

Metropolia Ammattikorkeakoulu  
Talotekniikan koulutusohjelma

**Kilpeläinen Marko**

**Nykyaikaisen matalaenergiakoulun**

**lämpimän kiertoveden energiatalouden optimointi**

Insinöörityo 10.12.2010

Ohjaaja: insinööri Jukka Hyttinen

Ohjaava opettaja: lehtori Hanna Sulamäki

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Marko Kilpeläinen Nykyaikaisen matalaenergiakoulun lämpimän kiertoveden energiatalouden optimointi 33 sivua 29.11.2010
Koulutusohjelma	talotekniikan koulutusohjelma
Tutkinto	insinööri (AMK)
Ohjaaja Ohjaava opettaja	LVI-insinööri Jukka Hyttinen lehtori Hanna Sulamäki
<p>Insinööriyössä pyritään selvittämään, miten lämpimän veden kierron energiataloutta voidaan parantaa. Työssä mallinnettiin perinteinen kuparinen runkoverkosto käyttövedelle. Tämä runko kopioitiin ja rungon materiaali vaihdettiin komposiitiksi. Kupariverkosto mallinnettiin myös standardin SFS 3977 mukaan lasketuilla lämpöhäviöillä.</p> <p>Komposiittirunko mallinnettiin kahdella eri kiertoveden nopeudella 0,5 m/s ja 1,0 m/s. Lopputuloksena saadut putkiston painehäviöt olivat kuitenkin aika vähäiset, eikä niillä ole suurta merkitystä pumpun energiatalouteen.</p> <p>Kiertovesipumpun valinnassa kuitenkin tuli esille, että kannattaa valita energia plus-merkinnällä varustettu pumppu. Pumpun hankintahinta on korkeampi kuin perinteisen pumpun, mutta modernimpi pumppu maksaa itsensä takaisin alentuneina käyttökustannuksina jo parissa vuodessa.</p> <p>Lisäksi perinteiset linjasäätöventtiilit kannattaisi ehkä korvata Circon termostaattisilla linjasäätöventtiileillä. Tämä venttiili säätelee putkiston virtaamaa lämpötilan perusteella.</p> <p>Järjestelmän mallinnus tarkoilla putkiston lämpöhäviöillä pienensi putkiston virtausta tässä tapauksessa puoleen, millä on iso merkitys lämpimän käyttöveden kiertojohton lämpöenergiähäviöissä.</p>	
Hakusanat	lämpimän käyttöveden kierto, eristys, kiertovesipumppu

## Helsinki Metropolia University of Applied Sciences    Abstract

Author Title Number of Pages Date	Marko Kilpeläinen Optimization of energy in hot water circulation systems in modern low-energy school. 33 29 November 2010
Degree Programme	Building Services Engineering
Degree	Bachelor of Engineering
Instructor Supervisor	Jukka Hyttinen, HVAC Engineer Hanna Sulamäki, Senior Lecturer
<p>The purpose of this Bachelor's thesis was to improve the energy efficiency of a hot water circulation system. At first, a water system made of copper piping was designed and modeled by using a CAD program. The copper system was also simulated using heat loss equations according to the standard SFS 3977. Secondly, the water system was copied and the copper piping was replaced with composite piping. Even the copper system was simulated with SFS 3977 heat loss equations.</p> <p>The modeling of the composite water system was done for several velocities of water. The results showed that velocity has only a minor effect on both the pressure loss of the system and the energy efficiency of a circulation water pump.</p> <p>According to the results shown in the pumping cost calculation, the pumping costs are remarkably lower when a modern circulation water pump with a frequency converter is deployed. The higher investment cost of the modern pump pays itself back in two years.</p> <p>The energy efficiency of the circulation water pump can be improved by replacing the traditional regulating valves with thermostatic regulating valves. The thermostatic valve regulates the flow automatically according to the temperature of the circulating water and eliminates the risk of Legionella bacteria in the system.</p> <p>Using the SFS3977 standard for heat loss calculations has a significant effect on the energy consumption. When the standard is deployed, the heat loss was significantly smaller, and the circulation is halved</p>	
Keywords	hot water circulation, circulator pump, insulation

## Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

Lyhenteet, käsitteet ja määritelmät

1	Johdanto	7
2	Suunnittelun teoriaa ja perusteita	8
2.1	Mikä on matalaenergiarakennus?	8
2.2	Lämpimän veden kulutus	9
2.3	Lämpimän käyttöveden kierron lämpöhäviöt	9
2.4	Lämpimän käyttöveden virtaama	10
2.5	Lämpimän käyttöveden kiertovesipumppu	12
2.6	Lämpimän käyttöveden eristysmateriaalit	14
2.7	Lämpimän käyttöveden putkimateriaalit	16
2.8	Lämpimän käyttövedenputkikoon valinta	17
3	Kohteen lämpimän käyttöveden lämpöhäviöt	19
4	Kohteen MagiCAD-mallintaminen	20
4.1	Lämpimän käyttöveden putkistojen mallintaminen	20
4.2	Kiertopiirin tehon mallintaminen	21
4.3	Eristyksen mallintaminen	21
4.4	Pumpun arvot	24
5	Kustannukset	25
5.1	Putken asennuskustannukset	25
5.2	Eristyksen asennuskustannukset	25
5.3	Pumpun kustannukset	26
5.4	Eristyksen ja putkimateriaalien kustannukset	26
6	Yhteenveto ja johtopäätökset	27
	Lähteet	29
	Liite 1: Kiertopiirin tehon mallinnus	31
	Liite 2: Massa-, materiaali ja työkustannukset	32
	Liite 2: Massa-, materiaali ja työkustannukset	33

## Lyhenteet, käsitteet ja määritelmät

A	kerroin, joka ottaa huomioon, kuinka usein mitoitusvirtaama ylitetään
$C_{pv}$	veden ominaislämpökapasiteetti, kJ/kgK
$d_e$	eristyksen ulkohalkaisija, m
$d_i$	eristyksen sisähalkaisija, m
$n_{50}$	ulkovaipan ilman vuotoluku n, 1/h
$P_a$	pumpun aksiaaliteho, W
Q	liitettyjen vesipisteiden normivirtaamien summa, m <sup>3</sup> /s
q	mitoitusvirtaama, m <sup>3</sup> /s
$Q_{lkv,kiertohäviöt}$	lämpimän käyttöveden kierron lämpöhäviöt, kWh
$q_m$	kyseessä olevan venttiilin keskimääräinen virtaama, m <sup>3</sup> /s
$q_{N1}$	suurin normivirtaama mitoitettavassa putkessa, m <sup>3</sup> /s
$q_v$	tilavuusvirta, m <sup>3</sup> /s
$q_{v,lkv,kiert}$	lämpimän käyttöveden kiertopiirin vesivirta
$t_{ar}$	eristeen keskilämpötila, K
$T_e$	eristyksen ulkopinnan lämpötila käyttöoloissa, K
$T_i$	eristettävä kohteen sisällön lämpötila, K
$T_{lkv}$	lämpimän käyttöveden lämpötila, °C
$T_{lkv,kierto, paluu}$	lämpimän käyttöveden kiertopiirin paluuveden lämpötila, °C
$T_o$	eristyksen ympäristön lämpötila, K
$\alpha_e$	ulkopinnan lämmönsiirtymiskerroin, W/(m <sup>2</sup> x K)e
$\alpha_k$	konvektion lämmönsiirtymiskerroin, W/(m <sup>2</sup> x K)
$\alpha_r$	säteilyn lämmönsiirtymiskerroin, W/(m <sup>2</sup> x K)r
$\Delta_p$	kokonaispaine, N/m <sup>2</sup> , Pa
$\Delta t$	ajanjakson pituus, h
$\varepsilon$	emissiivisyys
$\eta_p$	pumpun hyötysuhde
$\lambda$	eristeen lämmönjohtavuus, keskilämpötilassa, W/m, K
Θ	todennäköisyys sille, että normivirtaama $q_{mit}$ on vesikalusteella on käytössä huippukulutuksen aikana

