

Kaukolämpövoimalan automaation selvitys ja kehittäminen



Ammattikorkeakoulututkinto opinnäytetyö
Sähkö- ja automaatiotekniikka, insinööri (AMK)

Kevät 2022

Oskari Laine

Tämä raportti käsittelee Valkeakosken Radanvarsitiellä sijaitsevaa kaukolämpökeskusta ja sen automaatiota. Voimala on Valkeakosken Energian käyttämä kaupungin kaukolämpöverkon varalaitos. Valkeakosken Energia toimi myös tämän opinnäytetyön tilaajana. Päättävöitteena oli tehdä selvitys keskuksen automaation nykytilasta, jota hyödyntäen Valkeakosken Energia voisi lähteä tekemään tarjouspyyntöä voimalan automaation uusimisesta.

Raportissa käsitellään teoriaa monilla osa-alueilla opinnäytetyön aiheeseen liittyen. Kaukolämmöstä kerrotaan yleisesti kiinteistöjen lämmitysmuotona ja tarkemmin, kuinka kaukolämpö on toteutettu Valkeakoskella ja minkä suuruista sen tuotanto on. Kaukolämpökeskusten toimintaa avataan selittämällä kaukolämpökattiloiden toimintaa ja kaukolämpökeskusten pumppujen käyttöä. Automaatio-ohjauksesta kertovassa osiossa selitetään PLC-ohjainten ja yksikkösäädinten toimintaa, kuvataan teoriaa automaation I/O-prosessoinnista ja kerrotaan automaatio-ohjelmoinnin menetelmistä. Mittaustekniikan osiossa esitellään joitakin menetelmiä lämpötilan, paineen, pinnankorkeuden ja virtauksen mittauksille.

Voimalan automaation nykytilaa käsitellään kappaleessa 5, jossa on tehty kuvaus voimalan automaatiokeskuksesta ja sen komponenteista ja luotu toimintakuvaus jokaisesta lämpökeskuksen yksikkösäädinten säätöpiiristä, joka liittyy olennaisesti liitteestä 2 löytyvään voimalan I/O-luetteloon. Radanvarsitien voimalaa on kuvattu myös yleisellä tasolla. Asioita, joita tästä raportista löytyy automaation lisäksi ovat esimerkiksi tiedot voimalan käyttötavasta ja käytön yleisyydestä ja tieto siitä, millä tavoin ja minkä perusteella käyttäjä säätelee prosessia. Lopuksi esitetään huomioita ja pohdintaa selvitystyöhön liittyen. Opinnäytetyön tuloksia ovat voimalan ja sen automaation kuvaukset sekä prosessin I/O-luettelo.

Avainsanat I/O, kaukolämpö, lämpökeskus, yksikkösäädin

Sivut 36 sivua ja liitteitä 2 sivua

This report concerns the function and automation of a district heating plant located at Radanvarsitie in Valkeakoski. The plant is used by Valkeakosken Energia as a backup thermal power plant for the city's district heating network. Valkeakosken Energia was also the commissioner of this thesis. The main objective was to complete a survey regarding the current state of the plant's automation which Valkeakosken Energia could utilize in making offer requests for the automation system's renovation.

The report goes over theory in multiple fields in relation to the thesis subject. District heating is examined both broadly as a form of heating as well as its implementation and scale in Valkeakoski. Regarding the functioning of district heating plants, the operating principles of district heating boilers and pumps are discussed in the thesis. The chapter regarding automation control deals with topics such as PLC-controllers, unit controllers, I/O-processing and the methods of automation programming. The chapter on measurement technology covers some methods of measuring temperature, pressure, level and flow.

The current state of the plant's automation is discussed in chapter 5. This chapter includes descriptions of the plant's automation control center and its components. Also included are functional descriptions of the process's control circuits which closely relate to the I/O-list found in A-2. Chapter 5 also includes more general information regarding the operation of the district heating plant. Included is among other things, information on the way the plant is used and how often as well as what the controlling of the process is based on. Finally in the report there are observations and reflection regarding the survey itself. The results of this thesis are the descriptions of the plant and its automation and the process's I/O-list.

Keywords District heating, district heating plant, I/O, unit controller

Pages 36 pages and appendices 2 pages

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Kaukolämpö	2
2.1	Kaukolämpö Valkeakoskella	4
2.2	Lämpökeskuksen toiminta	6
3	Automaation ohjaus	10
3.1	PLC-ohjaimet	10
3.2	Yksikkösäätimet	11
3.3	I/O-prosessointi	12
3.4	Automaatio-ohjelmointi	13
4	Mittaustekniikka	16
4.1	Lämpötilan mittaus	16
4.2	Paineen mittaus	20
4.3	Pinnankorkeuden mittaus	22
4.4	Virtausmittaus	24
5	Radanvarsitien voimala ja sen automaatio	27
5.1	Yksikkösäätimien säätöpiirien toiminta ja I/O-tiedot	29
5.2	Valvonnan mittaukset ja hälytykset	32
5.3	Automaation kehittäminen	34
6	Pohdintaa ja huomioita	36
	Lähteet	37

Liitteet

Liite 1	Keskuslayout-kuvat
Liite 2	I/O-luettelo

1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö käsittelee Valkeakosken Energian Radanvarsitien kaukolämpökeskuksesta tehtyä selvitystyötä. Työn tavoitteena oli kartoittaa voimalan automaatioastetta ja tehdä tilaajalle selvitys automaation nykytilasta, jota hyödyntäen automaation uusimisesta voidaan lähteä tekemään tilauspyyntöä. Lisäksi raportissa on esitetty ehdotuksia automaation uusimisesta.

Työn tilaaja Valkeakosken Energia Oy on vuonna 1995 perustettu Valkeakosken kaupungin omistama energiayhtiö. Yhtiö toimittaa asiakkailleen markkinasähkön ja sähkösopimusten lisäksi kaukolämpöä ja maakaasua. Opinnäytetyön kohteena ollut lämpökeskus toimii varalaitoksena kaupungin kaukolämpöverkolle, jos riittävää lämmitystehoa ei pystytä tuottamaan tavallisilla tuotantomenetelmillä.

Raportissa käsitellään selvitystyöhön liittyvää teoreettista taustaa kaukolämpöön ja kaukolämpökeskuksiin, automaation ohjaukseen ja mittaustekniikkaan liittyen. Tätä teoreettista taustaa hyödyntäen on kirjoitettu selvitys voimalan automaatiosta, jossa tehdään selonteko voimalaa ohjaavasta automaatiokeskuksesta ja sen komponenteista. Erityisen paljon on keskitytty voimalan yksikkösäädinten säätöpiirien toiminnallisiin kuvauksiin ja prosessin I/O-listan kartoittamiseen. Kappaleessa 5.3 tehdään myös ehdotuksia voimalan automaation uusimiseen liittyvistä toimista ja viimeisessä kappaleessa esitetään huomioita ja pohdintaa itse selvitystyöstä.

