

Vesa Kemppainen

# Patteriverkoston perussäätö: Matalavirtamenetelmä ja lämpöjohtopumppujen säätömuotojen tarkastelu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

30.1.2014

<p>Tekijä Otsikko</p> <p>Sivumäärä Aika</p>	<p>Vesa Kemppainen Patteriverkoston perussäätö: Matalavirtamenetelmä ja lämpöjohtopumppujen säätömuotojen tarkastelu</p> <p>34 sivua + 1 liite 30.1.2014</p>
<p>Tutkinto</p>	<p>insinööri (AMK)</p>
<p>Koulutusohjelma</p>	<p>talotekniikka</p>
<p>Suuntautumisvaihtoehto</p>	<p>LVI-suunnittelu</p>
<p>Ohjaajat</p>	<p>lehtori Hanna Sulamäki tekniikan tohtori Aatos Kärkkäinen</p>
<p>Työn tarkoituksena oli esitellä vesikiertoisen patteriverkoston toiminnan optimoimiseen tärkeitä tekijöitä. Patteriverkoston suunnittelussa, säädössä ja toteutuksessa käytetään useampia toisistaan poikkeavia tapoja, joilla kaikilla on omat hyvät ja huonot puolensa. Tässä työssä esitellään muun muassa matalavirtamenetelmää.</p> <p>Työn ohjauksesta yrityksen puolesta vastasi Aatos Kärkkäinen, jonka yritys on tämän työn tilaaja. Kärkkäisellä on useamman vuosikymmenen kokemus lämmitysverkostojen parissa työskentelystä. Työssä käytettiin yhtenä lähteenä Kärkkäisen väitöskirjaa, joka käsittelee patteriverkoston säätöä ja tasapainotusta.</p> <p>Matalavirtamenetelmän lisäksi toinen keskeinen asia työssä on nykyaikaisten taajuusmuuttajapumppujen toiminnan tarkastelu. Taajuusmuuttajapumppujen toimintaa on arvioitu paine-eromittauksien avulla. Mittauksin haluttiin selvittää, kuinka taajuusmuuttajapumppu todellisuudessa toimii tilanteessa, jossa vesivirta ja täten myös painehäviö verkostossa laskee nopeasti. Tulokset osoittivat, että taajuusmuuttajapumppujen säätömuoto vaikuttaa olennaisesti verkoston toimivuuteen. Menoveden lämpötilan mukaan säätyvän pumpun havaittiin toimivan muilla tarkastelluilla säätömuodoilla toimivia pumppuja paremmin.</p> <p>Työn tilaaja tulee mahdollisuuksien mukaan hyödyntämään tätä työtä toiminnassaan esittelemällä muun muassa saatuja mittaustuloksia yhteistyökumppaneilleen.</p>	
<p>Avainsanat</p>	<p>lämmitys, patteriverkosto, perussäätö, taajuusmuuttaja, matalavirtamenetelmä</p>

Author Title	Vesa Kemppainen Balancing of radiator heating system: Low-flow system and re- view of operation of heating pumps
Number of Pages Date	34 pages + 1 appendice 30 January 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering
Instructors	Hanna Sulamäki, Senior Lecturer Aatos Kärkkäinen, Doctor of Science in Technology
<p>The aim of this final year project was to present some of the facts that have an effect on the operation of a radiator heating system. Of the various ways that a radiator heating system can be designed, adjusted and implemented, this project focused mainly on the low-flow system.</p> <p>The Bachelor`s thesis was based on literature research, above all on a doctoral dissertation on the adjustment and balancing of a radiator heating system.</p> <p>In addition to presenting the low-flow system, the thesis also reviewed modern pumps with integrated frequency converters by taking differential pressure measurements. The measurements were taken to see how the pumps actually work in a situation where the water flow diminishes and thus also the pressure in the system drops. The result showed that the setting of the pump is an essential part of a well-functioning heating system.</p> <p>The results gained in the final year project will be presented to interested parties.</p>	
Keywords	heating, radiator heating system, balancing of radiator heating system, frequency converter, low-flow system

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Patteriverkoston perussäätö	2
3	Patteriverkoston mitoituslämpötilaero	7
4	Termostaattiset patteriventtiilit	9
5	Lämmitystehontarpeen tarkastelu ilmaistehot huomioiden	10
6	Patterin lämmönluovutus	12
7	Verkostossa vallitseva paine-ero ja painehäviöt	15
8	Matalavirtamenetelmä	16
9	Lämpöjohtopumput	20
9.1	Taajuusmuuttajien käyttö pumpuissa	23
9.2	Toimintakäyrä	24
9.3	Pumpun sähköverkosta ottama teho	24
9.4	Kolmeks FCC- ja Grundfos Magna -kiertovesipumppujen toiminta	25
9.4.1	Grundfos Magna 40-120, asunto-osakeyhtiö Katinlieko	27
9.4.2	Grundfos Magna 50-60F, asunto-osakeyhtiö Nurkkapuisto	27
9.4.3	Kolmeks L65A/4FCC, asunto-osakeyhtiö Satakielenrinne	28
9.5	Menoveden lämpötilan mukaan säätyvien Wilon Stratos-sarjan pumppujen käyttö	29
10	Yhteenveto	32
	Lähteet	34
	Liitteet	

Liite 1. Lämmitystehontarpeen tarkastelun kohteena olleen asunnon pohjapiirros, lämmitystehontarpeen tarkastelu ilmaistehot huomioiden

## 1 Johdanto

Työssä keskitytään olemassa olevien kaukolämpöverkkoon liitettyjen kerrostalojen patteriverkostojen perussäätöön ja esitellään energiataloudellisuuden kannalta merkittäviä lämmitysjärjestelmän varusteita ja suunnitteluun liittyviä tekijöitä. Työ tehdään Termotohtori Oy:lle, jonka palveluihin kuuluu muun muassa patteriverkoston perussäätö. Työhön sisältyy Termotohtori Oy:n säätämien kohteiden mittauksia ja tulosten esittelyä.

Perussäädössä on kyse siitä, että patteriverkoston toiminta suunnitellaan niin, että kaikkialla rakennuksessa huonelämpötilat ovat suunnitelmien mukaisesti tasaiset ja tietyllä halutulla tasolla. Patteriverkoston perussäätöön liittyviä asioita ovat muun muassa patteriverkoston mitoituslämpötilat, lämpöjohtopumpun valinta ja säätö sekä verkoston tasapainotus. Tässä työssä esitellään näiden perussäädön kannalta olennaisten tekijöiden vaikutusta kokonaisuuteen. Työssä perehdytään myös pattereiden lämmönluovutuksen teoreettisiin perusteisiin.

Työn keskeisenä tavoitteena on tuoda esille muutamia patteriverkostojen suunnittelussa ja säädössä vähemmän käytettyjä tapoja kuten matalavirtamenetelmä, lämmitysverkoston tasapainotus paine-eromenetelmällä ja säätömuodon käyttö, jossa lämpöjohtopumpun nostokorkeus säätyy patteriverkoston menovesilämpötilan mukaan. Tällöin lämmityskauden alkupuolella tai loppupuolella, jolloin patteriventtiilit ovat lähes kiinni, nostokorkeuden säätymisellä menoveden lämpötilan mukaan saavutetaan äänen kannalta edullinen tilanne.

Työssä tarkastellaan myös verkostossa vallitsevan paineen merkitystä verkoston toimivuuteen ja siihen liittyen lämpöjohtopumppujen erilaisten säätötapojen vaikutusta verkostossa vallitseviin painetasoihin. Työhön sisältyy pumppujen aikaansaaman paineen mittaustuloksien esittelyä ja arviointia. Lisäksi työssä esitetään vuonna 2012 perussäädetyin Asunto Oy Helsingin Aleksis Kiven katu 11:n patteriverkoston mitoitusarvojen muutokset aiempiin suunnitelmiin verrattuna.

Termotohtori Oy tulee käyttämään tätä työtä mahdollisuuksien mukaan toiminnassaan hyödyksi esitellessään yhteistyökumppaneilleen esimerkiksi saatuja mittaustuloksia.

## 2 Patteriverkoston perussäätö

Patteriverkoston perussäätö tarkoittaa patteriventtiileille ja linjasäätöventtiileille asetettavien esisäätöarvojen suunnittelua ja toteutusta. Perussäädön tarkoituksena on poistaa huoneiden väliset lämpötilaerot. Yleensä perussäätösuunnittelu tehdään niin, että huonelämpötilaksi saadaan enimmillään noin 21–22 °C. Termostaatin avulla voidaan kuitenkin pienentää virtaamaa patterille, jolloin tarvittaessa saadaan huone viileämmäksi. Yksittäisten huoneiden kohdalla voidaan lämpötilaa tarvittaessa myös nostaa suunnitelmallisesta patteriventtiin esisäätöarvoa korottamalla ja mahdollisesti myös termostaatin rajoituslämpötilaa muuttamalla. Tällaiset säätötoimenpiteet kuitenkin saattavat tasapainotuksen jälkeen laajemmissa määrin tehtyinä johtaa lämmitysverkoston epätasapainoon. On otettava huomioon, että tässä työssä esiteltävällä matalavirtamenetelmällä säädettäessä yksittäiset patteriventtiilien esisäätöarvojen muutokset eivät johda niin herkästi lämmitysjärjestelmän epätasapainoon.

Perussäädössä on lähtökohtaisesti siis kyse siitä, että patteriventtiileille valitaan tietty suunnittelupaine-ero, jonka perusteella patteriventtiileille lasketaan esisäätöarvot niin, että saadaan tarvittava vesivirta pattereille. Toisin sanoen kyse on siitä, että jokaiselle patterille lasketaan tarvittava vesivirta niin, että saavutetaan huoneen tarvitsema lämpöteho. Näin lasketulla vesivirralla lasketaan edelleen patteri- ja linjasäätöventtiilien esisäätöarvot. On huomattava, että varsinkin osassa vanhoista kerrostaloista putkiston painehäviö on niin pieni, että säätö tapahtuu käytännössä patteriventtiileiden ja lämpöjohtopumpun avulla. Linjasäätöventtiilit jätetään näissä tapauksissa täysin auki.

Patteriverkostoja mitoitettaessa on eri aikoina käytetty vaihtelevia mitoituskriteerejä, joista osa on johtanut patteriverkostojen ylimitoitukseen, joka sinänsä ei ole haitallista. Jos ylimääräiset tehot kuristetaan pienemmillä vesivirroilla, tämä johtaa parempaan kaukolämmön jäähtymään. Ylimitoituksen lisäksi myös patteriverkostojen perussäätö on edelleen monissa asuinrakennuksissa joko puutteellisesti toteutettu tai jäänyt kokonaan tekemättä. Näissä perussäätämättömissä kohteissa tilanne on usein se, että lämmitetään kylmimpien huoneistojen mukaan eli lämmönjakohuoneeseen nähden kauimmaisten huoneistojen mukaan. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että ensisijaisesti nostetaan menoveden lämpötilaa ja mahdollisesti myös pumppu säädetään toimimaan korkeammalla teholla. Tästä seuraa pumppua lähinnä olevien tilojen yllilämpenemistä, josta seurauksena on siis turhaa energiankulutusta. Huolellisella perussäädöl-

lä voidaan parantaa merkittävästi olemassa olevien puutteellisesti tai ei ollenkaan säädettyjen patteriverkostojen energiatehokkuutta ja toimintaa.

Patteriverkostojen perussäätö ja siihen sisältyvä tasapainotus on tärkeää toimivuuden kannalta. Näin ei ole kuitenkaan aina ajateltu olevan, vaan vielä 1970-luvulla patteriverkoston perussäätöä nykyisessä muodossaan pidettiin jopa tarpeettomana, jos käytettiin termostaattisia patteriventtiilejä. [1]

Patteriverkoston perussäätö tulisi tehdä ainakin silloin, kun rakennuksen lämpöhäviöt pienenevät joko lisäeristyksien tai ikkunoiden uusimisen myötä. Lisäksi perussäätö olisi hyvä tehdä myös aina patteriventtiilien vaihtamisen yhteydessä. Arviolta noin 75 % Suomen asuinrakennuskannasta on puutteellisesti säädetty [2].

Patteriverkoston perussäädöllä saadaan oikein tehtynä rakennuksen lämmitysjärjestelmä toimivaksi niin äänen kuin huonelämpötilojen suhteen. Tasainen ja tavoiteltu sisälämpötila kaikkialla rakennuksessa on tärkeää paitsi asumisviihtyvyyden, niin myös lämmitysenergiankulutuksen kannalta. Jo 1 °C liian korkea sisälämpötila tarkoittaa lämmitysenergiankulutuksen kasvua jopa 5 %. Energiasäästöjen lisäksi perussäädöllä saavutetaan myös parempi asumisviihtyvyys, koska lämpötilat pysyvät tasaisina kaikkialla rakennuksessa oikeiden säätöjen ansiosta.

