

# Kandidaatintyö: Vesikiertokeskuslämmitysjärjestelmien putkistolaskenta ja perussäätö

Lasse Kärkkäinen

Aalto-yliopisto - Teknillisen fysiikan ja matematiikan koulutusohjelma

4. marraskuuta 2013

Työn ohjaaja: Raimo P. Hämäläinen

Käyttöoikeus: CC-by-3.0: Nimi mainittava

## Kandidaatintyön aiheen esittely

Lämmitysjärjestelmäsimulaation perusteet

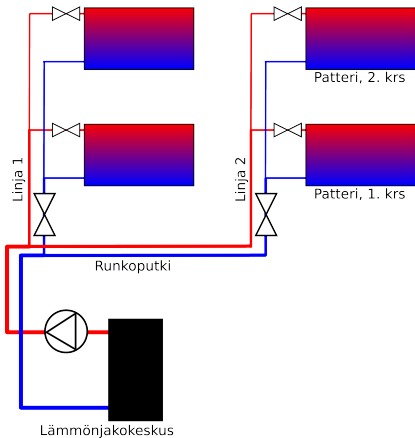
Verkostolaskenta

Lähteet ja lyhenteet

# Ratkaistava ongelma

- ▶ Täydellinen lämmitysverkostosimulaatio
  - ▶ Akateeminen mielenkiinto verkostohäviöiden vaikutukseen[1]
  - ▶ Täsmällinen mitoitus ilman insinöörin peukalovakioita
- ▶ Tekno-Innovaatio Oy:n laskentaohjelmiston uusiminen
  - ▶ Vanha ohjelma kirjoitettu BASIC-ohjelmointikielellä DOS-käyttöjärjestelmälle
  - ▶ Korvaava C++-sovellus graafisella käyttöliittymällä ja huomattavasti kattavammalla verkostomallinnuksella

# Verkoston rakenne ja komponentit



# Putkien mallinnus keskeisessä osassa

- ▶ Veden jäähtyminen putkessa:

$$\Theta_2 = \Theta_1 e^{-\alpha A / (\dot{m} c_w)}$$

- ▶ Virtausvastus ( $R_r$ ,  $\dot{m}_r$  putkikokohtainen viitetaso):

$$R_\mu = R_r \frac{\dot{m}}{\dot{m}_r}^{1.9}$$

- ▶ Painovoimainen vapaakierto vedelle nousuputkessa[2]:

$$R_n = \frac{\Delta \rho g h}{l} \approx \frac{1}{2} g \frac{t_{meno}^{1.8} - t_{paluu}^{1.8}}{(580 \text{ } ^\circ\text{C})^{1.8}} 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

# Lämpöpatterin esisäätöarvon laskenta

- ▶ Lämpöpatterin tehonluovutukselle  $\phi$  pätee[3]:  
$$\phi(\Theta_2^{-0.3} - \Theta_1^{-0.3})\Theta_{rl}^{0.3} = 0.3G_r(\Theta_1 - \Theta_2)$$
- ▶ Luovutettu teho halutaan huoneen tehontarvetta vastaavaksi
  - ▶ Tilojen tehontarvelaskenta ei sisälly työn tieteelliseen osaan
- ▶ Ratkaistaan tehonluovutuskaavasta  $\Theta_2$  puolitusmenetelmällä
- ▶ Saadaan vesivirta:  $\dot{m} = \frac{\phi}{c_w(\Theta_1 - \Theta_2)}$
- ▶ Kun paine-ero ja vesivirta tunnetaan, saadaan kv-arvo määritelmän mukaan ja edelleen es-arvo taulukkotietona

## Linjojen tasapainotus paine-eromenetelmän mukaan

- ▶ Jokaiseen linjaan sama ennalta valittu paine-ero[4]
- ▶ Ohjelma laskee esisäätöarvot tunnettujen vesivirtojen mukaan
- ▶ Varmennetaan säädön jälkeen linjoista tehtävin mittauksin

# Vesivirtojen ja paine-erojen laskenta

- ▶ Verkoston mallinnus puurakenteena, jonka juuressa on lämmönjakokeskus ja lehdissä patterit
- ▶ Iteratiivinen algoritmi
  1. Laske vesivirrat kaikissa verkoston osissa (puurekursio)
  2. Laske vesivirtoja vastaavat putkiston lämpöhäviöt
  3. Toista, kunnes vesivirrat eivät enää merkittävästi muutu
- ▶ Painehäviöt ja säätöarvot voidaan laskea iteraatiossa saaduilla vesivirroilla
- ▶ Valmista ohjelmaa käytetään todellisten kohteiden perussäätöön ja todetaan mittauksin simulaation paikkaansapitävyys



# Kirjallisuusviitteet

- [1] Kärkkäinen, Aatos: *Gasfri påfyllning av värme- och kylsystem samt injustering av radiatorsystem*, Del 2 (2010).
- [2] Petitjean, Robert: *Total Hydronic Balancing - A handbook for design and troubleshooting of hydronic HVAC systems*. Tour & Andersson AB, 3rd Edition, ISBN 91-631-6200-8, Responstryck, Borås, Sweden (2004).
- [3] Lampinen & Wiksten: *Theory of effective heat-absorbing and heatemitting temperatures in entropy and exergy analysis with applications to flow systems and combustion processes*. Journal of non-equilibrium thermodynamics, ISSN 0340-0204, 2006, vol. 31, no 3, pp. 257-291) (2006).
- [4] Mandorff, Sven: *Inreglering av värmesystem, Statens råd för byggnadsforskning, Rapport 78, Elanders boktryckeri AB, Göteborg (1962).*

## Lyhenteet

Vakio	Arvo	Selite
$c_w$	4190 J/(kgK)	Veden ominaislämpökapasiteetti
Muuttuja	Yksikkö	Merkitys
$\dot{m}$	kg/s	Massavirta (vedellä vastaa l/s)
$\alpha$	W/(m <sup>2</sup> K)	Putken lämmönluovutuskerroin
A	m <sup>2</sup>	Putken ulkopinta-ala
$\Theta_1, \Theta_2$	K	Sisääntulevan (1) ja ulostulevan (2) veden lämpötila suhteessa ympäröivään ilmaan
$l$	m	Putken pituus (yht. meno ja paluu)
$\Delta\rho$	kg/m <sup>3</sup>	Nesteen lämpölaajenemisesta aiheutuva tiheydenmuutos
$t_{meno}, t_{paluu}$	°C	Meno- ja paluuveden (keskimääräiset) lämpötilat vastaavassa putkiparissa
$R_\mu, R_r, R_n$	Pa/m	Virtausvastus, sen viitetaso ja vapaakierto
$\phi$	W	Lämpöpatterin huoneeseen luovuttama teho
$G_r$	W/K	Patterin nimellinen lämmönluovutuskerroin patteritaulukosta
$\Theta_{rl}$	K	Nimellinen log. keskilämpötila patteritaulukosta: $(\Theta_1 - \Theta_2)/\ln(\Theta_1/\Theta_2)$