

Tapio Korpi

Ulkoilman esilämmityksen vaikutus lämmöntalteenoton poistoilman vuosihyötysuhteeseen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

29.11.2016

Tekijä(t) Otsikko	Tapio Korpi Ulkoilman esilämmityksen vaikutus lämmöntalteenoton pois- toilman vuosihyötysuhteeseen
Sivumäärä Aika	88 sivua + 8 liitettä 29.11.2016
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI, tuotantopainotteinen
Ohjaajat	talotekniikan projektipäällikkö Timo Kekkonen lehtori Erkki-Olavi Sainio
<p>Insinöörityön toimeksiantajana on SRV Rakennus Oy:n pääkaupunkiseudun asuntotuotannon talotekniikkaosasto. Yksikön sisällä haluttiin selvittää, voitaisiinko energiakaivolla toteutetulla esilämmityspiirillä korottaa ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta asuinkerrostaloissa. Toimeksiannon ja insinöörityön tavoitteena on selvittää, miten esilämmitys vaikuttaa lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen kautta seuraaviin energiaselvityksessä tarkasteltaviin osioihin, E-lukuun sekä rakennuksen lämpöhäviöiden määrääs- tenmukaisuuden osoittamiseen.</p> <p>Opinnäytetyön lähtöaineistona on käytetty alan kirjallisuutta, Suomen rakentamismääräys- kokoelmia sekä niiden taustamateriaaleja ja Rakennustiedon LVI Net – palvelua ohjetie- dostoineen. Lisäksi tietoa on kerätty haastattelemalla alan ammattilaisia puhelimitse ja sähköpostitse, jotta saataisiin aiheeseen liittyvää hiljaista tietoa.</p> <p>Insinöörityön rakenne jakaantuu kolmeen osaan. Ensimmäisessä osiossa tutustutaan ai- heeseen liittyvään teoriaan. Toisessa osiossa tarkastellaan esimerkikohteen avulla esi- lämmityspatterin vaikutuksia LTO:n vuosihyötysuhteeseen sekä muihin haluttuihin ener- giaselvityksessä tarkasteltaviin asioihin. Viimeisessä osiossa tehdään aiheesta kannatta- vuuslaskelma sekä yhteenveto ja pohditaan, miten aiheeseen tutustumista kannattaisi jat- kaa ottaen huomioon kustannukset ja järjestelmästä saatava mahdollinen jäähdytys.</p> <p>Työn tuloksena syntyi laajahko tietopaketti ilmanvaihtoon liittyvistä määräyksistä sekä energialaskennasta ja siinä huomioitavista asioista. Työ antaa lukijalleen kokonaiskuvan siitä, miten energiakaivolla toteutetulla esilämmityspatterilla voidaan parantaa asuinkerros- talon LTO:n vuosihyötysuhdetta sekä muita energiaselvityksessä tarkasteltavia asioita.</p>	
Avainsanat	LTO:n vuosihyötysuhde, energiaselvitys, E-luku, lämpöhäviöt

Author Title	Tapio Korpi The impact of pre-heating on annual efficiency of exhaust air of heat recovery
Number of Pages Date	88 pages + 8 appendices 29 November 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, Production Orientation
Instructor	Erkki-Olavi Sainio, Senior Lecturer Timo Kekkonen, Building Services Engineering Project Manager
<p>The subject of this final year project was to find out if the annual efficiency of the heat recovery of an air ventilation system in a block of flats could be increased with a pre-heating system connected to an energy well. Furthermore, the repayment period for the investment was compared to a regular choice.</p> <p>The study was based on a fairly new existing building. First, all the theories and current building standards were studied to create a theoretical base level for the building's energy consumption. The effects of a pre-heating system connected to an energy well were calculated and compared for the building.</p> <p>The study showed that it is not economically feasible to execute a pre-heating system connected to an energy well to a building this big if the building was not equipped with a cooling system also. A clear picture of what should be taken into account when planning the HVAC systems for future projects was comprised.</p>	
Keywords	E-value, annual efficiency, heat recovery

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Rakennusten energiatehokkuus	3
2.1	Energiaselvitys	3
2.2	Rakennuksen kokonaisenergiakulutuksen laskenta	4
2.2.1	Laskennan lähtökohdat	4
2.2.2	E-luvun määrittäminen ostoenergiankulutuksen kautta	4
2.2.3	Rakennuksen ostoenergian ja kokonaisenergiankulutuksen laskenta	7
3	Ilmanvaihdon vaikutus rakennuksen kokonaisenergiankulutukseen	8
3.1	Keskitetyn ilmanvaihtojärjestelmän ja lämmöntalteenottolaitteen määrittely	10
3.2	EU:n komission asetus N:o 1253/2014 ja sen vaikutus keskitetyn ilmanvaihtojärjestelmän suunnitteluun asuinkerrostalossa	13
3.2.1	Asuinrakennuksiin tarkoitettu ilmanvaihtokone	13
3.2.2	Muihin kuin asuinrakennuksiin tarkoitettu ilmanvaihtokone	14
3.2.3	Keskitetyn ilmanvaihdon ilmanvaihtokone asuinkerrostalossa	14
3.2.4	Tuloilman lämpötilahyötysuhde	14
3.2.5	Direktiivin muut vaikutukset	15
3.3	Asuinkerrostalon sisäilmasto ja käyttöajat	17
3.4	Ilmanvaihdon vaatima energiantarve	18
3.4.1	Ilmanvaihdon lämmitys ja lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde	18
3.4.2	Ilmanvaihdon lämmitysenergiankulutukseen liittyvä laskenta	19
3.5	Ilmanvaihdon sähköenergiankulutus	22
3.5.1	Puhaltimen käyttämän sähköenergian laskenta	23
3.5.2	Pumppujen ja muiden apulaitteiden käyttämän sähköenergian laskenta	24
3.6	Ilmanvaihdon ominaislämpöhäviöiden laskenta	24
4	Ilmankosteus ja jäätymisenesto	25
4.1	Ilmankosteus	26
4.1.1	Ilman koostumus	26
4.1.2	Mollier-diagrammi	27
4.2	Kosteuden käyttäytyminen lämmöntalteenottolaitteistossa	30
4.2.1	Huurteen muodostuminen levylämmönsiirtimissä	30
4.2.2	Esimerkki huurteen muodostumisesta levylämmönsiirtimessä	31

4.3	Huurteen- ja jäänmuodostumisenesto	33
4.3.1	Ajoittaisen ohituksen menetelmä	33
4.3.2	Lohkosulatus	34
4.3.3	Esilämmitys	34
5	Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittäminen	35
5.1	Laskennassa tarvittavia käsitteitä	36
5.2	Ilmavirrat rakennuksessa	37
5.3	Laskennassa käytettävät ilmavirrat	38
5.4	Asuntoja palvelevan ilmanvaihtokoneen vaatima lämmitysenergia	39
5.5	Asuntoja palvelevan ilmanvaihtokoneen poistoilmasta talteenotettu lämpöenergia	39
5.6	Vuosihyötysuhteen laskenta	40
5.7	Laskenta lämmitystarveluvuilla	41
5.8	Esimerkki LTO:n vuosihyötysuhteen laskennasta lämmitystarveluvuilla	43
5.8.1	Jäteilman lämpötilan rajoittaminen	44
5.8.2	Tuloilman lämpötilan rajoittaminen	45
5.8.3	Vuosihyötysuhteen muodostuminen	45
6	Geoenergia	47
6.1	Maalämpöpumpun toiminta	48
6.2	Vaakaputkisto	49
6.3	Energiakaivo	50
6.4	Jäähdytyksen hyödyntäminen energiakaivosta	51
6.4.1	Vapaajäähdytys	52
6.4.2	Jäähdytys lämpöpumpulla	52
6.5	Ympäristöministeriön opas 2013 – Energiakaivo	52
7	Case Petter	53
7.1	Järjestelmän mitoituksen lähtökohdat	55
7.2	Esilämmityspatterin mitoituksen lähtötiedot	56
7.2.1	Energiakaivon syvyyden mitoitus	57
7.2.2	Tarvittavan tilavuusvirran ja virtaavan nesteen määrittäminen	57
7.3	Toteutuvan järjestelmän mitoitus patterin mukaiseksi lämmityskaudella	59
7.4	Esilämmityspiirin painehäviöt sekä putkireittien ja energiakaivojen sijoittuminen kohteessa	60
7.5	Esilämmityspatterin tuoma hyöty lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteeseen	62
7.6	Esilämmityksen vaikutus lämpöhäviöiden tasauslaskentaan	65

7.7	Esilämmityksen vaikutus E-lukuun	67
7.7.1	Esilämmityspatterin vaikutus puhaltimien käyttämään sähköenergiaan	68
7.7.2	Kiertovesipumppujen vaikutus sähköenergiankulutukseen E-luku laskennassa	68
7.7.3	Ilmanvaihtokoneen lämmitysenergian kokonaiskulutus lukulaskennassa	E-70
7.7.4	E-luvun laskenta	71
8	Esilämmityspatterin kannattavuus	72
8.1	Kustannusten muodostuminen	73
8.1.1	Investointikustannusten muodostuminen	73
8.1.2	Huolto- ja ylläpitokustannusten muodostuminen	74
8.1.3	Kustannussäästöt energiamuotojen muutoksilla	75
8.2	Kannattavuuslaskelmat	78
8.2.1	Esilämmityspiirin kannattavuuslaskelma sisäisen koron menetelmällä	78
8.2.2	Esimerkki esilämmityspiirin ja maaviileän kannattavuudesta sisäisen koron menetelmällä	79
9	Yhteenveto	80
10	Pohdinta ja johtopäätökset	82
	Lähteet	86
	Liitteet	
	Liite 1. Lämmitystehon ja energiakulutuksen laskennassa käytettävät säätiedot säävyöhykkeellä 1 ja 2	
	Liite 2. Esilämmityspatterin tekniset arvot	
	Liite 3. Esilämmityspatterin esimerkkikytkentäkaavio	
	Liite 4. Esilämmityspatterilla varustetun ilmanvaihtokoneen esimerkkikytkentäkaavio	
	Liite 5. Patterin esilämmityspatterin maakeruupiirin suunnitelma tasokuvina	
	Liite 6. Esimerkki LTO:n vuosihyötysuhteen vaikutuksista lämpöhäviölaskelmiin	
	Liite 7. Esilämmityspiirin kannattavuus sisäisen koron menetelmällä	
	Liite 8. Esimerkki esilämmityspiirin ja maaviileän kannattavuudesta sisäisen koron menetelmällä	

Lyhenteet

E-luku	energiamuotojen kertoimilla painotetusti laskettu ostoenergiankulutus standardikäytöllä
energian nettotarve	käsite, joka sisältää kaiken tarvittavan energian huomioiden esim. lämmitysjärjestelmän putkiston lämpöhäviöt
energiaselvitys	rakennusta suunniteltaessa ja rakennuslupaa haettaessa laadittava energiaselvitys, joka sisältää mm. E-lukulaskennan
LTO-kenno	lämmöntalteenotto, lämmönsiirrin, joka siirtää lämpöä poistoilmasta tuloilmaan
lämpötilahyötysuhde	SFS-EN 308:n mukaan laskettu lämpötilahyötysuhde, jolloin tulo- ja poistoilman massavirrat ovat yhtäsuuret
poistoilman LTO:n vuosihyötysuhde	lämmöntalteenottolaitteistolla vuodessa talteen otettu ja hyödynnetty lämpömäärän suhde ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemaan lämpömäärään, kun lämmöntalteenottoa ei ole
rakennuksen lämpöhäviö	vaipan, vuotoilman ja ilmanvaihdon yhteenlaskettu lämpöhäviö
SFS-EN 308	standardi, jonka mukaan määritetään LTO:n tuloilman lämpötilahyötysuhde tasailmavirroin laboratorio oloissa
tuloilman lämpötilahyötysuhde	tulo- ja poistoilmavirran suhteen huomioiva lämpötilasuhde (suurempi kuin SFS-EN 308:n mukainen lämpötilasuhde)
kW	kilowatti
kWh	kilowattitunti
MWh	megawattitunti

PJ	petajoule
S_{elp}	ulkoilman t_u ja esilämmityspatterin jälkeisen tuloilman t_{elp} välinen lämmitystarveluku ennen LTO:a, Kd
S_j	huonelämpötilan t_s ja jäteilman lämpötilan t_t välinen lämmitystarveluku, Kd
S_s	huonelämpötila t_s ja ulkolämpötilan t_u välinen lämmitystarveluku, Kd
S_t	LTO:n jälkeisen tuloilman lämpötila t_{LTO} ja ulkoilman lämpötilan t_u välinen lämmitystarveluku, Kd
TWh	terawattitunti
Δt	Tarkoittaa käytettävissä olevaa lämpötilaeroa esim. energia-kaivosta saatavan ja energiakaivoon palaavan nesteen lämpötilojen erotus

1 Johdanto

Insinööriyön toimeksiantajana on SRV Rakennus Oy:n pääkaupunkiseudun asuntotuotannon talotekniikkaosasto. Insinööriyö on kohdistettu ajatellen asuinkerrostalohankkeita, joissa suunnittelunohjaus talotekniikan osalta kuuluu kyseiselle yksikölle. SRV:n asuntotuotannossa keskitytään rakentamaan keskisuuria ja suuria asuinkerrostalokohteita.

Kiristyvien energiamääräysten ja tästä aiheutuvien rakennuskustannusten nousun takia tulee jatkuvasti tarkastella uusia vaihtoehtoja, joilla päästäisiin vaadittuihin määräyksiin mahdollisimman alhaisin kustannusvaikutuksin. Ymmärrettävästi energiatehokkaammat talotekniikkajärjestelmät nostavat talotekniikan osuutta kerrostalon kokonaisbudjetissa. Kun parannetaan ilmanvaihdon energiatehokkuutta, rahaa voidaan säästää esimerkiksi lämpöhäviölaskelmien avulla jossakin toisessa rakennusvaiheessa. Jotta päästäisiin vaadittuihin energiamääräyksiin mahdollisimman alhaisin kustannusvaikutuksin, tulisi aina miettiä kokonaisuutta eikä vain yhden asian vaikutusta. Lisäksi tulisi miettiä koko rakennuksen elinkaarta, siihen kohdistuvia huoltokustannuksia ja muita vaikutuksia.

Tässä insinööriyössä selvitetään, mitkä ovat maalämmöllä toteutetun ulkoilman esilämmityksen todelliset vaikutukset lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteeseen ja tulisiko SRV:n asuntotuotannon talotekniikan spesifioida suunnitelmiinsa aina raitisilman esilämmitys perustajaurakointikohteissa. Lisäksi pohditaan raitisilman esilämmityksen vaikutuksia ja hyötyjä E-lukuun, lämpöhäviölaskelmiin, ilmanvaihtokoneen toimintavarmuuteen sekä energiatehokkuuteen ja muihin hyötyihin. Lopuksi tehdään vielä järjestelmälle kannattavuuslaskelma.

Tämä aihe valikoitui muiden vaihtoehtojen joukosta, koska energiamääräykset tulevat kiristymään tulevaisuudessa. Nykyisinkin asuntotuotannossa on joissakin tapauksissa vaikeata päästä alle asuinkerrostaloille sallitun E-luvun (130 kWh/m^2 vuodessa). Tätä tilannetta ei tule helpottamaan rakennusten energiatehokkuusdirektiivi (EPBD), jonka mukaan vuoden 2020 loppuun mennessä kaikkien uusien rakennusten tulee olla lähes nollaenergiarakennuksia. Julkisia rakennuksia määräys koskee jo vuoden 2018 päättyessä. [1.] Työn avulla on tarkoitus pyrkiä saamaan kokonaiskuva ilmanvaihdosta ja siihen liittyvästä energialaskennasta sekä määräyksistä. Näiden pohjalta on helpompi

tulevaisuudessa ymmärtää ilmanvaihtojärjestelmien kokonaisuutta, joihin todennäköisesti jatkossakin kiristyvät energiamääräykset kohdistuvat.

Opinnäytetyön rajaus ja tutkintamenetelmät

Aiheen rajaus on tapahtunut alkuhaastattelujen ja aiheeseen tutustumisen pohjalta. Haastatteluja ei esitetä tässä työssä, koska ne ovat olleet vapaamuotoisia tilanteita, joissa alan ammattilaisilta on kysytty heidän tietämyksiään aiheesta ja mahdollisista lähteistä. Aihe tulee kietoutumaan uudiskohteiden asuntoja palveleviin keskitettyihin ilmanvaihtokoneisiin nyky määräyksiin ja ohjeistuksiin pohjautuen.

Insinööriyössä tullaan käsittelemään eri määräyksiä ja ohjeistuksia, joiden pohjalta muodostetaan teoreettinen ymmärrys lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen sekä E-luvun laskentaan. Työn alussa kuvataan erilaisia käsitteitä ja määräyksiä, joihin raitisilman esilämmityksellä tulee olemaan vaikutuksia tai joihin sen teoria pohjautuu. Ulkoilman esilämmityksen vaikutus lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteeseen ja energiankulutukseen tullaan laskemaan pohjautuen ssuomen rakentamismääräyksiin ja niiden taustamateriaaleihin, kuten Tasauslaskentaoppaaseen 2012.

Tässä työssä puhuttaessa ilmanvaihdon esilämmityksestä, tarkoitetaan tilannetta, jossa ennen lämmöntalteenottoa on lämmityspatterin läpi virtaa etanolineste (40 %), johon sitoutunut lämpö on peräisin energiakaivosta.

Tarkennuksena on sanottava, että yleisesti ilmanvaihtolalla puhuttaessa ilmanvaihdon esilämmityksestä käsitetään tilanne sellaiseksi, että ennen lämmöntalteenottoa olisi joko sähköllä tai kaukolämmöllä toteutettu esilämmityspatterin. Tämä patteri on päällä vain ulkoilman ollessa -18 °C tai enemmän. Tällä saadaan ilmanvaihtokoneeseen sekä lämmöntalteenottoon toimintavarmuutta kovilla pakkaskäleillä. Nämä esilämmitysmuodot rajautuivat alustavien laskelmieni sekä alkuhaastattelujen pohjalta insinööriyöni ulkopuolelle, koska näillä esilämmitysmuodoilla ei ole niin suuria vaikutuksia lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteeseen ja sitä kautta E-lukuun, että niiden tutkimiseen olisi järkevää tuhlata rajallisia resursseja. Tässä insinööriyössä sivutaan kuitenkin myös näitä esilämmitysmuotoja.

2 Rakennusten energiatehokkuus

Lainsäädännön, joka vaikuttaa rakennusten energiatehokkuuteen, tarkoituksena on uusiutuvan energian käytön ja energiatehokkuuden edistäminen sekä hiilidioksidipäästöjen vähentäminen rakennusten energiankulutuksen kautta. Arviolta noin 40 % Suomen kokonaisenergiankulutuksesta kuluu rakennuksien kautta. [2.]

Euroopan Parlamentin ja Neuvoston energiatehokkuusdirektiivin 2010/31/EU pohjalta toimeenpannaan säädöksiä, joiden tarkoituksena on samanaikaisesti parantaa myös Suomen energiatehokkuutta. Energiatehokkuuden kasvu rakennuksissa vaikuttaa positiivisesti suoraan rakennuksen käytönikäisiin käyttökustannuksiin energian hinnan noustessa. Usein myös energiatehokkuudella on suorat vaikutukset asumismukavuuteen. [2.]

Energiatodistus tulee pakolliseksi siirtymäaikojen puitteissa jopa pientaloissa, sama koskee myös muita rakennuksia. Energiatodistus tulee hankkia, kun kohde halutaan vuokrata tai myydä. [2.] Tämän tarkoituksena on saada rakennuksen mahdollinen ostaja tai vuokraaja tietoiseksi rakennuksen energiatehokkuudesta [3].

2.1 Energiaselvitys

Uutta rakennusta suunniteltaessa pitää kohteesta laatia energiaselvitys (taulukko 1). Pääsuunnittelijan vastuulla on varmistaa, että energiaselvitys on ajan tasalla rakennusta käyttöönotettaessa. [4, s. 26.] Energiaselvityksen perusteella pystytään yhdenmukaisesti valvomaan rakennusten energiankulutusta.

Taulukko 1. Energiaselvityksestä ilmenevät yleensä seuraavat asiat [4, s.26.]

rakennuksen E-luku (kokonaisenergiankulutus)
energialaskennan lähtötiedot ja tulokset
kesäaikainen huonelämpötila mahdollisesti tarvittavine jäähdytystehoineen
rakennuksen lämpöhäviöt
rakennuksen energiatodistus

2.2 Rakennuksen kokonaisenergiakulutuksen laskenta

2.2.1 Laskennan lähtökohdat

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D3 on kuvattu ohjeet kokonaisenergian kulutuksen (E-luvun) laskentaan. Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D5 puolestaan käsittelee lämmityksen energiantarpeen ja lämmitystehontarpeen laskentaa, joiden pohjalta määritetään ostoenergia. [5, s. 3; 6.] Ostoenergia määrittää yhdessä energiamuotojen kertoimien sekä rakennuksen lämmitetyn nettoalan kanssa E-luvun. Yksinkertaistetusti voisi sanoa, että D3 kertoo, kuinka E-luku lasketaan, ja D5 puolestaan kertoo, kuinka päästään E-luvun laskennassa tarvittaviin arvoihin. Näitä kahta teosta tulee osata käyttää rinnan, huomioiden myös muut teokset kuten K1/2013, Rakennusten kaukolämmitys, määräykset ja ohjeet. Näitä osioita tarkastellaan tämän työn aikana vain ilmanvaihdon näkökulmasta, jotta tämä työ saadaan rajattua järkeviin mitasuhteisiin.

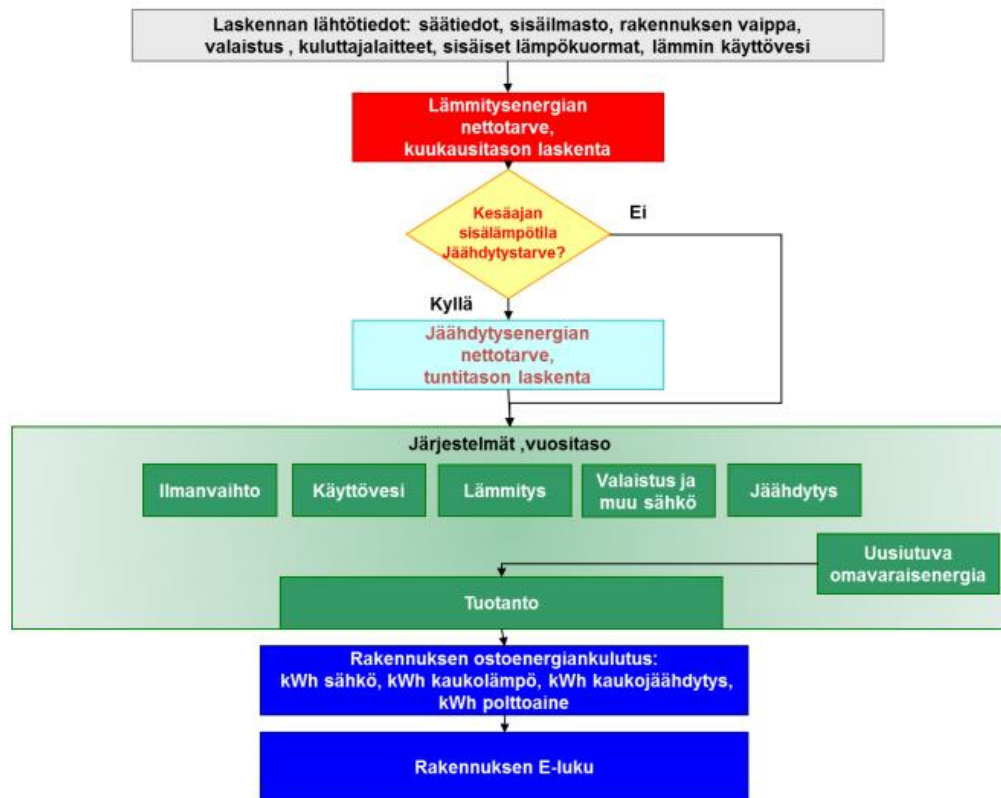
Yleisesti D5:n ohjeet on tarkoitettu kohteisiin, joissa ei ole jäädytystä tai jäädytys on toteutettu yksittäisissä tiloissa. Kyseisessä teoksessa esitettyä laskentamenetelmää voidaan hyödyntää myös jäädytettyjen kohteiden ostoenergiakulutuksen ja kokonaisenergian kulutuksen laskentaan (E-luku), mikäli lämmitys ja jäädytysenergioiden todelliset nettotarpeet on määritetty dynaamisin menetelmin. [5, s. 3; 5, s. 14.]

Rakennuksen kokonaisenergiakulutuksen (E-luku) laskennassa käytettävät tiedot muodostuvat kohteen suunnitteluarvoista ja Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D3 esitetyistä lähtöarvoista sekä laskentasäännöistä. Säätiötietoina tulee käyttää D3:n liitteessä 2 esitettyä dataa. [5, s. 3.] Tämän insinööriyön liitteessä 1 on esitetty D3:n säätiedot säävyöhykkeelle 1.

2.2.2 E-luvun määrittäminen ostoenergiakulutuksen kautta

D5:n mukaan ostoenergian laskenta tulee tehdä kuukausitasolla (kuva 1) ja se etenee kohteen lähtötietojen määrittämisestä aina rakennuksen ostoenergiakulutukseen vuositasolla. Tästä puolestaan saadaan määritettyä rakennuksen E-luku summaamalla yhteen kunkin energiamuodon ostoenergiakulutus vuositasolla kertaa kunkin energiamuodonkerroin. Tämä summa pitää vielä jakaa rakennuksen lämmitetyllä nettoalal-

la, jotta saadaan selville rakennuksen kokonaisenergiankulutus eli E-luku. [5, s. 11–12; 5, s. 14.]



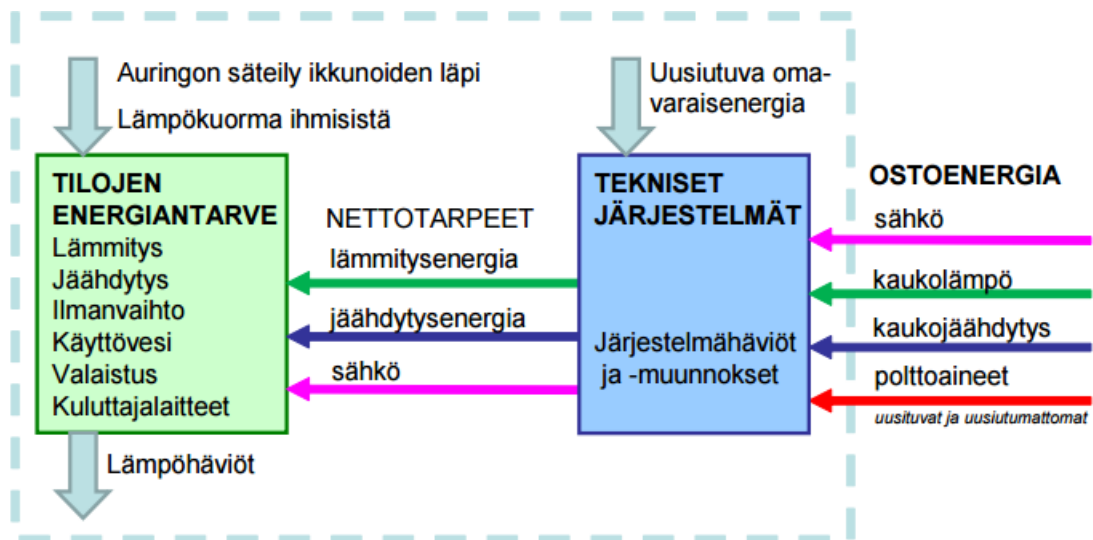
Kuva 1. E-luvun määrittämisen eri laskentavaiheet [4, s. 2]

Ostoenergian nettotarve muodostuu energiankulutuksen nettotarpeesta. Energiankulutuksen nettotarve puolestaan koostuu taloteknisten järjestelmien ja niiden apulaitteiden, kuten puhaltimien ja pumppujen, energiankulutuksesta. Taloteknisiä järjestelmiä ovat esimerkiksi ilmanvaihtojärjestelmät ja lämmitysjärjestelmät (tilat ja lämmin käyttövesi). Kunkin järjestelmän energian tarpeessa tulee huomioida oikeat asiat. [4, s. 3, s. 22; 5, s. 12–13; 7.]

Lämmitysenergian nettotarve syntyy johtumislämpöhäviöistä, vuotoilman lämpöhäviöistä sekä korvausilman ja tuloilman lämpenemisestä huonelämpötilaan. Lämmitysenergian nettotarpeesta on vähennetty sisäisten ja ulkoisten lämpökuormien vaikutus, kuten sähkölaitteet ja aurinko. [5, s. 12.] Tämän työn osalta meitä kiinnostaa ilmanvaihdon lämmitykseen tarvittava lämmitysenergian nettotarve sekä ilmanvaihtokoneen ja sen apulaitteiden kuluttama sähköenergian nettotarve.

Ostoenergiaa määrittäessä huomioidaan uusiutuva omavaraisenergia, kuten tuulivoimalla tuotettu omavaraissähköenergia, jota käytetään rakennuksen omiin taloteknisiin järjestelmiin. Tämä omavaraissähköenergia saadaan vähentää rakennuksen kokonais-sähkön kulutuksesta. Toisaalle toimitettua omavarais-sähköenergiaa ei saa vähentää rakennuksen sähkökulutuksesta. [5, s. 13–14.] Maalämmöllä toteutettu esilämmitys lukeutuu myös tähän omavaraisenergiaan, ja se saadaan vähentää laskelmissa ilmanvaihdon tarvitsemasta lämmitysenergian nettotarpeesta, kuten myös lämmöntalteenotokennolla talteenotettu energia.

Rakennusten kokonaisenergiantarve (E-luku) puolestaan lasketaan aiemmin esitellyllä tavalla, kun rakennuksen järjestelmien ja laitteiden ostoenergian kokonaisuudesta (kaukolämpö, sähkö, kaukojäähdytys ja öljy) on vähennetty rakennuksen käyttämä omavaraisenergia (kuva 2) [4, s. 6].



Kuva 2. Eri järjestelmien käyttämän ostoenergian taseraja [4, s. 6.]

Rakennukseen vaikuttavan aurinkoenergian laskennassa huomioidaan myös passiiviset tekijät kuten markiisit, sälekaihtimet kasvillisuus ja ympäröivät rakennukset [4, s. 22]. Nämä asiat tulee huomioida erityisesti laskettaessa mahdollista kesäajan jäähdytystehontarvetta.

2.2.3 Rakennuksen ostoenergian ja kokonaisenergiankulutuksen laskenta

Lopullinen laskenta sekä ostoenergian ja kokonaisenergiankulutukselle voidaan toteuttaa, kun ensin on selvitetty rakennuksen vaatimat energiamäärät kullekin energiamuodolle vuositasolla.

Seuraavaksi esitetään oikeat kaavat ostoenergian (1.1 ja 1.2) ja kokonaisenergiankulutuksen (1.3) laskentaan. Taulukossa 2 on esitetty myös eri energiamuotojen kertoimet.

Ostoenergian kulutus

$$E_{osto} = \frac{Q_{l\ddot{a}m.} + W_{l\ddot{a}m.} + W_{ilmanvaih.} + Q_{j\ddot{a}\ddot{a}h.} + W_{j\ddot{a}h.} + W_{kuluttajalait.} + W_{valais.} + W_{k\ddot{a}ytettyomas\ddot{a}h.}}{A_{netto}} \quad (1.1)$$

jossa

E_{osto}	rakennuksen ostoenergian kulutus kWh/(m ² a)
$Q_{l\ddot{a}m.}$	lämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulutus, kWh/a
$W_{l\ddot{a}m.}$	Lämmitysjärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh/a
$W_{ilmanvaih.}$	ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh/a
$Q_{j\ddot{a}h.}$	jäähdytysjärjestelmän lämpöenergian (kaukojäähdytyksen) kulutus, kWh/a
$W_{j\ddot{a}h.}$	jäähdytysjärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh/a
$W_{kuluttajalait.}$	kuluttajalaitteiden sähköenergian kulutus, kWh/a
$W_{valais.}$	valaistusjärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh/a
$W_{k\ddot{a}ytettyomas\ddot{a}h.}$	rakennuksessa käytetty omavaraissähköenergia, kWh/a
$A_{netto.}$	rakennuksen lämmitetty nettoala m ²

[5, s. 13.]

Rakennuksen käyttämä ostoenergiankulutus energiamuodoittain

$$E_{osto} = \frac{Q_{kaukol\ddot{a}mp\ddot{o}} + Q_{kaukoj\ddot{a}hdytys} + \sum_i Q_{polttoaine,i} + W_{s\ddot{a}hk\ddot{o}}}{A_{netto}} \quad (1.2)$$

jossa

E_{osto}	rakennuksen ostoenergian kulutus kWh/(m ² a)
$Q_{kaukol\ddot{a}mp\ddot{o}}$	kaukolämmön kulutus, kWh/a
$Q_{kaukoj\ddot{a}hdytys}$	kaukojäähdytyksen kulutus, kWh/a
$Q_{polttoaine,i}$	polttoaineen i sisältämän energian kulutus, kWh/a
$W_{s\ddot{a}hk\ddot{o}}$	sähkön kulutus, josta on vähennetty rakennuksessa käytetty omavaraissähköenergia, kWh/a
$A_{netto.}$	rakennuksen lämmitetty nettoala m ²

[5, s. 13–14.]

Kokonaisenergiankulutus (E-luku)

$$E = \frac{f_{\text{kaukoläm.}} Q_{\text{kaukoläm.}} + f_{\text{kaukojääh.}} Q_{\text{kaukojääh.}} + \sum_i f_{\text{polttoai.}i} Q_{\text{polttoai.}i} + f_{\text{säh.}} W_{\text{säh.}}}{A_{\text{netto}}} \quad (1.3)$$

jossa

E	rakennuksen energialuku, kWh _E /(m ² a)
Q _{kaukoläm.}	kaukolämmön kulutus, kWh/a
Q _{kaukojääh.}	kaukojäähdytyksen kulutus, kWh/a
Q _{polttoai.i}	polttoaineen i kulutus kWh/a
W _{säh.}	sähköenergian kulutus, vähennettynä omavaraissähköenergiankulutus, kWh/a
f _{kaukoläm.}	kaukolämmön energiamuodonkerroin
f _{kaukojääh.}	kaukojäähdytyksen energiamuodonkerroin
f _{polttoai.i}	polttoaineen i energiamuodonkerroin
f _{säh.}	sähkön energiamuodonkerroin
A _{netto.}	rakennuksen lämmitetty nettoala, m ²

[5, s. 14.]

Energiamuotojen kertoimet

Eri energiamuotojen kertoimien avulla saadaan laskettu rakennuksen E-luku eli painotettu ostoenergiankulutus jokaista energiamuotoa kohden jaettuna rakennuksen lämmitettyä nettoalaa kohden (taulukko 2).

Taulukko 2. Energiamuotojen kertoimet [2 s. 8.]

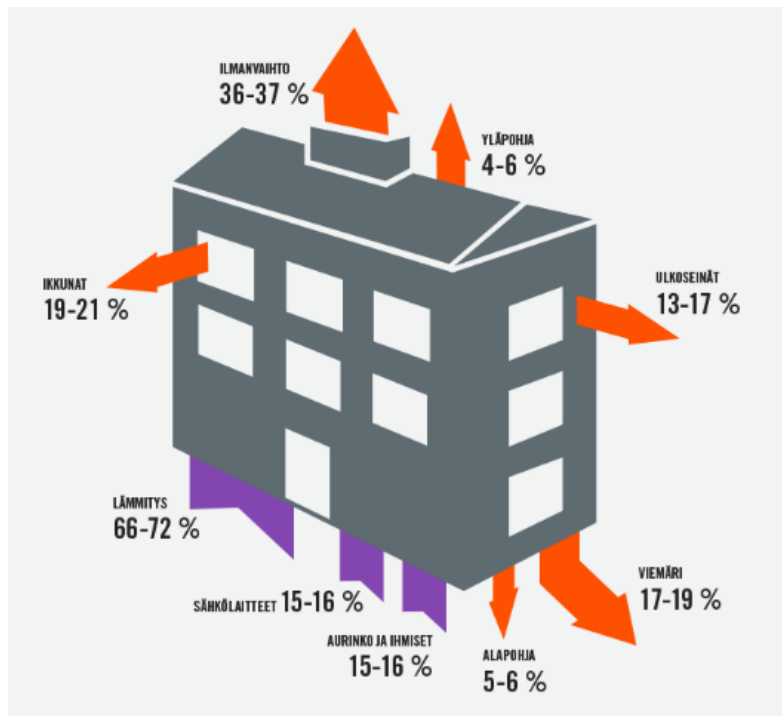
sähkö	1,7
kaukolämpö	0,7
kaukojäähdytys	0,4
fossiiliset polttoaineet	1,0
Rakennuksessa käytettävät uusiutuvat polttoaineet	0,5

3 Ilmanvaihdon vaikutus rakennuksen kokonaisenergiankulutukseen

On arvioitu, että noin hieman vajaa 40 % kiinteistöjen lämpöenergiasta karkaa ilmanvaihdon mukana. Loput lämpöenergiasta karkaa ylä- ja alapohjan, ulkoseinien, ikkunoiden sekä viemäreiden kautta (kuva 3). [7.]

Arviolta 144 000–180 000 litraa lämmitettyä 20 °C lämmintä ilmaa siirtyy Suomessa joka tunti ilmanvaihtojärjestelmien kautta rakennuksista ulos. Tämän takia myös vanhojen rakennusten saneeraus olisi tärkeää. Näihin asioihin pohjautuen on ruvettu nostamaan rakennusten energiatehokkuusvaatimuksia Euroopan unionin ja komission voimin. [2; 7.]

Lämmityksen energiantarpeesta noin 30–50 % muodostuu tuloilman lämmittämiseen kuluvasta energiasta. Lämmöntalteenottolaitteesta riippuen tästä energiamäärästä noin 50–80 % voidaan kattaa lämmöntalteenottolaitteella. [8, s. 1.]