Patteriverkoston perussäätöön kuuluu patteriverkoston suunnittelu ja ja verkoston tasapainoon liittyvät mittaukset. Patteriverkoston perussäätöön olennaisena osana kuuluvan tasapainotuksen tarkoituksena on korjata suunnittelussa mahdollisesti syntyneet virheet ja huomioimatta jääneet verkoston toimintaan liittyvät tekijät. Tasapainotuksella siis tarvittaessa hienosäädetään verkoston vesivirrat suunnitelmien mukaisiin arvoihin. Tasapainotuksessa käytettyjä tapoja ovat vesivirtojen mittaukset linjasäätöventtiileiltä ja linjojen paine-eromittauksiin perustuva tapa, jota kutsutaan myös vakiopainemenetelmäksi [4]. Paine-eromenetelmällä päästään tarkempaan lopputulokseen, sillä verkoston tasapainotus on vaikeampi toteuttaa tarkasti vesivirtojen mittaamiseen perustuvalla tasapainotuksella, koska vesivirrat mitataan linjasäätöventtiilin yli venttiilin mittayhteiltä. Varsinkin pienemmillä virtaamilla linjasäätöventtiilien virhemarginaalit saattavat olla suuria, minkä takia vesivirtojen mittaus venttiilin mittayhteiltä on joissain tapauksissa epätarkkaa. Paine-eromenetelmässä mitataan linjojen paine-eroa meno- ja paluupuolen yli eli linjasäätöventtiilin runkoputken puoleiselta mittayhteeltä ja menopuolen sulkuventtiilille asennetulta mittayhteeltä. Vaihtoehtoisesti paine-eroa voidaan mitata pat-

terille asennetuilta mittayhteiltä (ks. kuva 7). Paine-eromenetelmässä siis mitataan suoraan sitä paine-eroa, joka on käytettävissä patterille. Virtaamien mittaukseen sisältyy myös riski siitä, että linjasäätöventtiiliä kuristetaan tarpeettomasti tilanteessa, jossa patteriventtiileiden esisäädöt ovat jääneet säätämättä eli ovat täysin auki -asennossa. Tällöin virtausmittaus osoittaa, että virtaama on suunnitelmalliseen nähden liian suuri, jolloin virtausta pyritään pienentämään linjasäätöventtiilistä kuristamalla. Tällainen menettely ei ole energiatehokkuuden kannalta hyväksi, vaan aina tulisi pyrkiä saavuttamaan tarvittavat virtaamat mahdollisimman vähillä linjasäätöventtiileiden kuristamisilla. Käytännössä virtausmittauksin tehtävä tasapainotus tarkoittaa myös sitä, että linjasäätöventtiileillä joudutaan kaikissa tapauksissa kuristamaan vähintään niin, että saadaan 3 kPa:n painehäviö venttiilin yli [5]. On huomattava, että linjasäätöventtiileillä kuristaminen on käytännössä pumpun aikaansaamaan paineen mitätöimistä. Paine-eromenetelmällä säädettäessä etuna on myös se, että verkoston etäisin linjasäätöventtiili voidaan jättää aina auki, jolloin päästään vielä hieman paremmalle tasolle verkoston painehäviöiden suhteen verrattuna vesivirtojen mittauksiin perustuvaan tapaan.

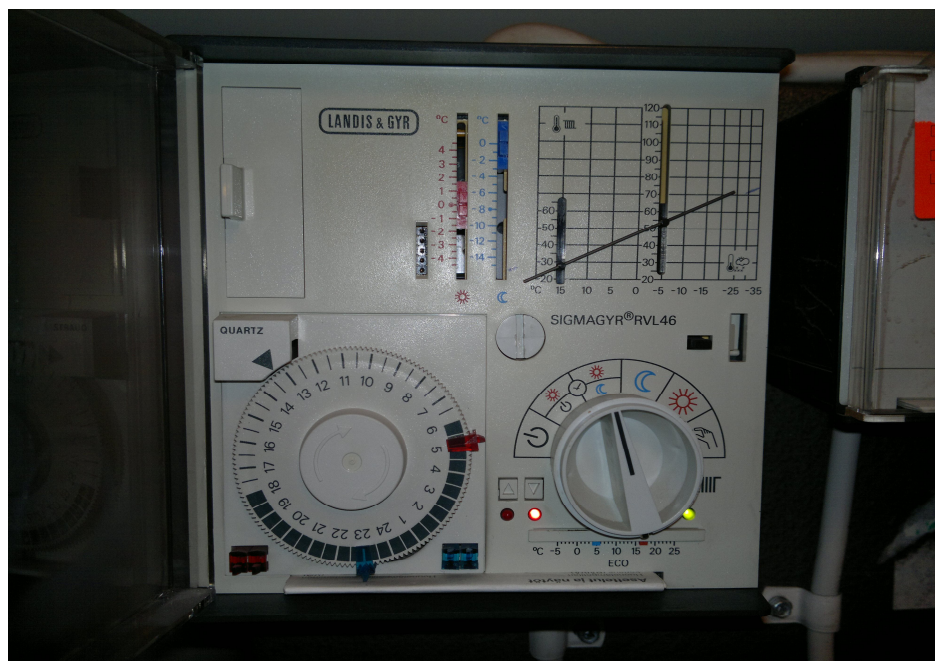
## 2.1 Menovesikäyrän asettaminen

Menovesikäyrä voidaan useimmiten asetella lämmönjakokeskuksella olevasta lämmönsäätimestä. Yleisimmin asuinrakennuksissa nykyään käytettävä lämmönsäädin on Oumanin EH-203 (kuva 1). Vanhemmissa lämmönjakokeskuksissa on vielä käytössä myös esimerkiksi Landis&Gyrin Sigmagyr RVL46 -säätimiä (kuva 2).





Kuva 1. Ouman EH-203 -lämmönsäädin



Kuva 2. Sigmagyr RVL46 -lämmönsäädin

Nykyaikaisempi Ouman EH-203 on digitaalisesti säädettävä, kun taas Sigmagyr-säätimeltä menovesikäyrää säädetään manuaalisesti liikuttamalla käyrää.

Menovesikäyrän asettelussa tulee muistaa tehdä käyrään korotus ulkolämpötilan 0 °C kohdalle, koska pitkäaikaisten havaintojen perusteella tiedetään, että ulkolämpötilan ollessa noin 0 °C tuulee ja sataa usein. Tuuli ja sade lisäävät lämpöhäviöitä, mikä tulee ottaa huomioon käyrän asettelussa verrattain korkeampana menoveden lämpötilana.

Suomen olosuhteissa tavanomaisilla patteriverkoston mitoituslämpötiloilla patteriverkoston menoveden lämpötilan muuttaminen 2 °C muuttaa huonelämpötiloja noin 1 °C. Keski-Euroopassa alhaisemmillä mitoituslämpötiloilla voidaan tarvita lähemmäs 3 °C:n muutos menoveden lämpötilaan, jotta huonelämpötilat muuttuisivat 1 °C:n verran. [6]

Säätimissä on monesti mahdollisuus yöalennuksen asettamiseen, mutta asuinkerrostoissa yöalennus on harvemmin käytetty ihmisten moninaisten asumistottumuksien takia. Yöalennuksella tehtävän menoveden lämpötilan sijaan energiatehokkuuden lisäämiseksi voidaan käyttää patteritermostaatteja, joihin kukin asukas pystyy itse asettelemaan haluamansa lämmitystehon alennukset säätämällä termostaatin rajoituslämpötilan alemmaksi esimerkiksi työpäivän ajaksi. Tällaisia termostaatteja tarjoaa ainakin Danfoss. Kyseisellä toiminnolla varustetut termostaatit ovat kuitenkin ainakin tällä hetkellä perusmalleihin verrattuna niin kalliita, että niitä harvemmin käytetään. Lisäksi voidaan olettaa, että melko harva asukas käytännössä käyttäisi kalliimman mallin tarjoamia lisäsäätöominaisuuksia.

Ulkoanturi yhdessä säätöjärjestelmään asetellun säätökäyrän kanssa ohjaa menoveden lämpötilaa ulkolämpötilan mukaan. Käytännössä siis sekä ulkoisten että sisäisten kuormien lämmittävä vaikutus jää tällöin huomioimatta menoveden lämpötilan säätymisessä. Suunnitteluvaiheessa voidaan tietenkin määrittellä jokin karkea ilmaistehojen määrä, mutta tarkasti sitä on vaikea tehdä jo pelkästään ihmisten erilaisten asumistottumuksien takia. Ulkoista kuormaa aiheuttaa auringon säteily ja sisäisiä esimerkiksi ihmiset ja laitteet. Näiden tekijöiden aiheuttamaa lämpökuormaa huoneessa pystytään kuitenkin kompensoimaan patteritermostaatilla, joka säätelee virtaamaa patterille sulkemalla tai avaamalla venttiiliaukkoa. Termostaatti onkin lähinnä ilmaistehojen hyödyntämiseen suunniteltu, ja varsinainen virtaaman säätö patterikohtaisesti tehdään patteriventtiilin esisäätöarvolla.

Menoveden lämpötilan määräytyminen ulkolämpötilan mukaan on selvästi yleisin tapa. Kuitenkin markkinoille on hiljattain tullut myös järjestelmä, joka säätelee menoveden lämpötilaa asuntojen keskilämpötilan mukaan. Tällaisen järjestelmän ongelmana on

kuitenkin usein ainakin asuntokohtaisten lämpötila-anturien sijoittaminen. Toisekseen ihmisten elintottumukset ovat varsin vaihtelevia, minkä takia asuntojen keskilämpötilojen mukaan on vaikeaa muodostaa täysin sopivaa säätöä menoveden lämpötilalle. Lisäksi asuntojen keskilämpötilan mukaan menoveden lämpötilaa säätelevän järjestelmän käyttökokemukset ovat vielä vähäisiä. Kaiken lisäksi kyseisen järjestelmän investointikustannukset ovat suhteellisen suuret.

### 3 Patteriverkoston mitoituslämpötilaero

Patteriverkoston mitoituslämpötilaero tarkoittaa verkoston meno- ja paluuputkistoissa virtaavan veden suunnitelmallista lämpötilaeroa. Aiemmin Suomessa käytettiin mitoituslämpötilaerona 20 °C, mutta sittemmin on ollut käytössä pitkään 70/40 eli 30 °C. Uudistuotannossa käytetään kuitenkin 45/30 eli 15 °C mitoituslämpötilaeroa. Energia-teollisuus ry:n laatiman rakennusten kaukolämmitystä käsittelevän julkaisun K1/2013 taulukossa K esitetään olemassa olevien rakennusten lämmönsiirtimien mitoituslämpötilat [7]. Käytännössä mitä suuremmalla lämpötilaerolla patteriverkosto pystytään suunnittelemaan, sitä pienempi on tarvittava virtaama. Pienemmän virtaaman ansiosta voidaan teoriassa myös käyttää halkaisijaltaan pienempiä lämpöjohtoputkia, mutta painehäviöiden kannalta liiallinen pienentäminen on haitallista. Suurella mitoituslämpötilaerolla patterien keskilämpötilat ovat verrattain matalia, mikä tarkoittaa, että teoriassa tarvittava patteripinta-ala kasvaa. Uudistuotannon pienen mitoituslämpötilaeron mahdollistaa rakennusten huomattavan paljon parempi eristävyys, jolloin lämpöhäviöt ovat varsin pienet. Tarvittavat virtaamat ovat siis jo luonnostaan alhaiset.

Suomessa rakennuskannan enemmistön patteriverkostojen mitoitusperiaatteena on ns. 70/40 °C -järjestelmä, jossa patteriverkoston menoveden mitoituslämpötila on siis 70 °C ja paluueden mitoituslämpötila 40 °C. Osittain myös tällä mitoitusperiaatteella tehdyissä verkostoissa patterit ovat ylimitoitettuja, mutta erityisesti ylimitoitusta on aiemmin käytetyssä 80/60 °C -järjestelmässä. Esimerkiksi tässä työssä tarkasteltavan 70/40 °C -järjestelmällä mitoitettun asunto-osakeyhtiö Aleksis Kiven katu 11:n laskelmat osoittavat, että tarvittava teho on korkeintaan 70 % mitoitustehosta. Tässä työssä käsiteltävää ns. matalavirtamenetelmää voidaan hyödyntää patteriverkoston perussäädössä juuri edellä kuvatussa tilanteessa, jossa patterit ovat ylimitoitettuja suhteessa tarvittuun lämpötehoon.

Mitoituslämpötilaeron vaikutusta massavirtaan voidaan tarkastella seuraavalla kaavalla.

$$q_m = \frac{\emptyset}{c_p \cdot (\theta_1 - \theta_2)} \quad (1)$$

$q_m$  on massavirta (kg/s)

$\emptyset$  on lämmitysteho (kW)

$c_p$  on veden ominaislämpökapasiteetti (kJ/kg°C)

$\theta_1$  on menoveden lämpötilan ja huonelämpötilan välinen erotus (°C)

$\theta_2$  on paluueden lämpötilan ja huonelämpötilan välinen erotus (°C)

Voidaan tarkastella esimerkiksi 80/60- ja 80/40-järjestelmien (menoveden lämpötila/paluueden lämpötila) massavirtaa, kun vaadittu lämmitysteho on 100 kW. Huonelämpötilana käytetään 20 °C.

$$q_{m,80/60} = \frac{100}{4,18 \cdot [(80-20) - (60-20)]} = 1,196 \text{ kg/s}$$

$q_{m,80/60}$  on massavirta, kun menoveden lämpötila on 80 °C ja paluueden lämpötila 60 °C (kg/s)

$$q_{m,80/40} = \frac{100}{4,18 \cdot [(80-20) - (40-20)]} = 0,598 \text{ kg/s}$$

$q_{m,80/40}$  on massavirta, kun menoveden lämpötila on 80 °C ja paluueden lämpötila 40 °C (kg/s)

Huomataan, että suuremmalla mitoituslämpötilaerolla saavutetaan tarvittu lämmitysteho selvästi pienemmällä virtaamalla.

