiajan.

Asuinrakennusten ilmavirtana käytetään tasauslaskelmissa yleensä käyttöajan tehostamatonta poistoilmavirtaa. Ilmanvaihto on käytössä jatkuvasti. Tyypillinen asuntoilmanvaihdon ominaisilmavirta on 0,35 - 0,50 (dm³/s)/m², mikä vastaa ilmanvaihtokerrointa 0,5 - 0,7 1/h. Asuinrakennusten poistoilman lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhde ja vuosihyötysuhde määritellään yleensä tällä poistoilmavirralla.

Toimistorakennuksissa ilmavirtana voidaan tasauslaskelmissa yleensä käyttää käyntiajalla painotettua rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän poistoilmavirtaa. Toimistorakennuksissa poistoilman lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhde ja vuosihyötysuhde määritellään lämmityskauden yleisimmällä käyntiajan poistoilmavirralla.

3.5.3 Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde



Poistoilmasta lämmöntalteenottolaitteella hyödynnettävä lämpö voidaan laskea poistoilman lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhteen η avulla. Laskelmissa käytetään lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteena osan D2 mukaan lämmönsiirtimen tuloilman lämpötilahyötysuhdetta kerrottuna 0,6:lla, jollei selvityksin toisin osoiteta.

Vertailuratkaisun mukaisen ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenottolaitteiston lämmönsiirtimen tuloilman lämpötilahyötysuhde on 75 %, kun tulo- ja poistoilman massavirrat ovat yhtä suuret. Vertailuratkaisussa lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteeksi saadaan näin $\eta_a = 0,6 \cdot 75 \% = 45 \%$.

Poistoilman lämmöntalteenottolaitteistojen erityyppisten lämmönsiirtimien tuloilman lämpötilahyötysuhteet ovat tyypillisesti seuraavanlaisia:

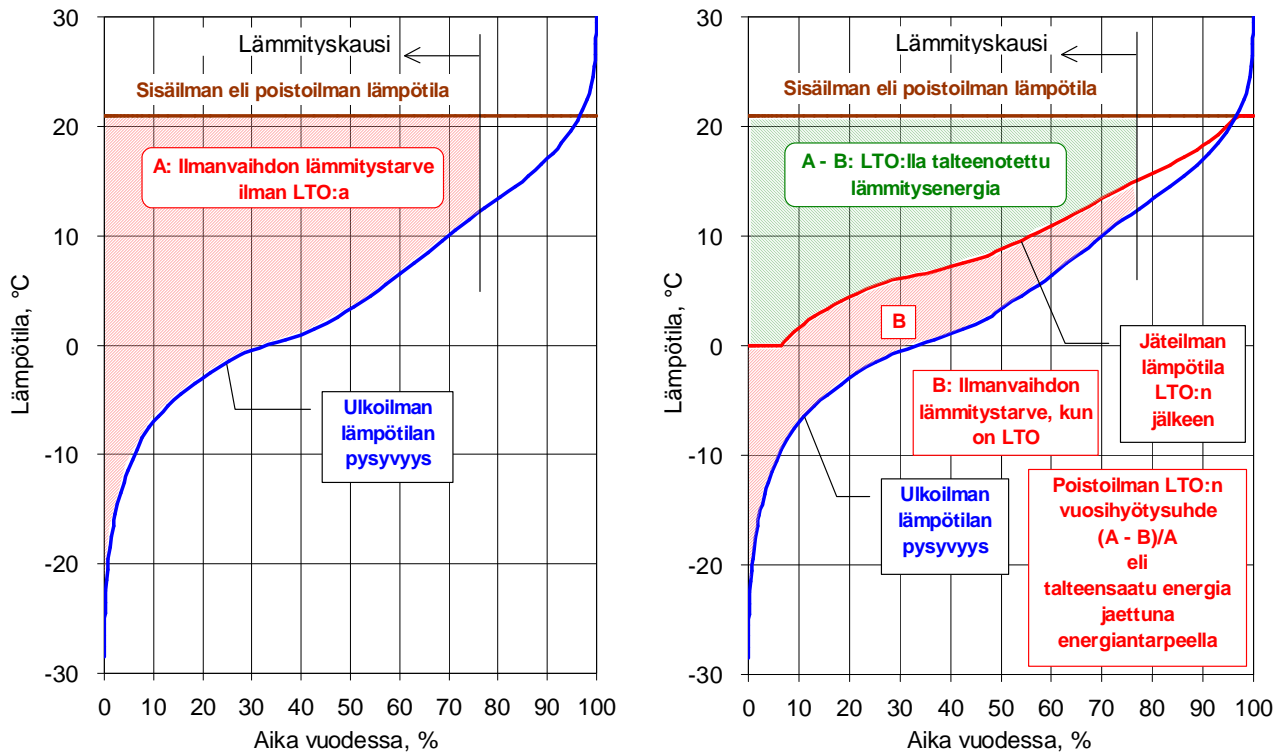
- virtaavan väliaineen välityksellä lämpöä siirtävät lämmönsiirinyhdistelmät; 40 - 60 %
- ristivirtalevyllämmönsiirtimet; 50 - 70 %
- vastavirtalevyllämmönsiirtimet; 60 - 80 %
- regeneratiiviset lämmönsiirtimet; 60 - 80 %.

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

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.

Poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde esitetään kuvassa 3. 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 $\eta_a = (A - B)/A$.

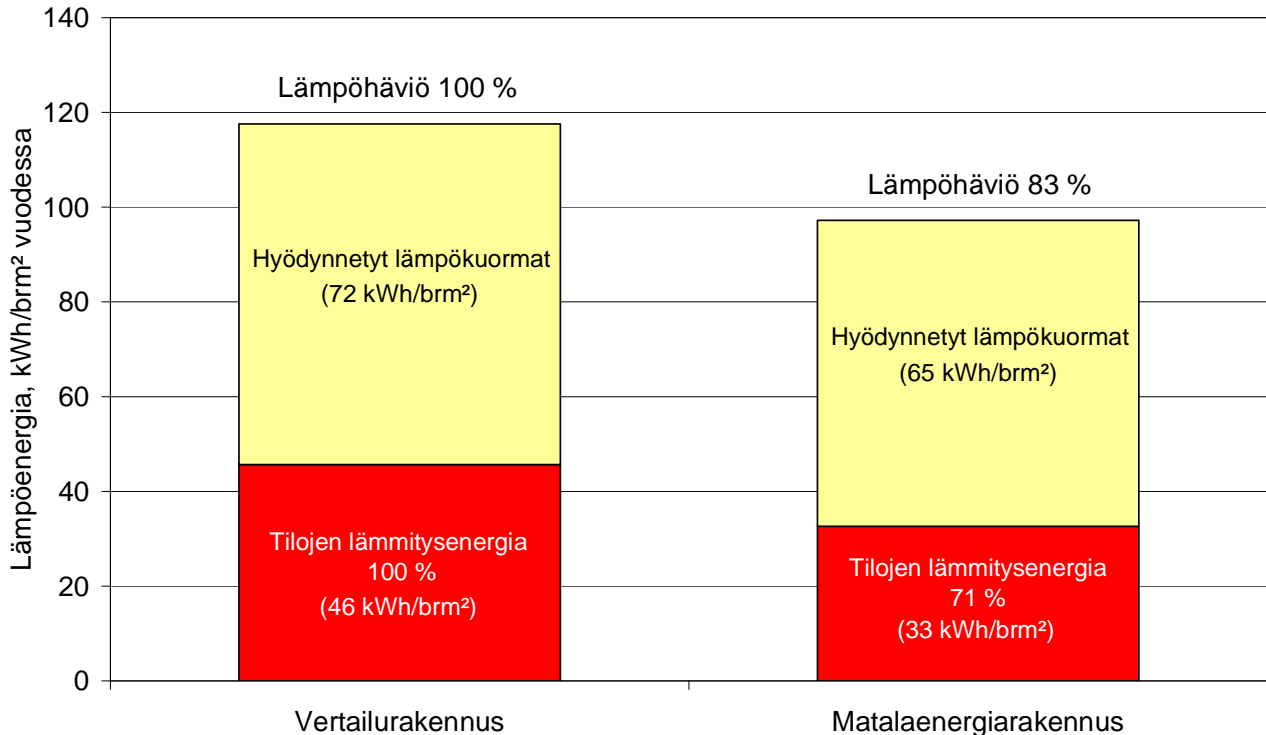
Poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteesta kerrotaan lisää oppaan liitteessä 4.



Kuva 3. Poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on lämmöntalteenottolaitteistolla (LTO) talteenotettavan ja hyödynnettävän energian (A-B) suhde ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemaan energiaan A, kun lämmöntalteenottoa ei ole.

4 Matalaenergiarakennuksen lämpöhäviö

Kun suunnitellaan matalaenergiarakennusta, tulisi rakennuksen laskennallisen lämpöhäviön olla enintään 85 % rakennukselle määritetystä vertailulämpöhäviöstä. Matalaenergiarakennuksen tilojen lämmitysenergiankulutus on esimerkkitapauksessa 71 % vertailuratkaisun kulutuksesta (kuva 4).



Kuva 4. Lämpöhäviöiden pienentäminen (100 % => 83 %) vaikuttaa vipuvaikutuksella lämmitysenergiankulutuksen pienenemiseen (100 % => 71 %). Kuvan laskelma on tehty rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaisella laskentamenetelmällä kohdan 4.1 esimerkin tyyppiselle pientalolle.

4.1 Esimerkki matalaenergiarakennuksen lämpöhäviötason saavuttamisesta

Seuraavassa on esimerkki 1-kerroksisesta erillisestä pientalosta, jonka lämpöhäviö on matalaenergiarakennuksen lämpöhäviötasoa. Taulukossa 5 esitetään kohteen laajuustiedot. Taulukossa 6 esitetään rakennusosien pinta-alat ja U-arvot. Suunnitteluratkaisun ikkunapinta-ala on 25 % kerrostasoalasta. Julkisivusta 28 % on ikkunaa.

Suuren ikkunapinta-alan takia esimerkkipientalon vaipan lämpöhäviö olisi U-arvojen vertailuarvoilla 15 % suurempi kuin vertailuratkaisun lämpöhäviö. Jotta saavutettaisiin matalaenergiarakennuksen lämpöhäviötaso, on suunnitteluratkaisussa käytettävä rakennusosia, joiden U-arvot ovat selvästi vertailuarvoja parempia.

Taulukossa 6 esitetään tilanne sen jälkeen, kun vaipan lämpöhäviötä on pienennetty parantamalla U-arvoja:

- Ulkoseinän U-arvoa on pienennetty arvosta 0,17 W/(m²K) arvoon 0,12 W/(m²K). Tämä vastaa rakennetta, jossa on noin 300 mm lämmöneristettä ($\lambda = 0,04$ W/(mK)).
- Yläpohjan U-arvoa on pienennetty arvosta 0,09 W/(m²K) arvoon 0,08 W/(m²K). Tämä vastaa rakennetta, jossa on noin 600 mm lämmöneristettä ($\lambda = 0,05$ W/(mK)).
- Alapohjan U-arvoa on pienennetty arvosta 0,16 W/(m²K) arvoon 0,12 W/(m²K). Tämä vastaa rakennetta, jossa on noin 300 mm lämmöneristettä ($\lambda = 0,04$ W/(mK)).
- Ikkunoiden U-arvoa on pienennetty arvosta 1,0 W/(m²K) arvoon 0,80 W/(m²K). Tämä vastaa parhaita tällä hetkellä kaupallisessa tuotannossa olevia ikkunoita.
- Ulko-ovien U-arvoa on pienennetty arvosta 1,0 W/(m²K) arvoon 0,50 W/(m²K). Tämä vastaa parhaita tällä hetkellä kaupallisessa tuotannossa olevia ulko-ovia.

Parannusten jälkeen vaipan lämpöhäviö on 88 % vertailuratkaisun lämpöhäviöstä.

Jotta saavutettaisiin matalaenergiarakennuksen lämpöhäviötaso, tulee rakennus tehdä ilmanpitäväksi ja lisäksi on valittava vertailutasoa parempi ilmanvaihdon lämmöntalteenotto-laite.

Ilmanpitävä ulkovaippa saatiin aikaiseksi kiinnittämällä erityistä huomiota rakenteiden liitosten ja läpivientien ilmatiiviiden suunnitteluun sekä rakennustyön huolellisuuteen. Pientaloissa alapohjan ja seinän sekä yläpohjan ja seinän liitokset on tehtävä erityisen huolellisesti, jotta hyvä ilmanpitävyys voidaan saavuttaa. Ilmanpitävyys mitattiin ennen rakennuksen käyttöönottoa ja ilmanvuotoluvuksi n_{50} saatiin 1,0 1/h (taulukko 7).

Ilmanvaihdon lämpöhäviötä pienennettiin valitsemalla vertailutasoa parempi ilmanvaihdon lämmöntalteenotto-laite, jolla lisäselvityksen mukaan ilmanvaihtojärjestelmän lämmöntalteenoton vuosiyhötysuhde saadaan nostettua 45 %:sta 60 %:iin (taulukko 7).

Parannusten jälkeen rakennuksen ominaislämpöhäviö on 81 % vertailulämpöhäviöstä, joka on parempi kuin matalaenergiatasoon vaadittava 85 %. Suunnitteluratkaisu täyttää matalaenergiarakennuksen lämpöhäviötason.

Taulukko 5. Esimerkkipientalon laajuustiedot.

Rakennuksen laajuustiedot		
Rakennustilavuus	522	rak-m ³
Maanpäälliset kerrostasoalat yhteensä	163	m ²
Kerroskorkeus	3,0	m
Huonekorkeus	2,6	m
Ilmatilavuus, V, lämpimät tilat	382	m ³
Julkisivupinta-ala	146	m ²
Ikkunapinta-ala on 25 % maanpäällisestä kerrostasoalasta		
Ikkunapinta-ala on 28 % julkisivun pinta-alasta		

Taulukko 6. Esimerkkipientalon vaipan ominaislämpöhäviötä on pienennetty parantamalla kaikkien rakennusosien U-arvoja. Vaipan ominaislämpöhäviö on 88 % vertailuratkaisun lämpöhäviöstä.

Perustiedot	Pinta-alat, m ² [A]		U-arvot, W/(m ² K) [U]			Lämpöhäviöiden taseus	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Enimmäis- arvo	Suunnittelu- arvo	Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{joht} = A × U]	
RAKENNUSOSAT						Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
<i>Lämpimät tilat</i>							
Ulkoseinä	113	97	0,17	0,60	0,12	19,2	11,6
Hirsiseinä			0,40	0,60		-	-
Yläpohja	147	147	0,09	0,60	0,08	13,2	11,8
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,09	0,60		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹⁾			0,17	0,60		-	-
Alapohja (maanvastainen)	147		0,16	0,60	0,12	23,5	17,6
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16	0,60		-	-
Ikkunat	24,5	40,8	1,00	1,80	0,80	24,5	32,6
Ulko-ovet		8,2	1,00	-	0,50	8,2	4,1
Kattoikkunat			1,00	1,80		-	-
Lämpimät tilat yhteensä	440	440				88,7	77,7

Taulukko 7. Esimerkkipientalon vaipan ilmavuotojen ja ilmanvaihdon lämpöhäviötä on pienennetty huolellisella suunnittelulla ja rakentamisella sekä laitevalinnolla. Vaipan ilmanpitävyys n₅₀ on mitattu ennen rakennuksen käyttöönottoa. Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteesta on erillinen selvitys. Parannusten jälkeen rakennuksen ominaislämpöhäviö on 81 % vertailulämpöhäviöstä. Suunnitteluratkaisu vastaa matalaenergiarakennuksen lämpöhäviötasoa.

VAIPAN ILMAVUODOT	Ilmanvuotoluku, 1/h [n ₅₀]		Vuotoilmavirta, m ³ /s [q _{v,v} = n ₅₀ /25 × V/3600]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{vuotoilma} = 1200 × q _{v,v}]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Vuotoilma						
Lämpimät tilat	2,0	1,0	0,0085	0,0042	10,2	5,1
Puolilämpimät tilat	2,0				-	-
ILMANVAIHTO	Poistoilmavirta, m ³ /s [q _{v,p}]		LTO:n vuosihyötysuhde, % [η _a]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _v = 1200 × q _{v,p} × (1-η _a)]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Hallittu ilmanvaihto						
Lämpimät tilat	0,053		45	60	35,0	25,4
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-
Puolilämpimät tilat			45		-	-
Puolilämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-
Rakennuksen lämpöhäviöiden taseus					Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä					134	108

LIITE 1 Tasauslaskentalomake ja sen täyttöohje

1 Määräystenmukaisuuden osoittaminen

Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuus osoitetaan osan D3 luvun 3 mukaan tasauslaskelmalla. Taulukoissa 1 ja 2 esimerkit tasauslaskentalomakkeesta ja määräystenmukaisuuden tarkistuslistasta.

Taulukko 1. Tasaustalokentelomake rakennuskohteen lämpöhäviön laskemiseksi.

Rakennuskohte	Pientalo
Rakennuslupatunnus	
Rakennustyyppi	1-kerroksinen pientalo, ikkunapinta-ala 15 % kerrostasosalasta.
Pääsuunnittelija	
Tasaustalokentelän tekijä	
Päiväys	
Tulos: Suunnitteluratkaisu	TÄYTTÄÄ VAATIMUKSET

Rakennuksen laajuustiedot

Rakennustilavuus	522 rak-m ³
Maanpäälliset kerrostasosalat yhteensä	163 m ²
Kerroskorkeus	3.0 m
Huonekorkeus	2.6 m
Ilmatilavuus, V, lämpimät tilat	382 m ³
Ilmatilavuus, V, puoliämpimät tilat	m ³

Laskentatuloksia

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

Perustiedot					Lämpöhäviöiden tasaus		
RAKENNUSOSAT	Pinta-alat, m ² [A]		U-arvot, W/(m ² K) [U]			Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{joht} = A × U]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Enimmäis- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Lämpimät tilat							
Ulkoseinä	113	113	0.17	0.60	0.17	19.2	19.2
Hirsiseinä			0.40	0.60		-	-
Yläpohja	147	147	0.09	0.60	0.09	13.2	13.2
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0.09	0.60		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹⁾			0.17	0.60		-	-
Alapohja (maanvastainen)	147		0.16	0.60	0.16	23.5	23.5
Muu maanvastainen rakennusosa			0.16	0.60		-	-
Ikkunat	24.5	24.5	1.00	1.80	1.00	24.5	24.5
Ulko-ovet	8.2		1.00	-	1.00	8.2	8.2
Kattoikkunat			1.00	1.80		-	-
Lämpimät tilat yhteensä	440	440				88.7	88.7
Puoliämpimät tilat							
Ulkoseinä			0.26	0.60		-	-
Hirsiseinä			0.60	0.60		-	-
Yläpohja			0.14	0.60		-	-
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0.14	0.60		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹⁾			0.26	0.60		-	-
Alapohja (maanvastainen)			0.24	0.60		-	-
Muu maanvastainen rakennusosa			0.24	0.60		-	-
Ikkunat			1.40	2.80		-	-
Ulko-ovet			1.40	-		-	-
Kattoikkunat			1.40	2.80		-	-
Puoliämpimät tilat yhteensä	-	-				-	-
VAIPAN ILMAVUODOT							
	Ilmanvuotoluku, 1/h [n ₅₀]		Vuotoilmavirta, m ³ /s [q _{v,v} = n ₅₀ /25 × V/3600]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{vuotoilma} = 1200 × q _{v,v}]		
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	
Lämpimät tilat	2.0	2.0	0.0085	0.0085	10.2	10.2	
Puoliämpimät tilat	2.0				-	-	
ILMANVAIHTO							
	Poistoilmavirta, m ³ /s [q _{v,p}]		LTO:n vuosihyötysuhde, % [η _a]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _v = 1200 × q _{v,p} × (1-η _a)]		
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	
Hallittu ilmanvaihto		0.053	45	45	35.0	35.0	
Lämpimät tilat			0		-	-	
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			45		-	-	
Puoliämpimät tilat			0		-	-	
Puoliämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta					-	-	
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus							
						Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä						134	134
Puoliämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä						-	-

© Ympäristöministeriö, Tasaustalokentelä, versio helmikuu 2009

¹⁾ Ryömintätilaan rajoittuvan alapohjan lämpöhäviö kerrotaan luvulla 0,8 rakentamismääräykkoelman osan D3 mukaisesti.

Tällä tavalla otetaan huomioon ryömintätilan ilman ulkoilmaa korkeampi vuotuinen keskilämpötila.

Ryömintätilan tuuletusaukkojen määrä on enintään 8 promillea alapohjan pinta-alasta.

Taulukko 2. Rakennuskohteen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden tarkistuslista.

Rakennuskohde	Pientalo
Rakennuslupatunnus	

Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden tarkistuslista

Pinta-alat (osa C3)			
Vertailuikkunapinta-ala on 15 % yhteenlasketuista maanpäällisistä kerrostasaloista, mutta kuitenkin enintään 50 % julkisivujen pinta-alasta	kyllä	ei	
	V		
Rakennusosien yhteenlaskettu pinta-ala sama molemmissa ratkaisussa			
- lämpimissä tiloissa	V		
- puolilämpimissä tiloissa			
Rakennusosien U-arvot ja vaipan lämpöhäviö (osa C3)			
U-arvot ovat enintään enimmäisarvojen suuruisia	kyllä	ei	
	V		
Vaipan suunnittelu- ja vertailuratkaisun ominaislämpöhäviön suhde on enintään 1,3			
		Enimmäisarvo	Toteutunut arvo
- lämpimissä tiloissa	V	1.3	1.00
- puolilämpimissä tiloissa		1.3	
Rakennuksen lämpöhäviöiden taseus (D3)			
Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään vertailuratkaisun suuruinen	kyllä	ei	
	V		
		Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo
- lämpimissä tiloissa		134 W/K	134 W/K
- puolilämpimissä tiloissa			
Tarkistuslistan yhteenveto			
Suunnitteluratkaisu täyttää lämpöhäviövaatimukset	kyllä	ei	
	V		

© Ympäristöministeriö, Tasaustaskin 2010 (versio helmikuu 2009)

Lisäselvitykset

Rakennuksen vuotoilma (osa D3)	
Jos lämpöhäviölaskelmissa vaipan ilmanvuotoluvun n_{50} suunnitteluarvo on alle 4 1/h, ilmanpitävyydestä on esitettävä selvitys	
Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) hyötysuhde (osa D2)	
Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittämisestä on esitettävä selvitys	

Matalaenergiarakennuksen lämpöhäviötaso (osa D3)

Kun suunnitellaan matalaenergiarakennusta, tulisi rakennuksen laskennallisen lämpöhäviön olla enintään 85 % rakennukselle määritetystä vertailulämpöhäviöstä. Tällöin vertailulämpöhäviön laskennassa käytetään hirsiseinille lämmönläpäisykertoimen vertailuarvoa 0,17 W/m²K lämpimissä tiloissa ja 0,26 W/m²K puolilämpimissä tiloissa.			
Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään 85 % vertailuratkaisun ominaislämpöhäviöstä	kyllä	ei	
		85 % vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo
- lämpimissä tiloissa		114 W/K	134 W/K
- puolilämpimissä tiloissa			
Suunnitteluratkaisu vastaa matalaenergiarakennuksen lämpöhäviötasoa		X	

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.

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 pinta-alat voivat poiketa toisistaan. Rakennusosien kokonaispinta-alan tulee kuitenkin olla sama molemmissa ratkaisussa. Oppaan tekstiosassa kohdassa 3.2.2 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 3.3.7 käsitellään yksityiskohtaisemmin 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 kuvataan tarkemmin materiaalien lämmönjohtavuuksien ja vaipan eri rakennusosien U-arvojen määrittämistapoja.

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 n_{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 määritetään osan D2 mukaan.

Asuinrakennusten poistoilmavirtana käytetään tasauslaskelmissa yleensä käyttöajan tehostamatonta poistoilmavirtaa. Ilmanvaihto on käytössä jatkuvasti. Tyypillinen asuntoilmanvaihdon ominaisilmavirta on 0,35 - 0,50 (dm³/s)/m², mikä vastaa ilmanvaihtokerrointa 0,5 - 0,7 1/h.

Toimistorakennuksissa poistoilmavirtana ($q_{v,p}$) käytetään tasauslaskelmissa rakennuksen käyttöajan poistoilmavirtaa ($q_{v,poisto}$) kerrottuna käyntiaikatekijöillä ($q_{v,p} = t_d r t_v q_{v,poisto}$). Tyypillinen toimistorakennusten keskimääräinen käyttöajan ilmanvaihdon ominaisilmavirta on noin 2 (dm³/s)/m². Käyntiaikatekijä t on ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde, t_v on ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde ja r on kerroin, joka ottaa huomioon ilmanvaihtolaitoksen vuorokautisen käyntiajan. Käyntiaikatekijöitä käsitellään tarkemmin liitteessä 3 ja rakentamismääräyskokoelman osassa D5.

2.7 LTO:n vuosihyötysuhde

Poistoilmasta lämmöntalteenottolaitteella hyödynnettävä lämpö voidaan laskea poistoilman lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhteen η_a avulla. Laskelmissa käytetään lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteena osien C3 ja D2 mukaan lämmönsiirtimen tuloilman lämpötilahyötysuhdetta kerrottuna 0,6:lla, jollei selvityksin toisin osoiteta.

Vertailuratkaisun mukaisen ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenottolaitteiston lämmönsiirtimen tuloilman lämpötilahyötysuhde on 75 %, kun tulo- ja poistoilman massavirrat ovat yhtä suuret. Vertailuratkaisussa lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteeksi saadaan näin $\eta_a = 0,6 \cdot 75 \% = 45 \%$.

Laskennassa käytetään valmistajan ilmoittamaa standardin SFS-EN 308 mukaan mitattua tai tyyppi hyväksyttyä tuloilman lämpötilahyötysuhdetta (tulo- ja poistoilman massavirrat ovat yhtä suuret). Asuinrakennusten poistoilman lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhde ja vuosihyötysuhde määritellään yleensä käyttöajan tehostamatonta poistoilmavirtaa vastaavalla poistoilmavirralla. Toimistorakennuksissa poistoilman lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhde ja vuosihyötysuhde määritellään lämmityskauden yleisimmällä käyntiajan poistoilmavirralla.

