

Thomas Myllykoski

RAKENNUKSEN ILMANVAIHDON ENERGIASELVITYS

Opinnäytetyö
Talotekniikan koulutusohjelma


Huhtikuu 2011




MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

Mikkeli University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Opinnäytetyön päivämäärä 29.4.2011
Tekijä Thomas Myllykoski	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Talotekniikka, LVI-insinööri	
Nimeke Rakennuksen ilmanvaihdon energiaselvitys		
Tiivistelmä Suomessa rakennusten energiankulutukseen kiinnitetään nykyään paljon huomiota. Suomen ympäristöministeriö on asettanut selkeät määräykset rakennusten energiatehokkuutta varten, jota varten ympäristöministeriö on laatinut Suomen rakentamismääräyskokoelmat. Työn tavoitteena oli selvittää, miten paljon vuonna 1987 valmistuneen rakennuksen ilmanvaihto eroaa nykyisten Suomen rakentamismääräyskokoelmien energiatehokkuuden osalta. Suomen rakentamismääräykset ovat tiukentuneet vuoden 1987 jälkeen energiatehokkuuden osalta paljon, esimerkkinä ilmanvaihtokoneiden ominaissähköteho (SFP) ja lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde ovat tulleet rakentamismääräyskokoelma D2:sen (2003) versioon. Koko rakennuksen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen osalta tutkimuskohte täytti D2:sen asettaman määräyksen 45 %, tutkimuskohteen vuosihyötysuhde on 63 %. Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde laskettiin pysyvyyssäyrästä avulla. Rakennuksen ilmanvaihdon energiankulutus laskettiin Suomen rakentamismääräyskokoelman D5:sen mukaisesti. Ilmanvaihtokoneiden ominaissähköteho ylitti tutkimuskohteessa D2:sen asettaman tavoitearvon 2,5 kW/m ³ /s. Tutkimuskohteen kaikkien ilmanvaihtokoneiden yhteenlaskettu SFP-luku on 2,9 kW/m ³ /s, yksittäisten ilmanvaihtokoneiden SFP-lukujen ollessa 2,0-4,7 kW/m ³ /s välillä. Ilmanvaihtokoneiden SFP-luvut laskettiin laitevalmistajien antamien ohjeiden mukaisesti. Työn tarkoitus on antaa rakennuksen omistajalle selkeä ja yksinkertainen ohjaintyökalu rakennuksen ilmanvaihdon energiatehokkuudesta, mahdollisia saneerauksia varten.		
Asiasanat (avainsanat) Ilmanvaihto, energiankulutus, SFP-luku		
Sivumäärä 26+11	Kieli Suomi	URN
Huomautus (huomautukset liitteistä) Ilmanvaihtokoneiden energiankulutus, mittauspöytäkirjat		
Ohjaavan opettajan nimi Martti Veuro	Opinnäytetyön toimeksiantaja Lemminkäinen Kiinteistötekniikka Oy	

DESCRIPTION

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Date of the bachelor's thesis 29.4.2011
Author Thomas Myllykoski	Degree programme and option Building Engineering, HVAC Engineering	
Name of the bachelor's thesis Ventilation of the building energy clearing		
Abstract Much attention is currently being paid to the energy consumption of buildings in Finland. The Finnish Ministry of the Environment has set clear regulations for building's energy efficiency, for which the National Building Code of Finland was drafted. The objective of this study was to determine how much the ventilation in a building built in 1987 differs from the current guidelines in the National Building Code of Finland. Finnish building regulations have been tightened considerably since 1987 in terms of energy efficiency, e.g. specific fan power (SFP) in air conditioners and the annual efficiency of heat recovery have been introduced in a 2003 version of section D2 of the National Building Code of Finland. The research subject fulfilled the regulation of 45 % set in D2 in terms of annual efficiency of heat recovery for the entire building, the actual annual efficiency being 63 %. The annual efficiency of heat recovery was calculated using a duration graph. The building's ventilation energy consumption was calculated according to the National Building Code of Finland, section D5. In the research subject, the specific fan power in air conditioners exceeded the target value of 2.5 kW/m ³ /s set in D5. The combined total SFP value of all the air conditioners in the building is 2.8 kW/m ³ /s, whereas individual air conditioners have SFP values between 2.0 and 4.7 kW/m ³ /s. The SFP values for the air conditioners were calculated according to directions given by the component manufacturers. This works gives the building owner a clear and simple guide tool for the building's ventilation energy efficiency, for any possible renovations.		
Subject headings, (keywords) Ventilation, energy clearing, SFP - Specific Fan Power		
Pages 26+11	Language Finnish	URN
Remarks, notes on appendices ventilation equipment energy consumption, measurement protocols		
Tutor Martti Veuro	Bachelor's thesis assigned by Lemminkäinen Kiinteistötekniikka Oy	

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO.....	1
2 TUTKIMUSKOHDE	2
2.1 Kiinteistön ilmanvaihtokoneet	2
2.1.1 Ilmanvaihtokoneet	3
2.1.2 Koneiden LTO-tyypit	4
3 MITTAUKSET	6
3.1 Yleistä mittauksista	6
3.1.1 Ilmamäärien mittaus ja mittausperiaatteet	6
3.1.2 Mittausten tarkkuus	7
3.2 Sähkömittaukset	8
4 ILMANVAIHDON ENERGIANKULUTUKSEN LASKENTA.....	9
4.1 Käsitteitä	9
4.2 Lämmöntalteenottolaitteiden vuosihyötysuhde	9
4.3 Ilmanvaihtokoneiden lämpöhäviöiden laskenta.....	11
4.4 Ilmanvaihtokoneiden energiankulutuksen laskenta	13
4.5 Energiankulutuksen normitus.....	14
4.6 Poistoilmasta talteenotettu energia.....	15
4.7 Ilmanvaihtokoneiden energiankulutus kiinteistössä	15
4.7.1 Lämmöntalteenottojen vuosihyötysuhteet	15
4.7.2 Energian kulutus ja poistoilmasta talteen saatu energia	16
5 ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄN OMINAISSÄHKÖKULUTUS (SFP).....	18
5.1 SFP-luvun määrittäminen.....	18
5.2 Yksittäisten ilmanvaihtokoneiden SFP-luvut.....	20
5.3 Ilmanvaihtokoneiden yhteenlaskettu SFP-luku.....	21
5.4 SFP-lukujen vertailu nykyisiin määräyksiin	22
6 YHTEENVETO	22
7 POHDINTA	24
LÄHTEET	26

LIITTEET

1 Mittauspyötkirjat

2 Ilmastointikoneiden energiankulutus

1 JOHDANTO

Suomessa rakennuksissa kulutetaan paljon energiaa. Tämä johtuu Suomen kylmästä ilmastosta. Energiatodistusoppaan mukaan Euroopan energiankulutuksesta yli 40 prosenttia kuluu rakennuksissa. Rakennuksissa käytetään energiaa lämmitykseen, käyttöveden lämmittämiseen, ilmanvaihtoon ja sähköön.

Suomessa rakennuksissa energiaa kuluttavat lämmitys, lämmin käyttövesi, ilmanvaihto ja valaistus. Rakennusten lämpöhäviöenergioihin kuuluu rakenteiden läpi johtuva lämpöenergia, vuotoilma ja ilmanvaihdon lämmitykseen tarvittava lämpöenergia. Ilmanvaihdon osuus rakennuksen energiankulutuksesta on noin 30 %.

Suomessa rakentamismääräykset ovat tiukentuneet tutkimuskohteen valmistumisvuoden 1987 jälkeen. Vuonna 2003 valmistuneessa D2:ssa on määrätty ilmanvaihtokoneen ominaissähkötehoksi 2,5 kW/m³/s, kun tutkimuskohteen valmistumisen aikoihin ominaissähkötehoa ei ole mitenkään määrätty. Vuoden 2010 D2:sen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteeksi on määrätty 45 %, kun taas vuoden 2003 versiossa vuosihyötysuhteeksi asetettu 30 %.

Opinnäytetyössä selvitetään rakennuksen ilmanvaihdon energiatehokkuus Suomen rakentamismääräysten pohjalta. Kiinteistön valmistumisen aikoihin rakentamismääräyksissä ei puhuttu ilmanvaihdon energiatehokkuuden kannalta mitään. Työn tavoite on verrata kiinteistön nykyistä ilmanvaihtoa nykyisiin Suomen rakennusmääräyskokoelmiin.

2 TUTKIMUSKOHDE

Tutkimuskohde on Seinäjoen kaupungin omistuksessa. Kiinteistö on valmistunut vuonna 1987 Seinäjoen Kasperin kaupunginosaan. Kohteessa on neljä rakennusta: A-, B-, C-talo sekä vuonna 2010 kesällä rakennettu moduulikoulu. Tutkimuskohde on B-talo.

B-talossa toimii Lintuviidan ala-aste sekä päiväkoti. B-talossa on ammattikeittiö, joka järjestää kouluruokailun sekä ala-asteen oppilaille, että päiväkodin lapsille. Koulussa on normaalien luokkatilojen lisäksi liikuntasali, teknisentyön, tekstiilityön, kuvaama- taidon ja musiikin erikoisluokat. Talon alakerrassa sijaitsevat liikuntatilat, joissa on kunto-, judosali sekä jousiammunta- ja ilma-aserata.

Rakennuksen tilavuus on 24769 m³ ja pinta-ala jakautuu seuraavasti:

- päiväkodin pinta-ala on 700 m²
- nuorison kerho-, harrastus- ja liikuntatilojen pinta-ala on 500 m²
- koulutilojen pinta-ala on 1850 m²
- yhteisiä kellaritiloja 1650 m².

2.1 Kiinteistön ilmanvaihtokoneet

Kiinteistön ilmanvaihtokoneet sijaitsevat ilmastointikonehuoneessa. Koneet ovat asennettu kohteeseen vuonna 1987. Kohteessa on yhteensä kahdeksan tulo- ja poistokonetta. Koneista kuusi on varustettu regeneratiivisillä lämmönsiirtimillä, kaksi muuta konetta toimii nestekiertoisella lämmöntalteenotolla ja palautusilmalla.

Ilmanvaihtokoneiden puhaltimet ovat varustettu kiilahihnapyörävälityksellä. Ilmanvaihtokoneissa on kaksi nopeutta. Opinnäytetyön kohdassa 2.1.1 on esitetty kiinteistön ilmanvaihtokoneet mitoitusilmamäärillä, lämmöntalteenottoratkaisut ja huippuimurit, jotka ovat rinnankytketty tulo- ja poistokoneisiin.

