

Kaukojäähdytyslaitoksen automaatiouudistuksen toteutussuunnitelma

Biolaakson kaukojäähdytyslaitos



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö
Sähkö- ja automaatiotekniikka, insinööri (AMK), Valkeakoski

Syksy 2021

Mikko Väre

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tilaajana toimi Turku Energia Oy. Laitoksen automaatiojärjestelmän uusinnan tarve tuli Turku Energialle valvomojärjestelmän uusinnan myötä. Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä toteutussuunnitelma kaukojäähdytyslaitoksen automaatiojärjestelmän uudistamisesta.

Kaukolämmöllä tarkoitetaan keskitetysti tuotettua ja julkisesti jaettua lämpöä asiakkaille ja sen siirtoaineena kaukolämpöverkoissa on yleensä vesi tai höyry. Kaukojäähdytyksessä toimintaperiaate on käänteinen kaukolämpöön verrattuna. Kompressorijäähdytyskoneissa kylmäaine saadaan höyrystymään matalapaineisessa höyrystimessä. Lämpö höyrystimeen tuodaan jäähdytettävästä kohteesta. Työssä käydään läpi jäähdytysenergian yleisimpiä tuotantomuotoja sekä niiden käyttämää tekniikkaa ja teoriaa. Näiden asioiden ymmärtäminen oli tärkeässä roolissa toteutussuunnitelman laadinnassa.

Päivitetyn PI-kaavion ja laitelistauksen pohjalta pystyttiin suunnittelemaan tarvittavia säätöpiirejä. Niiden suunnittelemiseen käytettiin apuna olemassa olevan automaatiojärjestelmän operointikuvia ja ohjelmalohkoja. Työn tuloksena laitoksen PI-kaavio päivitettiin ja laitekannasta tehtiin laitelistaus. Automaatiojärjestelmästä tehtiin I/O-laskenta, jonka pohjalta määriteltiin sopiva hardware konfiguraatio I/O-kortteineen. Konfiguraatiossa yhdistyi ABB:n logiikan omat I/O-kortit sekä Modbus TCP:llä toteutettu Wagon hajautettu I/O. Säätöpiireistä tehtiin säätökaaviot ja toimintakuvaukset. Opinnäytetyön lopputuloksena syntyi toteutusvalmis kaukojäähdytyslaitoksen automaatiojärjestelmän uudistussuunnitelma.

ABSTRACT

The commissioner of this thesis was Turku Energia Oy. The need to renew the plant's automation system came to Turku Energia with the renewal of the control room system. The aim of the thesis project was to make an implementation plan for the modernization of the automation system of the district cooling plant.

District heating refers to centrally produced and publicly distributed heat to customers and is usually transmitted by water or steam in district heating networks. In district cooling, the operating principle is reversed compared to district heating. In compressor refrigeration machines, the refrigerant is made to evaporate in a low-pressure evaporator. The heat is introduced into the evaporator from the object to be cooled.

This work reviews the most common forms of cooling energy production and the technology and theory used in them. Understanding these issues played an important role in the preparation of the implementation plan. Based on an updated PI diagram and device listing, it was possible to design the necessary control circuits in this project. The operating images and program blocks of the existing automation system were used to design them. As a result of the work, the plant's PI diagram was updated, and the equipment stock was listed. The I/O calculation of the automation system was performed, based on which the appropriate hardware configuration with I/O-cards was determined. The configuration combined ABB's own I/O-cards with logic and Wagon distributed I/O with Modbus TCP. Control diagrams and functional descriptions were made of the control circuits. As a result of the thesis project, a ready-made plan for the reform of the automation system of a district cooling plant was created.

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Kaukolämmitys eli kaukolämpö.....	1
3	Kaukokylmä eli kaukojäähdytys	3
3.1	Kaukojäähdytyksen tuotantotavat.....	4
3.2	Turku Energian kaukojäähdytyksen tuotantolaitokset.....	8
3.3	Biolaakson jäähdytyskeskuksen tuotantotavat	8
3.3.1	Kompressorijäähdytys.....	9
3.3.2	Vapaajäähdytys	9
4	Säätötekniikka	10
4.1	Säätöpiirin toimintaperiaate	10
4.2	Eriytyypiset säädöt.....	11
5	Ohjausjärjestelmät	12
6	Biolaakson jäähdytyslaitoksen nykytila	14
7	Biolaakson jäähdytyslaitoksen uudistussuunnitelma	16
7.1	Jäähdytyskoneiden ohjaus	17
7.2	I/O Laskenta ja mittapisteet.....	17
7.3	Logiikan suunnittelu.....	19
7.4	Säätökaaviot.....	19
8	Yhteenveto	22
	Lähteet.....	23

1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä tehdään prosessiautomaatiojärjestelmän kokonaisvaltainen uudistussuunnitelma Turku Energian Biolaakson kaukojäähdytyslaitokselle. Tarkoituksena on luoda toteutussuunnitelma, jonka avulla Turku Energia pystyy liittämään Biolaakson kaukojäähdytyslaitoksen automaatiojärjestelmän ylemmän tason ohjausjärjestelmään.

Turku Energialla on tarve liittää kaikki laitokset ylemmän tason ohjausjärjestelmään, sillä se helpottaa tuotantolaitosten ja verkoston hallintaa ja operointia. Biolaakson kaukojäähdytyslaitoksen tämänhetkisen automaatiojärjestelmän ohjaus on kytketty laitoksen kiinteistöautomaatiojärjestelmään eikä sitä voida liittää ylemmän tason ohjausjärjestelmään yhteensopimattomuuden vuoksi.

Tavoitteena on tehdä toteutusvalmis suunnitelma, joka sisältää laitoksen päivitetyn prosessikaavion, säätökaaviot toimintakuvauksineen, I/O-listauksen, laitteistokonfiguraatio ABB AC700F -sarjan logiikalle sekä piirikaaviot. Työssä hyödynnetään teoreettista tietoa sekä hyväksi todettuja automaatiojärjestelmän suunnittelukäytäntöjä. Opinnäytetyö rajataan koskemaan ainoastaan suunnittelua ja jätetään toteutus sekä siihen liittyvät työt opinnäytetyön ulkopuolelle.

2 Kaukolämmitys eli kaukolämpö

Kaukolämmöllä tarkoitetaan keskitetysti tuotettua ja julkisesti jaettua lämpöä asiakkaille. Tyypillisiä asiakkaita ovat erilaiset asuintalot, teollisuus, liikerakennukset ja julkiset rakennukset. Asiakkaiden lämmön tyypillisiä käyttökohteita ovat rakennusten ja tilojen lämmitykset sekä käyttöveden lämmitys. (Koskelainen, 2006, ss. 25–26)

Kaukolämmön siirtoaineena on yleensä vesi tai höyry. Lämpö tuotetaan keskitetyissä tuotantolaitoksissa, josta se siirretään jakeluverkkoa pitkin asiakkaille. Asiakkailta tuotantolaitoksiin palaava vesi lämmitetään tuotantolaitoksissa uudelleen, josta se siirretään jakeluverkkoa pitkin takaisin asiakkaiden käyttöön. (Koskelainen, 2006, ss. 25–26)

Euroopassa kaukolämmön jakelujärjestelmät ovat vakiintuneet käyttämään lämpimään veteen perustuvaa tekniikkaa. Jakeluverkon maksimilämpötilat ovat yleisesti 120...130 °C. Suomessa kaukolämmön jakeluverkkojen maksimilämpötila on 120 °C. Kaukolämpöenergia siirretään Suomessa kaksiputkijärjestelmällä. Perinteisessä kaksiputkijärjestelmässä asiakkaiden lämmönsiirtimille kulkevasta kiertovedestä on poistettu mekaaniset epäpuhtaudet, jotta ne eivät pääse kerrostumaan putkistojen sisäpinnoille. Kiertovedestä on poistettu myös happi ja muut kaasut, etteivät ne pääse aiheuttamaan korroosiota putkistoihin. Tuotantolaitoksilta lähtevää menoveden lämpötilaa säädetään ulkolämpötilan mukaan siten, että se pystyy vastaamaan asiakkaiden lämmöntarpeeseen. Jotta kaukolämpöverkon lämpöhäviöt pystytään minimoimaan, vältetään tarpeettoman korkeita lämpötiloja. Jakeluverkossa on ylläpidettävä riittävän korkea keskipaine, ettei vesi pääse missään kohta jakeluverkkoa höyrystymään. (Koskelainen, 2006, ss. 29, 338–340)

Tuotantolaitoksen pumpuilla kaukolämpöverkon asiakkaille ajetaan luvattua minimipaine-eroa tai yleensä hieman yli. Pienissä kaukolämpöverkoissa tämä voidaan toteuttaa siten, että tuotantolaitokseen rakennettu pumppaamo ajaa paine-eroa kaukolämpöverkon epäedullisimman asiakkaan mukaan. Suuremmissa verkoissa tämä ei ole enää mahdollista, koska verkkojen siirtomatkat ovat pitkiä ja vesivirtaamat suuria. Tällöin joudutaan rakentamaan välipumppaamoja, joilla voidaan säätää asiakkaan paine-eroa epäedullisimman asiakkaan paine-eron mukaan. (Koskelainen, 2006, ss. 340–344)

