

Jesse Lintumäki

Kiertovesipumppujen säätö- ja ohjaustavat

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Talotekniikan koulutusohjelma
Insinöörityö
12.4.2012

Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika	Jesse Lintumäki Kiertovesipumppujen säätö- ja ohjaustavat 37 sivua + 2 liitettä 12.4.2012
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-tekniikka, suunnittelupainotteinen
Ohjaaja(t)	LVI-insinööri Peter Biström lehtori Erkki-Olavi Sainio
<p>Insinöörityön tavoitteena oli tutkia ja esitellä erilaisia kiertovesipumppujen säätö- ja ohjaustapoja. Työssä esiteltiin yleisimpiä säätö- ja ohjausjärjestelmiä, joita pumppujen ohjaukseen voidaan käyttää. Säätämättömän ja ohjaamattoman järjestelmän eroja verrattiin keskenään, ja tutkittiin, miten pumppujen ohjaus- ja säätötavat vaikuttavat kiertovesiverkostojen toimintaan ja energiatehokkuuteen.</p> <p>Insinöörityössä tarkasteltiin myös eri pumpputyyppejä ja niiden ohjausmenetelmiä. Tarkastelu rajoittui kiertovesijärjestelmissä käytettäviin märkä- ja kuivamoottoripumppuihin. Molempien pumpputyyppeiden hyötyjä ja haittoja vertailtiin. Vertailun mukaan molemmilla pumpputyypeillä on omat vahvuutensa erilaisissa käyttökohteissa. Kuivamoottoripumppu soveltuvat hyvin jäähdytysjärjestelmiin, kun taas märkamoottoripumppujen käyttö on suositeltavaa lämmitys- ja käyttövesijärjestelmissä.</p> <p>Pumppujen ohjausta taajuudenmuuttajan avulla käsiteltiin kattavasti. Taajuudenmuuttajien käytön havaittiin olevan paras säätötapa. Perinteisten säätötapojen eli kuristuksen ja ohijuoksutuksen todettiin energiatehokkuuden kannalta olevan huonoja ratkaisuja.</p> <p>Insinöörityössä perehdyttiin myös pumppausjärjestelmien säädön- ja ohjauksen suunnitteluun vaikuttaviin asioihin. Merkittävin puute havaittiin olevan mitoituksen puolella, sillä suurin osa käytössä olevista järjestelmistä huomattiin ylimitoitetuiksi. Perusteluina ylimitoitukselle todettiin järjestelmän myöhemmän laajennustarpeen huomioiminen ja toiminnan varmistaminen. Toimenpiteeksi ylimitoitettujen pumppausjärjestelmien energiatehokkuuden parantamiselle ehdotettiin pumppujen kierroslukusäätöä.</p> <p>Työssä selvitettiin uusien energiamääräyksien vaikutusta säätö- ja ohjausjärjestelyihin tulevaisuudessa. Uusien energiamääräyksien havaittiin syrjäyttävän säätämättömät pumppausjärjestelmät. Pumppujen nopeussäätöön perustuvan taajuudenmuuttajaohjauksen havaittiin olevan tehokkain ja energiataloudellisin ohjaus- ja säätötapa. Vanhojen pumppujen varustaminen taajuudenmuuttajalla todettiin kannattavaksi energiansäästökeinoksi.</p>	
Avainsanat	pumppu, kiertovesipumppu, taajuudenmuuttaja, energiatehokas ohjaustapa

Author(s) Title	Jesse Lintumäki The controlling methods of circulation pumps
Number of Pages Date	37 pages + 2 appendices 12 April 2012
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, Design Orientation
Instructor(s)	Peter Biström, Bachelor of Engineering Erkki-Olavi Sainio, Senior Lecturer
<p>The objective of this Bachelor's thesis was to study and introduce various control systems for circulation pumps. In addition, effects of the methods used for pump control on the efficiency of pumps and on the energy consumption of the pumps were investigated. The Bachelor's thesis also introduced two different types of circulation pumps and compared their main differences, both advantages and disadvantages. Furthermore, it was studied how various inverter pumps work.</p> <p>Both pumps had their advantages and disadvantages. As controlling method, the inverter was best and most energy saving. The Bachelor's thesis indicated that inverter control can save 42 % energy per year. In addition, it was noticed that most circulation systems were oversized. The oversizing of pumps caused unnecessary energy consumption.</p> <p>The results of this final year project show that energy consumption can be reduced with pump control systems. An inverter is the best controlling and adjusting method. Without controlling, pumps use too much energy and cause CO₂ emissions. The emissions can be prevented with correct design of pumping systems.</p>	
Keywords	circulation pumps, pump control, inverter, energy-efficiency control method

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Kiertovesipumpun ohjaus	2
2.1	Ohjauksen ja säädön käsitteet	2
2.2	Pumppu ilman säätöä	2
2.3	Säädöllä varustettu pumppu	3
3	Taajuudenmuuttaja	6
3.1	Tietoa taajuudenmuuttajasta	6
3.1.1	Pumppujen ohjaus taajuudenmuuttajalla	6
3.1.2	Paineensäätö pumpun yli	8
3.1.3	Verkoston paineensäätö	9
3.2	Taajuudenmuuttajan tehovalinta ja kierroslukualueet	10
4	Ohjattavat pumpputyypit	11
4.1	Talotekniikassa käytettävät pumput	11
4.2	Märkämoottoripumppu	11
4.2.1	Pumppujen ominaisuudet	11
4.2.2	Kuivamoottoripumppu	14
4.2.3	Taajuudenmuuttajan sisältävä pumppu	15
5	Ulkoisella taajuudenmuuttajalla varustettu pumppu	18
6	Energiatalous	21
6.1	Kiertovesipumppujen säädön ja ohjauksen vaikutus energiatehokkuuteen	21
6.1.1	Pumppausjärjestelmän energiatehokkuuden parantaminen	21
6.1.2	Ohjaamattoman pumpun energiatehokkuus	25
6.2	Energiamääräysten vaikutus pumppausjärjestelmien suunnitteluun	25
7	Pumppausjärjestelmän säädön ja ohjauksen suunnittelussa huomioitavia asioita	30
8	Yhteenveto	34
	Lähteet	36
	Liitteet	
	Liite 1. Keskipakopumpun ominaiskäyrä	
	Liite 2. Pumpun tuottokäyrä eri kierrosluvuilla	

1 Johdanto

Insinööriyön tavoitteena on tutkia kiertovesipumppujen säätö ja ohjaustapoja ja vertailla säädöllä varustettua pumppua säätämättömään järjestelmään. Työssä käsitellään suljetuissa verkostoissa toimivia kiertovesipumppuja, jotka pääasiassa ovat keskipakopumppuja. Työ tehdään Insinööritoimisto Olof Granlund Oy:lle. Lisäksi työssä tutkitaan kiertovesipumppujen ohjausmenetelmien vaikutusta energiatehokkuuteen. Saatujen tuloksien perusteella pohditaan säätö- ja ohjausjärjestelmien nykytilaa ja kehitystarpeita.

Aihe on ajankohtainen, sillä pumppujen ohjausjärjestelmiin tullaan panostamaan tulevina vuosina erittäin paljon. Pumput kehittyvät erittäin nopeaan tahtiin, ja vanhat pumppujärjestelmät tulevat poistumaan markkinoilta. Granlundilla on tehty energiatehokkaan kiertovesipumpun määrittämiseen liittyvä insinööriyö, joten tämä ohjauksia käsittelevä aihe on hyvää jatkoa edelliselle työlle.

Suurin osa nykyisistä kiertovesipumppujärjestelmistä on ohjaamattomia. Pumput pyörivät yleensä vakionopeudella. Säätämällä järjestelmä ja ohjaamalla pumppua oikealla tavalla voidaan säästää kallista sähköenergiaa ja siten vähentää haitallisia kasvihuonekaasupäästöjä.

Euroopan unioni pyrkii toimillaan vaikuttamaan pumppausjärjestelmien energiatehokkuuteen. EU:n tavoitteena on säästää märkämootoripumppujen energiankulutuksessa 23 terawattitunnin sähkömäärä vuodessa, vuoteen 2020 mennessä. Käytännössä tämä vastaa kuuden keskisuuren hiilivoimalan sähköntuottoa. Mikäli tavoitteeseen päästään, tullaan hiilidioksidipäästöjä vähentämään 11 miljoonan tonnin verran. Tulevaisuudessa käytettävien pumppumallien tulee täyttää EU:n asettama energiatehokkuusindeksi (EEI). Energiatehokkuusindeksi selvitetään laskennallisesti. [1]

Työtä voidaan käyttää myös apuvälineenä suunniteltaessa pumppausjärjestelmiä ja niiden ohjaustapoja. LVI-suunnittelijoiden lisäksi tämä työ soveltuu apuvälineeksi rakennusautomaatiosuunnittelijalle.

2 Kiertovesipumpun ohjaus

2.1 Ohjauksen ja säädön käsitteet

Pumppujen säätö ja ohjaus ovat kaksi eri asiaa, jotka menevät helposti käsitteenä sekaisin. Säätö edellyttää takaisinkytkentää prosessista, ts. säädettävässä prosessissa on mittausanturi, jonka mukaan pumpun kierroslukua muutetaan. Ohjauksessa ei ole takaisinkytkentää (esim. pumpun pysäyttäminen ja käynnistäminen aikaohjelman mukaan). Energiatehokkuudella tarkoitetaan tämän työn yhteydessä vähän energiaa kulluttavia pumppuja ja pumppausjärjestelmiä.

2.2 Pumppu ilman säätöä

Kiertovesipumpun ohjaukselle on tärkeä merkitys, lämmitys, jäähdytys- ja ilmanvaihtojärjestelmien toiminnan kannalta. Hyvällä ohjausmenetelmällä voidaan pumpun toimintaa kontrolloida siten, että energiaa säästyy ja virtaamat verkostossa jakautuvat tasaisesti. Pumppujen ohjausmenetelmät ovat olennainen osa toimivaa talotekniikan kokonaisuutta. Yleisimmät kiertovesijärjestelmän kapasiteetin säätömenetelmät ovat nopeusohjatut pumput, kuristusventtiilit, ohivirtausjärjestelmät ja juoksupyörän halkaisijan pienentäminen. [2]

Ilman säätöä toimiva kiertovesipumppu pyörii jatkuvasti vakionopeudella. Hyvin suuri osa nykyisistä käytössä olevista pumppausjärjestelmistä on vakionopeudella toimivia, ohjaamattomia pumppuja. [3]

Ohjaamaton, suoraan kytketty pumppukäyttö nostaa verkoston paineen turhan suureksi. Tästä seuraa liiallista tehonkäyttöä, hyötysuhteen heikkenemistä ja ääniongelmia. [4]

Ilman säätöä olevat pumppausjärjestelmät ovat yleensä ylimitoitettuja [5]. Ylimitoituksesta aiheutuu merkittävä järjestelmän tehokkuuden lasku, vaikka itse pumput olisivatkin tehokkaita. Energiatehokkuuden laskulla tarkoitetaan pumpun energiankulutuksen kasvamista. Ylimitoidetussa järjestelmässä pumput toimivat liian suurella teholla, jolloin

ne kuluttavat turhan paljon energiaa. Motivan arvion mukaan 75 % pumppausjärjestelmistä on ylimitoitettuja, ja monet järjestelmistä on mitoitettu yli 20 % liian suuriksi.

Pumppuja ylimitoitetaan seuraavista syistä:

- Putkiston painehäviö on arvioitu liian suureksi tai sitä ei tiedetä
- Pumpun tehon mitoituksessa on huomioitu mahdollinen laajennusvara
- Mitoitus on tehty väärän ominaiskäyrän mukaan
- Mitoituslaskelmiin on lisätty tarpeettoman suuri varomarginaali
- Pumppu on valittu hinnan, saatavuuden, toimitusajan tai myyjän suosituksen perusteella. [5]

Pumpun ylimitoitus on korjattavissa jälkikäteen usealla eri tavalla. Korjaustapoja ovat mm. pumpun vaihtaminen uuteen, juoksupyörän pienentäminen ja pumpun tehostaminen nopeussäädetyllä käytöllä.