$\rho_v$	veden tiheys, kg/m <sup>3</sup>
$\sigma$	Stefan Boltzmannin vakio, $5,67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \times \text{K}^4)$
$\Phi_{\text{kuivauspatterit}}$	kiertoverkostoon liitettyjen kuivauspattereiden teho, W
$\Phi_p$	eristetyn putken lämpöhäviö, W/m
$\Phi_{\text{putkisto}}$	lämminvesi- ja kiertojohdon lämpöhäviöt, W

## 1 Johdanto

Suomen rakentamismääräyskokoelma D1 Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot määrää, että veden lämpötila kytkentäjohtoja lukuun ottamatta saa olla korkeintaan 55 °C, toisaalta se ei saa myöskään nousta korkeammaksi kuin 65 °C (1, s. 8).

Tavallisesti tähän päästään liittämällä lämpimään käyttöveteen kiertopiiri, jossa pumppu kierrättää vettä. Lisäksi putket lämpöeristetään.

Lämpimän käyttöveden kierrolla saadaan seuraavia etuja:

- Legionella-bakteerin kasvu estyy.
- Vedenkulutus vähenee.
- Tasainen lämpötila putkistolla, ei rasita liitoksia.
- Ilman kertyminen verkostoon vähenee.
- Koska verkostossa ei ole ilmaa, paineiskujen määrä vähenee.

Nykyaikainen matalaenergiakoulu käyttää hyvin vähän energiaa. Sen takia lämpimän käyttöveden putkien lämpöhäviöt ja koko ajan pyörivä kiertovesipumppu aiheuttaa suhteellisen suuren energiankulutuksen.

Tämän opinnäytetyön aiheena on tutkia, mitä vaihtoehtoja on lämpimän kiertoveden energiatalouden optimointiin.

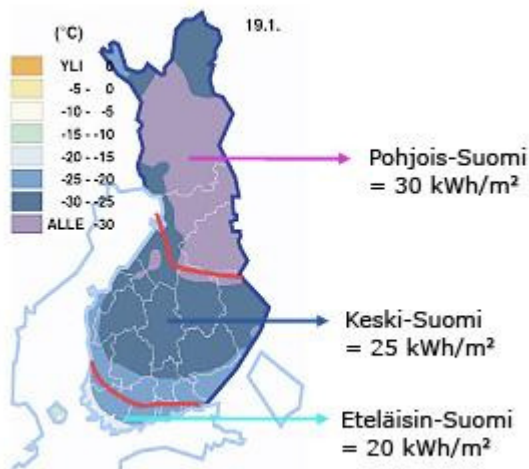
## 2 Suunnittelun teoriaa ja perusteita

### 2.1 Mikä on matalaenergiarakennus?

Rakennukset voidaan luokitella neljään eri luokkaan energiatehokkuuden perusteella.

Matalaenergiatalossa tilojen lämmitysenergian tarve on puolet pienempi verrattuna rakennusmääräysten mukaiseen vastaavaan rakennukseen (2, s. 52).

Passiivitalossa rakennuksen täytyy alittaa tietty lämmitysenergian tarve. Lisäksi ulkovaipan ilman vuotoluvun täyttää arvo  $n_{50} < 0,6$  l/h. Suomi on jaettu kolmeen eri vyöhykkeeseen, joiden raja-arvot näkyvät kuvassa 1. (2, s. 52.)



Kuva 1. Passiivitalon lämmitysenergian tarve (3).

Rakennus on nollaenergiatalo, kun ostetun energian tarve vuositasolla on 0 kWh. Tällöin se tuottaa saman verran energiaa vuodessa, kuin se kuluttaa sitä. (2, s. 52.)

Plusenergiatalo tuottaa enemmän energiaa, kuin se kuluttaa. Tähän päästään runsaalla paikallisten energian lähteiden käytöllä, esim. aurinko ja tuuli. (2, s. 52.)

## 2.2 Lämpimän veden kulutus

Lämpimän kiertoveden lämpöhäviöiden merkitys on suuri, koska sitä tapahtuu koko ajan 365 vuorokautena vuodessa. Yleensä vesijohdot kulkevat vielä keskellä rakennusta paikoista, missä lämpöhäviöllä ei ole mitään hyödyllistä merkitystä, kuten alakatoissa ja putkikuiluissa.

Taulukosta 1 näkyy lämpimän veden kulutuksia erityyppisissä rakennuksissa. Merkille pantavaa on päiväkotityyppisten rakennusten erittäin suuri vedenkulutus.

Taulukko 1. Lämpimän käyttöveden kulutuksen oletusarvot (4).

Rakennustyyppi	Lämpimän veden kulutus rakennuksen bruttoalaa kohti, $V_{lkv,omin}$ ( $dm^3/brm^2/vuosi$ )
Toimistorakennus	100
Terveystoiminta	520
Päiväkoti	460
Teatteri ja kirjasto	120
Uimahalli	1 800
Opetusrakennus	180
Myymälä	65
Muut rakennukset	100

## 2.3 Lämpimän käyttöveden kierron lämpöhäviöt

Lämpimän käyttöveden kierron lämpöhäviöt saadaan kaavasta yksi (5, s. 31):

$$Q_{lkv,kiertohäviöt} = \rho_v \times C_{pv} \times q_{v,lkv,kierto} \times (T_{lkv} - T_{lkv,kierto,paluu}) \times \Delta t \quad (1)$$

$\rho_v$  on veden tiheys,  $kg/m^3$

$C_{pv}$  on veden ominaislämpökapasiteetti,  $kJ/kgK$

$q_{v,lkv,kierto}$  on lämpimän käyttöveden kiertopiirin vesivirta,  $m^3/s$

$T_{lkv}$  on lämpimän käyttöveden lämpötila,  $^{\circ}C$

$T_{lkv,kierto,paluu}$  on lämpimän käyttöveden kiertopiirin paluuveden lämpötila,  $^{\circ}C$

$\Delta t$  on ajanjakson pituus, h.

## 2.4 Lämpimän käyttöveden virtaama

Virtaama voidaan mitoittaa kahdella eri tavalla. Suositeltavaa on laskea kummallakin menetelmällä ja valita tuloksista suurempi. Nämä tavat perustuvat Jukka Yrjölän kevään 2010 Lämmitystekniikka 2-kurssin tuntimuistiinpanoihin.