2.1.1 Ilmanvaihtokoneet

TK/PK 1

Kone palvelee rakennuksen luokkahuoneita, jotka eivät ole käytössä kesä- ja heinäkuussa. Tulokoneen ilmamäärä on täydellä teholla 3415 dm³/s ja osateholla 2254 dm³/s. Poistokoneen ilmamäärä on täydellä teholla 3400 dm³/s ja osateholla 2244 dm³/s. Kone on varustettu regeneratiivisella lämmönsiirtimellä. Koneissa on suunniteltu laajennusvaraksi ensimmäiseen kerrokseen 400 dm³/s. Huippuimuri PK 18 hoitaa luokkasiiven wc-poistoja, ilmamäärä on täydellä 256 dm³/s ja osateholla 128 dm³/s.

TK/PK 2

Kone palvelee kellarin kokoontumistiloja, jotka ovat käytössä ympäri vuoden. Tulokoneen ilmamäärä on täydellä teholla 3390 dm³/s ja osateholla 2240 dm³/s. Poistokoneen ilmamäärä on täydellä teholla 3400 dm³/s ja osateholla 2244 dm³/s. Kone on varustettu regeneratiivisella lämmönsiirtimellä.

TK/PK 3

Kone palvelee koulun ja päiväkodin keittiötä, joka on käytössä ympäri vuoden. Tulokoneen ilmamäärä on täydellä teholla 1980 dm³/s ja osateholla 1310 dm³/s. Poistokoneen ilmamäärä on täydellä teholla 2115 dm³/s ja osateholla 1395 dm³/s. Kone on varustettu nestekiertoisella lämmöntalteenotolla.

TK/PK 4

Kone palvelee päiväkotia, joka on käytössä ympäri vuoden. Tulokoneen ilmamäärä on täydellä teholla 1490 dm³/s ja osateholla 983 dm³/s. Poistokoneen ilmamäärä on täydellä teholla 1345 dm³/s ja osateholla 888 dm³/s. Kone on varustettu pyörivällä lämmöntalteenotolla. Huippuimuri PK 10 hoitaa päiväkodin wc-poistoja, ilmamäärä on täydellä 221 dm³/s ja osateholla 110 dm³/s.

TK/PK 5

Kone palvelee liikuntasalia, joka käytössä ympäri vuoden. Tulokoneen ilmamäärä on täydellä teholla 2200 dm³/s ja osateholla 1452 dm³/s. Poistokoneen ilmamäärä on täydellä teholla 2200 dm³/s ja osateholla 1452 dm³/s. Koneessa palautusilmaosa ja minimi ulkoilmavirta on 1100 dm³/s. Konetta ohjataan päivisin läsnäolo- ja hiilidioksidian-

tureilla. Kone käynnistyy, kun valvontajärjestelmä havaitsee tilan olevan käytössä ja käy kunnes poistoilman hiilidioksidipitoisuus laskee alle asetusarvon.

TK/PK 6

Kone palvelee nuorisotilaa. Tulokoneen ilmamäärä on täydellä teholla 440 dm³/s ja osateholla 290 dm³/s. Poistokoneen ilmamäärä on täydellä teholla 400 dm³/s ja osateholla 267 dm³/s. Kone on varustettu regeneratiivisella lämmönsiirtimellä. Huippuimuri PK 12 hoitaa nuorisotilojen sosiaalityötilojen wc-poistoja, ilmamäärä on täydellä 110 dm³/s ja osateholla 55 dm³/s.

TK/PK 7

Kone palvelee liikuntasalin sosiaalityötiloja, jotka ovat käytössä ympäri vuoden. Tulokoneen ilmamäärä on täydellä teholla 625 dm³/s ja osateholla 413 dm³/s. Poistokoneen ilmamäärä on täydellä teholla 420 dm³/s ja osateholla 420 dm³/s. Kone on varustettu regeneratiivisella lämmönsiirtimellä. Huippuimuri PK 15 hoitaa päiväkodin wc-poistoja, ilmamäärä on täydellä 80 dm³/s ja osateholla 40 dm³/s.

TK/PK 8

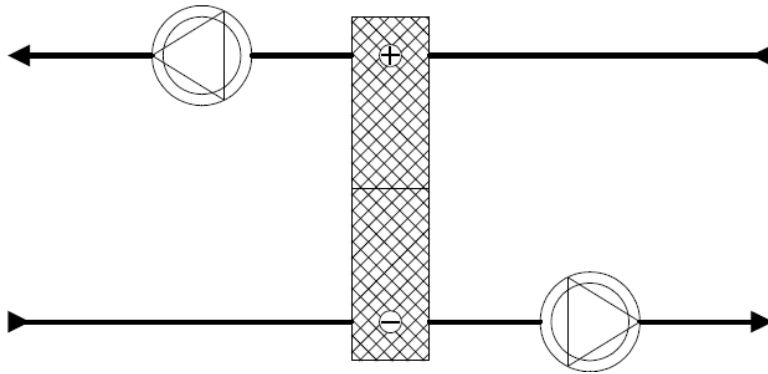
Kone palvelee kellarin monitoimitiloja, tilat ovat ympäri käytössä ympäri vuoden. Tulokoneen ilmamäärä on täydellä teholla 3400 dm³/s ja osateholla 2244 dm³/s. Poistokoneen ilmamäärä on täydellä teholla 3400 dm³/s ja osateholla 2244 dm³/s. Kone on varustettu regeneratiivisella lämmönsiirtimellä. Kone sijaitsee judosalin vieressä omassa erillisessä ilmastointikonehuoneessa.

2.1.2 Koneiden LTO-tyypit

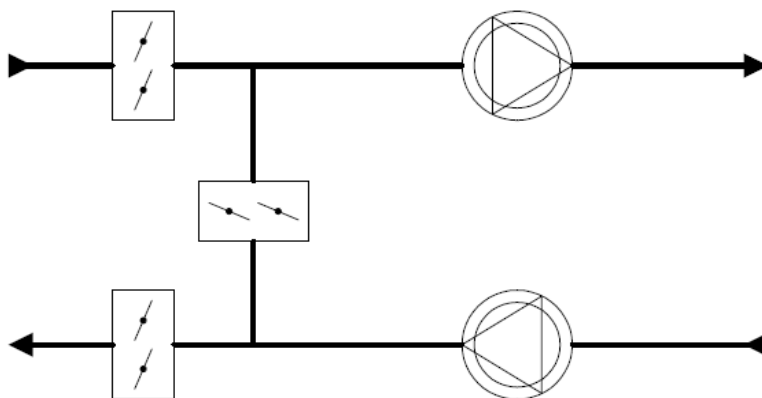
Regeneratiivinen lämmönsiirtimen (kuva 1) toiminta perustuu jatkuvasti pyörivään kennostoon, jossa lämmin poistoilma varaa kennoja puolen kierroksen verran, jolloin kennot luovuttavat lämmön kylmälle ulkoilmalle. Erillinen moottori pyörittää lämmöntalteenottoa. Regeneratiivinen lämmönsiirtin siirtää 5-10 % poistoilmaa tuloilmaan. Regeneratiivisen lämmönsiirtimen lämpötilasuhde η_t on D5:sen mukaan 0,75.

Palautusilmakoneessa (kuva 2) käytetään hyväksi lämmintä poistoilmaa palauttamalla se tuloilmaan peltiohjauksen avulla. Palautusilmakonetta ei lasketa lämmöntalteenottolaitteeksi, koska siinä ei ole lämmönsiirintä.

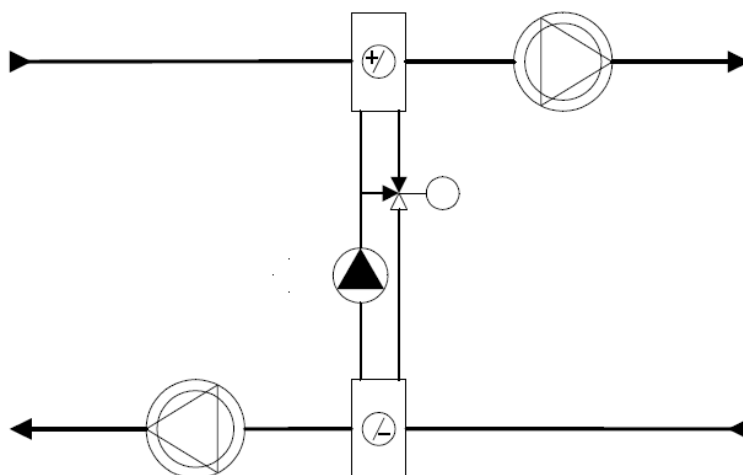
Nestekiertoisen lämmöntalteenoton (kuva 3) toimintaperiaate on, että lämpöä siirretään poistoilmakoneesta nestekierrolla tuloilmakoneeseen. Järjestelmässä käytetään kiertävänä nesteinä 30 %:sta vesietyleeniglykoliseosta. Nestekiertoisen lämmönsiirtimeen lämpötilasuhde η_t on D5:sen mukaan 0,45.



KUVA 1. Kytchentäkuva regeneratiivisesta lämmönsiirtimestä.



KUVA 2. Kytchentäkuva palautusilmakoneesta



KUVA 3. Kytchentäkaavio nestekiertoisesta lämmöntalteenotosta

3 MITTAUKSET

3.1 Yleistä mittauksista

Ilmamäärien mittaukset suoritettiin tutkimuskohteen ilmanvaihtokoneista. Koneista mitattiin tulo- ja poistoilmavirrat ilmanvaihdon energiankulutusta ja ilmanvaihtokoneiden ominaissähkötehonkulutusta varten. Ilmamäärät mitattiin koneiden käydessä täydellä teholla.

3.1.1 Ilmamäärien mittaus ja mittausperiaatteet

Ilmamäärien mittauksissa käytettiin KIMO VT100:aa, jolla mitataan ilman nopeus kanavasta. Ilmamäärä saadaan laskemalla kanavan poikkipinta-ala ja sen jälkeen lasketaan poikkipinta-ala \times ilmannoisuus, jonka jälkeen saadaan ilmamäärä dm^3/s . Mittauksissa on kuimalanka-anemometri, jolla voidaan mitata kanavasta ilmannoisuus kanavaan tehdyn reiän kautta. Mittaukset tehtiin monipistemittauksina. Kanavan koosta riippuen otettiin kanavan yhdestä kohdasta yksi mittaustulos muutaman sekunnin ajan mittarin laskiessa keskiarvon ilman nopeudelle, minkä jälkeen vaihdettiin mittauspiste kanavassa. Kun kanavan kaikki mittauspisteet oli saatu mitattua, laskettiin mittauspisteiden ilman nopeuden keskiarvo, jonka jälkeen saadaan todellinen ilmamäärä kanavasta.

