

Kotitalouksien kiertovesipumppujen säätökäyrien valitseminen algoritmin perusteella

Carsten Skovmose Kallesøe, Niels Bidstrup*, Manfred Bayer*

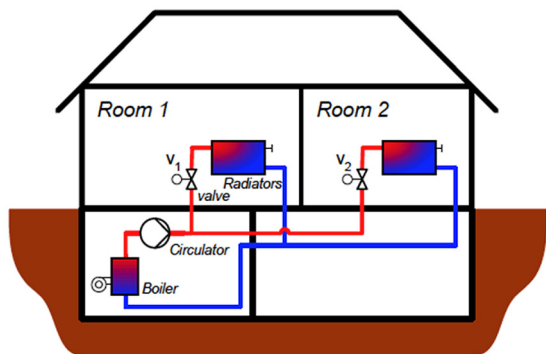
Tiivistelmä

Kotitalouksien lämmitysjärjestelmien nopeussäädetyt kiertovesipumput tulivat markkinoille 90-luvun alussa. Suurimmassa osassa kiertovesipumpuista nopeus ja siten myös paine säädetään pumpun sisäisillä säätökäyrillä todelliseen virtaamaan ja lämmöntarpeeseen sopivaksi. Kiertovesipumpuissa on usein erilaisia säätökäyriä, joilla pumpun tuottoa voidaan mukauttaa lämmitysjärjestelmän vaihteluihin, mikä puolestaan tekee sisäilman lämpötilasta miellyttävämmän ja pienentää energiankulutusta. Jotta säätökäyriä voidaan hyödyntää, kiertovesipumpun säätökäyrän oikea asetus on valittava heti pumpun asennuksen jälkeen. Useimmissa kiertovesipumppumalleissa asetus ei kuitenkaan onnistu, koska määrityksen kannalta olennaiset lämmitysjärjestelmän tiedot eivät ole käytettävissä. Tässä artikkelissa esitellään tarkemmin uudistunutta AUTOADAPT-säätötapaa, joka mukauttaa kiertovesipumpun asetukset automaattisesti lämmitysjärjestelmän tarpeiden mukaan. AUTOADAPT-toiminnolla varustetut kiertovesipumput mittaavat ja analysoivat lämmitysjärjestelmän ominaisuuksia käytön aikana ja säätävät pumpun säätökäyrän asetusta niiden mukaan. Saksassa tehdyt kenttätestit osoittivat, että 75 prosentissa tapauksista AUTOADAPT-toiminnon valitsemalla asetuksella energiankulutus pieneni sisäilman lämpötilasta tinkimättä.

* Grundfos Management A/S, Poul Due Jensens Vej 7, DK-8850 Bjerringbro, Denmark (sähköposti: {ckallesoe,nbidstrup}@grundfos.com)

1. Johdanto

Kiertovesipumppuja käytetään kaikissa vesikiertoisissa lämmitysjärjestelmissä. Kiertovesijärjestelmät ovat yleensä lämpöpatterijärjestelmiä, joiden lämmönlähteenä toimivat esimerkiksi kattilat, aurinkolämpö ja lämpöpumput. Kiertovesipumppu toimii samalla tavalla kaikissa näissä järjestelmissä, vaikka lämmönlähteet poikkeavatkin toisistaan. Kiertovesipumpun tehtävänä on tuottaa lämmönsäätöön tarvittavaa painetta, jolla säädetään virtausnopeutta ja siten myös lämmön siirtymistä rakennukseen. Kuvassa 1 on yksinkertainen kattilalämmitteinen lämmityspatterijärjestelmä.



Kuva 1: Keskuslämmitysjärjestelmä kahdessa huoneessa. Kaksiputkinen keskuslämmitysjärjestelmä on yleisin kotitalouksissa käytetty järjestelmätyyppi.