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.

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

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 kolmeen 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 tasauslaskentataulukosta. Vaatimusten täytyminen osoitetaan erikseen lämpimille tiloille ja puolilämpimille tiloille. Lämpimien tilojen lämpöhäviöiden pienentämisestä ei voi saada etua puolilämpimien tilojen lämpöhäviöiden tasauksessa.

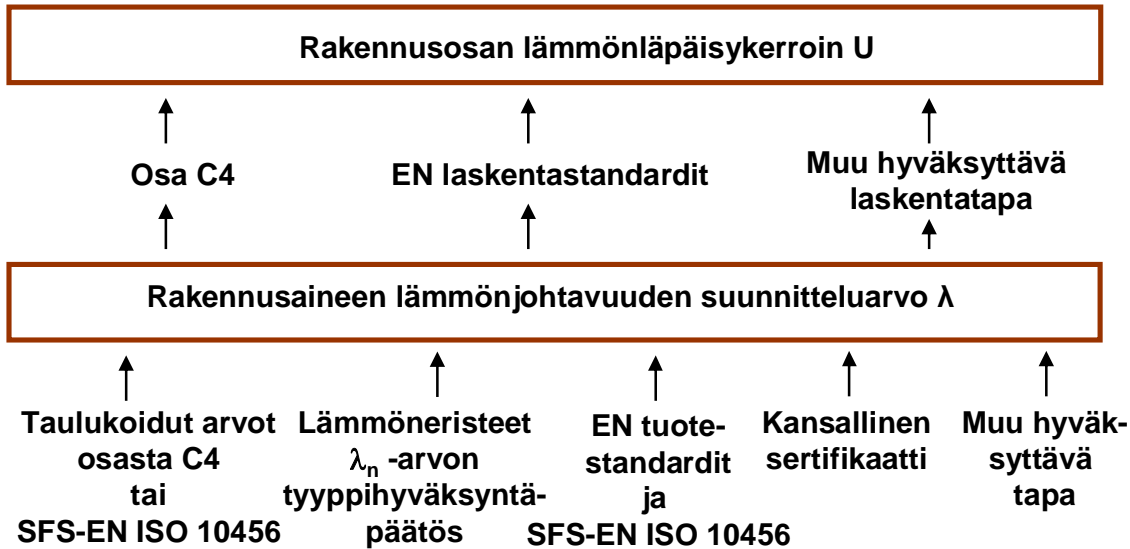
3.2 Pinta-ala- ja lämpöhäviövaatimukset

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

Lämpöhäviövaatimukset täyttyvät, kun rakennusosien U-arvojen maksimiarvovaatimukset täyttyvät, suunnitteluratkaisun vaipan ominaislämpöhäviö on enintään 30 % suurempi kuin vertailuratkaisun ominaislämpöhäviö ja suunnitteluratkaisun vaipan, vuotoilman ja ilmanvaihdon yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö ei ylitä vertailuratkaisun yhteenlaskettua ominaislämpöhäviötä.

Matalaenergiarakentamisen lämpöhäviötaso saavutetaan, kun suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään 85 % vertailuratkaisun ominaislämpöhäviöstä.

LIITE 2 Lämmönjohtavuus ja lämmönläpäisykerroin



1 Lämmönjohtavuus

1.1 Lämmönjohtavuuden suunnittelu-arvojen valintamahdollisuudet

Rakenteiden lämpötekni- sen suunnittelun ja mitoituksen lähtötietoina on Suomessa aiemmin käytetty pääasiassa normaalisen lämmönjohtavuuden (λ_n) arvoja, joita ympäristöministeriö on antanut taulukoituina arvoina Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa C4 ja lämmöneristeille myös λ_n -arvon tyyppihyväksyntäpäätöksissä. Rakennesuunnittelijan tehtävänä on ollut valita valmiina olevista arvoista tarkoitukseen soveltuvat. Vain poikkeustapauksissa, kun soveltuvaa λ_n -arvoa ei ole ollut käytettävissä, on lämmönjohtavuuden suunnittelu-arvo jouduttu määrittämään erikseen.

Rakenteiden lämpötekni- stä suunnittelua koskevien eurooppalaisten standardien käyttöönotto on muuttanut käytäntöjä. EN-standardeissa annetaan suunnittelukäyttöön tarkoitettuja taulukoituja lämmönjohtavuuden suunnittelu-arvoja (λ_{design}), mutta vain osalle tuotteista. Esimerkiksi lämmöneristeille esitetään tuotestandeissa menetelmä ilmoitetun lämmönjohtavuuden (λ_D Declared) määrittämiseksi. CE-merkityn lämmöneriste- en valmistaja ilmoittaa (λ_D) arvon. Suunnittelijan tehtäväksi jää lämmönjohtavuuden suunnittelu-arvon (λ_{design}) määrittäminen EN-standarden mukaisilla menetelmillä ilmoitetusta λ_D -arvosta.

Kun käytettävissä on kaksi hyväksyttyä menetelmää (vanha, kansallisen käytännön mukainen ja EN-standarden mukainen), on mahdollisuus sekaannuksiin ja väärinkäsityksiin. Sekaannusta aiheuttavia tekijöitä ovat:

- Lämmöneriste- en tyyppihyväksytty λ_n -arvo ja CE-merkitylle lämmöneristeelle määritettävä λ_{design} -arvo ovat käsitteinä erilaisia eivätkä suoraan keskenään verrattavissa.
- Kansallinen λ_n -arvo ja eurooppalainen λ_{design} -arvo ovat määrittämis- perusteiltään ja yleensä myös suuruudeltaan erilaisia
- Lämmöneriste- en lämmönjohtavuuden suunnittelu-arvon valinta (λ_n -arvo tai λ_{design} -arvo) vaikuttaa lämmönläpäisykerroimen laskentatapaan.

Tässä kohdassa sekä jäljempänä kohdassa 1.2 käsitellään lämmönjohtavuuden suunnitteluarvon valintaan ja määrittämiseen liittyvät kysymykset. Tavoitteena on täsmentää, kuinka ja mistä lähteistä lämmönjohtavuuden suunnitteluarvot voidaan valita rakenteiden lämpöteknisen suunnittelun lähtötiedoiksi. Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvot voidaan valita seuraavilla tavoilla:

1. Käytetään taulukoituja suunnitteluarvoja.
2. CE-merkityille lämmöneristeille ja rakennustuotteille, joiden tuotestandeissa ja niitä tukevista EN-standardeissa esitetään menetelmä lämmönjohtavuuden suunnitteluarvon määrittämiseksi, käytetään tällä menetelmällä määritettyä suunnitteluarvoa.
3. Suunnitteluarvona käytetään lämmöneristeiden normaalian lämmönjohtavuuden tyyppihyväksyntäpäätöksen mukaista normaalian lämmönjohtavuuden arvoa.
4. Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo määritetään kansallisen sertifioinnin avulla.
5. Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo määritetään muulla hyväksyttävällä tavalla.

1.1.1 Taulukoidut suunnitteluarvot

Rakennusaineille esitetään sellaisenaan suunnittelukäyttöön soveltuvia lämmönjohtavuuden arvoja kahdessa lähteessä.

1. Suomen rakentamismääräyskokoelman osa C4 Lämmöneristys, Ohjeet, taulukko 1, Rakennusaineiden normaaliset lämmönjohtavuudet.
2. Standardi SFS-EN ISO 10456:2007 Building materials and products. Hygrothermal properties - Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values

Kummassakin lähteessä esitetyt arvot ovat yhtäläillä hyväksyttäviä lähtötietoja, kun laskelmin osoitetaan rakenteen vaatimustenmukaisuus. Samassa laskelmassa eri aineiden lämmönjohtavuuden suunnitteluarvot voidaan siis valita toisesta lähteestä tai käyttää molemmista lähteistä peräisin olevia arvoja. Jos näissä lähteissä annetaan samalle aineelle soveltuvat, mutta toisistaan poikkeavat lämmönjohtavuuden suunnitteluarvot, voi suunnittelija valita kumman tahansa laskelman lähtötiedoksi. Taulukoitujen arvojen käyttö ei edellytä tuotteen teknistä hyväksyntää.

Mainittujen lähteiden välillä on periaatteellinen ero. Rakentamismääräyskokoelman osassa C4 esitetään λ_n -arvoja lämmöneristeille, joille hakemuksesta voidaan myös antaa normaalian lämmönjohtavuuden tyyppihyväksyntä.

Standardi SFS-EN ISO 10456 antaa lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoja sellaisille rakennusaineille, joiden lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoa tai sen määrittämistapaa ei esitetä muissa EN-standardeissa. Tällaisia muissa standardeissa käsiteltäviä tuoteryhmiä ovat esimerkiksi lämmöneristeet ja muuratut rakenteet.

1.1.2 CE-merkinnällä varustetut lämmöneristeet ja rakennustuotteet

CE-merkinnän käyttö edellyttää, että rakennustuote ja sen laadunvalvonta täyttää vaatimukset, jotka esitetään harmonisoidussa tuotestandardissa tai erillisessä eurooppalaisen teknisen hyväksynnän ohjeessa (ETA). Lämmöneristeille on olemassa tuotestandardit, joissa esitetään menettelytapa ilmoitetun lämmönjohtavuuden (λ_D) määrittämiseksi. Ilmoitettu lämmönjohtavuus ei ole suunnitteluarvo, vaan lähtökohta suunnitteluarvon (λ_{design}) määrittämiseksi. Lämmöneristeiden λ_{design} -arvon määrittäminen käsitellään tämän liitteen kohdassa 1.2.2.

Muiden rakennusaineiden tekninen hyväksyntä ja sen sisältö kuvataan ao. tuotestandardeissa tai ETA-hyväksynnöissä. Kun näissä olevat ohjeet sisältävät menettelytavan lämmönjohtavuuden suunnitteluarvon määrittämiseksi, sovelletaan esitettyä menetelmää. Ellei lämmönjohtavuuden suunnitteluarvon määrittämistä koskevaa soveltuvaa ohjetta esitetä missään EN-standardissa tai ETA-hyväksynnässä tai soveltuvaa ohjetta ei ole, toimitaan alempana kohdassa 3 esitetyllä tavalla.

CE-merkittyjen lämmöneristeiden ja rakennustuotteiden lämmönjohtavuuden suunnitteluarvot määritetään seuraavin tavoin:

1. Lämmöneristeet: Ilmoitettu lämmönjohtavuus (λ_D) saadaan tuotestandardista. Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo määritetään standardin SFS-EN ISO 10456 mukaan.
2. Rakennusaineet ja tuotteet, joiden tuotestandardi tai ETA-hyväksyntä sisältää ohjeen lämmönjohtavuuden suunnitteluarvon määrittämiseksi: λ_{design} -arvo määritetään tuotetyyppiä vastaavan ohjeen mukaan (esim. muuratut rakenteet standardin SFS-EN 1745 mukaan).
3. Rakennusaineet ja tuotteet, joiden tuotestandardi tai ETA-hyväksyntä ei sisällä ohjeita tarvittavien lämmönjohtavuuden suunnitteluarvojen määrittämiseksi: λ_{design} -arvoina käytetään standardissa SFS-EN ISO 10456 annettuja taulukoituja lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoja.

1.1.3 Lämmönjohtavuuden suhteen tyyppihyväksytyt lämmöneristeet

Suunnittelukäyttöön tarkoitetut normaalisen lämmönjohtavuuden arvot saadaan voimassaolevista ympäristöministeriön ja VTT:n 1.11.2007 jälkeen antamista tyyppihyväksyntäpäätöksistä. Jos päätöksessä samalle aineelle on annettu useampia λ_n -arvoja, valitaan arvoista se, joka päätöksessä esitetyn lämmöneristyksen asennus- ja suojaustapakuvauksen perusteella soveltuu parhaiten suunnittelun kohteena olevaan lämmöneristykseen.

Lämmöneristeiden osalta tyyppihyväksyntämenettely on poistumassa käytöstä. Kun lämmöneristeiden eurooppalaiset tuotestandardit vahvistetaan ja ne on mahdollista ottaa käyttöön siirtymäkauden jälkeen, ei kyseiselle lämmöneristeelle enää anneta uusia tyyppihyväksyntäpäätöksiä. Voimassaolevat tyyppihyväksyntäpäätökset ovat voimassa päätökseen merkityn ajan. Tämän jälkeen päätöstä ei enää uusita.

1.1.4 Kansallisen sertifiointin avulla määritetty lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo

Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo on määritetty akkreditoidun tutkimuslaitoksen (esim. VTT) kansallisella sertifikaatilla.

1.1.5 Muu hyväksyttävä lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo

Muu hyväksyttävä tapa määrittää lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo voi olla:

- Lämmöneristeiden lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo määritetään lukumääräisesti riittävän mittausaineiston perusteella soveltaen standardeja SFS-EN 13172 ja SFS-EN ISO 10456.
- Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo määritetään olemassa olevan, yleensä määrältään vähäisen mittausaineiston perusteella soveltaen tarkoituksenmukaista varmuuskerrointa.

1.2 Lämmöneristeiden lämmönjohtavuuden suunnitteluarvojen määrittämisen periaatteet

Tässä luvussa tarkastellaan rakennusten lämmöneristeiden lämmönjohtavuuden suunnitteluarvojen määrittämisen perusteita. Tavoitteena on selvittää rinnakkain käytössä olevien määrittämistapojen eroavuudet ja niiden merkitys rakennusosien lämmönläpäisykertoimen laskennan kannalta.

1.2.1 Normaalian lämmönjohtavuuden tyyppihyväksyntä

Ympäristöministeriö on antanut asetuksen lämmöneristystuotteiden tyyppihyväksynnästä (Lämmöneristetuotteiden tyyppihyväksyntä, Ohjeet 2007). Asetus tuli voimaan 1.11.2007. Siihen on kirjattu lämmönjohtavuuden tyyppihyväksynnässä noudatettava kansallinen käytäntö ja VTT on valtuutettu antamaan lämmöneristeiden lämmönjohtavuutta koskevat tyyppihyväksyntäpäätökset tämän päivämäärän jälkeen. Seuraavassa on kuvattu lyhyesti tyyppihyväksyntämenettelyn periaatteet.

Lämmöneristeen normaalin lämmönjohtavuus lasketaan kaavalla (5).

$$\lambda_n = (\lambda_{10m} + \lambda_{vR})/2 + \Sigma\Delta\lambda \quad (5)$$

jossa

λ_{10m} on 10 °C:n keskilämpötilassa mitattujen lämmönjohtavuustulosten keskiarvo, joka ilmoitetaan kolmella merkitsevällä numerolla pyöristettynä lähimpään 0:lla tai 5:llä päättyvään lukuun

λ_{vR} on ulkopuolisen laadunvalvonnan pistokokeissa sovellettava lämmönjohtavuuden valvontaraja, jota mittaustulos ei saa ylittää

$\Sigma\Delta\lambda$ on lämmönjohtavuuden lisäysten summa, jolla otetaan huomioon lämmöneristyksen suojaustavan merkitys, valmiin lämmöneristyksen vähäisten epäideaalisuuksien vaikutus, lämmöneristeen ilmanläpäisevyyden vaikutus sekä tarvittaessa lämmöneristeen kosteuspitoisuuden vaikutus, iän mukana tapahtuva lämmöneristeen lämmönjohtavuuden palautumaton muuttuminen ja lämmöneristyksen keskilämpötilan poikkeaminen 10 °C:n keskilämpötilasta

Summaan $\Sigma\Delta\lambda$ sisältyvät lämmönjohtavuuden lisäykset lasketaan kukin erikseen lämmöneristetuotteiden tyyppihyväksyntäasetuksen mukaan. Lopuksi kaavalla (5) laskettu normaalin lämmönjohtavuuden arvo pyöristetään ylöspäin lähinnä suurempaan tai yhtä suureen normaalin lämmönjohtavuuden luokkarajaan, jotka on porrastettu noin 10 % välein. Tyyppihyväksyntäpäätöksessä lämmöneristeen normaalisena lämmönjohtavuutena annetaan vain luokkarajojen mukaisia arvoja.

Edellä kuvattu käytäntö on suomalainen kansallinen käytäntö, joka sisältää eurooppalaisiin standardeihin kuulumattomia mutta osin myös samoja aineksia. Eurooppalainen käytäntö kuvataan seuraavassa luvussa 1.2.2.

1.2.2 EN-standardien mukainen suunnitteluarvo

Ohjeet lämmöneristeiden lämmönjohtavuuden suunnitteluarvon määrittämiseksi esitetään lämmöneristeiden tuotestandardeissa ja standardissa SFS-EN ISO 10456. Tuotestandardit sisältävät ohjeet ilmoitetun lämmönjohtavuuden (λ_D) määrittämiseksi ja SFS-EN ISO 10456 ohjeet ilmoitettuun arvoon perustuvan suunnitteluun soveltuvan λ_{design} -arvon määrittämiseksi.

Ilmoitettu lämmönjohtavuus

Ilmoitettu lämmönjohtavuus määritetään lämmönjohtavuuden mittaustulosten tilastollisen käsittelyn perusteella. Käsiteltävää mittaustulosta syntyy jatkuvasti valmistajan omassa laadunvalvonnassa. Ilmoitettu lämmönjohtavuus lasketaan kaavalla (6).

$$\lambda_{90/90} = \lambda_{10m} + k \cdot S_{\lambda} \quad (6)$$

jossa

$\lambda_{90/90}$ on lämmönjohtavuuden raja-arvo, johon verrattuna 90 % tuotannosta on 90 % todennäköisyydellä lämmönjohtavuudeltaan pienempi tai enintään yhtä suuri.

λ_{10m} on 10 °C:n keskilämpötilassa suoritettujen lämmönjohtavuusmittausten tulosten keskiarvo

k on mittaustulosten määrästä riippuva kerroin

S_{λ} on lämmönjohtavuuden mittaustulosten normaalihajonta

Ilmoitettu lämmönjohtavuus (λ_D) on kaavalla (6) laskettu $\lambda_{90/90}$ -arvo, joka lämmöneristeillä pyöristetään lähinnä suurempaan tarkkuudella 0,001 W/(m² K) esitettävään arvoon.

Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo

Ilmoitettu lämmönjohtavuus (λ_D) soveltuu myös suunnitteluarvoksi (λ_{design}), kun mitattavien koekappaleiden tila ja mittausolot vastaavat olosuhteita suunniteltavassa kohteessa. Tämä toteutuu, kun

- lämmöneristys suunnitellaan 10 °C:n keskilämpötilaan
- suunniteltavan lämmöneristyksen kosteuspitoisuus ei suunnitelman mukaisissa käyttöoloissa poikkea mitattavien koekappaleiden kosteuspitoisuudesta
- lämmöneristyksen lämmönjohtavuus ei muutu palautumattomasti iän funktiona tai lämmönjohtavuuden odotettavissa oleva muutos on otettu huomioon ilmoitetussa lämmönjohtavuudessa (ns. nopeutettu vanhenemiskoe).

Mikäli edellä mainitut ehdot eivät täyty, muunnetaan ilmoitettu lämmönjohtavuus kaavalla (7) suunnittelukohteelle soveltuvaksi lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoksi.

$$\lambda_{design} = \lambda_D \cdot F_T \cdot F_m \cdot F_a \quad (7)$$

jossa

F_T on lämpötilan poikkeamisen huomioon ottava muuntokerroin

F_m on kosteuspitoisuuden poikkeamisen huomioon ottava muuntokerroin

F_a on lämmönjohtavuuden vanhenemismuutoksen huomioon ottava muuntokerroin

Ohjeet kaavassa (7) olevien muuntokertoimien laskemiseksi esitetään standardissa SFS-EN ISO 10456. Tällöin suunnittelijan on ensin arvioitava lämmöneristeen mitoittava keskilämpötila ja keskimääräinen kosteuspitoisuus suunnittelukohteessa sekä mahdollinen palautumaton lämmönjohtavuuden vanhenemismuutos.

1.2.3 λ_n –arvon ja EN-standardien mukaisen λ_{design} –arvon erot

Normaalinen lämmönjohtavuus λ_n ja EN-standardien mukainen lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo λ_{design} poikkeavat toisistaan sekä määrittäytavaltaan että käsitteinä.

Erot ovat seuraavat:

- Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo λ_{design} edustaa normaalista lämmönjohtavuutta λ_n paremmin tuotteen materiaaliominaisuutta. Siihen ei ole pyritty lisäämään sovellutuksesta riippuvia, U-arvoon vaikuttavia tekijöitä
- Lämmönjohtavuuden valmistusteknisistä syistä johtuva hajonta otetaan kummassakin huomioon, mutta hajontalisäyksen määrittäytapa on erilainen, mikä voi johtaa eri suuruisiin hajontalisäyksiin.
- Kummassakin arvossa otetaan huomioon poikkeavan lämpötilan ja kosteuspitoisuuden sekä vanhenemismuutoksen vaikutus eri tavoin. Käytännössä erot ovat useimmiten pieniä.
- Lämmöneristyksen ilmanläpäisevyyden, vähäisten epäideaalisuuksien ja suojaustavan vaikutus otetaan huomioon normaalisen lämmönjohtavuuden määrittäyksessä. Nämä tekijät eivät sisälly lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoon. Ne otetaan EN-standardien mukaisessa käytännössä huomioon lämmönläpäisykertoimen laskennassa. Tämä eroavuus voi usein olla merkittävä ja sitä käsitellään tarkemmin tämän liitteen kohdissa 1.3 ja 2.3.
- Normaalinen lämmönjohtavuus pyöristetään ylöspäin lähimpään sovittuun luokkarajaan. λ_{design} –arvo pyöristetään ylöspäin ja ilmoitetaan tarkkuudella 0,001 W/(m K). Pyöristäytapa voi aiheuttaa λ_n –arvoon suuremman lisäyksen kuin λ_{design} –arvoon.

Mainitut erot aiheuttavat sen, että samalla lämmöneristeellä samassa suunnittelukohteessa voi olla kaksi erilaista lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoa, jotka ovat yhtäläisesti hyväksyttäviä. Suunnittelija voi valita näistä kumman tahansa suunnittelun lähtötiedoksi.

Tavallisille levymäisille lämmöneristeille kuten mineraalivilla, polystyreeni tai polyuretaani on olemassa eurooppalaiset tuotestandardit. Niille ei siten enää anneta tyyppihyväksyntäpäätöksiä.

Suomen Rakennusinsinöörien Liiton julkaisussa RIL 225-2004 on esitetty ohjeita standardien SFS-EN ISO 10456 ja SFS-EN ISO 6946 soveltamiseen. Siinä on esitetty tapa, jolla lämmöneristeen ilmanläpäisevyys ja sen suojaustapa voidaan ottaa huomioon rakenteen U-arvon lisäyksenä, kun käytetään EN-standardien mukaista lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoa λ_{design} ja sen edellyttämää lämmönläpäisykertoimen laskentatapaa.

1.3 Esimerkki lämmöneristeen lämmönjohtavuuden määrittämisestä

Tässä luvussa esitettävällä esimerkillä havainnollistetaan eurooppalaisen ja suomalaisen kansallisen käytännön välinen ero lämmönjohtavuuden suunnitteluarvon kannalta. Tarkasteltava lämmöneriste ei vastaa ominaisuuksiltaan tarkoin mitään olemassa olevaa tuotetta, vaan tarkoituksena on lämmönjohtavuuden suunnitteluarvon määrittämisen havainnollistaminen esimerkin avulla. Lämmöneriste ja siitä tehty lämmöneristys kuvataan seuraavassa esimerkkirakenteessa.

Esimerkkirakenne: Huokoinen lämmöneriste asennettuna puurunkoseinään ilmanpitävän sisäverhouksen ja tavanomaisen tuulensuojan väliin

Tuotetta koskevan tuotestandardin ja SFS-EN ISO 10456 mukainen menettely

Lähtötiedot lämmöneristeen ilmoitetun lämmönjohtavuuden määrittämiseksi ovat:

- keskimääräinen lämmönjohtavuus $\lambda_{10m} = 0,0358 \text{ W/(m K)}$
- lämmönjohtavuuden mittausaineiston laajuus $n = 15 \text{ kpl}$
- lämmönjohtavuuden normaalihajonta $S_\lambda = 0,00036 \text{ W/(m K)}$
- mittausaineiston laajuudesta riippuva kerroin $k = 1,87$ (tuotestandardista saatu arvo)

Ilmoitettu lämmönjohtavuus lasketaan kaavalla (6) seuraavasti:

$$\lambda_D = 0,0358 + 1,87 \cdot 0,00036 = 0,03647 \text{ W/(m K)}$$

Laskettu λ_D -arvo ilmoitetaan kahdella merkitsevällä numerolla ylöspäin pyöristettynä.

Ilmoitettu lämmönjohtavuus $\lambda_D = 0,037 \text{ W/(m K)}$

Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo määritetään standardin SFS-EN ISO 10456 mukaan. Suunnittelukohteelle ja kevyelle mineraalivillaeristeelle on ominaista:

- Suunnittelussa lämmöneristykseen keskilämpötila on $10 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Lämmöneristykseen kosteuspitoisuus ei ole käyttöoloissa suurempi verrattuna mittausoloihin.
- Lämmöneristykseen lämmönjohtavuus ei muutu iän funktiona.

Täten kaikki kolme kaavan (7) kerrointa saavat arvon 1.

Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo on sama kuin ilmoitettu arvo, $\lambda_{\text{design}} = 0,037 \text{ W/(m K)}$.

Normaalisen lämmönjohtavuuden tyyppihyväksynnässä sovellettava menettely

Lähtötietoina käytettävä keskimääräinen lämmönjohtavuus sekä lämmönjohtavuuden valvontaraja ilmoitetaan kolmella merkitsevällä numerolla pyöristettynä lähimpään 0:lla tai 5:llä päättyvään lukuun.

Esimerkkilaskelman lähtötiedot samalle lämmöneristet tuotteelle ovat:

- keskimääräinen lämmönjohtavuus $\lambda_{10m} = 0,0360 \text{ W/(m K)}$
- lämmönjohtavuuden valvontaraja $\lambda_{VR} = 0,0375 \text{ W/(m K)}$

- keskimääräinen ilmanläpäisevyys $l = 160 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{m s Pa})$

Normaalinen lämmönjohtavuus lasketaan kaavalla (5) seuraavasti:

$$\lambda_n = (0,036 + 0,0375) / 2 + 0,004 + 0,0032 = 0,0440$$

Esimerkkilaskelmassa lämmönjohtavuuden lisäys 0,004 ottaa huomioon lämmöneristyksen vähäisten epäideaalisuuksien vaikutuksen, kun suojauksena on tavanomainen tuulensuoja. Lisäys 0,0032 puolestaan ottaa huomioon lämmöneristeen suurehkon ilmanläpäisevyyden vaikutuksen. Lisäykset on määritetty tyyppihyväksynnässä sovellettavien ohjeiden mukaan.