Pitot-putkella mitattaessa mittaus tapahtui samalla tavalla kuin kuimalanka-anometrillä eli poraamalla reikä kanavaan. Pitot-putken toimintaperiaate perustuu paikallisen nopeuden mittaamiseen paine-eron avulla. Pitot-putkella mitattaessa putki asetetaan ilmavirtaa vasten. Mittarina toimi KIMO MP200, jonka asetuksiin asetettiin kierresaumakanavan halkaisija tai suorakaidekanavan sivujen pituudet ja tämän jälkeen mittari laski suoraan nopeuden, paineen ja ilmamäärän. [4, s.129]

Ilmamäärien mittauksissa, joissa tehdään kanavaan mittausreikä kuimalanka-anometriä tai pitot-putkea varten, kannattaa valita reiän sijainti mahdollisimman huolellisesti, koska kanavistossa on ilmavirran takia pyörteitä. Suora kanava on paras mahdollinen paikka mittaukselle, jolloin ei ole häiriötekijöitä lähellä. Kanavassa häiriötekijöitä ovat mutkat, liitoshaarat, kanavasupistukset ja säätöpellit.

Ilmamäärä lasketaan kaavan 1 mukaisesti, kun lähtöarvoina käytetään ilmavirran nopeutta ja kanavan poikkipinta-alaa.

$$q_v = Av_i \quad (1)$$

q_v ilman tilavuusvirta, m^3/s

A kanava alan pinta-ala, m^2

v ilman nopeus kanavassa, m/s

Pyöreän kanavan pinta-alan lasketaan kaavan 2 mukaisesti.

$$A = \pi \times r^2 \quad (2)$$

r ilmastointikanavan säde, m

Suorakaidekanavan poikkipinta-alan laskentakaava 3, joka on sama kuin neliön pinta-alan laskennassa.

$$A = ab \quad (3)$$

a, b neliön sivun pituus, m

3.1.2 Mittausten tarkkuus

Kimo MP200 mikromanometrillä mittaustarkkuus on pitot-putkella mitattaessa ilmamäärää $\pm 0,2 m^3/s$, alueelta $0-28 m^3/s$.

Kimo VT100 kuumalanka-anemometri mittaustarkkuus on $\pm 3 \%$ lukemasta $\pm 0,2 m/s$ alueella $3,1-30 m/s$.

Mittauksen menetelmävirhe mitattaessa monipistemittauksena on $\pm 5 \%$. [3, s.9]

3.2 Sähkömittaukset

Sähkötehon mittauksissa selvitettiin ilmanvaihtokoneiden puhaltimien ottama sähköteho. Sähkötehon mittaamista varten mitattiin puhaltimen sähkömoottorin virta ja jännite sekä selvitettiin moottorien tyyppimerkeistä $\cos\varphi$ -arvo. Puhaltimien moottorit ovat kolmivaiheisia, ja niissä on kaksi nopeutta. Kiinteistössä ei ole taajuusmuuntajalla ohjattuja puhaltimia. Mittauksissa ilmanvaihtokoneet olivat 1/1 nopeudessa, jolloin saatiin todellinen ottoteho maksimiteholla. Ilmanvaihtokoneiden puhaltimien moottorit ovat oikosulkumoottoreita.

Mittauksissa sähkövirta mitattiin pihtimittarilla ja jännitteen mittaus yleismittaria käyttäen. Pihtimittarilla mitattiin kolmivaiheisen moottorin jokainen vaihe erikseen ja sen jälkeen laskettiin virran keskiarvo. Pihtimittarilla mitataan asettamalla vaihejohtomittarin pihtien väliin johtoa kuorimatta. Yleismittarilla mitattiin vaiheiden välistä pääjännitettä.

Kolmivaihevirta virran keskiarvo lasketaan kaavan 4 mukaisesti.

$$I = \frac{L_1 + L_2 + L_3}{3} \quad (4)$$

I virta, A
 $L_{1,2,3}$ vaiheiden virta, A

Kolmivaiheisen tehonlaskentakaavassa 5 saadaan selville puhaltimen moottorin sähköverkosta ottama teho.

$$P = \sqrt{3}IU\cos\varphi \quad (5)$$

P puhaltimen ottama sähköteho, W
 U jännite, V
 $\cos\varphi$ jännitteen ja virran vaihekulma

4 ILMANVAIHDON ENERGIANKULUTUKSEN LASKENTA

4.1 Käsitteitä

Suomen rakentamismääräyskokoelma D2:ssa kerrotaan, että rakennuksen ilmanvaihto on suunniteltava ja rakennettava rakennuksen suunnitellun käyttötarkoituksen ja käytön perusteella, jotta se luo edellytykset tehokkaalle energian käytölle. Ilmanvaihdon energiatehokkuudella varmistetaan rakennuksen käytön kannalta tarpeellisilla menetelmillä tinkimättä terveellisestä ja asumisen kannalta viihtyisästä sisäilmasta. [8, s.17.]

Ilmanvaihdon energiatehokkuutta voi toteuttaa sisäilma laadusta tinkimättä käyttämällä ilmanvaihdon todellisen käyttötarpeen mukaan ja ottamalla poistoilmasta lämpöä talteen lämmöntalteenottolaitteen avulla. Suomen rakentamismääräyskokoelma D5 ja ympäristöministeriön Monisteessa 122 on selkeät määräykset ja laskentaohjeet.

Lämmitystarveluvulla voidaan vertailla kiinteistön energiankulutusta eri kuukausina ja vuosina. Lämmitystarveluvun käyttö perustuu siihen, että lämmityksen energiankulutus on verrannollinen sisä- ja ulkolämpötilan erotukseen.

4.2 Lämmöntalteenottolaitteiden vuosihyötysuhde

Lämmöntalteenoton tehokkuutta kuvaava suure on vuosihyötysuhde. Vuosihyötysuhde antaa parhaan mahdollisen käsityksen rakennuksen ilmanvaihdon energiatehokkuudesta. Vuosihyötysuhde on eri asia kuin lämpötilasuhde, joka on laitteen ominaisuus. Vuonna 2010 voimaan tullessa D2:ssa vuosihyötysuhteen minimiarvo on 45 %, kun vanhemmassa vuoden 2003 D2:sen minimiarvo oli 30 %.

Ympäristöministeriön Rakentamismääräyskokoelmassa D5 ja Monisteessa 122 on esitetty perusteet vuosihyötysuhteen määrittämiseksi pysyvyyskäyrästä avulla. Näissä monisteissa on yksityiskohtaiset ohjeet vuosihyötysuhteen määrittämiseksi tuloilman lämpötilasuhde ja ulkolämpötilan pysyvyystietojen avulla. Laskelmissa pitää olla selvillä tulo- ja poistoilmavirtojen välinen suhde. [7, s.7.]

Vuosihyötysuhde ei ole laitteen ominaisuus, kun taas lämpötilasuhde on laitteen ominaisuus. Käytettäessä samaa laiteratkaisua voi vuosihyötysuhde vaihdella alueesta riippuen noin 10 %. Vuosihyötysuhteen laskennan tärkeimpiä lähtötietoina ovat lämmöntalteenoton lämpötilat. [1.]

Kiinteistössä, jossa on useita ilmanvaihtokoneita ja erillispoistoja, niille kaikille lasketaan vuosihyötysuhde. Rakennuksessa on erillispoistoja, jotka kuuluvat ilmanvaihtokoneiden lämmöntalteenottojen vaikutuspiiriin ilman lämmöntalteenottoa. Niiden vuosihyötysuhde on 0 %.

Lämmöntalteenoton tuloilman lämpötilasuhde lasketaan kaavalla 6, kun ilmastointikoneen ilmavirrat ovat yhtä suuret.

$$\eta_t = \frac{t_{tLTO} - t_u}{t_s - t_u} \quad (6)$$

η_t	tuloilman lämpötilasuhde
t_u	ulkoilman lämpötila °C
t_s	sisäilman lämpötila °C
t_{LTO}	ilman lämpötila lämmöntalteenoton jälkeen °C

Valmistaja ilmoittaa lämmöntalteenottolaitteen tuloilman lämpötilasuhteen yhtä suurilla ilmavirroilla. Jos tulo- ja poistoilmavirrat eivät ole yhtä suuret lasketaan niiden suhde kaavalla 7.

$$R_{LTO} = \frac{q_{v,tulo}}{q_{v,poisto}} \quad (7)$$

R_{LTO}	tulo- ja poistoilmavirran suhde
$q_{v,tulo}$	tuloilmavirta, m ³ /s
$q_{v,poisto}$	poistoilmavirta, m ³ /s

Koko rakennuksen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde lasketaan kaavan 8 mukaisesti.

$$\eta_a = \frac{Q_{LTO}}{Q_{iv}} \quad (8)$$

Q_{iv} ilmanvaihtokoneen lämmityksen tarvittava energia, kWh
 Q_{LTO} poistoilmasta talteenotettu energia, kWh

4.3 Ilmanvaihtokoneiden lämpöhäviöiden laskenta

Ilmanvaihtokoneiden lämpöhäviöiden laskennassa käytettiin apuna kiinteistöautomaatiota, joka ilmoitti ilmavirtojen lämpötilat ja ilmanvaihtokoneiden käyntiajat.

Ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö lasketaan jokaiselle ilmanvaihtokoneelle erikseen kaavan 9 mukaisesti.

$$H_{iv} = \rho_i c_{pi} q_{v,poisto} t_d r t_v (1 - \eta_a) \quad (9)$$

H_{iv} ilmanvaihtokoneen ominaislämpöhäviö, W/K
 ρ_i ilman tiheys, 1,2 kg/m³
 c_{pi} ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 Ws/(kgK)
 $q_{v,poisto}$ poistoilmavirta, m³/s
 t_d ilmanvaihtokoneen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde, h/24h
 r muuntokerroin, joka ottaa huomioon ilmastointikoneen vuorokautisen käyntiajan
 t_v ilmanvaihtokoneen viikoittainen käyntiaikasuhde, vrk/7vrk
 η_a ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde tai keskimääräinen hyötysuhde laskentajaksolta

Ilmanvaihdon käyntiaika t_d valitaan kiinteistön todellisen käytön mukaan. Käyntiaikaa korjataan r kertoimella, joka on ympärivuorokautisella käytöllä kerroin 1, päiväaikaisessa käytössä kerroin on 0,93 ja yöaikaisessa käytössä kerroin on 1,07. Mikäli kiinteistön ilmanvaihtokoneiden käyntiaikoja ei voi määrittää näin tarkasti, voidaan käyt-

tää kerrointa 1, koska suurin osa tutkimuskohteen ilmanvaihtokoneista käy yö- ja päiväsaikaan. [9, s.25.]

Kiinteistön eri osastoilla on erilainen käyttötarkoitus, joita ilmanvaihtokoneet palvelivat. Käyntiaikojen selvittämisellä saatiin selville yksityiskohtaiset käyntiajat ilmanvaihtokoneille ja huippuimureille. Koneissa on käyntiajat arkipäiville ja viikonlopuille, joiden perusteella laskennat on tehty (taulukko 1).