2.3 Säädöllä varustettu pumppu

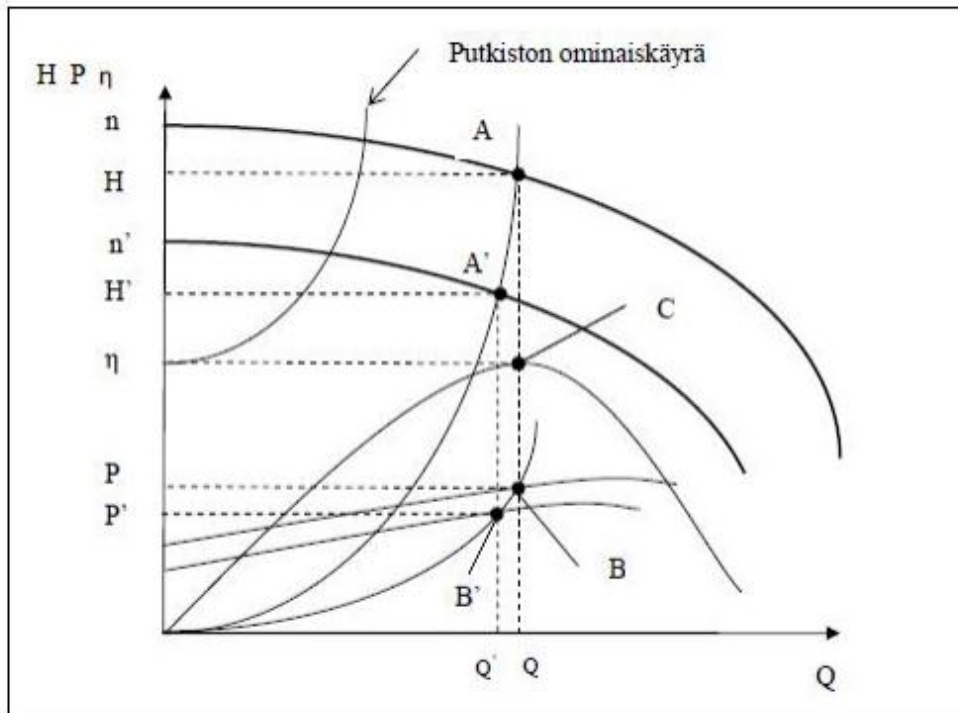
Pumppuja voidaan ohjata monella eri tavalla. Vaihtelevan pumppaustarpeen ohjaus suoritetaan usein ohijuoksutuksen tai kuristuksen avulla. Molemmat menetelmät ovat halpoja ratkaisuja. [5]

Kuristussäätö on perinteinen pumppujen säätömenetelmä. Kuristussäätö perustuu paineen hävittämiseen painepuolelle sijoitetun säätöventtiilin avulla. Kuristaminen saa aikaan nostokorkeuden kasvun ja tilavuusvirran pienenemisen. Kuristamista ei saa koskaan suorittaa pumpun imupuolelle sijoitetulla venttiilillä kavitaatiovaaran takia. Käytännössä kuristaminen voidaan tehdä myös pumpun imupuolelta, sillä suljetuissa verkostoissa ei ole kavitaation vaaraa.

Kavitaatiolla tarkoitetaan ilmiötä, jossa paine pumpun juoksupyörässä alittaa nesteen höyrystymispaineen. Seurauksena on nesteen höyrystyminen ja muodostuneiden höyrykuplien luhistuminen painenvaihtelujen johdosta. Höyrykuplien luhistuminen saa aikaan paineiskuja, jotka kuluttavat pumpun juoksupyörän pilalle. Kavitaatio voi pilata

hyvän pumpun hyvinkin nopeasti, joten sen ennaltaehkäiseminen on pumppauksessa todella tärkeää. [6, s.19.]

Pumpun kierrosnopeussäätö soveltuu vaihtelevan virtauksen hallintaan paremmin kuin ohijuoksutus ja kuristus. Nopeussäädön avulla voidaan säästää sähkökustannuksissa ja taata pumppausprosessin tasainen ja varma toiminta. Nopeussäädön toteuttaminen vaatii investointeja, mutta ne maksavat itsensä takaisin pidemmällä aikavälillä. Nopeussäätö on tehokas ohjauskeino prosesseissa, joissa on suuri pumppaustarve tai suuret erot painetasojen välillä. Käyttämällä nopeussäätöä pumpun ohjaukseen saadaan pumppu toimimaan parhailla mahdollisilla toiminta-arvoilla ja tehokkuudella. Kuvassa 1 on esitetty graafisesti pumpun pyörimisnopeuden muutoksen vaikutukset pumpun toiminta-arvoihin. Tilanteen tarkastelu aloitetaan toimintapisteestä A, jolloin pyörimisnopeus on n . Toimintapisteessä (piste A) tilavuusvirta on Q ja nostokorkeus H . Pumppu ottaa toimintapisteessä A tehon P (piste B) ja sen hyötysuhde on η (piste C). Pienemmällä pyörimisnopeudella n' piste A siirtyy pisteeseen A' , joten nostokorkeus pienenee. Tarkasteltaessa tilannetta tehokäyrällä siirrytään pisteestä B pisteeseen B' . Vähennettäessä tasaisesti pyörimisnopeutta piste A siirtyy origoa kohden paraabelinmuotoista rataa pitkin. Tehokäyrällä tehopiste B pienenee kolmannen asteen muotoista käyrää pitkin. Pisteellä A on pisteen C mukaisesti hyötysuhde η . Hyötysuhteen oletetaan pysyvän vakiona toimintapisteen muuttuessa. Tällöin pisteessä A' on oltava sama hyötysuhde. [6; s.8.] Kuvasta 2 nähdään, miten pumpun pyörimisnopeuden muutos vaikuttaa toiminta-arvoihin.

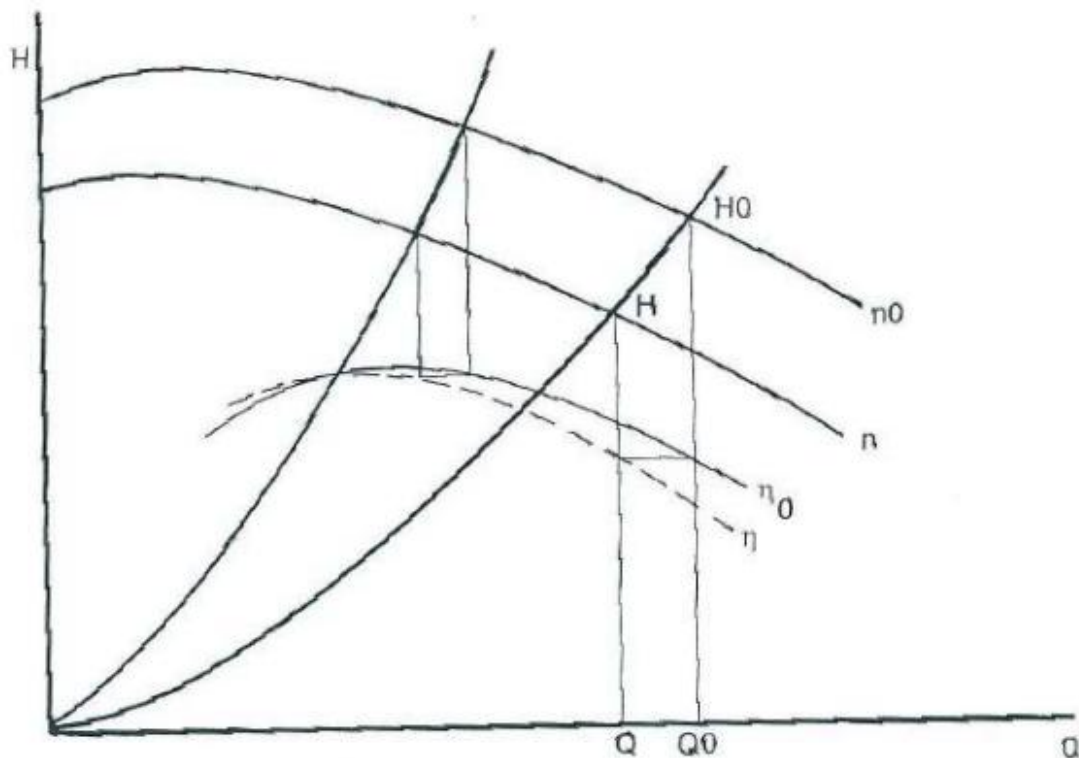


Kuva 1. Pyörimisnopeuden muutoksen vaikutus pumpun toiminta-arvoihin. [6, s. 8]

Pumpun pyörimisnopeuden säädöllä on suuri vaikutus pumpun hyötysuhteeseen. Pyörimisnopeuden puolittuessa pumpun tehontarve pienenee kahdeksasosaan alkuperäisestä, mikä parantaa pumpun hyötysuhdetta merkittävästi. [6, s. 7-9] Pyörimisnopeuden vaikutus pumpun hyötysuhteeseen on esitetty kuvassa 2.

Kuvassa esiintyvät muuttujat tarkoittavat seuraavaa:

- Q_0 on pumpun tunnettu tilavuusvirta (dm^3/s)
- Q on pumpun uusi tilavuusvirta (dm^3/s)
- n_0 on pumpun tunnettu pyörimisnopeus (r/s)
- n on pumpun uusi pyörimisnopeus (r/s)
- H_0 on pumpun tunnettu nostokorkeus (m)
- H on pumpun uusi nostokorkeus (m)



Kuva 2. Pyörimisnopeuden vaikutus pumpun hyötysuhteeseen [6, s. 9].

Nopeusohjattu pumppu toimii parhaalla mahdollisella hyötysuhteella, sillä moottori ei kuormitu liikaa eikä pyöri tarpeettoman suurella teholla. Nopeusohjauksen avulla saadaan pumpun nopeus pidettyä optimaalisella tasolla siten, että hyötysuhde ei kärsi säädestä.

3 Taajuudenmuuttaja

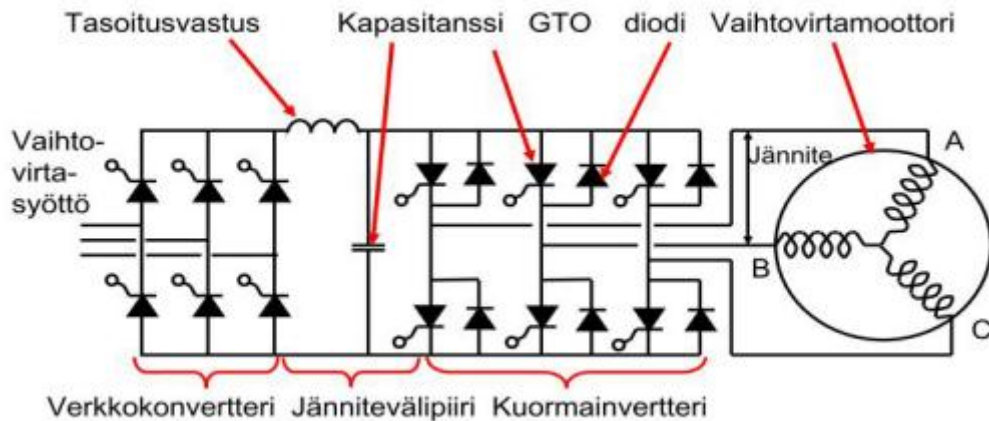
3.1 Tietoa taajuudenmuuttajasta

3.1.1 Pumppujen ohjaus taajuudenmuuttajalla

Taajuudenmuuttajia käytetään sähkömoottorien ohjaamiseen. Moottorien ohjaus toteutetaan pyörimisnopeutta säätämällä. Vaihtovirtamoottorien pyörimisnopeuden tehokas säätäminen ei ole mahdollista ilman taajuudenmuuttajaa. Sähkömoottorien pyörimisnopeutta on perinteisesti muutettu erilaisien vaihteistojen ja jarrujen avulla. Taajuudenmuuttajien avulla saavutetaan erittäin suuri energiansäästö. Nykyään taajuuden-

muuttajat ovatkin käytössä monissa teollisuuden laitejärjestelmissä, sillä niillä saavutetaan suuria etuja. [7, s. 1-2.]

