

KOKKOKANKAAN KOULUN  
ENERGIATEHOKKUUS

Hannu Mokko  
Opinnäytetyö  
26.11.2010  
Talotekniikan koulutusohjelma  
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

Koulutusohjelma Talotekniikka	Opinnäytetyö Insinööriö	Sivuja 32	+Liitteitä 6
<hr/>		+	
Suuntautumisvaihtoehto LVI-tekniikka 2010	Aika Syksy 2010	<hr/>	
Työn tilaaja Tornion kaupunki	Työn tekijä Hannu Mokko	<hr/>	
Työn nimi Kokkokankaan koulun energiatehokkuus			
<hr/>			
Asiasanat Energiankulutus, lämpöhäviöt, lämpökuormat			
<hr/>			

Opinnäytetyössä lasketaan Kokkokankaan koulun energiankulutus kuukausittain Suomen rakentamismääräyskokoelman (RakMK:n) osan D5 mukaan. Laskennallisia tuloksia verrataan toteutuneiden tuloksien kanssa. Työssä vertaillaan laskettua teoreettista kulutusta ja toteutuneita kulutuksia. Tavoitteena on löytää mahdollisille eroavuuksille selittäviä tekijöitä.

RakMK:n osan D5 laskentamenetelmää ja ohjeita voidaan käyttää rakennuksen energiankulutuksen arviointiin. Uudistettu osa D5 on tullut voimaan 1.1.2008 ja se on korvannut edellisen D5-osan, joka on ollut voimassa vuodesta 1984. Laskentamenetelmää voidaan käyttää rakennuksen energiakulutuksen, ostoenergiakulutuksen, lämmitystehon ja kesäaikaisen sisälämpötilan arviointiin.

Laskettaessa suoraan D5:n arvojen perusteella Kokkokankaan koulun energiankulutusta eivät laskentatulokset olleet kovin tarkkoja, kun niitä vertailtiin todellisiin kulutuksiin. Todellisia sähkön ja veden kulutustietoja käyttäen antoi D5:n laskentamenetelmä lähelle todellista kulutusta olevia energiakulutusarvioita.

# SISÄLTÖ

## TIIVISTELMÄ

## SISÄLTÖ

1 JOHDANTO .....	5
2 KOKKOKANKAAN KOULU .....	6
2.1 Yleistiedot .....	6
2.2 Rakennustekniset tiedot .....	6
2.3 Talotekniset tiedot .....	7
3 ENERGIANKULUTUKSEN LASKENTA .....	9
3.1 Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D5.....	9
3.2 Laskentaperiaate .....	9
3.2.1 Vaipan lämpöhäviöenergiat.....	10
3.2.2 Käyttöveden lämmitystarve .....	16
3.2.3 Lämmitysjärjestelmien lämpöhäviöenergiat.....	17
3.2.4 Laitesähkönkulutus .....	18
3.2.5 Lämpökuormat .....	19
3.2.6 Energiankulutus .....	24
4 KOKKOKANKAAN KOULUN ENERGIANKULUTUS.....	25
4.1 Laskennallinen kulutus.....	25
4.1.1 Laskenta D5:n mukaan .....	25
4.1.2 Laskenta kulutustiedot huomioon ottaen .....	27
4.2 Toteutunut kulutus.....	28
4.3 Laskennallisen ja toteutuneen kulutuksen vertailu .....	29
4.4 Energiankulutusarvioiden erojen syyt.....	30
5 YHTEENVETO.....	31
LÄHTEET .....	32
LIITTEET	
Liite 1. D5:n arvoihin perustuvat laskelmat, lämpöhäviöenergiat kuukausittain	
Liite 2. Kulutustietoihin perustuvat laskelmat, lämpöhäviöenergiat kuukausittain	
Liite 3. Todellisten kulutusten normeeraus	

# 1 JOHDANTO

Ympäristöministeriön uusi Suomen rakentamismääräyskokoelman (RakMK) osa D5 on tullut voimaan 1.1.2008. Siinä on uudet ohjeet rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskemiseen. Ohjeet koskevat uusia rakennuksia, joissa käytetään energiaa tarkoituksenmukaiseen huone- lämpötilan, sisäilman laadun tai muiden energiapalvelujen tuottamiseen.

Nykyään lainsäädännön lisäksi ihmisiä ohjataan yhä enemmän energia- ystävälliseen suuntaan. Ihmiset ovat entistä kiinnostuneempia energian- kulutuksesta ja -säästämisestä. Jotta muutoksia voidaan tehdä, kannattaa RakMK:n osan D5 avulla jo etukäteen suunnitteluvaiheessa arvioida rakennuksen energiankulutus.

Tässä opinnäytetyössä lasketaan Torniossa sijaitsevan Kokkokankaan koulun kuukausittainen energiankulutus RakMK:n osan D5 mukaan ja vertaillaan saatuja arvoja todelliseen kulutukseen. Työssä selviää kiinteistön energiataloudellisuus, ja se palvelee selvityksenä siten myös Tornion kaupunkia, jolle kiinteistö kuuluu.

Työssä vertaillaan RakMK:n osan D5 avulla laskettua teoreettista kulutusta ja toteutunutta kulutusta. Tavoitteena on löytää selittäviä tekijöitä mahdollisille eroavaisuuksille lasketun ja toteutuneen kulutuksen välillä.

## **2 KOKKOKANKAAN KOULU**

### **2.1 Yleistiedot**

Tornion Kokkokankaan koulu on rakennettu vuonna 1989. Opetusrakennus on alakoulu, ja siellä opiskelee 247 oppilasta ja työskentelee 17 opettajaa. Lisäksi keittiössä työskentelee 3 henkilöä ja avustajia on yhteensä 7. Koulun lämmitys on alkujaan toteutettu öljyllä, mutta vuonna 2007 rakennus liitettiin kaukolämpöön.

Rakennuksen tilat ovat yhdessä kerroksessa, ja rakennuksen brutto-ala on 3 207,5 m<sup>2</sup> ja tilavuus on 13 800 m<sup>3</sup>. Tilat ovat pääasiassa luokkatiloja ja henkilökunnan työhuoneita. Lisäksi koulussa on liikuntasali, sosiaalityötiloja ja väestönsuoja.

### **2.2 Rakennustekniset tiedot**

Rakennusosien lämmönläpäisykertoimina eli U-arvoina työssä on käytetty vuoden 1985 RakMK:n C3 antamia arvoja. Ulkoseinän, alapohjan, yläpohjan, ikkunoiden ja ovien U-arvot on esitetty taulukossa 1.

TAULUKKO 1. U-arvot (RakMk C3. 1985)

Seinä	Pinta-ala, m <sup>2</sup> yhteensä	U-arvo, W/m <sup>2</sup> K
US 1,2,3,4 ja 5	1 122,0	0,28
Alapohja		
AP 1,2 ja 3 (reuna- alueet ja sisäalueet)	3 070,0	0,36
Yläpohja		
YP 1,2 ja 3	3 070,0	0,22
Ikkunat	285,92	2,1
Ovet		
lasiovet	42,17	2,1
puuovet	15,41	0,7

## 2.3 Talotekniset tiedot

Koulun ilmastointi on toteutettu seuraavilla ilmastointikoneilla: TK1, TK2, TK3, TK4, TK5, PF6, PF7, PF8 ja PF9. Kaikki koneet, lukuun ottamatta PF6:a ja PF7:ä, ovat kaksinopeuksisia ilmastointikoneita. Huippuimurit PF6 ja PF7 ovat termostaattiohjattuja käy/seis-malleja. Kaikki koneet ovat kaukovalvonnassa. Kaukovalvonnan avulla voidaan ohjata käyntiaikoja ja tarkkailla hälytyksiä. Taulukossa 2 on esitetty ilmastointikoneiden ilmavirrat ja käyttöajat.