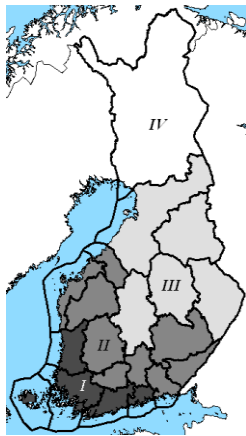
TAULUKKO 1. Ilmanvaihtokoneiden käyntiajat

Konetunnus	Arkipäivä		Viikonloppu	
	Täysiteho	Osa	Täysiteho	Osa
TK/PK1	1-4 6.30- 15	5.30- 6.30 17.30- 21.30	1- 6	
TK/PK2	1-5 8-15.00 17- 21		1- 6 10- 18	9- 10 18- 19
TK/PK3	1- 4 6- 17	17- 18	1-6	11- 12
TK/PK4	1- 5 7- 17		1- 6	15- 17
TK/PK5	2- 4.30		1- 6 8- 9 10- 17	
TK/PK6	1- 5 7-15 17- 22		1- 6 9- 13 17- 19.30	
TK/PK7	1-6 7- 23		1- 6 18- 20(la) 12-22(la)	
TK/PK8	1- 6 16.30-21.30	8- 16.30	1- 6 18- 20	1- 6

4.4 Ilmanvaihtokoneiden energiankulutuksen laskenta

Ilmanvaihdon energiankulutusta tarkasteltiin tutkimalla kuukauden ulkoilman keski- ja tuloilman sisäänpuhalluslämpötilat. Ilmanvaihdon energiankulutus laskettiin jokaiselle kuukaudelle erikseen.

Suomi on jaettu neljään eri säävyöhykkeeseen (kuva 4), joiden keskilämpötilat on laskettu kuukausille ja vuodelle. Suomessa säävyöhykkeet ovat Helsinki-Vantaan säävyöhyke 1, Jokioisten säävyöhyke 2, Jyväskylä-Luonetjärven säävyöhyke 3 ja Sodankylän säävyöhyke 4. Seinäjoki kuuluu Jokioisten säävyöhykkeeseen (kuva 5). [9, s.56.]



KUVA 4. Suomen säävyöhykkeet[9, s.56]

Taulukko L1.3. Säättiedot kuukausittain säävyöhykkeellä II. Jokioinen, 1979.

Kuukausi	Ulkoilman keskilämpötila, T_u , °C	Auringon kokonaissäteilyenergia vaakatasolle, $G_{\text{kaikki, vaakapinta}}$, kWh/m ²	Normitukseen käytettävä lämmitystarveluku, S17, Kd
Tammikuu	-9,16	7,1	811
Helmikuu	-10,4	27,6	767
Maaliskuu	-1,80	53,5	583
Huhtikuu	1,68	93,4	460
Toukokuu	10,5	154,1	169
Kesäkuu	15,5	187,5	0
Heinäkuu	14,2	123,3	17
Elokuu	15,2	128,6	0
Syyskuu	9,08	67,0	230
Lokakuu	3,37	31,0	423
Marraskuu	0,81	7,8	486
Joulukuu	-5,25	4,5	690
Koko vuosi	3,72	885,4	4 634

KUVA 5. Säävyöhyke 2:sen säättiedot kuukausittain[9, s.58]

Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia saadaan laskemalla kaavan 10 mukaisesti.

$$Q_{iv} = \Sigma(H_{iv}(T_s - T_u) \Delta_t)/1000 \quad (10)$$

Q_{iv}	ilmanvaihtokoneen lämmityksen tarvittava energia, kWh
T_s	sisäilman lämpötila, °C
T_u	ulkoilman lämpötila, °C
1000	kerroin, jolla suoritetaan laatumuutos kilowattitunneiksi, kWh
Δ_t	ajanjakson pituus, h

4.5 Energiankulutuksen normitus

Lämmitystarveluvulla verrataan saman rakennuksen eri kuukausien ja vuosien lämmitysenergiankulutusta tai verrataan kiinteistöä eri paikkakunnilla oleviin rakennusten kulukseen. Kuukauden lämmitystarveluku on vuorokausien lämmitystarvelukujen summa ja vuoden on kuukausien lämmitystarvelukujen summa. Lämmitystarveluvun käyttö perustuu siihen, että rakennuksen lämmitysenergiankulutus on verrannollinen sisä- ja ulkolämpötilojen erotukseen. [5.]

Ilmatieteenlaitos laskee lämmitysenergiankulutuksen vertaamiseen, niin sanottuun normitukseen, tarvittavat lämmitystarveluvut eri kuukausille ja vuosille 16:lle eri vertailupaikkakunnalle. Suomessa valtakunnallinen vertailupaikkakunta on Jyväskylä. Rakennuksen energian ja sen muutoksia kannattaa seurata pitkäjänteisesti puuttumatta liika yksittäiseen kulutuslukemaan. [5.]

Lämmitystarveluvun avulla voidaan verrata energiankulutusta samankaltaisiin kiinteistöihin eri puolella Suomea. Opinnäytetyössä vertailupaikkakuntana on Jyväskylä, koska se on valtakunnallinen ja sillä energiankulutusta voidaan verrata muihin samantyyppisiin kiinteistöihin Suomessa.

Kulutuksen normitus Jyväskylään kaavan 11 mukaisesti.

$$Q_{norm} = k_2 \times \frac{S_{n\ vpkunta}}{S_{toteutunut\ vpkunta}} \times Q_{toteutunut} \quad (11)$$

Q_{norm}	rakennuksen normitettu lämmitysenergiankulutus
k_2	paikkakuntaakohtainen korjauskerroin Jyväskylään
$Q_{toteutunut}$	rakennuksen tilojen lämmittämiseen kuluva energia
$S_{N\ vpkunta}$	normaalivuoden tai -kuukauden (1971-2000) lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla
$S_{toteutunut\ vpkunta}$	toteutunut lämmitystarveluku vuosi- tai kuukausi- tasolla vertailupaikkakunnalla

4.6 Poistoilmasta talteenotettu energia

Poistoilmasta talteenotetulla energialla tarkoitetaan sitä, että poistoilman lämpöä siirretään tuloilmaan lämmöntalteenottolaitteen avulla.

Poistoilmasta talteenotettu energia saadaan selville kaavan 12 mukaisesti.

$$\eta_a = \frac{Q_{LTO}}{Q_{iv}} \Rightarrow Q_{LTO} = \eta_a Q_{iv} \quad (12)$$

Q_{LTO}	poistoilmasta talteenotettu energia, kWh
η_a	ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde

4.7 Ilmanvaihtokoneiden energiankulutus kiinteistössä

4.7.1 Lämmöntalteenottojen vuosihyötysuhteet

Kiinteistön lämmöntalteenotot on laskettu Excel taulukkolaskentaohjelmalla. Tätä varten laskettiin lämpötilasuhde η_t ja ilmavirtojen suhde R_{LTO} , joita tarvitaan laskentaohjelmaa varten. Taulukkoa 2 voi verrata rakentamismääräyskokoelma D2:sen antamaan vuosihyötysuhteeseen, joka on 45 %. Kiinteistön kaikki muut ilmanvaihtokoneet täyttävät rakentamismääräyskokoelma D2:sen asettaman vuosihyötysuhteen lukuun ottamatta TK/PK 3. [1.]

Rakennuksen lämmöntalteenottojen kokonaisvuosihyötysuhde on laskettu ympäristöministeriön Moniste 122:n sivun 17 esimerkin mukaisesti, jossa huomioidaan myös pelkät poistoilmapuhaltimet. Poistoilmapuhaltimia ei ole varustettu lämmöntalteenotolla, mutta kiinteistön huippuimurit on kytketty rinnan tulo- ja poistokoneisiin.

Taulukossa 2 on esitetty rakennuksen ilmastointikoneiden lämmöntalteenottojen vuosihyötysuhde.

TAULUKKO 2. Lämmöntalteenottojen vuosihyötysuhteet

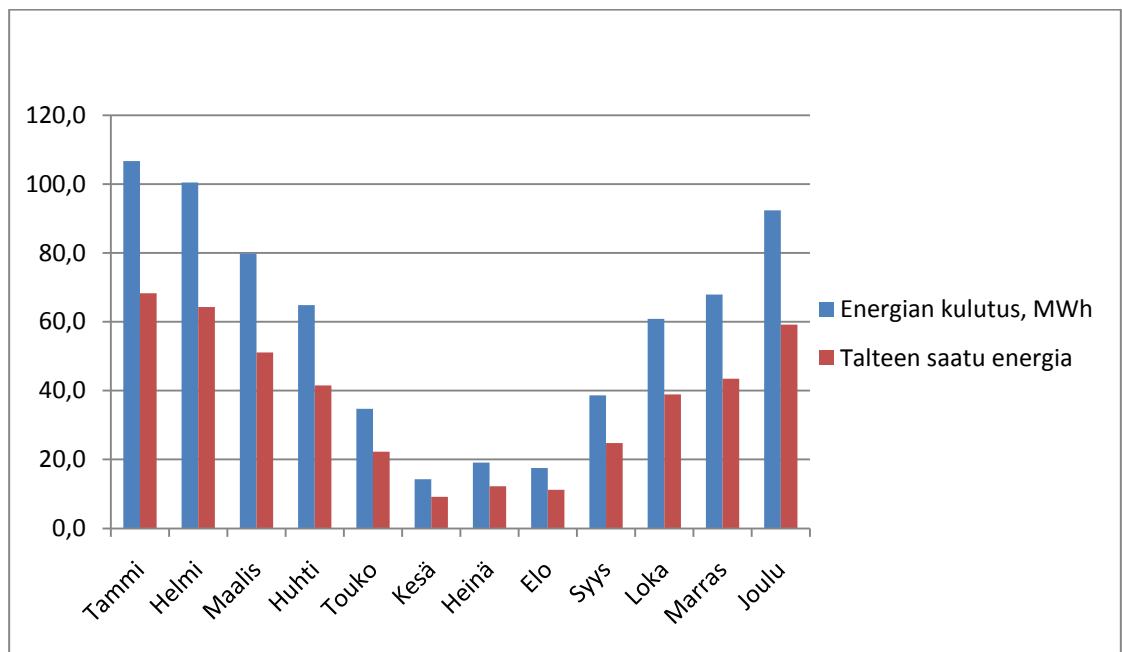
Kone	LTO tyyppi	Vuosihyötysuhde η_a
TK/PK 1	Regeneratiivinen LTO	73
TK/PK 2	Regeneratiivinen LTO	59
TK/PK 3	Nestekiertoinen LTO	24
TK/PK 4	Regeneratiivinen LTO	80
TK/PK 6	Regeneratiivinen LTO	67
TK/PK 7	Regeneratiivinen LTO	70
TK/PK 8	Regeneratiivinen LTO	63
Kaikki lämmöntalteenotot ja niiden vaikutus piiriin kuuluvat huippuimurit		64

4.7.2 Energian kulutus ja poistoilmasta talteen saatu energia

Kiinteistön ilmanvaihtokoneiden energiankulutukseen vaikuttaa koneiden ilmamäärät ja lämmöntalteenottojen vuosihyötysuhteet. Lisäksi ilmanvaihtokoneiden energian kulutusta voidaan laskea muuttamalla koneiden käyntiaikoja, kun ei tingitä terveellisestä ja viihtyisästä sisäilmasta.

