



OMAKOTITALON ILMANVAIHDON PERUSPARANNUS

Mika Haahtikari

2011

Oulun seudun ammattikorkeakoulu

OMAKOTITALON ILMANVAIHDON PERUSPARANNUS

Mika Haahtikari

Opinnäytetyö

15.4.2011

Talotekniikan koulutusohjelma

Oulun seudun ammattikorkeakoulu

Koulutusohjelma	Opinnäytetyö	Sivuja	+	Liitteitä
Talotekniikan koulutusohjelma	Insinööriyö	37	+	4
Suuntautumisvaihtoehto	Aika			
Kiinteistöautomaatio	Kevät 2011			
Työn tilaaja	Työn tekijä			
Teijo Haahtikari	Mika Haahtikari			
Työn nimi				
Omakotitalon ilmanvaihdon perusparannus				
Avainsanat				
Ilmanvaihto, energiatodistus, kustannusarvio, ET-luku				

Opinnäytetyössä selvitetään ilmanvaihdon perusparannuksen kustannukset ja lasketaan talolle energiatehokkuusluku ennen perusparannusta ja perusparannuksen jälkeen. Energiatehokkuusluvun eli ET-luvun laskennassa käytetään Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 määräyksiä ja ohjeita. Pientalon ET-luvun laskennassa käytetään rakentamismääräyskokoelman osan D5 keskimääräisiä lämpimän käyttöveden ja laitesähkön kulutustietoja. Tässä työssä ET-luvun laskennassa käytettiin todellisia kulutustietoja.

Perusparannuksen toteutuksen suunnittelussa käytetään Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 määräyksiä ja ohjeita. Kustannusarvion laskennassa lasketaan hinnat sekä pelti- että muovikanavistolle ja -osille ja siinä hyödynnetään yleisiä rautakauppojen hintoja.

Työ aloitettiin laskemalla energiatehokkuusluku talolle ilman ilmanvaihtokonetta. Lämmöntalteenotolla varustetun ilmanvaihtokoneen hankkiminen osoittautui kannattavaksi, koska jo lämmöntalteenoton noin 60 %:n hyötysuhde paransi ET-lukua.

Kustannusarvion laskennassa muovikanaviston hankkiminen ei kokonaishinnaltaan paljoo eronnut peltikanaviston kustannuksista. Siksi kohteeseen päädyttiin valitsemaan muoviset osat ja kanavat niiden helpon asennuksen ja puhdistettavuuden vuoksi.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
2 ENERGIATODISTUKSIA JA ILMASTOINTIA KOSKEVAT VIRANOMAISÄÄNNÖKSET.....	7
2.1 Energiatodistus	7
2.2 Säännökset ilmanvaihdosta.....	9
3 TYÖN KOHDE.....	11
3.1 Rakennuksen ilmanvaihdon energiankulutus	11
3.1.1 Lähtötilanne.....	11
3.1.2 Muutostilanne.....	12
3.2 Suunnitteluratkaisu.....	13
3.3 Rakennukseen valittavat laitteet ja niiden kustannukset.....	13
3.3.1 Ilmanvaihtokone	13
3.3.2 Päätelaitteet.....	14
3.3.3 Äänenvaimentimet	16
3.3.4 Kanavat	16
3.3.5 Kustannusarvio.....	16
4 ENERGIATEHOKKUUSLUKU.....	19
4.1 Johtumishäviöt.....	19
4.1.1 Rakennusosien ominaislämpöhäviö	19
4.1.2 Rakenteiden läpi johtuva lämpö.....	20
4.1.3 Maanvastaisen alapohjan kautta johtuva lämpö.....	20
4.2 Vuotoilmanvaihto	21
4.2.1 Vuotoilmavirta	21
4.2.2 Vuotoilman ominaislämpöhäviö	22
4.2.3 Vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia.....	22
4.3 Ilmanvaihto	23
4.3.1 Ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö.....	23
4.3.2 Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia	24
4.3.3 Jälkilämmityspatterin tarvitsema lämmitysenergia.....	24

4.4 Lämmin käyttövesi	25
4.4.1 Lämpimän käyttöveden kulutus	25
4.4.2 Käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia	26
4.5 Tilojen lämmitysjärjestelmän häviöt	26
4.6 Laitesähkö	28
4.7 Sisäisistä lämpökuormista hyödynnettävä energia	28
4.7.1 Lämmityslaitteista vapautuva lämpökuormaenergia.....	28
4.7.2 Ikkunoiden kautta rakennukseen sisälle tuleva auringon säteilyenergia.....	29
4.7.3 Henkilöt ja sähkölaitteet.....	30
4.7.4 Lämpökuormista hyödynnettävä energia.....	31
4.8 Energiankulutus	34
5 YHTEENVETO	35
LÄHTEET	36
LIITTEET	
Liite 1. Mittauspöytäkirja	
Liite 2. Energialaskelma ilman ilmanvaihtokonetta	
Liite 3. Energialaskelma ilmanvaihtokoneella	
Liite 4. Ilmanvaihtosuunnitelma	

1 JOHDANTO

Vuonna 2000 Haukiputaalle valmistuneessa omakotitalossa on koneellinen poistoilmanvaihto. Tämän työn tavoitteena on suunnitella taloon koneellinen lämmöntalteenotolla varustettu tulo- ja poistoilmanvaihto. Ilmastointisuunnitelma laaditaan käyttäen MagiCad-ohjelmaa.

Nykyisen ilmanvaihdon määrä selvitetään mittauksin ja samalla lasketaan sen aiheuttama energiankulutus. Samalla selvitetään suunnitellun ilmanvaihdon energiankulutus. Suunnitellun ilmanvaihdon investointikustannukset ovat osana työn tavoitetta. Investointikustannuksien laskennassa käytetään yleisiä rautakauppojen hintoja.

Talolle lasketaan energiatehokkuusluku sekä vanhalla että uudella ilmanvaihdolla. Energialaskelmat tehdään Excel-taulukko-ohjelmaan, jonka laatimisessa on hyödynnetty Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 kaavoja ja ohjeita.

2 ENERGIATODISTUKSIA JA ILMASTOINTIA KOSKEVAT VIRANOMAISÄÄNNÖKSET

2.1 Energiatodistus

Energiatodistus on todistus, jonka avulla kuluttaja voi vertailla eri rakennusten energiatehokkuutta (kuva 1). Energiatehokkuuslain taustalla on EU:n säätämä direktiivi rakennusten energiatehokkuudesta. (1.)

ENERGIATODISTUS		
Rakennus Rakennustyyppi: _____ Valmistumisvuosi: _____ Osoite: _____ Rakennustunnus: _____		
Energiatodistus on annettu <input type="checkbox"/> rakennuslupamenettelyn yhteydessä ja perustuu laskennalliseen kulutukseen <input type="checkbox"/> energiakatselmuksen yhteydessä ja perustuu toteutuneeseen kulutukseen <input type="checkbox"/> erillisen tarkastuksen yhteydessä ja perustuu toteutuneeseen kulutukseen		
ET-luku	Vähän kuluttava	Rakennuksen ET-luokka
	A	
	B	
	C	
	D	
	E	
	F	
	G	
	Pajon kuluttava	
Rakennuksen energiatehokkuusluku (ET-luku, kWh/brm ² /vuosi): _____ Energiatehokkuusluvun luokitteluasteikko: _____		
Todistuksen antaja:	Todistuksen tilaaja:	
Allekirjoitus:		
Todistuksen antamispäivä:	Viimeinen voimassaolopäivä:	

KUVA 1. Energiatodistus (2)

Rakennuksille energiatodistus on otettu käyttöön Suomessa vuoden 2008 alussa, ja se koski tuolloin vain uudisrakennuksia. Vuonna 2009 se kuitenkin alkoi koskea myös olemassa olevia rakennuksia silloin, kun kiinteistöä myytiin tai vuokrattiin. (3.)

Energiatodistuksia on olemassa kolmen tyyppistä: *pientalojen energiatodistus* on tarkoitettu pientaloille sekä enintään kuuden asunnon kiinteistöille. *Muille rakennuksille tarkoitettu energiatodistus* koskee suuria asuinrakennuksia ja palvelukiinteistöjä. *Isännöitsijätodistukseen sisältyvä energiatodistusta* käytetään taloyhtiöissä. (4.)

Olemassa oleville, ennen lain voimaantuloa rakennetuille pientaloille ja enintään kuuden asunnon kiinteistöille energiatodistus ei ole pakollinen, mutta suositeltava. Jos omistaja haluaa talolleen tai kiinteistölleen energiatodistuksen, se laaditaan erillisen tarkastuksen yhteydessä, ja todistusta kutsutaan erilliseksi energiatodistukseksi.

Todistuksen laatii henkilö, joka on pätevätytynyt erillisen energiatodistuksen antaja.