### Tapa 1

Virtaama saadaan, kun tiedetään putkiston lämpöhäviöt ja siihen kytkettyjen kuivauspattereiden teho kaavasta kaksi. Kaava on muokattu Suomen rakentamismääräyskokoelman D5 kaavoista sivulla 31, kaavat 6.3 ja 6.4: (5, s. 31.)

$$Q_{l_{kv},kiertohäviöt} = \frac{\Phi_{putkisto} + \Phi_{kuivauspatterit}}{\rho_v \times c_{pv} \times q_{v,l_{kv},kierto} \times (T_{l_{kv}} - T_{l_{kv},kierto,paluu})} \quad (2)$$

$\Phi_{putkisto}$  on lämminvesi- ja kiertojohdon lämpöhäviöt, W

$\Phi_{kuivauspatterit}$  on kiertoverkoston liitettyjen kuivauspattereiden teho, W

$\rho_v$  on veden tiheys, kg/m<sup>3</sup>

$c_{pv}$  on veden ominaislämpökapasiteetti, 4,18 kJ/kg K

$q_{v,l_{kv},kierto}$  on lämpimän käyttöveden kiertopiirin vesivirta, m<sup>3</sup>/s

$T_{l_{kv}}$  on lämpimän käyttöveden lämpötila, °C

$T_{l_{kv},kierto,paluu}$  on lämpimän käyttöveden kiertopiirin paluuvien lämpötila, °C

$Q_{putkisto}$  arvona käytetään yleensä 10 W/m, ellei ole tarkempaa arvoa. Eristetyn putkiston lämpöhäviöt voidaan laskea myös ohjeen Putki-, säiliö- ja laite-eristykset, mitoitus, SFS 3977 mukaan, mutta menetelmä on isotoinen ja suunnittelija käyttää likiarvoa 10W/m. Kiertojohtoon ei saa liittää yhteensä yli 200 W:n tehoista kuivauspatteria huonetilaa kohti (1, s. 9).

### Tapa 2

Ensimmäiseksi pitää laskea rakennuksen lämpimän käyttöveden normivirtaamien summa. Taulukosta 2 selviävät vesikalusteiden normivirtaamat (6, s. 3).

*Taulukko 2. Mitoituksessa käytettävät vesikalusteiden normivirtaamat (1, s. 35).*

Vesipiste <sup>1)</sup>	Normivirtaama $q_N$ dm <sup>3</sup> /s	
	Kylmä vesi	Lämmin vesi
Astianpesuallas	0,2	0,2
Astianpesukone kotitaloudessa	0,2	-0,2
Pesuallas	0,1	0,1
Suihku	0,2	0,2
Kylpyamme	0,3	0,3
WC-istuim	0,1	0
Pesukone kotitaloudessa	0,2	0
Pesukone talopesulassa tai vastaavassa	0,4	0
Vesiposti pientalossa, DN 15	0,2	0
Vesiposti kerrostalossa, DN 20	0,4	0
Laskuhana, tasapohja-allas	0,2	0,2
Pesuistuim	0,1	0,1
Urinaalin huuhteluventtiili	0,4	0
Urinaalin huuhteluhana	0,2	0
Ryhmäpesuallas (n kpl)	0,007+0,03 n	0,007+0,03 n
Sarjaan kytketyt urinaalit (n kpl)	0,014+0,06 n	0
Ryhmäsuihku (n kpl)	0,14 n	0,14 n
Teollisuus ym. laitteet	lasketaan erikseen	
1) vain vesikalusteen suurin yksittäinen ulostulo huomioidaan		

Kun tiedetään normivirtaamien summa, voidaan sen avulla laskea mitoitusvirtaama kaavalla kolme (1, s. 36):

$$q = q_{mit} + \Theta(Q - q_{mit}) + A \times \sqrt{(q_m \times \Theta)} \times \sqrt{(Q - q_{mit})} \quad (3)$$

$q_{N1}$  on suurin normivirtaama mitoitettavassa putkessa, dm<sup>3</sup>/s

$q_m$  on kyseessä olevan venttiilin keskimääräinen virtaama, dm<sup>3</sup>/s

$\Theta$  on todennäköisyys sille, että normivirtaama  $q_{mit}$  on vesikalusteella on käytössä huippukulutuksen aikana

$Q$  on liitettyjen vesipisteiden normivirtaamien summa, dm<sup>3</sup>/s

A on kerroin, joka ottaa huomioon kuinka usein mitoitusvirtaama ylitetään.

Taulukossa 3 on esitelty arvot, joita käytetään asuin-, toimisto-, koulu-, hotelli-, sairaala-, ym. vastaavissa rakennuksissa jakojohdon mitoitusvirtaaman laskemiseen.

*Taulukko 3. Jakojohdon mitoitusvirtaaman laskennassa tarvittavia kertoimia (1, s. 36).*

$q_{mit} =$	0,2	$dm^3/s$	*
$q_m =$	0,2	$dm^3/s$	
$\Theta =$	0,015		
$A =$	3,1		
* 0,3 jos rakennuksessa on kylpyamme			

Kiertovesijohdon mitoitusvirtaaman lasketaan kaavalla neljä (6, s. 3):

$$q_{v,lv,kierto} = 0,3 \times q \quad (4)$$

## 2.5 Lämpimän käyttöveden kiertovesipumppu

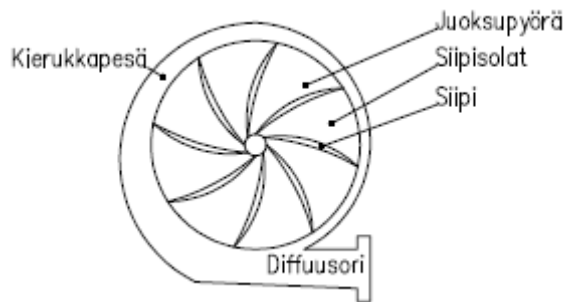
Lämpimän käyttöveden kiertovesipumpun tehtävänä on kierrättää lämmintä vettä koko ajan lämminvesijohdon, lämpimän veden kiertojohdon ja lämmönsiirtimen kautta, pitäen sen lämpötilan 55–60 °C. Näin vesi ei pääse viilentymään tarpeettomasti ja vältytään turhalta veden kulutukselta.

Yleisesti eniten käytetty lämpimänkiertoveden pumppu on tyypiltään ns.

keskipakopumppu (kuva 2). Keskipakopumpussa pumpattava neste virtaa pumpun imuaukkoon. Juoksupyörän pyörivä liike antaa nesteelle kineettistä energiaa.

Kierukkapesässä nesteen nopeus alenee ja kineettinen energia muuttuu paine-energiaksi.

(7, s. 229.)



Kuva 2. Keskipakopumpun rakenne (7, s.230).

Pumpun painetuotto määräytyy vaikeimman kiertopiirin painehäviön, mahdollisten kuivauspattereiden ja niiden säätöventtiileiden, sekä pumpun säätöventtiileiden painehäviöiden mukaan. Kun lisäksi tiedetään virtaama  $q_v$ , sen perusteella valitaan kiertovesipumppu, jonka ominaiskäyrä on mahdollisimman jyrkästi laskeva vesimäärän kasvaessa (1, s. 43).

Pumpun akseliteho  $P_a$ , saadaan kaavasta viisi (7, s. 234) :

$$P_a = \frac{q_v \times \Delta p_t}{\eta_p} \quad (5)$$

$P_a$  on pumpun aksiaali-teho, W

$q_v$  on tilavuusvirta,  $m^3/s$

$\Delta p_t$  on kokonaispaine,  $N/m^2$ , Pa

$\eta_p$  on pumpun hyötysuhde

Pumppuja voidaan säätää kuristus-, ohitus, pyörimisnopeudensäädöllä ja juoksupyörän halkaisijaa muuttamalla. Tässä työssä käsitellään ainoastaan pyörimisnopeussäätöä. koska kuristus- ja ohitussäätö ovat energiataloudellisesti huonoja. Juoksupyörän halkaisijan muuttamiseen ei ole tarvetta, jos pumppu on mitoitettu oikein. (7, s. 240–242).