Mitoituslämpötilaero on riippuvainen rakennuksen rakentamisvuodesta johtuen muuttuneista rakentamismääräyksistä. Patteriverkostojen mitoituslämpötiloja on voitu laskea vuosien mittaan rakentamismääräysten tiukentumisen takia erityisesti uudisrakennuksissa, mutta myös osin vanhassa rakennuskannassa julkisivusaneerausten ansiosta. Ennen 1970-lukua menoveden mitoituslämpötilana uudisrakennuksissa käytettiin jopa

90 °C:ta. 1970-luvulla mitoituslämpötila laski yleisesti 80 °C:seen ja 1980-luvulla 70 °C:seen [8]. Menoveden mitoituslämpötilaa on voitu laskea, koska rakenteiden eristävyys on parantunut huomattavasti, mistä johtuen lämpöhäviöt ovat pienentyneet merkittävästi. Tämän takia rakennusten lämmittämiseen tarvitaan nykyisin vähemmän energiaa, koska rakenteiden kautta ulos johtuva lämpöenergian määrä on pienentynyt.

Tavanomaisessa tilanteessa käytettäessä tavallisia patteriventtiilejä vähintään 30 °C:n mitoituslämpötilaerolla muodostuu usein epäedullinen tilanne vesivirtojen kannalta, koska tällöin osalle patteriventtiileistä tulee  $k_v$ -arvoksi alle 0.04–0.05, joka on yleisimmin käytettävien venttiilien säätöasteikon alaraja. Tämä ongelma on kuitenkin ratkaistavissa ns. matalavirtaventtiileillä, joita käyttämällä pienet  $k_v$ -arvot eivät johda ongelmiin verkoston toimivuuden kannalta. Esimerkiksi Danfoss RA-U -matalavirtaventtiilin mahdolliset  $k_v$ -arvot ovat välillä 0.016–0.30. Monesti kuitenkin varsinkin ylimmän kerroksen pattereiden  $k_v$ -arvot voivat olla yli 0.30, jolloin joudutaan käyttämään osaksi myös normaaleja patteriventtiilejä. Esimerkiksi DN10-kokoisen Danfoss RA-N -venttiilin mahdollinen  $k_v$ -arvo on välillä 0.04–0.5.

#### 4 Termostaattiset patteriventtiilit

Termostaattiset patteriventtiilit koostuvat mekaanisesta venttiiliosasta ja termostaattianturista. Termostaattiosa asennetaan joko venttiilin päälle tai kapillaariputken avulla seinälle. Termostaattisten patteriventtiilien avulla virtaama säätyy kulloisenkin lämmityshontarpeen mukaan. Termostaattiosan avulla saadaan siis hyödynnettyä ilmaislämpöä, jota syntyy ihmisistä, laitteista ja auringosta.

Venttiilirungon ja venttiililautasen välisen aukon suuruus määrää kuinka paljon vettä virtaa venttiilin läpi lämmönluovuttimeen. Aukon suuruus riippuu venttiilille asetettavasta esisäätöarvosta. Eri valmistajien patteriventtiilien esisäätöarvot poikkeavat toisistaan. Esimerkiksi Danfossin venttiileillä esisäätöarvot ovat välillä 1–7 (N), jossa N tarkoittaa, että aukko on täysin auki. Esisäätöarvo 1 on pienin mahdollinen esisäätöarvo Danfossin patteriventtiilille. Oraksen patteriventtiileissä esisäätöarvot ovat välillä 1–8.

Venttiililautasen asentoa säätelee termostaatti, joka tunnistaa huonelämpötilamuutokset. Huonelämpötilan noustessa yli termostaatin asetuksen termostaatti pienentää ve-

sivirtaa painamalla venttiilin karaa alaspäin. Esimerkiksi Danfossin termostaatin toiminta perustuu höyrytäytteiseen paljejärjestelmään. [9]

Venttiilin kapasiteetin osoittaa  $k_v$ -arvo, joka ilmaisee veden virtaamaan ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) venttiilin läpi, kun painehäviö venttiilin yli on 1 bar eli 100 kPa.

$k_v$ -arvo vedelle voidaan määrittellä seuraavalla kaavalla

$$k_v = \frac{q_v}{\sqrt{\Delta p}} \quad (2)$$

$q_v$  on virtaama venttiilin läpi ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

$\Delta p$  on paine-ero venttiilin yli (bar)

Yleisimmin käytetty mitoituspaine-ero patteriventtiilin yli on 4–5 kPa. Kuitenkin useimpien markkinoilla olevien pumppujen vähimmäistuotto on 10 kPa, minkä takia tietyissä tapauksissa olisi hyvä harkita mitoituspaine-erona patteriventtiilin yli jopa 10 kPa [10]. Erityisesti normaalia käytäntöä suuremman mitoituspaine-eron käyttöä kannattaisi harkita tilanteessa, jossa lämmönsiirtimen ja putkiston painehäviöt ovat pienet. Monissa 1980-luvulla tai aiemmin rakennetuissa asuinkerrostaloissa lämmitysverkoston putket ovat suurikokoisia suhteessa virtaamaan, jolloin kitkapainehäviöiden pienuuden takia painehäviöt putkistossa ovat alhaiset.

Suuremmalla mitoituspaine-erolla patteriventtiilin yli on merkittäviä etuja. Kun käytettävissä oleva paine-ero patteriventtiilillä on noin 10 kPa, venttiilin auktoriteetti on tällöin korkea. Korkea auktoriteetti mahdollistaa yksittäisten venttiilien säätöarvojen muutokset ilman, että se vaikuttaisi merkittävästi verkoston muiden verkoston osien virtaamiin. Lisäksi suuremmalla mitoituspaine-erolla linjasäätöventtiilien aiheuttamat virheet virtaamiin ovat pienemmät.

## 5 Lämmitystehontarpeen tarkastelu ilmaistehot huomioiden

Tarkasteltavana on Lahdessa osoitteessa Vesijärvenkatu 55 sijaitsevan asuinkerrostalon huoneiston A8 lämmitystehontarve ilmaistehot huomioiden. Asuinkerrostalo on valmistunut vuonna 1998. Tarkasteltava huoneisto sijaitsee 2. kerroksessa. Huoneistossa ei ole kylmää ala- tai yläpohjaa. Huoneiston pinta-ala on  $75 \text{ m}^2$ . Lämmityskauden

pituudeksi on määritetty 8 kk. Lämmityskausi on määritetty välille syyskuu–huhtikuu. Lämpöhäviöt on laskettu rakentamisvuoden aikana voimassa olleiden määräyksien mukaisilla U-arvoilla.

Huoneiston lämmitysenergiankulutus on laskettu Suomen rakentamismääräyskokoelman D5 mukaisesti. Laskennassa on käytetty D5:n kaavoja 3.9, 4.1, 4.2, 4.5, 4.6, 4.7, 4.9 ja 4.10. Laskennassa on siis otettu huomioon rakenteiden läpi johtuva lämpöenergia, vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia ja ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia. [11]

Tarkastelussa on kiinnitetty huomiota ns. ilmaistehojen vaikutukseen lämmitystehontarpeeseen. Henkilöiden luovuttama energia on arvioitu rakentamismääräyskokoelman D5 taulukon 8.1 mukaan [11]. Taulukosta saadaan asuinkerrostalohuoneistolle henkilöiden luovuttamaksi vuotuiseksi ominaislämpöenergiaksi 17 kWh/brm<sup>2</sup> eli 8 kuukauden lämmitysajanjaksolle 850 kWh. Lisäksi on huomioitu asuntoa lämmittävänä tekijänä vuotuinen sähkönkulutus, joka kyseisessä asunnossa on vuonna 2012 ollut 2200 kWh. Koska sähkönkulutuksen jakautumista eri sähkölaitteiden välillä ei ole tarkkaan tiedossa, valaistuksesta ja muista sähkölaitteista vapautuva lämpökuormaenergia on tässä tapauksessa arvioitu rakentamismääräyskokoelman D5 taulukon 8.3 mukaisella ominaislämpöenergialla, joka asuinkerrostalohuoneiston tapauksessa on 32 kWh/brm<sup>2</sup> [11]. Lämmityskauden aikainen sähkölaitteiden lämpökuorma on siis tämän arviolukeman perusteella 1600 kWh.

Tämän lämmitystehontarpeen laskentaesimerkin tarkoituksena on osoittaa ns. ilmaistehojen merkitys lämmityksen kannalta. Laskenta osoittaa, että ilmaistehot todellisuudessa pienentävät merkittävästi pattereilla tuotettavaa lämmitystehontarvetta. Tutkittavassa huoneistossa lämpötehoa pattereilta tarvitaan laskennan mukaan noin 78 % lämpötehontarpeesta ja lukemassa ei ole huomioitu ilmaistehoja ihmisistä ja laitteista. Laskennan kohteena ollut asuinhuoneisto on tietenkin vain suuntaa antava, koska ihmisillä on erilaisia asumistottumuksia. On myös huomattava, että vanhoissa rakennuksissa ilmaistehojen prosentuaalinen osuus lämmityksestä on keskimäärin pienempi kuin uudemmista huonomman lämmöneristävyyden takia.

Laskennassa ei ole otettu huomioon auringon säteilyn huoneistoa lämmittävää vaikutusta. Auringon säteilyn tuoma lämpö huoneistoon on lämmityksen kannalta merkittävässä osassa erityisesti keväällä ja syksyllä, kun lämmitystä tarvitaan öisin, mutta päi-

visin auringon säteily lämmittää huomattavasti huoneistoa. Kesällä auringon säteilyllä on tietenkin myös vaikutusta huonelämpötiloihin, mutta sillä ei ole merkitystä rakennuksen lämmitysenergian kulutuksen kannalta, koska kesäisin lämmitysenergiaa ei juuri kulu.

Huoneiston pohjakuva ja lämmitystehontarpeen laskenta on liitteessä 1. Liitteessä on taulukoituna lämmitystehontarpeen laskentaan tarvittavat lähtötiedot kuten rakenteiden U-arvot. Lisäksi taulukoituna on esitetty keskimääräinen lämmityskauden aikainen lämmitystehontarve huoneittain. Lämmitysenergian tarve (8384 kWh) on saatu kertomalla laskettu lämmitystehontarve ajalla. Lopuksi on esitetty arvio ns. nettolämmitysenergiatarpeesta (5934 kWh) vähentämällä lämmitysenergian tarpeesta ihmisistä ja laitteista tuleva arvioitu lämpöenergia.

## 6 Patterin lämmönluovutus

Patterin lämmönluovutuksen ja vesimäärän suhde ei ole lineaarinen, eli lämmönluovutus ei puoliinnu puolittamalla vesimäärä, vaan sitä on kuristettava paljon enemmän. Patteriin virtaavan veden määrää säätelee termostaattinen patteriventtiili. Termostaattiosan toiminta perustuu termodynamiikan lakiin, jonka mukaan aineen tilavuus pyrkii kasvamaan sen lämmitessä. [12]

Lämmönluovutuksen matemaattisessa mallissa yleensä ajatellaan, että lämmönsiirto-kerroin pysyy tasaisena patterin koko pinta-alalla. Tätä ajattelumallia käyttäen patterin lämpötila laskee eksponentiaalisesti suhteessa virtaamaan suuntaan.