Todistus on voimassa 10 vuotta. Erillistä todistusta haluavan on täytettävä kaikki lomakkeen osat. Todistuksen antaja tutkii ja kirjaa kaikki tekemänsä huomiot ja antaa mahdollisia suosituksia energian säästämiseen. Mikäli suosituksia halutaan tehdä, laaditaan todistukseen arvio annettujen suositustoimenpiteiden vaikutuksesta. (5.)

1.1.2008 jälkeen haettaville pientalon ja enintään kuuden asuinrakennuksen kiinteistön rakennusluville energiatodistus on pakollinen. Todistus laaditaan rakennuslupamenettelyn ohessa. Energiatodistuksen luovuttaa pääsuunnittelija, ja se on voimassa 10 vuotta. (5.)

Muille asuinrakennuksille tarkoitettu todistus tulee laatia 1.1.2008 sekä sen jälkeen haetuille rakennusluville. Todistus laaditaan rakennuslupamenettelyn ohessa, ja se on varmennettava rakennuksen käyttöönotto tarkastuksessa. Todistuksen laatii pääsuunnittelija, ja se on voimassa 4 vuotta. (6.)

Jo olemassa oleville muille rakennuksille todistus on pakollinen 1.1.2009 jälkeen, kun sitä myydään tai vuokrataan. Todistus on mahdollista laatia joko erillisen energiakatselmuksen tai erillisen tarkastuksen avulla. Luovuttajana voi olla joko energiakatselmoija tai pätevätytynyt erillisen todistuksen laatija. Todistus on voimassa 10 vuotta. (6.)

Energiatodistus voidaan antaa myös osana isännöintitodistusta 1.1.2009 jälkeen vuokrattavalle tai myytävälle rakennukselle. Sen voi laatia joko isännöitsijä tai hallituksen puheenjohtaja toteutuneen energiankulutuksen perusteella. Voimassa todistus on samalla tavalla kuin isännöintitodistus, eli se uusiutuu kerran vuodessa energiankulutustietojen päivityksen yhteydessä. (6.)

Todistus sisältää rakennuksen energialuokan ja energiatehokkuusluvun lisäksi myös perustiedot rakennuksesta, voimassaoloajan todistukselle ja laskennan lähtötiedot (5). Uusille rakennuksille laadittu energiatodistus perustuu laskennallisiin kulutuksiin, mutta olemassa oleville rakennuksille laadittu todistus perustuu toteutuneisiin kulutuksiin. Pienten rakennusten energiatodistus perustuu aina laskennallisiin kulutuksiin. (3.)

Poikkeuksena energiatodistuksen pakollisuudesta ovat rakennukset, joiden pinta-ala ei ylitä 50 m²:ä ja vapaa-ajan asunnot, jotka ovat käytössä korkeintaan 4 kk vuodessa. Myös suojellut rakennukset, korjaamo- ja teollisuusrakennukset sekä kirkot ym. uskonnolliset rakennukset, joiden käyttötarkoitus on vain kokoontumiselle ovat energiatodistuspakon ulkopuolella. (1.)

2.2 Säännökset ilmanvaihdosta

Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D2 määrää, että rakennuksen ilmanvaihto on suunniteltava ja rakennettava rakennuksen suunnitellun käyttötarkoituksen ja käytön perusteella niin, että se luo omalta osaltaan edellytykset tehokkaalle energian käytölle. Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D2 määrää, että uudisrakennuksessa on oltava lämmöntalteenotolla varustettu ilmanvaihtokone. Lämpöä on otettava talteen ilmanvaihdon poistoilmasta vähintään 45 % lämpömäärästä, joka tarvitaan ilmanvaihdon lämmitykseen. Vuosihyötysuhde rakennuksen ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenotolle voidaan määrittää valmistajan ilmoittamasta varmennetusta lämmöntalteenottolaitteen vuosihyötysuhteesta. Jos lämmöntalteenottolaitteen varmennettua vuosihyötysuhdetta ei ole mahdollista käyttää, voidaan laskelmiin käyttää lämmönsiirtimen tuloilman lämpötilasuhdetta ja kertoa se 0,6:lla. (7, s. 23, 24.)

Oleskelutiloihin on sen käytön aikana johdettava ulkoilmavirta, joka täyttää terveellisen, turvallisen ja viihtyisän sisäilman laadun. Tuloilmavirta oleskelutiloihin mitoitetaan ensisijaisesti henkilömäärän mukaan. Jos riittäviä perusteita mitoitukseen henkilömäärän mukaan ei ole, voidaan tuloilmavirta mitoittaa tilan pinta-alan mukaan. Tuloilmavirran tulee asuinhuoneisiin olla $6 \text{ dm}^3/\text{s}$ henkilöä kohden tai $0,35 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$ eli $0,5 \text{ l/h}$ vastaava ilmanvaihtokerroin asunnossa, jossa vapaa korkeus on 2,5 metriä. (7, s. 10.) Poistoilman määrä tulee olla noin 10 % suurempi kuin tuloilmavirran rakenteisiin kertyvän kosteuden ja mikrobien kehittymisen välttämiseksi. Kuitenkaan alipaine ei saa ylittää 30 pascalia. Jos tilassa syntyy runsaasti epäpuhtauksia tai kosteutta, se mitoitetaan alipaineiseksi muihin tiloihin nähden. Rakennuksen tavallinen käyttö ja sääolosuhteet eivät saa merkittävästi muuttaa rakennuksen paineita tai ilmanvaihtoa. (7, s. 19.)

3 TYÖN KOHDE

Muutoskohteena on omakotitalo, joka sijaitsee Haukiputaalla ja on valmistunut vuonna 2000. Rakennuksen valmistumisajankohdan vuoksi siinä ei ole koneellista tuloilmaa, vaan ainoastaan koneellinen poistoilmanvaihto. Määräykset eivät vaatineet rakennuksen valmistumisvuonna vielä lämmöntalteenotolla varustettua ilmanvaihtokonetta.

Huippuimurina on Vilpe E190, jonka sähkötehoksi valmistaja ilmoittaa tyyppikilvessä 80 wattia. Tämän hetken ilmavirrat kohteessa ovat nähtävissä liitteessä 1. Paremman sisäilman saavuttamisen ja energiansäästön vuoksi taloon asennetaan ilmanvaihtokone.

3.1 Rakennuksen ilmanvaihdon energiankulutus

Energiankulutukset on laskettu eri ilmavirroilla lähtötilanteessa ja muutostilanteessa.

3.1.1 Lähtötilanne

Nykyisen huippuimurin sähkötehoksi valmistaja ilmoittaa 80 wattia, joten nykyisen ilmanvaihdon keskimääräinen puhaltimen sähköenergiankulutus on 350,4 kWh vuodessa (kaava 1) (8). Rakennuksen yksityiskohtaiset energialaskelman tulokset lähtötilanteessa näkyvät liitteessä 2.

$$E = P t = 0,040 \text{ kW} * 24 \text{ h} / \text{d} * 365 \text{ d} / \text{v} = 350,4 \text{ kWh} / \text{a} \quad \text{KAAVA 1}$$

E = energia

P = teho

t = aika

Lähtötilanteen ilmavirraksi on mitattu $-20 \text{ dm}^3 / \text{s}$. Oletuksena on, että ilmanvaihtoa käytetään jatkuvasti samalla teholla. Lämmitysenergian tarve saadaan laskettua kaavalla 2.

$$Q_{iv} = ((\rho_i C_{pi} q_{v, poisto} t_d r t_v (1 - \eta_a)) * (T_s - T_u) * \Delta t) / 1000 \quad \text{KAAVA 2}$$

ρ_i = ilman tiheys, kg / m^3 , $1,2 kg / m^3$

C_{pi} = ilman ominaislämpökapasiteetti, $Ws / (kgK)$, $1000 Ws / (kgK)$

$q_{v, poisto}$ = poistoilmavirta, m^3 / s

t_d = ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhte, $h / 24h$

r = muuntokerroin, joka ottaa huomioon ilmanvaihtolaitoksen vuorokautisen käyntiajan

t_v = ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhte, $vrk / 7 vrk$

η_a = ilmanvaihdon poistoilman LTO:n vuosihyötysuhde tai keskimääräinen hyötysuhde laskentajaksolta

Energiankulutus on laskettu kuukausittain ja tulokset on esitetty liitteessä 2.

Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemaksi energian määräksi saadaan $3\,835 kWh$ vuodessa.

3.1.2 Muutostilanne

Suunnitellun ilmanvaihtokoneen puhaltimien sähkötehoksi valmistaja ilmoittaa yhteensä 80 wattia ja kun mukaan lisätään huippuimurin sähköteho, saadaan keskimääräiseksi sähköenergian kulutukseksi $1\,051 kWh$ vuodessa (8). Rakennuksen yksityiskohtaisemmat energialaskelmien tulokset muutostilanteessa näkyvät liitteessä 3.

$$E = P t = ((0,080 kW + 0,040 kW) * 24 h / d * 365 d / v = 1\,051,2 kWh / a$$

Muutostilanteen poistoilmavirraksi on mitoitettu $-41 dm^3 / s$. Oletuksena on, että ilmanvaihtoa käytetään jatkuvasti samalla teholla. Energiankulutus on laskettu kuukausittain ja tulokset on esitetty liitteessä 3. Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemaksi energian määräksi saadaan $3\,773,6 kWh$ vuodessa.