Järkevin tapa hoitaa pyörimisnopeussäätö on käyttää taajuusmuuttajaa jossa on tarvittavat säätimet ja paine-eroanturit. Kun pyörimisnopeutta muutetaan, vesivirta

muuttuu suoraan verrannollisena pyörimisnopeuteen. Paine nousee toiseen potenssiin ja tehontarve kolmanteen potenssiin. (7, s. 242).

## 2.6 Lämpimän käyttöveden eristysmateriaalit

Putket eristetään periaatteessa kahdesta syystä. Ensimmäiseksi putkien lämpöhäviöt pienenevät, ja toiseksi ympäröivät tilat eivät lämpene turhaan. Taulukossa 4 on esitelty yleisimmät putkieristeet käyttövedelle.

*Taulukko 4. Yleisimmät eristeet käyttövedelle (8, s. 2)*

Putkisto, osa	Eriste Tunnus	Eriste Sarja	Päällyste Tunnus	Sijainti
	LVI 50-10344		LVI 50-10344	
Kylmä käyttövesiputki	Aa, Ab	21	6K	Näkyvä
Kylmä käyttövesiputki	Ac	22	K	Ei näkyvä
Lämmin käyttövesiputki	Aa, Ab	25	6	Näkyvä
Lämmin käyttövesiputki	Aa, Ab, Ac	23		Ei näkyvä, nousukuilussa
Lämmin käyttövesiputki	Aa, Ab, Ac	25		Ei näkyvä
Lämmin käyttövesikiertoputki	Aa, Ab	25	6	Näkyvä
Lämmin käyttövesikiertoputki	Aa, Ab, Ac	23		Ei näkyvä, nousukuilussa
Lämmin käyttövesikiertoputki	Aa, Ab, Ac	25		Ei näkyvä

Aa	mineraalivillakouru
Ab	mineraalivillakouru
Ac	mineraalivillakouru
6	alumiini laminaatti
K	höyrösulku

Eristesarja tarkoittaa putken ympärille tulevan eristeen paksuutta. Taulukossa 5 on esitetty sarjat 21–26 DN-kupariputkille DN12–54.

Taulukko 5. Putkien eristepaksuus sarjoittain (8, s. 2).

D <sub>u</sub> mm	sarja 21 s (mm)*	sarja 22 s (mm)*	sarja 23 s (mm)*	sarja 24 s (mm)*	sarja 25 s (mm)*	sarja 26 s (mm)*
10-49	20	30	40	50	60	80
50-89	30	40	50	60	80	100
* eristepaksuus						

Eristetyn putken lämpöhäviöt saadaan kaavasta kuusi (9, s. 5):

$$\Phi_p = \frac{\pi \times (T_i - T_o)}{\frac{1}{2 \times \lambda} \times \ln \frac{d_e}{d_i} + \frac{1}{\alpha_e \times d_e}} \quad (6)$$

jossa

T<sub>i</sub> on eristettävä kohteen sisällön lämpötila, K

T<sub>o</sub> on eristyksen ympäristön lämpötila, K

λ on eristeen lämmönjohtavuus keskilämpötilassa, W/(m x K)

d<sub>e</sub> on eristyksen ulkohalkaisija, m

d<sub>i</sub> on eristyksen sisähalkaisija, m

α<sub>e</sub> on ulkopinnan lämmönsiirtymiskerroin, W/(m<sup>2</sup> x K)e.

Ulkopinnan lämmönsiirtokerroin muodostuu säteilyn ja konvektion lämmönsiirtokertoimista, se saadaan kaavalla seitsemän (9, s. 5):

$$\alpha_e = \alpha_r + \alpha_k \quad (7)$$

α<sub>r</sub> on säteilyn lämmönsiirtymiskerroin, W/(m<sup>2</sup> x K)r

α<sub>k</sub> on konvektion lämmönsiirtymiskerroin, W/(m<sup>2</sup> x K).

säteilyn lämmönsiirtymiskerroin saadaan kaavalla kahdeksan (9, s. 5):

$$\alpha_r = \varepsilon \times \sigma \times \frac{T_e^4 - T_o^4}{T_e - T_o} \quad (8)$$

$\varepsilon$  on emissiivisyys

$\sigma$  on Stefan Boltzmannin vakio,  $5,67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \times \text{K}^4)$

$T_e$  on eristyksen ulkopinnan lämpötila käyttöoloissa, K

Vapaan konvektion lämmönsiirtymiskerroin putken ulkopinnalla saadaan kaavalla yhdeksän (9, s. 5):

$$\alpha_k = 1,32 \times \left( \frac{T_e - T_o}{d_e} \right)^{0,25} \quad (9)$$

Putkieristyksen pintalämpötila lasketaan kaavalla kymmenen (9, s. 6):

$$T_e = T_o + \frac{\Phi_p}{\pi \times \alpha_e \times d_e} \quad (10)$$

Koska laskennan tässä vaiheessa ei tiedetä eristetyn putken lämpöhäviöitä, putkieristyksen pintalämpötilan laskennassa on käytettävä iterointia. Putkieristyksen pintalämpötilan arvoksi valitaan joku arvo ja eristeen keskilämpötila lasketaan kaavalla 11. Saadun tuloksen perusteella valitaan SFS 3976 taulukosta 1 oikea eristeen lämmönjohtavuuden arvo. (9, s. 6.)

$$t_{ar} = (T_i + T_e) / 2 \quad (11)$$

Kaavoilla 6–9 ja 11 saatua lopputulosta voi sitten verrata kaavalla 11 saatuun arvoon ja muuttaa tämän perusteella putkieristyksen pintalämpötilaa kunnes iterointi on suoritettu riittävällä tarkkuudella.

## 2.7 Lämpimän käyttöveden putkimateriaalit

Tässä työssä tarkastelemme kupari-, PEX- ja komposiittiputkia. Perinteisin putkisto-materiaali käyttövedessä on kupariputki. Sen käytöstä on kokemuksia jo sadan vuoden

ajalta. Kupari on hygieeninen, eikä siitä tule veteen maku- tai hajuhaittoja. Jos putkisto on suunniteltu hyvin, sen käyttöikä on jopa yli 50 vuotta. (10.)

Kupariputkia on kokoina DN6–DN160. Normaalissa koulurakennuksessa käyttöveden putkien koko on DN12–DN64. Putkia on saatavilla ns. kankitavarana ja kieppinä. Ne ovat yleensä kirkkaita, mutta niissä voi myös olla myös muovinen vuotovesisuoja tai valmiiksi asennettu eriste. Lisäksi putkia saa valmiiksi pintakäsittelynä esim. maalattuna tai kromattuna. (11, s. 1–4.)

PEH-putkia on valmistettu 70-luvun alusta lähtien. Niiden valmistusmateriaali on suuritiheysinen polyeteeni. Suuri etu verrattuna kupariputkiin on se, että PEH-putket voidaan asentaa rakenteiden sisään, kun käytetään erityistä suojaputkea. Tämä on mahdollista, koska PEH-putket ovat taipuisia. Toinen merkittävä PEH-putken etu on, että sillä voidaan käyttää suurempia virtausnopeuksia, kuin kuparilla. Haittapuolena on voimakkaampi lämpölaajeneminen, kuin kuparilla, mutta putken elastisuus kompensoi sitä. (12, s. 1–4.)

Komposiitti putket on valmistettu PEH-muovista. Sen rakenne poikkeaa PEH-putkesta, että siinä on sisäputken ja ulkoputken välissä ohut alumiini kerros. Muutenkin sen ominaisuudet ovat hyvin samankaltaiset, kuin PEH-putken. Merkittävin ero näiden välillä on komposiitti putken jäykkyys. Lisäksi se on siistin näköinen. Näiden ominaisuuksien takia se soveltuu näkyviin jääviin asennuksiin. (13, s. 4.)