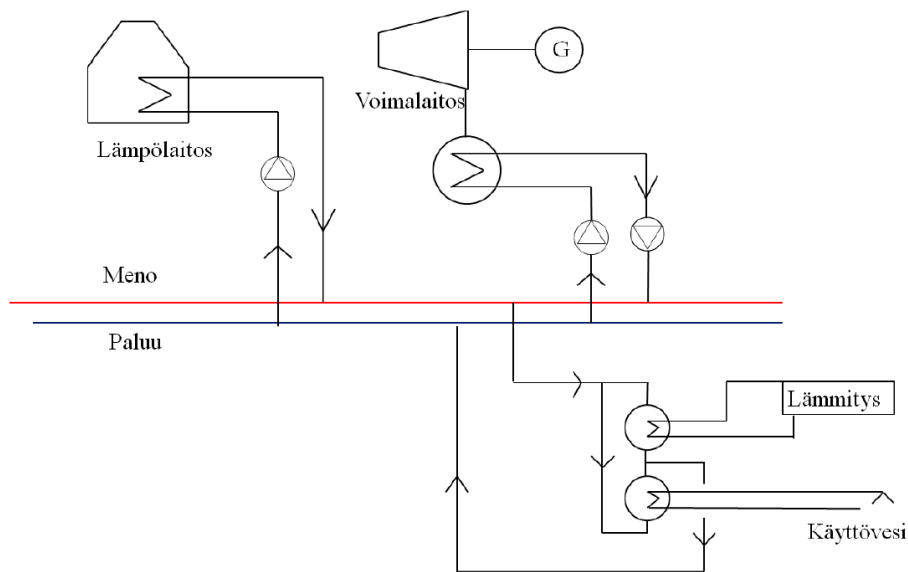
2 Kaukolämpö

Kaukolämpö on Suomen kaupungeissa yleisimmin käytetty lämmitysmuoto ja kaukolämpöverkko löytyy 166 suomalaisesta kunnasta (Motiva,2019). Kaukolämpöä tuottaa tavallisesti erillinen lämpökeskus tai sähköä ja lämpöä tuottava yhteistuotantolaitos, jossa sähköntuotannosta syntyvä turbiinien hukkalämpö otetaan talteen. Suomi on maailmanlaajuisesti sähkön ja lämmön yhteistuotannon johtava maa, sillä lähes 80 % suomalaisesta kaukolämmöstä tuotetaan yhteistuotantoon perustuvissa laitoksissa. Siinä missä EU:ssa sähkön ja lämmön tuotanto kattaa 10 % sähkön tuotannosta, Suomessa kolmasosa sähköstä tuotetaan yhteistuotannossa. Tämä on maailman suurin maakohtainen markkinaosuus yhteistuotantosähkölle ja -lämmölle. (Koskelainen ym., 2006, s.27)

Lämpö siirtyy asiakkaalle laitoksista kaksiputkisessa kaukolämpöverkossa kiertävän lämmitysveden mukana. Verkon menoputkessa virtaa kuumaa vettä, joka luovuttaa lämpönsä asiakkaalle asunnon lämmönsiirtimeen kautta ja palaa jäähtyneenä paluuputken välityksellä takaisin tuotantolaitokselle uudelleen lämmitettäväksi. Tyypillisesti kaukolämmityksen asiakkaita ovat asuintalot, teollisuus, liikerakennukset ja julkiset rakennukset. Kaukolämpöjohdot asennetaan tavallisesti 0,5–1,5 m syvyyteen ja lämpöeristetään tehokkaasti. Johdoissa kiertävän veden lämpöhäviöt riippuvat paljolti kunnan koosta. Yleisesti ottaen kaukolämmitys on taloudellisesti kannattavampaa tiheimmin rakennetuissa alueissa, joissa myös rakennukset ovat isompia. (Energiateollisuus, n.d.)

Vesikaukolämpöjärjestelmän kokonaisuus koostuu siis lämpöä tuottavista laitoksista, lämpöä siirtävästä putkistosta eli kaukolämpöverkosta sekä lämmön vastaanottoon ja jakeluun tarvittavista asiakkaan laitteista. Kaukolämpövesi saadaan kiertämään verkossa lämmityslaitosten pumppujen avulla. Vesi lämmitetään voimalaitosten lämmönsiirtimissä tai lämmityslaitosten kattiloissa ja jäähdytetään asiakkaiden lämmönsiirtimissä tai lämmönkulutuskojeissa, joista se palaa taas tuotantolaitoksille uudestaan lämmitettäväksi kuvan 1 mukaisesti. (Koskelainen ym., 2006, s.43)

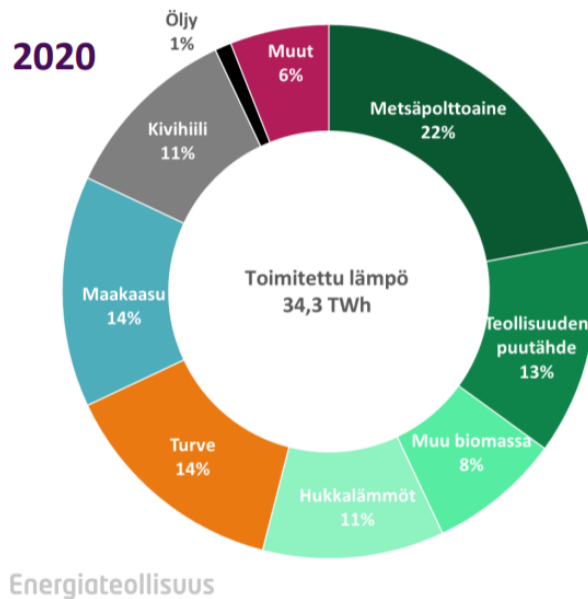
Kuva 1. Kaukolämmityksen periaatekuva (Laaksonen, 2018).



Kaukolämmön tuotannon pääasiallisia polttoaineita Suomessa ovat puu ja biomassa, hukkalämmöt, turve, maakaasu ja kivihiili. Öljyä käytetään lähinnä varapolttaineena kovien pakkasten aikoina. Vuonna 2020 yli puolet Suomen kaukolämmön tuotannon polttoaineista olivat uusiutuvista energianlähteistä (Kuva 2). Lisäksi kivihiilen käyttö Suomen energiantuotannossa loppuu vuoteen 2029 mennessä, tehden kaukolämmön tuotannosta entisestään uusiutuvampaa. (Motiva, 2019)

Kaukolämmityksen hyötyjä ovat sen energiatehokkuus ja ympäristöystävällisyys, käyttövarmuus sekä helppokäyttöisyys. Lisäksi kaukolämmön tuotanto voidaan helposti jakaa eri tuotantomuotojen kesken. Toisaalta kaukolämmityksessä investoinnit ovat suuria ja niiden takaisinmaksuajat ovat pitkiä. Lisäksi suuret kulutusvaihtelut vuodenajan mukaan, siirtohäviöt ja huono soveltuvuus harvaan asutetuille alueille ovat ongelmia kaukolämmityksen käytössä (Koskelainen ym., 2006, s.25).

Kuva 2. Kaukolämpö tuotantomuodoittain (Energiateollisuus, 2021).