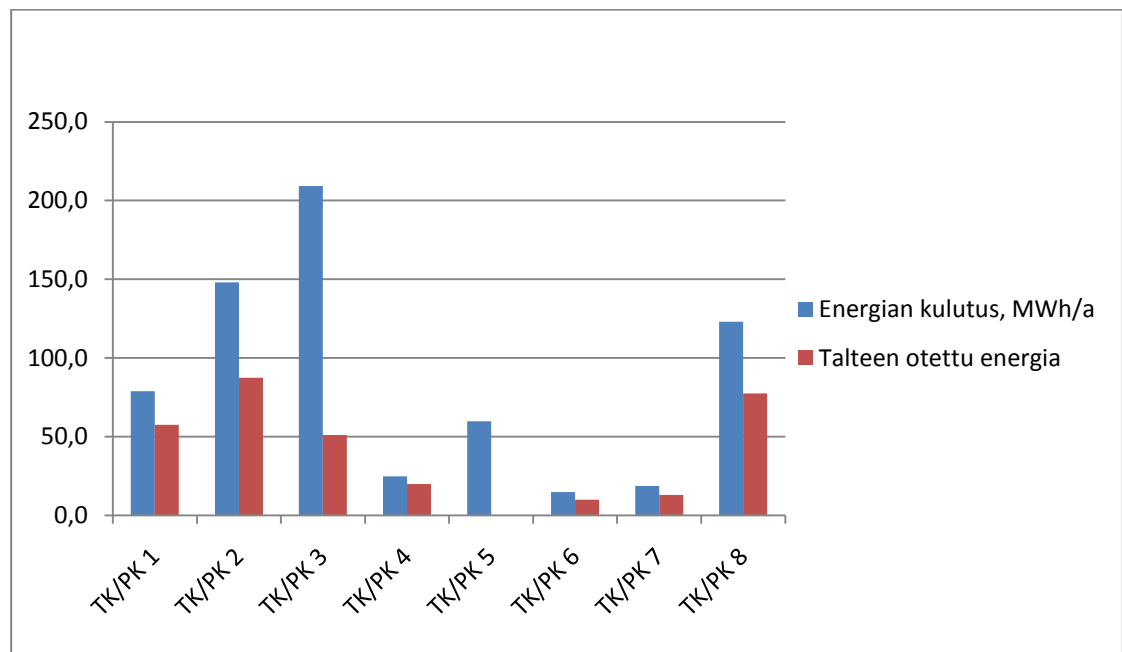
Kuukausittaisessa energiankulutuksen seurantavertailusta (taulukko 3) nähdään, kuinka paljon kiinteistön kaikki ilmanvaihtokoneet ja huippuimurit kuluttivat lämmitysenergiaa ja miten paljon koneiden poistoilmasta saadaan energiaa talteen vuoden eri kuukausina. Normeeraus tehtiin vuosien 2006–2010 välisellä ajalla, koska yhteen vuoteen vertaaminen ei ole luotettava ilmaston vaihtelun vuoksi.

TAULUKKO 3. Vasemmalla on kaikkien ilmanvaihtokoneiden yhteinen energiankulutus kuukausittain ja oikealla on poistoilmasta talteenotettu energia



Konekohtaisessa energiankulutuksen seurantavertailussa (taulukko 4) nähdään, kuinka paljon kiinteistön yksittäinen ilmanvaihtokone kuluttaa lämmitysenergiaa ja miten paljon yhden koneen poistoilmasta saadaan energiaa talteen vuoden aikana. Normeeraus tehtiin vuosien 2006–2010 väliselle ajalle, koska yhteen vuoteen vertaaminen ei ole luotettava ilmaston vaihtelun vuoksi.

TAULUKKO 4. Vasemmalla on ilmanvaihdon energiankulutus konekohtaisesti vuodessa ja oikealla on lämmöntalteenotoilla talteen saatu energia.



5 ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄN OMINAISSÄHKÖKULUTUS (SFP)

5.1 SFP-luvun määrittäminen

Ominais sähköteholla (SFP - Specific Fan Power) tarkoitetaan, kuinka paljon sähkötehoa tarvitaan ilman siirtämiseen ilmanvaihtokoneessa ja rakennuksessa. Oikeanlaisella suunnittelulla ja oikeilla laitevalinnoilla voidaan vaikuttaa ilmanvaihtojärjestelmien sähkönkulutukseen. Sähkönkulutuksella on huomattava osuus ilmanvaihtojärjestelmän energiantarpeesta. Oikeilla laitevalinnoilla ja huolellisella suunnittelulla voidaan vaikuttaa ilmanvaihtojärjestelmän elinkaarikustannuksiin. Ilmanvaihtojärjestelmän sähkönkulutukseen vaikuttavat seuraavien komponenttien painehäviöt, joita ovat ulkosäleikkö, tulo-, poisto-, ulko- ja jäteilmakanavisto, ilmanvaihtokone ja järjestelmän päätelaitteet. [2.]

Ilmavaihtokoneiden SFP-luvun tavoitetasoksi on Suomen rakentamismääräyskoelman D2:sen (2010) mukaan määritelty $2,5 \text{ kW/m}^3/\text{s}$. Kaikki puhaltimet ja ilmanvaihtokoneet on valittava ja mitoittettava niin, että kaikkien rakennuksen ilmanvaihtokoneiden keskiarvo $2,5 \text{ kW/m}^3/\text{s}$ saadaan alitettua. Yksittäisen ilmavaihtokoneen kohdalla voidaan sallia poikkeus, jos se saadaan kompensoitua vähemmän sähkötehoa ottavien koneiden arvolla.

Ominais sähkötehon laskenta ei kuulu ilmanvaihdon elinkaarikustannuksiin, eikä siinä huomioida muuttuvia ilmavirtoja, eikä myöskään erilaisten laitteistojen ja tilojen käyttöaikoja [6, s.9].

Taulukossa 5 on esitetty energiatehokkuusluokat ilmanvaihtokoneille, joissa on tulo- ja poistoilmapuhallin [10, s.83].

TAULUKKO 5. Ilmanvaihtokoneiden energiatehokkuusluokat (ET)

Energiatehokkuusluokka	SFP-luku ($\text{kW/m}^3/\text{s}$)
A	<1,0
B	1,0-1,5
C	1,5-2,0
D	2,0-2,5
E	2,5-3,0
F	3,0-4,0
G	>4,0

Ominais sähkötehon laskennassa huomioidaan [6, s.6]

- ilmanvaihtokoneiden tulo- ja poistoilmapuhaltimet
- erilliset tulo- ja poistoilmapuhaltimet
- taajuusmuuntajat tai muut tehonsäätölaitteet.

Ominais­säh­kö­te­hon lasken­nassa ei huomioida [6, s.6]

- pyörivän läm­mön­talteenoton käyttöömoottoria
- takkaimureita
- yksittäisten työpisteiden koneiden kohdepoistoja
- tuloilmapuhaltimessa olevien lämmityspatterien tai talteenotto­piirien kierto­vesipumppuja
- teknisien tilojen ylläläm­mön poistoon tarkoitettuja puhaltimia
- tuulikaappien kiertoilmakoneiden puhaltimet
- paikalliseen lämmitukseen tarkoitettujen ilmanlämmittimien puhaltimia.

5.2 Yksittäisten ilmanvaihtokoneiden SFP-luvut

Yksittäisen il­ma­vaihtokoneen, joka sisältää tulo- ja poistoilmakoneen, ominais­säh­kö­te­ho on puhaltimien sähköverkosta yhteenlaskettu sähköteho (kW) jaettuna ilmanvaihtokoneen il­ma­virroista suuremmalla, joka on tulo- tai poistoilmavirta.

Yksittäisen tulo- ja poistoilmakoneen ominais­säh­kö­te­ho lasketaan kaavan 13 mukaisesti.

$$SFP = \frac{P_{tulo} + P_{poisto}}{q_{max}} \quad (13)$$

SFP	ilmanvaihtokoneen ominais­säh­kö­te­ho, kW/m ³ /s
P _{tulo}	tuloilmapuhaltimen ottama sähköteho, kW
P _{poisto}	poistoilmapuhaltimen ottama sähköteho, kW
q _{max}	koneen il­ma­virroista suurempi (tulo tai poisto), m ³ /s

Yksittäisten ilmanvaihtokoneen laskennassa selviää, että mikä on yksittäisen ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho. Taulukossa 6 on esitetty yksittäisen ilmanvaihtokoneen SFP-luku.

TAULUKKO 6. Yksittäisten ilmanvaihtokoneiden SFP-luvut

Konetunnus	Ilmavirroista suurempi, dm ³ /s	Puhaltimien yhteenlaskettu teho, kW	SFP, kW/m ³ /s	Energiatehokkuusluokka
TK/PK 1	3710	9,79	2,6	E
TK/PK 2	3441	9,55	2,8	E
TK/PK 3	2556	6,89	2,7	E
TK/PK 4	1520	4,30	2,8	E
TK/PK 5	2200	4,40	2,0	D
TK/PK 6	464	2,18	4,7	G
TK/PK 7	677	3,14	4,7	G
TK/PK 8	3286	8,97	2,7	D

5.3 Ilmanvaihtokoneiden yhteenlaskettu SFP-luku

Rakennuksen kaikkien ilmanvaihtokoneiden, jossa kaikkien koneiden ilmavirrat ja sähköverkosta otettu sähköteho on huomioitu (taulukko 7), lasketaan kaikkien ilmanvaihtokoneiden puhaltimien ottama sähköteho, joka jaetaan ilmanvaihtokoneiden ilmavirroista suuremmalla, joka on ulko- tai jäteilmavirta.

