

Petteri Halonen

ENERGIALASKENTA- JA
MITOITUSTYÖKALUN KEHITYS
SUURIKOKOISILLE
KIINTEISTÖILLE

Opinnäytetyö
Talotekniikka


Toukokuu 2012




MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

Mikkeli University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Opinnäytetyön päivämäärä 8.5.2012
Tekijä Petteri Halonen	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Talotekniikka (LVI)	
Nimeke Energialaskenta- ja mitoitustyökalun kehitys suurikokoisille kiinteistöille		
Tiivistelmä <p>Puupellettien käyttö kiinteistöjen lämmityksessä ei ole yleistynyt. Suomessa olisi potentiaalia olla puupellettilämmityksessä edelläkävijä. Siirryttäessä öljylämmityksestä puupellettilämmitykseen voidaan säästää lämmityskustannuksissa sekä ympäristöä. Syitä puupelletin vähäiselle käytölle voi olla puupellettien vaihteleva laatu ja puupellettilämmityksen kehittymättömyys huolto- ja ylläpitopalveluissa.</p> <p>Insinööritoimisto Jormakalle tehtiin tilaus yritykseltä, joka on kehittänyt kokonaisvaltaista lämpöpalvelua. Projektin tavoitteena on tarjota suurikokoisille kiinteistöille uusiutuvalla energialla tuotettua lämpöenergiaa asiakkaan kannalta riskittömällä tavalla toteutettuna.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää laskentatyökalu, joka tukee projektin tarjouslaskentavaiheen toimintaa. Työkalulla tulisi saada laskettua kohteiden vuosittainen lämmitysenergiankulutus, hiilidioksidipäästöt, lämmityskustannukset, saneerauksen vaikutukset sekä vertailla kyseisiä tuloksia kyseisistä lämmitysmuodoista. Työkalun tulee tuottaa tulosteet kaikista tuloksista, joita voidaan käyttää markkinoinnissa. Työkalun myös tulisi mitoittaa uudet lämmityskattilat.</p> <p>Opinnäytetyössä tehtiin tutkimusta lähtötiedoista, jotka välttävimmät kyseisien tulosten tuottamiseen. Oletuksena oli, että työkalun kehittäminen on mahdollista, joka toimii hyvin vähillä lähtötiedoilla ja antaa riittävän tarkkoja tuloksia. Työssä esitetään työkalun kehitysvaiheet ja työkalua testataan esimerkkirakennukseen.</p> <p>Tutkimus- ja kehittämistyön lopputuloksena onnistuttiin tuottamaan laskentatyökalu, joka palvelee tarkoitustaan ja antaa tarpeeksi tarkkoja tuloksia. Työkalua pystytään käyttämään yksikertaisesti syöttämällä kohteiden tiedot. Tuloksista huomattiin, että lähtötietojen tarkkuus vaikuttaa suuresti tuloksiin.</p>		
Asiasanat (avainsanat) energialaskenta, mitoitus, normeeraus, puupelletti, öljy, hiilidioksidipäästöt, lämpöarvo, hyötysuhde, kustannusvertailu		
Sivumäärä 34	Kieli Suomi	URN URN:NBN:fi:amk-201205087075
Huomautus (huomautukset liitteistä)		
Ohjaavan opettajan nimi Martti Veuro	Opinnäytetyön toimeksiantaja Insinööritoimisto Jormakka Oy	

DESCRIPTION

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Date of the bachelor's thesis 8.5.2012
Author Petteri Halonen	Degree programme and option Building Services	
Name of the bachelor's thesis Energy calculation- and design tool development for large buildings		
Abstract <p>Wood pellets are not common heating method in Finland. Quality of wood pellets and lack of service of wood pellet heating systems could be reason for it. Finland has resources for being pioneer of wood pellets. If heating method changed from oil heating system to wood pellets heating system it can decrease heating costs and save environment. Client has developed a service that takes care of all things about heating of buildings and use renewable energy.</p> <p>The aim of this bachelor's thesis was to develop energy calculation and design tool for this service. This tool should calculate heating energy, heating costs, carbon dioxide emission, effects of restructuring and compare results. Tool must make printouts about results. Prints are used in marketing. The tool is also for designing new boilers.</p> <p>The research included source data processing which are important to create reliable results. Stages of development are shown in the thesis and how developed calculation tool works.</p> <p>Work succeeded in developing the tool. The tool is easy to use and results are accurate. Input data accuracy affect the results considerably .</p>		
Subject headings, (keywords) energy calculation, design, normalized, wood pellet, oil, carbon dioxide emission, thermal value, efficiency, cost comparison		
Pages 34	Language Finnish	URN URN:NBN:fi:amk-201205087075
Remarks, notes on appendices		
Tutor Martti Veuro	Bachelor's thesis assigned by Insinööritoimisto Jormakka Oy	

KÄYTETTÄVÄT MERKINNÄT JA LYHENTEET

A	kerroin, joka ottaa huomioon kuinka usein mitoitusvirtaama ylitetään
AN	investoinnin vuosikustannus, €/a
C_{ni}	annuiteettitekijä
c_{pv}	veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kJ/kgK
f_m	hiilidioksidi-ominaispäästökerroin suhteutettuna massaan, kgCO ₂ /kg
f_q	hiilidioksidi-ominaispäästökerroin suhteutettuna polttoaineen lämpöarvoon, kgCO ₂ /kWh
H	lämmityshuipun käyttöaika tarkasteluaikana, h
I	investointi, €
i	vuosikorko, %
k_1	paikkakunta-kohtainen korjauskerroin vertailupaikkakuntaan
M_{ar}	polttoaineen käyttökosteus (p-%, märkäpainosta)
$M(C)$	hiilen moolimassa, 44,0095 g/mol
$M(CO_2)$	hiilidioksidin moolimassa, 12,0107 g/mol
$m(CO_2)$	täydellisessä palamisessa syntyvä hiilidioksidi massa, kgCO ₂
m_p	polttoaineen massa, kg
n	laskenta-aika, a
$PA_{lv,osto}$	käytetyn polttoaineen määrä lämpimän käyttöveden lämmitykseen vuodessa, polttoaineen mittayksikössä
$PA_{lv,osto,kk}$	käytetyn polttoaineen määrä lämpimän käyttöveden lämmitykseen kuukaudessa, polttoaineen mittayksikössä
$PA_{lämmitys}$	polttoaineen arvio kulutus kyseisenä vuonna, polttoaineen mittayksikössä
$PA_{lämmitys,osto}$	käytetyn polttoaineen määrä, polttoaineen mittayksikössä
$PA_{lämmitys,osto,ajalla}$	polttoaineen kulutus ajanjaksossa, joka tiedetään, polttoaineen mittayksikössä
$PA_{lämmitys,osto norm}$	normaalivuoden polttoaineen kulutus, polttoaineen mittayksikössä

q	käyttöveden mitoitusvirtaama, dm^3/s
Q	liitettyjen vesipisteiden normivirtaamien summa, dm^3/s
Q_{lv}	käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia, kWh
$Q_{lv,kk}$	käyttöveden tarvitsema lämmitysenergia kuukaudessa, kWh
$Q_{\text{lämmitys,tilat}}$	rakennuksen lämmitysenergian kulutus tarkastelu ajalla, kWh
q_m	kyseessä olevan venttiilin keskimääräinen virtaama, dm^3/s
q_{N1}	suurin normivirtaama, dm^3/s
Q_{norm}	rakennuksen normaalivuoden lämmitystarve, kWh
Q_p	polttoaineen palaessa vapautuva energia, kWh
q_p	polttoaineen tehollinen lämpöarvo, kWh/kg
$Q_{pa,kul}$	kulutetun polttoaineen energiasisältö, kWh
$Q_{\text{polttoaine,omin}}$	polttoaineen tehollinen lämpöarvo, kWh/ dm^3
$q_{p,net,ar}$	polttoaineen tehollinen lämpöarvo (vakioaineessa) käyttökosteudessa, MJ/kg
$q_{p,net,d}$	polttoaineen tehollinen lämpöarvo (vakioaineessa) kuivana, MJ/kg
$Q_{\text{toteutunut}}$	rakennuksen toteutunut lämmitystarve, ei sisällä lämmintä käyttövettä, kWh
$q_{v,lv}$	lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaama, m^3/s
$q_{v,lv,kierto}$	lämpimän käyttöveden kiertojohdon mitoitusvirtaama, m^3/s
S	lämmitystarveluku S17 tarkasteluaikana, °Cd
$S_{Nvpkunta}$	vertailupaikkakunnan normaalivuoden lämmitystarveluku, °Cd
$S_{\text{toteutunutvpkunta}}$	vertailupaikkakunnan toteutunut vuoden lämmitystarveluku, °Cd
$S_{\text{toteutunutvpkunta,ajalla}}$	toteutunut lämmitystarveluku ajanjaksolla vertailupaikkakunnalla, jolloin öljynkulutus tiedetään, °Cd
T_{kv}	kylmän käyttöveden lämpötila, °C
T_{lv}	lämpimän käyttöveden lämpötila, °C
$T_{lvkierto,paluu}$	lämpimän käyttöveden kiertojohdon paluueden lämpötila, °C

t_u	on paikkakunnan mitoitusulkolämpötila, °C
t_x	lämmityskattilan polttimen käyntiaika, h
V_{lv}	lämpimän käyttöveden kulutus, m ³
Y	lämmityskattilan ylimateoituskertoimen
$y(C)$	hiilen massa osuu kosteassa polttoaineessa, p-%
$y_k(C)$	hiilen massa osuus kuivassa polttoaineessa, p-%
y_v	veden massa osuus kosteassa polttoaineessa, p-%
$\eta_{lämmitys}$	lämmöntuottolaitteen vuosihyötysuhde
η_{max}	lämmöntuottolaitteen jatkuvan käytön hyötysuhde
Θ	todennäköisyys, että normivirtaama $qN1$ on vesikalusteella käytössä huippukulutuksen aikana
Λ	lämmityskattilan tyhjäkäyntiteho / poltinteho, kW
ρ_v	veden tiheys, 1000 kg/m ³
τ	lämmöntarpeen huipun käyttöaika, h
Φ_{lv}	lämpimän käyttöveden lämmityksen tarvitsema teho, kW
$\Phi_{lv,kierto}$	lämpimän käyttöveden kiertojohtoon tarvitsema teho, kW
$\Phi_{lämmitys}$	rakennuksen lämmityksen mitoitusteho
$\Phi_{kattila}$	lämmitys kattilan mitoitusteho, kW
0,02443	veden höyrystymislämpö vakiopaineessa +25 °C lämpötilassa, MJ/kg/1 p-% kosteutta kohti
3600	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	VESIKIERTOINEN KESKUSLÄMMITYS.....	2
3	VERTAILTAVAT LÄMMÖNLÄHTEET	2
	3.1 Öljylämmitys	2
	3.2 Puupellettilämmitys	4
4	LASKENTATYÖKALU	5
5	LÄHTÖTIEDOT.....	7
	5.1 Kattiloiden tiedot	8
	5.1.1 Vuosihyötysuhde.....	8
	5.1.2 Polttoaineiden lämpöarvot	10
	5.1.3 CO ₂ -ominaispäästökerroin.....	11
	5.2 Vedenkulutus	13
	5.3 Öljynkulutus	13
	5.4 Säävyöhykkeet.....	13
	5.5 Lämmitystarveluvut.....	15
6	LASKURIN LASKUTAPA.....	16
	6.1 Vuosittainen lämmitysenergiankulutus	16
	6.2 Normeeraus.....	17
	6.3 Öljynkulutuksen arviointi	18
	6.4 Hiilidioksidipäästöt.....	20
	6.5 Mitoitus.....	21
	6.5.1 Lämmitys	21
	6.5.2 Lämmin käyttövesi.....	21
	6.6 Vuosikustannukset.....	25
7	TYÖKALUN TESTAAMINEN ESIMERKKIRAKENNUKSESSA.....	26
8	POHDINTA	31
	LÄHTEET	35

1 JOHDANTO

Suomessa pellettien käyttö kiinteistöjen lämmityksessä ei ole yleistynyt. Suomi voisi olla raaka-aineiden ja osaamisen kannalta pellettienergian edelläkävijä. Siirryttäessä öljylämmityksestä pellettilämmitykseen voidaan alentaa merkittävästi hiilidioksidipäästöjä. Syitä vähäiselle pellettien käytölle voi olla pellettien vaihteleva laatu, huolto- ja ylläpitopalveluiden kehittämättömyys sekä kiinteistöjen omistajien tietämättömyys pellettilämmityksestä.