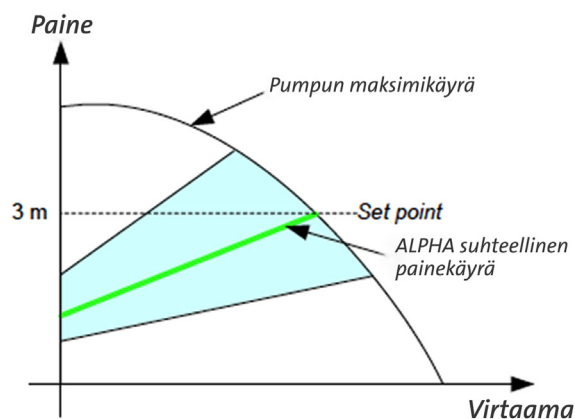
Kuvassa 1 näkyvien huoneiden lämmitystarve kuitenkin poikkeaa toisistaan. Huoneiden lämpötilaa voidaan säätää termostaattiventtiileillä, jotka rajoittavat virtaamaa. Näin lämpimän veden virtaamaa voidaan säätää erikseen jokaisessa patterissa, jolloin myös huonekohtainen lämpötilasäätö on mahdollista. Keskuslämmitysjärjestelmissä huoneiden lämpötilasäätö toteutetaan tällä periaatteella.

Termostaattiventtiili tarvitsee virtaaman säätöön painetta, joka tuotetaan kiertovesipumpulla. Kiertovesipumpun on kuitenkin ensin tuotettava putkiston vastapainetta suurempi paine, jotta virtaamaa voidaan säätää termostaattiventtiileillä. Tästä syystä huippuluokan kiertovesipumpuissa on sisäänrakennettu nopeuden säätö, jonka avulla voidaan alentaa painetta osittaisella kuormituksella. Näin säästyy energiaa ja termostaattiventtiilin suorituskyky paranee. Kiertovesipumpuissa paineenalennus osakuormalla toteutetaan suhteellisen painekäyrän avulla. Kuuden metrin nostokorkeudella varustetun Grundfos ALPHA -pumpun oletusarvoinen suhteellinen painekäyrä näkyy kuvassa 2.

Nopeussäädetyt kiertovesipumput ovat olleet markkinoilla jo vuosia ja niiden tekniikkaa on testattu laajamittaisesti. Jotta nopeussäädetyt kiertovesipumpun koko teho saadaan valjastettua hyötykäyttöön, säätökäyrä on valittava oikein järjestelmän ominaisuuksiin nähden. Säätökäyrän valintaan

Kuvassa olevan kaksiputkisen keskuslämmitysjärjestelmän tuottamaa lämpöä säädetään termostaattiventtiileillä. Keskuslämmitysjärjestelmän tehtävänä on säätää kunkin huoneen lämpötilaa käyttäjän asettaman arvon perusteella. Lämpötilaa säädetään lämmityspatterissa olevalla termostaattiventtiilillä (ks. kuva 1). Huoneeseen tuotettavaa lämpöä puolestaan säädetään patterissa virtaavan veden lämpötilan ja virtausnopeuden avulla. Veden lämpötilaa säädetään lämmönlähteen (kattila kuvassa 1) avulla ja virtausnopeutta termostaattiventtiilillä.

Kuvan 1 tapauksessa kattilalämpötilan asetuspiste on valittava niin, että lämmityspatterit pystyvät lämmittämään taloa



Kuva 2: Kiertovesipumppujen ohjaukseen käytettävä suhteellinen painekäyrä. Säätökäyrä voi asettua keskuslämmitysjärjestelmän tyyppistä ja koosta riippuen vaaleansiniselle alueelle.

vaikuttavat putkisto, lämmityspatterit ja järjestelmän lämmönlähde. Lisäksi optimaalisen säätökäyrän valinnassa on huomioitava myös talossa käytetty eristys. Eli säätökäyrä on usein valittava sellaisten kriteerien perusteella, jotka eivät välttämättä ole asentajan tiedossa. Tästä syystä valtaosa kiertovesipumppuista ei pysty hyödyntämään lämmitysjärjestelmälle optimaalisinta säätökäyrää.