Ominaissähkötehon kaikille tulo- ja poistokoneille lasketaan kaavan 14 mukaisesti.

$$SFP = \frac{P_{tulopuhaltimet} + P_{poistopuhaltimet}}{q_{max}} \quad (14)$$

$P_{tulopuhaltimet}$ tuloilmapuhaltimien ottama sähköteho, kW

$P_{poistopuhaltimet}$ poistoilmapuhaltimien ottama sähköteho, kW

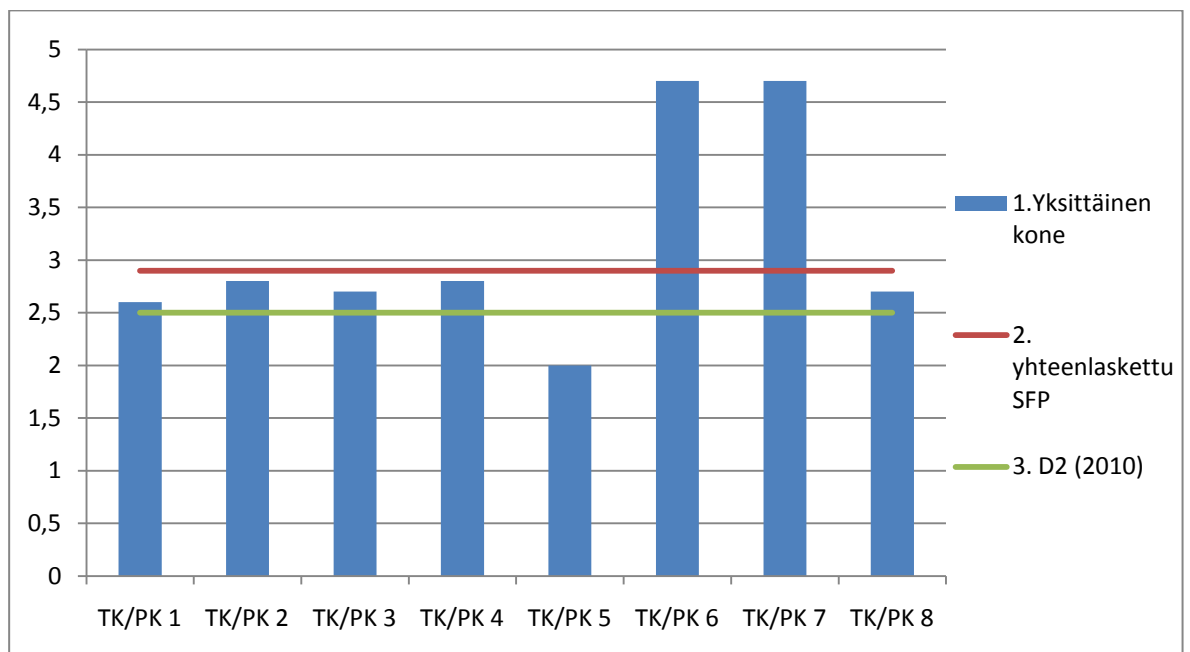
q_{max} mitoittava jäteilma tai ulkoilmavirta, m³/s

TAULUKKO 7. Ilmanvaihtokoneiden yhteenlaskettu SFP-luku

Ulkoilmavirta, m ³ /s	Puhaltimien yhteen- laskettu teho, kW	Kokonais SFP, kW/m ³ /s	Energia- tehokkuusluokka
17144	49,2	2,9	E

5.4 SFP-lukujen vertailu nykyisiin määräyksiin

Rakennuksen ilmastovaihtokoneiden SFP-lukuja verrattuna D2:sen asettamiin määräyksiin, ilmanvaihtokoneet kuluttavat sähköä enemmän kuin määräykset sallivat. Taulukossa 8 on esitetty rakennuksen yhteenlaskettu SFP-luku ja vertailu D2:sen 2,5 kW/m³/s asettamaan tavoitearvoon.

TAULUKKO 8. SFP-lukujen vertailu nykyisiin määräyksiin.

6 YHTEENVETO

Ilmanvaihdon energiatehokkuutta selvitettiin Suomen rakentamismääräyskokoelmien mukaisesti, ja työssä oli tarkoitus selvittää rakennuksen ilmastovaihdon energiankulutus. Ilmanvaihdon energiatehokkuutta kuvaa parhaiten lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde.

Vuoden 2010 voimaan tulleessa D2:ssa ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on asetettu 45 %:iin. Taulukosta 2 (s.16) nähdään rakennuksen yksittäisen ilmanvaihtokoneen ja koko rakennuksen kokonaisvuosihyötysuhde. Ilmavaihdon lämmöntalteenoton kokonaisvuosihyötysuhdetta alensivat huippuimurit ja palautusilmakone TK/PK5, joiden vuosihyötysuhde on nolla. Ainoa lämmöntalteenotto, joka alitti D2:sen asettaman 45 % oli TK/PK3. Suurin syy TK/PK3:sen huonompaan lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteeseen on nestekiertoinen lämmönsiirrin, jonka lämpötilasuhde D5:sen mukaan on 0,45, kun taas regeneratiivisen lämpötilasuhde on 0,75. Lämmöntalteenottojen osalta rakennus täytti D2:sen asettamat määräykset.

Energiankulutuksen laskennassa huomioitiin normitus, jonka avulla voidaan verrata rakennuksen energiakulutusta eri vuosina ja samankaltaisiin rakennuksiin eri puolella Suomea. Opinnäytetyössä normitus tehtiin valtakunnalliseen vertailupaikkakuntaan Jyväskylään vuosille 2006–2010. Normitus tehtiin viiden vuoden ajalle, koska kiinteistön energiakulutusta kannattaa seurata pitkäjänteisesti kiinnittämättä huomiota yksittäiseen vuoteen tai kuukauteen ilmastonvaihtelun vuoksi.

Vuonna 2003 voimaantulleessa D2:ssa ilmanvaihtokoneiden ominaissähkökulutuksen tavoitearvoksi asetettiin 2,5 kW/m³/s. Yksittäisen ilmanvaihtokoneen osalta sallitaan poikkeus, jos saadaan kompensoitua vähemmän sähkötehoa ottavien koneiden arvoilla.

Taulukossa 8 on esitetty yksittäisen ilmanvaihtokoneen ominaissähkötehonkulutus verrattuna kaikkien koneiden keskiarvotulokseen 2,9 kW/m³/s ja D2:sen asettamaan tavoitearvoon, joka on 2,5 kW/m³/s. Taulukosta nähdään selkeästi tavoitearvon ylittäneet ilmanvaihtokoneet, jotka ovat TK/PK 6 ja TK/PK 7. 2,5-3,0kW/m³/s lähelle D2:sen tavoitearvoa pääsivät TK/PK1, TK/PK2, TK/PK 3, TK/PK 4 ja TK/PK 8. Ainoa kone, joka täytti tutkimuksessa D2:sen tavoitearvon, oli TK/PK5, jonka SFP-luku oli 2,0 kW/m³/s.

Taulukossa 5 on esitetty ilmanvaihtokoneiden energiatehokkuusluokat. Taulukossa voidaan verrata yksittäisen ilmanvaihtokoneen energiatehokkuusluokkaa toisiin ilmanvaihtokoneisiin tai kaikkien ilmanvaihtokoneiden yhteenlaskettua ominaissähkötehonkulutusta. Taulukko ei ole ympäristöministeriön julkaisema, vaan VTT:n julkaisema Rakennuksen sähköenergiankulutuksen tavoitearvot.

7 POHDINTA

Opinnäytetyön aiheeksi valitsin tämän aiheen, koska nykyään rakennusalalla puhutaan paljon energian säästämisestä ja ilmanvaihdon osuus rakennuksen energiankulutuksesta on hyvin merkittävä. Esimerkiksi matalaenergiataloista keskustellaan paljon ja rakennusten energiatehokkuudesta. Suomessa vuonna 2008 voimaantulleessa laissa määrätään tekemään energiatodistus kaikista uusista rakennuksista, jossa rakennus määritetään eri energiatehokkuusluokkiin A-G.

Työ aloitettiin aiheeseen tutustumisella eli käymällä läpi rakennuksen ilmanvaihtolaitteisto ja selvittämällä sen käyttötarkoitus. Energiankulutuksen lähtökohtana oli selvittää lämmöntalteenottojen lämpötilasuhteet, jota varten tutkin kiinteistöautomaatiosta tarvittavat lämpötilat lämpötilasuhteita varten. Lisäksi kiinteistöautomaatiosta selvitettiin ilmavaihtokonekohtaiset käyntiajat lämpöhäviölaskelmia varten.

Ilmanvaihtokoneiden ominaissähkötehon laskentaan varten mitattiin puhaltimien moottoreiden sähköverkosta otettu sähköteho. Moottorit olivat kolmivaiheisia oikosulkumoottoreita ja moottoreissa on kaksi nopeutta. Mittaus suoritettiin moottoreiden pyöriessä täydellä teholla. Virta mitattiin asettamalla yksi vaihe kerrallaan pihtimittarin pihtien väliin kuorimatta johdon pintaa, kun kaikki vaiheet oli käyty läpi ja sen laskettiin vaiheiden keskiarvo. Jännite mitattiin yleismittarilla, joka mittasi vaiheiden pääjännitteen.

Ilmanvaihtokoneiden ominaissähkötehoa ja energian kulutusta varten selvitettiin koneiden ilmamäärät. Ilmamäärien mittaukset suoritettiin ensin selvittämällä mahdollisimman hyvät mittauspaiikat koneiden läheltä. Mittaukset tehtiin pääasiassa ulko- ja jäteilmakanavista, koska ne olivat kaikkein helpoiten mitattavissa. Konehuoneessa olevien tulo- ja poistokanavista ei löytynyt muutamista ilmanvaihtokoneista mittaustulosten kannalta luotettavaa mittaustaikaa. TK/PK 8 sijaitsi erillisessä konehuoneessa ja mittaus tehtiin runkokanavien haarakanavista, koska runko-, ulko- ja jäteilmakanavat sijaitsivat hankalassa paikassa. Suurimmat ongelmat mittaustaikaa kannalta oli PK 1, PK 2, PK 3, joissa ei ollut hyvää paikkaa mitata mutkien ja kanavasupistuksien takia. Mittauksissa ongelmia tuotti myös se, että PK 1, PK 2 ja PK 3:sen poisto- ja tuloilmakanavat sijaitsivat ullakkotilassa. Ullakkotiloihin pääsy vaikeutti lumitilanne vesikatolla, koska luukut sijaitsivat vesikatolla.

Tutkimuskohteen ilmanvaihdon lämmitysenergiakulutusta selvittäessäni yllätyin sen tehokkuudesta, koska rakennus on vuodelta 1987. Lämmöntalteenottojen vuosihyötysuhteet täyttivät nykyisten Suomen rakentamismääräyskokoelmien määräykset TK/PK 3:sta lukuun ottamatta. TK/PK 3:n lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta laskee sen lämmönsiirintyyppi, joka on nestekiertoinen lämmönsiirrin. Nestekiertoisen lämmönsiirtimimen lämpötilasuhde η_t on D5:sen mukaan 0,45, kun taas muissa koneissa on regeneratiivinen lämmönsiirrin, jonka lämpötilasuhde η_t on 0,75.