Suunnittelukohteelle ja kevyelle mineraalivillaeristeelle on ominaista:

- Suunnittelussa lämmöneristyksen keskilämpötila on 10°C .
- Lämmöneristyksessä ei ole käyttöoloissa mittausoloista poikkeavaa kosteuspitoisuutta.
- Lämmöneristyksen lämmönjohtavuus ei muutu iän funktiona.

Täten em. tekijöistä ei aiheudu lämmönjohtavuuden lisäyksiä, jotka olisi tarpeen ottaa huomioon.

Suunnittelukäyttöön annettava λ_n -arvo saadaan pyöristämällä laskettu λ_n -arvo ylöspäin lähinnä suurempaan sovittuun luokkarajaan, jolloin

$$\lambda_n = 0,045 \text{ W}/(\text{m K}).$$

λ_{design} - ja λ_n -arvojen erotus on siten $0,008 \text{ W}/(\text{m K})$. Ero on merkittävä ja sen aiheuttama virhe voi olla suuri, jos lämmönläpäisykertoimien laskennassa ei oteta huomioon käytettävän lämmönjohtavuuden määritelmää.

Standardiin SFS-EN ISO 6946 sisältyy velvoite ottaa huomioon lämmöneristyksen vähäisten epäideaalisuuksien vaikutus lämmönläpäisykertoimeen tehtävänä lisäyksenä, kun käytetään λ_{design} -arvoa suunnitteluarvona. Suomen Rakennusinsinöörien Liiton julkaisussa RIL 225-2004 on esitetty ohje, jolla lämmöneristeen ilmanläpäisevyys ja sen suojaustapa voidaan ottaa huomioon rakenteen U-arvon lisäyksenä käytettäessä EN-standardien mukaista lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoa. Asia käsitellään tarkemmin tämän liitteen kohdassa 2.3.

Suunnittelulämmönjohtavuuden ja normaalisen lämmönjohtavuuden erot käytännössä

Yleisesti voidaan todeta:

- Rakennuseristeiden tyyppihyväksynnässä määritettävä normaalinen lämmönjohtavuus λ_n saattaa olla EN-standardien mukaisesti määritettyä λ_{design} -arvoa huomattavastikin suurempi.
- λ_{design} - ja λ_n -arvojen erotusta suurentaa eristeen ilmanläpäisevyyden suureneminen, eristyksen asennustyön laadun sekä suojaustavan heikentyminen sekä suomalainen normaalisen lämmönjohtavuuden luokittelukäytäntö.
- Asennustyön laadun ja suojauksen puutteet otetaan standardin SFS-EN ISO 6946 mukaan huomioon lämmönläpäisykertoimen lisäyksenä (ΔU). RIL 225-2004 on esitetty ohje, jolla lämmöneristeen ilmanläpäisevyys otetaan huomioon käytettäessä EN-standardien mukaista lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoa. Asia käsitellään tarkemmin tämän liitteen kohdassa 2.3.

2 Lämmönläpäisykerroin

2.1 Lämmönläpäisykertoimen laskentatapojen erot ohjeen C4 ja standardin SFS-EN ISO 6946 välillä

Tässä kappaleessa käsitellään niitä rakentamismääräyskokoelman osan C4 ja standardin SFS-EN ISO 6946 eroavuuksia, joilla on huomattava periaatteellinen merkitys laskennan suorittamisen ja tuloksen arvioinnin kannalta.

Osa C4 sisältää verraten kattavan ohjeiston rakennusosien ja komponenttien lämmönläpäisykertoimen määrittämiseen. Tarkoituksena on ollut esittää yksissä kansissa oleva, toimiva ja helppokäyttöinen ohjeisto, jonka noudattaminen riittää osoitettaessa rakennusosien ja komponenttien määräysten mukaisuus lämmönläpäisykertoimen suhteen. Osassa C4 todetaan, että myös muita tarkkuudeltaan vähintäänkin yhtä hyviä menetelmiä voidaan käyttää. Erityisesti EN-standardien mukaiset menetelmät katsotaan hyväksyttäväksi.

Standardi SFS-EN ISO 6946 on kattavuudeltaan olennaisesti suppeampi kuin C4 ja se sisältää kahden ilmatilan välissä olevan rakennusosan (pois luettuna ikkunat) lämmönläpäisykertoimen laskentaohjeet. Standardin sisältämä lämmönläpäisykertoimen laskentaohje poikkeaa joiltakin osin C4:n vastaavista ohjeista. Useimmissa kohdin C4 noudattaa kuitenkin standardin sisältöä. Standardi ei ole kattavuudeltaan riittävä osoitettaessa tavanomaisen suunnittelukohteen rakennusosien ja komponenttien määräysten mukaisuus. Normaalisti suunnittelija tarvitsee standardin SFS-EN ISO 6946 lisäksi useita muita EN-suunnittelustandardeja kyetäkseen osoittamaan suunnittelukohteen kaikkien rakennusosien ja -komponenttien lämmönläpäisykertoimet vaatimusten mukaisiksi.

Tärkeimmät periaatteelliset erot ohjeen C4 ja standardin SFS-EN ISO 6946 välillä ovat seuraavat:

- Kun rakennusosassa on epätasa-aineinen ainekerros (esim. lämmöneristys / runkorakenne), saadaan ohjeen C4 mukaisella laskelmalla lämmönläpäisykertoimelle yläliikiarvo. Standardin SFS-EN ISO 6946 mukaan saadaan tulos, joka on lähempänä virheettömällä menetelmällä laskettua arvoa.
- Ohjeen C4 mukaan rakennusaineiden lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoina voidaan käyttää sekä kansallisesti määritettyjä normaalin lämmönjohtavuuden arvoja, EN-standardien mukaisia lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoja tai muulla tavalla hyväksyttävästi määritettyjä lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoja. Standardin SFS-EN ISO 6946 mukaan toimittaessa lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoina käytetään ensisijaisesti EN-standardien mukaisia lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoja.
- Standardi SFS-EN ISO 6946, Liite D (velvoittava) sisältää ohjeen lämmöneristyksen epäideaalisuuksien vaikutuksen huomioon ottamiseksi lämmönläpäisykertoimen lisäyksenä. Tämä tarkastelu on suoritettava aina, kun toimitaan standardin mukaan. Kun toimitaan osan C4 mukaan ja käytetään lähtötietoina normaalin lämmönjohtavuuden arvoja, ei em. tarkastelua tule suorittaa. Jos osan C4 mukaisessa menettelyssä käytetään lähtötietoina lämmöneristeen EN-standardien mukaista suunnitteluarvoa, on epäideaalisuuden vaikutus otettava erikseen huomioon. Asiaa käsitellään tarkemmin tämän liitteen kohdassa 2.3.

2.2 Kylmäsiltojen laskenta

Osassa C4 määritellään käsitteet viivamainen ja pistemäinen kylmäsilta. Tyypillinen esimerkki edellisestä on lämmöneristykseen sijoitettu rakenteen pintojen suuntainen runko ja jälkimmäisestä lämmöneristyksen läpäisevä terässide. Osassa C4 ei esitetä eri kylmäsiltoityypeille soveltuvia viivamaisen tai pistemäisen kylmäsiltojen lämpökonduktansseja (poikkeuksena metallisiteet, C4,

kohta 2.3.2). Nämä tulee selvittää erikseen ennen osan C4 luvun 2.3 laskentakaavojen käyttöä. Usein on tarpeen käyttää 2- tai 3-ulotteisen lämmönjohtumisen ratkaisevaa laskentamenetelmää tai kokeellista tutkimusta.

2.3 Lämmöneristyksen ilmavirtausten ottaminen huomioon

Rakentamismääräyskokoelman osassa C4, luvussa 2.4 annetaan ohjeita lämmöneristyksen ilmavirtausten vaikutusten huomioon ottamiseksi. Luku on osoittautunut tarpeelliseksi, koska vakiintunut kansallinen käytäntö ja EN-standardien mukainen käytäntö eivät tässä kysymyksessä ole suoraan vertailukelpoisia. Olennaiset eroavuudet ovat:

- Suomalainen lämmöneristeen normaalin lämmönjohtavuus sisältää sekä lämmöneristyksen epäideaalisuuden että lämmöneristeen ilmanläpäisevyyden merkityksen huomioon ottavat lämmönjohtavuuden lisäykset.
- Käytettäessä lämmöneristeen λ_n -arvoja suunnittelun lähtötietoina ei em. epäideaalisuutta ja ilmanläpäisevyyttä tarvitse muulla tavalla ottaa huomioon.
- Standardin SFS-EN ISO 10456 mukainen lämmöneristeen lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo ei ota huomioon lämmöneristyksen epäideaalisuuden eikä lämmöneristeen ilmanläpäisevyyden merkitystä.
- Standardi SFS-EN ISO 6946 ottaa huomioon lämmöneristyksen epäideaalisuuden merkityksen U-arvoon tehtävänä lisäyksenä. Sen sijaan lämmöneristeen ilmanläpäisevyyden merkitystä ei oteta huomioon.

Edellä mainittu periaatteellinen eroavuus tarkoittaa käytännössä sitä, että ilmaa hyvin läpäisevät lämmöneristeet saavat, kuten edellä kohdissa 1.2.3 ja 1.3 on osoitettu, EN-standardien mukaan pienempiä lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoja kuin vastaavat λ_n -arvot. Tätä kompensoi joissakin tapauksissa ainakin osin lämmönläpäisykertoimen laskentaan standardin SFS-EN ISO 6946 mukaisesti liittyvä epäideaalisuuden huomioon ottava U-arvon lisäys. Ero suomalaisen ja eurooppalaisen ohjeiston mukaan saatavien U-arvojen välillä havainnollistetaan esimerkkilaskelman avulla kohdassa 2.4.

Rakentamismääräyskokoelman osan C4 kohdassa 2.4 annetaan ohjeita lämmöneristyksen ilmavirtausten vaikutuksen huomioon ottamiseksi. Ohjeissa 2.4.1 ja 2.4.2 todetaan, että huomioon otetaan lämmöneristyksen epäideaalisuus, lämmöneristyksen suojauksen laatu sekä lämmöneristeen ilmanläpäisevyyden merkitys. Tätä periaatetta sovelletaan suomalaisessa lämmöneristeiden normaalin lämmönjohtavuuden tyyppihyväksynnässä. Lisäyksen suuruus tulisi arvioida luotettavaan tutkimukseen perustuen.

Lämmöneristyksen ilmavirtausten vaikutuksia on tutkittu erityisesti Ruotsissa ja Suomessa (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8). Näiden tutkimusten mukaan lämmöneristeen ilmanläpäisevyyden suureneminen lisää eristyksen ilmavirtauksia ja siten myös lämpöhäviötä. Erityisesti tämä koskee pohjoiselle ilmastolle ominaisia paksuja ulkoseinän lämmöneristyksiä sekä suojaukseltaan puutteellisia eristyksiä. Koska Keski- ja Etelä-Euroopan ilmasto-olot ovat leudommat ja lämmöneristyksen paksuudet pienempiä kuin pohjoisessa, ei eristyksen ilmavirtausten merkitys ole niin suuri kuin Pohjois-Euroopassa. Tutkimustuloksiin perustuva suunnittelukäytäntö, joka ottaa huomioon lämmöneristeen ilmanläpäisevyyden merkityksen Suomen oloissa, on suositeltava.

Ohjeessa RIL 225-2004 Rakennusosien lämmönläpäisykertoimen laskenta on esitetty yksi tapa ottaa lämmöneristeen ilmanläpäisevyyden vaikutus standardin SFS-EN ISO 6946 mukaisessa laskennassa huomioon rakenteen U-arvossa.

2.4 Esimerkki lämmönläpäisykerroimen laskennasta

Tämä esimerkki havainnollistaa lämmönläpäisykerroimen laskennan Suomen Rakentamismääräyskokoelman osan C4 (2003) ja standardin SFS-EN ISO 6946:2007 mukaan. Molemmilla tavoilla voidaan hyväksyttävästi määrittää lämmönläpäisykerroin.

Esimerkkirakenne on ulkoseinä ja kerroksittain sisäpinnasta lukien:

- kipsilevy 13 mm
- höyrynsulku ja ilmansulkukerros
- ilmaa läpäisevä lämmöneriste (mineraalivilla) 175 mm / puurunko 50 x 175, k 600
- tuulensuoja, mineraalivilla 60 mm, jossa tuulensuojapainnoite
- hyvin tuulettuva ilmapäli 21 mm
- lautaverhous 18 mm

Rakentamismääräyskokoelman osan C4 mukainen menettely

Asetuksen mukaan laskennassa käytetään lämmönjohtavuuden suunnittelu-arvoa, esim. normaalista lämmönjohtavuutta. CE-merkityille lämmöneristeille annetaan tuotteen ilmoitettu (*Declared*) lämmönjohtavuus (λ_D -arvo), josta sen suunnittelu-arvo (λ_{design} -arvo) voidaan laskea. C4:ssä esitetyt taulukoidut normaaliset lämmönjohtavuuden arvot ovat aina varmallalla puolella, ts. antavat tyypillistä tuotetta huomattavasti suuremman arvon. Jotta esimerkki vastaa käytäntöä, ovat tässä lämmöneristeille käytetyt arvot tuotteelle mahdollisia ilmoitettuja arvoja. Muiden kuin lämmöneristeiden osalta käytetään C4:ssä taulukoituja λ_n -arvoja.

Tarvittavat lähtötiedot ovat :

- kipsilevy, 900 kg/m^3 , $\lambda_n = 0,23 \text{ W/(m K)}$
- mineraalivilla, $\lambda_D = 0,033 \text{ W/(m K)}$
- runkopuu, $\lambda_n = 0,12 \text{ W/(m K)}$
- mineraalivillatuulensuoja, $\lambda_D = 0,031 \text{ W/(m K)}$,
- hyvin tuulettuvan ilmapälin ja sen ulkopuolisen verhouksen lämmönvastusta ei oteta huomioon
- sisäpuolen pintavastus $R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2 \text{ K)/W}$
- ulkopuolen pintavastus $R_{se} = 0,13 \text{ (m}^2 \text{ K)/W}$ (hyvin tuulettuvaan ilmakerrokseen rajoittuva pinta)

Mineraalivillatuulensuojan ulkopinnan kerros muodostaa yhtenäisen tuulensuojan ja sen ilmanläpäisykerroin on pienempi kuin $10 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ s Pa})$, joten lämmöneristys on tuulelta suojattu C4:n edellyttämällä tavalla.

Koska lämmöneristeen lämpötila ja kosteus ovat käyttöoloissa samat kuin määritysoloissa (noin $+10 \text{ }^\circ\text{C}$ keskilämpötila ja kuiva tila tuulettuvassa rakenteessa), ei korjauksia näiden osalta tehdä. Mineraalivillaeristeelle ei myöskään tehdä ikäkorjauksia. Siten lämmöneristeiden lämmönjohtavuuden suunnittelu-arvot ovat tässä laskentatapauksessa samat kuin ilmoitetut arvot, $\lambda_{design} = \lambda_D$.

Rakenteessa on epätasa-aineinen kerros, jonka muodostaa lämmöneristys ja puurunko. Epätasa-aineiselle ainekerrokselle lasketaan lämmönvastuksen alalikiarvo (R_j) osan C4 kaavalla (3).

$$1 / R_j = 0,917 / 5,303 + 0,083 / 1,458$$

$$R_j = 4,348 \text{ (m}^2 \text{ K)/W}$$

Seinärakenteen kokonaislämmönvastus (R_T) lasketaan osan C4 kaavalla (4).

$$R_T = 4,348 + 0,013 / 0,23 + 0,06 / 0,031 + 0,13 + 0,13 = 6,600 \text{ (m}^2 \text{ K)/W}$$

Tuulensuojalevyn kiinnitys tehdään naulausvälikkeillä runkoon. Nauloja on 4 – 6 kpl/m². Naulat ulottuvat vain uloimman 60 mm tuulensuojaeristeen läpi. Jos siteitä olisi 4 /m² ja ne ulottuisivat koko lämmöneristyskerroksen (235 mm) läpi, olisi ruostumattomasta teräksestä tehtyjen siteiden lisäys rakenteen U-arvoon 0,006 W/(m² K). Koska kylmäsilta vaikutus kohdistuu tässä tapauksessa vain osaan lämmöneristyksen kokonaispaksuutta, ei kylmäsiltaisäystä ole syytä tehdä. Sen merkitys olisi vähäinen, eikä sen soveltamiseen vain osalle rakenteen eristekerroksia ole annettu ohjeita.

Seinän lämmönläpäisykerroin lasketaan osan C4 kaavalla (1).

$$U = 1 / 6,600 = 0,152 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$$

Ilmavirtaus- ja epäideaalisuuslisät

Koska lämmöneristeen lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoissa ei ole otettu huomioon lämmöneristeen ilmanläpäisevyyttä, otetaan se huomioon lämmönläpäisykerroimen laskennassa lisäyksenä ΔU_g (C4 kohta 2.4). Lämmöneristyksen ilmavirtausten vaikutuksen huomioon ottamiseksi lämmönläpäisykerroimeen tehtävän lisäyksen (ΔU_g) suuruus riippuu lämmöneristyksen asentamistavasta, eristyksen suojauksesta ja eristeen ilmanläpäisevyydestä. Lisäyksen suuruuden arvioinnissa nojaututaan luotettavaan tutkimukseen tai selvitykseen. Tällainen tutkimukseen perustuva selvitys on RIL 225-2004 ohje ja C4:n selostusosassakin mainittu EN standardin menetelmä epäideaalisuuksien huomioon ottamiseksi.

Standardin SFS-EN ISO 6946 liitteen D 2.3 esimerkin mukaan korjaustaso 0 ($\Delta U'' = 0$) pätee tapauksissa, joissa lämmöneriste on tehty useammasta kuin yhdestä kerroksesta ja ainakin yksi kerros on jatkuva ilman rakenteellisia esteitä (runkopuut yms.) Tässä tapauksessa lämmöneristeen toimiva tuulensuojalevy vastaa tällaista kerrosta. Edellytyksenä on lisäksi, että kerroksen ja sen viereisen kerroksen (lämmöneristys koolauksessa) väliin ei jää ilmarakoja. Tällainen tiivis asennustapa on oletuksena rakenteelle ja se on käytännössä toteutettavissa tarkastellussa tapauksessa. Siten myöskään varsinaisen lämmöneristyskerroksen normaaleja epäideaalisuuksia runkopuun kanssa ei tässä oteta huomioon ja asennustavasta (ilmavälit ja raot) johtuvaa lisäystä ei tehdä U-arvoon.

Rakennusinsinööriliiton julkaisussa RIL 225-2004 esitetään lämmöneristeen ilmanläpäisevyyden mukaan määritettävä korjaustermi. Sen tarkoituksena on parantaa U-arvon laskentatarkkuutta silloin, kun lämmöneristeen lämmönjohtavuudessa ei ole huomioitu ilmavirtauksen aiheuttamia lisäyksiä.

Tarkastellussa esimerkissä lämmöneristeessä on runkorakenteita ja lämmöneristeet on asennettu puskuun ilman erityistä saumausta tai tilkintää. Tällöin kyseessä on *korjaustaso 1*, jossa lämmöneristeessä on hyvin vähän epäideaalisuuksia.

Lämmöneristys on tuulensuojan ja ilmasulun muodostamassa kotelossa, joten *suojaustapa a* vastaa tarkasteltua tilannetta.

Lämmöneristeen ilmanläpäisevyys on luokkaa $100 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{m s Pa})$. Konvektion merkitys on suurin varsinaisessa lämmöneristyskerroksessa, koska tuulensuojavillan ilmanläpäisykerroin on tätä pienempi, eikä siten edistä konvektiota tuulensuojan alueella. RIL 225-2004 taulukon 7 mukaan saadaan pystysuoralle lämmöneristykselle korjaustekijä $\Delta U_a'' = 0,005 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$. Periaatteessa

konvektio esiintyy siis 175 mm paksulla eristeosalla ja 60 mm tuulensuojavilla on sen ulkopuolella. Konvektion aiheuttamaa lisätermiä ei ole syytä jakaa kerroksittain, vaan korjauskerroin on rakenteen koko U-arvolle tehtävä korjaus.

Kun lämmöneristeen ilmanläpäisevyyden korjaustekijä lisätään aiemmin laskettuun U-arvoon saadaan lämmönläpäisykertoimeksi $U = 0,157 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$.

Tulos esitetään kahdella merkitsevällä numerolla $U = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$.

EN-standardien mukainen menettely

Tarvittavat lähtötiedot ovat lähes samat kuin C4:n mukaisessa ratkaisussa. Puun ($\lambda_{\text{design}} = 0,12 \text{ W}/(\text{m K})$) ja kipsilevyn ($\lambda_{\text{design}} = 0,25 \text{ W}/(\text{m K})$) lämmönjohtavuudet saatiin tässä SFS-EN 10456:sta.

Rakenteessa on epätasa-aineinen kerros, jonka muodostaa lämmöneristys ja puurunko. Seinärakenteelle lasketaan kokonaislämmönvastuksen yläkiiarvo (R'_T) standardin SFS-EN ISO 6946 kaavalla (6) ja alalikiarvo (R''_T) kaavoilla (7) ja (8).

Yläkiiarvo (R'_T)

Kokonaislämmönvastus eristeen kohdalla (R_{Ta})

$$R_{Ta} = 0,013 / 0,25 + 0,175 / 0,033 + 0,06 / 0,031 + 0,17 = 7,460 \text{ (m}^2 \text{ K)/W}$$

Kokonaislämmönvastus puurungon kohdalla (R_{Tb})

$$R_{Tb} = 0,013 / 0,23 + 0,175 / 0,12 + 0,025 / 0,051 + 0,26 = 3,616 \text{ (m}^2 \text{ K)/W}$$

Kokonaislämmönvastuksen yläkiiarvo (R'_T)

$$1 / R'_T = 0,917 / 7,460 + 0,083 / 3,616 = 6,853 \text{ (m}^2 \text{ K)/W}$$

Alalikiarvo (R''_T)

Rakenteessa on epätasa-aineinen kerros, jonka muodostaa lämmöneristys ja puurunko. Epätasa-aineiselle ainekerrokselle lasketaan lämmönvastuksen alalikiarvo (R_j) standardin SFS-EN ISO 6946 kaavalla (7).

$$1 / R_j = 0,917 / 5,303 + 0,083 / 1,458$$

$$R_j = 4,348 \text{ (m}^2 \text{ K)/W}$$

Seinärakenteen kokonaislämmönvastuksen alalikiarvo (R''_T) lasketaan standardin SFS-EN ISO 6946 kaavalla (8).

$$R''_T = 4,348 + 0,013 / 0,25 + 0,06 / 0,031 + 0,17 = 6,505 \text{ (m}^2 \text{ K)/W}$$

Lopuksi seinärakenteen kokonaislämmönvastus (R_T) lasketaan standardin SFS-EN ISO 6946 kaavalla (4).

$$R_T = (6,853 + 6,505) / 2 = 6,679 \text{ (m}^2 \text{ K)/W}$$

Standardin SFS-EN ISO 6946 liitteen D 2.3 esimerkin mukaan korjaustaso 0 ($\Delta U'' = 0$) pätee tapauksissa, joissa lämmöneriste on tehty useammasta kuin yhdestä kerroksesta ja ainakin yksi kerros on jatkuva ilman rakenteellisia esteitä (runkopuut yms.) Tässä tapauksessa lämmöneristeinä toimiva tuulensuojalevy vastaa tällaista kerrosta. Edellytyksenä on lisäksi, että kerroksen ja sen viereisen kerroksen (lämmöneristys koolauksessa) väliin ei jää ilmarakoja. Tällainen tiivis asennustapa on oletuksena rakenteelle ja se on käytännössä toteutettavissa tarkastellussa tapauksessa. Siten myöskään varsinaisen lämmöneristyskerroksen normaaleja epäideaalisuuksia runkopuun kanssa ei tässä oteta huomioon ja asennustavasta (ilmavälit ja raot) johtuvaa lisäys ei tehdä U-arvoon.

Standardi SFS-EN ISO 6946 liite D 3.1 käsittelee lämmöneristeen läpäisevien kiinnikkeiden edellyttämää korjausta U-arvoon. Tässä tapauksessa kiinnikkeet läpäisevät vain 60 mm tuulensuojaeristelevyn, joten korjausta ei voi tehdä koko U-arvon osalle. Kaavan D.5 mukaan voidaan ratkaista kerrokselle U-arvon lisätermi, mikä voidaan esittää kerroksen lämmönsiirtovastuksen vähennyksenä. Olettaen kiinnikkeitä olevan 6 kpl/m^2 (halkaisija = 4 mm) ja kiinnikkeen materiaaliksi ruostumaton teräs (17 W/Km), saadaan tuulensuojakerroksen lämmönsiirtovastukselle lisätermi $-0,062 \text{ (m}^2 \text{ K)/W}$. Tämän osuus koko rakenteen lämmönsiirtovastuksesta on alle 1 %, joten lisäystä U-arvoon ei tehdä. Standardin mukaan lisäys tehdään vain, jos kokonaiskorjaus on vähintään 3 % U-arvosta.

Seinärakenteen lämmönläpäisykerroin (U-arvo) lasketaan standardin SFS-EN ISO 6946 kaavalla (10).

$$U = 1 / 6,679 = 0,150 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$$

Rakennusmääräyskokoelman osan C4 mukaan laskettu lämmönläpäisykerroin on 1.3 % suurempi kuin EN-standardien mukaan saatu arvo. Ero johtuu siitä, että EN-standardissa lämmönläpäisykerroin lasketaan ylä- ja alalikiarvojen keskiarvona, mikä tyypillisesti parantaa tarkkuutta C4:ssä esitettyyn pelkän alalikiarvon avulla tapahtuvaan laskentaan verrattuna.