3.2 Suunnitteluratkaisu

Kohteen suunnittelu aloitettiin ilmanvaihdon ilmavirtojen mitoituksella. Ilmavirtojen mitoituksessa on noudatettu Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 sääntöjä ja ohjeita. Ilmavirrat on mitoitettu henkilökuorman perusteella, joka on ensisijainen mitoitusohje rakentamismääräyskokoelmassa.

Kohteeseen asennettavan kanaviston materiaaliksi valittiin muovi, ja se on suunniteltu asennettavaksi yläpohjan yläpuolelle, joten siihen on asennettava eristys lämmön ja kondenssin vuoksi. Ilmanvaihtokoneen sijoituspaikaksi valittiin pesuhuone, minkä vuoksi on otettava huomioon koneen kondenssisuojaus. Suurin osa nykypäivän ilmanvaihtokoneista on kondenssisuojattu.

Ulkoilman sisäänotto tapahtuu pesuhuoneen ulkoseinään sijoitetun raitisilmasäleikön kautta. Rakennuksesta poistuva jäteilma puhalletaan katolle jäteilmakanavan avulla. Ulospuhallushajottajaksi on valittu Vilpe 125P/IS/700. Ilmanvaihtosuunnitelma on nähtävissä liitteessä 4.

3.3 Rakennukseen valittavat laitteet ja niiden kustannukset

3.3.1 Ilmanvaihtokone

Rakennuksessa on lämmitysjärjestelmänä sähköinen lattialämmitys, eli ilmanvaihtokoneeksi on valittava sähköisellä lämmityspatterilla toimiva ilmanvaihtokone. Vaihtosuodattimet olisi hyvä saada koneeseen helposti. Tavoitteena on valita kone hyvällä lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteella ja lisäksi koneen tulisi olla hiljainen.

Kohteeseen päädyttiin valitsemaan Vallox 95 (R), jossa on vaadittavat ominaisuudet. (kuva 2). Koneessa suodattimien suodatusluokkina tuloilmapuolella ovat G3 ja F7 sekä poistoilmapuolella G3. Lämmöntalteenottona toimii levylämmönvaihdin, jonka hyötysuhde on noin 60 % (9, s. 1).



KUVA 2. Vallox 95 (R) (10)

3.3.2 Päätelaitteet

Päätelaitteet päädyttiin valitsemaan niin, etteivät kustannukset olisi korkeat, mutta ulkonäkö olisi hyvä. Päätelaitteiksi valittiin Fläktwoods KTS- ja KSO-venttiilit (kuva 3) ja (kuva 4). Saunaan asennetaan KSOS-venttiili poistoilmaventtiiliksi (kuva 5).



KUVA 3. KTS-tuloilmaventtiili (11)



KUVA 4. KSO-poistoilmaventtiili (12)



KUVA 5. KSOS-poistoilmaventtiili saunaan (12)

3.3.3 Äänenvaimentimet

Äänenvaimentimien vaatimuksiksi asetettiin, että äänenvaimennus olisi hintaan nähden mahdollisimman hyvä. Vallinnassa päädyttiin IVK KVDpr-äänenvaimentimiin, joiden hinta/laatusuhde on paras mahdollinen. Äänenvaimennusmateriaalina on käytetty polyesterikuitua, joka on parempi vaihtoehto kuin mineraalivilla siitä mahdollisesti irtoavien hiukkasten takia. (13.)

3.3.4 Kanavat

Kanaviston materiaalivaihtoehtoja oli kaksi: peltikanavisto ja muovikanavisto. Valinnassa päädyttiin muovikanavistoon sen helpon asennettavuuden ja puhtaanapidon vuoksi. Myöskään hintaero peltisiin kanaviin ei ollut iso, joten se myös vaikutti valintaan. Hinnat on esitetty taulukoissa 1 ja 2.

3.3.5 Kustannusarvio

Kustannusarviota laskettaessa, hintoina on käytetty rautakauppojen yleisiä hintoja. Hinnat on laskettu sekä pelti- että muovikanavina ja -osina. Tarvittavien osien ja tarvikkeiden hinnat ja määrät on esitetty taulukoissa 1 ja 2.

TAULUKKO 1. Kustannusarvio peltikanavistolla

Tarvike	Määrä	Yksikköhinta	Yhteensä €
100 mm kanava	34 m	3,78 € / m	128,52
125 mm kanava	11 m	4,23 € / m	50,76
Osat (mutkat, liittimet, haarat, säleiköt, kiinnityskehukset)	48 kpl	5,66 € / kpl	271,61
Venttiilit	10 kpl	18,58 € / kpl	185,82
Puhdistusluukut	9 kpl	8,58 € / kpl	77,18
Äänenvaimentimet	2 kpl	76,30 € / kpl	152,60
Vilpe poistoputki 125 mm	1 kpl	108,78 € (sis. läpivienti)	108,78
Eristykset (L50)	24 m ²	8,51 € / m ²	204,24
Vallox 95 R iv-kone	1 kpl	799 €	799,00
SUMMA			1 978,51

TAULUKKO 2. Kustannusarvio muovikanavistolla

Tarvike	Määrä	Yksikköhinta	Yhteensä €
100 mm kanava	34 m	6,23 € / kpl	211,82
125 mm kanava	11 m	7,17 € / kpl	78,85
Osat (mutkat, liittimet, haarat, säleiköt)	48 kpl	6,82 € / kpl	327,45
Venttiilit	10 kpl	13,11 € / kpl	131,09
Puhdistusluukut	9 kpl	8,58 € / kpl	77,18
Äänenvaimentimet	2 kpl	76,30 € / kpl	152,60
Vilpe poistoputki 125 mm	1 kpl	108,78 € (sis. läpivienti)	108,78
Eristykset (L50, 24 m ²)	24 m ²	8,51 € / m ²	204,24
Vallox 95 R iv-kone	1 kpl	799 €	799,00
SUMMA			2 091,01

4 ENERGIATEHOKKUUSLUKU

Kohteen energiatehokkuusluku on laskettu Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 kaavoja ja ohjeita apuna käyttäen. Laskelmat on esitetty liitteissä 2 ja 3. Pientalon energiatehokkuusluvun laskennassa käytetään rakentamismääräyskokoelman osan D5 keskimääräisiä lämpimän käyttöveden ja laitesähkön kulutustietoja. Tässä työssä on käytetty todellisia kulutustietoja.

4.1 Johtumishäviöt

Rakennuksen rakenteiden ja ilmanvaihdon kautta johtuu lämpöenergiaa ulos rakennuksesta. Jokaisen rakenneosan kautta johtuva energian määrä on laskettava energiatodistusta varten erikseen.

4.1.1 Rakennusosien ominaislämpöhäviö

Rakenteiden pinta-alat ja lämmönläpäisykertoimet on esitetty taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Kaavoihin 3, 4 ja 7 käytetyt lähtöarvot

Rakenneosa	U – arvo w/m^2K	Pinta-ala m^2
Seinä	0,26	75,6
Yläpohja	0,16	74,2
Alapohja	0,22	74,2
Ikkuna	1,1	10,3
Ovi	0,7	2,1

Energiatodistukseen tarvittavan energiatehokkuusluvun laskeminen aloitetaan laskemalla rakenteiden läpi johtuva ominaislämpöhäviö kaavalla 3 (14, s. 18).

$$\sum H_{\text{joht}} = \sum (U_{\text{ulkoseinä}} A_{\text{ulkoseinä}}) + \sum (U_{\text{yläpohja}} A_{\text{yläpohja}}) + \sum (U_{\text{ikkuna}} A_{\text{ikkuna}}) + (U_{\text{ovi}} A_{\text{ovi}})$$

KAAVA 3

$\sum H_{joht}$ = rakennusosien yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö, W/K

U = rakennusosan lämmönläpäisykerroin, $W/(m^2K)$

A = rakennusosan pinta-ala, m^2

Rakennusosien yhteenlasketuksi ominaislämpöhäviöksi saadaan:

$$\sum H_{joht} = 44,32 \text{ W/K}$$

4.1.2 Rakenteiden läpi johtuva lämpö

Vuoden aikana johtuu rakenteiden läpi lämpöenergiaa, joka lasketaan kaavalla 4 (14, s. 18). Ulkoilman lämpötila on saatu rakentamismääräyskokoelman osasta D5.

$$Q_{joht} = \sum H_{joht} (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad \text{KAAVA 4}$$