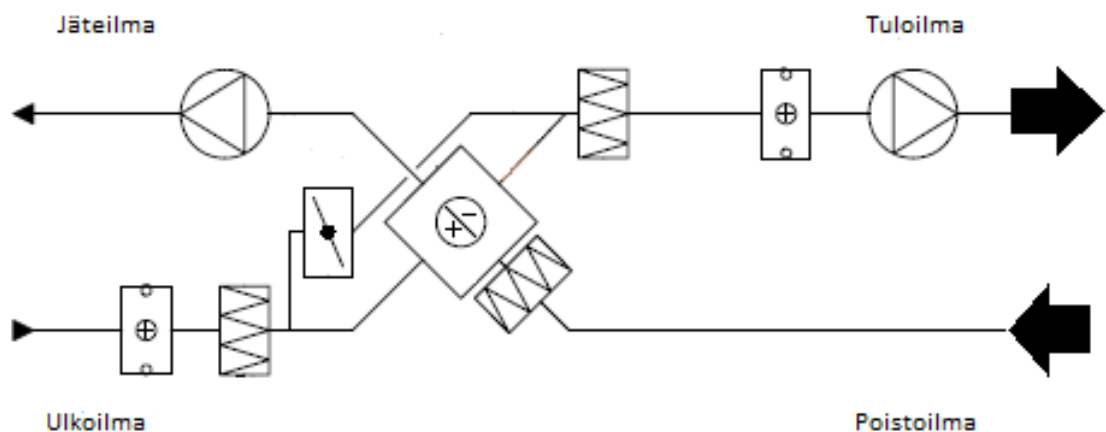


Kuva 3. Suurimmat lämmitysenergian siirtymisreitit [3]

Seuraavissa tämän otsikon alaisissa alaluvuissa määritellään tämän työn kannalta tärkeimmät ilmanvaihtoon liittyvät perustermit. Lisäksi esitellään EU:n komission asetuksen N:o 1253/2014 vaikutukset ilmanvaihtojärjestelmien energiatehokkaaseen suunnitteluun tämän työn näkökulmasta. Käydään läpi tärkeimmät asiat rakentamismääräyskokoelmista ja niiden oppaista mietittäessä asuntoja palvelevaa ilmanvaihtokonetta uudiskohteessa, jossa asuntojen ilmanvaihto on yhden keskitetyn ilmanvaihtokoneen varassa.

3.1 Keskitetyn ilmanvaihtojärjestelmän ja lämmöntalteenottolaitteen määrittely

Keskitetyllä ilmanvaihtokoneella tarkoitetaan tilannetta, jossa asuntoja palvelee yksi ja sama ilmanvaihtokone, joka sijaitsee joko vesikatolla tai ullakolla. Hajautetulla ilmanvaihtojärjestelmällä puolestaan tarkoitetaan tilannetta, jossa jokaista tilaa/asuntoa palvelee oma pienempi ilmanvaihtokone (vrt. asuinrakennuksiin tarkoitettu ilmanvaihtokone). [9, s. 1–2.]



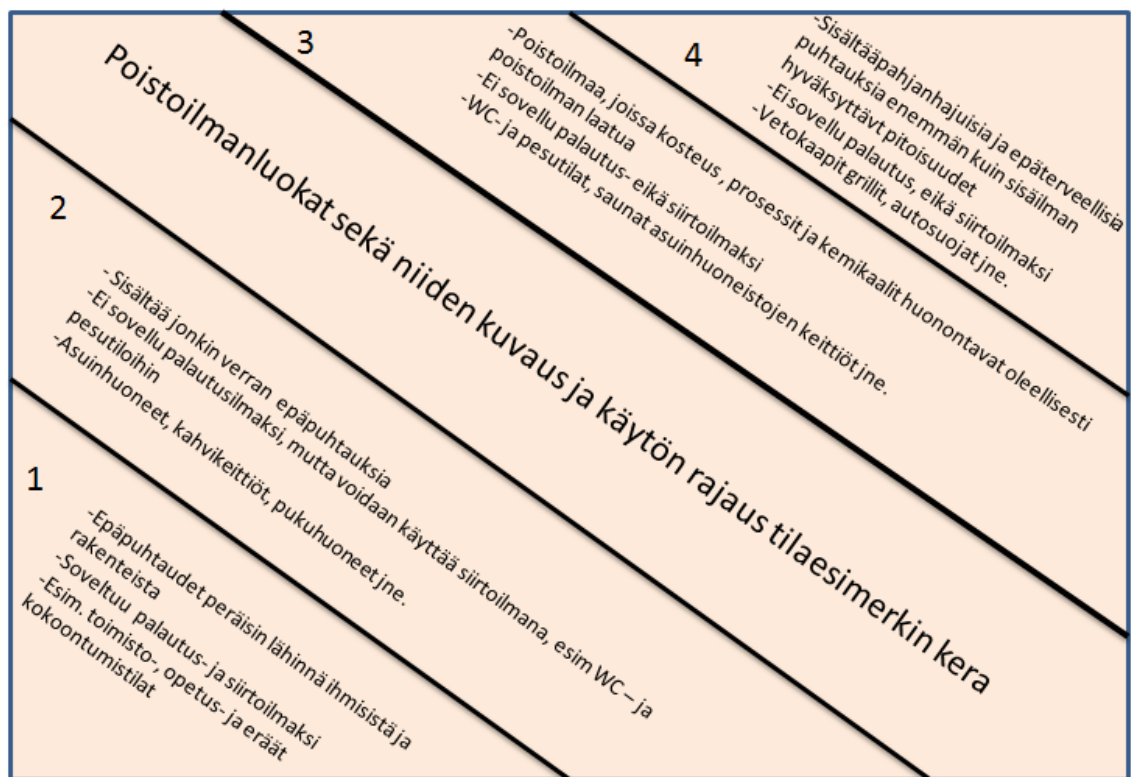
Kuva 4. Kuvassa on esitetty nimitykset lämmöntalteenoton läpi kulkeville ilmavirroille sekä esimerkki ilmanvaihtokoneen mahdollisesta toimintakaaviosta [10]

Lämmöntalteenottojärjestelmä tarkoittaa kaksi-ilmavirtaisessa ilmanvaihtokoneessa osaa, joka siirtää lämpöä poistoilmasta tuloilmaan (kuva 4), kyseessä on siis poistoilman lämmöntalteenottojärjestelmä. [11, liite 1.] Poistoilman lämmöntalteenottojärjestelmissä tarkastellaan tuloilman lämpötilahyötysuhdetta. Poistoilmanhyötysuhteesta puhuttaessa tarkastellaan tilannetta toisinpäin (tuloilman lämmöntalteenottojärjestelmä). [12, s. 28; 12, s. 49.]

SRV:n perustajaurakointiin perustuvissa asuinkerrostalokohdeissa ilmanvaihtojärjestelmä tulee lähtökohtaisesti suunnitella keskitettyyn ilmanvaihtojärjestelmään ristivirta- tai vastavirtauslämmöntalteenottolaitteella [9, s.1–2]. Tämä perustuu rakentamismääräyskokoelman osaan D2, jonka mukaan regeneratiivisia eli pyöriviä lämmöntalteenottolaitteita, joissa tulo- ja poistoilma virtaavat vuorotellen samaa virtausreittiä pitkin, ei saa käyttää, jos poistoilmassa on yli 5 % luokan 3 poistoilmaa (kuva 5) tai poistoilma sisältää edes vähän korkeamman poistoluokan ilmaa. Jos kohteessa olisi hajautettu ilmanvaihtojärjestelmä, jossa lämmöntalteenottolaitte palvelisi vain yhtä asuntoa, voitai-

siin regeratiivista eli pyörivää lämmöntalteenottolaitetta käyttää luokan 3 poistoilmaan asti. [13, s. 17.]

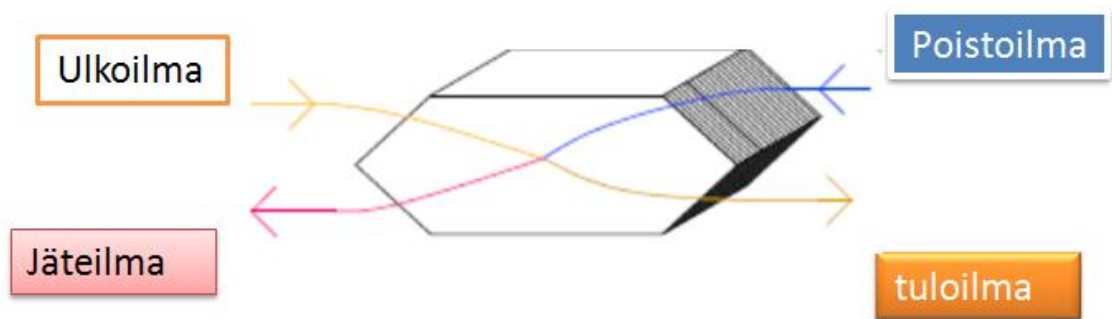
Myöskään nestekiertoista lämmöntalteenottojärjestelmää ei koeta hyväksi asuinkerrostaloissa, koska se vaatii tarkempaa huoltoa eikä sillä saavuteta yhtä hyviä lämpötilahyötysuhteita yhtä edullisin kustannuksin kuin ristivirta- ja vastavirtalämmöntalteenotto-laitteilla. Nestekiertoiset lämmöntalteenottolaitteet soveltuvat parhaiten kohteisiin, joissa on todella paljon kosteutta kuten uimahallit. Tällainen lämmöntalteenottolaitte toimii siten, että tulo- ja poistupuolella on patterit joiden välillä kiertää veden ja glykolin seos. [14, s. 184–185.]



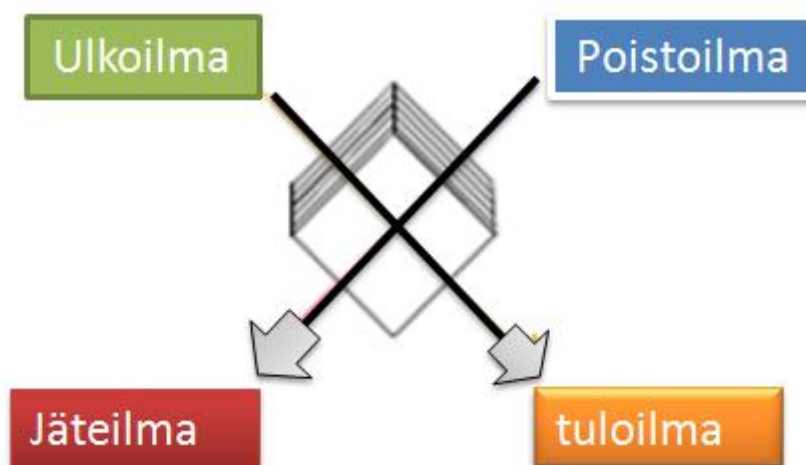
Kuva 5. Poistoilman luokat, joilla on vaikutus lämmöntalteenottolaitteen valintaan

Vastavirta- ja ristivirtalevyllämmönsiirtimet ovat perustoiminnaltaan samanlaisia. Niiden erona on se, että vastavirtalämmönsiirtimessä ilmavirrat kulkevat pidemmän aikaa (matkan) toisiaan vasten. Tämän takia vastavirtalämmönsiirtimen avulla on mahdollista saavuttaa huomattavasti parempi hyötysuhde. Parhaissa markkinoilla olevissa vastavirtakennoissa hyötysuhde on yli 80 %, kun ristivirtakennoilla lämpötilahyötysuhde on yleisesti 60–65 %. [14, s. 180–183.]

Vastavirta- (kuva 6) ja ristivirtalevylämmönsiirtimet (kuva 7) ovat hygieenisii ja kustannuksiltaan edullisia. Ne ovat levylämmönsiirtimiä, jotka muodostuvat neliömäisistä levyistä, joiden joka toisessa välissä kulkee lämmin poistoilma ja joka toisessa välissä viileämpi ulkoilma. Levyt valmistetaan materiaaleista, jotka johtavat hyvin lämpöä (korkea U-arvo). Usein ne valmistetaan 0,1–0,2 mm paksusta alumiinista. Suurilla siirtimillä levyjen väli saattaa olla jopa 10 mm ja pienemmillä 3 mm. Levylämmönsiirtimet ovat usein hyvin tiiviitä ja soveltuvat tämän takia hyvin asuinkerrostaloihin, vuoto voi jäädä 0,5 prosenttiin 400 Pa:n paine-erolla. Tärkeätä olisi muistaa asettaa tuloilmanpaine korkeammaksi kuin poistoilman, jotta mahdollinen vuoto saadaan kulkemaan tuloilmasta poistoilmaan. [14, s. 181.]



Kuva 6. Vastavirtakennon periaatekuva, jossa ilmavirrat kulkevat hetken matkaa toisiaan vasten [15, s. 9.]



Kuva 7. Ristivirtakennon periaatekuva [15, s. 9.]

3.2 EU:n komission asetus N:o 1253/2014 ja sen vaikutus keskitetyn ilmanvaihtojärjestelmän suunnitteluun asuinkerrostalossa

EU:n komission asetuksella N:o 1253/2014 on suuret vaikutukset ilmanvaihtokoneiden energiatehokkuuteen. Tämä asetus astuu vaiheittain voimaan, ja sen tarkoituksena on, pyrkiä säästämään energiaa niin ilmanvaihtojärjestelmien kuin lämmitysjärjestelmienkin näkökulmasta. [11, s. 1–2.]

Ilmanvaihtokoneiden merkityksellisin asia ekologisen suunnittelun näkökulmasta on ilmanvaihtokoneiden energian kulutus niiden elinkaaren aikana. Tästä johtuen direktiivin 2009/125/EY liitteessä 1 olleessa osassa 1 esitetyjä muita ekologiseen suunnitteluun yhdistettyjä tekijöitä ei tule huomioida, esim. ilmanvaihtokoneiden materiaaleja. [11, s. 1–2.]

Ilmanvaihtokoneiden ja niihin rinnastettavien laitteiden arvioitiin kuluttavan unionissa noin 77,6 terawattituntia (TWh) sähköenergiaa vuonna 2010. Nämä laitteet säästivät kuitenkin samanaikaisesti lämmitykseen kuluva energiaa arviolta 711,1 TWh. Käytettäessä muuntokerrointa 2,5 sähkölle, vuotuinen energiansäästö oli 520 TWh primäärienergian energiataseeseen vuonna 2010. [11, s. 1–2.]

Toinen tärkeä osa ekosuunnittelua on komission delegoitu asetus 1254/2014, joka käsittelee ilmanvaihtokoneiden energiatehokkuusmerkintöjä. On arvioitu, että ekosuunnitteluun liittyvien asetusten (1253/2014 ja 1254/2014) yhteisvaikutuksesta energiasäästöjen kokonaiskasvu on 45 %, 4130 petajoulea vuoteen 2025 mennessä. [11, s. 1–2.] Tässä insinööriyössä ei käsitellä asetusta 1254/2014, koska sen sisältämät energiatehokkuusmerkinnät koskevat asuinrakennuksiin tarkoitettuja ilmanvaihtokoneita, joiden ilmavirta on pienempi kuin tässä työssä käsiteltävien ilmanvaihtokoneiden ilmavirta.

3.2.1 Asuinrakennuksiin tarkoitettu ilmanvaihtokone

Direktiivissä asuinrakennukseen tarkoitettusta ilmanvaihtokoneesta puhuttaessa tarkoitetaan ilmavaihtokonetta, jonka maksimi-ilmavirta on 250–1 000 m³/h (69,4 - 277,7 l/s). Lisäksi valmistaja on ilmoittanut koneen olevan ainoastaan asuntojen ilmanvaihtoon tai koneen maksimi-ilmavirran tulee olla pienempi kuin 250 m³/h (69,4 l/s). [11, artikla 2.]

3.2.2 Muihin kuin asuinrakennuksiin tarkoitettu ilmanvaihtokone

Kun direktiivissä puhutaan muihin kuin asuinrakennuksiin tarkoitettusta ilmanvaihtokoneesta, sillä tarkoitetaan ilmanvaihtokonetta, jonka maksimi-ilmamäärä on yli 1000 m³/h (277,7 l/s) tai maksimi-ilmamäärä on 250–1 000 m³/h (69,4–277,7 l/s), eikä ilmanvaihtokoneen valmistaja ole ilmoittanut koneen olevan tarkoitettu ainoastaan asuinrakennuksiin. [11, artikla 2.]

3.2.3 Keskitetyn ilmanvaihdon ilmanvaihtokone asuinkerrostalossa

Direktiivissä 2053/2014 määritettyjen termien perusteella tässä työssä tulee tarkastella ilmanvaihtokoneita, jotka on tarkoitettu muihin kuin asuinrakennuksiin. Viime vuoden aikana SRV:n asuntotuotannon pienimmässäkin asuinkerrostalokohteessa, jossa on keskitetty ilmanvaihto, suunnitellut ilmamäärät ovat taulukon 3 mukaiset. Kyseessä on SRV:n asuntotuotannon näkökulmasta vielä varsin pieni kohde: 1 rappu, 4 kerrosta ja 21 asuntoa. [16.] Tämän kohteen suunnitelmat toimivat myös tulevissa luvuissa laskelmieni lähtötietoina.

Taulukko 3. Lohjan Petterin ilmanvaihtokoneen ilmamäärät

Tuloilmapuhallin	+500.....1000 l/s	asetus +699 l/s
Poistoilmapuhallin	-500.....1100 l/s	asetus -776 l/s

3.2.4 Tuloilman lämpötilahyötysuhde

Lämpötilahyötysuhde tulee erottaa termistä lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde. Lämpötilahyötysuhde on termi, joka tulisi esittää standardoidussa ympäristössä SFS-EN 308:n mukaan määritellystä tuloilman lämpötilasuhteesta. Useimmiten se ilmoitetaan prosentteina. [8, s.2.]

Kuten edellä on määritetty, tässä työssä tarkastellaan muihin kuin asuinrakennuksiin tarkoitettujen ilmanvaihtokoneiden ekosuunnitteluvaatimuksia. Tällöin kyseisten ilmanvaihtokoneiden lämpötilahyötysuhteen ($\eta_{t,nrvu}$) on täytynyt olla 1. päivästä tammikuuta 2016 alkaen vähintään 67 % ja hyötysuhdebonuksen $E = (\eta_{t,nrvu} - 0,67) * 3000$, jos lämpötilahyötysuhde on vähintään 67 %, muuten $E = 0$. [11, liite 3.]

1. päivästä tammikuuta 2018 lämpötilahyötysuhteen pitää olla tämän insinööriyön tarkoittamissa ilmanvaihtokoneissa vähintään 73 % ja hyötysuhdebonuksen $E = (\eta_{L_{nr}} - 0,73) * 3000$, jos lämpötilahyötysuhde vähintään 73 %, muuten $E = 0$. [11, liite 3.]

Hyötysuhdebonus (E) tarkoittaa ominaissähkötehonkorjausta, jossa huomioidaan paremman lämmöntalteenoton aiheuttama suurempi painehäviö. Suurempi painehäviö edellyttää tehokkaampia puhaltimia eli suurempaa puhaltimien ominaissähkötehoa [11, liite 1, osa 2.]

Direktiivissä viitataan siihen, että lämpötilahyötysuhde lasketaan standardin SFS-EN 308:n mukaan. Tällöin lämpötilahyötysuhde määritetään ulkolämpötilaan suhteutetun tuloilman lämpötilan kohoamisena suhteessa poistoilman alenemiseen. Olosuhteiden tulee olla kuivat ja ilmavirtausten tasapainossa. Lisäksi sisä- ja ulkolämpötilaeron tulee olla 20 °C, eikä laskennassa huomioida jäätyksen estoa tai mahdollista tuloilman lämpötilan rajoituksia. [11, liite 1, osa 2; 13 s. 5.] Määritettäessä SFS-EN 308:n mukaista lämpötilasuhdetta on ulkolämpötila +5 °C ja sisälämpötila +25 °C.

Tasauslaskentaoppaan 2012 mukaan lämmöntalteenottolaitteen toimittaja määrittää laitteen tuloilman lämpötilahyötysuhteen SFS-EN 308:n mukaan tai muulla hyväksytyllä menetelmällä. Hyötysuhde määritetään yhtä suurilla tulo- ja poistoilmavirroilla. Lämpötilasuhde, jota käytetään LTO:n vuosihyötysuhteen määrittämisessä, tulee puolestaan määritellä todellisilla ilmavirroilla. [12, s. 1] EU:n komission asetus antaa lähtökohdat lämpötilahyötysuhteen määrittämiselle, eikä EU:n jäsenvaltiossa saa määrittää lämpötilahyötysuhdetta löyhemmin perusteiden kuin kyseisessä standardissa. Lämpötilahyötysuhteen määrittäminen oikein, SFS-EN 308-standardin mukaisesti mitattuna tai tyyppi hyväksytysti tuloilman lämpötilahyötysuhteella, kuuluu lämmöntalteenottolaitteen valmistajalle. [12, s. 34.] Lämmöntalteenottolaitteen valmistaja ilmoittaa teknisissä arvoissaan SFS-EN 308:n mukaan määritetyn lämpötilahyötysuhteen, jonka pohjalta lasketaan lämpötilahyötysuhde, johon perustuu LTO:n vuosihyötysuhdelaskenta.

3.2.5 Direktiivin muut vaikutukset

Tässä työssä käsiteltäviin ilmanvaihtokoneisiin direktiivillä on myös muita vaikutuksia ekosuunnittelun näkökulmasta. Seuraavaksi esitellään muut vaiheittain voimaan tulevat määräykset, joilla on välillisiä vaikutuksia tässä työssä käsiteltävään ilmanvaihtokonetyyppiin.

1. päivästä tammikuuta 2016

- muiden kuin kaksitoimintoisten ilmanvaihtokoneiden tulee olla moninopeusohjauksella tai taajuusmuuttajalla varustettuja
- kaikkien kaksi-ilmavirtaisten ilmanvaihtokoneiden pitää olla lämmöntalteenottojärjestelmällä varustettuja sekä lämmöntalteenottojärjestelmällä tulee olla lämpötekninen ohitusmenetelmä

Ilmanvaihtokoneiden sisäinen enimmäisominaissähköteho (SFP_{int_limit}), $W/(m^3/s)$ lasketaan kaavalla 2.1.

$$1\,200 + E - 300 * \frac{q_{nom}}{2} - F, jos\ q_{nom} < \frac{2m^3}{s}, ja \quad (2.1)$$

$$900 + E - F, jos\ q_{nom} \geq 2 \frac{m^3}{s}$$

[11, liite 3.]

Puhaltimen ominaissähköteho, muihin kuin asuinrakennuksiin tarkoitetuissa ilmanvaihtokoneissa, saa olla enintään $150\ W/(m^3/s)$ alle toisen vaiheen rajan niissä ilmanvaihtokoneissa, joiden ilmavirta on $\geq 2\ m^3/s$ ja $250\ W/(m^3/s)$ alle toisen vaiheen rajan niissä ilmanvaihtokoneissa, joiden ilmavirta on $< 2\ m^3/s$ [11, liite 7.]. Mitattu arvo saa ylittää 1,07 kertaa ilmoitetun enimmäisarvon. [11, liite 8.]

1. päivänä tammikuuta 2018 tulevat lisäykset ja määräysten tiukkenemiset

- Suodatinyksikön ollessa osa kokoonpanoa on ilmanvaihtokone varustettava visuaalisella ilmoituksella, joka aktivoituu painehäviön ylittäessä sallitun loppupainehäviön
- Ilmanvaihtokoneiden sisäinen enimmäisominaissähköteho (SFP_{int_limit}), $W/(m^3/s)$ lasketaan kaavalla 2.2.

$$1\,100 + E - 300 * \frac{q_{nom}}{2} - F, jos\ q_{nom} < \frac{2m^3}{s}, ja \quad (2.2)$$

$$800 + E - F, jos\ q_{nom} \geq 2 \frac{m^3}{s}$$

[11, liite 3.]

Lyhenteet

- F-kirjaimella tarkoitetaan suodatinkorjausta (Pa), mikäli ilmanvaihtokone poikkeaa suodattimien osalta viitekoonpanosta (vaippa, vähintään kaksi taajuusmuuttajaa tai moninopeusohjauksella varustettua puhallinta, lämmöntalteenottojärjestelmä, puhdas hienosuodatin tuloilmapuolella ja puhdas keskitason suodatin poistoilmapuolella) [11, liite 9; 11, liite 1, osa 2].
- kaksitoimintoinen ilmanvaihtokone tarkoittaa ilmanvaihtoon ja savunpoistoon tarkoitettua ilmanvaihtokonetta, jonka tulee täyttää rakennuskohteen paloturvallisuuden perusvaatimukset määräysten mukaisesti [11, liite 1].

Rakentamismääräyskokoelmissa on esitetty EU:n komission asetusta heikommät arvot lämmöntalteenottolaitteiden tuloilman lämpötilahyötysuhteille. Tällaisissa tilanteissa komission asetukset on kansallista määräystä painavampi ja ilmanvaihtokoneiden lämpötilahyötysuhteiden pitää olla EU:n komission asetuksen N:o 1253/2014 mukaiset tai paremmat.

3.3 Asuinkerrostalon sisäilmasto ja käyttöajat

E-luku laskennassa käytetään tarkkoja standardikäytön mukaisia arvoja (taulukko 4). Usein käyttäjästä johtuen todelliset energiakulutukset poikkeavat E-luvusta.

Taulukko 4. Asuinkerrostalon energialaskennan huonelämpötila ja ulkoilmavirta D3:n mukaisesti lämmitettyä nettoalaa kohden

Ulkoilmavirta dm ³ /(s m ²)	käyntiajoilla painotettu ulkoilmavirta dm ³ /(s m ²)	Lämmitysraja °C	Jäähdytysraja °C
0,5	0,5	21	27

Mikäli asuinkerrostalon asukkaalla on mahdollisuus henkilökohtaisesti ohjata ilmanvaihtoa huoneistokohtaisesti, ulkoilmavirtana voidaan käyttää 0,4 dm³/(s m²). [4, s. 18; 17, s. 4.]

Asuinkerrostaloon on järjestettävä jäähdytys, mikäli kesäajan huonelämpötila ylittää enemmän kuin 150 astetuntia jäähdytysrajan arvon kesäkuukausien aikana (kesä-elokuu). Laskenta tehdään rakennuksen säävyöhykkeen mukaisilla säätiedoilla (liite 1),

suunnitelluilla ilmamäärillä ja taulukon 5 mukaisilla lämpökuormilla. Ensisijaisesti yli-
lämpeneminen pyritään estämään passiivisin keinoin. [4, s. 9–10.]

Asuinkerrostalossa kesäajan huonelämpötilan liiallinen ylittyminen osoitetaan lasken-
nallisesti vähintään yhdelle makuuhuoneelle ja olohuoneelle. Näissä huoneissa pitää
olla rakennuksen suurimmat lämpökuormat. [4, s. 10.]

Taulukko 5. Asuinkerrostalon käyttöaika ja lämpökuormat

Kellonaika	Käyttöaika		Käyttöaste	Valaistus	Kuluttajalaitteet	Ihmiset ^a
	h/24h	d/7d				
00:00-24:00	24	7	0,6	11 ^{b,c}	4	3

- **a** ei sisällä kosteuteen sitoutunutta lämpöä, kokonaislämmönluovutus saadaan jakamalla kertoimella 0,6
- **b** asuinrakennuksissa valaistusten käyttöasteena käytetään kerrointa 0,1
- **c** ohjearvo, jota voidaan käyttää uudiskohteissa, mikäli tarkempaa arvoa ei ole saatavilla

[4, s. 19.]

3.4 Ilmanvaihdon vaatima energiantarve

3.4.1 Ilmanvaihdon lämmitys ja lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde

Ilmanvaihdon vaatima nettoenergiantarve (ilmanvaihtokoneessa tapahtuva lämpene-
minen) määritetään lämmöntalteenoton kanssa. Se sisältää tuloilman lämmityksen
lämmöntalteenoton jälkeen sisään puhalluslämpötilaan asti. Ilmanvaihdon vaatima net-
toenergian tarve määritetään kaavoilla 3.1–3.4. Tuloilman lämpeneminen tilassa laske-
taan erikseen kaavalla 3.5. Ilmanvaihdosta talteenotettu energia voidaan määrittää
suoraan kaavalla 3.6. Laskettaessa rakennuksen ilmanvaihdon kokonaisenergiakulu-
tusta, pitää laskenta suorittaa kuukausitasolla. Kesä-, heinä- ja elokuussa ilmanvaihdon
LTO ja jälkilämmitys ovat poissa käytöstä, jollei rakennus muuta edellytä. [5, s. 20–24.]
Ilmanvaihdon vaatimaa lämmitysenergianlaskentaa ei suoriteta kesäkuukausilta.

Puhuttaessa ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteesta, tarkoitetaan vuo-
dessa lämmöntalteenotolla talteenotettavaa ja hyödynnettävää lämpö määrää suhtees-

sa laitteeseen, jossa ei ole lämmöntalteenottoa [4, s. 4]. Poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen tulee olla Suomessa vähintään 45 %. Toisaalta ilmanvaihdon lämpöenergian pienentäminen voidaan toteuttaa esimerkiksi vaipan lämmöneristystä tai ilmanpitävyyttä parantamalla. Vaihtoehtoisesti ilmanvaihdon tarvitsemaa lämmityksen energiamäärää voidaan vähentää myös muulla tavoin kuin poistoilman lämmöntalteenotolla. Tällainen ratkaisu on juurikin se mitä tässä insinööriyössä tutkitaan, eli ulkoilman esilämmitys nestekiertoisella maalämpöpiirillä. [4, s. 15.]

Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on koko rakennukselle laskettava arvo, eikä laitteen ominaisuus. Tästä johtuen kyseistä arvoa ei tule verrata keskenään eri laitteilla eri rakennuksissa. Sertifikaattien pohjalta voidaan verrata lämmöntalteenottolaitteiden vuosihyötysuhdearvoja. Kyseessä on laskennallinen arvo, joka huomioi koko lämmityskauden, tästä johtuen se on lähes poikkeuksetta pienempi kuin LTO-laitteen lämpötilasuhde. [8, s. 2.]

3.4.2 Ilmanvaihdon lämmitysenergiankulukseen liittyvä laskenta

Alla esitetty laskentakaavat, joilla saadaan määritettyä ilmanvaihtokoneen lämmityksen vaatima nettoenergiantarve.

Lämmitysenergian nettotarve

$$Q_{iv} = t_d t_v \rho_i c_{pi} q_v \frac{((T_{sp} - \Delta T_{puhallin}) - T_{lto}) \Delta t}{1000} \quad (3.1)$$

jossa

Q_{iv}	ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve, kWh
t_d	ilmanvaihtolaitoksen vuorokautinen käyntiaikasuhde, h/24h
t_v	ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde, vrk/7 vrk
ρ_i	ilman tiheys, 1,2 kg/m ³
c_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg K)
q_v, tulo	tuloilmavirta, m ³ /s
T_{sp}	sisäänpuhalluslämpötila, °C
$\Delta T_{puhallin}$	lämpötilan nousu puhaltimessa, °C (voidaan käyttää arvoa 0,5 °C, mikäli tarkempaa tietoa ei ole)
T_{lto}	lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen lämpötila, °C
Δt	ajanjakson pituus, h
1000	laatumuunnos kilowattitunneiksi.

[5, s. 21.]

Lämpötilan nousu puhaltimessa

Mikäli ei tunneta lähtöarvoja lämpötilan nousulle puhaltimessa, voidaan arvona käyttää 0,5 °C:ta. Tunnettaessa lähtöarvot lasketaan lämpötilan nousu puhaltimessa kaavalla 3.2.

$$\Delta T_{\text{puhallin}} = \frac{SFPP_s}{\rho_i C_{pi}} = \frac{P_{\text{puh}} P_s}{\rho_i C_{pi} q_v} \quad (3.2)$$

jossa

$\Delta T_{\text{puhallin}}$	lämpötilan nousu puhaltimessa, °C
SFP	puhaltimen ominaissähköteho, kW/(m ³ /s)
P_s	ilmaan siirtyvän lämpötehon ja puhaltimen sähkötehon suhde, -
ρ_i	ilman tiheys, 1,2 kg/m ³
C_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1,0 kJ/(kg K)
P_{puh}	puhaltimen sähköteho tehonsäätölaitteineen, kW
q_v	puhaltimen ilmavirta, m ³ /s

Taulukko 6. Taulukossa esitetty ilmaan siirtyvän lämpötehon ja puhaltimen sähkötehon suhde P_s

Puhaltimen moottorin sijainti	P_s
Ilmavirrassa	1,0
Ei ole ilmavirrassa	0,6

[5, s. 51.]

Kuukauden keskimääräinen tuloilmalämpötila LTO:n jälkeen

$$T_{lto} = T_u + \frac{\phi_{lto}}{t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,tulo}} \quad (3.3)$$

jossa

T_{lto}	lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen lämpötila, °C
T_u	ulkoilman lämpötila, °C
ϕ_{LTO}	lämmöntalteenotolla talteenotettu kuukauden keskimääräinen teho, W
t_d	ilmanvaihtolaitoksen vuorokautinen käyntiaikasuhte, h/24h
t_v	ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhte, vrk/7 vrk
ρ_i	ilman tiheys, 1,2 kg/m ³ c pi ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg K)
$q_{v,tulo}$	tuloilmavirta, m ³ /s

[5, s. 21.]

LTO:lla talteenotettu teho

$$\phi_{lto} = \eta_{a,ivkone} t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,poisto} (T_s - T_u) \quad (3.4)$$

jossa

ϕ_{LTO}	lämmöntalteenotolla talteenotettu kuukauden keskimääräinen teho, W
$\eta_{a, ivkone}$	ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton poistoilman vuosihyötysuhde, %
t_d	ilmanvaihtolaitoksen vuorokautinen käyntiaikasuhde, h/24h
t_v	ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde, vrk/7 vrk
ρ_i	ilman tiheys, 1,2 kg/m ³
c_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg K)
$q_{v, poisto}$	poistoilmavirta, m ³ /s
T_s	sisälämpötila, °C
T_u	ulkolämpötila, °C

[5, s. 21.]

Lämpöenergiantarve tilassa tapahtuvalle tuloilman lämpenemiselle

$$Q_{iv,tuloilma} = t_d t_v \frac{c_{pi} q_{v,tulo} (t_s - t_{sp}) \Delta t}{1000} \quad (3.5)$$

jossa

$Q_{iv,tuloilma}$	tilassa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, kWh
t_d	ilmanvaihtolaitoksen vuorokautinen käyntiaikasuhde, h/24h
t_v	ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde, vrk/7 vrk
ρ_i	ilman tiheys, 1,2 kg/m ³
c_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg K)
$q_{v, tulo}$	tuloilmavirta, m ³ /s
T_s	sisälämpötila, °C
T_{sp}	sisäänpuhalluslämpötila, °C
Δt	ajanjakson pituus, h
1000	laatumuunnos kilowattitunneiksi

[5, s. 22 – 23.]

Ilmanvaihdosta talteenotettu energia

$$Q_{lto} = \sum t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,tulo} \frac{(T_{lto} - T_u) \Delta t}{1000} \quad (3.6)$$

jossa

Q_{lto}	ilmanvaihdosta talteenotettu energia, kWh
t_d	ilmanvaihtolaitoksen vuorokautinen käyntiaikasuhde, h/24h
t_v	ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde, vrk/7 vrk
ρ_i	ilman tiheys, 1,2 kg/m ³
c_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg K)

$q_{v, \text{tulo}}$	tuloilmavirta, m ³ /s
T_{lto}	lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen lämpötila, °C Tu ulkolämpötila, °C
Δt	ajanjakson pituus, h
1000	laatumuunnos kilowattitunneiksi

[5, s. 23.]

3.5 Ilmanvaihdon sähköenergiankulutus

Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus koostuu puhallinsähköstä sekä apulaitteiden sähkökulutuksesta. Näiden laitteiden sähkön kulutukseen vaikuttaa kanaviston ja päätelaitteiden painehäviöt, sekä ilmapuhaltimen kokoonpano (painehäviöt) ja käyntiajat. [7, s. 25; 18, s. 2.] Ilmanvaihtojärjestelmän lämmitys- ja jäähdytysenergioiden kulutukset kuuluvat lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien kuluttamiin energiamääriin. [5, s. 12.]

EU komission direktiivissä on esitetty laskenta ja raja-arvot ilmanvaihtokoneiden sisäiselle enimmäisominaissähköteholle ($SFP_{\text{int_limit}}$). Tätä ei tule sekoittaa rakentamismääräyskokoelmissa esitettyyn SFP- lukuun (kaava 4). Nykymääräysten mukaan tulee huomioida sekä EU:n että Suomen määräyksien määrittämät SFP- luvut.

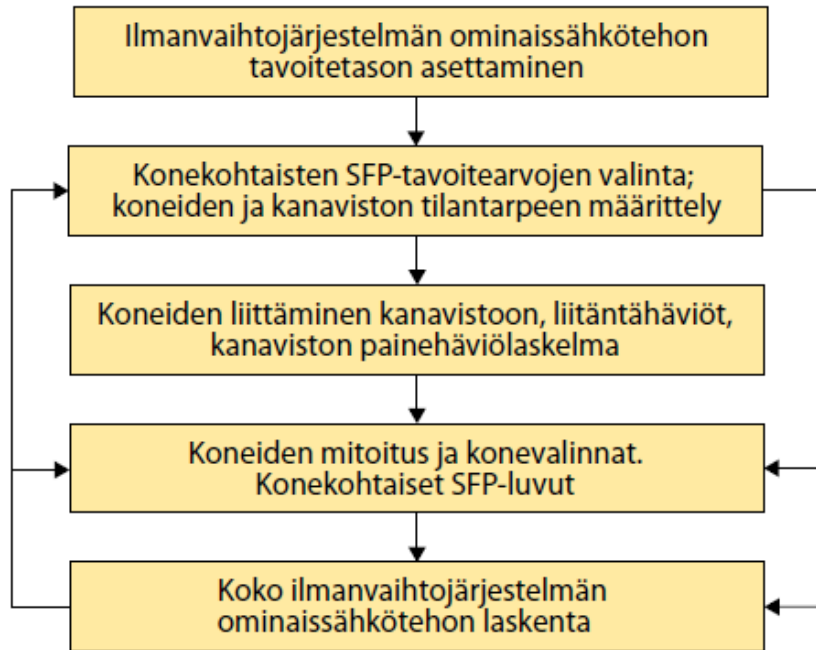
$$SFP = \frac{P_{\text{tulo}} + P_{\text{poisto}} + P_{\text{apulaitteet}}}{q_{\text{max}}} \quad (4.1)$$

jossa	
SFP	ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho, kW/m ³ /s
P_{tulo}	tuloilmapuhaltimen käyttämä sähköteho, kW
P_{poisto}	poistoilmapuhaltimen ottama sähköteho, kW
$P_{\text{apulaitteet}}$	apulaitteiden ottama sähköteho, kW
q_{max}	mitoitettava (suurempi) jäteilmavirrasta tai ulkoilmavirrasta, m ³ /s

[18, s. 2.]