Jakeluverkossa on ylläpidettävä riittävän korkea keskipaine, ettei vesi pääse höyrystymään missään kohta jakeluverkkoa. Tätä kutsutaan kaukolämpöverkon paineenpidoksi. Paineenpitopumpuilla pumpataan puhdistettua lisävettä paineenpitosäiliöstä kaukolämpöverkkoon. Yksinkertaisessa paineenpitojärjestelmässä paineenpitopumppu käy koko ajan ja kaukolämpöverkon paluupainetta säätää omavoimainen ylivirtausventtiili, joka päästää pumpun pumppaaman veden takaisin paineenpitosäiliöön. Ylivirtausventtiili pitää verkon paluupaineen vakiona, jolloin verkon lämpölaajenemisesta johtuvat verkon veden tilavuuden muutokset pääsevät paisumaan paineenpitosäiliöihin, jos verkon paine ylittää ylivirtausventtiiliin asetetun paineen. (Koskelainen, 2006, ss. 340–344)

3 Kaukokylmä eli kaukojäähdytys

Kaukojäähdytys on keskitetyissä tuotantolaitoksissa liiketoimintana tuotettua jäähdytetyn veden tuotantoa ja jakelua kaukojäähdytysverkon välityksellä useille rakennuksille. Tyypillisiä kohteita kaukojäähdytykselle ovat rakennuksien ilmastoinnin ja konesalien jäähdytykset. Rakennusten jäähdytystarve johtuu niin auringosta, kuin rakennusten muistakin lämmönlähteistä kuten koneista. Kaukojäähdytyksellä on tarvetta toimistorakennuksissa, hotelleissa, julkisissa rakennuksissa sekä pienteollisuudessaakin. (Koskelainen, 2006, s. 529).

Kaukojäähdytyksen toimintaperiaate on verrattavissa kaukolämpöön, sillä erotuksella, että kaukojäähdytyksessä asiakkaille toimitetaan kuuman veden sijaan kylmää kaukojäähdytysvettä, johon asiakkaan ylimääräinen lämpö siirretään. Kaukojäähdytysverkon kiertoaineena toimii yleensä jäähdytetty kaukolämpövesi. Kaukojäähdytysverkoissa veden lämpötila voi olla 2...+20 °C. (Koskelainen, 2006, ss. 529–530, 541–542)

Kaukojäähdytyksessä rakennukseen virtaa kaukojäähdytyslaitteiston kautta kylmää vettä, mikä jäähdyttää huoneistoja. Kaukojäähdytysvesi lämpenee lämmönsiirtimessä siihen siirtyneen lämmön vaikutuksesta. Lämmennyt vesi virtaa rakennuksesta jakeluverkkoa pitkin jäähdytyslaitokseen. Jäähdytyslaitoksessa lämmennyt vesi johdetaan jäähdytyskoneille, jossa se jäähdytetään uudelleen ja pumpataan takaisin asiakkaille jäähdytysverkkoa pitkin. Osassa jäähdytyslaitoksia on jäähdytysenergian varastoja, jolla pystytään tasaamaan jäähdytyksen kulutushuippuja. (Koskelainen, 2006, ss. 541–542) Sellainen 15000m³ jäähdytysvesiaku löytyy mm. Turusta Kakolan lämpöpumppulaitoksen yhteydestä (Valor Partners Oy / Energiateollisuus, 2016, s. 16), (Turun Seudun Energiantuotanto Oy, 2021).

Kaukojäähdytysverkossa verkon lämpötilaero lähtevän ja palaavan veden välillä on kaukolämpöverkkoon verrattuna vain murto-osa. Tämä aiheuttaa sen, että siirrettävän veden määrä on moninkertainen saman tehokapasiteetin siirtämiseen kuin kaukolämmössä, jossa lämpötilaerot ovat tyypillisesti yli 40 °C. (Koskelainen, 2006, ss. 541–542) Turku Energia Oy:n kaukojäähdytysverkon asiakkaalle tuleva kaukojäähdytysveden lämpötila on +7 °C ja asiakkaalta verkkoon palaavan veden lämpötila on +17 °C. Tällöin verkon lämpötilaero on vain 10 °C. (Turku Energia Oy, 2021)

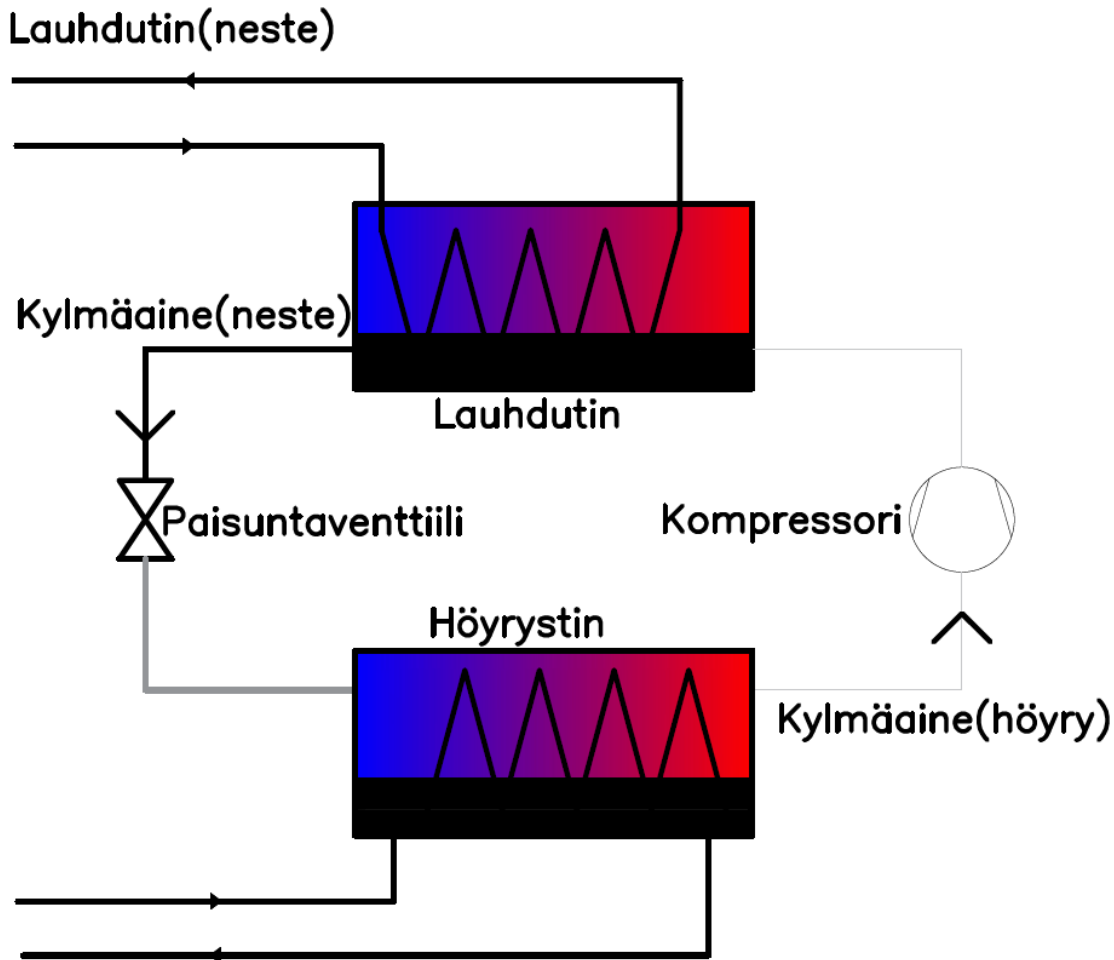
Kaukojäähdytysjärjestelmiä on keskitettyjä ja hajautettuja. Keskitetyssä järjestelmässä yksi tuotantolaitos vastaa koko järjestelmän jäähdytyksen tuotannosta. Tällöinen keskitetty tuotantolaitos voi olla kompressorilaitos, jossa tuotetaan jäähdytettyä vettä tai yhteistuotantolaitoksen yhteydessä oleva absorptiokylmäkone, joka käyttää ylijäämälämpöä absorptiokeitto prosessiin, jolla tuotetaan jäähdytystä. Hajautetussa kaukojäähdytysjärjestelmässä jäähdytyksen tuotantolaitoksia on eripuolella kaukojäähdytysverkkoa. Hajautettu kaukojäähdytysjärjestelmä, joka perustuu kaukolämmön jakeluun, toimii siten, että rakennukseen toimitetaan kaukolämpöä absorptiokylmäkoneisiin, jotka tuottavat tarvittavan rakennukselle jäähdytysenergian. (Koskelainen, 2006, ss. 529–530)

3.1 Kaukojäähdytyksen tuotantotavat

Vapaa jäähdytyksessä tarvittava jäähdytysenergia otetaan esimerkiksi glykolipiiriin ulkoilmassa olevasta glykoli-ilmalauhduttimesta. Tämä jäähtynyt glykolivesi pumpataan lämmönsiirtimeen, jonka toisella puolella kiertää kaukojäähdytysverkon vesi. Glykolipiiri on varustettu kolmitieventtiilillä, jolla voidaan ohittaa lämmönsiirrin halutun kaukojäähdytysverkon lämpötilan säätämiseksi ja kaukojäähdytysveden jäätyksen estämiseksi pakkaskeleillä. (Koskelainen, 2006, s. 531)

Kompressorijäähdytyskoneessa kylmäaine saadaan höyrystymään matalapaineisessa höyrystimessä. Lämpö höyrystimeen tuodaan jäähdytettävästä kohteesta (Biolaaksossa kaukojäähdytysvedestä). Kompressorin tehtävänä on nostaa kylmäaineen höyryn painetta, jotta höyry lauhtuu ja luovuttaa lämpöä lauhduttimen väliaineeseen (Biolaaksossa glykolipiiriin ja osassa koneita kaukolämmön paluuveteen). Lauhduttimen jälkeen lauhtuneen nesteen painetta lasketaan paisuntaventtiilissä ja neste virtaa uudelleen höyrystimeen. Käyttövoima prosessiin saadaan sähkötoimisesta kompressorista. Kompressorin kylmäaineena (työaineena) käytetään halogenoituja hiilivetyjä, esimerkiksi R-134a tai R-407c. Biolaaksossa käytössä oleva kylmäaine on R134a. Sillä on ilmakehään vapautuessaan kasvihuoneilmiötä edistävä vaikutus. (Koskelainen, 2006, ss. 531–532) Kompressorityyppi valitaan aina tapauskohtaisesti prosessin mukaan. Kompressorityyppi voi olla mäntä- ruuvi-, scroll-, kiertömäntä- tai turbokompressorit. Kuvassa 1. on kuvattu kompressorikylmäkoneen toimintaperiaate. (Hakala, 2007, s. 65) (Aittomäki, 2012, s. 128)

Kuva 1. Kompressorikylmäkoneen toimintaperiaate mukaillen (Koskelainen, 2006, s. 532).



