

Opinnäytetyö (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

2022

Joonas Timonen

ILMANVAIHDON LTO:N VUOSIHYÖTYSUHTEEN LASKENTA

– Suomalaisien määräysten ja ohjeiden kriittinen
tarkastelu

Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Energia- ja ympäristötekniikka

2022 | 98 sivua

Joonas Timonen

Ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhteen laskenta

- Suomalaisen ohjeiden ja määräysten kriittinen tarkastelu

Toimeksiantajanani toimii FläktGroup Oy Finland. Tehtäviini kuuluu vertailla eri valmistajien vuosihyötysuhdelaskentamenetelmiä ja vertailla niitä omaan Excel-laskuriini. Tavoitteena on kehittää vuosihyötysuhdelaskureita.

Ilmastomuutoksen vaikutuksen selvittäminen vuosihyötysuhdelaskentaan kuuluu työhöni sekä lisäksi tutkin käyntiaikojen vaikutusta vuosihyötysuhdelaskentaan.

Vuosihyötysuhteen voi ajatella siten, että kuinka monta prosenttia poistoilman lämpöenergian hyödyntäminen on kaikesta ilmanvaihdon ilman lämmittämiseen kuluvasta energiasta vuosittain. Toistaiseksi lähinnä Suomessa lasketaan vuosihyötysuhteita, mutta vuosihyötysuhdeajattelua voitaisiin viedä EU:n tasolle asti.

Energialaskenta tulisi päivittää nykysäädädataan eli TRY2020 säädädataan. Tulevaisuuden säädädataalla tarkastelua voitaisiin pohtia käytettävän. Myös itse vuosihyötysuhdelaskentaa tulisi uudistaa. Herää myös kysymys pitäisikö lämmöntalteenottolaitteiston minimijäteilman lämpötilan määrittäminen sekä lämpötilahyötysuhteen määrittäminen ulkoistaa eri taholle, kuin lämmöntalteenottolaitteen valmistajalla. Lisäksi ilmanvaihtoa koskevissa valinnoissa tulisi ottaa huomioon todelliset olosuhteet ja niiden perusteella optimoida energiankäyttöä.

Asiasanat:

E-luku, ilmanvaihto, ilmastonmuutos, LTO, lämmöntalteenotto, vuosihyötysuhde

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Energy and environmental engineering

2022 | 98 pages

Joonas Timonen

Heat recovery's annual efficiency calculation in ventilation

- Critical review of Finnish rules and regulations

My commissioner is FläktGroup Oy Finland. My tasks include comparing the annual efficiency calculation methods of different manufacturers and to make comparison between their calculators and mine. The aim is to develop annual efficiency calculators. Examining the impact of climate change on the annual efficiency calculation is part of my work, and I will also study the impact of operating time on annual efficiency calculation.

One can think of the annual efficiency in such a way that how much utilization of heat energy from exhaust air accounts for all energy expended to heat the air in ventilation each year. So far, mostly in Finland, annual efficiencies are calculated, but the annual efficiencies could be taken up to EU level.

Energy calculation should be updated to current weather data, which is TRY2020 weather data. Future weather data could be examined in energy calculation. The annual efficiency itself should also be reformed. The question also arises whether the minimum waste air temperature determination and temperature efficiency determination of the heat recovery device should be outsourced to different quarters than the manufacturer of the heat recovery device. In addition, the choices for ventilation should consider the actual conditions and, on their basis, optimize energy usage.

Keywords:

annual efficiency, climate change, energy efficiency number, heat recovery, ventilation

Sisältö

Käytetyt lyhenteet ja sanasto	9
1 Johdanto	12
2 Säädädata	14
3 Suomalainen laskentatapa	17
3.1 Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskennassa huomioitavia asioita	17
3.2 E-luvun laskenta	29
4 Kosteuden ja huurtumiseneston huomioiminen	44
4.1 Kosteuden vaikutus ilmanvaihdon lämmöntalteenottoon	44
4.2 Huurtumisenesto	46
5 Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskenta	51
5.1 Laskenta erilaisissa tilanteissa	51
5.1.1 Esimerkkitapaus	51
5.1.2 Epäsuhteiset ilmavirrat ja jäätymissuojaus	52
5.1.3 Tuloilman lämpötilan rajoitus	56
5.1.4 Tilanne, jossa lämpötilahyötysuhde on nolla	57
5.2 Astetuntilaskenta vs. tuntikohtainen laskenta	58
5.3 Käyntiajat ja sen vaikutus vuosihyötysuhdelaskentaan	59
6 Vertailu eri vuosihyötysuhdelaskureilla	64
6.1 Vaihtoehtoisia laskentatapoja ja -menetelmiä	65
6.2 Opinnäytetyössä käytetty laskentatapa	70
6.2.1 Vertailu Yritys 1:n ja opinnäytetyön välillä	71
6.2.2 Vertailu Yritys 2:n ja opinnäytetyön välillä	73
6.2.3 Vertailu Yritys 3:n ja opinnäytetyön välillä	77
7 Ilmastonmuutoksen vaikutus vuosihyötysuhdelaskentaan	83
8 Johtopäätelmä	89

Liitteet

Liite 1. Yritys 1:n haastattelukysymykset

Liite 2. Yritys 2:n haastattelukysymykset

Liite 3. Yritys 3:n haastattelukysymykset

Kaavat

Kaava 1. Käyttöajoilla painotettu poistoilmavirta. (Ympäristöministeriö 2011, 48; 2017d, 49)	20
Kaava 2. Tuloilman lämpötilahyötysuhde (Ympäristöministeriö 2003, 14).	20
Kaava 3. Poistoilman lämpötilahyötysuhde (Ympäristöministeriö 2003, 14).	21
Kaava 4. Tulo- ja poistoilmavirtojen välinen suhde (Ympäristöministeriö 2003, 15).	21
Kaava 5. Poistoilman lämpötilahyötysuhde epäsuhteisilla ilmavirroilla (Ympäristöministeriö 2003, 15).	21
Kaava 6. Tuloilman lämpötilahyötysuhde toisin kuvattuna (Ympäristöministeriö 2003, 15).	21
Kaava 7. Sisäilman lämpötilan t_s ja ulkoilman lämpötilan t_u välinen lämmöntarveluku. Yksiköksi tulee K_d . (Ympäristöministeriö 2003, 34.)	22
Kaava 8. LTO:n jälkeisen tuloilman lämpötilan t_{LTO} ja ulkoilman lämpötilan t_u välinen lämmöntarveluku. Yksiköksi tulee K_d . (Ympäristöministeriö 2003, 34.)	22
Kaava 9. Sisäilman lämpötilan t_s ja jäteilman lämpötilan t_j välinen lämmöntarveluku. Yksiköksi tulee K_d . (Ympäristöministeriö 2003, 34.)	23
Kaava 10. Ilmanvaihdon tarvitsema lämpöenergia ilman LTO:a (Ympäristöministeriö 2003, 18).	24
Kaava 11. Poistoilmasta talteen otettu lämpöenergia (Ympäristöministeriö 2003, 20).	24

Kaava 12. Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde (Ympäristöministeriö 2003, 24).	24
Kaava 13. Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde lämmöntarveluvuilla (Ympäristöministeriö 2003, 24).	25
Kaava 14. E-luvun laskentakaava (Ympäristöministeriö 2017c, 4).	41
Kaava 15. Jäteilman minimilämpötilan kaava (Tuotepäällikkö Yritys 2, henkilökohtainen haastattelu, 23.3.2022).	67

Kuvat

Kuva 1. Suomen säävyöhykkeet (Ympäristöministeriö 2017c, 15).	15
Kuva 2. Kaavio tavoista, miten rakennuksen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde voidaan määrittää määräystenmukaisiksi (Ympäristöministeriö 2011, 42; 2017d, 43).	28
Kuva 3. Esimerkki energiatodistuksesta (Ympäristöministeriö 2017b, 27).	30
Kuva 4. Ostoenergiankulutuksen taseraja (Ympäristöministeriö 2017b, 6).	39

Kuviot

Kuvio 1. Energiat tilanteessa, jossa ilmanvaihtokone on arkisin päällä kello 6–18, mutta viikonloppuisin se on kokonaan poissa päältä sekä tilanne, jossa ilmanvaihtokone on koko ajan päällä.	61
Kuvio 2. Energiat, kun ilmanvaihtokone on arkisin päällä kello 6–18 ja viikonloppuisin poissa päältä kahdella eri laskentatavalla.	61
Kuvio 3. Esimerkkiajo Yritys 2:n jäteilman lämpötilan rajoituksesta (Tuotepäällikkö Yritys 2, henkilökohtainen haastattelu, 23.3.2022).	67
Kuvio 4. Yritys 1:n ja opinnäytetyön vuosihyötysuhdelaskureiden vuosihyötysuhteet.	72
Kuvio 5. Yritys 2:n ja opinnäytetyön vuosihyötysuhdelaskureiden sisäilman lämpötilan ja ulkoilman lämpötilan välinen lämmöntarveluku.	75

Kuvio 6. Yritys 2:n ja opinnäytetyön vuosihyötysuhdelaskureiden tuloilman lämpötilan (LTO:n jälkeen) ja ulkoilman lämpötilan välinen lämmöntarveluku.	76
Kuvio 7. Yritys 2:n ja opinnäytetyön vuosihyötysuhdelaskureiden jäteilman lämpötilan (poistoilma LTO:n jälkeen) ja sisäilman lämpötilan välinen lämmöntarveluku.	76
Kuvio 8. Yritys 3:n ja opinnäytetyön vuosihyötysuhdelaskureiden vuosihyötysuhteet.	78
Kuvio 9. Yritys 3:n ja opinnäytetyön vuosihyötysuhdelaskureiden energiat.	79
Kuvio 10. Opinnäytetyön laskureiden talteen otettu lämmitysenergia.	80
Kuvio 11. Opinnäytetyön laskureiden ilmanvaihdon kokonaisenergiantarve.	80
Kuvio 12. Vertailu opinnäytetyön vuosihyötysuhdelaskureilla, kun tuloilmaa ei rajoiteta ja kun sitä rajoitetaan.	81
Kuvio 13. Ilmanvaihdon energiantarve ilman LTO:a RCP-skenaarioittain.	84
Kuvio 14. Talteen otettu energia RCP-skenaarioittain.	85
Kuvio 15. Jälkilämmitystarve RCP-skenaarioittain.	85
Kuvio 16. Vuosihyötysuhde RCP-skenaarioittain.	86

Taulukot

Taulukko 1. Tyypillisiä tuloilman lämpötilahyötysuhteita lämmönsiirrintyypeittäin (Ympäristöministeriö 2017d, 45).	29
Taulukko 2. Käyttötarkoitukseluokka 8 eli sairaalan energiatehokkuusluokkien määräytyminen (Ympäristöministeriö 2017b, 26).	31
Taulukko 3. Rakenteiden lämmönläpäisykertoimet, W/m ² K (Ympäristöministeriö 2017b, 9).	33
Taulukko 4. Energiamuotojen kertoimia (Ympäristöministeriö 2017b, 4–5).	34
Taulukko 5. Lämmöntuoton hyötysuhteiden ja apulaitteiden sähkönkulutuksen ohjearvoja. Ohjearvot koskevat erillisiä pientaloja, ketjutalon osana olevia rakennuksia, rivitaloja ja asuinkerrostaloja, joissa on asuinkerroksia enintään kahdessa kerroksessa. (Ympäristöministeriö 2017b, 13.)	35
Taulukko 6. Lämmöntuoton hyötysuhteiden ja apulaitteiden sähkönkulutuksen ohjearvoja muissa rakennuksissa (Ympäristöministeriö 2017b, 14).	36

Taulukko 7. Ulkoilmalämpöpumppujen SPF-lukuja (Ympäristöministeriö 2017b, 14).	37
Taulukko 8. Maalämpöpumppujen SPF-lukuja (Ympäristöministeriö 2017b, 15).	37
Taulukko 9. Poistoilmalämpöpumppujen tilojen ja käyttöveden lämmityksen yhteisiä SPF-lukuja poistoilman lämpötilalla 21 °C (Ympäristöministeriö 2017b, 15).	38
Taulukko 10. E-luvun laskentaan tarvittavat käyttöajan ulkoilmavirrat sekä huonelämpötilan lämmitys- ja jäähdytysrajat, joita tulee laskennassa käyttää (Ympäristöministeriö 2017c, 5).	40
Taulukko 11. E-luvun raja-arvoja käyttötarkoituksittain (Ympäristöministeriö 2017c, 3).	43
Taulukko 12. Esimerkkitapauksen lähtöarvot.	52
Taulukko 13. Lähtöarvot käyntiaikatarkasteluun.	59
Taulukko 14. Testiajojen tulokset käyntiajoilla 24/7 ja 12/5.	63
Taulukko 15. Tietoja yritysten vuosihyötysuhdelaskennan laskureista (Mukaillen: Tuotekehitysjohtaja Yritys 1, henkilökohtainen haastattelu, 22.3.2022; Teknologiapäällikkö Yritys 3, henkilökohtainen haastattelu, 29.3.2022).	65
Taulukko 16. Yritys 1:n ja opinnäytetyön vuosihyötysuhdelaskureiden lähtöarvot vuosihyötysuhdelaskentaan.	71
Taulukko 17. Yritys 1:n ja opinnäytetyön vuosihyötysuhdelaskureiden tuloksia.	72
Taulukko 18. Yritys 2:n ja opinnäytetyön vuosihyötysuhdelaskureiden lähtöarvot vuosihyötysuhdelaskentaan.	74
Taulukko 19. Yritys 2:n ja opinnäytetyön vuosihyötysuhdelaskureiden tuloksia.	74
Taulukko 20. Yritys 3:n ja opinnäytetyön vuosihyötysuhdelaskureiden lähtöarvot vuosihyötysuhdelaskentaan.	77
Taulukko 21. Vuosihyötysuhdelaskennan lähtöarvot ilmastonmuutoksen vaikutuksen vertailuun.	83

Käytetyt lyhenteet ja sanasto

Dynaaminen

laskentamenetelmä Ajasta riippuvainen laskentamenetelmä, jossa on enintään tunnin aika-askel (Ympäristöministeriö 2017c, 5).

E-luku Tarkoittaa laskennallista energiatehokkuuden vertailulukua. E-luku lasketaan jakamalla energiamuotojen kertoimilla painotettu rakennuksen vakioituun käyttöön perustuva laskennallinen ostoenergian kulutus rakennuksen lämmitettyä nettoalaa kohden vuodessa. E-luvun yksikkö on kWh_E/m²a. (Ympäristöministeriö 2017b, 4.)

Energiatehokkuus-

luokka Kertoo asteikolla A-G kuinka energiatehokas rakennus tai sen osa on (Ympäristöministeriö 2017b, 1). Energiatehokkuusluokka määräytyy E-luvun ja käyttötarkoitukseluokan perusteella.

Energiatodistus On nimensä mukaisesti todistus rakennuksen energiatehokkuudesta. Se toimii työkaluna rakennusten energiatehokkuuden vertailuun ja parantamiseen myynti- ja vuokraustilanteessa (Motiva 2021). Energiatodistuksessa näkyy rakennuksen tai sen osan energiatehokkuusluokka, joka määräytyy E-luvun mukaan (Ympäristöministeriö 2017b, 1).

EN 308: 1997

Standardi, jolla pystytään määrittämään lämpötilahyötysuhde tasailmavirroilla. Tämän määrittämiseen käytetään kuivaa ilmaa eli poistoilman suhteellinen kosteus on 27 % (Orpana 2015.)

Käyttötarkoituusluokka	Rakennustyyppit on jaettu käyttötarkoituusluokkiin asteikolla 1–9. Eri rakennustyypeillä on eri käyttötarkoitus ja esimerkiksi E-luvun raja-arvot eroavat käyttötarkoituusluokasta riippuen. Luokittelu on tehtävä, sillä esimerkiksi liikuntahalleja tulee käsitellä ilmanvaihdon kannalta eri tavalla kuin pieniä asuinrakennuksia. (Ympäristöministeriö 2017c.)
Levylämmönvaihdin	Lämmönvaihdin, joka sisältää kiinteän kennoston. Kennoston, joka toisessa välissä virtaa poistoilma ja joka toisessa välissä raitis tuloilma. Poistoilmasta lämpöä siirtyy kennoston seinämien läpi tuloilmaan, lämmittäen tuloilmaa. (Energiatehokas koti 2020.)
LTO	Lämmöntalteenottolaitteisto. LTO:n avulla poistoilman lämpöä voidaan hyödyntää tuloilman lämmittämiseen tai muuhun rakennuksen tiloja lämmittävään järjestelmään. Näin saadaan alennettua rakennuksen lämmitysenergiakulutusta. (Ympäristöministeriö 2003, 8.)
Lämmöntarveluku	Kuvaa lämmitysenergiantarvetta, joka saadaan lämpötilaeron ja esiintymisajan tulona. Lämmöntarveluvun yksikkö on Kd. (Ympäristöministeriö 2003, 5, 9.)
RCP-skenaario	Representative Concentration Pathways. Kasvihuonekaasujen päästöjen kehityskulkua kuvaava niin sanottu päästöskenaario. Numero, joka tulee RCP akronyymien jälkeen, kertoo lämmitysvaikutuksen W/m^2 . (Ilmatieteen laitos 2020b; Lestinen ym. 2022, 3.) Esimerkiksi RCP2.6 kertoo lämmitysvaikutuksen olevan $2,6 W/m^2$.

SFS-EN 13141-7	Standardi, jolla saadaan myös määritettyä esimerkiksi lämpötilahyötysuhde. Kyseessä on uudempi standardi kuin EN 308: 1997.
SPF-luku	Lämpöpumpun vuoden keskimääräinen lämpökerroin, joka on lämpöpumpulla tuotetun vuotuisen energian suhde lämpöpumpun sekä apulaitteiden vuotuisen sähkönkulutukseen (Eskola ym. 2012, 4).
TRY	Tarkoittaa ilmatieteen laitoksen laatimaa testivuotta, joka on joltakin ilmastolliselta kaudelta esimerkiksi menneeltä 30 vuoden jaksolta, tiettyyn tarkoitukseen valittu vuoden pituinen sääaineisto. Rakennusten energialaskennan testivuosi TRY kuvaa tilastollisilta ominaisuuksiltaan mahdollisimman tyypillisiä sääoloja. (Jylhä ym. 2020.) TRY sanan jälkeen tuleva numero kertoo, mitä testivuotta säädata edustaa esimerkiksi TRY2012 edustaa testivuotta 2012.

1 Johdanto

Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto perustuu siihen, että poistoilman lämpöenergiaa käytetään tuloilman tai tilojen lämmitykseen. Näin ilmanvaihdon jälkilämmitysenergiaa saadaan pienennettyä tai voidaan säästää energiaa tilojen lämmityksessä. (Ympäristöministeriö 2003, 8.) Jos lämmöntalteenottoa ei olisi, puhallettaisiin taivaalle yhtä lämmintä ilmaa kuin mitä sisällä on ja niin sanotusti "lämpö karkaisi harakoille". Sen sijaan, että puhallettaisiin 21 °C:sta ilmaa pihalle, mikä voisi olla sisäilman lämpötila, voitaisiin sen sijaan poistoilman lämpöenergia hyödyntää ja puhaltaa rakennuksesta vaikkapa 0 °C:sta ilmaa ulos, riippuen ulkolämpötilasta. Näin lämmöntalteenotolla saadaan säästettyä energiaa.

Energiatehokkuusvaatimukset ja lämmöntalteenottojärjestelmien lämpötilahyötysuhteiden vaatimukset kiristyvät koko ajan. Euroopan komission asetuksessa (EU) N:o 1253/2014 (2014, 18) vuodesta 2016 eteenpäin nestekiertoisilla lämmöntalteenottojärjestelmillä lämpötilahyötysuhteen on oltava vähintään 63 % ja muilla lämmöntalteenottojärjestelmillä vähintään 67 %. Nämä ovat nykyään asetuksen mukaan kiristyneet nestekiertoisilla jo 68 %:iin ja muilla 73 %:iin vuodesta 2018 eteenpäin. Tämä luo haasteita yrityksille, mutta toisaalta pakottaa yrityksiä tekemään energiatehokkaampia lämmöntalteenottojärjestelmiä.

Suomessa voidaan välisesti ohjata jopa korkeampiin lämpötilahyötysuhteisiin kuin mitä Euroopan komission asetuksissa on vaadittu. Suomen kansallinen lainsäädäntö voi tehdä tämän esimerkiksi E-lukuvaatimusten kautta. Korkeampien hyötysuhteiden tavoittelu tuo haasteita kuten huurre ja jää. Niitä muodostuu lämmöntalteenottolaitteistoon korkeammilla ulkoilman lämpötiloilla kuin aikaisemmin, kun lämpötilahyötysuhteet olivat matalammat. (Euroopan komissio 2014, 18; Savolainen 2020, 5.) Suomessa onkin lämpötilahyötysuhteiden kautta herätty ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdeajatteluun. Vuosihyötysuhteen voi ajatella niin, että kuinka monta prosenttia poistoilman lämpöenergian hyödyntäminen on kaikesta

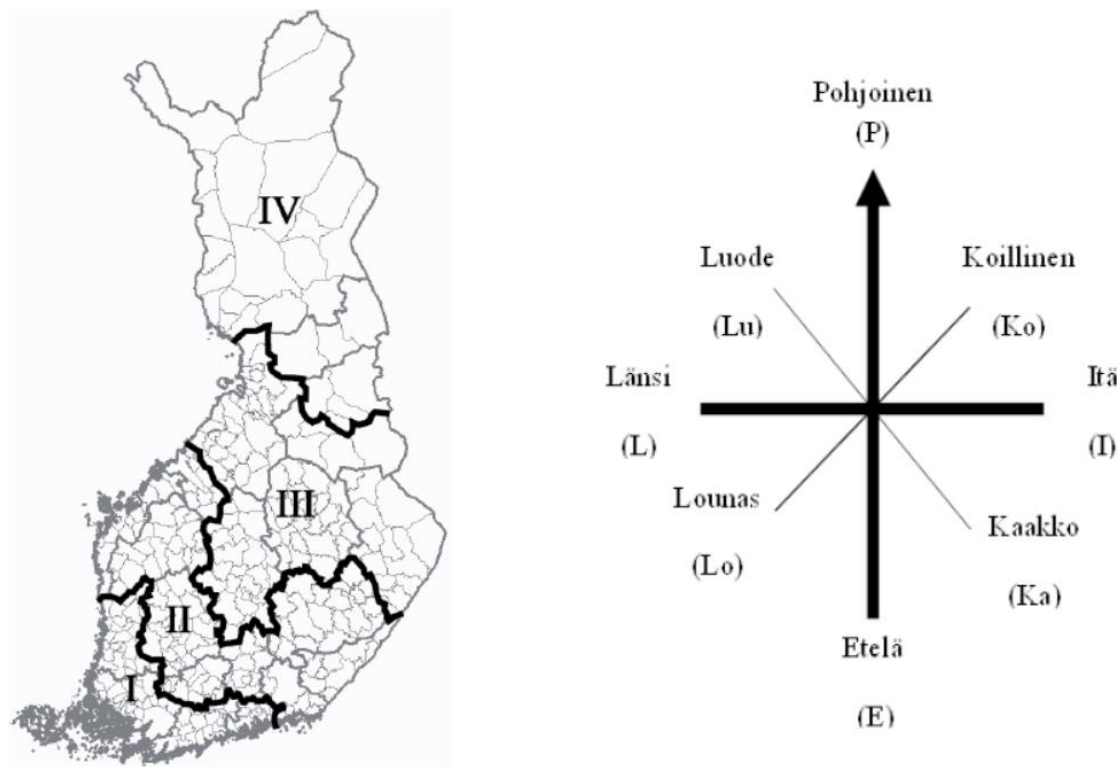
ilmanvaihdon ilman lämmittämiseen kuluva energiasta vuosittain.
(Ympäristöministeriö 2003.)

Toimeksiantajanani tässä työssä toimii FläktGroup Oy Finland. Tehtävänäni on vertailla eri valmistajien vuosihyötysuhdelaskentamenetelmiä ja vertailla niitä tekemääni Excel-laskuriin. Tekemäni Excel-laskenta on tarpeen, sillä laskurit eivät ole keskenään vertailukelpoisia, mutta tekemälläni Excel-laskurilla vertailua pystytään tekemään oman laskurini ja yritysten laskureiden välillä. Tavoitteenani tälle on, että vuosihyötysuhdelaskureita voitaisiin kehittää. Ilmatieteen laitos on laatinut säädataa nykyisestä ja tulevasta ilmastosta, joten ilmastonmuutoksen vaikutuksen selvittäminen vuosihyötysuhdelaskentaan kuuluu myös työhön. Selvitän myös, miten käyntiajat vaikuttavat vuosihyötysuhdelaskentaan.

2 Säädata

Säädatana ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdelaskennassa käytetään ilmatieteen laitoksen TRY testivuosia (Ympäristöministeriö 2017d, 59). Ilmatieteen laitoksen testivuosia ovat TRY2012, TRY2020, TRY2030, TRY2050 ja TRY2100. TRY testivuodet ovat kehitetty rakennusten lämmitys- ja jäähdytysenergiankulutuksen laskentaa varten. Näitä TRY testivuosia käytetään tässä työssä. Ilmatieteenlaitoksella on tuntikohtaista säädataa vuoden jokaista tuntia kohden. Näin ollen rivejä vuoden lämpötiloista on 8760. TRY2012 edusti nykyistä ilmastoa ennen kuin TRY2020 säädataa oli vielä kehitetty. Testivuosi TRY2020 korvaa testivuoden TRY2012 nykyisenä säädatana ja testivuodet tästä eteenpäin ovat ennusteita tulevasta ilmastosta. (Ilmatieteenlaitos 2020a.)