Rakennus on liitetty kaukolämpöön. Kokkokankaan koulun lämmitysjärjestelmänä toimii vesiradiaattorijärjestelmä.

TAULUKKO 2. Ilmastointikoneiden ilmavirrat ja käyttöajat

puhallin	q <sub>v</sub> m <sup>3</sup> /s tulo	q <sub>v</sub> m <sup>3</sup> /s poisto	hidas h/24 h	nopea h/24 h	vrk/7vrk	LTO:n Hyötysuhde, %
TF 1 PF 1.1 PF 1.2	2,51/1,255	2,395/1,198 0,150/0,075	2/24	14/24	5/7 5/7 5/7	75
TF 2 PF 2.1 PF 2.2	2,0/1,0	1,85/0,925 0,152/0,076	0,5/24	15,5/24	5/7 5/7 5/7	75
TF 3 PF 3.1 PF 3.2	1,07/0,588	1,175/0,588 0,156/0,078	0,5/24	15,5/24	5/7 5/7 5/7	75
TF 4 PF 4.1 PF 4.2 PF 4.3	0,33/0,165	0,18/0,09 0,1/0,05 0,05	0,5/24	15,5/24	5/7 5/7 5/7 5/7	75
TF 5 PF 5.1 PF 5.2	1,93/0,965	1,765/0,883 0,152/0,076	0,5/24	13,5/24	5/7 5/7 5/7	75
PF 6		0,3			termostaatti	
PF 7		0,4			termostaatti	
PF 8		0,12		3,4/24	5/7	
PF 9		0,05			5/7	
yht.	7,84/3,973	8,945/4,959				

## **3 ENERGIANKULUTUKSEN LASKENTA**

### **3.1 Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D5**

Uusi osa D5 on tullut voimaan 1.1.2008, ja se on tarkoitettu hyödynnettäväksi rakennusten energiankulutuksen arviointiin. Tähän tarkoitukseen osaa on käytetty myös tässä opinnäytetyössä. Vuonna 2008 on tullut voimaan energiatodistustilaki, ja sen mukaan rakennukselle on annettava energiatehokkuusluku. Laskennallisen ja toteutuneen kulutuksen sekä energiatehokkuusluvun avulla voidaan vertailla samanlaisten rakennusten energiankulutuksia. Mahdolliset poikkeamat huomioidaan ja tutkitaan, millä tavalla energiaa voidaan säästää. Edellinen D5 on ollut voimassa vuodesta 1984.

RakMK:n osan D5 laskentamenetelmää voidaan käyttää rakennuksen energiankulutuksen, ostoenergiankulutuksen, lämmitystehon ja kesäaikaisen sisälämpötilan arviointiin. Rakennuksen energiankulutuksella tarkoitetaan vuotuista lämmitykseen, sähkölaitteisiin ja jäähdytykseen yhteensä kulutettua energiamäärää, johon ei sisälly eri energiamuotojen kiinteistökohtaisen eikä kiinteistön ulkopuolisen energiatuotannon häviöitä. (RakMK D5. 2007, 3.)

### **3.2 Laskentaperiaate**

Menetelmä on energiatasemenetelmä, jossa energiankulutus lasketaan kuukausittain. Energiasemenetelmässä saman kuukauden aikana rakennukseen sisään tuleva energiamäärä on sama kuin rakennuksesta poistuva energiamäärä. Vuosikulutus on kuukausikulutusten summa. (RakMK D5. 2007, 9.)

Laskennassa käytetään lähtötietoina yleensä kuukauden keskimääräisiä arvoja. Osa lähtötiedoista annetaan vuotuisina arvoina, jolloin kuukausiarvot lasketaan vuosiarvoista kuukausien pituuksien suhteessa. (RakMK D5. 2007, 9.)



Laskenta on jaoteltu osan D5 ohjeissa eri osa-alueiden mukaan. Tässä työssä on laskettu Kokkokankaan koulun energiankulutus vaiheittain seuraavasti:

1. lämpöhäviöenergiat
2. käyttöveden lämmitystarve
3. lämmitysjärjestelmien lämpöhäviöenergiat
4. laitesähkönkulutus
5. lämpökuormat
6. energiankulutus.

### 3.2.1 Vaipan lämpöhäviöenergiat

Rakenteiden läpi johtuva lämpöenergia  $Q_{\text{joht}}$  lasketaan kaavalla 1 (RakMK D5. 2007, 18).

$$Q_{\text{joht}} = \sum H_{\text{joht}} (t_s - t_u) \Delta t / 1000 \quad \text{KAAVA 1}$$

Rakennusten yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö  $\sum H_{\text{joht}}$  lasketaan rakennusosakohtaisesti kaavalla 2 (RakMK D5. 2007, 18).

$$\sum H_{\text{joht}} = \sum (U_{\text{ulkoseinä}} A_{\text{ulkoseinä}}) + \sum (U_{\text{yläpohja}} A_{\text{yläpohja}}) + \sum (U_{\text{alapohja}} A_{\text{alapohja}}) + \sum (U_{\text{ikkuna}} A_{\text{ikkuna}}) + \sum (U_{\text{ovi}} A_{\text{ovi}}) \quad \text{KAAVA 2}$$

$Q_{\text{joht}}$	= rakenteiden läpi johtuva lämpöenergia, kWh
$\sum H_{\text{joht}}$	= rakennuksen yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö, W/K
$U$	= rakennusosan lämmönläpäisykerroin, W/(m <sup>2</sup> K)
$A$	= rakennusosan pinta-ala, m <sup>2</sup>
$T_s$	= sisäilman lämpötila, °C
$T_u$	= ulkoilman lämpötila, °C
$\Delta t$	= ajanjakson pituus, h
1000	= kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi.

Lämpöhäviöenergian laskennassa käytettävät ulkolämpötilat esitetään kuukausittain taulukossa 3. Lämpötiloina työssä on käytetty RakMK:n osan D5 liitteen 1 lämpötiloja. Säätiiedot ovat Jyväskylän säävyöhykkeeltä, ja ne on lopuksi normeerattu tarkasteltavan vuoden Oulun säätietoihin. Laskennassa on käytetty sisäilman lämpötilana 21 °C.

TAULUKKO 3. Kuukausittaiset keskilämpötilat

Kuukausi	$T_{u, \text{kuukausi}}, \text{ }^{\circ}\text{C}$
Tammikuu	-10,6
Helmikuu	-12,2
Maaliskuu	-2,58
Huhtikuu	0,2
Toukokuu	10,3
Kesäkuu	14,9
Heinäkuu	15
Elokuu	14,8
Syyskuu	7,97
Lokakuu	1,73
Marraskuu	-0,59
Joulukuu	-6,9
Koko vuosi	2,76

Maanvastaisten seinien kautta johtuva energia lasketaan kaavan 1 mukaisesti ulkoilman lämpötilaan maan lämmönvastus huomioon ottaen. Alapohjan ulkopuolisen maan vuotuinen keskilämpötila lasketaan ulkoilman vuotuisesta keskilämpötilasta kaavalla 3 (RakMK D5. 2007, 19).