Q_{joht} = rakenteiden läpi johtuva lämpöenergia, kWh

T_s = sisäilman lämpötila, $^{\circ}C$, $21^{\circ}C$

T_u = ulkoilman lämpötila, $^{\circ}C$

Δt = ajanjakson pituus tunteina, h

Rakenteiden läpi johtuvaksi lämpöenergiaksi saadaan

$$Q_{joht} = 7\,796,92 \text{ kWh/a.}$$

4.1.3 Maanvastaisen alapohjan kautta johtuva lämpö

Alapohjan läpi johtuvan lämpöenergian määrä voidaan laskea samoin kuin rakenteiden läpi johtuva lämpöenergia, mutta ulkoilman lämpötilan tilalla käytetään alapohjan alla olevan maan lämpötilaa, joka löytyy rakentamismääräyskokoelman osasta D5. Tulos saadaan kaavalla 5 (14, s. 19).

$$T_{maa, \text{kuukausi}} = T_{maa, \text{vuosi}} + \Delta T_{maa, \text{kuukausi}} \quad \text{KAAVA 5}$$

$T_{maa, \text{kuukausi}}$ = alapohjan alapuolisen maan kuukausittainen keskilämpötila, $^{\circ}C$

$T_{maa, \text{vuosi}}$ = maan vuotuinen keskilämpötila, $^{\circ}C$

$\Delta T_{maa, kuukausi}$ = alapohjan alapuolisen maan kuukausittaisen keskilämpötilan ja vuotuisen keskilämpötilan ero, °C

Alapohjan alapuolisen maan vuotuinen keskilämpötila saadaan laskettua kaavalla 6 (14, s. 19).

$$T_{maa, vuosi} = T_{u, vuosi} + \Delta T_{maa, vuosi} \quad \text{KAAVA 6}$$

$T_{maa, vuosi}$ = alapohjan alapuolisen maan vuotuinen keskilämpötila, °C

$T_{u, vuosi}$ = ulkoilman vuotuinen keskilämpötila, °C

$\Delta T_{maa, vuosi}$ = alapohjan alapuolisen maan ja ulkoilman vuotuisen keskilämpötilan ero, °C

Alapohjan kautta johtuva lämpöenergia saadaan kaavalla 7 (14, s. 19).

$$Q_{joh. maa} = (U_{alapohja} A_{alapohja}) (T_s - T_{maa, kuukausi}) \Delta t / 1000 \quad \text{KAAVA 7}$$

$Q_{joh. maa}$ = alapohjan kautta johtuva lämpöenergia, kWh

Alapohjan kautta johtuvaksi lämpöenergiaksi saadaan

$$Q_{joh. maa} = 1\,892,12 \text{ kWh} / a.$$

4.2 Vuotoilmanvaihto

4.2.1 Vuotoilmavirta

Rakennustilavuus ja vuotoilmakerroin on esitetty taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Kaavoihin 8 - 10 käytetyt lähtöarvot

Rakennustilavuus $V \text{ m}^3$	270
Vuotoilmakerroin	0,16

Vuotoilmavirran määrä saadaan laskettua kaavalla 8 (14, s. 20).

$$q_{v, \text{vuotoilma}} = n_{\text{vuotoilma}} V / 3600$$

KAAVA 8

$$q_{v, \text{vuotoilma}} = \text{vuotoilmavirta, } m^3 / s$$

$$n_{\text{vuotoilma}} = \text{rakennuksen vuotoilmakerroin, kertaa tunnissa, } l / h$$

$$V = \text{rakennuksen ilmatilavuus, } m^3$$

Vuotoilmavirraksi saadaan

$$q_{v, \text{vuotoilma}} = 0,012 m^3 / s.$$

4.2.2 Vuotoilman ominaislämpöhäviö

Vuotoilman ominaislämpöhäviö lasketaan kaavan 9 avulla (14, s. 20).

$$H_{\text{vuotoilma}} = \rho_i C_{pi} q_{v, \text{vuotoilma}}$$

KAAVA 9

$$H_{\text{vuotoilma}} = \text{vuotoilman ominaislämpöhäviö, } W / K$$

Vuotoilman ominaislämpöhäviöksi saadaan

$$H_{\text{vuotoilma}} = 14,4 W / K.$$

4.2.3 Vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia

Rakenteiden epätiiviyksien kautta tapahtuvaa sisään ja ulos virtaavan vuotoilman lämmityksen tarvittavan energian määrä lasketaan kaavan 10 avulla (14, s. 20).

$$Q_{\text{vuotoilma}} = H_{\text{vuotoilma}} (T_s - T_u) \Delta t / 1000$$

KAAVA 10

$$Q_{\text{vuotoilma}} = \text{vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia, } kWh$$

Vuotoilman lämmityksen tarvitsemaksi energiaksi saadaan

$$Q_{\text{vuotoilma}} = 2\,300,99 kWh / \text{vuosi}.$$

4.3 Ilmanvaihto

4.3.1 Ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö

Ilmanvaihdon ilmavirrat, käyntiajat ja hyötysuhde on esitetty taulukossa 5.

TAULUKKO 5. Kaavoihin 11 - 14 käytetyt lähtöarvot

	Nykyinen tilanne	Suunniteltu tilanne
Poistoilmavirta l/s	20	41
Tuloilmavirta l/s	0	38
$t_d h/d$	24	24
$t_v d/viikko$	7	7
Poistoilman LTO:n vuosihyötysuhde %	0	52

Ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö lasketaan kaavan 11 avulla (14, s. 22).

$$H_{iv} = \rho_i C_{pi} q_{v, poisto} t_d r t_v (1 - \eta_a) \quad \text{KAAVA 11}$$

H_{iv} = ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö, W / K

Kerroin r on 1,00, kun kone on käytössä ympäri vuorokauden, ja 0,93, kun käytössä vain päiväsaikaan, ja 1,07, kun kone käy vain öisin (14, s. 25).

Ilmanvaihdon ominaislämpöhäviöksi ennen perusparannusta saadaan

$$H_{iv} = 24 \text{ W / K.}$$

Ilmanvaihdon ominaislämpöhäviöksi perusparannuksen jälkeen saadaan

$$H_{iv} = 23,62 \text{ W / K.}$$

4.3.2 Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia

Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia saadaan laskettua kaavalla 12 (14, s. 22).

$$Q_{iv} = \sum (H_{iv} (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad \text{KAAVA 12}$$

Q_{iv} = ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia, kWh

Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemaksi energiaksi ennen perusparannusta saadaan

$$Q_{iv} = 3\,834,98 \text{ kWh} / \text{vuosi.}$$

Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemaksi energiaksi perusparannuksen jälkeen saadaan

$$Q_{iv} = 3\,773,62 \text{ kWh} / \text{vuosi.}$$

4.3.3 Jälkilämmityspatterin tarvitsema lämmitysenergia

Tuloilmakoneen jälkilämmityspatterin tarvitsema lämmitysenergia lasketaan kaavalla 13 (14, s. 24).

$$Q_{\text{lämmitys, tuloilmapatteri}} = \rho_i C_{pi} q_{v, \text{tulo}} t_d r t_v (T_{\text{tulo}} - T_u - \eta_{t, a} (T_s - T_u)) \Delta t / 1000 \quad \text{KAAVA 13}$$

$Q_{\text{lämmitys, tuloilmapatteri}}$ = tuloilman jälkilämmityspatterin energiankulutus, kWh

$q_{v, \text{tulo}}$ = tuloilmavirta m^3 / s

T_{tulo} = tuloilman lämpötilan asetusarvo jälkilämmityspatterin jälkeen, °C

$\eta_{t, a}$ = LTO: n tuloilman vuotuinen lämpötilasuhde

Tuloilman lämpötilan vuotuinen lämpötilasuhde saadaan kaavalla 14 (14, s. 24).

$$\eta_{t, a} = \eta_a / R \quad \text{KAAVA 14}$$

R = tuloilmavirran suhde poistoilmavirtaan

Tuloilman lämmityspatterin energiankulutukseksi ennen perusparannusta saadaan

$$\eta_{t,a} = 0$$

$$Q_{\text{lämmitys, tuloilmapatteri}} = 0 \text{ kWh / vuosi.}$$

Tuloilman lämmityspatterin energiankulutukseksi perusparannuksen jälkeen saadaan

$$\eta_{t,a} = 0,56$$

$$Q_{\text{lämmitys, tuloilmapatteri}} = 1\,441,95 \text{ kWh / vuosi.}$$

4.4 Lämmin käyttövesi

4.4.1 Lämpimän käyttöveden kulutus

Lämpimän käyttöveden kulutus on laskettu toteutuneesta käyttöveden kulutuksesta arvioiden, että lämpimän veden osuus on 40 % kokonaiskulutuksesta. Lämpimän käyttöveden ominaiskulutus ja lämpimän sekä kylmän käyttöveden lämpötilat ja rakennuksen bruttopinta-ala on esitetty taulukossa 6.