Suomi on jaettu neljään ilmastovyöhykkeeseen, joista kutakin edustavat säähavaintoasemat ympäri Suomea. Kyseiset säähavaintoasemat sijaitsevat Vantaalla, Jokioisissa, Jyväskylässä sekä Sodankylässä. Näistä jokaisesta on omat TRY säädatansa, sisältäen nykyisen ja tulevaisuuden säädatan. (Ilmatieteenlaitos 2020a.) Alla olevassa kuvassa 1 nähdään, miten säävyöhykkeet on jaettu Suomessa.



Kuva 1. Suomen säävyöhykkeet (Ympäristöministeriö 2017c, 15).

TRY2020 on muodostettu aikajaksolta 1989–2018. Säädata muodostettiin siten, että niiden vuosien kuukaudet, jotka vastasivat parhaiten keskimääräisiä ilmasto-olosuhteita, valikoitiin edellä mainitusta aikavälistä. Yhteensä valikoitiin 12 kuukautta ja nämä kuukaudet yhdistettiin edustamaan testivuotta TRY2020. Kullekin energialaskennan vyöhykkeelle muodostettiin näin oma TRY2020 testivuosi. TRY2020 on ollut pohjana tulevaisuuden testivuosille, mitkä ovat sitten muokattu ilmastomallien ennustamien muutosten perusteella. TRY2030 kuvaa lähitulevaisuuden ilmasto eli on vuosia 2015–2044 kuvaava ilmasto, TRY2050 on vuosisadan puoliväliä kuvaava ilmasto eli on vuosia 2035–2064 kuvaava ilmasto ja TRY2100 on vuosisadan loppupuolta kuvaava ilmasto eli on vuosia 2065–2094 kuvaava ilmasto. (Jylhä ym. 2020.)

Tulevaisuuden ilmaston sääaikasarjat on muodostettu erikseen kolmelle kasvihuonekaasuskenaariolle. RCP2.6 on vähäinen, RCP4.5 on kohtalainen ja RCP8.5 on hyvin voimakas ilmastonmuutos. (Jylhä ym. 2020.)

RCP2.6:ssa ilmastopoliittika on onnistunut täydellisesti. Sen mukaan CO₂:n päästöt menevät jyrkkään laskuun maailmanlaajuisesti vuoden 2020 jälkeen. Päästöt menevät lähelle nollassa kyseisen vuosisadan lopulla. Korkeimmillaan CO₂ pitoisuudet ovat vuosisadan puolivälissä noin 440 ppm, jonka jälkeen se alkaa laskea. (Ilmatieteen laitos 2020b.)

Keskimmäisenä RCP4.5:ssa ilmastopoliittika on osittain onnistunut. Aluksi CO₂:n päästöt kasvavat vähän ja ne menevätkin alaspäin vuoden 2040 kieppeillä. Kuitenkin pitoisuuden lasku kääntyy vuosisadan loppupuolella, jolloin ilmakehän hiilidioksidin määrä kaksinkertaistuu verrattuna teollistumista edeltävään aikaan. (Ilmatieteen laitos 2020b.)

RCP8.5:ssa päästöjen rajoittaminen epäonnistuu totaalisesti, kun käytössä on RCP8.5 skenaario. Vuoteen 2100 mennessä CO₂:n päästöt kohoavat vauhdilla. Teollistumista edeltävään aikaan verrattuna CO₂:n määrä olisi kasvanut yli kolminkertaiseksi. Pitoisuuden kasvu jatkuisi nopeana vuoden 2100 jälkeenkin. (Ilmatieteen laitos 2020b.)

Tulevaisuuden testivuosien sääaineistot ovat epävarmoja. Säämuuttujien arvot ovat usean desimaalin tarkkuudella, mutta todellisuudessa niissä on paljon epävarmuutta. Säädataa on silti perusteltua käyttää, sillä sen avulla rakennusten energialaskelmia pystytään vertailemaan nykypäivän ja tulevaisuuden välillä. Tulevaisuuden säädataa käyttämällä kyetään arvioimaan, miten energiantarve muuttuu tulevaisuudessa, kun Suomen ilmasto muuttuu. (Ilmatieteenlaitos 2020a.)

3 Suomalainen laskentatapa

3.1 Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskennassa huomioitavia asioita

Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdelaskennassa ollaan siirtymävaiheessa. Tällä hetkellä on olemassa vain ympäristöministeriön asetus 1009/2017, joka ei kerro kaikkea, mitä tarvitaan vuosihyötysuhdelaskentaan. Rakentamismääräyskokoelmat ovat kumottu ja ne eivät ole enää voimassa, mutta tässä työssä sovelletaan myös niitä, sillä muutakaan ohjeistusta ei ole. Esimerkiksi ympäristöministeriön moniste 122 on keskeisessä osassa tätä työtä, jonka mukaan vuosihyötysuhdelaskenta tehdään.

Suomalaisten ohjeiden mukaan lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde määritetään rakennuksen poistoilmalla. Vuosihyötysuhde määräytyy talteen otetun lämpömäärän ja tarvittavan lämpömäärän välisestä suhteesta. Tarvittava lämpömäärä lasketaan siten, ettei lämmöntalteenottoa eli LTO:a ole. Numeerisista arvoista laskemalla tulokseksi saadaan prosentuaalinen arvo, jota ei pidä sekoittaa lämpötilahyötysuhteen kanssa, vaikka vuosihyötysuhde sen kautta määräytyykin. Lämpötilahyötysuhde on lämmöntalteenottolaitteen valmistajan ilmoittama hyötysuhde, joka on voitu määrittää esimerkiksi standardilla EN 308: 1997. Vuosihyötysuhde on laskettu arvo, ei laboratorioolosuhteissa mitattu arvo kuten standardin EN 308: 1997 mukaan määritetty lämmöntalteenottolaitteen lämpötilahyötysuhde. (Ympäristöministeriö 2017d.) Pitää myös muistaa, että tulo- ja poistoilman lämpötilahyötysuhteet voivat olla eri tulo- ja poistoilmavirtojen välisestä suhteesta riippuen. Kyseessä ei kuitenkaan ole yksittäisen ilmanvaihtokoneen vuosihyötysuhde, joka lämmittää tuloilmaa, vaan kyse on rakennuksen kaikkien ilmanvaihtokoneiden summasta. Vuosihyötysuhteen laskennassa ei oteta huomioon vuotoilmanvaihdon lämmittämiseen tarvittavaa lämpömäärää. (Ympäristöministeriö 2011, 9; 2017d, 10.) Asuinrakennuksissa monesti vuotoilma on $0,5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$. Vuotoilma voi olla jopa 15 % asunnon ilmamäärästä, mikä on aina energiahukkaa. (J. Lönnström, henkilökohtainen keskustelu, 9.5.2022.)

Tasauslaskelmissa rakennukseen tulevia tai rakennuksessa syntyviä ilmaislämpöjä ei oteta huomioon, joita ovat esimerkiksi lämpökuormat. Lämpömäärän lämpötilaero määräytyy sisäilman ja ulkoilman lämpötilan välisenä erotuksena. (Ympäristöministeriö 2011, 43.) Todellisuudessa esimerkiksi asunnoissa esiintyy lämpökuormia, jotka parantavat poistoilman lämmöntalteenoton hyötysuhdetta. Tämä voi helposti nostaa poistoilman lämpötilaa 2–3 °C:tta uusissa taloissa. Tästä syystä tuloilman lämpötilaa halutaan rajoittaa esimerkiksi 17 °C:een, sillä lämpökuormat nostavat poistoilman lämpötilaa lähemmäksi poistoilman asetusarvoa. Lisäksi, kun tuloilman lämpötila on viileämpi kuin sisäilman lämpötila, saadaan puhdas ilma paremmin oleskeluvyöhykkeelle. Isotermisessä tilanteessa ilma jää helposti katonrajaan. (J. Lönnström, henkilökohtainen keskustelu, 9.5.2022.) 21 °C:tta on määräysten mukainen huonelämpötilan lämmityskauden suunnitteluarvo, jota tässä työssä enimmäkseen käytetäänkin (Ympäristöministeriö 2017a, 3; 2011, 43). Sen myös oletetaan olevan vakio koko vuoden ajalta (Ympäristöministeriö 2011, 43). Huonelämpötila saa vaihdella välillä 20–25 °C lämmityskaudella ja lämmityskauden ulkopuolella se saa vaihdella välillä 20–27 °C. Huonelämpötilan suunnitteluarvosta voidaan kuitenkin poiketa erityisestä syystä, jos esimerkiksi tilat vaativat erityisiä lämpötiloja toiminnan tai tilan erityisluonteen vuoksi. (Ympäristöministeriö 2017a, 3.)

Ympäristöministeriön RakMK D5:sen mukaan (2012, 22) kesä-, heinä- ja elokuuta ei oteta vuosihyötysuhteen laskennassa mukaan, sillä vuosihyötysuhdelaskennassa oletetaan, että lämmöntalteenotto ja ilmanvaihdon jälkilämmitys eivät ole käytössä, jollei sitä edellytetä rakennuksen käytössä. Tämän seurauksena tuloilman lämpötila voi vaihdella asetusarvosta kyseisinä kuukausina.

D5:sta (2012, 22) käy myös ilmi tuloilman sisäänpuhalluslämpötila. Jos tarkempaa tietoa ei ole, 18 °C:een lämpötilaa voidaan käyttää. Ilman lämpeneminen, jota tapahtuu lämmityspatterissa, lasketaan sisäänpuhalluslämpötilaan asti. Laskentamenetelmässä ei huomioida kanavistossa tapahtuvaa lämpenemistä. Todellisuudessa tuloilma voi lämmetä

kanavistossa yhden celsiusasteen (J. Lönnström, henkilökohtainen keskustelu, 9.5.2022).

Lämmöntalteenoton säätäminen tapahtuu yleensä siten, että sisäänpuhalluslämpötila ei ylitä haluttua asetusarvoa. Ilmavirtasuhde on otettava laskennassa huomioon, jotta lämmöntalteenottolaitteen vuosihyötysuhde saadaan laskettua. Lämmöntalteenottolaite ei saa jäätyä, joten jäteilmän lämpötila täytyy pitää sellaisella tasolla, jotta jäätymistä ei tapahdu. Jos laitekohtaisia varmennettuja suoritusarvoja minimijätelämpötilasta ei ole, voidaan muissa rakennuksissa, kuten sairaaloissa, käyttää levylämmönsiirtimille 0 °C:tta ja pyöriville lämmönsiirtimille -5 °C:tta. Asuinrakennuksille vastaavat arvot levylämmönsiirtimille ovat +5 °C ja pyöriville lämmönsiirtimille tai kosteutta siirtäville levylämmönsiirtimille 0 °C. (Ympäristöministeriö 2012b, 22.) Esimerkiksi kosteutta siirtävän levylämmönsiirtimen minimijätelämpötila voisi olla 0 °C, jolloin tätä alemmissa lämpötiloissa poistoilmassa oleva kosteus, joka on tiivistynyt LTO-kennoon, jäätyy kennoon (J. Lönnström, henkilökohtainen keskustelu, 9.5.2022).

Erona ympäristöministeriön monisteen 122 (2003, 13) laskennassa ja ympäristöministeriön tasauslaskentaoppaan 2012 (2011, 47, 48) mukaan suoritettavassa laskennassa on käyntiaikojen huomiointi.

Tasauslaskentaoppaan 2012 käyntiajat otetaan huomioon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskennassa eri tavalla kuin aikaisemmin julkaistussa monisteessa 122. Käyntiajat vaikuttavat poistoilmavirtoihin ja niille on tasauslaskentaoppaassa 2012 määritetty käyttöajoilla painotettu poistoilmavirta, jota sitten käytetään poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskennassa. Ympäristöministeriön tasauslaskentaoppaassa 2018 (2017, 49) käyttöajoilla painotettu poistoilmavirta määritetään samalla tavalla kuin aikaisemmin julkaistussa tasauslaskentaoppaassa 2012 (2011, 47, 48). Käyttöajoilla painotettu poistoilmavirta määritellään seuraavan kaavan mukaisesti,

$$q_p = t_d t_v q$$

Kaava 1. Käyttöajoilla painotettu poistoilmavirta. (Ympäristöministeriö 2011, 48; 2017d, 49)

Jossa,

q_p on käyttöajoilla painotettu poistoilmavirta, m^3/s

t_d on vuorokautinen käyntiaikasuhte, jonka arvot menevät välillä 0–24 ja kyseinen arvo jaetaan 24:llä

t_v on viikoittainen käyntiaikasuhte, jonka arvot menevät välillä 0–7 ja kyseinen arvo jaetaan seitsemällä

q on poistoilmavirta, m^3/s

Monisteessa 122 kerrottiin yllä oleva kaava vielä termillä r , joka on vuorokautinen käyntiaikakerroin.

Tulo- ja poistoilman lämpötilahyötysuhteilla saadaan kuvattua, kuinka hyvin lämmöntalteenottolaite pystyy ottamaan lämpöä talteen poistoilmasta. Jos kyseessä on esimerkiksi nestekiertoinen LTO-järjestelmä, laskenta kannattaa tehdä poistoilman lämpötilahyötysuhteen kautta. Tämä selkeyttää laskentaa, sillä selviä poisto- ja tuloilmavirtapareja ei välttämättä helposti löydä nestekiertoisesta LTO-järjestelmästä. (Ympäristöministeriö 2003, 14.) Alla olevilla kaavoilla 2 ja 3 saadaan laskettua tulo- ja poistoilman lämpötilahyötysuhteet.

$$\eta_t = \frac{(t_{tLTO} - t_u)}{(t_s - t_u)}$$

Kaava 2. Tuloilman lämpötilahyötysuhde (Ympäristöministeriö 2003, 14).

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

Kaava 3. Poistoilman lämpötilahyötysuhde (Ympäristöministeriö 2003, 14).

Jossa,

η_t on tuloilman lämpötilahyötysuhde

η_p on poistoilman lämpötilahyötysuhde (Ympäristöministeriö 2003, 14.)

t_{LTO} on LTO:n jälkeisen tuloilman lämpötila

t_u on ulkoilman lämpötila

t_s on sisäilman lämpötila

t_j on jäteilman lämpötila (Ympäristöministeriö 2003, 34.)

Tulo- ja poistoilman lämpötilahyötysuhteet saadaan laskettua myös epäsuhteisilla ilmavirroilla kaavoilla 4–6 riippuen tilanteesta. Näitä tilanteita käydään läpi kappaleessa 5.1.

$$R_{LTO} = \frac{q_{tLTO}}{q_{pLTO}}$$

Kaava 4. Tulo- ja poistoilmavirtojen välinen suhde (Ympäristöministeriö 2003, 15).

$$\eta_p = \eta_t R_{LTO}$$

Kaava 5. Poistoilman lämpötilahyötysuhde epäsuhteisilla ilmavirroilla (Ympäristöministeriö 2003, 15).

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

Kaava 6. Tuloilman lämpötilahyötysuhde toisin kuvattuna (Ympäristöministeriö 2003, 15).

Jossa,

R_{LTO} on tulo- ja poistoilmavirtojen välinen suhde

q_{tLTO} on tuloilmavirta, m^3/s

q_{pLTO} on poistoilmavirta, m^3/s

η_p on poistoilman lämpötilahyötysuhde

$\eta_{t(R_{LTO})}$ on tuloilman lämpötilahyötysuhde LTO:n jälkeen

$\eta_{t(R_{LTO}=1)}$ on tuloilman lämpötilahyötysuhde tasailmavirroilla

(Ympäristöministeriö 2003, 15.)

Alla olevilla kaavoilla 7–9 saadaan taas laskettua lämmöntarveluvut.

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

Kaava 7. Sisäilman lämpötilan t_s ja ulkoilman lämpötilan t_u välinen lämmöntarveluku. Yksiköksi tulee Kd. (Ympäristöministeriö 2003, 34.)

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

Kaava 8. LTO:n jälkeisen tuloilman lämpötilan t_{tLTO} ja ulkoilman lämpötilan t_u välinen lämmöntarveluku. Yksiköksi tulee Kd. (Ympäristöministeriö 2003, 34.)

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

Kaava 9. Sisäilman lämpötilan t_s ja jäteilman lämpötilan t_j välinen lämmöntarveluku. Yksiköksi tulee Kd. (Ympäristöministeriö 2003, 34.)

Jossa,

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

S_T on LTO:n jälkeisen tuloilman lämpötilan t_{tLTO} ja ulkoilman lämpötilan t_u välinen lämmöntarveluku, Kd

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

t_s on sisäilman lämpötila

t_u on ulkoilman lämpötila

t_{tLTO} on LTO:n jälkeisen tuloilman lämpötila

t_j on jäteilman lämpötila

τ_n on aikajakso vuodesta, jolloin lämpötilaero esiintyy

τ_{n-1} on edellinen aikajakso verrattuna τ_n . Jos kyseessä on ensimmäinen aikajakso vuodesta τ_{n-1} on nolla. (Ympäristöministeriö 2003, 34.)

Koska tässä opinnäytetyössä ulkoilman lämpötilojen pysyvyydet ilmaistiin prosentteina vuodesta, kaavoissa 7–9 yhtälöiden oikea puoli pitää kertoa luvulla 365 ja jakaa luvulla 100. Näin lämmöntarvelukujen yksiköiksi tulee Kd. (Ympäristöministeriö 2003, 34.)

Yleensä pelkät lämmöntarveluvut eivät kerro juuri mitään energiankulutuksesta. Ne voidaan onneksi kuitenkin muuttaa alla olevilla kaavoilla 10 ja 11 energiaksi, jolloin niiden yksiköksi tulee kWh.

$$Q_{iv} = c_p \rho q_p S_S$$

Kaava 10. Ilmanvaihdon tarvitsema lämpöenergia ilman LTO:a (Ympäristöministeriö 2003, 18).

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

Kaava 11. Poistoilmasta talteen otettu lämpöenergia (Ympäristöministeriö 2003, 20).

Jossa,

Q_{iv} on ilmanvaihdon tarvitsema lämpöenergia ilman LTO:a, kWh

Q_{LTO} on poistoilmasta talteen otettu lämpöenergia, kWh

c_p on ilman ominaislämpökapasiteetti, J/kgK

ρ on ilman tiheys, kg/m³

q_p on lämmöntalteenottovaatimuksen piiriin kuuluvien poistoilmavirtojen summa, m³/s (Ympäristöministeriö 2003, 18.)

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

S_J on sisäilman lämpötilan t_s ja jäteilman lämpötilan t_j välinen lämmöntarveluku, Kd (Ympäristöministeriö 2003, 34.)

Kun tiedetään ilmanvaihdon tarvitsema lämpöenergia ilman LTO:a sekä poistoilmasta talteen otettu lämpöenergia, saadaan seuraavalla kaavalla 12 laskettua ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde.

$$\eta_a = \frac{Q_{LTO}}{Q_{iv}}$$

Kaava 12. Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde (Ympäristöministeriö 2003, 24).

Jossa,

η_a on ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde (Ympäristöministeriö 2003, 24)

Q_{LTO} on poistoilmasta talteen otettu lämpöenergia, kWh

Q_{iv} on ilmanvaihdon tarvitsema lämpöenergia ilman LTO:a, kWh
(Ympäristöministeriö 2003, 18.)

Vuosihyötysuhteen laskenta onnistuu myös lämmöntarveluvuilla seuraavalla kaavalla 13.

$$\eta_a = \frac{\sum_i R_{T,i} S_{T,i}}{S_s} = \frac{\sum_i R_{P,i} S_{J,i}}{S_s}$$

Kaava 13. Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde lämmöntarveluvuilla (Ympäristöministeriö 2003, 24).

Jossa,

$R_{T,i}$ on ilmanvaihtokoneen (i) tuloilmavirran ja kaikkien lämmöntalteenottovaatimuksen piiriin kuuluvien poistoilmavirtojen suhde

$R_{P,i}$ on ilmavaihtokoneen (i) poistoilmavirran ja kaikkien lämmöntalteenottovaatimuksen piiriin kuuluvien poistoilmavirtojen suhde
(Ympäristöministeriö 2003, 24.)

S_T on LTO:n jälkeisen tuloilman lämpötilan t_{tLTO} ja ulkoilman lämpötilan t_u välinen lämmöntarveluku, Kd

S_s on sisäilman lämpötilan t_s ja ulkoilman lämpötilan t_u välinen lämmöntarveluku, Kd

S_j on sisäilman lämpötilan t_s ja jäteilman lämpötilan t_j välinen lämmöntarveluku, Kd (Ympäristöministeriö 2003, 34.)

Lämmöntalteenottolaitteiston valmistaja ilmoittaa standardin EN 308:1997 määrittämässä olosuhteissa tai muulla hyväksyttävällä tavalla mitatun tuloilman lämpötilahyötysuhteen. Tätä arvoa käytetään laskelmissa, mikäli valmistaja on sellaisen ilmoittanut. (Ympäristöministeriö 2017d.) Ilman ominaisuudet normaaliolosuhteissa, joita on käytetty standardissa EN 308 (1997, 4) ovat seuraavanlaiset:

Ilman tiheys: $1,20 \text{ kg/m}^3$

Dynaaminen viskositeetti: $18,2 \times 10^{-6} \text{ kg/ms}$

Absoluuttinen paine: 101,3 kPa (1013 Bar)

Ilman lämpötila: 20,0 °C

Suhteellinen kosteus: 50 %

EN 308:1997 hyötysuhde määritetään seuraavilla ehdoilla:

- Massavirrat ovat yhtä suuret tulo- ja poistopuolella.
- Lämmönsiirtimien tulee olla kuivia.
- Poistoilman lämpötila on 25 °C ja suhteellinen kosteus on 27 % ja tuloilman lämpötila on 5 °C
- Jäätymisen estoa ei ole.
- Tuloilman lämpötilaa ei rajoiteta. (EN 308 1997, 6; Ympäristöministeriö 2003, 14; Orpana 2015, 9.)

Tulokseksi tulee lämpötilahyötysuhde, joka on yhtä suuri tulo- ja poistopuolella (Ympäristöministeriö 2003, 14). Mitä korkeampi lämpötilahyötysuhde on, sitä matalampi jäteilman lämpötila sekä lämmönsiirtimen lämmönsiirtopinnat ovat (Savolainen 2020, 5). Tämä voi aiheuttaa haasteita huurteensulatuksen osalta, jota käydään enemmän läpi kappaleessa 4.

Jos lämpötilahyötysuhde ilmoitetaan standardin SFS-EN 13141-7 (2021, 21–22) mukaan on testiolosuhteet seuraavanlaiset kuivalla ilmalla:

- Poistoilman lämpötila: 20 °C

- Ulkoilman lämpötila: 7 °C

Standardin SFS-EN 13141-7 (2021, 22) määrän ilman testiolosuhteet ovat:

- Poistoilman lämpötila: 12 °C
- Ulkoilman lämpötila: -

Kylmän ilmaston testi suoritetaan SFS-EN 13141-7 (2021, 22) standardin mukaan seuraavilla parametreilla:

- Poistoilman lämpötila: 20 °C
- Ulkoilman lämpötila: - 15 °C

Kylmän ilmaston testi aloitetaan + 2 °C ulkoilman lämpötilasta ja se lopulta lasketaan – 15 °C:een, mikä kestää ainakin 3 tuntia. Testi kestää minimissään 6 tuntia, mutta maksimissaan 24 tuntia kunnes on saavutettu piste, jossa ilman virtaus on tasoittunut. Testi on onnistunut, jos lämpötilat ja massavirrat ovat tasoittuneet syklien aikana ilman haitallista jäätymistä koko yksikön päällä. (SFS-EN 13141-7 2021, 22.)

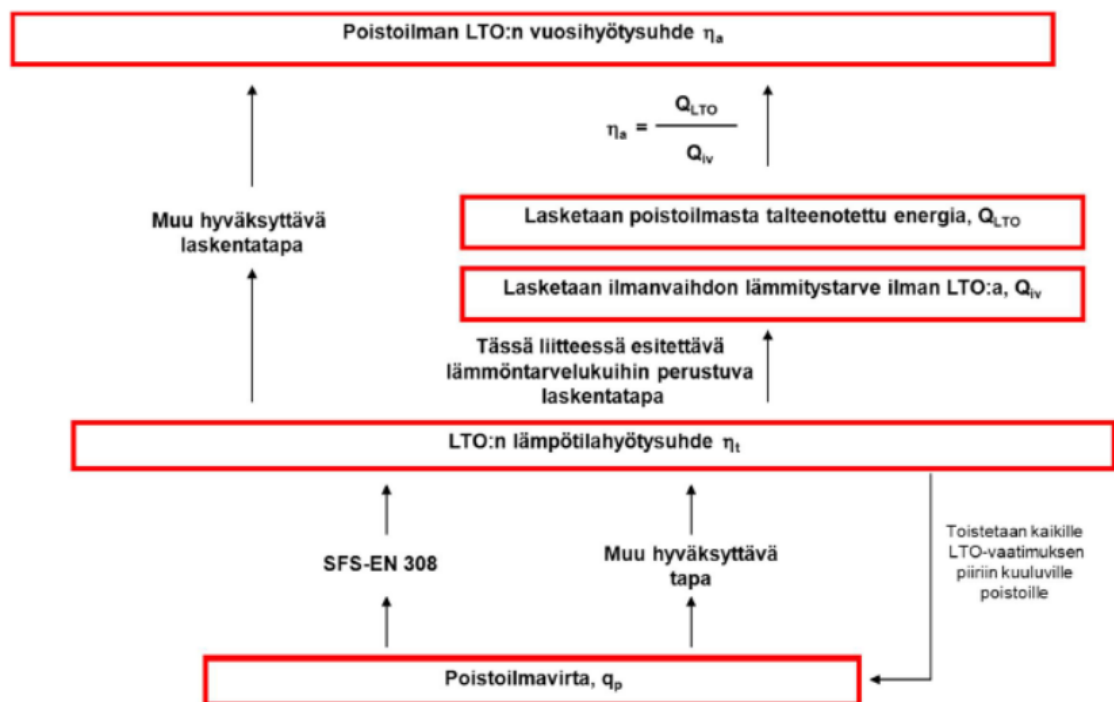
Lämpötila- ja kosteushyötysuhteet muodostetaan mittaamalla keskiarvot kuivan ja määrän ilman lämpötiloille. Standardi antaa tulokseksi lämpötilahyötysuhteen tulo- ja poistoilmalle ilman kondensaatiota sekä samat hyötysuhteet kondensaatiolla. Tarvittaessa lämpötilahyötysuhteet tulo- ja poistoilmalle voidaan ilmoittaa kylmälle ilmastolle, kuten Suomessa on tarvetta. Kylmän ilmaston testissä tulee havainnoida jään vaikutus ja kondensaatio LTO:n toiminnassa sekä kondensaatio poistovedessä. (SFS-EN 13141-7 2021, 23, 31.)

Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskennassa otetaan huomioon ainakin seuraavat asiat:

- Tulo- ja poistoilmavirtojen suhde
- Jäätymissuojaus (jätelämpötilan rajoitus)
- Tuloilman lämpötilan rajoitus

- EN 308:1997 mukaan (tai muulla hyväksyttävällä tavalla) valmistajan ilmoittama mitattu tuloilman lämpötilahyötysuhde
- Laskentatulokset on yleisesti poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde (Ympäristöministeriö 2011, 28.)

Alla olevassa kuvassa 2 on vielä kootusti, miten vuosihyötysuhteen laskenta voidaan toteuttaa.



Kuva 2. Kaavio tavoista, miten rakennuksen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde voidaan määrittää määräystenmukaisiksi (Ympäristöministeriö 2011, 42; 2017d, 43).

Ilmanvaihdon poistoilmasta on vähintään otettava lämpöenergiaa talteen 55 % ilmanvaihdon tarvitsemasta lämpömäärästä (Ympäristöministeriö 2017d, 42). Jäteilmalla tarkoitetaan taas poistoilmaa, joka poistuu rakennuksesta ulkoilmaan. Lämmöntalteenottoon liittyvä vaatimus täyttyy, kun talteen otettu poistoilman lämpömäärä käytetään vaadittavilta osin lämmityskauden ajalta joko lämmittämään tiloja tai rakennuksen tuloilmaa. (Ympäristöministeriö 2011, 43.) Alla olevassa taulukossa 1 on listattu eri lämmönsiirtimille tyypillisiä tuloilman lämpötilahyötysuhteita.

Taulukko 1. Tyypillisiä tuloilman lämpötilahyötysuhteita lämmönsiirrintyypeittäin (Ympäristöministeriö 2017d, 45).

Lämmönsiirrin	Tyypillinen tuloilman lämpötilahyötysuhde
Virtaavan väliaineen välityksellä lämpöä siirtävät lämmönsiirrinyhdistelmät	40–60 %
Ristivirtalevylämmönsiirtimet	50–70 %
Vastavirtalevylämmönsiirtimet	60–80 %
Regeneratiiviset lämmönsiirtimet	60–80 %

3.2 E-luvun laskenta

E-luku tarvitsee laskea rakennukselle, jotta siitä saadaan tehtyä energiatodistus. E-luvun arvo kertoo mihin energiatehokkuusluokkaan asteikolla A-G rakennus tai sen osa kuuluu, mikä kertoo kuinka energiatehokas rakennus tai sen osa on. Energiatehokkuusluokka näkyy energiatodistuksessa, joka näkyy alla olevassa kuvassa 3, jossa on esimerkki energiatodistuksesta. (Ympäristöministeriö 2017b, 1.)

ENERGIATODISTUS 2018

Rakennuksen nimi ja osoite:

Pysyvä rakennustunnus:
Rakennuksen valmistumisvuosi:
Rakennuksen käyttötarkoitusluokka:

Todistustunnus:

Energiatodistus on laadittu

- Uudelle rakennukselle rakennuslupaa haettaessa
- Uudelle rakennukselle käyttöönottovaiheessa
- Olemassa olevalle rakennukselle, havainnointikäynnin päivämäärä:

	Energiatehokkuusluokka
A	
B	
C	
D	
E	
F	
G	

Rakennuksen laskennallinen energiatehokkuuden vertailuluku eli E-luku kWh_e/(m²vuosi)
Uuden rakennuksen E-luvun vaatimus ≤

Todistuksen laatija: Yritys:

Sähköinen allekirjoitus:

Todistuksen laatimispäivä: Viimeinen voimassaolopäivä:

Kuva 3. Esimerkki energiatodistuksesta (Ympäristöministeriö 2017b, 27).

Energiatodistuksen laatijan tulee antaa energiansäästösuosituksia kohteesta. Hän arvioi kohteen rakennusosien ja teknisten järjestelmien energiateknisen kunnan sekä selvittää energiansäästämahdollisuuksia, joilla parannetaan rakennuksen tai sen osan energiatehokkuutta. Energiansäästämahdollisuuksien tulee kuitenkin olla kustannustehokkaita ja se ei saa huonontaa sisäilmasto-olosuhteita. (Ympäristöministeriö 2017b, 1–2.) Energiansäästösuosituksia ei tarvitse kuitenkaan antaa uudisrakennuksiin (J. Kääriäinen, henkilökohtainen keskustelu, 10.5.2022). Energiatodistusta ei tarvita, jos rakennuksen kerrosala on alle 50 neliometriä tai jos kyseessä on loma-asumiseen tarkoitettu asuinrakennus, jota ei käytetä majoituselinkeinoon harjoittamiseen. Energiatodistus täytyy esittää, kun haetaan rakennuslupaa uudisrakennukselle sekä myynnin tai vuokrauksen yhteydessä olemassa olevalle rakennukselle. Tämä ei kuitenkaan koske kaikkia rakennuksia tai tilanteita. Energiatodistus on voimassa 10 vuotta siitä päivästä lähtien, kun se on annettu. (Motiva 2021.) Alla olevassa taulukossa 2 on listattu sairaalan energiatehokkuusluokkia. Taulukosta 2 näkee millä E-luvun arvoilla päästään mihinkin energiatehokkuusluokkaan, joka näkyy energiatodistuksessa (kuva 3).

Taulukko 2. Käyttötarkoitussuokka 8 eli sairaalan energiatehokkuusluokkien määrittäminen (Ympäristöministeriö 2017b, 26).

Energiatehokkuusluokka	E-luku (kWh _E /(m ² vuosi))
A	E-luku ≤ 150
B	151 ≤ E-luku ≤ 350
C	351 ≤ E-luku ≤ 450
D	451 ≤ E-luku ≤ 550
E	551 ≤ E-luku ≤ 650
F	651 ≤ E-luku ≤ 800
G	801 ≤ E-luku

Energiansäästösuosituksia tehtäessä tulee arvioida energiansäästön määrä ja vaikutus E-lukuun. Alla luetellut rakennusosat ja tekniset järjestelmät tulee arvioida:

1. ulkoseinät, ulko-ovet, ikkunat, yläpohja ja alapohja sekä muut rakenteet

2. lämmitysjärjestelmä
3. käyttövesijärjestelmä
4. ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmä
5. valaistus
6. jäähdytysjärjestelmä
7. sähköiset erillislämmitykset
8. muut järjestelmät, joilla on vaikutusta rakennuksen energiatehokkuuteen.
(Ympäristöministeriö 2017b, 2.)

Ympäristöministeriön asetuksessa rakennuksen energiatodistuksesta (2017b, 4) lukee, jos laskentasäännöissä ei muuta säädetä lähtöarvoista, täytyy lähtöarvoina käyttää sellaisia arvoja, jotka kuvaavat parhaiten rakennuksen rakennusosien ja teknisten järjestelmien ominaisuuksia silloin kun energiatodistusta laaditaan. Mikäli lähtöarvoja ei ole saatavissa tai niitä ei saada selvitettyä, pitää käyttää liitteen 1 mukaisia oletusarvoja. Alla olevassa taulukossa 3 on rakenteiden lämmönläpäisykertoimia esimerkkinä liitteen 1 oletusarvoista. Ympäristöministeriön asetuksesta (2017b) löytyy myös taulukoituja oletusarvoja muun muassa ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteista, ominaissähkötehoista ja ilmanvuotoluvuista, joita voidaan käyttää, jos muita lähtöarvoja ei ole. Lähtöarvot valitaan rakennuksen rakennusluvan vireilletulovuoden mukaan. Jos vireilletulovuosi ei ole tiedossa, voidaan se arvioida vähentämällä rakennuksen valmistumisvuodesta kaksi vuotta.

Taulukko 3. Rakenteiden lämmönläpäisykertoimet, W/m²K (Ympäristöministeriö 2017b, 9).

Rakennusosa	Rakennusluvun vireilletulovuosi								
	-1969	1969-	1976-	1978-	1985-	10/2003-	2008-	2010-	2012-2018-
Lämpimät tilat									
Ulkoseinä	0,81	0,81	0,70	0,35	0,28	0,25	0,24	0,17*	0,17*
Maanvarainen alapohja	0,47	0,47	0,40	0,40	0,36	0,25	0,24	0,16	0,16
Ryömintätillainen alapohja	0,47	0,47	0,40	0,40	0,40	0,20	0,20	0,17	0,17
Ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,35	0,35	0,35	0,29	0,22	0,16	0,16	0,09	0,09
Yläpohja	0,47	0,47	0,35	0,29	0,22	0,16	0,15	0,09	0,09
Ovi	2,2	2,2	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,0	1,0
Ikkuna	2,8	2,8	2,1	2,1	2,1	1,4	1,4	1,0	1,0
Puolilämpimät tilat									
Ulkoseinä	0,81	0,81	0,70	0,60	0,45	0,40	0,38	0,26*	0,26*
Maanvarainen alapohja	0,60	0,60	0,60	0,60	0,45	0,36	0,34	0,24	0,24
Ryömintätillainen alapohja	0,60	0,60	0,60	0,60	0,40	0,30	0,28	0,26	0,26
Ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,60	0,60	0,60	0,60	0,45	0,30	0,28	0,14	0,14
Yläpohja	0,60	0,60	0,60	0,60	0,45	0,30	0,28	0,14	0,14
Ovi	2,2	2,2	2,0	2,0	2,0	1,8	1,8	1,4	1,4
Ikkuna	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	1,8	1,8	1,4	1,4

* Taulukkoarvoja käytettäessä hirs- ja massiivipuuseinien U-arvona käytetään vuoden 2010 jälkeen lämpimien tilojen osalta 0,4 W/m²K ja puolilämpimien tilojen osalta 0,6 W/m²K.

E-luvun laskennassa käytetään energiamuotojen kertoimia, jotta ostoenergia saadaan määritettyä (kaava 14) (Ympäristöministeriö 2017b, 4). Alla olevassa taulukossa 4 on energiamuotojen kertoimia.

Taulukko 4. Energiamuotojen kertoimia (Ympäristöministeriö 2017b, 4–5).

Energiamuoto	Kerroin
sähkö	1,2
kaukolämpö	0,5
kaukojäähdytys	0,28
fossiiliset polttoaineet	1,0
rakennuksessa käytettävät uusiutuvat polttoaineet	0,5

Kertoimia ei ole määritetty sellaisille energiamuodoille, joissa rakennuksen ympäristössä olevaa energiaa hyödynnetään. Syynä on se, että se pienentää ostoenergian tarvetta. Kuitenkin nämä energiamuodot otetaan huomioon E-luvun laskennassa siltä osin mitä niitä voidaan käyttää hyödyksi vakioituun käyttöön perustuvan energiankulutuksen kattamiseen. Ympäristössä olevan energian hyödyntämisellä tarkoitetaan auringosta, tuulesta, maasta, ilmasta tai vedestä tuotettua lämpö- tai sähköenergiaa. Esimerkiksi aurinkopaneelit ja -keräimet, paikalliset tuuliturbiinit ja lämpöpumput hyödyntävät ympäristössään olevaa energiaa. Kuitenkaan poistoilmalämpöpumpun ottamaa energiaa poistoilmasta ei lasketa rakennuksen ympäristössä olevan energian hyödyntämiseksi. Myöskään ulkopuolisiin energiaverkkoihin syötettyä energiaa ei laskennassa huomioida, minkä takia se ei vaikuta E-luvun arvoon. (Ympäristöministeriö 2017b, 5.)

Kaikille lämmitysjärjestelmille lasketaan niiden ostoenergiankulutus. Tilojen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden energiankulutus kuuluu lämmitysjärjestelmän tuottoon. Lämmitysjärjestelmän lämmityksen ostoenergia lasketaan jakamalla tilojen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden energiankulutus sekä mahdollisesti erillisen lämmönvaraajan häviöiden summa kyseessä olevan lämmöntuottojärjestelmän tuoton hyötysuhteella. Hyötysuhteena voidaan käyttää esimerkiksi kattilan hyötysuhdetta tai lämpöpumpun vuoden keskimääräistä lämpökerrointa. Rakennuksen

tarkastuksen yhteydessä voidaan selvittää lämmöntuottojärjestelmien hyötysuhteet sekä lämmöntuottojärjestelmän apulaitteiden sähkönkulutus. Tarkastuksessa saatuja arvoja tulee käyttää laskennassa tai mikäli arvoja ei ole selvitetty, voidaan käyttää alla olevien taulukoiden 5 ja 6 arvoja lämmöntuottojärjestelmien hyötysuhteista ja lämmöntuottojärjestelmän apulaitteiden sähkönkulutuksesta. (Ympäristöministeriö 2017b, 13.)

Taulukko 5. Lämmöntuoton hyötysuhteiden ja apulaitteiden sähkönkulutuksen ohjearvoja. Ohjearvot koskevat erillisiä pientaloja, ketjutalon osana olevia rakennuksia, rivitaloja ja asuinkerrostaloja, joissa on asuinkerroksia enintään kahdessa kerroksessa. (Ympäristöministeriö 2017b, 13.)

Lämmöntuotto	Vuosihyötysuhde	Apulaitteiden sähkön ominaiskulutus kWh/(m ² vuosi)
Öljy/kaasu, standardikattila	0,81 ⁽³⁾	0,99 ⁽¹⁾ 0,59 ⁽²⁾
Öljy, kondenssikattila	0,87 ⁽³⁾	1,07
Kaasu, kondenssikattila	0,92 ⁽³⁾	0,68
Pellettikattila	0,75 ⁽³⁾	0,77
Puukattila energiavaraajalla	0,73	0,38
Sähkökattila	0,88 ⁽³⁾	0,02
Kaukolämpö	0,94	0,60
Huonekohtainen sähkölämmitys	1,00	0,00

⁽¹⁾ öljy

⁽²⁾ kaasu

⁽³⁾ Vuosihyötysuhde sisältää tyypillisen lämmöntuottoyksikköön integroidun varaajan häviöt. Mikäli varaaja on erillinen, voidaan sen häviöt arvioida interpoloiden käyttövesivaraajan häviöistä, ellei tarkempaa laskelmaa ole olemassa.

Taulukko 6. Lämmöntuoton hyötysuhteiden ja apulaitteiden sähkönkulutuksen ohjearvoja muissa rakennuksissa (Ympäristöministeriö 2017b, 14).

Lämmöntuotto	Vuosihyötysuhde	Apulaitteiden sähkön ominaiskulutus kWh/(m ² vuosi)
Öljy/kaasu, standardikattila	0,90	0,24 ⁽¹⁾ 0,11 ⁽²⁾
Öljy, kondenssikattila ⁽³⁾	0,95	0,25
Kaasu, kondenssikattila ⁽³⁾	1,01	0,12
Pellettikattila	0,84	0,13
Puukattila energiavaraajalla	0,82	0,25
Kaukolämpö	0,97	0,07
Huonekohtainen sähkölämmitys	1,00	0,00

⁽¹⁾ öljy

⁽²⁾ kaasu

⁽³⁾ hyötysuhde alemman lämpöarvon mukaan

Lämpöpumppujärjestelmissä otetaan huomioon rakennuksen lämmitysjärjestelmän lisälämmityksen energiankäyttö, jos lämpöpumppujärjestelmää ei ole mitoitettu täysitehomoititukselle. Yleensä lisälämmitys on sähköinen. Ilma-vesi- ja ilmalämpöpumpuissa lasketaan aina lisälämmityksen energiankäyttö. Laskennassa huomioidaan, että teho ja lämpökertoimet riippuvat vahvasti ulkolämpötilasta, sillä molemmat lämpöpumpputyypit hyödyntävät ulkoilmaa lämmönlähteenään. Lämpöpumppujen SPF-luvut voidaan selvittää rakennuksen tarkastuksen yhteydessä. (Ympäristöministeriö 2017b, 14.) SPF-luvulla tarkoitetaan lämpöpumpun vuoden keskimääräistä lämpökerrointa, joka on lämpöpumpulla tuotetun vuotuisen energian suhde lämpöpumpun sekä apulaitteiden vuotuisen sähkönkulutukseen (Eskola ym. 2012, 4). Ellei SPF-lukujen selvitys rakennuksen tarkastuksen yhteydessä ole jostain syystä mahdollista, voidaan käyttää alla olevien taulukoiden 7–9 arvoja (Ympäristöministeriö 2017b, 14).

Taulukko 7. Ulkoilmalämpöpumppujen SPF-lukuja (Ympäristöministeriö 2017b, 14).

Menoveden korkein lämpötila, °C	SPF-luku
Ilma-ilma	2,8
<i>Ilma-vesi (tilojen lämmitys)</i>	
30 °C	2,8
40 °C	2,5
50 °C	2,3
60 °C	2,2
<i>Ilma-vesi (käyttöveden lämmitys)</i>	
60 °C	1,8

Taulukko 8. Maalämpöpumppujen SPF-lukuja (Ympäristöministeriö 2017b, 15).

Maalämpöpumppu	SPF-luku	
	Vuotuinen keruupiirin paluunesteen keskilämpötila, -3 °C	Vuotuinen keruupiirin paluunesteen keskilämpötila, +3 °C
<i>Tilojen lämmitys</i>		
30 °C	3,4	3,5
40 °C	3,0	3,1
50 °C	2,7	2,7
60 °C	2,5	2,5
<i>Käyttöveden lämmitys</i>		
60 °C	2,3	2,3

Taulukko 9. Poistoilmalämpöpumpputilojen ja käyttöveden lämmityksen yhteisiä SPF-lukuja poistoilman lämpötilalla 21 °C (Ympäristöministeriö 2017b, 15).

Jäteilman alin lämpötila	SPF-luku
-3 °C	2,4
+1 °C	2,1
+3 °C	2,0
+5 °C	1,9

E-luvun laskenta tehdään laskentamenetelmällä, jossa otetaan huomioon vähintään seuraavat asiat:

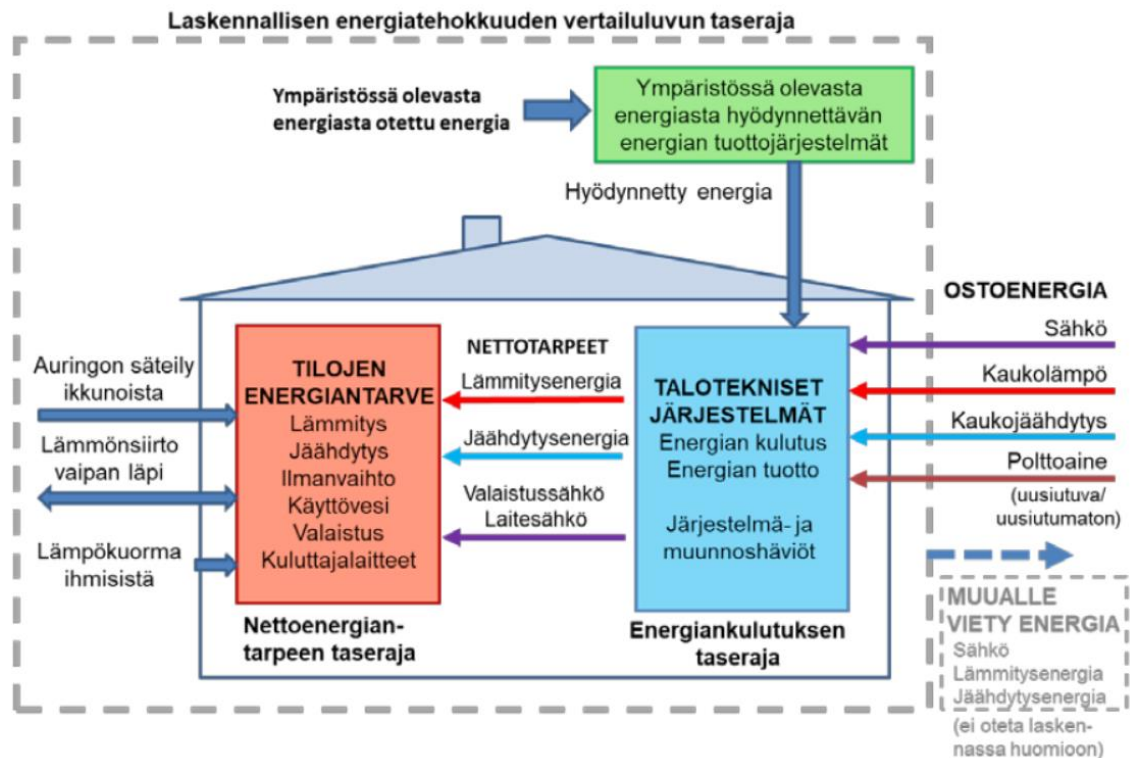
- a) rakennusosien ja niiden liitosten lämpöominaisuudet, rakennuksen ilmanpitävyys, ilmanvaihdon ilmavirta;
- b) sisäilman lämpötila;
- c) lämpimän käyttöveden tarve;
- d) ilmanvaihdon lämmöntalteenotto;
- e) lämpökuormat henkilöistä, valaistuksesta, sähkölaitteista, lämpimästä käyttövedestä ja auringosta;
- f) tilojen ja ilmanvaihdon lämmitysjärjestelmän lämpö- ja sähköenergian tarve;
- g) käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpö- ja sähköenergian tarve;
- h) ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiantarve;
- i) kuluttajalaitteiden ja valaistuksen sähköenergiantarve.

Jos rakennuksessa suunnitellaan käytettävään aurinkokeräimiä, -paneeleita tai jäteveden lämmöntalteenottoa, tulee huomioida seuraavat asiat:

- j) aurinkokeräimen lämmöntuotto ja sen hyödyntäminen rakennuksessa;

- k) aurinkopaneelin sähköntuotto ja sen hyödyntäminen rakennuksessa;
- l) jäteveden lämmöntalteenotto ja sen hyödyntäminen rakennuksessa. (Ympäristöministeriö 2017c, 5.)

E-luvun laskennassa huomioitavia asioita havainnollistaa alla oleva kuva 4.



Kuva 4. Ostoenergiankulutuksen taseraja (Ympäristöministeriö 2017b, 6).

E-luvun laskentaan varten täytyy laskea vuoden ostoenergiankulutus rakennukselle tai sen osalle joko kuukausitason laskentamenetelmällä tai dynaamisella laskentamenetelmällä (Ympäristöministeriö 2017b, 1, 5). Kuukausitason laskentamenetelmää voidaan käyttää silloin, jos sisäilman lämpötilan hallintaan ei tarvita jäähdytystä tai jos jäähdytystä tarvitaan vain sellaisissa tiloissa, joiden lämmitetty nettoala on alle 10 prosenttia rakennuksen lämmitetystä nettoalasta tai lämmitetty nettoala on alle 50 neliometriä. Tällöin jäähdytystä ei oteta huomioon ostoenergiaa laskettaessa. Muissa kuin edellä mainituissa tilanteissa jäähdytys pitää huomioida ja tulee käyttää dynaamista laskentamenetelmää. Poikkeuksena käyttötarkoitusluokkaan 1 kuuluvat

rakennukset eli pienet asuinrakennukset voidaan aina laskea kuukausitason menetelmällä. (Ympäristöministeriö 2017b, 5–6; 2017c, 3, 5.)

Dynaamista laskentamenetelmää käytetään, kun sisäilman lämpötilan hallintaan tarvitaan jäähdytystä. Tällöin lasketaan rakennuksen ostoenergiankulutus, joka lisäksi huomioi jäähdytysjärjestelmien lämpö- ja sähköenergiantarpeen. Myös jäähdytysjärjestelmien lämmönsiirron laskennassa pitää ottaa huomioon rakenteiden lämmönvarausominaisuudet, jotka ovat ajasta riippuvaisia. Aika-askel saa olla enintään tunnin. (Ympäristöministeriö 2017c, 5.) Olemassa olevia rakennuksia voidaan tarkastella samalla tavalla kuin uusiakin, käyttäen joko kuukausitason menetelmää, jos kyseessä on jäähdyttämätön rakennus tai käyttäen dynaamista laskentamenetelmää, jos kyseessä on jäähdytetty rakennus. (Ympäristöministeriö 2017b, 6.) Alla olevan taulukon 10 arvoja tulee käyttää laskentatavasta riippumatta (Ympäristöministeriö 2017c, 5). E-luvun laskennassa käytettäviä ilmavirtoja on kuitenkin mahdollista joissakin tapauksissa pienentää, jos käytetään tarpeenmukaista ilmanvaihtoa (J. Kääriäinen, henkilökohtainen keskustelu, 10.5.2022).

Taulukko 10. E-luvun laskentaan tarvittavat käyttöajan ulkoilmavirrat sekä huonelämpötilan lämmitys- ja jäähdytysrajat, joita tulee laskennassa käyttää (Ympäristöministeriö 2017c, 5).

Käyttötarkoitukseluokka	Ulkoilmavirta dm ³ /(s m ²)	Lämmitysraja °C	Jäähdytysraja °C
Luokka 1)	0,4	21	27
Luokka 2)	0,5	21	27
Luokka 3)	2	21	25
Luokka 4)	2	18	25
Luokka 5)	2	21	25
Luokka 6)	3	21	25
Luokka 7)	2	18	25
Luokka 8)	4	22	25

Vuosihyötysuhdelaskennassa rakennuksen säävyöhyke määräytyy rakennuksen sijainnin mukaan, mikä on järkeenkäypää. Kuitenkin E-lukua laskettaessa säätiedot menevät säävyöhykkeen I eli Helsinki-Vantaan säätietojen perusteella rakennuksen sijainnista riippumatta. Ostoenergia

kuitenkin lasketaan rakennuspaikan mukaan. Tämä on erikoista, sillä E-luvun pystyisi laskemaan eri säävyöhykkeillä kuten vuosihyötysuhdelaskennassa, mutta ympäristöministeriön ohjeiden ja määräysten mukaan se lasketaan yhdellä ja samalla säävyöhykkeellä ympäri Suomea. (Ympäristöministeriö 2017c, 5; Tuotekehitysjohtaja Yritys 1, henkilökohtainen haastattelu, 22.3.2022.)