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

KAAVA 3

$T_{\text{maa, vuosi}}$  = alapohjan alapuolisen maan vuotuinen keskilämpötila,  $^{\circ}\text{C}$   
 $T_{u, \text{vuosi}}$  = ulkoilman vuotuinen keskilämpötila (liite 1),  $^{\circ}\text{C}$   
 $\Delta T_{\text{maa, vuosi}}$  = alapohjan alapuolisen maan ja ulkoilman vuotuisen keskilämpötilan ero,  $^{\circ}\text{C}$

Alapohjan alapuolisen maan ja ulkoilman vuotuisen keskilämpötilan erona on käytetty D5:n taulukosta 4.1 arvoa  $8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Maan kuukausittainen keskilämpötila lasketaan maan vuotuisesta keskilämpötilasta kaavalla 4 (RakMK D5. 2007, 19).

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

KAAVA 4

- $T_{\text{maa, kuukausi}}$  = alapuolisen maan kuukausittainen keskilämpötila, °C  
 $T_{\text{maa, vuosi}}$  = maan vuotuinen keskilämpötila  
 $\Delta T_{\text{maa, kuukausi}}$  = alapohjan alapuolisen maan kuukausittainen keskilämpötila ja vuotuisen keskilämpötilan ero (taulukko 4), °C

TAULUKKO 4. Alapohjan alapuolisen maan kuukauden keskilämpötilan ja vuotuisen keskilämpötilan ero

Kuukausi	$\Delta T_{\text{maa, kuukausi}}$ , °C
Tammikuu	0
Helmikuu	-1
Maaliskuu	-2
Huhtikuu	-3
Toukokuu	-3
Kesäkuu	-2
Heinäkuu	0
Elokuu	1
Syyskuu	2
Lokakuu	3
Marraskuu	3
Joulukuu	2

### Vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia

Rakenteiden epätiiviyksien kautta sisään ja ulos virtaavan vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia  $Q_{\text{vuotoilma}}$  lasketaan kaavalla 5 (RakMK D5. 2007, 20).

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

KAAVA 5

Vuotoilman ominaislämpövähiö  $H_{\text{vuotoilma}}$  lasketaan kaavalla 6 (RakMK D5. 2007, 20).

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

KAAVA 6

$Q_{\text{vuotoilma}}$	= vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia, kWh
$H_{\text{vuotoilma}}$	= vuotoilman ominaislämpöhäviö, W/K
$\rho_i$	= ilman tiheys, 1,2 kg/m <sup>3</sup>
$c_{pi}$	= ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 Ws/(KgK)
$q_{v,\text{vuotoilma}}$	= vuotoilmavirta, m <sup>3</sup> /s
$T_s$	= sisäilman lämpötila, °C
$T_u$	= ulkoilman lämpötila, °C
$\Delta t$	= ajanjakson pituus, h
1000	= kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

Vuotoilmavirta  $q_{v,\text{vuotoilma}}$  lasketaan kaavalla 7 (RakMK D5. 2007, 20).

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

KAAVA 7

$q_{v,\text{vuotoilma}}$	= vuotoilmavirta, m <sup>3</sup> /s
$n_{\text{vuotoilma}}$	= rakennuksen vuotoilmakerroin, kertaa tunnissa, 1/h
$V$	= rakennuksen tilavuus, m <sup>3</sup>
3600	= kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos m <sup>3</sup> /h -> m <sup>3</sup> /s

Rakennuksen vuotoilmakerroinena arvoa 0,16 1/h. Arvoa voidaan käyttää, ellei ilmanpitävyyttä tunneta (RakMK D5. 2007, 21).

### **Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia ja lämmöntalteenotto**

Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia  $Q_{iv}$  lasketaan kaavalla 8 (RakMK D5. 2007, 22).

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

KAAVA 8

Ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö  $H_{iv}$  lasketaan tarvittaessa erikseen jokaiselle ilmanvaihtokoneelle kaavalla 9 (RakMK D5. 2007, 22).

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

KAAVA 9

$Q_{iv}$	= ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia, kWh
$H_{iv}$	= ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö, W/K
$\rho_i$	= ilman tiheys, 1,2 kg/m <sup>3</sup>
$c_{pi}$	= ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 Ws/(KgK)
$q_{v,poisto}$	= poistoilmavirta, m <sup>3</sup> /s
$t_d$	= ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde, h/24
$t_v$	= ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde, vrk/7 vrk
$r$	= muuntokerroin, joka ottaa huomioon ilmanvaihtolaitoksen vuorokautisen käyntiajan
$T_s$	= sisäilman lämpötila, °C
$T_u$	= ulkoilman lämpötila, °C
$\Delta t$	= ajanjakson pituus, h
1000	= kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi
$\eta_a$	= ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton (LTO) vuosihyötysuhde tai keskimääräinen hyötysuhde laskentajaksolta.

Ellei laitteen vuosihyötysuhdetta  $\eta_a$  ole käytettävissä, voidaan vuosihyötysuhde laskea kaavalla 10 (RakMK D5. 2007, 22).

$$\eta_a = 0,6 \eta_t$$

KAAVA 10

$\eta_t$	= ilmanvaihdon lämmöntalteenoton tuloilman lämpötilasuhde, kun tulo- ja poistoilmavirta ovat yhtä suuret
----------	--

Lämmöntalteenoton tuloilman lämpötilasuhteena käytetään yleensä valmistajan ilmoittamaa varmennettua lämpötilasuhdetta. Ellei tuotteen lämpötilasuhteita ole käytettävissä, voidaan käyttää D5:n taulukossa 4.4 esitetyjä arvoja (RakMK D5. 2007, 23). Laskennassa on käytetty arvoa 0,75.

Ilmanvaihtokoneessa tai tuloilmakanavassa olevan tuloilman jälkilämmityspatterin lämmitysenergiankulutus  $Q_{\text{lämmitys, tuloilmapatteri}}$  sisältyy ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemaan energiaan  $Q_{iv}$  (kaava 8). Jälkilämmityspatterin lämmitysenergiankulutus lasketaan kaavalla 11 (RakMK D5. 2007, 24).

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

KAAVA 11

$Q_{\text{lämmitys, tuloilmapatteri}}$	= tuloilman jälkilämmityksen energiankulutus, kWh
$\rho_i$	= ilman tiheys, 1,2 kg/m <sup>3</sup>
$c_{pi}$	= ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 Ws/(KgK)
$q_{v,tulo}$	= tuloilmavirta, m <sup>3</sup> /s
$t_d$	= ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde, h/24
$t_v$	= ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde, vrk/7 vrk
$r$	= muuntokerroin, joka ottaa huomioon ilmanvaihtolaitoksen vuorokautisen käyntiajan
$T_{tulo}$	= tuloilman lämpötilan asetusarvo jälkilämmityspatterin jälkeen (yleensä 15 ... 18 °C), °C
$T_s$	= sisäilman lämpötila, °C
$T_u$	= ulkoilman lämpötila, °C
$\eta_{t,a}$	= lämmöntalteenoton tuloilman vuotuinen lämpötilasuhde
$\Delta t$	= ajanjakson pituus, h
1000	= kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

Lämmöntalteenoton tuloilman vuotuinen lämpötilasuhde  $\eta_{t,a}$  lasketaan kaavalla 12 (RakMK D5. 2007, 24).