## **2.8 Lämpimän käyttöveden putkikoon valinta**

Kiertojohdon putket mitoitetaan virtausnopeuden mukaan. Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D1 mukaan kupariputkelle mitoitusnopeus on 0,5 m/s, koska virtaus on jatkuva. Suurempi virtausnopeus voi johtaa putken nopeaan kulumiseen. (1, s. 43.)

Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D1 ei aseta mitään virtausnopeuden raja-arvoja muoviputkille. Virtausnopeudet on kuitenkin pidettävä kohtuullisina painetason ja ääniongelmien takia (13, s. 5).

### 3 Kohteen lämpimän käyttöveden lämpöhäviöt

Kohteesta on tehty WinETANA-ohjelmalla energialaskelma. Lämpöhäviöt on esitetty taulukossa 6. Taulukosta nähdään, että lämpimän käyttöveden lämpöhäviö on tässä esimerkkitapauksessa noin 15 % kokonaislämpöhäviöistä. WinETANA:n laskenta perustuu kuitenkin pinta-alaan, joten tässä työssä sillä ei ollut suurempaa merkitystä.

*Taulukko 6. WinETANA ohjelmalla saadut lämpöhäviöt.*

lämpöhäviöt		
johtumishäviöt	268380	kWh/v
ilmanvaihto+ vuotoilma	276942	kWh/v
lämminkäyttövesi	90723	kWh/v

## 4 Kohteen MagiCAD-mallintaminen

Tässä insinöörityössä kohde oli Mårtensbron koulu ja päiväkoti, kohde sijaitsee Espoossa. Kohteen laajuustiedot ovat seuraavat:

- bruttoala 7146 br<sup>m</sup><sup>2</sup>
- hyötyala 4637 hym<sup>2</sup>
- kerrosala 6303 kem<sup>2</sup>
- tilavuus 39 000 m<sup>3</sup>.

Työselostus määrää runkoverkoston tehtäväksi kupariputkesta juotetuilla kapillaariliitoksilla. Näkyviin tulevat kalusteiden liityntäjohtot ovat kromattua (kovaa) kupariputkea. Rakenteiden sisään jäävät putket ovat PEH-putkea, joka asennetaan suojaputkeen.

Työssä haluttiin tutkia, miten eri putkimateriaalit vaikuttavat painehäviöön ja putkikokoon. Lisäksi haluttiin vertailla eri putkimateriaalien, kupari ja komposiitti asennuskustannuksia. Työssä tarkasteltiin lisäksi vielä eri eristepaksuuden vaikutusta lämpöhäviöihin ja kustannuksiin.

### 4.1 Lämpimän käyttöveden putkistojen mallintaminen

Mallinnus tapahtuu yksinkertaistettuna seuraavasti:

- piirretään runkolinja kuparilla
- laitetaan vesikalusteet
- kytketään vesikalusteet oikeilla materiaaleilla
- lisätään säätö- ja sulkuventtiilit
- kytketään virtaamaliitokset
- mitoitetaan ja tasapainotetaan kohde.

Koska työssä haluttiin tutkia komposiittiputkea, sille täytyi luoda oma systeemi. Mitoitusperusteena kaikille putkille käytettiin nopeutta. Poikkeuksen teki järjestelmä 4,

jonka eristettyjen putkien lämpöhäviöt mitoitettiin kaavojen 6–11 ja taulukon 8 avulla. Taulukossa 7 on esitetty neljä mallinnettua järjestelmää. Muissa järjestelmissä käytettiin lämpöhäviönä 10W/m.

*Taulukko 7. Mallinnetut systeemit ja mitoitusparametrit.*

systeemi	materiaali	nopeus kylmävesi	nopeus lämminvesi	nopeus kiertovesi
järjestelmä 1	kupari	2 m/s	1,5 m/s	0,5 m/s
järjestelmä 2	komposiitti	2 m/s	1,5 m/s	0,5 m/s
järjestelmä 3	komposiitti	2 m/s	1,5 m/s	1,0 m/s
järjestelmä 4*	kupari	2 m/s	1,5 m/s	0,5 m/s
* eristetyn putken lämpöhäviö laskettu SFS 3977 mukaan				

Kohde mallinnettiin ja mitoitettiin ensin kuparilla. Kun tämä oli saatu valmiiksi, kohde tallennettiin. Tiedosto avattiin uudelleen ja ominaisuuksien vaihtotyökalun avulla verkosto muutettiin toiseksi systeemiksi, jossa oli uuden runkoverkoston putkimateriaali ja mitoitusarvot. Kohteessa muutettiin vain runkoverkostoa.

## 4.2 Kiertopiirin tehon mallintaminen

Lämpimän veden kiertoputken liittyessä lämminvesiputkeen siihen on luotava kiertojohdoliitos. Lämmintä käyttövettä piirretään normaalisti kiertojohdtoa kohti ja siihen liitytään ”returnJoint”-käskyllä. Silloin ohjelma kysyy liitoksen tehoa.

Teho saadaan laskemalla erikseen jokaisen kiertopiirin lämpöhäviöt. Arvona käytetään yleisesti 10 W/m. Ongelmana on se, että kukaan suunnittelija ei jaksa massoitella ja laskea käsin isoa verkostoa. Liitteenä 1 on yksinkertaistettu malli tehojen laskemisesta kiertopiirille.

## 4.3 Eristyksen mallintaminen

MagiCADilla kiertopiirien lämpöhäviöiksi arvioitiin 10 W/m. Ohjelma ei osaa laskea automaattisesti eristyksen vaikutusta lämpöhäviöön. Jos lämpöhäviön kaavat 6–11

syötetään Excel-taulukkolaskentaohjelmaan ja iteroidaan, tulokseksi saadaan pienempiä arvoja. Iteroinnissa tähdättiin siihen, että eristeen pintalämpötilojen erotus oli maksimissaan 0,2 °C. Arvot kupariputkille ovat taulukossa 8.

Arvoina käytettiin seuraavia arvoja:

$T_e$  iteroitiin välillä 26–31 °C

$T_o$  on 23 °C

$\lambda$  on 0,039 W/m, K

$\epsilon$  on 0,1 (vastaa ohutta alumiinipaperia)

*Taulukko 8. Erytysarjan vaikutus kupariputken lämpöhäviöön (W/m).*

KUPARI ulko Ø mm	$\Phi_p$ sarja 22	$\Phi_p$ sarja 23	$\Phi_p$ sarja 24	$\Phi_p$ sarja 25
DN12	4	3,6	3,4	3,2
DN15	4,4	4	3,7	3,5
DN18	4,8	4,3	4	3,8
DN22	5,3	4,7	4,3	4,1
DN28	6	5,3	4,9	4,6
DN35	6,7	5,9	5,4	5
DN42	7,5	6,6	6	5,5
DN48	8,1	7,1	6,4	5,9
DN54	7,6	6,9	6,3	4,9

Lämpöhäviöitä ei ole pakko laskea käsin, ne voi laskea myös valmistajien ohjelmilla, Esim. Paroc Oy:llä on olemassa Paroc TOP -ohjelma. Taulukossa 9 on laskettu tällä ohjelmalla vertailuksi Paroc Sectionilla eristetyn putken lämpöhäviöitä. Laskennassa käytettiin pääosin samoja arvoja kuin taulukossa 8. Suhteellinen kosteus on 50 % ja ilman virtausnopeus on 0 m/s.