Suurin osa käytettävistä taajuudenmuuttajista on jännitevälipiirillisiä taajuudenmuuttajia. Muita taajuudenmuuttajatyyppejä ovat virtavälipiiriset taajuudenmuuttajat, sekä syklokonverterit. Jännitevälipiirillisen taajuudenmuuttajan malli on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Jännitevälipiirillinen taajuudenmuuttaja [7, s. 3]

Taajuudenmuuttajat koostuvat pääosin tehopuolijohteista. Tehopuolijohteita ovat diodit, tyristorit, IGBT-transistorit (Insulated Gate Bipolar Transistor), sekä GTO-tyristori (Gate Turn-OFF). Tehopuolijohteiden avulla jännite voidaan tasasuunnata tai vaihtosuunnata halutunlaiseksi. Tehopuolijohteet ovat sähköisiä kytkimiä, jotka voivat kytkeä jännitettä päälle ja pois jopa kymmeniä tuhansia kertoja sekunnissa. Tehopuolijohteilla pystytään tekemään erimuotoisia jännitteitä niiden nopean toiminnan ansiosta.[7, s. 2.]

Taajuudenmuuttajien käyttö on yleistynyt voimakkaasti moottorien ohjaustekniikassa. Talotekniikassa käytettävät sovellukset ovat yleensä joko pumppu- tai puhallinkäyttöjä. Toiminnallisena etuna näillä on ensisijaisesti,

- tehontarpeen sovittaminen tarkasti prosessin mukaan
- laitteiden pehmeät käynnistykset
- jatkuva säätömahdollisuus.

Yhdistettäessä taajuudenmuuttajan ohjaus rakennusautomaatiojärjestelmän prosessisäätöihin saavutetaan tehontarpeen oikealla ja jatkuvalla säädöllä huomattavia energiakustannussäästöjä. Taajuudenmuuttajien käytöllä moottorilähtöinä on merkittävä rakenteellinen etu: syöttävien ryhmäkeskusten yksinkertaistuminen. Usein on mahdollista käyttää perusmoduulikeskuksia, jolloin keskusten rakennuskohtainen räätälöinti jää vähäiseksi.

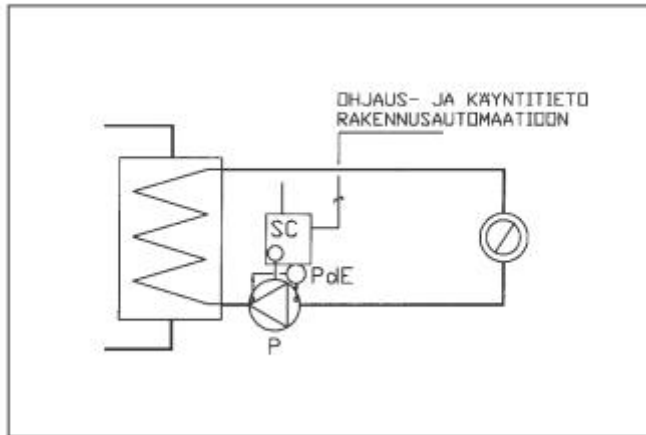
Taajuusmuuttajien käytöllä pumppujen ohjauksessa on myös haittapuolia. Taajuudenmuuttajiin perustuva ohjaus on monipuolinen, mutta myös kunnollista osaamista vaativa ohjaustapa. Kiertovesipumppujen ohjausjärjestelmiin joudutaan paneutumaan huolella, mikäli ohjaus toteutetaan taajuudenmuuttajakäytöllä. Erityisesti tulee huomioida:

- sähköisten ohjausten toteuttamistavat
- häiriösuojaukset
- käyttöönottoon, parametrintiin ja dokumentointiin liittyvät asiat
- käytettävyyks, käyttäjäkoulutus ja vikatilanteiden hallinta.

Vesikiertoisissa lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmissä käytetään enimmäkseen huonekohtaisia 2-tiesäätöventtiilejä, jotka rajoittavat virtausta säätötilanteessa. Tällöin järjestelmien kokonaisvirtaus voi vaihdella laajoissa rajoissa. Säätämättömässä pumppukäytössä paine pyrkii kasvamaan liian suureksi, erityisesti pienillä virtaamilla. [4]

3.1.2 Paineensäätö pumpun yli

Paineensäätö pumpun yli tulee kysymykseen silloin, kun verkosto haarautuu heti pumpun jälkeen. Pumpun yli tapahtuvaa paineensäätöä voidaan käyttää myös silloin, kun mittausta on vaikea järjestää pidemmälle verkostolle. Pumpun yli tapahtuvassa paineensäädössä käytetään integroitua taajuudenmuuttajaa. Kuvassa 4 on esitetty kaaviokuva paineensäädöstä pumpun yli.

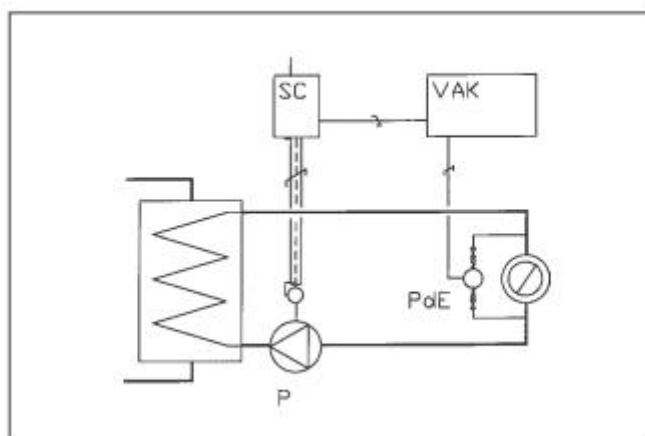


Kuva 4. Paineensäätö pumpun yli [4]

Pumpun yli tapahtuva paineensäätö toteutetaan yleensä pumppuun integroidun taajuudenmuuttajan avulla. Paineensäätö pumpun yli ei huomioi siirtimien, siirtoverkon yms. painehäviöitä. Tämän kompensoimiseen voidaan käyttää paineen asetuksessa myötäkyskentää virtauksesta eli nostaa paineasetusta taajuuden kasvaessa. Myötäkyskentää nimitetään myös suhteutetuksi paineohjaukseksi.

3.1.3 Verkoston paineensäätö

Taajuudenmuuttajalla säädetään pumpun kierroslukua siten, että saadaan ylläpidettyä vakioaine verkoston yli. Taajuudenmuuttaja säätää pumpun kierroksia pienemmäksi, kun paine virtaamaan pienentyessä pyrkii kasvamaan. Verkoston paineensäätö on esitetty pelkistetysti kuvassa 5.



kuva 5. Verkoston paineensäätö [4]

Verkoston paineensäädön oikea toteuttaminen on tärkeä osa monipuolista talotekniikan suunnittelua. Kuten kaikissa muissakin suunnittelun osa-alueissa, myös paineensäätö-ohjauksen suunnittelussa on kokonaisuuden hyvä hallinta ensiarvoisen tärkeää. [4]

3.2 Taajuudenmuuttajan tehovalinta ja kierroslukualueet

Taajuudenmuuttajan yleinen valinta tehdään käytännössä teholuokan perusteella. Valinnassa tulee huomioida lisäksi myös mahdolliset rajaukset pyörimisnopeusalueissa. Laitetoimittajat esittävät teknisissä kuvauksissaan taajuudenmuuttajien kokoluokat taulukoissa. Taulukoissa esitetään myös taajuudenmuuttajaa vastaava virta-arvo. Taulukon mukaan valitaan taajuudenmuuttaja, joka on teholuokaltaan suurempi tai yhtä suuri kuin kiertovesipumpun moottorin kilvessä oleva teho.

Moottorin kilvessä ilmoitettu teho on akselitehoa. Moottorin sähköinen ottoteho, johon taajuudenmuuttajan tulee kyetä, on erilaisten häviöiden takia tätä tehoa suurempi. Suurin osa taajuudenmuuttajatoimittajista on huomionut tämän laatimissaan tehonvalintataulukoissa. Lopuksi tulee tarkistaa, että taajuudenmuuttajan virransyöttökyky on suurempi kuin moottorin nimellisvirta. Taajuudenmuuttaja voidaan mitoittaa myös suoraan virta-arvojen perusteella.

Talotekniikassa on prosessin tehonkäytön ja lopullisten moottorien arvojen suhteen usein epävarmuutta, joten taajuudenmuuttaja kannattaa valita hieman vaadittua suuremmaksi. Tämä ei vaikuta kustannuksiin merkittäväällä tavalla. Taajuudenmuuttajien suojausparametrit eli ylivirta-arvot tulee aina asettaa valitun moottorin mukaan.

Pumppu- ja puhallinkäytöissä kuormittava vastamomentti on neliöllinen. Taajuudenmuuttajalla voidaan neliöllistä momenttia käyttää aina nimellistaajuuteen tai jännitteen asti. Tästä seuraa jännitteen kasvun pysähtyminen eli momentin vakioituminen. Jos moottori ei ole tarpeeksi iso, tullaan nopeasti tilanteeseen, jossa moottorin momenttikehitys ei riitä ja taajuudenmuuttajan suojaustoiminnot kytkevät moottorin irti.

Ylitaajuuksia on ehdottomasti vältettävä talotekniikan pumppukäytöissä. Ylitaajuuksilla tarkoitetaan tässä yhteydessä yli 50 Hertzin taajuuksia. Pumppujen moottorien mekaanisen kestävyuden suhteen saattaa olla myös ylikierrosrajoituksia. Tästä poikkeuksen

ovat kokonaisvaltaisesti suunnitellut tuotteet, joiden moottorien koot ja muut ominaisuudet on mitoitettu alun perin korkeammille kierrosluvuille.

Käytettäessä kiertovesipumppua pienillä kierrosluvuilla saattaa moottorin jäähdytys kärsiä, kun akseliin liitetty puhallin ei kykene jäähdyttämään moottoria riittävästi. Kierrosluvun alaraja pitää aina tarkastaa suunnittelussa erityisesti silloin, kun virtaus muuttuu laajalla alueella, koska kierroslukusäädön alaraja on 20–30 %.

Taajuusmuuttajien ominaisuuksia voidaan hyödyntää ohjaustilanteiden pehmentämiseksi. Tällöin käytetään hyväksi taajuudenmuuttajien ominaisuutta hidastettuihin taajuusmuutoksiin. Tätä ominaisuutta kutsutaan toisinaan myös nimellä ramppiajo. Ramppiajoa käyttämällä järjestelmän toimintavarmuus paranee huomattavasti, sillä pumppukäyttöjen paineiskut saadaan eliminoitua kokonaan. Näissä tapauksissa on muistettava, että ramppi on usein ohjelmoitu suoraan taajuudenmuuttajaan ja toteutuu ohjaussignaalista riippumatta. Yleensä tästä ei ole haittaa, mutta erityisesti pysäytyksen tapahtuessa on ramppien oltava nopeita ristiriitatilanteiden ehkäisemiseksi. Rampin avulla suoritettavien käynnistysten yhteydessä on suositeltavaa käyttää sopivaa kynnystaajuutta, jotta moottoreita ei tarvitse käyttää lähes nollataajuuksilla. [4]

4 Ohjattavat pumpputyypit

4.1 Talotekniikassa käytettävät pumput

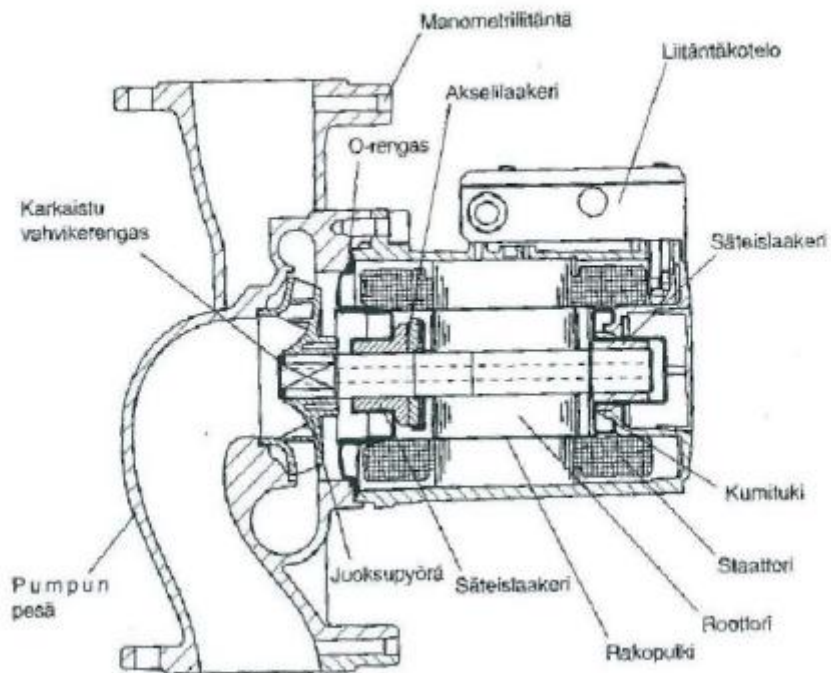
Talotekniikan pumppukäytöissä käytettävät pumpputyypit ovat pääsääntöisesti kuiva- ja märkämoottoripumppuja. Molemmat pumpputyypit ovat erittäin käyttökelpoisia pumpputyyppejä erilaisissa LVI-järjestelmissä.