$$\eta_{t,a} = \eta_a / R$$

KAAVA 12

$\eta_{t,a}$	= lämmöntalteenoton tuloilman vuotuinen lämpötilasuhde
$\eta_a$	= lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde
$R$	= tuloilmavirran suhde poistoilmavirtaan

### 3.2.2 Käyttöveden lämmitystarve

Käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia  $Q_{\text{lkv, netto}}$  lasketaan kaavalla 13 (RakMK D5. 2007, 26).

$$Q_{\text{lkv, netto}} = \rho_v \cdot c_{pv} \cdot V_{\text{lkv}} (T_{\text{lkv}} - T_{\text{kv}})/3600 \quad \text{KAAVA 13}$$

$Q_{\text{lkv, netto}}$	= käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia eli nettoenergiantarve, kWh
$\rho_v$	= veden tiheys, 1000 kg/m <sup>3</sup>
$c_{pv}$	= veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kJ/kgK
$T_{\text{lkv}}$	= lämpimän käyttöveden lämpötila, °C
$T_{\text{kv}}$	= kylmän käyttöveden lämpötila, °C
3600	= kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi, s/h

Lämpimän käyttöveden kulutus  $V_{\text{lkv}}$  lasketaan kaavalla 14 pinta-alaa kohti lasketusta ominaiskulutuksesta (RakMK D5. 2007, 26).

$$V_{\text{lkv}} = V_{\text{lkv, omin}} A_{\text{br}} \Delta t/365/1000 \quad \text{KAAVA 14}$$

$V_{\text{lkv}}$	= lämpimän käyttöveden kulutus, m <sup>3</sup>
$\Delta t$	= ajanjakson pituus, vuorokautta
1000	= kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kuutiometreiksi, dm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
365	= kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos vuosikulutuksesta vuorokausikulutukseksi, vuorokautta/vuosi
$V_{\text{lkv, omin}}$	= lämpimän käyttöveden ominaiskulutus, m <sup>3</sup> /brm <sup>2</sup> vuodessa
$A_{\text{br}}$	= rakennuksen bruttoala, brm <sup>2</sup>

D5:n arvoihin perustuvassa laskennassa on käytetty lämpimän veden kulutuksena D5:n taulukon 5.1 arvoa 180 dm<sup>3</sup>/brm<sup>2</sup> vuodessa.

### 3.2.3 Lämmitysjärjestelmien lämpöhäviöenergiat

#### Tilojen lämmitysjärjestelmä

Rakennuksen tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia  $Q_{\text{lämmitys, tilat, häviöt}}$  lasketaan kaavalla 15 (RakMK D5. 2007, 28).

$$Q_{\text{lämmitys, tilat, häviöt}} = Q_{\text{lämmitys, tilat, kehityshäviöt}} + Q_{\text{lämmitys, tilat, jakeluhäviöt}} + Q_{\text{lämmitys, tilat, luovutushäviöt}} + Q_{\text{lämmitys, tilat, säätöhäviöt}} + Q_{\text{lämmitys, tilat, varaajahäviöt}} \quad \text{KAAVA 15}$$

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

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

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

$Q_{\text{lämmitys, tilat, luovutushäviöt}}$  = lämmönluoventtimien (radiaattori) lämpöhäviöenergia, kWh

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

$Q_{\text{lämmitys, tilat, varaajahäviöt}}$  = lämmitysvesivaraajan lämpöhäviöenergia, kWh

Lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöiden laskennassa on käytetty D5:n taulukon 6.1 arvoja. Lämpöhäviöenergiat voidaan määrittää käyttämällä vuotuisia ominaislämpöhäviöitä kerrottuna rakennuksen bruttoalalla. Lämpöhäviöt on esitetty taulukossa 5.

TAULUKKO 5. Lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergiat

Lämmitysjärjestelmän ominaislämpöhäviöt	kWh/brm <sup>2</sup>
Kehityshäviöt	2
Jakeluhäviöt vesiradiaattorissa	5
Luovutushäviöt vesiradiaattorissa	4
Säätöhäviöt vesiradiaattorissa	2



Lämpimän käyttöveden kiertojohton lämpöhäviöenergia ja kiertojohtoon liitettyjen lämmityslaitteiden tarvitsema lämpöenergia lasketaan kaavalla 16 (RakMK D5. 2007, 31).

$$Q_{\text{lkv, kiertohäviöt}} = Q_{\text{lkv, kiertohäviöt, omin}} A_{\text{br}} \quad \text{KAAVA 16}$$

$Q_{\text{lkv, kiertohäviöt}}$	= lämpimän käyttöveden kiertojohton lämpöhäviöenergia ja kiertojohtoon liitettyjen lämmityslaitteiden tarvitsema lämpöenergia, kWh
$Q_{\text{lkv, kiertohäviöt, omin}}$	= lämpimän käyttöveden kiertojohton lämmityksen tarvitsema ominaislämpöenergia, kWh/brm <sup>2</sup>
$A_{\text{br}}$	= rakennuksen bruttoala, brm <sup>2</sup>

Ellei tarkempaa tietoa ole käytettävissä, voidaan käyttää D5:n taulukon 6.2 arvoja. Laskennassa on käytetty taulukon 6.2 arvoa 15 kWh/brm<sup>2</sup>.

### 3.2.4 Laitesähkönkulutus

Rakennuksen laitteiden sähköenergiankulutus on valaistussähkön, ilmanvaihtojärjestelmän sähkön ja muun laitesähkön yhteenlaskettu kulutus ilman lämmitykseen ja tilojen jäähdytykseen käytettyä sähköä kaavan 17 mukaan (RakMK D5. 2007, 33).

$$W_{\text{laitesähkö}} = W_{\text{valaistus}} + W_{\text{ilmanvaihto}} + W_{\text{muut laitteet}} \quad \text{KAAVA 17}$$

$W_{\text{laitesähkö}}$	= rakennuksen laitteiden sähköenergiankulutus, kWh
$W_{\text{valaistus}}$	= valaistuksen sähköenergiankulutus, kWh
$W_{\text{ilmanvaihto}}$	= ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus, kWh
$W_{\text{muut laitteet}}$	= muiden laitteiden sähköenergiankulutus, kWh

Laskennassa voidaan käyttää D5:n taulukossa 7.1 esitettyjä rakennustyyppikohtaisia ominaissähkönkulutuksen arvoja, mikäli rakennuksen pinta-alan lisäksi tarkempia tietoja ei ole käytettävissä. Laskennassa käytettiin arvoa 60 kWh/brm<sup>2</sup>/vuosi.

### 3.2.5 Lämpökuormat

#### Henkilöiden luovuttama lämpöenergia

Henkilöiden luovuttama lämpöenergia  $Q_{\text{henk}}$  lasketaan oleskeluajan ja lämmöntuottotehon mukaan kaavalla 18 (RakMK D5. 2007, 39).

$$Q_{\text{henk}} = \Phi_{\text{henk}} n \Delta t_{\text{oleskelu}} / 1000 \quad \text{KAAVA 18}$$

$Q_{\text{henk}}$	= henkilöiden luovuttama lämpöenergia, kWh
$\Phi_{\text{henk}}$	= yhden henkilön luovuttama keskimääräinen lämpöteho, W/hlö
$n$	= henkilöiden lukumäärä
$\Delta t_{\text{oleskelu}}$	= oleskeluaika, h
1000	= kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

Jos henkilömäärää ja oleskeluaikoja ei tiedetä, käytetään henkilöiden luovuttamana lämpöenergiana D5:n taulukon 8.1 arvoja kerrottuna rakennuksen bruttoalalla. Laskelmissa käytettiin arvoa 58 kWh/brm<sup>2</sup> vuodessa.