Kaukolämpöverkot hallitsevat lämpöenergiamarkkinoita suurissa taajamissa Suomessa. Aluelämpöverkot pienissä taajamissa ovat lisääntyneet 1990-luvun alusta lähtien. Uusien verkkojen lämmöntuotanto on yleensä yrittäjäpohjaista, jolloin huolto ja polttoainetuotanto toteutetaan paikallisin voimavaroin. Tästä voidaan päätellä, että suuntaus on kohti pienempiä kokonaisuuksia. Kiinteistökokoluokan lämpöliiketoiminnan kehittämiseksi tarvitaan kehitystyötä pellettien tuotannossa, laitteistossa ja huolto- ja ylläpitopalveluissa.

Tilaja on kehittänyt palvelua, joka tarjoaa asiakkailleen kokonaisvaltaista lämpöpalvelua. Projektin tavoitteena on tarjota taloyhtiöille, kuntien kiinteistöyhtiöille, teollisuuskiinteistöjen omistajille ym. kiinteistöjen omistajille uusiutuvalla energialla tuotettu lämpötuote kokonaisedulliseen hintaan ja asiakkaan kannalta helpolla ja riskittömällä tavalla toteutettuna. Projektissa on mukana myös muita yrityksiä. Insinööri-toimisto Jormakka Oy on toimeksiantajana opinnäytetyössäni. Rahoitus projektille tulee Tekesiltä.

Työn tavoitteena on kehittää laskentatyökalu tilaajan toiminnan tarjouslaskentavaiheeseen. Laskentatyökalun avulla tulisi voida arvioida rakennuksen lämmitykseen ja käyttöveden kuluva energia sekä laskea mahdollisten saneeraustoimenpiteiden vaikutusta energiankulutukseen. Työkalun tulisi myös laskea polttoainekulutus, määrittää kattilan mitoitusteho ja laskea CO₂-päästöt. Työkaluun syötettävät tiedot on toivottu mahdollisimman vähäisiksi rakennusten puutteellisten lähtötietojen vuoksi. Työkalu myös laskisi öljyn todellisen kulutuksen mukaan rakennuksen energiankulutuksen lämmitykselle ja lämpimälle käyttövedelle sekä mitoittaisi uuden kattilan. Työkalu tuottaisi lähtötiedoilla selkeät tulostukset markkinointiin.

Opinnäytetyössä vertailtavat lämmönlähteet ovat kevyt polttoöljy ja puupelletti vesikiertoisessa keskuslämmityksessä. Työssä esitellään ko. lämmitysjärjestelmät ja niiden toiminta. Laskentatyökalun kehitys- ja laskentavaiheet käydään läpi sekä työkalua testataan esimerkkirakennukseen.

2 VESIKIERTOINEN KESKUSLÄMMITYS

Vesikiertoisella keskuslämmityksellä tarkoitetaan rakennuksen tilojen lämmitystä yhteisestä lämmön lähteestä. Lämmitysenergia siirretään putkistossa kulkevan veden avulla lämmitettäviin tiloihin. Vesi on yleisin käytettävä aine lämmön siirtämisessä. Lämmönsiirtoon käytettävänä väliaineena voidaan käyttää myös muita väliaineita kuten höyryä ja ilmaa.

Keskuslämmitys voidaan jakaa seuraaviin osiin: lämmönlähde, lämmönsiirtoverkosto ja lämmönluovuttimet. Lämmönlähteenä voi olla kattilalaitos, jota lämmitetään öljyllä, biopolttoaineilla, sähköllä tai kaasuilla. Lämpöenergian lähteenä voi olla myös kaukolämmön alakeskus tai maalämpö. Tässä työssä käsitellään syvemmin öljykäyttöistä ja puupellettikäyttöistä lämmönlähdettä. Lämmönsiirtoverkosto koostuu putkista, sulku- ja säätöventtiileistä, lämpömittareista yms. laitteista. Putkistojen materiaalina yleensä käytetään terästä. Putkina voidaan käyttää myös muovia, kuparia tai komposiittia. Lämmönluovuttimina käytetään yleensä erilaisia pattereita, jotka sijoitetaan yleensä ulkoseinille ja ikkunoiden alle. Nykyään vesikiertoinen lattialämmitys on yleistynyt mukavuutensa takia, ja se korvaa pattereita lämmönluovuttimina. [1, s.119.]

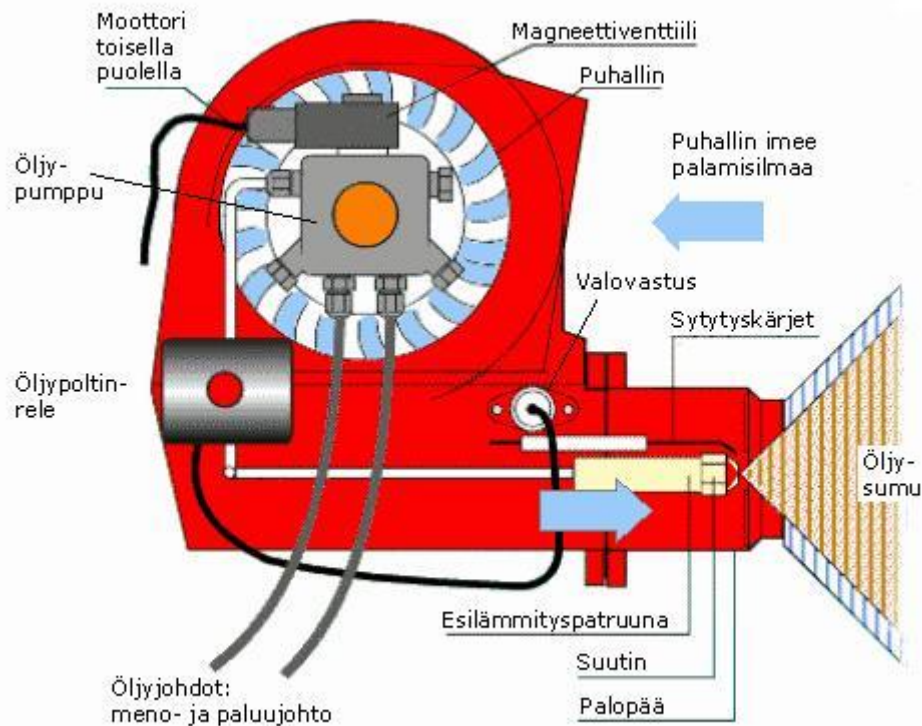
3 VERTAILTAVAT LÄMMÖNLÄHTEET

3.1 Öljylämmitys

Kevyt polttoöljy on yksi vesikiertoisen keskuslämmityksen lämpöenergian lähde, jonka suosio kasvoi Suomen kotitalouksissa öljylämmityksen helppokäyttöisyyden ja edullisen öljyn hinnan myötä. Uusissa asuinrakennuksissa öljyn käyttäminen lämmönlähteenä on hyvin vähäistä johtuen nykyisestä öljyn korkeasta hinnasta. Asuinraken-

nusten käyttämä kevyt polttoöljy maksaa kuluttajalle 1,114 €/l (sis. alv. 23 %)[2]. Hinnassa ei ole huomioitu henkilökohtaisia tarjouksia. Öljyn hinta on tammikuulta vuonna 2012.

Öljylämmitysjärjestelmän pääosat ovat öljypoltin, öljykattila, öljysäiliö, savuhormi ja automaatiikka. Öljykattilassa kiertää lämmitettävä vesi, jota öljypoltin lämmittää. Pumppu pumpkaa öljysäiliöstä öljyputkia pitkin öljyä kattilan polttimen suuttimen läpi, jossa öljy sumuuntuu paineen vaikutuksesta. Kattilassa on puhallin, joka puhaltaa samanaikaisesti ilmaa palopesään. Palopäässä on erilliset elektroniset sytyttimet, jotka sytyttävät öljysumun ja ilmaseoksen palamaan. Öljykattilan automaatio ohjaa koko tapahtumaketjua sekä säätelee liekkiä tarpeen mukaan. Kuvassa 1 on esitetty öljypoltin toimintaa. [1, s. 306-310.]

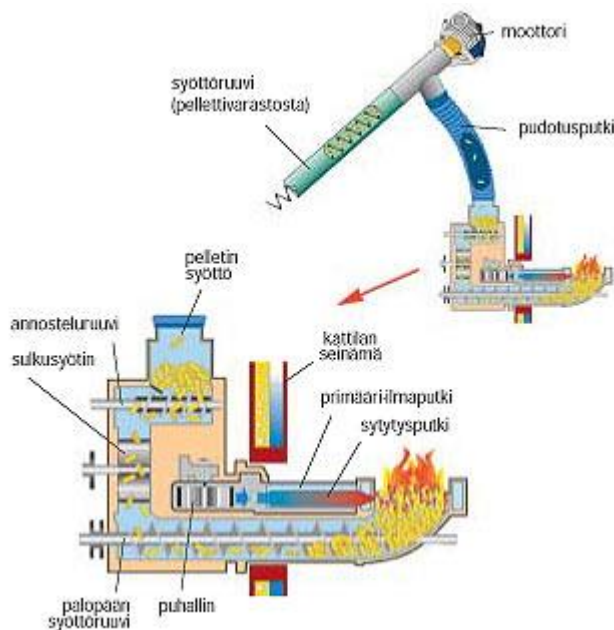


KUVA 1. Öljypoltin [3]

3.2 Puupellettilämmitys

Puupelletti on yksi vesikiertoisen keskuslämmityksen energianlähde, jota voisi verrata öljylämmitykseen sen helpolla automatisoidulla käytöllä. Pellettilämmitysjärjestelmään kuuluu poltin, kattila, pellettisiilo ja automaatiotekniikka.

Puupelletit siirretään erilaisilla siirtokuljettimilla pellettisiilosta polttimelle, jossa puupelletti palaessaan lämmittää kattilassa kiertävää vettä. Kuvassa kaksi on esitetty syöttöruuvi, joka on yhteydessä pellettisiiloon ja kuljettaa pellettejä polttimelle. Syöttöruuvin jälkeen pelletit tippuvat pudotusputken läpi polttimelle. Pudotusputki tehdään muovista paloturvallisuuden vuoksi. Jos pellettipoltimesta pääsee tuli leviämään pudotusputkeen, palaa putki poikki ja tuli ei pääse leviämään pellettisiiloon. Kun pelletit on kuljetettu polttimen pelletin syöttöaukkoon, kuljettavat erilaiset ruuvit niitä palopesään. Palopesään puhalletaan ilmaa siihen tarkoitettulla puhaltimella ja sytytin sytyttää pelletit palamaan. Pellettijärjestelmän automaatio ohjaa koko tapahtumaa. Kuvassa 2 on esitetty polttimen toimintaa. [4.]