Suomen Rakentamismääräyskokoelmien mukaan kaksi- ilmavirtaisen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho saa olla enintään 2,0 kW/(m³/s). [4 s.15.] Mikäli kohteen ilmanvaihtojärjestelmässä on käytetty parempia komponentteja, kuten korkean lämpötilahyötysuhteen LTO-osaa tai rakennuksen sisäilmasto vaatii tavanomaisesta poikkeavaa ilmastointia, sallitaan SFP-luvun ylittäminen. Tämän työn kannalta on tärkeää tarkastella kohtaa, jonka mukaan SFP-luku saa ylittää raja-arvon 0,3

kW/(m³/s), jos LTO-osan hyötysuhde on yli 70 %. [4, s. 15; 18, s. 4.] SFP-luku määritetään yksittäisille ilmanvaihtokoneille sekä koko rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmälle (ks. kuva 8). Pääsääntöisesti koko rakennuksen SFP-luku saa olla enintään 2,0 kW/(m³/s). [18, s. 3.]



Kuva 8. SFP-luvun määrittämisen kulku [18, s. 3].

3.5.1 Puhaltimen käyttämän sähköenergian laskenta

Puhaltimen sähköenergiankulutus voidaan laskea puhaltimen tietojen perusteella kaavojen 4.2–4.3 avulla.

Puhaltimen sähköenergiankulutus

$$W_{\text{puhallin}} = \frac{\Delta p_{\text{puhallin}} \times q_v}{\eta_{\text{puhallinkok}} \times 1000} \Delta t \quad (4.2)$$

jossa

W_{puhallin}

puhaltimen sähköenergian kulutus, kWh

$\Delta p_{\text{puhallin}}$

puhaltimen paineen korotus, Pa

q_v

puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen ilmavirta, m³/s

$\eta_{\text{puhallinkok}}$

puhaltimen kokonaishyötysuhde, -

Δt

ajanjakson pituus, h

[5, s. 52–53].

Puhaltimen kokonaishyötysuhde lasketaan kaavalla 4.3

$$\eta_{\text{puhallinkok}} = \eta_{\text{puhallin}} \times \eta_{\text{käyttö}} \times \eta_{\text{moottori}} \times \eta_{\text{sääto}} \quad (4.3)$$

jossa

$\eta_{\text{puhallinkok}}$	puhaltimen kokonaishyötysuhde
η_{puhallin}	puhaltimen hyötysuhde sisältäen laakerihäviöt
$\eta_{\text{käyttö}}$	hihnakäytön hyötysuhde
η_{moottori}	moottorin hyötysuhde
$\eta_{\text{sääto}}$	pyörimisnopeussäätimen hyötysuhde (esim. taajuusmuuttaja)

[5, s. 53].

3.5.2 Pumppujen ja muiden apulaitteiden käyttämän sähköenergian laskenta

Ilmanvaihtojärjestelmän apulaitteiden sähkölaitteiden kuten pumppujen kuluttama sähköenergian kulutus lasketaan kaavalla 4.4.

$$W_{iv, \text{muu}} = \frac{P_{\text{muu}} \Delta t}{1000} \quad (4.4)$$

jossa

$W_{iv, \text{muu}}$	muu ilmanvaihtojärjestelmän sähkönkulutus, kWh
P_{muu}	muiden ilmanvaihtojärjestelmän laitteiden kuin puhaltimien ja puhaltimen tehonsäätölaitteiden sähköteho, W
Δt	ajanjakson pituus, h

[5, s. 54].

3.6 Ilmanvaihdon ominaislämpöhäviöiden laskenta

Ilmanvaihdon lämpöhäviö lasketaan erikseen rakennuksen jokaiselle ilmanvaihtokoneelle kaavalla 5.

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

jossa

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

ρ_i	ilman tiheys, 1,2 kg/m ³
c_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg K)
$Q_{v, poisto}$	standardikäytön mukainen laskennallinen poistoilmavirta, m ³ /s
t_d	ilmanvaihtolaitoksen vuorokautinen käyntiaikasuhde, h/24h
t_v	ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde, vrk/7 vrk
$\eta_{a, ivkone}$	ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton poistoilman vuosihyötysuhde, %

[12, s. 26].

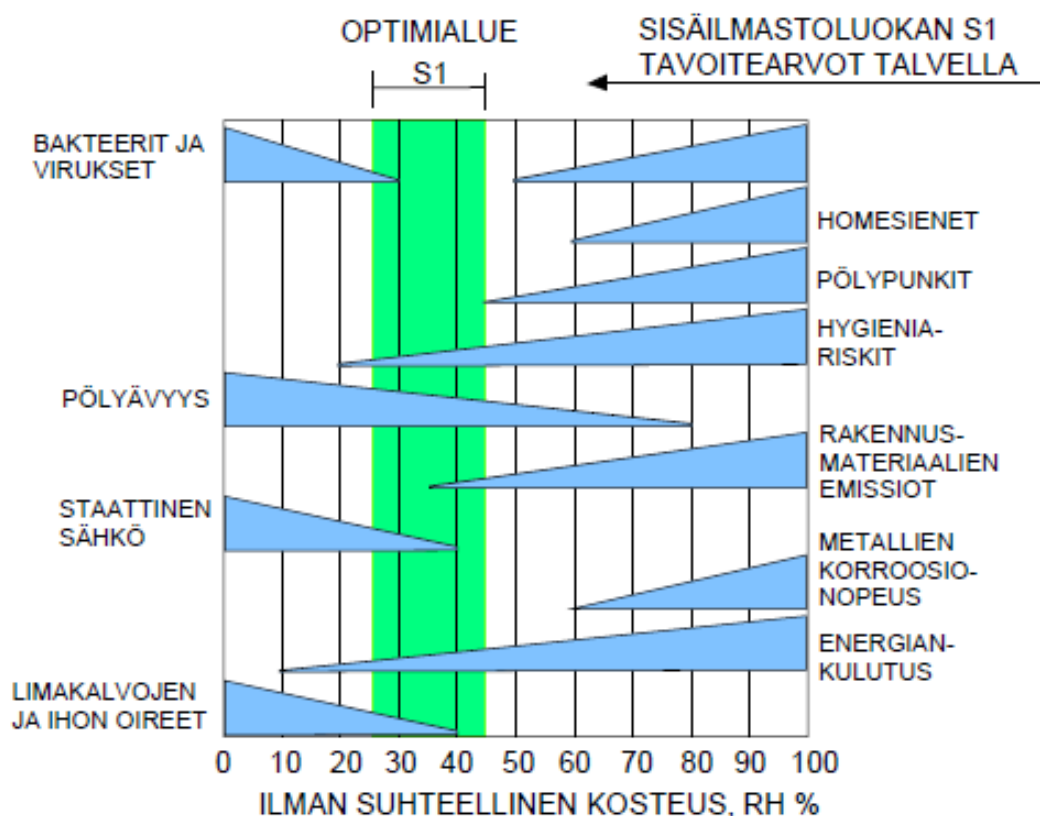
4 Ilmankosteus ja jäätymisenesto

Jotta LVI-suunnitelmista sekä ilmanvaihdosta saadaan toimiva, tulee tuntea tarkat suunnitteluarvot. Yksi tärkeimmistä suunnittelun lähtökohdista on tuntea säätiedot sekä haluttu sisäilman laatu ja kosteudet. Vaikka hyvä sisäilmasto tunnetaankin hyvin, investointikustannusten näkökulmasta ei voida aina tehdä haluttua laatua, vaan laadusta joudutaan tinkimään. Sisäilmasto jaetaan kolmeen eri sisäilmastoluokkaan S1, S2 ja S3, joista S3 täyttää rakentamismääräysten vähimmäisvaatimuksen ja S2 pyrkii täyttämään neutraalin lämpöaistimuksen. S1 on paras luokka ja sen toiminta taataan yksilöllisellä säätömahdollisuudella. [14, s. 54.]

Taulukko 7. Sisäilmastoluokituksen ohjearvot sisäilman operatiivisille lämpötiloille ja suhteelliselle kosteudelle talvella sisäilmastoluokittain [19, s.13].

Suure	Yksikkö	S1	S2	S3
Huonelämpötila, kesä (jäähdytystilanne)	°C	25	25	-
Huonelämpötila, talvi (lämmitystilanne)	°C	21,5	21,5	20,5
Ilman suhteellinen kosteus, talvi	%	> 25	-	-

Suomen sääoloissa ulkoilman suhteellinen kosteus on lähes aina melko korkea. Kesäaikana suhteellinen kosteus on myös sisäoloissa hyvin korkealla, talvella se saattaa kuitenkin pudota lämmitetyissä tiloissa 10–20 %:iin. Suositeltavaa olisi pitää suhteellinen kosteus 30–40 %:ssa (kuva 9). [20; 21 s. 4.] Asuinkerrostaloissa olisi järkevää laskennallisissa tilanteissa käyttää suhteellisen kosteuden arvona 30 %, koska asuntoihin kohdistuu hetkellisesti suuriakin kosteuskuormia. Asuntojen kosteuskuormat ovat riippuvaisia saunomisesta, suihkussa käynneistä, pyykkämisestä, ruuanlaitosta sekä monista muista asukkaasta riippuvaisista asioista.



Kuva 9. Kuvassa on esitetty suositukset sisäilman kosteudelle talvella [22, s. 168].

4.1 Ilmankosteus

4.1.1 Ilman koostumus

Ilmankosteus eli se kosteus, joka on ilmassa, ilmaistaan kahden eri termin avulla suhteellinen kosteus ja absoluuttinen kosteus. Suhteellinen kosteus (% RH) ilmoittaa, kuinka paljon kyseisessä lämpötilassa vesihöyryä mahtuu ilmaan. Absoluuttinen kosteus (g/kg tai kg/kg) puolestaan kertoo, kuinka paljon vesihöyryä on kuivaan ilmakiloon verrattuna. Ilmastointitekniikassa käytetään absoluuttista kosteutta, koska sen avulla saadaan selkeämpi kuva siitä, milloin ilmasta alkaa tiivistyä kosteutta ja miksi sisäilman suhteellinen kosteus on talvella alhainen, vaikka ulkoilman suhteellinen kosteus on korkea. [14, s. 81–82.]

Asuntokohteiden pesuhuoneisiin liittyvät ilmanvaihdon ohjearvot on suunniteltu siten, ettei pinnoille tiivisty kosteutta liian pitkäksi aikaa. Lähtökohtana ilmanvaihdon suunnit-

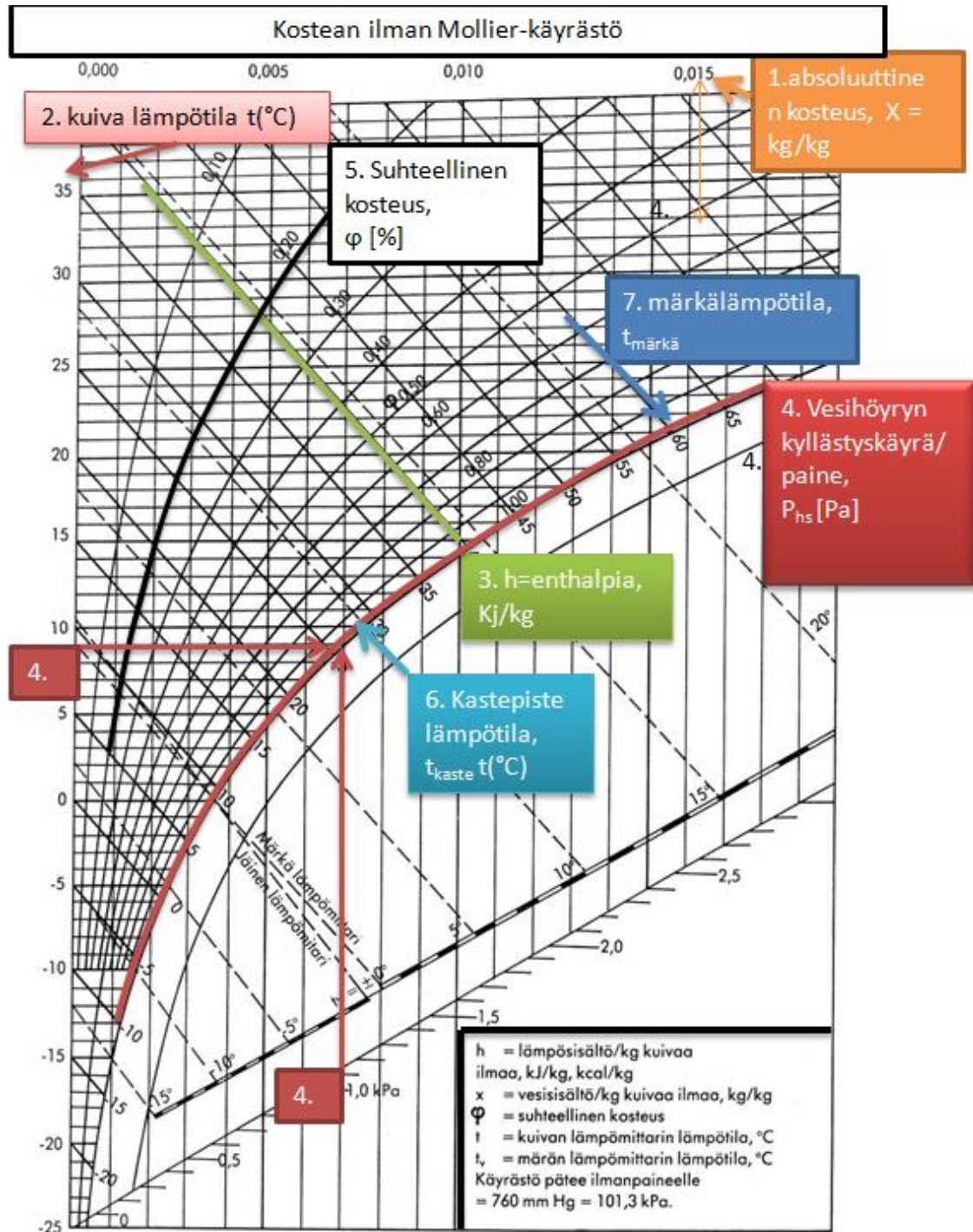
telulle on saavuttaa riittävä ilmanvaihto, tämän lisäksi voidaan käyttää rakenteita kuivaavia järjestelmiä kuten märkätilojen lattialämmitystä. [14, s. 82.]

Ilma on kaasujen seos. Kuivana ilma sisältää typpeä (78 %), happea (21 %), argonia (1 %) ja hiilidioksidia (0,04 %). Kosteaa ilmaa saadaan, kun kuivaan ilmaan lisätään vesihöyryä. [14, s. 83.]

4.1.2 Mollier-diagrammi

Ilman kosteutta ja kosteuden käyttäytymistä ilman eri lämpötiloilla voidaan havainnollistaa Mollier-diagrammin (ks. kuva 10.) avulla. Piirroksessa h on ilman entalpia [kJ/kg] ja x on absoluuttinen kosteus. Yhdessä ne muodostavat vinokulmaisen koordinaatiston, jossa origo on molempien nollakohta. Huomioitavaa on, että piirroksia on useampia erilaisia, koska painesuhteet ja virtaukset (matala- ja korkeapaine) maapallolla vaihtelevat eri paikkakuntien välillä. [14. s. 86.]

Mollier-diagrammin avulla pystytään myös ymmärtämään paremmin huurteen ja veden muodostumista lämmöntalteenottolaitteeseen. Seuraavaksi tutustutaan siihen, mitä arvoja diagrammissa on ja kuinka niitä luetaan. Tämän jälkeen paneudutaan tarkemmin huurteen ja jään muodostumiseen levylämmönsiirtimissä.



Kuva 10. Kostean ilman käyrästä ilmapaineella 101,3 kPa [14, s. 84–85; 23].

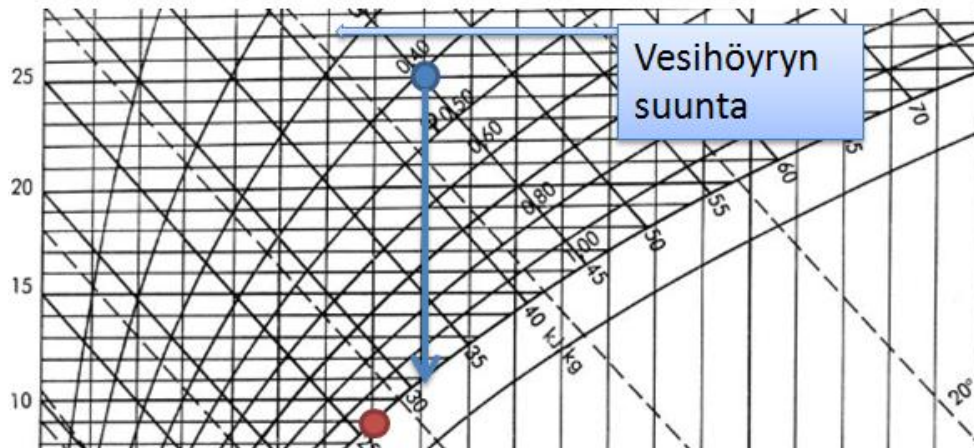
Kuvaan 10 liittyvät käsitteet [14, s. 84–85]

1. Absoluuttinen kosteus $x = kg/kg$, liikuttaessa x-akselia pitkin vasemmalle liikuttaessa ilmasta otetaan kosteutta ja oikealle liikuttaessa ilmaan lisätään kosteutta.

2. Ilman kuiva lämpötila t_{kuiva} , lämpömittarin osoittama lämpötila t °C.
3. Enthalpia (h) eli ilman lämpösisältö kJ/kg, siirryttäessä viivan ylä- tai oikealle puolelle ilmaan lisätään lämpöä. Lämpötilasuoria pitkin liikuttaessa ilmaan lisätään sidottua (latenttia) lämpöä ja suoraan ylöspäin liikuttaessa ilmaan lisätään vapaata (kuivaa) lämpöä.
4. Vesihöyryn kyllästyspaine P_{hs} [Pa] on käyrä, josta nähdään, miten kuivan lämpötila muuttuessaan, muuttaa vesihöyryn osapainetta ja absoluuttista kosteutta. Kyllästyspaineessa suhteellinen kosteus on 100 %, eikä tätä enempää ilmassa voi olla kosteutta vesihöyrynä.
5. Suhteellisen kosteuden φ [%] ollessa 50 % osoittaa käyrä 50 % kyllästyspaineesta ja 30 % kosteus 30.
6. Kastepistelämpötila t_{kaste} [°C] on piste jossa jäähtyvä ilma alkaa muuttua vedeksi. Jos jokin pinta on kastepistettä alemmassa lämpötilassa, tiivistyy pintaan ilman vesihöyryä. **Tämä on tämän työn näkökulmasta tärkein diagrammista luettava asia.**
7. Märkälämpötila $t_{\text{märkä}}$ [°C] saadaan kun siirrytään tummansinisen nuolen suuntaisesti kyllästyskäyrälle ilman tilasta. Tässä kohdassa luettu kuivalämpötila = märkä lämpötila (joissakin diagrammeissa on esitetty märkä lämpötila). Märkälämpötila havainnollistettuna on lämpömittarin osoittama lämpötila kun mittari on peitetty märällä liinalla.

Mollier-diagrammilta on yksinkertaista selvittää, kondensoituuuko jollekin pinnalle vesihöyryä. Diagrammiin tulee merkata vallitsevat ilman olosuhteet (lämpötila ja suhteellinen kosteus). Seuraavaksi liikutaan pystysuunnassa alaspäin kyllästyskäyrälle. Mikäli kastepisteen lämpötila on korkeampi kuin pinnan johon törmätään, muodostuu pinnalle kosteutta. [14, s. 89.]

Jos puolestaan halutaan selvittää vesihöyryn liikkeen suunta, vedestä ilmaan vai ilmas-
ta veteen, onnistuu sekin diagrammin avulla (kuva 11). Tällöin hyödyksi tulee käyttää absoluuttista kosteutta. Vesihöyryn liike on vakio suuremmasta osapaineesta ja absoluuttisesta kosteudesta aina pienempään. [12, s. 89–90.]



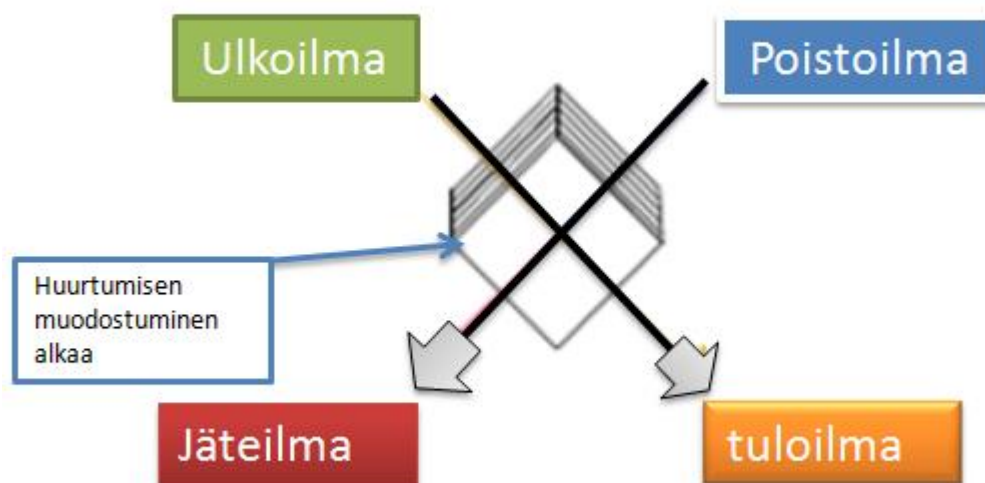
Kuva 11. Punainen piste kyllästyskäyrällä on veden lämpötilan piste. Sininen piste on puolestaan ilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden piste. Veden absoluuttinen kosteus on matalampi kuin ilman, vesihöyryä kulkeutuu ilmasta veteen [14, s. 89 – 90.]

4.2 Kosteuden käyttäytyminen lämmöntalteenottolaitteistossa

4.2.1 Huurteen muodostuminen levylämmönsiirtimissä

Talvella levylämmönsiirtimen pinta laskee ajoittain pakkaselle ja levyn pinnalle alkaa kondensoida vesihöyryä, koska poistoilma jäähtyy alle kastepisteensä. Kondensoituva vesi alkaa muodostaa huurretta, joka voi muuttua jääksi, kun lämmönsiirtimen pintalämpötila alittaa $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Huurteen muodostuminen lämmöntalteenottolaitteen pinnalle alkaa lämmöntalteenottolaitteen kylmimmästä nurkasta, josta ulkoilma tulee siirtimeen ja poistoilma lähtee siirtimestä (kuva 12). Kondensoituvan veden muodostumisen määrä on riippuvainen poistoilman sisältämästä kosteudesta ja ulkoilman lämpötilan laskusta. [14, s. 159.]

Eryteisesti asuinkerrostaloissa tulee käyttää luotettavaa huurteenestotoimintaa. Asuinrakennuksen poistoilma sisältää usein runsaasti kosteutta ja ilmanvaihtokoneen käyntiaika on ympärivuorokautinen. Ilmanvaihtokonetta ei pysäytetä yön ajaksi, jolloin tulisi automaattisesti pidempi sulatusjakso. [14, s. 181.]



Kuva 12. Kuvassa on esitetty sijainti, jossa huurtumisen muodostuminen alkaa lämmöntalteenottolaitteessa, kyseessä on lämmöntalteenottolaitteen kylmin kohta [14, s. 159; 15, s. 9].

Ristivirtalämmönsiirtimellä huurteenmuodostumisen näkökulmasta -7 °C on kriittinen ulkoilman lämpötila. Tällöin kondensoitumisen johdosta muodostunut vesihöyry alkaa muodosta huurretta ja myöhemässä vaiheessa kiinteää jäätä. Mikäli huurtumista ei estetä ajoissa, lämmönsiirrin jäätyy umpijäähän ja sulattaminen vaatii runsaasti aikaa ja lämpöä. [14, s. 181.]

4.2.2 Esimerkki huurteen muodostumisesta levylämmönsiirtimessä

Tämä esimerkki on tarkoitettu vain huurteen muodostumisen havainnollistamiseen, eikä siinä huomioida huurteensulatuslaitteiston toimintaa, kuten alinta sallittua jäteilman lämpötilaa. Tarkoituksena on vain havainnollistaa, miten huurre ja jää alkaa muodostua levylämmönsiirtimeen ja mitkä tekijät siihen vaikuttavat.

Huoneilman lämpötila on 21 °C ja suhteellinen kosteus on 30 %. Ilman ulkolämpötila on -5 °C ja rakennuksen ilmanvaihtokoneen tuloilman lämpötilahyötysuhde on 80 %. Tässä insinööriyössä käsitellään asuinrakennuksia, joten lasketaan tuloilman lämpötilahyötysuhde tulo- ja poistoilmavirran suhteella 0,90 (tuloilma $0,699\text{ m}^3/\text{s}$ ja poistoilma $0,776\text{ m}^3/\text{s}$, kuten esimerkikohteessamme Lohjan Petterissä).

Tällöin

$$\text{Tuloilman lämpötilahyötysuhde on: } \frac{2}{(1 + 0,90) \times 0,80} = 84 \% \quad (4.1)$$

$$\text{Poistoilman lämpötilahyötysuhde on : } 0,90 \times 84 \% = 76 \% \quad (4.2)$$

$$\text{Jäteilman lämpötila: } 21 - 0,76 \times (21 - (-5)) = 1,24 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (4.3)$$

$$\text{Tuloilman lämpötila: } -5 + 0,84 \times (21 - (-5)) = 16,84 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (4.4)$$

[12, s. 60]

Tällaisessa tilanteessa levylämmönsiirtimessä vallitsee tilanne, jossa levylämmönsiirtimen kylmimmässä nurkassa (kuva 12.) toisella puolen alumiinikalvoa lämpötila on alle 1,24 °C ja toisella puolen –5 °C. Kuten aikaisemmin on kuvattu, on alumiinikalvon lämmönjohtavuus erittäin hyvä (korkea U-arvo). Tästä johtuen voidaan melko hyvällä tarkkuudella arvata, että lämpötilaeron välissä olevan alumiinikalvon lämpötila on –3,12 °C. Kyseisessä tilanteessa +21 °C / 30 % poistoilma alkaa muodostaa kosteutta levylämmönsiirtimen pintaan kylmimmässä nurkassa. Välttämättä poistoilma ei kuitenkaan jäädy tässä tilanteessa (huurteen mahdollisuus suuri), mutta ulkoilman vielä hieman laskiessa vetää LTO-kenno itsensä jäähän. [12, s. 60; 14, 83–83; 24.]

Oikeassa tilanteessa jäteilman lämpötila ei saa laskea D5:n mukaan alle 5 °C:seen, mikäli käytössä ei ole varmennettua tietoa kennon toimintavarmuudesta. Yllä kuvatussa tilanteessa käytettäisiin esimerkiksi esilämmitystä, joka nostaisi ulkoilman lämpötilaa niin, ettei jäteilma pääsisi sallitun lämpötilan alapuolelle. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää muita huurteenestotoimintoja, kuten lämmöntalteenottolaitteen lämpötilahyötysuhteen rajoitusta, jotka estäisivät lämmöntalteenottolaitteeseen muodostuvan huurteen ja jään. [12 s. 60.]

Toteutuvan LTO:n vuosihyötysuhteen muodostumisessa ongelmallisinta on se, että LTO-laite toimii vielä hyvällä lämpötilahyötysuhteella, vaikka huurteen ja jään muodostuminen olisi jo alkanut. Kun laite alkaa sulattamaan, ottaa se talteen vain osan poistoilman lämmöstä. Todellisen vuosihyötysuhteen määrittää se, kuinka pitkiä ovat nämä

sulatussyklit, kun lämpöä ei saada talteen. [24.] Tämän työn näkökulmasta kuitenkin oleellisinta on se, miten nämä huomioidaan laskennallisesti.

4.3 Huurteen- ja jäänmuodostumisenesto

Jäätymiseneston tarkoituksena on estää jään muodostuminen lämmöntalteenottolaitteen poistoilmapuolelle. Jäteilma voi jäähtyä alle 0 °C:n jossain kohtaa LTO-laitetta, vaikka sen keskilämpötila olisi yli 0 °C. Asuinrakennukset sisältävät usein paljon kosteutta. Tästä johtuen niiden jäteilman lämpötila ei suositusten mukaan saa laskea alle 5 °C:n, ellei laitteen toimittaja osoita luotettavalla tavalla, ettei jäätymistä tapahdu jäteilman kylmemmällä lämpötilalla laitteen pinnalle. Luotettavan lähteenä voidaan pitää puolueetonta sertifikaattien testauslaitosta. Lämmöntalteenottolaitteen rajoittamisella on suorat vaikutukset myös lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteeseen. Samalla rakennuksella on säävyöhykkeellä 1. parempi lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde kuin rakennuksen sijaitessa vyöhykkeellä 4. [8, s. 2.] Useimmiten ristivirta- ja vastavirtalämmöntalteenottolaitteissa käytetään kolmea erityyppistä jäätymisenestoa: huurtumisenestotoiminto, lohkosulatus ja esilämmitys.

Eri huurteensulatusmuodoilla on suuriakin vaikutuksia lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen ja lämmityspatterinkoon määrittämisessä. Sulatus voidaan toteuttaa monella eri tavalla ja usealla eri ohjaustavalla. Useimmiten sulatuksen käynnistyminen on kytköksissä jäteilman lämpötilaan tai siirtimen sisällä olevaan paine-eroon tai lämpötilaan. [14, s. 159.]

4.3.1 Ajoittaisen ohituksen menetelmä

Ajoittaisen ohituksen menetelmässä ulkoilmavirta ajetaan lämmönsiirtimen kautta, kunnes havaitaan tarve huurteen sulattamiselle. Ohituspelti aukeaa ja lämmönsiirtimen otsapintapelti sulkeutuu. Ulkoilmavirta ajetaan kokonaisuudessaan ohituspellin kautta ja lämmönsiirrin on kokonaan pois käytöstä. Tällaisessa huurteensulatusjärjestelmässä jälkilämmityspatteri tulee mitoittaa täydelle ulkoilmavirralle ja ulkoilman mitoituslämpötilalle ilman lämmöntalteenottoa. Lämmöntalteenottojärjestelmä palautuu normaaliin tilaansa, kun huurteen ja jään havaitaan kadonneen. Tämä on tehokas huurteenestotoiminta, kunhan sulatusvaihe on käynnissä riittävän pitkään. [25, s. 7; 14, s. 159 ja s. 182.]

Mikäli ilmanvaihtokone on perinteinen yksinkertainen ilmanvaihtokone (usein hajautetun järjestelmän koneet), siinä ei ole ohituspelltiä. Tällöin huurteen sulatus pysäyttää tuloilmapuhaltimen, kun ilmanvaihtokoneen jäteilmän lämpötila-anturi aistii jäteilmän lämpötilan laskeneen liian alhaiseksi +4 °C. Tuloilmapuhaltimen seisauksesta johtuen siirtimen läpi virtaa vain lämmintä poistoilmaa, joka sulattaa muodostuneen huurteen. Tuloilmapuhallin lähtee jälleen käyntiin, kun jäteilmänlämpötila nousee takaisin asetusarvoon. Kun tuloilmapuhallin pysäytetään ajoittain, tulee rakennus todella alipaineiseksi, eikä lämpöä saada talteen. [25, s. 7; 14, s. 159.]

4.3.2 Lohkosulatus

Lohkosulatus puolestaan perustuu siihen, että osa tuloilman ilmavirrasta ohjataan ohituspellin kautta. Lohkosulatusjärjestelmissä lämmöntalteenottokeino on jaettu esimerkiksi neljään (2–4) eri lohkokoon. Kun sulatus käynnistyy, lohkopellit estävät vuorotellen ulkoilman pääsyn yhteen osaan. Tämän seurauksena suljetusta lohkoista kulkee vain lämmintä poistoilmaa, joka sulattaa kyseiseen lohkokoon muodostuneen huurteen ja jään. Sama toimenpide suoritetaan jokaiselle lohkolle. Osan tuloilmavirrasta ohjatuessa lämmöntalteenottolaitteen ohi suoraan jälkilämmityspatterille, jää osa poistoilman lämmöstä ottamatta talteen. Hyötysuhde ei kuitenkaan putoa samassa suhteessa kuin lämmönsiirtimen toimintaa rajoitetaan, vaan lämmönsiirto tehostuu muissa lohkoissa. Lohkosulatuksen aikana jälkilämmityksen tarvekin tehostuu vain hieman. Tällainen sulatusjärjestelmä käynnistyy usein, kun paine-ero lämmöntalteenottolaitteen yli kasvaa liian suureksi. Lohkosulatusjärjestelmällä on energiatehokkuuteen ja LTO:n vuosihyötysuhteen vähäiset vaikutukset [14, s.159, 182; 10.]

4.3.3 Esilämmitys

Jäätymisenestosta puhuttaessa päästään hieman käsittelemään esilämmityspatteria. Esilämmityspatterin tarkoituksena on ennaltaehkäistä lämmönsiirtimen joutuminen huurteenestotilaan ja näin ollen pitää ilmanvaihtokone mahdollisimman normaalissa käyntitilassa. Useimmiten käytetty esilämmityspatteri on sähkökäyttöinen hankintakustannusten ja jäätymisvaaran takia. Vaihtoehtoisesti esilämmityspatteri voi olla kaukolämpöverkostoon yhteydessä oleva glykolipatteri tai maalämpöpumpun liuosputkistoon liitetty patteri, jolloin patterissa virtaa jäätymätön liuosneste. [25, s. 6–7; 14, s. 159.]

Ristivirtasiirtimissä sähkökäyttöinen esilämmityspatterin automatiikka toimii usein seuraavasti. Se kytkeytyy päälle, kun jäteilmän lämpötila laskee alle asetusarvon (+6 °C). Esilämmitys kytkeytyy pois, kun jäteilmän lämpötila on kohonnut asetusarvoon. Sähkökäyttöinen esilämmityspatteri tuo laitteistolle toimintavarmuutta kovillakin pakkasilla. [25, s. 7; 14 s. 159.]

Vastavirtakennoissa puolestaan jäteilmän lämpötila laskee alhaisemmaksi paremman lämpötilasuhteen ansiosta. Erityisesti kostean poistoilman tapauksissa, kuten asuinkerrostaloissa, vastavirtasiirrin on huomattavasti huurtumisherkempi ristivirtakennoon nähden. Tästä johtuen huurteen sulatus tulee toteuttaa toimintavarmasti. Tavallisesti voidaan käyttää lohkosulatusta, mutta joskus tarvitaan esilämmityspatteri turvaamaan ilmanvaihtokoneen toiminta, jottei se ole koko ajan huurteensulatusasennolla. Tällöin esilämmityksen avulla voidaan nostaa liian alhaisen ulkoilman lämpötilaa (esim. -18 °C) ja estetään tällä tavoin liian alhaisen lämpötilan omaavan ulkoilman pääsy vastavirtalämmönsiirtimeen. Usein esilämmityksellä on kuitenkin pieni vaikutus LTO:n vuosihyötysuhteeseen, kun ulkoilman lämpötila on viileämpää kuin keruuputkistossa kulkeva liuos. Mikäli jäteilmän lämpötila pääsee esilämmityksestä huolimatta laskemaan alle asetusarvon, käynnistyy normaali huurteenestotoiminto. Maalämpöpiiriin kytketty esilämmitys pienentää ilmanvaihtokoneen ostoenergian tarvetta. [25, s. 5–7; 14. s. 159.]

Käytettäessä maalämpöpiiriin kytkettyä patteria jäähdytykseen, patterin pinnalle muodostuvaa kosteutta varten on asennettava kondenssivesiallas. Viilennysjärjestelmä käynnistyy, kun tuloilman lämpötila kohoaa yli asetusarvon. Tuloilmakanavat suositellaan kondenssieristettävän kohteissa, joissa on tuloilman viilennys. [14, s. 159; 25, s. 5.]

5 Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittäminen

Tässä luvussa käsitellään lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskentaa aikaisemmin kuvatulle ilmanvaihtokoneelle ja ilmanvaihtojärjestelmälle (keskitetty ilmanvaihtojärjestelmä asuinkerrostaloon).

Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskentaa käsitellään ympäristöministeriön Tasaustaslaskentaoppaan 2012 liitteessä 4 ja rakentamismääräyskokoelman osassa D5. LVI-ohjekortti (LVI 38- 10515) käsittelee tätä asiaa tiivistetysti. Lämmöntalteenoton

vuosihyötysuhdetta tarvitaan, kun osoitetaan lämpöhäviöiden täyttävän rakentamismääräyskokoelmien määräykset lämpöhäviöiden tasauslaskennassa. [12, s. 1.]

Kuten aikaisemmassa luvussa 3.3 on mainittu, tulee lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen olla vähintään 45 %. Toisaalta ilmanvaihdon tarvitsemaa lämpöenergiaa voidaan pienentää vaipan lämmöneristävyyttä ja ilmanpitävyyttä parantamalla tai vaihtoehtoisin menetelmin kuten ulkoilman esilämmityksellä. Lämmöntalteenottolaitteen toimittaja määrittää laitteen tuloilman lämpötilahyötysuhteen SFS-EN 308:n mukaan, tai muulla hyväksytyllä menetelmällä (3.2.4).

