

Meri Sahiluoto

Martinlaakson kaukolämpöpumppujen energia- tehokkuuden tarkastelu ja optimointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinööriytyö

12.3.2018

Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika	Meri Sahiluoto Martinlaakson kaukolämpöpumppujen energiatehokkuuden tarkastelu ja optimointi 52 sivua + 6 liitettä 12.3.2018
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Energia- ja ympäristötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	
Ohjaaja(t)	Lehtori Tomi Hämäläinen Turbiinimestari Petri Parviainen
<p>Tämän insinööriyön tarkoituksena oli tarkastella Vantaan Energian Martinlaakson voimalaitoksen Mar1-yksikön kaukolämpöjärjestelmän pumppujen energiatehokkuuden parantamiseen liittyviä toimenpiteitä. Työssä käsiteltiin pumppujen eri säätömenetelmiä ja niiden vaikutuksia pumppauksen energiankulutukseen. Lisäksi selvitettiin, mitä pumpun mitoituksessa tulee ottaa huomioon.</p> <p>Tarkasteluun kuului yhteensä seitsemän pumppua: kaksi kaukolämpöveden menopumppua ja kaksi paluupumppua, yksi kaukolämpöakun lataus- ja purkauspumppu, yksi akun purkauspumppu sekä yksi akun sekoitusvesipumppu. Kaukolämpöveden meno- ja paluupumput ovat Serlachiuksen 70-luvulla valmistamia nestekytöksäätöisiä keskipakopumppuja. Akun lataus- ja purkauspumput ovat 90-luvulla asennettuja Ahlströmin keskipakopumppuja. Tällä hetkellä virtaamaa säädetään näiden kohdalla kuristusventtiilin avulla.</p> <p>Työssä tarkasteltiin kyseisten pumppujen toiminta-alueita ja hyötysuhteita nykyisellä käytöllä. Tavoitteena oli selvittää pumppujen mitoituksen soveltuvuus nykyiselle ja tulevalle käytölle. Lisäksi työssä selvitettiin pumppujen säätömenetelmien muutoksia ja kannattavia energiatehokkuustoimenpiteitä. Aineistona työssä käytettiin pumppujen valmistajilta saatuja ominaiskäyriä ja laitoksen prosessinhallintajärjestelmästä saatavia tietoja pumppujen ajomalleista.</p> <p>Kaukolämpöpumppujen energiatehokkuuden parantamiseksi nykyinen nestekytöksäätö tulisi vaihtaa taajuusmuuttajasäätöiseksi. Kaukolämpöakun pumppujen havaittiin olevan reilusti ylimitoitettuja, jolloin ratkaisuna olisi uudet pienemmät pumput. Huomattavia säästöjä energiankulutukseen saadaan myös vaihtamalla kuristussäätö pyörimisnopeussäädölle taajuusmuuttajaohjauksella.</p> <p>Työn tuloksena saatiin listattua energiatehokkuutta parantavia toimenpiteitä. Näistä toimenpiteistä aiheutuva energiansäästö saatiin laskettua ABB:n EnergySave-laskurin avulla. Työn lopussa on esitetty myös energiatehokkuustoimenpiteiden vaatimat investoinnit ja niiden takaisinmaksuajat. Investointikustannukset ja monet lähdetiedot ovat salaisia, joten niitä ei julkaista lopullisessa versiossa.</p>	
Avainsanat	kaukolämpöpumppu, keskipakopumppu, energiatehokkuus

Author(s) Title	Meri Sahiluoto Examining and optimizing the energy efficiency of Martinlaakso Power Plant's districting heating pumping system
Number of Pages Date	52 pages + 6 appendices 12 March 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Energy and Environmental Engineering
Specialisation option	
Instructor(s)	Tomi Hämäläinen, Senior Lecturer Petri Parviainen, Maintenance Supervisor, turbines
<p>The aim of this Bachelor's thesis was to examine how to improve the energy efficiency of the district heating system's centrifugal pumps in Martinlaakso power plant's Unit 1 at Vantaan Energia. Different control methods for pumps and their effects on pumping's energy consumption were reviewed. The factors that should be considered when choosing the performance measurements for pump were also examined.</p> <p>The examination included seven pumps: two district heating supply pumps and two return pumps, one pump for charging and discharging the district heating accumulator, one pump only to discharge the accumulator and one pump for mixing the water supplied to the accumulator. The district heating supply and return pumps are fluid drive controlled centrifugal pumps manufactured by Serlachius in the 70's. Centrifugal pumps for the district heating accumulator are installed in the 90's and manufactured by Ahlström. Currently the water flow is controlled by throttle valves.</p> <p>The operating ranges and the efficiency rates of the pumps at the present usage were examined. The aim was to find out the suitability of the pumps for current and future use. Alterations to the pumps' control methods and profitable energy efficiency operations were also investigated. The data used in the thesis was the information obtained from the pump manufacturer's characteristic curves and the driving patterns of the pumps provided by the power plant's process control system.</p> <p>To improve the energy efficiency of the district heating pumps, the current fluid drive control should be changed to frequency converter control. The pumps for the district heating accumulator were found to be oversized, thus the solution would be new smaller pumps. Significant savings on energy consumption can also be achieved by changing the throttle control to the rotational speed control that works with the frequency converter.</p> <p>As a result, operations for improving energy efficiency were listed. The energy savings from these actions were calculated by using ABB's EnergySave calculator. The investments required to improve energy efficiency and the payback times are presented at the end of the thesis. The investment costs and some of the initial data are confidential therefore, they are not published in the final version.</p>	
Keywords	district heating pump, centrifugal pump, energy efficiency

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Vantaan Energia Oy	1
2.1	Yleistä	1
2.2	Martinlaakson voimalaitos	2
2.3	Kaukolämmöntuotanto	3
2.4	Akun toiminta	4
3	Keskipakopumput	7
3.1	Rakenne	8
3.2	Toimintaperiaate	10
3.3	Pumpputyypit	10
4	Mitoitus	11
4.1	Tilavuusvirta	11
4.2	Nostokorkeus	12
4.3	Teho	12
4.4	Reynoldsin luku	13
4.5	Putkiston painehäviöt	14
4.6	Ominaiskuvaajat	17
4.7	Kavitaatio	18
4.8	NPSH-arvo	19
5	Pumppujen säätötavat ja -laitteet	19
5.1	Kuristussäätö	19
5.2	Kierrosnopeussäätö	20
5.2.1	Affiniteettisäännöt	21
5.2.2	Taajuusmuuttajat	22
5.2.3	Nestekytkimet	23
5.3	Juoksupyöräsäätö	24
5.4	Ohivirtaussäätö	25
5.5	Rinnan- ja sarjaankytkentä	25

6	Työn suorittaminen	27
6.1	Tehomittaukset	27
7	Työssä tarkasteltavat pumput	29
7.1	Kaukolämmön meno- ja paluupumput	29
7.2	Kaukolämpöakun lataus- ja purkauspumput	30
7.3	Akun sekoitusvesipumppu	31
8	Energiatehokkuuden parantaminen	31
8.1	Kaukolämpöpumppujen säätö taajuusmuuttajaohjaukselle	32
8.2	Kaukolämpöakun pumput	34
8.2.1	Käyttöasteen määrittäminen	35
8.2.2	Pumppujen uudelleen mitoitus	38
8.2.3	Pumppausjärjestelmän häviöiden tarkastelu	39
8.2.4	Pumput pyörimisnopeussäädettäviksi	41
8.2.5	Juoksupyörän koon muuttaminen	44
8.2.6	Sekoitusvesipumppu	44
9	Arvioidut investointikustannukset	44
9.1	Kaukolämpöpumput	44
9.1.1	Vaihtoehto A	45
9.1.2	Vaihtoehto B	47
9.1.3	Vaihtoehto C	48
9.2	Kaukolämpöakun pumput	48
10	Yhteenveto	50
	Lähteet	51
	Liitteet	
	Liite 1. Kaukolämpöpumppujen tekninen erittely	
	Liite 2. Akun lataus- ja purkauspumppujen tekniset erittelyt ja ominaiskuvaaja	
	Liite 3. Akun sekoitusvesipumpun tekninen erittely ja ominaiskuvaaja	
	Liite 4. Mittaustulokset	
	Liite 5. Säästölaskelmat	
	Liite 6. Sulzerin alustava tarjous KL-pumpuista	

Lyhenteet

bar	Baari. Paineen yksikkö.
CHP-laitos	Combined Heat and Power. Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitos.
GW	Gigawatti. Tehon yksikkö.
GWh	Gigawattitunti. Energian yksikkö.
Hz	Hertsi. Taajuuden yksikkö.
kW	Kilowatti. Tehon yksikkö
kWh	Kilowattitunti. Energian yksikkö
LTO	Lämmöntalteenotto.
mbar	Millibaari. Paineen yksikkö.
Mar1	Martinlaakson voimalaitoksen tuleva biokattilayksikkö.
Mar2	Martinlaakson voimalaitoksen hiilikattilayksikkö.
Mar4	Martinlaakson voimalaitoksen kaasuturbiiniyksikkö.
MW	Megawatti. Tehon yksikkö.
MWh	Megawattitunti. Energian yksikkö.
NPSH	Net Positive Suction Head. Pumpun imukyky.
Pa	Pascal. Paineen yksikkö.
ROI	Return on Investment. Investoinnin tuottoaste.

1 Johdanto

Tämän insinööriyön tarkoituksena on tehdä selvitys Vantaan Energia Oy:lle Martinlaakson voimalaitoksen Mar1-yksikön kaukolämpöpumppujen energiatehokkuuden parantamisesta. Lisäksi työssä tarkastellaan kaukolämpöakun lataus- ja purkauspumpun toimintatapistettua ja pumppujen mahdollisia säätötoimenpiteitä.

Pumput ovat kriittinen osa energiantuotannon prosesseja ja ne usein ylimitoitetaan reilusti, jotta järjestelmän käytettävyys pysyisi hyvänä. Ylimitoituksella varmistetaan pumpun riittävä tehokkuus ja varaudutaan jo ennalta mahdollisiin prosessimuutoksiin. Kuluminen vuoksi pumpun suorituskyky voi myös heikentyä ajan saatossa, minkä vuoksi mitoituslaskelmiin on hyvä jättää riittävä varomarginaali. Ylimitoittaminen ei kuitenkaan koko prosessin kannalta ole energiatehokas ratkaisu, vaan päinvastoin se lisää pumpun energiankulutusta ylimitoitettuna pumpun tehdessä turhaa työtä. Kun tarkastellaan pumppujen käyttöä maailmanlaajuisesti, pumppujen sähkönkulutus on noin 10 % koko maailman sähkönkulutuksesta. Pumppujen energiatehokkuutta parantamalla voidaan tehdä merkittäviä säästöjä sähkönkulutuksessa.

2 Vantaan Energia Oy

2.1 Yleistä

Vantaan Energia Oy on Suomen neljänneksi suurin kaupunkienergiayhtiö, jonka omistaa Vantaan kaupunki 60 %:n osuudella ja Helsingin kaupunki 40 %:n osuudella. Vantaan Energia tuottaa ja myy sähköä ja kaukolämpöä sekä tarjoaa maakaasua teollisuuden tarpeisiin. Yhtiö on perustettu vuonna 1910 nimellä Malmin sähkölaitos Oy. Nykyinen nimi otettiin käyttöön vuonna 1996. Vantaan Energia Oy ja sen omistama Vantaan Energia Sähköverkot Oy muodostavat yhdessä muiden osakkuusyhtiöiden kanssa Vantaan Energia -konsernin. Näitä osakkuusyhtiöitä ovat Svartisen Holding A/S, Suomen Energia-Urakointi Oy sekä Kolsin Voima Oy. Vantaan Energia Oy:llä on lisäksi osuuksia seuraavissa energiantuotantoyhtiöissä: Suomen Hyötytuuli Oy, EPV Energia Oy, Pohjolan Voima Oy, Voimaosakeyhtiö SF ja Innopower Oy. (Tilinpäätös 2016.)

Vantaan Energia Oy:llä on Vantaalla kaksi voimalaitosta: Martinlaakson voimalaitos Länsi-Vantaalla ja jätevoimalaitos Itä-Vantaalla. Lisäksi yhtiöllä on kuusi erillistä lämpökeskusta. Vuonna 2016 Martinlaakson voimalaitoksen vuosituotanto oli 376 GWh sähköä ja 835 GWh kaukolämpöä. Martinlaakson voimalaitoksen tämän hetkiset pääpolttoaineet ovat kivihiili ja maakaasu. Jätevoimala hyödyntää polttoaineena pääasiassa kotitalouksien sekajätettä. Lisäpolttoaineena käytetään tarvittaessa maakaasua. Vuonna 2016 jätettä poltettiin 356 000 tonnia, joka tarkoittaa vuosituotantona 253 GWh sähköä ja 943 GWh kaukolämpöä. (Tilinpäätös 2016.)

Vuonna 2016 Vantaan Energia Oy:n liikevaihto oli 249,1 milj. euroa ja liikevoitto 39,8 milj. euroa. Koko konsernin liikevaihto oli 284,6 milj. euroa ja liikevoitto 50,2 milj. euroa. Henkilöstöä Vantaan Energia -konsernilla on noin 350. Yhtiön toimitusjohtajana toimii Pertti Laukkanen. (Tilinpäätös 2016.)

2.2 Martinlaakson voimalaitos

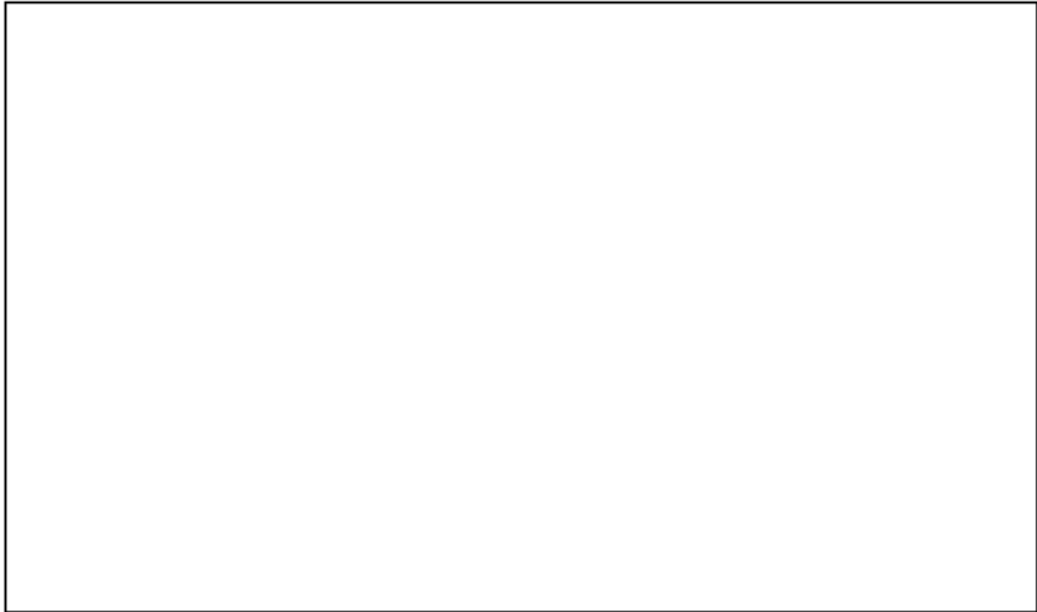
Martinlaakson voimalaitos on otettu käyttöön vuonna 1975. Laitos on kolmesta yksiköstä (Mar1, Mar2 ja Mar4) koostuva CHP (Combined Heat and Power) -yhteistuotantolaitos, joka tuottaa sähköä ja kaukolämpöä. Tällä hetkellä toiminnassa ovat vain hiilikattilayksikkö (Mar2) ja kaasuturbiiniyksikkö (Mar4). Kivihiilen ja maakaasun lisäksi laitos käyttää tuki- ja varapolttoaineena kevyttä polttoöljyä. Voimalaitoksen yhteenlaskettu polttoaineteho on 485 MW. (Ympäristölupa 2017.)

Maakaasu- ja öljykäyttöinen kattilayksikkö Mar1 on tarkoitus muuttaa puuperäisiä biopolttoaineita ja turvetta hyödyntäväksi leijukerroskattilaksi. Biokattilan suunniteltu polttoaineteho on 120 MW. Tällä hetkellä yksiköt Mar2 ja Mar4 tuottavat laitoksen perustehon, mutta muutostöiden jälkeen Mar1 ja Mar2 toimisivat peruskuormayksikköinä ja Mar4 huippu- ja varakattilana. Kattilamuutoksen jälkeen Martinlaakson voimalaitoksen keskimääräinen vuosituotanto olisi noin 900 GWh kaukolämpöä ja 500 GWh sähköä. Tulevan Mar1-biokattilan käyttöajaksi on arvioitu noin 5 000 tuntia vuodessa ja Mar2-hiilikattilan 6 000 tuntia vuodessa. (Ympäristölupa 2017.)

2.3 Kaukolämmöntuotanto

Martinlaakson voimalaitos on vastapainelaitos, jolloin turbiinilta ulos tulevan höyryn lämpötila ja paine ovat riittävät lämmöntuotantoon. Pääasiassa kaukolämmön tuotanto perustuu Mar2-hiilikattilalla tuotettuun lämpöön. Kattilaan syötetty hiili vapauttaa palaessaan lämpöä, jonka avulla kattilan syöttövesi höyrystetään ja tulistetaan korkeapaineiseksi höyryksi. Tulistettu höyry johdetaan turbiinin läpi, jolloin sen paine ja lämpötila laskee. Turbiinin jälkeen lauhtuva höyry luovuttaa lämmön kaukolämpövedeen lämmönvaihtimissa. Vuonna 2019 myös biokattilalla tullaan tuottamaan kaukolämpöä samalla periaatteella, vain eri polttoainetta hyödyntäen. CHP-laitoksissa lämmön kysyntä ohjaa pitkälti tuotantoa.