E-luku lasketaan seuraavalla kaavalla 14:

$E =$

$$\frac{f_{kaukolämpö}Q_{kaukolämpö} + f_{kaukojäähdytys}Q_{kaukojäähdytys} + \sum_i f_{polttoaine,i}Q_{polttoaine,i} + f_{sähkö}W_{sähkö}}{A_{netto}}$$

Kaava 14. E-luvun laskentakaava (Ympäristöministeriö 2017c, 4).

Jossa,

E on energiatehokkuuden vertailuluku, kWh_E/m²a;

$Q_{kaukolämpö}$ on kaukolämmön kulutus vuodessa, kWh/a;

$Q_{kaukojäähdytys}$ on kaukojäähdytyksen kulutus vuodessa, kWh/a;

$Q_{polttoaine,i}$ on polttoaineen i sisältämän energian kulutus vuodessa, kWh/a;

$W_{sähkö}$ on sähkön kulutus vuodessa, missä on otettu huomioon vähennykset rakennukseen kuuluvalla laitteistolla ympäristöstä vapaasti hyödynnettävästä energiasta otetusta energiasta siltä osin, kuin se on käytetty rakennuksessa siinä tapahtuvan vakioituun käyttöön perustuvan energiankulutuksen kattamiseen, kWh/a;

$f_{kaukolämpö}$ on kaukolämmön energiamuodon kerroin;

$f_{kaukojäähdytys}$ on kaukojäähdytyksen energiamuodon kerroin;

$f_{polttoaine,i}$ on polttoaineen i energiamuodon kerroin;

$f_{sähkö}$ sähkön energiamuodon kerroin;

A_{netto} on rakennuksen lämmitetty nettoala, m². (Ympäristöministeriö 2017c, 4.)

Kun E-luku on rakennukselle tai sen osalle määritetty kaavan 4 mukaan, pitää varmistaa, ettei sen arvo ole liian korkea. E-luvun raja-arvo määräytyy käyttötarkoitukseluokan mukaan, mitä rakennus tai sen osa ei saa ylittää. Käyttötarkoitukseluokat menevät numeroittain 1-9. Alla olevassa taulukossa 11 on listattu E-luvun raja-arvoja käyttötarkoitukseluokittain. (Ympäristöministeriö 2017c, 3.) Esimerkiksi sairaalalle E-luvun raja-arvo on taulukon 6 mukaan 320 kWh_E/m²a. Vaikka käyttötarkoitukseluokassa 9 rakennuksille ei ole raja-arvoa, energiatodistus tulee silti laatia (Ympäristöministeriö 2018, 11; J. Kääriäinen, henkilökohtainen keskustelu, 10.5.2022). Käyttötarkoitukseluokka 9 on kuitenkin laaja ja se sisältää paljon poikkeuksia, jolloin energiatodistusta ei tarvitakaan. Näitä ovat esimerkiksi teollisuus- ja korjaamorakennukset sekä uskonnolliset rakennukset kuten kirkot. (Ympäristöministeriö 2018, 9.)

Taulukko 11. E-luvun raja-arvoja käyttötarkoitukseluokittain (Ympäristöministeriö 2017c, 3).

Käyttötarkoitukseluokka	E-luvun raja-arvo kWh _E /(m ² a)
Luokka 1) Pienet asuinrakennukset: a) Erillinen pientalo ja ketjutalon osana oleva rakennus, joiden lämmitetty nettoala (A_{netto}) on 50–150 m ² b) Erillinen pientalo ja ketjutalon osana oleva rakennus, joiden lämmitetty nettoala (A_{netto}) on enemmän kuin 150 m ² kuitenkin enintään 600 m ² c) Erillinen pientalo ja ketjutalon osana oleva rakennus, joiden lämmitetty nettoala (A_{netto}) on enemmän kuin 600 m ² d) Rivitalo ja asuinkeuhkotalo, jossa on asuinkeuhkoja enintään kahdessa kerroksessa	200–0,6 A_{netto} 116–0,04 A_{netto} 92 105
Luokka 2) Asuinkeuhkotalo, jossa on asuinkeuhkoja vähintään kolmessa kerroksessa	90
Luokka 3) Toimistorakennus, terveyskeskus	100
Luokka 4) Liikerakennus, tavaratalo, kauppakeskus, myymälärakennus lukuun ottamatta päivittäistavarakaupan alle 2000 m ² yksikköä, myymälähalli, teatteri, ooppera-, konsertti- ja kongressitalo, elokuvateatteri, kirjasto, arkisto, museo, taidegalleria, näyttelyhalli	135
Luokka 5) Majoitusliikerakennus, hotelli, asuntola, palvelutalo, vanhainkoti, hoitolaitos	160
Luokka 6) Opetusrakennus ja päiväkotit	100
Luokka 7) Liikuntahalli lukuun ottamatta uimahallia ja jäähallia	100
Luokka 8) Sairaala	320
Luokka 9) Muu rakennus, varastorakennus, liikenteen rakennus, uimahalli, jäähalli, päivittäistavarakaupan alle 2000 m ² yksikkö, siirtokelpoinen rakennus	ei raja-arvoa

4 Kosteuden ja huurtumiseneston huomioiminen

4.1 Kosteuden vaikutus ilmanvaihdon lämmöntalteenottoon

Rakennustyyppistä riippumatta lähes poikkeuksetta rakennuksen sisällä muodostuu kosteuskuormia. Tehokas LTO-laite takaa sen, että kastepistelämpötila alitetaan alhaisilla ulkoilman lämpötiloilla. Ongelmallisia tilanteita ovat poistoilman kosteuden tiivistyminen vedeksi tai härmistyminen jääksi tai kuuraksi lämmönsiirtimeen. Olomuodonmuutokset, mikä näistä tapahtuu, riippuu lämmönsiirtopinnan lämpötilasta. Nämä olomuodonmuutokset heikentävät laitteiston hyötysuhdetta, sillä ilman liikkuminen lämmönsiirtimen läpi huononee. Eritoten kuura ja jää ovat pahimpia hyötysuhteen heikentäjiä. Jotta lämmöntalteenottolaitteiston oikeanlainen toiminta on taattu, täytyy edellä mainitut tekijät poistaa. (Savolainen 2020, 5.) Esimerkiksi jään poisto saadaan toteutettua ajamalla sen verran lämmintä jäteilmaa, että jäätymistä ei joko tapahdu tai jää saadaan sulatettua. Tämä toimenpide alentaa vuosihyötysuhdetta, mutta näin varmistetaan lämmöntalteenottolaitteen oikeanlainen toiminta. (Savolainen 2020.)

Kun kyseessä on tilanne, jossa on erillispoistoja, LTO-laitteiston tuloilmavirta on poistoilmavirtaa suurempi. Tällöin poistoilman lämpötilahyötysuhde kasvaa. Ajudutaan tilanteeseen, jossa LTO-laitteessa poistoilman kastepistelämpötila alitetaan suuremmilla ulkolämpötiloilla, kun verrataan tilannetta, jossa tulo- ja poistoilmavirrat ovat yhtä suuret. (Savolainen 2020, 6.)

Huippukosteuskuormat eivät ole lämmöntalteenoton suurin ongelma, kun katsotaan pienen yksittäisen asunnon kosteuskuormaa. Tällainen tilanne olisi esimerkiksi saunominen ja etenkin veden heittäminen kiukaalle, jolloin kosteuskuorma on välillä 1500–2500 g/h. Edellä mainittu tilanne ei aiheuta haasteita lämmöntalteenoton kannalta. Jäätymistä ei välttämättä pääse tapahtumaan, koska poistoilman entalpiataso on korkealla. Tästä syystä

mitoittavaksi tilanteeksi valitaan sellainen, jossa poistoilman lämpötila on 21 °C ja kosteuskuorma vastaa normaalista asumistoiminnasta koituvaa ylätasoa. (Savolainen 2020, 10.) Savolainen oli tehnyt raportissaan asuintilojen ilmanvaihdon poistoilman kosteuden määrittäminen ja vaikutukset ilmanvaihdon lämmöntalteenoton toimintaan (2020, 12) laskentaesimerkin, jossa määriteltiin poistoilman kosteustaso. Hän sai tulokseksi poistoilman kosteussisällöksi noin 6 g/kg_{k.i.} ja suhteelliseksi kosteudeksi 39 % lämpötilassa 21 °C. Tämä kuvastaa asuinrakennuksissa tilannetta normaalilla käytöllä. Kyseisessä tilanteessa kastepiste on 6,5 °C. Jos poistoilman suhteellinen kosteus olisi 20 %, niin kastepiste olisi -2,5 °C. Jos taas poistoilman suhteellinen kosteus olisi 15 % niin kastepiste olisi -5,9 °C. Huurteensulatus voi pohjautua poistoilman kosteuden mittauksiin ja tätä kautta kastepisteen säätämiseen. Koska kastepiste voi olla negatiivinen, voi myös minimijätelämpötila olla negatiivinen ilman että jäätymistä tapahtuu. Niin kauan, kun kastepisteen lämpötilaa ei aliteta, jäätymistä ei tapahdu. (J. Lönnström, henkilökohtainen keskustelu, 9.5.2022.)

Ilman kosteuspitoisuus vaikuttaa merkittävästi jäätymiseen. Esimerkiksi jos kyseessä on kuivaa ilmaa, jonka poistoilman kosteus on 8 %, on hyvin mahdollista, että huurretta ei muodostu jäteilman lämpötilan ollessa niinkin alhainen kuin -5 °C. Tästä syystä vuosihyötyslaskennassa voisi olla perusteltua, että kaikki käyttäisivät esimerkiksi jäteilman lämpötilan rajoituksena 0 °C:ta. 0 °C:ssa jäätymistä ei pääse tapahtumaan oli poistoilman kosteus mitä tahansa verrattuna siihen, että käytettäisiin esimerkiksi arvoa -8 °C. (J. Lönnström, henkilökohtainen keskustelu, 28.3.2022.) Kuivissa tiloissa jäätyminen on vähäisempää, jolloin vuosihyötyslaskenta on suoraviivaisempi. Asunnoissa kosteusprosenttia nostavat kosteuskuormat, joita ovat esimerkiksi suihkut ja saunat. Laskenta monimutkaistuu kosteuden ja jäätymistä takia. Todellinen energiankulutus olisi kuitenkin tärkeää tietää, kun järjestelmiä ja laitteita valitaan. Hiilineutraaliuden kannalta tällä on suuri merkitys. (J. Lönnström, henkilökohtainen keskustelu, 9.5.2022.) Ympäristöministeriön ohjeissa ja määräyksissä ei anneta jäteilman rajoitukselle arvoa, jota kaikkien pitäisi käyttää. Arvon saa valita laskija itse, jolloin lämpötilan negatiiviset arvot ovat mahdollisia. Laskennan suorittaja itse tietää tai ainakin

hänen tulisi tietää, minkä lämpöistä jäteilmaa hänen käyttämänsä lämmöntalteenottolaitteisto kestää, minkä takia arvot vaihtelevat riippuen valmistajasta. Mitä matalampaa jäteilman lämpötilan rajoituksen arvoa käytetään, sitä parempia vuosihyötysuhteen tuloksia laskenta antaa.

Lämmönvaihtimeen tiivistyvän poistoilman kosteus voi lisätä tuloilman lämpötilahyötysuhdetta. Lämpöä vapautuu kondenssiveden aikana. Rekuperatiivisissa lämmönvaihtimissa ulkoilma ei joudu kosketuksiin poistoilman nesteen kanssa, joten haihtumista ei tapahdu, mutta ylimääräinen lämpö nostaa tuloilman lämpötilaa entisestään. Tätä kutsutaan märäksi lämmönsiirroksi. Jotta eri lämmöntalteenottolaitteistot olisivat vertailukelpoisia, lämpötilahyötysuhde voidaan määrittää standardin EN 308: 1997 mukaan. Standardin avulla saadaan määritettyä lämpötilahyötysuhde kuivalla ilmalla, joka määritettiin kappaleessa 3.1 kuvatuissa olosuhteissa. (Orpana 2015, 9.)

Orpanan raportissa Luftbehandlingssystem i energiberäkningar: En studie av produktdata och beräkningsmetoder (2015, 13, 15) kerrotaan, että joissakin tapauksissa märkälämpötilahyötysuhteen arvo voidaan ilmoittaa huomattavasti korkeampana kuin kuivan ilman lämpötilahyötysuhde, mikä riippuu poistoilman suhteellisen kosteuden tuloista. Raportissa on tehty esimerkkiajo IDA ICE-ohjelmalla, josta näkyy hyvin märkälämpötilahyötysuhteen ja kuivan ilman lämpötilahyötysuhteen ero. 30 %:n suhteellinen kosteus poistoilmassa antaa märkälämpötilahyötysuhteen arvoksi 84,7 %, kun taas kuivalla ilmalla lämpötilahyötysuhde on 77,3 %. Lämpötilahyötysuhteiden ero johtuu siitä, että kosteammalla ilmalla on suurempi entalpia kuin kuivemmalla ilmalla.

4.2 Huurtumisenesto

Levylämmönvaihtimet ja etenkin vastavirtalämmönsiirtimet ovat yleensä herkkiä jäätymään. Jäätymistä tapahtuu, jos poistoilma jäähtyy alle 0 °C. Sulatus aloitetaan siitä lämmönvaihtimen osasta, joka on lähimpänä poistoilman ulostuloa ja ulkoilman tuloaukkoa. Tätä kohtaa kutsutaan ”kylmäksi kulmaksi”. (Orpana 2015, 10.)

Huurteen muodostumisen todennäköisyys kasvaa seuraavista tekijöistä:

- Korkea lämpötilahyötysuhde
 - Tiheä lamelliväli
 - Lamellien muotoilu: Suoralla pinnalla vesi valuu tehokkaammin. Levyn pintaa saatetaan muotoilla, jotta ilmavirtaus ei olisi laminaarista. Kun virtaus on turbulენტista, hyötysuhde voi parantua, mutta kyseinen muotoilu saattaa heikentää veden poistumista lamelliväleistä. Tällöin jäätymistä tapahtuu herkemmin ja sulatusjakso on pidempi. (J. Lönnström, henkilökohtainen keskustelu, 9.5.2022.)
 - Poistoilman voimakas jäähdyttäminen
- Alhainen ulkolämpötila
- Korkea suhteellinen kosteus poistoilmassa: Tämän takia poisto on aina alamäessä, jotta vesi poistuisi paremmin (J. Lönnström, henkilökohtainen keskustelu, 28.3.2022). Jos vesi johdettaisiin ylämäkeen, niin sulatusjaksosta tulisi huomattavasti pidempi ja tämä lisäisi myös painehäviötä (J. Lönnström, henkilökohtainen keskustelu, 9.5.2022).
- Materiaalit, jotka ovat herkkiä jäätymään (Orpana 2015, 10.)

Levylämmönvaihtimen sulatusjärjestelmiä on monenlaisia. Ne voivat olla yksinkertaisia tai ne voivat sisältää paljon komponentteja, jolloin ne toimivat älykkäämmin. Huurteensulatukseen on monia eri tapoja ja niitä voidaan myös yhdistää keskenään. Erilaisia huurteensulatuksen tapoja ovat:

- Tuloilmavirran pienentäminen: tuloilmavirtaa vähennetään esimerkiksi tietyillä ulkolämpötilan arvoilla, mikä estää huurtumisen. (Orpana 2015, 10.) Tässä oletetaan, että kun hyötysuhde alenee ja ulkolämpötila on matala, seuraa jäätymistä (J. Lönnström, henkilökohtainen keskustelu, 28.3.2022).
- Täysin sammutettu tuloilmapuhallin: Poistoilmavirta sulattaa jään. Sulatus toteutetaan ennalta määritetyissä sekvensseissä minuuttitasolla. Ajoittain toistuvat sekvenssit voivat alkaa esimerkiksi tietyssä ulkolämpötilassa.

- Tuloilmavirran ohitus: Ulkoilman ohituspelti avautuu, mikä ylläpitää tuloilmavirtaa, mutta kylmän ulkoilman määrä vähenee. Ohituspelti voidaan säätää toimimaan tietyllä ”kylmän kulman” lämpötilalla.
- Lohkosulatus: levylämmönvaihdin on jaettu useisiin lohkoihin, jotka on varustettu yksittäisillä pelleillä ulkoilman puolella. Pelti kerrallaan ulkoilma suljetaan, kun taas poistoilma sulattaa jään nykyisessä osassa. Lohkosulatus voidaan yhdistää ohitukseen virtaustasapainon ylläpitämiseksi. (Orpana 2015, 10.)

Osailmavirroilla on myös roolinsa huurtumisessa. Kun ilmavirta pienenee, suhde patterin lämmönsiirtopinnan läpi virtaavaan ilmavirtaan suurenee. Tästä seuraa se, että niin kauan, kun virtaus pysyy turbulenttisena, lämmönsiirtimen hyötysuhde kasvaa. Huurtumista aiheuttaa se, kun LTO-laitteessa osailmavirroilla poistoilma jäähtyy kylmemmäksi kuin mitoitusilmavirrat LTO-laitteessa. (Savolainen 2020, 6.)

Huurteenpoiston tehtävänä on poistaa lämmönsiirtimessä esiintyvä jää tai sen muodostuminen estetään säätämällä lämmönsiirtimen lämmönsiirtokykyä. Jos systeemi on jatkuvatoiminen, saadaan ilmanvaihto toimimaan tasaisesti. Tulo- ja poistoilmamäärät onnistutaan pitämään tasapainossa, sillä ilmamäärät eivät muutu, mikä onkin jatkuvasti toimivan systeemin etu. Haittapuolena, ajaututaan usein tilanteeseen, jossa lämmöntalteenoton tehoa heikennetään tarpeettoman paljon, jolloin lämpöenergiaa menee hukkaan. (Savolainen 2020, 6.)

Huurteenpoisto voidaan toteuttaa myös syklimäisenä. Tässä etuna on se, että LTO:a voidaan ajaa täydellä hyötysuhteella niin pitkään kuin se on mahdollista. Syklimäinen huurteenpoisto rajoittaa LTO:n tehoa vasta sitten, kun huurretta on ehtinyt jo muodostua. Automaattikka sulattaa laitteistoon muodostuneen huurteen pois, jolloin järjestelmä toimii taas normaalisti. Haittapuolena syklimäinen huurteenpoisto tarvitsee käytännössä paineohjattuja puhaltimia. (Savolainen 2020, 6.) Paineohjatuissa puhaltimissa ilmavirta pysyy vakiona (J. Lönnström, henkilökohtainen keskustelu, 28.3.2022). LTO-laitteiston poistopuolelle muodostetaan painehäviö, joka kuristaa poistoilmavirtaa sinne muodostuneen huurteen takia. Koska poistoilmavirta pienenee, voi

rakennukseen syntyä haitallista ylipainetta, minkä seurauksena puhaltimien tulee säätyä painevaihteluiden mukaan. Syklimäinen huurteenpoisto saattaa vaikuttaa lämmitystehoon, jota tarvitaan tuloilman lämmittämiseen. (Savolainen 2020, 6.)

Sulatustoiminto voidaan toteuttaa pienentämällä tuloilmavirtaa, mutta se aiheuttaa ajoittaista alipainetta sisätiloihin. Tämä johtuu siitä, että sulatustoiminnolla vaikutetaan ilmataseeseen ja rakennuksen painesuhteiden hallintaan. (Savolainen 2020, 6.) Suuri yli- tai alipaine on kuitenkin haitallista rakennuksessa. Rakennuksen ollessa suuresti alipaineinen, haitallisia määriä mikrobeja ja epäpuhtauksia voi siirtyä sisäilmaan rakenteiden ja maaperän kautta. (A-insinöörit 2019, 11.) Se voi myös aiheuttaa vetoa esimerkiksi ovista tai ikkunoista, minkä takia energiaa menee hukkaan (J. Lönnström, henkilökohtainen keskustelu, 21.4.2022). Kylmä ilma tulee huoneistoon hallitsemattomasti ilman lämmöntalteenottoa ja kyseinen vuotoilma joudutaan lämmittämään täysin lämmitysjärjestelmällä (J. Lönnström, henkilökohtainen keskustelu, 9.5.2022). Ilmiö on yleinen tiiviissä asuinrakennuksissa, joissa tiiveys on luokkaa $0,6 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ (J. Lönnström, henkilökohtainen keskustelu, 21.4.2022). Myös suurta ylipainetta tulee välttää. Se voi rakennuksen sisällä muodostaa riskin rakenteiden kosteusvaurioille, sillä korkean ylipaineen myötä merkittäviä määriä sisäilmassa piilevästä kosteudesta voi ilmavirtausten mukana siirtyä rakenteisiin. (A-insinöörit 2019, 11.) A-insinöörit ehdottavatkin raportissaan rakennusten paine-erojen mittausohjeprojektin loppuraportti (2019, 43) tiiviiden rakennusten paine-eron tavoitetasoja. Sisä- ja ulkoilman välinen paine-ero voisi heidän mukaansa olla normaalissa käyttötilanteessa asuinpientalossa $0 \dots -2 \text{ Pa}$, asuinkerrostalossa $0 \dots -10 \text{ Pa}$ sekä toimisto-, liike- tai opetusrakennuksessa $+5 \dots -5 \text{ Pa}$. Paine-erojen hallinnan kannalta vaativassa kohteessa paine-ero voisi olla $+5 \dots -15 \text{ Pa}$.

Koska markkinoilla on erilaisia tapoja toteuttaa huurteensulatus, on myös niiden vertailu hankalaa, sillä niiden toimintaperiaate on erilainen. Isoissa ilmanvaihtokoneissa huurteensulatus voi kuulua automatiikkaurakkaan, eikä se välttämättä aina ole ilmanvaihtokoneen valmistajan vastuulla. Pienissä

asuntokohtaisissa ilmanvaihtokoneissa on oma automatiikkansa. Koska huurteensulatusten toimintaperiaatteet eroavat, tarkkaa vuosihyötysuhdetta ei pystytä laskemaan, sillä ympäristöministeriön antamat säädökset ja ohjeet ovat teoreettisia. Jos todellinen vuosihyötysuhde haluttaisiin määrittää lämmöntalteenottolaitteistoille, pitäisi tehdä mittauksia paikan päällä. (J. Lönnström, henkilökohtainen keskustelu, 28.3.2022.)

Savolaisen raportissa asuintilojen ilmanvaihdon poistoilman kosteuden määrittäminen ja vaikutukset ilmanvaihdon lämmöntalteenoton toimintaan (2020,14) tuodaan esille, miten voitaisiin yhteismitallisesti vertailla erilaisten LTO-laitteistojen toimintaa alhaisissa ulkolämpötiloissa. Tätä varten pitäisi yhteisesti sopia, missä mitoitusolosuhteissa laitteistojen suoritusarvot esitettäisiin. Raportin tarkastelun perusteella asuntojen ilmanvaihdossa LTO-laitteistojen talviajan suoritusarvot voitaisiin esittää poistoilman lämpötilalla 21 °C ja 6 g/kg_{k.i.} absoluuttisella kosteudella. Mitoitusulkolämpötila menisi paikkakunnan mukaan.

5 Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskenta

5.1 Laskenta erilaisissa tilanteissa

Vuosihyötysuhteen laskennassa tulee tilanteita, jolloin lämmöntalteenottoa ei pystytä ajamaan täydellä lämpötilahyötysuhteella. Näitä tilanteita ovat muun muassa seuraavat tapaukset: Jäätymissuojaus, tuloilman lämpötilan rajoitus sekä tilanne, jossa jätelämpötila on saavuttanut asetetun sisälämpötilan arvon. Kappaleet 5.1.1–5.1.4 käsittelevät näitä tilanteita.

Edellä mainittujen kappaleiden laskentatapa on toteutettu asetunneilla. Tämä tarkoittaa sitä, että vuodesta lasketaan, kuinka monta tuntia kutakin ulkoilman lämpötilaa on vuoden aikana. Asteet ovat kokonaislukuja, joten ne ovat joko pyöristetty ylös tai alaspäin. Esimerkiksi TRY2012 säädatasta lasketaan, kuinka monta tuntia vuodessa ulkolämpötila on -10 °C . Opinnäytetyössä lukemaksi tuli 53 tuntia vuodesta Helsinki-Vantaan säävyöhykkeellä ulkolämpötila on -10 °C . Näistä lasketaan vielä ulkoilman lämpötilan pysyvyys prosentteina. Kyseessä on kertymäprosentti, joka menee jossakin kohtaan 100 %:iin. Opinnäytetyössä tehdyssä laskelmassa ulkolämpötilalla -10 °C kertymäprosentti oli 5,8 %. Tämä tarkoittaa sitä, että ulkolämpötila on -10 °C tai alle 5,8 % vuodesta.

5.1.1 Esimerkkitapaus

Havainnollistamaan edellä mainittuja tilanteita otetaan esimerkkitapaus esimerkkiarvoilla, jotka on listattu alla olevaan taulukkoon 12:

Taulukko 12. Esimerkkitaipauksen lähtöarvot.