TAULUKKO 6. Kaavoihin 15 ja 16 käytetyt lähtöarvot

Lämpimän käyttöveden ominaiskulutus/ bruttoneliö/vuosi	360 l
Lämpimän käyttöveden lämpötila °C	55
Kylmän käyttöveden lämpötila °C	5
Bruttopinta-ala m ²	87

Lämpimän käyttöveden kulutus saadaan laskettua kaavalla 15 (14, s. 26).

$$V_{lkv} = V_{lkv, \text{ omin}} A_{br} \Delta t / 365 / 1000$$

KAAVA 15

$$V_{lkv} = \text{lämpimän käyttöveden kulutus, m}^3$$

$$V_{lkv, \text{ omin}} = \text{lämpimän käyttöveden ominaiskulutus, m}^3 / \text{brm}^2 \text{ vuodessa}$$

$$A_{br} = \text{rakennuksen bruttoala, m}^2$$

4.4.2 Käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia

Käyttöveden lämmitykseen tarvittu lämpöenergia saadaan kaavasta 16 (14, s. 26).
Lämpimän käyttöveden ja kylmän käyttöveden lämpötilat on esitetty taulukossa 6.

$$Q_{lkv, netto} = \rho_v C_{pv} V_{lkv} (T_{lkv} - T_{kv}) / 3600 \quad \text{KAAVA 16}$$

$Q_{lkv, netto}$ = käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia eli nettoenergian tarve,
kWh

ρ_v = veden tiheys, *kg / m³*, *1000 kg / m³*

C_{pv} = veden ominaislämpökapasiteetti, *kJ / kgK*, *4,2 kJ / kgK*

T_{lkv} = lämpimän käyttöveden lämpötila, *°C*

T_{kv} = kylmän käyttöveden lämpötila, *°C*

Käyttöveden lämmityksen tarvitsemaksi lämpöenergiaksi saadaan

$$Q_{lkv, netto} = 1\,827 \text{ kWh} / \text{vuosi}.$$

4.5 Tilojen lämmitysjärjestelmän häviöt

Rakennuksen tilojen ja käyttöveden lämmitysjärjestelmissä syntyy myös energiahäviöitä. Järjestelmissä syntyvät häviöt on otettava energiatodistuksessa huomioon. Tilojen lämmitysjärjestelmän lämmönkehityslaitteiden, lämmityskattiloiden ja lämmönsiirtimien lämpöhäviöenergia, tilojen lämmitysjärjestelmän lämmönjakeluverkoston lämpöhäviöenergia, tilojen lämmitysjärjestelmän lämmönluovuttimien lämpöhäviöenergia ja tilojen lämmitysjärjestelmän säätöjärjestelmästä johtuva lämpöhäviöenergia on esitetty taulukossa 7. Taulukon 7 arvot on saatu rakentamismääräyskokoelman osan D5 taulukosta 6.1. Lämmitysjärjestelmälle ei kohteessa ole erikseen varaajaa, joten se jätetään pois laskuista.

TALUKKO 7. Kaavoissa 17 - 20 käytetyt lähtöarvot

$Q_{\text{lämmitys, tilat, jakeluhäviöt}}$	0 kWh / a
$Q_{\text{lämmitys, tilat, luovutushäviöt}}$	870 kWh / a
$Q_{\text{lämmitys, tilat, säätöhäviöt}}$	348 kWh / a

Tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia saadaan kaavalla 17 (14, s. 28).

$$Q_{\text{lämmitys, tilat, häviöt}} = Q_{\text{lämmitys, tilat, kehityshäviöt}} + Q_{\text{lämmitys, tilat, jakeluhäviöt}} + Q_{\text{lämmitys, tilat, luovutushäviöt}} + Q_{\text{lämmitys, tilat, säätöhäviöt}} \quad \text{KAAVA 17}$$

$Q_{\text{lämmitys, tilat, häviöt}}$ = tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia, kWh

$Q_{\text{lämmitys, tilat, kehityshäviöt}}$ = tilojen lämmitysjärjestelmän lämmönkehityslaitteiden, lämmityskattiloiden ja lämmönsiirtimien lämpöhäviöenergia, kWh

$Q_{\text{lämmitys, tilat, jakeluhäviöt}}$ = tilojen lämmitysjärjestelmän lämmönjakeluverkoston lämpöhäviöenergia, kWh

$Q_{\text{lämmitys, tilat, luovutushäviöt}}$ = tilojen lämmitysjärjestelmän lämmönluovuttimien lämpöhäviöenergia, kWh

$Q_{\text{lämmitys, tilat, säätöhäviöt}}$ = tilojen lämmitysjärjestelmän säätöjärjestelmästä johtuva lämpöhäviöenergia, kWh

Tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergiaksi saadaan:

$$Q_{\text{lämmitys, tilat, häviöt}} = 1\,218,00 \text{ kWh / a}$$

Käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia saadaan kaavalla 19 (14, s. 31).

$$Q_{\text{lkv, häviöt}} = Q_{\text{lkv, kehityshäviöt}} + Q_{\text{lkv, varaajahäviöt}} \quad \text{KAAVA 19}$$

$Q_{\text{lkv, häviöt}}$ = käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia, kWh

$Q_{\text{lkv, kehityshäviöt}}$ = lämpimän käyttöveden lämmönkehityslaitteiden, lämmityskattiloiden ja lämmönsiirtimien lämpöhäviöenergia, kWh

$Q_{\text{lkv, varaajahäviöt}}$ = lämpimän käyttöveden varaajan lämpöhäviöenergia, kWh

Käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergiaksi saadaan

$$Q_{\text{lkv, häviöt}} = 2\,313,60 \text{ kWh / a.}$$

4.6 Laitesähkö

Laitteiden kuluttama sähköenergia saadaan kaavalla 20 (14, s. 33). Rakennuksen laitteiden sähkönkulutus on noin $56 \text{ kWh} / \text{m}^2$, joka on mitattu kulutus vähennettynä lasketulla lämmitysenergian kulutuksella.

$$W_{\text{laitesähkö}} = 55,77 \text{ kWh} / \text{m}^2 * A \quad \text{KAAVA 20}$$

$W_{\text{laitesähkö}}$ = rakennuksen laitteiden sähköenergiankulutus, *kWh*

A = rakennuksen huoneistopinta-ala, 78 m^2

Laitteiden kuluttamaksi sähköenergiaksi saadaan

$$W_{\text{laitesähkö}} = 4\,350,00 \text{ kWh} / a.$$

4.7 Sisäisistä lämpökuormista hyödynnettävä energia

Rakennuksen sisäisistä lämpökuormista vapautuva energia voidaan hyödyntää osittain. Tämän energian määrä täytyy laskea energiatodistukseen. Energiaa vapautuu laitteista ja ihmisistä, joita rakennuksessa on. Lisäksi ikkunoista sisään tulevasta auringonvalosta vapautuu lämpöenergiaa rakennukseen.

4.7.1 Lämmityslaitteista vapautuva lämpökuormaenergia

Lämmityslaitteista vapautuva lämpökuormaenergia lasketaan kaavalla 21 (14, s. 41).

$$Q_{\text{lämmitys, kuorma}} = 0,7 Q_{\text{lämmitys, tilat, häviöt}} \quad \text{KAAVA 21}$$

$Q_{\text{lämmitys, kuorma}}$ = tilojen lämmitysjärjestelmästä rakennuksen sisälle tuleva lämpökuormaenergia, *kWh*

Tilojen lämmitysjärjestelmästä rakennuksen sisälle tulevaksi lämpökuormaenergiaksi saadaan

$$Q_{\text{lämmitys, kuorma}} = 852,60 \text{ kWh} / a.$$

Käyttöveden lämmitysjärjestelmästä sisälle tuleva lämpökuormaenergia lasketaan kaavalla 22 (14, s. 41).

$$Q_{lkv, kuorma} = 0,3 Q_{lkv, netto} + 0,5 Q_{lkv, häviöt} \quad \text{KAAVA 22}$$

$Q_{lkv, kuorma}$ = käyttöveden lämmitysjärjestelmästä rakennuksen sisälle tuleva lämpökuormaenergia, kWh

$Q_{lkv, netto}$ = käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia eli nettoenergiantarve, kWh

Käyttöveden lämmitysjärjestelmästä rakennuksen sisälle tulevaksi lämpökuormaenergiaksi saadaan

$$Q_{lkv, kuorma} = 1\,704,90 \text{ kWh} / a.$$

4.7.2 Ikkunoiden kautta rakennukseen sisälle tuleva auringon säteilyenergia

Kehäkerroin, varjostuksen korjauskerroin, verhokerroin ja ikkunan valoaukon kohtisuoran auringonsäteilyn kokonaisläpäisykerroin on esitetty taulukossa 8.