Mäntäkompressoreissa on tyypin mukaisesti mäntä, joka liikkuu edestakaisin puristaen kylmäainetta. Männän liikkeessa ulospäin syntyy sylinteriin alipaine. Alipaine imee imukanavasta kylmäainehöyryä sylinteriin. Niin kauan kuin höyryä virtaa sylinteriin, pitää virtaus imuventtiilin auki. Kohtaa, jossa mäntä pysähtyy ala-asentoon ja liike kääntyy päinvastaiseksi, kutsutaan alakuolokohdaksi. Tässä kohtaa höyryn virtaus sylinteriin päättyy ja imuventtiilit sulkeutuvat. Männän liike sylinterissä puristaa höyryä kokoon, jolloin paine nousee. Tätä kutsutaan puristusvaiheeksi. Kun paine sylinterissä on riittävän paljon yli painekanavassa vallitsevan paineen, avautuvat paineventtiilit ja mäntä työntää höyryn ulos, kunnes saavutetaan yläkuolokohda, jossa männän liike pysähtyy ja liike kääntyy päinvastaiseksi. Kun mäntä lähtee liikkumaan takaisin päin ja paine sylinterissä hieman laskee, sulkeutuvat paineventtiilit. Sylinteriin jäänyt pieni höyry määrä paisuu takaisin imupaineeseen ja tätä kutsutaan jälkipaisunnaksi. Pienet mäntäkompressorit ovat

yleisiä kodin kylmäkoneissa hermeettisinä paketteina. (Aittomäki, 2012, s. 128) Kompressorityyppi on yleisesti käytössä pienissä alle 1,5 MW kylmäkoneissa (Koskelainen, 2006, s. 532).

Ruuvikompressorissa ruuvi puristaa kylmäaineen korkeaan paineeseen. Kahden rinnakkain pyörivän ruuvin ja sopivasti muotoillun kompressorin kuoren väliin jää kylmäaineelle puristustila. Ruuvien pyöriessä puristustila ikään kuin etenee ruuvien välissä päästä toiseen samalla puristustilan pienentyessä, mikä aiheuttaa paineen nousun. Kun ruuvien harjat ohittavat imuportin, alkaa kylmäaineen puristus. Puristus päättyy, kun työtila saavuttaa poistoportin. Ruuvikompressoreita tehdään myös yhdellä ruuvilla, jolloin puristustila erotetaan ruuvin kahden harjan välistä molemmin puolin sijaitsevalla kahdella sakaramaisella sulkupyörällä. Tämän lisäksi puristustilaa rajoittaa ruuvin toinen pääty, mikä on umpinainen. (Aittomäki, 2012, ss. 148–149) Ruuvikompressoreja rakennetaan jopa 10 MW tehoon saakka (Koskelainen, 2006, s. 532).

Scroll-kompressorilla tarkoitetaan kierukkakompressoria. Kierukkakompressorin toiminta perustuu puristavien kompressorien uusin tulokas. Kierukkakompressorin toiminta perustuu ruuvikompressorin, mutta puristus tapahtuu säteen suuntaisesti. Kierukkakompressorissa on kaksi kierukkaa, joista toinen on kiinteä ja toinen liikkuu epäsymmetrisesti pientä ympyrärataa sen sisällä. Kylmäaineen puristus perustuu siihen, että kierukat koskettavat toisiaan muutamasta kohdasta. Näin saadaan syntymään perättäisiä kammioita, jotka pienevät kiertyvän kierukan liikkeen mukana. Kierukkakompressorissa ei tarvita venttiileitä, kuten mäntäkompressorissa tarvitaan. Kompressorin tiivistykseen ja voiteluun kierukoiden välissä ja päädyissä tarvitaan riittävästi öljyä. (Aittomäki, 2012, s. 147)

Kiertomäntäkompressoria kutsutaan myös rotaatiokompressoriksi. Kiertomäntäkompressorissa mäntä pyörii epäkeskeisesti muodostaen kiertymän mukana pienenevän puristustilan. Kiertomäntäkompressorin koostuu männästä, sylinteristä, luistista (väliseinä), luistinjousta, imuportista, paineportista ja paineventtiilistä. Kun tiivistyslinja ohittaa imuportin, alkaa imutila täyttyä höyryllä. Samalla puristustila pienenee ja siellä oleva höyry puristuu kokoon ja paine kasvaa. Kun paine puristustilassa nousee riittävästi yli painekammion paineen, avautuu paineventtiili, jolloin höyry poistuu paineporttia pitkin. Luisti, jota painetaan mäntää vasten jousella, erottaa imu- ja puristustilan toisistaan. On olemassa myös kiertomäntäkompressoreita, joissa on useampia luisteja. Näitä kompressoreita kutsutaan monisylinterisiksi. Silloin sylinteri ja mäntä eivät enää ole lieriömäisiä. Kiertomäntäkompressorissa ei ole vastaavaa haitallista tilaa kuin

mäntäkompressorissa. Vastaavaa tilavuushäviötä syntyy kuitenkin vuodoista ja imetyn höyryn lämpenemisestä. Jotta vuotohäviöt saadaan pidettyä vähäisinä, on kierrosnopeus pidettävä korkeana. (Koskelainen, 2006, s. 532) (Aittomäki, 2012, ss. 145–146)

Turbokompressorit eivät ole staattisesti puristava, kuten edellä esitellyt mäntä-, ruuvi-, scroll- tai kiertomäntäkompressorit. Staattisesti puristavalla tarkoitetaan sitä, että tietyn kaasumassan tilavuutta pienennetään, jolloin paine kasvaa. Turbokompressorit ovat toimintatavaltaan kineettisiä kompressorit. Turbokompressorissa kylmäaineen kaasumassalle annetaan liike-energiaa, joka muutetaan paineen nousuksi Bernoullin lain mukaisesti:

$$p + \frac{1}{2} \rho c^2 - \Delta p_k = \text{vakio}$$

p on kaasun paine, c absoluuttinen nopeus (nopeus kiinteän koordinaatiston suhteen) ja Δp_k kitkahäviö.

Nopeusenergian lisäys tapahtuu kompressorin juoksupyörässä. Juoksupyörästä tulevan kaasun kineettinen energia $\frac{1}{2} \rho c^2$ sitä vastoin on muutettava paine-energiaksi. Tämä liike-energian muutos tapahtuu juoksupyörän jälkeisessä diffuusorissa sekä osittain spiraalissa, jossa virtauspoikkipinta-ala suurenee ja virtausnopeus laskee. Virtaus diffuusorista juoksupyörään ohjataan effuusorilla, jossa nopeus kiihtyy. Kompressorin säätöä varten effuusori on varustettu johtosiivillä, joiden tehtävänä on ohjata virtaus oikeassa kulmassa juoksupyörän siivistöön. Vertaillen eri kompressorityyppejä, juuri turbokompressorit antavat suurilla tehoilla korkeimman hyötysuhteen. Osatehoilla turbokompressorin tuotto ja paineen kehitys kuitenkin huononevat nopeasti verrattuna esimerkiksi mäntäkompressorisiin. (Koskelainen, 2006, s. 533) (Aittomäki, 2012, ss. 152–157)

Turun seudulla kaukojäähdytysverkko kattaa Biolaakson, Kupittaaan, Yliopistonmäen, keskustan, Kakolan ja sataman alueen kiinteistöt. 90–95 % Turku Energian kaukojäähdytystehosta tulee Kakolan lämpöpumppulaitokselta ja loput kompressorilaitoksilta Biolaaksosta sekä Itäharjulta. Vuonna 2020 Turku Energian kaukojäähdytysverkko oli 25 kilometriä pitkä. Asiakkaita kaukojäähdytyksen piirissä oli 113 kpl myynnin ollessa 39 600 MWh. Kaikki Turku Energian käyttämä sähkö on vihreää, joten käytännössä kaikki Turku Energian tuottama kaukojäähdytys on nollapäästöistä. (Turku Energia Oy, 2020)