Kaikkien rakennuksen tulo- ja poistokoneiden ja lämmöntalteenottojen piiriin kuuluvien huippuimureiden vuosihyötysuhde on 63 %, kun rakentamismääräyskokoelma D2:sen (2010) minimivaatimus on 45 %. Rakennuksen valmistumisen aikoihin Suomen rakentamismääräyskokoelmissa ei ole ollut mainintaa ilmanvaihdon energiatehokkuudesta lämmöntalteenottojen vuosihyötysuhteen osalta ja ottaen huomioon rakennuksen nykyisen lämmöntalteenottojen vuosihyötysuhteen, niin tulos oli yllätys. Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen odotin olevan alle rakentamismääräyskokoelma D2:sen (2010) 45 %.

Työ antoi mahdollisuuden tutusta ilmanvaihtokoneiden energiankulutukseen ja tehokkuuteen, koska ilmanvaihdon osuus kiinteistön energiakulutuksesta on merkittävä. Aikaisempi kokemukseni rakennuksen ilmanvaihdosta on se, että olen toiminut ilmastointi-asentaja ja työn kautta sain uutta kokemusta tulevaisuutta varten. Kiitän opinäytetyön toimeksiantajaa ja kiinteistön omistajaa mahdollisuudesta tehdä työ kyseisestä aiheesta.

LÄHTEET

1. Teknologiateollisuus. Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde.
<http://www.teknologiateollisuus.fi/fi/ryhmat-ja-yhdistykset/lto-vuosihy-tysuhteen-laskenta.html>. Päivitetty 29.3.2010. Luettu 25.2.2011
2. Teknologiateollisuus. Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho SFP
<http://www.teknologiateollisuus.fi/fi/ryhmat-ja-yhdistykset/sfp.html>. Luotu 17.9.2009.
Luettu 25.2.2011
3. LVI-kortisto. LVI 014-10290. 1999
4. Harju, Pentti. Ilmastointitekniikan oppikirja 2. Solverpalvelut Oy, Anjalankoski. 2008.
5. Rakennusten lämmitysenergiankulutuksen normitus
www.motiva.fi/files/2840/Rakennusten_lammitysenergiankulutuksen_normitus.pdf
6. Flätkwoods Oy. SFP-OPAS. 2004
7. Moniste 122 Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto lämpöhäviöiden tasauskannassa. Helsinki. Ympäristöministeriö. 2003.
8. Suomen rakentamismääräyskokoelma, D2. Helsinki. Ympäristöministeriö. 2010.
9. Suomen rakentamismääräyskokoelma, D5. Helsinki. Ympäristöministeriö. 2006.
10. VTT. Rakennuksen sähköenergiankulutuksen tavoitearvot. 1996

ILMAVIRTOJEN MITTAUSPÖYTÄKIRJA				Mittaja	Thomas Myllykoski <th>Si- vu</th> <td>1</td>			Si- vu	1
				Valvoja	Thomas Myllykoski			Pv m.	17.3.2011
				Osoite					
Huonetila / mittaustaikka Krs. / piir.n:o	Suunn. q _v (l/s)	Kanava koko		Asetus, avaus	Mitattu arvo v m/s	To- dettu q _v (l/s)	Huom.	Mittaus paikka	
	Tuloilma Poistoilma	Tuloilma Poistoilma		Tuloilma Poistoilma	Tuloilma Poistoilma	Tuloilma Poistoilma	Poistoilma	Tuloilma Poistoilma	
TK/PK 1	3,415 3,4	1200x600 1000x600			5,1	3710 3150		ulko jäte	
TK/PK 2	3,39 3,4	1200x600 1000x600			4,04	2930 3441		ulko jäte	
TK/PK 3	1,98 2,115					2135 2556			
TK/PK 4	1,49 1,345	800x500 800x500			3,8 3,7	1520 1480		ulko jäte	
TK/PK 5	2,2 2,2	1000x500 800x600			3,1 3	1550 1440	pellit vain 50% auki		
TK/PK 6	0,44 0,4	Ksk 400 400x400			3,7 1,9	464 403		tulo jäte	
TK/PK 7	0,625 0,639	Ksk 400 Ksk 400			5,53 5,09	677 628		ulko jäte	
TK/PK 8	3,4 3,4					3050 3286		tulo haarat poisto haarat	
Käytetyt mittauslaitteet:				KIMO MP200 mikromanometri, KIMO VT100 kuumalanka-anemometri					
Sääolosuhteet:				Mittauksien aikana lämpötila 0-10 pakkasta					

LIITE 1.

Mittauspöytäkirjat

Kone Tunnus	Ilmamäärä m ³ /s	Vaiheet			Jännite U	Virta I	Cos fii	Teho P kW	SFB
		L 1	L 2	L 3	V	A			
TK1/	3,71	8,4	8,8	8,7	391	8,63	0,90	5,26	2,6
PK1	3,15	7,2	7,6	7,5	391	7,43	0,90	4,53	
TK2/	2,93	7,7	8,6	8,2	391	8,17	0,90	4,98	2,8
PK2	3,441	7,7	7,2	7,6	391	7,50	0,90	4,57	
TK3/	2,135	6,3	6,7	6,7	391	6,57	0,78	3,47	2,7
PK3	2,556	5,3	5,9	5,9	391	5,70	0,87	3,36	
TK4/	1,52	3,6	3,6	3,7	391	3,63	0,87	2,14	2,8
PK4	1,48	3,5	3,6	3,9	391	3,67	0,87	2,16	
TK5/	2,2	3,5	3,8	3,8	391	3,70	0,87	2,18	2,0
PK5	2,2	3,7	3,8	3,8	391	3,77	0,87	2,22	
TK6/	0,464	1,8	1,8	1,8	391	1,80	0,87	1,06	4,7
PK6	0,403	1,8	2	1,9	391	1,90	0,87	1,12	
TK7/	0,667	2,6	2,7	2,6	391	2,63	0,87	1,55	4,7
PK7	0,628	2,7	2,7	2,7	391	2,70	0,87	1,59	
TK8/	3,05	7,1	6,9	6,5	387	6,83	0,90	4,12	2,7
PK8	3,286	8,1	8,3	7,7	387	8,03	0,90	4,85	

Ilmastointikoneiden energiankulutus

TK/PK 1	kuukausi	m ³ /s poisto	t,v	t,v	r	n,a	H,iv 100	Ts	tu	Tunteja	Q	Q, LTO
	Tammi	3,15	94,50	186,00	1,00	0,73	518,53	20,00	-9,16	744,00	11249,54	8212,17
	Helmi	3,15	94,50	186,00	1,00	0,73	518,53	20,00	-10,40	672,00	10592,96	7732,86
	Maalis	3,15	94,50	186,00	1,00	0,73	518,53	20,00	-1,80	744,00	8410,15	6139,41
	Huhti	3,15	94,50	186,00	1,00	0,73	518,53	20,00	1,68	720,00	6839,63	4992,93
	Touko	3,15	94,50	186,00	1,00	0,73	518,53	20,00	10,50	744,00	3664,97	2675,43
	Kesä	3,15	28,00	186,00	1,00	0,73	153,64	20,00	15,50	720,00	497,79	363,39
	Heinä	3,15	28,00	186,00	1,00	0,73	153,64	20,00	14,20	744,00	662,98	483,98
	Elo	3,15	94,50	186,00	1,00	0,73	518,53	20,00	15,20	744,00	1851,78	1351,80
	Syys	3,15	94,50	186,00	1,00	0,73	518,53	20,00	9,08	720,00	4076,90	2976,13
	Loka	3,15	94,50	186,00	1,00	0,73	518,53	20,00	3,37	744,00	6415,63	4683,41
	Marras	3,15	94,50	186,00	1,00	0,73	518,53	20,00	0,81	720,00	7164,43	5230,04
	Joulu	3,15	94,50	186,00	1,00	0,73	518,53	20,00	-5,25	744,00	9741,12	7111,02
	vuosi										71,17	51,95

Ilmastointikoneiden energiankulutus

TK/PK 2	kuukausi	m ³ /s poisto	t,v	t,v	r	n,a	H,iv 100	Ts	tu	Tunteja	Q	Q, LTO
	Tammi	3,44	102,32	186,00	1,00	0,59	931,32	20,00	-9,16	744,00	20204,95	11920,92
	Helmi	3,44	102,32	186,00	1,00	0,59	931,32	20,00	-10,40	672,00	19025,68	11225,15
	Maalis	3,44	102,32	186,00	1,00	0,59	931,32	20,00	-1,80	744,00	15105,21	8912,07
	Huhti	3,44	102,32	186,00	1,00	0,59	931,32	20,00	1,68	720,00	12284,44	7247,82
	Touko	3,44	102,32	186,00	1,00	0,59	931,32	20,00	10,50	744,00	6582,55	3883,70
	Kesä	3,44	102,32	186,00	1,00	0,59	931,32	20,00	15,50	720,00	3017,47	1780,30
	Heinä	3,44	102,32	186,00	1,00	0,59	931,32	20,00	14,20	744,00	4018,82	2371,10
	Elo	3,44	102,32	186,00	1,00	0,59	931,32	20,00	15,20	744,00	3325,92	1962,29
	Syys	3,44	102,32	186,00	1,00	0,59	931,32	20,00	9,08	720,00	7322,38	4320,21
	Loka	3,44	102,32	186,00	1,00	0,59	931,32	20,00	3,37	744,00	11522,92	6798,52
	Marras	3,44	102,32	186,00	1,00	0,59	931,32	20,00	0,81	720,00	12867,82	7592,01
	Joulu	3,44	102,32	186,00	1,00	0,59	931,32	20,00	-5,25	744,00	17495,71	10322,47
	vuosi										132,77	78,34

Ilmastointikoneiden energiankulutus

TK/PK 3	kuukausi	m ³ /s poisto	t,d	t,v	r	n,a	H,iv 100	Ts	tu	Tunteja	Q	Q, LTO
	Tammi	2,56	105,62	186,00	1,00	0,24	1316,73	20,00	-9,16	744,00	28566,53	6970,23
	Helmi	2,56	105,62	186,00	1,00	0,24	1316,73	20,00	-10,40	672,00	26899,24	6563,41
	Maalis	2,56	105,62	186,00	1,00	0,24	1316,73	20,00	-1,80	744,00	21356,33	5210,94
	Huhti	2,56	105,62	186,00	1,00	0,24	1316,73	20,00	1,68	720,00	17368,21	4237,84
	Touko	2,56	105,62	186,00	1,00	0,24	1316,73	20,00	10,50	744,00	9306,66	2270,82
	Kesä	2,56	105,62	186,00	1,00	0,24	1316,73	20,00	15,50	720,00	4266,21	1040,95
	Heinä	2,56	105,62	186,00	1,00	0,24	1316,73	20,00	14,20	744,00	5681,96	1386,40
	Elo	2,56	105,62	186,00	1,00	0,24	1316,73	20,00	15,20	744,00	4702,31	1147,36
	Syys	2,56	105,62	186,00	1,00	0,24	1316,73	20,00	9,08	720,00	10352,67	2526,05
	Loka	2,56	105,62	186,00	1,00	0,24	1316,73	20,00	3,37	744,00	16291,55	3975,14
	Marras	2,56	105,62	186,00	1,00	0,24	1316,73	20,00	0,81	720,00	18193,01	4439,09
	Joulu	2,56	105,62	186,00	1,00	0,24	1316,73	20,00	-5,25	744,00	24736,11	6035,61
	vuosi										187,72	45,80

LIITE 2(4).