KUVA 2. Pellettipoltin [5, s. 33]

Pellettipoltin voidaan kiinnittää vanhaan öljykattilaan, mutta hyvän hyötysuhteen takaamiseksi tulisi käyttää pelletin polttoon suunniteltuja kattiloita. Pellettikattilassa

tulee olla riittävän suuri tulipesä ja vesikiertotilavuus. Oikean pellettikattilan nuohous ja tuhkanpoisto on helppo suorittaa.[5, s. 7.]

Opinnäytetyö kohdentuu suurikokoisiin kiinteistöihin, joihin tullaan sijoittamaan pellettilämpökeskus. Suurikokoisilla kiinteistöillä tarkoitetaan tässä yhteydessä rivitaloja, kerrostaloja tai julkisia rakennuksia. Tällaisissa kohteissa puupelletti on kilpailukykyinen johtuen rakennusten suuresta lämmitysenergian tarpeesta. Laiteinvestoinnit ovat pienempiä suhteessa lämmitysenergian vuosikustannuksiin kuin pienemmissä rakennuksissa. Kuvassa 3 on esitetty tyypillinen pellettilämpökeskus, jossa on erillinen pellettisiilo. Pellettisiilo voidaan sijoittaa myös lämpökontin sisälle. Lämpökontista kytketään lämpöjohdot rakennukseen. [5, s. 7-9.]



KUVA 3. Pellettilämpökeskus [5, s. 9]

4 LASKENTATYÖKALU

Tilaajan toiveena on, että työkalu toimisi mahdollisimman vähäisillä lähtötiedoilla. Tämä johtuu siitä, että rakennuksista ei välttämättä ole saatavilla tarkempia lähtötietoja ja tilaaja voisi mahdollisimman vähällä työmäärällä arvioida rakennuksen energian-

kulutuksen ja pellettikattilan mitoitustehon. Tuloksia voisi vertailla vuotuisesta öljynkulutuksesta saatuun lämmitysenergian käytön määrään, jos aiemmat öljynkulutustiedot ovat saatavilla.

Työssä tutkittiin sitä, mitkä olisivat välttämättömimmät tiedot rakennuksen vuotuisen energiankulutuksen arvioimiseen ja mitoitustehon määrittämiseen. Rakennuksista helposti saatavat tiedot ovat rakennustilavuus, pinta-ala, kerroskorkeus, rakennusvuosi, sijainti ja ilmanvaihtojärjestelmän tyyppi.

Tutkimusten edetessä huomioitiin valmiina olevat ohjelmat, jotka laskevat tarvittavat tiedot rakennuksille. Tarjouksia kyseltiin eri yrityksiltä ja VTT:n WinEtana 1.1 LT osoittautui tarkoitukseen sopivimmaksi ja edullisimmaksi. Ohjelma arvioi vähillä lähtötiedoilla rakennuksista tilaajan vaatimat kulutus- ja mitoitustiedot.

Kohteen perustiedot Nimetön kohde

Kohteen nimi:	Uusi kohde	Laske
Säävyöhyke:	Helsinki-Vantaa	Peruuta
Rakennustyyppi:	Asuinkerrostalo	
Rakennusvuosi:	2012	
Sisälämpötila (°C):	21	
Lämmityskausi alkaa:	Syyskuu	
Lämmityskausi päättyy:	Toukokuu	
Lämmitysmuoto:	Kaukolämpö	
Rakennustilavuus (m³):	5200	Suorakaide x y
Kerrosten lukumäärä:	4	
Kerroskorkeus:	3,4	
Rakennuksen muoto:	Suorakaide	
Mittasuhte (X/Y):	0,5	
Henkilömäärä rakennuksessa (hlö):	1	<input checked="" type="checkbox"/> Käytä oletusarvoa
Asuntojen lukumäärä:	1	<input checked="" type="checkbox"/> Käytä oletusarvoa

KUVA 4. WinEtana 1.1 LT –aloitusvalikko

Kuvassa 4 on esitetty WinEtanan aloitusvalikko, johon tulee määrittää kohderakennukseen tiedot. Ohjelmaan tulee määrittää säävyöhyke, jonka perusteella mitoitusul-

kolämpötilat määräytyvät mitoitusstehon tarpeeseen ja vuosittaiseen käytettyyn lämmitysenergiaan. Rakennustyyppin määrittäminen vaikuttaa mm. käyttöveden kulutukseen. Rakennusvuoden perusteella määräytyy mm. ikkunoiden oletus pinta-alat ja rakenteiden U-arvot. Mitoitussisälämpötila tulee määrittää, joka on asuinrakennuksissa +21 °C. Lämmityskauden aloitus kuukausi ja päättymiskuukausi tulee määrittää, jotka ovat yleensä syyskuu ja toukokuu. Lämmitysmuodon määrittäminen vaikuttaa vuosittaisiin lämmityskustannuksiin. Rakennustilavuus, kerrosten lukumäärä, kerroskorkeus ja rakennuksen muoto vaikuttavat mm. lämpimänkäyttöveden määrään, auringosta hyödynnettävään lämpökuormaan, alapohjan pinta-alaan, seinien pinta-alaan, yläpohjan pinta-alaan, ikkunoiden pinta-alaan ja rakennuksen sisäisiin lämpökuormiin. Sähkönkulutukseen ei tässä työssä kiinnitetä huomiota.

Ohjelma antaa oletusarvot rakenteille, ilmanvaihtomuodolle, lämpimän käyttöveden kulutukselle ja lämpökuormille. Jos tarkempia tietoja on saatavilla rakennuksesta, ne voidaan syöttää ohjelmaan kuvan 5 esittämästä valikosta.



KUVA 5. WinEtana 1.1 LT:n syöttötietovalikko

WinEtana 1.1 LT ei tuota tilaajan tarvitsemia tulosteita, eikä laske energiankulutusta tiedossa olevan öljynkulutuksen mukaan, joten sen rinnalle päätettiin kehittää Excel-pohjainen laskentamenettely.

5 LÄHTÖTIEDOT

Laskentatyökalun toinen osio toteutettiin yleisesti yrityksillä käytössä olevalla Microsoft Office Excel -ohjelmalla. Laskentataulukon avulla voi tuottaa tulostukset, jotka sisältävät tiedot lämmitysenergiankulutuksesta ja voidaan vertailla lämmitysmuotojen vuosikustannuksia ja hiilidioksidipäästöjä. Tehdyllä laskurilla voidaan myös laskea mitoitusstehot pellettikattiloille.

5.1 Kattiloiden tiedot

Laskuriin syötetään nykyisen öljykattilan tiedot ja tulevien pellettikattiloiden tiedot. Tiedot ovat kattilan arvioitu vuosihyötysuhde, käytettävän polttoaineen tehollinen lämpöarvo ja käytettävän polttoaineen hiilidioksidipäästökerroin

5.1.1 Vuosihyötysuhde

Vuosihyötysuhde muodostuu kattilaan syötetystä lämpömäärästä ja saadun lämpömäärän suhteesta yhtälöllä [1, s. 317].

$$\eta_{\text{lämmitys}} = \frac{\text{hyötylämpömäärä}}{\text{syötetty lämpömäärä}} \quad (1)$$

Hyödyksi saatu lämpö sitoutuu kattilassa kiertävään veteen. Kattilaan viety lämpö on polttoaineen sisältämää energiaa. Polttoaineen lämpö on melkein kokonaisuudessaan kemiallista lämpöä, öljyn esilämmityksen vaikutus on alle 1 %. [1, s. 317.]

Hyötysuhteeseen vaikuttavia tekijöitä ovat savukaasuhäviöt, eristyshäviöt, läpivirtaushäviöt, säiliöiden ja apulaitteiden häviöt ja palamattomien palamiskelpoisten aineiden häviöteho savukaasuissa. Suurin ja vaikuttavin tekijä on savukaasuhäviöt. Häviöiden suuruuteen vaikuttaa myös savukaasun virtausnopeus. Kattila ja poltin tulisi mitoittaa siten, että savukaasut jäähtyvät tarpeeksi ja polttoaine palaa mahdollisimman pienellä ilmaylimäärällä. [1, s. 317.]

Eristyshäviöiden, läpivirtaushäviöiden, säiliöidenhäviöiden ja apulaitteiden häviöiden osuus kokonaisenergiasta on, sitä suurempi, mitä lyhyemmissä ajanjaksoissa poltin on toiminnassa. Tämä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että kesällä öljykattila on toiminnassa vain lämmittääkseen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöitä. Öljypoltin käy tietyn väliajoin, vaikka rakennuksen lämmitykseen tai käyttöveden lämmitykseen ei olisi tarvetta. Tätä kutsutaan tyhjäkäyntitehoksi, joka tarkoittaa, että häviöt ovat yhtä suuret kuin kattilan tuottama energia. Tästä johtuen kattilan ylimitoittamista tulisi välttää. Vuosihyötysuhde riippuu jaksottaisessa käytössä polttimen käyntiajasta, joka saadaan yhtälöstä [1, s. 302, 317-318.]

$$\eta_{\text{l\u00e4mmitys}} = \eta_{\text{max}} * \frac{1-\Lambda}{1-\Lambda} \frac{t_x}{t_x} \quad (2)$$

η_{max} on jatkuvan k\u00e4ynnin hy\u00f6tysuhde
 Λ on tyhj\u00e4k\u00e4yntiteho / poltinteho
 t_x on polttimeen k\u00e4yntiaika

Polttimeen k\u00e4yntiaika t_x saadaan yht\u00e4l\u00f6st\u00e4

$$t_x = \tau * \frac{1-\Lambda}{Y} \quad (3)$$

τ on l\u00e4mm\u00f6ntarpeen huipun k\u00e4ytt\u00f6aika
 Y ylirajoituskerroin

Suomi on sitoutunut noudattamaan kattiloiden hy\u00f6tysuhdevaatimuksia EU:n m\u00e4\u00e4r\u00e4ysten mukaisesti. Tavanomaisen kattilan hy\u00f6tysuhteen on oltava nimellisteholla P_n v\u00e4hint\u00e4\u00e4n $84 + 2 \log(P_n)$ % kattilaveden keskil\u00e4mp\u00f6tilan ollessa +70 \u00b0C. Nimellisteho P_n tarkoittaa valmistajan ilmoittamaa suurinta l\u00e4mp\u00f6tehoa (kW), joka voidaan tuottaa jatkuvassa k\u00e4yt\u00f6ss\u00e4 valmistajan ilmoittamalla hy\u00f6tysuhteella. Kattilan toimies-
 sa 30 % osateholla hy\u00f6tysuhteen tulee olla v\u00e4hint\u00e4\u00e4n $80 + 3 \log(P_n)$ % kattilaveden keskil\u00e4mp\u00f6tilan ollessa v\u00e4hint\u00e4\u00e4n 50 \u00b0C. [6, s. 4.]

Tavanomaisen enint\u00e4\u00e4n 35 kW \u00f6ljykattilan vuosihy\u00f6tysuhde on 87 % ja yli 35 kW kattilan vuosihy\u00f6tysuhde on 89 %. Pellettikattilan vuosihy\u00f6tysuhde m\u00e4\u00e4r\u00e4ytyy samoin kuin \u00f6ljykattilankin. Tavanomaisen pellettikattilan vuosihy\u00f6tysuhde on 80 %. [7, s. 14.] Laskentataulukko k\u00e4ytt\u00e4\u00e4 vuosihy\u00f6tysuhteiden arvona n\u00e4it\u00e4 arvoja oletusarvoina, ellei ole saatavilla tarkempaa tietoa.