Mar4-yksikön kaasuturbiinin ja LTO- eli lämmöntalteenottokattilan yhdistelmällä voidaan myös tuottaa kaukolämpöä. Mar4-yksikkö koostuu kaasuturbiinista, generaattorista ja LTO-kattilasta. Kaasuturbiinin kanssa samalla akselilla oleva kompressori puristaa palamistilaan korkeapaineista ilmaa, joka sekoittuu poltettavaan polttoaineeseen. Martinlaakson voimalaitoksella polttoaineena käytetään maakaasua. Polttokammiossa syntyvien savukaasujen lämpöenergia muutetaan voimaturbiinilla mekaaniseksi energiaksi, joka pyörittää generaattoria tuottaen sähköä. Kaasuturbiinissa syntyvät savukaasut ohjataan lämmöntalteenottokattilaan, jossa niiden sisältämällä lämmöllä tuotetaan höyryä turbiineille ja laitoksen omaan käyttöön.



Kuva 1. Voimalaitosprosessin yleisnäyttö (DNA Report -prosessinhallintajärjestelmä 2017).

Kuvassa 1 on esitettyä Martinlaakson voimalaitoksen prosessin yleisnäyttö. Vasemmassa reunassa on vihreällä merkitty yksikkö Mar1. Keskellä sinisellä värillä on Mar2-yksikön hiilikattila ja rikinpoistolaitos. Oikeassa reunassa GT tarkoittaa kaasuturbiinia ja LTOK lämmöntalteenottokattilaa. Kuvassa kulkevista viivoista punainen kuvastaa tuorehöyryvirtaa, harmaa savukaasuvirtaa ja vihreällä on merkitty kaukolämpöveden kierto. Laitoksella on kaksi höyryturbiinia, jotka kuvassa ovat vihreällä ja sinisellä merkityt T1 ja T2. Jokaiselta yksiköltä on mahdollista ohjata tuorehöyry näille kahdelle höyryturbiinille. Kaukolämpöverkoston merkityissä lämmönvaihtimissa turbiineilta tai suoraan höyrylinjasta ohjattu lauhtuva höyry lämmittää kaukolämpövettä. Kuvasta näkyy, että jokaisen yksikön savukaasut johdetaan omaan piippuunsa. Prosessikuvaan on merkitty myös kaukolämpöakku, johon tuotannon ylimääräinen lämpö voidaan säilöä, jos kaukolämmölle ei juuri kyseisellä hetkellä ole kysyntää.

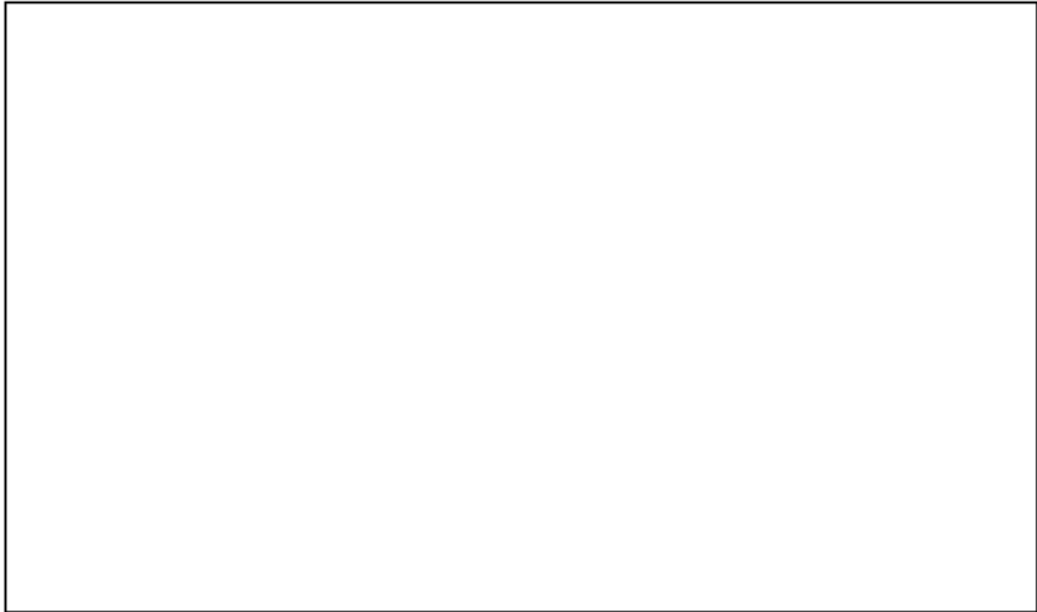
2.4 Akun toiminta

Kaukolämpöakut tuovat joustoa energiantuotantoon, sillä niiden avulla voidaan tasata kaukolämpökuormia ja varautua paremmin lämmön kulutushuippuihin. Sähkön hinnan ollessa korkea yhteistuotantolaitoksilla voidaan tuottaa sähköä alhaisesta lämmön kysynnästä huolimatta, kun ylimääräinen tuotettu lämpö varastoidaan kaukolämpöakkuun.

Akku helpottaa siis tuotannon optimointia, koska sen avulla sähkön tuotantoa voidaan siirtää niille vuorokauden tunneille, jolloin sähköstä saadaan paras hinta. Akun käytöllä voidaan myös välttää yksittäisten lämpökeskusten käyttöönotto, jos esimerkiksi aamun kulutushuippuun voidaan vastata akkuun yöllä varatulla lämpöenergialla. (Kallatsa 2018.)

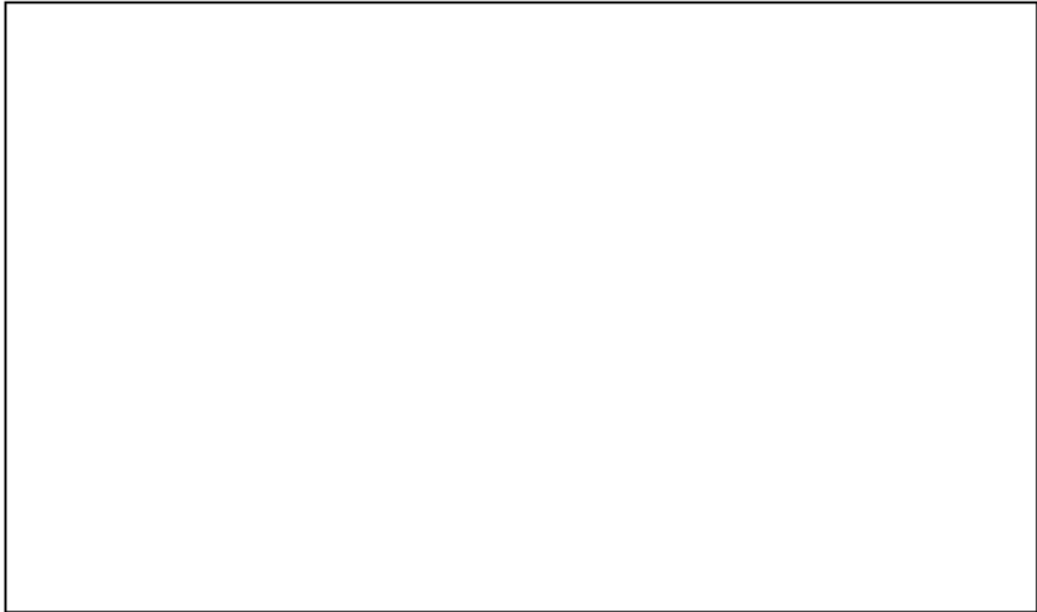
Kaukolämpöakun toiminta perustuu eri lämpöisen veden tiheyseroihin ja sen kerrostumiseen. Suurissa vesisäiliöissä kuumin vesi varastoituu säiliön yläosaan ja viilein alaosaan. Akun lämpöenergiaa ladataan ja puretaan vedenjakajien eli diffuusorien avulla. Diffuusorien avulla virtaus akkuun ja akusta pois pyritään pitämään mahdollisimman tasaisena. Ne estävät myös kuumen ja viileän veden sekoittumisen ja edesauttavat selkeän rajavyöhykkeen syntymisessä. Rajavyöhyke laskee ja nousee kaukolämpöakun varausasteen mukaan. Akun purkaminen tapahtuu johtamalla akun vettä kaukolämmön meno- tai paluuputkeen lämpötilasta riippuen. Varastoidun veden lämpötilan ollessa yli kulutuksen ohjearvon purku tapahtuu menoputkeen. Kun lämpötila alittaa ohjearvon, vesi puretaan paluuputkeen, jolloin se samalla esilämmittää paluuvettä. (Kaukolämmön käsikirja 2006: 386–394).

Martinlaakson voimalaitoksen kaukolämpöakku on vuonna 1990 vanhasta raskaan polttoöljyn säiliöstä valmistettu eristetty terässäiliö, jonka tilavuus on 20 000 m³. Akun maksimiteho on 50 MW ja lämpökapasiteetti 900 MWh. Kuvissa 2 ja 3 ovat Martinlaakson akun latauksen ja purun prosessinäytöt. Kuumen veden virtaus on esitetty punaisella. Oikeassa reunassa olevan akkusäiliön ylä- ja alaosassa näkyvät vaakatasossa olevat viivat kuvaavat radiaalidiffuusoreja. Säiliön katon ja vesirajan väliin jäävä tyhjä osuus täytetään noin 15-20 mbar:n ylipaineistetulla höyrypatjalla, johon höyry otetaan laitoksen apuhöyrylinjasta. Apuhöyry tuotetaan joko maakaasukäyttöisellä apukattilalla tai otetaan turbiinien välitoista. Ajettaessa turbiinia pienellä teholla tai turbiinin ylösajon aikana apuhöyry voidaan ottaa myös suoraan päähöyrylinjasta. Mar4-yksikön käydessä apuhöyryä voidaan tuottaa myös LTO-kattilan matalapainelieriön avulla. (Kallatsa 2018; Parviainen 2018.)



Kuva 2. Martinlaakson kaukolämpöakun latauksen prosessinäyttö (DNA Report -prosessinhalintajärjestelmä 2017).

Kuvassa 2 lataus on jo loppuvaiheessa, sillä akun lämmönvarauskapasiteetti on 825 MWh eli 97 % täydestä kapasiteetista. Säiliön oikeassa reunassa on esitettyinä lämpötila säiliön eri korkeustasoilla. Akkua ladattaessa kuvassa 2 alin kerros on noin 64 °C. Kun verrataan akun purkukuvaan (kuva 3), jolloin lämmönvarauskapasiteetti on 33 % eli 195 MWh, alimman kerroksen lämpötila on noin 43 °C. Tämä havainnollistaa hyvin, miten rajavyöhyke laskee ja nousee varausasteen mukaan.

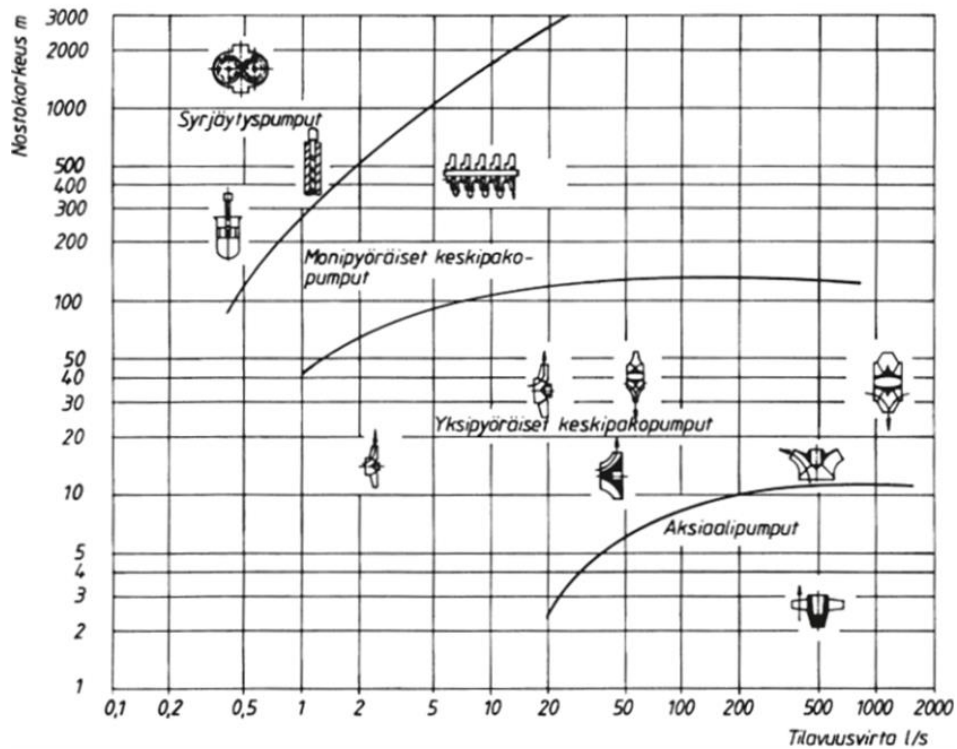


Kuva 3. Martinlaakson kaukolämpöakun purun prosessinäyttö. (DNA Report -prosessinhallintajärjestelmä 2017).

Toisinaan akkuja liitetään kaukolämpöverkkoon epäsuoralla kytkennällä lämmönsiirtimien avulla, jolloin akulla on oma suljettu vesikiertonsa. Martinlaakson akku on kuitenkin liitetty verkkoon suoralla kytkennällä, jolloin kaukolämpövesi kiertää akun kautta ja purku tapahtuu suoraan meno- tai paluuputkeen. (Kallatsa 2018; Kaukolämmön käsikirja 2006: 386–394.)

3 Keskipakopumput

Pumpputyyppejä on useita erilaisia. Kuvassa 4 on esiteltyä erilaisia pumpputyyppejä niiden tyypillisen nostokorkeuden ja tilavuusvirran mukaan. Pumput voidaan jakaa esimerkiksi keskipakovoimaisiin pumppuihin ja syrjäytyspumppuihin.

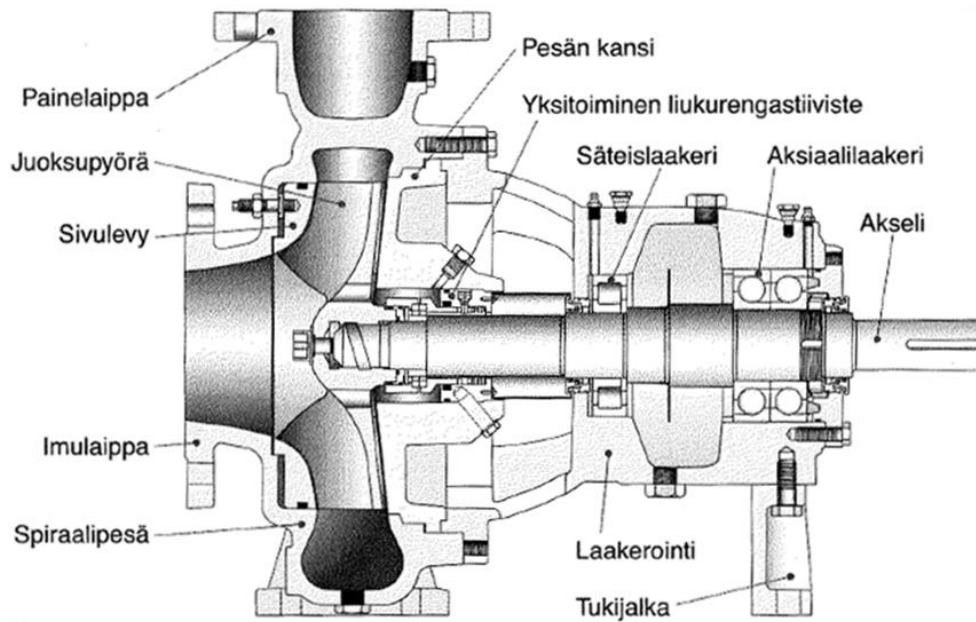


Kuva 4. Erilaiset pumputyypit toiminta-alueittain (Energiatehokkaat pumput 2011).

Kaukolämpöveden pumppauksen olosuhteisiin soveltuvat parhaiten yksipyöräiset keskipakopumput, minkä vuoksi tässä työssä keskitytään ainoastaan tämän kaltaisten pumpujen toimintaan.

3.1 Rakenne

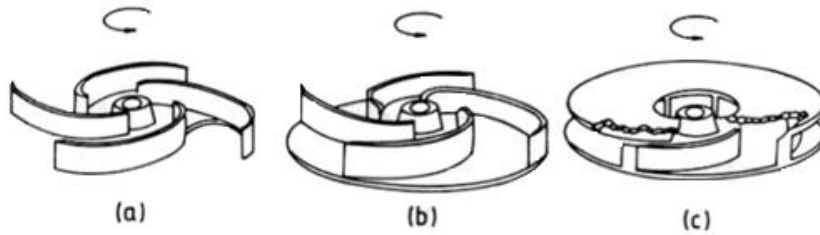
Keskipakopumppu koostuu pääasiassa pesästä, siipipyörästä, akselista, tiivisteosista, laakeroinnista sekä imu- ja paineyhteestä. Kuvassa 5 on pumpun rakenne kuvattuna tarkemmin.



Kuva 5. Keskipakopumpun rakenne (Huhtinen ym. 2011: 136).