TAULUKKO 8. Kaavoissa 23 - 25 käytetyt lähtöarvot

$g_{\text{kohtisuora}}$	0,55
$F_{\text{kehä}}$	0,75
F_{verho}	0,3
$F_{\text{varjostus}}$	-

Ikkunoiden kautta rakennuksen sisälle tuleva auringon säteilyenergia lasketaan kaavalla 23 (14, s. 43).

$$Q_{aur} = \sum G_{\text{säteily, vaakapinta}} F_{\text{suunta}} F_{\text{läpäisy}} A_{\text{ikk}} g = \sum G_{\text{säteily, pystypinta}} F_{\text{läpäisy}} A_{\text{ikk}} g \quad \text{KAAVA 23}$$

Q_{aur} = ikkunoiden kautta rakennukseen sisälle tuleva auringon säteilyenergia, kWh

$G_{\text{säteily, vaakapinta}}$ = vaakatasolle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia pinta-alan yksikköä kohti, $kWh / (m^2kk)$

F_{suunta} = muuntokerroin, jolla vaakatasolle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia muunnetaan ilmansuunnittain pystypinnalle tulevaksi kokonaissäteilyenergiaksi

$F_{\text{läpäisy}}$ = säteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskerroin

A_{ikk} = ikkuna-aukon pinta-ala (kehys- ja karmirakenteineen), m^2

g = valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin

$G_{\text{säteily, pystypinta}}$ = pystypinnalle tuleva auringon kokonaissäteilyenergiapinta-alan yksikköä kohti, $kWh / (m^2kk)$

Ikkunan aukon kohtisuora kokonaisläpäisykerroin saadaan kaavalla 24 (14, s. 43).

$$g = 0,9 g_{\text{kohtisuora}}$$

KAAVA 24

$g_{\text{kohtisuora}}$ = ikkunan valoaukon kohtisuoran auringonsäteilyn kokonaisläpäisykerroin

Auringonsäteilyn kokonaiskorjauskerroin lasketaan kaavalla 25 (14, s. 44).

$$F_{\text{läpäisy}} = F_{\text{kehä}} F_{\text{verho}} F_{\text{varjostus}}$$

KAAVA 25

$F_{\text{kehä}}$ = kehäkerroin

F_{verho} = verhokerroin

$F_{\text{varjostus}}$ = varjostusten korjauskerroin

Ikkunoiden kautta rakennukseen sisälle tulevaksi auringon säteilyenergiaksi saadaan

$$Q_{\text{aur}} = 701,61 kWh / a.$$

4.7.3 Henkilöt ja sähkölaitteet

Rakennukseen sisälle vapautuu lämpöenergiaa ihmisistä, valaistuksesta ja sähkölaitteista, joka on otettava huomioon. Nämä energiamäärät saadaan rakentamismääräyskokoelman osan D5 taulukosta 8.1.

$$Q_{\text{henk,omin.}} = 8 kWh / brm^2 \text{ vuodessa}$$

$$Q_{\text{säh,omin.}} = 50 \text{ kWh} / \text{brm}^2 \text{ vuodessa}$$

Arvoista saadaan laskettua henkilöiden luovuttama lämpöenergia Q_{henk} ja valaistuksesta ja sähkölaitteista rakennuksen sisälle vapautuva lämpökuormaenergia $Q_{\text{säh}}$.

$$Q_{\text{henk}} = 696 \text{ kWh} / \text{brm}^2 \text{ vuodessa}$$

$$Q_{\text{säh}} = 4\,350 \text{ kWh} / \text{brm}^2 \text{ vuodessa}$$

4.7.4 Lämpökuormista hyödynnettävä energia

Rakennuksen sisälle vapautuva hyödynnettävä energia saadaan kaavalla 26 (14, s. 47).

$$Q_{\text{lämpökuorma}} = Q_{\text{henk}} + Q_{\text{lämmitys, kuorma}} + Q_{\text{lkv, kuorma}} + Q_{\text{säh}} + Q_{\text{aur}} \quad \text{KAAVA 26}$$

$Q_{\text{lämpökuorma}}$ = rakennuksen lämpökuormaenergia eli muun kuin säätölaitteilla ohjatun lämmityksen kautta rakennuksen sisälle vapautuva lämpöenergia, kWh

Q_{henk} = henkilöiden luovuttama lämpöenergia, kWh

$Q_{\text{säh}}$ = valaistuksesta ja sähkölaitteista rakennuksen sisälle vapautuva lämpökuormaenergia, kWh

Rakennuksen lämpökuormaenergiaksi rakennuksen sisälle saadaan

$$Q_{\text{lämpökuorma}} = 8\,305,11 \text{ kWh} / \text{a.}$$

Rakennuksen lämpökuormien lämpöenergia, joka hyödynnetään saadaan kaavalla 27 (14, s. 47).

$$Q_{\text{sis.lämpö}} = \eta_{\text{lämpö}} Q_{\text{lämpökuorma}} \quad \text{KAAVA 27}$$

$Q_{\text{sis.lämpö}}$ = rakennuksen lämpökuormien lämpöenergia, joka hyödynnetään lämmityksessä, kWh

$\eta_{\text{lämpö}}$ = lämpökuormien kuukausittainen hyödyntämisaste

Rakennuksessa lämmitykseen hyödynnettäväksi lämpökuormaenergiaksi saadaan

$$Q_{\text{sis.lämpö}} = 7\,420,34 \text{ kWh} / \text{a.}$$

Lämpökuormien kuukausittainen hyödyntämisaste saadaan kaavalla 28 (14, s. 47).

$$\eta_{\text{lämpö}} = 1 - \gamma^a / 1 - \gamma^{a+1} \quad \text{KAAVA 28}$$

γ = lämpökuormaenergian $Q_{\text{lämpökuorma}}$ ja lämpöhäviöenergian $Q_{\text{lämpöhäviö}}$ suhde
 a = numeerinen parametri

Numeerinen parametri a saadaan kaavalla 29 (14, s. 48).

$$a = 1 + T / 15 \quad \text{KAAVA 29}$$

T = aikavakio

Numeerinen parametri lasketaan jokaiselle kuukaudelle erikseen. Numeeriset parametrit kuukausittain ovat nähtävissä liitteissä 2 ja 3. Keskimääräiseksi numeeriseksi parametriksi vuodessa ennen perusparannusta saadaan

$$a = 1,3.$$

Keskimääräiseksi numeeriseksi parametriksi vuodessa perusparannuksen jälkeen saadaan

$$a = 1,4.$$

Lämpökuormaenergian suhde lämpöhäviöenergiaan lasketaan kaavalla 30 (14, s. 48).

$$\gamma = Q_{\text{lämpökuorma}} / Q_{\text{lämpöhäviö}} \quad \text{KAAVA 30}$$

$Q_{\text{lämpöhäviö}}$ = rakennuksen lämpöhäviöenergia, kWh

Aikavakio T saadaan laskettua kaavalla 31 (14, s. 48).

$$T = C_{\text{rak}} / H \quad \text{KAAVA 31}$$

C_{rak} = rakennuksen sisäpuolinen tehollinen lämpökapasiteetti, Wh / K, 6090 Wh / K

H = rakennuksen ominaislämpöhäviö, W / K

Keksimääräiseksi aikavakioksi vuodessa saadaan ennen perusparannusta

$$T = 5,12.$$

Keksimääräiseksi aikavakioksi vuodessa perusparannuksen jälkeen saadaan

$$T = 5,5.$$

Rakennuksen ominaislämpöhäviö saadaan kaavalla 32 (14, s. 49).

$$H = Q_{\text{lämpöhäviö}} / (T_s - T_u) \Delta t * 1000 \quad \text{KAAVA 32}$$

Rakennuksen ominaislämpöhäviöksi saadaan ennen perusparannusta

$$H = 1\,188,47 \text{ kWh} / a.$$

Rakennuksen ominaislämpöhäviöksi saadaan perusparannuksen jälkeen

$$H = 1\,107,37 \text{ kWh} / a.$$

Lämpöhäviöenergia saadaan kaavalla 33 (14, s. 48).

$$Q_{\text{lämpöhäviö}} = Q_{\text{joht}} + Q_{\text{vuotoilma}} + Q_{iv} + Q_{\text{lämmitys, tuloilmapatteri}} \quad \text{KAAVA 33}$$

$$Q_{\text{lämmitys, tuloilmapatteri}} = \text{tuloilman jälkilämmityspatterin energiankulutus, kWh}$$

Lämpöhäviöenergiaksi ennen perusparannusta saadaan

$$Q_{\text{lämpöhäviö}} = 15\,825,01 \text{ kWh} / a.$$

Lämpöhäviöenergiaksi perusparannuksen jälkeen saadaan

$$Q_{\text{lämpöhäviö}} = 14\,321,7 \text{ kWh} / a.$$

Lämpökuormien kuukausittaiset hyödyntämisasteet on laskettu liitteisiin 2 ja 3.