3.2 Turku Energian kaukojäähdytyksen tuotantolaitokset

Kakolan lämpöpumppulaitos koostuu kahdesta Friotherm AG:n toimittamasta lämpöpumpusta. Molemmat lämpöpumput ovat tyypiltään turbokompressoreita. Lämpöpumppulaitos tuottaa kaukolämpöä 2x20 MW ja kaukojäähdytystä 2x14 MW. Laitoksen yhteydessä on lämpöpumppujen lisäksi jäähdytysakku (15 000 m³) tasaamaan kaukojäähdytyksen kulutushuippuja. Laitoksen omistaa Turun Seudun Energiantuotanto Oy. Käyttö- sekä kunnossapitotoiminnasta vastaa puolestaan Turku Energia Oy. (Valor Partners Oy / Energiateollisuus, 2016, ss. 15–17), (Turun Seudun Energiantuotanto Oy, 2021)

Itäharjun kaukojäähdytyslaitos koostuu neljästä Carrier 30HXC375 vedenjäähdyttimestä, jotka ovat nimellisteholtaan 1,3 MW kappale. Laitoksen koneiden nimellinen jäähdytysteho on yhteensä 5,2 MW. Kompressoreina näissä on neljä puolihhermeettistä kaksoisruuvikompressoria. Kylmäaineena on käytössä R134a kylmäaine. Kaksi näistä vedenjäähdyttimistä lauhtuu kaukolämmön paluuveteen ja kaksi on ilmaan lauhtuvia. Jokaisessa vedenjäähdyttimessä on kaksi kylmäainepiiriä, A- ja B -piiri. Molemmissa kylmäainepiireissä on kaksi ruuvikompressoria. (Carrier, 2021)

Biolaakson kaukojäähdytyslaitos koostuu viidestä Carrier 30HXC375 vedenjäähdyttimestä, jotka ovat nimellisteholtaan 1,3 MW kappale. Laitoksen koneiden nimellinen jäähdytysteho on yhteensä 6,5 MW. Kompressoreina näissä on neljä puolihhermeettistä kaksoisruuvikompressoria. Kylmäaineena on käytössä R134a kylmäaine. Kaksi näistä vedenjäähdyttimistä lauhtuu kaukolämmön paluuveteen ja kolme on ilmaan lauhtuvia. Jokaisessa vedenjäähdyttimessä on kaksi kylmäainepiiriä, A- ja B -piiri. Molemmissa kylmäainepiireissä on kaksi ruuvikompressoria. Biolaaksossa on kiinteän jäähdytyskeskuksen lisäksi kaksi kappaletta Tranen valmistamaa RTAC 400 mallista siirrettävää vedenjäähdytintä nimellisjäähdytysteholtaan 1,5 MW kappale. (Carrier, 2021) (Trane , 2016)

3.3 Biolaakson jäähdytyskeskuksen tuotantotavat

Biolaakson kaukojäähdytyslaitoksella tuotetaan jäähdytysenergiaa kaukojäähdytysverkkoon. Jäähdytysenergia tuotetaan pääsääntöisesti Carrierin vedenjäähdyttimillä. Vedenjäähdyttimillä tuotettua jäähdytysenergiaa kutsutaan kompressorijäähdytykseksi. Laitoksen jäähdytysenergia on

suunniteltu tuotettavaksi myös vapaajäähdytyksellä. Vapaajäähdytyksen käyttö edellyttää riittävän alhaista ulkoilman lämpötilaa.

3.3.1 Kompressorijäähdytys

Biolaakson kaukojäähdytyskeskuksella kylmäkoneille pumpataan kaukojäähdytysverkosta vettä suoraan jäähdytyskoneen höyrystimeen. Höyrystimen toisella puolella on kylmäkoneiden kylmäaine R134a. Kylmäkone säättää jäähdytystehoa höyrystimeltä lähtevän veden lämpötilan mukaan asetuksenaan 5C. Kaukojäähdytyspumppujen ohjaus tapahtuu automaatiojärjestelmästä. Pumppuja ohjaa kaukojäähdytysverkon paine-ero. Laitoksen verkkoon ajettavan kaukojäähdytysveden lämpötilaa säädetään shunttiventtiilillä, jolla avataan jäähdytysveden kiertoa menolinjasta koneille menevään paluulinjaan kaukojäähdytysverkon pumppujen imupuolelle, jolloin koneille tuleva vesi jäähtyy ja tätä kautta myös koneilta lähtevän veden lämpötila laskee lähemmäs asetusarvoa.

Jäähdytyskoneiden käynnistystavat perustuvat tehoportaisiin lähtevästä kaukojäähdytystehosta siten, että laskennallisesti on aina enemmän koneita päällä kuin mitä verkkoon ajettava kaukojäähdytysteho on.

3.3.2 Vapaajäähdytys

Biolaakson kaukojäähdytyskeskuksella vapaajäähdytyksessä tarvittava jäähdytysenergia otetaan glykolipiiriin ulkoilmassa olevasta glykoli-ilmalauhduttimesta. Glykolivesipiirin pumppu pyörii vakiokierroksilla. Ilmalauhduttimessa jäähtynyt glykolivesi pumpataan lämmönsiirtimeen, jonka toisella puolella kiertää kaukojäähdytysverkon vesi. Vesiglykolipiiri on varustettu kolmitieventtiilillä, jolla voidaan ohittaa lämmönsiirrin halutun kaukojäähdytysverkon lämpötilan säätämiseksi ja kaukojäähdytysveden jäätyksen estämiseksi pakkaskeleillä. Käytössä vapaajäähdytys ei ole ollut sitten vuoden 2009, jolloin Kakolan lämpöpumppulaitos valmistui. Vapaajäähdytyskäyttöön tarkoitettu lämmönvaihdin ja glykoli-ilmalauhdutinpiiri on otettu käyttöön kaukolämmön paluuvettä käyttävien kylmäkoneiden lauhdutinveden lisäjäähdytykseen, jotta nämä jäähdytyskoneet toimisivat paremmalla hyötysuhteella.

4 Säätötekniikka

Prosessi on monimutkainen järjestelmä. Siinä voi olla niin sähköisiä kuin mekaanisiakin ilmiöitä. Sellaisia ilmiöitä voivat olla esimerkiksi lämmön siirtyminen, erilaiset virtaukset sekä kemialliset reaktiot. Tyypillisiä esimerkkejä prosesseista ovat paperikone, tislauskolonni sekä jäähdytys- tai voimalaitos. Prosessit koostuvat pienemmistä osista, osaprosesseista. Ne ovat myös itsekin prosesseja. Hyvä esimerkki osaprosessista on voimalaitoksen höyrykattila. (Harju & Marttinen, 2000, ss. 9–11)

Instrumentoinnilla tarkoitetaan prosessin säädön toteutukseen ja valvontaan kuuluvia mittalaitteita, säätimiä sekä toimilaitteita. Keskeisenä käsitteenä prosessin säädössä on prosessidynamiikka. Se ilmaisee, miten prosessissa tapahtuva tulon muutos vaikuttaa prosessiin ajan mukana. (Harju & Marttinen, 2000, s. 9)

4.1 Säätöpiirin toimintaperiaate

Säätöpiirissä säädin kerää reaaliaikaista mittausdataa systeemistä tai prosessista, vertaa näitä mittaustuloksia asetettuun asetusarvoon ja laskee korjaavat toimenpiteet systeemin mallin vastatarkastelujen sekä säätöparametrien pohjalta. Näiden arvojen pohjalta säädin toteuttaa korjaavan säätötoimenpiteen. Keskeinen säädön toimenpide onkin mittaustiedon keräys ja käsittely. Asetusarvon ja mitatun prosessisuureen vertailun avulla saatua erosuuretta voidaan käyttää säädön laskentaan ja tehdä sen perusteella lasketun säädön käytännön toteutus ohjattavalle laitteelle. Säätösysteemin rakentamisen tavoitteena on takaisinkytketyn systeemin stabiili ja tavoitteiden mukainen dynaaminen käyttäytyminen. Esimerkiksi hyvä häiriöiden kompensointikyky, nopea reagointikyky ja tarkka vertailusignaalin seuranta ovat hyvän säätöpiirin ominaisuuksia. Säädön lähtökohtana on fyysisen systeemin käyttäytymisen hyvä tuntemus. Systeemin mallintamisella saadaan ymmärrystä systeemin sisäisten osasysteemien vuorovaikutuksista ja säätämistä. (Kippo Asko, 2008, ss. 35–42) (Savolainen Jari, 2007, ss. 10–18)

4.2 Erityyppiset säädöt

P-säädössä säädetään säätimen lähtöä laskemalla ensin asetusarvon SP (Set point) ja oloarvon PV (Process value) eroosuure. Erosuureen ja säätimen lähdön välistä suhdekerrointa kuvataan säädön vahvistuskertoimella (K_p). Kasvattamalla vahvistuskerrointa (K_p), säädön askelnopeus kasvaa ja järjestelmän käyttäytyminen nopeutuu. Vahvistuskerroin voi olla myös negatiivinen, jolloin puhutaan invertoidusta P-säädöstä. Silloin säädön toimisuunta muuttuu käänteiseksi suhteessa erosuureeseen. Jos ei ole erosuuretta säädettävän oloarvon ja asetusarvon välillä, ei P-säätö säädä lähtöarvoa vaan jää odottamaan, kunnes syntyy eroarvoa säädön oloarvon ja asetusarvon välille. (Savolainen Jari, 2007, ss. 30–33) (Kippo Asko, 2008, ss. 39–42, 130–131)