4.2 Märkämoottoripumppu

4.2.1 Pumppujen ominaisuudet

Pumpattava neste ympäröi roottorin ja laakeroinnin märkämoottoripumpussa. Pumpattava neste voitelee pumpun laakerit ja jäähdyttää moottoria. Märkämoottoripumpussa (kuva 6) sähkömoottorin tuottamaa lämpöä siirtyy pumpattavaan nesteeseen, joten märkämoottoripumpun asentaminen jäähdytysjärjestelmään ei ole suositeltavaa. Märkämoottoripumppu voi nostaa jäähdytysjärjestelmän energiankulutusta tarpeettomasti. Sen sijaan lämmitysjärjestelmissä märkämoottorin tuottama lämpö saadaan hyödyksi,

joten märkämoottoripumppu parantaa lämmitysjärjestelmän hyötysuhdetta. Märkämoottoripumpun etuja ovat kuivamoottoripumppua hiljaisempi käyntiääni ja huoltovapaus, sillä moottorin ja pumpun pesän välillä ei ole mekaanista tiivistettä, kuten kuivamoottoripumpussa. [6, s. 15.]



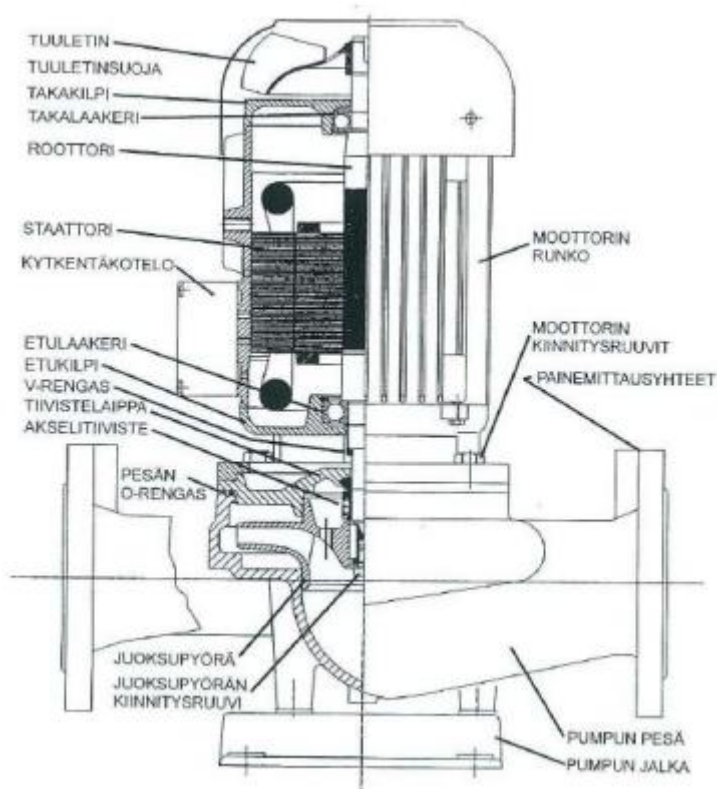
Kuva 6. Märkämoottoripumpun läpileikkäuskuva [6, s. 16]

Märkämoottoripumppu edustaa nykyaikaista, energiatehokasta pumppaustapaa. Märkämoottoripumpun käyttö lämmitysjärjestelmissä onkin yleistynyt huomattavasti. Varsinkin pienemmissä kohteissa, kuten omakotitaloissa, märkämoottoripumppu on yleisin käytettävä kiertovesipumpputyyppejä.

Märkämoottoripumppua on kehitetty erittäin paljon viime vuosien aikana. Markkinoille on tuotu pumppusukupolvi, joissa on kestävä moottori. Tässä pumpputyypissä staattoriosassa on koteloitu ja moottorin rakennetta on muutettu. Rakoputki on metallia, kun se aiemmin on ollut muovia. Tämän rakenteen uskotaan nostavan märkämoottoripumppujen hyötysuhteen jopa kaksinkertaiseksi perinteisiin pumppuihin verrattuna. Pumppuvalmistajien mukaan uuden rakenteen omaavan märkämoottoripumpun hankintahinta on lähes kaksinkertainen, mutta sähkön kulutus alle kolmannes perinteisen pumpun kulutuksesta. [8]

4.2.2 Kuivamoottoripumppu

Kuivamoottoripumpussa pumpun hydraulikka ja moottori on erotettu toisistaan akselitiivisteiden avulla. Moottorin jäähdytys on hoidettu tuulettimella, joten sähkömoottorin tuottamaa lämpöenergiaa ei siirry pumpattavaan nesteeseen. Tämän takia kuivamoottoripumppu sopii erinomaisesti jäähdytysjärjestelmän pumpuksi. Kuivamoottoripumppu sopii paremmin vettä tiheämpien nesteiden pumppaamiseen kuin märkamoottoripumppu. Kuivamoottoripumpun rakenne on havainnollistettu poikkileikkauksessa (kuva 7). Kuivamoottoripumppu on yleinen suurten laitosten ja teollisuuden pumppausjärjestelmissä. [6, s. 17]



Kuva 7. Kuivamoottoripumpun poikkileikkaus [6, s. 16]

Kuivamoottoripumpun rakenne on huoltoa vaativa. Akselitiiviste saattaa alkaa vuotamaan. Toisaalta kuivamoottoripumpun moottori voi olla märkamoottoripumppua pitkäikäisempi, sillä sähkömoottori ei ole tekemisissä pumpattavan nesteen kanssa.

4.2.3 Taajuudenmuuttajan sisältävä pumppu

Pumpun ohjaus on yleensä järkevää toteuttaa sisäänrakennetulla taajuudenmuuttajalla. Tällöin vältetään turhilta kaapelointikustannuksilta. Useat pumppuvalmistajat ovatkin tuoneet markkinoille pumppuja, joissa on sisäänrakennettu taajuudenmuuttaja. Sisäänrakennetulla taajuudenmuuttajalla varustettu pumppu on järkevä ratkaisu myös tilaratkaisujen kannalta, sillä pumppu taajuudenmuuttajineen muodostaa kompaktin paketin.

Taajuudenmuuttajan sisältävät pumpput ovat pyörimisnopeussääteisiä keskipakopumppuja. Taajuudenmuuttajan sisältävät pumpput soveltuvat puhtaiden nesteiden kierto, paineenkorotus- ja siirtopumpuiksi. Näiden pumppujen tyypillisimpiä käyttökohteita ovat

- kaukolämpölaitokset
- lämmönjakokeskukset
- lämmitys, ilmastointi- ja lämmöntalteenotto piirit
- teollisuuden- ja voimalaitosten jäähdytys
- jäähdytys ATK-järjestelmissä
- jäähallit
- kylpylät ja uimahallit
- paineenkorotusasemat
- erilaiset teollisuuden prosessit.

Taajuudenmuuttajan sisältävien pumppujen etuina voidaan pitää monipuolisia ohjaus- ja säätömahdollisuuksia. Tämä korostuu erityisesti monipumppukäytöissä, joita ovat esimerkiksi kaksoispumput ja paineenkorotusasemat. Esimerkkinä taajuudenmuuttajan sisältävästä pumpusta on kuvan 8 pumppu. [9]



Kuva 8. Kiertovesipumppu sisäisellä taajuudenmuuttajalla [10]

Sisäisellä taajuudenmuuttajalla varustetut pumput sopivat hyvin pieniin pumppausjärjestelmiin, esimerkiksi omakotitalojen lämmitysverkoston pumpuiksi. Tällöin ei tarvitse hankkia erillistä taajuudenmuuttajayksikköä ohjaamaan pumppua, mikä tuo merkittäviä kustannussäästöjä. Pumppausjärjestelmän asennustyö helpottuu myös huomattavasti.

Taajuudenmuuttajan sisältävää pumppua tahdistetaan yleensä kestopagneettimoottorilla. Kestomagneetin synkronimoottoria puolestaan ohjataan sisäänrakennetulla taajuudenmuuttajalla. [10]

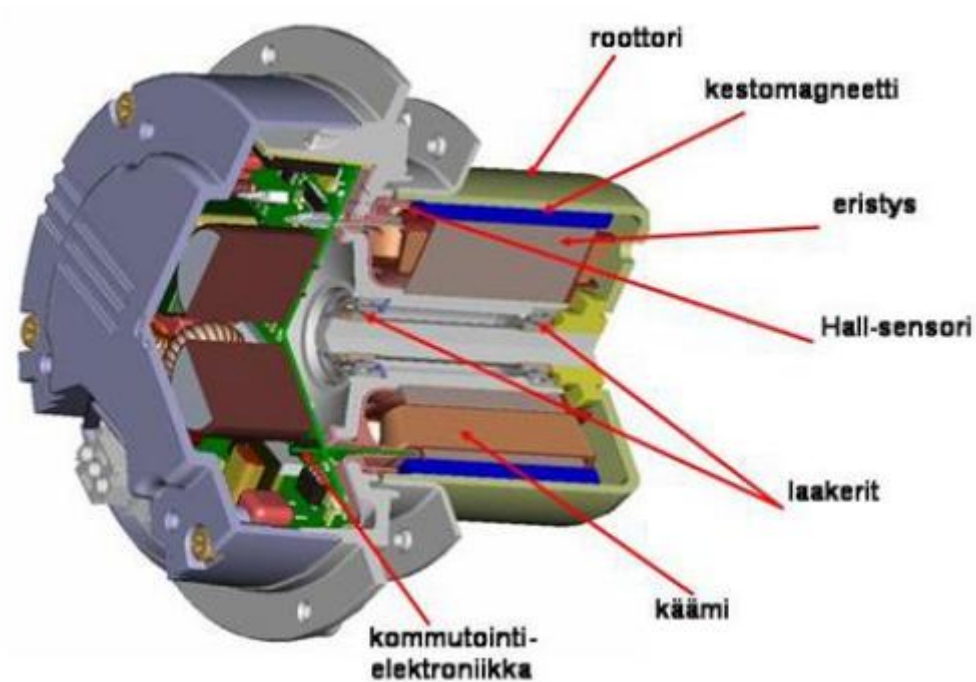
Kestomagneettimoottorin käyttö kierto-vesipumppuissa on yleistynyt voimakkaasti. Pääasiallinen syy tähän on kestopagneettimoottorin pieni energiankulutus. Kestomagneettimoottori on elektronisesti kommutoitu tasavirtamoottori. Kestomagneettimoottoria nimitetäänkin yleisesti EC-moottoriksi. EC-moottorissa perinteiset hiiliharjat on korvattu sisäänrakennetulla säätimellä, joka johtaa virtaa käämeihin elektronisesti. Moottorissa on Hall-sensori, joka viestittää säätimelle roottorin asennon suhteessa staattoriin. Hall-sensorilta saadun viestin perusteella säädin ohjaa virtaa käämiin oikeaan aikaan. EC-

moottorin hyötysuhde on parempi kuin tasavirtamoottorin, sillä EC-moottorissa ei synny jättämähäviöitä. EC-moottorin pyörimisnopeus säädetään ulkoisen jänniteviestin avulla. Sääto voidaan suorittaa esimerkiksi valvonta-alakeskuksesta käsin. Pyörimisnopeutta kasvatetaan ohjaamalla korkea virta moottorin käämeihin. Vastaavasti nopeutta alennetaan pienentämällä käämeihin menevän virran määrää. [11]

EC-moottorin energiankulutus on jopa 30 % pienempi kuin tavallisella AC-moottorilla. Osateholla säästö voi olla jopa 50 % taajuusmuuttajaohjattuun AC-moottoriin verrattuna. Muut oleellisia EC-moottorin etuja ovat mm. seuraavat ominaisuudet:

- erillistä taajuudenmuuttajaa ei tarvita
- integroitu moottorin suojaustekniikka
- EMC-suojaa ei tarvita
- hiljainen ja tasainen käynti
- harjattomuus: ei kipinöintiä, ei loisvirtaa
- luotettava moottori
- pitkä elinikä.