Pesällä tarkoitetaan pumpun ulkokuorta, jonka sisällä juoksupyörä pyörii. Pesän ja juoksupyörän väliin tulee jäädä pieni välys, jotta juoksupyörä pystyy pyörimään pesässä pumpulle suunnitelluissa olosuhteissa. Välys pesän ja pyörän välillä aiheuttaa kuitenkin samalla nesteen vuotamisen painepuolelta takaisin imupuolelle. Tämä sisäinen häviö alentaa pumpun suorituskykyä. Jotta vuotovirtausta kyetään rajoittamaan, välys tulee mitoittaa mahdollisimman pieneksi. Välyksen koon säätämisessä auttaa välys- eli tiivisterengas, joka sijoitetaan pumpun pesään välyksen kohdalle. Välysrenkas on vaihdettava kulutusosa. (Wirzenius 1978: 52.)

Juoksupyörien rakenne voi vaihdella. Ne voivat olla malliltaan muun muassa suljettuja, puoliavoimia tai avoimia (kuva 6). Suljetussa juoksupyörässä siivet ovat kiinnitettyinä molemmilta sivuilta sivulevyihin (kuvassa 6 malli c). Puoliavoimessa siivet ovat kiinni vain toiselta puolelta (malli b), ja avoimessa juoksupyörässä ei ole sivulevyjä ollenkaan eli tällöin juoksupyörä on avoin (malli a). Juoksupyörä on liitetty akseliin, jonka avulla teho ja pyörimisliike siirretään juoksupyörään. (Wirzenius 1978: 52–53.)



Kuva 6. Juoksupyörämalleja: avoin-, puoliavoin ja suljettu juoksupyörä (Wirzenius 1978).

Pyörivän akselin ja kiinteän pesän välille on myös jätävä tietty välys. Jotta pumpattava neste ei pääsisi vuotamaan ulos pumpusta, pesässä oleva akselin läpimenoreikä tulee tiivistää. Tiivisteosat sijoitetaan omaan osioonsa pumpussa, jota kutsutaan tiiviste-pesäksi. (Wirzenius 1978: 53.)

3.2 Toimintaperiaate

Akseli välittää tehon ja pyörimisliikkeen pumpun juoksupyörään. Usein tehon tuottaminen tapahtuu sähkömoottorin avulla. Juoksupyörän pyörimisliike antaa pumpun pesään virtaavalle nesteelle juoksupyörän kehän tangentin suuntaisen nopeuskomponentin. Syntyy keskipakovoiman vaikutus, joka antaa nesteelle paineen lisäyksen. Tämän paineen lisäyksen vuoksi neste pääsee siirtymään paineputkeen ja voittaa korkeuseron, virtausvastukset sekä vastassa olevan paineen. Jatkuva virtaus pumpun läpi syntyy, kun imujohtossa vaikuttava paine saa nesteen virtaamaan juoksupyörän keskustaan samalla kun juoksupyörän kehältä poistuu nestettä paineputkeen. (Metsäteollisuuden työnantajaliitto 1993: 61; Wirzenius 1978: 52.)

3.3 Pumpputyypit

Keskipakopumppuja on sekä päästä imeviä että kaksipuolisesti imeviä. Päästä imevässä pumpussa on yksi akselin suuntainen imuaukko, josta neste virtaa pumppuun. Suurissa prosesseissa kuten kaukolämpöjärjestelmissä käytetään usein tämän tyyppisiä pumppuja. Kaksipuoleisesti imevä pumppu on ikään kuin kaksi yksipuoleisesti imevää pumppua selät vastakkain yhteen liitettynä. Näiden etuna on usein helpompi huollettavuus. Martinlaakson voimalaitoksella on käytössä kaksipuoleisesti imevät pumput. (Naukkari-nen 2017.)

4 Mitoitus

Pumpun hankinta valmistellaan tutustumalla prosessiin ja määrittelemällä, mitä pumpausjärjestelmältä halutaan. Alkuun on selvitettävä ainakin prosessin vaatima tilavuusvirta, haluttu nostokorkeus ja pumpun tarvitsema teho. Hankitaan pumpu sitten täysin uuteen tai jo olemassa olevaan järjestelmään, on tärkeää tarkastella koko pumpausjärjestelmää. Putkiston mitoitus vaikuttaa suuresti myös pumpulta vaadittaviin ominaisuuksiin. (Energiatehokkaat pumput 2011.)

4.1 Tilavuusvirta

Tilavuusvirta tarkoittaa nesteen tilavuutta, jonka pumpu pumppaa tietyssä ajassa. Tilavuusvirrasta puhuttaessa käytetään usein myös termiä tuotto. Tilavuusvirta saadaan putken poikkipinta-alan ja nesteen virtausnopeuden tulosta. (Huhtinen ym. 2011: 137.)

$$Q = A * v \quad (1)$$

jossa

Q	on tilavuusvirta	[m ³ /s]
A	on virtauksen poikkipinta-ala	[m ²]
v	on virtausnopeus	[m/s]

Kaukolämpöjärjestelmässä suurin lämmitystehontarve määrää pumpun maksimituoton. Pumppujen mitoittaminen oikealle toiminta-alueelle edellyttää tietoa siitä, minkälaista lämpötehoa yksiköllä on tarkoitus tuottaa. Maksimitilavuusvirta voidaan laskea seuraavalla kaavalla. (Kaukolämpöverkon pumpausjärjestelyt. 2011.)

$$Q = \frac{\phi}{c_p * \rho * \Delta t} \quad (2)$$

jossa

Q	on tilavuusvirta	[m ³ /s]
ϕ	on verkostossa tarvittava teho	[kW]
c_p	on nesteen ominaislämpökapasiteetti	[kJ/kg°C]
ρ	on pumpattavan nesteen tiheys	[kg/m ³]
Δt	on verkoston meno- ja paluuvien lämpötilaero	[°C]

Verkoston meno- ja paluuv veden lämpötilaerolla on myös suuri vaikutus tilavuusvirtaan. Mitä pienempi lämpötilaero on kyseessä, sitä suurempi tilavuusvirran tulee olla.

4.2 Nostokorkeus

Jotta nestettä saadaan siirrettyä paikasta toiseen pumpun avulla, pumpun täytyy nostaa nesteen painetta voittaakseen korkeuserosta johtuva vesipatsaan paine ja virtaushäviöistä johtuva painehäviö. Pumppujen nostokorkeutta vastaava paineen lisäys saadaan seuraavasta kaavasta.

$$\Delta p = \rho * g * H \quad (3)$$

jossa

Δp	on pumpun tuottama paine-ero	[Pa]
ρ	on pumpattavan nesteen tiheys	[kg/m ³]
g	on putoamiskiihtyvyys	[m/s ²]
H	on nostokorkeus	[m]

Jos pumppausjärjestelmän painehäviöt ovat tiedossa, nostokorkeus voidaan laskea seuraavasti johtamalla kaavasta 3.

$$H = \frac{\Delta p}{\rho * g} \quad (4)$$

Nostokorkeutta vastaavan paineen lisäyksen tulee voittaa järjestelmän painehäviöt. (Huhtinen ym. 2011; Pump Handbook 2016.)

4.3 Teho

Jos olisi mahdollista, että pumppu kävisi ilman minkäänlaisia häviöitä, pumpun teoreettinen teho voitaisiin laskea seuraavalla kaavalla.

$$P = \rho * g * Q * H \quad (5)$$

jossa

P	on pumpun teoreettinen teho	[W]
ρ	on pumpattavan nesteen tiheys	[kg/m ³]
g	on putoamiskiihtyvyys	[m/s ²]

Q	on tilavuusvirta	[m ³ /s]
H	on nostokorkeus	[m]

Todellisuudessa pumppauksessa syntyy aina tehohäviöitä. Pumpun hyötysuhde määrittää, kuinka suuren osan käyttökoneen antamasta tehosta pumppu käyttää nesteen siirtämiseen ja paineen nostamiseen. Hyötysuhteen (η) ollessa tiedossa pumpun tarvitsema todellinen akseliteho voidaan laskea seuraavalla kaavalla.

$$P_a = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\eta} \quad (6)$$

Pumpun tarvitsema käyttökone kuten sähkömoottori toimii myös tietyllä hyötysuhteella. Todellinen verkosta otettu sähköteho saadaan, kun sähkömoottorin ja pumpun säätölaitteen hyötysuhde otetaan myös huomioon. (Energiatehokkaat pumput 2011; Huhtinen ym. 2011.)

4.4 Reynoldsin luku

Virtaustyytit hydraulijärjestelmissä jakautuvat laminaariseen ja turbulenttiseen. Nesteen siirrossa on tärkeää, että virtaus on tasaista ja pyörteetöntä virtaushäviöiden minimoimiseksi. Laminaarisessa eli tasaisessa virtauksessa virtaushäviöt kasvavat lineaarisesti virtausnopeuden funktiona, kun taas turbulenttisessa virtauksessa häviöt kasvavat lähes eksponentiaalisesti.

Virtaustyyppi voidaan selvittää laskennallisesti dimensiottoman virtausmekaniikan suhdeluvun eli Reynoldsin luvun avulla. Reynoldsin luku voidaan määrittää kaavalla

$$Re = \frac{dv\rho}{\mu} \quad (7)$$

jossa

Re	on Reynoldsin luku	
D	on putken hydraulinen halkaisija	[m]
v	on nesteen virtausnopeus	[m/s]
ρ	on nesteen tiheys	[kg/m ³]
μ	on nesteen viskositeetti	[Ns/m ²]

Laskettua Reynoldsin lukua verrataan kokeellisesti määritettyyn lukuun Re_{kr} eli kriittiseen Reynoldsin lukuun, joka ilmoittaa virtaustyyppin muutosalueen. Pyöreillä sileäpintaisilla

putkilla Re_{kr} on määritetty olevan noin 2000–2300. Lasketun Reynoldsin luvun ollessa alle 2000 virtaus on varmasti laminaarista. (Kajaste ym. 2013: 27–29).

4.5 Putkiston painehäviöt

Kitka aiheuttaa tehohäviöitä nesteen virratessa putkistossa. Nämä häviöt ilmenevät paineen alenemisena nesteen virtaussuunnassa. Kitkahäviöitä syntyy suorilla putkiosuukilla sekä osissa, joissa muutetaan virtauksen suuntaa tai nopeutta. Suorille putkiosuukille lasketaan oma putkivastushäviö. Virtausta muuttaville komponenteille ja osille on taas oma kertavastushäviöiden kaava. Putkiston kokonaispainehäviö on putki- ja kertavastushäviöiden summa. (Kajaste ym. 2013: 50–57.)

Suoran putken virtaushäviöt lasketaan kaavalla:

$$\Delta p = \lambda \frac{L \rho}{d} v^2 \quad (8)$$

jossa

Δp	on painehäviö	[Pa]
λ	on kitkavastuskerroin	
L	on putken pituus	[m]
d	on virtauskanavan sisähalkaisija	[m]
ρ	on nesteen tiheys	[kg/m ³]
v	on virtausnopeus	[m/s]

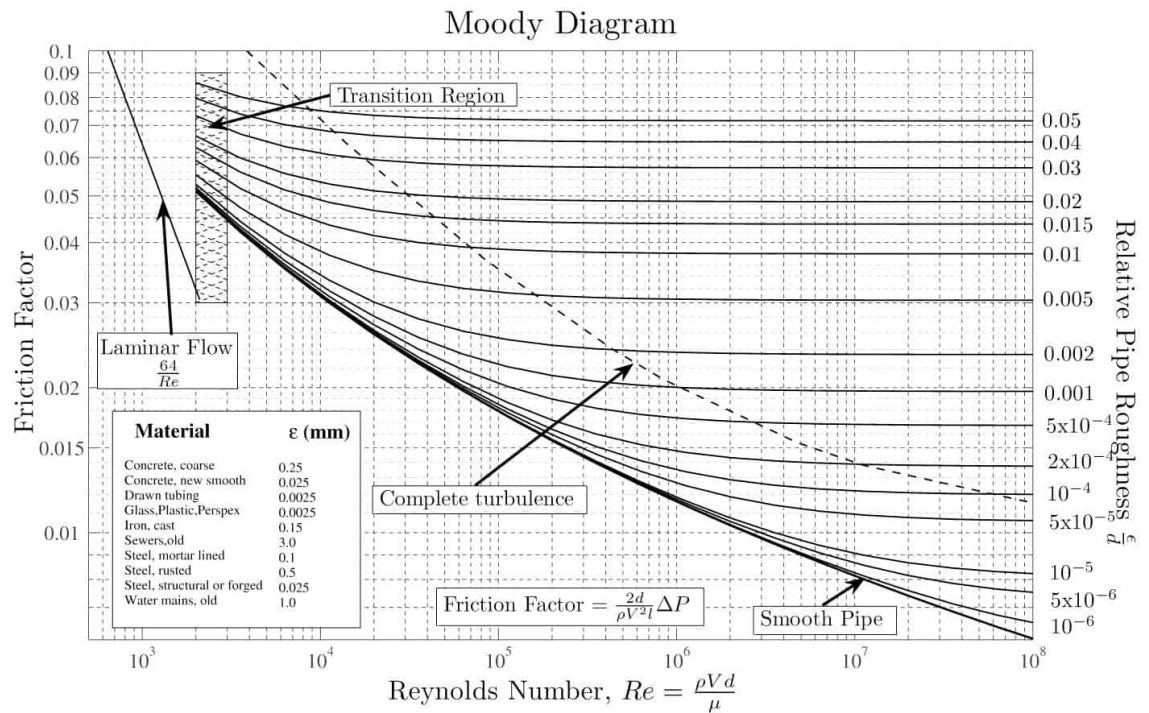
Kitkavastuskerroin λ voidaan laskea laminaariselle virtaukselle Reynoldsin luvun avulla kaavalla 9 (Kajaste ym. 2013: 50).

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (9)$$

jossa

λ	on kitkavastuskerroin
Re	on Reynoldsin luku

Turbulenttisen virtauksen kitkavastuskertoimen määrittämiseen käytetään Moodyn diagrammia (kuva 7). Kun tunnetaan suhteellinen pinnankarheus (k/d) ja Reynoldsin luku, kitkavastuskerroin λ saadaan selville diagrammia apuna käyttäen. (Kauranne ym. 2013: 53).



Kuva 7. Moodyn diagrammi (Cengel ym. 2013).

Putkien mutkissa, haarakohdissa ja venttiileissä virtaus muuttuu usein turbulenttiseksi. Näiden kohtien kertavastushäviöt lasketaan kaavalla

$$\Delta p = \zeta \frac{\rho}{2} * v^2 \quad (10)$$

jossa

Δp	on painehäviö	[Pa]
ζ	on kertavastuserroin	
ρ	on nesteen tiheys	[kg/m ³]
v	on virtausnopeus	[m/s]

Eri putkiston osille on määritelty teoreettisia kertavastuskertoimia, joita voidaan käyttää useimmissa laskuissa. Kertoimen arvo riippuu putkiston rakenteesta ja Reynoldsin luvusta. Kirjallisuudesta löytyy erilaisia taulukoita, kuten esimerkkinä taulukko 1, jossa on valmiiksi määritellyjä kertoimia. (Kajaste ym. 2013: 65.)

Taulukko 1. Kertavastuskertoimia (Keskinen 2015).

Putken osa	ζ
Putkikäyrä 45 sileä	0,14...0,075
Putkikäyrä 90 sileä	0,21...0,09
Putkikäyrä 90 karhea	0,51...0,18
T- kappale, virtaus päähaaraa pitkin	1,0...1,15
T- kappale, sivuputkesta molempiin pääputken suuntiin	1,5...1,9
Levyliudiventtiili	0,2
Palloventtiili	0,8

Virtauksen kokonaishäviöiden laskenta tapahtuu summaamalla putkiston virtaushäviöt ja kertavastushäviöt. Tätä kokonaishäviötä kutsutaan myös dynaamiseksi painehäviöksi.

$$\Delta p_{dyn} = \sum \lambda \frac{l}{d} \frac{\rho}{2} v^2 + \sum \zeta \frac{\rho}{2} v^2 \quad (11)$$

Tärkeintä järjestelmän häviöiden laskennassa on ottaa suurimmat häviöiden aiheuttajat huomioon. Esimerkiksi pitkillä putkisto-osuuksilla häviöt aiheutuvat pääasiassa putkiston virtaushäviöistä. (Kauranne ym. 2013: 69.)

Staattinen painehäviö syntyy järjestelmän imu- ja painepuolen korkeuserosta. Se lasketaan kaavalla 12.

$$\Delta p_{st} = \rho * g * (h_1 - h_2) \quad (12)$$

jossa

Δp_{st}	on staattinen painehäviö	[Pa]
ρ	on nesteen tiheys	[kg/m ³]
g	on putoamiskiihtyvyys	[m/s ²]
h_1	on imusäiliön pinnankorkeus	[m]
h_2	on painesäiliön pinnankorkeus	[m]

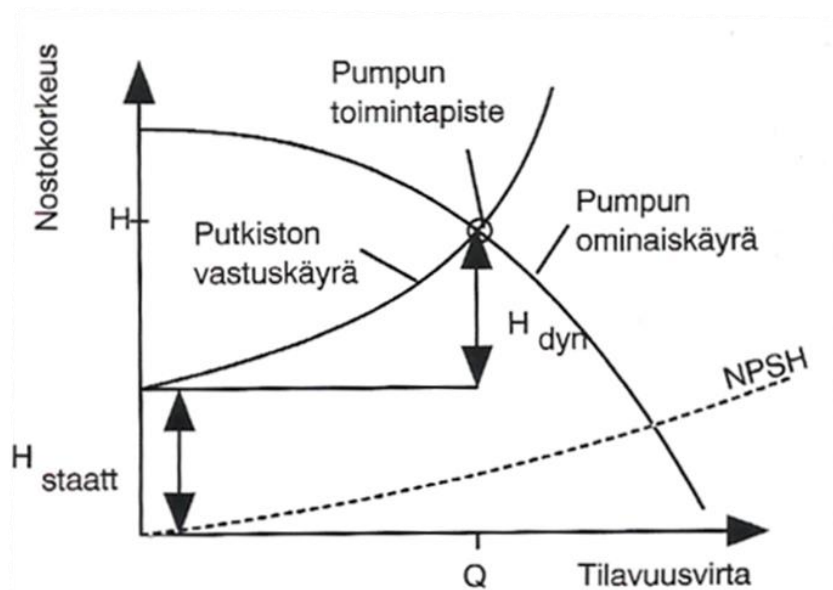
Pumppausjärjestelmän kokonaispainehäviöt saadaan summaamalla dynaaminen ja staattinen painehäviö.

$$\Delta p_{kok} = \Delta p_{dyn} + \Delta p_{st} \quad (13)$$

Nostokorkeutta määrittäessä on otettava myös muut mahdolliset paineen vaikutukset huomioon. Esimerkiksi tämän työn tapauksessa kaukolämpöakun purku tapahtuu kaukolämpöverkkoon, jossa vallitsee oma paineensa. Pumpun kehittämän paineen eli nostokorkeuden tulee olla riittävä, jotta kaukolämpöverkon paine voitetaan ja purku verkkoon onnistuu.