Ilmastointikoneiden energiankulutus

TK/PK 4	kuukausi	m ³ /s poisto	t,d	t,v	r	n,a	H,iv 100	Ts	tu	Tunteja	Q	Q, LTO
	Tammi	1,48	82,64	186,00	1,00	0,80	155,45	20,00	-9,16	744,00	3372,46	2708,09
	Helmi	1,48	82,64	186,00	1,00	0,80	155,45	20,00	-10,40	672,00	3175,63	2550,03
	Maalis	1,48	82,64	186,00	1,00	0,80	155,45	20,00	-1,80	744,00	2521,25	2024,56
	Huhti	1,48	82,64	186,00	1,00	0,80	155,45	20,00	1,68	720,00	2050,43	1646,49
	Touko	1,48	82,64	186,00	1,00	0,80	155,45	20,00	10,50	744,00	1098,71	882,26
	Kesä	1,48	82,64	186,00	1,00	0,80	155,45	20,00	15,50	720,00	503,65	404,43
	Heinä	1,48	82,64	186,00	1,00	0,80	155,45	20,00	14,20	744,00	670,79	538,65
	Elo	1,48	82,64	186,00	1,00	0,80	155,45	20,00	15,20	744,00	555,14	445,78
	Syys	1,48	82,64	186,00	1,00	0,80	155,45	20,00	9,08	720,00	1222,20	981,43
	Loka	1,48	82,64	186,00	1,00	0,80	155,45	20,00	3,37	744,00	1923,32	1544,43
	Marras	1,48	82,64	186,00	1,00	0,80	155,45	20,00	0,81	720,00	2147,80	1724,68
	Joulu	1,48	82,64	186,00	1,00	0,80	155,45	20,00	-5,25	744,00	2920,26	2344,97
	vuosi										22,16	17,80

Ilmastointikoneiden energiankulutus

TK/PK 5	kuukausi	m ³ /s poisto	t,d	t,v	r	n,a	H,iv 100	Ts	tu	Tunteja	Q	Q, LTO
	Tammi	2,20	26,50	186,00	1,00	0,00	376,13	20,00	-9,16	744,00	8160,13	0,00
	Helmi	2,20	26,50	186,00	1,00	0,00	376,13	20,00	-10,40	672,00	7683,86	0,00
	Maalis	2,22	26,50	186,00	1,00	0,00	379,55	20,00	-1,80	744,00	6155,97	0,00
	Huhti	2,20	26,50	186,00	1,00	0,00	376,13	20,00	1,68	720,00	4961,29	0,00
	Touko	2,20	26,50	186,00	1,00	0,00	376,13	20,00	10,50	744,00	2658,48	0,00
	Kesä	2,20	26,50	186,00	1,00	0,00	376,13	20,00	15,50	720,00	1218,66	0,00
	Heinä	2,20	26,50	186,00	1,00	0,00	376,13	20,00	14,20	744,00	1623,07	0,00
	Elo	2,20	26,50	186,00	1,00	0,00	376,13	20,00	15,20	744,00	1343,23	0,00
	Syys	2,20	26,50	186,00	1,00	0,00	376,13	20,00	9,08	720,00	2957,28	0,00
	Loka	2,20	26,50	186,00	1,00	0,00	376,13	20,00	3,37	744,00	4653,74	0,00
	Marras	2,20	26,50	186,00	1,00	0,00	376,13	20,00	0,81	720,00	5196,90	0,00
	Joulu	2,20	26,50	186,00	1,00	0,00	376,13	20,00	-5,25	744,00	7065,96	0,00
	vuosi										53,68	0,00

LIITE 2(6).

Ilmastointikoneiden energiankulutus

TK/PK 6	kuukausi	m ³ /s poisto	t,d	t,v	r	n,a	H,iv 100	Ts	tu	Tunteja	Q	Q, LTO
	Tammi	0,40	108,00	186,00	1,00	0,67	92,66	20,00	-9,16	744,00	2010,35	1346,93
	Helmi	0,40	108,00	186,00	1,00	0,67	92,66	20,00	-10,40	672,00	1893,01	1268,32
	Maalis	0,40	108,00	186,00	1,00	0,67	92,66	20,00	-1,80	744,00	1502,94	1006,97
	Huhti	0,40	108,00	186,00	1,00	0,67	92,66	20,00	1,68	720,00	1222,28	818,92
	Touko	0,40	108,00	186,00	1,00	0,67	92,66	20,00	10,50	744,00	654,95	438,82
	Kesä	0,40	108,00	186,00	1,00	0,67	92,66	20,00	15,50	720,00	300,23	201,16
	Heinä	0,40	108,00	186,00	1,00	0,67	92,66	20,00	14,20	744,00	399,86	267,91
	Elo	0,40	108,00	186,00	1,00	0,67	92,66	20,00	15,20	744,00	330,92	221,72
	Syys	0,40	108,00	186,00	1,00	0,67	92,66	20,00	9,08	720,00	728,56	488,14
	Loka	0,40	108,00	186,00	1,00	0,67	92,66	20,00	3,37	744,00	1146,51	768,16
	Marras	0,40	108,00	186,00	1,00	0,67	92,66	20,00	0,81	720,00	1280,32	857,81
	Joulu	0,40	108,00	186,00	1,00	0,67	92,66	20,00	-5,25	744,00	1740,79	1166,33
	vuosi										13,21	8,85

Ilmastointikoneiden energiankulutus

TK/PK 7												
kuukausi	m ³ /s 100% poisto	t,d	t,v	r	n,a	H,iv 100	Ts	tu	Tunteja	Q	Q, LTO	
Tammi	0,64	94,50	186,00	1,00	0,70	116,88	20,00	-9,16	744,00	2535,61	1774,93	
Helmi	0,64	94,50	186,00	1,00	0,70	116,88	20,00	-10,40	672,00	2387,62	1671,33	
Maalis	0,64	94,50	186,00	1,00	0,70	116,88	20,00	-1,80	744,00	1895,62	1326,94	
Huhti	0,64	94,50	186,00	1,00	0,70	116,88	20,00	1,68	720,00	1541,63	1079,14	
Touko	0,64	94,50	186,00	1,00	0,70	116,88	20,00	10,50	744,00	826,07	578,25	
Kesä	0,64	94,50	186,00	1,00	0,70	116,88	20,00	15,50	720,00	378,68	265,07	
Heinä	0,64	94,50	186,00	1,00	0,70	116,88	20,00	14,20	744,00	504,34	353,04	
Elo	0,64	94,50	186,00	1,00	0,70	116,88	20,00	15,20	744,00	417,38	292,17	
Syys	0,64	94,50	186,00	1,00	0,70	116,88	20,00	9,08	720,00	918,92	643,24	
Loka	0,64	94,50	186,00	1,00	0,70	116,88	20,00	3,37	744,00	1446,06	1012,24	
Marras	0,64	94,50	186,00	1,00	0,70	116,88	20,00	0,81	720,00	1614,84	1130,39	
Joulu	0,64	94,50	186,00	1,00	0,70	116,88	20,00	-5,25	744,00	2195,62	1536,93	
vuosi										16,66	11,66	

Ilmastointikoneiden energiankulutus

TK/PK 8	kuukausi	m ³ /s poisto	t,d	t,v	r	n,a	H,iv	Ts	tu	Tunteja	Q	Q, LTO
	Tammi	3,29	98,70	186,00	1,00	0,63	774,20	20,00	-9,16	744,00	16796,36	10581,71
	Helmi	3,29	98,70	186,00	1,00	0,63	775,15	20,00	-10,40	672,00	15835,29	9976,23
	Maalis	3,29	98,70	186,00	1,00	0,63	774,20	20,00	-1,80	744,00	12556,95	7910,88
	Huhti	3,29	98,70	186,00	1,00	0,63	774,20	20,00	1,68	720,00	10212,04	6433,59
	Touko	3,29	98,70	186,00	1,00	0,63	774,20	20,00	10,50	744,00	5472,07	3447,40
	Kesä	3,29	98,70	186,00	1,00	0,63	774,20	20,00	15,50	720,00	2508,42	1580,30
	Heinä	3,29	98,70	186,00	1,00	0,63	774,20	20,00	14,20	744,00	3340,84	2104,73
	Elo	3,29	98,70	186,00	1,00	0,63	774,20	20,00	15,20	744,00	2764,83	1741,84
	Syys	3,29	98,70	186,00	1,00	0,63	774,20	20,00	9,08	720,00	6087,09	3834,87
	Loka	3,29	98,70	186,00	1,00	0,63	774,20	20,00	3,37	744,00	9578,99	6034,77
	Marras	3,29	98,70	186,00	1,00	0,63	774,20	20,00	0,81	720,00	10697,01	6739,11
	Joulu	3,29	98,70	186,00	1,00	0,63	774,20	20,00	-5,25	744,00	14544,17	9162,83
	vuosi										110,39	69,55

LIITE 2(9).

Ilmastointikoneiden energiankulutus

Koko ilmanvaihdon								
kuukausi	m ³ /s poisto	n,a	H,iv	Ts	tu	Tunteja	Q	Q, LTO
Tammi	17,82	0,64	4681,22	20,00	-9,16	744,00	101559,33	64997,97
Helmi	17,82	0,64	4682,17	20,00	-10,40	672,00	95651,03	61216,66
Maalis	17,82	0,64	4684,64	20,00	-1,80	744,00	75981,16	48627,94
Huhti	17,82	0,64	4681,22	20,00	1,68	720,00	61747,21	39518,21
Touko	17,82	0,64	4681,22	20,00	10,50	744,00	33086,89	21175,61
Kesä	17,82	0,64	4206,50	20,00	15,50	720,00	13629,06	8722,60
Heinä	17,82	0,64	4206,50	20,00	14,20	744,00	18151,89	11617,21
Elo	17,82	0,64	4681,22	20,00	15,20	744,00	16717,58	10699,25
Syys	17,82	0,64	4681,22	20,00	9,08	720,00	36805,65	23555,62
Loka	17,82	0,64	4681,22	20,00	3,37	744,00	57919,47	37068,46
Marras	17,82	0,64	4681,22	20,00	0,81	720,00	64679,53	41394,90
Joulu	17,82	0,64	4681,22	20,00	-5,25	744,00	87941,46	56282,54
vuosi							663,87	424,88