5.1 Laskennassa tarvittavia käsitteitä

Vuosihyötysuhteen määrittämisen lähtötietoina tarvitaan jäätymissuojaus ja sen mahdollinen tuloilman rajoitus, tulo- ja poistoilman suhde, ulkoilman pysyvyyskäyrästä sekä tuloilman lämpötilasuhde. Huomioitavaa on myös se, ettei laskentamenetelmä pyri ottamaan kaikkea mahdollista energiankulutusta huomioon todellisessa käyttötilanteessa. [17, s. 2.]

Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskennassa oletetaan, että sisäilman lämpötila on läpi vuoden +21 °C. Poistoilmasta talteenotettava lämpö, tulee käyttää rakennuksen tuloilman tai tilojen lämmitykseen lämmityskauden aikana. Rakennuksen poistoilman vuosihyötysuhde tarkoittaa koko rakennuksen ilmanvaihdon tarvitseman lämpömäärän suhdetta tilanteeseen, kun rakennuksessa ei ole lämmöntalteenottoa. Vuosihyötysuhteen laskenta ei huomioi vuotoilmanvaihdon vaatimaa lämpömäärää. [17, s. 2.]

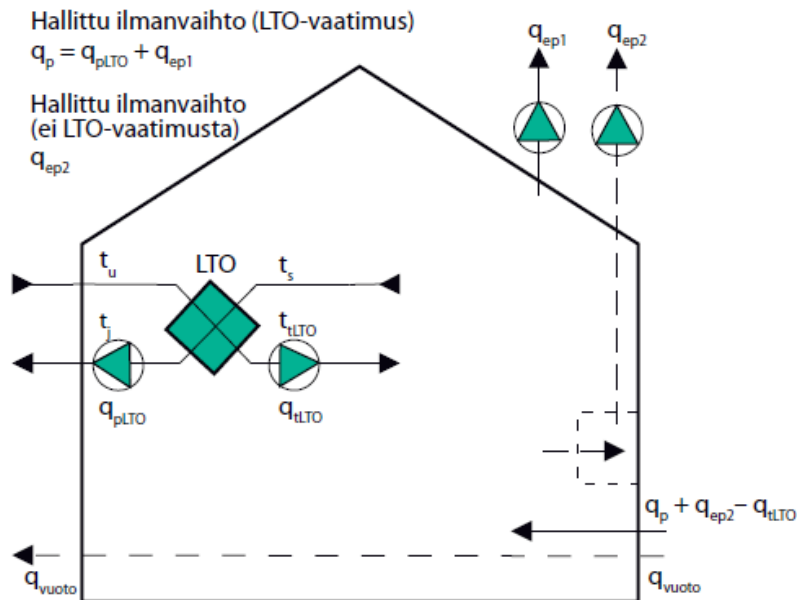
Mikäli lämmöntalteenottolaitteiston rakentaminen osoitetaan epätarkoituksenmukaiseksi, tilan lämpötila lämmityskaudella on alle +10 °C tai poistoilman likaisuus estää laitteiston toiminnan, voidaan lämmöntalteenottolaitteiston rakentamisesta luopua ilman energiankulutuksen pienentämistä [4, s. 16.]. Poistoilman lämpötilana tulee käyttää keskimääräistä huonelämpötilaa, mikäli ilmanvaihtokone palvelee eri lämpöisiä tiloja, tulee poistoilman lämpötila jyvittää [17, s. 2].

Lämmitystarveluku on lämpötilaeron sekä esiintymisajan tulo, se kuvaa lämmitysenergian tarvetta. Lämmöntarveluku lasketaan lämmityskaudella ulkoilman lämpötilaan +12 °C asti. Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittäminen sisältää vain ilman-

vaihdon lämmitykseen kuuluvaa laskentaa, siinä ei huomioida puhaltimien ja pumppujen sähkönkulutusta. [17, s. 3.]

5.2 Ilmavirrat rakennuksessa

Rakennuksen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskentaan vaikuttavat useat eri ilmavirrat. Osa niistä on hallittuja ja osa hallitsemattomia. Osa hallituista ilmavirroista lasketaan mukaan LTO-vaatimuksen piiriin ja osa ei. Kuvasta 13 sekä taulukosta 8 selviää tarkemmin, mikä ilmavirta tarkoittaa mitään.



Kuva 13. Poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittämisessä käytettävät ilmavirrat [17, s. 4].

Taulukko 8. Rakennuksen ilmavirrat kuvasta 13

q_p	kokonaispoistoilmavirta
q_{pLTO}	lämmöntalteenottolaitteen kautta kulkeva poistoilmavirta
q_{ep1}	erillispoistot, jotka kuuluvat lämmöntalteenottopiiriin
q_{ep2}	erillispoistot, jotka eivät kuulu lämmöntalteenottopiiriin
q_{vuoto}	vuotoilma rakennuksesta ulos sekä rakennukseen

Rakennukset suunnitellaan lämmityskautta silmällä pitäen usein alipaineiseksi (tuloilma hieman pienempi kuin poistoilma), jottei kosteus pääse tunkeutumaan rakennuksen rakenteisiin. Alipaineisuudesta johtuen osa tuloilmavirrasta tulee vuotoilmana. Ilmavirtojen suhde huomioidaan LTO:n vuosihyötysuhteen laskennassa. Rakennuksissa on myös aina hallitsematonta ilmanvaihtoa, joka johtuu mm. paine-eroista, lämpötilaeroista, rakennuksen korkeudesta ja tuulesta. Vuotoilmavirta eli läpituuleminen on yhtä suurta sekä rakennukseen että rakennuksesta. Lämpöhäviölaskelmissa vuotoilmavirta osoitetaan omana lukunaan. [17, s. 4.]

5.3 Laskennassa käytettävät ilmavirrat

Asuinkerrostalossa käytettävät ilmanvaihtokoneen käyntiajat ja ilmavirrat käyvät ilmi luvussa 3.4. Käyttöajalla painotettu poistoilmavirta lasketaan taulukon 9 mukaisesti. Ilmanvaihdon ilmavirtojen tulee olla samat suunnitelmissa ja toteutuksessa. Todellisuudessa LTO:n vuosihyötysuhteen laskennassa käytetään suunniteltuja ilmavirtoja, standardin mukaisia kokonaisilmavirtoja ei ole mielekäs käyttää. Ne tulisi jakaa rakennuksen eri tilojen ja ilmanvaihtokoneiden kesken. Toisen ongelman muodostaisi ilmanvaihtokoneiden toimintapisteen määrittäminen kuvitteellisessa tilanteessa, kun todellisuudessa ne tullaan valitsemaan D2/2012:n perusteella määritettyjen tilakohtaisten ilmavirtojen pohjalta. [17, s. 4.]

Taulukko 9. Käyntiajalla painotettu poistoilmavirta lasketaan kullekin käyttötarkoituksen rakennukselle huomioiden rakennuksen käyntiaikasuhteet ja ilmavirrat D3:n ja D2:n mukaisesti. Laskelmassa käytetty poistoilmavirta on otettu Petterin suunnitelmista.

Vuorokautinen käyntiaikasuhte t_d , asuinkerrostalossa	Viikoittainen käyntiaikasuhte t_v , asuinkerrostalossa	Poistoilmavirta m^3/S , esimerkki koh-teessa	Käyntiajoilla painotettu poistoilmavirta $q = m^3/S$, esimerkkikoh-teessa
24/24	7/7	0,776	0,766
$24/24 \times 7/7 \times 0,776$			

[4, s. 18–19; 17, s. 4.]

5.4 Asuntoja palvelevan ilmanvaihtokoneen vaatima lämmitysenergia

Rakennuksen LTO:n vuosihyötysuhteen määrittämisen piiriin kuuluu ottaa huomioon kaikki poistoilmavirrat, jotka kuuluvat D2:n mukaan lämmöntalteenoton vaatimuksen piiriin [17, s. 5]. Tässä työssä tarkastellaan kuitenkin vain asuntoja palvelevaa keskitettyä ilmanvaihtokonetta.

Poistoilmapuhaltimen aiheuttama ilman lämpeneminen voidaan halutessa huomioida LTO:n vuosihyötysuhteen laskennassa. Kanavistossa tapahtuva viileneminen ja lämpeneminen tulee huomioida laskelmissa, mikäli sillä on suuret vaikutukset ulko- ja poistoilmaan. [17, s. 7.] Tässä luvussa käsitellään uudelleen ilmanvaihdon lämmitysenergian laskentaan liittyvää laskentaa, jotta päästään kiinni, miten muodostetaan lämmitystarveluvut, joilla LTO:n vuosihyötysuhde laskenta tehdään käsin laskennassa.

Ilmanvaihtokoneen vaatima lämmitysenergiatarve

$$Q_{iv} = C_p \rho q_p S_s \quad (6.1)$$

jossa

Q_{iv}	ilmanvaihdon tarvitsema lämmityskauden lämmitysenergia
C_p	ilman ominaislämpökapasiteetti, J/kg Kc
ρ	ilman tiheys, kg/m ³
q_p	lämmöntalteenoton läpi kulkeva poistoilmavirta, m ³ /s
S_s	huonelämpötilan ja ulkoilman lämmitystarveluku, Kd (kuvaa ilmanvaihdon tarvitsemaa kokonaislämpöenergiaa), luku 6.1

$$S_s = \sum (t_s - t_u) \Delta t \quad (6.2)$$

t_s	huonelämpötila °C (poistoilman lämpötila)
t_u	ulkoilman lämpötila
Δt	aikajakso vuodesta, jolloin lämpötilaero ($t_s - t_u$) esiintyy, d

5.5 Asuntoja palvelevan ilmanvaihtokoneen poistoilmasta talteenotettu lämpöenergia

Poistoilmasta talteen saatava lämpöenergia olisi 0, mikäli jäteilman lämpötila olisi sama kuin huoneilman eli poistoilman. Jos poistoilmasta saatava lämpöenergia olisi yhtä paljon kuin ilmanvaihdon tarvitsema lämpöenergia, puhallettaisiin jäteilma ulos ulkoilman lämpöisenä. [17, s. 6–7.]

Poistoilmasta talteenotettu lämpöenergia

$$Q_{LTO} = C_p \rho q_p S_j \quad (7.1)$$

jossa

Q_{LTO}	poistoilmasta talteenotettu lämmitysenergia lämmityskaudella
C_p	ilman ominaislämpökapasiteetti, J/kg K
ρ	ilman tiheys, kg/m ³
q_p	lämmöntalteenoton läpi kulkeva poistoilmavirta, m ³ /s
S_j	huonelämpötilan ja jäteilmän lämmitystarveluku, Kd (kuvaa lämmöntalteenotto- laitteella talteenotettua lämpöenergiaa poistoilmapuolelta)

$$S_j = \sum (t_s - t_j) \Delta t \quad (7.2)$$

jossa

t_s	huonelämpötila °C (poistoilman lämpötila)
t_j	jäteilmän lämpötila
Δt	aikajakso vuodesta, jolloin lämpötilaero ($t_s - t_j$) esiintyy, d

[17, s. 7.]

Lämmöntalteenotolla talteenotettua lämpöenergiaa voidaan tarkastella myös tuloilmapuolelta. Kaavan muoto pysyy samana kuin tilanteessa, jossa tarkastellaan poistoilmasta talteenotettua lämpöä, mutta termit muuttuvat. Tällöin lämmöntalteenoton läpi kulkevana ilmavirtana tarkastellaankin tuloilmavirtaa q_{tLTO} , eikä poistoilmavirtaa q_p . Tämän lisäksi lämmitystarveluku S_j saa muodon $S_T = (t_{tLTO} - t_u) \Delta t$, jossa t_{tLTO} on tuloilman lämpötila LTO:n jälkeen. [17, s. 7.]

5.6 Vuosihyötysuhteen laskenta

Vuosihyötysuhteen määrittäminen ei ole ongelmaton näkökulmasta. Jäätymisenestön toimintaan vaikuttaa kohteen kosteuskuormat, ilmanvaihtojärjestelmä ja lämmöntalteenottolaitteen malli, kuten aikaisemmissakin luvuissa on kerrottu. Suunnitteluvaiheessa ei ole aina tiedossa kaikkia todellisia arvoja, ja tämän takia asuinkerrostaloissa on koettu hyväksi käyttää suunnitteluvaiheessa jäteilmän lämpötilan alarajana +5 °C:ta. Mitä suurempi on lämmöntalteenottolaitteen lämpötilahyötysuhde, ja mitä kylmemmät sääolot, sitä suurempi vaikutus jäätymissuojauksella on. [17, s. 8.]

Vuosihyötysuhde η_a

$$\eta_a = \frac{Q_{LTO}}{Q_{iv}} \quad (8.1)$$

eli

$$\eta_a \frac{C_p \rho q_{tLTO} S_T}{C_p \rho q_p S_s} = \frac{C_p \rho q_p S_j}{C_p \rho q_p S_s} \quad (8.2)$$

Koska ilman ominaislämpökapasiteetit ja tiheydet ovat yhtä suuret, saa yhtälö muodon

$$\eta_a \frac{q_{tLTO} S_T}{q_p S_s} = \frac{q_p S_j}{q_p S_s} \quad (8.3)$$

Yhtälö voidaan esittää myös muodossa

$$\eta_a \frac{R_T S_T}{S_s} = \frac{R_p S_j}{S_s} \quad (8.4)$$

jossa

R_t	tuloilmavirran ja poistoilmavirran suhde (tulo/poisto)
R_p	poistoilmavirran ja kaikkien poistoilmavitojen suhde (1)
S_s	huonelämpötilan ja ulkoilman lämmitystarveluku, K_d (kuvaa ilmanvaihdon tarvitsemää kokonaislämpöenergiaa)
S_j	huonelämpötilan ja jäteilman lämmitystarveluku (kuvaa poistoilman kautta lämmöntalteenottolaitteella talteenotettua lämpöenergiaa), K_d
S_t	huonelämpötilan ja tuloilman lämmitystarveluku (kuvaa tuloilman kautta lämmöntalteenottolaitteella talteenotettua lämpöenergiaa), K_d

[17, s. 8.]

5.7 Laskenta lämmitystarveluvuilla

Lämpöhäviöiden tasauslaskelmaa varten tehtävä lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskenta tehdään vain lämmityskaudelle (ulkolämpötila alle 12 °C). Näin laskettu vuosihyötysuhde täyttää lämpöhäviövaatimukset. Rakennuksen LTO:n vuosihyötysuhde laskenta tehdään säävyöhykkeiden 1–2 ulkoilmanlämpötietojen perusteella. Ulkoilman lämpötilat on laskettu taulukon 10 mukaisesti pysyvyystietojen muotoon, joka il-

moittaa prosentteina, kuinka paljon vuodesta (365 päivää) ulkoilma on tiettyä lämpötilaa kylmempää. [12, s. 58, 61.]

$$S_s = \frac{(t_n - t_{n-1})x365}{100(t_s - t_u)} \quad (9.1)$$

$$S_T = \frac{(t_n - t_{n-1})x365}{100(t_{LTO} - t_u)} \quad (9.2)$$

$$S_j = \frac{(t_n - t_{n-1})x365}{100(t_s - t_j)} \quad (9.3)$$

jossa

t_n	tarkasteltavan lämpötilan ajanhetki
t_{n-1}	tarkasteltavan lämpötilan edeltävä ajanhetki
365	vakio (1 vuosi= 365 päivää)
100	vakio, jonka avulla pysyvyysskäyrän luku saadaan prosenteiksi
t_s	jäteilman lämpötila
t_u	ulkoilman lämpötila
t_{LTO}	LTO:n jälkeinen lämpötila
t_j	jäteilman lämpötila

[17, s. 9.]

Taulukko 10. LTO:n vuosihyötysuhteen laskennassa käytettävät pysyvyystiedot [17, s. 9].

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

5.8 Esimerkki LTO:n vuosihyötysuhteen laskennasta lämmitystarveluvuilla

Kohdassa 4.2.1 on laskettu, että poistoilmavirralla 0,776 m³/s ja tuloilmavirralla 0,699 m³/s tuloilmavirran ja poistoilmavirran suhde on 90 % ($R_t = 0,90$). Lämmönsiirtimen lämpötilahyötysuhteella 80 % tuloilman lämpötilahyötysuhteeksi on saatu 84 % ja poistoilman lämpötilahyötysuhteeksi 76 %. [17, s. 9.]

5.8.1 Jäteilman lämpötilan rajoittaminen

Ulkoilman ollessa -20 °C jäteilman lämpötila lasketaan ilman rajoituksia alla esitetyllä tavalla kaavan 10.1 mukaisesti.

$$t_j = t_s - \eta_p x (t_s - t_u) \quad (10.1)$$

$$21 - 0,76x(21 - (-20)) = -10,16\text{ °C}$$

Jäätymisenestön avulla (alin sallittu jäteilman lämpötila) jäteilman lämpötila tulee rajoittaa niin, että se on vähimmillään $+5\text{ °C}$ eikä $-10,16\text{ °C}$. Tällöin poistoilman lämpötilasuhde voi enimmillään olla 39% [$\eta_p = (21-5)/(21-(-20))$]. Tällöin tuloilman lämpötilasuhde on $43,4\%$ ($39\% / 0,9$), joten tuloilman lämpötila kohoaa vain $-2,2\text{ °C}$:seen eikä $+14,4\text{ °C}$:seen. [17, s. 9.]

$$t_t = t_u + \eta_t x (t_s - (-t_u)) \quad (10.2)$$

Jäätymisenestosta johtuen tuloilman lämmitystarveluku (S_t), ei ole niin suuri kuin se voisi olla tilanteessa, jossa ei huomioida jäätymisenestoa alimman sallitun jäteilman lämpötilan kautta. Lasketaan tuloilman lämmitystarveluku kaavalla 10.2 käyttäen rajoitettua tuloilman lämpötilaa. Samoin myös poistoilman lämmitystarveluku lasketaan käyttäen alinta sallittua jäteilman lämpötilaa $+5\text{ °C}$, mikäli jäteilman lämpötila on yli $+5\text{ °C}$, käytetään jäteilman arvona rajoittamatonta arvoa. [17, s. 9.]

$$S_T = \frac{(0,08 - 0)x365}{100(-2,2 - (-20))} = 5,2\text{ Kd}$$

$$S_j = \frac{(0,08 - 0)x365}{100(21 - 5)} = 4,67\text{ Kd}$$

$$S_s = \frac{(0,08 - 0)x365}{100(21 - (-20))} = 11,97$$

5.8.2 Tuloilman lämpötilan rajoittaminen

Useimmiten tuloilman lämpötilaksi säädetään 17 °C. Toisin kuin jäätymisenesto, ei tuloilman rajoittaminen ole pakollinen toiminta varsinkaan asuinrakennustaloissa. [17, s. 9.] Huomioitavaa kuitenkin on, ettei tuloilman sisäänpuhalluslämpötila nouse yli suunnitteluarvon +21 °C.

Mikäli tuloilman sisäänpuhalluslämpötila rajoitettaisiin 17 °C:seen, voisi tuloilman lämpötilasuhde olla 56 % ulkoilman ollessa 12 °C $[(17-12)/(21-12)]$. Tuloilman lämpötila- hyötysuhteella 84 % ja ulkoilman lämpötilalla 12 °C tuloilman lämpötila kohoaisi 19,56 °C:seen poistoilman lämpötilan ollessa 21 °C. Jäteilman lämpötila kohoaisi puolestaan 14,16 °C:seen ilman rajoituksia. Tässä työssä käytetään kuitenkin rajoituksia, jotta saadaan yksinkertaistettua tehtävä. [17, s. 9.]

$$S_T = \frac{(72,20 - 68,80) \times 365}{100(17 - 12)} = 62,1 \text{ Kd}$$

$$S_j = \frac{(72,20 - 68,80) \times 365}{100(21 - 16,50)} = 55,8 \text{ Kd}$$

$$S_s = \frac{(72,2 - 68,8) \times 365}{100(21 - 12)} = 111,7$$

5.8.3 Vuosihyötysuhteen muodostuminen

Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittäminen tapahtuu siten, että taulukossa 10 esitetyt lämpötilan pysyvyystietojen avulla lasketaan lämmöntarveluvut kullekin ulkolämpötilalle yllä esitetyllä tavalla, aina ulkolämpötilasta -21 °C ulkolämpötilaan 12 °C. Tämän jälkeen lämmöntarveluvut lasketaan yhteen ja saadaan taulukon 11 mukaiset lämmöntarveluvut koko vuodelle ($S_s = 5050 \text{ Kd}$, $S_j = 3545 \text{ Kd}$ ja $S_t = 3219 \text{ Kd}$). [17, s. 9.]

Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen lopullinen määrittäminen tapahtuu kaavan 8.4 mukaisesti alla esitetyllä tavalla.

Tuloilman lämpötilahyötysuhteen kautta

$$\eta_a \frac{0,9 \times 3545}{5050} = 63,1 \%$$

Poistoilman lämpötilahyötysuhteen kautta

$$\eta_a \frac{1,0 \times 3219}{5050} = 63,7 \%$$

Laskelmista havaitaan, ettei tuloilman ja poistoilman lämpötilahyötysuhteiden kautta lasketut lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteet mene täysin tasan. Tällä ei kuitenkaan ole merkitystä, koska ero on niin pieni. Käytetään tulevaisuudessa tehtävissä kuitenkin aina alaspäin pyöristettyä arvoa eli tässä tapauksessa lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on 63 %.

Se, miksi taulukossa 11 esitetty lämmöntalteenoton vuosihyötysuhtelaskelma on tehty vain ulkolämpötilaan 12 °C, perustuu siihen, että näin laskettua arvoa käytetään lämpöhäviöiden tasauslaskennassa, kun määritetään, täyttääkö rakennus lämpöhäviövaatimukset. [17, s. 10.]

Taulukko 11. Poistoilman lämmöntalteenoton esimerkkilaskelma Lohjan Petterin lähtötiedoilla, kun SFS-EN 308:n mukainen lämpötilahyötysuhde on 80 %. Esimerkkilaskelma jättilman lämpötila on rajoitettu siten, ettei se laske alle +5 °C:seen. Tämän lisäksi tuloilma on rajoitettu maksimissaan +17 °C:seen.

ttLTO maks., °C		17							Poistoilmavirta, m ³ /s	0,776	Toimittajan ilmoittama lämpötilahyötysuhde					
tjLTO min., °C		5							Tuloilmavirta, m ³ /s	0,699	SFS-EN 308	80,00				
ts, °C		21							RLTO (tulo/poisto)	0,90						
													Tuloilman lämpötilasuhde	0,84		
													Poistoilman lämpötilasuhde	0,76		
tu °C	Aika vuodesta, %	ttLTO maks. °C	Ilman rajoituksia			Ilman rajoituksia			Rajoituksilla		Rajoituksilla		vuodessa päiviä			
			tj, °C	min. °C	ts °C	tj °C	ttLTO °C	tj °C	ttLTO °C	RLTO	nt	np	SS, Kd (ts - tu)	ST, Kd (ttLTO - tu)	SJ, Kd (ts - tj)	
-21	0	17	5	21	-10,9	14,3	5,0	-3,2	0,90	42 %	38 %	0	0,0	0		
-20	0,0799	17	5	21	-10,2	14,4	5,0	-2,2	0,90	43 %	39 %	12,0	5	5		
-19	0,3311	17	5	21	-9,4	14,6	5,0	-1,2	0,90	44 %	40 %	37	16	15		
-18	0,5594	17	5	21	-8,6	14,8	5,0	-0,2	0,90	46 %	41 %	32	15	13		
-17	0,8333	17	5	21	-7,9	14,9	5,0	0,8	0,90	47 %	42 %	38	18	16		
-16	1,199	17	5	21	-7,1	15,1	5,0	1,8	0,90	48 %	43 %	49	24	21		
-15	1,872	17	5	21	-6,4	15,2	5,0	2,8	0,90	49 %	44 %	88	44	39		
-14	2,763	17	5	21	-5,6	15,4	5,0	3,8	0,90	51 %	46 %	114	58	52		
-13	3,550	17	5	21	-4,8	15,6	5,0	4,8	0,90	52 %	47 %	98	51	46		
-12	4,349	17	5	21	-4,1	15,7	5,0	5,8	0,90	54 %	48 %	96	52	47		
-11	4,932	17	5	21	-3,3	15,9	5,0	6,8	0,90	56 %	50 %	68	38	34		
-10	5,445	17	5	21	-2,6	16,0	5,0	7,8	0,90	57 %	52 %	58	33	30		
-9	6,050	17	5	21	-1,8	16,2	5,0	8,8	0,90	59 %	53 %	66	39	35		
-8	7,032	17	5	21	-1,0	16,4	5,0	9,8	0,90	61 %	55 %	104	64	57		
-7	8,459	17	5	21	-0,3	16,5	5,0	10,8	0,90	63 %	57 %	146	93	83		
-6	10,11	17	5	21	0,5	16,7	5,0	11,8	0,90	66 %	59 %	163	107	96		
-5	12,00	17	5	21	1,2	16,8	5,0	12,8	0,90	68 %	62 %	179	123	110		
-4	14,12	17	5	21	2,0	17,0	5,0	13,8	0,90	71 %	64 %	193	138	124		
-3	16,29	17	5	21	2,8	17,2	3,0	14,8	0,90	83 %	75 %	190	141	143		
-2	18,76	17	5	21	3,5	17,3	3,9	15,8	0,90	83 %	74 %	207	160	154		
-1	21,45	17	5	21	4,3	17,5	4,8	16,8	0,90	82 %	74 %	216	175	159		
0	25,03	17	5	21	5,0	17,6	5,7	17,0	0,90	81 %	73 %	274	222	200		
1	31,24	17	5	21	5,8	17,8	6,6	17,0	0,90	80 %	72 %	453	363	326		
2	36,80	17	5	21	6,6	18,0	7,5	17,0	0,90	79 %	71 %	386	304	274		
3	41,97	17	5	21	7,3	18,1	8,4	17,0	0,90	78 %	70 %	340	264	238		
4	45,86	17	5	21	8,1	18,3	9,3	17,0	0,90	76 %	69 %	241	185	166		
5	49,08	17	5	21	8,8	18,4	10,2	17,0	0,90	75 %	68 %	188	141	127		
6	52,36	17	5	21	9,6	18,6	11,1	17,0	0,90	73 %	66 %	180	132	119		
7	55,71	17	5	21	10,4	18,8	12,0	17,0	0,90	71 %	64 %	171	122	110		
8	59,01	17	5	21	11,1	18,9	12,9	17,0	0,90	69 %	62 %	157	108	98		
9	62,24	17	5	21	11,9	19,1	13,8	17,0	0,90	67 %	60 %	141	94	85		
10	65,56	17	5	21	12,6	19,2	14,7	17,0	0,90	64 %	57 %	133	85	76		
11	68,80	17	5	21	13,4	19,4	15,6	17,0	0,90	60 %	54 %	118	71	64		
12	72,20	17	5	21	14,2	19,6	16,5	17,0	0,90	56 %	50 %	112	62	56		
													YHTEENSÄ	5050	3545	3219
													Vuosihyötysuhde	63 %	poistoilmapuolelta	
													Vuosihyötysuhde	63 %	tuloilmapuolelta	

6 Geoenergia

Yleisesti vesistöistä ja maa- sekä kallioperästä saatavaa lämmitys- ja jäähdytysenergiaa kutsutaan geoenergiaksi. Maasta peräisin olevaa lämpöä kutsutaan usein geometriiseksi lämmöksi. Geoenergiaa eli maalämpöä syntyy kolmen eri lämmönlähteen välityksellä: auringon lämpösäteilystä, radioaktiivisten aineiden hajotessa sekä maapallon ytimen ja sisäosien lämpöenergiana. Helpoimmin lämpöä saadaan kerättyä talteen

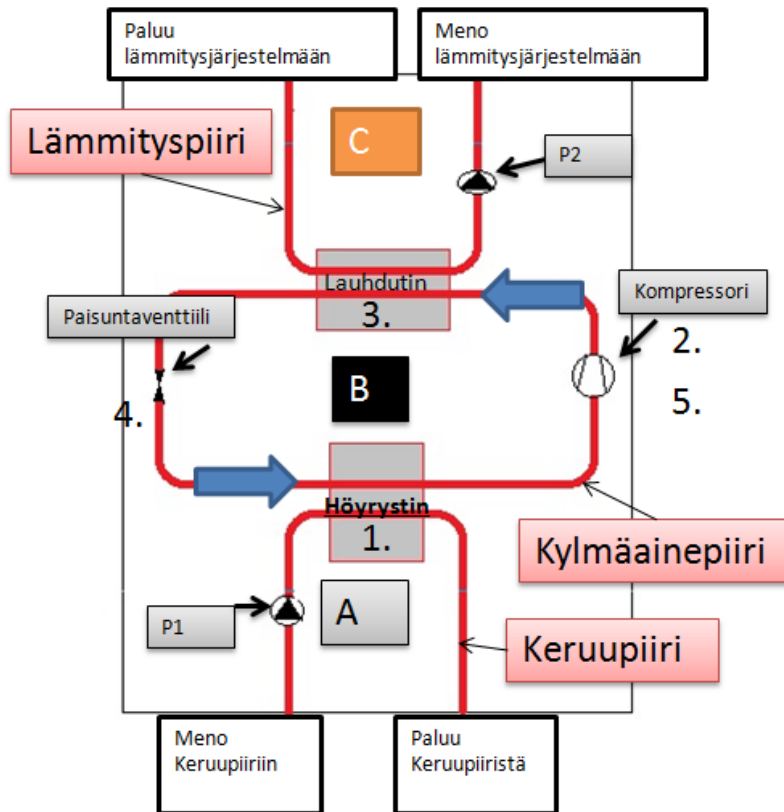
ihmisten hyödynnettäväksi auringon lämpösäteilyä, joka on varastoitunut vesistöihin, kallioperään ja maan pintakerrokseen. [14, s. 268–269.]

Geoenergian saatavuuteen vaikuttavat lämmönlähteen lämpötila, joka varsinkin maaperänsalalta on sidonnaista maaperän kykyyn sitoa lämpöä. Maanpinnan keskilämpötila on 2 °C suurempi kuin ilman ja vuodenajoista johtuvan maaperän lämmönvaihtelu ulottuu noin 10–15 metrin syvyyteen, mikäli maaperän lämpötasapainoa ei häiritä. Lisäksi maaperän lämpötila kasvaa noin 0,8–1,5 °C 100:aa metriä kohden mentäessä vuosivaihteluvyöhykkeen yli. Maan keskilämpötila eteläsuomessa on ympäri vuoden noin 8 °C heti vuosivaihteluvyöhykkeen alapuolella. [14, s. 270–272, 277.] Tämän työn näkökulmasta tutustutaan vain maaperästä saataviin lämmönlähteisiin, energiakaivoon ja vaakaputkistoon.

6.1 Maalämpöpumpun toiminta

Lämpöpumppu toimii laitteena, joka pystyy siirtämään kompressorin, höyrystimen, lauhduttimen ja paisuntaventtiilin avulla lämpöenergiaa kylmemmästä aineesta lämpöisempään käyttäen apuna ulkopuolista energiaa, useimmiten sähköä (kuva 14).

1. Paisuntaventtiilin (4) tehtävänä on syöttää kylmäaine höyrystimeen (1), jossa kylmäaine muuttuu kaasuksi, Kun kylmä aine höyrystyy, se pystyy sitomaan itseensä lämpöä maakeruupiirin (A) liuoksesta. [14, s. 169–270.]
2. Kompressorin (2) tehtävänä on nostaa höyrystynyt kaasu korkeaan lämpötilaan ja paineeseen. Tämän jälkeen höyrystimessä ja kompressorissa (sähkövastuksen avulla) sitoutunut lämpö luovutetaan lauhduttimessa (3) lämmitysjärjestelmään (C). [14, s. 169–270.]
3. Tämän jälkeen lauhduttimessa uudelleen nesteeseen muodon saanut kylmä aine, lähtee uudelle lämpöenergian keruukierrokselle. [14, s. 169–270.]



Kuva 14. Kuvassa esitetään lämpöpumpun kytkentäkaavio ja toiminta yksinkertaistetusti [14, s. 269]

Kompressorin lämpökerroin on useimmiten noin kolme, eli 1/3 lämpöpumpun tuottamasta lämmöstä on peräisin kompressorista ja 2/3 keruupiiristä (3 kW lämpöä tuotetaan 1 kW:lla sähköä). Mitä pienempi on keruupiirin ja lämmityspiirin lämpötilaero (ΔT), sitä parempi on kompressorin lämpökerroin. [14, s. 270.]

Parhaiten maalämpöä pystytään hyödyntämään kohteissa, joiden lämmitysjärjestelmät toimivat matalassa lämpötilassa: vesikiertoinen lattialämmitysjärjestelmä ja ilmanvaihtokoneen tuloilman lämmitysjärjestelmät. Lisäksi lämpöpumput helpottavat viilennysmahdollisuuden lisäämistä rakennukseen. [14, s. 270.]

6.2 Vaakaputkisto

Vaakaputkisto asennussyvyys on riippuvainen maaperästä, johon asennus tehdään, koska eri maaperillä on eri kyky sitoa lämpöä. Savimaassa putket asennetaan noin 1 m:n syvyyteen ja hiekkamaassa 1–1,5 m:n syvyyteen. Putkien lenkkien tulisi sijaita

noin 1,5 m:n päässä toisistaan. Asennettavan putken suositellaan olevan polyeteenimuoviputkea. [14, s. 272.]

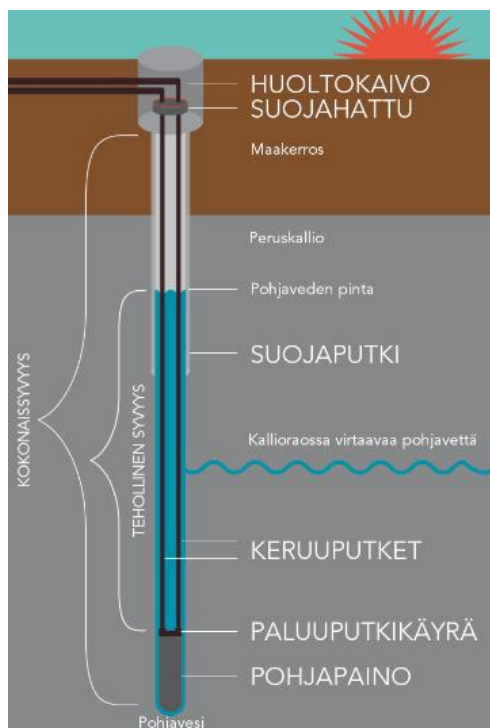
Taulukko 12. Vaakaputkistolla saatavia ohjeellisia tehon ja energian määriä [14, s. 272.]

Sijainti	Savi		Hiekka	
	Energia (kWh/m)	Max.teho W/m	Energia (kWh/m)	Max.teho W/m
Etelä-Suomi	50 – 60	20	30 – 40	14
Keski-Suomi	40 – 45	18	15 – 20	10
Pohjois-Suomi	30 – 35	14	0 – 10	5

6.3 Energiakaivo

Lämmitykseen tai jäähdytykseen käytettävää kallioperään porattavaa kaivoa kutsutaan energiakaivoksi. Kaivon toiminta perustuu väliaineen lämmönjohtavuuteen. Energiakaivolla on vaikutuksia myös kaivoa ympäröivän kallioperän lämpötilaan, mitä kauemmaksi mennään, sitä pienemmät vaikutukset ovat. Vaikutukset voivat ulottua jopa kymmenien metrien päähän energiakentästä. Pohjavedellä on kuitenkin tasaava vaikutus ympäröivän kallioperän lämpötilaan.

Usein energiakaivon rakenteelliseksi eliniäksi lasketaan 50–100 vuotta, tämä antaa lähtökohdat energiakaivojärjestelmän mitoittamiselle. Kaivon toimivuuteen eniten vaikuttava tekijä pitkällä aikavälillä on kaivoon kohdistuva nettolämpötase = maaperään annettu lämpö-maaperästä otettu lämpö. [14, s. 274–276]. Yleisesti voidaan ajatella energiakaivon eliniän pidentyvän, mikäli se toimii kesäaikana jäähdytys- ja talviaikana lämmitysjärjestelmänä. Tällöin energiakaivoon ajetaan kesällä lämpöä, joka parantaa nettolämpötaseen tasapainoa.



Kuva 15. Tehollisen syvyyden muodostuminen [26].

Teholliseksi syvyydeksi (kuva 15.) porakaivosta kutsutaan osaa, joka on täyttynyt pohjavedellä. Mikäli pohjavesi nousee maakerrokseen asti, on siitä saatava energiateho 1/3 kalliosta saatavasta osuudesta. Suurelta osin kuivaksi jääneen porakaivon lämmönsiirtokykyä voidaan pyrkiä parantamaan täyttämällä yläosa esimerkiksi betoniitillä. [14, s. 274–276.]

Porakaivosta saatava lämpöteho on arviolta noin 10–30 W/m (tehollinen syvyys). Maa-lämpöpumpun toimittaja- ja/tai urakoitsija määrittää syvyyden porakaivolle. Porakaivon lopullisen syvyyden määrittää lämpöpumpun koko (tarvittava energiamäärä), kallioperän laatu, pohjaveden syvyys ja se, kuinka paljon on maakerrosta ennen kallioperän alkua. Lisäksi syvyyteen vaikuttaa tietenkin järjestelmän käyttötarkoitus. Energiakaivon kokonaishinta muodostuu porakaivon syvyyden perusteella. [26.]