EC-moottori on märkämoottori. Sitä käytetään kuitenkin myös jäähdytysjärjestelmien pumppuina, sillä EC-moottorin hyötysuhde ja säädettävyys on niin hyvä, että pumpausnesteeseen siirtyvän lämmön määrällä ei ole niin suurta merkitystä kuin perinteisessä märkämoottoripumpussa. EC-moottori kannattaa hankkia, kun pumpun teho on 1,5 kW tai sitä pienempi. Tällä hetkellä ei ole saatavilla yli 1,5 kW:n tehoisia EC-moottoreita. [6, s. 18.] EC-moottorin rakenne on esitetty kuvassa 9.



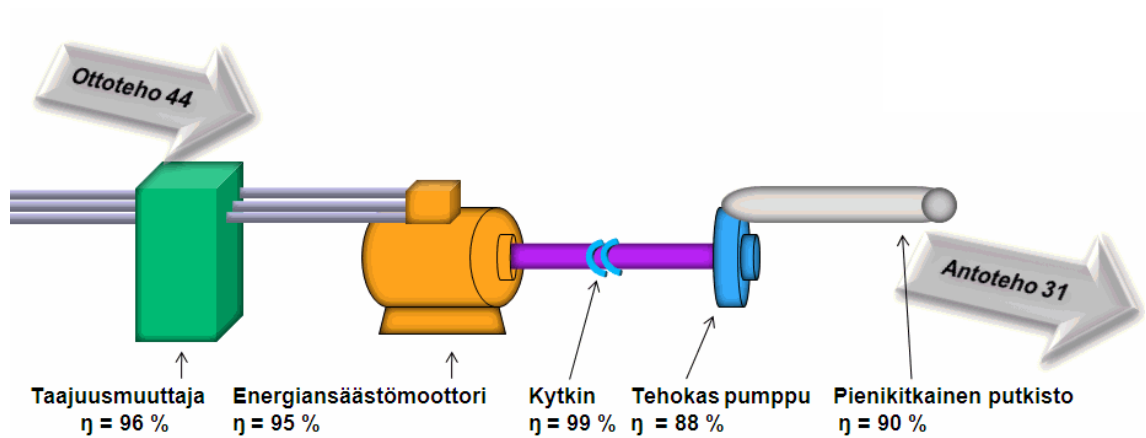
Kuva 9. EC-moottorin rakenne [11]

Kiertovesipumppujen varustaminen sisäisellä taajuudenmuuttajalla tulee yleistymään tulevaisuudessa, sillä energiansäästöpainee kasvavat jatkuvasti. EC-moottorilla varustettujen pumppujen toiminta on myös huomattavasti tasaisempaa ja varmempaa kuin perinteisellä tekniikalla varustettujen pumppujen.

5 Ulkoisella taajuudenmuuttajalla varustettu pumppu

Yleensä perinteisiä AC-moottorilla varustettuja kiertovesipumppuja ohjataan ulkoisella taajuudenmuuttajalla. Ulkoisia taajuudenmuuttajia käytetään erityisesti saneerauskohteissa, kun halutaan muuttaa vanha, säätämätön pumppausjärjestelmä energiataloudellisemmaksi. Ulkoista taajuudenmuuttajaa käytetään ohjaamaan suuria pumppaussovelluksia, esimerkiksi teollisuuden kiertovesijärjestelmiä. Ulkoisten taajuudenmuuttajien avulla voidaan ohjata useampia pumppuyksiköitä. Erityisesti usean pumpun yhdistelmän ohjaamiseen on järkevää käyttää ulkoista taajuudenmuuttajaa. Näin selvittää yhdellä taajuudenmuuttajalla, ja järjestelmän kustannukset eivät nouse kohtuuttoman

suuriksi. [12;13] Kuvassa 10 on esitetty ulkoisella taajuudenmuuttajalla ohjattu pumpujärjestelmä.



Kuva 10. Pumpun ohjaus ulkoisella taajuudenmuuttajalla [14]

Ulkoiset taajuudenmuuttajakäytöt ovat lähinnä teollisuuden ja isojen pumppausyksiköiden säätöjärjestelmiä. Pienissä kohteissa, kuten omakotitaloissa, käytetään integroidulla taajuudenmuuttajalla varustettuja kiertovesipumppuja. [12,13]

Taajuudenmuuttajakäytön ja PI-säätimen avulla voidaan toteuttaa pumppausjärjestelmän nk. "itse oppiva" ohjaus. Tämä järjestelmään mukautuva ohjausmenetelmä tuottaa vain halutun paineen järjestelmään. Näin vältetään turhilta pumppauskustannuksilta ja saadaan kaikkiin järjestelmän osiin optimaalinen paine. Järjestelmään mukautuva ohjausmenetelmä reagoi automaattisesti järjestelmässä tapahtuviin muutoksiin. Järjestelmä toimii huomattavasti hiljaisemmin, kun vältetään turhilta paineiskuilta. Säätävillä pumppujärjestelmillä kokonaiskustannukset jäävät pienemmiksi, sillä muun muassa osa säätöventtiileistä voidaan jättää pois. Järjestelmään mukautuva ohjaus vähentää pumppujen moottoreiden kuormitusta. Ohjauksen ansiosta ei tarvita perinteisiä moottoreiden ja elektroniikan ylikuormitussuojia. [15] Esimerkki järjestelmään mukautuvasta pumpusta on kuvassa 11.



Kuva 11. Järjestelmään mukautuva kiertovesipumppu [16]

Järjestelmään mukautuvat kiertovesipumput ovat osa nykyaikaista talotekniikkaa ja rakennusautomaatiota. Kiertovesiverkoston ongelmia voidaan ratkaista entistä helpommin käyttämällä järjestelmään mukautuvaa säätö- ja ohjausmenetelmää. Näin erilliset säätöyksiköt ja säätökeskukset jäävät pois.

6 Energiatalous

6.1 Kiertovesipumppujen säädön ja ohjauksen vaikutus energiatehokkuuteen

6.1.1 Pumppausjärjestelmän energiatehokkuuden parantaminen

Kiertovesipumppujen säädöllä ja ohjauksella voidaan vähentää talotekniikan järjestelmien energiankulutusta. Pumppausprosessin tehostaminen on tärkeää, kun pyritään pienempään sähkönkulutukseen.

Pumppausjärjestelmän tehon määrittävät,

- pumpattavan nesteen aiheuttaman liikekitkan häviöt
- nesteen fyysinen nostaminen
- paineen nostaminen.

Pumppausjärjestelmän energiatehokkuuteen vaikuttavia asioita ovat,

1. putkiston energiatehokkuus
2. pumpun mitoitus
3. pumppauksen ohjaus
4. pumppujen moottorit
5. pumppujen huolto
6. pumppujen kunnostaminen
7. prosessin toiminnan tarkastaminen ja kehittäminen.

Yksi energiansäästökeinoista on monipumppuohjaus. Monipumppuohjauksessa pienten pumppujen avulla säädellään pumppausnopeutta ja ohijuoksuista sekä tarvittavan kuristuksen määrää. Tämän ohjaustavan energiansäästö perustuu yhden tai useamman pumpun poiskytkemiseen. Tällöin loput järjestelmässä olevat pumput toimivat parhaalla hyötysuhteellaan. Ohjausautomaatiikan avulla voidaan valita kulloinkin sammutettava pumppu. Näin lisätään pumppujen käyttöikä, sillä pumput kuluvat huomattavasti vähemmän, kun ne käyvät vain jaksottaisesti.

Pumppujen nopeussäätö on kaikkein tehokkain ohjausmenetelmä. Nopeussäädetty pumppu toimii parhailla mahdollisilla toiminta-arvoilla, sillä pumppu pyörii aina optimaalisella nopeudella. Nopeussäädöllä vältetään pumppujen moottoreiden tarpeeton

tehonkäyttö. Nopeussäädön avulla pumpun käyttämästä sähköenergiasta saadaan hyödynnettyä aiempaa suurempi osa. Nopeussäätö parantaa myös verkoston toimintaa, kun virtaus pysyy sopivana koko verkoston alueella. [17]

Pumpun ohjauksen vaikutukset energiatehokkuuteen voidaan osoittaa laskennallisesti. Laskennassa käytetään seuraavia kaavoja:

$$Q/Q_0 = n/n_0 \quad (1)$$

$$H/H_0 = (n/n_0)^2 \quad (2)$$

$$P/P_0 = (n/n_0)^3 \quad (3)$$

Q on pumpun uusi tilavuusvirta (dm^3/s)

Q_0 on pumpun tunnettu tilavuusvirta (dm^3/s)

n on pumpun uusi pyörimisnopeus (r/s)

n_0 on pumpun tunnettu pyörimisnopeus (r/s)

H on pumpun uusi nostokorkeus (m)

H_0 on pumpun tunnettu nostokorkeus (m)

P on pumpun uusi teho (kW)

P_0 on pumpun tunnettu teho (kW)

[6, s. 7]

Edellä esitettyjä laskukaavoja kutsutaan myös nimellä affiniteettisäännöt. Näiden sääntöjen mukaan tilavuusvirta on suoraan verrannollinen pyörimisnopeuteen. Vastaavasti nostokorkeus muuttuu pyörimisnopeuden suhteen toiseen potenssiin ja teho kolmannen potenssiin. Affiniteettisäännöt osoittavat, että taajuudenmuuttajasäätö vaikuttaa merkittävästi pumpun energiankulutukseen. Pyörimisnopeuden puolittuessa tehontarve ja energiankulutus putoavat kahdeksasosaan alkuperäisistä arvoistaan. Koska teho on suoraan verrannollinen energiankulutukseen, voidaan kiertovesipumpun ohjauksella saavuttaa merkittävää energiansäästöä. Laskuissa voidaan käyttää pyörimisnopeuden tilalla tilavuusvirtaa silloin, kun pumpun toimintapistettä muutetaan pyörimisnopeussäädön avulla. [6, s. 7.]

Lasketaan esimerkkitapaus siitä, miten pumpun pyörimisnopeuden säätö ja vuotuinen käyttöaika vaikuttaa energiankulutukseen. Valitaan esimerkkipumpuksi Wilo Stratos 65/1-12. Pumpun toimiessa 100 %:n virtaamalla, tilavuusvirta on 5,6 (dm³/s), nostokorkeus 4,5 m ja ottoteho 0,415 kW. Pumpua ohjataan taajuudenmuuttajan avulla.

Toimiessaan 100 %:n virtaamalla, pumppu kuluttaa energiaa vuodessa $0,06 \cdot 8760 \text{h/a} \cdot 0,415 \text{ kW} = 218,12 \text{ kWh/a}$. Laskelmassa on huomioitu pumpun vuotuinen käyttöaika direktiivin 2005/32/EY mukaan. Direktiivin mukaan pumpun vuotuinen käyttöaika ilmaistaan prosentteina. Taulukko 1 esittää direktiivin mukaiset, vuotuiset käyttöajat eri virtaamilla.