Symboli	Selitys	Lähtöarvot
η_{EN308}	EN 308: 1997 lämpötilahyötysuhde	78 %
t_u	Ulkoilman lämpötila	-15 °C
t_s	Sisäilman lämpötila (poistoilman lämpötila)	21 °C
$t_{tLTOmax}$	Maksimi tuloilman lämpötila LTO:n jälkeen	18 °C
t_{jmin}	Minimijäteilman lämpötila	0 °C
q_{tLTO}	Tuloilman tilavuusvirta	0,045 m ³ /s
q_{pLTO}	Poistoilman tilavuusvirta	0,050 m ³ /s
ρ	Ilman tiheys	1,2 kg/m ³
C_p	Ilman ominaislämpökapasiteetti	1 kJ/kg°C
R_{LTO}	Tulo- ja poistoilmavirtojen välinen suhdeluku	0,9

Taulukossa 12 tulo- ja poistoilmavirtojen välinen suhdeluku on 0,9, mikä tarkoittaa sitä, että tulo- ja poistoilmavirroilla on eri lämpötilahyötysuhde. Jos kyseinen suhdeluku olisi 1, tulo- ja poistoilmavirrat olisivat yhtä suuret.

5.1.2 Epäsuhteiset ilmavirrat ja jäätymissuojaus

Epäsuhteisilla ilmavirroilla pitää huomioida, miten se vaikuttaa laskentaan. Koska lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdelaskenta määritetään yleensä poistoilman virtauksen kautta, vuosihyötysuhde paranee, kun poistoilmavirta on pienempi verrattuna tuloilmavirtaan (Ympäristöministeriö 2017d). Tilanne on päinvastainen, kun poistoilmavirta on suurempi verrattuna tuloilmavirtaan, jolloin

vuosihyötysuhde huononee. Ensimmäiseksi määritetään vuosihyötysuhteen laskennassa tulo- ja poistoilmavirtojen välinen suhde seuraavalla kaavalla (kaava 4) käyttämällä taulukon 12 arvoja:

$$R_{LTO} = \frac{q_{tLTO}}{q_{pLTO}}$$

$$R_{LTO} = \frac{0,045 \text{ m}^3/\text{s}}{0,050 \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$R_{LTO} = 0,9$$

Tulo- ja poistoilmavirtojen välisestä suhteesta saamme uudet lämpötilahyötysuhteet poistoilmalle sekä tuloilmalle. Tulo- ja poistoilman lämpötilahyötysuhteiden maksimiarvot saadaan EN 308: 1997 lämpötilahyötysuhteen avulla seuraavasta kaavasta:

Tuloilman lämpötilahyötysuhde (kaava 6):

$$\eta_{t(R_{LTOmax})} = \frac{2}{1 + R_{LTO}} \eta_{tmax}$$

$$\eta_{t(R_{LTOmax})} = \frac{2}{1 + 0,9} \times 0,78$$

$$\eta_{t(R_{LTOmax})} = 0,821$$

$$\eta_{t(R_{LTOmax})} = 0,821 \times 100 = 82,1 \%$$

Poistoilman lämpötilahyötysuhde (kaava 5):

$$\eta_{pmax} = \eta_{t(R_{LTOmax})} R_{LTO}$$

$$\eta_{pmax} = 0,821 \times 0,9$$

$$\eta_{pmax} = 0,739$$

$$\eta_{pmax} = 0,739 \times 100 = 73,9 \%$$

Tässä esimerkkitapauksessa jäätymissuojausta ei ole. Tällöin LTO-laitteisto kykenee käymään maksimihyötysuhteella. Jos R on 1, niin silloin standardin EN 308: 1997 mukainen lämpötilahyötysuhde on tulo- ja poistopuolen maksimihyötysuhde. Tässä tilanteessa, kun R on 0,9, tulo- ja poistopuoli eroavat standardin EN 308: 1997 lämpötilahyötysuhteesta. Tulopuolen hyötysuhde on suurempi kuin standardin EN 308: 1997, kun taas poistopuolen hyötysuhde on pienempi kuin standardin EN 308: 1997. Alla on laskettu, mikä on jäteilman lämpötila, kun LTO-laitteisto käy maksimihyötysuhteella (kaava 3).

$$\eta_{pmax} = \frac{(t_s - t_j)}{(t_s - t_u)} \leftrightarrow t_j = t_s - \eta_{pmax}(t_s - t_u)$$

$$t_j = 21 \text{ °C} - 0,739 \times (21 \text{ °C} - (-15 \text{ °C}))$$

$$t_j = -5,6 \text{ °C}$$

Lämmöntalteenottolaitteissa on yleensä ilmoitettu, mikä on lämmöntalteenottolaitteen minimijätelämpötila, jossa jäätymistä ei pääse vielä tapahtumaan. Tämä vaihtelee valmistajasta ja lämmöntalteenottolaitteen tyypistä riippuen. Jäätymissuojaus voi olla myös nollan celsiusasteen alapuolella ilman, että jäätymistä tapahtuu.

Tässä tapauksessa lämmöntalteenottolaitteisto pääsisi jäätymään, koska t_{jmin} on 0 °C. Jotta jäätymistä ei tapahtuisi, pitää hyötysuhdetta laskea. Laskemalla lämpötilahyötysuhdetta jäteilman lämpötila kasvaa. Tämä tarkoittaa sitä, että laitteistoa ei voida ajaa maksimihyötysuhteella.

Tähän tilanteeseen tulee määrittää uusi poistoilman lämpötilahyötysuhde taulukon 12 jätelämpötilan minimiarvolla 0 °C (kaava 3):

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

$$\eta_p = \frac{(21 \text{ °C} - 0 \text{ °C})}{(21 \text{ °C} - (-15 \text{ °C}))}$$

$$\eta_p = 0,583$$

Kerrotaan hyötysuhde vielä sadalla, niin saadaan prosentit:

$$\eta_p = 0,583 \times 100 = 58,3 \%$$

Tuloilman lämpötilahyötysuhde saadaan seuraavasta kaavasta (kaava 5):

$$\eta_p = \eta_t R_{LTO} \leftrightarrow \eta_t = \frac{\eta_p}{R_{LTO}}$$

$$\eta_t = \frac{0,583}{0,9}$$

$$\eta_t = 0,648$$

$$\eta_t = 0,648 \times 100 = 64,8 \%$$

Ulkolämpötilalla -15 °C poistoilman lämpötilahyötysuhde alenee 58,3 prosenttiin sekä tuloilman lämpötilahyötysuhde alenee 64,8 prosenttiin. Mitä kylmempi ulkona on, sitä enemmän hyötysuhdetta joudutaan alentamaan, ettei lämmöntalteenottolaitteisto pääse jäätymään.

Tästä myös huomaamme miten ilmavirtojen suhde vaikuttaa hyötysuhteisiin. Kun ilmavirrat ovat erisuuret, ovat hyötysuhteetkin. Tässä tilanteessa $\eta_p < \eta_t$, koska $R_{LTO} < 1$. Jos $R_{LTO} > 1$, niin $\eta_p > \eta_t$.

5.1.3 Tuloilman lämpötilan rajoitus

LTO:n jälkeistä tuloilman lämpötilaa voidaan myös haluta rajoittaa. Tämä voi johtua esimerkiksi sisätiloissa olevista lämpökuormista, joita käytiin läpi kappaleessa 3.1. Myös ulkoilman lämpötila vaikuttaa tuloilman lämpötilaan. Tässäkin tapauksessa lämpötilahyötysuhdetta joudutaan alentamaan.

Tapaus, jossa tuloilman lämpötilaa rajoitetaan taulukon 12 arvoilla, mutta ulkoilman lämpötilalla 10 °C:

Tuloilman lämpötilahyötysuhde (kaava 2):

$$\eta_t = \frac{(t_{tLTOmax} - t_u)}{(t_s - t_u)}$$

$$\eta_t = \frac{18 \text{ °C} - 10 \text{ °C}}{21 \text{ °C} - 10 \text{ °C}}$$

$$\eta_t = 0,727$$

$$\eta_t = 0,727 \times 100 = 72,7\%$$

Tässä tapauksessa tuloilman lämpötilahyötysuhdetta jouduttiin laskemaan, jotta tuloilman lämpötila pysyisi 18 °C:ssa.

Sama tapaus, jos tuloilman lämpötilaa ei rajoiteta:

Tällöin lämmöntalteenottolaitteisto kykenee käymään maksimihyötysuhteella.

Tuloilman lämpötilahyötysuhteen kaava, josta on ratkaistuna tuloilman lämpötila LTO:n jälkeen (kaava 2):

$$\eta_{tmax} = \frac{(t_{tLTO} - t_u)}{(t_s - t_u)} \leftrightarrow t_{tLTO} = \eta_{tmax}(t_s - t_u) + t_u$$

$$t_{tLTO} = \eta_{tmax}(t_s - t_u) + t_u$$

$$t_{tLTO} = 0,821 \times (21 \text{ °C} - 10 \text{ °C}) + 10 \text{ °C}$$

$$t_{tLTO} = 19,0 \text{ °C}$$

Kun ulkoilman lämpötila on yhtä suuri kuin sisäilman lämpötila, on myös tuloilman lämpötila yhtä suuri kuin sisäilman lämpötila. Ilman hyötysuhteen alentamista tuloilman lämpötila saa nousta vapaasti.

5.1.4 Tilanne, jossa lämpötilahyötysuhde on nolla

Lämpötilahyötysuhde putoaa nolaksi, kun jäte- ja tuloilman lämpötila saavuttaa sisäilman lämpötilan. Tämän pisteen jälkeen jäähdytykselle syntyy tarvetta, jotta sisäilman lämpötilan asetusarvo säilytetään.

Tapaus, jossa lämpötilahyötysuhde on nolla taulukon 12 arvoilla:

Jäteilman lämpötila on siis sama kuin sisäilman lämpötila eli 21 °C. Poistoilman hyötysuhde on nolla, joten selvitetään, millä ulkoilman lämpötilalla hyötysuhde romahtaa nolnaan.

Selvitetään poistoilman hyötysuhteen kaavasta ulkoilman lämpötila (kaava 3):

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

$$t_u = 21 \text{ °C} - \frac{21 \text{ °C} - 21 \text{ °C}}{0}$$

Tässä tilanteessa huomaamme, että lämpötilahyötysuhteiden kaavassa voi tulla vastaan tilanne, jossa jakajana on nolla. Nollalla jakaminen ei ole mahdollista, jolloin tällaisessa tilanteessa hyötysuhde on nolla. Kaavasta huomaamme, että se piste, jolloin hyötysuhde putoaa nolnaan, ulko-, tulo-, sisä-, ja jäteilman lämpötilat ovat samoja. Tämä tarkoittaa sitä, että se lämpötila, kun hyötysuhde

romahtaa noltaan tapahtuu silloin, kun sisäilman lämpötila on yhtä suuri kuin ulkoilman lämpötila. Rajoittavana tekijänä toimii siis sisäilman lämpötilan asetusarvo. Tämä piste ei kuitenkaan tule vastaan lämmityskaudella, vaan yleensä kesäkuukausina.

5.2 Asetuntilaskenta vs. tuntikohtainen laskenta

Ympäristöministeriön monisteen 122 mukainen laskentatapa on toteutettu astetunneittain, mitä käytiin läpi kappaleessa 3.1. Tuntikohtainen laskenta eroaa astetuntikohtaisesta laskennasta jonkin verran. Tuntikohtaisessa laskennassa lämpötilat saadaan desimaalin tarkkuudella, sillä niitä ei tarvitse pyöristää kokonaisluvuiksi niin kuin astetuntien kohdalla. Asetunneissa laskettiin, montako tuntia kutakin ulkolämpötilan astetta on vuodessa. Tuntikohtaisessa laskennassa energialaskenta tehdään tunti kerrallaan summaamatta esimerkiksi ulkolämpötilan 2 °C tunteja yhteen.

Vuodessa on 8760 tuntia, jolloin tuntikohtaisessa laskennassa voidaan tarkastella, minkä tahansa päivän tunteja, miten ilmanvaihto käyttäytyy. Asetunneissa tällaista tarkastelua ei voida suorittaa, sillä astetunnit, jotka ovat summattu yhteen, tulevat eri päivistä ympäri vuotta. TRY data on tuntikohtaisesti määritetty, joten se sisältää 8760 tuntia dataa, sisältäen kunkin tunnin sen hetkisen lämpötilan (Ilmatieteenlaitos 2020a). TRY datan avulla tuntikohtainen laskenta on mahdollista.

Tuntikohtainen laskenta voitaisiin yhdistää pörssisähkön ja -lämmön mukaan, jolloin saataisiin aika realistinen hinta-arvio kuluista. Esimerkiksi sähkö on halvempaa öisin, jolloin se aspekti saataisiin huomioitua tuntikohtaisessa laskennassa (Nord Pool 2022). Yleensä esimerkiksi astetunneilla laskettaessa, hinta-arvioita tehdään kiinteällä sähkön ja lämmön hinnalla ympäri vuoden, mikä ei huomioi hintojen vaihteluja yöllä ja päivällä.

5.3 Käyntiajat ja sen vaikutus vuosihyötysuhdelaskentaan

Työhön lisättiin myös käyntiajat ja ne laskettiin aiemmassa kappaleessa olevalla kaavalla 3 eli laskettiin käyttöajoilla painotettu poistoilmavirta sekä verrataan sitä todelliseen tilanteeseen. Esimerkkiajo suoritettiin taulukon 13 lähtöarvoilla ja laskenta suoritettiin lämmitysrajaan asti, joka on 12 °C. Laskennassa käytettiin ilman ominaislämpökapasiteettia 1 kJ/kg°C ja ilman tiheyttä 1,2 kg/m³. Säädatana käytettiin TRY2020 dataa ja säävyöhyke oli Helsinki-Vantaa.

Taulukko 13. Lähtöarvot käyntiaikatarkasteluun.

Sisälämpötila	21 °C
Maksimitulolämpötila	18 °C
Minimijätelämpötila	-5 °C
Tuloilmavirta	0,6 m ³ /s
Poistoilmavirta	0,62 m ³ /s
Lämpötilahyötysuhde EN 308: 1997 (tai muu hyväksyttävä)	76,5 %

Työssä suoritettiin kolme ajoa opinnäytetyön vuosihyötysuhdelaskureilla. Ensimmäisessä ajossa ilmanvaihtokoneet olivat ympäri vuorokauden päällä koko vuoden. Toisessa ja kolmannessa ajossa ne olivat päällä arkisin kello 6–18 ja viikonloppuisin ne olivat kokonaan poissa päältä. Sama sykli toistuu ympäri vuoden. Ero toisessa ja kolmannessa ajossa on se, että kolmannessa ajossa laskettiin käyttöajoilla painotettu poistoilmavirta ja toisessa sitä ei laskettu vaan se vastasi enemmän todellista tilannetta. Todellisella tilanteella tässä tapauksessa tarkoitetaan tapausta, jossa poistoilmavirta on koko vuoden se, joka laskuriin oli syötetty eli 0,62 m³/s. Kellonajat ja päivät, jolloin ilmanvaihtokone oli poissa päältä, rajattiin pois laskelmasta. Jäljelle jäivät todelliset ajat, jolloin ilmanvaihtokone kävi poistoilmavirralla 0,62 m³/s.

Painotetulla poistoilmavirralla laskiessa laskenta ajatellaan siten, että ilmanvaihtokone olisi koko ajan päällä, mutta pienemmällä ilmavirralla. Tämä kompensoi energiankulutusta ja olisi käytännössä sama asia kuin, että ilmanvaihtokone olisi oikeasti poissa päältä annetuilla ajoilla ja päivillä. Kaavalla 1 saatiin laskettua käyttöajoilla painotettu poistoilmavirta, kun ilmanvaihtokone käy 12/5. 12/5 tarkoittaa tässä opinnäytetyössä, että ilmanvaihtokone on päällä 12 tuntia päivässä 5 kertaa viikossa. Tällöin $t_d = 12/24$; $t_v = 5/7$ ja $q = 0,62 \text{ m}^3/\text{s}$. Nämä sijoitetaan alla olevaan kaavaan (kaava 1), jotta saadaan laskettua käyttöajoilla painotettu poistoilmavirta:

$$q_p = t_d t_v q$$

$$q_p = 12/24 \times 5/7 \times 0,62 \text{ m}^3/\text{s}$$

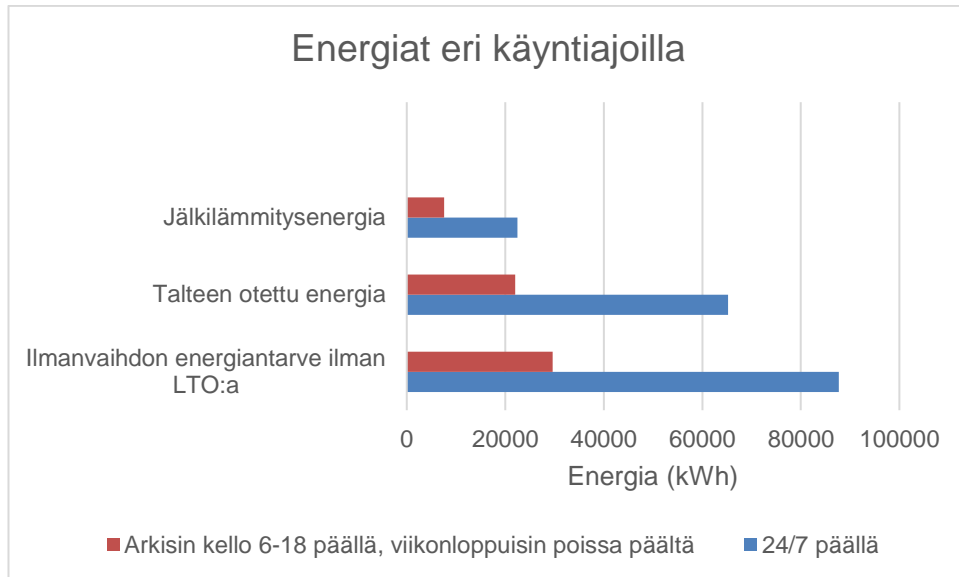
$$q_p = 0,221 \text{ m}^3/\text{s}$$

Sama toistetaan tilanteessa, jossa ilmanvaihtokone on päällä koko ajan. Tällöin $t_d = 24/24 = 1$ ja $t_v = 7/7 = 1$. Sijoitetaan nämä äskeiseen kaavaan:

$$q_p = 1 \times 1 \times 0,62 \text{ m}^3/\text{s}$$

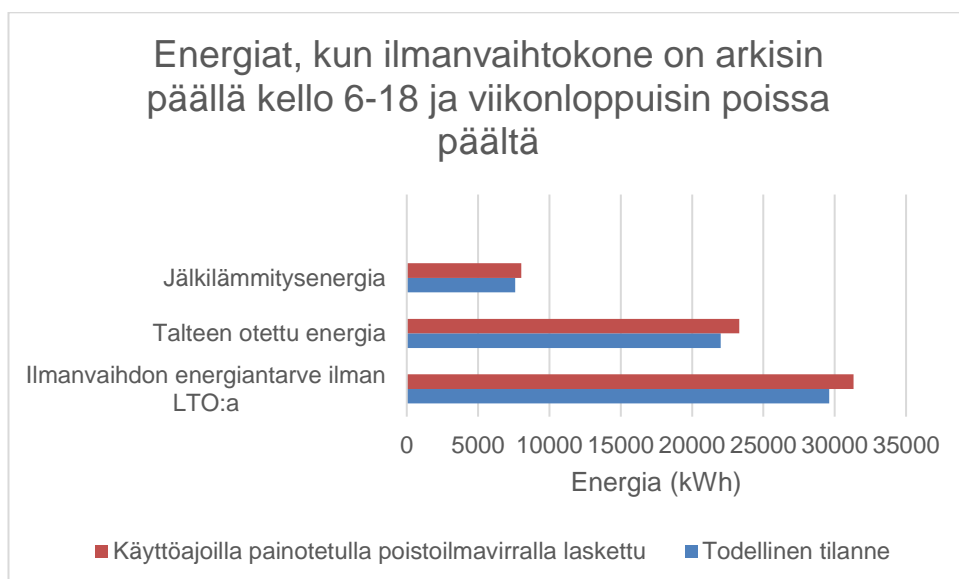
$$q_p = 0,62 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tässä tilanteessa käyttöajoilla painotettu poistoilmavirta on sama kuin koko ajan käynnissä olevan puhaltimen poistoilmavirta. Se vastaa tilannetta myös todellisessa tilanteessa, kun ilmanvaihtokone on koko ajan päällä.



Kuvio 1. Energiat tilanteessa, jossa ilmanvaihtokone on arkisin päällä kello 6–18, mutta viikonloppuisin se on kokonaan poissa päältä sekä tilanne, jossa ilmanvaihtokone on koko ajan päällä.

Kuviosta 1 nähdään energiat eri käyntiajoilla. Palkkidiagrammista nähdään, että kaikki energiat ovat pienemmät, kun ilmanvaihtokone ei ole koko ajan päällä. Jälkilämmitystarve on pienempi, mutta myös talteen otettu energia on pienempi, sillä energiaa, jota voitaisiin ottaa talteen, on myös määrältään vähemmän.



Kuvio 2. Energiat, kun ilmanvaihtokone on arkisin päällä kello 6–18 ja viikonloppuisin poissa päältä kahdella eri laskentatavalla.

Kuviosta 2 nähdään mikä ero on painotetulla poistoilmavirralla laskettaessa ja todellisessa tilanteessa. Painotetulla poistoilmavirralla laskettaessa energiamäärät ovat suuremmat verrattuna todelliseen tilanteeseen. Selitys tälle on se, että jos ajatellaan, että ilmanvaihtokone on arkisin kello 6–18 päällä. Kello 18–6 välisenä aikana ilmanvaihtokone ei ole päällä. Öisin ulkolämpötila on kylmempi kuin päivisin. Todellisessa tilanteessa tämä myös heijastuu laskentaan. Öiset kylmemmät ulkolämpötilat rajattiin laskennasta pois, koska ilmanvaihtokone ei ollut päällä kyseisenä ajankohtana. Ilmanvaihtokonetta ajettiin päivällä, jolloin ulkolämpötila oli korkeampi kuin öisin. Energiaa tarvitaan vähemmän ilmanvaihdon lämmittämiseen, kun ulkolämpötila on korkeampi ja päinvastoin. Käyttöajoilla painotetuilla poistoilmavirroilla laskettaessa öiset kylmemmät lämpötilat eivät rajaudu pois. Laskenta toteutuu niin, että ilmanvaihtokone kävisi ympäri vuoden taukoamatta, mutta energiantarvetta kompensoidaan käyttöajoilla painotetulla poistoilmavirralla. Käytännössä tämä vääristää laskentaa kuten kuviosta 2 huomataan, sillä kaikki energiat olivat suuremmat.

Vuosihyötysuhde pysyi samana eli oli 74,4 %, kun laskenta toteutetaan käyttöajoilla painotetulla poistoilmavirralla, kävi ilmanvaihtokone 12/5 tai 24/7. Kuitenkin kun verrataan todellista tilannetta vuosihyötysuhteet eroavat toisistaan. Kun ilmanvaihtokone oli arkisin päällä kello 8–16 ja viikonloppuisin poissa päältä vuosihyötysuhde oli 74,3 %. Ilmanvaihtokoneen ollessa päällä 24/7 tuli vuosihyötysuhteeksi sama kuin tilanteessa, jossa käytettiin käyttöajoilla painotettua poistoilmavirtaa eli 74,4 %. Ero on todella pieni eli vain 0,1 prosenttiyksikköä, eli voidaan sanoa, että käyttöajat eivät juuri vaikuta vuosihyötysuhteeseen. Niillä on kuitenkin merkitystä energialaskennan kannalta.

Painotetuilla poistoilmavirroilla saadaan laskettua energiankulutus ja vuosihyötysuhde, kun ne syötetään opinnäytetyön vuosihyötysuhdelaskuriin. Alla olevassa taulukossa 14 on listattu tuloksia näistä ajoista.

Taulukko 14. Testiajojen tulokset käyntiajoilla 24/7 ja 12/5.

Käyntiaika	24/7	12/5
Ilmanvaihdon energiantarve ilman LTO:a	7780 kWh	2779 kWh
Talteen otettu energia	5064 kWh	1808 kWh
Jälkilämmitystarve	2716 kWh	970 kWh

Taulukosta 14 huomataan, että käyntiajalla 12/5 ilmanvaihdon energiantarve ilman LTO:a, talteen otettu energia sekä jälkilämmitysenergia ovat kaikki pienemmät verrattuna tilanteeseen, jossa ilmanvaihtokoneet ovat päällä 24/7. Tämä ei kuitenkaan vaikuta vuosihyötysuhteeseen, ne olivat molemmissa tapauksissa samat eli 65,1 %. Kuitenkin, kun käyntiajat huomioidaan, huomataan, että energiaa sekä rahaa säästyy, jos koneet eivät ole koko ajan päällä. Pienempi jälkilämmitystarve tarkoittaa sitä, että jos kyseinen energia joudutaan ostamaan, se myös maksaa vähemmän verrattuna tilanteeseen, jossa ilmanvaihtokoneet ovat koko ajan päällä ja jälkilämmitystarve on suurempi.

6 Vertailu eri vuosihyötysuhdelaskureilla

Tässä osiossa käydään läpi erilaisia yritysten käyttämiä laskentamenetelmiä. Yrityksen oman laskennan selvittämiseksi yrityksiä haastateltiin kirjallisesti ja käytettiin yritysten vuosihyötysuhdelaskureista saatuja tietoja. Kolme neljästä yrityksestä vastasi haastatteluun. Taulukossa 15 on tiivistetysti kerättyjä tietoja laskennoista. Kappaleessa 6.2 tarkastellaan vielä yritysten ja opinnäytetyössä käytetyn laskentatapojen eroja.

6.1 Vaihtoehtoisia laskentatapoja ja -menetelmiä

Taulukko 15. Tietoja yritysten vuosihyötysuhdelaskennan laskureista (Mukaillen: Tuotekehitysjohtaja Yritys 1, henkilökohtainen haastattelu, 22.3.2022; Teknologiapäällikkö Yritys 3, henkilökohtainen haastattelu, 29.3.2022).