Halusimme helpottaa asentajien työtä, joten kehitimme AUTOADAPT-säätöalgoritmin. Algoritmi valitsee kiertovesipumpulle säätökäyrän, joka on lämmitysjärjestelmän kannalta optimaalisin valinta. Tässä artikkelissa esiteltävä uudistunut AUTOADAPT on kehittyneempi versio Grundfosin MAGNA-kiertovesipumppuissa jo vuodesta 2001 käytössä olleesta AUTOADAPT-toiminnosta.

2. Uudistunut AUTOADAPT-algoritmi

Johdannossa todettiin, että kiertovesipumpulle valittu säätökäyrä vaikuttaa lämmitysjärjestelmän suorituskykyyn ja energiankulutukseen. Siksi oikein valittu käyrä on olennainen osa järjestelmän toimintaa. AUTOADAPT valitsee optimaalisen käyrän automaattisesti, ja asentajan tehtäväksi jää vain kytkeä kiertovesipumppu putkistoon ja sähköverkkoon.

Tässä osiossa käsittelemme AUTOADAPT-algoritmin toimintaperiaatetta. Tiedot perustuvat Kallesøen ja Bidstrupin (2008) artikkeliin. AUTOADAPT-säätötavan toimintaperiaate voidaan jakaa kuvan 3 mukaisesti kolmeen vaiheeseen. Kuva 3: AUTOADAPT-algoritmin toimintaperiaate. Algoritmi koostuu kolmesta vaiheesta: analyysistä, valitsemisesta ja säädöstä.



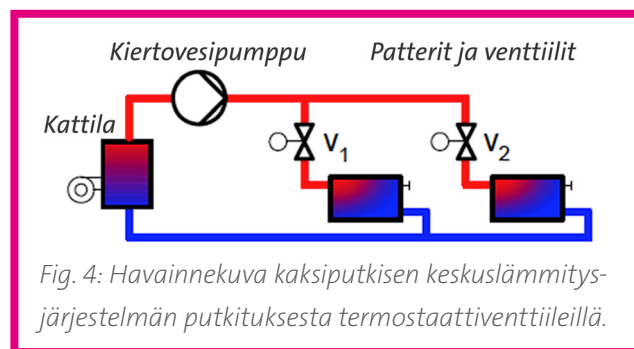
Ensimmäiseksi algoritmin ”Järjestelmäanalyysi”-toiminto analysoi lämmitysjärjestelmän, johon kiertovesipumppu on asennettu. Analyysillä tarkistetaan, onko kiertovesipumpun paine liian korkea, liian matala vai sopiva. Analyysiä käsitellään tarkemmin kohdassa 2.1. Toisessa vaiheessa järjestelmäanalyysissä koottujen tietojen perusteella ”Käyrävalitsin”-toiminto valitsee kiertovesipumpulle sopivan suhteellisen painekäyrän. Käyrävalitsimen toimintaan tutustutaan tarkemmin kohdassa 2.2. Lopuksi kiertovesipumppua aletaan ohjata valitun suhteellisen painekäyrän mukaisesti. Suhteellinen painekäyrä näkyy kuvasta 2. Seuraavassa kappaleessa käsittelemme tarkemmin kuvan 3 kahta ensimmäistä vaihetta.

2.1 Järjestelmäanalyysi

AUTOADAPT-algoritmi mukauttaa pumpun tuoton suhteellisen painekäyrän avulla lämmitysjärjestelmän olosuhteisiin. Algoritmi valvoo lämmitysjärjestelmän kuormitusta ja mukauttaa pumpun toimintaa sen perusteella.

Algoritmin toimintaa on helpompi ymmärtää, kun tutustumme ensin hieman tarkemmin siihen, miten järjestelmän kuormitus vaikuttaa kiertovesipumpun virtaamaan ja paineeseen. Esittelemme järjestelmäkuormituksen ja venttiilin toiminnan välistä yhteyttä kuvassa 4 näkyvän esimerkkijärjestelmän avulla. Lämmitysjärjestelmän toimintaperiaatteiden kuvaus perustuu Otton (1991), Petitjeanin (1994), Tiatorin artikkeleihin (1998).