4.6 Ominaiskuvaajat

Pumpun optimaalista toimintapistettä voidaan havainnollistaa pumpulle piirrettävän ominaiskuvaajan avulla. Ominaiskuvaajassa nähdään pumpun ominaiskäyrä sekä putkiston vastuskäyrä, joiden leikkauskohdassa on pumpun toimintapiste (kuva 8).



Kuva 8. Pumpun nostokorkeus tilavuusvirran funktiona (Huhtinen ym. 2011).

Pumpun ominaiskuvaaja kuvaa pumpun tuottoa eri nostokorkeuksilla. Kuvassa 8 on esitetty, miten putkiston häviöt ja pumpulla tuotettava paine muuttuvat tilavuusvirran kasvaessa kuvaajassa oikealle. Pumpulla tuotettava paine koostuu staattisesta ja dynaamisesta paineesta. Staattinen tilavuusvirta, kuvassa H_{staatt} , pysyy vakiona tilavuusvirran vaihdellessa.

Pumppuvalmistaja tekee pumpuilleen ominaiskuvaajat, joissa tilavuusvirran ja nostokorkeuden suhde on määritetty usein empiirisesti. Ominaiskuvaajasta nähdään myös pumpun vaatima NPSH-arvo, josta kerrotaan tarkemmin luvussa 4.8. Pumppukäyrästöt esitetään usein eri juoksupyörän halkaisijavaihtoehdoilla. (Huhtinen ym. 2011: 137–139; Pump Handbook 2016.)

4.7 Kavitaatio

Kavitaatio on ilmiö, jossa nesteen paine alenee höyrystymispaineeseen saakka muodostaen höyrykuplia. Pumpun nesteen kavitointi on yksi syy pumpun ennenaikaiselle vaurioitumiselle. (Huhtinen ym. 2011: 147)

Pumpun imukanavistossa voi esiintyä kitka- ja kertavastushäviöitä, joiden seurauksena kanavistossa vallitseva paine voi laskea nestesäiliön ilmatilassa vallitsevaa painetta alhaisemmaksi. Keskipakopumpuissa alin paine muodostuu juoksupyörän siipisolan etureunalle. Etureunaan syntyy höyrykuplia ja neste alkaa kiehua, jos paine laskee niin paljon, että se saavuttaa höyrystymispaineen. Syntyneet höyrykuplat virtaavat virtauksen mukana eteenpäin, kunnes pumpun syrjäytyselinten voima kohdistuu nesteeseen ja saa sen paineen jälleen nousemaan. Tämän seurauksena ne puristuvat äkillisesti kokoon ja luhistuvat, jolloin syntyy suuria paineiskuja. Äkilliset paineiskut aiheuttavat eroosiota metallipinnoilla ja voimakasta melua. Höyrykuplien muodostumisesta ja luhistumisesta syntyvä ääni muistuttaa kivien ropinaa. Kavitointi havaitaan usein sen aiheuttamasta melusta. (Huhtinen ym. 2011: 147; Metsäteollisuuden työnantajaliitto 1993: 69.)

Voimakkaan osien kulumisen ja melun lisäksi kavitointi alentaa pumpun nostokorkeutta ja aiheuttaa hyötysuhteen laskua. Voimakas kavitaatio voi myös aiheuttaa tärinää, joka lisää entisestään pumpun osien rikkoutumisriskiä. Imukanava tulisi mitoittaa siten, ettei paine pääse laskemaan kanavassa liikaa. Valmistajat ilmoittavat imuliitännälle vaadittavan minimipaineen, jota ei saa alittaa, pumpun imukyvyn takaamiseksi. Osakuormakavitaatiota taas syntyy, kun pumppua ajetaan pienellä tuotolla pumpun optimipisteeseen nähden. (Huhtinen ym. 2011: 147; Kajaste ym. 2013: 141; Metsäteollisuuden työnantajaliitto 1993: 69.)

4.8 NPSH-arvo

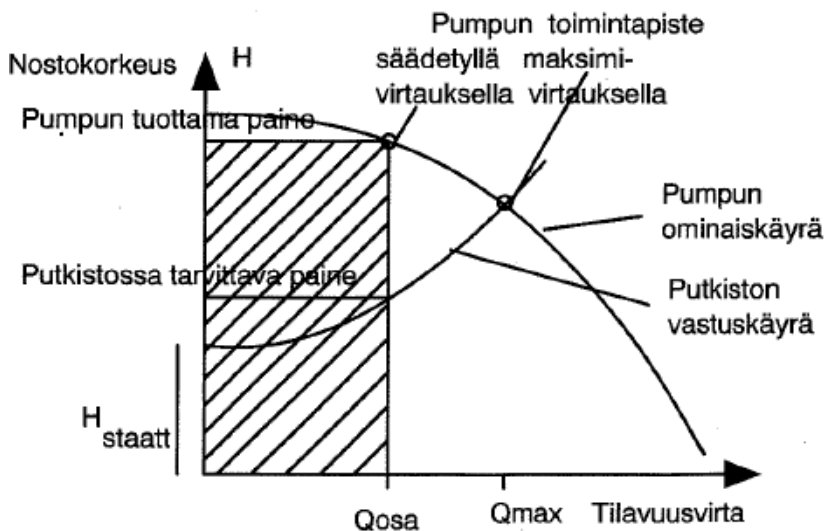
Pumpun teknisissä arvoissa ilmoitetaan valmistajan määrittelemä pumpun imukyky eli NPSH-arvo (Net Positive Suction Head). NPSH-arvo ilmoittaa, kuinka suuri paine nesteen höyrystymispaineen lisäksi pumpun imuaukossa tulee olla, jotta imukyky on riittävä ja pumpattu neste ei ala kavitoimaan. NPSH-arvoja on kahdenlaista: pumpun tarvitsema NPSH-arvo sekä koko systeemin käytettävissä oleva NPSH-arvo. Pumpun tarvitsemassa arvossa käytetään alaviitettä r (required) ja systeemin käytettävissä olevassa arvossa alaviitettä a (available). (Metsäteollisuuden työnantajaliitto 1993: 70.)

NPSHr ilmoitetaan vesipatsaan korkeutena ja sen suuruuden määrittää valmistaja. Pumpun ominaiskuvaajissa ilmoitetaan yleensä myös NPSHr-arvot eri tilavuusvirroille. NPSHa-arvon tulee olla suurempi kuin NPSHr-arvon, jotta kavitaatiota ei synny. (Huhtinen ym. 2011: 145; Metsäteollisuuden työnantajaliitto 1993: 70.)

5 Pumppujen säätötavat ja -laitteet

5.1 Kuristussäätö

Tilavuusvirtaa voidaan pienentää asentamalla pumpun jälkeiseen paineputkistoon sulkuventtiili. Kuristamalla painepuolta sulkuventtiiliin avulla, virtausvastus ja nostokorkeus kasvavat. Kuvassa 9 on esitetty kuristussäädön vaikutus pumpun tuottoon ja nostokorkeuteen.



Kuva 9. Tilavuusvirran pienentäminen kuristussäädön avulla (Voimalaitostekniikka s. 141).

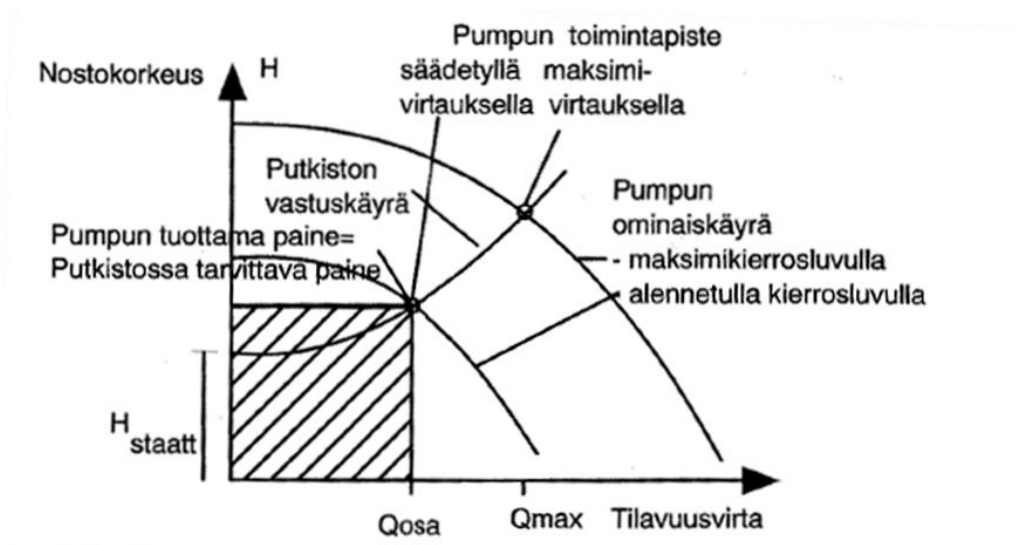
Kun säätöventtiiliä kuristetaan, putkivastus kasvaa lisäten nostokorkeutta ja pienentäen tilavuusvirtaa. Kuten kuvassa 9 näkyy, tilavuusvirtaa kuristaessa pumpun toimintapiste siirtyy sen ominaiskäyrää pitkin vasemmalle.

Kuristussäätö on hyvin yksinkertainen säätömenetelmä, jonka hankinta- ja asennuskustannukset ovat edulliset. Kuristussäätö ei kuitenkaan pidemmän päälle ole energiatehokas ja käyttökustannuksiltaan edullinen vaihtoehto. Kuristaminen aiheuttaa painehäviöitä sekä nesteen ja pumpun lämpenemistä sisäisen kitkan johdosta. Tämä kuluttaa venttiiliä ja aiheuttaa huoltokustannuksia. (Huhtinen ym. 2011: 141–142.)

5.2 Kierrosnopeussäätö

Pumpun pyörimisnopeutta säätämällä voidaan säätää pumpun tuottoa ilman, että pumpauksen häviöt kasvaisivat merkittävästi. Hyötysuhde pysyy korkeana, kun kierroslukusäätöisen pumpun kierrosluvut pysyvät lähellä mitoituspistettä. Kierrosnopeuden säätö vaikuttaa affiniteettisääntöjen mukaan pumpun tilavuusvirtaan, nostokorkeuteen sekä pumpun ottamaan tehoon. Kuvassa 10 on havainnollistettu kierrosnopeussäädön vaikutusta pumpun toimintapisteeseen. Kierrosnopeussäädöllä voidaan tuottaa juuri haluttu paine, jolloin pumpun tehon tarve on pienempi. Tehon tarve on merkitty kuvaan 10

viivoitettuna alueena. Verrattuna kuristussäädön kuvaajaan 9, kierrosnopeussäädön kuvaajassa 10 tehon tarvetta kuvaava alue on huomattavasti pienempi.



Kuva 10. Tilavuusvirran pienentäminen kierrosnopeussäädön avulla (Voimalaitostekniikka s. 143).

Pumpun kierrosnopeussäätö saadaan aikaan joko suoraan käyttökoneen kierrosnopeutta muuttamalla tai pumpun ja käyttökoneen väliin asennettavalla laitteella kuten nestekytkimellä, jonka avulla pumpun kierrosnopeutta voidaan säätää, vaikka käyttökone pyörisi vakionopeudella. Yleisimpiä pumppujen käyttökoneita ovat sähkömoottorit, mutta joissakin sovellutuksissa voidaan käyttää myös turbiineja ja polttomoottoreita. (Energiatehokkaat pumput. 2011: 8; Huhtinen ym. 2011: 142–143.)

5.2.1 Affiniteettisäännöt

Tilavuusvirran, nostokorkeuden ja pumpun ottaman tehon verrannollisuus pyörimisnopeuteen määritellään seuraavien affiniteettisääntöjen mukaisten kaavojen avulla:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (14)$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad (15)$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 \quad (16)$$

joissa

Q	on tilavuusvirta	[m ³ /s]
n	on kierrosluku	[1/min]
H	on nostokorkeus	[m]
P	on pumpun ottama teho	[W].

Pumpun tilavuusvirta muuttuu suoraan verrannollisesti pumpun juoksupyörän pyörimisnopeuteen nähden. Pumpun nostokorkeus on verrannollinen pyörimisnopeuden neliöön. Tehontarve pumpulle on taas verrannollinen pyörimisnopeuden kolmanteen potenssiin. (Huhtinen ym. 2011: 142.)

Affiniteettisääntöjen käyttö perustuu oletukseen, että pumpun hyötysuhde on vakio, johon pyörimisnopeuden muutoksella ei ole suurta vaikutusta. Tämä oletus ja affiniteettisääntöjen käyttö hyvällä tarkkuudella voidaan tehdä, kun pyörimisnopeutta muutetaan maltillisesti ja pumppu säilyttää normaalin käyntitilansa. Hyötysuhteen pientä todellista muutosta ei oteta huomioon. (Laaksonen 2013: 27; Wirzenius 1977: 74–76)

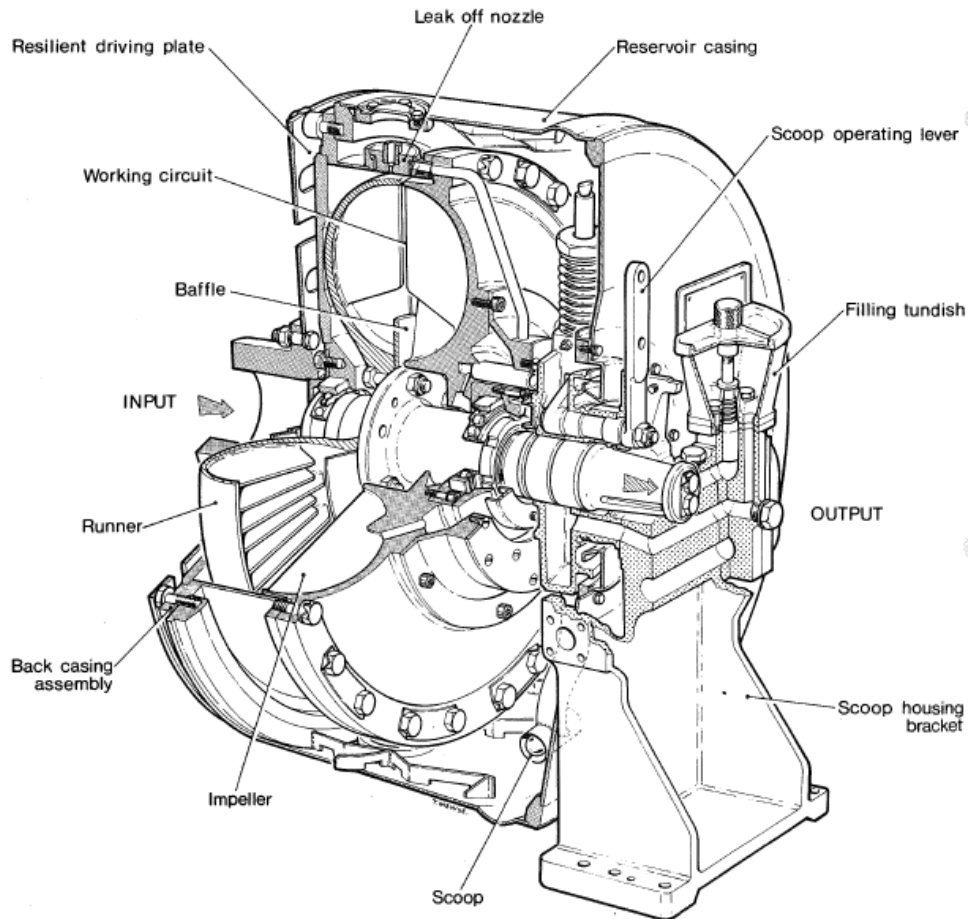
5.2.2 Taajuusmuuttajat

Pumpun kierrosnopeutta säädetään muuttamalla sähkömoottorin kierrosnopeutta. Tähän käytetään nykyään ensisijaisesti taajuusmuuttajia. Taajuusmuuttaja muuttaa pumpun juoksupyörää pyörittävän sähkömoottorin kierrosnopeutta muuttamalla verkkovirran taajuutta. (Energiatehokkaat pumput 2011: 9.)

Taajuusmuuttajien etuja nestekytкимиin verrattuna ovat yksinkertaisempi pumppuyksikön rakenne ja pienemmät käyttökustannukset. Lisäksi taajuusmuuttajakäytöllä vältetään öljyn käyttöä sekä estetään värinöiden syntymistä. Taajuusmuuttajalla voidaan ajaa myös niin sanotusti ylikierroksia eli yli 50 Hz:n taajuuden. Moottoreita voidaan ylikuormittaa lähes 60 Hz:iin asti. Kun kaukolämmöntuotannossa tarvitaan huippulämpöjä ja korkeampia tuottoarvoja, ylikierroksien käyttö tuo lisäjoustoa tuotantoon. (Energiatehokkuusselvitys kaukolämmityksen pumppausjärjestelyistä 2009.)