#### Lämmityslaitteista vapautuva lämpökuormaenergia

Tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia lasketaan kaavan 15 mukaan. Osa lämpöhäviöenergiasta jää rakennuksen vaipan ulkopuolelle eikä tule rakennuksen sisälle lämpökuormaksi. Osa lämmöstä siirtyy esimerkiksi roilojen tai vaippaan asennettujen lämmityslaitteiden kautta ulos. Ellei tarkempaa tietoa ole, on lämpökuormaksi tuleva osuus laskelmissa 70 % tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergiasta kaavan 19 mukaisesti (RakMK D5. 2007, 41).

$$Q_{\text{lämmitys, kuorma}} = 0,7 Q_{\text{lämmitys, tilat, häviöt}} \quad \text{KAAVA 19}$$

$Q_{\text{lämmitys, kuorma}}$	= tilojen lämmitysjärjestelmästä rakennuksen sisälle tuleva lämpökuormaenergia, kWh
$Q_{\text{lämmitys, tilat, häviöt}}$	= tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia, kWh

Lämpimän veden käytön yhteydessä lämpöä vapautuu rakenteisiin ja huoneilmaan ennen veden johtamista viemärin kautta ulos rakennuksesta. Ellei tarkempaa tietoa ole, on lämpökuormaksi tuleva osuus laskelmissa 50 % käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergiasta ja 30 % käyttöveden lämmityksen tarvitsemasta lämpöenergiasta kaavan 20 mukaisesti (RakMK D5. 2007, 41).

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

KAAVA 20

$Q_{\text{lkv, kuorma}}$	= käyttöveden lämmitysjärjestelmästä rakennuksen sisälle tuleva lämpökuormaenergia, kWh
$Q_{\text{lkv, netto}}$	= käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia eli nettoenergiatarve, kWh
$Q_{\text{lkv, häviöt}}$	= käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia, kWh

### **Valaistuksesta ja sähkölaitteista vapautuva lämpökuormaenergia**

Sähköenergiankulutus on määritetty D5:n taulukon 7.1 mukaan. Jos tarkempaan laskentaan tarvittavia tietoja ei ole käytettävissä, voidaan käyttää D5:n taulukossa 8.3 esitettyjä arvoja. Laskennassa on käytetty  $Q_{\text{säh, omin}}$  arvona arvoa 44 kWh/brm<sup>2</sup> vuodessa.

### **Ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia**

Ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia  $Q_{\text{aur}}$  lasketaan kaavalla 21. Säteilyenergia sisältää sekä ikkunoista rakennuksen sisälle suoraan tulevan että välillisesti ikkunaan absorboituneen lämpönä sisälle rakennukseen tulevan energian (RakMK D5. 2007, 43).

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

KAAVA 21

$Q_{aur}$	= ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia, kWh/kk
$G_{säteily, vaakapinta}$	= vaakatasolle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia pinta alan yksikköä kohti, kWh/(m <sup>2</sup> kk)
$G_{säteily, pystypinta}$	= pystypinnoille tuleva auringon kokonaissäteilyenergia pinta alan yksikköä kohti, kWh/(m <sup>2</sup> kk)
$F_{suunta}$	= muuntokerroin, jolla vaakatasolle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia muunnetaan ilmansuunnittain pystypinnoille tulevaksi kokonaissäteilyenergiaksi
$F_{läpäisy}$	= säteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskerroin
$A_{ikk}$	= ikkuna-aukon pinta-ala, m <sup>2</sup>
$g$	= valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin

Mikäli ikkunan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerrointa  $g$  ei tunneta, se lasketaan kaavalla 22. Ellei kohtisuoran auringonsäteilyn kokonaisläpäisykerrointa  $g_{kohtisuora}$  tunneta, voidaan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin laskea D5:n taulukon 8.4 arvoista ikkunalasituksen tyyppin perusteella kaavalla 22 (RakMK D5. 2007, 43). Laskennassa on käytetty arvoa 0,70.

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

KAAVA 22

$g$	= ikkunan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin
$g_{kohtisuora}$	= ikkunan valoaukon kohtisuoran auringonsäteilyn kokonaisläpäisykerroin.

Säteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskerroin  $F_{läpäisy}$  lasketaan kaavalla 23 (RakMK D5. 2007, 44).

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

KAAVA 23

$F_{läpäisy}$	= säteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskerroin
$F_{kehä}$	= kehäkerroin
$F_{verho}$	= verhokerroin
$F_{varjostus}$	= varjostusten korjauskerroin

Auringon säteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskertoimelle voidaan käyttää arvoa  $F_{\text{läpäisy}} = 0,75$ , jos varjostuksia ja pysyviä verhoja ei ole. Kehäkertoimena voidaan käyttää arvoa  $F_{\text{kehä}} = 0,75$ , jos tarkempaa tietoa ei ole. D5:n taulukossa 8.5 esitetään tyypillisiä verhokertoimen  $F_{\text{verho}}$  arvoja. Laskennassa on käytetty arvoa 0,3. Ikkunan varjostusten korjauskertoimena on käytetty arvoa 1,0.

## Lämpökuormista hyödynnettävä energia

Rakennukseen tulee lämpökuormia siellä tapahtuvasta toiminnasta, etenkin valaistuksesta ja ihmisistä sekä ikkunoista sisään tulevasta auringon säteilyenergiasta, jotka voidaan osittain hyödyntää rakennuksen lämmityksessä. Lämpökuormaenergia voidaan hyödyntää vain sillä edellytyksellä, että samanaikaisesti esiintyy lämmitystarvetta ja että säätölaitteet vähentävät muun lämmön tuottoa vastaavalla määrällä. Rakennuksen lämpökuormaenergia  $Q_{\text{lämpökuorma}}$  lasketaan kaavalla 24 (RakMK D5. 2007, 47).

$$Q_{\text{lämpökuorma}} = Q_{\text{henk}} + Q_{\text{lämmitys, kuorma}} + Q_{\text{lkv, kuorma}} + Q_{\text{säh}} + Q_{\text{aur}} \quad \text{KAAVA 24}$$

$Q_{\text{lämpökuorma}}$	= rakennuksen lämpökuormaenergia eli muun kuin säätölaitteilla ohjatun lämmityksen kautta rakennuksen sisälle vapautuva lämpöenergia, kWh
$Q_{\text{henk}}$	= henkilöiden luovuttama lämpöenergia, kWh
$Q_{\text{lämmitys, kuorma}}$	= tilojen lämmitysjärjestelmästä rakennuksen sisälle vapautuva lämpökuormaenergia, kWh
$Q_{\text{lkv, kuorma}}$	= käyttöveden lämmitysjärjestelmästä rakennuksen sisälle vapautuva lämpökuormaenergia, kWh
$Q_{\text{säh}}$	= valaistuksesta ja sähkölaitteista rakennuksen sisälle vapautuva lämpökuormaenergia, kWh
$Q_{\text{aur}}$	= ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia, kWh

Lämpökuormien lämpöenergian hyödyntämisaste  $\eta_{\text{lämpö}}$  lasketaan kaavalla 25 (RakMK D5. 2007, 47).