Kattilan asetusasteella määritettyä lämpöenergian siirtymistä säädetään lämmityspattereissa kulkevan veden virtausnopeuden avulla. Veden virtausnopeutta puolestaan säädetään termostaattiventtiileillä, jotka säätelevät järjestelmän kaikkien venttiilien painehäviötä. Jos kiertovesipumpun paine on liian korkea, myös painehäviö venttiileissä on suuri. Tällaisessa tapauksessa venttiili on suurimman osan ajasta melkein kokonaan kiinni, jolloin lämpötilaa on hankala kontrolloida. Pumppu voi alkaa tärinästä (Andersen ym. 2000), mikä voi aiheuttaa melua putkistosta. Tätä ilmiötä kutsutaan paineen tasaamiseksi alaspäin. Jos kiertovesipumpun paine on puolestaan liian matala, myös painehäviö venttiileissä on pieni. Tällöin venttiilien on oltava suurimman osan ajasta lähes kokonaan auki, mikä jälleen vaikeuttaa lämpötilan kontrollointia.



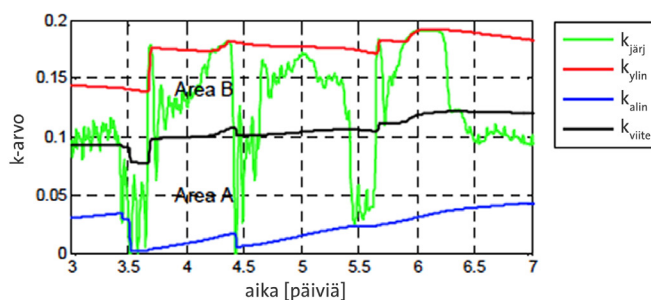
Grundfosin algoritmista järjestelmän venttiilien keskimääräistä aukioloaikaa mitataan hydraulisen kokonaisjohtavuuden avulla. Se kuvaa järjestelmän kokonaispainehäviötä valitulla virtaamalla eli kattilan, putkiston ja venttiilien (kuva 4) yhteenlaskettua painehäviötä. Kun kattilan ja putkiston painehäviöt pysyvät vakiona valitulla virtaamalla, venttiilien avautumisasteessa tapahtuvat muutokset muuttavat hydraulista johtavuutta. Yhteenlaskettu hydraulinen johtavuus perustuu pumpusta saatuihin mittausarvoihin. Hydraulinen kokonaisjohtavuus lasketaan alla olevalla kaavalla, jossa

$$k_{\text{järj}} \text{ - arvo} = \frac{\text{virtaama}}{\sqrt{\text{paine}}}$$

$k_{\text{järj}}$ -arvo on hydraulinen johtavuus, virtaama on virtaama pumpun läpi ja paine on paine pumpun läpi. AUTOADAPT-algoritmi perustuu $k_{\text{järj}}$ -arvoon.

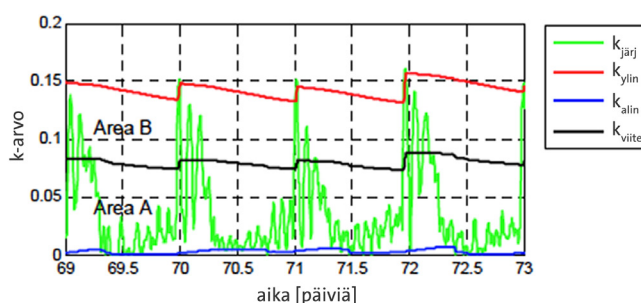
AUTOADAPT-algoritmin järjestelmänalyysin toimintaa on havainnollistettu kuvissa 5, 6 ja 7. Kuvissa vihreä käyrä kuvaa $k_{\text{järj}}$ -arvon muutoksia tietyllä ajalla. Punainen käyrä on $k_{\text{järj}}$ -arvon maksimiarvo ja sininen käyrä minimiarvo. Kaaviossa maksimiarvo on k_{ylin} ja minimiarvo k_{alin} . Musta k_{ayrj} jakaa punaisen ja sinisen käyrän välisen alueen kahdeksi osa-alueeksi A ja B. Musta käyrä k_{viite} lasketaan arvoista k_{ylin} ja k_{alin} . Paineen tasauksen määrää voidaan mitata vertaamalla $k_{\text{järj}}$ -arvon aikaa alueella A ja alueella B. Kuvissa 5, 6 ja 7 näkyy sama käyrä eri tilanteissa.