5.2.3 Nestekytkimet

Nestekytkimet ovat säädettäviä kierrosnopeuden säätölaitteita, jotka asennetaan sähkömoottorin ja pumpun väliin. Niiden avulla pumpun nopeutta voidaan vaihdella laajalla ja portaattomalla alueella, samalla kun sähkömoottori toimii tasaisella pyörimisnopeudella. Sähkömoottori pyörittää nestekytkimen pesän sisällä olevaa pumppupyörää (kuvassa 11: runner), joka aikaansaa hydraulikkanesteen, esimerkiksi öljyn, pyörivän ja samalla kierteisen liikkeen. Nesteen liike pyörittää nestekytkimen turbiinipyörää (kuvassa 11: impeller) ja näin moottorin voima siirtyy liikkeenä eteenpäin. Pyörien pyörimisnopeudet eroavat toisistaan niin, että turbiinipyörän pyörimisnopeus on hieman hitaampi, jolloin se jättää pumppupyörään verrattuna. Tämä voimansiirtomekanismi synnyttää paljon kitka- ja lämpöhäviöitä, mikä pienentää lopulta siirtyvän voiman määrää. Nestekytkimiä käytetään erityisesti suurissa teollisuuskoneistoissa, kun nopeudenohjauksen ja käynnistyksen tulee toimia ilman nopeita iskukuormituksia. Nestekytkimiä pidetään varmatoimisina, minkä vuoksi niitä käytetään edelleen laajasti suurteollisuuden sovellutuksissa. Tosin niiden heikko hyötysuhde saa yhä useamman käyttäjän siirtymään taajuusmuuttajakäyttöiseen kierrosnopeuden säätöön. (Installation, operation and maintenance instructions for Fluidrive fluid couplings 1972: 1; Wirzenius 1977: 148-152.)



FLUIDRIVE
SCOOP CONTROL FLUID COUPLING
TYPE SCR 24

Kuva 11. Nestekytin rakentuu pääasiassa akselista, pumppupyörästä ja turbiinipyörästä (Installation, operation and maintenance instructions for Fluidrive fluid couplings 1972).

5.3 Juoksupyöräsäätö

Pumpattavan nesteen tilavuusvirtaa ja nostokorkeutta voidaan säätää muuttamalla juoksupyörän halkaisijaa. Juoksupyörää suurentamalla nostokorkeus ja tilavuusvirta saadaan kasvamaan. Toimiakseen parhaalla hyötysuhteella pumppu kannattaa yleensä mitoittaa mahdollisimman suuren juoksupyörän mukaan. Ylimoitettun pumpun toimintaa voidaan säätää vaihtamalla juoksupyörä pienempään, mutta liian suuret muutokset voivat aiheuttaa muita häiriöitä pumppausjärjestelmässä. (Energiatehokas pumppausjärjestelmä 2009.)

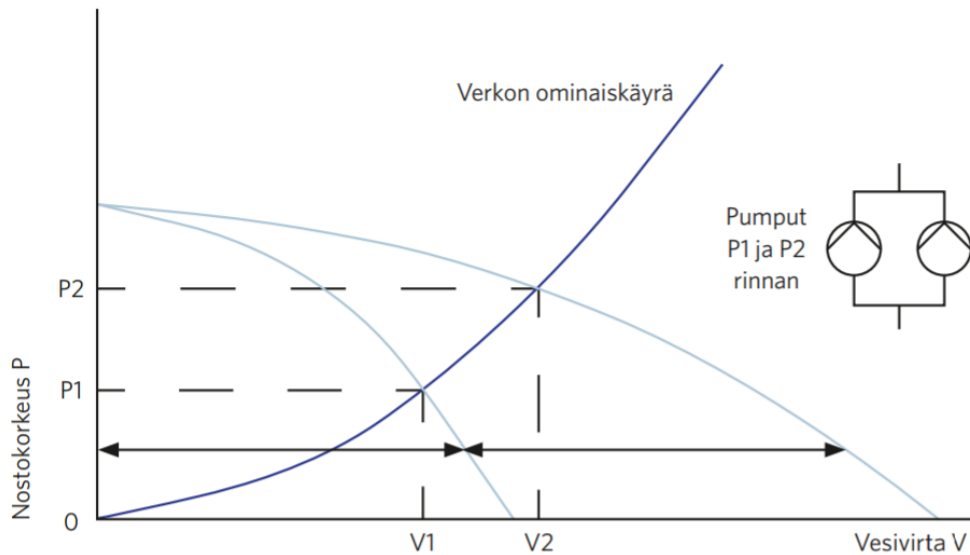
5.4 Ohivirtaussäätö

Ohivirtaussäätö tarkoittaa virtauksen säätämistä pumpun painejohtoon tehtävän sivukanavan avulla. Kun virtausta halutaan pienentää, neste ohjataan sivukanavaa pitkin painepuolelta takaisin imupuolelle. Tämä säätömenetelmä on kuitenkin hyvin epätaloudellinen, koska pumppu kierrättää nestettä edestakaisin ja pumppaukseen käytetty energia menee hukkaan.

Ohivirtauksen tapainen minimikiertovirtaus on kuitenkin pumppujen toiminnalle elintärkeä. Pumput vaativat ylikuumenemisen estämiseksi minimivirtauksen, jotta vesi ei ala kiehua pumppupesässä. Usein tämä pumppujen suojaus toteutetaan erillisellä minimikiertoventtiilillä tai ohivirtaussäädön tyylisesti niin, että pumpattua vettä kierrätetään takaisin pumpun imupuolelle. (Parviainen 2018; Wirzenius 1977: 142.)

5.5 Rinnan- ja sarjaankytkentä

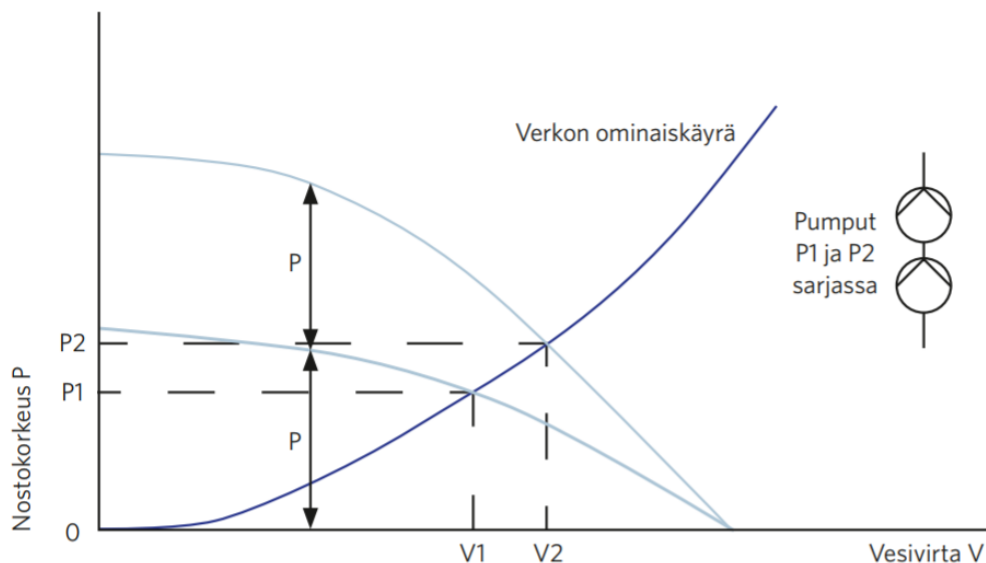
Rinnankytkennässä neste virtaa erikseen molempien pumppujen imupuolille. Pumput siirtävät nesteen yhteiseen paineputkeen. Näin nostokorkeus säilyy lähes samana, mutta virtaama kasvaa. Virtausta voidaan muuttaa sen mukaan, kuinka monta pumppua on käytössä. Säätö ei ole kuitenkaan liukuva, vaan tilavuusvirta muuttuu portaittain. Rinnankytkentä on kaukolämpöveden pumppauksessa yleisimmin käytetty kytkentämuoto. Tarvittu tuotto eli virtaama vaihtelee paljon lämmönkysynnän mukaan. Rinnankytkentä mahdollistaa sen, että pumppuja ajetaan samanaikaisesti tai yksi kerrallaan. Esimerkiksi kesäaikana pienemmällä virtauksella riittää yksi pumppu, jolloin toinen pumppu voi toimia ikään kuin varapumppuna. Kuvassa 12 on esitetty rinnankytkennän vaikutus nostokorkeuteen ja tilavuusvirtaan. Vaalean siniset käyrät kuvaavat pumpun ominaiskäyriä. Verkon ominaiskäyrä on kuvattu tumman sinisellä. Optimaalisin toimintapiste on pumpun ja verkon ominaiskäyrien risteyskohdassa. (Energiatehokkaat pumput 2011.)



Kuva 12. Tilavuusvirta nostokorkeuden funktiona pumppujen rinnankytkennässä (Energiatehokkaat pumput. 2011).

Kuvasta 12 nähdään, että rinnankytkennässä pumppujen nostokorkeudessa ei tapahdu muutoksia, mutta tilavuusvirtaa saadaan kasvatettua huomattavasti.

Sarjaankytkennässä pumput toimivat peräkkäin, jolloin ensimmäisen pumpun painepuolelta neste siirretään seuraavan pumpun imupuolelle. Sarjaan kytkentää käytetään silloin, kun nostokorkeusvaatimus on suuri ja pumppauskuorma halutaan jakaa kahdelle pumpulle. Kuvassa 13 on esitetty sarjakytkennän vaikutus tilavuusvirtaan ja nostokorkeuteen. (Energiatehokkaat pumput 2011.)



Kuva 13. Tilavuusvirta nostokorkeuden funktiona pumppujen sarjakytkennässä (Energiatehokkaat pumput. 2011).

Kuvasta 13 nähdään, että sarjaankytkennässä nostokorkeus kasvaa huomattavasti, mutta tilavuusvirran tuotossa ei tapahdu suurta muutosta.

6 Työn suorittaminen

Työn suorittamisessa hyödynnettiin pääasiassa Vantaan Energian arkiston dokumentteja, pumppuvalmistajan toimittamia ominaiskäyriä sekä DNA-prosessinhallintajärjestelmän ja IFS-kunnossapitojärjestelmän tietoja. Lisäksi työssä haastateltiin voimalaitoksen henkilökuntaa kunnossapidon sekä käytön puolelta.

6.1 Tehomittaukset

Tarkoituksena oli myös suorittaa pumpeille tehomittauksia, joiden avulla voitaisiin selvittää pumppujen todellista energiankulutusta. Kaukolämpöakun purkutilanteesta suoritettiin mittauksia yhden aamun ajan, kun purettava virtaus oli suurimmillaan. Pidempiaikaisia mittauksia ei onnistuttu suorittamaan laajempaa tehotarkastelua varten, mutta saadut mittaustulokset toimivat kuitenkin hyvänä vertailukohteena lasketuille arvoille.

Mittauksen tarkoituksena oli selvittää akun lataus-/purkauspumppua pyörittävän sähkömoottorin ottamaa tehoa akun tyypillisen purkutilanteen aikana. Kaukolämpöakun lataus-/purkauspumppuja pyörittävien sähkömoottorien ottamaa tehoa mitattiin kolmivaiheisella Fluke 1735 -tehoanalysaattorilla. Sähkövirran mittaus suoritettiin asentamalla lenkkivirtapihdit vaihejohtimien ympärille. Virran lisäksi mitattiin jännite, jolloin sähköteho saatiin suoraan analysaattorin näytölle. Mittaukset suoritti Vantaan Energian sähköinsinööri.



Kuva 14. Tehoanalysaattori ja mittausten suorittaminen

Kuvassa 14 näkyy tehoanalysaattorin mitaamat arvot sähkömoottorin sen hetkelle pätöteholle kilowatteina (kW). Pätötehon alapuolella näkyy näennäisteho voltiampeereinä (VA) ja tehokerroin. Tämän työn kannalta oleellisin tieto on sähkömoottorin ottama teho. Sähkömoottorin ottamaa tehoa mitattiin tietyllä tilavuusvirralla. Mittaustulokset näkyvät liitteessä 3.

7 Työssä tarkasteltavat pumput

7.1 Kaukolämmön meno- ja paluupumput

Martinlaakson voimalaitoksen yksikön Mar1 kaukolämpöveden pumppauksessa on käytössä neljä kappaletta Mäntän konepajalla valmistettuja Serlachius Oy:n keskipakopumppuja. Nykyään yritys tunnetaan nimellä Sulzer. Tarkasteluun kuuluu kaksi kappaletta menopumppuja (1UN55D001 ja 1UN56D001) sekä kaksi kappaletta paluupumppuja (1UN24D001 ja 1UN25D001). Pumput on asennettu vuonna 1974. Sekä meno- että paluupumput ovat kierrosnopeussäädetyitä. Sääto tapahtuu Fluidrive-nestekytkimien (kuva 11) avulla.

Kaikki kaukolämpöpumput on mitoitettu 556 l/s (2000 m³/h) tilavuusvirralle ja 53 m:n nostokorkeudelle. Pumput on kytketty rinnan, mutta niitä on ajettu pääasiassa aina yksi kerrallaan. Taulukossa 2 on esitettyä kaukolämpöpumppujen tiedot. Tarkemmat tiedot löytyvät liitteestä 1.

Taulukko 2. Kaukolämpöpumppujen tiedot

Laitetunnus	Tilavuusvirta [m ³ /s]	Nostokorkeus [m]	Moottorin teho [kW]	Pumpun hyötysuhde [%]	Juoksupyörän halkaisija [mm]
1UN55D001	0,556	53	400	0,74	499
1UN56D001	0,556	53	400	0,74	499
1UN24D001	0,556	53	400	0,74	440
1UN25D001	0,556	53	400	0,74	440

Pumpun hyötysuhdetiedot on luettu valmistajan toimittamasta ominaiskuvaajasta. Tietojen mukaan hyötysuhteeseen on laskettu jo nestekytkimien ja sähkömoottorin häviöt mukaan.

Voimalaitoksen käyttö- ja kunnossapitohenkilökuntaa haastatteleamalla selvisi, että pumput ovat toimineet melko hyvin, mutta pumppujen sekä nestekytkimien vikaantuminen sekä huoltotarve ovat lisääntyneet. Tämä johtunee laitteiden ikääntymisestä ja osien kulumisesta. Pumput sääto- ja käyntilaitteineen ovat sen ikäisiä, että toimintavarmuus alkaa hiljalleen kärsiä. Muutetun biokattilan myötä niille on

tulevaisuudessa myös huomattavasti enemmän käyttöä, minkä vuoksi niiden modernisointi ja energiatehokkuuden optimointi olisi paikallaan. Lisäksi nestekytkinsäädölle on ominaista, että se toimii hieman viiveellä ja vaihtelevasti, joten pumppujen tuotto ei ole koskaan täysin tasaista. Tämä ei ole ongelma kokeneelle käyttöhenkilökunnalle, kun asia on tiedossa. Mar2-yksikön kaukolämpöpumpuista osa on taajuusmuuttajasäätöisiä, joten laitoksen säätömenetelmät olisi joka tapauksessa hyvä saada yhdenmukaisiksi. Henkilökunnan kokemuksesta taajuusmuuttajasäätö on myös tarkempi ja sen vasteaika on nopeampi.

7.2 Kaukolämpöakun lataus- ja purkauspumput

Kaukolämpöakun purku tapahtuu kahden sarjaan kytketyn keskipakopumpun avulla (0UM32D001 ja 0UM32D002). Molemmat pumput ovat Sulzer Oy:n (entinen Ahlström) valmistamia APP54-400-mallin pumppuja, jotka on asennettu vuonna 1990. Tilavuusvirtaksi niille on määritetty 550 l/s. Laitetunnuksen 0UM32D001 pumppu toimii myös kaukolämpöakun latauspumppuna, joka pumppaa akun alaosan jäähtynyttä vettä kaukolämpöverkon paluupuolelle pois tilalle tulevan lämpimän veden tieltä. Latauksessa riittää yksi pumppu, mutta purettaessa lämmintä vettä akun yläosasta kaukolämpöverkon menopuolelle on käytettävä kahta sarjaan kytkettyä pumppua, jotta korkeampi paine-ero saadaan voitettua. Taulukkoon 3 on kirjattu molempien pumppujen tiedot. Liitteessä 2 on pumppujen tarkempi tekninen erittely.

Taulukko 3. Akun pumppujen tiedot

Laitetunnus	Tilavuusvirta [m ³ /s]	Nostokorkeus [m]	Moottorin teho [kW]	Pumpun hyötysuhde [%]	Juoksupyörän halkaisija [mm]	Käyttöaika vuodessa [h]
0UM32D001	0,55	46	375	0,77	599	n. 4500
0UM32D002	0,55	35	315	0,79	560	n. 2600

Molemmat pumpuista on reilusti ylimitoitettu, minkä vuoksi pumpuissa ilmenee osakuormakavitaatiota. Etenkin lataus-/purkauspumppu kavitoi käydessään pienellä tuotolla.

Pumppuja ajetaan hyvin harvoin niiden mitoitetulla toiminta-alueella ja lisäksi tilavuusvirtaa säädetään kuristusventtiilin avulla.

7.3 Akun sekoitusvesipumppu

Akun sekoituspumppu 0UM35D001 on myös Sulzerin valmistama keskipakopumppu. Se on malliltaan APP41-300 ja asennettu vuonna 1990. Taulukossa 4 on esitettyä pumpun mitoitustiedot.