Kaavalla 3 laskettavaa logaritmista yllämpötilaa käytetään kaavassa 4. Kaavalla 4 voidaan laskea patterin lämmönluovutusteho jollain tietyllä logaritmisella yllämpötilalla.

$$\theta_{ln} = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\ln \frac{\theta_1}{\theta_2}} \quad (3)$$

$\theta_{ln}$  on logaritminen yllämpötila (° C)

$\theta_1$  on menoveden lämpötilan ja huonelämpötilan välinen erotus (° C)

$\theta_2$  on paluueden lämpötilan ja huonelämpötilan välinen erotus (° C)



$$\emptyset = \emptyset_r \left( \frac{\theta_{ln}}{\theta_{lnr}} \right)^n \quad (4)$$

$\emptyset$  on patterin lämmönluovutusteho (kW)

$\emptyset_r$  on patterin lämmönluovutuksen vertailuteho, joka on laskettu tunnettu-  
jen vertailulämpötilojen mukaan (kW)

$\theta_{ln}$  on logaritminen yllämpötila (°C)

$\theta_{lnr}$  on vertailulämpötiloilla laskettu logaritminen yllämpötila (°C)

$n$  on patteriekspONENTTI, joka on levyattereille 1,3

[9]

Logaritmista mallia tarkempi tulos saadaan, kun otetaan huomioon, että lämmönsiirto-  
kerroin laskee virtaussuunnassa menoveden lämpötilan laskiessa, koska vapaa kon-  
vektio sekä säteily pienenevät. Tämä voidaan ottaa huomioon käyttämällä patterin  
lämmönluovutustehon laskennassa kaavaa 5, joka on johdettu Aatos Kärkkäisen väi-  
töskirjan kaavasta 17.17. [6, s.77].

$$\emptyset = \left[ \frac{G_r \times (\theta_1 - \theta_2) \times (n-1)}{(\theta_2^{1-n} - \theta_1^{1-n}) \times \theta_r^{n-1}} \right] : 1000 \quad (5)$$

$\emptyset$  on patterin lämmönluovutusteho (kW)

$G_r$  on vertailukonduktanssi, joka muodostuu valitusta vertailulämmön-  
luovutustehosta ja vertailulämpötiloista (W /°C)

$\theta_1$  on menoveden lämpötilan ja huonelämpötilan välinen erotus (°C)

$\theta_2$  on paluueden lämpötilan ja huonelämpötilan välinen erotus (°C)

$n$  on patteriekspONENTTI, joka on levyattereille 1,3

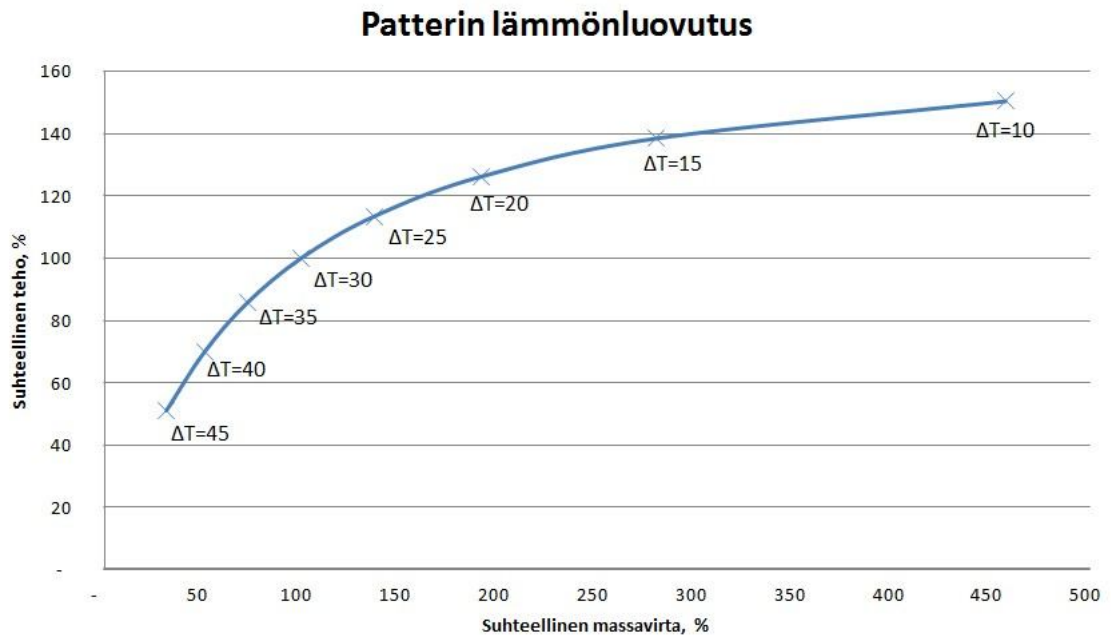
$\theta_r$  on vertailulämpötiloilla laskettu logaritminen yllämpötila (°C)

Suhteellinen teho voidaan laskea kaavalla 6 ja suhteellinen massavirta kaavalla 7.

$$\emptyset_{suht.} = \left( \frac{\theta_{ln}}{\theta_{lnr}} \right)^{1,3} \times 100 \quad (6)$$

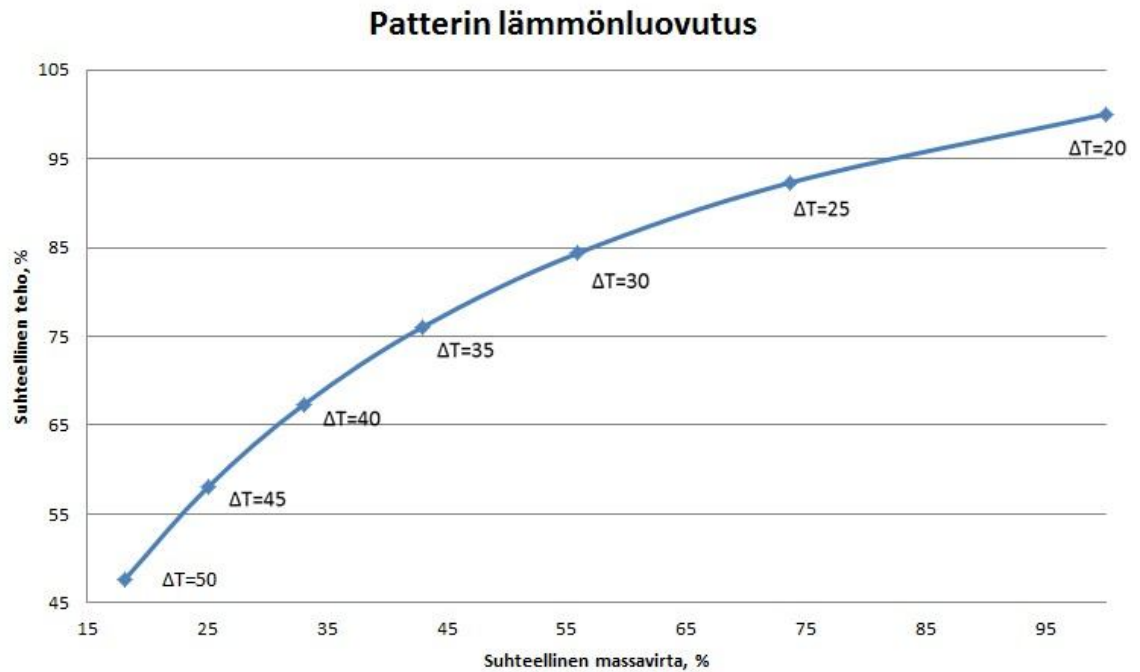
$$q_{m,suht.} = \frac{q_m}{q_{m,r}} \times 100 \quad (7)$$

Kuvien 1 ja 2 käyrät on tehty Excel-taulukkolaskentaohjelmalla. Laskennassa on käytetty kaavoja 5-7.



**Kuva 3. Patterin lämmönluovutus, vertailukohtana 70/40;1000W**

Kuvassa 3 on esitetty patterin lämmönluovutus suhteellisen tehon ja suhteellisen massavirran avulla. Tehon laskennassa on käytetty kaavaa 5. Laskennan lähtökohdaksi on valittu 70/40-järjestelmä ja 1 000 W:n lämmönluovutusteho, joka on siis diagrammissa kohta, jossa sekä suhteellinen teho että massavirta ovat 100 %. Diagrammista huomataan, että suurella meno- ja paluueden lämpötilaerolla ( $\Delta T$ ) saadaan suhteellisesti enemmän lämpötehoa kuin pienellä lämpötilaerolla. Esimerkiksi kun  $\Delta T = 10$  °C, on suhteellinen massavirta yli 450 %, mutta suhteellinen teho ainoastaan noin 150 %. Diagrammista voidaan myös todeta, että esimerkiksi mitoituksella 70/40-järjestelmässä on selvästi vielä tehoreserviä, vaikkakin tällöin joudutaan kasvattamaan massavirtaa.



Kuva 4. Patterin lämmönluovutus, vertailukohtana 80/60;1000W

Kuvassa 4 on kuvattu patterin lämmönluovutusta vertailtaessa tarvittavaa massavirtaa tilanteeseen, jossa menoveden lämpötila on 80 °C ja paluueden lämpötila 60 °C sekä lämmönluovutusteho 1000 W.

Yhteenvedona kuvien 3 ja 4 diagrammeista voidaan siis todeta, että olisi hyvä pyrkiä suhteellisen korkeaan jäähtymään patteriverkostossa, koska diagrammit osoittavat, että lämpötehoa saadaan suhteellisen paljon verrattain pienelläkin virtaamalla.

## 7 Verkostossa vallitseva paine-ero ja painehäviöt

Patterille käytettävissä oleva paine-ero on lähtökohtaisesti sitä pienempi, mitä kauempana patteri sijaitsee lämpöjohtopumpusta. Tämä johtuu putkiston painehäviöistä. Putkiston painehäviöiden aiheuttamaa epätasapainoa paine-eroissa voidaan tasapainottaa linjasäätöventtiilien avulla. Kuitenkin monissa vanhoissa rakennuksissa runkoputkistossa tapahtuvat painehäviöitä syntyy hyvin vähän, koska putket ovat suurikokoisia suhteessa virtaamaan, jolloin virtausvastus on pieni. Käytännössä siis näissä vanhoissa rakennuksissa pumpun aikaan saama paine-ero on vielä kauimmaisillakin pattereilla riittävä ilman linjasäätöventtiileillä tehtävää kuristusta. Kun putkistossa ei tapahdu merkittäviä painehäviöitä, on jopa suotavaa olla kuristamatta linjasäätöventtiileillä virtaa-

mia. Mahdolliset linjasäätöventtiilit tulisi siis näissä tapauksissa säätää täysin au-ki -asentoon. Verkoston säätö tapahtuu tällöin esisäädettävillä patteriventtiileillä ja läm-pöjohtopumpulla.

Monien vanhojen asuinkerrostalojen lämpöjohtopumpun tuotto eli sen aikaansaama tilavuusvirta verkostoon on aivan liian suuri todelliseen tarpeeseen verrattuna. Liian suuri tilavuusvirta tarkoittaa siis myös liian suurta paine-erotasoa. Todellisuudessa mit-tauksin on osoitettu, että vanhemmissa kerrostaloissa painehäviöt vaakaputkistossa ovat noin 14 Pa/m. [13, s.8]. Joissain rakennuksissa vaakaputkistojen painehäviö voi olla tätäkin alempi, jopa 5 Pa/m [6, s. 104]. Pumppu on usein ylimitoitettu 1980-luvulla tai sitä aiemmin rakennetuissa rakennuksissa. Kuitenkin nykyisin useimmiten viimeis-tään lämmönjakokeskuksen uusimisen yhteydessä pumpun vaihdon myötä tilanne pa-ranee.

Painehäviöiden suhde virtaamaan on kaavan 8 mukainen.

$$\frac{\Delta p_2}{\Delta p_1} = \left( \frac{q_{v2}}{q_{v1}} \right)^2 \quad (8)$$

$\Delta p$  on putkiston painehäviö (kPa)

$q_v$  on virtaama (m<sup>3</sup>/s)

Kaavasta 8 huomataan, että virtaaman puolittuessa painehäviö pienenee neljäsosaan. Putkiston painehäviöiden laskiessa jokaiselle patterille tarvittavan virtaaman saavutta-minen helpottuu. Lisäksi pumppauskustannukset pienenevät selvästi.

## 8 Matalavirtamenetelmä

Suomessa vesikiertoisia patteriverkostoja on suunniteltu matalavirtamenetelmällä suh-teellisen vähän. Ruotsissa matalavirtamenetelmän hyödyntäminen suunnittelussa sai alkunsa jo 1960-luvulla, kun Östen Sandberg [ks. 10] huomasi, että toimintalämpötiloil-le 80/60 mitoitettujen patteriverkostojen mitoitustehosta tarvittiin joissain tapauksissa todellisuudessa vain 50 %. Tästä johtuen näissä kyseisissä patteriverkostoissa mitoi-tusvesivirta laski arvoon noin 20 % aiemmasta. Tämä tehon ja vesivirran suhde ilme-nee myös kuvan 4 diagrammista. Siis jos menoveden lämpötila pidetään mitoitusar-

vossa ja massavirtaa pienennetään, jotta tarvittu alhaisempi teho saadaan, putoaa massavirta arvoon noin 20 % mitoitusarvosta ja putkiston painehäviö noin 4 % mitoitusarvosta, jolloin talon patteriventtiilit saadaan toimimaan käytännöllisesti katsoen samalla paine-erolla [5]. Jos ylimitoitus on vähäisempää siten, että tarvitaan esimerkiksi noin kaksi kolmasosaa mitoitusarvosta, putoaa vesivirta noin kolmasosaan patterin nimellisvesivirrasta. Tällöin menopaluu-lämpötilaeroksi tulee 40 astetta. Näitä järjestelmiä on kutsuttu Ruotsissa matalavirtajärjestelmiksi. Sandberg suunnittelikin onnistuneesti Kiirunassa sijaitsevan koulun verrattain vaikean patteriverkoston matalavirtamenetelmällä. Käytännössä siis virtaamaa voitiin laskea huomattavasti aiempaan verrattuna, jolloin painehäviöt putkistossa pienentyivät merkittävästi. Mitoituslämpötiloiltaan tyypillisiä matalavirtajärjestelmiä ovat 70/30- ja 80/40-järjestelmät. Olennaista matalavirtamenetelmässä on suhteellisen korkea menoveden lämpötila, jonka ansiosta pienemmällä virtaamalla saavutetaan tarvittu lämmitysteho. [10]

Matalavirtamenetelmää voidaan käyttää erityisesti vanhempien rakennusten saneerausten yhteydessä tehtävän lämmitysverkoston perussäätösuunnittelun perustana. Näiden matalavirtamenetelmää soveltaen uudelleen säädettävien vanhojen rakennusten lämmitysjärjestelmä on joissain tapauksissa ollut aiemmin selvästi ylimitoitettu. Käytännössä matalavirtamenetelmää voidaankin hyödyntää patteriverkoston saneeraus suunnittelussa vain silloin, kun lämmitysverkoston lämmönluovuttimet on ylimitoitettu suhteessa tarvittavaan lämpötehoon.