Yritys	Yritys 1	Yritys 2	Yritys 3
Säädädata	TRY2012	TRY2012 tai TRY1979	TRY2012
Jäteilman lämpötilan rajoitus	-6,5 °C, ei vaihdettavissa	Ilmanvaihtokonekohtainen, halutessa itse määriteltävä	Ilmanvaihtokonekohtainen
Tuloilman lämpötilan rajoitus	Itse määriteltävä	Itse määriteltävä	Itse määriteltävä
Poistoilman lämpötilan rajoitus	Itse määriteltävä	Itse määriteltävä	Itse määriteltävä
LTO:n lämpötilahyötysuhteen määrittäminen	SFS-EN 13141-7	SFS-EN 13141-7, EN 308: 1997	EN 308: 1997
Suomalaiset ohjeet ja määräykset	LVI 30-10529, YMa 1009/2017, Tasauslaskentaopas 2018 Ympäristöministeriön moniste 122	Ympäristöministeriön asetus 1009/2017 ja moniste 122	Ympäristöministeriön moniste 122
EU direktiivit ja asetukset	1253/2014 ja EU 1254/2014	EU 1253/2014 ja EU 1254/2014	Ei tietoa

Kaikki yritykset tuntuvat käyttävän ilmatieteen laitoksen TRY testivuotia ja vieläpä vuotta 2012. Tässä suhteessa kaikkien yritysten kannattaisi päivittää säädätönsä testivuoteen TRY2020, sillä se edustaa nykyistä ilmastoa. Testivuoden muodostamiseksi on kuitenkin poimittu menneitä vuosia väliltä 1989–2018 (Jylhä ym. 2020), mitä voisi hyvin käyttää muodostaakseen oikean

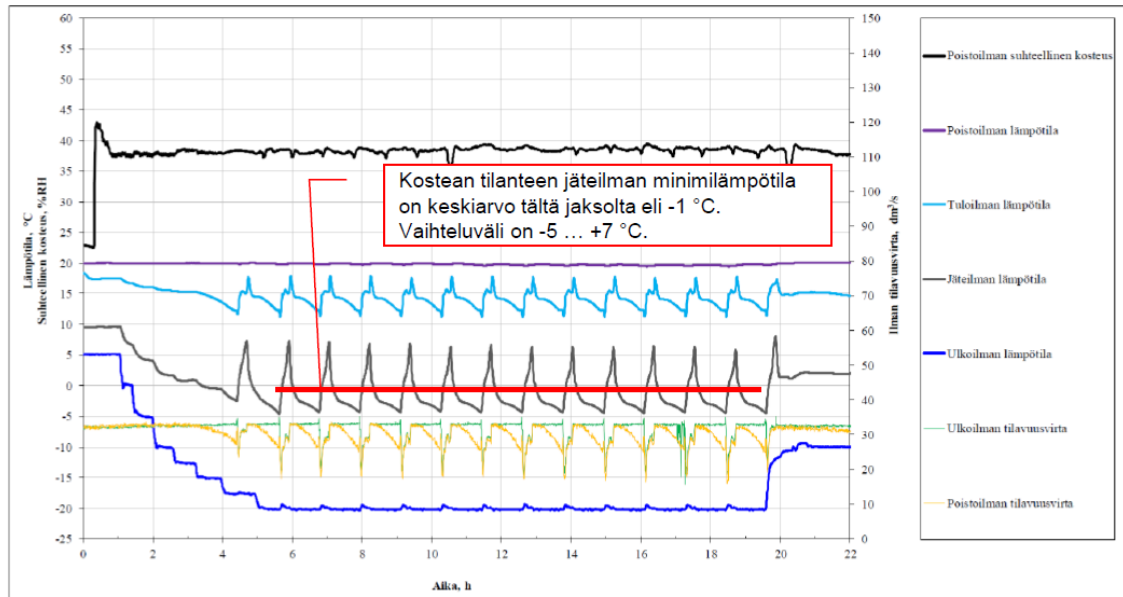
ja ajan tasalla olevan vuosihyötysuhdelaskennan. Voidaan myös pohtia, onko tulevaisuuden energialaskennan tarkastelu tarpeen, sillä rakennusten suunniteltu käyttöikä on kuitenkin noin 50 tai 75 vuotta (Bäckgren 2018). Se on nykyään mahdollista energialaskennan testivuosilla TRY2030, TRY2050 sekä TRY2100. Säädata ei yksinään kuitenkaan aiheuta suurta virhettä vuosihyötysuhdelaskentaan. Kappaleessa 7 käydään enemmän läpi, miten tulevaisuuden säädata vaikuttaa vuosihyötysuhdelaskentaan.

Vuosihyötysuhdelaskentaan vaikuttaa myös se, missä lämpötilassa jäteilmän lämpötilaa rajoitetaan. Mitä alhaisemmalla lämpötilalla jäteilmän lämpötilaa aletaan rajoittaa, sitä parempia tuloksia laskenta antaa. Tätä arvoa ympäristöministeriö ei anna, vaan se on laskennan tekijän vastuulla, mitä arvoa käytetään. Taulukon 8 mukaan, yrityksellä 1 jäteilmän rajoitus on kiinteä $-6,5$ °C, mihin ei siis laskentaohjelman käyttäjä itse pysty vaikuttamaan. Yritys 1:n Tuotekehitysjohtaja (henkilökohtainen haastattelu, 22.3.2022) kertoi haastattelussa, että arvo $-6,5$ °C on laboratoriomittauksin määritetty ilmanvaihtokonekohtainen raja. Laboratoriomittaukset on ulkoistettu eri yritykselle, jotta vuosihyötysuhdelaskenta olisi vilpittömpää. Ilmanvaihtokone kestää alhaisempiakin lämpötiloja ja myös huurtumissuojaus toimii alhaisemmissa lämpötiloissa. Jäteilmän minimilämpötilaa pystyy ilmanvaihtokoneessa säätämään $-6,5$ °C:sta itse. Yritys 1:n laskentaohjelmaan on kuitenkin valittu arvo $-6,5$ °C, sillä kyseisellä lämpötilalla LTO:n huurtumissuojaus toimii varmasti.

Taulukon 15 mukaan Yritys 2:n vuosihyötysuhdelaskurilla jäteilmän rajoituksen lämpötilan saa itse valita tai se menee valitun ilmanvaihtokoneen mukaan. Haastattelusta Yritys 2:n tuotepäällikön (henkilökohtainen haastattelu, 23.3.2022) kanssa selvisi miten he määrittävät jäteilmän lämpötilan rajoituksen. Kyseisellä yrityksellä oli ennen käytössä VTT:n sertifikaatti (nykyisin Eurofins), mutta jäteilmän lämpötilan rajoitus määritetään samalla tavalla, vaikka sertifikaatti onkin poistunut. Jäätymiskokeiden perusteella määritetään jäteilmän minimilämpötila. Jäätymissuojauksen asetusarvona toimii kokeellisesti määritetty jäteilmän minimilämpötila. Koska yrityksellä on

ilmavaihtokoneissaan käytössä tarpeenmukainen jäätymsuojauks, käytetään jäteilman minimilämpötilana kostean (25 % ajasta) ja kuivan (75 % ajasta) tilanteen painotettua keskiarvoa. Kostean ja kuivan ilman kosteusprosentti ei käynyt ilmi haastattelusta.

Lämpötekniset suoritusarvot
Toiminta matalilla ulkoilman lämpötiloilla
 Kokeen osa 1/2: 0-22 h



Kuvio 3. Esimerkkiajo Yritys 2:n jäteilman lämpötilan rajoituksesta (Tuotepäällikkö Yritys 2, henkilökohtainen haastattelu, 23.3.2022).

Kuviosta 3 selviää, miten kostean tilanteen jäteilman minimilämpötila määräytyy. Se on keskiarvo kyseiseltä pätkältä, joka on kuviossa 3 -1 °C, sillä vaihteluväli oli -5 °C:sta +7 °C:een. Alla oleva kaava 15 kertoo, kuinka jäteilman minimilämpötila määritetään.

$$T_{jmin} = 0,25 \times T_{kosteaa} + 0,75 \times T_{kuiva}$$

Kaava 15. Jäteilman minimilämpötilan kaava (Tuotepäällikkö Yritys 2, henkilökohtainen haastattelu, 23.3.2022).

Jossa,

T_{jmin} = Jäteilman minimilämpötila

$T_{kosteaa}$ = Kostean jäteilman lämpötilan keskiarvo

T_{kuiva} = Kuivan jäteilman lämpötila (Tuotepäällikkö Yritys 2, henkilökohtainen haastattelu, 23.3.2022.)

Jäteilman minimilämpötila lasketaan -20 °C:een lämpötilassa.

Vuosihyötysuhdetta laskiessa jäteilman lämpötilaa rajoitetaan korkeammillakin ulkolämpötiloilla, mikäli jäätymissuojaus on toiminnassa jo -10 °C:een ulkolämpötilassa. Yrityksessä 2 jäteilman minimilämpötila määritetään näin parempien hyötysuhteiden tavoittelussa sekä tarpeenmukaisen sulatuksen takia. Menettely on hyvä siitä, että se on tasapuolinen kaikille ilmanvaihtokoneille ja jäätymissuojatavoille. (Tuotepäällikkö Yritys 2, henkilökohtainen haastattelu, 23.3.2022.)

Yritys 3:n mitoitusohjelmassa jäteilman rajoituksen arvoa ei saa myöskään valita, mutta se vaihtelee riippuen minkä ilmanvaihtokoneen valitsee (taulukko 15). Tietoa siitä, miten kyseiset arvot määräytyvät, ei ole opinnäytetyötä tehdessä tullut ilmi. Ohjelman käyttäjän on luotettava, että kyseiset jäteilman rajoituksen arvot estävät lämmöntalteenottolaitteistoa jäätymästä ja että huurteensulatus toimii.

Lämpötilahyötysuhteen määrittämiseen on eri tapoja, kuten huomasimme kuvasta 2. EN 308: 1997 lukee suoraan kuvassa 2, että sitä voi käyttää tai sitten voi käyttää muuta hyväksyttävää tapaa. Taulukosta 15 huomaamme, että yritykset ovat käyttäneet joko EN 308: 1997 tai SFS-EN 13141-7. SFS-EN 13141-7 olisi tässä tapauksessa muu hyväksyttävä tapa määrittää LTO:n lämpötilahyötysuhde. Yrityksen 2 tuotepäällikkö (henkilökohtainen haastattelu, 21.3.2022) kertoi puhelimitse, että heillä oli ennen käytössä VTT:n sertifikaatti ja siitä luopumiseen hän antoi kolme syytä: Ensinnäkin sertifikaatti oli kallis, toiseksi se ei ollut kilpailukykyinen tapa suorittaa energialaskentaa ja

kolmanneksi ympäristöministeriö ei edellytä, että laskenta määritettäisiin niin tarkasti kuin se oli sertifikaatissa määritetty.

Sertifikaatti perustui todellisiin mittauksiin vuoden 2012 säätiedoilla, mikä tarkoittaa sitä, että ilmanvaihtokonetta on testattu myös alhaisilla ulkolämpötiloilla. Tämän kautta sertifikaatin mittaustulos sisälsi kennon sulatukseen vaadittavan energiankulutuksen. EU:ssa käytössä oleva standardi ei ota kantaa siihen, mitä tapahtuu ulkoilman lämpötilan laskiessa pakkaselle, vaan mittaus suoritetaan ainoastaan yhdessä lämpötilapisteessä esimerkiksi ulkoilman lämpötilalla 20 °C ja poistoilman lämpötilalla 7 °C. Myöskään aikaisemmassa standardissa EN 308: 1997:ssa ei ollut puhetta ulkoilman matalista lämpötiloista. (Tuotepäällikkö Yritys 2, henkilökohtainen haastattelu, 23.3.2022.) Yrityksen 2 tuotepäällikkö (henkilökohtainen haastattelu, 23.3.2022) kritisoikin seuraavasti EU:n standardeja: ”Suomi on ainoa maa, jossa tällä hetkellä edes puhutaan vuosihyötysuhteesta, ja olisi hyvä, jos vuosihyötysuhdeajattelua saataisiin vietyä ihan EU:n tasolle asti. Ei autojenkaan bensiininkulutusta mitata silloin kun auto menee alamäkeen.”

Tämä ajoi yrityksen siihen tilanteeseen, että heidän ilmanvaihtojärjestelmiensä energiankulutus näyttivät markkinoilla huonommilla kuin kilpailijoiden. Todellisuudessa sertifikaatin mukaan määritetty laskenta oli vain tarkempi kuin esimerkiksi EN 308: 1997 tai SFS-EN 13141-7, minkä takia sertifikaatin mukainen energiankulutus vain näytti huonommalta. Edellä mainituista syistä yritys päätti luopua sertifikaatista. Yritys 2:n tuotepäällikkö kertoi, että merkittävin tekijä vuosihyötysuhdetta määritettäessä on, miten ilmanvaihtojärjestelmän lämpötilahyötysuhde on määritetty. Se on jopa merkittävämpi tekijä kuin jäteilman lämpötilan rajoituksen arvo. (Tuotepäällikkö Yritys 2, henkilökohtainen haastattelu, 21.3.2022.)

Kaikki yritykset ovat soveltaneet ympäristöministeriön monistetta 122, kuten huomaamme taulukosta 15. Tämä on hyvä, sillä se sisältää pitkälti ohjeet, miten vuosihyötysuhde tulisi laskea. Moniste on tosin vanha, eikä se välttämättä ole paras ja tarkin tapa laskea vuosihyötysuhde kuten esimerkiksi kappaleista 5.2 ja 5.3 huomattiin, mutta sen avulla vuosihyötysuhde saadaan laskettua ja se

täyttää suomalaiset määräykset. Toki yrityksen näkökulmasta paras tapa laskea vuosihyötysuhde on se tapa, jolla sen saa näyttämään parhaimmalta, mikä ei välttämättä ole se tarkin tapa laskea. Edellä mainitsinkin, että esimerkiksi yritys 2 luopui sertifikaatistaan osasyynä se, että kilpailijoiden ilmanvaihtojärjestelmät vaikuttivat paremmilta energialaskennaltaan. Tämä johtui siitä, että sertifikaatti suoritti laskennan tarkemmin. Tästä syystä siitä kannatti luopua, ettei asiakas päädy valitsemaan kilpailijan ilmanvaihtojärjestelmää vain sen takia, että se näyttää energiankulutukseltaan paremmalta.

Yritykset eivät ole soveltaneet D5:sta (2012, 22). Sen mukaan kesäkuukausia ei tarvitse ottaa vuosihyötysuhteen laskennassa mukaan. On todennäköistä, että yritykset ovat ottaneet kesäkuukaudet vuosihyötysuhteen laskentaan mukaan, mikä vaikuttaa jonkin verran vuosihyötysuhteeseen. Tätä käsitellään seuraavassa kappaleessa 6.2.

6.2 Opinnäytetyössä käytetty laskentatapa

Opinnäytetyössä luotiin toimiva Excel-laskuri, jolla saadaan laskettua vuosihyötysuhteita eri parametreilla. Laskurissa hyödynnettiin VBA-ohjelmointia, jolla saatiin luotua omia funktioita, mistä oli suuri apu laskurin tekemisessä. Laskurit eivät ole vertailukelpoisia keskenään, sillä kuten taulukosta 15 huomattiin, että muun muassa jäteilman lämpötilan rajoitusta ei voi itse säätää. Näin eri vuosihyötysuhdelaskureihin ei voida syöttää samoja arvoja ja verrata tuloksia keskenään. Osa yrityksistä käyttää vuosihyötysuhteen laskennassa lämmöntarvelukukuja, osa energioita ja jotkut taas ilmoittavat molemmat. Opinnäytetyön laskureilla kyetään kaikkia arvoja säätämään sekä vertailua pystytään tekemään, oli käytössä lämmöntarveluvut tai energiat.

Seuraavissa kappaleissa 6.2.1–6.2.3 tutkitaan opinnäytetyön ja yritysten vuosihyötysuhdelaskureita. Vertailuissa käytettiin TRY2012 säädataa Helsinki-Vantaan säävyöhykkeellä ja laskenta suoritettiin lämmitysrajaan asti, joka on 12 °C. Laskenta suoritettiin ilman ominaislämpökapasiteetilla 1 kJ/kg°C ja ilman

tiheydellä $1,2 \text{ kg/m}^3$. Laskenta on monisteen 122 mukainen. Kappaleissa tutkitaan lisäksi mitä vaikutusta kesäkuukausilla on vuosihyötysuhdelaskentaan.

6.2.1 Vertailu Yritys 1:n ja opinnäytetyön välillä

Tässä kappaleessa vertaillaan Yritys 1:n ja opinnäytetyön vuosihyötysuhdelaskureita. Alla on taulukko 16, mistä näkee millä lähtöarvoilla laskennat suoritettiin opinnäytetyön ja Yritys 1:n laskureilla.

Taulukko 16. Yritys 1:n ja opinnäytetyön vuosihyötysuhdelaskureiden lähtöarvot vuosihyötysuhdelaskentaan.

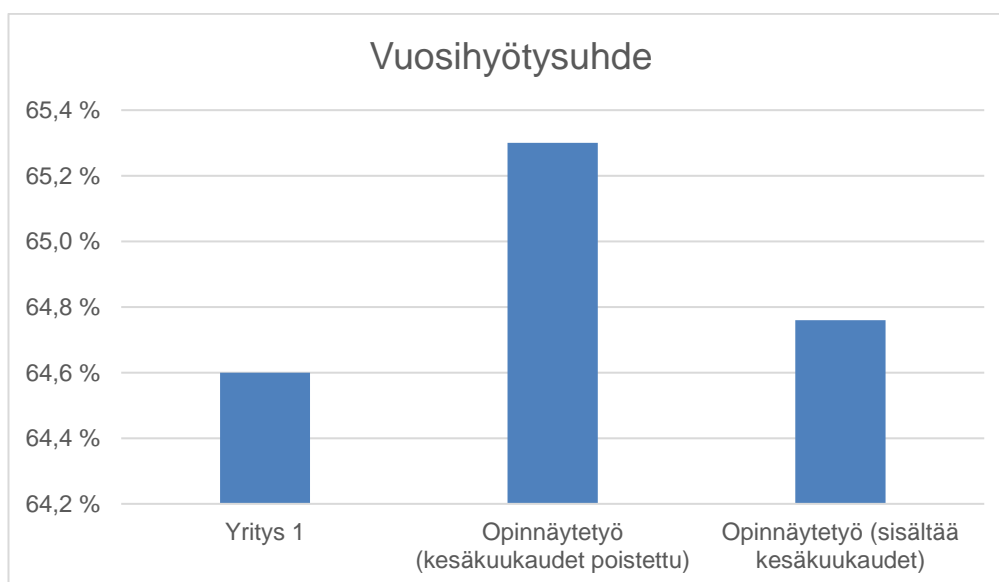
Sisälämpötila	21 °C
Maksimitulolämpötila	17 °C
Minimijätelämpötila	-6,5 °C
Tuloilmavirta	0,045 m ³ /s
Poistoilmavirta	0,055 m ³ /s
Lämpötilahyötysuhde EN 308: 1997 (tai muu hyväksyttävä)	79,5 %

Tulokset eivät juuri eroa Yritys 1:n ja opinnäytetyön välillä, josta kesäkuukaudet ovat poistettu, kuten alla olevasta taulukosta 17 huomataan. Huomattavampi ero on kuitenkin siinä, onko kesäkuukaudet otettu laskentaan mukaan vai ei. Energiat sekä lämmöntarveluvut ovat suuremmat, kun kesäkuukaudet ovat mukana verrattuna siihen, että kesäkuukaudet ovat vuosihyötysuhdelaskennasta poistettu. Mielenkiintoista kuitenkin on, että kun kesäkuukaudet on poistettu, niin energiat sekä lämmöntarveluvut ovat lähempänä toisiaan Yrityksen 1 ja opinnäytetyön välillä, vaikka Yritys 1:n laskenta todennäköisesti sisältää kesäkuukaudet. Ilmanvaihdon kokonaisenergiantarpeessa on huomattava ero Yritys 1:n ja opinnäytetyön välillä, kun kesäkuukaudet ovat poistettu. Myös sisäilman lämpötilan ja

ulkoilman lämpötilan välinen lämmöntarveluku eroaa huomattavasti verrattuna muihin lämmöntarvelukuihin.

Taulukko 17. Yritys 1:n ja opinnäytetyön vuosihyötysuhdelaskureiden tuloksia.

Vuosihyötysuhdelaskuri	Yritys 1	Opinnäytetyö (kesäkuukaudet poistettu)	Opinnäytetyö (sisältää kesäkuukaudet)
Ilmanvaihdon kokonaisenergiatarve	8048 kWh	7925 kWh	8252 kWh
Talteen otettu lämmitysenergia	5197 kWh	5176 kWh	5344 kWh
S_S	5050 kd	5003 kd	5210 kd
S_T	3986 kd	3994 kd	4123 kd
S_J	3262 kd	3268 kd	3374 kd



Kuvio 4. Yritys 1:n ja opinnäytetyön vuosihyötysuhdelaskureiden vuosihyötysuhteet.

Mikä tekee tuloksista entistäkin erikoisempia, näkyy kuviossa 4. Opinnäytetyön vuosihyötysuhde on lähempänä Yritys 1:n vuosihyötysuhdetta, kun kesäkuukaudet ovat laskennassa mukana. Tämä on erikoista sen takia, että kun opinnäytetyö sisältää kesäkuukaudet, sen energiat ja lämmöntarveluvut eroavat merkittävästi Yritys 1:een verrattaessa. Kuitenkin vuosihyötysuhde on lähempänä Yritys 1:n kuin mitä se on silloin kun kesäkuukaudet ovat poistettu. Kun kesäkuukaudet ovat poistettu opinnäytetyöstä ovat sen energiat ja lämmöntarveluvut aika lähellä Yritys 1:n, mutta kuitenkin vuosihyötysuhde eroaa enemmän verrattuna siihen, että kesäkuukaudet ovat mukana. Vuosihyötysuhde eroaa sen takia niin paljon enemmän, sillä kaikki muut tulokset ovat todella lähellä toisiaan paitsi sisäilman lämpötilan ja ulkoilman lämpötilan välinen lämmöntarveluku sekä ilmanvaihdon kokonaisenergiantarve, kun verrataan Yritys 1:stä ja opinnäytetyön laskuria, josta kesäkuukaudet ovat poistettu. Tällöinkään ei puhuta suuresta erosta, vaan Yritys 1:een verrattuna vuosihyötysuhde on noin 0,7 prosenttiyksikköä suurempi. Kun kesäkuukaudet ovat laskennassa mukana, on eroa vain alle 0,2 prosenttiyksikköä verrattuna Yritys 1:een.

6.2.2 Vertailu Yritys 2:n ja opinnäytetyön välillä

Tässä kappaleessa vertaillaan Yritys 2:n ja opinnäytetyön vuosihyötysuhdelaskureita. Alla on taulukko 18, mistä näkee millä lähtöarvoilla laskennat suoritettiin opinnäytetyön ja Yritys 2:n laskureilla.

Taulukko 18. Yritys 2:n ja opinnäytetyön vuosihyötysuhdelaskureiden lähtöarvot vuosihyötysuhdelaskentaan.

Sisälämpötila	21 °C
Maksimitulolämpötila	18 °C
Minimijätelämpötila	-3,7 °C
Tuloilmavirta	0,045 m ³ /s
Poistoilmavirta	0,055 m ³ /s
Lämpötilahyötysuhde EN 308: 1997 (tai muu hyväksyttävä)	76,5 %

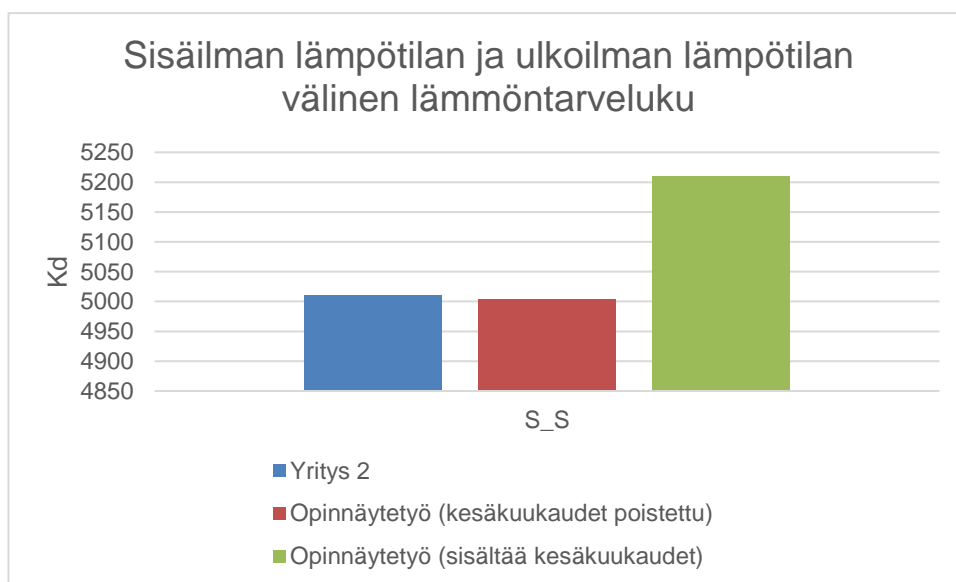
Kun opinnäytetyön laskennasta on poistettu kesäkuukaudet, ovat vuosihyötysuhdelaskennan tuottamat tulokset aika lähellä toisiaan verrattuna Yritys 2:n laskuriin. Alla olevassa taulukossa 19 näkyy vuosihyötysuhdelaskennan tulokset.

Taulukko 19. Yritys 2:n ja opinnäytetyön vuosihyötysuhdelaskureiden tuloksia.