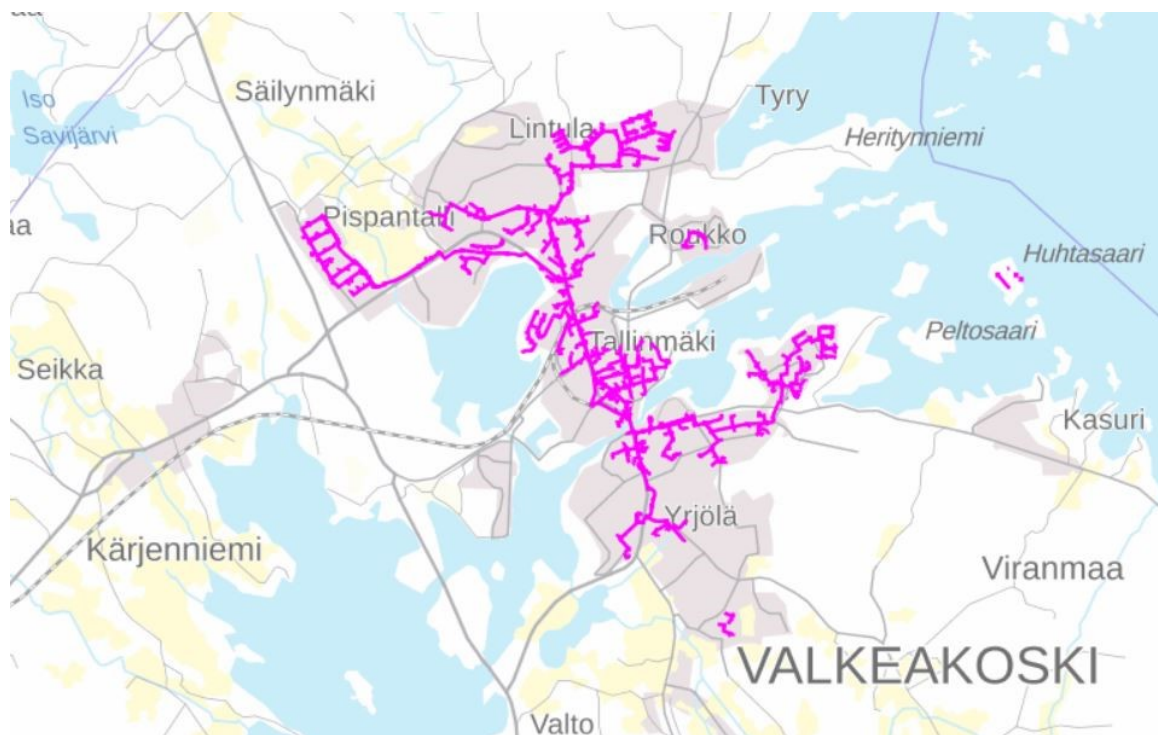


2.1 Kaukolämpö Valkeakoskella

Kaukolämmön myynti Valkeakoskella on alkanut vuonna 1976 ja kaukolämmön ja sähkön yhteistuotanto on aloitettu vuonna 1999. Valkeakosken Energian myymä kaukolämpö tulee suurimmaksi osaksi UPM Oyj:n Tervasaaren tehtaalta. Tervasaassa tuotetulla lämmöllä katetaan keskustan kaukolämpöverkko, kun taas kahdessa erillisessä lämpöverkossa kaukolämmön tuotanto toteutetaan biolämpölaitoksissa, joissa polttoaineina toimivat puupelletit. Valkeakosken kaukolämpöverkko on johtojensa pituudelta 59,7 km (Energiateollisuus, 2022) ja kattaa lähes koko kaupungin alueen (Kuva 3). Vuonna 2020 Valkeakoskella kaukolämmön asiakkaana olleiden talojen asukasluku oli 16 480. Näin ollen kaupungin 20 765 asukaslukuun verrattuna 79 % kaupungin väestöstä asui kaukolämmitetyissä taloissa.

Opinnäytetyön kohteena ollut lämpökeskus on kaupungin kaukolämpöverkon varakäyttöön tarkoitettu laitos, jota käytetään ensisijaisten lämpövoiman lähteiden tuotannon tauotessa. Tässä opinnäytetyössä käsitellyn maakaasukäyttöisen lämpövoimalan lisäksi kaukolämmön tuotanto on myös turvattu toisella maakaasukäyttöisellä voimalalla ja useilla öljynpoltolla toimivilla lämpökeskuksilla (Valkeakosken energia, n.d.). Energiateollisuuden tilastojen (Energiateollisuus, 2022) mukaan Valkeakosken lämmitysvoimalaitokset, lämpökeskukset ja siirrettävät lämpökeskukset ovat lämpöteholtaan yhteensä 89,0 MW. Vuonna 2020 Valkeakoskella kaukolämmön hankinta oli tilastoissa yhteensä 115,1 GWh, josta 111,4 GWh oli UPM:n tehtaalta ostettua lämpöä ja loput 3,7 GWh oli polttoaineilla tuotettua. Lämmön erillistuotannon polttoaineena olivat puupelletit ja -brikitit. Hankitusta kaukolämmöstä 100,3 GWh saatiin käyttöön ja verkkohäviöt kattoivat 14,8 GWh.

Kuva 3. Kaukolämmön saatavuuskartta Valkeakoskella (Valkeakosken karttapalvelu, n.d.).