6.4 Jäähdytyksen hyödyntäminen energiakaivosta

Useimmiten energiakaivon toiminta ja antoisuus paranevat talvella, kun kesällä sinne ajetaan lämmintä huoneilmaa, joka varastoituu kallioperään. Tällä on suorat vaikutukset energiakentän pitkäikäisyyteen (lämpötase tasapainottuu). Mikäli tarkoituksena on

myös jäähdyttää energiakaivolla, tulee tämä huomioida kaivon mitoittamisessa. Jos rakennuksessa on samanaikaisesti lämmitys- ja jäähdytystarvetta, toimii lämpöpumppu ensisijaisesti lämmitysverkoston vaatimusten mukaisesti. Etelä-Suomen maaperän tasapainolämpötila on +8 °C, joten talven jäljiltä varsinkin uusien energiakaivojen lämpöolot palautuvat nopeasti takaisin normaaliin tilaansa. [22, s. 10; 27; 14, s. 277–278.]

6.4.1 Vapaajäähdytys

Vapaajäähdytystilanteessa rakennuksessa on jäähdytystarvetta ja lämpöpumppu on pois toiminnasta. Ainoat energian kuluttajat ovat nesteitä kierrättävät kiertovesipumput. Mikäli halutaan siirtää 20–30 W/m jäähdytystehoa, vaatii tämä 10 °C:ta lämpötilaeroa. Tällöin liuksen keskilämpötila nousee lähelle + 20 °C:ta. Kun lisäksi huomioidaan lämpöhäviö verkostojen välillä (noin 1–3 °C), jää todelliseksi jäähdytystehoksi usein vain 10–20 W/m. [14. s. 277–278.] Puhuttaessa vapaajäähdytyksestä pitää huomioida, että voi olla myös vapaalämmitystä, kuten maakerrolla toteutetussa ilmanvaihdon esilämmityksessä.

6.4.2 Jäähdytys lämpöpumpulla

Energiakaivojen jäähdytystehoa voidaan parantaa kesäaikana ohjaamalla kaivon jäähdytyksessä syntynyttä lauhdelämpöä, joka on syntynyt, kun lämpöpumppua käytetään vedenjäähdytyskoneena. Tällöin liuksen ja maaperän lämpötilaero voi nousta 20–30 °C:teen tasolle. Näin saadaan energiakaivojen lämmönsiirtoteho kasvamaan. [14, s. 277–278.] Maassa tai vesistöissä kiertävistä lämmönkeruupiireistä saatava viileä kylmäaineneste on lämpöisempää kuin porakaivoista saatava kylmäaineneste [25, s. 5].

6.5 Ympäristöministeriön opas 2013 – Energiakaivo

Ympäristöministeriön oppaassa 2013 esitellään energiakaivojen suunnittelua ja rakentamista. Lisäksi sivulla 14 on esitelty lupatarpeen arviointi energiakaivolle. Kyseisellä sivulla esitetään, mitkä asiat vaikuttavat siihen, saadaanko energiakaivo rakentaa halutulle alueelle vai ei. Energiakaivon rakentamiseen vaaditaan maankäyttö- ja rakennuslain mukainen lupa, ellei kunta ole toisin päättänyt. Yhden kunnan alueella saattaa sijaita alueita, joissa saadaan rakentaa energiakaivo, ja alueita, joihin ei saada. Lisäksi

joillakin alueilla voi riittää pelkkä toimenpideilmoitus. Energiakaivolle saatetaan joutua hakemaan lupaa myös vesilain nojalla, mikäli energiakaivon epäillään aiheuttavan haittaa pohjavedelle. [27, s. 14.]

7 Case Petter



Kuva 16. Kuvassa esitetty Lohjan Petter oikealla ja Lohjan Margit vasemmalla, kuva on otettu kohteen 3D-mallista

Tässä luvussa kuvataan ja suunnitellaan järjestelmä, jossa ulkoilman esilämmityspatterit lämmittää ulkoilman ennen lämmöntalteenottoa. Järjestelmä suunnitellaan SRV:n toimesta vuonna 2015 valmistuneeseen kohteeseen nimeltä Lohjan Petteri. Kohde valikoitui esimerkkikohteeksi, koska SRV:n asuntotuotannon talotekniikkayksikkö on tehnyt viime aikoina muitakin esimerkkisuunnitelmia ja laskelmia kyseiseen kohteeseen. Esimerkkiratkaisujen ja laskelmien tekeminen yhteen ja samaan kohteeseen on siinä mielessä järkevää, että eri ratkaisuja voidaan vertailla toisiinsa luotettavasti. Tämän esimerkkiratkaisun lähtötietoina (taulukko 13) toimivat myös Lohjan Petterin suunnitelmista saatavat lähtötiedot.

Taulukko 13. Lohjan Petterin suunnitelmista otetut lähtötiedot, jotka toimivat esimerkkisuunnitelman lähtötietoina [16].

Nimitys	Tunnus	Mitoitusvirtaama	mitoituspainehäviö	sähköteho	Kaukolämpöteho	Toiminta lämpötilat
Tuloilmakone	301TK1	699 l/s	180 Pa (kanavisto)	2kW		
Poistoilmakone	301PK1	776 ls	200 Pa (kanavisto)	2kW		
Tuloilmapuhallin	TF1	500-1000 l/s				
Poistoilmapuhallin	PF1	500-1100 l/s				
Jälkilämmityspatteri	LP1				14 kW (sulatuksen aikana 20 Kw)	Vesi 50/30 °C
Jälkilämmityspatterin kiertovesipumppu	PU 1	17 l/s	10 pa			
Jälkilämmityspatterin lämmityspiirin ohitus/ "välisyöttö"	TV1	0,11 l/s				
Jäteilman alin sallittu lämpötila 5 °C						
Läpötilahyötysuhde 80 % (SFS - EN 308)						

Lohjan Petteriin suunnitellaan energiakaivoilla toteutettu esilämmityspiiri ja patteri, joissa kiertää etanolineste vapaakiertona. Vapaakierto tarkoittaa tilannetta, jossa hyödynnetään vain energiakaivosta saatavan nesteen lämpötilaeroa suhteessa ilmanvaihtokoneelle tulevaan ulkoilman lämpötilaan. Edellä kuvatussa ratkaisussa kiertovesipumppu kierrättää vesietanolinestettä esilämmityspatterin ja energiakaivon välillä. Vesietanolineste jäähtyy esilämmityspatterilla ja lämpiää uudelleen energiakaivossa. Kyseisessä ratkaisussa ei siis hyödynnetä laisinkaan lämpöpumppua ja sen sisältämää kompressoria, vaan ainut ostoenergia liittyy kiertovesipumpun kuluttamaan sähköenergiaan. Tällaisessa ratkaisussa energiakaivon tuottama lämpöenergia saadaan laskea mukaan lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteeseen. [28.] Huomioitavaa on, että tällaista ratkaisua voidaan myös kesäaikana käyttää päinvastaisesti tuloilman jäähdyttämiseen. Tässä esimerkissä ei kuitenkaan käsitellä jäähdytyksen vaikutuksia laskelmissa.

Aikaisemmissa luvuissa on käsitelty asioita ja määräyksiä, jotka tulee huomioida suunniteltaessa ulkoilman esilämmitykseen käytettävää järjestelmää. Lisäksi tässä osiossa tulee lisäyksiä myös teoriaan sitä mukaa, kuin järjestelmän suunnittelu etenee. Tämän suunnitelman tarkoituksena on ottaa kantaa laskennallisesti siihen, miten energiakaivoilla toteutettu esilämmityspatteri vaikuttaa lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteeseen, E-lukuun ja lämpöhäviöiden tasauslaskentaan. Lisäksi luvussa 8 esitetään yhteenveto työstä, jossa pohditaan sanallisesti esilämmityksen vaikutuksia ilmanvaihtokoneen SFP-lukuun.

Esilämmityspatterin suunnittelun alkaessa on hyvä tietää luvuissa 2-6 kuvatut asiat, kuten erityyppisten lämmöntalteenottolaitteiden toiminta ja käyttäytyminen jäätyminenestotilanteissa, termien tunteminen (lämpötilahyötysuhde, lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde, tuloilman ja poistoilman lämpötilasuhde, ostoenergia, E-luku jne.), sekä tietenkin se, miten tarvittavat arvot suunnitellaan ja kuinka niitä saa huomioida hyödyksi tai haitaksi kussakin laskelmassa. Lisäksi tulee tuntee laskennalliset lähtöarvot, kuten alin sallittu jäteilmän lämpötila, sisäänpuhalluslämpötila, käytettävät ilmamäärät kussakin laskentavaiheessa (LTO:n vuosihyötysuhteen laskennassa todelliset ja E-luvun laskennassa standardikäyttöiset) ja muut lähtötiedot.

7.1 Järjestelmän mitoituksen lähtökohdat

Edellä kuvatusta energiakaivoilla toteutetusta esilämmityspatterista saatava teho pohjautuu pitkälti patterimitoitukseen ja sen toimintaan, koska käytettävissä oleva Δt on rajallinen. Usein mitoitusilanteessa käytettävä Δt on 5–6 °C. [29.] Työn tarkoituksena on ollut selvittää järjestelmän toimivuutta lämmityskaudella ja jäähditys tulee vain hyvänä lisänä tässä järjestelmässä.

Luvussa 5.8.3 olevassa taulukossa 11 on esitetty lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdelaskenta. Kyseisestä taulukkoa tarkasteltaessa havaitaan, että mikäli käytetään 80 %:n lämpötilahyötysuhteen omaavaa vastavirtakennoa, pystytään lämmittämään ulkoilma 0 °C:sta aina 17 °C:seen huomioiden, ettei jäteilmankaan lämpötila laske alle 5 °C:n. Tarkoituksenani on mitoittaa mahdollisimman tehokas esilämmityspatteri samaiselle vastavirtakennolle. Tämän perusteella mitoitamme vapaakierrolla toteutetun esilämmityspatterin tehontarpeen ulkolämpötiloille –26...–0 °C.

Taulukko 14. SFS-EN 308:n mukaan lasketun 80 %:n lämpötilahyötysuhteen omaava vastavirtakenno pystyy lämmittämään ulkoilman 0 °C:sta aina 17 °C:seen

tu °C	Aika vuodesta, %	ttLTO		ts °C	Ilman rajoituksia		Ilman rajoituksia		Rajoituksilla °C	Rajoituksilla °C	RLTO	vuodessa päiviä			365		
		maks. °C	min. °C		tj °C	tj °C	ttLTO °C	tj °C				ttLTO °C	np	np	SS, Kd (ts - tu)	ST, Kd (ttLTO - tu)	SJ, Kd (ts - tj)
-2	18,76	17	5	21	3,5	17,3	3,9	15,8	0,90	83 %	74 %	207	160	154			
-1	21,45	17	5	21	4,3	17,5	4,8	16,8	0,90	82 %	74 %	216	175	159			
0	25,03	17	5	21	5,0	17,6	5,7	17,0	0,90	81 %	73 %	274	222	200			
1	31,24	17	5	21	5,8	17,8	6,6	17,0	0,90	80 %	72 %	453	363	326			
2	36,80	17	5	21	6,6	18,0	7,5	17,0	0,90	79 %	71 %	386	304	274			

7.2 Esilämmityspatterin mitoituksen lähtötiedot

Esilämmityspatterin vaatima teho saadaan laskettua kaavalla 11 tilanteessa, jossa ulkolämpötila kohoaisi aina järjestelmien mitoituslämpötilasta -26 °C lämpötilaan 0 °C .

$$\phi_{iv} = \rho_i c_{pi} q_{v,tulo} (T_{sp} - T_{lto,mit}) \quad (11)$$

jossa

ϕ_{iv}	Ilmanvaihdon esilämmityspatterin tehon tarve, W
ρ_i	ilman tiheys $1,2\text{ kg/m}^3$
c_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg K)
$q_{v,tulo}$	tuloilmavirta, m^3/s
T_{sp}	sisäänpuhalluslämpötila ennen LTO:a, °C
$T_{lto,mit}$	ulkoilman lämpötila mitoitus tilanteessa, °C

[30.]

Tuloilmavirta saadaan taulukosta 12, sisäänpuhalluslämpötila ennen LTO-kennoa olisi tarkoitus olla aikaisemmin mainittu 0 °C ja mitoituslämpötila on -26 °C säävyöhykkeellä 1, jossa Lohjan Petterkin sijaitsee. Näin ollen järjestelmän patterilta vaadituksi tehoksi saadaan laskettua $21,8\text{ kW}$,

$$\phi_{iv} = 1,2 \times 1000 \times 0,699 ((0 - (-26)) = 21800\text{ W} = 21,8\text{ kW}$$

Tämän jälkeen tulee selvittää kyseisen järjestelmän keruupiirin virtaus ja energiakaivojen lukumäärä ja syvyys. Yleisesti hyvänä nyrkkisääntönä käytetään, että virtauksen tulisi olla $0,4\text{--}0,5\text{ dm}^3/\text{s}$ energiakaivossa. Lisäksi aikaisemmin luvussa 6.3 on mainittu, että energiakaivosta saatava lämmitysteho on noin $10\text{--}30\text{ W/m}$. Keskusteltuani kuitenkin useamman maalämpötoimittajan suunnittelijan kanssa, olivat he yksimielisesti sitä mieltä, että tuo $10\text{--}30\text{ W/m}$ käsittää koko Suomen ja Etelä-Suomessa voidaan käyttää arvoa 43 W/m . Jäähdytysjärjestelmää mitoitettaessa on kuitenkin huomioitava, että saatava jäähdytysteho on noin 5 W/m vähemmän. Lisäksi energiakaivosta saatavan nesteen mitoituslämpötilana lämmityskaudella voidaan käyttää 4 °C ja palaava neste voi olla noin $0\text{--}(-2)\text{ °C}$. Palaava neste ei kuitenkaan saa olla tätä kylmempää, jottei järjestelmä vedä kallioperää jäähän. Jäähdytyskaudella kesäaikana vastaavat lämpötilat ovat puolestaan $8/12\text{ °C}$. [29.]

7.2.1 Energiakaivon syvyyden mitoitus

Käytetään tässä työssä energiakaivosta saatavalle teholle arvoa 36 W/m, jotta energiakaivo saataisiin varmemmin mitoitettua riittävän syväksi. Energiakaivojen mitoitus perustuu yleensä oletamaan, eikä koskaan voida olla 100 %:n varma saatavasta tehosta. Lisäksi tiedämme energiakaivoja toimittavien tahojen kanssa käytyjen puhelun-keskustelujen perusteella, että kaivo mitoitetaan yleensä syvimmillään noin 297 metrin syvyiseksi, koska syvempien kaivojen poraamista rajoittaa porauskaluston koko sekä siirrettävyys. [29.]

Tarvittavien kaivojen syvyys yhteensä

$$\frac{21\,800\text{ W}}{36\text{ W/m}} = 605,5\text{ m}$$

Tarvittavien kaivojen lukumäärä

$$\frac{605,5\text{ m}}{297\text{ m}} = 2,03\text{ kpl}$$

Näin ollen kaivoja tulisi olemaan kaksi kappaletta. Kummankin kaivon syvyydeksi tulisi 297 metriä. Tämä on mahdollista, koska kaivosta saatava teho on mitoitettu löyhemmin perustein kuin suunnittelijoiden mielestä olisi tarpeellista. Lisäksi on huomioitavaa, että tässä työssä jokainen kaivon syvyyttä koskeva metri on ajateltu teholliseksi metriksi, koska tiedossa ei ole tarkkaa tuntemusta kohteen maaperästä. Todellisuudessaahan voisi olla mahdollista, ettei järjestelmää olisi missään nimessä järkevää rakentaa kohteeseen, jos kallio alkaisi vasta 70 metrin syvyydessä.

7.2.2 Tarvittavan tilavuusvirran ja virtaavan nesteen määrittäminen

Virtaavana aineena käytetään etanolivesiseosta (etyylialkoholi), koska sitä ei luokitella ihmisille tai ympäristölle vaaralliseksi, toisin kuin glykolipohjaiset seokset. Yleisesti maalämpöjärjestelmissä käytetään nykypäivänä etanolivesiliuosta, jonka jäätymispiste on -17,6 °C. [27.] Tässä työssä järjestelmään tulee valita etyylialkoholi, jonka jäätymispiste on -30 °C ja pitoisuus 40,9 [p-%], koska patterissa virtaava neste on patterin välityksellä tekemisissä ulkoilman kanssa. Tästä johtuen järjestelmässä virtaavan nesteen tulee kestää jäätymättä koviakin pakkasia. Esilämmityspatterille menevän etanoli-

vesiseoksen lämpötila on +4 °C lämmityskaudella. Patterilta energiakaivoon palaavan nesteen lämpötila on puolestaan –2 °C lämmityskaudella. Järjestelmän Δt eli käytettävissä oleva lämpötila ero, on +6 °C, keskiarvo virtaavan nesteen lämpötilalle on puolestaan +1 °C.

Taulukko 15. Etyylialkoholi–vesiliuosten jäätymispisteet etyylialkoholin pitoisuuksittain [31].

Pitoisuus [p-%]	11,0	18,8	24,5	29,5	34,9	40,9	46,8	53,1	60,1
Jäätymispiste [°C]	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45

Taulukko 16. Etyylialkoholi–vesiliuoksien tiheydet [kg/m³] eri lämpötiloissa kullekin pitoisuudelle [31].

[°C]	11,0p-%	18,8p-%	24,5p-%	29,5p-%	34,9p-%	40,9p-%	46,8p-%	53,1p-%	60,1p-%
20	981	970	963	955	945	933	921	908	891
10	983	974	968	961	952	941	928	916	899
0	984	977	972	966	958	948	936	923	908
-5	984	978	973,5	968	961	951,5	939,5	927	912
-10		979	975	970	964	955	943	931	916
-15			976	971,5	966	958	947	935	920
-20				973	968	961	951	939	924
-25					971	964	954,5	943	928
-30						967	958	947	932
-35							962	951	936
-40								955	940
-45									944

Taulukko 17. Etyylialkoholi–vesiliuoksen ominaislämpökapasiteetit [kJ/kgK] eri lämpötiloissa kullekin pitoisuudelle [31].

[°C]	11,0p-%	18,8p-%	24,5p-%	29,5p-%	34,9p-%	40,9p-%	46,8p-%	53,1p-%	60,1p-%
20	4,330	4,350	4,305	4,210	4,110	3,980	3,830	3,670	3,505
10	4,350	4,350	4,300	4,195	4,080	3,935	3,780	3,610	3,440
0	4,375	4,355	4,290	4,180	4,050	3,890	3,730	3,550	3,370
-5	4,390	4,358	4,288	4,173	4,035	3,868	3,705	3,523	3,338
-10		4,360	4,285	4,165	4,020	3,845	3,680	3,495	3,305
-15			4,280	4,158	4,003	3,823	3,655	3,468	3,273
-20				4,150	3,985	3,800	3,630	3,440	3,240
-25					3,970	3,780	3,605	3,410	3,205
-30						3,760	3,580	3,380	3,170
-35							3,555	3,350	3,138
-40								3,320	3,105
-45									3,070

Tilavuusvirta määritetään kaavalla 12 tarvittavan lämpötehon kautta.

$$q_v = \frac{\phi}{\rho c_p \Delta t} \quad (12)$$

jossa	
ϕ	tarvittava lämpöteho, kW
ρ	virtaavan aineen tiheys, kg/l
q_v	tilavuusvirta, l/s
Δt	käytettävissä oleva lämpötilaero, °C

Taulukoista 15–17 nähdään, että järjestelmän mitoituslämpötiloille ei löydy tarkkoja arvoja tiheyden ja ominaislämpökapasiteetin osalta. Taulukosta havaitaan myös, etteivät kyseiset ominaisuudet muutu lineaarisesti suhteessa lämpötilaan. Todellisuudessa tulisi käyttää mitoituslämpötiloihin sidottuja keskiarvoja tiheyden ja ominaislämpökapasiteetin osalta. Käytetään tässä kuitenkin lämpötilaan +1 °C sidottujen ominaisuuksien sijasta lämpötilaan 0 °C sidottuja ominaisuuksia (voidaan valita lähinnä keskiarvoa oleva lämpötila). Tarvittava lämpöteho on puolestaan 21,8 kW ja lämpötila ero on 6 °C, kuten aikaisemmin on kerrottu. Tarvittava tilavuusvirta patterilla saadaan laskettua, kun lämpötehon kaavasta ratkaistaan tilavuusvirta. Tilavuusvirraksi saadaan 0,98 dm³ / s patterilla, näin ollen vaatimus tilavuusvirtaukselle energiakaivoissa täyttyy, koska virtaaman haarakohdassa virtaustilavuus puolittuu. Tilavuusvirtaus tulee olemaan 0,49 dm³/s per kaivo.

ρ	948 kg/m ³ = 0,948 kg/ dm ³
C_p	3,890 kJ/kgK
ϕ	21 kW
Δt	6 °C
q_v	tilavuusvirta?

$$q_v = \frac{21,8}{0,948 \times 3,890 \times 6} = 0,98 \text{ dm}^3/\text{s}$$

7.3 Toteutuvan järjestelmän mitoitus patterin mukaiseksi lämmityskaudella

Edellä kuvattujen lähtötietojen perusteella erään ilmanvaihtokonevalmistajan oli tarkoitus mitoittaa järjestelmään sopiva esilämmityspatteri, joka voisi samalla toimia kesäaikana jäähdytyspatterina (taulukko 18). Kyseessä on kuitenkin, niin erityislaatuinen patteri, että patterin mitoituksessa käytettiin kolmatta osapuolta. Halutun kaltaista esilämmityspatteria ei löytynyt suoraan halutulle 21,8 kW:n teholle edellä kuvattujen lähtötietojen perusteella, jouduttiin hieman luopumaan maksimitehosta ulkolämpötilalle –26 °C. Kaikki patteriin liittyvät mitoitustiedot löytyvät liitteestä 2. Kyseisessä liitteessä on esitetty sivulla 1 patterin toimintapisteet lämmityskaudella ja jäähdytyspisteet sivulla 2. Liit-

teessä 3 on esitetty esilämmityspatterin esimerkkikytkentäkaavio ja liitteessä 4 on ilmanvaihtokoneen esimerkkikytkentäkaavio.

Taulukko 18. Patterin mitoitus tiedot lämmitystilanteessa

Ilma	
Teho	21 kW
Tilavuusvirta	0,70 m ³ /s
Lämpötila sisään	-26 °C
Lämpötila ulos	-2 °C
Painehäviö	58 Pa
Nopeus	1,3 m/s
Neste (vesi)	
Etanolipitoisuus	40 %
Nesteenvirtaus	0,96 l/s
Lämpötila sisään	4 °C
Lämpötila ulos	-2 °C
painehäviö	83 kPa
Nopeus	1,5 m/s

Esilämmityspatterin mitoitus tietojen perusteella lasketaan tarvittavien kaivojen syvyydet ja määrät uudelleen vastaamaan todellisuutta luvun 7.2 ja sen alalukujen mukaisesti. Tässä työssä energiakaivo on mitoitettu olettamalla, että jokainen porattu metri voidaan lasketa teholliseksi metriksi, eikä maaperän laadulla olisi merkitystä kallioperästä saatavaan tehoon. Tarvittavien energiakaivojen yhteissyvyys $21\ 000\ W / 36\ W/m = 584\ m$ ja tarvittavien energiakaivojen määrä $584\ m / 297\ m = 1,97$ kappaletta. Kummankin kaivon poraus syvyys tulee olemaan $584\ m / 2\ kpl = 292$ metriä. Virtaama patterilla tulee olemaan 0,96 l/s, joten kummankin kaivon osalta virtaama tulee olemaan 0,48 l/s, koska virtaus haarakohdassa puolittuu. Näin ollen vaadittu virtaus (0,4–0,5 l/s) energiakaivoa kohden täyttyy.

7.4 Esilämmityspiirin painehäviöt sekä putkireittien ja energiakaivojen sijoittuminen kohteessa

Tässä työssä on suunniteltu asuntoja palvelevalle keskitetylle ilmanvaihtokoneelle myös putkireitit, putkikoot ja valittu materiaalit esilämmityspiirille ja laskettu painehäviöt, jotta on saatu mitoitettua kyseiselle järjestelmälle kiertovesipumppu. Putkireittien sijoitus alkoi valitsemalla energiakaivojen sijainnit huomioiden Ympäristöoppaassa 2013, Energiakaivo, Maalämmön hyödyntäminen pientalossa, esitetyt vaatimukset kaivojen

sijainneille. Arkkitehdin tasokuvaan piirretyt esilämmityspiirin putkisuunnitelmat on esitetty liitteessä 5.

Taulukko 19. Energiakaivon suositellut minimietäisyydet eri kohteisiin. Etäisyydet voivat vaihdella maaperästä, kaivon kaltevuuskulmasta sekä pohjaveden virtausolosuhteista. [27.]

Kohde	Suosittelu minimietäisyys
Energiakaivo	15 m
Lämpöputket ja kaukolämpöjohdot	3 m
Kallioporakaivo	40 m
Rengaskaivo	20 m
Rakennus	3 m
Kiinteistön raja	7,5 m
Kiinteistökohtaisen jätevedenpuhdistamon purkupaikka	Kaikki jätevedet 30 m Harmaat vedet 20 m
Viemärit ja vesijohdot	3 m (omat putket) – 5 m (muiden putket)**
Tunnelit ja luolat	25 m, etäisyys selvitetään tapauskohtaisesti

*porareian ollessa pystysuora

**etäisyys riippuu maaperän laadusta, kaivusvyvyydestä ja kaivantoon sijoitettavista putkista

Painehäviöt on laskettu valmiilla Excel-laskentataulukolla. Laskentataulukkoon tulee syöttää seuraavat ominaisuudet virtaavalle nesteelle (etyylialkoholi – vesiliuos jonka pitoisuus on 40,9 p-%): Aineen lämpötila, tiheys sekä viskositeetti (0,0000744 m²/s). [31.] Taulukkoon on myös syötettävä käytettävän putken karheus (kuparille ja muoville 0,0015 mm), kertavastuslukujen summa putkiosuoksien pituudet sekä koot sisähalkaisijan mukaan. Lisäksi on tunnettava kunkin putkiosuuden virtaamat, jotka saadaan määritettyä kohdan 7.2.3 sekä liitteen 3 tietojen perusteella.

Taulukko 20. Esilämmityspatterijärjestelmän putkipuolen painehäviöt ovat 147 kPa

nro		aine		1=VESI															
Virtaava aine		3	Etanoli	2=ILMA		Putken karheus		0,0015	mm	Harmaisiin soluihin syötetään alkuarvot									
Aineen lämpötila		1	°C	3=MUU		Vedellä (1) ja ilmalla (2) syötetään lämpötila													
Tiheys		ks.	kg/m ³	Syötä tiheys				948	kg/m ³	Muilla aineilla (3) syötetään tiheys ja kinemaattinen viskositeetti									
Kinemaattinen visk.		ks.	m ² /s	Syötä kinemaattinen viskositeetti				0,00000744	m ² /s										
Putkiosa nro	Virtaus l/s	d _s mm	A m ²	v m/s	Re	Re*k/d	Lambda	ρ _{dyn} Pa	R Pa/m	Pituus m	Δp _{kitka} Pa	Kertavastuslukujen summa	Δp _{kerta} Pa	Δp _{yhteensä} Pa					
Kupari																			
1 kerros	0,95	51	0,002	0,5	3188	0	0,0421	102,5	85	5	423,184	4	410,04	833					
1 kerros	0,47	39	0,0012	0,4	2062	0	0,031	73,37	58	20,8	1214,35	12,5	917,16	2132					
1-4 kerros	0,95	51	0,002	0,5	3188	0	0,0421	102,5	85	24	2031,28	0	0	2031					
4 kerros	0,95	51	0,002	0,5	3188	0	0,0421	102,5	85	13	1100,28	6	615,06	1715					
Ullakko	0,95	51	0,002	0,5	3188	0	0,0421	102,5	85	18,4	1557,32	10	1025,1	2582					
patterin kytkennät	0,95	60	0,0028	0,3	2710	0	0,0439	53,51	39	4	156,444	8	428,09	585					
Muovi EK 1	0,47	35	0,001	0,5	2285	0	0,028	110,6	88	606	53314	7,5	829,25	54143					
Patterin painehäviö nesteelle														83000					
												Järjestelmän painehäviö yhteensä	147022	Pa					
													147	kpa					

Virtaaman ja putkiston painehäviöiden perusteella saadaan määritettyä järjestelmälle pumppu. Pumpuksi on valittu Grundfosin TPE3 32-180-S A-F-A-BQQE ja pumpun ottoteho on 0,447 kW nostokorkeuden ollessa 14,7 m ja virtaaman 0,96 dm³/s. [32.] Pumppun ottotehoa määritettäessä on huomioitu vesialkoholiseoksen pitoisuus ja nesteen lämpötila mitoitusilanteessa. Pumpun ottotehoa tarvitaan myöhemässä vaiheessa, kun tutkitaan esilämmityspatterin vaikutuksia ostettavan lämmitysenergian kulutukseen ja sitä kautta E-lukuun.

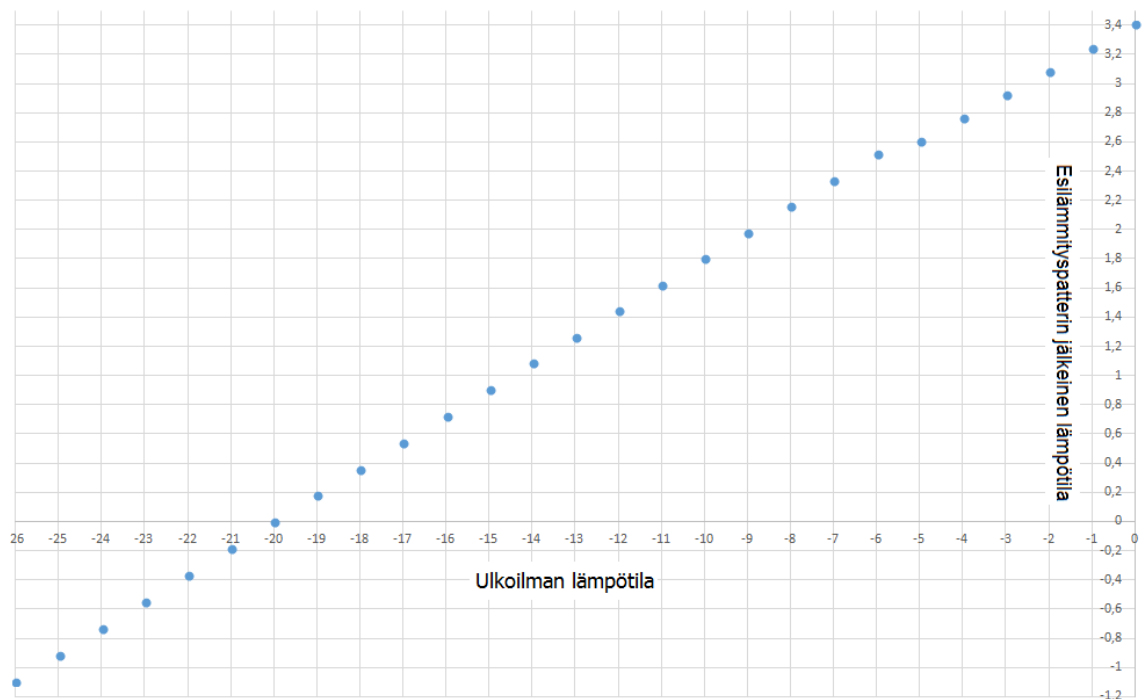
7.5 Esilämmityspatterin tuoma hyöty lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteeseen

Esilämmityksen tuoma hyöty lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdelaskentaan ilmanvaihtokoneelle, jonka lämmöntalteenotto on lämpötilahyötysuhteeltaan 80 %, on esitetty taulukossa 23. Samaisen ilmanvaihtokonevalmistajan kautta, joka järjesti esilämmityspatterin mitoituksen, on saatu raja-arvot sille, miten patteri käyttäytyy tietyillä ulkoilman lämpötilalla (taulukko 21).

Taulukko 21. Esilämmityspatterin käyttäytyminen eri ulkolämpötiloissa

Ulkolämpötila	Teho	ilma sisään	ilma ulos	Neste sisään	Neste ulos
°C	kW	°C	°C	°C	°C
-26	21	-26	-1,1	4	-2
-15	13,5	-15	0,9	4	0,2
-5	6,4	-5	2,6	4	2,2
0	2,9	0	3,4	4	3,2

Taulukon 21 tietojen pohjalta on jyvitetty jokaiselle aikaisemmin taulukossa 10 esitetylle pysyvyyskäyrän ulkoilman lämpötilalle uusi pysyvyyskäyrän lämpötila, Ulkoilman lämpötila esilämmityspatterin jälkeen (kuva 17 ja taulukko 22). Tässä on kuitenkin muistettava, että esilämmityspatteri on mitoitettu ulkoilman lämpötiloille $-26\dots-0$ °C, eli pysyvyyskäyrän ulkoilman lämpötilat $1-12$ °C säilyttävät alkuperäisen arvonsa. Lämpötilahyötysuhteeltaan 80 % oleva LTO-kenno pystyy lämmittämään ulkoilman, jonka lämpötila on 0 °C:ta, aina 17 °C:seen. Loput lämmityksestä 17 °C \rightarrow 21 °C tapahtuu varsinaisen tilan lämmitysjärjestelmän kautta (esim. lattialämmitys tai patterilämmitys).



Kuva 17. Yllä esitettyssä kuvassa on jyvitetty esilämmityspatterin jälkeisen ilman lämpötila ulkoilman eri lämpötiloilla

Kuvassa 17 esitetty kaavio on esitetty taulukkomuotoisena taulukossa 22 yhdistettynä testivuoden 2012 mukaan laadittuun pysyvyyskäyrään lämpötiloille. Näiden arvojen

pohjalta saadaan laskettua ilmanvaihdon lämmitystarveluvut seuraavissa tilanteissa: ilman lämmöntalteenottoa S_s , tuloilman lämpötilan S_t , poistoilman lämpötilan S_j sekä esilämmityspatterin jälkeisen lämpötilan S_{elp} kautta.

Taulukko 22. Oheisessa taulukossa on esitetty pysyvyysskäyrän lämpötilatiedot esilämmityspatterin jälkeisillä lämpötiloilla

Ulkoilman lämpötila °C	Helsinki TRY 2012 %	Ulkoilman lämpötila esilämmityspatterin jälkeen °C
-21	0	-0,19
-20	0,07991	-0,01
-19	0,3311	0,17
-18	0,5594	0,35
-17	0,8333	0,54
-16	1,199	0,72
-15	1,872	0,90
-14	2,763	1,08
-13	3,550	1,26
-12	4,349	1,44
-11	4,932	1,62
-10	5,445	1,79
-9	6,050	1,97
-8	7,032	2,15
-7	8,459	2,33
-6	10,11	2,51
-5	12,00	2,60
-4	14,12	2,76
-3	16,29	2,92
-2	18,76	3,08
-1	21,45	3,24
0	25,03	3,40

Lämmitystarveluvuilla laskettaessa lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta tilanteessa, jossa on mukana esilämmityspatteri, tulee ymmärtää, että S_s (ts-tu) , S_t (ttLTO-tu) sekä S_j (ts-tj) lasketaan kuten kohdan 5.8.3 taulukossa 11. Nyt tulee huomioida se, miten lämpötilaan ttLTO on päästy lämmöntalteenottokennon sekä esilämmityspatterin yhteisvaikutuksesta, ja tästä johtuen kyseinen arvo on jokaisella ulkolämpötilalla nyt +17 °C.

Esilämmityspatterin lämmitystarveluku S_{elp} on puolestaan laskettu (tu-telp). Tämä arvo on puolestaan laskettu mukaan lämmöntalteenottokennon tuottamaan vuosihyötysuhteeseen, joka itsessään on esilämmityspatterin vaikutuksesta heikompi kuin taulukos-

sa 11 esitetty 63 %. Yhteenlaskettuna esilämmityspatterin ja lämmöntalteenottokennon Vuosihyötysuhde on 73 % eli 10 %-yksikköä parempi kuin pelkän lämmöntalteenottokennon vuosihyötysuhde.