5.1.2 Polttoaineiden lämpöarvot

Laskuriin on tarkoituksena syöttää kevyen polttoöljyn tehollinen lämpöarvo tai raskaanpolttoöljyn tehollinen lämpöarvo käyttökosteudessa yksikössä kWh/dm³. Taulukossa yksi on polttoaineiden tehollisia lämpöarvoja kosteudessa 0 %.

TAULUKKO 1. Keskimääräisiä polttoaineiden tehollisia lämpöarvoja kosteudessa 0 % [8, s. 22]

		Kevyt polttoöljy	Raskas polttoöljy
Tehollinen lämpöarvo	MJ/t	42,8	40,6-41,4
	MWh/t	11,9	11,29-11,49
	kWh/kg	11,9	11,29-11,49
	kWh/dm ³	10,3	10,79-10,98

Polttoaineiden tehollisen lämpöarvoon vaikuttaa polttoaineen kosteussisältö. Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa eli käyttökosteudessa saadaan yhtälöstä [8, s. 20].

$$q_{p,net,ar} = q_{p,net,d} * \left(\frac{100 - M_{ar}}{100} \right) - 0,02443 * M_{ar} \quad (4)$$

$q_{p,net,ar}$ on tehollinen lämpöarvo (vakipaineessa) käyttökosteudessa, MJ/kg

$q_{p,net,d}$ on tehollinen lämpöarvo (vakipaineessa) kuivana, MJ/kg

M_{ar} on polttoaineen kosteus saapumistilassa (p-%, märkäpainosta)

0,02443 on vedenhöyrystymislämpö vakipaineessa +25 °C lämpötilassa, MJ/kg/1 p-% kosteutta kohti

TAULUKKO2. Keskimääräisiä polttoaineiden tehollisia lämpöarvoja käyttökosteudessa [8, s. 22]

		Kevyt polttoöljy	Raskas polttoöljy
Tehollinen lämpöarvo	MJ/t	41,4	40,5-41,2
	MWh/t	11,49	11,25-11,42
	kWh/kg	11,49	11,25-11,42
	kWh/dm ³	10	10,75-10,9
Kosteus M_{ar} , %		0,015	0,3-0,5

Taulukossa 2 näkyvät polttoaineiden teholliset lämpöarvot, joissa on otettu huomioon polttoaineiden kosteus sisältö. Laskuriin käytetään kevyelle polttoöljylle arvoa 10

kWh/dm³ ja raskaalle polttoöljylle 10,8 kWh/dm³, ellei ole perusteltua syytä käyttää muita arvoja.

Laskuriin syötetään käytettävän puupelletin tehollinen lämpöarvo käyttökosteudessa yksikössä MWh/t. Taulukossa neljä on esitetty puupelletin tehollisia lämpöarvoja kosteudessa 0 % ja käyttökosteudessa. Käyttökosteudessa oleva tehollinen lämpöarvo on laskettu kuivasta tehollisesta lämpöarvosta yhtälöllä (4).

TAULUKKO 4. Keskimääräisiä puupelletin tehollisia lämpöarvoja kuivana ja käyttökosteudessa [8, s. 22]

Puupelletti		M _{ar} =0	M _{ar} =7-8
Tehollinen lämpöarvo	MJ/t	18,9-19,5	16,6-17,6
	MWh/t	5,26-5,42	4,6-4,9

Laskennassa käytetään puupelletille 4,7 MWh / t tehollisena lämpöarvona, ellei ole perusteltua syytä käyttää muuta arvoa.

5.1.3 CO₂-ominaispäästökerroin

Melkein kaikki polttoaineet sisältävät hiiltä. Kun polttoainetta poltetaan, polttoainees- sa oleva hiili hapettuu hiilidioksidiksi. Polttoaineen koostumus ja palamisolosuhteet vaikuttavat palamisesta aiheutuvien päästöjen määrään. Polttoaineet pyritään polt- taamaan mahdollisimman täydellisesti järjestämällä palamisolosuhteet oikeanlaisiksi. Oikeanlaisiin olosuhteisiin vaikuttaa mm. palamisilman määrä. Jos palamisessa polt- toaineen kaikki hiili hapettuu hiilidioksidiksi, kutsutaan tilannetta täydelliseksi pala- miseksi. Polttoaineen palaessa syntyy myös muita päästöjä kuten vetyä, hiilimonoksi- dia ja rikkiä. Täydellisessä palamisessa muodostuu aina yhtä paljon hiilidioksidia suh- teutettuna ainemäärään, massa- tai teholliseen lämpöarvoon. Tätä suuretta kutsutaan ominaispäästökertoimeksi tai päästökertoimeksi. Käytännössä hiilidioksidipäästöt voidaan laskea tarkastelemalla täydellistä palamista. Tarpeen vaatiessa voidaan hu- mioida hapettumaton hiili korjauskertoimien eli hapettumiskertoimien avulla. Kerroin on todellisten päästöjen ja täydellisen palamisen päästöjen suhde. Kiinteille polttoai- neille käytetään lukuarvon 0,990 ja muille polttoaineille 0,995. [9, s.35.]

Polttoaineen massa- suhteutettuna ominaispäästökerroin f_m lasketaan yhtälöllä

$$f_m = \frac{m(CO_2)}{m_p} = \frac{M(CO_2)}{M(C)} * y(C) = \frac{M(CO_2)}{M(C)} * (1 - y_v) * y_k(C) \quad (5)$$

f_m	on ominaispäästökerroin suhteutettuna polttoaineen massa, kgCO ₂ /kg
m_p	on polttoaineen massa, kg
$m(CO_2)$	on täydellisessä palamisessa syntyvä hiilidioksidi massa, kgCO ₂
$M(CO_2)$	on hiilidioksidin moolimassa, 12,0107 g/mol
$M(C)$	on hiilen moolimassa, 44,0095 g/mol
$y(C)$	on hiilen massa osuu kosteassa polttoaineessa, p-%
y_v	on veden massa osuus kosteassa polttoaineessa, p-%
$y_k(C)$	on hiilen massa osuus kuivassa polttoaineessa, p-%

Polttoaineen lämpöarvoon suhteutettuna ominaispäästökerroin f_q saadaan yhtälöstä [9, s. 36].

$$f_q = \frac{m(CO_2)}{Q_p} = \frac{f_m}{q_p} \quad (6)$$

f_q	on ominaispäästökerroin suhteutettuna polttoaineen lämpöarvoon, kgCO ₂ /kWh
$m(CO_2)$	on täydellisessä palamisessa syntyvä hiilidioksidi massa, kgCO ₂
Q_p	on polttoaineen palaessa vapautuva energia, kWh
f_m	on ominaispäästökerroin suhteutettuna polttoaineen massa, kgCO ₂ /kg
q_p	on polttoaineen tehollinen lämpö arvo, kWh/kg

Laskuriin on tarkoituksena syöttää hiilidioksidipäästökerroin, joka saadaan yhtälöllä (6). Kerroin on suhteutettu polttoaineen teholliseen lämpöarvoon. Kertoimessa huomioidaan polttoaineen palamisen tuottamat hiilidioksidipäästöt.

TAULUKKO 3. Polttoainekohtaiset CO₂-päästökertoimet [10, s. 8]

Polttoaineet	kgCO ₂ /MWh
Raskas polttoöljy	279
Kevyt polttoöljy	267
Puuperäiset polttoaineet	0

Taulukossa 3 on esitetty eri polttoaineiden hiilidioksidipäästökertoimet. Kertoimet ovat tarkoitettu havainnollistamaan yksittäisten kohteiden säästötoimenpiteiden vaikutuksia hiilidioksidipäästöihin. Kertoimissa ei huomioida polttoaineen kuljetuksen, raaka-aineen hankinnan eikä polttoaineen tuotannon hiilidioksidipäästöjä. [10, s. 8.]

Puuperäisten polttoaineiden palaminen ei lisää hiilidioksidimäärää ilmakehässä. Hiilidioksidipäästöt ovat puun palaessa yhtä suuret kuin lahotessa. Palaessa tai lahotessa vapautuneet hiilidioksidipäästöt sitoutuvat uudelleen kasvavaan metsään. Taulukosta 3 nähdään puuperäisten hiilidioksidipäästökertoimen olevan 0 kgCO₂/MWh. [10, s. 1.]

5.2 Vedenkulutus

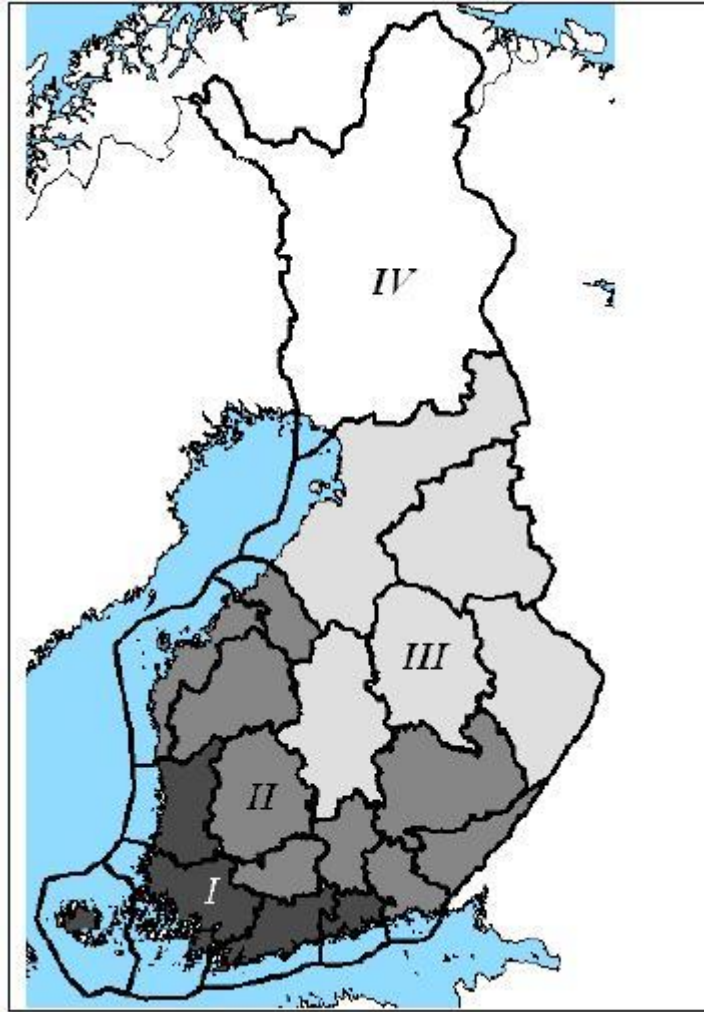
Vedenkulutus voidaan syöttää taulukkoon kolmella eri tavalla. Ensisijaisen vaihtoehdona on todellinen vuosittainen käyttövedenkulutus. Toisena vaihtoehdona on arvioida lämpimän käyttöveden kulutusta asukkaiden lukumäärän perusteella. Kolmantena vaihtoehdona lämpimänkäyttövedenkulutus voidaan arvioida rakennuspinta-alan mukaan.

5.3 Öljynkulutus

Taulukkoon voidaan syöttää tiedossa oleva öljynkulutus vuosittain. Öljyn kulutus voidaan maksimissaan syöttää kolmelta vuodelta. Useammalta vuodelta syötetty kulutus antaa tarkempia tuloksia.

5.4 Säävyöhykkeet

Suomi on jaettu neljään säävyöhykkeeseen. Säävyöhykkeet pohjautuvat Ilmatieteen laitoksen mittauksiin testivuodelta 1979.