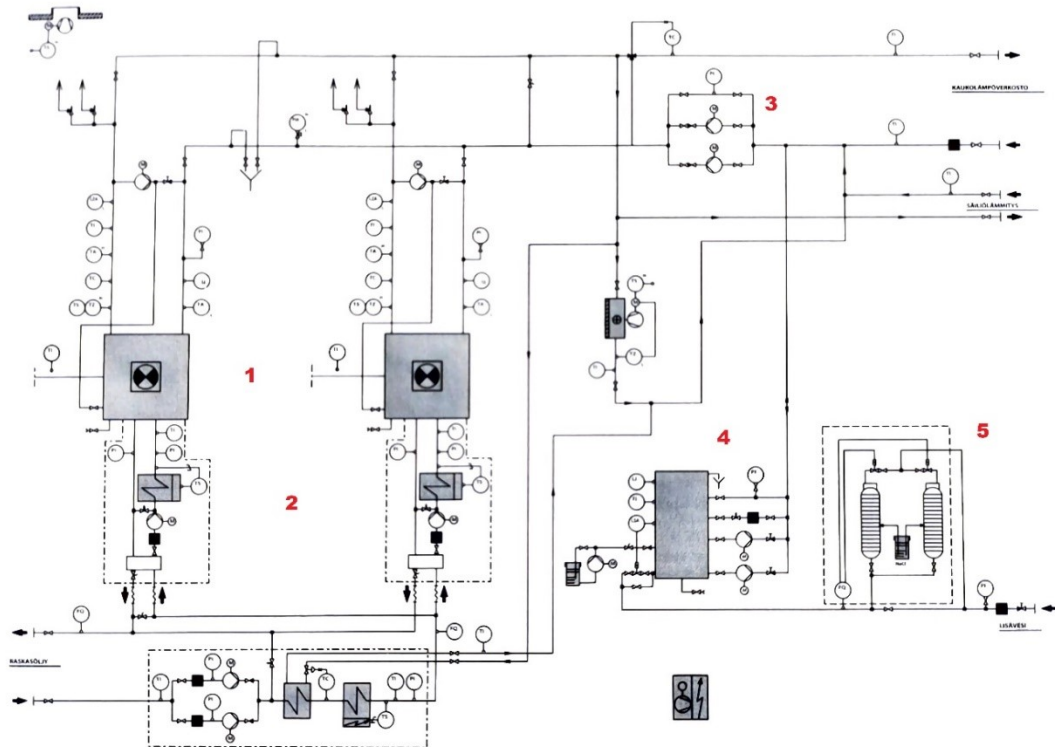


2.2 Lämpökeskuksen toiminta

Lämpökeskus on kaukolämpöverkolle lämpöä tuottava voimalaitos. Lämpökeskuksen kokonaisuus koostuu polttoaineen ja tuhkan käsittelylaitteista, polttolaitteista, kattiloista, pumpuista, putkista, apulaitteista, savukaasujen puhdistuslaitteista sekä sähkö- ja automaatiolaitteista (Koskelainen ym., 2006, s.47). Lämpökeskuksissa polttoaineista saatu lämpö siirretään veteen tai höyryyn yleensä noin 85–93 % tehokkuudella, jossa suurimmat häviöt ovat happipitoisuudesta ja loppulämpötilasta riippuvat savukaasuhäviöt. Kuvassa 4 näkyy esimerkki öljykäyttöisen lämpökeskuksen kytkentäkaaviosta, johon on numeroitu seuraavia laitoksen pääkomponentteja:

1. Kaukolämpökattilat
2. Kattiloiden kaasu- tai öljypolttimet (kuvassa öljy)
3. Kaukolämpöveden kiertopumput
4. Lisävesisäiliö
5. Lisäveden käsittelylaitteet

Kuva 4. Öljykäyttöisen lämpökeskuksen kytkentäkaavio (Huhtinen ym., 2008, s.15).



Lämpökeskusten erilaisia kattilatyyppejä ovat kiinteän polttoaineen kattilat, siirrettävät ja tehdasvalmisteiset kattilalaitokset sekä kiinteät kattilalaitokset, jollaista tämä opinnäytetyö käsittelee. Tämän opinnäytetyön aiheena ollut keskus käyttää Tulitorvi-tuliputkikattilaa (Kuva 5). Tulitorvi-tuliputkikattilassa savukaasut kulkevat tulitorvessa ja tuliputkien sisäpuolella, luovuttaen lämpöä kaukolämpövedelle. Yhdessä kattilassa voi olla yksi tai kaksi tulitorvea ja tehot ovat yleisesti ottaen enintään 15 MW ja paine alle 20 bar. Tätä tehokkaammat kattilat ovat tyypiltään vesiputkikattiloita, joka on toinen kiinteissä kattilalaitoksissa käytettävistä kattilatyypeistä. (Koskelainen ym., 2006, s.282)

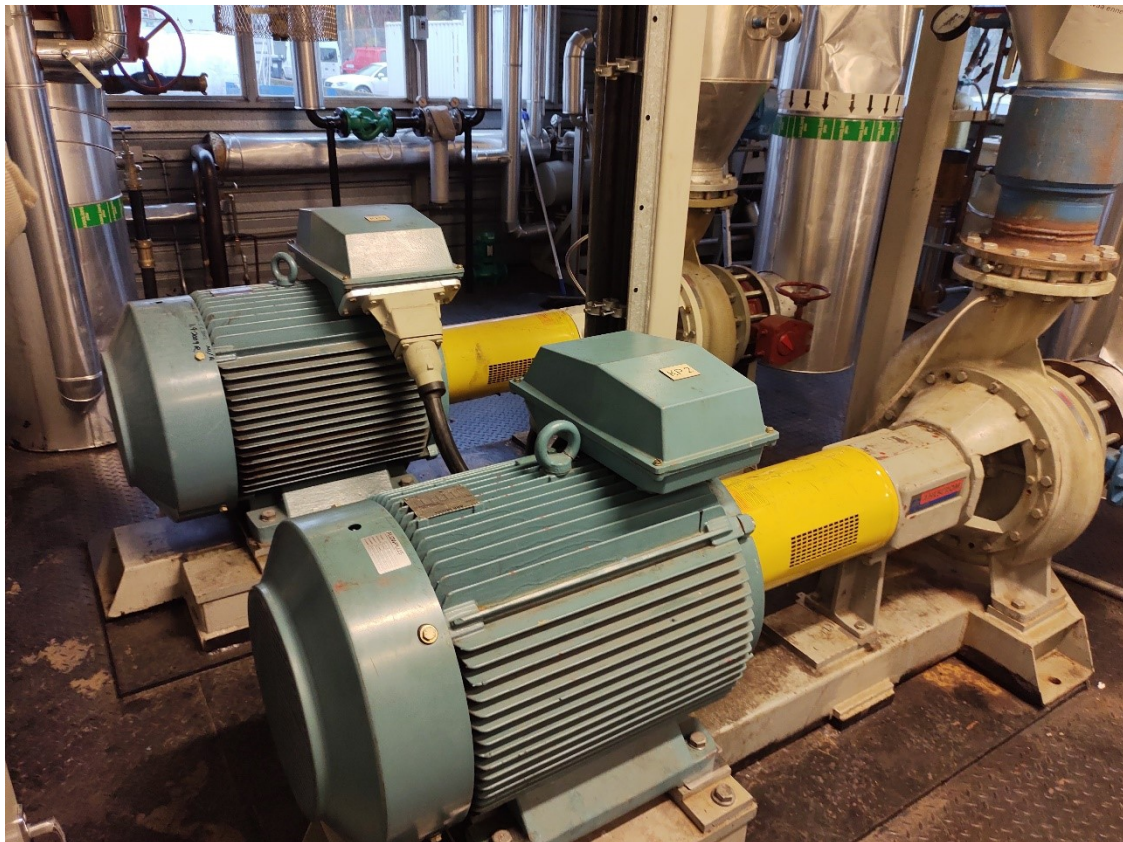
Kuva 5. Tuliputkikattila Radanvarsitien lämpökeskuksessa.



Kaukolämpökeskuksen pumppaamo toimittaa kaukolämpöveden verkkoon ja säätelee paine-eroa. Kaukolämpöpumppuina käytetään yleensä keskipakopumppuja (Kuva 6) (Koskelainen ym., 2006, s.175). Paine-ero säädetään tarpeeksi suureksi, että jokaisella asiakkaalla on tarpeeksi paine-eroa veden kierrättämiseen lämmönsiirtimissä. Toisaalta liian suuri paine-ero johtaa meluhaittoihin ja sähköenergian tarpeettomaan kulutukseen pumppuja käytettäessä. Verkon kiertoveden kokonaismäärä on viime kädessä riippuvainen, siitä miten asiakkaat säätelevät järjestelmiensä säätöventtiilejä.

Painetason säätely pitää myös verkon aina täynnä vettä ja pitää verkon ilmanpainetta korkeampana, ettei vesi voi höyrystyä. Veden höyrystyminen voi olla hyvin vaarallista. Jos putkistossa alipaine pääsee laskemaan veden kyllästymispaineen alapuolelle, aiheutuu höyrystyminen. Tällöin keskipaineen nostaminen aiheuttaa höyryn äkillisen lauhtumisen vedeksi ja syntyy vesi-isku, joka voi rikkoa laitteita etäälläkin. (Koskelainen ym., 2006, s.335)

Kuva 6. Kaukolämpöpumput Radanvarsitien voimalassa.