Taulukko 23. Esilämmityspatterin avulla voidaan Petterissä nostaa lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta 10 prosenttiyksikköä.

		ttLTO maks., °C	17			Poistoilmavirta, m ³ /s	0,776	Toimittajan ilmoittama lämpötilahyötysuhde							
		tjLTO min., °C	5			Tuloilmavirta, m ³ /s	0,639	SFS-EN 308		80,00					
		ts, °C	21			RLTO (tulo/poisto)	0,90			Tuloilman lämpötilasuhde		0,84			
										Poistoilman lämpötilasuhde		0,76			
tu	telp	Aika	ttLTO	tj, °C	ts	Ilman rajoituksi	Ilman rajoituksia	Rajoituksilla	Rajoituksilla	vuodessa päiviä	SS, Kd	ST, Kd	SJ, Kd	Selp	
°C	°C	vuodesta, %	°C	min. °C	°C	a	ttLTO	tj	ttLTO	RLTO	qt	np	(ts - tu)	(telp - tu)	
°C	°C	%	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	%	%	Kd	Kd	Kd
-21		0	17	5	21	5,0	17,6	5,7	17,0	0,90	81%	73%	0	0	0
-20	-0,01	0,0799	17	5	21	5,0	17,6	5,7	17,0	0,90	81%	73%	12	5	4
-19	0,17	0,3311	17	5	21	5,2	17,7	5,9	17,0	0,90	81%	73%	37	15	14
-18	0,35	0,5594	17	5	21	5,3	17,7	6,0	17,0	0,90	81%	73%	32	14	12
-17	0,54	0,8333	17	5	21	5,4	17,7	6,2	17,0	0,90	80%	72%	38	16	15
-16	0,72	1,199	17	5	21	5,6	17,8	6,3	17,0	0,90	80%	72%	49	22	20
-15	0,90	1,872	17	5	21	5,7	17,8	6,5	17,0	0,90	80%	72%	88	40	36
-14	1,08	2,763	17	5	21	5,9	17,8	6,7	17,0	0,90	80%	72%	114	52	47
-13	1,26	3,550	17	5	21	6,0	17,8	6,8	17,0	0,90	80%	72%	98	45	41
-12	1,44	4,349	17	5	21	6,1	17,9	7,0	17,0	0,90	80%	72%	96	45	41
-11	1,62	4,932	17	5	21	6,3	17,9	7,2	17,0	0,90	79%	71%	68	33	29
-10	1,79	5,445	17	5	21	6,4	17,9	7,3	17,0	0,90	79%	71%	58	28	26
-9	1,97	6,050	17	5	21	6,5	18,0	7,5	17,0	0,90	79%	71%	66	33	30
-8	2,15	7,032	17	5	21	6,7	18,0	7,6	17,0	0,90	79%	71%	104	53	48
-7	2,33	8,459	17	5	21	6,8	18,0	7,8	17,0	0,90	79%	71%	146	76	69
-6	2,51	10,11	17	5	21	6,9	18,0	8,0	17,0	0,90	78%	71%	163	87	79
-5	2,60	12,00	17	5	21	7,0	18,1	8,0	17,0	0,90	78%	70%	179	99	89
-4	2,76	14,12	17	5	21	7,1	18,1	8,2	17,0	0,90	78%	70%	193	110	99
-3	2,92	16,29	17	5	21	7,3	18,1	8,3	17,0	0,90	78%	70%	190	112	100
-2	3,08	18,76	17	5	21	7,4	18,1	8,5	17,0	0,90	78%	70%	207	125	113
-1	3,24	21,45	17	5	21	7,5	18,2	8,6	17,0	0,90	77%	70%	216	135	122
0	3,40	25,03	17	5	21	7,6	18,2	8,8	17,0	0,90	77%	70%	274	178	160
1	1	31,24	17	5	21	5,8	17,8	6,6	17,0	0,90	80%	72%	453	363	326
2	2	36,80	17	5	21	6,6	18,0	7,5	17,0	0,90	79%	71%	386	304	274
3	3	41,97	17	5	21	7,3	18,1	8,4	17,0	0,90	78%	70%	340	264	238
4	4	45,86	17	5	21	8,1	18,3	9,3	17,0	0,90	76%	69%	241	185	166
5	5	49,08	17	5	21	8,8	18,4	10,2	17,0	0,90	75%	68%	188	141	127
6	6	52,36	17	5	21	9,6	18,6	11,1	17,0	0,90	73%	66%	180	132	119
7	7	55,71	17	5	21	10,4	18,8	12,0	17,0	0,90	71%	64%	171	122	110
8	8	59,01	17	5	21	11,1	18,9	12,9	17,0	0,90	69%	62%	157	108	98
9	9	62,24	17	5	21	11,9	19,1	13,8	17,0	0,90	67%	60%	141	94	85
10	10	65,56	17	5	21	12,6	19,2	14,7	17,0	0,90	64%	57%	133	85	76
11	11	68,80	17	5	21	13,4	19,4	15,6	17,0	0,90	60%	54%	118	71	64
12	12	72,20	17	5	21	14,2	19,6	16,5	17,0	0,90	56%	50%	112	62	56
YHTEENSÄ										5050	3256	2931	740		
Vuosihyötysuhde KENNO										58 %	poistoilmapuolelta				
Vuosihyötysuhde KENNO										58 %	tuloilmapuolelta				
vuosihyötysuhde ELP										15 %					
vuosihyötysuhde ELP+KENNO										73 %	poistoilmapuolelta				
vuosihyötysuhde ELP+KENNO										73 %	tuloilmapuolelta				

7.6 Esilämmityksen vaikutus lämpöhäviöiden tasauslaskentaan

Lämpöhäviöiden tasauslaskennan on tarkoitus osoittaa, että rakennus täyttää rakentamismääräyskokoelman D3 vaatimukset lämpöhäviöiden osalta [12, s. 2.]. Tämän insinöörityön liitteessä 6 on esitetty lämpöhäviöiden tasauslaskenta Lohjan Petteriin, käyttäen alkuperäisiä suunnitteluarvoja rakennusosien pinta-alojen osalta. Lämpöhä-

viölaskelmat on tehty ympäristöministeriön sivuilta löytyvällä valmiilla Excel-laskentatyökalulla, D3 LTO-laskin 2012, versio marraskuu 2012. U-arvoina ja ilmanvuotolukuna käytetään vertailuarvoja, lukuun ottamatta ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhteen vaatimuksia. LTO:n vuosihyötysuhteen vaatimuksena on käytetty pelkäämään asuntoja palvelevan ilmanvaihtokoneen LTO:n vuosihyötysuhdetta. Yleisiä tiloja palvelevia pienempiä koneita ei ole huomioitu. Oletetaan, että myös pienempien koneiden LTO:n vuosihyötysuhde pystytään nostamaan arvoon 73 %, jolloin koko rakennuksen LTO:n vuosihyötysuhde on 73 %.

Liitteessä 6 esitetty lämpöhäviöiden tasauslaskenta on tehty aikaisemmin kohdassa 5.8.3 taulukossa 11 lasketulla vuosihyötysuhteella 63 % (kuva 18). Laskenta on tehty myös LTO:n vuosihyötysuhteella 73 % (kuva 19), joka sisältää myös ilmanvaihdon esilämmityksen kohdan 7.5 mukaisesti. 73 %-lla tehtyä lämpöhäviöiden tasauslaskentaa ei kuitenkaan ole esitetty kokonaisuudessaan tässä insinööriyössä, koska laskelmien eroavaisuus selviää kuvista 18 ja 19.

Tarkastelemalla kuvia 18 ja 19 havaitaan, että LTO:n vuosihyötysuhteen kasvaessa 10 % ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö laskee 27 % $[(337 - 245,9)/337=0,27]$ ja koko rakennuksen lämpimientilojen lämpöhäviöiden tasaus 11 % $[(821 - 729)/821=0,112]$. Nyt voitaisiin puolestaan tarkastella mahdollisia säästöjä muiden rakennusosien osalta, kuten esimerkiksi lämpimien tilojen ikkunoiden. Kokeilemalla selviää, että LTO:n vuosihyötysuhteen 73 % omaavan tasauslaskennan ikkunoiden U-arvo voitaisiin heikentää arvosta 1 W/(m²K) arvoon 1,4 W/(m²K) ja koko rakennuksen ominaislämpöhäviöksi tulee 824 W/(m²K). LTO:n vuosihyötysuhteen ollessa 63 % on rakennuksen ominaislämpöhäviö 821 (1,4 W/(m²K)). Jotta saataisiin selville, mikä järjestelmä tai vaihtoehto on järkevin, tulisi asiaa punnita rahallisesti huomioiden takaisinmaksuajat ja huollettavuudet

Kuva 18. LTO:n vuosihyötysuhteen 63 % vaikutukset lämpöhäviöiden tasauslaskentaan.

VAIPAN ILMAVUODOT	Ilmanvuotoluku, m ³ /(h m ²) [q ₅₀]		Vuotoilmavirta, m ³ /s [q _{v,v} = q ₅₀ / 20 · A/3600]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{vuotoilma} = 1200 · q _{v,v}]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Vuotoilma						
Lämpimät tilat	2,0	2,0	0,0412	0,0412	49,4	49,4
Puolilämpimät tilat	2,0		0,0037		4,4	-
ILMANVAIHTO	Poistoilmavirta, m ³ /s [q _{v,p}]		Ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhde, % [h _a]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{iv} = 1200 · q _{v,p} · (1-h _a)]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Hallittu ilmanvaihto						
Lämpimät tilat	0,759		45	63	500,9	337,0
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-
Puolilämpimät tilat			45		-	-
Puolilämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus					Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä					995	821
Puolilämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä					32	28

Kuva 19. LTO:n vuosihyötysuhteen 73 % vaikutukset lämpöhäviöiden tasauslaskentaan.

VAIPAN ILMAVUODOT	Ilmanvuotoluku, m ³ /(h m ²) [q ₅₀]		Vuotoilmavirta, m ³ /s [q _{v,v} = q ₅₀ / 20 · A/3600]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{vuotoilma} = 1200 · q _{v,v}]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Vuotoilma						
Lämpimät tilat	2,0	2,0	0,0412	0,0412	49,4	49,4
Puolilämpimät tilat	2,0		0,0037		4,4	-
ILMANVAIHTO	Poistoilmavirta, m ³ /s [q _{v,p}]		Ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhde, % [h _a]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{iv} = 1200 · q _{v,p} · (1-h _a)]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Hallittu ilmanvaihto						
Lämpimät tilat	0,759		45	73	500,9	245,9
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-
Puolilämpimät tilat			45		-	-
Puolilämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus					Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä					995	729
Puolilämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä					32	28

7.7 Esilämmityksen vaikutus E-lukuun

Tässä työssä tarkastellaan LTO:n vuosihyötysuhteen korotuksen vaikutuksia E-lukuun rajatusti. Rajauksessa käsitellään vain asuntoja palvelevan ilmanvaihtokoneen vaikutuksia E-lukuun. Rakennuksessa on myös muita pienempiä ilmanvaihtokoneita, mutta oletetaan näiden pysyvän vakioina, joten niillä ei ole vaikutusta E-lukuun. Yksinkertaisesti yleisiä tiloja palvelevat ilmanvaihtokoneet ovat samalla kokoonpanolla (esim.

sähköinen esilämmityspatteri → LTO-kenno → sähköinen jälkilämmityspatteri) riippumatta siitä onko keskitetty asuntoja palveleva ilmanvaihtokone esilämmityksellä vai ei. E-luku laskennassa ei myöskään huomioida puhaltimien sähkönkulutusta, vaan oletetaan edellä olevien laskelmien perusteella, ettei jälkilämmityspatteria tarvita ratkaisussa, jossa on esilämmityspatteria.

7.7.1 Esilämmityspatterin vaikutus puhaltimien käyttämään sähköenergiaan

Aikaisemmin on osoitettu, että kaikilla pysyvyyskäyrän ulkoilman lämpötiloilla, pystytään ulkoilman lämpötila nostamaan esilämmityksen ja LTO:n vaikutuksesta sisäänpuhalluslämpötilaan +17 °C. Taulukosta 24 voimme lukea, että ulkolämpötilan ollessa –26 °C, voidaan ulkoilma nostaa esilämmityspatterin avulla arvoon –1,1 °C. Aikaisemmin luodun työkalun avulla nähdään, että näin ollen tuloilma LTO:n jälkeen voidaan nostaa lämpötilaan +16,7 °C. Tämä on vain 0,3 °C vähemmän kuin tuloilman asetusarvo. Lisäksi laskennassa ei ole huomioitu puhaltimen tuottamaa lämpöä. Puhaltimen tuottamana arvona voidaan D5:n mukaan käyttää arvoa 0,5 °C, mikäli tarkempaa arvoa ei ole käytössä. Tästä johtuen voidaan olettaa, ettei esilämmityspatterilla ole juurikaan merkitystä puhaltimien käyttämään sähköenergiaan, koska esimerkikohteessamme emme laskelmien mukaan tarvitse jälkilämmityspatteria. Oletetaan, että esilämmityspatterin vaikutus puhaltimien käyttämään sähkötehoon on sama kuin jälkilämmityspatterin (esilämmitys- ja jälkilämmityspatterien aiheuttamat painehäviöt yhtä suuret).

Taulukko 24. Tuloilman lämpötila mitoitustilanteessa esilämmityksen ja LTO:n jälkeen

tu °C	telp °C	Aika vuodesta, %	ttLTO maks. °C	tj, °C min.	ts °C	Ilman rajoituksi a		Ilman rajoituksia		Rajoituksilla °C	Rajoituksilla °C	RLTO	ηt	ηp
						tj °C	ttLTO °C	tj °C	ttLTO °C					
-26	-1,10	0	17	5	21	4,2	17,5	4,7	16,7	0,90	82%	74%		

7.7.2 Kiertovesipumppujen vaikutus sähköenergiankulutukseen E-luku laskennassa

Aikaisemmin kohdassa 7.4 on kerrottu, että esilämmityspiirin pumpun ottoteho on mitoitustilanteessa 447 W. Jos puolestaan käytössä on jälkilämmityksellä toimiva järjestelmä, on jälkilämmityspiirin ottoteho 37,1 W mitoitustilanteessa. Jälkilämmityspiirin patterin tehostuksen ottoteho on puolestaan 4,4 W mitoitustilanteessa. Jälkilämmitys-

pattereiden ottoteho yhteensä 41,5 W. [31.] Ajatellaan molempien pattereiden kierto-vesipumppujen olevan käytössä aina kun ulkoilman kuukauden keskilämpötila on liitteen 1 mukaan alle +5 °C. Lasketaan pumppujen käyttämä sähköenergiankulutus luvun 3.5.2 mukaisesti kaavalla 4.4 (Pumppujen ja muiden apulaitteiden käyttämän sähköenergian laskenta).

Taulukko 25. Jälkilämmityspatterin kiertovesipumppujen kuluttama sähköenergiankulutus

	Ulkoilman keskilämpötila, °C	päiviä kuukaudessa, d	tunteja kuukaudessa, h (24 h/vrk)	Pumppujen ottoteho	Pumppujen sähkönkulutus kuukausittain
Tammikuu	-3,97	31	744	41,5	30,88 kWh
Helmikuu	-4,50	29	696	41,5	28,88 kWh
Maaliskuu	-2,58	31	744	41,5	30,88 kWh
Huhtikuu	4,50	30	720	41,5	29,88 kWh
Toukokuu	10,76	Ei lasketa, ulkoilman lämpötila yli 5 °C			0 kWh
Kesäkuu	14,23				0 kWh
Heinäkuu	17,30				0 kWh
Elokuu	16,05				0 kWh
Syyskuu	10,53				0 kWh
Lokakuu	6,20				0 kWh
Marraskuu	0,50	30	720	41,5	29,88 kWh
Joulukuu	-2,19	31	744	41,5	30,88 kWh
					181,27 kWh
					0,18127 MWh

Taulukko 26. Esilämmityspatterin sähköenergiankulutus

	Ulkoilman keskilämpötila, °C	päiviä kuukaudessa, d	tunteja kuukaudessa, h (24 h/vrk)	Pumppujen ottoteho	Pumppujen sähkönkulutus kuukausittain
Tammikuu	-3,97	31	744	447	332,57 kWh
Helmikuu	-4,50	29	696	447	311,11 kWh
Maaliskuu	-2,58	31	744	447	332,57 kWh
Huhtikuu	4,50	30	720	447	321,84 kWh
Toukokuu	10,76	Ei lasketa, ulkoilman lämpötila yli 5 °C			0 kWh
Kesäkuu	14,23				0 kWh
Heinäkuu	17,30				0 kWh
Elokuu	16,05				0 kWh
Syyskuu	10,53				0 kWh
Lokakuu	6,20				0 kWh
Marraskuu	0,50	30	720	447	321,84 kWh
Joulukuu	-2,19	31	744	447	332,57 kWh
					1952,50 kWh
					1,95250 MWh

7.7.3 Ilmanvaihtokoneen lämmitysenergian kokonaiskulutus E-lukulaskennassa

Ilmanvaihtokoneen lämmitysenergian kokonaiskulutus E-lukulaskennassa tehdään huomioiden D3:n laskentasäännöt käyttäen D5:n laskentakaavoja. Nämä laskentasäännöt ja -kaavat on esitetty aikaisemmin tässä insinööriyössä. Ilmanvaihtokoneen lämmitysenergian kokonaisenergian tarve (ilmanvaihtokoneen nettoenergiatarve + lämpöenergia tilassa tapahtuvalle tuloilman lämpenemiselle) lasketaan luvussa 3.4.1 esitetyillä kaavoilla 3.1–3.5.

Kulutettujen energiamäärien laskennassa (taulukot 27 ja 28) on huomioitu ilmanvaihtokoneen käyttöajat asuinkerrostalossa luvun 3.3 taulukon 5 mukaisesti. Ilmanvaihtokoneen ulkoilmavirtana on käytetty luvun 3.3 taulukossa 4 esitettyä ulkoilmavirtaa nettoalaa kohden. Ilmanvaihtoon liittyvässä lämmityksen nettoenergialaskenta tehdään D5:n mukaan vuosihyötysuhteen perusteella, joka on D3:n mukaan määritetty tuloilman lämpötilasuhteen ja jäätyksen eston perusteella. Käytetään Näissä laskelmissa aikaisemmin taulukoissa 11 ja 23 laskettuja lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteita.

Taulukko 27. Esilämmityksettömän ilmanvaihtokoneen vaatima kokonaislämmitysenergia E-lukulaskennassa, vuosihyötysuhde taulukon 11 mukaan

LTO:N vuosihyötysuhde	63,00%	Ulkoilmavirta lämmitettyä nettoalaa kohden	0,5	dm ³ /(s m ²)				
vuorokautinen käyntiaikasuhte	17 vrk / 7 vrk	lämmitetty nettoala	1518	(m ²)				
kuukausittainen käyntiaikasi	1 24 h / 24 h	ulkoilmavirta	753	dm ³ /(s m ²)				
ilman tiheys	1,2 kg/m ³		0,753	m ³ /(s m ²)				
ilman ominaislämpökapasite	1000 J/(kgK)							
Poistoilmavirta	0,753 m ³ /(s m ²)							
tuloilmavirta	0,753 m ³ /(s m ²)							
sisälämpötila	21 °C							
Δt puhallin	0,5 °C							
sisänpuhallus lämpötila	17 °C							
tunteja vuorokaudessa	24 °C							
	Ulkoilman keskilämpötila, °C	LTO:lla talteenotettu teho, W	LTO:N jälkeinen lämpötila °C	Lämmitysenergian nettotarve (JLP)	päiviä kuukaudessa , d	tunteja kuukaudessa , h	Tuloilman lämpeneminen tilassa	Kaukolämmön energiatarve ilmanvaihtoon E-luku laskennassa
Tammikuu	-3,97	14327,89	11,76	3211,25	31	744	2710,54	5321,79
Helmikuu	-4,50	14632,00	11,57	3128,38	29	696	2535,67	5664,05
Maaliskuu	-2,58	13530,30	12,28	2862,74	31	744	2710,54	5573,28
Huhtikuu	4,50	9467,77	14,90	1052,52	30	720	2623,10	3675,62
Toukokuu	10,76	5875,75	17,21	0	31	744	2710,54	2710,54
ei lasketa ilmanvaihtokoneen lämmityskulutukseen	14,23	Ei lasketa. Kesäkuukausina oletus, ettei lämmitystä tarvita.					0,00	0
	17,30						0,00	0
	16,05						0,00	0
Syyskuu	10,53	6007,73	17,13	0	30	720	2623,10	2623,10
Lokakuu	6,20	8492,30	15,52	661,37	31	744	2710,54	3371,91
Marraskuu	0,50	11762,98	13,42	2023,07	30	720	2623,10	4646,17
Joulukuu	-2,19	13306,51	12,42	2764,95	31	744	2710,54	5475,50
				15704,28			23957,68	39661,96
				15,70	kWh		23,96	39,7
					MWh			MWh

Taulukko 28. Esilämmityksellä olevan ilmanvaihtokoneen vaatima kokonaislämmitysenergia E-lukulaskennassa, vuosihyötysuhde taulukon 23 mukaan

LTO:N vuosihyötysuhde	73,00 %		Ulkoilmavirta lämmitettyä nettoalaa kohden	0,5	dm3/(s m2)				
vuorokautinen käyntiaika	1 7vrk / 7 vrk		lämmitetty nettoala	1518	(m2)				
kuukausittainen käyntiaika	1 24 h / 24 h		ulkoilmavirta	759	dm3/(s m2)				
ilman tiheys	1,2 kg/m ³			0,759	m3/(s m2)				
ilman ominaislämpökapasite	1000 J/(kgK)								
Poistoilmavirta	0,759 m3/(s m2)								
tuloilmavirta	0,759 m3/(s m2)								
sisälämpötila	21 °C								
Δtpuhallin	0,5 °C								
sisäänpuhallus lämpötila	17 °C								
tunteja vuorokaudessa	24 °C								

	Ulkoilman keskilämpötila, °C	LTO:lla talteenotettu teho, W	LTO:N jälkeinen lämpötila °C	Lämmitysenergian nettotarve (JLP)	päiviä kuukaudessa	tunteja kuukaudessa	Tuloilman lämpeneminen tilassa	Kaukolämmön energiantarve ilmanvaihtoon E-luku laskennassa	
Tammikuu	-3,97	16602,15	14,26	1519,19	31	744	2710,54	4229,73	
Helmikuu	-4,50	16954,54	14,12	1511,89	29	696	2535,67	4047,56	
Maaliskuu	-2,58	15677,96	14,63	1264,87	31	744	2710,54	3975,41	
Huhtikuu	4,50	10970,59	16,55	0,00	30	720	2623,10	2623,10	
Toukokuu	10,76	6808,41	18,24	0	31	744	2710,54	2710,54	
ei lasketa ilmvaihdon lämmityskulutukseen	14,23	Ei lasketa. Kesäkuukausina oletus, ettei lämmitystä tarvita.					0,00	0	
	17,30						0,00	0	
	16,05						0,00	0	
Syyskuu	10,53	6961,34	18,17	0	30	720	2623,10	2623,10	
Lokakuu	6,20	9840,28	17,00	0,00	31	744	2710,54	2710,54	
Marraskuu	0,50	13630,12	15,47	678,73	30	720	2623,10	3301,83	
Joulukuu	-2,19	15418,66	14,74	1193,52	31	744	2710,54	3904,06	
				6168,20	kWh		23957,68	kWh	30125,89 kWh
				6,17	MWh		23,96	MWh	30,1 MWh

7.7.4 E-luvun laskenta

E-luku lasketaan tarvittavan ostoenergian kautta. Tässä tarkastellaan E-lukua ainoastaan lämmitysenergian ja kiertovesipumpun sähköenergiankulutuksen kautta aikaisemmin kuvatulla tavalla. Tässä ei huomioida myöskään järjestelmien lämpöhäviöitä eikä ulkoisia tekijöitä. E-luku lasketaan luvun 2.2.3 kaavalla 1.3 sekä samaisen kohdan taulukon 2 energiakertoimien avulla. Lämmitetty nettoala puolestaan on esitetty jo lämpöhäviölaskelmien yhteydessä, 1 518 m²

E-luku esilämmityksettömälle ilmanvaihtokoneelle, LTO:n vuosihyötysuhde 63 %

$$E - luku = \frac{181,27 kWh \times 1,7 + 39661,96 kWh \times 0,7}{1518 m^2 (A_{netto})} = 18,49 kWh/m^2$$

E-luku esilämmitetyille ilmanvaihtokoneelle, LTO:n vuosihyötysuhde 73 %

$$E - luku = \frac{1952,50 kWh \times 1,7 + 30125,89 kWh \times 0,7}{1518 m^2 (A_{netto})} = 16,07 kWh/m^2$$

Edellä lasketuista E-luvuista havaitaan, että esilämmityksen avulla voidaan laskea E-lukua lähes 2,5 (2,42 kWh/m²) yksikköä. Jos aikaisemmin rakennetun Excel-taulukon avulla lasketaan vuosihyötysuhteet 80 %:N lämpötilahyötysuhteen omaavalle vastavirtakennolle sekä esilämmityksellä ja esilämmittämättömänä, ilman tuloilman rajoitusta (laskennallisesti tuloilman lämpötila 20 °C) huomioiden kuitenkin alin sallittu jäteilman lämpötila +5 °C. Saadaan nostettua vuosihyötysuhde esilämmittämättömälle ratkaisulle arvoon 68 % ja esilämmitetylle arvoon 79 %. Tällöin edellä kuvatuilla rajauksilla saadaan laskettua järjestelmälle vieläkin paremmat E-luvut. Lisäksi oletetaan, että kierto- vesipumput kuluttavat sähköenergiaa saman verran kuin aikaisemmin lasketuissa kohdissa. Vuosihyötysuhteen ollessa 68 % esilämmittämättömälle ratkaisulle, järjestelmän E-luvuksi muodostuu 15,49 kWh/m². Vuosihyötysuhteen ollessa 79 % esilämmitetylle ratkaisulle, järjestelmän E-luvuksi muodostuu 11,74 kWh/m². Mikäli tuloilman lämpötilaa ei rajoiteta, ovat vaikutukset E-lukuun suuremmat kuin rajoitetussa tilanteessa, 3,75 yksikköä.

8 Esilämmityspatterin kannattavuus

Tässä luvussa tarkastellaan esilämmityspatterin kannattavuutta sisäisen koron menetelmällä perustuen budjettihintoihin. Budjettihinnalla tarkoitetaan yleisesti jollekin järjestelmälle tai kokonaisuudelle laskettavaa tavoite hintaa. Budjettihinta tulee tässä työssä laskea molemmille ratkaisulle (esilämmitetylle ja jälkilämmitetylle), jotta järjestelmiä pystytään vertailemaan toisiinsa. Budjettihinnan lisäksi pyritään saamaan kuva molempien järjestelmien elinkaarien eroavaisuuksista ja niihin kohdistuvista kustannuksista. Tässä luvussa esitetään oletama kumpaiseenkin järjestelmään käytönaikana kohdistuvista tulevista huoltokustannuksista sekä eri laitteiden teknisistä toimintaiän odotuksista.

Tässä luvussa esitetyt hinnat perustuvat internetistä, toimittajilta sekä erinäisistä anonyymeistä tietolähteistä kerättyihin hintatietoihin, eivätkä ne ole sidoksissa SRV:n kanssa millään tavalla. Tuotteiden hinnat sisältävät myös asennuksiin vaadittavat työhinnat, jotka perustuvat LVI-Tekniset urakoitsijat LVI-TU ry:n ja Rakennusliitto ry:n laatimaan TALOTEKNIikka-ALAN LVI-toimialan TYÖEHTOSOPIMUKSEEN 2014–2017. Hintojen on siis tarkoitus toimia totuudenmukaista vastaavina budjettihintoina, joita voidaan käyttää apuna vertaillessa eri ratkaisuja toisiinsa. Hinnat sisältävät myös arvonalisäveron 24 %.

8.1 Kustannusten muodostuminen

Tässä alaluvussa esitellään miten muodostuvat järjestelmien budjettihinnat investoinneille, vuosittaisille huolloille ja käyttökustannuksille. Lisäksi kuvataan, mitkä ovat järjestelmien todelliset käyttökustannukset vuositasolla. Näihin tietoihin pohjautuen kohdassa 8.2 lasketaan valmiin Excel-työkalun avulla esilämmityspatterijärjestelmän kannattavuutta sisäisen koron menetelmällä.

8.1.1 Investointikustannusten muodostuminen

Energiakaivolla toteutetun esilämmitysjärjestelmän budjettihinta muodostuu taulukossa 30 esitetyistä kustannuksista ja kaukolämmöllä toteutetun jälkilämmitysjärjestelmän taulukossa 31 esitetyistä kustannuksista. Kustannukset sisältävät materiaalit asennukseen ja kannakointeineen.

Taulukoissa 31 ja 32 esitetyt budjettihinnat perustuvat materiaaleille, jotka jäävät pois valittaessa toinen järjestelmä. Laskennassa oletetaan, että putkistovarusteet kuten varoventtiilit, säätöventtiilit, lämpötila- ja paineanturit menevät tasan, eli niillä ei ole hintavaikutuksia järjestelmien budjettihintoihin. Lisäksi esilämmityspatterijärjestelmässä esitetty kupariputkien lisäys eristettynä tarkoittaa osuutta, joka muodostuu erotukselle kupariputkien osalta (esilämmityspiirin kupariputket eristettynä ja asennettuna – jälkilämmityspiirin kupariputket eristettynä ja asennettuna = 790 €). Näin on saatu muodostettua luotettavat ja tarkat budjettihinnat kokonaisuuksien eroavaisuuksille.

Taulukoissa on myös esitetty yhteenlaskettu budjettihinta eri järjestelmille. Esilämmitysjärjestelmän budjettihinta on 27 990 € ja jälkilämmitetyn järjestelmän budjettihinta on 3 850 €. Tällöin esilämmitetyn järjestelmän investoinnin budjettihinnaksi muodostuu 24 140 € enemmän kuin jälkilämmitteisen järjestelmän

Taulukko 29. Energiakaivolla toteutetun esilämmityspatterijärjestelmän budjettihinta putkikykentöineen. Budjettihinta on muodostunut erotuksesta jälkilämmitysjärjestelmään.

Esilämmityspatteri	2 480 €
Esilämmityspiirin pumppu	4 270 €
Kupariputkien lisäys eristettynä	790 €
Energiakaivon poraus ja putkiston asennus, sisältäen maahan asennettavan vaakaputkiston	18 960 €
40 % etanolivesiseos (1,2 m ³), täytettynä järjestelmään	1 490 €
Hintavaikutukset yhteensä:	27 990 €

Taulukko 30. Kaukolämmöllä toteutetun jälkilämmityspatterijärjestelmän budjettihinta putkikykentöineen. Budjettihinta on muodostunut erotuksesta esilämmitysjärjestelmään.

Jälkilämmityspatteri	620 €
Kiertovesipumppu	1 065 €
Ilmanvaihdon tehostuksen pumppu	375 €
Lämmönsiirtimen (20 kW) ja LJ-paketin putki- varusteet ja järjestelmän täyttö	1 790 €
Jälkilämmityspatterijärjestelmän budjettihinta yhteensä:	3 850 €

8.1.2 Huolto- ja ylläpitokustannusten muodostuminen

Tutkimalla LVI- ohjetiedostoa 01-10424 kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitajaksot saadaan selvitettyä järjestelmissä esiintyville osille ja laitteille tarkistus ja huoltovälit (taulukko 32). Tässä työssä voidaan olettaa, että vuosittaiset huolto- ja tarkistuskustannukset menevät tasan järjestelmien välillä, eli huoltokustannusten erotus on nol-la. Todellisiin toteutuviin huoltokustannuksiin vaikuttavat tietenkin käyttöolosuhteet ja muut ulkoiset tekijät, joita on vaikea ennustaa. Lisäksi on noudatettava laitteiden toimit-tajien ohjeita.

Taulukosta 31 havaitaan, että järjestelmissä olevien putkien ja energiakaivon käyttöikä on noin 50 vuotta. Muiden järjestelmän osien ja laitteiden käyttöiän oletus on 15–25 vuotta. Todellinen elinikä riippuu monista tekijöistä kuten vuosittaisten huoltokustan-nustenkin osalta. Oletetaan tässä kuitenkin, että molempien järjestelmien kaikkien lait-teiden ja osien uusinta, ilman putkistoja, eristeitä ja energiakaivoa osuu 25 vuoden päähän nykyhinnoilla. Tällöin esilämmityspatterijärjestelmässä tapahtuvien osien uusinta maksaisi 8 240 € ja jälkilämmityspatterijärjestelmässä 3 850 €.

Taulukko 31. Ilmanvaihdon lämmitykseen liittyvien osien tekninen käyttöikä ja tarkistusväli, vaikuttavina tekijöinä huomioitava käyttöolosuhteet ja ulkoiset tekijät [33, S. 13–27].

<u>Järjestelmä/laitte</u>	<u>Keskimääräinen</u>	
	<u>n tekninen käyttöikä</u>	<u>tarkistusväli</u>
kaukolämmön-jakokeskus (sis. lämmön siirtimet)	20 a	12 kk, kun ikä < 10 a 4 kk, kun ikä 10...20 a 1 kk, kun ikä > 20 a
kupariputket	50 a	12 kk
muoviputket	50 a	12 kk
Pumput	20-25 a	12 kk
Energiakaivo	50 a	12 kk
IV Patterit	15 a	12 kk
Yleisesti putkistovarusteet	15-25 a	12 kk

[33, s. 13 - 27.]

8.1.3 Kustannussäästöt energiamuotojen muutoksilla

Ilmanvaihtokoneen vaatima kaukolämmön energiatarve on laskettu samaan tapaan samoilla kaavoilla kuin luvussa 7.7.3 on laskettu ilmanvaihtokoneen lämmitysenergian kokonaiskulutus E-lukulaskennassa. Ainoastaan lähtötietoihin on tehty pieni muutos, laskennat on tehty todellisilla ilmavirroilla, jotta energian kulutus saadaan vastaamaan todellisuutta. LTO-kennon jälkeinen lämpötila ja siitä johtuva ostoenergian tarve, on laskettu LTO-vuosihyötysuhteen avulla luvun 7.7.3 mukaisesti.

Käytetään tässä laskennassa, rajoittamatonta sisäänpuhalluslämpötilaa, koska asuin-kerrostaloissa saadaan näin tehdä. Tällöin laskennassa käytettävät vuosihyötysuhteet ovat 79 % (esilämmitetty) ja 68 % (jälkilämmitetty). Taulukoista 32 ja 33 havaitaan, että esilämmitysjärjestelmällä voidaan säästää 12,4 MWh ilmanvaihdon tarvitsemää kaukolämpöä. Oletetaan myös, ettei järjestelmän valinnalla ole vaikutuksia kaukolämmön eikä sähkön liittymismaksujen osalta.

Kaukolämmön vuoden keskiarvohintana voidaan käyttää arvoa 75 €/MWh, joka perustuu internetissä tehtyyn vertailuun toteutuneista hinnoista sekä todellisten kaukolämpölaskujen vertaamiseen. Hinta sisältää vesivirtamaksun sekä kausiluontoisen hintojen

vaihtelun. Tällöin esilämmityspatterilla lämmitettävä ilmanvaihtokone käyttää 772,50 € (75 € x 10,3 MWh) kaukolämpöä lämmittääkseen ilman huonetilassa 21 °C:seen. Jälkilämmityspatterin vuosittaiset käyttökustannukset ovat puolestaan kaukolämmön osalta 1 702,50 € (75 € x 22,7 MWh).

Taulukko 32. Esilämmityksellä olevan ilmanvaihtokoneen vaatima kaukolämmön energiantarve

LTO:N vuosihyötysuhde	79,00 %									
vuorokautinen käyntiaika	17 vrk / 7 vrk									
kuukausittainen käyntiaika	124 h / 24 h									
ilman tiheys	1,2 kg/m ³									
ilman ominaislämpökapasite	1000 J/(kgK)									
Poistoilmavirta	0,776 m ³ (s m ²)									
tuloilmavirta	0,639 m ³ (s m ²)									
sisälämpötila	21 °C									
Δt puhallin	0,5 °C									
sisäänpuhallus lämpötila	20 °C									
tunteja vuorokaudessa	24 °C									
	Ulkoilman keskilämpötila, °C	LTO:lla talteenotettu teho, W	LTO:N jälkeinen lämpötila °C	Lämmitysenergian nettotarve (JLP)	päiviä kuukaudessa , d	tunteja kuukaudessa , h	Tuloilman lämpeneminen tilassa	Ilmanvaihdon kaukolämmön energiantarve vuositasolla		
Tammikuu	-3,97	18369,13	17,93	980,22	31	744	624,07	1604,29		
Helmikuu	-4,50	16759,02	17,86	955,03	29	696	583,80	1536,84		
Maaliskuu	-2,58	17346,58	18,10	873,55	31	744	624,07	1497,62		
Huhtikuu	4,50	12138,19	18,97	319,54	30	720	603,94	923,48		
Toukokuu	10,76	7533,04	19,74	0	31	744	624,07	624,07		
ei lasketa ilmanvaihdon lämmityskulutukseen	14,23	Ei lasketa. Kesäkuukausina oletus, ettei lämmitystä tarvita.						0,00	0	
	17,30						0,00	0		
	16,05						0,00	0		
Syyskuu	10,53	7702,23	19,71	0	30	720	603,94	603,94		
Lokakuu	6,20	10887,59	19,18	199,73	31	744	624,07	823,79		
Marraskuu	0,50	15080,78	18,48	616,62	30	720	603,94	1220,56		
Joulukuu	-2,19	17059,68	18,15	843,62	31	744	624,07	1467,68		
				4788,31	kWh		5515,95	kWh	10304,26	kWh
				4,79	MWh		5,52	MWh	10,3	MWh

Taulukko 33. Jälkilämmityksellä olevan ilmanvaihtokoneen vaatima kaukolämmön energiantarve

LTO:N vuosihyötysuhde	68,00%									
vuorokautinen käyntiaika	17vrk / 7 vrk									
kuukausittainen käyntiaika	124 h / 24 h									
ilman tiheys	1,2 kg/m ³									
ilman ominaislämpökapasiteetti	1000 J/(kgK)									
Poistoilmavirta	0,776 m ³ (s m ²)									
tuloilmavirta	0,699 m ³ (s m ²)									
sisälämpötila	21 °C									
Δtpuhallin	0,5 °C									
sisäänpuhallus lämpötila	20 °C									
tunteja vuorokaudessa	24 °C									
	Ulkoilman keskilämpötila, °C	LTO:lla talteenotettu teho, W	LTO:N jälkeinen lämpötila °C	Lämmitysenergian nettotarve (JLP)	päiviä kuukaudessa	tunteja kuukaudessa	Tuloilman lämpeneminen tilassa	Ilmanvaihdon kaukolämmön energiantarve vuositasolla		
Tammikuu	-3,37	15811,40	14,88	2883,17	31	744	624,07	3507,24		
Helmikuu	-4,50	16147,01	14,75	2773,00	29	696	583,80	3356,80		
Maaliskuu	-2,58	14931,23	15,22	2670,57	31	744	624,07	3294,63		
Huhtikuu	4,50	10448,06	16,96	1536,43	30	720	603,94	2140,37		
Toukokuu	10,76	6484,13	18,49	630,153	31	744	624,07	1254,22		
ei lasketa ilmanvaihdon lämmityskulutukseen	14,23	Ei lasketa. Kesäkuukausina oletus, ettei lämmitystä tarvita.						0,00	0	
	17,30						0,00	0		
	16,05						0,00	0		
Syyskuu	10,53	6629,77	18,43	643,87	30	720	603,94	1247,81		
Lokakuu	6,20	9371,60	17,37	1327,63	31	744	624,07	1951,69		
Marraskuu	0,50	12980,93	15,98	2128,52	30	720	603,94	2732,45		
Joulukuu	-2,19	14684,28	15,32	2610,91	31	744	624,07	3234,98		
				17204,25	kWh		5515,95	kWh	22720,20	kWh
				17,20	MWh		5,52	MWh	22,7	MWh

Määritettäessä kiertovesipumppujen sähkökulutuksesta muodostuvaa vuosikustannusta voidaan pumppujen kuluttamana energiana käyttää taulukoissa 25 ja 26 esitettyjä kiertovesipumppujen kuluttamia sähköenergioita. Sähkön hintana voidaan käyttää arvoa 16 snt / kWh eli 16 snt / 0,001 MWh, joka perustuu internetissä tehtyyn vertailuun toteutuneista hinnoista sekä todellisten sähkölaskujen vertaamiseen. Hintaa sisältää myös siirtomaksun. Tällöin esilämmityspatterin kiertovesipumpun vuosittaiset käyttökustannukset maksavat yhteensä 312,40 €. Jälkilämmityspatterin kiertovesipumppujen vuosittaiset käyttökustannukset ovat puolestaan 29 € (0,16 € / kWh x 181,27 kWh).