$$\eta_{\text{lämpö}} = (1-y^a)/(1-y^{a+1}) \quad \text{KAAVA 25}$$

Kaavassa 25 a on numeerinen parametri, joka riippuu aikavakiosta . Se lasketaan kaavalla 26 (RakMK D5. 2007, 48).

$$a = 1 + ( /15)$$

KAAVA 26

Suhdeluku  $y$  lasketaan kaavalla 27 (RakMK D5. 2007, 48).

$$y = Q_{\text{lämpökuorma}}/Q_{\text{lämpöhäviö}}$$

KAAVA 27

$\eta_{\text{lämpö}}$	= lämpökuormien kuukausittainen hyödyntämisaste
$y$	= lämpökuormaenergian suhde lämpöhäviöenergiaan
$Q_{\text{lämpökuorma}}$	= lämpökuormaenergia eli muulla tavalla kuin säätölaitteilla ohjatulla lämmityksellä kautta rakennuksen sisälle vapautuva lämpöenergia, kWh
$Q_{\text{lämpöhäviö}}$	= rakennuksen lämpöhäviöenergia, kWh

Lämpöhäviöenergia lasketaan kaavalla 28 (RakMK D5. 2007, 48).

$$Q_{\text{lämpöhäviö}} = Q_{\text{joht}} + Q_{\text{vuotoilma}} + Q_{\text{iv}} - Q_{\text{lämmitys, tuloilmapatteri}}$$

KAAVA 28

$Q_{\text{lämpöhäviö}}$	= rakennuksen lämpöhäviöenergia (johtumisen, vuotoilman ja ilmanvaihdon yhteenlaskettu lämpöhäviöenergia vähennettynä tarvittaessa tuloilman jälkilämmityspatterin energiankulutuksella), kWh
$Q_{\text{joht}}$	= rakenteiden läpi johtuva lämpöenergia, kWh
$Q_{\text{vuotoilma}}$	= vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia, kWh
$Q_{\text{iv}}$	= ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia, kWh
$Q_{\text{lämmitys, tuloilmapatteri}}$	= tuloilman jälkilämmityspatterin energiankulutus, kWh

Aikavakio lasketaan kaavalla 29 (RakMK D5. 2007, 48).

$$= C_{\text{rak}}/H$$

KAAVA 29

$C_{\text{rak}}$	= rakennuksen aikavakio, h = rakennuksen sisäpuolinen tehollinen lämpökapasiteetti, Wh/K
$H$	= rakennuksen ominaislämpöhäviö (johtumisen, vuotoilman ja ilmanvaihdon yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö vähennettynä tarvittaessa tuloilman jälkilämmityksen laskennallisella ominaislämpöhäviöllä), W/K

Rakennuksen ominaislämpöhäviö  $H$  lasketaan kaavalla 30 (RakMK D5. 2007, 49). Rakennuksen sisäpuolisen tehollisen lämpökapasiteetin  $C_{rak}$  arvona olen käyttänyt RakMK:n osan D5 taulukosta 8.9 saatua arvoa  $70 \text{ Wh}/(\text{brm}^2 \text{ K})$ .

$$H = Q_{\text{lämpöhäviö}} / ((T_s - T_u)\Delta t) \cdot 1000 \quad \text{KAAVA 30}$$

$H$	= rakennuksen ominaislämpöhäviö, W/K
$Q_{\text{lämpöhäviö}}$	= rakennuksen lämpöhäviöenergia, kWh
$T_s$	= sisäilman lämpötila, °C
$T_u$	= ulkoilman lämpötila, °C
$\Delta t$	= ajanjakson pituus, h
1000	= kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos wateiksi

### 3.2.6 Energiankulutus

#### Lämmitysenergia

Rakennuksen lämmitysenergiankulutus  $Q_{\text{lämmitys}}$  on tilojen lämmitysenergian ja lämpimän käyttöveden lämmitysenergian yhteenlaskettu kulutus ja se lasketaan kaavalla 31.

$$Q_{\text{lämmitys}} = Q_{\text{joht}} + Q_{\text{joht, maa}} + Q_{\text{vuotoiv}} + Q_{\text{iv}} + Q_{\text{lkv, netto}} + Q_{\text{lämmityshäviöt}} + Q_{\text{lkv häviöt}} - \eta_{\text{lämpö}} \cdot Q_{\text{lämpökuorma}} \quad \text{KAAVA 31}$$

$Q_{\text{lämmitys}}$	= rakennuksen lämmitysenergiankulutus, kWh
$Q_{\text{joht}}$	= rakenteiden läpi johtuva lämpöenergia, kWh
$Q_{\text{joht, maa}}$	= rakenteiden läpi maahan johtuva lämpöenergia, kWh
$Q_{\text{vuotoiv}}$	= vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia, kWh
$Q_{\text{iv}}$	= ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia, kWh
$Q_{\text{lkv, netto}}$	= käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia eli nettoenergiatarve, kWh
$Q_{\text{lämmitys häviöt}}$	= rakennuksen tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia, kWh
$Q_{\text{lkv häviöt}}$	= käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia, kWh
$\eta_{\text{lämpö}}$	= lämpökuormien kuukausittainen hyödyntämisaste
$Q_{\text{lämpökuorma}}$	= lämpökuormaenergia eli muulla tavalla kuin säätölaitteilla ohjatulla lämmityksellä rakennuksen sisälle vapautuva lämpöenergia, kWh

## 4 KOKKOKANKAAN KOULUN ENERGIANKULUTUS

### 4.1 Laskennallinen kulutus

Energiankulutuksen laskennassa oli käytettävissä Kokkokankaan koulun kuukausittaiset sähkön-, lämmön- ja vedenkulutukset vuodelta 2007. Tässä opinnäytetyössä on laskettu energiankulutus suoraan D5:n arvojen mukaan sekä todelliset sähkön- että vedenkulutukset huomioon ottaen. Jotta laskennallista ja toteutunutta kulutusta pystyttiin vertailemaan, tuli kulutukset normeerata lämmitystarvelukujen avulla paikkakuntaakohtaisiksi. Todelliset sähkön, veden ja lämmityksen kulutukset on esitetty taulukossa 6.

TAULUKKO 6. Sähkön, veden ja lämmityksen kulutustiedot

2007	Sähkö, kWh	Vesi, m <sup>3</sup>	Lämmitys, MWh
Tammikuu	19 200	97	61,3
Helmikuu	21 200	93	73,8
Maaliskuu	20 640	76	51,8
Huhtikuu	22 560	95	44,5
Toukokuu	20 400	99	25,5
Kesäkuu	12 240	26	5
Heinäkuu	12 240	26	5
Elokuu	12 240	26	5
Syyskuu	21 520	113	40
Lokakuu	21 280	123	52,1
Marraskuu	14 240	105	75,8
Joulukuu	25 520	61	57
Yht.	223 280	940	496,8

#### 4.1.1 Laskenta D5:n mukaan

Käytössä oli Kokkokankaan koulun sähkön ja veden kulutustiedot vuodelta 2007. Aluksi on kuitenkin laskettu sähköenergiankulutus suoraan D5:n arvojen mukaan kaavalla 17. Laskennassa käytettiin D5:n antamaa arvoa 60 kWh/brm<sup>2</sup>/vuosi. Käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia laskettiin