Kaukolämpöverkkoon syötettävä teho on riippuvainen kaukolämpöveden virtausmäärästä sekä meno- ja paluuveden lämpötilaerosta. Menovedelle säädettävä lämpötila on puolestaan riippuvainen ulkolämpötilasta. Jos menoveden lämpötila on liian suuri, verkon tehohäviöt lisääntyvät, mutta liian alhaisella lämpötilalla asiakkaille ei saada toimitettua riittävän suurta lämmitystehoa. Kun menolämpötilaa säädetään ulkolämpötilasta poiketen verkon akkumulointikyky voi sallia sen toimia myös lämmönvaraajana. (Koskelainen ym., 2006, s.335)

Kaukolämpövoimaloissa käytettävät polttoaineet voivat olla joko uusiutuvia tai fossiilisia. Fossiiliset polttoaineet ovat satojen miljoonien vuosien aikana orgaanisista eliöistä syntyneitä polttoaineita. Koska fossiiliset polttoaineet ovat syntyneet eliöistä ne sisältävät samoja alkuaineita kuin elollinen luonto, kuten hiiltä, vetyä, happea ja typpeä. Näistä aineista polttoaineen palavat komponentit ovat hiili, vety ja rikki. (Koskelainen ym., 2006, ss. 260–262)

Nämä aineet ovat myös fossiilisten polttoaineiden ympäristölle haitalliset aineet, koska ne muodostavat oksideja, joista hiilidioksidi on ilmaston lämpenemisen kannalta merkittävin kasvihuonekaasu ja rikin ja typen oksidit aiheuttavat happamoitumista vesistöissä ja maaperässä. Maakaasun päästöt muihin fossiilisiin polttoaineisiin, kuten kivihiileen tai polttoöljyyn, verrattuna ovat pienemmät, koska maakaasu on pitkälti metaania. (Koskelainen ym., 2006, s.262)

3 Automaation ohjaus

Teollisuuden automaatioprosesseja ohjataan erilaisilla ohjaimilla ja säätimillä, jotka käsittelevät prosessin kenttälaitteilta tulevaa tietoa ja ohjaavat toimilaitteita ohjaimeen kirjatun ohjelman mukaan. Nykyaikaiset ohjaimet ovat yleisesti ottaen PLC-ohjaimia, jotka pystyvät monimutkaisiin ohjaustehtäviin. Tämän opinnäytetyön kohteen ollessa voimassa on käytössä yksikkösäätimiä, jotka ovat yksinkertaisempia ja vanhanaikaisempia ohjaimia.

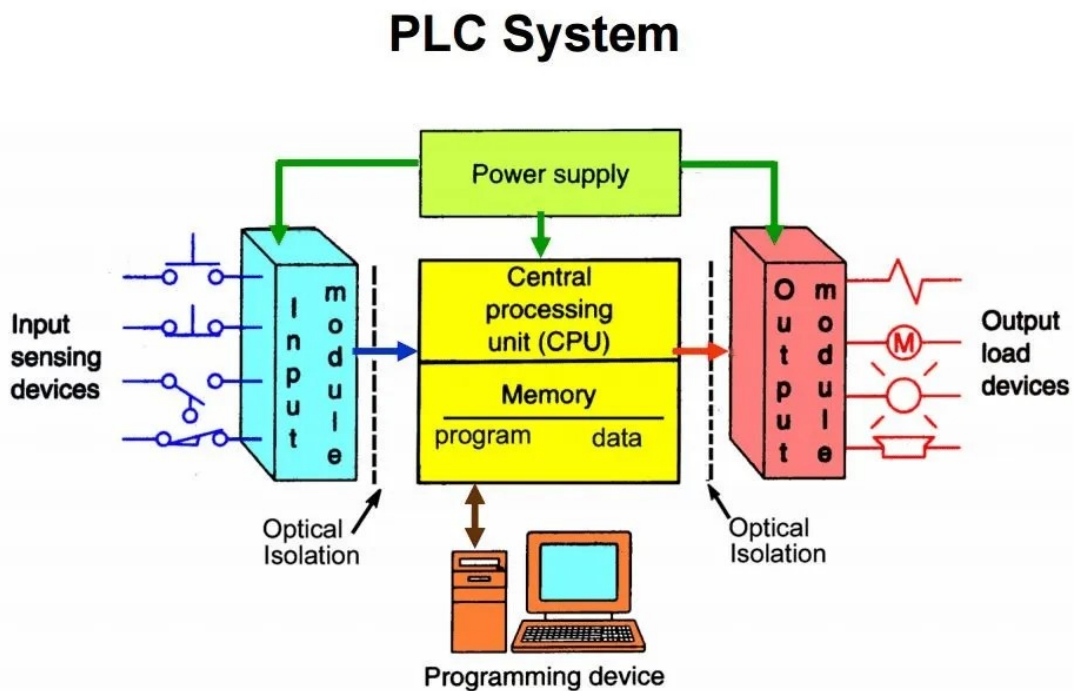
Kaikki automaatiojärjestelmät toimivat kuitenkin tulojen perusteella ja ohjaavat kenttälaitteita lähdoilla. Nämä I/O-signaalit tulevat ja lähtevät ohjaimilta joko digitaalisina tai analogisina. Tulosignaalit saadaan esimerkiksi antureilta ja mittareilta ja lähdoilla ohjattavia laitteita ovat esimerkiksi pumput ja moottorit.

3.1 PLC-ohjaimet

PLC (programmable logic controller), eli suomeksi ohjelmoitava logiikkaohjain on mikroprosessoriteknologiaan pohjautuva ohjain. PLC-ohjain ohjaa teollisuuden prosesseja muistiin tallennettujen ohjelmien mukaisesti. Ohjaimien etuja ovat niiden helppokäyttöisyys, muokattavuus ja soveltuvuus monenlaisten prosessien ohjaukseen. (Bolton, 2006, s. 3)

Tyypillisesti PLC-ohjaimen pääosat ovat prosessori, muisti, virtalähde, I/O-moduulit ja verkkoliittymä (Kuva 7). PLC-ohjaimet ohjelmoidaan käyttäen ulkoista ohjelmointilaitetta, joka on nykyään useimmiten pöytä- tai kannettava tietokone, mutta myös erillisiä kannettavia ohjelmointilaitteita voidaan käyttää. Prosessori (CPU) on mikroprosessorin sisältävä yksikkö, joka tulkitsee tulosignaaleja ja toteuttaa ohjauksia ohjaimen muistiin varastoidun ohjelman mukaan. Prosessori kommunikoi ohjauksensa signaaleina PLC:n lähdoilla. Virtalähteen tehtävänä on muuttaa verkosta tuleva vaihtovirta matalaksi (5V) tasajännitteeksi, joka toimii prosessorin ja I/O-moduulien yhteyssignaalina. Muistia käytetään PLC:n ohjelman sekä tulojen ja lähtöjen varastointiin. (Bolton, 2006, ss. 4–5)

Kuva 7. PLC järjestelmä (Electrical A2Z, n.d.).