Taulukko 9. Erityssarjan vaikutus putken lämpöhäviöön, Paroc TOP -ohjelma (W/m).

KUPARI ulko Ø mm	$\Phi_p$ sarja 22	$\Phi_p$ sarja 23	$\Phi_p$ sarja 24	$\Phi_p$ sarja 25
DN12	x	x	x	x
DN15	4,3	3,9	x	x
DN18	4,7	4,2	3,9	3,6
DN22	5,2	4,6	4,2	3,9
DN28	5,9	5,2	4,8	4,4
DN35	6,8	5,9	5,3	4,9
DN42	7,6	6,6	5,9	5,4
DN48	8,2	7,1	6,3	5,8
DN54	7,6	6,8	6,2	5,4

Oli yllätys huomata, että laskelmien tulokset ovat käytännöllisesti katsoen samat. Toki valmiilla ohjelmalla laskeminen on helpompaa ja virheiden mahdollisuus pienempi.

Jos putkiston lämpöhäviöt halutaan mitoittaa tarkasti MagiCAD-ohjelmalla, se tuli mallintaa käsin, mikä on hidasta. Tämän takia 10 W/m on hyväksyttävä likiarvo, jonka insinöörikin osaa ehkä laskea.

On myös mielenkiintoista huomata, että parhaimman ja huonoimman eristesarjan lämpöhäviöerot ovat noin 20–25 %. Taloudellinen eristys on helpointa laskea valmistajien ohjelmilla, esim. Paroc TOP. Toki tuloksiin pitää suhtautua kriittisesti.

#### 4.4 Eristämättömät putkiston osat

Putkistossa jätetään yleensä eristämättä putkistovarusteet, kuten sulku- ja säätöventtiilit. On kuitenkin syytä huomioida, että jokaisessa kiertopiirissä on edellä mainitut venttiilit. Taulukon kymmenen arvoista huomaamme, että eristämättöminä niiden lämpöhäviö on vastaava kuin eristetyn kiertopiirin 10–20 m.

*Taulukko 10. Eristämättömien putkivarusteiden lämpöhäviö (7, s. 220)*

	$L_{eq}$
eristetty laippakotelo	2...3
eristetty venttiilikotelo	3...5
eristämätön laippaliitos	4...6
eristämätön hitsattu venttiili	10...20
eristämätön laipallinen venttiili	15...25
$L_{eq}$ = lisälämpöhäviö suoraan eristetyn putkipituutena	

#### 4.5 Pumpun arvot

Kun verkosto on mitoitettu, saadaan kysymys työkalulla (Part Properties) kiertovesijohdosta virtaama ja lämminvesijohdosta kiertopiirin painehäviö. Taulukossa 11 on tämän kohteen eri systeemien arvot pumpulle. On mielenkiintoista huomata, että vain järjestelmän 4 arvoilla on jotain merkitystä energiatalouden kannalta.

*Taulukko 11. Pumpun toiminta-arvot eri järjestelmissä.*

järjestelmä	materiaali	nopeus kylmävesi	nopeus lämminvesi	nopeus kiertovesi	virtaus	paine
					l/s	kPa
järjestelmä 1	kupari	2 m/s	1,5 m/s	0,5 m/s	0,84	35,2
järjestelmä 2	komposiitti	2 m/s	1,5 m/s	0,5 m/s	0,84	27,6
järjestelmä 3	komposiitti	2 m/s	1,5 m/s	1,0 m/s	0,84	76,0
järjestelmä 4	kupari	2 m/s	1,5 m/s	0,5 m/s	0,44	31,3

## 5 Kustannukset

### 5.1 Putken asennuskustannukset

Suomessa työ on kallista. Työn kustannukset löytyvät LVI-toimialan työehtosopimuksesta. Putkien asennuskustannukset näkyvät taulukosta 12. Jos kupariputkissa käytetään puristusliitoksia, niiden asennustyö on käytännössä samanhintaista komposiittiputken kanssa. Kustannukset on esitetty liitteessä 2. (14, s. 106.)

*Taulukko 12. Kupari ja komposiittiputken asennuksen normitunti hinnat.*

Ulkohal- kaisija D <sub>u</sub>	kupari sisälle* NH/m	komposiitti sisälle NH/m
-22	0,38	0,3
-35	0,43	0,35
-54	0,5	0,4
-64	0,55	0,44
-76,1	0,6	0,48
*kupariputket tyyppiä Mannesmann tms. vähennys -20 %		

### 5.2 Eristyksen asennuskustannukset

Taulukossa 13 on esitetty eristyksen hinnoittelu. On merkille pantavaa, että eristystyön hinta kasvaa vasta, kun eristeen paksuus kasvaa yli 40 mm:n. Käytännössä tällä on merkitystä, kun käytetään sarjaa 24 tai siitä paksumpaa eristystä kokoon DN 54 saakka. Työkustannukset on esitelty liitteessä 2. (14, s.129.)

Taulukko 13. Mineraali eristekourujen normituntihinnat.

putken ulko- kaisija	mineraalivillakourujen paksuus, mm							
	D <sub>u</sub>	20	30	40	50	60	80	100
0-36		0,53	0,53	0,53	0,53	0,61	0,74	0,86
37-54		0,54	0,54	0,54	0,62	0,74	0,80	0,92
55-76		0,58	0,58	0,65	0,76	0,76	0,87	1,05

### 5.3 Pumpun kustannukset

Kiertovesipumppu toimii vuoden jokaisena päivänä ympäri vuorokauden.

Kiertovesipumppujen energian kulutus vastaa noin 2 % kokonaissähkönkulutuksesta.

Tämän takia sitä ei pidä ylimitoittaa, ja sen energiatehokkuuteen on kiinnitettävä erityistä huomiota. (15.)

Nykyaikaiset Energia plus-merkinnällä varustetut pumput kuluttavat jopa 60 % vähemmän sähköä perinteisiin kiertovesipumppuihin verrattuna. Säästö saadaan aikaiseksi elektronisesti kommutoidulla EC-moottorilla. Energiatehokkaan pumpun takaisinmaksuaika on noin kaksi vuotta. (15.)

### 5.4 Eristyksen ja putkimateriaalien kustannukset

Komposiitti ja kupariputkien hinnat saatiin Ahlsell Oy:n Internet-sivuilta:

[http://www.ahlsell.fi/page\\_5565.aspx](http://www.ahlsell.fi/page_5565.aspx)

Putkieristeen hinnat saatiin Paroc Oy:n sivuilta:

[http://www.paroc.com/SPPS/Finland/TI\\_attachments/1-1\\_0\\_FL.pdf](http://www.paroc.com/SPPS/Finland/TI_attachments/1-1_0_FL.pdf)

Hinnastoista täytyy muistaa se, että urakoitsijat saavat huomattavia alennuksia ns.

listahinnoista, joten materiaalikustannukset ovat vain suuntaa antavia. Putkimateriaalin ja eristeiden menekit ja arvot on esitetty liitteessä 2.

## 6 Yhteenveto ja johtopäätökset

Työn suurin ongelma oli MagiCAD-ohjelman antamien massalistojen vaikeaselkoisuus. Putkimetrit toki saatiin ohjelmasta helposti ulos, mutta kaikkien liitinkappaleiden, kulmien ja nippeleiden massoittelu ei onnistunut aikataulun puitteissa. Toisaalta voidaan myös pohtia yksittäisen kohteen mallintamisen mielekkyyttä eri materiaaleilla, koska koulurakennukset ovat yleensä sängen uniikkeja kohteita.