KUVA 6. Säavyöhykkeet [7, s. 56]

Kuvasta 6 voidaan katsoa maakuntien sijainti säavyöhykkeittäin. Taulukosta neljä voidaan katsoa säavyöhykkeen mukaan mitoittava ulkolämpötila. Laskuriin syötetään paikkakunnan mukaan mitoittava ulkoilmanlämpötila yksikössä °C. Mitoittava ulkolämpötila vaikuttaa kattilan mitoitustehon suuruuteen.

TAULUKKO 4. Mitoittavat ulkoilman lämpötilat eri säavyöhykkeillä [7, s. 56]

Säavyöhyke	Mitoittava ulkoilman lämpötila, °C	Vuoden keskimääräinen ulkoilman lämpötila, °C	Lämmityskauden keskimääräinen ulkoilmanlämpötila, °C
I	-26	+5	+1
II	-29	+4	0
III	-32	+2	-1
IV	-38	0	-5

5.5 Lämmitystarveluvut

Rakennuksen lämmityksen energiankulutus on verrannollinen sisä- ja ulkolämpötilan erotukseen. Käyttöveden energiankulutukseen ei vaikuta ulkolämpötila. Normeerattaessa lämmitysenergiankulutusta tulee ottaa huomioon, että käyttöveteen kuluva energia ei normeerata samalla. [11.]

Lämmitystarveluvuilla voi verrata rakennuksen kuukausien ja vuosien lämmitysenergiankulutuksia tai rakennuksen kulutusta eri paikkakunnilla [11].

Lämmitystarveluku määräytyy päivittäisen sisä- ja ulkolämpötilan erotuksen keskiarvolla. Kuukausittainen luku määräytyy näiden päivien yhteenlasketulla summalla ja vuosittainen luku määräytyy kuukausien yhteenlasketusta summasta. Suurempi vuosittainen lämmitystarveluku tarkoittaa, että vuosi oli kylmempi. Pienempi lämmitystarveluku tarkoittaa vuoden olevan lämpimämpi. [11.]

Yleisin käytetty lämmitystarveluku on S17. S17 lämmitystarveluku on laskettu siten, että sisälämpötila oletetaan olevan +17 °C. Lämmitysjärjestelmän lämmitysenergian tarvetta pienentävät erilaiset lämmönlähteet, kuten lämpökuormat ihmisistä ja laitteista sekä ulkoiset lämpökuormat kuten aurinko. Näiden lämpöenergioiden oletetaan kattavan sisälämpötilan +17 °C ja todellisen sisälämpötilan eron asuinrakennuksissa. [11.]

Kun vuorokauden keskilämpötilat ovat keväällä yli +10 °C ja syksyllä yli +12 °C ei lämmitystarvelukua oteta huomioon. Oletetaan, että kiinteistössä on tällöin lopetettu lämmitys. [11.]

Tässä työssä lämmitystarvelukuja käytetään rakennuksen normaalivuoden lämmitysenergian määrittämiseen ja rakennuksen huipputehon määrittämiseen.

6 LASKURIN LASKUTAPA

6.1 Vuosittainen lämmitysenergiankulutus

Laskuri laskee vuosittaisen lämmitysenergian kulutuksen tiedossa olevasta öljynkulutuksesta. Lämmitysenergian kulutus ja lämpimään käyttövedeen kuluva energia lasetaan erikseen.

Laskuriin syötetty öljynkulutus arvo muunnetaan rakennuksen käytetyksi lämmitysenergiaksi $Q_{\text{lämmitys,tilat}}$ [12] kattilanvuosihyötysuhteen ja polttoaineen tehollisen lämpöarvon kautta yhtälöllä

$$Q_{\text{lämmitys,tilat}} = PA_{\text{lämmitys,osto}} * Q_{\text{polttoaine,omin}} * \eta_{\text{lämmitys}} - Q_{\text{lv}} \quad (4)$$

$Q_{\text{lämmitys,tilat}}$	on rakennuksen lämmitysenergian kulutus, kWh
$PA_{\text{lämmitys,osto}}$	on käytetyn polttoaineen määrä, polttoaineen mittayksikössä
$Q_{\text{polttoaine,omin}}$	on polttoaineen tehollinen lämpöarvo, kWh/dm ³
$\eta_{\text{lämmitys}}$	on lämmöntuottolaitteen vuosihyötysuhde
Q_{lv}	on lämpimään käyttövedeen kuluva energia, kWh

Lämpimän käyttöveden tarvetta voidaan arvioida laskurissa kolmella eri tapaa. Ensimmäisenä tapana käytetään todellista vedenkulutusta, josta arvioidaan 40 % olevan lämmintä käyttövettä [7, s. 27].

Toisena tapana käytetään arvioinnissa asukasten lukumäärää. Asuinrakennuksissa yksi ihminen käyttää päivässä 60 dm³ lämmintä vettä [7, s. 27].

Kolmantena tapana lämpimän käyttöveden kulutusta voi arvioida rakennuksen bruttopinta-alan mukaan. Asuinrakennuksissa voidaan käyttää arvoa 600 dm³ / brm²/vuosi [7, s. 27].

Laskuri laskee sen perusteella, mikä lähtötieto on syötetty.

Rakennuksen vuotuisen lämpimän käyttöveden kulutuksen lämmitysenergian tarve Q_{lv} lasketaan yhtälöllä

$$Q_{lv} = \rho_v * C_{pv} * V_{lv} * (T_{lv} - T_{kv})/3600 \quad (5)$$

Q_{lv}	on käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia
ρ_v	on veden tiheys, 1000 kg/m ³
C_{pv}	on veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kJ/kgK
V_{lv}	on lämpimän käyttöveden kulutus, m ³
T_{lv}	on lämpimän käyttöveden lämpötila, °C
T_{kv}	on kylmän käyttöveden lämpötila, °C
3600	on kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

Kylmän ja lämpimän käyttöveden lämpötilaerona ($T_{lv} - T_{kv}$) voidaan käyttää arvoa 50 °C.

Kaavasta (5) saadaan kerroin, jolla voidaan laskea lämpimän käyttöveden lämmityksen tarve yksinkertaisesti. Lämpötilaerona käytetään 50 °C ja kertoimen yksiköksi tulee kWh/m³. Kaavaan käytetään lämpimänkäyttöveden kulutukseen V_{lv} arvoa 1 m³, jolla kertoimeksi saadaan 58 kWh/m³. Laskentataulukkoon saadaan lyhyemmät kaavat lämpimän käyttöveden lämmitysenergian laskemiseen.

6.2 Normeeraus

Rakennuksen tilojen lämmitysenergia tulee normeerata, koska lämmitysenergian tarve vaihtelee vuosittain riippuen ulkolämpötiloista. Työssä käsitellään normeerausta vuositasonalla. Normaali vuoden eli rakennuksen keskimääräinen vuosittainen lämmitysenergian tarve Q_{norm} [12] saadaan yhtälöllä

$$Q_{norm} = k_1 * \frac{S_{Nvpkunta}}{S_{toteutunutvpkunta}} * Q_{toteutunut} + Q_{lkv} \quad (6)$$

Q_{norm} on rakennuksen normaali vuoden lämmitystarve, kWh

k_1	on paikkakuntaakohtainen korjauskerroin vertailupaikkakuntaan
$S_{Nvpkunta}$	on vertailupaikkakunnan normaalivuoden lämmitystarveluku, °Cd
$S_{toteutunutvpkunta}$	on vertailupaikkakunnan toteutunut vuoden lämmitystarveluku, °Cd
$Q_{toteutunut}$	on rakennuksen toteutunut lämmitystarve, ei sisällä lämmintä käyttövedettä, kWh
Q_{lv}	on käyttöveden tarvitsema lämmitysenergia, kWh

Normeeratulla lämmitysenergiankulutuksella voidaan laskea normaalivuoden öljynkulutus $PA_{lämmitys,osto\ norm}$ [12] rakennuksessa yhtälöllä

$$PA_{lämmitys,osto\ norm} = \frac{Q_{norm}}{\eta_{lämmöntuotto} * Q_{polttoaine\ omin}} \quad (7)$$

$PA_{lämmitys,osto\ norm}$	on normaalivuoden polttoaineen kulutus, polttoaineen mit-tayksikössä
Q_{norm}	on rakennuksen normaalivuoden lämmitys tarve, kWh
$\eta_{lämmitys}$	on lämmöntuottolaitteen vuosihyötysuhde
$Q_{polttoaine,omin}$	on polttoaineen tehollinen lämpöarvo, kWh/dm ³

Tarkkuuden parantamiseksi taulukkoon tulisi syöttää useamman vuoden öljynkulutus mutta enintään kolmen. Taulukko laskee normeeratuista tuloksista keskiarvon, jolloin päästään tarkempiin tuloksiin.

6.3 Öljynkulutuksen arviointi

Tarkkaa vuosittaista öljynkulutusta rakennusten lämmitykseen ei usein tiedetä, joten öljynkulutuksen arviointiin suunniteltiin oma laskentamenettely. Arviointiin tulee tietää, jonkin ajanjakson öljynkulutus kuukauden tarkkuudella. Kuukausiksi eivät käy kesäkuu, heinäkuu tai elokuu, koska näinä kuukausina öljyä ei käytetä rakennuksen lämmitykseen. Jos tiedettäisiin kesäkuun, heinäkuun tai elokuun aikana kuluva öljy,

voisi sillä laskea käyttöveden lämmityksen tarvetta. Laskeminen tapahtuu lämmitystarvelukujen avulla.

Laskuriin syötetään kuukausittain vertailupaikkakunnan toteutuneet lämmitystarvelut, öljynkulutus kyseisessä ajanjaksossa yksikössä dm^3 ja kuukausien lukumäärä ajanjaksossa.

Käyttöveden lämmityksen tarvitsema öljyn määrä vähennetään syötetystä öljynkulutus arvosta. Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian tarve $Q_{lv,kk}$ kuukaudelle laskeaan kaavasta (5), joka jaetaan vuoden kuukausien määrällä. Näin saadaan kuukaudelle lämpimänkäyttöveden lämmitysenergiatarve. Energiämäärästä lasketaan käytetyn öljyn määrä $PA_{lv,osto,kk}$ yhtälöllä

$$PA_{lv,osto,kk} = \frac{Q_{lv,kk}}{\eta_{\text{lämmöntuotto}} * Q_{\text{polttoaine omin}}} \quad (8)$$

$PA_{lv,osto,kk}$	on käytetyn polttoaineen määrä lämpimänkäyttöveden lämmitykseen kuukaudessa, polttoaineen mittayksikössä
$Q_{lv,kk}$	on käyttöveden tarvitsema lämmitysenergia kuukaudessa, kWh
$\eta_{\text{lämmitys}}$	on lämmöntuottolaitteen vuosihyötysuhde
$Q_{\text{polttoaine,omin}}$	on polttoaineen tehollinen lämpöarvo, kWh/dm^3

Syötetyn ajanjakson kuukausi määrällä kerrotaan polttoaineen kulutuksen määrä $PA_{lv,osto,kk}$.