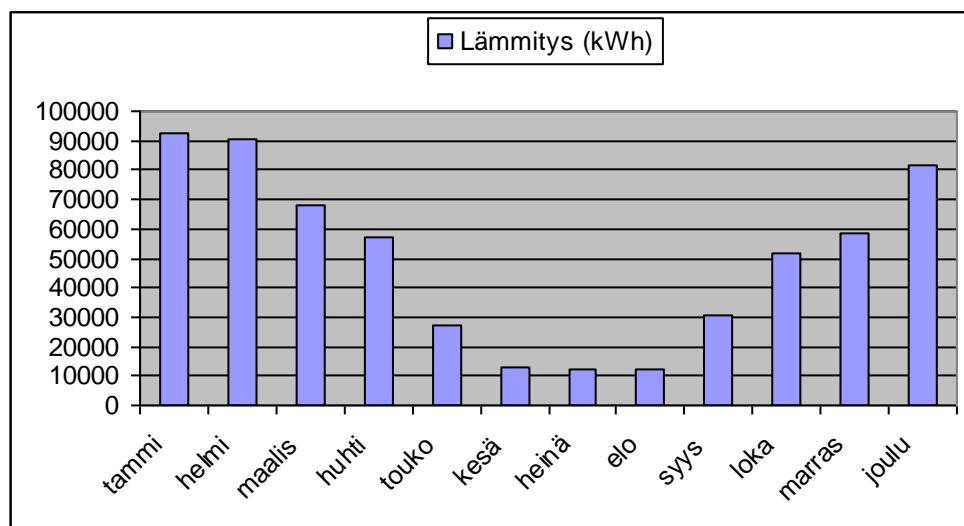


kaavoilla 13 ja 14. Lämpimän veden ominaiskulutuksena käytettiin D5:n arvoa  $180 \text{ dm}^3/\text{brm}^2$  vuodessa.

Ilmastoinnin poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde laskettiin D5:n mukaan kaavalla 10. Vuosihyötysuhteeksi saatiin 50 %.

Excel-ohjelmalla D5:n mukaan tehdyt laskelmat kuukausittaisista lämpöhäviö- ja lämpökuormaenergiälaskuista on esitetty liitteessä 1. Kuukausittaiset todellisilla arvoilla D5:n mukaan lasketut energiankulutukset on esitetty liitteessä 2.

Laskennalliset lämmitysenergiankulutusarviot on esitetty kuvassa 1. Arviot on laskettu suoraan D5:n arvojen mukaan kaavalla 31.



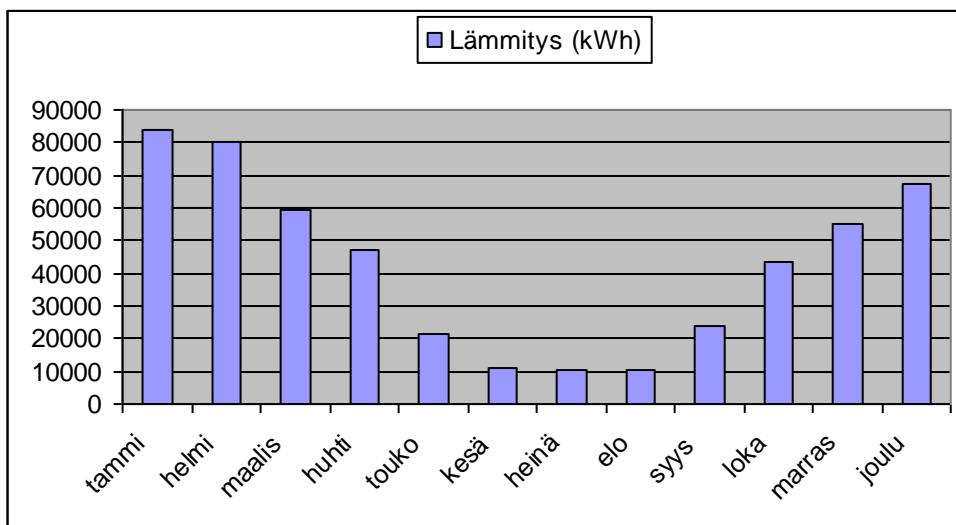
KUVA 1. Laskennalliset energiankulutukset kuukausittain

#### 4.1.2 Laskenta kulutustiedot huomioon ottaen

Kokkokankaan koulun lämmitysenergiankulutus laskettiin D5:n avulla kulutustiedot huomioon ottaen. Huomioon ottavassa laskentamallissa hyödynnettiin Kokkokankaan koulun todellisia sähkön ja veden kulutustietoja.

Käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia laskettiin kaavalla 13. Laskennassa käytettiin lämpimän käyttöveden osuutena 30 % kokonaiskulutuksesta. Ilmastoinnin lämmityksen tarvitsema energia laskettiin kaavalla 8. Vuosihyötysuhde laskettiin kaavaa 10 käyttäen. Vuosihyötysuhteeksi saatiin 50 %.

Excel-laskelmat on esitetty kulutustiedot huomioon ottaen liitteessä 2. Kuvassa 2 on esitetty kuukausittaiset laskennalliset energiankulutusarviot, jotka on laskettu hyödyntäen todellisia kulutustietoja.



KUVA 2. Kuukausittaiset laskennalliset lämmitysenergiankulutukset

## 4.2 Toteutunut kulutus

Kokkokankaan koulun todelliset kuukausittaiset energiankulutukset saatiin Tornion Energialta Tornion kaupungin kautta. Kuvassa 3 on esitetty Kokkokankaan koulun todelliset kulutukset. Kuvassa 3 olevat kulutukset on normitettu paikkakuntaakohtaiseksi, koska D5:een pohjautuvat laskut on laskettu Jyväskylän säävyöhykkeen säätiedoilla. Liitteessä 3 on esitetty Excel-laskelmat normeerauksesta.

### Toteutuneen kulutuksen normeeraus

Käytössä oli lämmitystarveluvut Oulusta vuodelta 2007 ja normitukseen käytettävät lämmitystarveluvut Jyväskylästä (RakMK D5. 2007, 59). Kaavalla 32 on laskettu Jyväskylän lämmitystarveluvun suhde Oulun lämmitystarvelukuun (liite 3).

$$x = S_{\text{nvpkunta}} / S_{\text{toteutunut vpkunta}}$$

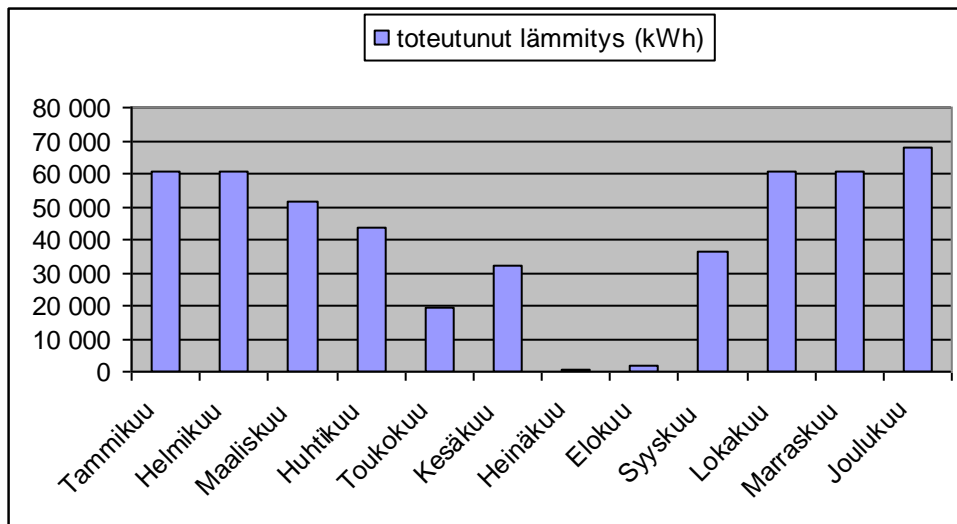
KAAVA 32

x = joka kuukaudelle laskettu kerroin Jyväskylän ja Oulun lämmitystarvelukujen suhteesta