PI-säätö sisältää edellisen vahvistuskertoimen lisäksi integrointiajan (T_i). Heti kun syntyy erosuureeseen nollasta poikkeava arvo, alkaa integrointitermi laskemaan positiivisen aika-akselin ja erosuureen jäävää pinta-alaa kumulatiivisesti yhteen. Integrointiaika T_i on aika, joka ilmaisee karkeasti sen ajan, jonka kuluessa säädin pyrkii poistamaan säätöpoikkeaman. (Savolainen Jari, 2007, ss. 34–36) (Kippo Asko, 2008, s. 131)

PD-säädössä säädön lähtöarvoon vaikuttaa suhteellisen vahvistuskertoimen, K_p :n lisäksi erosuureen muutosnopeus tietyllä ajanhetkellä. Tätä erosuureen muutosnopeutta tietyllä ajanhetkellä kuvataan sellaisella säätöparametrillä kuin derivointiaika (T_d). Erosuureen nopeat muutostilanteet muuttavat voimakkaasti säädön lähtösuuretta. Oloarvon derivaatan eli muutosnopeuden määrittäminen tapahtuu laskemalla, jolloin mahdollinen oloarvon mittaussignaalin kohina vääristää laskennan tuloksen. Korkeataajuinen kohina on realistisempaa suodattaa mittaussignaalista pois käyttäen nopeaa alipäästösuodatinta, jolloin mittaussignaalin kohina vaimenee. Mitä suurempaa aikavakiota alipäästösuodattimessa käytetään sitä pienempi, on derivoinnin vaikutus säätöön. (Savolainen Jari, 2007, ss. 36–40) (Kippo Asko, 2008, s. 132)

PID-säädössä yhdistyy niin suhteellinen vahvistuskerroin K_p , kuin integrointiaikavakio T_i sekä derivointiaikavakio T_d . Näiden kolmen säätöparametrin yhdistelmällä on mahdollista säätää tilanteita, joissa edellytetään säädöltä voimakasta ja välitöntä reagointia säätöpoikkeamaan kuitenkin samalla huomioiden, että säädön täytyy pysyä stabiilina. Suurin ero PI- ja PID -säädön välillä on säädön lähtösuureen ennakoinnit, kun säädettävän suureen muutosnopeus on suuri. (Savolainen Jari, 2007, ss. 36–39) (Kippo Asko, 2008, ss. 132–136)

Kaskadisäätö koostuu kahdesta tai useammasta peräkkäisestä säätölohkosta. Kaskadisäätö koostuu sisäkkäin olevista säätöpiireistä. Ulomman säätöpiirin tehtävä on säätää varsinaista prosessin mittaussuuretta ja vastata sen säädöstä. Sisempi säätöpiiri vastaa vain järjestelmän ohjaussuureen säätämisestä. Sisemmällä säätöpiirillä pyritään kompensoimaan häiriöiden vaikutukset ohjaussuureeseen jo ennen kuin ne vaikuttavat säädettävään järjestelmään ja sen lähtösuureisiin. Kaskadisäätöä suunnitellessa tulee ottaa huomioon, että sisemmän säätöpiirin reagointinopeuden on oltava nopeampi kuin ulomman säätöpiirin, jotta säätöpiirien välinen dynamiikka toimii. Hyvä periaate säätöpiirien väliseen reagointinopeuteen on laiska isäntä ja ahkera renki. (Savolainen Jari, 2007, ss. 45–48) (Kippo Asko, 2008, s. 136)

5 Ohjausjärjestelmät

PLC tulee sanoista Programmable Logic Controller, mikä tarkoittaa yksittäistä ohjelmoitavaa logiikkaa. Yksittäisen ohjelmoitavan logiikan tehtävänä on hoitaa itsenäisesti tiettyä osaprosessia. Ohjelmoitava logiikka ohjaa osaprosessiaan siihen ladatun sovellusohjelman mukaisesti. (Kippo Asko, 2008, ss. 54–55)

DCS tulee sanoista Distributed Control System, jolla tarkoitetaan hajautettua ohjausjärjestelmää. Hajautettu ohjausjärjestelmä koostuu erilaisista asemista. Tyypillisiä asemia ovat ohjelmoitavat logiikat, käyttöliittymät ja ohjelmointipäätteet. Näitä kaikkia asemia yhdistää ohjausjärjestelmän muodostama verkko, joka voi olla jopa kilometrien mittainen. (Kippo Asko, 2008, ss. 54–55)

ABB Freelance DCS -sarjaan kuuluu kolme erityyppistä logiikkasarjaa. AC 900F -sarja, joka tukee jopa 1500 I/O:ta prosessiasemaa kohden. AC 800F -sarja, joka tukee jopa 1000 I/O:ta prosessiasemaa kohti. AC 700F -sarja, joka tukee tyypillisesti 300 I/O:ta prosessiasemaa kohden. Kaikkia kolmea sarjaa voidaan käyttää samassa projektissa ja keskustelu eri asemien välillä tapahtuu Ethernet pohjaisen ohjausverkon kautta. Suunnittelu voidaan suorittaa yhdellä suunnittelutyökalulla, ABB Freelancellalla. Kaikki toimintolohkot ja valmiiksi suunnitellut toiminnot ovat kaikkien asemien käytössä samalla tavalla. (ABB, 2021)

ABB Freelance DCS -sarjan AC 700F -logiikka on tarkoitettu pienempiin projekteihin, joissa tyypillinen I/O määrä on 300 yhtä AC 700F prosessiasemaa kohden ja se tukee jopa kahdeksaa

suoraan prosessiasemaan kytkettävää I/O-korttia. I/O-moduuleita voidaan kytkeä myös kauemmas prosessiasemasta Profibus-väylän välityksellä. Tämä mahdollistaa hyvän joustavuuden asennukseen. Yhteydet Freelance-ohjausverkkoon tapahtuu Ethernetin välityksellä, kuten kaikkiin muihinkin prosessiasemiin. (ABB, 2021)

PM 783F -prosessiasemassa on Ethernet-liityntä (100 MBit/s) Freelance-ohjausverkkoa varten. Prosessiasemassa on kaksi sarjaliikenneliityntää, joista toista (com2) käytetään diagnostiikkaan ja toista (com2) voidaan käyttää RS232-, RS485- tai modbus -kommunikointiin (1200–38400 bps nopeudella). Modbus tukee seuraavia protokollia: ASCII (Master/Slave), RTU(Master/Slave) ja IEC60870-5-101-telekommunikointiprotokolla. Tämän lisäksi on tuki myös modbus TCP:lle Ethernet-verkon välityksellä. Prosessointiajat 1000 käskylle, 0.71ms binäärikäskyille, 0.84ms sanakäskyille ja 1,36ms liukulukukäskyille. Prosessiasema tukee kahdeksaa eri syklistä ohjelmakiertoa ja sen lisäksi yhtä PLC-tyyppistä ohjelmakiertoa, jonka nopeus on niin nopea kuin prosessiasema kykenee. (ABB, 2021)

Kaikki S700 I/O-moduulit ovat liitettävissä hajautettuna I/O:na Profibus DP -liitännän kautta. Suoraan prosessiaseman perään näitä moduuleja voidaan käyttää sekä AC 700 -sarjan, että AC 900 -sarjan kanssa. Kuvassa 2. on esillä S700 -sarjan I/O-moduulien vaihtoehdot. (ABB, 2021)

Kuva 2. S700 I/O-moduulit (ABB, 2021)

	Module Name	Type (Channel Groups)	Input Range	Output Range
AC 700F Direct I/O	DC 732F	16 DI, 16 DI/DO configurable	24V DC, 1-wire, standard binary signals, all signals share common ground	24 V DC, 0.5 A
	AI 723F	16 AI, 12-Bit+Sign	0...10 V, -10...+10 V, 0/4...20 mA, Pt100/1000, Ni1000, DI	-
	AX 722F	8 AI + 8 AO (2x4), 12 Bit+Sign	0...10 V, -10...+10 V, 0/4...20 mA, Pt100/1000, Ni1000, DI	0...10 V, -10...+10 V, 0/4...20 mA, Pt100/1000, Ni1000, DI, Ch 0-3: -10...+10 V, 0/4...20 mA; Ch 4-7: -10...+10 V
	AO 723F	16 AO (2x8), 12 Bit+Sign	-	Ch 0-3: & 8-11: -10...+10 V, 0/4...20 mA, Ch 4-7 & 12-15: -10...+10 V
	DX 722F	8 DI, 8 DO Relay	24 V DC	24 V DC, 110 V/ 230 V AC
	DX 731F	8 DI, 4 DO Relay	110 V/ 230 V AC	24 V DC, 110 V/ 230 V AC
	AI 731F	8 AI, 15 Bit+Sign	-50 mV...+50 mV, -500 mV...+500 mV, -1 V...+1 V, 0...10 V, -10 V...+10 V, 0 V...+5 V, -5 V...+5 V, 0...20 mA, 4...20 mA, -20...+20 mA, Pt100/1000, Ni1000, Cu50 (1.426), Cu50 (1.428), 0...50 kOhm, Thermocouple J K T N S Type, DI	-
	DI 724F	32 DI	24 V DC, 1-wire, standard binary signals, all signals share common ground	-
	DA 701F	16 DI, 8 DC, 4 AI, 2 AO	24 V DC (for DI), 0...10 V, -10...+10 V, 0/4...20 mA, Pt100/1000, Ni1000, DI	24 V DC, 0.5 A (for DO), -10...+10 V, 0/4...20 mA
	CI 741F	PROFIBUS Interface + 8 DI, 8 DO, 2 AI, 2 AO	24 V DC, ±10V, 0/4-20mA, 1-wire, this is the communication module for PROFIBUS	24V DC, 0.5 A, ±10V, 0/4-20mA
S700 Remote I/O	DC 723F	24 DC, 24 V DC	24 V DC (2/3-wire DI possible)	24 V DC, 0.5 A