Laskelmien perusteella näyttää, että runkoverkosto tulee tässä kohteessa halvemmaksi komposiittiputkesta, kuitenkin täytyy huomioida, että komposiittiputkiston osat (kulmat, liittimet, supistukset jne.) ovat huomattavasti kuparia kalliimpia.

Käytäntö on näyttänyt, että runko vedetään yleensä kuparista. Jos komposiitti olisi edullisempi hankkia, asentaa ja eristää, urakoitsijat myös rakentaisivat käytännössä putkistoja enemmän komposiitista.

Vaikka komposiitilla saadaan tehtyä putkisto pienemmällä painehäviöllä, pumpun energian käyttökulut ovat niin pienet, että on edullisempaa rakentaa putkisto halvemmasta materiaalista. Pumppua valittaessa on syytä kuitenkin varmistaa, että siinä on merkintä Energy+. Energiatehokas pumppu maksaa kuitenkin itsensä takaisin jo parissa vuodessa.

Eristyspaksuuden kasvatusta ei mallinnettu tässä työssä. Käytäntö on osoittanut, että 23- tai 24-sarja on riittävä tämänkaltaisissa kohteissa. Täytyy myös ymmärtää, että eristepaksuuden kasvattaminen lisää putken ulkodimensioita. Nykyinen rakennus on muutenkin täynnä talotekniikkaa, joten kaikkea tekniikkaa ei saada mahtumaan niille varattuihin tiloihin, jos vesiputket eristetään liian paksulla eristeellä.

Energiankulutusta voitaisiin pienentää korvaamalla perinteiset linjasäätöventtiilit kiertopiirissä Circon termostaattisella linjasäätöventtiilillä. Se säätelee putkiston virtaamaa lämpötilan perusteella. Etuna on myös se, että sitä ei tarvitse säätää, niin kuin perinteistä linjasäätöventtiiliä.

Viega Oy tuo maahan Sartloop Inliner-järjestelmää. Siinä lämpimän veden kiertojohto on asennettu lämminvesiputken sisään. Maahantuoja väittää, että järjestelmä pienentää lämpöhäviöitä 20–30 %. Samoin säästetään asennustilaa ja eristäminen on halvempaa, koska kiertovesiputki on toisen putken sisässä.

Valitettavasti työssä ei löydetty mitään mullistavaa ratkaisua lämpimän kiertoveden energia talouden parantamiseen. Uusia asioita oli vain Circon termostaattinen linjasäätöventtiili ja Inline lämpimän kiertoveden järjestelmä. Yllättävää oli myös se, miten huonosti MagiCAD-ohjelmalla voidaan simuloida eristeiden ominaisuuksia.

MagiCAD ei osaa ottaa huomioon eristyspaksuutta putkenmitoituksessa. Tämän takia suunnittelija käyttää ”returnJoint” liityntäpisteen tehonlaskennassa putkien lämpöhäviölle 10 W/m. Tällä toki päästään nopeasti jonkinlaiseen tulokseen.

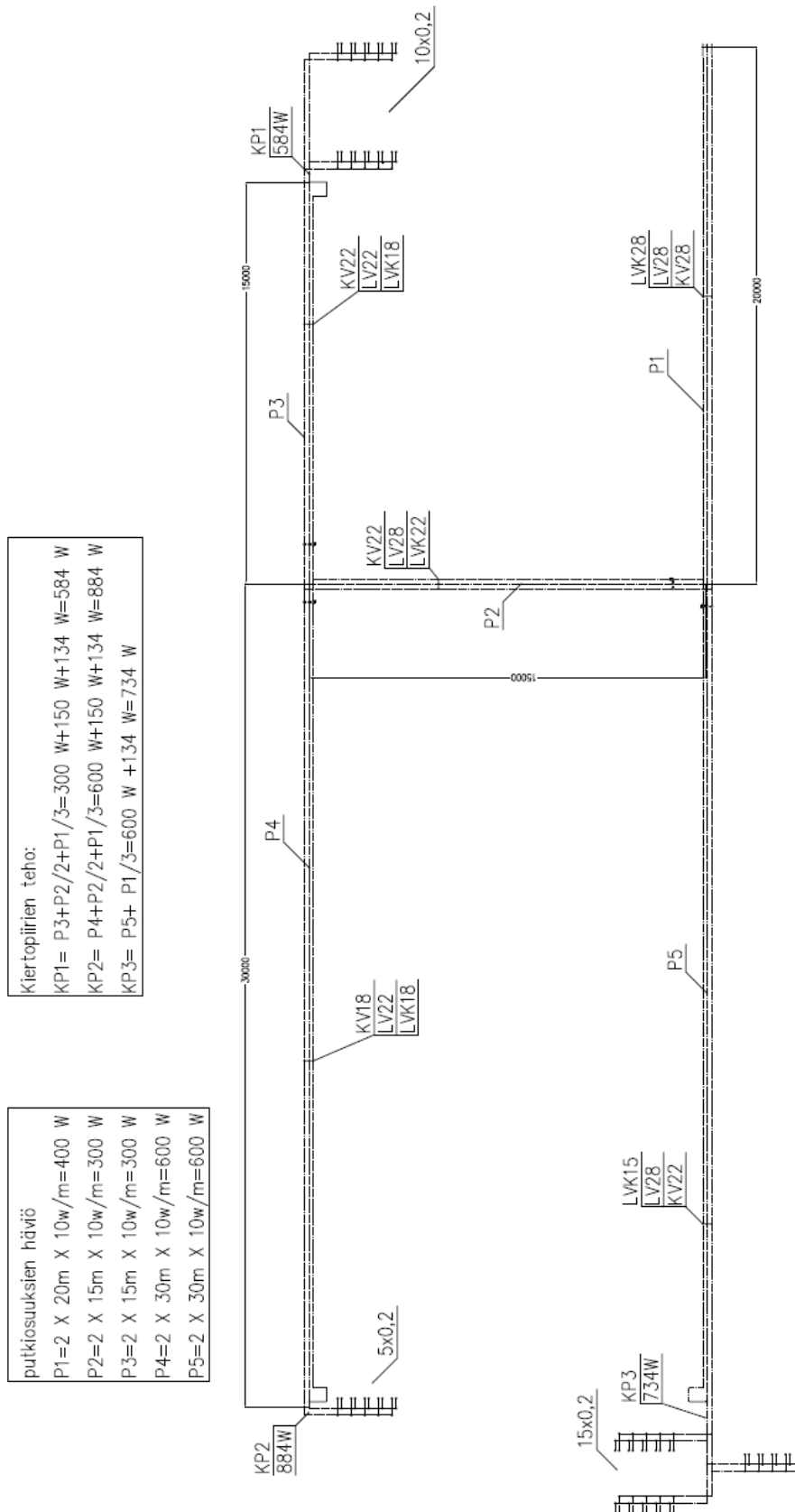
Järjestelmä 4 mallinnettiin taulukon 8arvoilla. Tuloksena oli hieman pienempää putkea ja mikä tärkeintä, tässä tapauksessa puolet pienempi virtaus kiertopiirissä. Kaavasta 1 näemme, että lämpimän käyttöveden kiertojohton lämpöhäviöt puolittuvat tämän takia.