Taulukko 4. Sekoituspumpun tiedot

Laitetunnus	Tilavuusvirta [m ³ /s]	Nostokorkeus [m]	Moottorin teho [kW]	Pumpun akseliteho [kW]	Pumpun hyötysuhde [%]	Juoksupyörän halkaisija [mm]
0UM35D001	0,25	6 m	22	14,7	0,75	335

Akku ei ole paineistettu säiliö, joten sen veden lämpötila on pidettävä alle 100 °C:ssa. Akkua ladatessa laitokselta tuleva vesi voi hyvinkin olla lähes 99-asteista. Jotta lämpötila ei nouse liikaa, vettä pitää jäähdyttää. Sekoituspumpun tehtävänä on sekoittaa akkuun menevään veteen viileämpää vettä. Sekoitettava vesi on akun alaosasta poistettavaa viileämpää vettä. Tämä vesi ohjataan sekoitusvesipumpulle akun lataus- ja purkauspumpun jälkeen. Sekoitusvesipumppu on suorakäyttöinen, mutta virtausta säädetään lämpötilansäätöventtiilillä. Venttiiliä avataan sitä mukaa, kun akkuun ladattava vesivirta tarvitsee jäähdytystä. Tällä hetkellä pumpulla on myös kavitaatio-ongelma.

8 Energiätehokkuuden parantaminen

Koko järjestelmää tarkasteltaessa pumppaus on usein se, joka kuluttaa suurimman osan prosessin käyttämästä sähköstä. Mitoitusvaiheessa on tärkeää mitoittaa järjestelmä mahdollisimman pienellä pumppausmäärällä ja pienillä putkistohäviöillä. Kun rakennetaan uusia tai muokataan vanhoja pumppausjärjestelmiä jo olemassa olevan prosessin keskelle, tämä ei kuitenkaan aina onnistu. Tässä työssä keskitytään siihen, mitä pumppuille voidaan tehdä energiätehokkuuden parantamiseksi pitämällä putkistot ennallaan. Martinlaakson kaukolämpöjärjestelmän pumppujen toiminnan optimoimiseksi on muutama vaihtoehto:

- ylimitoitettujen pumppujen uudelleen mitoitus ja vaihtaminen
- kuristussäädön vaihtaminen pyörimisnopeuden säätöön
- ylimitoitettujen pumppujen juoksupyörän pienentäminen

(Energiatehokkaat pumput 2011.)

8.1 Kaukolämpöpumppujen säätö taajuusmuuttajaohjaukselle

Tulevan biokattilan uusi mitoitettu kaukolämpöteho on noin 90 MW. Kaavan 2 avulla voidaan laskea, riittääkö nykyisten kaukolämpöpumppujen tuotto tarvittavan tehon saavuttamiseksi. Veden ominaislämpökapasiteetti on 4,19 kJ/K*kg. Mitä pienempi kaukolämmön meno- ja paluuvien lämpötilaero on, sitä suurempi vaadittavan tilavuusvirran tulee olla. Sen vuoksi laskettaessa käytetään menoveden minimilämpötilaa 80 °C. Paluuvien on noin 40 °C. Kelvineiksi muutettuna menovesi on 295 K ja paluuvien 255 K.

$$Q = \frac{90 \text{ MW}}{4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{K} \cdot \text{kg}} * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * (295 \text{ K} - 255 \text{ K})} = 0,534 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 534 \text{ l/s}$$

Tämänhetkiset kaukolämpöpumput on mitoitettu tilavuusvirralle 556 l/s, joten nykyisen mitoituksen tulisi riittää myös jatkossa. Hyötysuhteessa olisi kuitenkin parannettavaa. U-450-mallisten pumppujen ominaiskäyrästä (liite 1) nähdään, että pumppausjärjestelmän hyötysuhde nestekytöksäädöllä on 74 %, kun tilavuusvirta on 556 l/s ja nostokorkeus on 53 m. Kaavan 5 avulla voidaan määrittää, minkälaisen tehon pumppu tällöin vaatii.

$$P_1 = \frac{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 53 \text{ m} * 0,556 \text{ m}^3/\text{s}}{0,74} = 390 \text{ kW}$$

Sulzerilta pyydetyn tarjouksen mukaan, joka on esitelty liitteessä 5, vanhojen pumppujen tilalle olisi asennettavissa vastaavanlaiset kaksipuoleisesti imevät keskipakopumput, jotka olisivat hyötysuhteeltaan 86 %. Mukaan on kuitenkin laskettava vielä sähkömoottorin ja taajuusmuuttajan hyötysuhteet, jotka uusimmissa laitteissa vaihtelevat 96–99 %:n välillä. Oletetaan tässä tapauksessa molempien hyötysuhteiden olevan 97 %. (ABB drives in power generation Medium voltage drives for more efficient and reliable plant operation 2011.)

$$P_2 = \frac{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 53 \text{ m} * 0,556 \text{ m}^3/\text{s}}{0,86 * 0,97 * 0,97} = 357 \text{ kW}$$

Maksimitilavuusvirralla saataisiin siis 33 kW:n eli noin 8,5 %:n säästö tehontarpeessa. Taajuusmuuttajan edut tulevat kuitenkin parhaiten esiin, kun pumpulta vaadittava tuotto vaihtelee paljon ja sitä ajetaan vajaalla kuormalla. Pyörimisnopeussäätöä käytettäessä voidaan pumpulla tuottaa juuri putkistossa tarvittava paine. Näin pumpun tehon tarve on pyörimisnopeussäädössä pienempi.

Martinlaakson kaukolämpöpumppujen energiansäästömahdollisuus määritettiin ABB:n Energy Save -energiansäästölaskurin avulla. Alla olevassa kuvassa 15 näkyy laskurilla saatu kokonaisenergiankulutus nykyisellä nestekytkinsäätömenetelmällä sekä ABB:n taajuusmuuttajalla.

Säästölaskelma

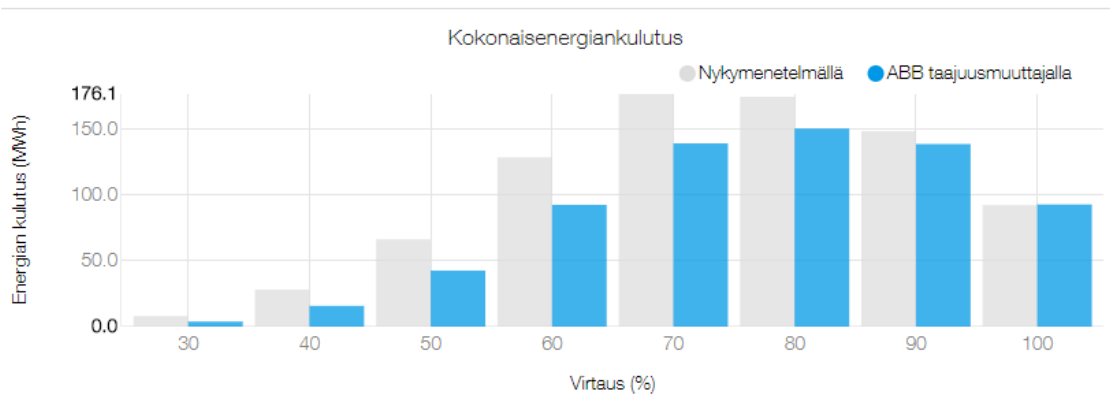


ABB:n tuoteperheet	ACS880-07-0430A-7
Vuotuiset energiansäästöt	146.7 MWh
Vuotuinen energiankulutus nykyisellä ohjausmenetelmällä	820.4 MWh
Vuotuinen energiankulutus ABB-taajuusmuuttajajohtajaksella	673.7 MWh
Vuotuinen energiansäästöprosentti	18 %
Vuotuiset sähköenergiansäästöt	58 693 €
Suora takaisinmaksuaika	12 vuotta, 3 kuukautta

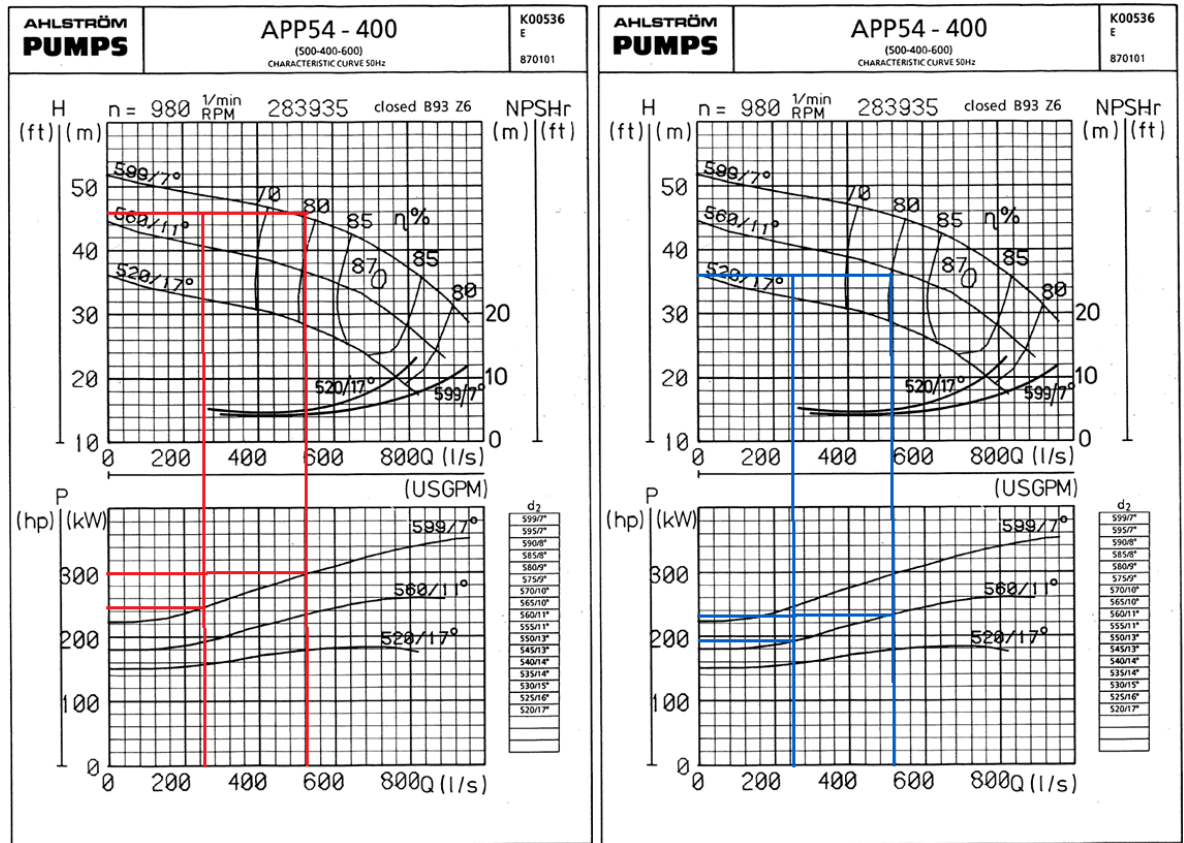
Kuva 15. ABB:n Energy Saver -ohjelman säästölaskelma kaukolämpöpumpuille.

Laskurin kuormituskäyrän vaihtoehtona on käytetty normaalijakaumaa, jossa 70–90 %:n kuormitus on yleisin. Moottorin hyötysuhdeluokka on määritetty moottorin iän perusteella, koska 70-luvun pumppuille ei ole nykystandardien mukaisia hyötysuhdeluokkia. Vuotuisena käyttöaikana on käytetty 5000 tuntia. Säästölaskurin perusteella, jos kaukolämpöpumppujen nestekytöksäätö vaihdettaisiin taajuusmuuttajakäyttöiseksi, voitaisiin energiaa säästää vuodessa 146,7 MWh eli 18 %. Tämä tarkoittaisi 58 693 €:n säästöjä vuosittain, jos sähkön hinta olisi 0,4 €/kWh.

8.2 Kaukolämpöakun pumput

Martinlaakson prosessinhallintajärjestelmän antamien tietojen mukaan vuoden 2017 elokuun jälkeen akun latauksen ja purun virtaama on ollut huipussaan noin 300 l/s. Ajotietojen mukaan akun purkuun ja lataukseen riittäisi myös pienempi pumppu. Pääsääntöisesti pumpun tuotto vaihtelee todellisessa käytössä 50–250 l/s. Ylimoitettujen pumppujen tilalle tulisi saada energiatehokkaampia ratkaisuja. Mahdollisuutena olisi vaihtaa nykyiseen pumppuun pienempi juoksupyörä, mitoittaa tilalle pienempi pumppu tai vaihtaa säätö pyörimisnopeussäätöiseksi.

Kuvassa 16 on akun pumppujen valmistajan toimittamat ominaiskäyrät pumppuille. Ominaiskäyrille on merkitty akun pumppujen mitoitettut toiminta-alueet 550 l/s tilavuusvirralla ja pumpun todelliset toiminta-alueet 250 l/s tilavuusvirralla. Lataus- ja purkauspumpun OUM32D001 tiedot näkyvät punaisella ja purkauspumpun OUM32D002 tiedot on merkitty sinisellä.



Kuva 16. Akun pumppujen ominaiskäyrät (Ahlström 1990).

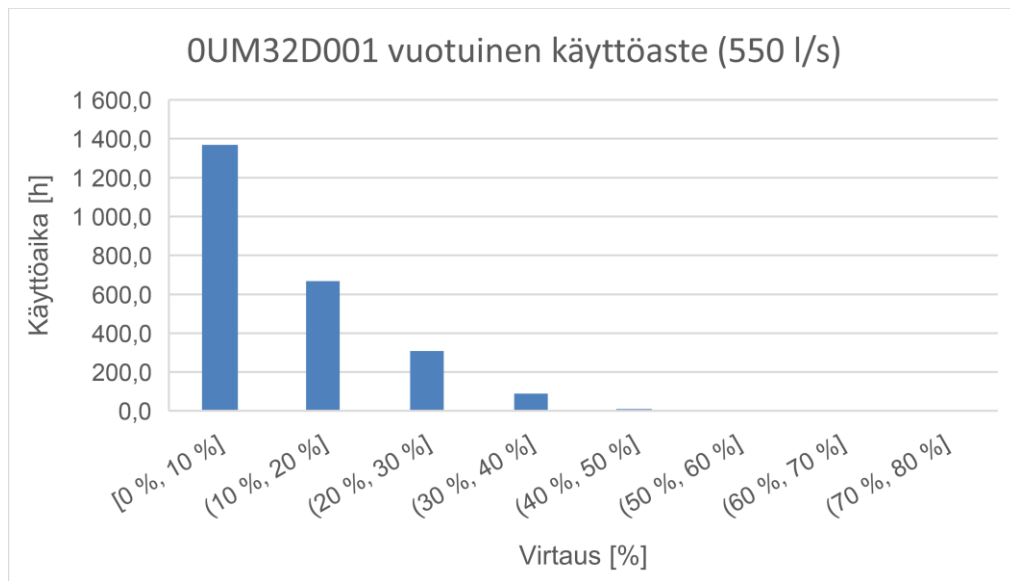
Lataus- ja purkauspumpun mitoitetun toimintapisteen hyötysuhde on kuvan 16 käyrällä noin 77 %. Purkauspumpun mitoitetun toimintapisteen hyötysuhde on noin 79 %. Todellisessa käytössä pumppujen hyötysuhteet ovat kuitenkin huomattavasti alhaisempia. Alle 70 %:n hyötysuhteita ei ole edes merkitty kuvaajaan. Jos pumppu todellisuudessa käy alle 60 %:n hyötysuhteella, energiansäästöpotentiaalia on rutkasti. Ominaiskäyrältä ei nähdä myöskään vaadittua NPSH-arvoa käytössä olevalle pienemmälle tilavuusvirralle. Ylimoitettu tilavuusvirta selittää pumppujen kavitointi-ilmion.

8.2.1 Käyttöasteen määrittäminen

Taulukossa 5 on esitettyä akun lataus- ja purkauspumpun vuotuinen käyttöaste, kun mitoitettu maksimitilavuusvirta on 550 l/s. Pylväät kuvastavat, kuinka monta tuntia tietyllä prosentuaalisella virtausmäärällä pumppuja ajetaan. Käyttöaste on määritelty DNA-prosessinhallintaohjelman antamien tietojen mukaan. Martinlaakson voimalaitoksella uusittiin kesällä 2017 koko automaatiojärjestelmä, minkä vuoksi prosessinhallintajärjestelmän

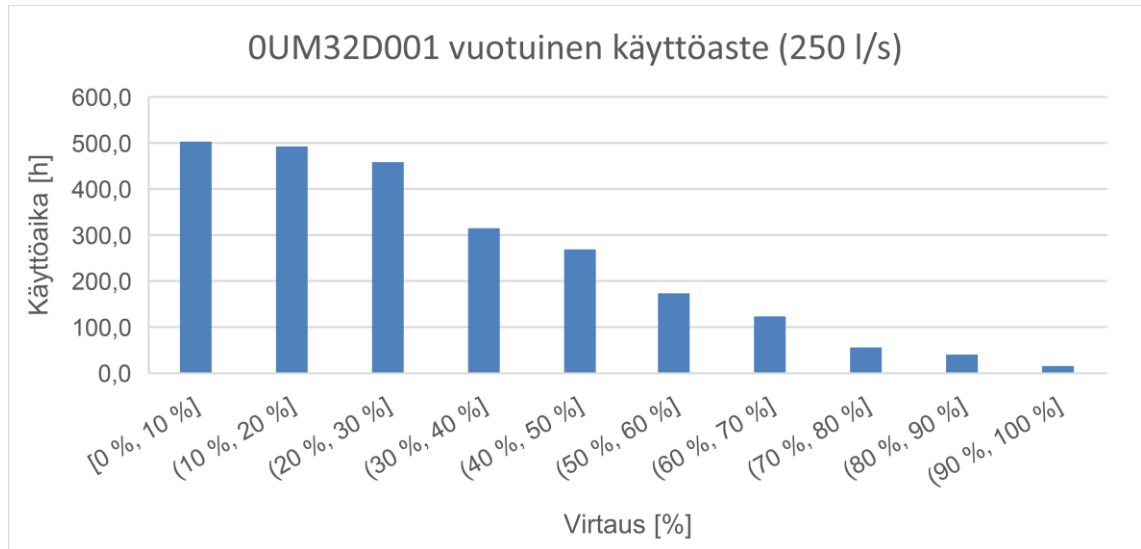
käyttötuntilaskurit nollautuivat eikä syyskuuta edeltävältä ajalta ole saatavilla käyttötuntitietoja. Tästä johtuen käyttöasteen määrittämiseksi on käytetty tietoja ajalta 15.9.2017-31.1.2018. Vaikka tarkastelujakso ei ole sen pidempi, se kuvaa silti luotettavasti pumpun käyttöastetta, sillä akkua on käytetty koko jakson ajan normaalisti. Pumppujen ajotavassa ei tule olemaan pidemmällä aikavälillä suuria muutoksia. Vuotuiseksi käyttöajaksi on arvioitu noin 4 500 tuntia.