Näin ollen voimme laskea, että esilämmityspiiri käyttää vuodessa 647,10 € vähemmän rahaa ilmanvaihdon lämmittämiseen kuin jälkilämmityspiiri. Energiakaivon avulla saatava vuosikustannussäästö ilmanvaihdon lämmityksen osalta on siis 647,10 €, kun arvioidaan huoltokustannusten menevän tasan.

Korottomaksi takaisinmaksuaika voidaan laskea kaavalla 13

$$n = \frac{H}{T} \quad (13)$$

jossa	
n	takaisinmaksuaika
H	hankintakustannusten erotus
T	vuotuisten kustannusten erotus

$$n = \frac{(27\,990 \text{ €} - 3850 \text{ €})}{647,10 \text{ €}} = 37,30 \text{ vuotta}$$

8.2 Kannattavuuslaskelmat

8.2.1 Esilämmityspiirin kannattavuuslaskelma sisäisen koron menetelmällä

Verrattaessa investointien kannattavuutta pitää vertailla erilaisten ratkaisujen eriaikaisia tuottoja ja kustannuksia. Tyypillistä on, että suurimmat kustannukset investoinnille tulee sen hankintahetkellä ja tuotot syntyvät vasta myöhempänä. Laskentakoron avulla eri aikaan syntyvät tuotot ja kustannukset tehdään vertailukelpoisiksi. koron avulla saadaan ilmaistua ajan kulumisen vaikutus pääoman arvoon. Korko kuvastaa miten kannattavaksi hankinta elinkaarensa aikana muodostuu. [34, s. 7.]

Sisäisellä korolla tarkoitetaan korkokantaa, jolla mahdollisen investoinnin tuottojen ja kustannusten nykyarvoksi muodostuu nolla. Se kuvastaa kuinka investointiin sijoitettu pääoma kasvaa suhteellisesti vuotta kohden. Kannattavan investoinnin sisäinen korko on suurempi tai yhtä suuri kuin investoinnin korkotuottovaatimus. [34, s. 16.]

Sisäinen korko saadaan literoimalla kaavasta 14 [35].

$$\sqrt[n]{\frac{T - Ji_{laskenta}}{T - Hi_{laskenta}}} - 1 = i \quad (14)$$

jossa	
n	tarkasteluaika
T	on vuotuisten kustannusten erotus
J	on jäännösarvo
H	on hankintahintojen erotus
$i_{laskenta}$	on laskenta korko
i	on sisäinen korko

Lasketaan esilämmityspatterin kannattavuutta valmiilla sisäisen koron Excel- taulukolla. Kyseessä on siis työkalu, jonka avulla pystytään tarkastelemaan investoinnin kannattavuutta huomioiden investoinnin hankintahinta, sekä elinkaari kaikkine huolto- ja käyttö-

kustannuksineen. Oletetaan esilämmityspiirin kokonaisuksi 50 vuotta. Lisäksi oletetaan, että vuosittaiset huoltokustannukset, ja yleiset putkistovarusteet menevät tasan jälkilämmityspiirin kanssa, kuten jo aikaisemmin on kuvattu.

Tutkimalla taulukkoa 34 saadaan selville laskennassa tarvittavat kustannukset. Hankintakustannusten erotukseksi muodostuu 24 140 € (27 990 € – 3 850 €), vuosittaisiksi säästöiksi energiamuodon kautta 647,10 €, kuten luvussa 8.1.3 on laskettu. Tämän lisäksi 25 vuoden päästä tulee, aiemmin kuvatun mukaisesti, molempiin järjestelmiin tehtäviksi kattavat huollot. Tämä huolto tulee olemaan 4880 € (8 840 € – 3 850 €) kalliimpi esilämmityspiirin osalta.

Laskentakoron määrittämisessä on käytetty 12 kuukauden euriborkorkoa, jonka arvo tänään (28.10.2016) oli –0,070 %. Tähän lisätään vielä tyypillinen tämän hetken marginaali 1,2 % ja 2 % varaus viitekorkojen noususta investoinnin 50 vuoden tarkasteluajanjaksona. Näin laskentakoron suuruudeksi muodostuu 3,13 %. 50 vuoden päästä oletetaan järjestelmien jäännösarvojen olevan yhtä suuria.

Taulukko 34. Taulukkoon on koottu sisäisen koron laskennassa huomioitavat kustannukset, jotka syntyvät järjestelmän elinaikana

	Esilämmitysjärjestelmä	Jälkilämmitysjärjestelmä
Invetointikustannukset	27 990 €	3850 €
Uusimiskustannukset 25 vuoden päästä	8 840 €	3 850 €
Kaukolämpöenergiakustannukset	772,50 €	1 702,5 €
Sähköenergiakustannukset	312,40 €	29 €

Liitteessä 7 on esitetty laskenta esilämmityspiirin kannattavuudesta. Sen mukaan järjestelmän nettonykyarvoksi muodostuu –10 152 € sisäisen koron ollessa 0,5 %. Järjestelmä ei tule näin toteutettuna kannattavaksi.

8.2.2 Esimerkki esilämmityspiirin ja maaviileän kannattavuudesta sisäisen koron menetelmällä

Toteutetaan vielä esimerkkikannattavuuslaskelma järjestelmälle, jossa sitä käytetään myös jäädytykseen. Näin saadaan paremmin kuva järjestelmän todellisesta potentiaalista. Erään toimittajan mukaan vedenjäädytyskoneen hinnaksi muodostuu asennettuna ja toimintavalmiina noin 12 400 €, joten investointien eroksi muodostuu enää 11 470

€ (27 990 € – 3 850 € – 12 400 €). Ei huomioida tässä laskennassa energiakustannusten muutosta, koska emme tunne järjestelmän käyntiaikoja tai muita suunnitteluarvoja, joten huomioidaan energiakustannusten osalta vain lämmityksessä säästetty energiakustannus, 647,10 €. Oletetaan vielä tässäkin huoltokustannusten ja tarkastusten menevän tasan vuositasolla. Tarkastelemalla LVI- ohjetiedostoa 01-10424 kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot saadaan selvitettyä, että vedenjäähdytyskoneen käyttöiän odote on 25 vuotta. Tehdään oletama, että joitakin osia vedenjäähdytyskoneesta pystytään kuitenkin vielä tuolloinkin hyödyntämään, joten arvioidaan sen huoltokustannusten olevan 6 000 €. Tällöin uusimiskustannukset 25 vuoden kuluttua muuttuvat energiakaivolla toteutetun esilämmitys/jäähdytyspatterin näkökulmasta 1 120 € (3 850 + 6 000 € – 8 840 €) edullisemmaksi.

Liitteessä 8 on esitetty laskenta esilämmityspiirin ja maaviileän kannattavuudesta, kun sillä on toteutettu myös tuloilman jäähdytys. Sen mukaan järjestelmän nettohyötyarvoksi muodostuu 5 025 € sisäisen koron ollessa 5,2 %. Järjestelmä tulee näin toteutettuna vähintäänkin kannattavaksi. Todennäköisesti järjestelmä tulisi vieläkin kannattavamaksi, mikäli tuntisimme järjestelmän avulla saadun energiakustannusmuutoksen tarkasti.

Huomioitavaa tässä on, että todellisuudessa Lohjan Petteriin on suunniteltu vedenjäähdytyskone, jonka jäähdytysteho on 18 kW eli vastaavantehoinen kuin laskennassa käytetty. Lisäksi esilämmityspatterista saatava teho on mitoitettu siten, että sieltä saataisiin 20 kW, mikä ei todellisuudessa pidä paikkaansa. Energiakaivosta saatava jäähdytysteho on noin 5 W/m vähemmän kuin saatava lämmitysteho, jolloin nyt mitoitetusta energiakaivosta saadaan jäähdytystehoa 18,1 kW. Tietenkin jäähdytystä tulisi vielä tutkia tarkemmin, koska tässä työssä sitä ei ole sen tarkemmin tutkittu, mutta mikäli se toimisi edellä kuvatun tapaisesti, olisi energiakaivolla toteutettu esilämmitys / maaviileä patteri ollut kannattava ratkaisu Lohjan Petterissä.

9 Yhteenveto

Tämän insinööriyön tavoitteena oli selvittää, miten lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen korottaminen maakeruupiirillä toteutetulla ilmanvaihdon esilämmityspatterilla, vaikuttaa energiaselvityksessä esitettävään E-lukuun, rakennuksen lämpöhäviölaskelmiin ja ilmanvaihdon SFP-lukuun.

Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittäminen ei ole yksiselitteistä. Sen määrittäminen riippuu pitkälti lähtöarvoista ja tiedoista joita laskennan tekijä käyttää. Asuin-kerrostalo kohteissa tulisi D5:n mukaan käyttää alimpana sallittuna jäteilman lämpötilana +5 °C:ta tai valmistajan ilmoittamaa varmennettua arvoa. Tässä kuitenkin laskennan suorittajat saattavat käyttää haluamiaan arvoja, jotta saavat laskentansa ja laitteensa näyttämään paremmilta kuin todellisuudessa ovat. Myös sisäilman lämpötilalla ja halutulla sisäänpuhalluslämpötilalla on valtava merkitys vuosihyötysuhteen määrittämisessä. Vertailtaessa laitteen toimittajien arvoja tulee tuntee kohteen suunnitteluarvot ja varmistua alimmasta sallitusta jäteilman lämpötilasta, joka on riippuvainen laitteen huurteenestotoiminnasta. [5, s. 63; 24.]

Insinööriyön tulokset pohjautuvat SRV Rakennus Oy:n rakentamaan kohteeseen Lohjan Petteriin laskettuihin esimerkki ratkaisuihin. Laskelmien lähtötietoina on käytetty alan kirjallisuutta, Suomen rakentamismääräyskokoelmia sekä niiden taustamateriaaleja ja Rakennustiedon LVI Net-palvelua ohjetiedostoineen. Lisäksi tietoa on kerätty haastattelemalla puhelimitse ja sähköpostitse alan ammattilaisia, jotta saataisiin aiheeseen liittyvää hiljaista tietoa.

Insinööriyön tuloksena tehdyn tutkimuksen mukaan energiakaivolla voidaan nostaa lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta. Tällä on myös positiivisia vaikutuksia E-lukuun ja rakennuksen lämpöhäviöiden laskelmiin. Lähtökohtaisesti voidaan olettaa, ettei esilämmityksellä olisi juurikaan vaikutuksia SFP-lukuun, koska esilämmityspatteri on mitoitettu niin tehokkaasti, ettei esimerkki kohteessa tarvittaisi jälkilämmityspatteria lainkaan. Mikäli kysymyksessä olisi suuremmat ilmavirrat omaava kohde, voisi esilämmityspatteri kasvaa niin suureksi, että sillä olisi suorat vaikutukset ilmapuolen painehäviöihin. Tällöin puhaltimien koko saattaisi kasvaa huomattavasti. Vaihtoehtoisesti ilmamäärän kasvu voi vaikuttaa esilämmityspatterin mitoitukseen, eikä esilämmityspatterilla saataisi yhtä hyviä vaikutuksia patterin jälkeiseen lämpötilaan kuin Lohjan Petterissä. Tällöin saatetaan tarvita myös jälkilämmityspatteri, joka nostaa ilmapuolen painehäviötä ja samalla nostaa puhaltimien kokoa. Jokainen järjestelmä tulee kuitenkin tarkastella tapauskohtaisesti.

Mikäli, järjestelmä mitoitettaisiin tämän työn kaltaisesti, olisi ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenottokennon toiminta todella varmaa. Huurteenestotoimintoja ei tarvittaisi käytännössä lainkaan, koska LTO-kennon lämpöpinnat pysyisivät plussan puolella, eikä kostea sisäilma rupeaisi huurtumaan kennon pinnalle. Järjestelmän toimintavar-

muuden lisäksi LTO toimisi jatkuvasti hyvällä hyötysuhteella, joka näkyisi suoraan LTO:n vuosihyötysuhteessa. LTO:n vuosihyötysuhteella on suorat vaikutukset ilmanvaihdon vaatimaan nettoenergiantarpeeseen ja sitä kautta myös ostoenergian tarpeeseen.

Tarkasteltaessa taulukossa 35 esitettyjä ilmanvaihtokoneen LTO:n vuosihyötysuhteita, pitää tuntea perusteet ja oletamat, joiden mukaan laskelmat on tehty. Taulukossa esitettyjä arvoja voidaan kuitenkin käyttää yleisesti suuntaa antavina arvoina, miten eri tekijät vaikuttavat toisiinsa.

Taulukko 35. Asuntoja palvelevan ilmanvaihtokoneen LTO:n vuosihyötysuhteen vaikutuksia muihin Lohjan Petterin esimerkkilaskelmiin

	Ei esilämmitystä, sisänpuhalluslämpötila rajoitettu, 17 °C	Ei esilämmitystä, sisänpuhalluslämpötila rajoittamaton	Esilämmitys, sisänpuhalluslämpötila rajoitettu, 17 °C	Esilämmitys, sisänpuhalluslämpötila rajoittamaton	Vertailuarvot Rakennusmääräyskoelmen mukaan
LTO:n vuosihyötysuhde	63 %	68 %	73 %	79 %	45 %
Ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö (lämpimät tilat)	337 W/K	291,5 W/K	245,9 W/K	191,3 W/K	500,9 W/K
Rakennuksen lämpöhäviö (lämpimät tilat)	821 W/K	775 W/K	729 W/K	675 W/K	995 W/K
Järjestelmän E-luku	18,49 kWh/m ²	15,49 kWh/m ²	16,07 kWh/m ²	11,74 kWh/m ²	130 kWh/m ² a (koko asuinkerrostalon E-luku)

10 Pohdinta ja johtopäätökset

Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdelaskentaa voitaisiin mielestäni tarkentaa ja yhtenäistää, mikäli määritettäisiin samankaltainen pysyvyysskäyrä sisäilman kosteudelle, kuin on määritetty testivuoden mukaan ulkoilman lämpötilalle. Sisäilman kosteuden

pysyvyyskäyrän tulisi huomioida rakennuksen käyttötarkoitukseluokka ja ulkoilman lämpötila kyseisenä ajanhetkenä, kun kyseistä kosteuden arvoa ilmenee rakennuksen sisäilmassa. Pysyvyyskäyrän ansiosta nähtäisiin, kuinka alas jäteilman lämpötila saadaan laskea minäkin ajanhetkenä suhteessa ulkoilman lämpötilaan, ja LTO-kenno pysyisi vielä huurtumattomana. Sisäilman kosteuden pysyvyyskäyrän ansiosta saataisiin määritettyä tarkemmin, kuinka suuren osan vuodesta suunnitteilla oleva LTO-kenno toimisi milläkin tehokkuudella. Näin saataisiin määritettyä mahdollisimman tarkka arvo lämmöntalteenoton todelliselle vuosihyötysuhteelle.

Tämän insinööriyön tarkasteluista rajattiin niin sanottu ääritilanteissa toimiva esilämmityspatteri pois, koska sillä ei havaittu olevan juurikaan vaikutuksia lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteeseen eikä E-lukuun. Kyseessä olisi ollut esilämmityspatteri, joka toimii vain ääritilanteissa esim. ulkoilman laskiessa alle -18 °C :n. Syy miksi tällä ei ole juurikaan vaikutusta lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteeseen löytyy ulkoilman pysyvyyskäyrästä. Sen mukaan ulkoilman lämpötila on kylmempää kuin -18 °C vain noin 0,6 % vuodesta. Laskelmieni mukaan tämä ei vaikuta LTO:n vuosihyötysuhteessa edes tuhannesosiin, kun kyseistä arvoa lasketaan lämmitystarveluvuilla. Simuloitaessa ilmanvaihtokonevalmistajien ohjelmilla saattaisi esilämmityspatterilla olla joitakin minimaalisia vaikutuksia vuosihyötysuhteeseen. E-lukuunkaan kyseisellä ratkaisulla ei olisi ollut vaikutusta, koska E-lukulaskennoissa käytettävillä kuukauden keskimääräisillä lämpötiloilla ei kyseinen ratkaisu olisi laisinkaan käytössä. Tämänkaltainen esilämmityspatteri antaa ilmanvaihtokoneelle toimintavarmuutta ääritilanteissa, koska ilmanvaihtokoneeseen ei missään tilanteissa puhalleta ilmaa, joka on alle -18 °C . Esilämmityspatterilla on kuitenkin todennäköisesti hieman vaikutuksia puhaltimien kokoon ja sitä kautta SFP-lukuun sekä tietenkin ilmanvaihtokoneen hankintahintaan.

Energiakaivolla toteutetun esilämmityspatterin todellisia vaikutuksia vuosihyötysuhteeseen voitaisiin vielä tutkia simuloimalla esim. IDA ICE:n (IDA indoor Climate and Energy) avulla. Kyseessä on simulointiohjelma, jonka avulla voidaan mallintaa tarkasti rakennus, sekä sen käyttämät järjestelmät ja säätölaitteet. Sen avulla voitaisiin tarkastella myös kallioperästä saatava lämpöä ja varmistaa energiakaivosta saatava Δt eli virtaavan nesteen (menevän ja tulevan) lämpötilaero. IDA ICE:n avulla tehdään myös astetuntisimuloinnit, joista nähdään tarvitaanko jäähdytystä, joten itse rakennus on jo valmiiksi luotu ohjelmalla. IDA ICE:hen tulisi saada suunnitelmien mukainen lisätyökalu, johon on luotu halutut automaatiopisteet, raja-arvot ja muut tarvittavat tiedot. Tätä työkalua voitaisiin yleisesti hyödyntää kaikissa halutuissa kohteissa, kunhan jokaiselle

kohteelle lasketaan omat suunnitteluarvot mm. tarvittava esilämmityspatterin lämmitysteho.

IDA ICE:n avulla voitaisiin myös simuloida, kuinka kyseinen järjestelmä toimii jäähdytykseen. Esimerkiksi kohteissa, joissa tulisi järjestää tuloilman viilennys sallittujen asteen tunteen ylittyessä, voitaisiin mielestäni realistisesti harkita järjestelmän toteuttamista, kuten luvussa 8.2.2 on aikaisemmin osoitettu sisäisen koron kannattavuuslaskelman yhteydessä. Näin ollen voitaisiin ainakin teoriassa jättää jälkilämmitys asentamatta, eikä erillistä jäähdytysjärjestelmääkään tarvitsisi hankkia. Lisäksi saatava lämmitysenergia olisi ilmaista kuten myös jäähdytysenergia kesällä. Näin saataisiin energia- tehokkaasti hyödynnettyä uusitutuvaa energiaa. Tätä kuitenkin tulisi tutkia kokonaisuutena tarkemmin ennen kuin järjestelmää ruvettaisiin toteuttamaan.

Insinööriyössä tehty E-lukulaskenta suunnitellulle järjestelmälle on tehty suoraan D5:n ohjeiden mukaan, hyödyntäen LTO:n vuosihyötysuhdetta, vaikkakin laskettaessa ostoenergiantarvetta meillä olisi ollut käytössä tarkemmat arvot LTO-kennon jälkeiselle sisäänpuhalluslämpötilalle. Laskenta on tehty näin, koska usein LTO:n vuosihyötysuhde tulee ilmanvaihtokoneen toimittajalta, ja juurikin vuosihyötysuhteen pohjalta puolestaan LVI-suunnittelija/energiasuunnittelija määrittää ilmanvaihdon vaatiman ostoenergian. E-lukua haluttiin tarkastella mahdollisimman tarkasti sen mukaan, miten laskenta todellisessa suunnittelutilanteessa etenee. Tilanne olisi eri, jos tiedettäisiin varmasti, että E-luvun laskennan suorittajallakin olisi tiedossa tarkat sisäänpuhalluslämpötilat LTO:n jälkeen.

Insinööriyössäni esitetty järjestelmä on mitoitettu soveltaen aikaisemmin koulussa opittuja tietoja ja taitoja, hyödyntäen luentomateriaaleissa esitettyjä laskentakaavoja ja ohjeita. Maalämpöjärjestelmästä saatava teho perustuu useamman maalämpötoimittajan käyttämiin arvoihin. Maalämmöstä saatava lämmitysteho kuitenkin poikkeaa hie man alan kirjallisuudessa kerrotuista arvoista. Mielestäni juurikin maaperästä saatavaa lämmitystehoa ja Δt :tä tulisi tutkia simuloinneilla ja ehkäpä maaperätutkimuksella. Tärkeää järjestelmän toimivuuden kannalta olisi varmistaa todellinen maaperästä saatava teho energiakaivon syvyysmetriä kohden sekä syvyys, jossa alkaa energiakaivon todellinen tehollinen syvyys.

Mielestäni mielenkiintoisinta tutkimuksessani oli se, että esimerkikohteeseen pystyttiin mitoittamaan järjestelmä niin, ettei jälkilämmityspatteria enää tarvittaisi. Tämä antaa

mielestäni järjestelmälle mahdollisuuden, koska osa järjestelmän kustannuksista pystytään korvaamaan sillä, ettei ilmanvaihto tarvitsisi enää kaukolämmöllä toteutettua jälkilämmityspatteria, kaukolämpöpaketissa olevaa lämmönsiirintä, eikä muitakaan jälkilämmityspatterin vaatimia komponentteja. Lisäksi kohteet, jotka vaatisivat tuloilman viilennystä, antavat järjestelmälle taustatukea sen kannattavuudesta, kuten luvussa 8 on osoitettu.

Nyt on jo selvitetty energiakaivolla toteutetun esilämmityksen vaikutuksia lämmityskäytössä LTO:n vuosihyötysuhteeseen ja sitä kautta lämpöhäviölaskelmiin sekä E-lukuun. Vielä olisi mielestäni järkevää tutkia tuloilman viilennyksen vaikutuksia E-lukuun verratun kohteeseen, jossa vaadittu tuloilman viilennys on toteutettu kaukojäähdytyksellä tai vedenjäähdytyskoneella. Tietenkin olisi myös muistettava tutkia eri ratkaisujen kustannusvaikutuksia hankintahintoihin sekä järjestelmän elinkaarikustannuksiin luvun 8 mukaisesti. Insinööriyön pohjalta on myös osoitettu, ettei pelkän esilämmityksen toteuttaminen energiakaivolla ole kustannustehokasta, vaan jäähdytystä tulisi tarkastella lisää, jotta järjestelmästä saataisiin varmuudella kannattava.

Henkilökohtaisesti minut yllätti työn laajuus, tai pikemminkin se, kuinka paljon LTO:n vuosihyötysuhteella on vaikutuksia moniin muihin laskelmiin. Jatkossa aion vielä tutkia järjestelmän vaikutuksia tuloilman viilennykseen ja kustannuksiin, jotta saadaan varmasti realistinen kuva järjestelmän kokonaisvaikutuksista. Mielestäni insinööriyöni kautta saatuun tietopakettiin pohjautuva mahdollinen jatkotutkimus on yksinkertaisempaa ja vähemmän aikaa vievää kuin itse insinööriyön tekeminen oli, koska insinööriyössäni on jo esitelty kattavasti energiakaivon ja esilämmityspatterin vaikutuksia ilmanvaihtoon liittyvästä energialaskennasta lämmitysenergian näkökulmasta.

Lähteet

- 1 Rakennusten energiatehokkuutta ohjaavat direktiivit. 2014. Verkkodokumentti. Rakennusteollisuus. < <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/Ilmasto--ja-energiapolitiikka/Energiatehokkuus-suunnitteluvaiheessa/>>. Luettu 14.10.2016
- 2 Rakennusten energiatehokkuutta koskeva lainsäädäntö. 14.6.2016. Verkkodokumentti. Ympäristöministeriö <http://www.ymparisto.fi/fifi/maankaytto_ja_rakentaminen/lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakennuksen_energiatehokkuutta_koskeva_lainsaadanto> Luettu 18.7.2016.
- 3 Rakennuksen energiatodistus. 2014 Verkkodokumentti. ymparisto.fi <[http://www.ymparisto.fi/fifi/Rakentaminen/Rakennuksen_energia_ja_ekotehokkuus/Rakennuksen_energiatodistus/Rakennuksen_energiatodistus\(17447\)](http://www.ymparisto.fi/fifi/Rakentaminen/Rakennuksen_energia_ja_ekotehokkuus/Rakennuksen_energiatodistus/Rakennuksen_energiatodistus(17447))> Luettu 19.7.2016.
- 4 Rakennusten energiatehokkuus. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D3. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 5 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2013. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 6 Stammeier, Hanna. 2016. Lehtori, Metropolia Ammattikorkeakoulu. Espoo. Haastattelu 31.5.2016.
- 7 Tehokas lämmöntalteenotto tuo suoria säästöjä taloyhtiölle. 2015. Verkkodokumentti. Consti <<http://www.consti.fi/erikoistyot/lammontalteenotto/?gclid=CNDTzoP4s0C FakMcowdkh4ODQ>> Luettu 19.7.2016.
- 8 Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto, ohje. 2010. LVI 38-10454. Rakennustieto Oy.
- 9 SRV:n talotekniikan järjestelmäkuvaus. 2016.
- 10 Ilmanvaihtokoneenesimerkkikytkentäkaavio. SRV:n talotekniikan järjestelmäkuvaus. 2016
- 11 EU: komission asetus. direktiivi N:o 1253/2014. 2014.
- 12 Tasauslaskentaopas 2012. 2011. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 13 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Helsinki: ympäristöministeriö.

- 14 Sandberg, Esa (toim.). 2014. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät, ilmastointitekniikka osa 1. Talotekniikka- Julkaisut Oy.
- 15 Kopra, Tommi. 2016. Ekosuunnitteludirektiivin vaikutus ilmanvaihdon suunnitteluun. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 16 Piirustusluettelo. As. Oy Lohjan Petter. 2015.
- 17 Rakennustieto. 2012. LVI 38-10515. Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskenta, ohje. Rakennustieto Oy.
- 18 Rakennustieto. 2013. LVI 30-10529. Ilmanvaihdon ominaissähköteho SFP, ohje. Rakennustieto Oy.
- 19 Sisäilmastoluokitus 2008. 2008. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. Rakennustieto Oy.
- 20 Allergialiitto kehottaa seuraamaan huoneilman lämpötilaa ja suhteellista kosteutta. 13.12.2004. verkkodokumentti. Taloyhtio.fi. <<http://www.taloyhtio.net/hoku/hokutiedotteet/5402.aspx>>. Luettu 17.7.2016
- 21 Rakennusten sisäilmaston suunnitteluperusteet, ohjetiedosto. Rakennustieto. 2007. LVI 05-10417. Rakennustietosäätiö RTS ja LVI-Keskusliitto ry.
- 22 Vinha, Juha. 2011. RTEK-3511. Rakennusfysiikka luentomoniste, Osa 2. Tampereen teknillinen yliopisto.
- 23 Innanen, Seppo. 2015. Luentokalvo: ilmastointitekniikka 2. Espoo, Metropolia AMK.
- 24 Ali-Rantala, Olli. 2016. Myyntipäällikkö, Swegon. Helsinki. Sähköpostikeskustelu 15.6.2016 - 2.9.2016.
- 25 Elektronisesti ohjattu tulo / poistoilmanvaihto lämmöntalteenotolla. 8.2.2011. Verkkodokumentti. Vallox. <http://lampoykkonen.fi/wp-content/uploads/2012/07/vallox_150effectse.pdf>. Luettu 3.8.2016.
- 26 Mitä tarkoitetaan porakaivon tehollisella syvyydellä?. verkkodokumentti. geodrill.fi <<http://www.geodrill.fi/maalampo/lampokaivo>>. Luettu 5.8.2016.
- 27 Energiakaivo, Maalämmön hyödyntäminen pientalossa. Ympäristöopas. . 2013 Helsinki. Ympäristöministeriö.
- 28 Niemelä, Jouko. 2016. Diplomi-insinööri, Equa simulation Oy. Helsinki. Sähköpostikeskustelu 4.8.2016–8.9.2016.

- 29 Sähköposti- ja puhelinkeskustelut, alanasiantuntijoiden kanssa. 15.5.2016–11.10.2016.
- 30 Valkeapää, Aki. 2015. Luentokalvo. Lämmitystekniikka 2. Espoo, Metropolia Amk.
- 31 Aittomäki, Antero. 2001. Välilliset kylmälaitokset, suunnittelu ja rakentaminen. Tampereen teknillinen korkeakoulu, energia- ja prosessitekniikka.
- 32 Etsi tuotteita ja ratkaisuja. 2016. Verkkodokumentti. Grundfos.com. <<http://product-selection.grundfos.com/front-page.html?time=1476444620242&qcid=53630152>>. Luettu 8.10.2016
- 33 Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot, ohjetiedosto. 2008. LVI 01-10424. Rakennustietosäätiö RTS:n toimikunta.
- 34 Aalto, Risto. 2015. Luentokalvo. Energiataloudellisten vertailumenetelmien perusteet. Tampere, TTY.
- 35 Stammeier, Hanna. 2016. Talotekniikan elinkaari. Luentokalvo. Espoo, Metropolia AMK.

Lämmitystehon ja energiakulutuksen laskennassa käytettävät säätiedot säävyöhykkeellä 1 ja 2

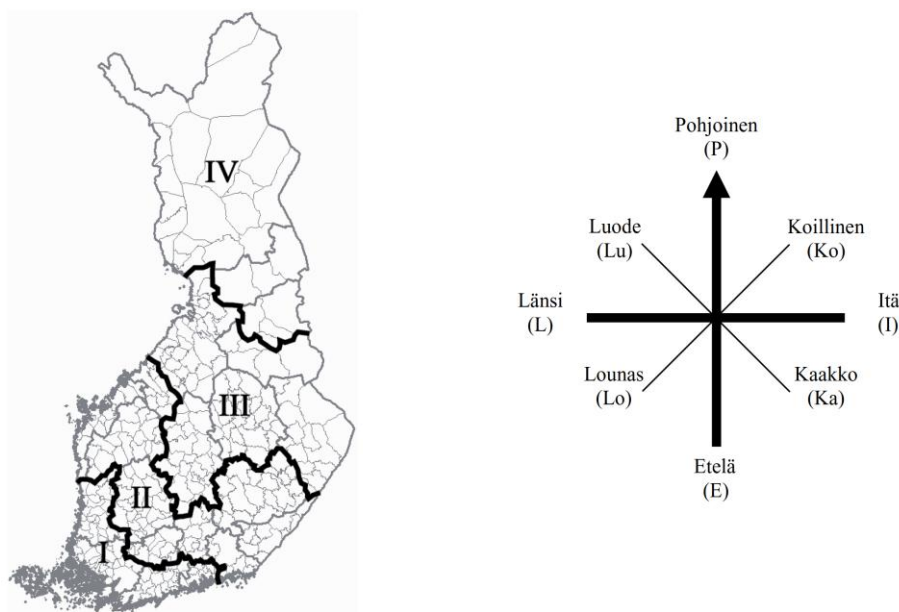
LIITE 2

Lämmitystehon ja energiakulutuksen laskennassa käytettävät säätiedot

Lämmitysteho ja energiakulutus lasketaan tässä liitteessä esitetyillä säätiedoilla. Suomi on jaettu neljään säävyöhykkeeseen. Säävyöhykkeet esitetään kuvassa L2.1. Vaatimusten mukaisuuden osoittamisessa kokonaisenergiakulutuksen laskenta ja kesäajan huonelämpötilan laskenta tehdään säävyöhykkeen I säätiedoilla. Energiakulutuksen laskennassa käytettävän testivuoden kuukausittaiset ulkoilman keskilämpötilat ja auringon säteilyenergiat (taulukot L2.2 – L2.4) pohjautuvat Helsinki-Vantaan lentoaseman (säävyöhykkeet I ja II), Jyväskylän lentoaseman (säävyöhyke III) ja Sodankylän ilmatieteellisen tutkimuskeskuksen (säävyöhyke IV) säähavaintoasemien mittauksiin vuosilta 1980-2009. Lämmitystehontarpeen laskenta tehdään rakennuspaikan maantieteellisen sijainnin mukaisella säävyöhykkeen mitoittavalla ulkolämpötilalla (taulukko L2.1). Säävyöhykkeille I ja II on esitetty erikseen mitoittavat ja keskimääräiset ulkoilman lämpötilat. Säävyöhykkeen II tiedot pohjautuvat Jokioisten observatorion säähavaintoihin. Normituslämmitystarvelukua (S17) käytetään apuna, jos halutaan verrata testivuoden lämmitystarvetta muiden vuosien tai paikkakuntien lämmitystarpeeseen.

Selostus

Testivuoden tunnitaiset säätiedot eri säävyöhykkeille on saatavissa esimerkiksi ympäristöministeriön www-sivuilta.



Kuva L2.1. Säävyöhykkeet.

Taulukko L2.1. Mitoittavat ja keskimääräiset ulkoilman lämpötilat eri säävyöhykkeillä.		
Säävyöhyke	Mitoittava ulkoilman lämpötila, °C	Vuoden keskimääräinen ulkoilman lämpötila, °C
I	-26	5,3
II	-29	4,6
III	-32	3,2
IV	-38	-0,4

Taulukko L2.2. Säättiedot kuukausittain säävyöhykkeellä I ja II. Helsinki-Vantaa.