Lämmöneristeen ilmanläpäisevyyden lisäys RIL 225 -2004 mukaan

Rakennusinsinööriliiton julkaisussa RIL 225-2004 esitetään lämmöneristeen ilmanläpäisevyyden mukaan määritettävä korjaustermi. Sen soveltamisalueena on SFS-EN ISO 6946 mukaan määritetty U-arvo, jota pyritään tarkentamaan eristetilan konvektiota kuvaavalla termillä.

Tarkastellussa esimerkissä lämmöneristeessä on runkorakenteita ja lämmöneristeet on asennettu puskuun ilman erityistä saumausta tai tilkintää. Tällöin kyseessä on *korjaustaso 1*, jossa lämmöneristeessä on hyvin vähän epäideaalisuuksia.

Lämmöneristys on tuulensuojan ja ilmasulun muodostamassa kotelossa, joten *suojaustapa a* vastaa tarkasteltua tilannetta.

Lämmöneristeen ilmanläpäisevyys on luokkaa $100 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{m s Pa})$. Konvektion merkitys on suurin varsinaisessa lämmöneristekerroksessa, koska tuulensuojavillan ilmanläpäisykerroin on tätä pienempi, eikä siten edistä konvektiota tuulensuojan alueella. RIL 225-2004 taulukon 7 mukaan saadaan pystysuoralle lämmöneristykselle korjaustekijä $\Delta U_a'' = 0,005 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$. Periaatteessa

konvektio esiintyy siis 175 mm paksulla eristeosalla ja 60 mm tuulensuojavilla on sen ulkopuolella. Konvektion aiheuttamaa lisätermiä ei ole syytä jakaa kerroksittain, vaan korjauskerroin on rakenteen koko U-arvolle tehtävä korjaus.

Kun lämmöneristeen ilmanläpäisevyyden korjaustekijä lisätään aiemmin laskettuun U-arvoon saadaan lämmönläpäisykertoimeksi $U = 0,155 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$.

Kahdella merkitsevällä numerolla ilmoitettuna tämä saa arvon $U = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$.

Esitettyssä tapauksessa EN-standardin mukainen tapa määrittää U-arvo antoi noin 1,3 % pienemmän arvon kuin C4:n mukaan määritetty, mutta kahdella merkitsevällä numerolla ilmoitettava U-arvo oli molemmissa tapauksissa sama.

Esimerkin perusteella tarkasteltujen menetelmien tulosten ero ei ole merkittävä. Olennaista on määrittää U-arvoon mahdollisesti tarvittavat lisäykset, jotka riippuvat käytetyn lämmöneristeen määritystavasta. Jos lämmöneristeelle käytetään ilmoitetusta lämmönjohtavuudesta λ_D määritetyt suunnitteluarvot λ_{design} , on U-arvoon tehtävät lisäykset otettava huomioon U-arvon ratkaisussa.

2.5 Ilmavälien ja -tilojen lämmönvastus

Rakentamismääräyskokoelman osan C4 kohdassa 5.2 esitetään lämmönvastuksen arvoja rakenteissa oleville ilmaväleille. Ilmavälit on jaettu neljään eri tyyppiin, jotka ovat

- tuulettumaton ilmaväli
- tuulettumaton ilmaväli, johon ulkopuolelta johtaa vähäisiä aukkoja, jotka sijaitsevat niin, ettei ilmaväliin voi syntyä sen kautta reunalta toiselle kulkevaa tuulettavaa ilmavirtausta
- lievästi tuulettuva ilmaväli
- hyvin tuulettuva ilmaväli.

On huomattava, että edellä esitetty ilmavälien ryhmittely ei palvele rakenteiden tuuletuksen mitoitusta, vaan pelkästään lämmönläpäisykertoimen laskentaa. Ryhmittelyn kriteerinä on ilmaväliin johtavien tuuletusaukkojen sijainti (osa C4, ohjeet 5.2.2 ja 5.2.4) ja tuuletusaukkojen yhteenlasketulle pinta-alalle asetetut raja-arvot (osa C4, ohjeet 5.2.2 ja 5.2.5).

Pystysuorissa rakenteissa ilmaväliin johtavien tuuletusaukkojen yhteenlasketun pinta-alan raja-arvot ilmoitetaan neliösenttimetreinä ilmavälin pituusyksikköä kohti (cm^2/m). Lievästi ja hyvin tuulettuvan ilmavälin pituussuunta on tuuletusilmavirran pääasiallinen suunta (yleensä rakenteen korkeussuunta). Tuulettumattoman ilmavälin pituussuunta on aina pystysuunta.

Vaakasuorissa rakenteissa ilmaväliin johtavien tuuletusaukkojen yhteenlasketun pinta-alan raja-arvot ilmoitetaan neliösenttimetreinä ilmavälin pinta-alayksikköä kohti (cm^2/m^2).

Osan C4 kohdissa 5.2.5 ja 5.2.7 määritellään sekä lievästi että hyvin tuulettuva ilmaväli. Määritelmässä esitetään ilmaväliin ulkopuolelta johtavien tuuletusaukkojen yhteenlasketulle pinta-alalle raja-arvoja sekä pystysuoralle että vaakasuoralle rakenteelle. Tuuletusaukon pinta-alalla tarkoitetaan vapaata aukkopinta-alaa, johon ei sisälly ritilöiden tai säleikköjen ilmavirtausta läpäisemätön osa. Tuuletusaukkojen yhteenlaskettu pinta-ala sisältää sekä tulevan että poistuvan ilmavirran aukkojen pinta-alan.

Ulkoseinän tuuletusvälin yläreunan rako tai aukot voivat johtaa ulkoilmaan tai yläpohjan tuuletusväliin. Kummassakin tapauksessa lasketaan ulkoseinän tuuletusvälin yläreunan aukot tai rako mukaan tuuletusväliin johtavien aukkojen yhteenlaskettuun pinta-alaan.

Kun vinon rakenteen ja siinä olevan ilmvälin kaltevuuskulma on yli 30° vaakatasoon nähden, määritellään tuuletusvälin tyyppi pystysuoran rakenteen kriteereillä. Loivemmin kallistetut ilmvälit määritellään vaakasuoran rakenteen kriteereillä.

2.6 Maanvastaiset rakenteet

Maanvastaisen alapohjan lämmönläpäisykertoimen laskemiseksi esitetään menetelmä rakentamismääräyskokoelman osassa C4 ja standardissa SFS-EN ISO 13370. Lähtötietoina käytettävät lämmönjohtavuuden suunnitteluarvot sekä laskentamenetelmät ovat näissä erilaisia. Mainittakoon, että standardi SFS-EN ISO 13370 ottaa rakentamismääräyskokoelman osasta C4 poiketen huomioon myös sokkelin pystyeristyksen vaikutuksen alapohjan keskimääräiseen U-arvoon. Täten valinnoista riippuen samalle maanvastaiselle alapohjalle saadaan hyväksyttävillä laskelmilla erilaisia U-arvoja.

2.7 Ikkunan, oven ja tuuletusluukun lämmönläpäisykertoimen laskenta

2.7.1 Ikkunan valoaukko

Ikkunan valoaukon lämmönläpäisykerroin (U_g) lasketaan rakentamismääräyskokoelman osan C4 kaavalla (7), jossa kunkin erillisen lasivälin j lämmönvastus (R_{s_j}) valitaan osan C4 taulukosta 7. Tässä taulukossa esitetään yhden lasivälin lämmönvastuksen arvoja sekä kaksi- että kolmilasisisille valoaukoille, kun lasivälin paksuus vaihtelee. Valoaukon lämmönläpäisykerrointa laskettaessa lämmönvastusten summaan otetaan siten taulukosta 7 mukaan kullekin lasivälille erikseen ilmoitettu soveltuva lämmönvastuksen arvo. Lasivälissä toinen pinta voi olla ns. selektiivipinta, jonka emissiviteetti lämpösäteilyn suhteen on 0,04, 0,16 tai 0,4. Toinen pinta on aina tavallista lasia, jonka emissiviteetti on 0,837. Lämmönvastuksen arvoja esitetään myös lasiväleille, joissa molemmat pinnat ovat tavanomaista lasia (emissiviteetti 0,837). Lasivälin täytekaasuna voi olla ilma, argon tai krypton.

Osan C4 kaava (7) on sama kuin standardissa SFS-EN ISO 10077-1 esitetty valoaukon lämmönläpäisykertoimen laskentakaava (6) ja siinä otetaan huomioon myös valoaukon lasien lämmönvastukset.

2.7.2 Ikkunan kehän ja ikkunan keskimääräinen lämmönläpäisykerroin

Tavanomaisen puuikkunan kehän lämmönläpäisykertoimen likimääräinen arvo lasketaan rakentamismääräyskokoelman osan C4 kaavalla (8). Jos puuikkunan kehä on ulkopuolelta suojattu metalliprofiililla tai vastaavalla, ei tämän vaikutusta ole tarpeen ottaa laskelmissa huomioon. Kehän lämmönläpäisykerroin voidaan aina laskea tarkoitukseen soveltuvalla numeerisella menetelmällä tai määrittää kokeellisesti.

Standardin SFS-EN ISO 10077-1 liitteessä D, joka on informatiivinen, esitetään myös, että kehän lämmönläpäisykerroin tulisi mieluiten määrittää numeerisilla laskentamenetelmillä tai kokeellisesti. Periaate on sama kuin osassa C4, mutta likimääräistä kehän lämmönläpäisykertoimen

laskentakaavaa ei esitetä edes puuikkunalle. Sen sijaan liitteessä D esitetään valmiina kehän lämmönläpäisykertoimen likimääräisiä arvoja muovi-, puu- ja metallirakenteisille kehille. Näitä arvoja voidaan käyttää tarkemman tiedon puuttuessa.

Valoaukon reunoilla esiintyy lasituksen ja kehärakenteen liittymälle ominainen viivamainen kylmäsilta. Tästä aiheutuvan viivamaisen lisäkonduktanssin arvona käytetään osan C4 kohdan 6.4.1 ja taulukon 10 mukaisia arvoja, kun lasketaan ikkunan keskimääräinen lämmönläpäisykerroin (U_w). Lisäkonduktanssin arvot ovat pääosaltaan samoja kuin standardin SFS-EN ISO 10077-1 liitteessä E, taulukossa E.1 esitetyt arvot.

Ikkunan keskimääräinen lämmönläpäisykerroin (U_w) lasketaan rakentamismääräyskokoelman osan C4 kaavalla (9), joka on sama kuin standardissa SFS-EN ISO 10077-1 yksipuitteiselle tai avautumattomalle ikkunalle esitetty kaava (1). Standardissa esitetään kaava (3) myös kaksipuitteiselle ikkunalle. Tarvittava valoaukon pinta-ala (A_g) ja kehän pinta-ala (A_f) lasketaan seuraavasti:

Valoaukon pinta-ala (A_g) lasketaan läpinäkyvän tai valoa läpäisevän alueen ulkoreunojen rajoittaman pinta-alan mukaan. Jos samassa valoaukossa on erisuuria läpinäkyviä lasiosia, käytetään valoaukon pinta-alana suurimman läpinäkyvän lasiosan pinta-alaa.

Ikkunan kehän pinta-ala (A_f) lasketaan vähentämällä valoaukon pinta-ala (A_g) ikkunan kehän ulkomittojen mukaan lasketusta ikkunan kokonaispinta-alasta (A_w).

2.7.3 Kattovalokuvut ja valoaukolliset savunpoistoluukut

Kattovalokuvut ja valoaukolliset savunpoistoluukut katsotaan myös ikkunarakenteiksi ja rakentamismääräyskokoelman osassa C3 esitetään niitä koskeva vaakasuoran ikkunan U-arvon vertailuarvo. Kun vaatimus aikaisemmasta poiketen on asetettu valoaukon sijaan 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 määrittämiseksi ei esitetä rakentamismääräyskokoelman osassa C4 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.

2.7.4 Ovi ja tuuletusluukku

Oven ja tuuletusluukun lämmönläpäisykertoimen laskenta käsitellään varsin yksityiskohtaisesti rakentamismääräyskokoelman osan C4 luvussa 6.6. Mainittakoon kuitenkin, ettei ovesa olevaa valoaukkoa 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.

Kirjallisuutta

1. Bankvall, C., Byggnadskonstruktioners värmeisoleringsförmåga – Inverkan av luftrörelser och arbetsutförande, Byggforskningsrådet, 1980
2. Kohonen, R., Kokko, E., Mähönen, T. & Ojanen, T., Mineraalivillaeristyksen ilmavirtaukset ja tuulensuojaus. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tutkimuksia 431, Espoo 1986.
3. Kohonen, R., Kokko, E., Ojanen, T. & Virtanen, M., Thermal effects of air flows in building structures, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tutkimuksia 367, Espoo 1985.
4. Ojanen, T., Kokko, E. & Pallari, M-L., Tuulensuojan toimintaperusteet. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita 1478, Espoo 1993.
5. Kokko, E., Ojanen, T. & Salonvaara, M., Uudet vaipparakenteet – Energian säästö ja kosteustekniikka, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita 1896, Espoo 1997.
6. Wahlgren, P., Measurements and Simulations of Natural and Forced Convection in Loose-Fill Attic Insulation. Journal of Thermal Env. & Bldg. Sci., Vol. 26, No. 1 – July 2002.
7. Dyrbol, S., Svendsen, S. & Elmroth, A., Experimental Investigation of the Effects of Natural Convection on Heat Transfer in Mineral Wool. Journal of Thermal Env. & Bldg. Sci., Vol. 26, No. 2 – October 2002.
8. RIL 225-2004 Rakennusosien lämmönläpäisykertoimen laskenta, Ohje standardien SFS-EN ISO 10456 ja SFS-EN ISO 6946 soveltamiseen. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto r.y. 2005.
9. Lämmöneristetuotteiden tyyppihyväksyntä, Ohjeet 2007, Ympäristöministeriö 2007.

Rakennusten lämmöneristystä koskevia standardeja

Lämmöneristeiden tuotestandardit

SFS-EN 13162: 2008 – SFS-EN 13171:2008, Thermal insulation products for buildings - Factory made products

SFS-EN 13172:2008, Thermal insulation products – Evaluation of conformity

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 1745:2002, Masonry and masonry products – Methods for determining design thermal values

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 10077-2:2003, Thermal performance of windows, doors and shutters – Calculation of thermal transmittance – Part 2: Numerical method for frames

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

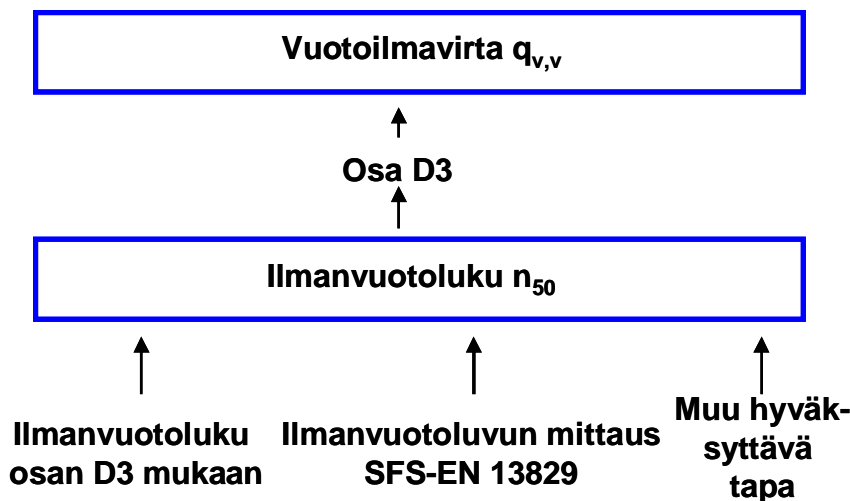
Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto

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

LIITE 3 Selvitys vaipan ilmanpitävyydestä

1 Johdanto

Selvitys vaipan ilmanpitävyydestä voi perustua vaipan ilmanpitävyyden mittaukseen tai muuhun menettelyyn. Ilmanpitävyyden mittaus perustuu standardiin SFS-EN 13829. Muulla menettelyllä tarkoitetaan esimerkiksi sellaista teollisen talonvalmistuksen laadunvarmistusmenettelyä, jolla lämpöhäviön laskennassa käytettävä ilmanpitävyys voidaan luotettavasti arvioida ennakoita.



2 Vaipan ilmanpitävyyden mittaukseen perustuva selvitys

2.1 Mittausmenetelmä

Tasauslaskentaa varten rakennuksen vaipan ilmanvuotoluku määritetään standardin SFS-EN 13829 (menetelmä B) mukaan 50 Pa alipaineessa ulkoilmaan verrattuna. Menetelmässä suljetaan tiiviisti mittauksen ajaksi rakennuksen vaipassa olevat aukot kuten ulko- ja jäteilmalaitteet sekä savupiiput. Ulko-ovet ja ikkunat ovat mittauksen aikana kiinni.

Rakennuksen vaipan ilmanvuotoluku (1/h) lasketaan 50 Pa:n alipaineella määritetyn vuotoilmavirran (m³/h) ja rakennuksen tilavuuden (m³) suhteena.

2.2 Selvityksen sisältö

Selvityksessä vaipan ilmanpitävyydestä esitetään vähintään seuraavat tiedot:

- Rakennuksen tunnistetiedot ja laajuustiedot
- Rakennuksen tai sen mitatun osan ilmatilavuus
- Mittaajan nimi ja mittauspäivämäärä
- Säättiedot
 - ulkolämpötila
 - tuulen nopeus
 - tuulen suunta
 - ilmanpaine
- Tiiviysmittausten kattavuus
 - koko rakennus/osarakennus
- Tiedot mittauksissa käytetyistä laitteista ja koejärjestelyistä
 - Kalibrointitiedot
 - Alipaineen tuottamistapa
 - Apupuhallin
 - Oma ilmanvaihtojärjestelmä
 - Mittauspisteiden sijainti
 - Mittauksen ajaksi suljetut aukot
 - Mahdolliset poikkeamat standardista
- Mittaustulokset
 - Mittauspaine-erot
 - Mitatut vuotoilmavirrat eri paine-eroilla
 - Sisälämpötila
 - Ulkolämpötila
 - Ilmanpaine
- Mittaustuloksista määritetty vuotoilmavirta 50 Pa:n alipaineella
- Vaipan ilmanvuotoluku n_{50}

3 Muuhun menettelyyn perustuva selvitys vaipan ilmanpitävyydestä

Selvityksessä esitetään talotyypikohtainen tasauslaskennassa käytettävä rakennuksen ilmanvuotoluku 50 Pa:n alipaineella ja perusteena oleva laadunvarmistusmenettely.

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 lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskenta

1 Johdanto

Tässä liitteessä käsitellään rakennuksen ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskennallista määrittämistä. Vuosihyötysuhdetta tarvitaan lämpöhäviöiden tasauskennassa, kun osoitetaan, että rakennuksen lämpöhäviö täyttää rakentamismääräysten vaatimukset. Tämä liite on aiemmin julkaistu ympäristöministeriön moniste 122 (2003) lähes sellaisenaan.

Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 "Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto" määräyksessä 4.1.2 esitetään, että ilmanvaihdon poistoilmasta on otettava talteen lämpömäärä, joka vastaa vähintään 45 % ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemasta lämpömäärästä.

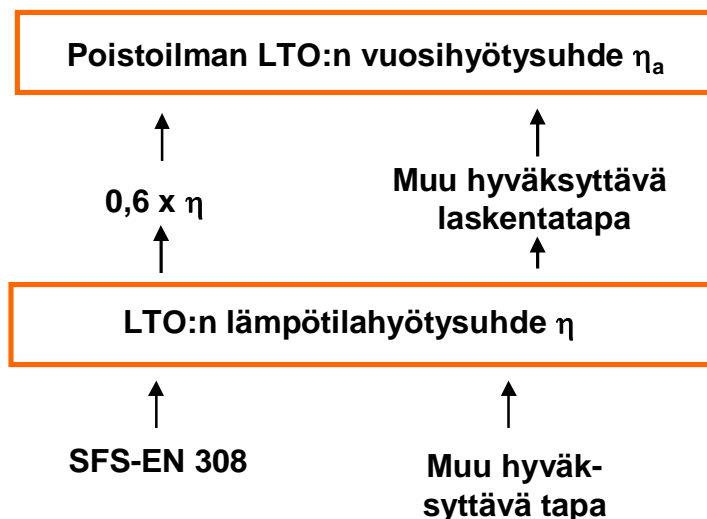
Osan D2 kohdan 4.1.2.1 ohjetekstissä on esitetty, että laskelmissa käytetään lämmöntalteenottolaitteen vuosihyötysuhteenä lämmönsiirtimen tuloilman lämpötilahyötysuhdetta kerrottuna 0,6:lla jollei selvityksin toisin osoiteta. Laskennassa käytetään valmistajan ilmoittamaa esimerkiksi standardin SFS-EN 308 mukaan mitattua tuloilman lämpötilahyötysuhdetta (tulo- ja poistoilman massavirrat ovat yhtä suuret) tai voimassa olevan tyyppihyväksyntäohjeen mukaisella tavalla mitattua hyötysuhdetta. Lämpötilahyötysuhde määritellään suunnitteluratkaisun poistoilmavirralla.

Mikäli laskelmissa käytetään lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteenä 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.

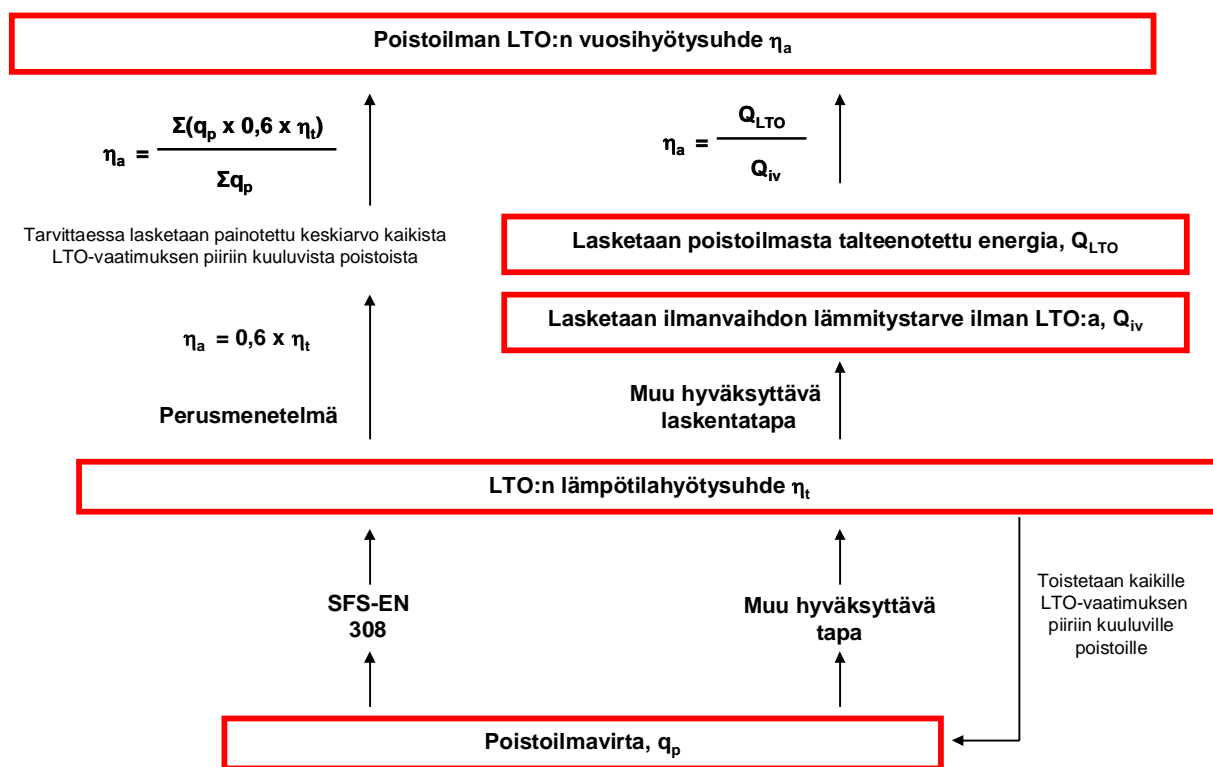
Tässä liitteessä esitetään yksityiskohtaisemmat ohjeet, miten ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde voidaan laskea tuloilman lämpötilahyötysuhteen ja ulkolämpötilan pysyvyystietojen avulla.

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.

Sovellusesimerkit, suositukset ja lisätiedot eivät sellaisenaan ole rakentamismääräyskokoelman määräysten tai ohjeiden tasoisia kannanottoja, jotka sitoisivat suunnittelua ja rakentamista.



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 (jäteilman) lämmöntalteenoton vertailuvaatimus tarkoittaa rakentamismääräyskokoelman osan D2 määräyksessä 4.1.2 esitettyä ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton (LTO) vähimmäisvaatimusta, joka on 45 % ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemasta lämpömäärästä. Jäteilma on poistoilmaa, joka johdetaan rakennuksesta ulos. Lämmöntalteenoton vaatimuksen täyttyminen 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. Mitoittava 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.

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 lämmönsiirrinyhdistelmät; 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

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 vain siltä osin kuin talteen otettu lämpö käytetään tuloilman tai tilojen lämmitykseen osan D3 kohdan 2.2.1 ja osan 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 lauhtuttimesta 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

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.