Matalavirtamenetelmällä on seuraavia etuja verrattuna perinteiseen korkeavirtamenetelmään:

- parantaa lämmönjakokeskuksen termistä suorituskykyä ja hyötysuhdetta
- antaa parhaimmat edellytykset asuntokohtaiseen lämpötilan mukavuussäätöön
- matalammat käyttökustannukset
- pienemmät investointikustannukset
- mahdollistaa lämmitysjärjestelmien luontaisten virheiden havaitsemisen tehokkaammin [10].

Kaukolämpöverkoston jäähtymän olisi hyvä olla mahdollisimman korkea kaikissa olosuhteissa. Jäähtymä tarkoittaa käytännössä meno- ja paluuputkiston lämpötilaeroa.

Mitä suurempi on meno- ja paluupuolen lämpötilaero, sitä paremmin energia käytetään hyödyksi. Matalavirtajärjestelmässä pyritään korkeaan lämpötilaeroon toisio- eli rakennuksen lämmitysverkoston meno- ja paluupuolen välillä eli suureen jäähtymään lämmitysverkostossa, joten se on myös kaukolämmön tuottajan kannalta edullinen vaihtoehto. Kaukolämpöjohtoverkostossa energian siirto on energiatehokkuuden kannalta parasta pyrkiä toteuttamaan mahdollisimman suurella meno- ja paluuveden lämpötilaeroilla, koska tällöin pumppauskustannukset ovat pienimmillään verrattain matalan virtaaman ansiosta [14]. Toisaalta myös lämpöhäviöt putkistosta pienenevät, kun paluuveden lämpötila on keskimäärin matalammalla tasolla [15]. Lisäksi rakennusten kaukolämmön alajakokeskusten jäähtymän parantamisella on sekin etu, että kaukolämpöverkkoa voidaan mahdollisesti laajentaa ilman, että kaukolämpölaitos joutuisi harkitsemaan pumppujen uusimista. Tämä perustuu siihen, että kun olemassa olevien kaukolämpöasiakkaiden jäähtymää parannetaan, saadaan virtauskapasiteettia lisää, jolloin voidaan laajentaa verkostoa huonontamatta merkittävästi voimalaitoksen pumppujen toimintapistettä [16]. Pumppauskustannukset ovat tällöin verrattain pienemmät, koska suuren jäähtymän ansiosta tarvittava lämmitysteho saadaan pienemmällä virtaamalla. Kaukolämpöasiakkaan kannalta etuna on, että tarvitaan pienempi kaukolämpövesivirta, mikä taas alentaa asiakkaan maksettavaksi tulevaa kaukolämmön perusmaksua. Kaukolämmitteisessä rakennuksessa lämmityskustannukset muodostuvat kulutuksen ja perusmaksun mukaan. Perusmaksu määrittyy arvioidun tarvittavan kaukolämpöenergian mukaan. [14]

Yksi matalavirtamenetelmän eduista on, että yksittäisten patteriventtiilien esisäätöarvojen muutokset eivät muuta merkittävästi patteriverkoston muiden osien virtaamia. Tämä perustuu siihen, että matalavirtamenetelmässä on pienimpänä mitoituspaine-erona noin 10 kPa, joka on selvästi yleisemmin käytettävää mitoituskäytäntöä suurempi. Patteriventtiilille käytettävissä olevan suuren paine-eron takia venttiilien auktoriteetti on korkea, minkä ansiosta yksittäiset muutokset venttiilien säätöarvoihin vaikuttavat käytännössä vain kyseisten säädettävien venttiilien virtaamiin.

Termostaattiset patteriventtiilit ovat selvästi herkempiä virtaamien muutoksille matalavirtajärjestelmissä verrattuna korkeavirtajärjestelmiin. Käytännössä tämä tarkoittaa, että matalavirtajärjestelmässä pattereiden lämpöteho putoaa ilmaistehojen vaikuttaessa nopeammin kuin korkeavirtajärjestelmässä. [1]

Korkea mitoituspaine-ero saattaa muodostua ongelmaksi erityisesti silloin, kun linjasäätöventtiileillä joudutaan kuristamaan virtaamia, jolloin muodostuu usein suuria painehäviöitä. Lähtökohtaisesti linjasäätöventtiilien kuristuksilla aiheutettavat painehäviöt merkitsevät luonnollisesti suurempaa energiankulutusta, koska painehäviöiden aiheuttaminen kuristamalla on käytännössä katsoen pumpun tekemän työn mitätöimistä. Kuristaminen linjasäätöventtiileillä on kuitenkin uudemmissa rakennuksissa usein välttämätöntä verkoston tasapainon kannalta. Toisaalta vanhoissa virtaamaan nähden suurilla putkien halkaisijoilla varustetuissa verkostoissa ei tarvitse useinkaan käyttää ollenkaan linjasäätöventtiileitä virtaamien pienentämiseen, joten tällaisissa verkostoissa korkea paine-ero on parhaiten hyödynnettävissä.

Toinen mahdollinen ongelma on häiritsevä ääni, joka voi aiheutua liian korkeista paineeroista verkostossa. Venttiilien valmistajien ilmoittamat 20–30 kPa:n paine-erot ääniongelmien synnylle eivät täysin vastaa todellista tilannetta. Kokemusten mukaan ääniongelmia voi todellisuudessa tulla jo noin 12–13 kPa:n paine-eroilla [6]. Tästä johtuen käytettäessä minimipaine-erona noin 10 kPa:a, voi paine-ero esimerkiksi keväällä auringon vaikutuksesta sulkeutuvien venttiilien takia nousta niin korkeaksi, että ääniongelmia syntyy. Teoreettisesti paineen nousemista liian korkeaksi pitäisi pystyä estämään kuitenkin taajuusmuuttajapumpun avulla.

Tyypillinen oletus on myös se, että matalavirtajärjestelmässä patteriventtiilit tukkeutuvat herkemmin venttiilien pienempien virtausaukkojen takia. Herkemmästä tukkeutumisesta ei ole kuitenkaan olemassa pitäviä todisteita. Kokemusten mukaan virtausaukon kokoa selvästi merkittävämpiä tekijöitä tukkeutumisen kannalta ovat venttiilin valmistuslaatu ja asennusmenetelmä. [10]

Matalavirtamenetelmällä suunniteltaessa mitoitusvirtaama saattaa olla jopa vain 20-25 % korkeavirtamenetelmän mitoitusvesivirtaan verrattuna, minkä takia voidaan monissa tapauksissa valita pienempi pumppu, mikä merkitsee useimmiten jonkin verran pienempiä investointikustannuksia. Lisäksi vuosittaiset käyttökustannukset ovat pienemmät, koska pumpun sähkön ottoteho on selvästi vähäisempi. Investointikustannuksia voi pienentää myös tietyissä tapauksissa mahdollisuus korvata linjasäätöventtiilit halvemmilla sulkuventtiileillä. [10]

## 9 Lämpöjohtopumput

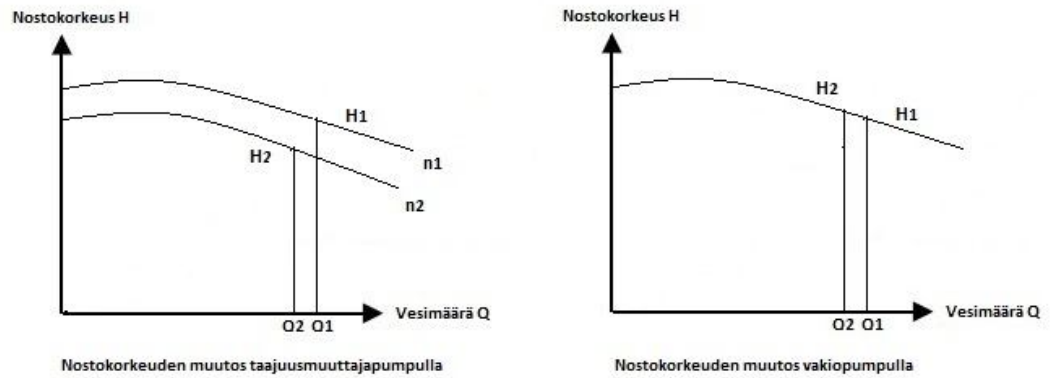
Vesikiertoisen patteriverkoston pumppuina käytetään yleisesti keskipakopumppuja. Pumppujen säätötapoja ovat ohijuoksutus, kuristussäätö, pyörimisnopeuden säätö taajuusmuuttajan avulla ja säätö pumpun juoksupyörää pienentämällä. Yleisesti ottaen ohijuoksutuksen tai kuristussäädön käyttö ei ole suositeltavaa, koska ne ovat energiatehokkuuden kannalta selvästi huonompia vaihtoehtoja kuin pyörimisnopeuden säätö taajuusmuuttajalla ja juoksupyörän pienennys.

Kuristussäädöllä tarkoitetaan virtaaman pienentämistä pumpun painepuolella useimmiten lämmönjakohuoneessa olevan päälinjasäätöventtiilin avulla. Kuristettaessa säätöventtiilillä virtaama pienenee, jolloin nostokorkeus kasvaa. Tällainen kuristaminen on vaikeasti perusteltavissa silloin, kun pumppu on oikein mitoitettu. Mikäli säätöventtiilillä joudutaan pienentämään virtaamaa, tämä tarkoittaa sitä, että pumppu on väärin mitoitettu ja aiheuttaa siis ylimääräisiä pumppauskustannuksia. Käytännössä kuristussäädöllä siis mitätöidään pumpun juuri tekemää työtä, eli osa käytetystä sähköenergiasta menee käytännössä hukkaan.

Ääniongelmia on erityisesti niissä rakennuksissa, joissa on vielä lämmitysverkostossa vakiopumppu käytössä. Yleisesti ottaen kyseisten rakennusten lämpöjohtopumput ovat väärin mitoitettuja. Pumput ovat usein liian suuriksi mitoitettuja tuotoltaan. Tästä aiheutuu ääniongelmiin lisäksi turhaa sähköenergiankulutusta ja mahdollisesti myös verkoston nopeampaa kulumista. Ääniongelmat johtuvat siitä, että paine-ero patteriventtiileille on liian suuri. Paine-erotasot saadaan matalammiksi joko taajuusmuuttajapumpulla tai pumpun juoksupyörän vaihtamisella pienemmäksi

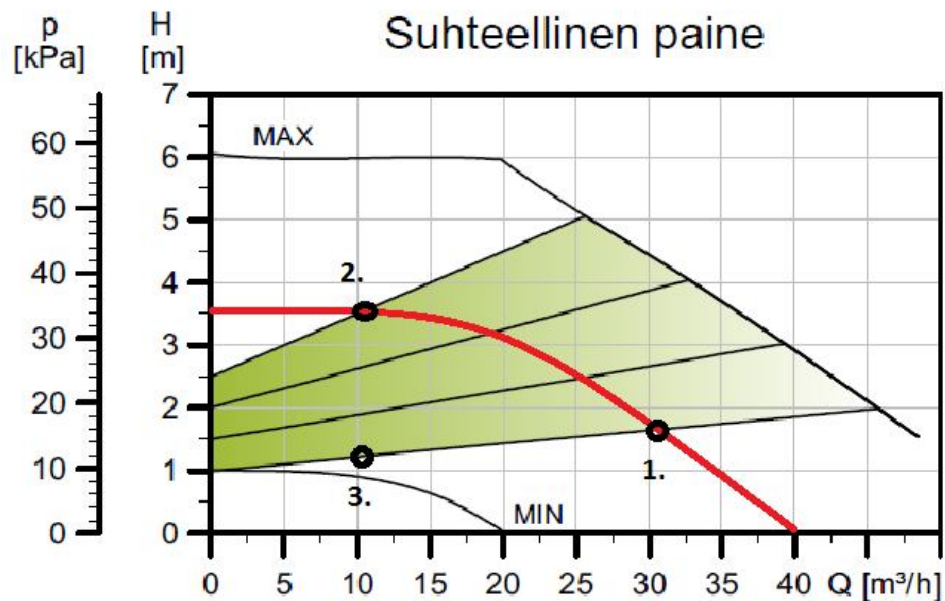
Pumput ovat kasvavissa määrin varustettu taajuusmuuttajalla, joka säätelee automaattisesti pumpun kierrosnopeutta. Kuvassa 5 on esitetty taajuusmuuttajalla varustetun pumpun ja vakiopumppun nostokorkeuden muutos virtaaman vaihdellessa. Kuvasta 5 huomataan, että taajuusmuuttajapumpulla virtaaman pienentyessä myös pumpun pyörintänopeus laskee, josta seuraa nostokorkeuden lasku. Juuri nostokorkeuden lasku virtaaman pienentyessä on taajuusmuuttajalla varustetun pumpun merkittävä etu verrattuna vakiopumppuun. Vakiopumppujen ominaiskäyrä on useimmiten sellainen, että virtaaman pienentyessä nostokorkeus jopa kasvaa, mikä taas saattaa johtaa esimerkiksi ääniongelmiin. Lämmitysverkoston saneerauksien yhteydessä vakiopumppu vaihdetaan useimmiten taajuusmuuttajapumppuun.