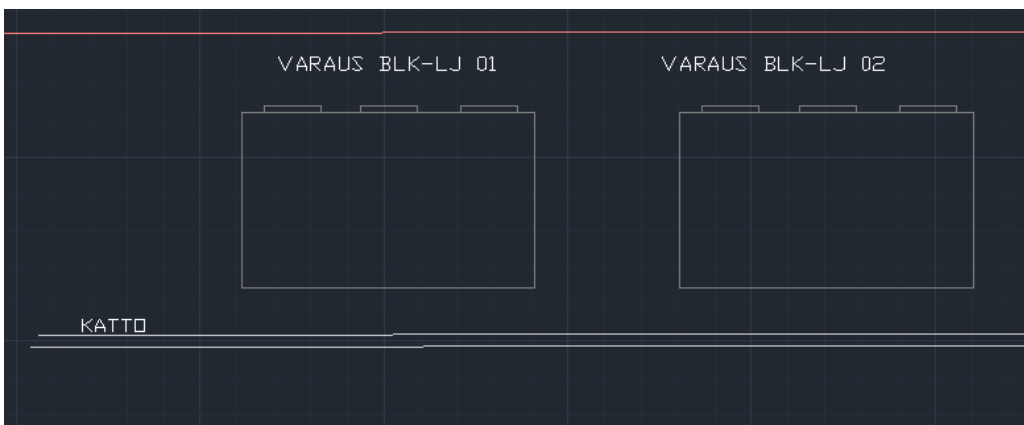
PM 783F -prosessiaseman yhteyteen voidaan asentaa Profibus-moduuli CI773F, joka mahdollistaa Profibusliittymän kenttälaitteille ja hajautetulle I/O:lle. Jos asennetaan ABB:n hajautettua I/O:ta tarvitaan hajautetun I/O:n ensimmäiseksi kortiksi CI741F, jossa on I/O:n Profibusliitäntä I/O-moduuleille. (ABB, 2021)

Prosessiasemassa on myös liitännät sarjaliikenteelle RS-485 ja RS-232. Sarjaliikenteen kautta voidaan toteuttaa mm. Modbus-kommunikointi. Modbus RTU:n kautta voi olla yhteydessä logiikkaan samanaikaisesti useampi kohde, jonka kanssa kommunikoidaan vuorotellen. (ABB, 2021)

6 Biolaakson jäähdytyslaitoksen nykytila

Biolaakson jäähdytysprosessista oli olemassa vain keskeneräinen PI-kaavio vuodelta 2008, jolloin on rakennettu Biolaakson jäähdytyskeskukselle jäähdytyskoneet JK05 ja JK06. Jäähdytysprosessin PI-kaaviosta puuttui kokonaisia laitekokonaisuuksia. Esimerkiksi kaksi uutta liuosjäähdytintä puuttuivat kokonaan. Muiden PI-kaavioiden osalta vastaavia puutteita ei ollut, joten niitä ei tarvitse lähteä päivittämään. Kuvassa 3. on laitoksen päivittämätön PI-kaavion osa, jossa kuuluisi olla JK05 ja JK06 koneiden lauhduttimet.

Kuva 3. PI-Kaavion osa ennen päivitystä



Automaatiojärjestelmänä on tällä hetkellä Automated Logicin WebControl -automaatiojärjestelmä. Laitoksen automaatiojärjestelmää on uusittu vuonna 2014 Carrierin System Comfortista, Automated Logicin WebControl -automaatiojärjestelmään. Uudistuksessa

asennettiin uudet CPU:t sekä I/O-kortit ja ohjelma käännettiin System Comfortista, WebControllille. Nykyinen automaatiojärjestelmä on jaettu seuraaviin osioihin: BLK JK02-04, BLK JK05-06, ilmanvaihto, lämmitys, kiinteistön jäähdytys ja erillispisteet.

Jäähdytyskoneiden kommunikointi automaatiojärjestelmän ja jäähdytyskoneen välillä on toteutettu BACnet-väylää pitkin. Jäähdytyskoneen oma CCN-väylä on muutettu jäähdytyskoneen kommunikointikortissa CCN-väylästä BACnet-väyläksi. Jäähdytyskoneiden ja automaatiojärjestelmän väliset ohjaukset, asetusarvot, tilatiedot ja mittausdata kulkevat väylää pitkin. Väyläohjaus on toiminut pääsääntöisesti hyvin ja väylän ongelmat ovat pääasiassa olleet väyläkorttien hajoamisia jäähdytyskoneiden päässä.

Carrierin 30HXC375-vedenjäähdyttimessä on itsessään oma Carrierin Pro-Dialog -ohjaus- ja säätöjärjestelmä, joka ohjaa vedenjäähdyttimen jäähdytyskompressoreita ja niiden tehonsäätöä itsenäisesti. Jäähdytyskoneiden ohjaukseen automaatiojärjestelmästä käytetään tällä hetkellä BACnet-väylää, joka muutetaan jäähdytyskoneessa väylämuunninkortilla Carrierin CCN-väylästä BACnet-väyläksi, jota myös WebControl-automatiojärjestelmä käyttää. BACnet-väyläohjaus muuntimieen on käytännössä havaittu hitaaksi ja epäluotettavaksi joissain tilanteissa.

Laitoksen nykyisestä laitekannasta ei ole kunnollista laitelistausta. Laitelistauksen pohjalta pystytään tekemään laitteille I/O-laskenta, jota tarvitaan taas automaatiojärjestelmän määrittämisessä. Laitekannan määrittelemisessä käytin hyväksi jo itse päivittämiäni PI-kaavioita sekä aikaisemman automaatiojärjestelmän dokumentteja.

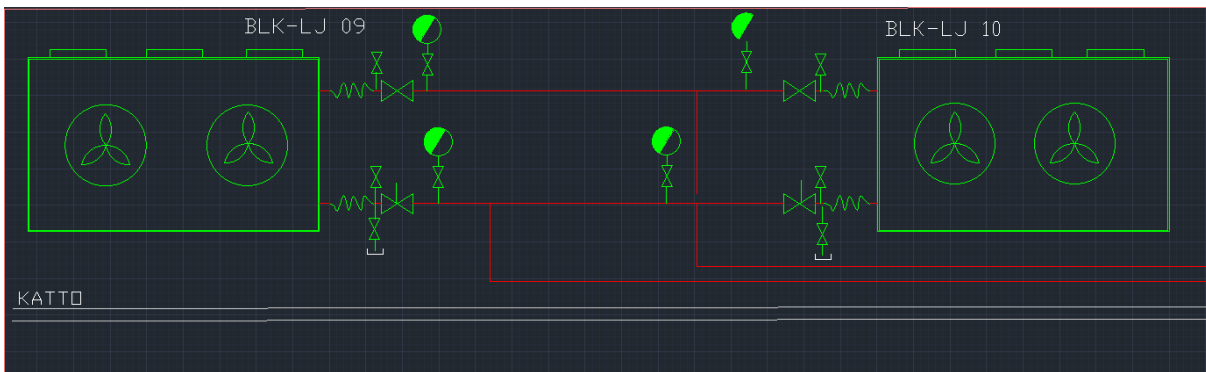
Laitoksen automaatiojärjestelmään on liitetty myös kolme kappaletta siirrettäviä jäähdytyskontteja (SKK4-6). Jäähdytyskontteja ohjataan käyntiluvalla, joka käynnistää itsenäisesti kaukojäähdytyksen verkostopumpun ja tarvittavan määrän jäähdytyskompressoreja (1-2kpl). Varsinaisen jäähdytystehon säädön hoitaa kontin oma Danfoss ADAP-KOOL -säädin. Virtauksen säätöventtiiliä ohjataan automaatiojärjestelmästä säätämällä haluttu kaukojäähdytysvirtaama kontin läpi kaukojäähdytysverkkoon.

Laitoksen kiinteistöautomaatiota ohjataan jäähdytyslaitoksen kanssa samasta automaatiojärjestelmästä. Kiinteistöautomaatio on jaettu seuraaviin osakokonaisuuksiin: TK01 Energiakeskus, TK02 Sähkötila, TK03 Sähkökeskus 108, PF02 Wc/siivous, KSF01 Laitetila ja Muuntamot 106–108.

7 Biolaakson jäähdytyslaitoksen uudistussuunnitelma

Ensitöikseni tutustuin laitokseen olemassa olevien PI-kaavioiden kanssa ja tein käsimerkinnot tulosteisiin, jotta pystyin päivittämään jäähdytysprosessin PI-kaavion ajan tasalle. Ajantasaista PI-kaaviota pystytään käyttämään hyödyksi tulevaisuuden suunnittelussa, kun laitokselle tehdään muutoksia. Se on myös tärkeä työkalu mahdollisia erotuksia ajatellen, jotta työnalle tuleva prosessin osa osataan erottaa turvallisesti. PI-kaavion avulla pystytään näkemään helposti, miten prosessin on suunniteltu toimivan. Kuvassa 4. näkyy sama PI-kaavion osa kuin kuvassa 3., mutta päivitettyillä muutoksilla.