2.3 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
	HUOM. Vuoden 2010 tasauslaskennassa käytetään merkintää $q_{v,p}$
$q_{p,i}$	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_{LTO}	lämmöntalteenoton läpi kulkevan tuloilmavirran tilavuusvirta, m ³ /s
	HUOM. kaikki tässä liitteessä 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_{LTO} (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_{LTO}	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

3 Rakennuksen ilmanvaihto

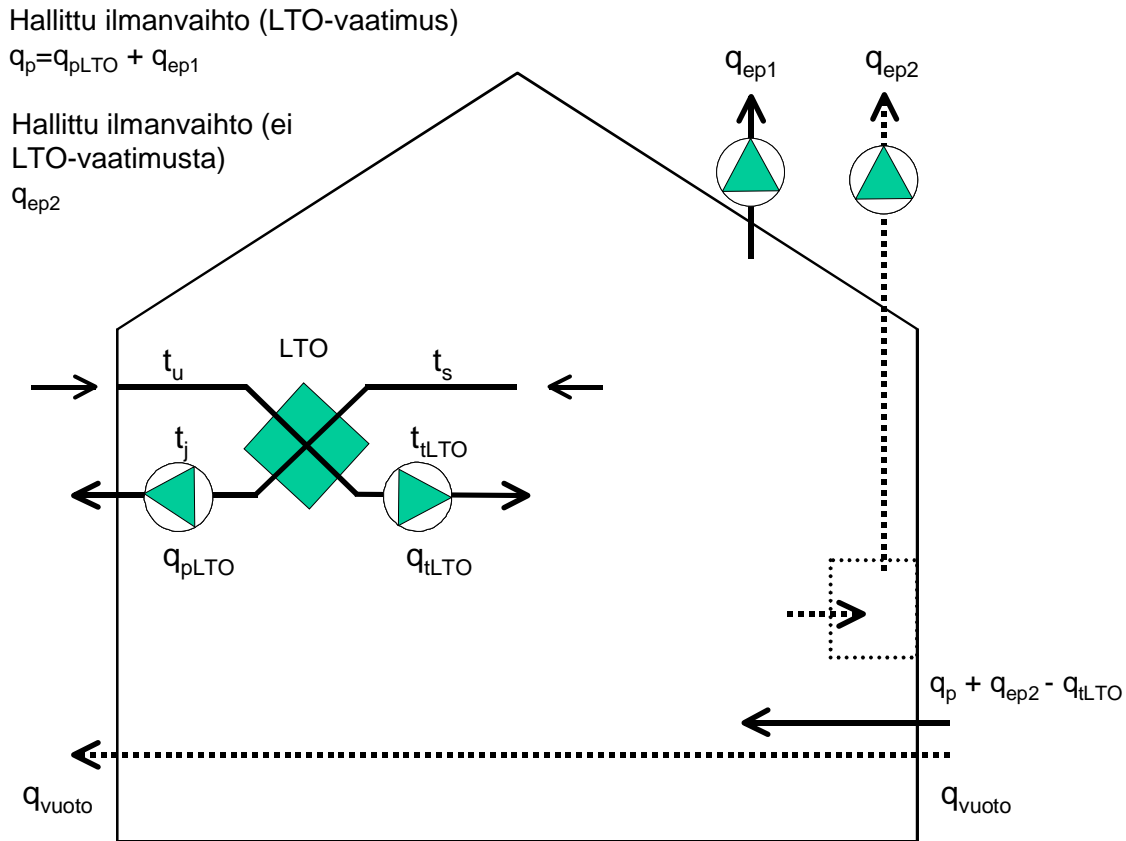
3.1 Rakennuksen ilmavirrat

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 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. "läpituulemistä". 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

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

Tasauslaskelmissa käytetään ilmavirtoina koko vuodelle laskettuja keskimääräisiä arvoja Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaan. Seuraavalla sivulla olevassa laskentaesimerkissä esitetään keskimääräisten ilmavirtojen laskenta. Muuttuvailmavirtaisessa ilmanvaihtojärjestelmissä tulee käyttää arvioitua keskimääräistä ilmavirtaa eikä järjestelmän maksimi-ilmavirtaa.

Ilmanvaihtolaitoksen 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_d , r ja t_v) sisällytetään ilmavirran q_p lukuarvoon ($q_p = q \cdot t_d \cdot r \cdot t_v$). Käyntiaikatekijä t_d 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.

Esimerkki:

Pienuhkössä 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_d	Viikottainen käyntiaikasuhde, t_v	Vuorokautinen käyntiaikakerroin, r	Käyttöajoilla painotettu poistoilmavirta, m^3/s $t_d \times t_v \times r \times q = q_p$
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 $t_d \times t_v \times r \times q = q_{ep2}$
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 määräystenmukaisuutta osoitettaessa kohdassa "Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta".

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 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 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 ilmapinnan lämpeneminen ja jäätyminen 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 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 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Sisäilman lämpötila t_s on $21\text{ }^{\circ}\text{C}$

Tuloilman lämpötila LTO:n jälkeen t_{LTO} on $15\text{ }^{\circ}\text{C}$

Jäteilman lämpötila LTO:n jälkeen t_j on $8\text{ }^{\circ}\text{C}$

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

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

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

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

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 m³/s ja poistoilmavirta on 1,5 m³/s. Seuraavassa lasketaan samalle koneelle yhtä suuria ilmavirtoja 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 D2 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 tämän liitteen luvussa 5 esitettyä menetelmää. Määräysten vaatimus 45 % 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 luvussa 3.2 olleen esimerkin virastotalon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde. Rakennuksessa on kaksi LTO:lla varustettua ilmanvaihtokonetta (LTO1 ja LTO2) ja kaksi erillistä koneellista poistoa (huippumurit: 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

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

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

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

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

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

Koko rakennuksen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on

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

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

Rakennuksen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde ei ole vaatimuksen mukainen vaan lisääntynyt lämpöhäviö on tasattava esimerkiksi vaippaa parantamalla.

Lasketut arvot syötetään tasauslaskentalomakkeeseen seuraavasti:

ILMANVAIHTO	Poistoilmavirta, m^3/s [q_v, p]		LTO:n vuosihyötysuhde, % [η_a]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo
Hallittu ilmanvaihto				
Lämpimät tilat		2,600	45	30
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta		0,100		0

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
-------	-------	--

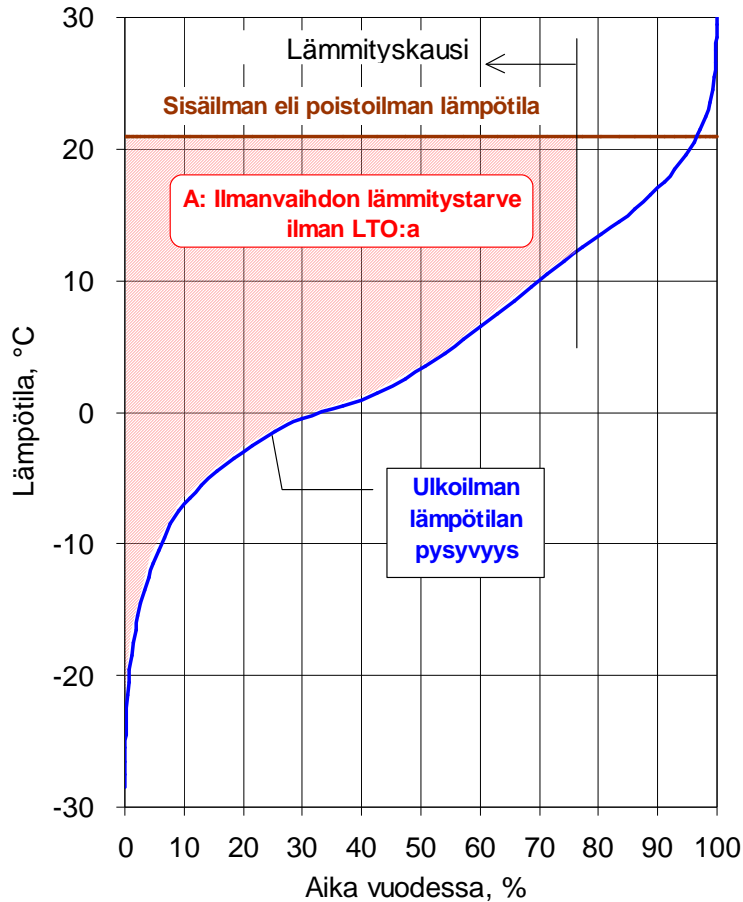
Yhtälö (12) voidaan esittää lämmöntarveluvun avulla myös yksinkertaisemmassa muodossa

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

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 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. 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} .

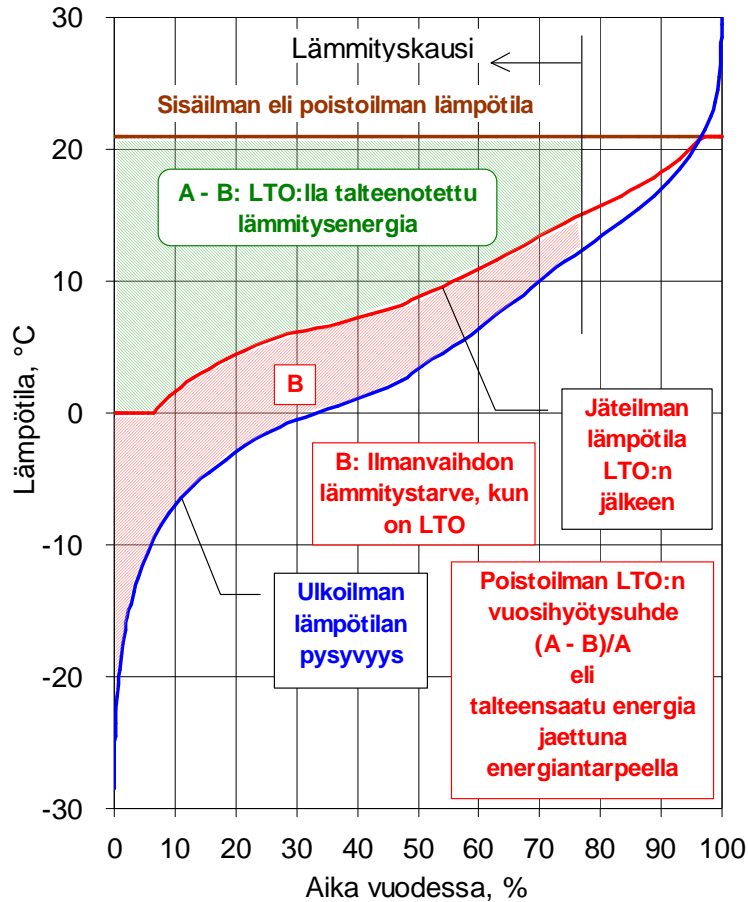
Yhtälössä (18) summalausekkeen sisälämpötilan ja jäteilman lämpötilan erotuksen ja aikajakson tulo vastaa sisäilman ja jäteilman välistä lämmöntarvelukua S_J

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

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 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$: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

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

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

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

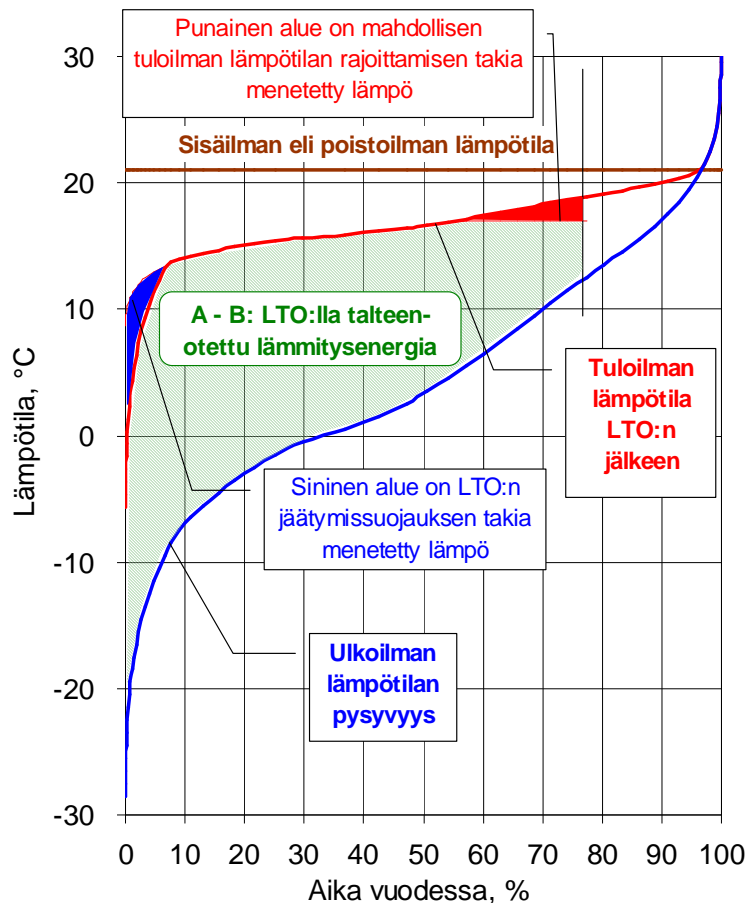
missä S_T on LTO:n jälkeisen tuloilman lämpötilan t_{LTO} ja ulkoilma lämpötilan t_u välinen lämmöntarveluku lämmityskaudella, Kd

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 jäätyminenesto on toteutettu rajoittamalla jäteilman 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 hyötysuhteiden yhteyttä, joka on esitetty kohdassa 4.1.

Jäteilman 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 jäteilman lämpötilaa $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja tavanomaisissa asuintiloissa $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$, jos laitteen valmistaja, jäätyssuojaus 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.

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

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

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

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

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

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 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 Laskentaesimerkkejä

6.1 Pientaloesimerkki

Lähtötiedot:

Esimerkkikohteena on 1-kerroksinen pientalo, jonka maanpäällisten kerrosten kerrostasoala on 163 m². 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 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 käyttää 38 %:n vuosihyötysuhdetta (0,6 x 63 %). Tämä ei kuitenkaan riitä tasaukseen vaan on tehtävä erillinen selvitys rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän 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 tulopuolen 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 lämpöhäviövaatimukset.

Taulukko 3. Pientalon poistoilman lämmöntalteenoton esimerkkilaskelma.

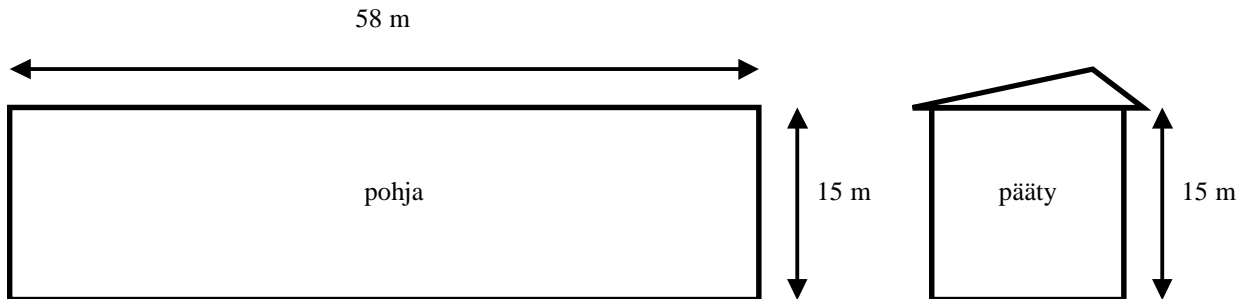
t_u °C	Aika vuodesta, %	$t_{LTO}, °C$ maks.	$t_j, °C$ min.	t_s °C	t_j °C	t_{LTO} °C	R_{LTO}	η_t	η_p	S_s, Kd ($t_s - t_u$)	S_T, Kd ($t_{LTO} - t_u$)	S_J, Kd ($t_s - t_j$)
-30	0,011	17	5	21	5,0	-12,2	0,9	0,35	0,31	2	1	1
-29	0,034	17	5	21	5,0	-11,2	0,9	0,36	0,32	4	1	1
-28	0,057	17	5	21	5,0	-10,2	0,9	0,36	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 vuosihyötysuhteeksi tulee

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

6.2 Toimistotaloesimerkki

Esimerkkikohteena on 4-kerroksinen toimistotalo, jonka maanpäällisten kerrosten kerrostasoala on 3 480 m².



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, joten laskelmissa voidaan käyttää 33 %:n vuosihyötysuhdetta (0,6 x 55 %). Tällä arvolla tasauslaskelmat eivät kuitenkaan täyty, joten tarvitaan ilmanvaihdon lämmöntalteenoton 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 "Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen 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

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

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

Lisäksi rakennuksen joissakin tiloissa (mm. jätehuone, viileät varastot) LTO osoitettiin epätarkoituksenmukaiseksi D2:n ohjeen 4.1.3.1 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 pysyvyyskäyrän yli paloittain (taulukko 4) kuten edellisessä esimerkissä, saadaan rakennuksen

ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteeksi 45 %. Ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteeksi saadaan 55 % ($=S_T/S_S$). Lämmöntalteenoton lisäselvityksen avulla rakennus täyttää lämpöhäviövaatimuksen..

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

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

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

7 Säätiedot ja lämmöntarveluvut

7.1 Ulkolämpötilojen pysyvyystiedot

Taulukossa 7 olevat ulkolämpötilojen pysyvyystiedot ovat Ilmatieteen laitoksen testivuoden 1979 tietoja. Rakennuksen ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskenta tulee yleensä tehdä rakennuksen sijaintipaikkaa lähinnä vastaavilla ulkolämpötilatiedoilla.

Taulukko 5. Rakennuksen ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskennassa voidaan käyttää esimerkiksi alla olevia Ilmatieteen laitoksen testivuoden 1979 [Tammelin & Erkiö 1987] [RakMk osa D5/2007] ulkoilman lämpötilasta laskettuja pysyvyystietoja. Prosenttiosuus ilmoittaa, kuinka suuri osuus vuodesta on kyseistä ulkoilman lämpötilaa kylmempi.

Ulkoilman lämpötila, °C	Helsinki, %	Jokioinen, %	Jyväskylä, %	Sodankylä, %	Ulkoilman lämpötila, °C	Helsinki, %	Jokioinen, %	Jyväskylä, %	Sodankylä, %
-41				0	-4	18,82	25,90	22,91	35,42
-40				0,011	-3	21,35	29,18	26,29	38,92
-39				0,068	-2	23,44	33,06	29,10	43,44
-38				0,137	-1	27,02	38,25	32,93	47,73
-37		0		0,263	0	32,04	45,60	38,18	52,00
-36		0,031		0,422	1	38,64	54,21	45,47	56,08
-35		0,061	0	0,548	2	43,60	61,07	50,21	59,17
-34		0,107	0,057	0,685	3	47,73	65,95	54,03	61,20
-33		0,122	0,080	0,902	4	51,43	70,76	56,95	63,09
-32		0,153	0,091	1,301	5	54,66	75,03	59,39	65,01
-31	0	0,198	0,171	1,667	6	57,16	77,95	62,07	67,52
-30	0,011	0,244	0,263	2,066	7	59,26	80,60	63,95	70,48
-29	0,034	0,290	0,377	2,603	8	61,37	83,17	65,96	73,01
-28	0,057	0,336	0,548	3,071	9	64,09	86,03	68,37	75,98
-27	0,137	0,366	0,753	3,539	10	66,84	88,74	70,88	78,39
-26	0,217	0,641	0,902	4,018	11	69,43	91,12	73,74	80,76
-25	0,297	0,946	1,210	4,578	12	72,49	93,51	76,39	83,71
-24	0,365	1,160	1,553	5,194	13	76,18	94,78	79,26	86,43
-23	0,514	1,511	1,975	6,016	14	80,27	96,08	82,74	88,70
-22	0,799	1,984	2,432	6,804	15	83,90	97,08	85,79	91,05
-21	1,164	2,473	2,911	7,591	16	87,31	97,73	88,69	93,22
-20	1,461	2,930	3,368	8,425	17	90,70	98,11	91,07	94,71
-19	1,678	3,480	3,984	9,326	18	93,31	98,32	93,24	96,13
-18	2,203	4,121	4,749	10,06	19	95,25	98,57	94,90	97,36
-17	2,568	4,869	5,731	10,91	20	96,61	98,89	96,35	98,17
-16	3,219	5,998	6,963	11,84	21	97,52	99,13	97,52	98,82
-15	3,790	6,929	7,740	12,87	22	98,44	99,27	98,39	99,24
-14	4,600	8,410	8,402	14,09	23	99,13	99,53	99,00	99,63
-13	5,913	9,615	9,064	15,75	24	99,36	99,76	99,35	99,83
-12	6,963	10,49	9,680	17,49	25	99,74	99,88	99,69	99,97
-11	7,831	11,43	10,45	19,33	26	99,90	99,98	99,86	100,00
-10	8,893	12,84	11,95	21,44	27	99,94	100,00	99,95	
-9	10,22	14,12	13,32	23,48	28	99,97		100,00	
-8	11,63	15,92	14,51	25,75	29	100,00			
-7	12,91	17,99	15,96	27,65					
-6	14,74	20,71	17,71	29,67					
-5	16,62	23,18	19,90	32,02					

7.2 Lämmöntarveluvun laskenta

Lämmöntarveluvut lasketaan pysyvyyskäyrän avulla lämpötila-alue kerrallaan alla olevilla kaavoilla

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

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

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

missä	S_S	on sisäilman lämpötilan t_s ja ulkoilman lämpötilan t_u välinen lämmöntarveluku, Kd
	S_T	LTO:n jälkeisen tuloilman lämpötilan t_{iLTO} ja ulkoilma 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. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Helsinki. 348 s. ISBN 951-96098-0-6

Osa C3 Rakennusten lämmöneristys. Määräykset 2010. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriö, rakennetun ympäristön osasto. Helsinki 2008.

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

Osa D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2010. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriö, rakennetun ympäristön osasto. Helsinki 2008. 30 s.

Osa D5 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohjeet 2007. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriö, asunto- ja rakennusosasto. Helsinki 2007.

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

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 ilmapuhdistuslaitteiden tyyppihyväksynnästä. Tyyppihyväksyntäohjeet 2008. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriö, rakennetun ympäristön osasto. Helsinki 2008. 12 s.

Ympäristöministeriön asetus ilmapuhdistuslaitteiden tyyppihyväksynnästä. Tyyppihyväksyntäohjeet 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/(m²K)

2. Kerrostaloesimerkit

- Esimerkki 1: kerrostalo, jonka ilmanpitävyys on vertailutasoa parempi, $n_{50} = 0,8$ 1/h
Esimerkki 2: kerrostalo, jonka lämpöhäviö vastaa matalaenergiarakennuksen lämpöhäviötasoa (lämpöhäviö on enintään 85 % vertailutasosta)

3. Toimistotalot

- Esimerkki 1: toimistotalo, jonka julkisivuista puolet on lasia
Esimerkki 2: toimistotalo, jossa on kaksoisjulkisivu, ulkoseinä on kokonaan lasia, välitila on puolilämmin

4. Teollisuusrakennukset

- Esimerkki 1: vertailutasoa pienempi ikkunapinta-ala, vaippa on kevytbetonirakenteinen, U-arvo 0,28 W/(m²K)

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 m².

Kohteessa on haluttu käyttää suuria ikkunapintoja. Suuren ikkunapinta-alan takia talon vaipan lämpöhäviö olisi 23 % suurempi kuin vertailuratkaisun. Vaipan lämpöhäviö saa olla enintään 30 % suurempi kuin vertailulämpöhäviö. Vaikka vaipan lämpöhäviö pysyy vielä sallituissa rajoissa, tasataan syntynyttä lämpöhäviötä myös 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/(m²K) arvoon 0,8 W/(m²K). Ovien U-arvoa parannetaan arvosta 1,0 W/(m²K) arvoon 0,7 W/(m²K). Ilmanpitävyyteen kiinnitetään huomiota rakennusvaiheessa ja ennen rakennuksen käyttöönottoa mitattu ilmanvuotoluku on 1,8 l/h.

Ilmanvaihdon lämpöhäviötä pienennetään valitsemalla vertailutasoa parempi ilmanvaihdon lämmöntalteenottolaite, jolla ilmanvaihtojärjestelmän lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde saadaan nostettua 45 %:sta 60 %:iin. Ilmanvaihtokoneesta tehdyn erillisen selvityksen mukaan LTO:n vuosihyötysuhde on 60 %, jota voidaan käyttää lämpöhäviöiden tasauksessa.

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

Rakennuskohde	Pientalo 1
Rakennuslupatunnus	
Rakennustyyppi	1-kerroksinen pientalo, ikkunapinta-ala 30 % kerrostasosalasta.
Pääsuunnittelija	
Tasauslaskelman tekijä	
Päiväys	
Tulos: Suunnitteluratkaisu	TÄYTTÄÄ VAATIMUKSET

Rakennuksen laajuustiedot

Rakennustilavuus	522 rak-m ³
Maanpäälliset kerrostasosalat yhteensä	163 m ²
Kerroskorkeus	3,0 m
Huonekorkeus	2,6 m
Ilmatilavuus, V, lämpimät tilat	382 m ³
Ilmatilavuus, V, puoli-lämpimät tilat	m ³

Lasketatuloksia

Julkisivun pinta-ala on 146 m²
Ikkunapinta-ala on 30 % maanpäällisestä kerrostasosalasta
Ikkunapinta-ala on 34 % julkisivun pinta-alasta
Lämpöhäviö on 98 % vertailutasosta (lämpimät tilat)

RAKENNUSOSAT	Pinta-alat, m ² [A]		U-arvot, W/(m ² K) [U]			Lämpöhäviöiden tasaus	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Enimmäis- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Lämpimät tilat							
Ulkoseinä	113	89	0,17	0,60	0,17	19,2	15,0
Hirsiseinä			0,40	0,60		-	-
Yläpohja	147	147	0,09	0,60	0,09	13,2	13,2
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,09	0,60		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹⁾			0,17	0,60		-	-
Alapohja (maanvastainen)		147	0,16	0,60	0,16	23,5	23,5
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16	0,60		-	-
Ikkunat	24,5	49,0	1,00	1,80	0,80	24,5	39,2
Ulko-ovet	8,2		1,00	-	0,70	8,2	5,7
Kattoikkunat			1,00	1,80		-	-
Lämpimät tilat yhteensä	440	440				88,7	96,7
Puoli-lämpimät tilat							
Ulkoseinä			0,26	0,60		-	-
Hirsiseinä			0,60	0,60		-	-
Yläpohja			0,14	0,60		-	-
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,14	0,60		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹⁾			0,26	0,60		-	-
Alapohja (maanvastainen)			0,24	0,60		-	-
Muu maanvastainen rakennusosa			0,24	0,60		-	-
Ikkunat			1,40	2,80		-	-
Ulko-ovet			1,40	-		-	-
Kattoikkunat			1,40	2,80		-	-
Puoli-lämpimät tilat yhteensä	-	-				-	-
VAIPAN ILMAVUODOT							
Vuotoilma							
Lämpimät tilat	2,0	1,8	0,0085		0,0076	10,2	9,2
Puoli-lämpimät tilat	2,0					-	-
ILMANVAIHTO							
Hallittu ilmanvaihto							
Lämpimät tilat		0,053	45		60	35,0	25,4
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0			-	-
Puoli-lämpimät tilat			45			-	-
Puoli-lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0			-	-
Ominaislämpöhäviö, W/K [H = H _{joht} + H _{vuotoilma} + H _{iv}]							
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus							
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä						134	131
Puoli-lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä						-	-

© Ympäristöministeriö, Tasauslaskin 2010 (versio helmikuu 2009)

¹⁾ Ryömintätilaan rajoittuvan alapohjan lämpöhäviö kerrotaan luvulla 0,8 rakentamismääräyksen osan D3 mukaisesti.
Tällä tavalla otetaan huomioon ryömintätilan ilman ulkoilmaa korkeampi vuotuinen keskilämpötila.
Ryömintätilan tuuletusaukkojen määrä on enintään 8 promillea alapohjan pinta-alasta.