Kuva 5. Nostokorkeuden muutos taajuusmuuttajapumpulla ja vakio pumpulla

## MAGNA3 80-60 F



Kuva 6. Taajuusmuuttajapumpun toimintakäyrästä ja vakio pumpun käyrä vertailukohtana

Kuva 6 osoittaa vielä havainnollisemmin vakio pumpun ja taajuusmuuttajapumpun eroavaisuuden paineen tuoton suhteen. Kuvassa mustalla ympyrällä merkitty kohta 1 on tässä tapauksessa mitoitustilanne eli mitoitusvirtaama on 30 m³/h ja nostokorkeus noin 1,5 m. Punainen käyrä esittää vakio pumpun toimintakäyrää, ja se on itse lisätty Magna3-taajuusmuuttajapumpun käyrästään havainnollistamaan vakio pumpun toimintaa verrattuna taajuusmuuttajapumpun virtaaman laskiessa. Ympyröity kohta 2 esit-

tääkin vakio pumpun toimintapisteen virtaaman laskiessa 10 m<sup>3</sup>/h. Kohta 3 taas on Magna3-taajuusmuuttajapumpun toimintapiste virtaaman ollessa 10 m<sup>3</sup>/h. Huomataan, että vakio pumpulla nostokorkeus kasvaa virtaaman laskiessa peräti arvoon 3,5 m, kun taas taajuusmuuttajapumppu pystyy laskemaan nostokorkeutta virtaaman laskiessa noin arvoon 1 m.

Edullisempi ja osassa tapauksista varteenotettavakin vaihtoehto on vaihtaa pumpun juoksupyörä pienempään. Pienentämällä vakio pumpun juoksupyörää voidaan parhaimmillaan estää ääniongelmien syntyminen, mutta toimenpiteellä ei kuitenkaan luonnollisesti saavuteta yhtä hyvää energiatehokkuutta kuin taajuusmuuttajapumpulla, koska vakio pumpun sähkönkulutus pysyy käytännössä vakiona myös kesällä, kun taas taajuusmuuttajapumpun kierrosnopeussäädön avulla pumpun sähkönkulutus pienenee lämmitystarpeen vähentyessä. Kuitenkin esimerkiksi tilanteessa, jossa ei ole tarkoitus samalla kerralla uusia lämmönjakokeskusta kokonaisuudessaan, on monesti perusteltua jättää vakio pumppu toimintaan ja mahdollisesti pienentää sen juoksupyörää. Juoksupyörän vaihto maksaa noin 300–500 €, kun taas taajuusmuuttajapumpulla on asennettuna hintaa noin 3 000–4 000 €.

Asuinkiinteistöjen lämmitysverkoston kiertovesipumpun maksimikierrosnopeus on yleensä 25 r/s eli 1 500 r/min. Tätä suuremmilla kierrosnopeuksilla verkoston äänitasot saattavat nousta liian korkeiksi. [17]

Patteriverkoston kiertovesipumppu valitaan tuoton (dm<sup>3</sup>/s) ja tarvittavan nostokorkeuden mukaan. Nostokorkeus tarkoittaa painetta, joka täytyy tuottaa, jotta verkoston pumppuun nähden kaukaisimpaan osaan saadaan tarvittava vesivirta. Paine on siis se tekijä, joka saa veden kiertämään verkostossa. Pumpun tuottaman paineen ja nostokorkeuden välillä on seuraava riippuvuus.

$$\Delta p = \rho \cdot g \cdot H \quad (9)$$

$\Delta p$  on pumpun tuottama paine-ero (kPa)

$\rho$  on tiheys (kg/m<sup>3</sup>)

$g$  on putoamiskiihtyvyyden kiihtyvyyden (9,81 m/s<sup>2</sup>)

$H$  on nostokorkeus (m)

Kiertovesijärjestelmät ovat useimmiten suljettuja, joten niistä ei aiheudu geodeettista nostokorkeutta. Toisin sanoen kiertojärjestelmässä laskevan nesteen paino tasapainottaa nousevan nesteen painon. Lämmitysverkoston painovoimainen kierto siis kumoaa kerroksien välisten putkiston osien kitkapainehäviöitä, minkä vuoksi eri kerroksissa on lähes yhtä suuri käytettävissä oleva paine-ero patteriventtiilille. Pumpun tulee siis käytännössä voittaa ainoastaan runkoputkiston ja lämmönsiirtimen painehäviöt. [18]

### 9.1 Taajuusmuuttajien käyttö pumpuissa

Taajuusmuuttajalla varustetuilla pumpuilla voidaan toteuttaa tehokas kierrosnopeussäätö. Pumpun kierroslukusäädössä pätevät seuraavat affiniteettisäännöt. [19]

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (10)$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad (11)$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 = \frac{\Delta p_1 \cdot V_1}{\Delta p_2 \cdot V_2} \quad (12)$$

$Q$  on tilavuusvirta

$H$  on nostokorkeus

$n$  on pyörimisnopeus

$P$  on pumpun ottama teho

$\Delta p$  on paine-ero

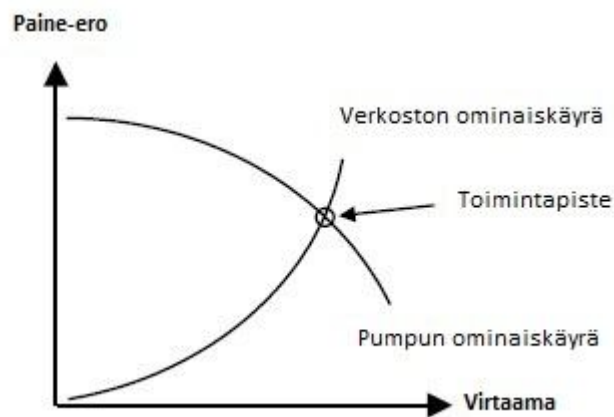
$V$  on tilavuusvirta

Edellä esitetyistä laskukaavoista huomataan, että pyörimisnopeuden puolittuessa tehontarve putoaa kahdeksasosaan. Pyörimisnopeuden säätö taajuusmuuttajan avulla vähentää siis pumpun sähkönkulutusta merkittävästi. Tavallisten asuinkiinteistöjen pumppujen tehot ovat kuitenkin huonoimmassa tapauksessakin suhteellisen pienet, jolloin prosentuaalisesti suuret säästöt sähkönkulutuksessa eivät ole kovinkaan merkittäviä kiinteistöjen kokonaissähkönkulutuksen kannalta.

Taajuusmuuttajasäädössä pumpun hyötysuhde pysyy yleensä korkealla suurella säätöalueella. Pienillä kierroksilla hyötysuhde voi kuitenkin alentua merkittävästi, mutta toisaalta tällöin tehon tarve on pieni. Samoin pumpun käynnistykset ja pysäytykset ovat helpompia suorittaa sekä prosessin että laitteiston kannalta.

## 9.2 Toimintakäyrä

Pumpun ominaiskäyrä kuvaa pumpun kehittämän nostokorkeuden ja sen läpi virtaavan veden määrän välistä suhdetta.



Kuva 7. Pumpun ja verkoston ominaiskäyrät sekä toimintapiste

Kuten kuvasta 7 huomataan, verkoston toimintapiste on siis siinä pisteessä käyrällä, missä kokonaisvirtaama on sellainen, että pumpun nostokorkeus vastaa verkoston kokonaispainehäviöitä. [1]

## 9.3 Pumpun sähköverkosta ottama teho

Pumpun sähköverkosta ottama teho voidaan laskea kaavalla 13.

$$P_l = \frac{\rho \cdot g \cdot H \cdot q_v}{\eta_L} \quad (13)$$

$\rho$  on nesteen tiheys (kg/dm<sup>3</sup>)

$g$  on putoamiskiihtyvyyys ( $\text{m/s}^2$ )

$P_1$  on laitteen sähköverkosta ottama teho ( $W$ )

$H$  on pumpun nostokorkeus ( $m$ )

$q_v$  on pumpun tuotto ( $l/s$ )

$\eta_L$  on laitteen kokonaishyötysuhde

Kaavasta 13 nähdään, että tehontarve on suoraan riippuvainen tuoton  $q_v$  ja nostokorkeuden  $H$  tulosta. Tästä johtuen energiatehokkuuden kannalta on tärkeää, että pumpu on varustettu taajuusmuuttajalla, joka laskee automaattisesti pumpun pyörimisnopeutta vesivirran pienentyessä.

#### 9.4 Kolmeks FCC- ja Grundfos Magna -kiertovesipumppujen toiminta

Tutkittiin Kolmeks FCC- ja Grundfos Magna -kiertovesipumppujen toimintaa. Mittaukset tehtiin tammikuussa 2013 pilvisenä pakkaspäivänä, joten voidaan olettaa, että patteriventtiilit olivat mittauksien aikana lähestulkoon auki. Kolmeks FCC on ns. paineerosäätöinen pumpu, joka pitää lämmitysverkoston meno- ja paluupuolen välisen paine-eron lämmönvaihtimen jälkeen vakiona vesivirran vaihtelusta huolimatta. Grundfos Magna -pumpuissa puolestaan on kolme eri toimintoa: vakiopainesäätö, suhteellinen säätö ja auto adapt. Pumpun toimiessa vakiopainesäädöllä sen aikaansaama nostokorkeus pysyy vakiona virtaamasta riippumatta. Kyseinen vakionostokorkeus voidaan asettaa pumpun ohjauspaneelista. Suhteellisella säädöllä pumpun nostokorkeus vaihtuu automaattisesti virtaaman mukaan eli toisin sanoen nostokorkeus alenee vedentarpeen pienentyessä ja suurenee vedentarpeen lisääntyessä. Auto adapt -toiminnolla valmistaja lupaa pumpun määrittävän automaattisesti tarvittavat säädöt tarpeen mukaisesti. Auto adapt on Grundfos Magna -pumpuissa tehdasasetuksena.

Tutkittavana oli kolme kohdetta, joihin jokaiseen kuuluu 2–4 asuinkerrostaloa. Tarkoituksena oli selvittää, miten pumput käytännössä säätelevät lämmitysverkoston meno- ja paluupuolen välistä paine-eroa, kun verkostoon aiheutetaan nopeita massavirtamuutoksia sulkemalla osa talokohtaisista sulkuventtiileistä. Teoreettisen tarkastelun mukaan patteriventtiin paine-ero kyseisiä pumppuja käyttämällä kasvaa, kun vesivirta pienenee.

Tutkittavat pumput olivat Grundfos Magna 40-120, Grundfos Magna 50-60F ja Kolmeks L65A. Asunto-osakeyhtiö Katinliekon pumppu oli Grundfos Magna 40-120, Asunto-osakeyhtiö Nurkkapuiston Magna 50-60F ja Asunto-osakeyhtiö Satakielenrinteen Kolmeks L65A. Paine-eron mittaamisen käytettiin vesimanometria (kuva 8) ja TA Scope-mittauslaitetta (kuva 9). TA Scopella pystytään mittaamaan myös korkeampia paine-eroja. Vesimanometri soveltuu parhaiten korkeintaan 10 kPa:n paine-erojen mittaamiseen. Vesimanometrin etuna esimerkiksi TA Scopeen verrattuna on parempi toimintavarmuus. TA Scope saattaa vioittua esimerkiksi paineiskusta, mutta vesimanometrin kohdalla se on hyvin epätodennäköistä.



Kuva 8. Vesimanometri kytkettynä patterille asennetuille yhteille



Kuva 9. TA Scope -mittalaite

#### 9.4.1 Grundfos Magna 40-120, asunto-osakeyhtiö Katinlieko

Grundfos Magna 40-120:n toimintaa tarkasteltiin pumpun kaikilla kolmella toiminnolla eli vakio-paine-erolla, suhteellisella säädöllä ja auto adaptilla.

Suhteellisella säädöllä yhden talosulun sulkemisen jälkeen lämmitysverkoston meno- ja paluupuolen välinen paine-ero muuttui 10 kilopascalista 17 kilopascaliin. Tuloksesta voidaan päätellä, että pumppu ei pysty laskemaan nostokorkeutta niin paljon, että päästäisiin samaan paine-eroon kuin alussa ennen talosulkujen kiinni laittamista. Suhteellisen säädön tarkastelun aikana pumppu oli arvossa 4.