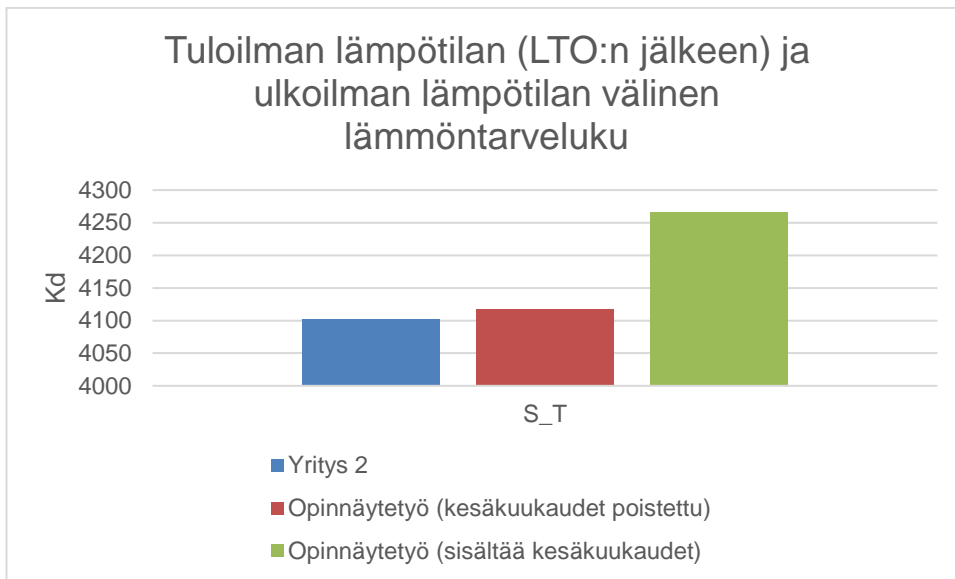
Vuosihyötysuhdelaskuri	Yritys 2	Opinnäytetyö (kesäkuukaudet poistettu)	Opinnäytetyö (sisältää kesäkuukaudet)
Vuosihyötysuhde	66,9 %	67,3 %	67,0 %
S_S	5010 kd	5003 kd	5210 kd
S_T	4101 kd	4117 kd	4266 kd
S_J	3354 kd	3368 kd	3490 kd

Taulukko 19 sekä kuviot 5–7 paljastavat kiinnostavaa dataa. Vuosihyötysuhde on lähes sama Yrityksen 2 välillä, kun opinnäytetyön laskuri sisältää kesäkuukaudet, mutta sen lämmöntarveluvut eroavat huomattavasti Yritys 2:n laskurista sekä opinnäytetyön laskurista, josta kesäkuukaudet ovat poistettu.

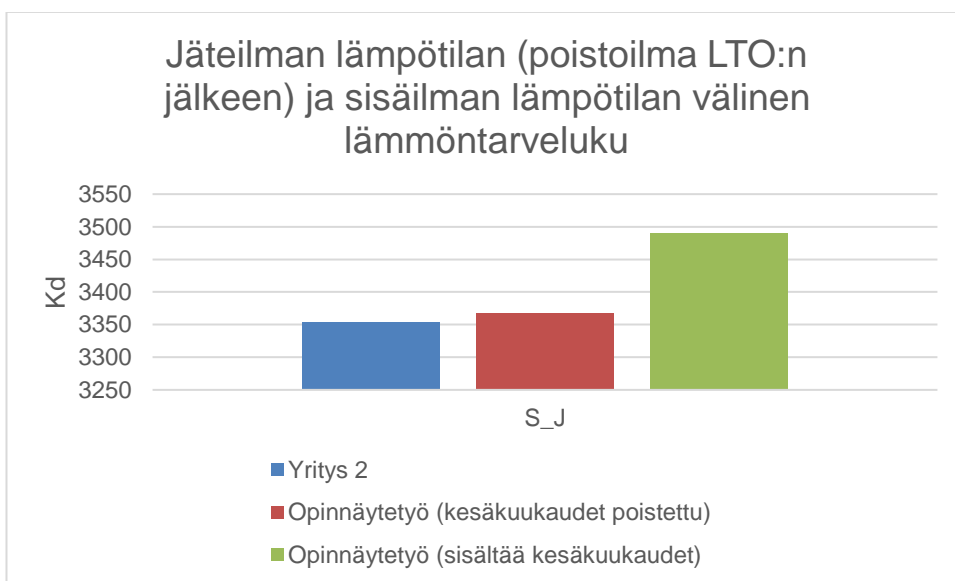
Vuosihyötysuhteen lopputulema on siis lähempänä Yritys 2:n laskuria, kun kesäkuukaudet ovat laskelmassa mukana, mutta laskelman muut tulokset ovat lähempänä Yritys 2:n laskuria, kun kesäkuukaudet ovat poistettu. Yritys 2 ei kuitenkaan ole soveltanut D5:sta, jossa kesäkuukausia ei oteta vuosihyötysuhdelaskentaan mukaan, mutta tulosten perusteella on hankala sanoa ovatko ne poistettu (Tuotepäällikkö Yritys 2, henkilökohtainen haastattelu, 21.3.2022). Lämmöntarveluvut etenkin sisäilman lämpötilan ja ulkoilman lämpötilan välinen lämmöntarveluku viittaavat siihen, että kesäkuukausia ei laskennassa olisi mukana. Käytännössä suoritettiin laskenta miten tahansa, S_s arvon tulisi olla sama. Tämä johtuu siitä, että S_s arvoon vaikuttaa lähinnä säädata sekä säävyöhyke, jotka olivat samat kaikissa laskureissa. Myös sisäilman lämpötilat olivat kaikissa laskureissa samat, joka vaikuttaa myös S_s arvoon. On siis erikoista, että vuosihyötysuhde on lähes sama kuin Yrityksen 2 laskurissa, kun kesäkuukaudet ovat opinnäytetyön laskurissa mukana, sillä sisäilman lämpötilan ja ulkoilman lämpötilan väliset lämmöntarveluvut eroavat selkeästi.



Kuvio 5. Yritys 2:n ja opinnäytetyön vuosihyötysuhdelaskureiden sisäilman lämpötilan ja ulkoilman lämpötilan välinen lämmöntarveluku.



Kuvio 6. Yritys 2:n ja opinnäytetyön vuosihyötysuhdelaskureiden tuloilman lämpötilan (LTO:n jälkeen) ja ulkoilman lämpötilan välinen lämmöntarveluku.



Kuvio 7. Yritys 2:n ja opinnäytetyön vuosihyötysuhdelaskureiden jäteilman lämpötilan (poistoilma LTO:n jälkeen) ja sisäilman lämpötilan välinen lämmöntarveluku.

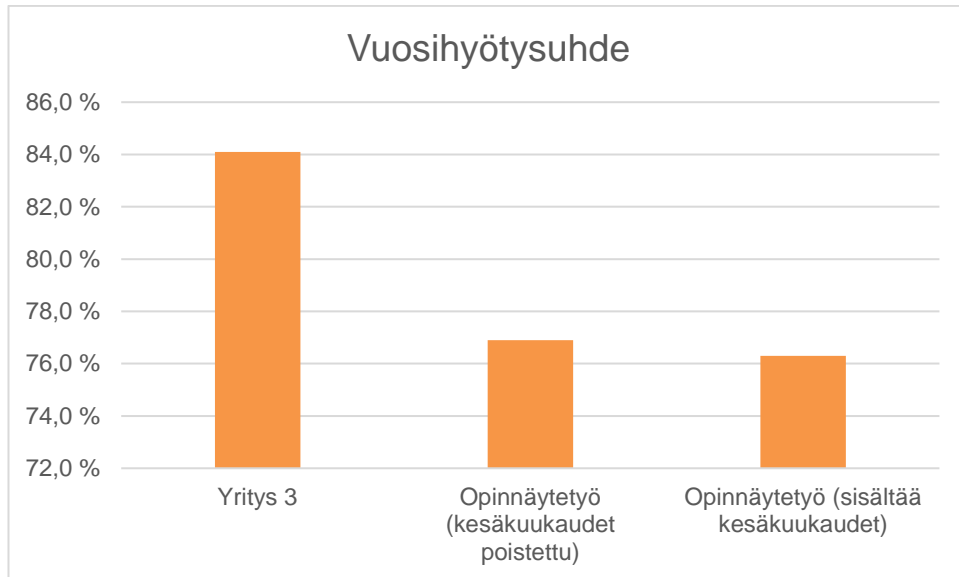
6.2.3 Vertailu Yritys 3:n ja opinnäytetyön välillä

Tässä kappaleessa vertaillaan Yritys 3:n ja opinnäytetyön vuosihyötysuhdelaskureita. Alla oleva taulukko 20 kertoo millä lähtöarvoilla laskennat suoritettiin opinnäytetyön ja Yritys 3:n laskureilla.

Taulukko 20. Yritys 3:n ja opinnäytetyön vuosihyötysuhdelaskureiden lähtöarvot vuosihyötysuhdelaskentaan.

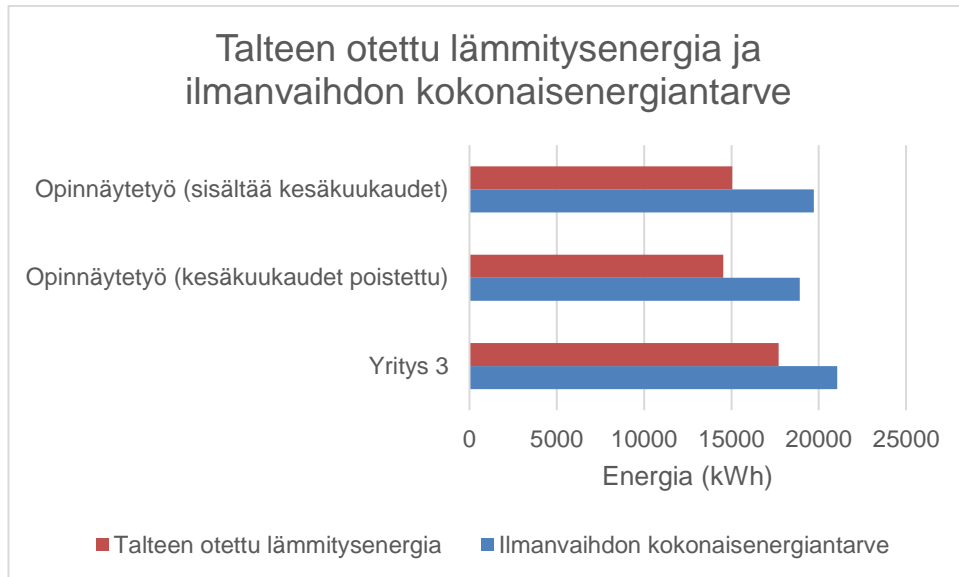
Sisälämpötila	22 °C
Maksimitulolämpötila	18 °C
Minimijätelämpötila	-10 °C
Tuloilmavirta	0,119 m ³ /s
Poistoilmavirta	0,125 m ³ /s
Lämpötilahyötysuhde EN 308: 1997 (tai muu hyväksyttävä)	86,4 %

Tässä tapauksessa vuosihyötysuhteiden välillä on suuri ero kuten kuviosta 8 huomataan. Eroa Yritys 3:n ja opinnäytetyön laskureiden välillä on melkein 8 prosenttiyksikköä. Opinnäytetyön vuosihyötysuhdelaskureilla ei ole suurta eroa, mutta tälläkin kertaa, kun kesäkuukaudet on poistettu, vuosihyötysuhde on korkeampi.



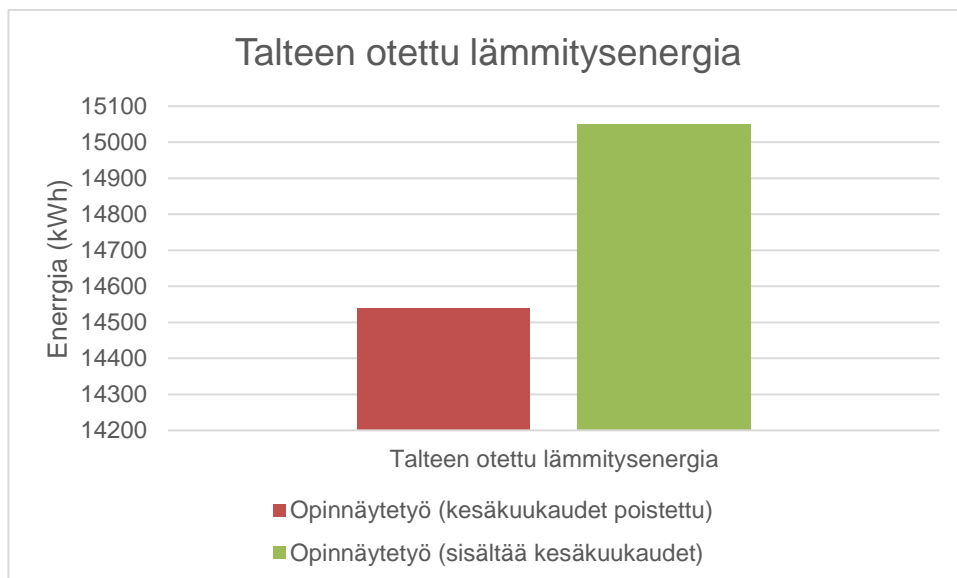
Kuvio 8. Yritys 3:n ja opinnäytetyön vuosihiötysuhdelaskureiden vuosihiötysuhteet.

Kuviosta 9 nähdään vuosihiötysuhdelaskureiden talteen otettu lämmitysenergia ja ilmanvaihdon kokonaisenergiantarve. Siitä näkee, että etenkin talteen otettu lämmitysenergia Yritys 3:n laskurilla on huomattavasti suurempi kuin opinnäytetöiden laskureiden. Myös ilmanvaihdon kokonaisenergiantarve on suurempi Yrityksen 3 laskurilla verrattuna opinnäytetyön laskureiden, mutta pienemmässä suhteessa kuin talteen otetun lämmitysenergian kanssa. Tämän takia Yrityksen 3 laskurin vuosihiötysuhde onkin suurempi kuin opinnäytetyön laskureiden.



Kuvio 9. Yritys 3:n ja opinnäytetyön vuosihyötysuhdelaskureiden energiat.

Kuviosta 10 nähdään opinnäytetöiden laskureiden talteen otettu lämmitysenergia ja kuviosta 11 ilmanvaihdon kokonaisenergiantarve. Kun opinnäytetyö sisältää kesäkuukaudet, ovat sen talteen otettu lämmitysenergia sekä ilmanvaihdon kokonaisenergiantarve suuremmat. Vuosihyötysuhteeseen tämä ei vaikuta paljoa. Ilman kesäkuukausia olevan laskurin vuosihyötysuhde oli 76,9 % ja kesäkuukaudet sisältävän oli 76,3 %. Ilman kesäkuukausia oleva laskuri on 0,6 prosenttiyksikköä suurempi kuin kesäkuukaudet sisältävä. Kesäkuukaudet sisältävän laskurin energiat ovat siis suuremmat kuin ilman kesäkuukausia oleva laskuri, mutta vuosihyötysuhde on kuitenkin pienempi.



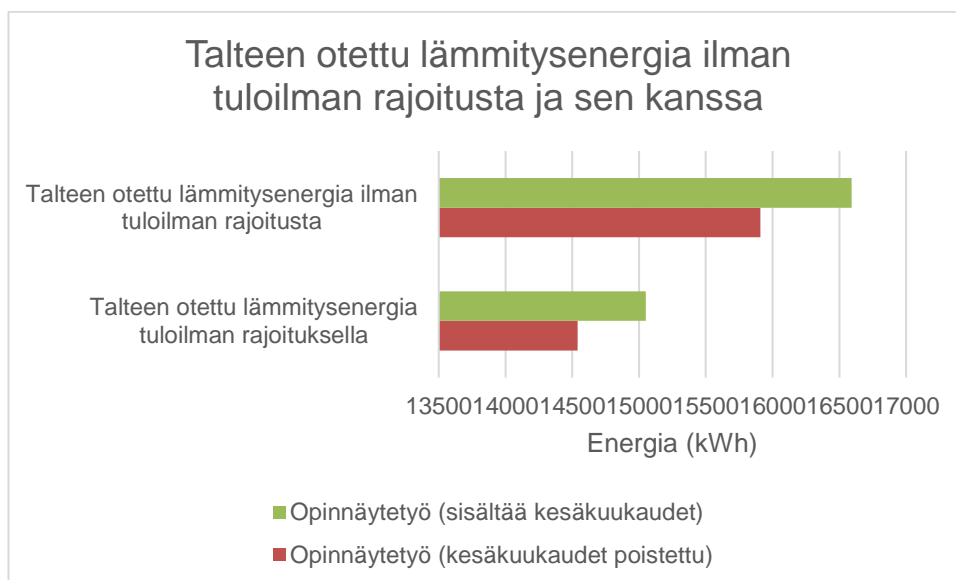
Kuvio 10. Opinnäytetyön laskureiden talteen otettu lämmitysenergia.



Kuvio 11. Opinnäytetyön laskureiden ilmanvaihdon kokonaisenergiantarve.

Opinnäytetyön vuosihyötysuhdelaskureiden laskennat suoritettiin vielä ilman tuloilman rajoitusta ja ne paljastivat jotain kiinnostavaa. Kaikki kolme vuosihyötysuhdelaskuria antoi saman tuloksen vuosihyötysuhteeksi eli 84,1 %. Tämä tarkoittaa sitä, että Yritys 3:n vuosihyötysuhdelaskuri ei rajoittanut tuloilmaa alkuunkaan. Yritys 3:n vuosihyötysuhdelaskurissa oli kohta tuloilman tavoitelämpötilasta, mutta se ei tuntunut rajoittavan tuloilmaa. Jos tuloilmaa olisi

rajoitettu, pitäisi vuosihyötysuhteen olla taulukon 20 mukaisilla lähtöarvoilla noin 76 %. Mielenkiintoista oli myös huomata se, että oli kesäkuukaudet laskelmassa mukana tai ei vuosihyötysuhde oli kuitenkin sama, kun tuloilman lämpötilaa ei rajoiteta.



Kuvio 12. Vertailu opinnäytetyön vuosihyötysuhdelaskureilla, kun tuloilmaa ei rajoiteta ja kun sitä rajoitetaan.

Kuvio 12 näyttää talteen otetun lämmitysenergian ilman tuloilman rajoitusta ja sen kanssa. Siitä nähdään, että lämmitysenergiaa saadaan enemmän talteen, kun tuloilman lämpötilaa ei rajoiteta. Kuvioista 12 huomataan myös, että kesäkuukaudet sisältävässä laskurissa talteen otetut lämmitysenergiat ovat suuremmat verrattuna laskuriin, jossa kesäkuukaudet ovat poistettu. Rajoitettiin tuloilmaa tai ei ilmanvaihdon kokonaisenergiantarve pysyy samana, kesäkuukaudet sisältävässä laskurissa se oli 19721 kWh ja ilman kesäkuukausia olevassa laskurissa se oli 18909 kWh. Koska energiantarve ei kasva, mutta talteen otettu lämmitysenergia kasvaa, nousee tämän seurauksena vuosihyötysuhde. Vuosihyötysuhteesta tulee sama molemmilla laskureilla, vaikka energiamäärät ovat erisuuret laskureiden välillä. Tämä johtuu siitä, että talteen otetun lämmitysenergian ja ilmanvaihdon kokonaisenergiantarpeen suhde on sama molemmissa laskureissa. Yrityksen 3

laskurissa energiamäärät ovat myös erisuuret verrattuna opinnäytetyön laskureihin, mutta edellä mainittu suhde on sama, joten kaikilla kolmella laskurilla vuosihyötysuhde saa saman arvon.

7 Ilmastonmuutoksen vaikutus vuosihyötysuhdelaskentaan

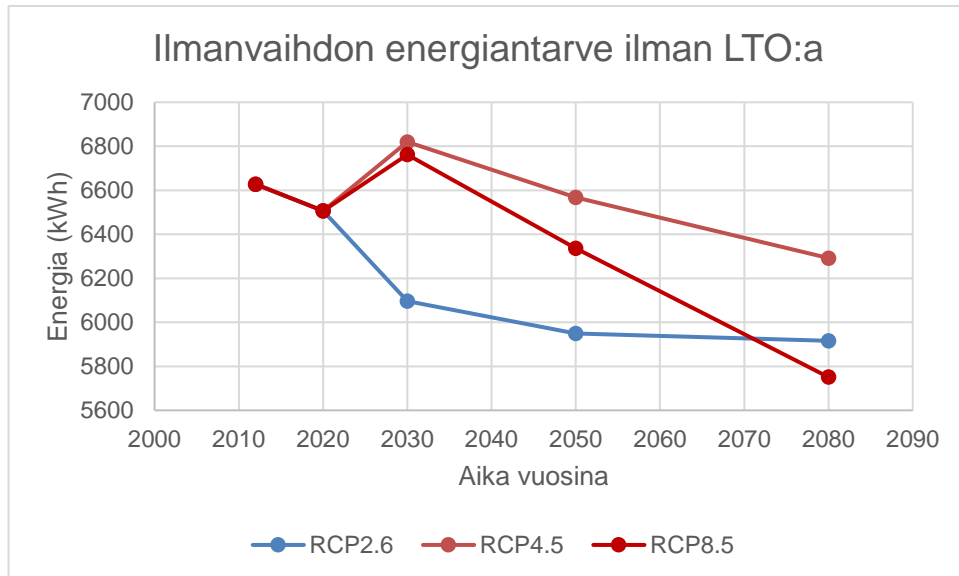
Tässä kappaleessa tutkitaan ilmastonmuutoksen vaikutusta vuosihyötysuhdelaskentaan. Vertailuissa käytettiin TRY2012, TRY2020, TRY2030, TRY2050 sekä TRY2080 säädataa käyttäen RCP2,6-, RCP4,6- ja RCP8,5-skenaarioita Helsinki-Vantaan säävyöhykkeellä. Laskenta suoritettiin lämmitysrajaan asti, joka on 12 °C. Laskennassa käytettiin ilman ominaislämpökapasiteettia 1 kJ/kg°C ja ilman tiheyttä 1,2 kg/m³. Laskenta on monisteen 122 mukainen. Laskenta toteutettiin alla olevan taulukon 21 lähtöarvoilla.

Taulukko 21. Vuosihyötysuhdelaskennan lähtöarvot ilmastonmuutoksen vaikutuksen vertailuun.

Sisälämpötila	21 °C
Maksimitulolämpötila	18 °C
Minimijätelämpötila	-5 °C
Tuloilmavirta	0,045 m ³ /s
Poistoilmavirta	0,046 m ³ /s
Lämpötilahyötysuhde EN 308: 1997 (tai muu hyväksyttävä)	73 %

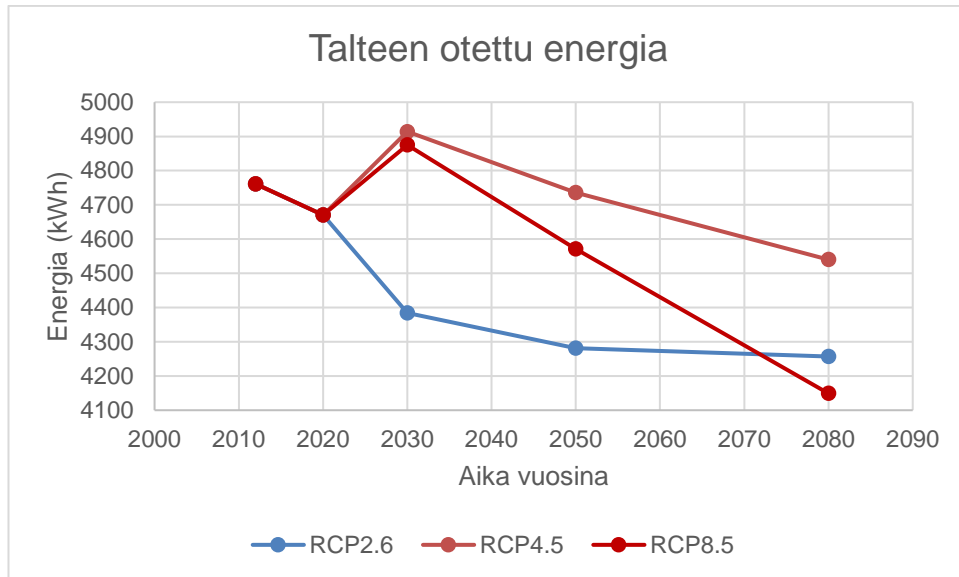
Kuviosta 13 voidaan päätellä, että ilmanvaihdon energiantarve tulee laskemaan, oli RCP-skenaario mikä tahansa. Merkillistä kuitenkin on se, että vuonna 2030 ainoastaan RCP2.6-skenaariolla ilmanvaihdon energiantarve laskee, kun taas muilla skenaarioilla se tulee nousemaan. Tämä on erikoista, sillä ilmaston lämmitessä ilmanvaihdon energiantarpeen tulisi pienentyä, koska kylmempien lämpötilojen määrä vähenee ja lämpimimpien lämpötilojen määrä kasvaa. Mitä kylmempi ulkoilman lämpötila on, sitä enemmän tarvitaan lämmitystä, jotta

sisälämpötila saavutetaan. Tästä syystä olisi loogista, jos ilmanvaihdon energiantarve pienenesi ilmaston lämmetessä.

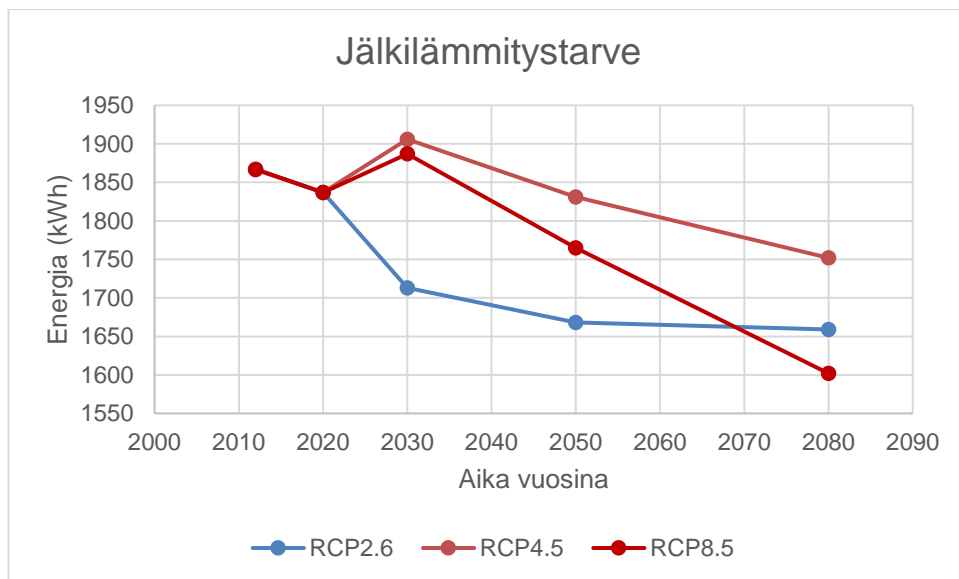


Kuvio 13. Ilmanvaihdon energiantarve ilman LTO:a RCP-skenaarioittain.