Rakennuskohde	Pientalo 1
Rakennuslupatunnus	

Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden tarkistuslista

Pinta-alat (osa C3)		<table border="1"><tr><td>kyllä</td><td>ei</td></tr><tr><td>V</td><td></td></tr></table>	kyllä	ei	V	
kyllä	ei					
V						
Vertailuikkunapinta-ala on 15 % yhteenlasketuista maanpäällisistä kerrostasoaloista, mutta kuitenkin enintään 50 % julkisivujen pinta-alasta						
Rakennusosien yhteenlaskettu pinta-ala sama molemmissa ratkaisussa						
- lämpimissä tiloissa		<table border="1"><tr><td>V</td><td></td></tr><tr><td></td><td></td></tr></table>	V			
V						
- puolilämpimissä tiloissa		<table border="1"><tr><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td></tr></table>				

Rakennusosien U-arvot ja vaipan lämpöhäviö (osa C3)		<table border="1"><tr><td>kyllä</td><td>ei</td></tr><tr><td>V</td><td></td></tr></table>	kyllä	ei	V									
kyllä	ei													
V														
U-arvot ovat enintään enimmäisarvojen suuruisia														
Vaipan suunnittelu- ja vertailuratkaisun ominaislämpöhäviön suhde on enintään 1,3		<table border="1"><tr><td></td><td></td><td>Enimmäisarvo</td><td>Toteutunut arvo</td></tr><tr><td>V</td><td></td><td>1,3</td><td>1,09</td></tr><tr><td></td><td></td><td>1,3</td><td></td></tr></table>			Enimmäisarvo	Toteutunut arvo	V		1,3	1,09			1,3	
		Enimmäisarvo	Toteutunut arvo											
V		1,3	1,09											
		1,3												
- lämpimissä tiloissa														
- puolilämpimissä tiloissa														

Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus (D3)		<table border="1"><tr><td>kyllä</td><td>ei</td></tr><tr><td>V</td><td></td></tr></table>	kyllä	ei	V		Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo
kyllä	ei							
V								
Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään vertailuratkaisun suuruinen								
- lämpimissä tiloissa			134 W/K	131 W/K				
- puolilämpimissä tiloissa								

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

Lisäselvitykset	
Rakennuksen vuotoilma (osa D3)	
Jos lämpöhäviölaskelmissa vaipan ilmanvuotoluvun n_{50} suunnitteluarvo on alle 4 1/h, ilmanpitävyydestä on esitettävä selvitys	
Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) hyötysuhde (osa D2)	
Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittämisestä on esitettävä selvitys	

© Ympäristöministeriö, Tasaustalaskin 2010 (versio helmikuu 2009)

Matalaenergiarakennuksen lämpöhäviötaso (osa D3)

Kun suunnitellaan matalaenergiarakennusta, tulisi rakennuksen laskennallisen lämpöhäviön olla enintään 85 % rakennukselle määritetystä vertailulämpöhäviöstä. Tällöin vertailulämpöhäviön laskennassa käytetään hirsiseinille lämmönläpäisykerroimen vertailuarvoa 0,17 W/m ² K lämpimissä tiloissa ja 0,26 W/m ² K puolilämpimissä tiloissa.										
Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään 85 % vertailuratkaisun ominaislämpöhäviöstä		<table border="1"><tr><td>kyllä</td><td>ei</td></tr><tr><td></td><td>X</td></tr></table>	kyllä	ei		X				
kyllä	ei									
	X									
- lämpimissä tiloissa		<table border="1"><tr><td></td><td></td><td>85 % vertailu- arvo</td><td>Suunnittelu- arvo</td></tr><tr><td></td><td></td><td>114 W/K</td><td>131 W/K</td></tr></table>			85 % vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo			114 W/K	131 W/K
		85 % vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo							
		114 W/K	131 W/K							
- puolilämpimissä tiloissa										
Suunnitteluratkaisu vastaa matalaenergiarakennuksen lämpöhäviötasoa		<table border="1"><tr><td></td><td>X</td></tr></table>		X						
	X									

1.2 Ei lämmöntalteenottoa

Esimerkkikohteena on 1-kerroksinen pientalo, jonka maanpäällisten kerrosten kerrostasoala on 163 m².

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 n_{50} arvoksi osoittautui 1,1 1/h, joka on parempi kuin vertailuarvo 2,0 1/h

Vaipan lämpöhäviötä pienennetään parantamalla yläpohjan U-arvoa arvosta 0,09 W/(m²K) arvoon 0,07 W/(m²K), alapohjan U-arvoa arvosta 0,16 W/(m²K) arvoon 0,10 W/(m²K), ulkoseinän U-arvoa arvosta 0,17 W/(m²K) arvoon 0,12 W/(m²K), ikkunoiden U-arvoa arvosta 1,0 W/(m²K) arvoon 0,8 W/(m²K) ja ovien U-arvoa arvosta 1,0 W/(m²K) arvoon 0,7 W/(m²K).

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

Rakennuskohde	Pientalo 2
Rakennuslupatunnus	
Rakennustyyppi	1-kerroksinen pientalo, ilmanvaihto toteutettu ilman LTO:a
Pääsuunnittelija	
Tasauslaskelman tekijä	
Päiväys	
Tulos: Suunnitteluratkaisu	TÄYTTÄÄ VAATIMUKSET

Rakennuksen laajuustiedot

Rakennustilavuus	522 rak-m ³
Maanpäälliset kerrostasosalat yhteensä	163 m ²
Kerroskorkeus	3,0 m
Huonekorkeus	2,6 m
Ilmatilavuus, V, lämpimät tilat	382 m ³
Ilmatilavuus, V, puoli-lämpimät tilat	m ³

Lasketatuloksia

Julkisivun pinta-ala on 146 m²
 Ikkunapinta-ala on 15 % maanpäällisestä kerrostasosalasta
 Ikkunapinta-ala on 17 % julkisivun pinta-alasta
 Lämpöhäviö on 99 % vertailutasosta (lämpimät tilat)

PERUSTIEDOT	Pinta-alat, m ²		U-arvot, W/(m ² K)			Lämpöhäviöiden tasaus	
	Vertailu-arvo	Suunnittelu-arvo	Vertailu-arvo	Enimmäisarvo	Suunnittelu-arvo	Vertailu-ratkaisu	Suunnittelu-ratkaisu
RAKENNUSOSAT							
Lämpimät tilat							
Ulkoseinä	113	113	0,17	0,60	0,12	19,2	13,6
Hirsiseinä			0,40	0,60		-	-
Yläpohja	147	147	0,09	0,60	0,07	13,2	10,3
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,09	0,60		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹⁾			0,17	0,60		-	-
Alapohja (maanvastainen)	147		0,16	0,60	0,10	23,5	14,7
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16	0,60		-	-
Ikkunat	24,5	24,5	1,00	1,80	0,80	24,5	19,6
Ulko-ovet	8,2		1,00	-	0,70	8,2	5,7
Kattoikkunat			1,00	1,80		-	-
Lämpimät tilat yhteensä	440	440				88,7	63,9
Puoli-lämpimät tilat							
Ulkoseinä			0,26	0,60		-	-
Hirsiseinä			0,60	0,60		-	-
Yläpohja			0,14	0,60		-	-
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,14	0,60		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹⁾			0,26	0,60		-	-
Alapohja (maanvastainen)			0,24	0,60		-	-
Muu maanvastainen rakennusosa			0,24	0,60		-	-
Ikkunat			1,40	2,80		-	-
Ulko-ovet			1,40	-		-	-
Kattoikkunat			1,40	2,80		-	-
Puoli-lämpimät tilat yhteensä	-	-				-	-
VAIPAN ILMAVUODOT							
Vuotoilma							
Lämpimät tilat	2,0	1,1	0,0085		0,0047	10,2	5,6
Puoli-lämpimät tilat	2,0					-	-
ILMANVAIHTO							
Hallittu ilmanvaihto							
Lämpimät tilat		0,053	45		0	35,0	63,6
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta					0	-	-
Puoli-lämpimät tilat			45			-	-
Puoli-lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta					0	-	-
Ominaislämpöhäviö, W/K							
[H = H_{joht} + H_{vuotoilma} + H_{iv}]							
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus							
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä						134	133
Puoli-lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä						-	-

© Ympäristöministeriö, Tasauslaskin 2010 (versio helmikuu 2009)

¹⁾ Ryömintätilaan rajoittuvan alapohjan lämpöhäviö kerrotaan luvulla 0,8 rakentamismääräyksen osan D3 mukaisesti.
 Tällä tavalla otetaan huomioon ryömintätilan ilman ulkoilmaa korkeampi vuotuinen keskilämpötila.
 Ryömintätilan tuuletusaukkojen määrä on enintään 8 promillea alapohjan pinta-alasta.

Rakennuskohde	Pientalo 2
Rakennuslupatunnus	

Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden tarkistuslista

Pinta-alat (osa C3)			
Vertailuikkunapinta-ala on 15 % yhteenlasketuista maanpäällisistä kerrostasoaloista, mutta kuitenkin enintään 50 % julkisivujen pinta-alasta		kyllä V	ei
Rakennusosien yhteenlaskettu pinta-ala sama molemmissa ratkaisussa			
- lämpimissä tiloissa		V	
- puolilämpimissä tiloissa			

Rakennusosien U-arvot ja vaipan lämpöhäviö (osa C3)					
U-arvot ovat enintään enimmäisarvojen suuruisia		kyllä V	ei 		
Vaipan suunnittelu- ja vertailuratkaisun ominaislämpöhäviön suhde on enintään 1,3				Enimmäisarvo	Toteutunut arvo
- lämpimissä tiloissa		V		1,3	0,72
- puolilämpimissä tiloissa				1,3	

Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus (D3)				Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo
Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään vertailuratkaisun suuruinen		kyllä V	ei 		
- lämpimissä tiloissa				134 W/K	133 W/K
- puolilämpimissä tiloissa					

Tarkistuslistan yhteenveto			
Suunnitteluratkaisu täyttää lämpöhäviövaatimukset		kyllä V	ei

Lisäselvitykset	
Rakennuksen vuotoilma (osa D3)	
Jos lämpöhäviöläaskelmissä vaipan ilmanvuotoluvun n_{50} suunnittelu-arvo on alle 4 1/h, ilmanpitävyydestä on esitettävä selvitys	
Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) hyötysuhde (osa D2)	
Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittämisestä on esitettävä selvitys	

© Ympäristöministeriö, Tasaustalaskin 2010 (versio helmikuu 2009)

Matalaenergiarakennuksen lämpöhäviötaso (osa D3)

Kun suunnitellaan matalaenergiarakennusta, tulisi rakennuksen laskennallisen lämpöhäviön olla enintään 85 % rakennukselle määritetystä vertailulämpöhäviöstä. Tällöin vertailulämpöhäviön laskennassa käytetään hirsiseinille lämmönläpäisykerroimen vertailuarvoa 0,17 W/m ² K lämpimissä tiloissa ja 0,26 W/m ² K puolilämpimissä tiloissa.					
Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään 85 % vertailuratkaisun ominaislämpöhäviöstä				85 % vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo
- lämpimissä tiloissa			X	114 W/K	133 W/K
- puolilämpimissä tiloissa					
Suunnitteluratkaisu vastaa matalaenergiarakennuksen lämpöhäviötasoa			X		

1.3 Hirsitalo

Esimerkkikohteena on 1-kerroksinen pientalo, jonka maanpäällisten kerrosten kerrostasoala on 154 m².

Kohteessa on haluttu käyttää ulkoseinissä eristämätöntä massiivihirttä. Seinärakenteen U-arvo on 0,53 W/(m²K). Tässä kohteessa vaipan lämpöhäviötä pienennetään parantamalla alapohjan, ovien ja ikkunoiden U-arvoja. Ilmanpitävyyttä ei osoiteta mittaamalla tai muulla menettelyllä, joten ilmanvuotolukuna käytetään arvoa 4,0 l/h. Lämmöntalteenoton osalta valitaan käytettäväksi ratkaisu, joka erillisen selvityksen mukaan kykenee 60 %:n vuosihyötysuhteeseen.

Vaipan lämpöhäviötä pienennetään parantamalla alapohjan U-arvoa arvosta 0,16 W/(m²K) arvoon 0,10 W/(m²K), ikkunoiden U-arvoa arvosta 1,0 W/(m²K) arvoon 0,8 W/(m²K) ja ovien U-arvoa arvosta 1,0 W/(m²K) arvoon 0,7 W/(m²K).

Parannusten jälkeen rakennuksen yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö on yhtenevä vertailulämpöhäviön kanssa. Suunnitteluratkaisu täyttää lämpöhäviövaatimuksen.

Rakennuskohde	Pientalo 3
Rakennuslupatunnus	
Rakennustyyppi	1-kerroksinen pientalo, ulkoseinä massiivihirttä, U-arvo 0,53 W/(m²K)
Pääsuunnittelija	
Tasauslaskelman tekijä	
Päiväys	
Tulos: Suunnitteluratkaisu	TÄYTTÄÄ VAATIMUKSET

Rakennuksen laajuustiedot

Rakennustilavuus	493 rak-m³
Maanpäälliset kerrostasosalat yhteensä	154 m²
Kerroskorkeus	3,0 m
Huonekorkeus	2,6 m
Ilmatilavuus, V, lämpimät tilat	382 m³
Ilmatilavuus, V, puoliämpimät tilat	m³

Lasketatuloksia

Julkisivun pinta-ala on 146 m²
 Ikkunapinta-ala on 15 % maanpäällisestä kerrostasosalasta
 Ikkunapinta-ala on 16 % julkisivun pinta-alasta
 Lämpöhäviö on 100 % vertailutasosta (lämpimät tilat)

RAKENNUSOSAT	Pinta-alat, m² [A]		U-arvot, W/(m² K) [U]			Lämpöhäviöiden tasaus	
	Vertailu-arvo	Suunnittelu-arvo	Vertailu-arvo	Enimmäisarvo	Suunnittelu-arvo	Vertailuratkaisu	Suunnittelu-ratkaisu
Lämpimät tilat							
Ulkoseinä			0,17	0,60		-	-
Hirsiseinä	115	115	0,40	0,60	0,53	46,0	61,0
Yläpohja	147	147	0,09	0,60	0,09	13,2	13,2
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,09	0,60		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹⁾			0,17	0,60		-	-
Alapohja (maanvastainen)		147	0,16	0,60	0,10	23,5	14,7
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16	0,60		-	-
Ikkunat	23,1	23,1	1,00	1,80	0,80	23,1	18,5
Ulko-ovet		8,2	1,00	-	0,70	8,2	5,7
Kattoikkunat			1,00	1,80		-	-
Lämpimät tilat yhteensä	440	440				114,1	113,1
Puoliämpimät tilat							
Ulkoseinä			0,26	0,60		-	-
Hirsiseinä			0,60	0,60		-	-
Yläpohja			0,14	0,60		-	-
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,14	0,60		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹⁾			0,26	0,60		-	-
Alapohja (maanvastainen)			0,24	0,60		-	-
Muu maanvastainen rakennusosa			0,24	0,60		-	-
Ikkunat			1,40	2,80		-	-
Ulko-ovet			1,40	-		-	-
Kattoikkunat			1,40	2,80		-	-
Puoliämpimät tilat yhteensä	-	-				-	-
VAIPAN ILMAVUODOT							
Vuotoilma							
	Ilmanvuotoluku, 1/h [n ₅₀]		Vuotoilmavirta, m³/s [q _{v,v} = n ₅₀ /25 x V/3600]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{vuotoilma} = 1200 x q _{v,v}]		
	Vertailu-arvo	Suunnittelu-arvo	Vertailu-arvo	Suunnittelu-arvo	Vertailuratkaisu	Suunnittelu-ratkaisu	
Lämpimät tilat	2,0	4,0	0,0085	0,0170	10,2	20,4	
Puoliämpimät tilat	2,0				-	-	
ILMANVAIHTO							
Hallittu ilmanvaihto							
	Poistoilmavirta, m³/s [q _{v,p}]		LTO:n vuosihyötysuhde, % [η _a]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{lv} = 1200 x q _{v,p} x (1-η _a)]		
	Vertailu-arvo	Suunnittelu-arvo	Vertailu-arvo	Suunnittelu-arvo	Vertailuratkaisu	Suunnittelu-ratkaisu	
Lämpimät tilat	0,053		45	60	35,0	25,4	
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-	
Puoliämpimät tilat			45		-	-	
Puoliämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-	
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus							
	Ominaislämpöhäviö, W/K [H = H _{joht} + H _{vuotoilma} + H _{lv}]						
	Vertailuratkaisu	Suunnittelu-ratkaisu					
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä					159	159	
Puoliämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä					-	-	

© Ympäristöministeriö, Tasauslaskin 2010 (versio helmikuu 2009)

¹⁾ Ryömintätilaan rajoittuvan alapohjan lämpöhäviö kerrotaan luvulla 0,8 rakentamismääräyksen osan D3 mukaisesti.
 Tällä tavalla otetaan huomioon ryömintätilan ilman ulkoilmaa korkeampi vuotuinen keskilämpötila.
 Ryömintätilan tuuletusaukkojen määrä on enintään 8 promillea alapohjan pinta-alasta.

Rakennuskohde	Pientalo 3
Rakennuslupatunnus	

Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden tarkistuslista

Pinta-alat (osa C3)		<table border="1"><tr><td>kyllä</td><td>ei</td></tr><tr><td>V</td><td></td></tr></table>	kyllä	ei	V	
kyllä	ei					
V						
Vertailuikkunapinta-ala on 15 % yhteenlasketuista maanpäällisistä kerrostasoaloista, mutta kuitenkin enintään 50 % julkisivujen pinta-alasta						
Rakennusosien yhteenlaskettu pinta-ala sama molemmissa ratkaisussa						
- lämpimissä tiloissa		<table border="1"><tr><td>V</td><td></td></tr><tr><td></td><td></td></tr></table>	V			
V						
- puolilämpimissä tiloissa		<table border="1"><tr><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td></tr></table>				

Rakennusosien U-arvot ja vaipan lämpöhäviö (osa C3)		<table border="1"><tr><td>kyllä</td><td>ei</td></tr><tr><td>V</td><td></td></tr></table>	kyllä	ei	V									
kyllä	ei													
V														
U-arvot ovat enintään enimmäisarvojen suuruisia														
Vaipan suunnittelu- ja vertailuratkaisun ominaislämpöhäviön suhde on enintään 1,3		<table border="1"><tr><td></td><td></td><td>Enimmäisarvo</td><td>Toteutunut arvo</td></tr><tr><td>V</td><td></td><td>1,3</td><td>0,99</td></tr><tr><td></td><td></td><td>1,3</td><td></td></tr></table>			Enimmäisarvo	Toteutunut arvo	V		1,3	0,99			1,3	
		Enimmäisarvo	Toteutunut arvo											
V		1,3	0,99											
		1,3												
- lämpimissä tiloissa														
- puolilämpimissä tiloissa														

Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus (D3)		<table border="1"><tr><td>kyllä</td><td>ei</td></tr><tr><td>V</td><td></td></tr></table>	kyllä	ei	V		Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo
kyllä	ei							
V								
Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään vertailuratkaisun suuruinen								
- lämpimissä tiloissa			159 W/K	159 W/K				
- puolilämpimissä tiloissa								

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

Lisäselvitykset	
Rakennuksen vuotoilma (osa D3)	
Jos lämpöhäviölaskelmissa vaipan ilmanvuotoluvun n_{50} suunnittelu-arvo on alle 4 1/h, ilmanpitävyydestä on esitettävä selvitys	
Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) hyötysuhde (osa D2)	
Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittämisestä on esitettävä selvitys	

© Ympäristöministeriö, Tasaustalaskin 2010 (versio helmikuu 2009)

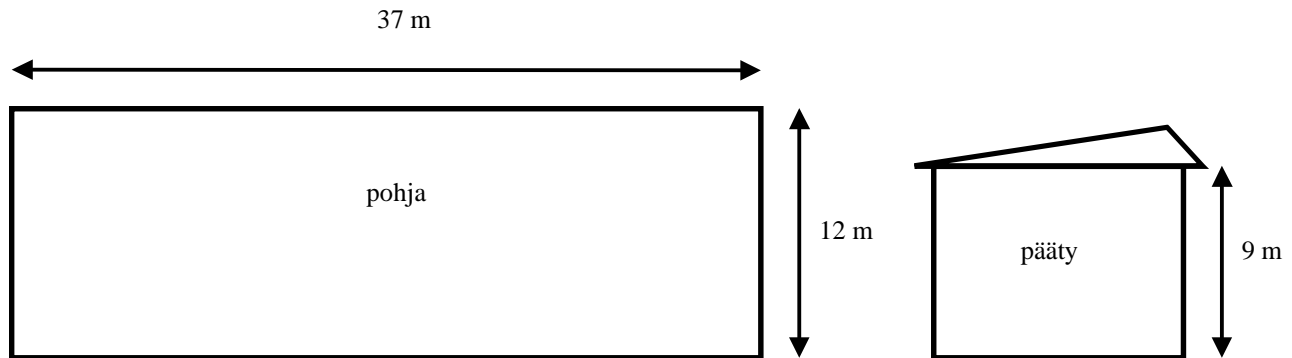
Matalaenergiarakennuksen lämpöhäviötaso (osa D3)

Kun suunnitellaan matalaenergiarakennusta, tulisi rakennuksen laskennallisen lämpöhäviön olla enintään 85 % rakennukselle määritetystä vertailulämpöhäviöstä. Tällöin vertailulämpöhäviön laskennassa käytetään hirsiseinille lämmönläpäisykerroimen vertailuarvoa 0,17 W/m ² K lämpimissä tiloissa ja 0,26 W/m ² K puolilämpimissä tiloissa.											
Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään 85 % vertailuratkaisun ominaislämpöhäviöstä		<table border="1"><tr><td>kyllä</td><td>ei</td></tr><tr><td></td><td>X</td></tr></table>	kyllä	ei		X	<table border="1"><tr><td>85 % vertailu- arvo</td><td>Suunnittelu- arvo</td></tr><tr><td>113 W/K</td><td>159 W/K</td></tr></table>	85 % vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	113 W/K	159 W/K
kyllä	ei										
	X										
85 % vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo										
113 W/K	159 W/K										
- lämpimissä tiloissa											
- puolilämpimissä tiloissa											
Suunnitteluratkaisu vastaa matalaenergiarakennuksen lämpöhäviötasoa		<table border="1"><tr><td></td><td>X</td></tr></table>		X							
	X										

2 Asuinkerrostaloesimerkit

2.1 Parempi ilmanpitävyys

Esimerkkikohteena on 3-kerroksinen asuinkerrostalo, jonka maanpäällisten kerrosten kerrostasoala on 1 330 m². Talossa on 17 huoneistoa.



Ulkoseinät ovat betonielementtirakenteisia ja niiden U-arvo on 0,17 W/(m²K). Muidenkin vaipan rakennusosien U-arvot ovat vertailuarvojen mukaisia.

Rakennuksen ilmanpitävyys haluttiin mitata ennen rakennuksen käyttöönottoa. Mittausten mukaan vaipan ilmanvuotoluvun n_{50} arvoksi osoittautui 0,8 1/h, joka on parempi kuin vertailuarvo 2,0 1/h.

Lämpöhäviölaskelma päivitettiin käyttämällä mitattua ilmanpitävyyttä. Laskeman mukaan rakennuksen ominaislämpöhäviö on 3 % pienempi kuin vertailulämpöhäviö. Mitattua ilmanpitävyyden arvoa voidaan käyttää myös energiatodistuksen päivityksessä.

LTO-ratkaisuksi valitaan lämpötilahyötysuhteeltaan 70 %:n laite. Laskelmissa saadaan käyttää 42 %:n vuosihyötysuhdetta (0,6 · 70 %). Lämpötilahyötysuhde osoitetaan laitevalmistajan teettämällä tyyppi hyväksyntämittauksilla.