Vakio-paine-ero-toiminnolla paine-ero muuttui 11 kilopascalista 22 kilopascaliin. Tulos on jokseenkin etukäteen arvioidun mukainen, koska vakio-painesäädöllä pumpulle aseteltu nostokorkeus pysyy vakiona virtaamasta riippumatta. Tällöin onkin odotettavissa, että meno- ja paluupuolen välinen paine-ero kasvaa. Vakio-paine-ero-toiminnolla tarkasteltaessa pumppu oli arvossa 3.

Auto adaptilla samainen paine-ero muuttui 14 kilopascalista 18 kilopascaliin. Tuloksista päätellen auto adapt -toiminto toimii parhaiten kyseisessä kohteessa, koska sitä käytettäessä paine-eron muutos yhden talosulun sulkemisen jälkeen on pienin.

#### 9.4.2 Grundfos Magna 50-60F, asunto-osakeyhtiö Nurkkapuisto

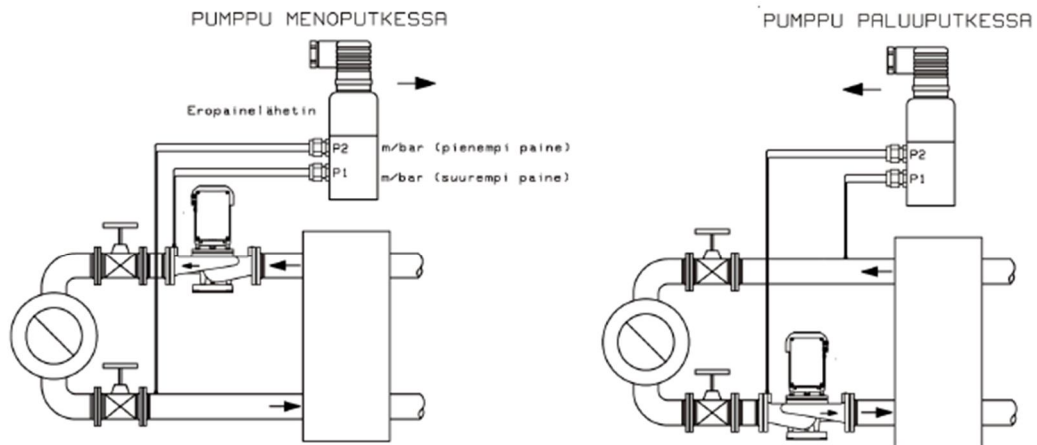
Grundfos Magna 50-60F -pumpun toimintaa tarkasteltiin suhteellisella säädöllä. Lämmönjakohuoneelta mitatun meno- ja paluupuolen välisen paine-eron lisäksi tarkasteltiin paine-eroa patterin yli. Patterin paine-eroa mitattiin vesimanometrillä patterille asennetuilta mittausyhteiltä. Patteri sijaitsi verkoston kaukaisimmassa osassa lämmönjakohuoneeseen nähden.

Suhteellisella säädöllä pumpun ollessa arvossa 1,0 ja kaikkien talosulkujen ollessa auki meno- ja paluupuolen väliseksi paine-eroksi saatiin 7,0 kPa ja patterille 3,7 kPa. Seuraavaksi suljettiin kaksi talosulkua (A- ja B-talot), jolloin vastaavat arvot olivat 9,3 kPa ja 5,3 kPa. Tämän jälkeen nostettiin pumpun asetusarvo arvoon 2,0, jolloin verkoston meno- ja paluupuolen väliseksi paine-eroksi saatiin 13 kPa ja patterille 7,5 kPa kaikkien talosulkujen ollessa auki. Suljettiin A- ja B-talojen sulkuventtiilit, jolloin meno/paluuvälinen paine-eroksi saatiin 11 kPa ja patterille 6,7 kPa. Pumpun asetusarvolla 2,0 ver-

koston paine-eron muutokset talosulkuja suljettaessa ovatkin siis päinvastaisia kuin pumpun asetusarvon ollessa matalampi. Tässä tapauksessa suhteellista säätöä käytettäessä päästään hyvään tulokseen, koska toisiopuolen painehäviö on mitoitettu alhaiseksi. Lämmityksen lämmönsiirtimen toisiopuolen painehäviö on vain 5 kPa mitoitusvirtaamalla 5,13 l/s. Tällöin siis virtaaman pienenemisen myötä laskeva lämmönsiirtimen toisiopuolen painehäviö ei kasvata niin herkästi paine-eroja verkostossa.

#### 9.4.3 Kolmeks L65A/4FCC, asunto-osakeyhtiö Satakielenrinne

Kohteessa on käytössä lämpöjohtopumppuna Kolmeksin L65A/4FCC. Pumpun tyyppi-merkinnässä L on pumppusarjan merkki. Luku 65 kertoo laippojen DN-koon. Luku 4 on sähkömoottorin napaluku. FC tarkoittaa, että pumppu on varustettu integroidulla taajuusmuuttajalla. C lopussa tarkoittaa, että pumppu pyrkii pitämään järjestelmän menoja paluulinjan yli vakio paine-eroa. Tämän mahdollistavat mittausputket, joista toinen asennetaan pumpun imu- tai painelaippaan ja toinen järjestelmän meno- tai paluuputkeen. Kuvassa 10 on esitetty mittausputkien asennuskohdat. Jos pumppu on verkoston menopuolella, toinen mittausputkista asennetaan pumpun painepuolelle. Pumpun ollessa paluupuolella toinen mittausputkista asennetaan pumpun imupuolelle.



**Kuva 10. Verkoston yli paine-eroa mittaavien putkien asennus**

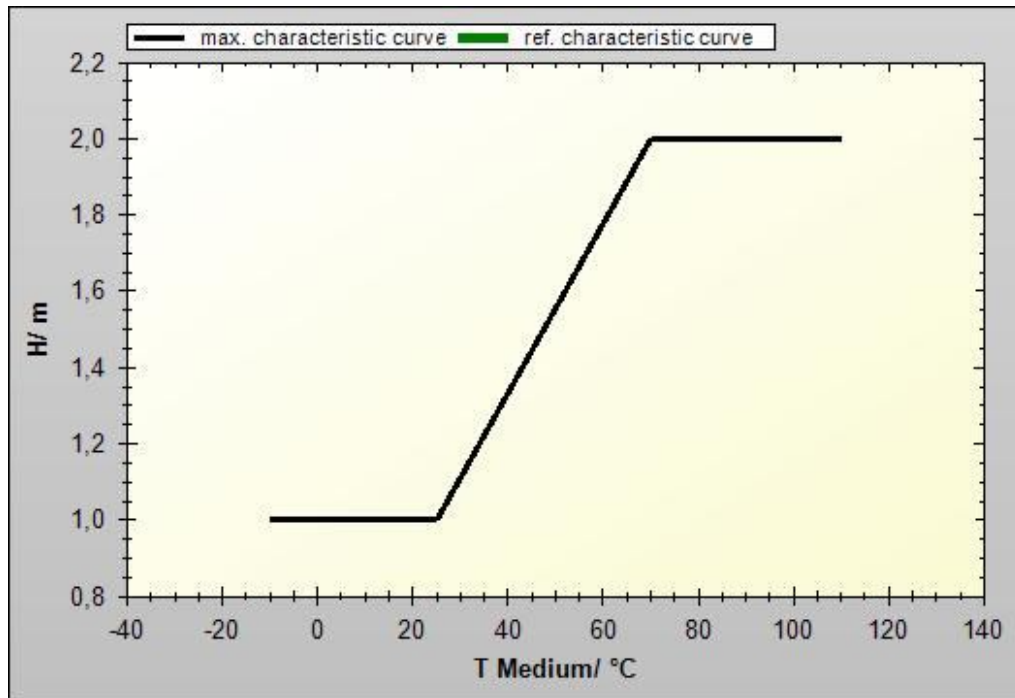
Pumpun potentiometrin asento oli mittauksien aikana 30 %. Potentiometri on nuppi pumpun kyljessä, jolla säädetään pumpun tuotto halutuksi. Kaikkien talosulkuventtiilien ollessa auki paine-eroksi saatiin 14,5 kPa. Kun talosulkuja laitettiin kiinni, paine-ero



nousi 18,6 kPa. Tästä voidaan siis päätellä, että Kolmeksin pumppu ei toimikaan täysin luvatus mukaisesti eli ei siis pidä paine-eroa vakiona virtaaman muuttuessa.

#### 9.5 Menoveden lämpötilan mukaan säätyvien Wilon Stratos-sarjan pumppujen käyttö

Pumpun tuotto on suoraan sidoksissa pumpun nostokorkeuteen. Toisaalta pumpun nostokorkeus määrittää pumpun tarvitseman sähkötehon ja näin ollen energiankulutuksen. Tästä syystä olisi hyvä pystyä säätelemään nostokorkeutta tehokkaasti kulloisenkin tarpeen mukaan. Käytännössä esimerkiksi Wilon Stratos-sarjan pumppujen olisi hyvä toimia kesäisin miniminostokorkeudella eli 1,0 m. Tavallisesti kuitenkin pumppu asetellaan toimimaan jollain tietyllä nostokorkeudella vuoden ympäri tai vaihtoehtoisesti säädetään aina kesäksi manuaalisesti pienemmäksi. Nostokorkeuden säätyminen menoveden lämpötilan mukaan olisi siis hyvä saada toimimaan automaattisesti. Tämä on mahdollista Wilo-pumppujen lisäksi ainakin Grundfosin Magna-sarjan pumpuilla. Wilo-pumpuilla voidaan toteuttaa nostokorkeuden säätyminen menoveden lämpötilan mukaan automaattisesti, kun pumpulle on kertaalleen aseteltu halutut parametrit. Parametrit ovat minimi- ja maksiminostokorkeus sekä minimi- ja maksimimenoveden lämpötila. Näiden parametrien asettaminen onnistuu infrapunayhteydellä varustetun USB-tikun ja tietokoneelle ladattavan ohjelman avulla. Tietokoneeseen liitettävällä USB-tikulla saadaan yhteys pumppuun infrapunayhteyden avulla, minkä jälkeen voidaan tietokoneelta ohjelman avulla säätää parametreja ja tarkastella pumpun toiminta-arvoja.



**Kuva 11. As Oy Kasinonkulman lämmitysverkoston kiertovesipumpun nostokorkeuden säätöminen menoveden lämpötilan mukaan**

Kuvassa 11 on esitetty asunto-osakeyhtiö Kasinonkulman lämmitysverkoston kiertovesipumpun nostokorkeuden säätöminen menoveden lämpötilan mukaan. Kuvasta 10 nähdään, että menoveden lämpötilan ollessa + 25 °C tai alle pumpun nostokorkeus on 1,0 m. Pumppu toimii maksiminostokorkeudella 2,0 m, kun menoveden lämpötila on vähintään 70 °C. Verkoston perältä mitattiin paine-eroksi 13,5 kPa pumpun nostokorkeuden ollessa 1,7 m. Ulkolämpötila oli mittaushetkellä n. –17 °C.

As Oy Kasinonkulman lisäksi Wilo Stratos -pumppuja asetettiin toimimaan kuvatulla säätömuodolla As Oy Kastanjametsässä, TA-Asumisoikeus Vesijärvenkatu 55:ssä, TA-Asumisoikeus Lahdenkatu 41:ssä ja As Oy Helsingin Aleksis Kiven katu 11:ssä. Pumput säädettiin niin, että linjojen meno- ja paluupuolen väliseksi paine-eroksi saatiin noin 10 kPa. Pumppujen säätö tehtiin mitoituslannetta vastaavissa olosuhteissa, eli termostaatit eivät olleet asennettuna säätöhetkellä.

As Oy Helsingin Aleksis Kiven katu 11:n patteriverkosto perussäädettiin vuonna 2012. Patteriverkosto perussäädettiin matalavirtamenetelmää hyödyntäen. Mitoitusvirtaama ja pumpun mitoitusnostokorkeus laskivat merkittävästi. Aiemmin mitoitusvirtaama oli 5,6 l/s, kun se tehdyn perussäädön jälkeen on vain 2,9 l/s. Mitoitusvirtaama saavute-

taan nykyisellä patteriverkoston mitoituksella pumpun nostokorkeuden ollessa 18 kPa. Aiemmin pumpun nostokorkeus oli mitoitettu 75 kPa:iin. Pumpun sähkönkulutus laski luonnollisesti myös merkittävästi ollen vain noin 13 % aiemmasta.