Vuodet 2012 ja 2020 perustuvat menneeseen ja oikeisiin mitattuihin arvoihin. Näiden kahden pisteen välillä trendi on mielestäni oikeanlainen eli laskeva ilmanvaihdon energiantarpeen kannalta ja todistaa ilmastonmuutoksen vaikuttavan vuosihyötysuhdelaskentaan. 2030 jälkeen kaikkien RCP-skenaarioiden ilmanvaihdon energiantarve kääntyy laskuun kuvion 13 mukaan, joista jyrkimmin laskee RCP8.5. Ilmanvaihdon energiantarve on pienimmillään vuonna 2080 RCP8.5:llä.



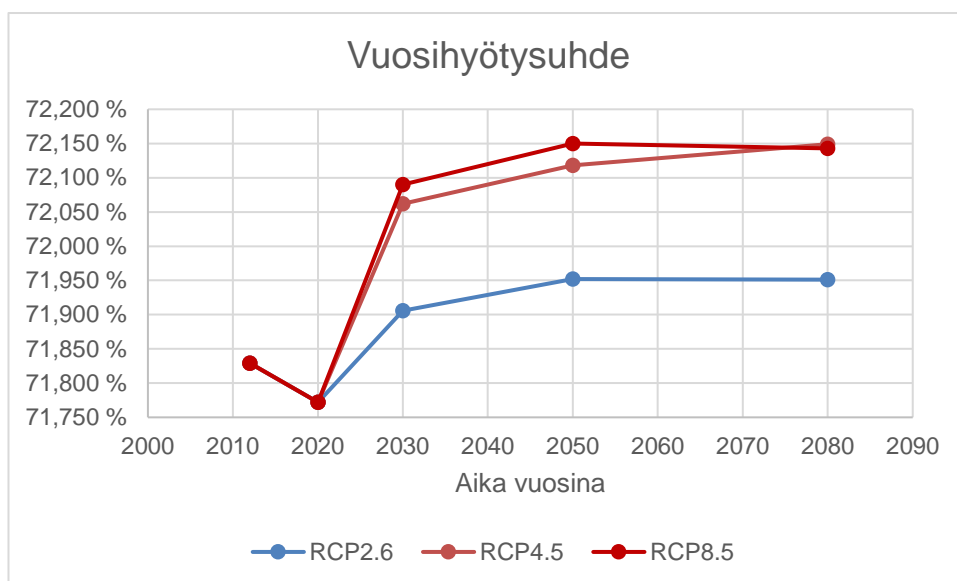
Kuvio 14. Talteen otettu energia RCP-skenaarioittain.



Kuvio 15. Jälkilämmitystarve RCP-skenaarioittain.

Samankaltaiset käyrät kuviossa 13 toistuvat kuvioissa 14 ja 15. Nämä käyrät etenevät loogisesti, kun verrataan millaisia käyriä kuvio 13 antaa. Koska ilmanvaihdon energiantarve ilman LTO:a pienenee, pienenee myös siitä saatava talteen otettu energia. Energiaa ei saada otettua yhtä paljoa talteen, sillä energiaa myös kuluu vähemmän ilmastonmuutoksen edetessä. Tämä

heijastuu myös jälkilämmitystarpeeseen, sekin pienenee, koska ilmanvaihdon energiatarve pienenee.



Kuvio 16. Vuosihiötysuhde RCP-skenaarioittain.

Kuviosta 16 nähdään vuosihiötysuhteet ajan funktiona RCP-skenaarioittain. Kaikilla skenaarioilla vuosihiötysuhde näyttäisi kasvavan. Tämäkään ei ole loogista, sillä vuoden 2012 ja vuoden 2020 vuosihiötysuhteen käyrä on laskeva. Vuoden 2012 vuosihiötysuhteen arvo on 71,829 % ja vuoden 2020 vuosihiötysuhteen arvo on 71,772 %. Näiden kahden testivuoden välillä ero vuosihiötysuhteissa on 0,057 prosenttiyksikköä. Voidaan siis sanoa, että tähän mennessä vuodesta 2012 vuoteen 2020 ilmastonmuutos ei juuri vaikuta vuosihiötysuhteeseen. On kuitenkin erikoista, että vuosihiötysuhde nousee kaikilla RCP-skenaarioilla. Käyrät ovat kuitenkin loogisessa järjestyksessä siten, että RCP2.6 on alimpana, keskellä on RCP4.5 ja ylimpänä on RCP8.5. Eroa vuosihiötysuhteissa ei kuitenkaan paljoa ole. Enimmillään ero on RCP2.6:n ja RCP8.5:n välillä noin 0,2 prosenttiyksikköä. Ero RCP4.5:n ja RCP8.5:n välillä voidaan sanoa kuvaajasta päätellen olevan marginaalista.

Lämmitysrajalla saattaa olla suuri vaikutus vuosihiötysuhdelaskennan tuloksiin. Lämmitysraja oli tässä tapauksessa 12 °C, jotta se olisi suomalaisten ohjeiden ja määräysten mukainen. Käytännössä lämmitystarvetta on vielä tämän rajan

jälkeenkin. Tämä tarkoittaa sitä, että ilmaston lämmitessä aina vain suurempi osuus menee tämän rajan yli, jolloin kyseisiä lämpötiloja ei oteta ollenkaan laskennassa huomioon, vaan ne rajataan pois. Tämä voisi muuttaa ilmanvaihdon energiantarvetta ja talteen otetun lämmön määrää ja sitä kautta se vaikuttaisi vuosihyötysuhteeseen. Myöskään kesäkuukausia ei oteta vuosihyötysuhteen laskennassa mukaan, mikä voi vääristää saatuja tuloksia (Ympäristöministeriö 2012b, 22). Esimerkiksi juhannuksenakin, jos ulkolämpötila on + 8 °C, lämmöntalteenotto on käytännöllisessä tilanteessa päällä (J. Lönnström, henkilökohtainen keskustelu, 21.4.2022). Herää kysymys, pitäisikö vuosihyötysuhteen laskenta toteuttaa eri tavalla kuin se on ympäristöministeriön monisteessa 122 esitetty.

Kappaleessa 2 mainittiin tulevaisuuden säädataan liittyvän paljon epävarmuutta, millä voi olla myös vaikutusta laskennan tuloksiin (Ilmatieteenlaitos 2020a). Ainakin monisteen 122 mukaisella laskentatavalla, yksikään RCP-skenaario ei tunnu käyttäytyvän oikein. Tulevaisuuden säädata voi olla yksi syy miksi näin tapahtuu, mutta pidetään todennäköisempänä sitä vaihtoehtoa, että laskennan yksinkertaistamisella ja lämmitysrajoilla on suurempi rooli vääristyneeseen vuosihyötysuhdelaskentaan.

Kuvioiden 13–16 käyrät saattaisivat olla erilaiset, jos laskenta suoritettaisiin eri lähtöarvoilla. Tässä tapauksessa poistoilmavirta oli suurempi kuin tuloilmavirta, sillä usein asuinrakennukset suunnitellaan alipaineisiksi ulkoilmaan verrattuna (Ympäristöministeriö 2003, 11; A-insinöörit 2019). Laskentaa voisi myös tarkastella tasailmavirroilla tai tuloilmavirta voisi olla suurempi kuin poistoilmavirta. Jos tuloilmavirta olisi suurempi kuin poistoilmavirta, olisi todennäköisesti vuosihyötysuhteiden kuvaajat toisinpäin eli RCP2.6 olisi ylempänä kuin RCP4.5 ja RCP8.5.

Jäteilman lämpötilan rajoituksella ja tuloilman lämpötilan rajoituksella on suuri vaikutus vuosihyötysuhdelaskentaan. Laskentaa voisi myös tarkastella poistamalla näistä jommankumman tai molemmat ja tutkia tuloksia. Tässä laskennassa kuitenkin molemmat rajoitukset ovat, sillä käytännössä ainakin jäteilman lämpötilaa tulee rajoittaa jossain määrin, ettei

lämmöntalteenottolaitteisto pääse jäätymään (Savolainen 2020). Tuloilman lämpötilaa yleensä rajoitetaan, sillä ilmanvaihdon lämmittäminen tavoitesisälämpötilaan ei ole energiatehokasta. Lämmittäminen kannattaa enemmän tehdä sisätiloissa esimerkiksi vesikiertoisilla radiaattoreilla. (Motiva 2016.) Tuloilman lämpötilan rajoituksella voidaan myös ottaa huomioon rakennuksessa syntyvät lämpökuormat esimerkiksi ihmisistä. Jos tuloilman lämpötilaa ei rajoiteta, lämpökuormat saattaisivat nostaa lämpötilan tavoitesisälämpötilan yli. (Ympäristöministeriö 2012a.)

Ilmaston lämmitessä jäähdytyksen rooli korostuu. Tässä tapauksessa tarkasteltiin vain vuosihyötysuhdelaskentaa, johon ei kuulu jäähdytyksen laskeminen. Todennäköisesti, kun ilmanvaihdon lämmitystarve ja lämmöntalteenotto pienenevät vastaavasti jäähdytystarve ja jäähdytyksen talteenotto kasvavat. Tätä asiaa tulisi kuitenkin tutkia ja testata, jotta voidaan sanoa, että se pitää paikkansa.

8 Johtopäätelmä

Energialaskentaa tulisi tutkia ainakin nykysäädätällä eli testivuodella TRY2020. Testivuosi TRY2012 on nyt vanhaa säätietoa ja nykyistä ilmastoa edustaa tällä hetkellä TRY2020. Voidaan myös pohtia tulisiko energialaskentaa tutkia tulevaisuuden säädätällä, sillä rakennusten suunniteltu käyttöikä on noin 50 tai 75 vuotta, missä ajassa ilmasto on ehtinyt jo muuttua ja se vaikuttaa tätä kautta energialaskentaan ja vuosihyötysuhteisiin (Bäckgren 2018). Ilmatieteen laitos on laatinut TRY2020 säädätän lisäksi testivuodet TRY2030, TRY2050 sekä TRY2100, joilla tulevaisuuden tarkastelu on mahdollista.

Vuosihyötysuhdelaskentaa tulisi uudistaa. Monisteen 122 tarkastelu on vanhanaikainen ja tarkastelua pystyttäisiin nykyään tekemään tarkemmin esimerkiksi tuntitasolla. Näin pystytään huomioimaan käyntiajat ja silloin vallitseva lämpötila. Esimerkiksi toimistossa ilmanvaihto voi olla arkisin päällä klo 8–16 ja viikonloppuisin poissa päältä. Kun vertailua tehtiin ”todellisen tilanteen” ja painotettujen poistoilmavirtojen välillä, energiankulutus oli pienempää todellisella tilanteella. Vuosihyötysuhteeseen tämä ei juurikaan vaikuttanut, mutta jos mietitään mitä energia maksaa, niin todellisella tilanteella hinta olisi pienempi kuin mitä käyttöajoilla painotetuilla poistoilmavirroilla. Lämmitysraja saattoi vaikuttaa vuosihyötysuhteen laskentaan, minkä takia ilmastonmuutoksen vaikutus vuosihyötysuhdelaskentaan jäi epäselväksi. Laskennan voisi suorittaa ilman lämmitysrajaa ja ehkä eri laskentatavalla kuin mitä monisteessa 122 on annettu. Jatkokehitysehdotuksena laskennan voisi suorittaa äsken kuvaamalla tavalla. Vuosihyötysuhteen laskenta on nykyään mahdollista suorittaa tarkemmin, jota voitaisiin ympäristöministeriössä pohtia. Myös E-luvun laskenta on erikoista, sillä ostoenergian määrä määräytyy rakennuspaikan mukaan, mutta säävyöhykkeenä kuitenkin käytetään Helsinki-Vantaan säävyöhykettä ympäri Suomea. Tämän voisi säädätän osalta toteuttaa samalla tavalla kuten vuosihyötysuhdelaskennan eli säävyöhykkeittäin riippuen sijainnista, mistä voitaisiin myös ympäristöministeriössä keskustella.

(Ympäristöministeriö 2017c, 5; Tuotekehitysjohtaja Yritys 1, henkilökohtainen haastattelu, 22.3.2022.)

Herää kysymys pitäisikö lämmöntalteenottolaitteiston minimijäteilman lämpötilan määrittäminen sekä lämpötilahyötysuhteen määrittäminen ulkoistaa eri taholle, kuin lämmöntalteenottolaitteen valmistajalla. Yritys 1 onkin ulkoistanut vuosihyötysuhdelaskentansa (Tuotekehitysjohtaja Yritys 1, henkilökohtainen haastattelu, 22.3.2022) ja Yrityksellä 2 oli sertifikaatti käytössään. Lämpötilahyötysuhteen määrittämisellä on ehkä merkittävin vaikutus vuosihyötysuhdelaskennassa ja Yritys 2 luopuikin sertifikaatistaan osittain siksi, että he pysyisivät kilpailukykyisempinä. Ympäristöministeriö ei vaadi, että lämpötilahyötysuhteita määritettäisiin niin tarkasti kuin se oli sertifikaatissa tehty, eivätkä EU:ssa käytössä olevat standardit ota kantaa siihen, mitä tapahtuu ulkoilman lämpötilan laskiessa pakkaselle. Vuosihyötysuhdeajattelua voitaisiin muutenkin viedä EU tasolle asti. (Tuotepäällikkö Yritys 2, henkilökohtainen haastattelu, 23.3.2022.) Myös jäteilman lämpötilan rajoituksen arvo on laskijan vastuulla ja mitä alhaisemmassa ulkolämpötilassa jäteilman lämpötilaa rajoitetaan, sitä parempia vuosihyötysuhteita laskenta antaa. Vuosihyötysuhdelaskureissa jäteilman lämpötilan rajoitus on usein ennalta määrätty riippuen ilmanvaihtokoneesta (taulukko 10) ja tämä voi antaa kaupallisia vuosihyötysuhteen laskennan tuloksia, jos jäteilman lämpötilan rajoitus on kovin alhainen.

Standardin EN 308: 1997 mukaan määritetty lämpötilahyötysuhde on kuiva prosessi ja se antaa alhaisemman lämpötilahyötysuhteen verrattuna märkään prosessiin. Standardin EN 308: 1997 mukainen suhteellinen kosteus voi vastata hyvin esimerkiksi toimistoja, joissa saunoja ja suihkuja ei juuri ole. Asuintaloissa taas on ainakin suihkut ja muitakin kosteuskuormia löytyy, jolloin EN 308: 1997:ssä käytetty suhteellinen kosteus ei kuvaa asuintalossa olevaa oikeaa suhteellista kosteutta. Hiilineutraaliustavoitteiden myötä olisi hyvä selvittää teorian ja käytännön välinen ero. Ilmanvaihtoa koskevissa valinnoissa tulisi ottaa huomioon todelliset olosuhteet ja niiden perusteella voitaisiin optimoida energiankäyttöä. (J. Lönnström, henkilökohtainen keskustelu, 9.5.2022.)

Pääsanoma on, että vuosihyötysuhdelaskentaa tulisi päivittää. Sitä pystytään tekemään nykyään tarkemmin ja laskennasta saataisiin tehtyä käytännönläheisempi. Energiankäytön optimointi onnistuisi paremmin, kun tiedetään, miten ilmanvaihtokone oikeasti käyttäytyy ympäri vuoden ja tällä onkin suuri merkitys ilmastonmuutoksen hillitsemisessä.

Lähteet

A-insinöörit 2019. Rakennusten paine-erojen mittausohjeprojektin loppuraportti.

Viitattu 4.5.2022 https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Rakennusten-paine-erojen-mittausohje-2019-10-11-7287C51D_EFAA_41F7_BCAC_7F81A18AAA4C-151430.pdf/df1a430e-554b-10d9-5a0f-2e2366165531/Rakennusten-paine-erojen-mittausohje-2019-10-11-7287C51D_EFAA_41F7_BCAC_7F81A18AAA4C-151430.pdf?t=1603260085078

Bäckgren N. 2018. Analyysi: Asuntomarkkinat ovat rikki – Uusien asuntojen ongelmista puhutaan jatkuvasti, mutta silti niille löytyy aina ostaja.

Rakennuslehti. Viitattu 11.5.2022 <https://www.rakennuslehti.fi/2018/09/analyysi-asuntomarkkinat-ovat-rikki-uusien-asuntojen-ongelmista-puhutaan-jatkuvasti-mutta-silti-niille-loytyy-aina-ostaja/>

Energiatehokas koti 2020. Levylämmönsiirrin. Viitattu 16.5.2022

https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/ilmanvaihto/levylammonsiirrin

EN 308: 1997. Heat exchangers. Test procedures for establishing performance of air and flue gases heat recovery devices. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

Eskola L.; Jokisalo J. & Sirén K. 2012. Lämpöpumppujen energialaskentaopas. Viitattu 17.5.2022

https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Lampopumppujen-energiaskentaopas-3.10.2012-10A732A6_EA2F_45F9_869C_6F909138CB26-30757.pdf/1d053cd5-1865-e174-6424-841fac831c48/Lampopumppujen-energiaskentaopas-3.10.2012-10A732A6_EA2F_45F9_869C_6F909138CB26-30757.pdf?t=1603260214849

Euroopan komissio 2014. (EU) N:o 1253/2014. Euroopan unionin virallinen lehti. Viitattu 30.3.2022 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/ALL/?qid=1466571523247&uri=CELEX%3A32014R1253>

Ilmatieteen laitos 2020a. Energialaskennan testivuodet 2020. Viitattu 21.1.2022
<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/energialaskenta-try2020>

Ilmatieteen laitos 2020b. Rakennusenergian testivuosien säätiedot: tiedostojen rakenne ja tarkastelua niiden käytön kannalta. Viitattu 21.1.2022
https://images.ctfassets.net/hli0qi7fbos/11wafXKZQVZ4LiF1EjjNVf/95d9481deda3d557ef11110c5799760f/lukuohje_TRY2020.pdf

Jylhä K.; Ruosteenoja K.; Böök H.; Lindfors A.; Pirinen P.; Laapas M. & Mäkelä A. 2020. Nykyisen ja tulevan ilmaston säätietoja rakennusfysikaalisia laskelmia ja energialaskennan testivuotta 2020 varten. Ilmatieteen laitos. Viitattu 21.1.2022 <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/321164>

Lestinen S.; Jokisalo J.; Kosonen R.; Korhonen N.; Jylhä K.; 2022. Jäähdytyksen mitoituspäivät Suomen ilmastossa. Sisäilmayhdistys.

Motiva 2021. Mikä on energiatodistus? Viitattu 12.4.2022
https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiatodistusneuvonta/mika_on_energiatodistus

Motiva 2016. Energiakatselmoijan käsikirja osa II. Viitattu 4.5.2022
https://www.motiva.fi/files/12198/KAT-kasikirja_II_osa_2016.pdf

Nord Pool 2022. Day-ahead prices. Viitattu 13.5.2022
<https://www.nordpoolgroup.com/en/Market-data1/Dayahead/Area-Prices/FI/Hourly/?view=table>

Orpana L. 2015. Luftbehandlingsystem i energiberäkningar: En studie av produktdata och beräkningsmetoder. Viitattu 23.3.2022
<https://vpp.sbuf.se/Public/Documents/ProjectDocuments/6eda91cb-9ab2-4d26-881e-97501882ca92/FinalReport/SBUF%2012994%20Slutrapport%20Luftbehandlingssystem%20i%20energi%20ber%C3%A4kningar.pdf>

Savolainen L. 2020. Asuintilojen ilmanvaihdon poistoilman kosteuden määrittäminen ja vaikutukset ilmanvaihdon lämmöntalteenoton toimintaan. Viitattu 10.3.2022

<https://docplayer.fi/200436200-Asuintilojen-ilmanvaihdon-poistoilman-kosteuden-maaritys-ja-vaikutukset-ilmanvaihdon-lammontalteenoton.html>

SFS-EN 13141-7: 2021. Ventilation for buildings. Performance testing of components/products for residential ventilation. Part 7: Performance testing of ducted mechanical supply and exhaust ventilation units (including heat recovery). Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

Ympäristöministeriö 2018. Energiatodistusopas 2018: Rakennuksen energiatodistus ja E-luvun määrittäminen.

Ympäristöministeriö 2017a. Suomen säädöskokoelma: 1009/2017

Ympäristöministeriön asetus: uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta.

Ympäristöministeriö 2017b. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta.

Ympäristöministeriö 2017c. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta.

Ympäristöministeriö 2017d. Tasauslaskentaopas 2018 Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden osoittaminen.

Ympäristöministeriö 2012a. D3 laskentaopas: Kesäajan huonelämpötilan vaatimuksenmukaisuuden osoittaminen. Viitattu 17.1.2022

[https://ym.fi/documents/1410903/38439968/D3-kesaajan-lampotilojen-laskentaopas-\(syyskuu-2012\)-7B8D0893_4715_4FD1_B685_D2B71D6A6559-31274.pdf/5483a775-be11-908e-8b88-a509f40b7706/D3-kesaajan-lampotilojen-laskentaopas-\(syyskuu-2012\)-7B8D0893_4715_4FD1_B685_D2B71D6A6559-31274.pdf?t=1603260237052](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/D3-kesaajan-lampotilojen-laskentaopas-(syyskuu-2012)-7B8D0893_4715_4FD1_B685_D2B71D6A6559-31274.pdf/5483a775-be11-908e-8b88-a509f40b7706/D3-kesaajan-lampotilojen-laskentaopas-(syyskuu-2012)-7B8D0893_4715_4FD1_B685_D2B71D6A6559-31274.pdf?t=1603260237052)

Ympäristöministeriö 2012b. D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma: Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta.

Ympäristöministeriö 2011. Tasauslaskentaopas 2012 Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden osoittaminen.

Ympäristöministeriö 2003. Ympäristöministeriön moniste 122: Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto lämpöhäviöiden tasauslaskennassa. Viitattu 10.2.2022

http://www.laskentapalvelut.fi/maaraykset/YM_opas_122.pdf

Yritys 1:n haastattelukysymykset

1. Mistä johtuu, että minimijäteilman lämpötilaa ei saa itse valita? Onko $-6,5$ °C Yritys 1:n omille lämmöntalteenottolaitteille se raja, minkä LTO-laitteisto kestää ilman jäätymistä?
2. Laskentaohjelmassanne ei lue, että se soveltaisi D5:sta. D5:sen mukaan (2012, 22) kesä-, heinä- ja elokuuta ei oteta vuosihyötysuhteen laskennassa mukaan, sillä lämmöntalteenotto ja ilmanvaihdon jälkilämmitys eivät ole käytössä, jollei sitä edellytetä rakennuksen käytössä. Sisältääkö laskelmanne kesäkuukaudet vai ovatko ne laskelmasta poistettu?
3. Mitä säädataa käytätte?
4. Meneekö E-luvun laskenta aina Helsingin säätietojen mukaan, vaikka se laskettaisiin esimerkiksi Rovaniemelle vai miten se on teillä toteutettu?
5. Miten pienten IV-koneiden huurteensuoja toteutetaan teillä?

Yritys 2:n haastattelukysymykset

1. Miten määritätte jäteilman lämpötilan rajoituksen?
2. Laskentaohjelmassanne ei lue, että se soveltaisi D5:sta. D5:sen mukaan (2012, 22) kesä-, heinä- ja elokuuta ei oteta vuosihyötysuhteen laskennassa mukaan, sillä lämmöntalteenotto ja ilmanvaihdon jälkilämmitys eivät ole käytössä, jollei sitä edellytetä rakennuksen käytössä. Sisältääkö laskelmanne kesäkuukaudet vai ovatko ne laskelmasta poistettu?
3. Laskelmassanne huomioidaan tulo- ja poistoilman toimintapisteet. Tulo- ja poistoilmalla on kolme tilaa: kotona, poissa ja tehostus. Muodostuuko käyttötuntien perusteella painotettuja ilmavirtoja vai miten nämä vaikuttavat laskentaan?
4. Miten aikaisemmin käyttämänne VTT:n sertifikaatti eroaa nyt käytössänne olevasta standardista EN 13141-7?

Yritys 3:n haastattelukysymykset

Osa seuraavista kysymyksistäni perustuu tekemääni testiajioon vuosihyötysuhdelaskurillanne. Ilmanvaihtokoneeksi valitsin yhden yrityksenne ilmanvaihtokoneista.

1. Ilmoitatteko vuosihyötysuhteenne tulo- vai poistoilman mukaan?
2. Onko hyötysuhde yhtä suurilla ilmavirroilla määritetty standardin EN 308: 1997 mukaan vai EN13141-7 mukaan? Vai onko teillä käytössä jokin muu hyväksytty menetelmä sen määrittämiseen?
3. Onko laskelmanne suomalaisten ohjeiden ja määräysten mukaiset vai täyttävätkö ne jotkin muut kriteerit? Jos ne täyttävät muita kriteereitä, mitkä kyseiset kriteerit ovat, joita olette soveltaneet?
4. Miksi jälkilämmitystarve on niin pieni tekemässäni testiajossa? Kuuluuko laitteistoonne tuloilman esilämmitys vai miksi jälkilämmitykselle ei ole juuri tarvetta?
5. Miten ilman kosteussisältö vaikuttaa laskentaan?