Taulukko 1. Pumpun vuotuiset käyttöajat eri virtaamilla.[6, s. 12]

Pumpun virtaama (%)	Vuotuinen käyttöaika (%)
100	6
75	15
50	35
25	44

Affiniteettisääntöjä hyväksi käyttäen lasketaan, kuinka paljon kyseinen pumppu kuluttaa energiaa 75 %:n virtaamalla. Tällöin pumpun vuoden aikana kuluttama energiamäärä on:

$$P / 0,415 = ((0,75 * 5,6 \text{ dm}^3 / \text{s}) / 5,6 \text{ dm}^3 / \text{s})^3$$

$$P = 0,415 \text{ kW} * ((0,75 * 5,6 \text{ dm}^3 / \text{s}) / 5,6 \text{ dm}^3 / \text{s})^3 = 0,175 \text{ kW}$$

$$0,15 * 8760 \text{h/a} * 0,175 \text{ kW} = 229,95 \text{ kWh}$$

Esimerkkipumpun toimiessa 100 % virtaamalla, kuluu energiaa vuodessa noin 218 kWh. Pumpun energiankulutus kasvaa, kun virtaama säädetään 75 %:n tasolle. Seuraavaksi lasketaan vastaavan pumpun kulutus 50 %:n virtaamalla.

$$P / 0,415 \text{ kW} = ((0,50 * 5,6 \text{ dm}^3 / \text{s}) / 5,6 \text{ dm}^3 / \text{s})^3$$

$$P = 0,415 \text{ kW} * ((0,50 * 5,6 \text{ dm}^3 / \text{s}) / 5,6 \text{ dm}^3 / \text{s})^3 = 0,052 \text{ kW}$$

$$0,35 \cdot 8760 \text{h/a} \cdot 0,052 \text{kW} = 159,43 \text{kWh/a}$$

Vastaavasti 25 %:n virtaamalla vuosikulutus on

$$P / 0,415 \text{kW} = ((0,25 \cdot 5,6 \text{dm}^3 / \text{s}) / 5,6 \text{dm}^3 / \text{s})^3$$

$$P = 0,415 \text{kW} \cdot ((0,25 \cdot 5,6 \text{dm}^3 / \text{s}) / 5,6 \text{dm}^3 / \text{s})^3 = 0,0065 \text{kW}$$

$$0,44 \cdot 8760 \text{h/a} \cdot 0,0065 \text{kW} = 25,05 \text{kWh/a}$$

Laskelmat osoittavat, että pumppu kuluttaa eniten energiaa 75 %:n virtauksella. Virtauksen pienentyessä energiankulutus kasvaa, mikä osoittaa pyörimisnopeussäädön pienentävän energiankulutusta. Pumpun kulutukseen vaikuttaa laskelmissa esitetty käyttöaikaprosentti, mikä selittää myös muita virtauksia korkeamman energiankulutuksen virtauksella 75 %. Lasketaan vielä pumpun energiankulutus siten, että käyttöaika on 100 %. Pumppuna toimii sama pumppu kuin edellisessä esimerkissä, mutta nyt pumppu toimii vakionopeudella, eli se on säätämätön.

$$1 \cdot 0,415 \text{kW} \cdot 8760 \text{h/a} = 3635,4 \text{kWh/a}$$

Laskelmien perusteella huomataan, että kun käyttöaika on 100 %, pumppu kuluttaa huomattavasti enemmän energiaa. Muutetaan tilannetta varustamalla pumppu taajuudenmuuttajaohjauksella, jonka avulla säädetään pumpun pyörimisnopeutta ja siten myös virtausta. Seuraavaksi lasketaan virtaus 100 %:n tasolta 75%:n tasolla ja lasketaan vuotuinen energiankulutus:

$$P / 0,415 \text{kW} = ((0,75 \cdot 5,6 \text{dm}^3 / \text{s}) / 5,6 \text{dm}^3 / \text{s})^3$$

$$P = 0,415 \text{kW} \cdot ((0,75 \cdot 5,6 \text{dm}^3 / \text{s}) / 5,6 \text{dm}^3 / \text{s})^3 = 0,175 \text{kW}$$

$$1 \cdot 8760 \text{h/a} \cdot 0,175 \text{kW} = 1533 \text{kWh/a}$$

Laskelmien perusteella havaitaan, että ohjaamaton, vakiovirtaamalla toimiva pumppu kuluttaa energiaa vuodessa noin 3636 kWh ja vastaavasti säädetty pumppu kuluttaa noin 1533 kWh. Säästöä syntyy yhteensä noin 2103 kWh/a. Säästöä syntyy noin 42 %

vuodessa. Tätä energiansäästöä voidaan pitää merkittävänä, joten kiertovesipumput kannattaa aina varustaa hyvällä ohjauksella ja säädöllä.

Pumppujen käyttöajoilla on myös merkitystä energiankulutukseen. Suunnittelijoilla ei ole aina tiedossa pumppujen käyttöaikoja, joten pumput joudutaan usein suunnittelemaan 100 %:n virtaamalle. Tällöin pumpusta saadaan energiatehokas, kun se varustetaan taajuudenmuuttajaohjauksella.

6.1.2 Ohjaamattoman pumpun energiatehokkuus

Pumppausjärjestelmät ovat merkittävimpiä sähkökuluttajia talotekniikan järjestelmissä. Sähkömootorien arvioidaan kuluttavan n. 70 % kaikesta sähköenergian kulutuksesta Euroopassa. Näistä moottoreista n. 22 % pyörittää pumppuja. Tutkimusten avulla on osoitettu, että optimoimalla pumppausprosessin osatekijöitä voidaan säästää jopa 50 % energiankulutuksessa.

Suurin osa talotekniikan pumppukäytöistä on ohjaamattomia. Yleensä kiertovesipumppuja ajetaan vakionopeudella, jolloin pumppu ei toimi parhaalla mahdollisella hyötysuhdealueella. Pumppujen hankintakustannuksissa pyritään säästämään mahdollisimman paljon, joten ohjaus jätetään usein toteuttamatta. Ohjaamattoman pumpun huono hyötysuhde kasvattaa energiankulutusta, joten pumpun käyttökustannukset kasvavat merkittävästi. Edullisten hankintakustannusten tuomat säästöt voidaan menettää hyvinkin nopeasti. [3;17.]

Ohjaamaton ja säätämätön pumppujärjestelmä on yleensä reilusti ylimitoitettu. Ylimitoituksen syynä saattaa usein olla arvioitu verkoston laajennustarve. Pumpun tuotto-tarpeen uskotaan kasvavan tulevaisuudessa, joten järjestelmään valitaan varmuuden vuoksi liian iso pumppu. Ylimitoituksen tapahtuessa useampaan kertaan suunnittelu-prosessin aikana voi lopputuloksena olla prosessin tarpeisiin liian suuri pumppu. Tällöin pumpun tuottoa säädetään kasvattamalla häviöitä. Häviöiden kasvattaminen heikentää pumpun hyötysuhdetta ja saa aikaan energiankulutuksen lisääntymisen. [17]

6.2 Energiamääräysten vaikutus pumppausjärjestelmien suunnitteluun

Euroopan unioni pyrkii toimillaan vähentämään talotekniikkajärjestelmien energiankulutusta. Säästötoimien toteuttamiseksi EU on säätänyt talotekniikka-alaa koskevan ekodesign-direktiivin. Direktiivi asettaa vuodesta 2013 lähtien aiempaa tiukemmat vaatimukset märkämoottoripumppujen energiatehokkuudelle. Uudet määräykset koskevat kaikkia EU:n jäsenvaltioita. [1]

Käytännössä tämä uusi EU-direktiivi tarkoittaa sitä, että suurinta osaa tällä hetkellä käytettävistä pumpputyypeistä ei saa myydä vuodesta 2013 alkaen. Monet pumppuvalmistajat ovat reagoineet tähän tuomalla markkinoille energiatehokkuusvaatimukset täyttäviä pumppuja. Näitä pumppuja kutsutaan high efficiency -pumpuiksi. [18] Tyypillinen high efficiency -pumppu on esitetty kuvassa 12.



Kuva 12. Uudet energiamääräykset täyttävä pumppu [18]

Uusi direktiivi vaikuttaa ratkaisevasti pumppausjärjestelmien suunnitteluun. Tulevaisuudessa pumppausjärjestelmän säädön ja ohjaukseen suunnitteluun tulee kiinnittää entistä enemmän huomiota. Uuden direktiivin seurauksena säätämättömät järjestelmät tulevat häviämään pois käytöstä. Myös säädön tehokkuuteen tullaan panostamaan huomattavasti enemmän kuin nyt. Käytännössä tämä johtaa taajuudenmuuttajalla ohjattujen, nopeussäädettyjen pumppujen yleistymiseen. [1]

Euroopan unioni hyväksyi vuonna 2005 direktiivin 2005/32/EY. Tämä direktiivi koskee energiaa käyttävien tuotteiden ympäristövaikutukset huomioon ottavaa suunnittelua.

Direktiivi koskee kaikkia energiaa käyttäviä tuotteita, paitsi autoja ja julkisia kuljetusvälineitä. Määräyksiä tiukennettiin vuonna 2009, kun direktiivi 2009/125/EY korvasi vuonna 2005 säädetyt direktiivin. Uusi direktiivi koskee myös energiaan liittyviä tuotteita. Direktiivi tunnetaan nimellä Erp (Energy related products).

Erp- direktiivi käsittää myös märkämoottoritoimiset kiertovesipumput, sekä kuivamoottoripumppujen sähkömoottorit. Euroopan komissio on määrittänyt kahdessa säädöksessä pumppujen vähimmäistehokkuudelle asetetut säädökset.

Kuvassa 13 havainnollistetaan kiertovesipumppujen energiatehokkuutta energiatehokkuusindeksin EEI avulla. Energiatehokkuusindeksi on arviointiperusteena, minkä mallisia pumppuja saadaan tuoda markkinoille tulevaisuudessa. Energiatehokkuusindeksi on sähkölaitteita varten kehitetty luokitteluasteikko, jossa vertailuluku lasketaan keskimääräisenä pumpun ottotehon ja vertailutehon suhteena. Mitä energiatehokkaampi pumpu on, sitä pienempi EEI-luku sillä on. Pumput luokitellaan EEI-luvun perusteella kirjaimin. Luokka A vastaa parasta energiatehokkuusluokkaa ja vastaavasti luokka G huonointa luokkaa. Pumpun arvokilpeen on merkittävä energiatehokkuusluokka, jotta voidaan tietää pumpun energiatehokkuus. [1; 6. s. 30–31.]

Erp-direktiivi tulee muuttamaan pumppumarkkinoita merkittäväällä tavalla. Direktiivin käyttöön siirrytään asteittain. Direktiivin vaatimusten täyttäminen aloitettiin vuonna 2011. Erp-direktiivin aikataulu on seuraava:

16 kesäkuuta 2011

- Lämmitykseen, ilmastointiin, vesihuoltoon ja paineenkorotukseen käytettävien pumppujen sähkömoottorien on täytettävä vähintään tehokkuustaso IE2.

1. tammikuuta 2013

- Ulkoisten, märkämoottorilla varustettujen kiertovesipumppujen energiatehokkuusindeksi ei saa ylittää arvoa 0,27. Poikkeuksena tästä ovat märkämoottori-kiertovesipumput, jotka on tarkoitettu lämpöä tuottavien aurinkoenergia-asennuksien ja lämpöpumppujen ensiökiertoon.

1. tammikuuta 2015

- Nimellisteholla 7,5-375 kW toimivien kuivamoottoripumppujen tulee saavuttaa energiantehokkuustaso IE3 tai vastattava tasoa IE2 ja oltava varustettuna kier-

rosluvunohjaukselle. Uudessa energiatehokkuuden luokitustavassa on luokat IE1, IE2 ja IE3. Lyhenne IE tulee sanoista International Energy-efficiency Class ja tarkoittaa kansainvälistä energialuokitusta. Tehokkaimmat moottorit kuuluvat luokkaan IE1 ja tehottomimmat luokkaan IE3. [6, s. 32.]

1. Elokuuta 2015

- Ulkoisten, märkämoottorilla varustettujen kiertovesipumppujen ja tuotteisiin integroitujen pumppujen energiatehokkuusindeksi saa olla korkeintaan 0,23. Tämä määräys ei koske tuotteisiin integroitujen pumppujen tilalle vaihdettavia pumppuja, jotka ovat tulleet myyntiin ennen elokuuta 2015.

1. tammikuuta 2017

- Nimellisteholla 0,75–375 kW toimivien kuivamoottori-kiertovesipumppujen on täytettävä energiatehokkuusindeksi IE3 tai vastattava energiatehokkuustasoa IE2 ja varustettava kierrosluvunohjauksella.

1. tammikuuta 2020

- Uusien, tuotteisiin integroitujen kiertovesipumppujen tilalle vaihdettavien pumppujen energiatehokkuustaso ei saa ylittää arvoa 0,23.

Pumppujen energiatehokkuusindeksin (EEI) määräytyminen nähdään taulukosta 2. Direktiivin vaatimusten mukaan jokaisen alla 300 kW:n ottoteholla toimivan kiertovesipumpun tulee olla luokassa A.