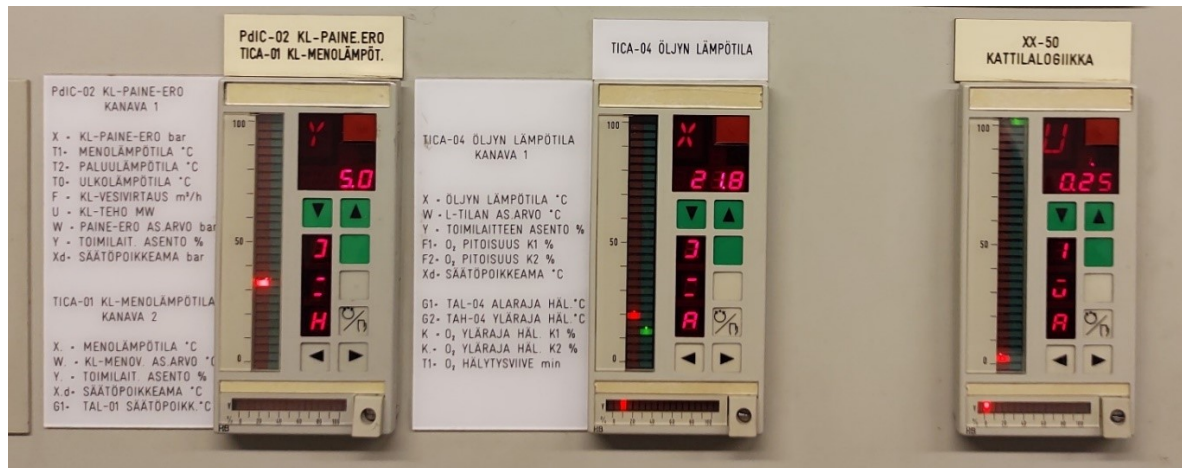
I/O-moduulit, eli tulo- ja lähtömoduulit (Input/Output) ovat ne osat, joilla PLC-ohjain vastaanottaa tietoa ulkoisilta laitteilta ja lähettää tietoa ulkoisille laitteille. I/O-signaalit voivat olla digitaalisia tai analogisia. PLC:n verkkoliittymän kautta ohjain saa yhteyden muihin samassa verkossa oleviin PLC-ohjaimiin. Verkkoliittymän tehtäviä ovat mm. laitteiden varmennus, datan hankinta sekä käyttäjäsovellusten ja verkkoyhteyden synkronointi. (Bolton, 2006, ss. 4–5)

3.2 Yksikkösäätimet

Yksikkösäätimet ovat PLC-ohjaimiin verrattuna toiminnallisuudeltaan kapeampia automaatio-ohjaimia. "Yksikkösäädin" ei ole käsitteenä täysin yksiselitteinen, sillä samanlaisista säätimistä käytetään myös eri nimityksiä, kuten teollisuussäädin tai monitoimisäädin. Yksikkösäätimillä säädetään yhtä tai kahta säätöpiiriä. Yksikkösäädintä ohjataan säätimen etulevyssä olevilla nupeilla tai painikkeilla, joilla käyttäjä säätää säätöpiirin asetusarvoja. (Kuva 8)

Yksikkösäädin voi olla analoginen tai digitaalinen. Analogisäätimessä tieto on tasajännitettä tai -virtaa, kun taas digitaalisäätimessä antureilta tuleva tieto muunnetaan analogia/digitaalimuuntimessa digitaalimuotoon. Digitaalisäätimen mikroprosessorit ja ohjelma suorittavat laskelmat ja lähettävät viestit digitaali-/analogiamuuntimen läpi toimilaitteille. Digitaalisäädin, toisin kuin analogiasäädin, voi ohjata myös useamman kuin yhden säätöpiirin toimintoja. (Värjä & Mikkola, 2012, s.58)

Kuva 8. Digitaaliset yksikkösäätimet radanvarsitien voimalassa.



3.3 I/O-prosessointi

Automaatiojärjestelmän ohjaaminen tapahtuu käyttämällä tuloja ja lähtöjä, jotka ovat ohjaimen ja prosessin rajapinta. Tuloilla (input) tarkoitetaan ohjaimelle tulevaa ulkopuolista tietoa prosessista, kuten optisten antureiden, mekaanisten kytkimien tai lämpötilamittarien lähettämät signaalit ja mittaukset. Lähdöt (output) ovat signaaleja, joilla automaatio ohjain ohjaa prosessin laitteita. Ohjattavia kohteita voivat olla esimerkiksi releet, pumput tai moottorit.

Automaatio-ohjaimien lähettämät ja vastaanottamat I/O-signaalit voivat olla kahta erilaista tyyppiä: analogisia tai digitaalisia. Analogisen signaalin arvo vaihtelee tietyllä välillä mitattavan tai ohjattavan suureen mukaan. Analogisia signaaleja käytetään esimerkiksi lämpötilan ja pinnankorkeuden mittauksissa. Digitaalisignaali on sekvenssi pulsseja, eli se on arvoltaan 1 tai 0. (Bolton, 2006, s. 53)

Jotta automaatio-ohjain pystyy erottelemaan yksittäiset tulot tai lähdöt toisistaan, niille täytyy määrittää osoitteet. Osoitteiden nimeäminen vaihtelee ohjaimen tyyppin ja valmistajan mukaan. Yleensä osoite koostuu kuitenkin kirjaimesta, joka kertoo, onko kyseessä tulo vai lähtö ja onko se digitaalinen vai analoginen esimerkiksi I digitaalituloille ja A analogituloille. Kirjaimen jälkeen tulee numero, jotka merkitsevät yksittäistä tuloa tai lähtöä. Yksinkertaisissa ohjaimissa ja ohjelmissa numerointi tapahtuu järjestyksessä 01,02,03...jne. Suuremmissa järjestelmissä numeroinnilla voidaan merkitä esimerkiksi moduulin numeroa, tavun numeroa tai bitin numeroa. (Bolton, 2006, s. 77)