Keskimääräiseksi lämpökuormien hyödyntämisasteeksi vuodessa saadaan ennen perusparannusta

$$\eta_{\text{lämpö}} = 0,74.$$

Lämpökuormien keskimääräiseksi hyödyntämisasteeksi vuodessa saadaan perusparannuksen jälkeen

$$\eta_{\text{lämpö}} = 0,7.$$

4.8 Energiankulutus

Rakennuksen lämmitysenergiankulutus saadaan laskettua kaavalla 34 (14, s. 16).

$$Q_{\text{lämmitys}} = (Q_{\text{joh}} + Q_{\text{vuotoilma}} + Q_{\text{iv}} - Q_{\text{sis.lämpö}}) + Q_{\text{lämmitys,tilat,häviöt}} + Q_{\text{lkv}} \quad \text{KAAVA 34}$$

Rakennuksen lämmitysenergiankulutukseksi ennen perusparannusta saadaan

$$Q_{\text{lämmitys}} = 11\,450,19 \text{ kWh} / a.$$

Rakennuksen lämmitysenergiankulutukseksi perusparannuksen jälkeen saadaan

$$Q_{\text{lämmitys}} = 10\,930,63 \text{ kWh} / a.$$

Kokonaisenergiankulutus rakennukselle saadaan laskettua kaavan 35 avulla (14, s. 16).

$$E_{\text{rakennus}} = Q_{\text{lämmitys}} + W_{\text{laitesähkö}} \quad \text{KAAVA 35}$$

Laskennalliseksi energiankulutukseksi rakennukselle ennen perusparannusta saatiin

$$E_{\text{rakennus}} = 15\,800,19 \text{ kWh} / a.$$

Laskennalliseksi energiankulutukseksi rakennukselle perusparannuksen jälkeen saatiin

$$E_{\text{rakennus}} = 15\,280,63 \text{ kWh} / a.$$

5 YHTEENVETO

Työnä oli selvittää laskemalla rakennuksen nykyinen energiatehokkuusluokka ja verrata sitä uuteen laskennalliseen energiatehokkuusluokkaan, kun rakennukseen on suunniteltu ilmastointikone lämmöntalteenotolla. Laskelmia tehdessä kävi ilmi, että rakennus on rakennettu paremmilla eristeillä kuin sen ajan vaatimuksissa edellytettiin, minkä vuoksi energiahäviöt eivät olleet isot. Rakennuksen eristevaatimukset täyttävät määräykset vielä nykyisinkin.

Rakennuksen ilmanvaihdon energiankulutuksia oli vaikea laskea tarkkaan, koska koneen käyttöaikaa eri tehoilla on vaikea arvioida. Tämän vuoksi energiankulutukset eivät ole tarkkoja, vaan suuntaa antavia tuloksia.

Energialaskelmissa käytettiin ilmavirtoina lähtötilanteessa $-20 \text{ dm}^3 / \text{s}$, joka on mitattu ilmavirta ja muutostilanteessa $-41 \text{ dm}^3 / \text{s}$, joka on suunniteltu ilmavirta.

Energialaskelmista tuloilmakoneella käy ilmi, että ilmanvaihtokoneen hankkiminen rakennukseen on kannattavaa, koska energiatehokkuusluku paranee jonkin verran.

Energiatehokkuusluokka ei kuitenkaan muutu. Lisäksi sisäilman laatu paranee ja lämmitysenergian hukka ilmanvaihdon kautta pienenee. Kustannusero muovisten ja peltisten ilmanvaihtokanavistojen ja -osien välillä on niin pieni, että työ kannattaa tehdä muovisilla osilla työn helppouden ja kanaviston puhtaanapidon helppouden vuoksi.

Laskennalliseksi ET-luvuksi saatiin ennen perusparannusta $182 \text{ kWh} / \text{brm}^2$ vuodessa ja perusparannuksen jälkeen $176 \text{ kWh} / \text{brm}^2$ vuodessa.

LÄHTEET

1. Mikä on energiatodistus?. Motiva Oy. 2009. Saatavissa:
<http://energiatodistus.motiva.fi/mika-on-energiatodistus/>. Hakupäivä 15.11.2010.
2. Energiatodistus. Ametriini oy. Saatavissa:
<http://www.elisanet.fi/palvelutoimisto.ametriini/Energianlaskenta.html>. Hakupäivä 13.4.2011. Hakupäivä 13.4.2011.
3. Energiatodistukset hyvin esillä asunonäytöissä (16.12.2009). Motiva Oy. 2010. Saatavissa:
http://energiatodistus.motiva.fi/uutiset/energiatodistukset_hyvin_esilla_asunonaytoissa/. Hakupäivä 15.11.2010.
4. Energiatodistukset. Motiva Oy. 2009. Saatavissa:
<http://energiatodistus.motiva.fi/energiatodistukset/>. Hakupäivä 15.11.2010.
5. Pienet asuinrakennukset. Motiva Oy. 2010. Saatavissa:
<http://energiatodistus.motiva.fi/energiatodistukset/pienetasuinrakennukset/>. Hakupäivä 15.11.2010.
6. Energiatodistus muille rakennuksille. Motiva Oy. 2010. Saatavissa:
<http://energiatodistus.motiva.fi/energiatodistukset/muuttrakennukset/>. Hakupäivä 15.11.2010.
7. RakMK D2. 2010. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2010. Suomen rakentamismääräyskokoelma.
8. Sähköenergia. Wikipedia. 2011. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Energia>. Hakupäivä 15.11.2010.
9. Vallox 75/95 tekninen esite. Vallox. 14.5.2009.

10. Ilmanvaihtokone VALLOX 95. Taloon.com. Saatavissa:
<http://kauppa.taloon.com/PublishedService?file=page&pageID=9&itemcode=LVIN-7911011-3>. Hakupäivä 28.3.2011.
11. Tuloilmaventtiilit. Fläktwoods. 2011. Saatavissa:
<http://www.flaktwoods.fi/tuotteet/paatelaitteet/tuloilmaventtiilit/>. Hakupäivä 8.2.2011.
12. Poistoilmaventtiilit ja -laitteet. Fläktwoods. 2011. Saatavissa:
<http://www.flaktwoods.fi/tuotteet/paatelaitteet/poistoilmaventtiilit-ja-laitteet/>.
Hakupäivä 8.2.2011.
13. KVDp – kantikas vaimennin. IVK tuote oy. Saatavissa: http://www.ivk-tuote.fi/fin/esitteet_pdf/3870_KVDp_6-siv_web.pdf. Hakupäivä 4.4.2011.
14. RakMK D5. 2007. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohjeet 2007. Suomen rakentamismääräyskokoelma.
15. Energiatodistusopas. 2007. Rakennuksen energiatodistus ja energiatehokkuusluvun määrittäminen. 12.1.2009. Ympäristöministeriö.

marras,joulu,tammi,helmi	0,15
loka,maalisk,huhti	0,1
touko,syys	0,05

Jakelu-, luovutus- ja säätöhäviöiden jakauma eri kuukausille.

ikk.pohj.	2,15	m ²
ikk.itä	0	m ²
ikk.länsi	2,58	m ²
ikk.etelä	5,57	m ²

Ikkunoiden pinta-ala eri ilmansuuntiin.

Kuukausi	päivät	T _{ulko}	Q _{joht}	Auringonsät.			
				pohj	etelä	itä	länsi
tammikuu	31	-10,6	1264,85	4,3	9,2	5	4,8
helmikuu	28	-12,2	1196,67	15,2	50,6	22	23,9
maaliskuu	31	-2,58	878,73	31,4	65,1	42,5	44,6
huhtikuu	30	0,2	717,26	50,2	96	77,3	78,1
toukokuu	31	10,3	285,50	54,1	99,8	93,3	91,8
kesäkuu	30	14,9	87,21	70,2	105,4	114,5	104,6
heinäkuu	31	15	109,89	58,2	85,7	95,7	81
elokuu	31	14,8	131,06	41,7	91,8	74,7	79,1
syyskuu	30	7,97	436,78	21,6	66,6	43,5	42,8
lokakuu	31	1,73	745,01	10	43,4	19,6	19,3
marraskuu	30	-0,59	822,27	3,9	7,3	4,5	4,4
joulukuu	31	-6,9	1122,21	2	3	2,1	2,1
koko vuosi	365	2,76	7796,92	362,8	723,9	594,6	576,4