## Lähteet

- 1 Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D1. Helsinki: ympäristöministeriö, 2007.
- 2 Lahti, Pekka. Ekotehokkuuden arviointi ja lisääminen Helsingissä. Helsinki: Edita Prima Oy, 2008. ISBN 1458-9664.
- 3 Passiivitalon määritelmä. (WWW-dokumentti.) Paroc Oy. <http://www.energia.fi/viisastalo.fi/?cat=Passiivitalon+m%E4%E4ritelm%E4> 2010. Luettu 13.9.2010.
- 4 Lämmin käyttövesi. (WWW-dokumentti.) Motiva Oy. <[http://www.motiva.fi/julkinen\\_sektori/energiankayton\\_tehostaminen/kiinteistojen\\_energianhallinta/kulutuksen\\_normitus/laskukaavat\\_lammin\\_kayttovesi](http://www.motiva.fi/julkinen_sektori/energiankayton_tehostaminen/kiinteistojen_energianhallinta/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kayttovesi)>. Päivitetty 25.1.2010. Luettu 1.9.2010.
- 5 Rakennusten energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5. Helsinki: ympäristöministeriö, 2007
- 6 Käyttöveden lämmönsiirtimen mitoitus. (WWW-dokumentti.) Energiateollisuus Ry. <<http://www.energia.fi/content/root%20content/energiateollisuus/fi/kaukolampo/kirjasto/julkaisut/liitteet/tiedote%20k55%202007.pdf?SectionUri=%2Ffi%2Fkaukolampo%2Fkirjasto%2Fjulkaisut%20>>. Päivitetty 7.5.2007. Luettu 2.10.2010.
- 7 Seppänen, Olli. Rakennusten lämmitys. Jyväskylä: Gummerus kirjapaino Oy, 2001. ISBN 951-98811-0-7.
- 8 LVI-50-10345. LVI-ohjekortti. Rakennustietosäätiö, 2002.
- 9 Putki-, säiliö- ja laite-eristykset. Mitoitus. SFS 3977. Suomen Standardisoimisliitto, 2008.
- 10 Kupari suosituin putkimateriaali. (WWW-dokumentti.) Cupori Group Oy. <[http://www.cupori.com/kerrostalon\\_putkiremontti/uudet-putket-vai-lisaaikaa/kupariputki-suosituin](http://www.cupori.com/kerrostalon_putkiremontti/uudet-putket-vai-lisaaikaa/kupariputki-suosituin)>. 2010. Luettu 4.10.2010.
- 11 RT-X5-37661. RT-ohjekortti. Rakennustietosäätiö, 2008.
- 12 Uponor-PEH-käyttövesijärjestelmä. (WWW-dokumentti.) Uponor Suomi Oy. <[http://www.uponor.fi/~media/Files/Uponor/Finland/Tap%20water%20PEX/Brochures/PEX\\_Kasikirja\\_2009.ashx](http://www.uponor.fi/~media/Files/Uponor/Finland/Tap%20water%20PEX/Brochures/PEX_Kasikirja_2009.ashx)>. 2010. Luettu 4.10.2010.

- 13 WehoPress käsikirja. (WWW-dokumentti.) KWH Pipe Oy.  
<http://www.kwhpipe.fi/Link.aspx?id=369676>>. 2009. Luettu 4.10.2010.
- 14 LVI-toimialan TYÖEHTOSOPIMUS 2010-2012. LVI-Tekniset Urakoitsijat  
LVI-TU ry. Sastamala: Vammalan Kirjapaino Oy, 2010. ISBN 978-952-5785-  
39-5
- 15 Mikä Energy + on? (WWW-dokumentti.) Motiva Oy. [http://www.energyplus  
pumps.eu/fi/cesky/pump\\_project/what\\_is\\_energy.html](http://www.energypluspumps.eu/fi/cesky/pump_project/what_is_energy.html) 2010. Luettu  
8.11.2010.

## Liite 1: Kiertopiirin tehon mallinnus



## Liite 2: Massa-, materiaali ja työkustannukset

järjestelmä 1					putken hinta	putken asennus	eristeen hinta	eristeen asennus
koko	materiaali	L[m]	eristys	€/m	€	NH	€	NH
12	Cu	200,7	23	1,55	311,1	76,3	979,4	106,4
15	Cu	183,4	23	1,93	354,0	69,7	895,0	97,2
18	Cu	318,7	23	2,34	745,8	121,1	1580,8	168,9
22	Cu	210,2	23	2,89	607,5	79,9	1095,1	111,4
28	Cu	243,3	23	4,52	1099,7	104,6	1304,1	128,9
35	Cu	66,1	23	7,24	478,6	28,4	381,4	35,0
42	Cu	170,5	23	8,88	1514,0	85,3	1038,3	92,1
54	Cu	254,9	23	11,63	2964,5	127,5	2133,5	193,7
64	Cu	22,9	23	19,17	439,0	12,6	202,4	17,4
yhteensä		1670,7			8514,1	21158,3	9610,1	28532,1

järjestelmä 2					putken hinta	putken asennus	eristeen hinta	eristeen asennus
koko	materiaali	L[m]	eristys	€/m	€	NH	€	NH
16	Unipipe	301,3	23	0,61	182,6	90,4	1494,4	159,7
20	Unipipe	357,2	23	0,81	290,0	107,2	1861,0	189,3
25	Unipipe	258,4	23	1,29	333,3	90,4	1385,0	137,0
32	Unipipe	241	23	1,79	432,4	84,4	1390,6	127,7
40	Unipipe	71,6	23	3,17	227,3	28,6	436,0	38,7
50	Unipipe	172,5	23	4,48	772,1	69,0	1148,9	93,2
63	Unipipe	248,7	23	5,45	1355,4	109,4	2198,5	189,0
75	Unipipe	17	23	7,11	120,9	8,2	169,5	12,9
yhteensä		1667,7			3714,0	17627,0	10083,9	28423,0

järjestelmä 3					putken hinta	putken asennus	eristeen hinta	eristeen asennus
koko	materiaali	L[m]	eristys	€/m	€	NH	€	NH
16	Unipipe	477,3	23	0,61	289,2	143,2	2367,4	253,0
20	Unipipe	235	23	0,81	190,8	70,5	1224,4	124,6
25	Unipipe	289,5	23	1,29	373,5	101,3	1551,7	153,4
32	Unipipe	219,1	23	1,79	393,1	76,7	1264,2	116,1
40	Unipipe	23,8	23	3,17	75,5	9,5	144,9	12,9
50	Unipipe	171,4	23	4,48	767,2	68,6	1141,5	92,6
63	Unipipe	239	23	5,45	1302,6	105,2	2112,8	181,6
75	Unipipe	17	23	7,11	120,9	8,2	169,5	12,9
yhteensä		1672,1			3512,7	17493,0	9976,4	28411,4

## Liite 2: Massa-, materiaali ja työkustannukset

järjestelmä 4					putken hinta	putken asennus	eristeen hinta	eristeen asennus
koko	materiaali	L[m]	eristys	€/m	€	NH 30	€	NH
12	Cu	295,6	23	1,55	458,2	112,3	1442,5	156,7
15	Cu	237,1	23	1,93	457,6	90,1	1157,0	125,7
18	Cu	214,6	23	2,34	502,2	81,5	1064,4	113,7
22	Cu	262,4	23	2,89	758,3	99,7	1367,1	139,1
28	Cu	213,8	23	4,52	966,4	91,9	1146,0	113,3
35	Cu	12,6	23	7,24	91,2	5,4	72,7	6,7
42	Cu	173,7	23	8,88	1542,5	86,9	1057,8	93,8
54	Cu	242,6	23	11,63	2821,4	121,3	2030,6	184,4
64	Cu	22,5	23	19,17	431,3	12,4	198,9	17,1
yhteensä		1674,9			8029,1	21046,9	9537,1	28512,2