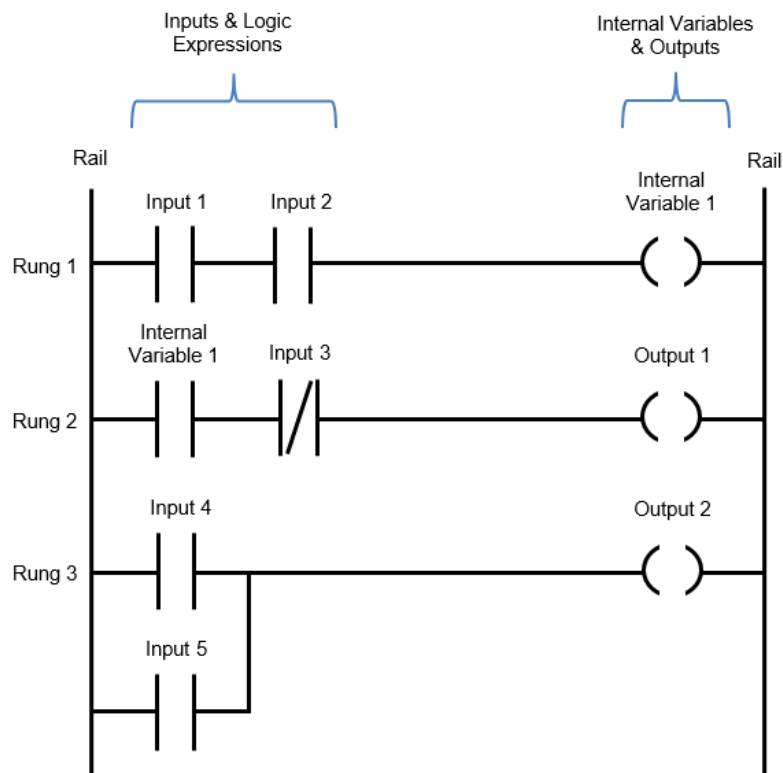
PLC-ohjaimissa prosessori vaatii toimiakseen kaikki tulosignaalit digitaalisignaaleina, kooltaan tavallisesti 0 ja 5 voltin välillä. Analogisissa I/O-moduuleissa laitteilta tulevat signaalit muunnetaan prosessorille sopivaan kokoon A/D-moduulissa ja prosessorilta tulevat 5 V signaalit voidaan muuntaa erisuuruiseksi ohjaussignaaleiksi lähtöjä ohjattaessa D/A-moduuleilla. (Bolton, 2006, s. 53)

3.4 Automaatio-ohjelmointi

Automatisoituja prosesseja ohjaavat ohjelmat ladataan ohjainten muistiin binäärikoodina, mutta ne kootaan erilaisilla ohjelmointikielillä. Ohjelmoinnissa käytettäviä kieliä voivat olla monimutkaisemmat kielet, kuten C, Pascal tai ST. Näistä etenkin ST on nykyään yleistynyt Pascaliin pohjautuva ohjelmointikieli. Usein ohjelmointiin käytetään kuitenkin yksinkertaisempia menetelmiä, jotka eivät vaadi insinööreiltä yhtä kattavaa koodaustaitoa (Bolton, 2006, s. 80). Pääasiassa nämä menetelmät ovat LAD (ladder diagram) ja FBD (function block diagram).

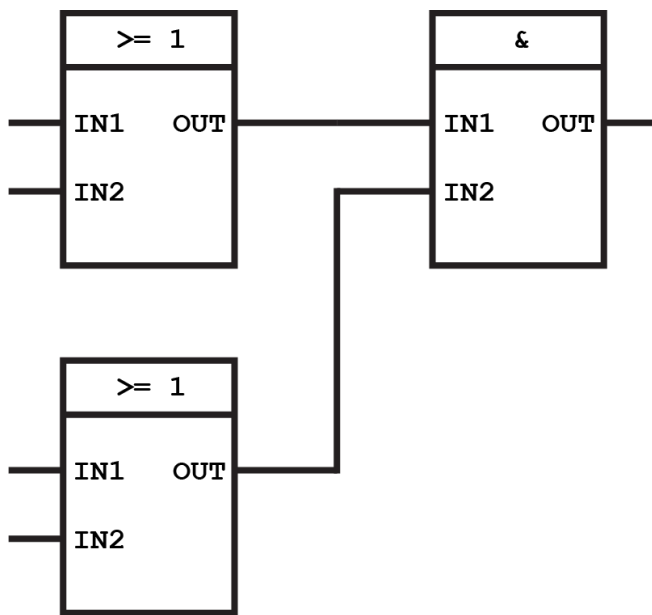
LAD-menetelmässä luodaan käytännössä visuaalinen ”tikapuukaavio” (Kuva 9), jossa yhdessä kaavion kerroksessa on kuvattu toiminto ja siihen vaikuttavat tulot. Kaaviota luetaan vasemmalta oikealle ja ylhäältä alaspäin. Jokainen kerros alkaa yhdellä tai useammalla tulolla ja loppuu vähintään yhteen lähtöön. Samoja tuloja voidaan kuitenkin käyttää useassa kaavion kerroksessa. (Bolton, 2006, s. 82)

Kuva 9. Tikapuukaavio (ladder logic world, n.d.).



FBD-ohjelmoinnissa loogisia funktioita yhdistellään graafisten palikoiden (function block) avulla. Palikoissa yksi tai useampi tulo tulee vasemmalta puolelta funktioon ja oikealta puolelta lähtee vähintään yksi lähtö. Palikan edessä lukee sen sisältämän funktion nimi joko tekstinä tai symbolina, kuten esimerkiksi. AND, OR tai NOR. Kuvassa 10 on esimerkki yksinkertaisesta FBD-funktiosta, jossa AND-funktio vaati toimiakseen positiivisen tulon molemmilta OR-funktioilta. OR funktiot ovat positiiviset, jos joko IN1 tai IN2 on positiivinen. (Bolton, 2006, ss. 94–95)

Kuva 10. Yksinkertainen FBD-ohjaus (PLC academy, 2018).



Oli automaatio-ohjelman ohjelmointitapa mikä tahansa, se tapahtuu loogisia funktioita käyttäen. Loogiset funktiot ovat matemaattiseen logiikkaan perustuvia ohjausfunktioita, joita käyttämällä järjestelmän laitteet saadaan toimimaan järjestelmällisesti ja itsenäisesti. Seuraavat ovat yleisimmät automaatioissa käytettävät perusfunktiot: AND-funktio, joka toteutuu vain ja ainoastaan jos kaikki siihen liitetyt tulot toteutuvat, OR-funktio, joka toteutuu, jos edes yksi sen tuloista toteutuu, NOT-funktio, joka toteutuu, jos siihen yhdistetty tulo ei toteudu. Näistä funktioista johdetaan myös yleisesti käytettävät NAND- ja NOR-funktioita, jotka ovat AND- ja OR-funktioiden negaatioita. Eli NAND vaati toteutuakseen, että vain toinen sen tuloista, tai ei kumpikaan, toteutuu. NOR toteutuu vain, jos mikään sen tuloista ei toteudu. (Bolton, 2006, ss. 84–89)

4 Mittaustekniikka

Mittauksilla kerätään tietoa teollisen järjestelmän eri suureiden tilasta. Automaation näkökulmasta mittaukset ovat tulospääteitä, joiden avulla automaattiosäätimet toteuttavat järjestelmän ohjauksia. Mittaukset voivat olla esimerkiksi optisia, sähköisiä, termisiä tai kemiallisia.