Taulukko 5. Akun lataus- ja purkaus pumpun vuotuinen käyttöaste 550 l/s mitoituksen mukaan.



Kuten taulukosta 5 nähdään, suurimman osan ajasta pumppujen tilavuusvirta on vain 0–10 % mitoitettusta. Voimalaitoksen käyttöhenkilökuntaa haastatellessa selvisi, että on todella epätodennäköistä, että pumppuja ajettaisiin yli 350 l/s tilavuusvirralla.

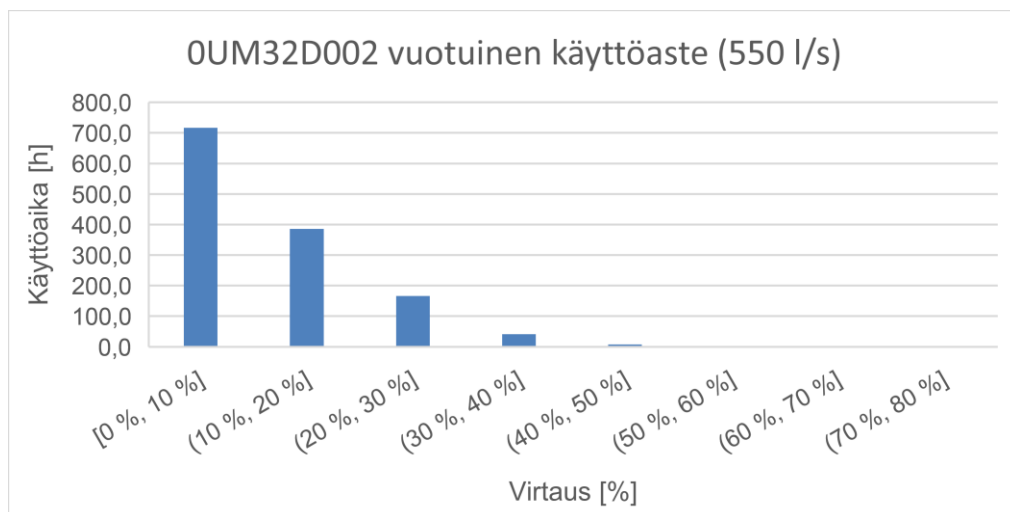
Taulukko 6. Akun lataus- ja purkauspumpun vuotuinen käyttöaste 250 l/s mitoituksen mukaan.



Taulukko 6 ilmaisee uudelleen mitoitettujen purkauspumpun vuotuista käyttöastetta. Lähtötietoina on käytetty samoja tietoja kuin taulukossa 5. Erona on, että maksimivirtaaksi on määritetty 250 l/s. Pienemmällä pumpulla käyttöaste jakautuu huomattavasti tasaisemmin, vaikka suurin käyttöalue on edelleen 0–30 % maksimivirtauksesta.

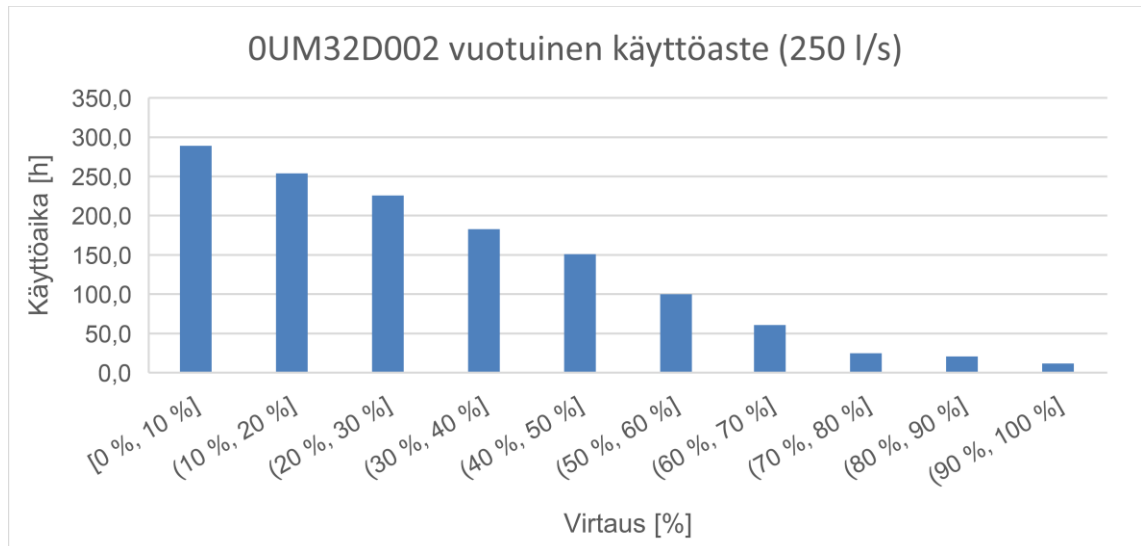
Myös akun purkauspumpulle määritettiin vuotuinen käyttöaste 15.9.2017–31.1.2018 välisen ajan tietojen mukaan. Pumpun arvioitu käyttöaika vuodessa on noin 2 600 tuntia. Taulukossa 7 on esitetty käyttöaste tämän hetkisen mitoituksen mukaan eli tilavuusvirralla 550 l/s.

Taulukko 7. Akun purkauspumpun vuotuinen käyttöaste 550 l/s mitoituksen mukaan.



Kuten lataus- ja purkauspumpun kohdalla, purkauspumpun käyttö rajoittuu pääasiassa pumpun pienimmille virtauksille. Taulukko 8 kuvaa vuotuista käyttöastetta uuden pumpun mukaan, jossa mitoitettu tilavuusvirta olisi 250 l/s.

Taulukko 8. Akun purkauspumpun vuotuinen käyttöaste 250 l/s mitoituksen mukaan.



Pienemmällä tilavuusvirralla käyttöaste jakautuu jälleen huomattavasti tasaisemmin eri virtausasteille. Tällaisilla käyttöastejakaumilla taajuusmuuttajasäätö olisi ihanteellisin säätövaihtoehto energiatehokkuuden kannalta.

8.2.2 Pumppujen uudelleen mitoitus

Pumppujen ominaiskäyrästä nähdään, että 250 l/s tilavuusvirralla lataus- ja purkauspumpun tarvitsema teho on noin 240 kW. Pumpun nostokorkeus on tässä tilanteessa noin 49 m ja hyötysuhde on lähes 50 %. Kaavan 5 avulla tehontarve voidaan vielä varmistaa laskemalla.

$$P = \frac{1000 \text{ kg/m}^3 * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,25 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 49 \text{ m}}{0,5} = 240 \text{ kW}$$

Laskennan tulos on sama kuin ominaiskäyrältä katsottu arvo. Kaavalla 5 voidaan laskea myös mikä tehontarve olisi, jos pumpun ihanteellinen toimintapiste vastaisi todellista käyttöä. Tällöin tilavuusvirta olisi 250 l/s, nostokorkeus olisi vaadittu 46 m ja hyötysuhde olisi noin 80 %.

$$P = \frac{1000 \text{ kg/m}^3 * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,25 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 46 \text{ m}}{0,8} = 141 \text{ kW}$$

Lataus- ja purkauspumpun vaatima teho olisi oikein mitoitettulla tilavuusvirralla 100 kW vähemmän. Vastaavasti laskettuna purkauspumpun vaatima teho tämänhetkiselä tilavuusvirralla on 196 kW ja oikein mitoitettulla tilavuusvirralla 107 kW.

8.2.3 Pumppausjärjestelmän häviöiden tarkastelu

Pumppujen uudelleen mitoitus vaatii myös pumppausjärjestelmän häviöiden laskemista. Kokonaispainehäviöiden ollessa tiedossa, tarvittava nostokorkeus voidaan määrittää uudelleen. Uusi pumppu olisi hyvä mitoittaa tilavuusvirralle 250 l/s.

Uuden vaadittavan tilavuusvirran mukaan määritetään kaukolämpöveden virtausnopeus, joka saadaan laskettua johtamalla tilavuusvirran kaavasta 1. Putken sisähalkaisija säilyy samana eli se on 0,5 m.

$$v = \frac{0,25 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi * \left(\frac{0,5 \text{ m}}{2}\right)^2} = 1,27 \text{ m/s}$$

Virtausnopeuden avulla saadaan laskettua Reynoldsin luku kaavan 7 mukaisesti. Reynoldsin luvulla selvitetään, onko virtaus laminaarista vai turbulenttista. Kaukolämpöveden tiheys on 1000 kg/m³ ja viskositeetti on 0,00104 Ns/m².

$$Re = \frac{0,5 \text{ m} * 1,27 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 1000 \text{ kg/m}^3}{0,00104 \text{ Ns/m}^2} = 610\,577 \text{ Pa}$$

Koska painehäviö 610577 > 2300, virtaus on turbulenttista. Turbulenttiselle virtaukselle on määritettävä putkivastuskerroin Moodyn diagrammin avulla putkiston painehäviöiden laskemiseksi. Diagrammia tarkasteltaessa tulee tietää putken suhteellinen karheus ϵ/d ja Reynoldsin luku. Kirjallisuuden taulukoiden perusteella teräsputken suhteelliseksi karheudeksi määritetään 0,001. Moodyn diagrammi ilmaisee putkivastuskertoimen λ suhteellisen karheuden Reynoldsin luvun funktiona. Putkivastuskertoimeksi saadaan diagrammin vasemmalta y-akselilta arvo 0,025. Suoran putkiston osuus on pituudeltaan noin 250 m. Putkiston virtaushäviöt lasketaan kaavalla 8.

$$\Delta p = 0,025 * \frac{250 \text{ m}}{2} * \frac{1}{2} * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \left(1,27 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 2\,520 \text{ Pa}$$

Alla olevassa taulukossa 9 on esitetty kyseessä olevan akun putkiston kertavastukset eli käyrät, T-haarat ja venttiilit ja niiden vastuskertoimet. Vastuskertoimeksi saadaan yhteensä 36. Kertavastushäviöt lasketaan kaavan 10 mukaan.

Taulukko 9. Putkiston kertavastukset

Putkivastus	Vastuskerroin	Kappalemäärä
Käyrä 90 °	0,4	28
Käyrä 45 °	0,3	8
Käyrä 40 °	0,3	8
T-haara	1	10
Liitoskohta	1	2
Venttiili	1	8

$$\Delta p = 36 * \frac{1}{2} * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \left(1,27 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 29\,032 \text{ Pa}$$

Putkiston kokonaispainehäviöt saadaan summaamalla edellä lasketut putkiston virtausvastus- ja kertavastuspainehäviöt yhteen.

$$\Delta p_{\text{kok}} = 2\,520 \text{ Pa} + 29\,032 \text{ Pa} = 31\,552 \text{ Pa}$$

Putkiston painehäviöiden vaatima nostokorkeus voidaan määrittää kaavalla 4. Putoamis- kiihtyvyys on 9,81 m/s² ja pumpattavan nesteen tiheys on edelleen 1000 kg/m³.

$$H = \frac{31\,552 \text{ Pa}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 3,2 \text{ m}$$

Putkiston painehäviöiden lisäksi on otettava vielä huomioon muut järjestelmän aiheuttamat painehäviöt. Vettä pumpataan akusta kaukolämmön paluuputkeen, jonka paine on noin 5,5 baaria eli 550 000 pascalia. Määritetään tämä paine nostokorkeutena.

$$H = \frac{550\,000\text{ Pa}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 56,1\text{ m}$$

Putkiston painehäviöt ovat huomattavasti pienempi tekijä kaukolämpöverkon paineeseen nähden. Näiden kahden korkeuden summaksi saadaan 59,3 metriä. Akun pumppujen tulee siis voittaa noin 60 metrin vaadittu nostokorkeus. Tällä hetkellä pumppujen nostokorkeuksien summa on 81 metriä. Häviöiden laskennan tuloksena havaitaan, että myös pumppujen nostokorkeudet on ylimitoitettu. Tämä tukee vaihtoehtoa mitoittaa pumput uudelleen. Lataus- ja purkauspumpun nostokorkeudeksi voisi määrittää esimerkiksi 35 metriä, jos purkauspumpun nostokorkeus olisi 25 metriä. Sarjaan kytkettyinä nämä kaksi riittäisivät voittamaan kaukolämpöverkon paineen akun purkutilanteessa.

8.2.4 Pumput pyörimisnopeussäädettäviksi

Akun pumppujen tämän hetkinen kuristussäätö on mahdollista vaihtaa pyörimisnopeussäätöön säilyttämällä vanhat pumput. Jos investoidaan uusiin pumppuihin, nämä on ehdottomasti järkevintä varustaa suoraan pyörimisnopeussäädöllä.

Edellä määritettyjen käyttöastetaulukoiden pohjalta ABB:n Energy Saver -ohjelmalla voidaan laskea taajuusmuuttajaohjauksella saavutettu energiansäästöprosentti. Ohjelma antaa täyttää virtaama-ajat välillä 30–100 % normaalivirtaamasta. Nykyisellä pumpulla suurin kuormitus oli kuitenkin 10 % tilavuusvirrasta. Energiansäästö lasketaan olettaen, että pumppua käytetään 30 %:n virtaamalla myös 10 %:n ja 20 %:n kuormituksella. Alle on koottu laskurin antamat tulokset. Säästölaskelmat kokonaisuudessaan ovat liitteessä 5.

Taulukkoon 10 on kirjattu lataus- ja purkauspumpun energiankulutus nykyisellä ja korvaavalla menetelmällä 550 l/s tilavuusvirran mukaan. Nykyiseksi säätömenetelmäksi on määritetty kuristussäätö ja korvaavaksi menetelmäksi taajuusmuuttajasäätö ABB:n ACS880-taajuusmuuttajatyypillä. Nykyisen pumpun laskelmat on laskettu 550 l/s tilavuusvirran ja 46 metrin nostokorkeuden mukaan.

Taulukko 10. Lataus- ja purkauspumpun 0UM32D001 säästölaskelmat 550 l/s tilavuusvirralla

Nykyinen lataus- ja purkauspumppu 0UM32D001		
Energiankulutus nyky menetelmällä	866,4	MWh/a
Energiankulutus taajuusmuuttajaohjauksella	92,1	MWh/a
Energiansäästö	774,3	MWh/a
Energiansäästöprosentti	89	%
Energiansäästö euroina	309 709	€

Ohjelman mukaan nykyinen pumppu ohjauksineen kuluttaa noin 865 MWh vuodessa. Säilyttämällä vanha pumppu ja vaihtamalla säätö taajuusmuuttajaohjaukselle energiansäästöä syntyisi 775 MWh eli 89 %. Olettaen sähkön hinnan olevan 0,4 €/kWh, vuotuinen säästö olisi noin 310 000 €.

Energiansäästöä voidaan tarkastella myös uudelleen mitoitettun pumpun kohdalla. Uudelleen mitoitettun pumpun tilavuusvirraksi määritettiin 250 l/s ja nostokorkeudeksi 35 metriä. Taulukossa 11 näkyy uudelleen mitoitettun pumpun energiankulutus kuristussäädöllä ja taajuusmuuttajasäädöllä. Jälleen taajuusmuuttajasäätö on energiatehokkaampi ratkaisu.

Taulukko 11. Lataus- ja purkauspumpun 0UM32D001 säästölaskelmat 250 l/s tilavuusvirralla

Uudelleen mitoitettu lataus- ja purkauspumppu 0UM32D001		
Energiankulutus nyky menetelmällä	330,6	MWh/a
Energiankulutus taajuusmuuttajaohjauksella	77,1	MWh/a
Energiansäästö	253,5	MWh/a
Energiansäästöprosentti	77	%
Energiansäästö euroina	101 419	€

Uudelleen mitoitettu pumppu toisi noin 100 000 € säästöä vuodessa verrattuna pelkästään samankokoisen pumpun käyttöön kuristussäädöllä. Jos vertaillaan nykyistä kuristussäädöllä toimivaa pumppua ja uudelleen mitoitettua pumppua taajuusmuuttajaohjauksella, saadaan säästöä jopa 780 MWh vuodessa eli noin 90 %. Tämä tekee vuodessa 312 000 €, kun sähkön hinta on 0,4 €/kWh.

Säästölaskelmat tehtiin myös akun purkauspumpulle (taulukko 12). Nykyisen pumpun mitoitussarvo tilavuusvirralle on 550 l/s ja nostokorkeudelle 35 metriä.