$\Delta T_{\text{maa,kk}}$	T _{maa,kk}	Q _{joht,maa}	Q _{vuotoilma}	H _{iv}	Q _{iv}	Q _{lämmitystuloilmap.}	Q _{lkv,netto}	Q _{lämm.tilat,häviöt}
0	7,76	160,80	338,55	24,00	564,25	0,00	155,17	182,70
-1	6,76	156,21	321,27	24,00	535,45	0,00	140,15	182,70
-2	5,76	185,09	252,63	24,00	421,04	0,00	155,17	121,80
-3	4,76	190,87	215,65	24,00	359,42	0,00	150,16	121,80
-3	4,76	197,24	114,64	24,00	191,06	0,00	155,17	60,90
-2	5,76	179,12	63,24	24,00	105,41	0,00	150,16	0,00
0	7,76	160,80	64,28	24,00	107,14	0,00	155,17	0,00
1	8,76	148,66	66,42	24,00	110,71	0,00	155,17	0,00
2	9,76	132,11	135,10	24,00	225,16	0,00	150,16	60,90
3	10,76	124,37	206,45	24,00	344,09	0,00	155,17	121,80
3	10,76	120,35	223,85	24,00	373,08	0,00	150,16	182,70
2	9,76	136,51	298,91	24,00	498,18	0,00	155,17	182,70
0	93,12	1892,12	2300,99	24,00	3834,98	0,00	1827,00	1218,00

$W_{\text{laitesähkö}}$	$Q_{\text{lämm.kuorma}}$	$Q_{\text{ikv.kuorma}}$	$Q_{\text{säh}}$	Q_{aur}	$Q_{\text{lämpökuorma}}$	$Q_{\text{lämpöhäviö}}$
369,45	127,89	144,00	369,45	8,12	708,57	2328,45
333,70	127,89	134,10	333,70	41,90	690,97	2209,60
369,45	85,26	144,00	369,45	60,72	718,55	1737,49
357,53	85,26	140,70	357,53	94,02	734,72	1483,21
369,45	42,63	144,00	369,45	101,24	716,44	788,43
357,53	0,00	140,70	357,53	112,25	667,69	434,98
369,45	0,00	144,00	369,45	90,38	662,94	442,11
369,45	0,00	144,00	369,45	89,66	662,23	456,85
357,53	42,63	140,70	357,53	58,79	656,86	929,14
369,45	85,26	144,00	369,45	34,86	692,69	1419,91
357,53	127,89	140,70	357,53	6,73	690,06	1539,54
369,45	127,89	144,00	369,45	2,94	703,40	2055,81
4350,00	852,60	1704,90	4350,00	701,61	8305,11	15825,01

γ	H	τ	a	$\eta_{\text{lämpö}}$	$Q_{\text{sis.lämpökuorma}}$	$Q_{\text{lämmitys}}$	E_{rakennus}	ET	Luokka
0,30	99,04	61,49	5,10	1,00	707,43	1958,89	2328,34	182	C
0,31	99,04	61,49	5,10	1,00	689,71	1842,75	2176,44		
0,41	99,04	61,49	5,10	0,99	713,85	1300,61	1670,06		
0,50	99,04	61,49	5,10	0,99	724,26	1030,91	1388,45		
0,91	99,04	61,49	5,10	0,87	625,68	378,82	748,27		
1,53	99,04	61,49	5,10	0,62	416,58	168,56	526,09		
1,50	99,04	61,49	5,10	0,64	421,73	175,55	545,00		
1,45	99,04	61,49	5,10	0,65	433,04	178,98	548,43		
0,71	99,04	61,49	5,10	0,94	619,51	520,69	878,23		
0,49	99,04	61,49	5,10	0,99	683,45	1013,43	1382,89		
0,45	99,04	61,49	5,10	0,99	683,65	1188,76	1546,29		
0,34	99,04	61,49	5,10	1,00	701,45	1692,24	2061,69		
0,5248	1188,47	5,1242	1,3416	0,7432	7420,34	11450,19	15800,19		

marras,joulu,tammi,helmi	0,15	ikk.pohj.	2,15 m ²
loka,maalisk,huhti	0,1	ikk.itä	0 m ²
touko,syys	0,05	ikk.länsi	2,58 m ²
		ikk.etelä	5,57 m ²

Kuukausi	päivät	T _{ulko}	Q _{joht}	Auringonsät.			
				pohj	etelä	itä	länsi
tammikuu	31	-10,6	1264,85	4,3	9,2	5	4,8
helmikuu	28	-12,2	1196,67	15,2	50,6	22	23,9
maaliskuu	31	-2,58	878,73	31,4	65,1	42,5	44,6
huhtikuu	30	0,2	717,26	50,2	96	77,3	78,1
toukokuu	31	10,3	285,50	54,1	99,8	93,3	91,8
kesäkuu	30	14,9	87,21	70,2	105,4	114,5	104,6
heinäkuu	31	15	109,89	58,2	85,7	95,7	81
elokuu	31	14,8	131,06	41,7	91,8	74,7	79,1
syyskuu	30	7,97	436,78	21,6	66,6	43,5	42,8
lokakuu	31	1,73	745,01	10	43,4	19,6	19,3
marraskuu	30	-0,59	822,27	3,9	7,3	4,5	4,4
joulukuu	31	-6,9	1122,21	2	3	2,1	2,1
koko vuosi	365	2,76	7796,92	362,8	723,9	594,6	576,4

$\Delta T_{\text{maa,kk}}$	T _{maa,kk}	Q _{joht,maa}	Q _{vuotoilma}	H _{iv}	Q _{iv}	Q _{lämmitystuloilmap.}	Q _{ikk,netto}	Q _{lämm.tilat,häviöt}
0	7,76	160,80	338,55	23,62	555,22	302,08	155,17	182,70
-1	6,76	156,21	321,27	23,62	526,88	294,42	140,15	182,70
-2	5,76	185,09	252,63	23,62	414,31	182,36	155,17	121,80
-3	4,76	190,87	215,65	23,62	353,67	136,32	150,16	121,80
-3	4,76	197,24	114,64	23,62	188,00	-9,91	155,17	60,90
-2	5,76	179,12	63,24	23,62	103,72	0,00	150,16	0,00
0	7,76	160,80	64,28	23,62	105,42	0,00	155,17	0,00
1	8,76	148,66	66,42	23,62	108,94	0,00	155,17	0,00
2	9,76	132,11	135,10	23,62	221,56	24,07	150,16	60,90
3	10,76	124,37	206,45	23,62	338,58	118,02	155,17	121,80
3	10,76	120,35	223,85	23,62	367,11	147,73	150,16	182,70
2	9,76	136,51	298,91	23,62	490,21	246,85	155,17	182,70
0	93,12	1892,12	2300,99	23,62	3773,62	1441,95	1827,00	1218,00

$W_{\text{laites\ae}h\text{k}\ddot{o}}$	$Q_{\text{l\ae}mm.kuorma}$	$Q_{\text{kv.kuorma}}$	$Q_{\text{s\ae}h}$	Q_{aur}	$Q_{\text{l\ae}mp\ddot{o}kuorma}$	$Q_{\text{l\ae}mp\ddot{o}h\ddot{a}vi\ddot{o}}$
369,45	127,89	144,00	428,56	8,12	767,68	2017,34
333,70	127,89	134,10	387,09	41,90	744,37	1906,61
369,45	85,26	144,00	428,56	60,72	777,66	1548,39
357,53	85,26	140,70	414,74	94,02	791,92	1341,14
369,45	42,63	144,00	428,56	101,24	775,55	795,28
357,53	0,00	140,70	414,74	112,25	724,90	433,29
369,45	0,00	144,00	428,56	90,38	722,05	440,40
369,45	0,00	144,00	428,56	89,66	721,34	455,08
357,53	42,63	140,70	414,74	58,79	714,06	901,47
369,45	85,26	144,00	428,56	34,86	751,80	1296,38
357,53	127,89	140,70	414,74	6,73	747,26	1385,84
369,45	127,89	144,00	428,56	2,94	762,51	1800,99
4350,00	852,60	1704,90	5046,00	701,61	9001,11	14321,7

γ	H	τ	a	$\eta_{\text{l\ae}mp\ddot{o}}$	$Q_{\text{sis.l\ae}mp\ddot{o}kuorma}$	$Q_{\text{l\ae}mmitys}$	E_{rakennus}	ET	Luokka
0,38	85,81	70,97	5,73	1,00	765,81	1891,48	2260,93	176	C
0,39	85,46	71,26	5,75	1,00	742,33	1781,55	2115,25		
0,50	88,26	69,00	5,60	0,99	769,39	1238,34	1607,79		
0,59	89,55	68,00	5,53	0,98	773,77	975,66	1333,19		
0,98	99,90	60,96	5,06	0,85	655,65	345,79	715,24		
1,67	98,66	61,73	5,12	0,58	420,20	163,26	520,79		
1,64	98,66	61,73	5,12	0,59	426,00	169,57	539,02		
1,59	98,66	61,73	5,12	0,61	438,15	172,10	541,55		
0,79	96,09	63,38	5,23	0,92	656,69	479,91	837,45		
0,58	90,42	67,35	5,49	0,98	735,46	955,91	1325,36		
0,54	89,15	68,31	5,55	0,98	735,92	1130,52	1488,05		
0,42	86,76	70,19	5,68	1,00	759,16	1626,55	1996,00		
0,6285	1107,37	5,4995	1,3666	0,7047	7878,53	10930,63	15280,63		