Kuvassa 5 kiertovesipumpun paine on liian matala, jolloin myös paine venttiilien yli on liian matala. Kuten jo aikaisemmin mainittiin, venttiilit eivät pysty säätämään lämpötilaa kunnolla, jos painetta ei ole riittävästi. Kuvassa 5 paine on liian matala, jolloin $k_{\text{järj}}$ -arvo (vihreä käyrä) on kauemmin alueella B kuin alueella A eli painetta tasataan ylöspäin.



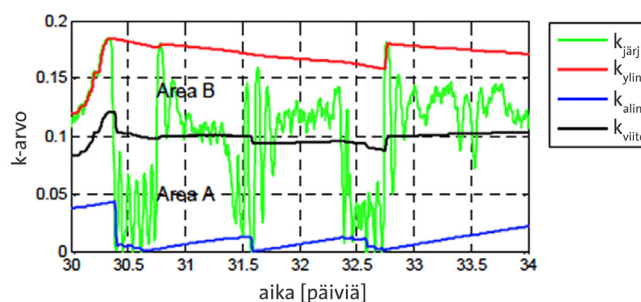
Kuva 5: Esimerkki tietyn ajanjakson $k_{järj}$ -arvoista keskukslämmitysjärjestelmässä, jossa painetta tasataan venttiilin ollessa melkein kokonaan auki

Kuvassa 6 näkyvät $k_{järj}$ -arvot toisella ajanjaksolla. Tässä esimerkissä kiertovesipumpun paine on liian korkea, minkä myötä lämpötilansäätö ei ole tehokasta. Kuvan 6 $k_{järj}$ -arvoista (vihreä käyrä) käy ilmi, että järjestelmässä on korkea-paine eli arvot ovat kauemmin alueella A kuin alueella B, jolloin painetta tasataan alaspäin.



Kuva 6: Esimerkki tietyn ajanjakson $k_{järj}$ -arvoista keskukslämmitysjärjestelmässä, jossa painetta tasataan venttiilin ollessa melkein kokonaan kiinni.

Kun järjestelmän painearvo on sopiva, $k_{järj}$ -arvo on alueella B yhtä kauan kuin alueella A. Tämä näkyy kuvasta 7.



Kuva 7: Esimerkki tietyn ajanjakson $k_{järj}$ -arvoista keskukslämmitysjärjestelmässä, jossa painetta ei tarvitse tasata.

Kuvista 5–7 voidaan tulkita, että tietyn ajanjakson $k_{\text{järj.}}$ -arvojen perusteella järjestelmien painetta on tasattava joko ylös- tai alaspäin tai tasausta ei tarvita lainkaan. Tähän perustuen AUTOADAPT-algoritmi arvioi, onko järjestelmän painetta syytä nostaa, laskea vai pitää samana.

2.2 Käyrävalitsin

AUTOADAPT-algoritmissa painetta säädetään perinteisesti suhteellisen painekäyrän avulla eli käyrävalitsimen tehtävänä on valita lämmitysjärjestelmän kannalta optimaalisin suhteellinen painekäyrä. Käyrävalitsin voi siis valita minkä tahansa suhteellisen painekäyrän *kuvan 2* siniseltä alueelta. Suhteellinen painekäyrä on todistetusti hyväksi havaittu paineensäätömenetelmä, joten siksi sitä käytetään myös AUTOADAPT-säätötavassa.