Kun käyttöveden lämmityksen tarvitsema öljyn määrä on vähennetty ajanjakson kokonaiskulutuksesta, verrataan öljynkulutusta lämmitystarvelukuihin. Halutun vuoden öljynkulutus $PA_{\text{lämmitys}}$ saadaan yhtälöllä

$$PA_{\text{lämmitys}} = \frac{PA_{\text{lämmitys,osto,ajalla}}}{S_{\text{toteutunutvpkunta,ajalla}}} * S_{\text{toteutunutvpkunta}} + PA_{lv,osto} \quad (9)$$

$PA_{\text{lämmitys}}$	on polttoaineen arvio kulutus kyseisenä vuonna, polttoaineen mittayksikössä
$PA_{\text{lämmitys,osto,ajalla}}$	on polttoaineen kulutus ajanjaksossa, joka tiedetään, polttoaineen mittayksikössä
$S_{\text{toteutunutvpkunta,ajalla}}$	on toteutunut lämmitystarveluku ajanjaksolla vertailupaikkakunnalla, jolloin öljynkulutus tiedetään, °C
$S_{\text{toteutunutvpkunta}}$	on toteutunut vuoden lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla, °C
$PA_{\text{lv,osto}}$	on käytetyn polttoaineen määrä lämpimän käyttöveden lämmitykseen vuodessa, polttoaineen mittayksikössä

Arvioitua öljynkulutusta ei tarvitse syöttää laskentataulukkoon kuin yhden vuoden kohdalle. Useammalle vuodelle syötettynä tulokset eivät tarkennu. Jos öljynkulutus laskettaisiin samoilla lähtötiedoilla tällä menetelmällä useammalle vuodelle, normeerattaessa vuosien kulutusta päädyttäisiin aina samoihin tuloksiin.

6.4 Hiilidioksidipäästöt

Hiilidioksidipäästöjen määrittäminen tehdään polttoaineen tehollisen lämpöarvon kautta. Hiilidioksidipäästöt lasketaan tässä työssä vain öljylle, sillä puuperäisten polttoaineiden palaminen ei lisää hiilidioksidimäärää ilmakehässä. Hiilidioksidipäästöt voidaan laskea yhtälöllä

$$m(\text{CO}_2) = f_q * Q_{pa,kul} \quad (10)$$

$m(\text{CO}_2)$ on hiilidioksidipäästö, kgCO₂

f_q on ominaispäästökerroin, kgCO₂/kWh

$Q_{pa,kul}$ on kulutetun polttoaineen energiasisältö, kWh

6.5 Mitoitus

Laskuri määrittää rakennuksen lämmitykselle mitoitus-tehon ja käyttövedelle mitoitus-tehon annetuilla lähtötiedoilla.

6.5.1 Lämmitys

Lämmityksen mitoitus-teho eli huipputeho mitoitetaan lämmitystarvelukujen kautta. Mitoitus-teho Φ_{mit} [13, s.69] saadaan yhtälöllä

$$\Phi_{lämmitys} = \frac{Q_{lämmitys,tilat}}{H} = \frac{Q_{lämmitys,tilat}}{\frac{24 * S}{17^{\circ}\text{C} - t_u}} = \frac{Q_{lämmitys,tilat} * (17^{\circ}\text{C} - t_u)}{24 * S} \quad (11)$$

$\Phi_{lämmitys}$	on lämmityksen mitoitus-teho
H	on lämmityshuipun käyttöaika tarkasteluaikana, h
S	on lämmitystarveluku S17 tarkasteluaikana, °Cd
t_u	on paikkakunnan mitoitusulkolämpötila, °C
$Q_{lämmitys,tilat}$	on rakennuksen lämmitykseen kuluva energia tarkasteluaikana, MWh

Rakennuksen tilojen lämmitykseen kuluva energia $Q_{lämmitys,tilat}$ saadaan yhtälöstä (4), joka on saatu tiedossa olevasta öljynkulutuksesta. Kyseistä mitoitusmenetelmää ei voi käyttää, jos rakennuksessa on tuloilman lämmitys.

6.5.2 Lämmin käyttövesi

Lämpimän käyttöveden huipputeho Φ_{lv} [7, s.55] lasketaan yhtälöllä

$$\Phi_{lv} = \rho_v * c_{pv} * q_{v,lv} * (T_{lv} - T_{kv}) + \Phi_{lv,kierto} \quad (12)$$

Φ_{lv}	on käyttöveden lämmityksen tarvitsema teho, kW
ρ_v	on veden tiheys, 1000 kg/m ³
c_{pv}	on veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kJ/kgK

$q_{v,lv}$	on lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaama, m ³ /s
T_{lv}	on lämpimän käyttöveden lämpötila, °C
T_{kv}	on kylmän käyttöveden lämpötila, °C
$\Phi_{lv,kierto}$	on lämpimän käyttöveden kiertojohdon tarvitsema teho, kW

Laskuriin määritetään rakennuksen asuntojen lukumäärä, jolla voidaan laskea lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaama $q_{v,lv}$ [14, s. 36]. Lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaama lasketaan yhtälöllä

$$q = qN1 + \Theta * (Q - qN1) + A * (qm * \Theta)^{0,5} * (Q - qN1)^{0,5} \quad (13)$$

q	on mitoitusvirtaama, dm ³ /s
$qN1$	on suurin normivirtaama, dm ³ /s
qm	on kyseessä olevan venttiilin keskimääräinen virtaama, dm ³ /s
Θ	on todennäköisyys, että normivirtaama $qN1$ on vesikalusteella käytössä huippukulutuksen aikana
Q	on liitettyjen vesipisteiden normivirtaamien summa, dm ³ /s
A	on kerroin, joka ottaa huomioon kuinka usein mitoitusvirtaama ylitetään

Mitoitusvirtaama lasketaan asuinrakennuksissa seuraavilla arvoilla [14, s. 36].

$qN1$	on 0,2 dm ³ /s (ei kylpyammetta), 0,3 dm ³ /s (kylpyamme)
qm	on 0,2 dm ³ /s
Θ	on 0,015
A	on 3,1

Lämpimälle käyttövedelle normivirtaamien summaksi Q voidaan asettaa huoneistoa kohti 0,8 (dm³/s). Yhtälöön (13) käytetään normivirtaamien summien kertoimena huoneistojen lukumäärää. [14, s.36]

Lämpimän käyttöveden kiertojohdon tarvitsema teho $\Phi_{lv,kierto}$ [7, s.55] lasketaan yhtälöllä

$$\Phi_{lv,kierto} = \rho_v * c_{pv} * q_{v,lv,kierto} * (T_{lv} - T_{lvkierto,paluu}) \quad (14)$$

$\Phi_{lv,kierto}$	on lämpimän käyttöveden kiertojohtoon tarvitsema teho kW,
ρ_v	on veden tiheys, 1000 kg/m ³
c_{pv}	on veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kJ/kgK
$q_{v,lv,kierto}$	on lämpimän käyttöveden kiertojohtoon mitoitusvirtaama, m ³ /s
T_{lv}	on lämpimän käyttöveden lämpötila, °C
$T_{lvkierto,paluu}$	on lämpimän käyttöveden kiertojohtoon paluuveden lämpötila, °C

Lämpimän käyttöveden ja lämpimän käyttöveden kiertojohtoon paluuvedenlämpötila-erona ($T_{lv} - T_{lvkierto,paluu}$) voidaan käyttää arvoa 5 °C [7, s. 55].

Lämpimän käyttöveden kiertojohtoon virtaamana käytetään 20 % lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaamasta [13, s. 53].

Jos lämmitysjärjestelmä on varustettu lämpimän käyttöveden varaajalla, lämpimän käyttöveden mitoitustehosta huomioidaan kattilan mitoituksessa 20 %, sillä varaajaan on varastoitunut lämmitysenergiaa. Lämpimän käyttöveden mitoitustehoa ei huomioida kattilan mitoituksessa ollenkaan, jos käyttövesiteho on alle 20 % kokonaislämmitystehon tarpeesta ja järjestelmässä on riittävä varauskyky. [1, s.251-252.]

Kohteiden lämmitysjärjestelmien kytkentöjä ei ole tiedossa ja kytkennät vaihtelevat kohteittain. Kohteissa saatetaan tulla käyttämään vanhoja varaajia, jos sellaisia on. Varaajien koko ei ole tiedossa, joten tarkkaa mitoitusta on mahdotonta tehdä. Halutessa mitoittaa tarkasti lämpimän käyttöveden mitoitustehontarve, tulisi se tehdä tapauskohtaisesti. Mitoituksessa huomioitaisiin varaajienkoko ja varauskyky sekä lämpimän käyttöveden käytönhuipun aika ja laitteiden lämpöhäviöt.

Kohteisiin asennettavien kattiloiden teholuokkia ei ole montaa ja kattiloita voidaan kytkeä useampi samaan lämmitysverkostoon. Tämä tarkoittaa sitä, että vaikka tiedet-

täisiin tarkka kattilan mitoitusteho, suurella todennäköisyydellä kattiloiden yhteisteho tulee olemaan yli- tai alimitoitettu. Alimitoittaessa kattilaa voidaan kattialan vuosihyötysuhdetta parantaa, johtuen kattilan eristyshäviöiden, läpivirtaushäviöiden, säiliöidenhäviöiden pienenemisestä. Lämmitysjärjestelmiin tullaan asentamaan varajärjestelmäksi sähkövastukset mahdollisten häiriötilanteiden vuoksi. Varajärjestelmästä johtuen voidaan kattilateho alimitoittaa. Alimitoittaminen parantaa kattilan vuosihyötysuhdetta johtuen kattilan häviöiden pienenemisestä. Jos puupellettikattiloiden tehot eivät riitä lämmittämään kovilla pakkasilla rakennusta ja lämmintä käyttövettä yhtä aikaa, käytetään sähkövastuksia lisänä lämmitykseen. Sähkövastusten asentaminen aiheuttaa huomattavia lisäkustannuksia, koska sähkövastusten teholuokan suuruus tarvitsee isommat liitos sulakkeet

Laskurin laskenta menetelmä olettaa, että puupellettikattiloiden varaus ja mahdollisten varaajien varaus riittää lämmittämään käyttöveden käyttöajan huipun. Tästä johtuen kattilan mitoitusteho lasketaan yhtälöllä

$$\Phi_{kattila} = \Phi_{lämmitys} + 0,2 * \Phi_{lv} \quad (15)$$

$\Phi_{kattila}$ on kattilan mitoitusteho, kW

Φ_{lv} on lämpimän käyttöveden mitoitusteho, kW

$\Phi_{lämmitys}$ on rakennuksen lämmityksen mitoitusteho, kW

Lämpimän käyttöveden mitoitustehoa ei huomioida ollenkaan, jos seuraava yhtälö ei toteudu

$$\frac{\Phi_{lv}}{\Phi_{lv} + \Phi_{lämmitys}} > 0,2 \quad (16)$$

Oletuksena on että, yhtälö (16) toteutuu kyseisissä rakennuksissa.

6.6 Vuosikustannukset

Öljylämmityksessä kustannuslaskentaan käytetään polttoaineen vuosittaista kulutusta, joka saadaan kaavasta (7). Polttoaineen vuosittainen kulutus kerrotaan polttoaineen hinnalla. Kevyt polttoöljy maksoi tammikuussa 2012 1,14 € dm³ [2]. Vuosikustannuksiin lisätään kattilan kuluttama sähkö- ja huoltokustannukset. Laskuriin on tehty syöttöruutu, johon voi lisätä sähkö- ja huoltokustannukset yksikössä €/MWh. Näiden kustannusten kerroin vaihtelee tapauskohtaisesti, ja tässä työssä ei eritellä niitä.

Puupellettilämmitykselle kustannukset voidaan laskea energiankulutuksesta tai puupellettien kulutuksesta. Energian kulutuksella laskettaessa syötetään energian hinta yksikössä €/MWh ja polttoaineen kulutuksen mukaan laskettaessa hinta syötetään yksikössä €/t. Syötetty hinnat sisältävät kaikki lämmityskustannukset.

Vuosikustannuksiin voidaan lisätä investoinnin osuus, jos se halutaan ottaa huomioon energian hinnassa. Investoinnin vuosikustannus AN [15, s. 4]laskenta-ajalla saadaan yhtälöstä

$$AN = C_{ni} * I \quad (17)$$

AN on investoinnin vuosikustannus, €/a

C_{ni} on annuiteettitekijä

I on investointi, €

Annuiteettitekijä saadaan yhtälöstä

$$C_{ni} = \frac{i*(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (18)$$

i on vuosikorko, %

n on laskenta-aika, a

Laskuriin tulee määrittää laskenta-aika ja vuosikorko. Investoinnin vuosikustannukset lisätään lämmitysenergian vuosikustannuksiin.