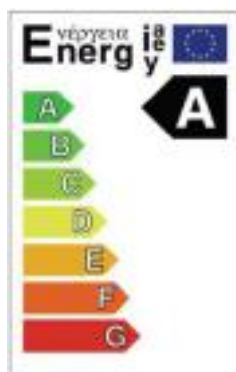
Taulukko 2. EEI-luokan määräytyminen energiatehokkuusindeksissä [6, s. 32]

Class	Energy Efficiency Index (EEI)
A	$EEI < 0.40$
B	$0.40 \leq EEI < 0.60$
C	$0.60 \leq EEI < 0.80$
D	$0.80 \leq EEI < 1.00$
E	$1.00 \leq EEI < 1.20$
F	$1.20 \leq EEI < 1.40$
G	$1.40 \leq EEI$



Kuva 13. Pumppujen energiatehokkuus EEI-indeksillä ilmaistuna [1].

Euroopan unionin tavoitteena on pienentää kasvihuonekaasupäästöjä. Turhan energiankulutuksen pienentäminen on tärkeä osa tätä tavoitetta. Erityisen vähän sähköä kuluttavien high efficiency - pumppujen energiansäästöpotentiaali on merkittävä. Uuden pumpputeknologian avulla pyritään säästämään energiaa 23 terawattituntia vuodessa, mikä vastaa kuuden keskisuuren hiilivoimalan sähköntuotantoa. Tulevaisuudessa pumput on luokiteltava energiatehokkuusluokituksen mukaan ja merkittävä EEI-indeksin mukaisella merkinnällä. Kuvassa 14 on esimerkki energiatehokkuusluokituksen A-luokan merkintätavasta. [1]



Kuva 14. A-luokan energiatehokkuusmerkintä [6, s. 31]

Energiatehokkuusmerkintä helpottaa huomattavasti pumppuja valitsevien suunnittelijoiden työtä, kun tieto laitteen energiatehokkuudesta nähdään pumpun arvokilvestä. Suunnittelija hyöttyy tiedosta myös arvioidessaan laitteiden elinkaarikustannuksia.

7 Pumppausjärjestelmän säädön ja ohjauksen suunnittelussa huomioitavia asioita

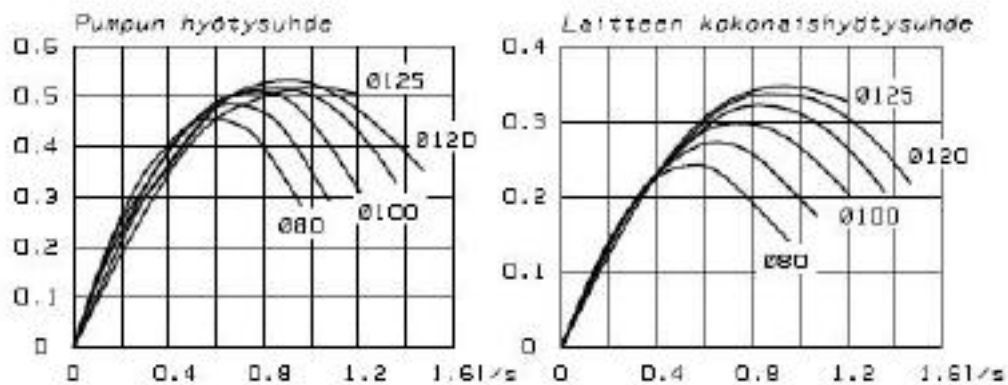
Pumppausjärjestelmän ohjaus- ja säätömenetelmien suunnittelu on tärkeä osa järjestelmäkokonaisuuden suunnittelua. Oikealla suunnittelulla vältetään ongelmilta, jotka saattavat myöhemmin aiheuttaa kohtuuttoman suuria kustannuksia järjestelmän käyttäjille. Lähtökohtaisesti on helpompaa suunnitella hyvä kokonaisuus kuin korjata jo suunniteltua ja toteutettua järjestelmää.

Suurin osa käytössä olevista kiertovesipumpuista on ylimitoitettuja. Ylimitoituksen haittana on energiankulutuksen kasvaminen. Suuri energiankulutus on haitaksi järjestelmän käyttäjälle. Tarpeettomasta energiankulutuksesta aiheutuu myös merkittävää haittaa ilmastolle, sillä energiaa tuotetaan hyvin paljon ilmastoa kuormittavilla menetelmillä. Valitsemalla järjestelmään oikeanlainen pumppu voidaan näiltä ongelmilta välttyä. Turhaa, verkoston myöhempään laajentamiseen tähtäävää pumpun ylimitoitusta tulee välttää, jotta järjestelmän käyttökustannukset pysyvät alhaisella tasolla [17; 5]

Järjestelmään tulee valita sellainen kiertovesipumppu, joka pystyy tuottamaan riittävän suuren nostokorkeuden verkoston tarpeisiin. Pumpun ohjaus on suunniteltava siten, että pumppu toimii kaikissa tilanteissa parhaalla hyötysuhteella. Pumpun kierrosluvun säädön suunnittelua varten selvitetään pumpun toiminta-arvot laskennallisesti. Kierrosluvunsäädön suunnittelussa käytetään apuna affiniteettisääntöjä. Kierrosluvunsäätö toteutetaan taajuudenmuuttajan avulla. [5]

Kuristussäätö ja ohijuoksutus ovat pumpun säätöön käytettäviä menetelmiä, tosin ohijuoksutus ei ole kovin yleinen menetelmä. Näillä menetelmillä voidaan ohjata pumpun virtausta varsin tehokkaasti, mutta pumpun moottori ei toimi aina parhaalla hyötysuhdealueellaan. Ohijuoksutus- ja kuristussäädön sijaan tulee käyttää nopeussäätöä. Kierroslukusäätö on ohijuoksutus- ja kuristusmenetelmää kalliimpi säätötapa, mutta vastaavasti nopeussäädöllä saavutettavat edut johtavat alhaisempiin käyttökustannuksiin. Kierroslukusäätö voidaan toteuttaa parhaiten taajuudenmuuttajan avulla.

Pumpun juoksupyörän kokoko vaikuttaa oleellisesti pumpun toiminta-arvoihin ja hyötysuhteeseen. Suunnittelijan tulee valita pumppuun sellainen juoksupyörä, mikä mahdollistaa tarvittavan nostokorkeuden ja hyvän hyötysuhteen. Juoksupyörän koon valinnassa tulee huomioida mahdolliset muutokset verkostossa. Jos verkostossa ilmenee myöhemmin laajennustarvetta, on pumpun tuottoa voitava kasvattaa juoksupyörää vaihtamalla. Vaihtamalla pelkkä juoksupyörä vältetään turhalta pumpun uusimiselta ja säästetään hankintakustannuksissa. Pumppu saadaan toimimaan parhaalla hyötysuhteella, kun pumppuun valitaan mahdollisimman iso juoksupyörä. Juoksupyörän ja pumpun pesän väliin jäävä tila vaikuttaa suoraan pumpun hyötysuhteeseen. Mitä vähemmän tilaa jää pesän- ja juoksupyörän väliin, sitä parempi hyötysuhde saavutetaan. Täten pumpun toimintapistettä ei kannata muuttaa liikaa juoksupyörää pienentämällä. [6, s. 6] Pumpun hyötysuhde- ja laitteen kokonaishyötysuhdekäyrät on esitetty kuvassa 15.



Kuva 15. Esimerkki pumpun hyötysuhteen ja kokonaishyötysuhteen käyttäytymisestä eri juoksupyörillä [6, s. 6]

Mikäli pumppu on reilusti ylimitoitettu, juoksupyörän vaihtaminen pienempään on perusteltua energiatehokkuusvaatimuksien saavuttamisen kannalta. Tämä edellyttää kuitenkin, että järjestelmän toiminta ei häiriinny juoksupyörän pienentämisen seurauksena.

Euroopan unionin laatimat uudet energiatehokkuusdirektiivit vaikuttavat myös pumpausjärjestelmien suunnitteluun. Määräyksien täyttämiseksi tulee suunnittelijan huomioida seuraavia asioita:

- Markkinoilla olevien pumppuvalikoimien heikkeneminen.
- Energiatehokkuusvaatimusten täyttäminen jo ennen uusien määräysten voimaan tuloa.
- Pumpun elinkaarikustannusten vertailu. Suunnittelijan on selvitettävä, täyttyvätkö asetetut elinkaaritavoitteet.
- Pumppujen mitoitusta varten laadittujen laskelmien riittävyys ja oikeellisuus.
- Järjestelmän kokonaiskustannukset: Pumppujen tulee olla käyttökustannuksiltaan edullisia, mutta hankintakustannusten tulee silti pysyä kohtuullisina.
- Investoijien riittävä tiedottaminen tulevien vaatimusten osalta.
- Investoijien ohjaaminen energiatehokkuuden suuntaan.

Energiatehokkuusdirektiivin täyttäminen tulee huomioida kaikilta osin jo suunnitteluvaiheen alussa. Energiatehokkuus tulee asettaa esille jo tarjouspyyntövaiheessa. Suunnittelijan tulee hankkia riittävät tiedot pumppausjärjestelmässä käytettävien laitteiden energiatehokkuudesta, jotta järjestelmästä saadaan riittävän taloudellinen. [20]

Kiertovesipumppujen säätöä ja ohjausta suunnittelevien tulee huomioida seuraavat asiat:

Kiertovesipumpun energiatehokas ohjaustapa liittyy koko järjestelmän rakenteeseen, jossa avainasioita ovat:

1. pieni painehäviö
2. tarpeenmukainen säätö
3. laadukkaat ja yhteensopivat tuotteet

Jotta saataisiin paras lopputulos eli mahdollisimman energiatehokas ohjaustapa koko järjestelmän elinaikana, tulee tarkastella myös järjestelmän kokonaisenergiankulutusta.

Tällöin tärkeitä huomioitavia asioita on

- putkiston suunnittelu (väljästi mitoitetussa putkistossa on pienet painehäviöt)
- putkiston suunnittelu symmetrisenä (toinen puoli rakennuksen putkistosta ei saa nostaa turhaan koko järjestelmän painehäviötä)
- putkistoon liitettävien tuotteiden tulee olla oikeankokoiset ja tarkoituksenmukaiset.

Seuraavaksi tulee varmistaa, että pumpun valinnassa on oikea tuottokäyrästä. Pumpun P1-ottomateho tulee optimoida mitoituspisteessä. Pumput on valittava niin, että kokonaisyötysuhde jää hyötysuhdekäyrän parhaimmalle alueelle. Pumppujen tuottoa on voitava muuttaa 10 % suuremmaksi joko juoksupyörää vaihtamalla tai kierosnopeutta nostamalla siten, että pumpun moottori ei tarvitse vaihtaa.

Pumppuihin, joissa ei ole integroituja taajuudenmuuttajia, asennetaan erilliset taajuudenmuuttajat. Nämä tulee valita siten, että ne vastaavat pumppujen lopullista nimellistehoa. Taajuudenmuuttajien tulee olla 3-vaiheisia, pumppu- ja puhallinkäyttöihin tarkoitettuja, sekä taajuus/virtasäätöisiä. Tehokertoimen tulee olla 1 koko teho- ja nopeusalueella.

Lisäksi suunnittelijoiden tulee huomioida rakennusautomaation (RAU) rakenne. Jos käytössä on esimerkiksi väylätekniikka, tulee sen tukea tarpeeksi nopeaa reagointia erilaisissa teknisissä järjestelmissä. RAU-kenttälaitteiden tulee täyttää Talotekniikka RYL 2002:n vaatimukset. Järjestelmässä on käytettävä tiiviisti sulkeutuvia säätöventtiileitä, joiden vuoto on $<0,05$ % kv-arvosta. [21]

Kiertovesipumppujen säätö- ja ohjausjärjestelmiä suunnittelevan tulee hallita kokonaisuus hyvin. Toimivan ja tehokkaan pumppausjärjestelmän suunnittelu ei onnistu, jos suunnittelija ei hallitse hyvin kaikkia suunnittelun osa-alueita.

8 Yhteenveto

Tämän insinööriyössä tutkittiin erilaisia kiertovesipumppujen säätö ja ohjaustapoja. Työssä esiteltiin tyypillisimpiä säätö- ja ohjausmenetelmiä ja niiden toimintaa. Säädettyä ja ohjattua pumppausjärjestelmään verrattiin säätämättömään järjestelmään.