Rakennuskohde	Asuinkerrostalo 1
Rakennuslupatunnus	
Rakennustyyppi	3-kerroksinen asuinkerrostalo, ilmanpitävyys mitattu ennen käyttöönottoa
Pääsuunnittelija	
Tasauslaskelman tekijä	
Päiväys	
Tulos: Suunnitteluratkaisu	TÄYTTÄÄ VAATIMUKSET

Rakennuksen laajuustiedot

Rakennustilavuus	4 220 rak-m ³
Maanpäälliset kerrostasosalat yhteensä	1 330 m ²
Kerroskorkeus	3,0 m
Huonekorkeus	2,7 m
Ilmatilavuus, V, lämpimät tilat	3 281 m ³
Ilmatilavuus, V, puoliämpimät tilat	m ³

Lasketatuloksia

Julkisivun pinta-ala on 826 m²
 Ikkunapinta-ala on 15 % maanpäällisestä kerrostasosalasta
 Ikkunapinta-ala on 24 % julkisivun pinta-alasta
 Lämpöhäviö on 97 % vertailutasosta (lämpimät tilat)

RAKENNUSOSAT	Pinta-alat, m ² [A]		U-arvot, W/(m ² K) [U]			Lämpöhäviöiden tasaus	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Enimmäis- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Lämpimät tilat							
Ulkoseinä	580	580	0,17	0,60	0,17	98,6	98,6
Hirsiseinä			0,40	0,60		-	-
Yläpohja	405	405	0,09	0,60	0,09	36,5	36,5
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,09	0,60		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹⁾	405		0,17	0,60	0,17	55,1	55,1
Alapohja (maanvastainen)			0,16	0,60		-	-
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16	0,60		-	-
Ikkunat	199,5	199,5	1,00	1,80	1,00	199,5	199,5
Ulko-ovet	46,0		1,00	-	1,00	46,0	46,0
Kattoikkunat			1,00	1,80		-	-
Lämpimät tilat yhteensä	1 636	1 636				435,6	435,6
Puoliämpimät tilat							
Ulkoseinä			0,26	0,60		-	-
Hirsiseinä			0,60	0,60		-	-
Yläpohja			0,14	0,60		-	-
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,14	0,60		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹⁾			0,26	0,60		-	-
Alapohja (maanvastainen)			0,24	0,60		-	-
Muu maanvastainen rakennusosa			0,24	0,60		-	-
Ikkunat			1,40	2,80		-	-
Ulko-ovet			1,40	-		-	-
Kattoikkunat			1,40	2,80		-	-
Puoliämpimät tilat yhteensä	-	-				-	-
VAIPAN ILMAVUODOT							
Vuotoilma							
Lämpimät tilat	2,0	0,8	0,0729		0,0292	87,5	35,0
Puoliämpimät tilat	2,0					-	-
ILMANVAIHTO							
Hallittu ilmanvaihto							
Lämpimät tilat	0,640		45		42	422,4	445,4
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta	0,050		0		0	60,0	60,0
Puoliämpimät tilat			45			-	-
Puoliämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		0	-	-
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus							
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä						1 006	976
Puoliämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä						-	-

© Ympäristöministeriö, Tasauslaskin 2010 (versio helmikuu 2009)

¹⁾ Ryömintätilaan rajoittuvan alapohjan lämpöhäviö kerrotaan luvulla 0,8 rakentamismääräyksen osan D3 mukaisesti.
 Tällä tavalla otetaan huomioon ryömintätilan ilman ulkoilmaa korkeampi vuotuinen keskilämpötila.
 Ryömintätilan tuuletusaukkojen määrä on enintään 8 promillea alapohjan pinta-alasta.

Rakennuskohde	Asuinkerrostalo 1
Rakennuslupatunnus	

Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden tarkistuslista

Pinta-alat (osa C3)					
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>V</td> <td></td> </tr> </table>	kyllä	ei	V	
kyllä	ei				
V					
Rakennusosien yhteenlaskettu pinta-ala sama molemmissa ratkaisussa					
- lämpimissä tiloissa	<table border="1"> <tr> <td>V</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </table>	V			
V					
- puolilämpimissä tiloissa	<table border="1"> <tr> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </table>				

Rakennusosien U-arvot ja vaipan lämpöhäviö (osa C3)										
U-arvot ovat enintään enimmäisarvojen suuruisia	<table border="1"> <tr> <td>kyllä</td> <td>ei</td> </tr> <tr> <td>V</td> <td></td> </tr> </table>	kyllä	ei	V						
kyllä	ei									
V										
Vaipan suunnittelu- ja vertailuratkaisun ominaislämpöhäviön suhde on enintään 1,3	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>Enimmäisarvo</td> <td>Toteutunut arvo</td> </tr> <tr> <td>V</td> <td>1,3</td> <td>1,00</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1,3</td> <td></td> </tr> </table>		Enimmäisarvo	Toteutunut arvo	V	1,3	1,00		1,3	
	Enimmäisarvo	Toteutunut arvo								
V	1,3	1,00								
	1,3									
- lämpimissä tiloissa										
- puolilämpimissä tiloissa										

Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus (D3)													
Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään vertailuratkaisun suuruinen	<table border="1"> <tr> <td>kyllä</td> <td>ei</td> <td>Vertailu- arvo</td> <td>Suunnittelu- arvo</td> </tr> <tr> <td>V</td> <td></td> <td>1 006 W/K</td> <td>976 W/K</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	kyllä	ei	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	V		1 006 W/K	976 W/K				
kyllä	ei	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo										
V		1 006 W/K	976 W/K										
- lämpimissä tiloissa													
- puolilämpimissä tiloissa													

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

Lisäselvitykset
Rakennuksen vuotoilma (osa D3)
Jos lämpöhäviölaskelmissa vaipan ilmanvuotoluvun n_{50} suunnitteluarvo on alle 4 1/h, ilmanpitävyydestä on esitettävä selvitys
Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) hyötysuhde (osa D2)
Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittämisestä on esitettävä selvitys

© Ympäristöministeriö, Tasaustalaskin 2010 (versio helmikuu 2009)

Matalaenergiarakennuksen lämpöhäviötaso (osa D3)

Kun suunnitellaan matalaenergiarakennusta, tulisi rakennuksen laskennallisen lämpöhäviön olla enintään 85 % rakennukselle määritetystä vertailulämpöhäviöstä. Tällöin vertailulämpöhäviön laskennassa käytetään hirsiseinille lämmönläpäisykerroimen vertailuarvoa 0,17 W/m ² K lämpimissä tiloissa ja 0,26 W/m ² K puolilämpimissä tiloissa.													
Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään 85 % vertailuratkaisun ominaislämpöhäviöstä	<table border="1"> <tr> <td>kyllä</td> <td>ei</td> <td>85 % vertailu- arvo</td> <td>Suunnittelu- arvo</td> </tr> <tr> <td></td> <td>X</td> <td>855 W/K</td> <td>976 W/K</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	kyllä	ei	85 % vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo		X	855 W/K	976 W/K				
kyllä	ei	85 % vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo										
	X	855 W/K	976 W/K										
- lämpimissä tiloissa													
- puolilämpimissä tiloissa													
Suunnitteluratkaisu vastaa matalaenergiarakennuksen lämpöhäviötasoa	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>X</td> </tr> </table>		X										
	X												

2.2 Matalaenergiatalo

Esimerkkikohteena on 5-kerroksinen matalaenergia-asuinkerrostalo, jonka maanpäällisten kerrosten kerrostasoala on 1 656 m². Talossa on 20 huoneistoa.

Suunnitteluratkaisussa ulkoseinien, ikkunoiden ja ovien U-arvot ovat vertailuarvoja paremmat. Samoin ilmanpitävyys ja ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde. Parannukset on suunniteltu siten että niiden yhteisvaikutus johtaa rakennuksen lämpöhäviön asettumisen matalaenergiatasolle.

Suunnitteluratkaisu täyttää lämpöhäviövaatimuksen ja sen lämpöhäviö on lisäksi matalaenergiarakennuksen lämpöhäviötasoa.

Rakennuskohde	Asuikerrostalo 2
Rakennuslupatunnus	
Rakennustyyppi	5-kerroksinen matalaenergia-asuikerrostalo, ilmanpitävyys mitattu ennen käyttöönottoa
Pääsuunnittelija	
Tasauslaskelman tekijä	
Päiväys	
Tulos: Suunnitteluratkaisu	TÄYTTÄÄ VAATIMUKSET JA LÄMPÖHÄVIÖ VASTAA MATALAENERGIATASOA

Rakennuksen laajuustiedot

Rakennustilavuus	5 180 rak-m ³
Maanpäälliset kerrostasosalat yhteensä	1 656 m ²
Kerroskorkeus	3,0 m
Huonekorkeus	2,7 m
Ilmatilavuus, V, lämpimät tilat	3 578 m ³
Ilmatilavuus, V, puoliämpimät tilat	m ³

Laskentatuloksia

Julkisivun pinta-ala on 1337 m²
 Ikkunapinta-ala on 15 % maanpäällisestä kerrostasosalasta
 Ikkunapinta-ala on 19 % julkisivun pinta-alasta
 Lämpöhäviö on 84 % vertailutasosta (lämpimät tilat)

RAKENNUSOSAT	Pinta-alat, m ² [A]		U-arvot, W/(m ² K) [U]			Lämpöhäviöiden tasaus	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Enimmäis- arvo	Suunnittelu- arvo	Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{joht} = A x U]	Vertailu- ratkaisu
Lämpimät tilat							
Ulkoseinä	1 027	1 027	0,17	0,60	0,15	174,6	154,1
Hirsiseinä			0,40	0,60		-	-
Yläpohja	275	275	0,09	0,60	0,09	24,8	24,8
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)		76	0,09	0,60	0,09	6,8	6,8
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹⁾			0,17	0,60		-	-
Alapohja (maanvastainen)		199	0,16	0,60	0,16	31,8	31,8
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16	0,60		-	-
Ikkunat	248,4	248,4	1,00	1,80	0,80	248,4	198,7
Ulko-ovet	62,0		1,00	-	0,70	62,0	43,4
Kattoikkunat			1,00	1,80		-	-
Lämpimät tilat yhteensä	1 887	1 887				548,4	459,6
Puoliämpimät tilat							
Ulkoseinä			0,26	0,60		-	-
Hirsiseinä			0,60	0,60		-	-
Yläpohja			0,14	0,60		-	-
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,14	0,60		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹⁾			0,26	0,60		-	-
Alapohja (maanvastainen)			0,24	0,60		-	-
Muu maanvastainen rakennusosa			0,24	0,60		-	-
Ikkunat			1,40	2,80		-	-
Ulko-ovet			1,40	-		-	-
Kattoikkunat			1,40	2,80		-	-
Puoliämpimät tilat yhteensä	-	-				-	-
VAIPAN ILMAVUODOT							
Vuotoilma							
Lämpimät tilat	2,0	0,8	0,0795		0,0318	95,4	38,2
Puoliämpimät tilat	2,0					-	-
ILMANVAIHTO							
Hallittu ilmanvaihto							
Lämpimät tilat		0,926	45		50	611,2	555,6
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0			-	-
Puoliämpimät tilat			45			-	-
Puoliämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0			-	-
Ominaislämpöhäviö, W/K [H = H _{joht} + H _{vuotoilma} + H _{iv}]							
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus							
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä						1 255	1 053
Puoliämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä						-	-

© Ympäristöministeriö, Tasauslaskin 2010 (versio helmikuu 2009)

¹⁾ Ryömintätilaan rajoittuvan alapohjan lämpöhäviö kerrotaan luvulla 0,8 rakentamismääräyksen osan D3 mukaisesti.
 Tällä tavalla otetaan huomioon ryömintätilan ilman ulkoilmaa korkeampi vuotuinen keskilämpötila.
 Ryömintätilan tuuletusaukkojen määrä on enintään 8 promillea alapohjan pinta-alasta.

Rakennuskohde	Asuinkerrostalo 2
Rakennuslupatunnus	

Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden tarkistuslista

Pinta-alat (osa C3)					
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>V</td> <td></td> </tr> </table>	kyllä	ei	V	
kyllä	ei				
V					
Rakennusosien yhteenlaskettu pinta-ala sama molemmissa ratkaisussa					
- lämpimissä tiloissa	<table border="1"> <tr> <td>V</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </table>	V			
V					
- puolilämpimissä tiloissa	<table border="1"> <tr> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </table>				

Rakennusosien U-arvot ja vaipan lämpöhäviö (osa C3)										
U-arvot ovat enintään enimmäisarvojen suuruisia	<table border="1"> <tr> <td>kyllä</td> <td>ei</td> </tr> <tr> <td>V</td> <td></td> </tr> </table>	kyllä	ei	V						
kyllä	ei									
V										
Vaipan suunnittelu- ja vertailuratkaisun ominaislämpöhäviön suhde on enintään 1,3	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>Enimmäisarvo</td> <td>Toteutunut arvo</td> </tr> <tr> <td>V</td> <td>1,3</td> <td>0,84</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1,3</td> <td></td> </tr> </table>		Enimmäisarvo	Toteutunut arvo	V	1,3	0,84		1,3	
	Enimmäisarvo	Toteutunut arvo								
V	1,3	0,84								
	1,3									
- lämpimissä tiloissa										
- puolilämpimissä tiloissa										

Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus (D3)													
Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään vertailuratkaisun suuruinen	<table border="1"> <tr> <td>kyllä</td> <td>ei</td> <td>Vertailu- arvo</td> <td>Suunnittelu- arvo</td> </tr> <tr> <td>V</td> <td></td> <td>1 255 W/K</td> <td>1 053 W/K</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	kyllä	ei	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	V		1 255 W/K	1 053 W/K				
kyllä	ei	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo										
V		1 255 W/K	1 053 W/K										
- lämpimissä tiloissa													
- puolilämpimissä tiloissa													

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

Lisäselvitykset

Rakennuksen vuotoilma (osa D3)
Jos lämpöhäviölaskelmissa vaipan ilmanvuotoluvun n_{50} suunnitteluarvo on alle 4 1/h, ilmanpitävyydestä on esitettävä selvitys
Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) hyötysuhde (osa D2)
Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittämisestä on esitettävä selvitys

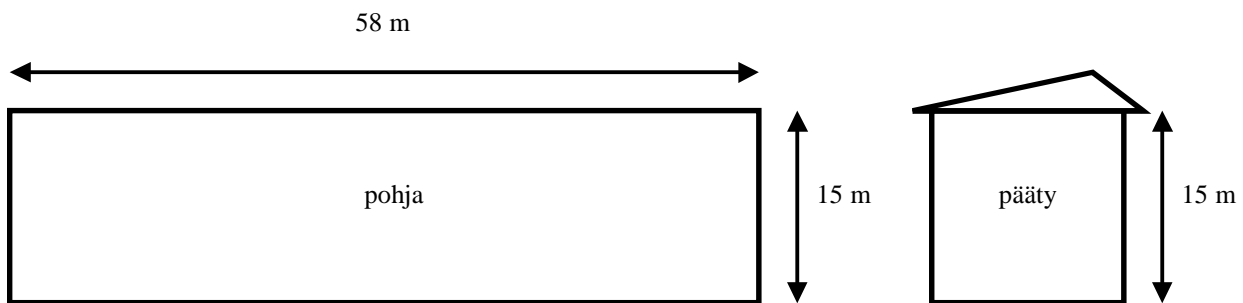
Matalaenergiarakennuksen lämpöhäviötaso (osa D3)

Kun suunnitellaan matalaenergiarakennusta, tulisi rakennuksen laskennallisen lämpöhäviön olla enintään 85 % rakennukselle määritetystä vertailulämpöhäviöstä. Tällöin vertailulämpöhäviön laskennassa käytetään hirsiseinille lämmönläpäisykerroimen vertailuarvoa 0,17 W/m ² K lämpimissä tiloissa ja 0,26 W/m ² K puolilämpimissä tiloissa.													
Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään 85 % vertailuratkaisun ominaislämpöhäviöstä	<table border="1"> <tr> <td>kyllä</td> <td>ei</td> <td>85 % vertailu- arvo</td> <td>Suunnittelu- arvo</td> </tr> <tr> <td>V</td> <td></td> <td>1 067 W/K</td> <td>1 053 W/K</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	kyllä	ei	85 % vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	V		1 067 W/K	1 053 W/K				
kyllä	ei	85 % vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo										
V		1 067 W/K	1 053 W/K										
- lämpimissä tiloissa													
- puolilämpimissä tiloissa													
Suunnitteluratkaisu vastaa matalaenergiarakennuksen lämpöhäviötasoa	<table border="1"> <tr> <td>V</td> <td></td> </tr> </table>	V											
V													

3 Toimistotaloesimerkit

3.1 Puolet julkisivusta lasia

Esimerkkikohteena on 4-kerroksinen toimistorakennus, jonka maanpäällisten kerrosten kerrostasoala on 3 480 m².



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/(m²K) arvoon 0,8 W/(m²K) ja ulko-ovien arvosta 1,0 W/(m²K) arvoon 0,7 W/(m²K). Kokemuspohjasta tiedettiin että suunnitellun rakennuksen ilmanvuotoluku ei tulisi ylittämään ainakaan arvoa 2,2 1/h, joten se otettiin suunnittelun lähtökohdaksi ilmanvuotoluvun arvoksi, jolla rakennuksen tulisi täyttää lämpöhäviövaatimus. Ilmanpitävyyden mittauksissa ennen rakennuksen käyttöönottoa osoitettiin ilmanvuotoluvun olevan 1,2 1/h. Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on erillisen selvityksen mukaan 52 %.

Laskelmissa käytetään ilmanvaihtolaitoksen käyttöajoilla painotettua mitoituspoistoilmavirtaa. Mitoitusilmavirta on 2 dm³/s neliötä kohti. Huonepinta-ala on 3 248 m². Ilmanvaihtolaitos on käynnissä viisi päivää viikossa eli viikoittainen käyntiaikasuhde t_v on 5vrk/7vrk. Laitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaika on 12 tuntia (klo 6 - 18). Lisäksi ilmanvaihtoa käytetään käyttöajan ulkopuolella jaksoittain 10 tuntia viikossa (1 tunti arkiöisin ja 5 tuntia viikonloppuna) eli keskimäärin kaksi tuntia työpäivää kohti, joten käyntiaikasuhde t_d on 14h/24h. Kerroin r on päiväaikaisessa käytössä 0,93. Tasauslaskelmissa käytettävä ilmavirta $q_{v,p}$ on

$$q_{v,p} = 2 \text{ dm}^3/(\text{s m}^2) \cdot 3\,248 \text{ m}^2 \cdot 14\text{h}/24\text{h} \cdot 5\text{vrk}/7\text{vrk} \cdot 0,93 = 2\,510 \text{ dm}^3/\text{s} = 2,51 \text{ m}^3/\text{s}$$

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

Rakennuskohde	Toimistotalo 1
Rakennuslupatunnus	
Rakennustyyppi	4-kerroksinen toimistorakennus, jossa 50 % julkisivusta on ikkunaa
Pääsuunnittelija	
Tasauslaskelman tekijä	
Päiväys	
Tulos: Suunnitteluratkaisu	TÄYTTÄÄ VAATIMUKSET

Rakennuksen laajuustiedot

Rakennustilavuus	12 790 rak-m ³
Maanpäälliset kerrostasosalat yhteensä	3 480 m ²
Kerroskorkeus	3,6 m
Huonekorkeus	3,0 m
Ilmatilavuus, V, lämpimät tilat	9 744 m ³
Ilmatilavuus, V, puoliämpimät tilat	m ³

Lasketatuloksia

Julkisivun pinta-ala on 1970 m²
 Ikkunapinta-ala on 28 % maanpäällisestä kerrostasosalasta
 Ikkunapinta-ala on 50 % julkisivun pinta-alasta
 Lämpöhäviö on 95 % vertailutasosta (lämpimät tilat)

PERUSTIEDOT	Pinta-alat, m ²		U-arvot, W/(m ² K)			Lämpöhäviöiden tasaus	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Enimmäis- arvo	Suunnittelu- arvo	Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{joht} = A x U]	
RAKENNUSOSAT						Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
<i>Lämpimät tilat</i>							
Ulkoseinä	1 408	945	0,17	0,60	0,17	239,4	160,7
Hirsiseinä			0,40	0,60		-	-
Yläpohja	812	812	0,09	0,60	0,09	73,1	73,1
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,09	0,60		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹⁾	812		0,17	0,60	0,17	110,4	110,4
Alapohja (maanvastainen)			0,16	0,60		-	-
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16	0,60		-	-
Ikkunat	522,0	985,0	1,00	1,80	0,80	522,0	788,0
Ulko-ovet	40,0		1,00	-	0,70	40,0	28,0
Kattoikkunat			1,00	1,80		-	-
Lämpimät tilat yhteensä	3 594	3 594				984,9	1 160,2
<i>Puoliämpimät tilat</i>							
Ulkoseinä			0,26	0,60		-	-
Hirsiseinä			0,60	0,60		-	-
Yläpohja			0,14	0,60		-	-
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,14	0,60		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹⁾			0,26	0,60		-	-
Alapohja (maanvastainen)			0,24	0,60		-	-
Muu maanvastainen rakennusosa			0,24	0,60		-	-
Ikkunat			1,40	2,80		-	-
Ulko-ovet			1,40	-		-	-
Kattoikkunat			1,40	2,80		-	-
Puoliämpimät tilat yhteensä	-	-				-	-
VAIPAN ILMAVUODOT							
	Ilmanvuotoluku, 1/h [n ₅₀]		Vuotoilmavirta, m ³ /s [q _{v, v} = n ₅₀ /25 x V/3600]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{vuotoilma} = 1200 x q _{v, v}]		
Vuotoilma	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	
Lämpimät tilat	2,0	1,2	0,2165	0,1299	259,8	155,9	
Puoliämpimät tilat	2,0				-	-	
ILMANVAIHTO							
	Poistoilmavirta, m ³ /s [q _{v, p}]		LTO:n vuosihyötysuhde, % [η _a]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{lv} = 1200 x q _{v, p} x (1-η _a)]		
Hallittu ilmanvaihto	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	
Lämpimät tilat	2,510		45	52	1 656,6	1 445,8	
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-	
Puoliämpimät tilat			45		-	-	
Puoliämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-	
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus							
					Ominaislämpöhäviö, W/K [H = H _{joht} + H _{vuotoilma} + H _{lv}]		
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä					2 901	2 762	
Puoliämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä					-	-	

© Ympäristöministeriö, Tasauslaskin 2010 (versio helmikuu 2009)

¹⁾ Ryömintätilaan rajoittuvan alapohjan lämpöhäviö kerrotaan luvulla 0,8 rakentamismääräyksen osan D3 mukaisesti.
 Tällä tavalla otetaan huomioon ryömintätilan ilman ulkoilmaa korkeampi vuotuinen keskilämpötila.
 Ryömintätilan tuuletusaukkojen määrä on enintään 8 promillea alapohjan pinta-alasta.

Rakennuskohde	Toimistotalo 1
Rakennuslupatunnus	

Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden tarkistuslista

Pinta-alat (osa C3)		kyllä	ei
Vertailuikkunapinta-ala on 15 % yhteenlasketuista maanpäällisistä kerrostasoaloista, mutta kuitenkin enintään 50 % julkisivujen pinta-alasta		V	
Rakennusosien yhteenlaskettu pinta-ala sama molemmissa ratkaisussa			
- lämpimissä tiloissa		V	
- puolilämpimissä tiloissa			

Rakennusosien U-arvot ja vaipan lämpöhäviö (osa C3)		kyllä	ei		
U-arvot ovat enintään enimmäisarvojen suuruisia		V			
Vaipan suunnittelu- ja vertailuratkaisun ominaislämpöhäviön suhde on enintään 1,3				Enimmäisarvo	Toteutunut arvo
- lämpimissä tiloissa		V		1,3	1,18
- puolilämpimissä tiloissa				1,3	

Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus (D3)				Vertailu-	Suunnittelu-
Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään vertailuratkaisun suuruinen		kyllä	ei	arvo	arvo
- lämpimissä tiloissa		V		2 901 W/K	2 762 W/K
- puolilämpimissä tiloissa					

Tarkistuslistan yhteenveto		kyllä	ei
Suunnitteluratkaisu täyttää lämpöhäviövaatimukset		V	

Lisäselvitykset

Rakennuksen vuotoilma (osa D3)	
Jos lämpöhäviöläaskelmissä vaipan ilmanvuotoluvun n_{50} suunnittelu-arvo on alle 4 1/h, ilmanpitävyydestä on esitettävä selvitys	
Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) hyötysuhde (osa D2)	
Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittämisestä on esitettävä selvitys	

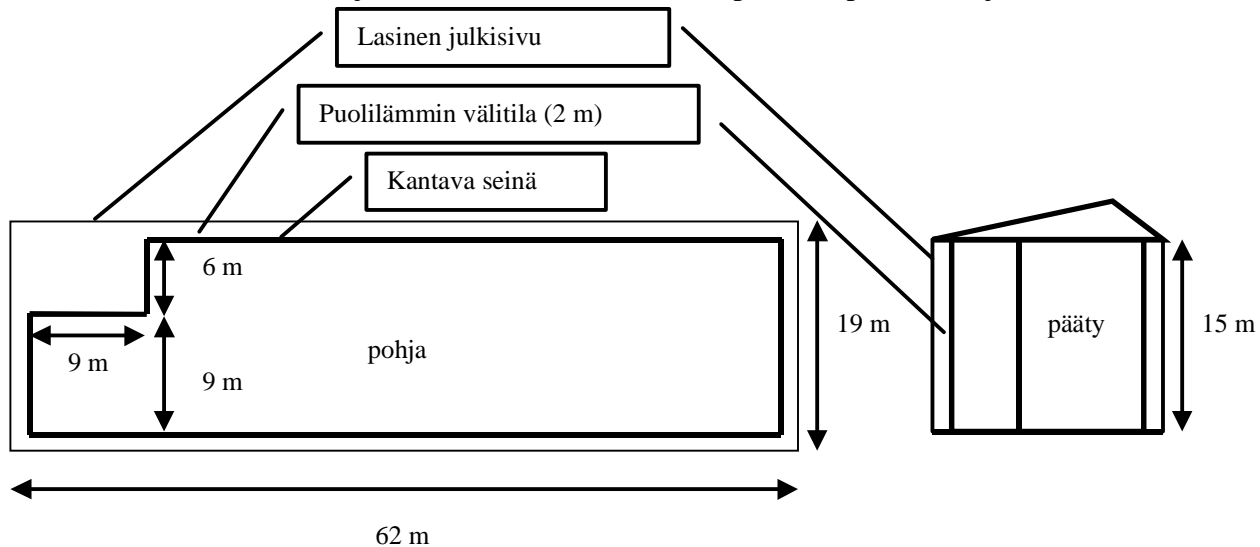
© Ympäristöministeriö, Tasaustaskin 2010 (versio helmikuu 2009)

Matalaenergiarakennuksen lämpöhäviötaso (osa D3)

Kun suunnitellaan matalaenergiarakennusta, tulisi rakennuksen laskennallisen lämpöhäviön olla enintään 85 % rakennukselle määritetystä vertailulämpöhäviöstä. Tällöin vertailulämpöhäviön laskennassa käytetään hirsiseinille lämmönläpäisykerroimen vertailuarvoa 0,17 W/m ² K lämpimissä tiloissa ja 0,26 W/m ² K puolilämpimissä tiloissa.					
Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään 85 % vertailuratkaisun ominaislämpöhäviöstä				85 % vertailu-	Suunnittelu-
- lämpimissä tiloissa		kyllä	ei	arvo	arvo
- puolilämpimissä tiloissa			X	2 466 W/K	2 762 W/K
Suunnitteluratkaisu vastaa matalaenergiarakennuksen lämpöhäviötasoa			X		

3.2 Lasinen kaksoisjulkisivu

Esimerkkikohteena on 4-kerroksinen toimistorakennus, jonka maanpäällisten kerrosten kerrostasoala on 3 625 m², josta ensimmäisen kerroksen puolilämpimien tilojen osuus on 362 m².