As Oy Helsingin Aleksis Kiven katu 11:ssä tehtiin paine-eromittauksia verkoston meno- ja paluupuolen välillä. Mittauksia tehtiin sekä talvella pakkasen vallitessa että lämmityskauden alussa, jotta voitiin tarkastella verkoston toimintaa eri olosuhteissa. Lämmitysverkoston pumppuna on Wilo Stratos 50/1-9, jonka nostokorkeus säädettiin sääty-mään menoveden lämpötilan mukaan. Havainnot ja mittaukset osoittivat, että tämä säätötapa toimii moitteettomasti. Talvella ulkolämpötilan ollessa  $-10,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  mitattiin lämmönjakohuoneelta meno- ja paluupuolen väliseksi paine-eroksi 18,2 kPa. Verkoston perältä mitattiin paine-eroksi 10 kPa. Mittauksien aikana pumpun nostokorkeus oli 1,3 m ja menoveden lämpötila noin  $48\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Lämmityskauden alussa menoveden lämpötilan ollessa lähellä  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ :ta, pumpun nostokorkeus oli 1 m eli 10 kPa. Tällöin paine-eromittauksin saatiin lämmönjakohuoneesta mitattuna meno- ja paluupuolen väliseksi paine-eroksi 11 kPa ja verkoston lämmönjakohuoneeseen nähden etäisimmästä osasta 8,5 kPa. Mitatut paine-erot ovat siis odotetunlaisella tasolla ja vastaavat suunnitelmallisia arvoja. Verrattuna luvussa 9.4 esitettyihin Kolmeks- ja Grundfos-pumppujen toimintaan Wilon pumppu vaikuttaisi toimivan paine-erotasojen kannalta paremmin. Paine-erot pysyvät lähes vakiona tai jopa laskevat mitoituspaine-eroon verrattuna tilanteissa, jossa virtaama on verrattain pieni.

Vastaavanlaisia mittaustuloksia saatiin myös TA-Asumisoikeus Lahdenkatu 41:ssä, jossa mitattiin kesätilanteessa paine-eroa meno- ja paluupuolen välillä läheltä lämmönjakohuonetta ja verkoston kaukaisimmasta osasta lämmönjakohuoneeseen nähden. Läheltä lämmönjakohuonetta mitattiin patterilla olevilta mittausyhteiltä 10,3 kPa ja kaukaisimmasta osasta samoin patterilla olevilta mittayhteiltä 8,5 kPa.

Tuloksista päätellen menoveden lämpötilan mukaan säätyvällä taajuusmuuttajapumppulla saadaan lämpimillä ilmoilla patteriventtiilien paine-erot laskemaan mitoitus-tilanteeseen nähden. Sen lisäksi, että lämpötilat pysyvät tasaisina, paine-erotasojen pysyminen vakiona tai jopa laskeminen on myös verkoston äänettömyyden kannalta hyvä asia.

Joissain tapauksissa käytettäessä muita taajuusmuuttajapumppujen säätömuotoja syntyy tilanne, jossa kylmillä säillä porraskäytävien tai kellaritilojen mahdollisesti tiukastikin

rajoitetut patterit eivät luovuta tarpeeksi lämpöä. Tällaisessa tapauksessa menoveden lämpötilan mukaan säätyvän pumpun etuna on se, että ulkoilman viileessä pumpun nostokorkeus kasvaa automaattisesti, jolloin verkoston virtaama myös kasvaa, mistä seuraa, että myös porraskäytävien pattereiden virtaama kasvaa. Näin ollen myös lämmönluovutus kasvaa niin, että porraskäytäviinkin saadaan tavoiteltu lämpötila.

## 10 Yhteenveto

Työn tarkoituksena oli esitellä vesikiertoisen patteriverkoston perussäätöä ja energia- tehokkuuden kannalta merkittäviä tekijöitä. Lisäksi työssä esiteltiin matalavirtamenetelmää ja sen antamia mahdollisuuksia lämmitysenergian säästämiseen. Verkoston toiminnan ja energiankulutuksenkin kannalta olennaisina asioina tarkasteltiin patteriverkostossa vallitsevaa paine-eroa ja taajuusmuuttajapumppujen toimintaa. Työssä perehdyttiin myös patterin lämmönluovutuksen teoreettisiin perusteisiin, joiden pohjalta laadittiin patterin lämmönluovutusta eri mitoituslämpötiloilla kuvaava diagrammi. Lisäksi työssä kuvailtiin patteriverkoston tasapainotusta ja menovesikäyrän asettelua.

Nykyaikaisten taajuusmuuttajapumpulla varustettujen lämpöjohtopumppujen toiminnan tutkiminen eri säätömuodoilla oli yksi työn keskeisistä asioista. Työssä tutkittiin mittauksin, kuinka pumppujen aikaansaama paine-ero todellisuudessa käyttäytyy virtaaman muuttuessa. Tuloksista voidaan todeta, että kaikki pumput eivät toimi täysin luvattun mukaisesti kaikissa tilanteissa. Parhaimpia tuloksia saatiin kohteista, joissa oli Wilo Stratos -pumppu, jonka nostokorkeus säädettiin muuttumaan menoveden lämpötilan mukaan. Mittaukset tällä säätömuodolla osoittivat, että se on varteenotettava vaihtoehto pumppujen säätömuodoksi, koska paine-erotasot pysyivät lähes vakioina tai jopa laskivat lämmitystarpeen ollessa pieni. Muiden säätömuotojen tarkastelut osoittivat, että esimerkiksi Kolmeksin FCC-toiminto ei toimi optimaalisesti kaikissa olosuhteissa. Mittauksia tehtiin melko vähän, joten tulokset ovat suuntaa antavia. Kuitenkin tulokset viittaavat siihen, että pumppujen tekniikassa on vielä kehittämisen varaa.

Kaiken kaikkiaan voidaan todeta, että tässä työssä esiteltiin ainoastaan osa olemassa olevista mahdollisuuksista patteriverkostojen toiminnan parantamiseksi ja lämmitysenergian säästämiseksi. Työhön ei ole sisällytetty tarkkoja lukuja saatavista lämmitysenergiesäästöistä matalavirtamenetelmällä säädettäessä. Lämmitysenergiankulutuksen vertailu erilaisten lämmitysverkoston säätötapojen välillä olisi kiinnostavaa. Täl-

lainen tarkastelu olisi kuitenkin hyvä tehdä useamman vuoden ajalta kaikin puolin samankaltaisten rakennuksien lämmitysenergiankulutusta vertailemalla.

## Lähteet

- 1 Trüschel, Anders. 2002. Hydronic heating systems: The Effect Of Design On System Sensitivity. <[http://www.energy-management.se/attachments/documents/26/avhandling\\_-\\_anders\\_truschel.pdf](http://www.energy-management.se/attachments/documents/26/avhandling_-_anders_truschel.pdf)>. Luettu 4.11.2012.
- 2 Lämmitysverkoston perussäätö. 2013. Verkkodokumentti. Motiva. <[http://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/taloyhtiot/lammitysverkoston\\_perussaat\\_o](http://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot/lammitysverkoston_perussaat_o)>. Luettu 20.10.2013
- 3 Käsikirja LVI-järjestelmien energiatehokkuudesta. 2012. TA Hydraulics.
- 4 LVI-ohjekortti, LVI 41-10230 ohjekortti, Lämmitysverkoston säätö
- 5 Balancing of radiator systems. 2003. Verkkodokumentti. <[http://www.hydroteam.gr/userfiles/products/TA\\_Handbook\\_3\\_eng\\_1580016466.pdf](http://www.hydroteam.gr/userfiles/products/TA_Handbook_3_eng_1580016466.pdf)>. Luettu 4.1.2014
- 6 Kärkkäinen, Aatos. 2010. Gasfri påfyllning av värme- och kylsystem samt injustering av radiatorsystem. Väitöskirja. Aalto-yliopisto.
- 7 Rakennusten kaukolämmitys: määräykset ja ohjeet. 2013. Energiateollisuus ry.
- 8 Seppänen, Olli. 2001. Rakennusten lämmitys. Jyväskylä: Suomen LVI-liitto.
- 9 Termostaattinen patteriventtiili. 2013. Verkkodokumentti. Danfoss. <[http://lampo.danfoss.com/PCMPDF/FI\\_trv01\\_CEN.swf](http://lampo.danfoss.com/PCMPDF/FI_trv01_CEN.swf)>. Luettu 13.1.2013.
- 10 Petersson, Stefan. 1998. Analys av konventionella radiatorsystem. Licentiat-suppsats. Chalmers tekniska högskola.
- 11 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 12 Termostaattinen patteriventtiili. Verkkodokumentti. Vantaan LVI-yhdistys r.y. <[vantalvi.fi/uploads/files/Artikkeli\\_Termostaattinen\\_patteriventtiili.doc](http://vantalvi.fi/uploads/files/Artikkeli_Termostaattinen_patteriventtiili.doc)>. Luettu 20.1.2013
- 13 Uusi patteriverkoston tasapainotusmenetelmä. 1991. Loppuraportti KTM 216/881/91.
- 14 Rakennusten lämmitysjärjestelmät. 2007. Tampere: Rakennustieto.

- 15 Ljunggren, P., Wollerstrand, J. 2006. Optimum performance of radiator space heating systems connected to achieve lowest possible district heating return temperature. <<http://www.lsta.lt/files/events/ljunggren.pdf>>. Luettu 4.11.2012.
- 16 Esiselvitys kaukolämpöpumppausjärjestelyistä. 2008. Verkkodokumentti. Pöyry. <[http://energia.fi/sites/default/files/esiselvitys\\_kaukolampopumppausjarjestelyista.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/esiselvitys_kaukolampopumppausjarjestelyista.pdf)>. Luettu 19.1.2013.
- 17 Mänttari, Ville. 2011. Energiatehokkaan kiertovesipumpun määrittäminen LVI-suunnittelussa. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 18 Pumput ja putkistot teoriassa ja käytännössä. Verkkodokumentti. ITT. <<http://www.lowara.com/lowdata/doc/Fl/eng-low-slutlig-ed-fi.pdf>>. Luettu 4.11.2012.
- 19 Rouvinen, Satu. 2009. Pumppujen energiätehokkuuden mittaus ja optimointi. Insinööriyö. Hämeen ammattikorkeakoulu.

## Lämmitysenergian tarpeen tarkastelu ilmaistehot huomioiden

## Huoneiston lämmityksen nettoenergian tarpeen laskenta

Tila	A <sub>lattia</sub> , m <sup>2</sup>	A <sub>ikk.</sub> , m <sup>2</sup>	V (m <sup>3</sup> )	n <sub>vuotoi.</sub> (1/h)	n <sub>iv</sub> (1/h)	q <sub>iv</sub> (l/s)	U <sub>ikk.</sub> (W/Km <sup>2</sup> )	U <sub>s</sub> (W/Km <sup>2</sup> )	A <sub>seinä</sub>
MH4	8,8	2,2	24,6	0,16	0,5	3,4	1,8	0,28	15,2
MH7	12,2	2,2	34,0	0,16	0,5	4,7	1,8	0,28	5,4
OH	18,0	5,5	50,4	0,16	0,5	7,0	1,8	0,28	8,5
K	10,3	2,2	29,0	0,16	0,5	4,0	1,8	0,28	4,3

		∅ <sub>iv</sub> (W)	∅ <sub>joht.</sub> (W)	∅ <sub>vuotoiv</sub> (W)	Tu	
MH4	Syyskuu	53	105	17	9,1	
	Lokakuu	76	152	24	3,4	
	Marraskuu	87	173	28	0,8	
	Joulukuu	112	222	36	-5,3	
	Tammikuu	128	254	41	-9,2	
	Helmikuu	133	264	42	-10,4	
	Maaliskuu	97	194	31	-1,8	
	Huhtikuu	83	165	27	1,7	
	<b>Keskimäär.</b>	96	191	31		<b>318 W</b>
MH7	Syyskuu	73	70	23	9,1	
	Lokakuu	106	101	34	3,4	
	Marraskuu	120	114	38	0,8	
	Joulukuu	155	147	49	-5,3	
	Tammikuu	177	168	57	-9,2	
	Helmikuu	184	175	59	-10,4	
	Maaliskuu	135	129	43	-1,8	
	Huhtikuu	115	110	37	1,7	
	<b>Keskimäär.</b>	133	127	43		<b>302 W</b>
OH	Syyskuu	109	158	35	9,1	
	Lokakuu	156	228	50	3,4	
	Marraskuu	178	259	57	0,8	
	Joulukuu	229	333	73	-5,3	
	Tammikuu	262	381	84	-9,2	
	Helmikuu	272	396	87	-10,4	
	Maaliskuu	200	291	64	-1,8	
	Huhtikuu	171	248	55	1,7	
	<b>Keskimäär.</b>	197	287	63		<b>547 W</b>
K	Syyskuu	62	66	20	9,1	
	Lokakuu	90	95	29	3,4	
	Marraskuu	102	108	33	0,8	
	Joulukuu	131	139	42	-5,3	
	Tammikuu	150	158	48	-9,2	
	Helmikuu	156	165	50	-10,4	
	Maaliskuu	115	121	37	-1,8	
	Huhtikuu	98	103	31	1,7	
	<b>Keskimäär.</b>	113	119	36		<b>269 W</b>
						<b>yht. 1436 W</b>
						<b>1,44 kW</b>

## Lämmitysenergian tarve:

8384 kWh ilman lämpökuormia (1,44 kW x [(365/12) x 8 x 24 h])

5934 kWh lämpökuormat: ihmisistä 850 kWh ja sähköstä 1600 kWh



Lämmitystehontarpeen tarkastelun kohteena olleen asunnon pohjapiirros