Työssä esiteltiin yleisimmät talotekniikassa käytettävät kiertovesipumpputyypit ominaisuuksineen. Yleisimmät talotekniikassa käytettävät kiertovesipumpputyypit ovat märkämoottoripumppu ja kuivamoottoripumppu. Molemmilla pumpuilla on omat etunsa ja haittansa. Pumpun valinnassa onkin ensiarvoisen tärkeää huomioida, millaiseen järjestelmään pumppu liitetään. Märkämoottoripumppujen asentaminen jäähdytysjärjestelmiin ei ole suositeltavaa, sillä niiden moottorista siirtyy lämpöä pumpattavaan nesteseen. Sen sijaan märkämoottoripumput soveltuvat oikein hyvin lämmitysverkostojen pumpuiksi.

Suurin osa käytössä olevista pumpuista on säätämättömiä. Säätämättömät ja ohjaamattomat pumput kuluttavatkin huomattavan paljon ns. turhaa energiaa. Lisäksi säätämätön järjestelmä toimii vaihtelevasti. Pumppujen oikeaoppisella säädöllä ja ohjauksella säästetään energiaa huomattavia määriä sekä taataan verkostojen taloudellinen toiminta.

Pumppujen säätöön ja ohjaukseen käytettäviä menetelmiä ovat kuristussäätö, ohjuokutus ja pyörimisnopeuden säätö. Kuristuksella ja ohjuokutuksella voidaan hallita pumpun virtausta. Kuristus ja ohjuokutus heikentävät kuitenkin pumpun hyötysuhdetta, mikä johtaa energiankulutuksen kasvamiseen. Paras tapa säätää- ja ohjata kiertovesipumppua on pumpun pyörimisnopeussäätö. Insinööriyössä havaittiin, että pyörimisnopeussäädöllä voidaan säästää kaikkein eniten sähköenergiaa ja taata pumpun tasainen toiminta. Pyörimisnopeussäädöllä varustettu pumppu pystyy toimimaan aina parhaalla hyötysuhteella, sillä se reagoi verkoston muuttuviin olosuhteisiin.

Pumppujen pyörimisnopeutta voidaan ohjata taajuudenmuuttajan avulla. Taajuudenmuuttajalla varustettu pumppu toimii optimaalisesti kulloinkin vallitsevien olosuhteiden mukaan. Pumpun moottori pyörii aina sopivalla taajuudella, joten tarpeeton tehokäyttö verkostossa voidaan välttää. Taajuudenmuuttaja voi olla ulkoinen ohjausyksikkö tai osana kiertovesipumppua. Ulkoinen taajuudenmuuttaja soveltuu hyvin kohteisiin, joissa

on käytössä isoja pumppausyksiköitä, kuten teollisuuteen. Ulkoista taajuudenmuuttajaa voidaan käyttää erityisesti silloin, kun halutaan muuttaa vanha, ohjaamaton pumppu ohjatuksi pumpuksi. Integroidulla taajuudenmuuttajalla varustetut pumput sopivat erinomaisesti pieniin ja keskisuuriin kohteisiin, kuten omakotitaloihin.

Pumppujen energiatehokkuus tulee olemaan yhä merkittävämmässä roolissa tulevaisuudessa. Euroopan unionin laatimat uudet energiatehokkuusmääräykset vaikuttavat laajasti pumppumarkkinoihin. Käytännössä tämä tarkoittaa vanhojen pumppujen ja säätämättömien järjestelmien lopullista poistumista. Pumppujen energiatehokkuutta mitataan energiatehokkuusindeksillä (EEI). Mitä pienempi EEI-luku on, sitä vähemmän energiaa pumppu kuluttaa. Suunnittelijoiden tulee jatkossa kiinnittää huomattavasti enemmän huomiota pumppujen energiatehokkuuteen.

Energiatehokkaan pumppausjärjestelmän suunnittelussa on vältettävä pumpun turhaa ylimitoitusta. Järjestelmiin kannattaa suunnitella taajuudenmuuttajalla ohjatut kiertovesipumput, jotta pumpun toimintaa voidaan säätää muuttuvien tarpeiden mukaan. Taajuudenmuuttajan avulla suoritettavalla säädöllä vältetään turhalta, pumpun hyötysuhdetta heikentävältä kuristussäädöltä.

Lämmitys-, jäähdytys- ja käyttövesijärjestelmien kiertovesipumpuilla on merkittävä energiansäästöpotentiaali, joka tulisi hyödyntää energiatehokkaan talotekniikan suunnittelussa. Vanhat, ohjaamattomat pumput tulee vaihtaa uusiin taajuudenmuuttajapumppuihin tai varustettava ulkoisella taajuudenmuuttajalla. Energiatehokkaan pumppausjärjestelmän avulla minimoidaan turhaa sähkönkulutusta ja vähennetään hiilidioksidipäästöjä.

Pumppujen energiatehokkuus vaikuttaa olevan vielä tuntematon asia monille LVI-suunnittelijoille ja rakennuttajille. Kyseessä on kuitenkin tärkeä tulevaisuudentavoite, joten pumppuvalmistajien kannattaa järjestää aktiivisesti koulutustilaisuuksia talotekniikka-alan toimijoille.

Lähteet

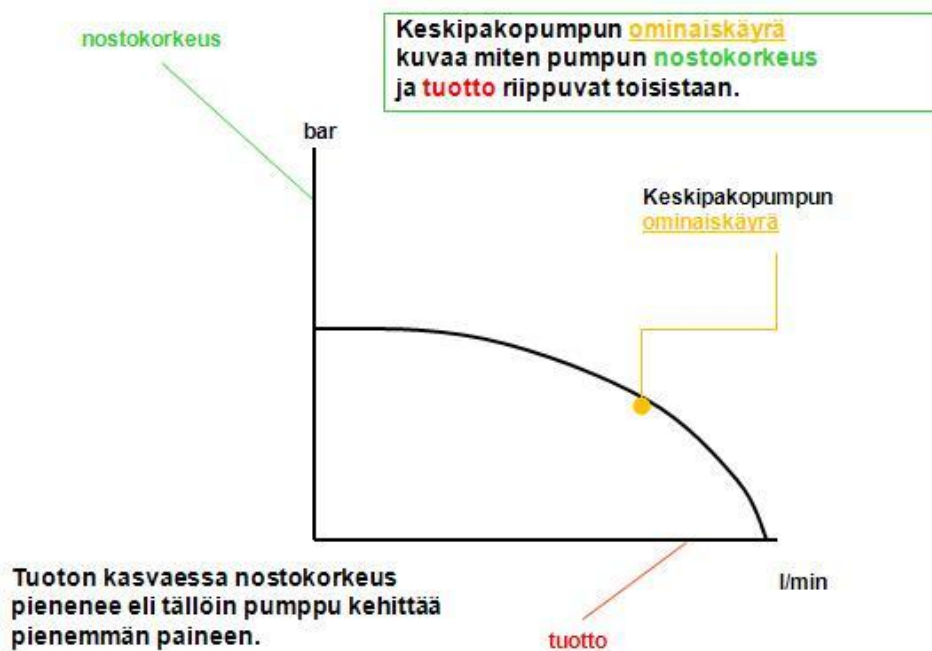
- 1 Energiämääräysten vaikutus pumppumarkkinoihin. Verkkodokumentti. Wilo Oy. <<http://www.wilo.fi/cps/rde/xchg/fi-fi/layout.xsl/2017.htm>> Luettu 17.2.2011
- 2 Pumput ja putkistot teoriassa ja käytännössä. Verkkodokumentti. ITT Water & Wastewater Suomi Oy. <<http://www.completewatersystems.com/wp-content/uploads/2011/03/eng-low-slutlig-ed-fi.pdf>> Luettu 17.2.2012
- 3 Peter Biström, 2012, suunnittelija/ryhmäpäällikkö, insinööritoimisto Olof Granlund Oy Helsinki. Keskustelu 3.2.2012.
- 4 Taajuusmuuttajakäytöt rakennusautomaatiossa. 2006. Verkkodokumentti. Sähkö-tieto Ry. <<http://www.oamk.fi/hannul/RAT-sahko/taajuum.rakautom.pdf>> Luettu 2.3.2012
- 5 Federley, Jaana. 2009. Energiatehokas pumppausjärjestelmä. Verkkodokumentti. <<http://www.motiva.fi/files/2419Ienergiatehokas-pumppausj-rjestel-.pdf>> Luettu 15.2.2012
- 6 Mänttari Ville 2011. Energiatehokkaan kiertovesipumpun määrittäminen. Insinöö- rityö. Metropolia ammattikorkeakoulu, talotekniikan koulutusohjelma.
- 7 Saari Juha 2008. Taajuusmuuttajien käyttökohteet. Insinööryö. Metropolia am- mattikorkeakoulu. Sähkötekniikan koulutusohjelma.
- 8 Kervinen, Seppo 2002. Kallis märkämoottoripumppu syö vähemmän sähköä. Verkkodokumentti. <<http://www.tekniikkatalous.fi/metalli/kallis+märkämoottoripumppu+syo+vahe mman+sahkoa/a39397>> Luettu 3.2.2012
- 9 Taajuusmuuttajapumput. Verkkodokumentti. Kolmeks Oy. <<http://www.kolmeks.fi/kolmeks/pumput/taajuusmuuttajapumput>> Luettu 5.3.2012
- 10 NCE Kiertovesipumppu taajuusmuuttajalla. Verkkodokumentti. Kirkkonummen Metallivalmiste Oy. <<http://kmv.fi/valmiit+pdf/nee.pdf>> Luettu 5.3.2012
- 11 Lyhyesti EC-tekniikasta. Verkkodokumentti. Systemair. <<http://www.systemair.com/fi/suomi/systemairin-tuotteet/ajankohtaista/EC/>> Luettu 5.3.2012
- 12 Taajuusmuuttajayksiköt. Verkkodokumentti. Omron Oy. <http://industrial.omron.fi/new/produst_news/sx_-_marine-segment.html> Luet- tu 5.3.2012

- 13 Pumppauksen kaukovalvonta ilman ohjelmointia. Verkkodokumentti. Sneider-electric Oy <<http://www.sneider-electric.fi/sites/finland/di/solutions/business-segments/vesihuolto/pumppauksen-kaukovalvonta-ilman-ohjelmointia.page>> Luettu 5.3.2012
- 14 Energiensäästöä taajuusmuuttajalla. Verkkodokumentti. Vem motors Finland Oy <<http://www.vem.fi/toimialaratkaisut/energiatehokkus/energiasaastoa-taajuusmuuttajalla>> Luettu 5.3.2012
- 15 Räsänen, Jorma. 2010. Valtakunnalliset pumppauspäivät. Verkkodokumentti. <<http://www.lut.fi/fi/energiatehokkuuspaivat/program/Documents/02-Rasanen-Jorma.pdf>> Luettu 5.3.2012
- 16 Architects Choice. 2011. Verkkodokumentti. <<http://www.architectnews.co.uk/grundfos-a-rated-pumpu-cms-2677>> Luettu 27.3.2012
- 17 Aranto, Niina. 2010. Teollisuuden ja yhdyskuntien energiatehokkuusselvitykset. Verkkodokumentti. <http://www.vvy.fi/files/845/06_b_Aranto_Niina.pdf> Luettu 28.3.2012
- 18 High Efficiency-pumppujen täydellinen valikoima. Verkkodokumentti. Wilo Oy. <<http://www.wilo.fi/cps/rde/xchg/fi-fi/layout.xsl/2019.htm>> Luettu 28.3.2012
- 19 Conserve energy. Verkkodokumentti. Wilo Oy. <<http://www.wilo.fi/cps/rde/xchg/fi-fi/layout.xsl/2012.htm>> Luettu 29.3.2012
- 20 European ecodesign directive. Verkkodokumentti. Wilo Oy. <<http://www.wilo.fi/cps/rde/xchg/fi-fi/layout.xsl/2018.htm>> Luettu 29.3.2012
- 21 Peter Biström, 2012, suunnittelija/ryhmäpäällikkö, insinööritoimisto Olof Granlund Oy Helsinki. Sähköpostiviestintä 11.4.2012.

Pumpun ominaiskäyrä

Keskipakopumpun ominaiskäyrä talotekniikka.wikispace sivuston mallin mukaan ilmaistuna.

OMINAISKÄYRÄ



Pumpun tuottokäyrä eri kierrosluvuilla

Pumpun tilavuusvirran vaikutus nostokorkeuteen eri kierrosluvuilla