Suhteellisen painekäyrän optimaalisin sijainti määritetään kohdassa 2.1 kuvatun järjestelmäanalyysin tulosten perusteella. Jos esimerkiksi pumpun tuottama paine on liian matala, lämmitysjärjestelmä ei pysty tuottamaan tarpeeksi lämpöä. Tällöin järjestelmän venttiilien on oltava suurimman osan ajasta melkein kokonaan auki, jolloin painetta on tasattava ylöspäin, kuten *kuvassa 5*. Tilanteen korjaamiseksi on nostettava painetta ja siten myös suhteellista painekäyrää, mikä on AUTOADAPT-algoritmin vastuulla.

Jos lämmitysjärjestelmän paine on puolestaan liian korkea, lämpöä tuotetaan liikaa eli venttiilit ovat suurimman osan ajasta melkein kokonaan kiinni, kuten *kuvassa 6*. Tilanteen korjaamiseksi on laskettava painetta ja siten myös suhteellista painekäyrää, mikä on AUTOADAPT-algoritmin vastuulla.

Jos $k_{\text{järj.}}$ -käyrä on jakautunut tasaisesti alueelle A ja B, järjestelmäpainetta ei tarvitse tasapainottaa (*kuva 7*) eikä paineasetusta muuttaa. Tällöin AUTOADAPT-algoritmi ei myöskään muuta suhteellisen painekäyrän sijaintia.

3. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä artikkelissa esiteltiin tarkemmin pienten kiertovesipumppujen AUTOADAPT-säätöalgoritmin toimintaperiaatteita. Algoritmin tehtävänä on mukauttaa kiertovesipumpun painekäyrä lämmitysjärjestelmän tarpeisiin sopivaksi. Se helpottaa myös nopeussäädettyjen kiertovesipumppujen asennusta, koska asentajan ei enää tarvitse käyttää aikaa optimaalisen painekäyrän määrittämiseen.

Algoritmia on testattu kentällä yli 120 saksalaisessa kotitaloudessa. Testitulosten perusteella asukkaat ovat olleet joko tyytyväisiä tai erittäin tyytyväisiä algoritmilla ohjatun pumpun toimintaan. Kenttätestit osoittavat myös, että 75,2 %:ssa lämmitysjärjestelmistä AUTOADAPT vähensi tarvittavaa esipainetta verrattuna ALPHA2-kiertovesipumpun perusasetukseen. Eli energiaa säästy 75,2 prosentissa testitalouksista sisäilman mukavuudesta tinkimättä. Vain 11,4 prosentissa testitalouksista AUTOADAPT nosti esipainetta ALPHA2-kiertovesipumpun perusasetukseen verrattuna. Tällaisessa tapauksessa asukkaan olisi muutettava asetusta käsin, jos järjestelmään asennetussa pumpussa ei olisi AUTOADAPT-toimintoa. Tämä osoittaakin, että AUTOADAPT-toiminto voi auttaa säästämään energiaa sisäilman lämpötilasta tinkimättä.

Tässä artikkelissa AUTOADAPT-algoritmin toimintaa kuvaavissa esimerkeissä käytettiin termostaattiventtiileillä varustettua kaksiputkista lämmitysjärjestelmää. Algoritmi soveltuu yhtä hyvin myös lattialämmitysjärjestelmiin, sillä kenttätesteissä algoritmia testattiin erilaisissa lämmitysjärjestelmissä. Tämän perusteella voidaankin todeta, että AUTOADAPT soveltuu hyvin erilaisten lämmitysjärjestelmien tarpeisiin.

4. LÄHTEET

Andersen, P., Pedersen, T.S., Stoustrup, J., Svensen, J., Lovmand, B., Bidstrup, N. 2000. Elimination of oscillations in a central heating system using pump control. Teoksessa In proceedings of American Control Conference. 2000.

Tiator, Ingolf. 1998. *Heizungsanlagen*. Vogel. 1998.

Otto, Jürgen. 1991. *Pumpenheizungen richtig geplant*. Krammer Düsseldorf Verlag. 1991

Petitjean, Robert. 1994. *Total Hydronic Balancing*. Tour & Andersson Hydronics AB. 1994.

Kallesøe, C.S. & Bidstrup, N. 2008. *Adaptive control of domestic circulators*. Teoksessa Submitted to the International Rotating Equipment conference. Düsseldorf, Saksa. 2008.