Kuukausi	Ulkoilman keskilämpötila, $T_u, ^\circ\text{C}$	Auringon kokonaissäteilyenergia vaakatasolle, $G_{\text{säteily, vaakapinta}}, \text{kWh/m}^2$	Normitukseen käytettävä lämmitystarveluku, S17, Kd
Tammikuu	-3,97	6,2	650
Helmikuu	-4,50	22,4	602
Maaliskuu	-2,58	64,3	607
Huhtikuu	4,50	119,9	354
Toukokuu	10,76	165,5	117
Kesäkuu	14,23	168,6	9
Heinäkuu	17,30	180,9	0
Elokuu	16,05	126,7	31
Syyskuu	10,53	82,0	161
Lokakuu	6,20	26,2	331
Marraskuu	0,50	8,1	495
Joulukuu	-2,19	4,4	595
Koko vuosi	5,57	975	3952

Auringon kokonaissäteilyenergia pystypinnoille eri ilmansuuntiin,
 $G_{\text{säteily, pystypinta}}, \text{kWh/m}^2$

Kuukausi	P	Ko	I	Ka	E	Lo	L	Lu
Tammikuu	6,2	4,7	3,8	9,5	12,9	9,5	3,8	4,7
Helmikuu	17,3	13,8	15,6	31,0	41,4	30,9	15,6	14,0
Maaliskuu	40,3	38,1	48,5	75,1	89,5	69,4	43,7	36,9
Huhtikuu	43,9	56,3	79,9	101,1	107,3	101,6	80,6	56,8
Toukokuu	57,8	82,1	112,8	123,3	116,0	117,5	104,5	76,3
Kesäkuu	70,6	87,9	109,6	109,9	101,6	110,9	111,2	89,1
Heinäkuu	66,3	91,1	118,8	123,1	115,5	128,6	122,7	91,2
Elokuu	50,0	66,4	91,8	106,0	100,4	92,8	78,8	61,1
Syyskuu	32,9	37,5	56,5	83,9	100,5	87,3	59,3	38,1
Lokakuu	17,9	15,6	17,5	28,3	37,0	30,0	18,8	15,7
Marraskuu	7,2	5,5	5,1	12,3	16,8	12,3	5,1	5,6
Joulukuu	4,2	3,2	2,6	8,4	11,8	8,8	2,9	3,2
Koko vuosi	414,6	502,2	662,5	811,9	850,7	799,6	647,0	492,7

Muunnoskerroin F_{suunta} , jolla vaakatasolle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia muunnetaan pystypinnalle tulevaksi kokonaissäteilyenergiaksi eri ilmansuunnissa

Kuukausi	P	Ko	I	Ka	E	Lo	L	Lu
Tammikuu	0,995	0,757	0,609	1,531	2,080	1,519	0,605	0,759
Helmikuu	0,774	0,618	0,700	1,387	1,854	1,381	0,700	0,624
Maaliskuu	0,627	0,592	0,754	1,169	1,392	1,079	0,679	0,574
Huhtikuu	0,366	0,470	0,666	0,843	0,895	0,847	0,672	0,474
Toukokuu	0,349	0,496	0,681	0,745	0,701	0,710	0,632	0,461
Kesäkuu	0,419	0,521	0,650	0,652	0,602	0,658	0,659	0,528
Heinäkuu	0,367	0,503	0,657	0,681	0,639	0,711	0,679	0,504
Elokuu	0,395	0,524	0,725	0,837	0,793	0,732	0,622	0,482
Syyskuu	0,401	0,457	0,689	1,023	1,225	1,064	0,723	0,465
Lokakuu	0,683	0,595	0,670	1,081	1,412	1,144	0,718	0,598
Marraskuu	0,888	0,683	0,632	1,519	2,068	1,519	0,633	0,686
Joulukuu	0,920	0,697	0,571	1,850	2,615	1,942	0,637	0,697
Koko vuosi	0,425	0,515	0,679	0,833	0,872	0,820	0,663	0,505

Esilämmityspatterin tekniset arvot

LUVATA

2016-09-16

Luvata Söderköping AB | SE-614 81 Söderköping, Sweden | Phone +46 121 191 00 | Fax +46 121 101 01 | Web www.luvata.com/coiltech

Asiakas

Kohde/viite
Viitteemme

Patterit Luvata Söderköping

	Pos	Heating	
Ilma	Teho	21.0	kW
	Virta	0.70	m ³ /s
	Lämpötila sisään	-26.0	°C
	Lämpötila ulos	-1.1	°C
	Painehäviö	58	Pa
	Nopeus	1.3	m/s
Vesi	Vesi sis. 40 % Etanoli		
	Virta	0.96	l/s
	Lämpötila sisään	4.0	°C
	Lämpötila ulos	-2.0	°C
	Painehäviö	83	kPa
	Nopeus	1.5	m/s
Mittatiedot	Lamellin leveys / kokonaisleveys	950 / 1096	mm
	Lamellin korkeus / kokonaiskorkeus	500 / 554	mm
	Rakennesyvyys	240	mm
	Putkirivien lkm.	6	
	Lamellijako	2.0	mm
	Vesireittien lkm.	16	
	Liitântäkoko DN	DN 1x25	
	Otsapinta / Lämpöpinta	0.47 / 74	m ²
	Paino / Tilavuus	48 / 13	kg / l
Materiaalit	Mtrl. lamelliputki	Kupari	
	Mtrl. lamellit	Alumiini	
	Mtrl. kokoojaputket	Kupari	
	Mtrl. kehys	Sinkitty teräs	
Tuotetunnus	BQEE-011-01-06-20-16-0-01		

LUVATA

2016-09-16

Luvata Söderköping AB | SE-614 81 Söderköping, Sweden | Phone +46 121 191 00 | Fax +46 121 101 01 | Web www.luvata.com/coiltech

Asiakas

Kohde/viite
Viitteemme

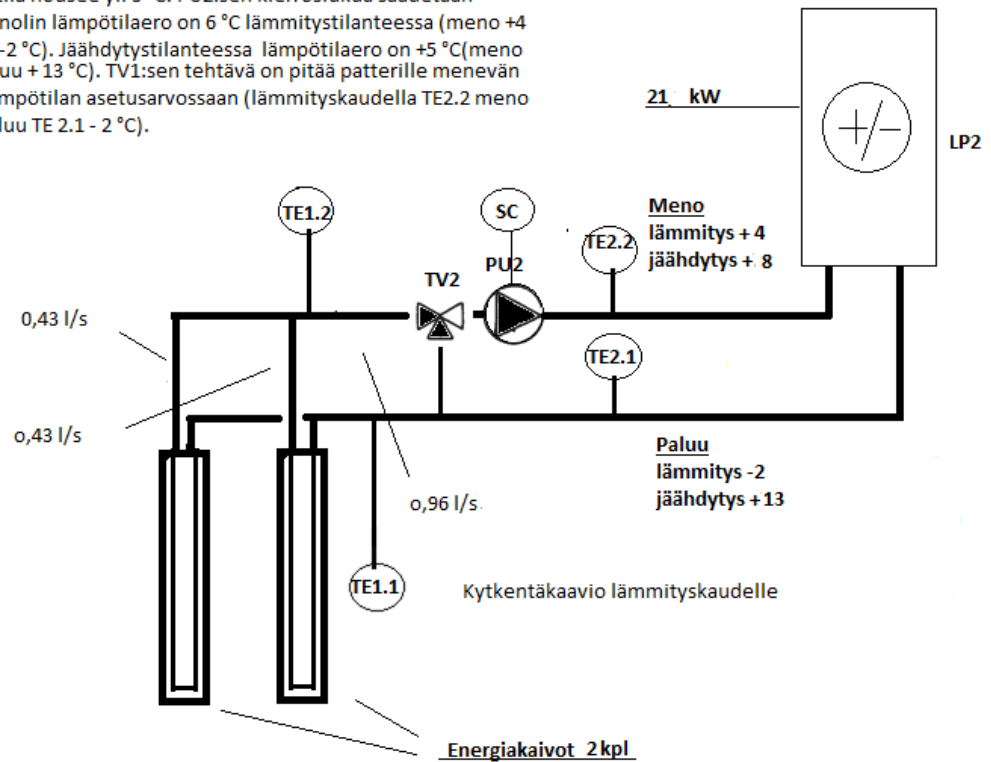
Patterit Luvata Söderköping

	Pos	Cooling	
Ilma	Teho	20.0	kW
	Virta	0.70	m ³ /s
	Lämpötila sisään	26.0	°C
	Tuloilman kosteus	55	%
	Lämpötila ulos	11.1	°C
	Poistoilman kosteus	100	%
	Vesisisältö	2.8	g/s
	Painehäviö, märkä / kuiva	81 / 65	Pa
	Nopeus	1.5	m/s
Vesi	Vesi sis. 40 % Etanoli		
	Virta	1.08	l/s
	Lämpötila sisään	7.0	°C
	Lämpötila ulos	12.0	°C
	Painehäviö	93	kPa
	Nopeus	1.7	m/s
Mittatiedot	Lamellin leveys / kokonaisleveys	950 / 1096	mm
	Lamellin korkeus / kokonaiskorkeus	500 / 554	mm
	Rakennesyvyys	240	mm
	Putkirivien lkm.	6	
	Lamellijako	2.0	mm
	Vesireittien lkm.	16	
	Liitäntäkoko DN	DN 1x25	
	Otsapinta / Lämpöpinta	0.47 / 74	m ²
	Paino / Tilavuus	48 / 13	kg / l
Materiaalit	Mtrl. lamelliputki	Kupari	
	Mtrl. lamellit	Alumiini	
	Mtrl. kokoojaputket	Kupari	
	Mtrl. kehys	Sinkitty teräs	
Tuotetunnus	BQEE-011-01-06-20-16-0-01		

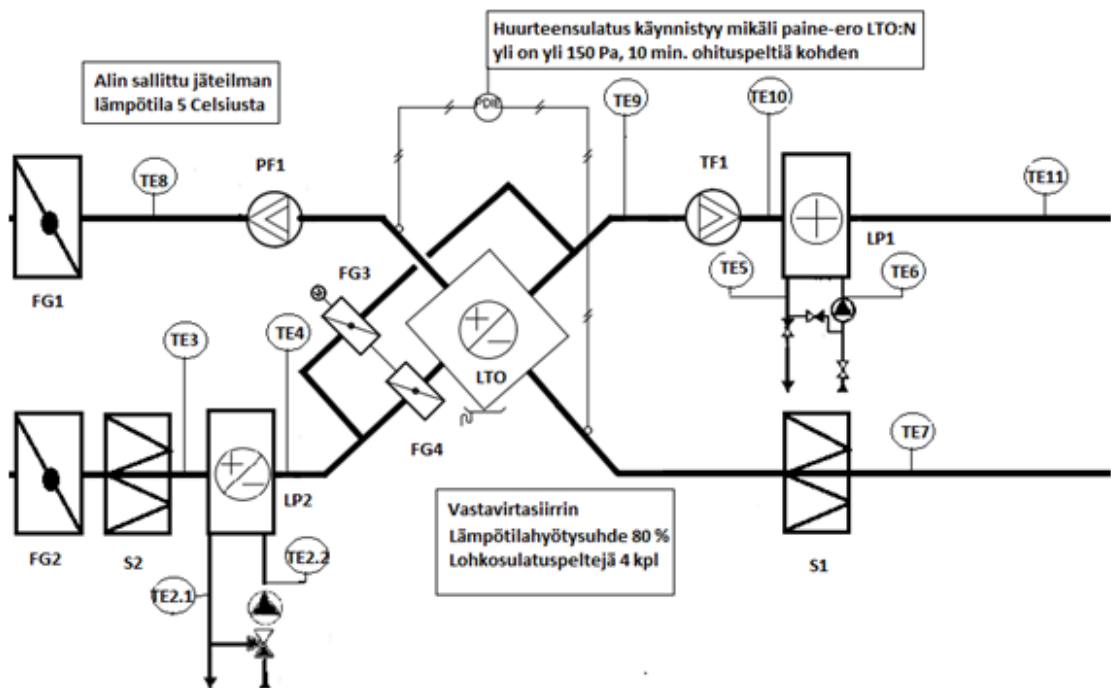
Esilämmityspatterin esimerkkikytkentäkaavio

Esilämmityksen kytkentäkaavion toimintaselostus

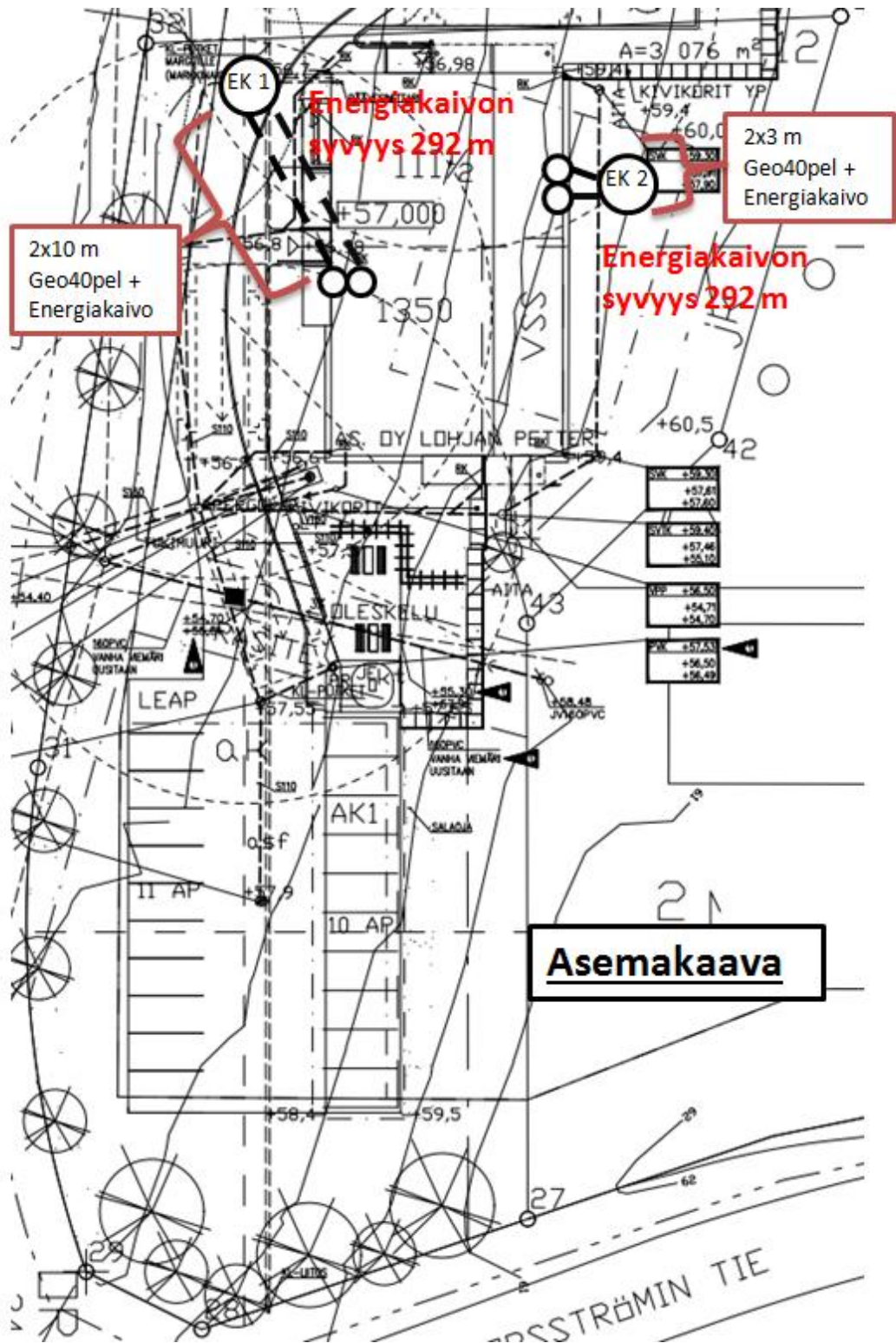
PU2 käynnistyy kun ulkolämpötila laskee alle 0°C ja pysähtyy kun ulkolämpötila nousee yli 3°C . PU2:sen kierroslukua säädetään kunnes etanolin lämpötilaero on 6°C lämmitystilanteessa (meno $+4^{\circ}\text{C}$ ja paluu -2°C). Jäähdytystilanteessa lämpötilaero on $+5^{\circ}\text{C}$ (meno $+8^{\circ}\text{C}$ ja paluu $+13^{\circ}\text{C}$). TV1:sen tehtävä on pitää patterille menevän nesteen lämpötilan asetusarvossa (lämmityskaudella TE2.2 meno $+4^{\circ}\text{C}$ ja paluu TE2.1 -2°C).

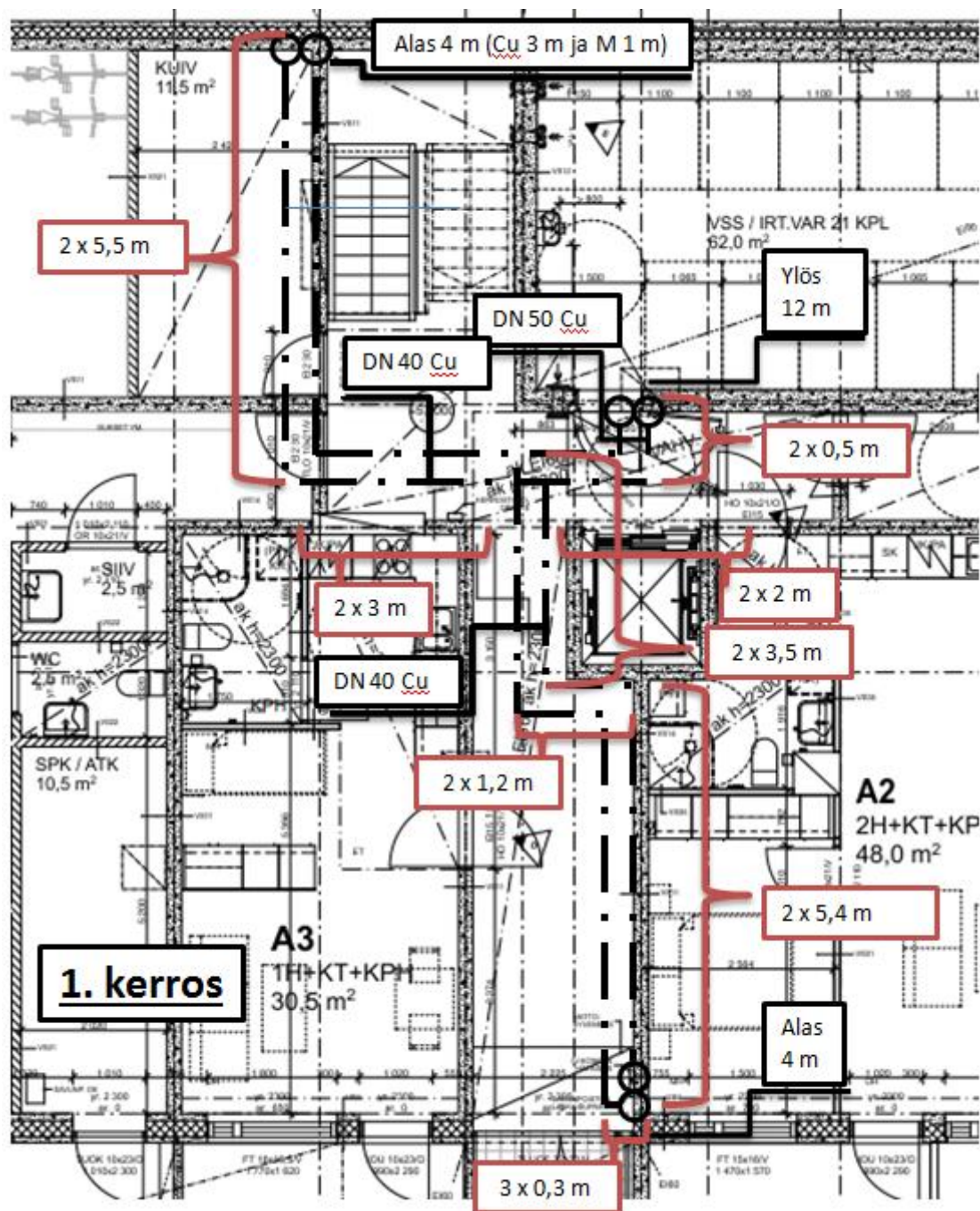


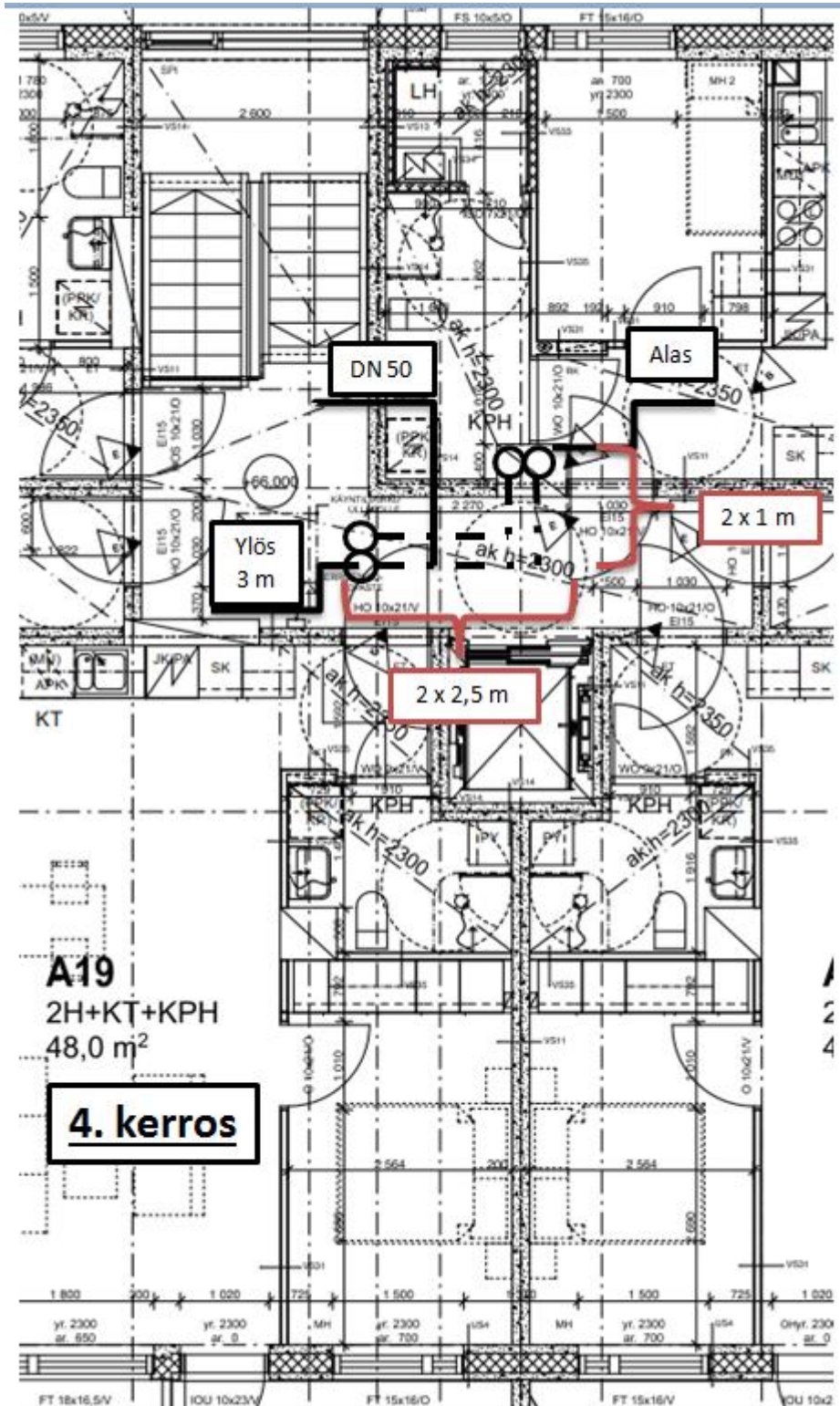
Esilämmityspatterilla varustetun ilmanvaihtokoneen esimerkkikytkentäkaavio

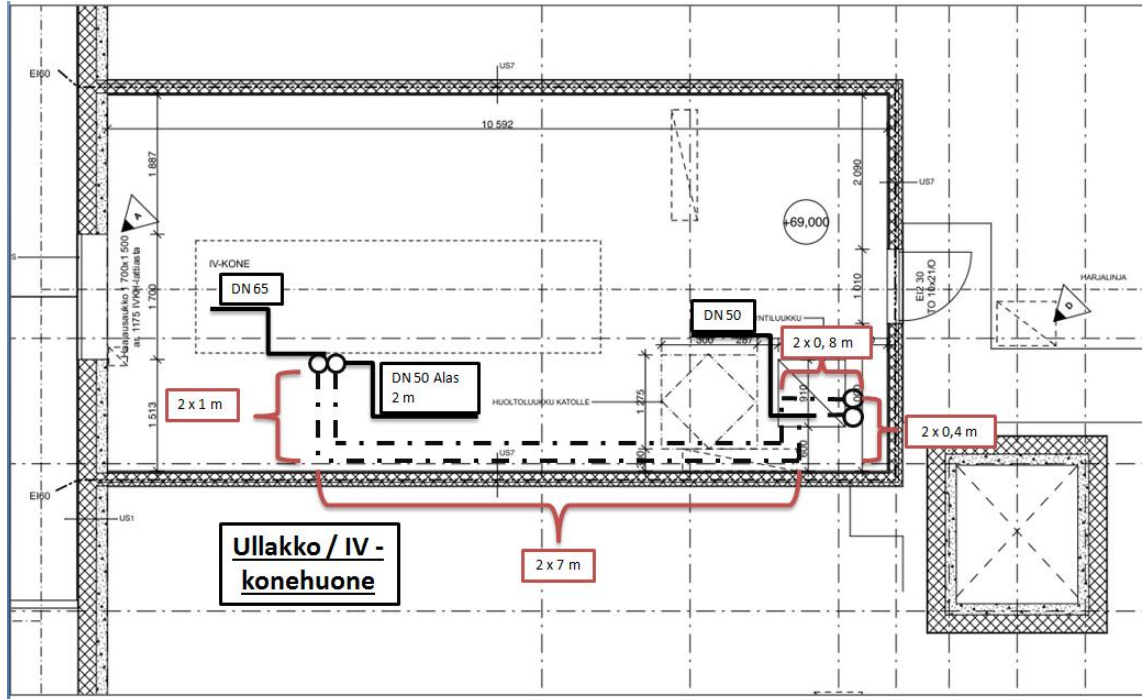


Petterin esilämmityspatterin maakeruupiirin suunnitelma tasokuvina









Esimerkki LTO:n vuosihyötysuhteen vaikutuksista lämpöhäviölaskelmiin

Rakennuksen lämpöhäviön tasauslaskelma, D3-2012 (voimassa 1.7.2012 alkaen)

Rakennuskohde	As. Oy Lohjan Petter
Rakennuslupatunnus	
Rakennustyyppi	Asuinkerrostalo
Pääsuunnittelija	
Tasauslaskelman tekijä	Tapio Korpi
Päiväys	6.10.2016
Tulos: Suunnitteluratkaisu	TÄYTTÄÄ VAATIMUKSET

Rakennuksen laajuustiedot

Rakennustilavuus	5 312 rak-m ³
Maanpäälliset kerrostasosalat yhteensä	1 661 m ²
Lämmitetty nettoala, lämpimät tilat	1 518 m ²
Lämmitetty nettoala, puoliämpimät tilat	69 m ²
Rakennusluokka (1 - 9)	2
Ilmanvaihdon huoneisto-kohtainen ohjausmahdollisuus (0 tai 1)	0
Rakennuksen kerrosmäärä	4 kerrosta

Laskentatuloksia

Julkisivupinta-ala on 787 m²
 Ikkunapinta-ala on 14 % maanpäällisestä kerrostasosalasta
 Ikkunapinta-ala on 30 % julkisivun pinta-alasta
 Lämpöhäviö on 82 % vertailutasosta (lämpimät tilat)
 Lämpöhäviö on 86 % vertailutasosta (puoliämpimät tilat)

Perustiedot	Pinta-alat, m ²		U-arvot, W/(m ² K)			Lämpöhäviöiden tasaus	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Enimmäis- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
RAKENNUSOSAT							
Lämpimät tilat							
Ulkoseinä	472	485	0,17	0,60	0,17	80,2	82,5
Hirsiseinä			0,40	0,60		-	-
Yläpohja	282	282	0,09	0,60	0,09	25,4	25,4
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,09	0,60		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹⁾	360		0,17	0,60	0,17	61,2	61,2
Alapohja (maanvastainen) ²⁾			0,16	0,60		-	-
Muu maanvastainen rakennusosa ²⁾	107		0,16	0,60	0,16	17,1	17,1
Ikkunat	249,2	236,0	1,00	1,80	1,00	249,2	236,0
Uiko-ovet ja tuuletusluukut ³⁾	12,0		1,00	1,80	1,00	12,0	12,0
Kattoikkunat			1,00	1,80		-	-
Kattovalokuvut			1,00	2,00		-	-
Lämpimät tilat yhteensä	1 482	1 482				445,1	434,2
Puoliämpimät tilat tai määräaikaiset rakennukset							
Ulkoseinä	52	52	0,26	0,60	0,26	13,5	13,5
Hirsiseinä			0,60	0,60		-	-
Yläpohja	79	79	0,14	0,60	0,14	11,1	11,1
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,14	0,60		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹⁾			0,26	0,60		-	-
Alapohja (maanvastainen) ²⁾			0,24	0,60		-	-
Muu maanvastainen rakennusosa ²⁾			0,24	0,60		-	-
Ikkunat			1,40	2,80		-	-
Uiko-ovet ja tuuletusluukut ³⁾	2,1		1,40	2,80	1,40	2,9	2,9
Kattoikkunat			1,40	2,80		-	-
Kattovalokuvut			1,40	2,80		-	-
Puoliämpimät tilat yhteensä	133	133				27,5	27,5
VAIPAN ILMAVUODOT							
Vuotoilma							
Lämpimät tilat	2,0	2,0		0,0412	0,0412	49,4	49,4
Puoliämpimät tilat	2,0			0,0037		4,4	-
ILMANVAIHTO							
Hallittu ilmanvaihto							
Lämpimät tilat		0,759		45	63	500,9	337,0
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta				0		-	-
Puoliämpimät tilat				45		-	-
Puoliämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta				0		-	-
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus							
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä						995	821
Puoliämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä						32	28

© Ympäristöministeriö, Tasauslaskelma 2012 (versio joulukuu 2012)

- Ryömintätilaan rajoittuvan alapohjan lämmönläpäisykerroimen laskennassa voidaan ottaa huomioon ryömintätilan ilman ulkoilmaa korkeampi vuotuisen keskilämpötila, jos ryömintätilan tuuletusaukkojen määrä on enintään 8 promillea alapohjan pinta-alasta. Tällöin osan C4 ohjeen mukaan yksityiskohtaisesti lasketun U-arvon sijaan voidaan käyttää rakenteen U-arvoa kerrottuna kertoimella 0,9. Jos ryömintätilan tuuletusaukkojen määrä on yli 8 promillea alapohjan pinta-alasta, alapohja lasketaan ulkoilmaan rajoittuvana.
- Maanvastaisen lattia- tai seinärakenteen lämmönläpäisykerroin voidaan osan C4 mukaisesti laskea yksinkertaistetusti kertomalla pelkän lattia- tai seinärakenteen lämmönläpäisykerroin kertoimella 0,9. Kerroin ottaa huomioon maan lämmönvastuksen. Yksinkertaistettu menetelmä ei ota huomioon rakennuksen geometrian vaikutusta.
- Uiko-oviin ja tuuletusluukuihin sisältyvät myös savunpoisto-, uloskäynti- ja huolto- ja muut vastaavat luukut.

Rakennuksen lämpöhäviön tasauslaskelma, D3-2012 (voimassa 1.7.2012 alkaen)

Rakennuskohde	As. Oy Lohjan Petter
Rakennuslupatunnus	

Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden tarkistuslista (osa D3)				
Pinta-alat				
Vertailuikkunapinta-ala on 15 % yhteenlasketuista maanpäällisistä kerrostasoaloista, mutta kuitenkin enintään 50 % julkisivujen pinta-alasta	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Rakennusosien yhteenlaskettu pinta-ala sama molemmissa ratkaisussa	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
- lämpimissä tiloissa	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
- puoliämpimissä tiloissa	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Rakennusosien U-arvot				
U-arvot ovat enintään enimmäisarvojen suuruista	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Rakennusvaipan ilmanpitävyys				
Rakennusvaipan ilmanvuotoluvun q_{50} suunnitteluarvo on enintään enimmäisarvon suuruinen	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Enimmäisarvo	Suunnitteluarvo
- lämpimissä tiloissa	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4	2,00
- puoliämpimissä tiloissa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4	
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus				
Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään vertailuratkaisun suuruinen	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Vertailuarvo	Suunnitteluarvo
- lämpimissä tiloissa	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	995 W/K	821 W/K
- puoliämpimissä tiloissa	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	32 W/K	28 W/K
Tarkistuslistan yhteenveto				
Suunnitteluratkaisu täyttää lämpöhäviövaatimukset	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		

© Ympäristöministeriö, Tasauslaskelma 2012 (versio joulukuun 2012)

Lisäselvitykset	
Rakennuksen ilmanpitävyys	
Rakennuksen suunnitteluratkaisun lämpöhäviön laskennassa käytetään rakennusvaipan ilmanvuotoluvun q_{50} suunnitteluarvoa. Suunnitteluarvon valinnasta on esitettävä selvitys. Rakennusvaipan ilmanvuotoluku q_{50} saa olla enintään $4 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$, mutta ilmanvuotoluku voi ylittää tämän arvon, jos rakennuksen käytön vaatimat rakenteelliset ratkaisut huonontavat merkittävästi ilmanpitävyyttä. Jos ilmanpitävyyttä ei osoiteta mittaamalla tai muulla menettelyllä, rakennusvaipan ilmanvuotolukuna käytetään arvoa $4 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$.	
Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) vuosihyötysuhde	
Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittämisestä on esitettävä selvitys. Rakennuksen ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde voidaan määrittää lämmöntalteenotolaitteen valmistajan ilmoittaman varmennetun vuosihyötysuhteen perusteella. Ohjeita vuosihyötysuhteen määrittämiseksi esitetään ympäristöministeriön monisteessa 122 ja tasauslaskentaoppaassa. Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde määritetään osassa D3/2012 esitetyn säävyöhykke I:n säätiedoilla (Helsinki-Vantaa).	

Esilämmityspiirin kannattavuus sisäisen koron menetelmällä

Energia- ja elinkaartilous	nettonykyarvo	-10152
Energiatalous-Elinkaartilaskuri	sisäinen korko (reaalinen)	0,5 %
Tapio Korpi	nimellinen korko	2,5 %
28.10.2016	inflaatioarvas	2,0 %

Tälle vihreälle alueelle voi lisätä muistiinpanoja. Vihreitä alueita voi siis muuttaa. Muut on lukittu. Lukituksen saa auki kohdasta, työkalut, suojaus (salasana=elinkaari). Taulukossa pitää joka solussa olla luku, jotta laskenta toimii. Siellä pitää siis olla nolla eikä tyhjä solu silloin, kun kyseisen kohdan arvo on nolla. Muutamassa kohdassa löytyy ohjeita (kommenteja).

=näitä vihreitä alueita voi muuttaa, lukitussalasanana on "elinkaari"

OHJE

Muutuskustannukset

Laskentakorko:		3,13 %		Yhteensä			
Kassa- virtojen nykyarvot	-24140	0	16246	0	-2258	-10152	
wosi	hankinta- kustannus	jäännös- arvo	energia- kustannus- muutos	huolto- kunnossa- pito- kustannus- muutos	uusimis- kustannus- muutos	Kassa- virta yhteensä	Kumula- tiivinen kassa- virta
0	-24140					-24140	-24140
1		0	647,10	0	0	647,1	-23492,9
2		0	647,10	0	0	647,1	-22845,8
3		0	647,10	0	0	647,1	-22198,7
4		0	647,10	0	0	647,1	-21551,6
5		0	647,10	0	0	647,1	-20904,5
6		0	647,10	0	0	647,1	-20257,4
7		0	647,10	0	0	647,1	-19610,3
8		0	647,10	0	0	647,1	-18963,2
9		0	647,10	0	0	647,1	-18316,1
10		0	647,10	0	0	647,1	-17669
11		0	647,10	0	0	647,1	-17021,9
12		0	647,10	0	0	647,1	-16374,8
13		0	647,10	0	0	647,1	-15727,7
14		0	647,10	0	0	647,1	-15080,6
15		0	647,10	0	0	647,1	-14433,5
16		0	647,10	0	0	647,1	-13786,4
17		0	647,10	0	0	647,1	-13139,3
18		0	647,10	0	0	647,1	-12492,2
19		0	647,10	0	0	647,1	-11845,1
20		0	647,10	0	0	647,1	-11198
21		0	647,10	0	0	647,1	-10550,9
22		0	647,10	0	0	647,1	-9903,8
23		0	647,10	0	0	647,1	-9256,7
24		0	647,10	0	0	647,1	-8609,6
25		0	647,10	0	-4880	-4232,9	-12842,5
26		0	647,10	0	0	647,1	-12195,4
27		0	647,10	0	0	647,1	-11548,3
28		0	647,10	0	0	647,1	-10901,2
29		0	647,10	0	0	647,1	-10254,1
30		0	647,10	0	0	647,1	-9607
31		0	647,10	0	0	647,1	-8959,9

32		0	647,10	0	0	647,1	-8312,8
33		0	647,10	0	0	647,1	-7665,7
34		0	647,10	0	0	647,1	-7018,6
35		0	647,10	0	0	647,1	-6371,5
36		0	647,10	0	0	647,1	-5724,4
37		0	647,10	0	0	647,1	-5077,3
38		0	647,10	0	0	647,1	-4430,2
39		0	647,10	0	0	647,1	-3783,1
40		0	647,10	0	0	647,1	-3136
41		0	647,10	0	0	647,1	-2488,9
42		0	647,10	0	0	647,1	-1841,8
43		0	647,10	0	0	647,1	-1194,7
44		0	647,10	0	0	647,1	-547,6
45		0	647,10	0	0	647,1	99,5
46		0	647,10	0	0	647,1	746,6
47		0	647,10	0	0	647,1	1393,7
48		0	647,10	0	0	647,1	2040,8
49		0	647,10	0	0	647,1	2687,9
50		0	647,10	0	0	647,1	3335

Esimerkki esilämmityspiirin ja maavilleän kannattavuudesta sisäisen koron menetelmällä

Energia- ja elinkaaritalous	nettonykyarvo	5025
Energiatalous-Elinkaarilaskuri	sisäinen korko (reaalinen)	5,2 %
	nimellinen korko	7,2 %
Tapio Korpi	inflaatioarvaus	2,0 %
2.11.2016		

Tälle vihreälle alueelle voi lisätä muistinpanoja. Vihreitä alueita voi siis muuttaa. Muut on lukittu. Lukituksen saa auki kohdasta, työkalut, suojaus (salasana=elinkaari). Taulukossa pitää joka solussa olla luku, jotta laskenta toimii. Siellä pitää siis olla nolla eikä tyhjä solu silloin, kun kyseisen kohdan arvo on nolla. Muutamassa kohdassa löytyy ohjeita (kommentteja).

=näitä vihreitä alueita voi muuttaa, lukitussalasana on "elinkaari"

OHJE

Muutuskustannukset

Laskentakorko:		3,13 %		Yhteensä			
Kassa- virtojen nykyarvot	-11740	0	16246	0	518	5025	
vuosi	hankinta- kustannus	jäännös- arvo	energia- kustannus- muutos	huolto- kunnossa- pito- kustannus- muutos	uusimis- kustannus- muutos	Kassa- virta yhteensä	Kumula- tiivinen kassa- virta
0	-11740					-11740	-11740
1		0	647,1	0	0	647,1	-11092,9
2		0	647,1	0	0	647,1	-10445,8
3		0	647,1	0	0	647,1	-9798,7
4		0	647,1	0	0	647,1	-9151,6
5		0	647,1	0	0	647,1	-8504,5
6		0	647,1	0	0	647,1	-7857,4
7		0	647,1	0	0	647,1	-7210,3
8		0	647,1	0	0	647,1	-6563,2
9		0	647,1	0	0	647,1	-5916,1
10		0	647,1	0	0	647,1	-5269
11		0	647,1	0	0	647,1	-4621,9
12		0	647,1	0	0	647,1	-3974,8
13		0	647,1	0	0	647,1	-3327,7
14		0	647,1	0	0	647,1	-2680,6
15		0	647,1	0	0	647,1	-2033,5
16		0	647,1	0	0	647,1	-1386,4
17		0	647,1	0	0	647,1	-739,3
18		0	647,1	0	0	647,1	-92,2
19		0	647,1	0	0	647,1	554,9
20		0	647,1	0	0	647,1	1202
21		0	647,1	0	0	647,1	1849,1
22		0	647,1	0	0	647,1	2496,2
23		0	647,1	0	0	647,1	3143,3
24		0	647,1	0	0	647,1	3790,4
25		0	647,1	0	1120	1767,1	5557,5
26		0	647,1	0	0	647,1	6204,6
27		0	647,1	0	0	647,1	6851,7
28		0	647,1	0	0	647,1	7498,8
29		0	647,1	0	0	647,1	8145,9
30		0	647,1	0	0	647,1	8793
31		0	647,1	0	0	647,1	9440,1
32		0	647,1	0	0	647,1	10087,2
33		0	647,1	0	0	647,1	10734,3

34		0	647,1	0	0	647,1	11381,4
35		0	647,1	0	0	647,1	12028,5
36		0	647,1	0	0	647,1	12675,6
37		0	647,1	0	0	647,1	13322,7
38		0	647,1	0	0	647,1	13969,8
39		0	647,1	0	0	647,1	14616,9
40		0	647,1	0	0	647,1	15264
41		0	647,1	0	0	647,1	15911,1
42		0	647,1	0	0	647,1	16558,2
43		0	647,1	0	0	647,1	17205,3
44		0	647,1	0	0	647,1	17852,4
45		0	647,1	0	0	647,1	18499,5
46		0	647,1	0	0	647,1	19146,6
47		0	647,1	0	0	647,1	19793,7
48		0	647,1	0	0	647,1	20440,8
49		0	647,1	0	0	647,1	21087,9
50		0	647,1	0	0	647,1	21735