Kuva 4. Päivitetty PI-kaavion osa



PI-kaavion päivityksen jälkeen tein instrumentoinnin laitelistauksen kaikista automaatiojärjestelmään liitetyistä laitteista. Ylös on merkattu myös mitä tietoja ja ohjauksia laitteesta on liitetty ja tullaan liittämään uuteen automaatiojärjestelmään.

Yksi isompi lisäys automaatiojärjestelmään mitä aikaisemmin ei ole automaatiojärjestelmässä ollut, on pihalla olevan kaukolämpökaivon sulkuventtiilit, joita on kuusi kappaletta. Aikaisemmin niitä ei ollut liitetty automaatioon, vaan niillä oli ainoastaan paikallisohjaus. Jatkossa näiden ohjaus on laitoksen automaatiojärjestelmässä. Kuvassa 5. on ote laitoksen instrumentoinnin laitelistauksesta.

Kuva 5. Ote instrumentoinnin laitelistauksesta.

Positio	Lisätietoja	Mitä tietoja	DI	DO	AI	AO
PU01	KJ Pumppu 1	käy, häiriö, käyntiin, nopeus ja nopeusohje	2	1	1	1
PU02	KJ Pumppu 2	käy, häiriö, käyntiin, nopeus ja nopeusohje	2	1	1	1
PU05	JK02 KJ Pumppu	käy, häiriö	2			
PU06	JK02 Glykoli Pumppu	käy, häiriö	2			
PU07	JK03 KJ Pumppu	käy, häiriö	2			
PU08	JK03 Glykoli Pumppu	käy, häiriö	2			
PU09	JK04 KJ Pumppu	käy, häiriö	2			
PU10	JK04 Glykoli Pumppu	käy, häiriö	2			
PU11	KL Paluu S02 Vaihtimelle	käy, häiriö, käyntiin ja nopeusohje	2	1		1
PU12	S02 Glykolipiirin pumppu	käy, häiriö, käyntiin ja nopeusohje	2	1		1

7.1 Jäähdytyskoneiden ohjaus

Carrierin jäähdytyskoneiden ohjaus tullaan toteuttamaan käyntilupaperiaatteella langoitettuna. Automaation ohjaaman releen kärki on kaapeloitu jäähdytyskoneen käyntilupatietoon, joka ohjaa jäähdytyskoneen päälle ja pois. Hälytykset langoitetaan automaatiojärjestelmään myös A- ja B -piireistä.

Asetusarvo asetellaan jäähdytyskoneen Pro-Dialog -ohjaimesta. Mittaustietoihin ja asetusarvon asetukseen automaatiojärjestelmästä olen suunnitellut varauksen Modbus-tiedonsiirrolle, mutta se ei ole välttämätön prosessin kannalta, vaikka se tuokin lisää dataa jäähdytyskoneesta automaatiojärjestelmään. Tämä vaatii jäähdytyskoneeseen Modbus-lisäkortin asentamisen BACnet-kortin tilalle sekä sen ohjelmoinnin.

7.2 I/O Laskenta ja mittapisteet

Laitekannan pohjalta pystyin laskemaan laitoksella tarvittavan I/O-määrän. Digitaalituloja oli yhteensä 112, digitaalilähtöjä 64, analogia tuloja oli 99, joista 43 oli mA/VDC-tuloja ja 46 NTC -vastuksilla toteutettuja lämpötilamittauksia. Analogialähtöjä, mA/VDC oli yhteensä 36 kappaletta. I/O-määrän perusteella suunnittelin logiikan ja I/O-korttien kokoonpanon siten, että noin 10 % tuloista jäisi varalle. Edullisimman ja toimivan kokoonpanon sain koottua niin, että NTC-vastuslämpötila-antureita varten asennetaan oma Wago Modbus TCP I/O, johon löytyy kohtuuhintaisia NTC-vastuksille tarkoitettuja tulokortteja. ABB 700F -sarjan logiikassa ei ole NTC-vastustuloille soveltuvaa I/O-korttia, mikä vaatisi erillisten muuntimien käyttöä jokaisessa mittauksessa. Sekään ei olisi ollut järkevä vaihtoehto. Lopuille I/O:ille suunnittelin ABB:n logiikasta I/O-kortit. Lähes kaikkia ABB:n I/O-korttien DO-lähtöjä voidaan käyttää myös digitaalituloina, mikä

auttaa ja antaa mahdollisuuksia suunnitteluun. Kuvassa 6. esittelen I/O-laskentaa ABB:n logiikan I/O-korttien kanssa.

Kuva 6. I/O-laskennasta ote

Tarvittava I-O Määrä:		DI	DO	AI	AO
Yhteensä		112	64	43	36
1.	AX722F			8	8
2.	AX722F			8	8
3.	AX722F			8	8
4.	AX722F			8	8
5.	AX722F			8	8
6.	AI723F			16	
7.	DI724F	32			
8.	DC732F	16	16		
9.	DC705F	8	8		
10.	DC732F	16	16		
11.	DC732F	16	16		
12.	DC732F	16	16		
13.	DC732F	16	16		
Yhteensä		120	88	56	40
Jää vapaaksi		8	24	13	4

Kuvassa 7. on Wago etä-I/O:n tulokorttien laskentaa korttityypeittäin sisältäen tarvittavat Wago:n etä-I/O:n kortit ja koplerin. Wagon NTC -tulokortissa on aina neljä kappaletta ohjelmoitavia NTC-vastustuloja. Tulojen mitta-alue voidaan skaalata halutulle tarkkuudelle.

Kuva 7. Wago etä-I/O:n laskelma

NTC Termistori tulot	46			
			Wago I/O	750-464/020-000, 12kpl kortteja
Termistori tuloja	48	Kopleri	750-362	1kpl
Termistori tuloja	2	Virtalähde kortti	750-602	1kpl
		4 NTC tuloa kortissa	750-464/020-000	12kpl
		Päätymoduuli	750-600	1kpl

7.3 Logiikan suunnittelu

Saatuani laskettua tarvittavan I/O:n määrän korttityypeittäin, pääsin suunnittelemaan ABB:n logiikan tulevaa layout-pohjaa, jota esittelen kuvassa 8. paremmin. Logiikan layout on jaettu kahteen osaan. Ensimmäisessä osassa on suoraan prosessiasemassa kiinni olevat I/O-kortit. Toisessa osassa on Profibus-väylän perässä olevat I/O-kortit. I/O-korttien layoutissa on otettu huomioon myös logiikan ohjelmoinnin näkökanta. Logiikan ohjelmoinnin kannalta on parempi, että analogiakortit on sijoitettu heti prosessiaseman yhteyteen, jolloin säästytään analogiasignaalien skaalaukselta, mitä puolestaan tarvitaan Profibus-väylän perässä oleville analogiasignaaleille.

Wago:n I/O-korttien layout oli helpompi tehdä, kun I/O-korttien järjestyksellä ei ole väliä. Layoutista nähdään, että ennen I/O-kortteja tarvitaan ensimmäiseksi kortiksi Modbus-kommunikointiin soveltuva kopleri, jonka jälkeen seuraavana on tehohdekortti, minkä kautta Modbuskopleri ja I/O-kortit saavat apujännitteensä. I/O-korttien jälkeen tarvitaan vain päätymoduuli, joka päättää korttien signaaliväylän ja apujännitesyötön. Kuvassa 9. on esillä Wago:n etä-I/O:n layoutin kokonaisuus.

Kuva 8. ABB:n Layout

LAYOUT Logiikka									Profibus kortit				
PS1	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	M0	M1	M2	M3	M4
PM783F	AX722F	AX722F	AX722F	AX722F	AX722F	AI723F	DI724F	DC732F	DC705F	DC732F	DC732F	DC732F	DC732F
CI722F													
Profibus laajennus kortti													

Kuva 9. Wago:n Layout

Wago Layout		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
750-362	750-602	750-464	750-464	750-464	750-464	750-464	750-464	750-464	750-464	750-464	750-464	750-464	750-464	750-600
Modbus Kopleri	Teholähde	4 kanavainen	-. -.	-. -.	-. -.	-. -.	-. -.	-. -.	-. -.	-. -.	-. -.	-. -.	-. -.	Päätymoduuli
		NTC Vastussensori kortti												