Taulukko 12. Lataus- ja purkauspumpun 0UM32D001 säästölaskelmat 550 l/s tilavuusvirralla

Nykyinen purkauspumppu 0UM32D002		
Energiankulutus nyky menetelmällä	392,5	MWh/a
Energiankulutus taajuusmuuttajaohjauksella	44,5	MWh/a
Energiansäästö	347,9	MWh/a
Energiansäästöprosentti	89	%
Energiansäästö euroina	139 177	€

Tuloksien mukaan nykyinen pumppu kuluttaa 390 MWh vuodessa. Energiaa saadaan säästettyä 348 MWh eli 89 % vuodessa, jos säätö muutetaan taajuusmuuttajaohjaukselle. Tämä toisi noin 140 000 € säästöä vuodessa.

Uudelleen mitoitettun pumpun arvoiksi määritettiin 250 l/s ja 25 metriä. Taulukossa 13 on esitettyinä mahdollisen uuden pumpun säästölaskelmat.

Taulukko 13. Lataus- ja purkauspumpun 0UM32D001 säästölaskelmat 250 l/s tilavuusvirralla

Uudelleen mitoitettu purkauspumppu 0UM32D002		
Energiankulutus nyky menetelmällä	144,9	MWh/a
Energiankulutus taajuusmuuttajaohjauksella	34,9	MWh/a
Energiansäästö	110	MWh/a
Energiansäästöprosentti	76	%
Energiansäästö euroina	43 994	€

Kuristusventtiilillä säädettävän ja taajuusmuuttajaohjauksella toimivan uuden pumpun välinen energiansäästöprosentti on 76 %. Kun jälleen verrataan uudelleen mitoitettun taajuusmuuttajaohjatun pumpun noin 35 MWh:n kulutusta tämän hetkisen pumpun 390 MWh:n kulutukseen, voidaan todeta, että energiansäästöpotentiaalia olisi vielä vähän enemmän. Energiaa olisi säästettävissä 355 MWh eli noin 90 %. Vuodessa tämä tekisi 142 000 € säästöä. Jos molemmat akun pumpuista vaihdettaisiin taajuusmuuttajasäädölle, säästöä syntyisi yhteensä 454 000 €.

8.2.5 Juoksupyörän koon muuttaminen

Tällä hetkellä lataus- ja purkauspumpussa on käytössä juoksupyörä, joka on halkaisijaltaan 599 mm. Purkauspumpun juoksupyörän halkaisija on 560 mm. Ylimoitettujen pumppujen ongelmiin voisi löytyä ratkaisu juoksupyörän kokoa vaihtamalla. Ominaiskuvaajasta (kuva 16) voidaan havaita, että lataus- ja purkauspumpulla saavutetaan 41 m:n nostokorkeus tilavuusvirralla 200 l/s, jos juoksupyörä vaihdettaisiin pienempään 560 mm:n juoksupyörään. Vastaavasti purkauspumpun nostokorkeudeksi saadaan 32 m vaihtamalla juoksupyörän kooksi 520 mm. Pienentämällä juoksupyörän kokoa, myös pumpun vaatima teho pienenee. Lataus- ja purkauspumpun uusi tehontarve olisi noin 210 kW ja purkauspumpun noin 150 kW. Pumpun hyötysuhde pysyisi kuitenkin edelleen alle 60 %:n, minkä vuoksi on syytä etsiä muita ratkaisuja.

8.2.6 Sekoitusvesipumppu

Kun kaukolämpöakku ladataan, latauspumppu pumppaa akusta viileämpää vettä pois. Osa tästä pois otetusta vedestä johdetaan sekoitusvesipumpulle, jolloin vesi kiertää takaisin akkuun viilentäen samalla akkuun ladattavaa kuumaa vettä. Sekoitusvesipumpulle vievässä linjassa ei ole virtausmittausta, joten tarkkaa tietoa pumpun tuotosta ei ole saatavilla laitoksen järjestelmästä. Akun latauksen ja purkauksen pumppujen todellinen virtaus on samaa luokkaa kuin sekoitusvesipumpun mitoitettu tilavuusvirta eli 250 l/s. Tästä voidaan jo päätellä, että pumppu on reilusti ylimitoitettu. Kavitaatio-ongelma tämänkin pumpun kohdalle johtunee ylimitoitetusta tilavuusvirrasta ja osakuormituksesta. Ratkaisuna voisi olla pienempi pumppu tai juoksupyörän vaihtaminen pienempään.

9 Arvioidut investointikustannukset

9.1 Kaukolämpöpumput

Investointikustannusten laskenta perustuu Sulzerin tekemään tarjoukseen ja aiempiin vastaavanlaisiin pumppujen huoltokustannuksiin. Taulukkoon 14 on kerätty tarjouksessa esitetyt hinnat ZTU-40-mallin pumpulle ja siihen sopivalle sähkömoottorille ja taajuusmuuttajalle. Tarjous kokonaisuudessaan liitteessä 6.

Taulukko 14. Sulzerin tarjouksen hinnat

--

Menopumput M1UN55D001 ja M1UN56D001 on viimeksi huollettu vuonna 2012. Pumpun avaamisen jälkeen jakosauman tiivistämisen kanssa havaittiin ongelmia. Paluupumpuille olisi tiedossa vastaava huolto, jonka yhteydessä jakosaumat tulee uudelleen ko-neistaa tiiviyden takaamiseksi. Taulukossa 15 on eriteltynä huollon arvioidut kustannukset. Kustannusarvion pohjana on käytetty aikaisempien huoltojen ja varaosien hintoja sekä tietoa tämänhetkisestä työn hintatasosta, joka koostuu pääasiassa asentajien tunti-hinnasta.

Taulukko 15. Huoltokustannusarvio

--

Kaukolämpöpumpuille on laskettu kolme eri vaihtoehtoa: A, B ja C. Investointilaskelmien tarkastelujakso on 10 vuotta uuden biokattilan käyttöiän mukaan.

9.1.1 Vaihtoehto A

Vaihto A perustuu Mar1:n kaukolämmön pumppausjärjestelmän kokonaisvaltaiseen uusimiseen, joka sisältäisi uudet meno- ja paluupumput, uudet sähkömoottorit ja taajuusmuuttajat.

Uusien pumppujen investointilaskelmat perustuvat Sulzerin tekemään tarjoukseen. Todellisuudessa näin suuri investointi tulisi kilpailuttaa useamman toimittajan kesken, mutta

tätä kartoitusta varten on haettu ainoastaan arvioituja investointikustannuksia. Jos näiden laskelmien perusteella päätetään, että investointi on kannattava, suoritetaan tarkempi hankintasuunnitelma ja kilpailutus.

Sulzerilta saadussa tarjouksessa on kaksi vaihtoehtoa: samanlaiset kaksipuolisesti imevät pumput kuten alkuperäiset tai yhdestä päästä imevät pumput.

Investointilaskemissa on otettu tarkasteluun Martinlaakson tämän hetkisiä kaukolämpöpumppuja vastaavat kaksipuolisesti imevät ZTU-40-mallin pumput. Kaksipuolisesti imevien pumppujen vaihtaminen yksipuolisesti imeviin pumppuihin vaatisi huomattavia putkistomuutoksia ja pumput tulisi asentaa uudelleen eri tavalla. Putkiston uudelleen suunnittelu, muutostyöt, materiaalit ja pumppujen petimuutokset voivat aiheuttaa laitoksen kunnossapitoinsinöörin karkeasti arvioimana 100 000–150 000 euron lisäkustannukset. Tämän vuoksi on todettu, että jos pumput vaihdetaan uusiin, niiden tulisi olla entisiä pumppuja vastaavat ja mahdollisimman helppo asentaa vain paikoilleen. Lisäksi kaksipuolisesti imeviä keskipakopumppuja pidetään toimintavarmempina suurissa prosesseissa.

Investoinnin tuottoaste voidaan laskea ROI:n (Return on Investment) avulla kaavan 17 mukaisesti. ROI ilmaisee investoinnin tuottoasteen prosentteina tietyn ajanjakson aikana.

$$ROI = \frac{\text{Tuotto} - \text{Investointikustannukset}}{\text{Investointikustannukset}} * 100 \% \quad (17)$$

Tuotoksi on määritelty vuotuinen energiankulutuksen vähentämisestä syntynyt säästö. Vuotuinen säästö on määritelty ABB:n EnergySave -energiansäästölaskurin avulla.

Tuottoaste ensimmäisen vuoden jälkeen:

$$ROI =$$

Tuottoaste 10 vuoden jälkeen:

$$ROI_{10} =$$

9.1.2 Vaihtoehto B

Vaihtoehto B on säästää pumput ennallaan, mutta uusien sähkömoottorit ja vaihtaa nestekytkimien tilalle taajuusmuuttajat. Tällöin investointikustannukset koostuvat uusista taajuusmuuttajista ja sähkömoottoreista sekä kahden pumpun huoltokustannuksista, sillä pumpuista kaksi vaatii huoltoa.

$$ROI_{10} =$$

Investoinnin koroton takaisinmaksuaika saadaan seuraavan laskutoimituksen kautta.

$$TMA =$$

9.1.3 Vaihtoehto C

Yksi vaihtoehtoista on jatkaa toimintaa samoilla pumpuilla ja säätölaitteilla ilman uusia investointeja. Tämä ei olisi kuitenkaan järkevää, sillä kaukolämpöpumput ovat selkeä kohde, joiden avulla yrityksen energiatehokkuutta voitaisiin parantaa. Kahdelle pumpulle neljästä on kaikesta huolimatta tehtävä suurempia huoltotoimenpiteitä, joten edes kahden pumpun modernisointi huoltojen yhteydessä voisi olla järkevää. Nestekytkinsäädön vaihtaminen taajuusmuuttajasäädöksi toisi myös lisää toimintavarmuutta ja helpottaisi pumppujen ajettavuutta. Taajuusmuuttajakäytön myötä pumpun säätö ei myöskään vaatisi enää öljynkulutusta. Jos pumppujen kunnossa ei havaita muutoksia tämän hetkisiin tietoihin nähden, pumput voidaan pitää huoltotoimenpiteiden jälkeen ennallaan, mutta säätölaitteet olisi syytä vaihtaa. Jos kaukolämpöpumppujärjestelmälle ei tehdä mitään, suurilta investoinneilta vältytään, mutta pitkällä aikavälillä nykyinen pumppausjärjestelmä tulee kuluttamaan enemmän energiaa aiheuttaen enemmän käyttökustannuksia.

9.2 Kaukolämpöakun pumput

ABB:n EnergySave -energiansäästö-laskurin mukaan kaukolämpöakun pumpuilla on paljon energiansäästöpotentiaalia. Näiden pumppujen uusintaa varten ei ole vielä tarjouksia, mutta energiansäästökustannuksien avulla voidaan tarkastella, mitkä olisivat sopivat investointikustannukset halutulla korottomalla takaisinmaksuajalla. Jos molemmat nykyiset pumput kuristussäädöllä vaihdettaisiin uudelleen mitoitettuihin pienempiin pumppuihin, jotka toimisivat taajuusmuuttajaohjauksella, vuodessa säästettäisiin 454 000 €. Alla olevaan taulukkoon 16 on laskettu tämän säästön mukaiset investoinnit eri takaisinmaksuajoilla.

Taulukko 16. Akun lataus- ja purkauspumpun investoinnit korottomilla takaisinmaksuajoilla

Takaisinmaksuaika [a]	Investointi [€]
2	908 000
4	1 816 000
6	2 724 000
8	3 632 000
10	4 540 000

Esimerkiksi kahden vuoden takaisinmaksuajalla investointi uusiin kaukolämpöakun pumppuihin taajuusmuuttajineen saisi maksaa maksimissaan 900 000 €. Näiden laskelmien mukaan investoiminen uusiin pumppuihin olisi kannattavaa.

10 Yhteenveto

Työn tarkoituksena oli selvittää Martinlaakson voimalaitoksen kaukolämpöjärjestelmän pumppujen mahdollisia energiansäästötoimenpiteitä. Säästöpotentiaalia havaittiin olevan jokaisen pumpun kohdalla. Työssä tarkasteltiin pumppujen eri säätömenetelmiä ja ylimitoitettujen pumppujen uudelleen mitoittamista.

Vanhojen nestekytkinsäädöllä toimivien kaukolämpöpumppujen kohdalla verrattiin nykyisen säätömenetelmän energiankulutusta taajuusmuuttajakäyttöiseen säätömenetelmään. Taajuusmuuttajasäädöllä saataisiin säästettyä energiaa 146,7 MWh. Investointien uusiin sähkömoottoreihin ja taajuusmuuttajiin olisi kannattavaa, jos nykyiset pumput säilytettäisiin. Sulzerilta saadun tarjouksen mukaan investointien täysin uusiin pumppuihin taajuusmuuttajineen ei olisi kannattavaa, sillä investointien takaisinmaksuaika olisi yli biokattilan lasketun käyttöiän.

Kaukolämpöakun ylimitoitettujen pumppujen kohdalla tarkasteltiin nykyisten pumppujen muuttamista kuristussäädöltä taajuusmuuttajasäädölle. Tämä lisäisi pumppujen energiatehokkuutta, mutta vielä astetta suuremmat energiansäästöt saavutettaisiin uudelleen mitoitetuilla pienemmillä pumpuilla, joita säädettäisiin taajuusmuuttajakäyttöisellä pyörimisnopeussäädöllä. Parhaimmillaan vuotuinen energiansäästöprosentti voisi olla 91 % nykyiseen pumppausjärjestelmään verrattuna. Akun sekoitusvesipumpun todettiin myös olevan ylimitoitettu. Akun pumppujen mahdollisten investointien yhteydessä sekoitusvesipumppu on myös syytä ottaa huomioon ja vaihtaa pienempään, jotta koko järjestelmän energiatehokkuutta saataisiin parannettua kerralla.

Työn tuloksena saadut jatkotoimenpide-ehdotukset, joilla laitoksen energiansäästöä voidaan lähteä toteuttamaan, ovat kaukolämpöpumppujen taajuusmuuttajasäädön kilpailuttaminen sekä kaukolämpöakun uudelleen mitoitettujen pumppujen sekä niiden taajuusmuuttajasäädön kilpailuttaminen. Kyseessä olevat investoinnit ovat suuria, joten investointien maksimisuuruudet ja toivotut takaisinmaksuajat olisi myös syytä määrittää ensin tarkemmin.

Lähteet

ABB drives in power generation Medium voltage drives for more efficient and reliable plant operation. 2011. Verkkodokumentti. ABB. <https://library.e.abb.com/public/77f49845159e2e5cc12579c7003d688c/Power%20brochure%20RevB_lowres.pdf>.

Luettu 15.9.2017.

ABB EnergySaver -Energiansäästöläskuri. 2018. <<http://energysave.abb-drives.com/#/pump>>.

Cengel, Y., Cimbala, J. 2013. Fluid Mechanics. Fundamentals and Applications. Englanti: McGraw-Hill Professional.

Energiatehokas pumppausjärjestelmä. 2009. Verkkodokumentti. Motiva. <https://www.motiva.fi/files/2419/Energiatehokas_pumppausj_rjestelm_.pdf>. Luettu: 5.1.2018.

Energiatehokkaat pumput. 2011. Verkkodokumentti. Motiva. <http://www.motivanhankintapalvelu.fi/files/379/Energiatehokkaat_pumput.pdf>. Luettu 30.8.2017.

Energiatehokkuusselvitys kaukolämmityksen pumppausjärjestelyistä. 2009. Verkkodokumentti. Pöyry Energy Oy. Energiateollisuus Ry. <https://www.motiva.fi/files/2243/Energiatehokkuusselvitys_kaukolammityksen_pumppausjarjestelyista.pdf>. Luettu 30.8.2017.

Huhtinen, M., Korhonen, R., Pimiä T., Urpalainen S. 2011. Voimalaitostekniikka. Tampere: Opetushallitus.

Installation, operation and maintenance instructions for Fluidrive fluid couplings. 1972. Fluidrive. Ohjekirja. Englanti. Luettu 10.11.2017.

Kajaste, J. Kauranne, H. Vilenius, M. 1999. Hydraulitekniiikan perusteet. 2. painos. Porvoo: WSOY.

Kallatsa, Jari. 2017. Operaattori, Vantaan Energia Oy. Haastattelu 10.1.2018. Vantaa.

Kaukolämpöverkon pumppausjärjestelyt. 2011. Verkkodokumentti. Energiateollisuus Ry. <https://energia.fi/files/673/SuositusL10_2011_Pumppaus.pdf>. Luettu 30.8.2017.

Keskinen, I. 2015. Taulukoita ja piirroksia kemian laitetekniikkaan. Helsinki: Gaudeamus.

Laaksonen, Pinja. 2013. Keskipakopumpun suorituskyvyn mittaus. Energiatekniikan kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Naukkarinen, Jorma. 2017. Sulzer Pumps Finland Oy. Sähköpostiviestintä 28.8.2017.

Tilinpäätös 2016. Verkkodokumentti. Vantaan Energia -konserni. <<https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/frantic/vantaanenergia/uploads/20170419133222/VE-tilinpaatos-2016.pdf>>. Luettu 14.9.2017.

Ympäristölupa. Martinlaakson voimalaitoksen toiminnan muuttaminen ja toiminnan aloittamislupa, Vantaa. 2017. Aluehallintovirasto. <https://tietopalvelu.ahp.fi/Lupa/Lisatie-dot.aspx?Asia_ID=1349976>. Luettu 24.7.2017.

Parviainen, Petri. 2018. Turbiinimestari, Vantaan Energia Oy. Haastattelu 1.2.2018. Vantaa.

Pump Handbook. 2016. Verkkodokumentti. Grundfos. Saatavilla: <<https://fi.grundfos.com/campaigns/download-the-pump-handbook.html>>. Luettu 21.8.2017

Wirzenius, A. 1977. Keskipakopumput. 3. painos. Tampere: Kustannusyhtymä.

Liitteet