Vuosittaiset säästöt lasketaan vähentämällä öljylämmityksen vuosittaisista kustannuksista puupellettilämmityksen vuosittaiset kustannukset. Säästöissä ei ole huomioitu polttoaineiden hintojen vaihtelua useammalle vuodelle.

7 TYÖKALUN TESTAAMINEN ESIMERKKIRAKENNUKSESSA

Suunnitellun laskentatyökalun käytettävyyttä testattiin esimerkkirakennuksessa. Kyseinen rakennus sijaitsee Joensuussa. Rakennus on kuuden huoneiston yksikerroksinen rivitalo, ja se on rakennettu vuonna 1970. Rakennuksen bruttopinta-ala on 630 brm² ja asuintilavuus 1600 m³. Käyttöveden kokonaiskulutus oli 596 m³ vuonna 2011. Rakennuksen lämmitysmuoto on kevyt polttoöljy ja öljynkulutus on ollut 12500 litraa aikavälillä 9.2010-3.2011. Ilmanvaihtomuoto on koneellinen poisto. Öljykattilan vuosihyötysuhteeksi on ilmoitettu 80 %. Rakennuksessa käytetään lämminvesivaraajaa, joka on kytketty öljykattilaan. Varaajan kokoa ei ole tiedossa. Rakennuksesta ei ole saatavilla muita tietoja. Tiedot on eritelty taulukossa 5. Esimerkkilaskenta ei liity tilaajan tarjoamaan lämpöpalveluun. Laskenta tehdään mahdollisten virheiden löytämiseksi ja työkalun toimivuuden testaamiseksi.

TAULUKKO 5. Rakennuksen lähtötiedot

Sijainti	Joensuu	
Lämmitettävä tilavuus	1600	m ³
Bruttopinta-ala	630	brm ²
Vedenkulutus	596	m ³ /vuosi
Asuntojen lukumäärä	6	kpl
Rakennusvuosi	1970	
Öljynkulutus 9.2010-3.2011	12500	dm ³
Kattilan vuosihyötysuhde	80	%

Vuoden öljynkulutusta ei ole tiedossa, joten laskenta aloitetaan määrittämällä vuoden 2011 öljynkulutus. Laskuriin syötetään tiedossa oleva öljynkulutus, kuukausien määrä tällä ajanjaksolla sekä lämmitystarveluvut. Käyttöveden lämmitystarve huomioidaan laskennassa ja käyttöveden lämmityksen tarve lasketaan ensisijaisesti tiedossa olevasta vedenkulutuksesta. Laskenta menettely tapahtuu kohdan 6.3 mukaan. Tiedossa ole-

van öljynkulutus ajanjakson lämmitystarveluku S17 oli 4440°Cd ja vuoden 2011 lämmitystarveluku Joensuussa oli 4494 °Cd. Vuoden 2011 kokonaisöljynkulutukseksi saadaan 13506 litraa ja ilman käyttöveden lämmitystä öljynkulutukseksi saadaan 11776 litraa. Käyttöveden lämmitykseen oletetaan kuluvan 1729 litraa. Öljyn kulutusarviointitiedot ovat eriteltyinä taulukossa 6.

TAULUKKO 6. Öljynkulutusarviointi

Öljynkulutus 9.2010-3.2011	12500	dm ³
Lämmitystarveluku S17 Joensuu 9.2010-3.2011	4440	°Cd
Lämmitystarveluku S17 Joensuu 2011	4494	°Cd
Öljynkulutus 2011 Kokonaiskulutus	13506	dm ³
Lämmitys	11776	dm ³
Käyttövesi	1729	dm ³

Öljynkulutus vuodelle 2011, kattilanvuosihyötysuhde, vertailupaikkakunnan normaali vuoden lämmitystarveluku S17, vertailupaikkakunnan toteutunut lämmitystarveluku S17, korjauskerroin vertailupaikkakuntaan, mitoitusulkolämpötila, kevyen polttoöljyn tämänhetkinen hinta, puupelletin tämän hetkinen hinta, pellettikattilan investointi hinta, polttoaineiden teholliset lämpöarvot, hiilidioksidipäästökertoimet ja asuntojen lukumäärä syötettiin laskuriin. Puupellettikattilan vuosihyötysuhteena käytetään 80 %. Esimerkin vuosikustannuksissa huomioidaan vain polttoainekustannukset ja pellettilämmityksessä myös investointikustannukset. Lähtötietojen arvot näkyvät taulukossa 7.

TAULUKKO 7. Lämmitysmuotojen lähtötiedot

	Öljy		Puupelletti	
Vuosihyötysuhde	80	%	80	%
Tehollinen lämpöarvo	10	kWh/dm ³	4,7	MWh/t
CO ₂ -päästökerroin	267	kgCO ₂ /MWh	0	kgCO ₂ /MWh
Polttoaineen hinta	1,14	€/dm ³	260	€/t

Puupellettilämmityksen investointikulun suuruus saatiin tilaajalta, joka arvioitu rakennuksen mitoitusasteen perusteella. Taulukossa 8 näkyy investointilaskelman lähtötiedot ja tulokset.

TAULUKKO 8. Investoinnin vuosikustanne

Investointi	46000	€
Vuosikorko	4	%
Laskenta-aika	15	vuotta
Investointi vuosikustanne	4137	€/vuosi

Taulukossa 9 on esitetty vuosittaiset energiankulutukset sekä polttoaineiden kulutukset vuodelle 2011 ja normaalivuodelle. Ominaiskulutuksen suuruusluokalla voidaan päätellä, että tulokset ovat luotettavia.

TAULUKKO 9. Energiankulutus ja polttoaineiden kulutus

	2011		Normeerattu	
Lämmitys	94,2	MWh/a	108,4	MWh/a
Lämmin käyttövesi	13,8	MWh/a	13,8	MWh/a
YHTEENSÄ	108	MWh/a	122,2	MWh/a
Ominaiskulutus	67,7	kWh/m ³ /a	58,9	kWh/m ³ /a
Öljynkulutus	13506	dm ³	15273	dm ³
Puupellettienkulutus	28,7	t	32,5	t

Kustannusvertailussa havaitaan, että puupelletti on kannattavampi kuin kevyt polttoöljy. Kustannuksissa on huomioitu pellettijärjestelmän investointikustannukset 15-vuoden laskenta-ajalla. Kustannukset ovat eriteltynä taulukossa 10.

TAULUKKO 10. Kustannukset

	2011		Normeerattu	
Kevyt polttoöljy	15397	€/a	17411	€/a
Puupelletti	11609	€/a	12586	€/a

Taulukossa 11 on esitetty hiilidioksidipäästöt kevyelle polttoöljylle. Päästöissä on huomioitu polttoaineen palamisessa vapautuvat hiilidioksidipäästöt.

TAULUKKO 11. Hiilidioksidipäästöt

	2011		Normeerattu	
Hiilidioksidipäästöt kevyelle polttoöljylle	36,1	tCO ₂ /a	40,8	tCO ₂ /a

Lämmitysjärjestelmässä käytetään varaajaa, ja varaajan varauskyky oletetaan riittäväksi lämmityshuipun käyttöaikana. Lämpimän käyttöveden mitoitustehoksi käytetään 20 % todellisesta mitoitustehosta. Uuden kattilan mitoitustehoksi saadaan 74,3 kW. Ominastehon suuruusluokasta voidaan päätellä, että tulokset ovat luotettavia. Mitoitustehot ovat eritelty taulukossa 12.

TAULUKKO 12. Mitoitus

Huipputeho (ei sis. LV)	45	kW
Ominasteho	26,5	W/ m ³
Lämmin käyttövesi	133	kW
Lämmin käyttövesi 20 %	26,6	kW
Kiertojohdo	2,7	kW

Saneeraustoimenpiteiden vaikutuksia arvioitiin WinEtana 1.1 LT -ohjelmalla. Ohjelmaan syötettiin rakennuksen lähtötiedot. Lähtötietoina käytettiin sijaintia, rakennustyyppiä, rakennusvuotta, sisälämpötilaa, lämmitysmuotoa, rakennustilavuutta, kerrosten lukumäärää, kerroskorkeutta, rakennuksen muotoa, rakennuksen mittasuhdetta ja henkilömäärää rakennuksessa. Rakennustyyppinä on käytetty asuinkerrostaloa, koska rivitaloa ei ole valittavana lähtötietona. Kuvassa 7 on esitetty lähtötietojen syöttö.

Kohteen perustiedot testi

Kohteen nimi: testi

Säävyöhyke: Jyväskylä

Rakennustyyppi: Asuinkerrostalo

Rakennusvuosi: 1970

Sisälämpötila (°C): 21

Lämmityskausi alkaa: Syyskuu

Lämmityskausi päättyy: Toukokuu

Lämmitysmuoto: Öljylämmitys

Rakennustilavuus (m³): 1900

Kerrostien lukumäärä: 1

Kerroskorkeus: 3

Rakennuksen muoto: Suorakaide

Mittasuhte (X/Y): 0,5

Henkilömäärä rakennuksessa (hlö): 15

OK

Peruuta

Suorakaide

x

y

KUVA 7. Esimerkkirakennuksen syötetyt lähtötiedot

Taulukossa 13 on eritelty molempien laskentamenettelyjen tärkeimmät tulokset. Kulutuksen mukaan lasketut tulokset ovat normeerattuja.

TAULUKKO 13. Tulosten vertailu

	Kulutuksen mukaan		WinEtana 1.1 LT	
Lämmitys + käyttövesi	122,2	MWh/a	154,5	MWh/a
Mitoitusteho	74,3	kW	72	kW

Esimerkkirakennukseen aiotaan vaihtaa ikkunat. Ikkunoiden vanha U-arvo on 2,2 W/m²K. Vanha U-arvo perustuu WinEtana 1.1 LT -oletusarvoihin, joka määräytyy rakennusvuoden perusteella. Ikkunoiden uusi U-arvo on 1,0 W/m²K. WinEtana 1.1 LT:estä saatua energiankulutusta muunnetaan vaihtamalla ikkunoille uudet U-arvot. U-arvojen vaihdosta seuraavaa vuosittaista lämmitysenergian kulutuksen erotusta käytetään laskennassa. Taulukossa 14 havainnollistetaan saneerauksen vaikutusta.

TAULUKKO 14. Saneerauksen vaikutukset

	Ennen		Jälkeen		Erotus	
WinEtana 1.1 LT Lämmitys + käyttövesi	154,5	MWh/a	139,3	MWh/a	15,2	MWh/a
Kulutuksen mukaan Lämmitys + käyttövesi	122,2	MWh/a	107	MWh/a		

Taulukossa 15 WinEtana 1.1 LT:n tuloksia on muunnettu rakennuksen vaipan U-arvoja muuttamalla samaan vuosittaiseen lämmitysenergian kulutukseen kuin toteutunut kulutus. Muunnoksen jälkeen ikkunoiden U-arvot ovat muutettu uusien ikkunoiden kaltaisiksi. Mitoitustehot poikkeavat todellisella kulutuksella lasketuista mitoitus-tehoista. Saneeraustoimenpiteiden jälkeen kattilan mitoitusteho voidaan valita WinEtana 1.1 LT:n mukaan tai todellisen kulutuksen mukaan lasketusta. Jos käytetään WinEtanasta saatua mitoitustehoa, tulisi se olla laskettu alkuperäisillä tiedoilla, joihin on tehty vain saneerauksen aiheuttama muutos. Todellisen kulutuksen mukaan laskettu mitoitusteho on suositeltavampi, koska siinä on huomioitu rakennuksen todelliset lämpöhäviöt. Normeerattu lämmitysenergiankulutus ei usein ole sama kuin laskennallinen.