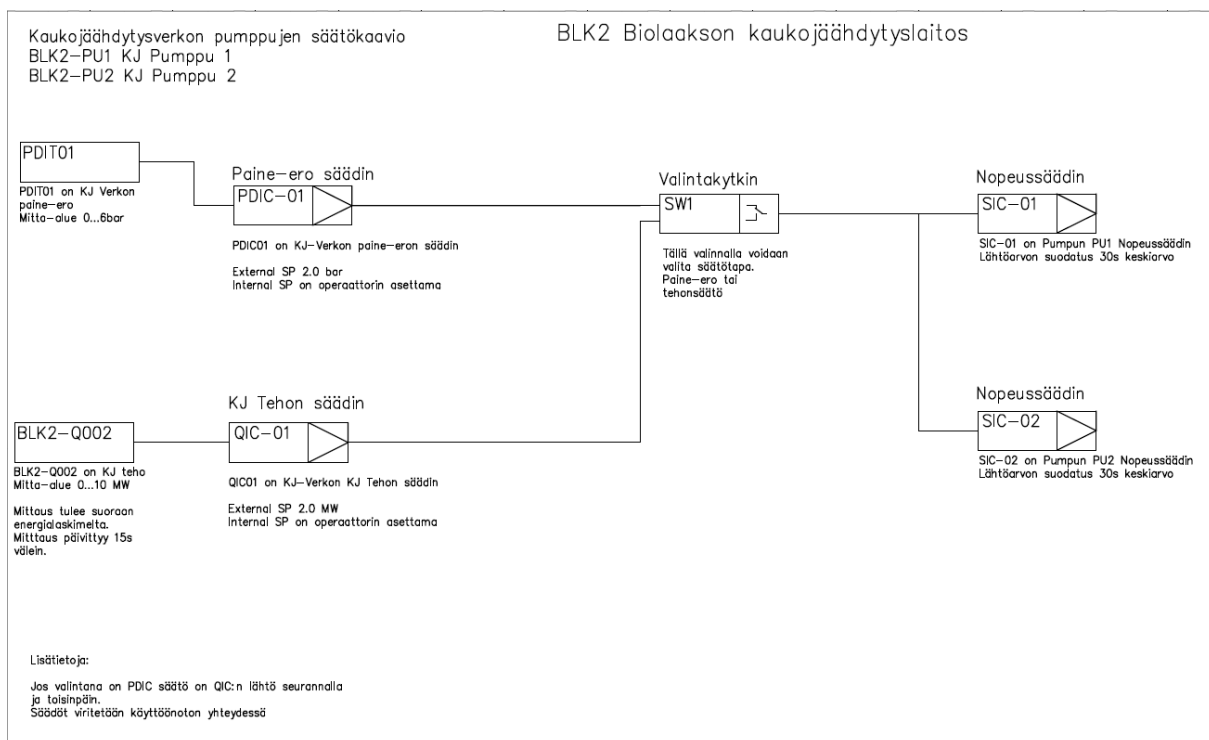
7.4 Säättökaaviot

Suunnittelin jokaiselle säätöpiirille säätökaaviot erikseen. Kuvassa 10. on esimerkki kaukojäähdytyspumppujen säätökaaviosta, jonka mukaan jatkossa ohjataan laitoksen

kaukojäähdytyspumppuja. Sääntökaavio toimii samalla myös säätöpiirin toimintakuvauksena, jossa kuvataan säätöpiiriin tulevat mittaukset ja ohjaukset, joiden perusteella prosessia säädetään ja seurataan.

Säätöpiirien toimintakuvauksia tehdessä tein sääntökaaviopohjan, jonka hyväksytin tilaajalla. Sääntökaaviossa on kuvattu mm. asetusarvojen määrittelyt, lähdön suodatukset sekä säätöjen valinnat. Alasäädöt, jotka ohjaavat itse laitetta, kuten nopeussäätimet on myös kuvattu sääntökaaviossa.

Kuva 10. Ote kaukojäähdytyspumppujen PU1- ja PU2 -sääntökaaviosta



Jokaisesta säätöpiiristä tehtiin toimintakuvaus. Se sisältää piirin toimintatavan selostuksen, hälytykset, käytetyt mittaukset ja niiden alueet sekä mahdolliset erikoistoiminnot.

Toimintakuvauksessa kuvataan piiriin tulevien mittauksien tiedot, kuten millä laitteella prosessia ohjataan, jotta saataisiin mittaussignaali haluttuun asetusarvoon säätämällä esimerkiksi venttiiliä.

Kuvassa 11. on yhden säätöpiirin toimintakuvaus.

Kuva 11. Säättöpiirin toimintakuvaus

JK02-TIC-01**JK02 Lauhdutuslämpötilan säätö****Toimintatapa:**

- Piirissä mitataan JK02 Glycolin menolämpötilaa TE2.5
- Säättää JK02 Glycolin menolämpöä TE2.5
- Ohjaa PU06:tä lähdön mukaan seuraavasti: 0 -33 % = PU06 20 %-100 %
- Ohjaa TV14:sta lähdön seuraavasti: 33 %-66 % = TV14 20 %-100 %
- Jos TV14 lähtö yli 95 % käynnistä LJ03 ja LJ04
- Ohjaa LJ03:sta lähdön mukaan seuraavasti: 66 %-100 % = LJ03 20 %-100 %
- Ohjaa LJ04:sta lähdön mukaan seuraavasti: 66 %-100 % = LJ04 20 %-100 %
- Mitta-alue TE2.5 0...50 C
- Ulkoinen asetusarvo 25 C

Hälytykset:

- Mittauspiirivika
- Mittaus >H
- Mittaus <L

Mittaukset:

- TE2.5 JK02 Glycolin menolämpötila

Toimintakuvaus:

Säädetään JK lauhdutuslämpöä ja käynnistetään lauhduttimen puhaltimet, kun TV14:sta lähtö ylittää 95 %

Erikoistoiminnot:

- Jos pumppu PU06 ei käy ohjataan lähtö 0 %

8 Yhteenveto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä toteutussuunnitelma Biolaakson kaukojäähdytyskeskuksen prosessiautomaatiojärjestelmän päivityksestä. Tutustuessani laitoksesta olevaan dokumentaatioon huomasin, että siinä on paljon puutteita. Järjestelmällisesti kävin osaluokse kerrallaan laitosta ja prosessia läpi ja sain päivitettyä laitoksesta olevan PI-kaavion ajan tasalle. Päivitetyn PI-kaavion kanssa oli helpompi lähteä luomaan laitoksesta automaation laitelistausta.

Myös automaatiojärjestelmässä oli puutteita. Pihalla olevan kaukolämpökaivon sulkuventtiileitä ei ollut liitetty automaatiojärjestelmään, vaikka niiden toiminta ja tämänhetkinen asento on hyvin oleellista laitoksen prosessien oikean toiminnan varmistamiseksi. Tämä puute korjataan automaation päivityksen yhteydessä.

Säätökaaviot ja toimintakuvaukset ovat tärkeitä automaatiojärjestelmän ohjelmoinnin ja laitoksen tulevan operoinnin kannalta. Säätökaavioista saadaan laitoksen operaattoreille selkeä kuva, miten laitoksen on tarkoitettu toimivan ja mikä säätö vaikuttaa mihinkin laitteeseen.

Kokonaisuudessaan opinnäytetyön aihe oli todella mielenkiintoinen. Työssä tutustuttiin kaukolämmön teorian kautta kaukojäähdytykseen ja sen toimintaperiaatteisiin. Teoriaan tutustuminen näin laajasti toi minulle laajemman näkökulman aiheeseen ja katsauksen kaukojäähdytyksen ja kaukolämmön teoriaan.

Jäähdytysprosesseista tiesin ennen opinnäytetyötä vain peruseriaatteita. Työssä kävin läpi eri jäähdytystekniikoita, joita voidaan käyttää hyväksi kaukojäähdytyksen tuotannossa ja se oli aika valaisevaa, kuinka paljon eri tuotantovaihtoehtoja kaukojäähdytyksen tarvitsemalle jäähdytysenergialle on unohtamatta sivutuotteina syntyvää jäähdytysenergiaa.

Säätöpiirien perusteet olivat minulle selviä jo ennen työtä, mutta tähänkin aiheeseen syntyi itselle aikaisempaa laajempi näkökanta. Alkuperäinen tavoite toteutusvalmiista automaation uudistussuunnitelmasta toteutui hyvin.

Lähteet

ABB. (2021). *ABB Freelance DCS Product catalog*. Noudettu osoitteesta

<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3BDD015188&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>

Aittomäki, E. A. (2012). *Kylmäteknikka*. Helsinki: Suomen Kylmäyhdistys ry.

Carrier. (2021). *30HC375 product sheet*. Noudettu osoitteesta <https://www.carrier.com/marine-offshore/en/worldwide/products/chillers/30hxc/>

Hakala, P. H. (2007). *Kylmälaitoksen suunnittelu*. Jyväskylä: Opetushallitus.

Harju, T.; & Marttinen, A. (2000). *Säätötekniikan koulutusmateriaali pid kirja 1-1*. Control Cad.

Noudettu osoitteesta https://www.automaatioseura.fi/site/assets/files/1426/pid_kirja_1-1.pdf

Kippo Asko, T. A. (2008). *Automaatiotekniikan perusteet*. Helsinki: Edita Prima Oy.

Koskelainen, L. S. (2006). *Kaukolämmön käsikirja*. Helsinki: Energiateollisuus ry.

Savolainen Jari, V. R. (2007). *Säätötekniikan perusteita*. Helsinki: Hakapaino Oy.

Trane . (2016). *Trane RTAC 400 Product catalog*. Noudettu osoitteesta

<https://www.tranehk.com/files/Products/RLC-PRC039C-EN.pdf>

Turku Energia Oy. (2020). *Kaukojäähdytys 20 vuotta Turussa artikkeli*. Noudettu osoitteesta

<https://www.turkuenergia.fi/uutiset/kaukojaahdytys-20-vuotta/?highlight=kaukoj%C3%A4%C3%A4hdytys>

Turku Energia Oy. (2021). *Viilleää ja ekologista*. Noudettu osoitteesta

<https://www.turkuenergia.fi/valopilkku/artikkeli/viileaa-ja-ekologista/>

Turun Seudun Energiantuotanto Oy. (2021). *Laitosten operointi*. Noudettu osoitteesta

<https://www.tset.fi/tuotanto-ja-operointi/laitosten-operointi/>

Valor Partners Oy / Energiateollisuus. (2016). *Suuret lämpöpumput kaukolämpöjärjestelmissä*.

Noudettu osoitteesta

https://energia.fi/files/993/Suuret_lampopumput_kaukolampojarjestelmassa_Loppuraportti_290816_paivitetty.pdf