Normeerattu lämmitysenergiankulutus on laskettu kaavalla 33. Ilmatieteen laitoksen määrittelemän paikkakuntaakohtaisen korjauskertoimen  $k_2$  arvo on 0,88.

$$Q_{\text{lämmitys, norm}} = k_2 \cdot x \cdot (Q_{\text{lämmitys, tot}} \cdot 1000 - Q_{\text{lkv, netto}}) + Q_{\text{lkv, netto}} \quad \text{KAAVA 33}$$

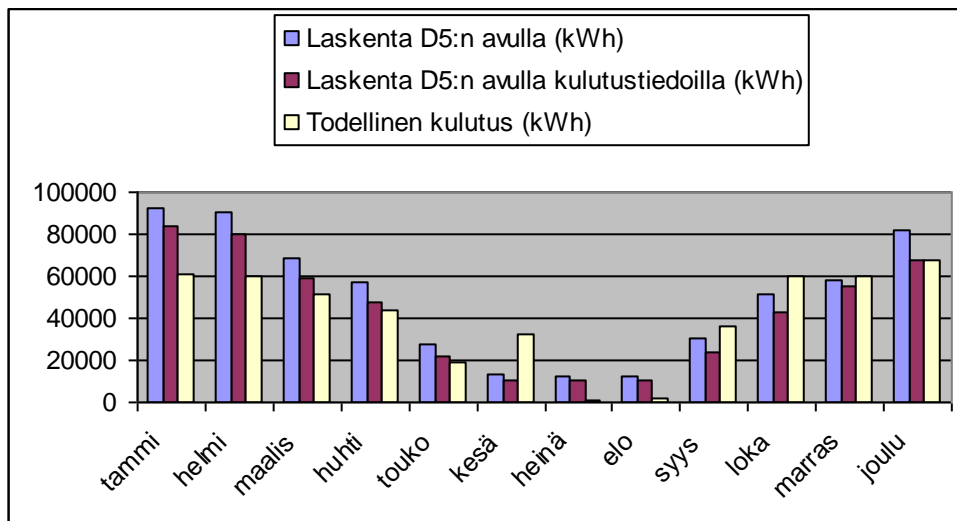
$Q_{\text{lämmitys}}$  = rakennuksen lämmitysenergiankulutus, MWh  
 $k_2$  = Ilmatieteen laitoksen määrittelemä paikkakuntaakohtainen korjauskerroin Jyväskylään  
 $Q_{\text{lämmitys, tot}}$  = rakennuksen toteutunut lämmitysenergiankulutus, kWh  
1000 = laatumuunnos kilowattitunneiksi  
 $Q_{\text{lkv, netto}}$  = käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia eli nettoenergiatarve, kWh



KUVA 3. Kuukausittaiset todelliset lämmitysenergiankulutukset

### 4.3 Laskennallisen ja toteutuneen kulutuksen vertailu

Kokkokankaan koulun lämmitysenergiankulutus RakMK D5:n arvojen mukaan, kulutustiedot huomioon ottaen RakMK D5:n mukaan ja toteutunut kulutus on esitetty kuvassa 4.



KUVA 4. Laskennallinen ja toteutunut lämmitysenergiankulutus

Kuvasta 4 voidaan tulkita, että laskenta suoraan RakMK D5:n mukaan ei anna kovinkaan tarkkaa arviota todellisesta kuukausittaisesta energiankulutuksesta. Arvio ei ole tarkka, etenkin kovimpina talvikuukausina. Kesäkuun todellisen kulutuksen piikki on seurausta kaavan 32 kertoimesta x. Kesäkuun lämmitysenergian voisi hyvin jakaa tasaisesti kesä-, heinä- ja elokuulle.

Jos laskennassa on käytettävissä todellisia lähtötietoja, jo pelkillä todellisilla sähkön- ja vedenkulutuksilla päästään huomattavasti lähemmäs todellista lämmitysenergiankulutusta.

#### **4.4 Energiankulutusarvioiden erojen syyt**

Suurissa laitoksissa kuten Kokkokankaan koulussa lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteella on suuri merkitys energiankulutuksen kannalta. Excel-laskennasta kävi ilmi, että vuosihyötysuhteen parantamisella 50 %:sta 75 %:iin olisi jo huomattava merkitys lämmitysenergiankulutukseen. Huonolla vuosihyötysuhteella voi siis olla huomattava merkitys lämmitysenergiankulutuksen kannalta isoissa rakennuksissa, joissa on suuret ilmanvaihdon ilmamäärät.

Merkittävä tekijä oli myös todellisten sähkönkulutustietojen hyödyntäminen laskennassa. Todellinen sähkönkulutus oli kaksinkertainen verrattuna RakMK D5:n antamiin sähkönkulutusarvioihin. Sähkönkulutus näkyy suoraan lämmitysenergiankulutuksessa, koska sähkölaitteista tuleva lämpökuorma lämmittää merkittävästi rakennusta. Tilanne on hyvin tyypillinen esimerkiksi juuri oppilaitoksissa.

Lisäksi laskentamenetelmiin ja niiden tulosten eroihin vaikuttavat monet muut tekijät, kuten todellinen rakenteiden U-arvo ja esimerkiksi kyseessä olevan vuoden sääolosuhteet.

## 5 YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössä vertailtiin RakMK:n osan D5 energiankulutuslaskelmia toteutuneeseen todelliseen kulutukseen. Vertailu kulutuksien välillä tapahtui vuoden 2007 kulutustietoja käyttäen. Laskennallisen ja todellisen kulutuksen väliltä yritettiin myös löytää eroavuuksia ja syitä niille.

Laskentatuloksissa havaittiin eroja Kokkokankaan koulun todellista energiankulutusta ja RakMK:n osan D5 arvojen perusteella laskettua kulutusta verrattaessa. Laskentatulokset eivät olleet kovin tarkkoja D5:n arvojen perusteella. Syitä eroihin olivat esimerkiksi RakMK:n antama lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde ja sähkölaitteista tuleva lämpökuorma. Lisäksi RakMK:n osa D5 ei huomioi mitenkään oppilaitoksen opiskelijoiden lomia. Suuren oppilaitoksen tai julkisen rakennuksen energiankulutuksen laskenta ja selvitys etukäteen ilman kulutustietoja vaatii paljon kokemusperäistä tietoa.

Laskettaessa lämmitysenergiankulutusta todellisia sähkön ja veden kulutustietoja hyväksi käyttäen antoi RakMK:n osan D5 laskentamenetelmä lähelle todellista kulutusta olevia arvioita lämmitysenergiankulutuksesta.

## LÄHTEET

RakMk C3. 1985. Rakennusten lämmöneristys. Määräykset. Ympäristöministeriö.

RakMK D5. 2007. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehotarpeen laskenta. Ohjeet. Ympäristöministeriö.

Todelliset veden-, sähkön- ja energiankulutukset. Tornion kaupunki. Tornion Energia. Hakupäivä 15.2.2010