TAULUKKO 15. WinEtana 1.1 LT kulutus- ja mitoitustiedot

	Ennen		Jälkeen	
Lämmitys + käyttövesi	122,2	MWh/a	107	MWh/a
Mitoitusteho	62	kW	57	kW
Polttoaineen kulutus				
Kevyt polttoöljy	15275	dm ³ /a	13575	dm ³ /a
Puupelletti	32,5	t/a	28,9	t/a

8 POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää energianlaskenta- ja mitoitus työkalu, joka toimisi vähillä lähtötiedoilla. Työkalua on tarkoitus käyttää kiinteistöihin, joihin aiotaan vaihtaa lämmitysmuoto kevytöljystä puupelleteille. Työkalun tarkoituksena oli laskea rakennuksien lämmitysenergiankulutus ja mitoittaa niihin vaihdettavien lämmityskattiloiden tehot. Laskentatyökalusta tuli myös saada tietoa hiilidioksidipäästöistä,

lämmityskustannuksista, saneeraustoimenpiteiden vaikutuksista sekä tuottaa tulosteet kyseisistä tiedoista ja kyseisten lämmitysmuotojen vertailusta.

Työssä onnistuttiin kehittämään tarkoitukseen sopiva laskentatyökalu, joka on kaksiosainen. Laskennallisen kulutuksen määrittämiseen käytettiin WinEtana 1.1 LT -ohjelmaa, joka hankittiin Suomen LVI-liitolta. Kyseisessä ohjelmassa oli puutteita, joten sen rinnalle kehitettiin Excel-laskentamenetelmä. Excel-taulukon oli tarkoitus laskea tiedossa olevan öljynkulutuksen mukaan tilaajan vaatimat tiedot sekä tuottaa kyseiset tulosteet.

Kehitettyä laskentatyökalua testattiin esimerkkirakennukseen. Testauksen tarkoituksena oli minimoida mahdolliset virheet sekä testata sen toimivuutta ja käytettävyyttä. Työkalua ajettiin useita kertoja eri lähtötiedoilla ja lopuksi esimerkkirakennuksen lähtötiedoilla, jonka tulokset esitettiin raportissa. Excel-laskentamenettelyssä ei ilmaantunut mahdollisia virheitä tuloksissa. Tulokset varmistettiin myös käyttämällä taskulaskinta ja paperia. Laskentamenettelyn käyttö osoittautui nopeaksi ja yksinkertaiseksi ja, se palvelee käyttötarkoitustansa.

Aluksi ongelmana pidettiin rakennusten lähtötietojen vähyyttä. Vähäisillä lähtötiedoilla laskettua vuosittaista lämmitysenergiankulutusta ja rakennuksen huipputehon määrittämistä pidettiin karkeana arviona. Tästä johtuen laskelmissa tulisi aina käyttää tiedossa olevaa öljynkulutusta. Öljynkulutus tulisi tietää mahdollisimman monelta vuodelta tai mahdollisimman pitkältä ajanjaksolta. Mitä pidemmältä ajanjaksolta todellinen öljynkulutus tiedetään, sitä tarkempiin tuloksiin päästään. Teoriassa normeeratut vuosittaiset energiankulutukset tulisi olla aina samoja, mutta näin ei kuitenkaan kovin usein ole. Tästä johtuen useammilta vuosilta normeeratuista energiankulutuksista lasketaan keskiarvo, jonka avulla päästään vieläkin tarkempiin tuloksiin.

Exceliin syötettävien lähtötietojen tulisi olla mahdollisimman todellisia. Suurissa rakennuksissa pienetkin muutokset voivat vaikuttaa vuotuisen lämmitysenergian kulutukseen merkittävästi. Kattiloiden vuosihyötysuhteet ovat suuressa asemassa. Esimerkiksi $\pm 5\%$ heitto vuosihyötysuhteessa esimerkkirakennuksessa voi aiheuttaa 12,2 MWh suuruisen poikkeaman vuotuisen lämmitysenergian kulutukseen. Poikkeama on laskettu normeeratusta lämmitysenergian kulutuksesta. Poikkeama vaikuttaa mer-

kittävästi myös kustannusvertailuun sekä uuden lämmitysmuodon laskennalliseen polttoaineen kulutukseen. Polttoaineiden teholliset lämpöarvot ja hinnat ovat melko yksinkertaista määrittää, ja ne ovat melko luotettavia. Hiilidioksidipäästökertoimia voidaan pitää luotettavina ja tarkkoina, jos on tarkoitus laskea palamisessa vapautuvia hiilidioksidipäästöjä. Kaikkia lähtötietoja pystytään muokkaamaan, ja niitä tulisikin muokata tarpeen mukaan.

Lämpimän käyttöveden vuotuinen lämmitysenergiantarve tulisi ensisijaisesti laskea todellisen käyttöveden kulutuksen avulla. Tällä menetelmällä päästään mahdollisimman tarkkoihin tuloksiin. Käyttövedenlämmitystarve vaikuttaa laskennassa myös rakennuksen lämmitysenergian tarpeeseen, sillä normeeraattaessa lämmitysenergiankulutusta vähennetään siitä aina käyttöveden tarvitsema lämmitysenergiankulutus. Käyttöveden lämmityksen tarve näin ollen vaikuttaa myös rakennuksen lämmityksen huipputehon mitoittamiseen, jos huipputeho määritetään kyseisellä menetelmällä.

WinEtana 1.1 LT:n ja tiedossa olevan öljynkulutuksen mukaan lasketuissa tuloksissa on eroja. Eroihin voi vaikuttaa moni tekijä. Ensisijaisesti eroihin vaikuttaa WinEtana 1.1 LT:n käyttämät oletustiedot rakennuksista. Rakennuksessa ei ole välttämättä samoja ominaisuuksia, joita ohjelma olettaa niissä olevan. Rakennuksen tietoja pystyy muokkaamaan ohjelmaan, mutta tämän työn tarkoituksena oli, että laskenta tapahtuu vähillä lähtötiedoilla. Eroihin voi vaikuttaa myös käyttäjien asuin tottumukset. Ihmisten eri asuin tottumukset voivat vaikuttaa mm. lämpimän käyttöveden kulutukseen, rakennuksen sisälämpötilaan tai rakennuksen sisäisiin lämpökuormiin.

Kattilan mitoituksessa tulisi kiinnittää huomiota käyttövedenlämmitykseen. Jos uusi lämmitysjärjestelmä on yhdistetty varaajaan, voidaan mitoitus-teho huomioida sellaisenaan kuin laskuri sen antaa. Tällöin oletetaan, että varaajasta on saatavilla lämmitysenergiaa käyttövedeen tarpeeksi sen huipunkäyttöaikana. Oletetaan, että vanha varaaja on mitoitettu oikein käyttöveden lämmitystarpeisiin. Jos kattilalaitosta ei kytketä vanhaan varaajaan, tulisi käyttöveden tarvitsema teho huomioida uusien kattiloiden varauskapasiteetin avulla. Kattilan mitoitus-tehoksi luultavasti tulee suurempi. Jos kohde ei ole asuinrakennus tai vastaava, tulee käyttöveden mitoitus-teho määrittää muilla keinoin. Muissa rakennuksissa kuten teollisuus halleissa käyttöveden huipputeho on pienempi. Lämmityksen huipputehoa ei pysty mitoittamaan kyseisellä menetel-

mällä, jos rakennuksessa on tuloilman lämmitys erikseen. Työssä oletettiin, että kohteissa joihin laskenta menetelmää käytetään, ei ole tuloilman lämmitystä erikseen. Kohteissa oletetaan olevan ilmanvaihtomuotona koneellinen poisto tai painovoimainen ilmanvaihto.

Työ osoittautui onnistuneeksi, ja siitä on hyötyä sen käyttötarkoituksessa. Kaikki tavoitteet täytettiin. Työkalun käytössä tulee kiinnittää erityistä huomiota lähtöarvojen todellisuuteen.

LÄHTEET

1. Seppänen, Olli. Rakennusten lämmitys. Suomen LVI-liitto ry. 2001
2. Öljyn hinnan kuluttajahintaseuranta. WWW-dokumentti.
http://www.oil.fi/files/728_Kuluttajahintaseuranta.pdf. Päivitetty 5.2.2012. Luettu 20.3.2012.
3. Öljypolttimen osat ja toiminta. WWW-dokumentti.
http://www2.edu.fi/lvi/LVI_osio_01_screen_03.htm. Päivitetty 6.9.2011. Luettu 1.4.2012
4. Pellettilämmitys. Motiva. WWW-dokumentti.
http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/eri_lammitysmuodot/pellettilammitys. Päivitetty 19.10.2011. Luettu 1.4.2012
5. Pellettiopas. Pellettikarelia. WWW-dokumentti.
http://www.pellettikarelia.fi/pelletti_karelia/materiaali/pellettiopas.pdf. Päivitetty 4.6.2003. Luettu 1.4.2012
6. Suomen Rakentamismääräyskokoelma. Osa: D7. WWW-dokumentti.
<http://www.finlex.fi/data/normit/2216-d7.pdf> Päivitetty 22.12.1997. Luettu 18.3.2012
7. Suomen Rakentamismääräyskokoelma, Osa: D5. WWW-dokumentti.
<http://www.finlex.fi/data/normit/29520-D5-190607-suomi.pdf>. Päivitetty 19.1.2007. Luettu 7.2.2012.
8. Paikalliset polttoaineet. Vapo. WWW-dokumentti.
http://www.vapo.fi/filebank/2657-paikalliset_polttoaineet_esite06.pdf
Päivitetty 10.11.2006. Luettu 18.3.2012
9. Keto, Matias. Energiamuotojen kerroin. WWW-dokumentti.
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=123453&lan=fi> Päivitetty 17.12.2010. Luettu 1.4.2012
10. Yksittäisen kohteen CO₂-päästöjen laskentaohjeistus sekä käytettävät CO₂-päästö kertoimet. Motiva. WWW-dokumentti.
http://www.motiva.fi/files/209/Laskentaohje_CO2_kohde_040622.pdf. Päivitetty 23.6.2004. Luettu 1.3.2012.
11. Lämmitystarveluvut. Motiva. WWW-dokumentti.
http://www.motiva.fi/julkinen_sektori/energian kayton_tehostaminen/kiinteistojen_energianhallinta/kulutuksen_normitus/mita_ovat_lammitystarveluvut. Päivitetty 7.12.2010. Luettu 6.3.2012.
12. Laskukaavat: Lämmitysenergiankulutus.

http://www.motiva.fi/julkinen_sektori/energian kayton_tehostaminen/kiinteistojen_energianhallinta/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammitysenergiankulutus. Päivitetty 7.12.2010. Luettu 7.3.2012.

13. Suomen Rakentamismääräyskokoelma. Osa: K1. WWW -dokumentti.

http://www.energia.fi/sites/default/files/julkaisuk1_2003_04072007_0.pdf. Päivitetty 4.7.2007. Luettu 15.3.2012.

14. Suomen Rakentamismääräyskokoelma. Osa: D1. WWW-dokumentti.

http://www.finlex.fi/data/normit/28208-D1_2007.pdf. Päivitetty 24.1.2007. Luettu 20.3.2012.

15. RT –kortisto. Investointilaskelmat ja laskelmataulukot. RT 04-10842. Päivitetty 5.2.2007. Luettu 26.3.2012.