Toimistotalossa on kaksoisjulkisivu. Ulkoseinä on kokonaisuudessaan lasia. Kantavan seinän ja lasijulkisivun välissä on puolilämpimäksi suunniteltu välitila. Kantavan seinän ja lasijulkisivun etäisyys toisistaan on pääosin 2 metriä. Yksi rakennuksen kantavan seinän kulma on vedetty sisään ja tähän jää puolilämmin sisääntulo-, aula- ja oleskelutila. Nämä tilat edellyttävät, että puolilämpimään tilaan järjestetään osan D2 mukainen ilmanvaihto. Ylä- ja alapohja rajoittuvat pääosin lämpimään tilaan.

Lämpöhäviön määräystenmukaisuus osoitetaan tässä tapauksessa erikseen lämpimille tiloille ja erikseen puolilämpimille tiloille. Lämpimien tilojen lämpöhäviöiden pienentämisestä ei voi saada etua puolilämpimien tilojen lämpöhäviöiden tasauksessa.

Suuresta lasipinta-alasta johtuvan lämpöhäviön takia puolilämpimien tilojen rakennusosien lämpöhäviöitä pitää pienentää ja LTO:a pitää parantaa. Suunnitteluratkaisussa pienennetään puolilämpimän tilan vaipassa olevien lasituksen, ylä- ja alapohjan sekä ulko-ovien U-arvoja. Suunnitteluratkaisussa erityishuomiota vaativa lasitus on U-arvoltaan alan huippua ja laadukkaan asennuksen myötä on ilmanvuotoluvuksi mittauksin osoitettu 0,5 1/h.

Esimerkkilaskelmassa käytetään ilmanvaihtolaitoksen käyttöajoilla (samat kuin edellisessä esimerkissä) painotettua poistoilmavirtaa. Lämpimien tilojen mitoitusilmavirta on 2 dm³/s neliötä kohti (2 745 m² -> q_{v, p} = 2,127 m³/s) ja puolilämpimien 4 dm³/s neliötä kohti (362 m² -> q_{v, p} = 0,560 m³/s). Puolilämpimien tilojen keskimääräiseksi ilmanvaihtokertoimeksi tulee noin 1,0 1/h.

Lämpimien tilojen ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhde on 55 %. Koska puolilämpimän tilan vaipan U-arvojen parantaminen ei vielä riitä, parannetaan myös tilan ilmanvaihdon LTO:a. Laitteelle tehdyn erillisen selvityksen mukaan LTO:n vuosihyötysuhde on kuivassa puolilämpimässä tilassa 78 %, jota voidaan käyttää lämpöhäviöiden tasauksessa.

Parannuksen jälkeen rakennuksen lämpimien ja puolilämpimien tilojen ominaislämpöhäviöt ovat pienemmät kuin vertailulämpöhäviöt. Suunnitteluratkaisu täyttää lämpöhäviövaatimuksen.

Rakennuskohde	Toimistotalo 2
Rakennuslupatunnus	
Rakennustyyppi	4-kerroksinen toimistorakennus, kaksoisvaippajulkisivu, puolilämmin välitila
Pääsuunnittelija	
Tasauslaskelman tekijä	
Päiväys	
Tulos: Suunnitteluratkaisu	TÄYTTÄÄ VAATIMUKSET

Rakennuksen laajuustiedot

Rakennustilavuus	17 670 rak-m ³
Maanpäälliset kerrostasosalat yhteensä	3 625 m ²
Kerroskorkeus	3,6 m
Huonekorkeus	3,0 m
Ilmatilavuus, V, lämpimät tilat	8 235 m ³
Ilmatilavuus, V, puolilämpimät tilat	5 430 m ³

Lasketatuloksia

Julkisivun pinta-ala on 2430 m²
 Ikkunapinta-ala on 66 % maanpäällisestä kerrostasosalasta
 Ikkunapinta-ala on 98 % julkisivun pinta-alasta
 Lämpöhäviö on 98 % vertailutasosta (lämpimät tilat)
 Lämpöhäviö on 99 % vertailutasosta (puolilämpimät tilat)

RAKENNUSOSAT	Pinta-alat, m ² [A]		U-arvot, W/(m ² K) [U]			Lämpöhäviöiden tasaus	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Enimmäis- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Perustiedot							
Lämpimät tilat							
Ulkoseinä			0,17	0,60		-	-
Hirsiseinä			0,40	0,60		-	-
Yläpohja	816	816	0,09	0,60	0,09	73,4	73,4
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,09	0,60		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹⁾		816	0,17	0,60	0,17	111,0	111,0
Alapohja (maanvastainen)			0,16	0,60		-	-
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16	0,60		-	-
Ikkunat			1,00	1,80		-	-
Ulko-ovet			1,00	-		-	-
Kattoikkunat			1,00	1,80		-	-
Lämpimät tilat yhteensä	1 632	1 632				184,4	184,4
Puolilämpimät tilat							
Ulkoseinä	1 846		0,26	0,60		480,0	-
Hirsiseinä			0,60	0,60		-	-
Yläpohja	362	362	0,14	0,60	0,05	50,7	18,1
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,14	0,60		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹⁾		362	0,26	0,60	0,05	75,3	14,5
Alapohja (maanvastainen)			0,24	0,60		-	-
Muu maanvastainen rakennusosa			0,24	0,60		-	-
Ikkunat	543,8	2 390,0	1,40	2,80	0,70	761,3	1 673,0
Ulko-ovet		40,0	1,40	-	0,70	56,0	28,0
Kattoikkunat			1,40	2,80		-	-
Puolilämpimät tilat yhteensä	3 154	3 154				1 423,3	1 733,6
VAIPAN ILMAVUODOT							
		Ilmanvuotoluku, 1/h [n ₅₀]	Vuotoilmavirta, m ³ /s [q _{v, v} = n ₅₀ /25 x V/3600]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{vuotoilma} = 1200 x q _{v, v}]		
		Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Vuotoilma							
Lämpimät tilat		2,0	4,0	0,1830	0,3660	219,6	439,2
Puolilämpimät tilat		2,0	0,5	0,1207	0,0302	144,8	36,2
ILMANVAIHTO							
		Poistoilmavirta, m ³ /s [q _{v, p}]		LTO:n vuosihyötysuhde, % [η _a]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{lv} = 1200 x q _{v, p} x (1-η _a)]	
		Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Hallittu ilmanvaihto							
Lämpimät tilat			2,127	45	55	1 403,8	1 148,6
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0,300	0		360,0	360,0
Puolilämpimät tilat			0,560	45	78	369,6	147,8
Puolilämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta				0		-	-
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus							
						Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä						2 168	2 132
Puolilämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä						1 938	1 918

© Ympäristöministeriö, Tasauslaskin 2010 (versio helmikuu 2009)

¹⁾ Ryömintätilaan rajoittuvan alapohjan lämpöhäviö kerrotaan luvulla 0,8 rakentamismääräyksen osan D3 mukaisesti.

Tällä tavalla otetaan huomioon ryömintätilan ilman ulkoilmaa korkeampi vuotuinen keskilämpötila.

Ryömintätilan tuuletusaukkojen määrä on enintään 8 promillea alapohjan pinta-alasta.

Rakennuskohde	Toimistotalo 2
Rakennuslupatunnus	

Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden tarkistuslista

Pinta-alat (osa C3)				
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	V			
- puolilämpimissä tiloissa	V			

Rakennusosien U-arvot ja vaipan lämpöhäviö (osa C3)				
U-arvot ovat enintään enimmäisarvojen suuruisia	kyllä	ei		
	V			
Vaipan suunnittelu- ja vertailuratkaisun ominaislämpöhäviön suhde on enintään 1,3			Enimmäisarvo	Toteutunut arvo
- lämpimissä tiloissa	V		1,3	1,00
- puolilämpimissä tiloissa	V		1,3	1,22

Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus (D3)			Vertailu-	Suunnittelu-
Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään vertailuratkaisun suuruinen	kyllä	ei	arvo	arvo
	V			
- lämpimissä tiloissa			2 168 W/K	2 132 W/K
- puolilämpimissä tiloissa	V		1 938 W/K	1 918 W/K

Tarkistuslistan yhteenveto				
Suunnitteluratkaisu täyttää lämpöhäviövaatimukset	kyllä	ei		
	V			

Lisäselvitykset

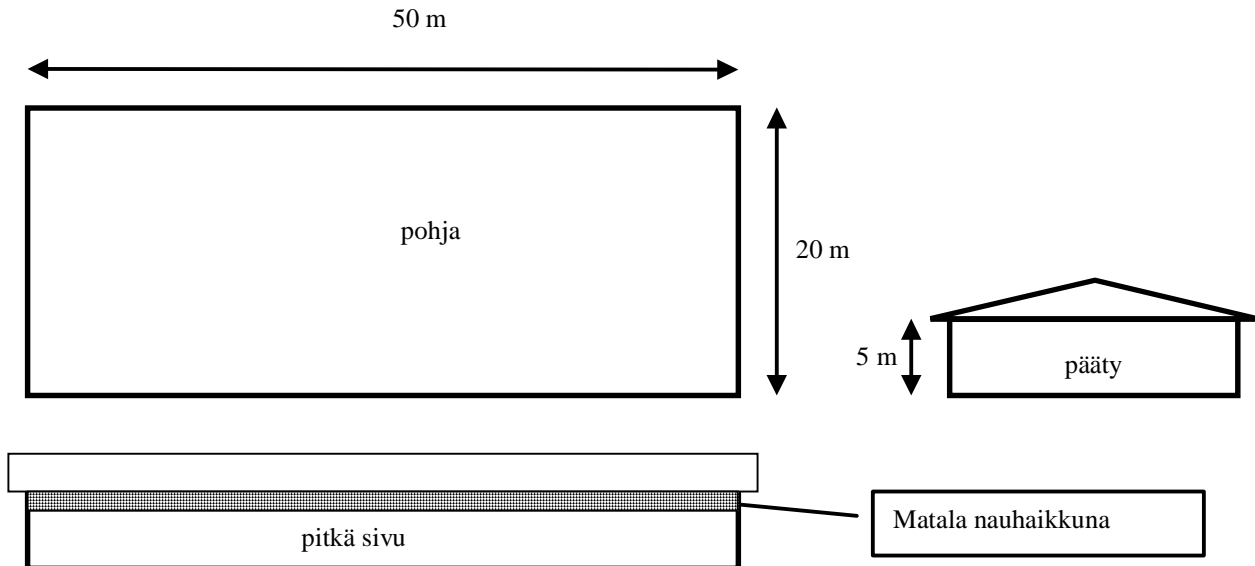
Rakennuksen vuotoilma (osa D3)	
Jos lämpöhäviölaskelmissa vaipan ilmanvuotoluvun n_{50} suunnitteluarvo on alle 4 1/h, ilmanpitävyydestä on esitettävä selvitys	
Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) hyötysuhde (osa D2)	
Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittämisestä on esitettävä selvitys	

Matalaenergiarakennuksen lämpöhäviötaso (osa D3)

Kun suunnitellaan matalaenergiarakennusta, tulisi rakennuksen laskennallisen lämpöhäviön olla enintään 85 % rakennukselle määritetystä vertailulämpöhäviöstä. Tällöin vertailulämpöhäviön laskennassa käytetään hirsiseinille lämmönläpäisykerroimen vertailuarvoa 0,17 W/m ² K lämpimissä tiloissa ja 0,26 W/m ² K puolilämpimissä tiloissa.				
Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään 85 % vertailuratkaisun ominaislämpöhäviöstä			85 % vertailu-	Suunnittelu-
	kyllä	ei	arvo	arvo
- lämpimissä tiloissa		X	1 843 W/K	2 132 W/K
- puolilämpimissä tiloissa		X	1 647 W/K	1 918 W/K
Suunnitteluratkaisu vastaa matalaenergiarakennuksen lämpöhäviötasoa		X		

4 Teollisuusrakennus

Esimerkkikohteena on 1-kerroksinen teollisuusrakennus, jonka maanpäällisten kerrosten kerrostasoala on 1 000 m².



Ulkoseinät ja yläpohja ovat kevytbetonia. Ulkoseinän U-arvo on 0,28 W/(m²K). 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/(m²K), joka on vielä vertailuarvoa huonompi. Vaipan muiden rakennusosien osien U-arvot ovat vertailuarvojen mukaisia.

Rakennuksen ilmanpitävyys mitattiin ennen rakennuksen käyttöönottoa. Mittausten mukaan vaipan ilmanvuotoluvun n_{50} arvoksi osoittautui 2,0 l/h, jota käytettiin tasauslaskelman päivityksessä. Tätä arvoa oli käytetty aikaisempien kokemusten perusteella jo suunnitteluvaiheen tasauslaskelmissa.

Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on erillisen selvityksen mukaan 50 %.

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

Rakennuskohde	Teollisuusrakennus
Rakennuslupatunnus	
Rakennustyyppi	1-kerroksinen teollisuusrakennus, ulkoseinät ja yläpohja kevytbetonia
Pääsuunnittelija	
Tasauslaskelman tekijä	
Päiväys	
Tulos: Suunnitteluratkaisu	TÄYTTÄÄ VAATIMUKSET

Rakennuksen laajuustiedot

Rakennustilavuus	60 000 rak-m ³
Maanpäälliset kerrostasoalat yhteensä	1 000 m ²
Kerroskorkeus	6,0 m
Huonekorkeus	5,0 m
Ilmatilavuus, V, lämpimät tilat	4 737 m ³
Ilmatilavuus, V, puoliämpimät tilat	m ³

Lasketatuloksia

Julkisivun pinta-ala on 685 m²
 Ikkunapinta-ala on 5 % maanpäällisestä kerrostasoalasta
 Ikkunapinta-ala on 7 % julkisivun pinta-alasta
 Lämpöhäviö on 99 % vertailutasosta (lämpimät tilat)

PERUSTIEDOT	Pinta-alat, m ²		U-arvot, W/(m ² K)			Lämpöhäviöiden tasaus	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Enimmäis- arvo	Suunnittelu- arvo	Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{joht} = A x U]	
RAKENNUSOSAT						Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
<i>Lämpimät tilat</i>							
Ulkoseinä	495	595	0,17	0,60	0,28	84,2	166,6
Hirsiseinä			0,40	0,60		-	-
Yläpohja	947	947	0,09	0,60	0,14	85,2	132,6
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,09	0,60		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹⁾	947		0,17	0,60	0,17	128,8	128,8
Alapohja (maanvastainen)			0,16	0,60		-	-
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16	0,60		-	-
Ikkunat	150,0	50,0	1,00	1,80	1,00	150,0	50,0
Ulko-ovet	40,0		1,00	-	1,00	40,0	40,0
Kattoikkunat			1,00	1,80		-	-
Lämpimät tilat yhteensä	2 579	2 579				488,2	518,0
<i>Puoliämpimät tilat</i>							
Ulkoseinä			0,26	0,60		-	-
Hirsiseinä			0,60	0,60		-	-
Yläpohja			0,14	0,60		-	-
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,14	0,60		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹⁾			0,26	0,60		-	-
Alapohja (maanvastainen)			0,24	0,60		-	-
Muu maanvastainen rakennusosa			0,24	0,60		-	-
Ikkunat			1,40	2,80		-	-
Ulko-ovet			1,40	-		-	-
Kattoikkunat			1,40	2,80		-	-
Puoliämpimät tilat yhteensä	-	-				-	-
VAIPAN ILMAVUODOT							
	Ilmanvuotoluku, 1/h [n ₅₀]		Vuotoilmavirta, m ³ /s [q _{v, v} = n ₅₀ /25 x V/3600]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{vuotoilma} = 1200 x q _{v, v}]		
Vuotoilma	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	
Lämpimät tilat	2,0	2,0	0,1053	0,1053	126,3	126,3	
Puoliämpimät tilat	2,0				-	-	
ILMANVAIHTO							
	Poistoilmavirta, m ³ /s [q _{v, p}]		LTO:n vuosihyötysuhde, % [η _a]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{lv} = 1200 x q _{v, p} x (1-η _a)]		
Hallittu ilmanvaihto	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	
Lämpimät tilat	0,640		45	50	422,4	384,0	
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta	0,050		0		60,0	60,0	
Puoliämpimät tilat			45		-	-	
Puoliämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-	
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus							
					Ominaislämpöhäviö, W/K [H = H _{joht} + H _{vuotoilma} + H _{lv}]		
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä					1 097	1 088	
Puoliämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä					-	-	

© Ympäristöministeriö, Tasauslaskin 2010 (versio helmikuu 2009)

¹⁾ Ryömintätilaan rajoittuvan alapohjan lämpöhäviö kerrotaan luvulla 0,8 rakentamismääräyksen osan D3 mukaisesti.
 Tällä tavalla otetaan huomioon ryömintätilan ilman ulkoilmaa korkeampi vuotuinen keskilämpötila.
 Ryömintätilan tuuletusaukkojen määrä on enintään 8 promillea alapohjan pinta-alasta.

Rakennuskohde	Teollisuusrakennus
Rakennuslupatunnus	

Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden tarkistuslista

Pinta-alat (osa C3)							
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>V</td><td></td></tr></table>	kyllä	ei	V		
kyllä	ei						
V							
Rakennusosien yhteenlaskettu pinta-ala sama molemmissa ratkaisussa							
- lämpimissä tiloissa		<table border="1"><tr><td>V</td><td></td></tr></table>	V				
V							
- puolilämpimissä tiloissa		<table border="1"><tr><td></td><td></td></tr></table>					

Rakennusosien U-arvot ja vaipan lämpöhäviö (osa C3)								
U-arvot ovat enintään enimmäisarvojen suuruisia		<table border="1"><tr><td>kyllä</td><td>ei</td></tr><tr><td>V</td><td></td></tr></table>	kyllä	ei	V			
kyllä	ei							
V								
Vaipan suunnittelu- ja vertailuratkaisun ominaislämpöhäviön suhde on enintään 1,3			Enimmäisarvo	Toteutunut arvo				
- lämpimissä tiloissa		<table border="1"><tr><td>V</td><td></td></tr></table>	V		1,3	1,06		
V								
- puolilämpimissä tiloissa		<table border="1"><tr><td></td><td></td></tr></table>			1,3			

Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus (D3)									
Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään vertailuratkaisun suuruinen		<table border="1"><tr><td>kyllä</td><td>ei</td></tr><tr><td>V</td><td></td></tr></table>	kyllä	ei	V		Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	
kyllä	ei								
V									
- lämpimissä tiloissa		<table border="1"><tr><td>V</td><td></td></tr></table>	V		1 097 W/K	1 088 W/K			
V									
- puolilämpimissä tiloissa		<table border="1"><tr><td></td><td></td></tr></table>							

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

Lisäselvitykset	
Rakennuksen vuotoilma (osa D3)	
Jos lämpöhäviöläaskelmissä vaipan ilmanvuotoluvun n_{50} suunnittelu-arvo on alle 4 1/h, ilmanpitävyydestä on esitettävä selvitys	
Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) hyötysuhde (osa D2)	
Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittämisestä on esitettävä selvitys	

Matalaenergiarakennuksen lämpöhäviötaso (osa D3)						
Kun suunnitellaan matalaenergiarakennusta, tulisi rakennuksen laskennallisen lämpöhäviön olla enintään 85 % rakennukselle määritetystä vertailulämpöhäviöstä. Tällöin vertailulämpöhäviön laskennassa käytetään hirsiseinille lämmönläpäisykerroimen vertailuarvoa 0,17 W/m ² K lämpimissä tiloissa ja 0,26 W/m ² K puolilämpimissä tiloissa.						
Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään 85 % vertailuratkaisun ominaislämpöhäviöstä			85 % vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo		
- lämpimissä tiloissa		<table border="1"><tr><td></td><td>X</td></tr></table>		X	932 W/K	1 088 W/K
	X					
- puolilämpimissä tiloissa		<table border="1"><tr><td></td><td></td></tr></table>				
Suunnitteluratkaisu vastaa matalaenergiarakennuksen lämpöhäviötasoa		<table border="1"><tr><td></td><td>X</td></tr></table>		X		
	X					

© Ympäristöministeriö, Tasaustaskin 2010 (versio helmikuu 2009)

5 Tyhjät määräystenmukaisuuden osoittamistaulukot

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

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

Rakennuksen laajuustiedot

Rakennustilavuus	rak-m ³
Maanpäälliset kerrostasoalat yhteensä	m ²
Kerroskorkeus	m
Huonekorkeus	m
Ilmatilavuus, V, lämpimät tilat	m ³
Ilmatilavuus, V, puoliämpimät tilat	m ³

Laskentatuloksia

Julkisivun pinta-ala on _____ m²
Ikkunapinta-ala on _____ % maanpäällisestä kerrostasoalasta
Ikkunapinta-ala on _____ % julkisivun pinta-alasta
Lämpöhäviö on _____ % vertailutasosta (lämpimät tilat)
Lämpöhäviö on _____ % vertailutasosta (puoliämpimät tilat)

Perustiedot	Pinta-alat, m ² [A]		U- arvot, W/(m ² K) [U]			Lämpöhäviöiden tasaus	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Enimmäis- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
RAKENNUSOSAT							
<i>Lämpimät tilat</i>							
Ulkoseinä			0,17	0,60			
Hirsiseinä			0,40	0,60			
Yläpohja			0,09	0,60			
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,09	0,60			
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹⁾			0,17	0,60			
Alapohja (maanvastainen)			0,16	0,60			
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16	0,60			
Ikkunat			1,00	1,80			
Ulko-ovet			1,00	-			
Kattoikkunat			1,00	1,80			
Lämpimät tilat yhteensä							
<i>Puoliämpimät tilat</i>							
Ulkoseinä			0,26	0,60			
Hirsiseinä			0,60	0,60			
Yläpohja			0,14	0,60			
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,14	0,60			
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹⁾			0,26	0,60			
Alapohja (maanvastainen)			0,24	0,60			
Muu maanvastainen rakennusosa			0,24	0,60			
Ikkunat			1,40	2,80			
Ulko-ovet			1,40	-			
Kattoikkunat			1,40	2,80			
Puoliämpimät tilat yhteensä							
VAIPAN ILMAVUODOT							
	Ilmanvuotoluku, 1/h [n ₅₀]		Vuotoilmavirta, m ³ /s [q _{v, v} = n ₅₀ /25 x V/3600]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{vuotoilma} = 1200 x q _{v, v}]		
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	
Vuotoilma							
Lämpimät tilat	2,0						
Puoliämpimät tilat	2,0						
ILMANVAIHTO							
	Poistoilmavirta, m ³ /s [q _{v, p}]		LTO:n vuosihyötysuhde, % [η _a]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{iv} = 1200 x q _{v, p} x (1-η _a)]		
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	
Hallittu ilmanvaihto							
Lämpimät tilat			45				
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0				
Puoliämpimät tilat			45				
Puoliämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0				
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus							
					Ominaislämpöhäviö, W/K [H = H _{joht} + H _{vuotoilma} + H _{iv}]		
	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu					
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä							
Puoliämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä							

© Ympäristöministeriö, Tasauslaskin 2010 (versio helmikuu 2009)

¹⁾ Ryömintätilaan rajoittuvan alapohjan lämpöhäviö kerrotaan luvulla 0,8 rakentamismääräytkokoelman osan D3 mukaisesti.
Tällä tavalla otetaan huomioon ryömintätilan ilman ulkoilmaa korkeampi vuotuinen keskilämpötila.
Ryömintätilan tuuletusaukkojen määrä on enintään 8 promillea alapohjan pinta-alasta.

Rakennuskohde
Rakennuslupatunnus

Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden tarkistuslista

Pinta-alat (osa C3)
Vertailuikkunapinta-ala on 15 % yhteenlasketuista maanpäällisistä kerrostasoaloista, mutta kuitenkin enintään 50 % julkisivujen pinta-alasta

kyllä	ei
-------	----

Rakennusosien yhteenlaskettu pinta-ala sama molemmissa ratkaisuissa

--	--

- lämpimissä tiloissa

--	--

- puolilämpimissä tiloissa

Rakennusosien U-arvot ja vaipan lämpöhäviö (osa C3)

kyllä	ei
-------	----

U-arvot ovat enintään enimmäisarvojen suuruista

Vaipan suunnittelu- ja vertailuratkaisun ominaislämpöhäviön suhde on enintään 1,3

	Enimmäisarvo	Toteutunut arvo
- lämpimissä tiloissa	1,3	
- puolilämpimissä tiloissa	1,3	

Rakennuksen lämpöhäviöiden taseus (D3)

kyllä	ei	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo
-------	----	-------------------	----------------------

Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään vertailuratkaisun suuruinen

--	--	--	--

- lämpimissä tiloissa

--	--	--	--

- puolilämpimissä tiloissa

Tarkistuslistan yhteenveto

kyllä	ei
-------	----

Suunnitteluratkaisu täyttää lämpöhäviövaatimukset

Lisäselvitykset

Rakennuksen vuotoilma (osa D3)
Jos lämpöhäviölaskelmissa vaipan ilmanvuotoluvun n_{50} suunnittelu-arvo on alle 4 1/h, ilmanpitävyydestä on esitettävä selvitys

Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) hyötysuhde (osa D2)
Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittämisestä on esitettävä selvitys

Matalaenergiarakennuksen lämpöhäviötaso (osa D3)

Kun suunnitellaan matalaenergiarakennusta, tulisi rakennuksen laskennallisen lämpöhäviön olla enintään 85 % rakennukselle määritetystä vertailulämpöhäviöstä. Tällöin vertailulämpöhäviön laskennassa käytetään hirsiseinille lämmönläpäisykertoimen vertailuarvoa 0,17 W/m²K lämpimissä tiloissa ja 0,26 W/m²K puolilämpimissä tiloissa.

Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään 85 % vertailuratkaisun ominaislämpöhäviöstä

kyllä	ei	85 % vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo
-------	----	------------------------	----------------------

- lämpimissä tiloissa

--	--	--	--

- puolilämpimissä tiloissa

--	--	--	--

Suunnitteluratkaisu vastaa matalaenergiarakennuksen lämpöhäviötasoa