Tavallisimpia teollisuudessa mitattavia suureita ovat paine, virtaus, pinnankorkeus ja lämpötila. Näiden mittaussignaalien käsittely ja siirto tapahtuu useimmiten sähköisesti. Mittauksiin käytettäviä tuntoelimiä on monenlaisia ja ne voidaan jakaa toimintaperiaatteensa mukaan kahteen eri ryhmään: passiiviset tuntoelimet, jotka tarvitsevat ulkoisen virtalähteen, kuten esimerkiksi lämpötilan mittaaminen jännitteen muutoksen avulla, ja aktiiviset tuntoelimet, jotka tuottavat mitattavan signaalin itse. (Halkko ym., 1998, s.21)

4.1 Lämpötilan mittaus

Lämpötila on prosessiteollisuuden tärkeimpiä mittaushkohteita, koska käytännössä kaikki aineen ominaisuudet ovat riippuvaisia lämpötilasta. Virheelliset lämpötilamittaukset voivat johtaa laitteiston vaurioitumiseen, turvallisuusriskeihin ja taloudellisiin menetyksiin. Lämpötilan mittaustapojen on kolme: Celsius-asteikko, Kelvin-asteikko ja Fahrenheit-asteikko. (Halkko ym., 1998, s.30)

Näistä kolmesta Celsius lämpötila on mittayksiköiden SI-järjestelmän johdannaisuus ja yleisesti käytössä teollisuuden lämpötilamittauksessa. Lämpötilaa voidaan mitata mekaanisilla lämpötilamittareilla, kuten nestepatsaslämpömittareilla, bimetallilämpömittareilla, kapillaarilämpömittareilla ja sauvalämpömittareilla. Teollisuudessa lämpötilan mittaus toteutetaan kuitenkin usein sähköisiä mittaustapojen avulla käyttäen. Sähköisten lämpötila-anturien etuja ovat tarkkuus, joustavat käyttöominaisuudet ja anturien viestien helppo muokattavuus sähköisiksi standardiviesteiksi. (Halkko ym., 1998, s.36)

Vastuslämpötila-anturit perustuvat resistanssin lämpötilariippuvuuteen, jonka ansiosta lämpötilan mittaaminen voidaan toteuttaa resistanssin mittauksella. Vastuslämpötila-anturin tuntoelin voidaan valmistaa metallista tai puolijohdemateriaalista. Puolijohdevalmisteisia tuntoelimiä kutsutaan termistoreiksi (thermally sensitive resistor) ja metallivastusantureista käytetään joskus RTD-nimitystä (resistance temperature detector). (Halkko ym., 1998, s.36)

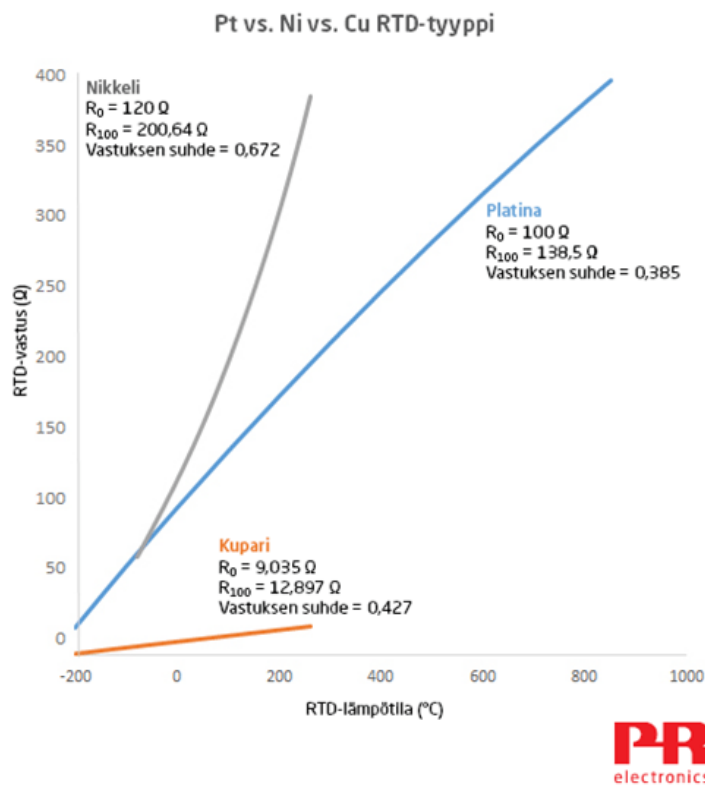
Metallin resistanssin riippuvuus lämpötilasta voidaan esittää seuraavalla kaavalla.

Kaava 1. Metallin resistanssin riippuvuus lämpötilasta (Halkko ym., 1998, s.36).

$$R(t) = R_0(1 + a_1t + a_2t^2 + \dots + a_nt^n)$$

Tässä kaavassa R_0 tarkoittaa metallin resistanssia 0°C lämpötilassa ja arvot kertoimille $a_1 \dots a_n$ saadaan kalibrointimittauksista tunnetuissa lämpötiloissa. Yleisimmin käytettyjä RTD-antureiden metalleja ovat platina ja nikkeli, mutta myös kuparia, volframia ja joitakin seosmetalleja käytetään. Kuvassa 11 näkyvät platinan, nikkelin ja kuparin resistanssin lämpötilariippuvuudet.

Kuva 11. Metallien resistanssin lämpötilariippuvuuksia (PR electronics, n.d.).



Platina on korkeissakin lämpötiloissa stabiilina pysyvä, kemiallisesti kestävä ja helposti muovautuva jalometallimetalli, joka sopii erinomaisesti lämpöanturin tuntoelinmateriaaliksi. Platina on käyttökelpoinen $-250...850^{\circ}\text{C}$ lämpötila-alueella. Hyvä esimerkki platinaa käyttävästä lämpötila-anturista on teollisuudessa yleisesti käytetty Pt-100-lämpötila-anturi. Pt-100-nimityksessä Pt tarkoittaa platinaa ja 100 kertoo, että anturin resistanssi 0°C lämpötilassa on $100\ \Omega$. (Halkko ym., 1998, s.36)

Nikkelin resistanssin lämpötilakerroin on muita metalleja suurempi (Kuva 11). Puhdas nikkeli on kuitenkin erittäin vaikeaa valmistaa ja pienetkin epäpuhtaudet metallin koostumuksessa voivat aiheuttaa suuria vaikutuksia lämpökertoimeen. Tuntoelimissä käytettyä nikkeliä seostetaan yleensä niin, että resistanssin lämpötilakertoimeksi saadaan $0,00675/^{\circ}\text{C}$ $0...100^{\circ}\text{C}$ lämpötila-alueella, kun taas puhtaan nikkelin lämpötilakerroin on $0,00675/^{\circ}\text{C}$. Nikkelin käyttölämpötila-alue tuntoelimissä on $-200...350^{\circ}\text{C}$. (Halkko ym., 1998, s.36)

Kupari on yksi vähemmän käytettyjä RTD-antureiden tuntoelinmateriaaleja ja soveltuu käyttöön $-100...200^{\circ}\text{C}$ lämpötiloissa. Kuparin käyttöä rajoittavia tekijöitä ovat sen hapettuminen korkeissa lämpötiloissa ja platinaa ja nikkeliä pienempi resistiivisyys. Kuparin kalibroinnin stabiilisuus on tosin nikkeliä parempi, jos käyttölämpötila-aluetta ei ylitetä. (Halkko ym., 1998, s.37)

Termistorit ovat puolikohdepohjaisia vastusantureita. Suurin ero termistorien ja RTD-antureiden välillä on termistorien suurempi resistanssin lämpötilakerroin, jonka ansiosta termistorien herkkyyden on moninkertainen. Toisaalta termistoreilla on metallivastusantureihin verrattuna huomattavasti huonompi stabiilisuus ja kapeampi käyttö-alue ($-80...250^{\circ}\text{C}$).

Termistoriantureiden resistanssin lämpötilariippuvuus on selvästi epälineaarisempi RTD-antureihin verrattuna. (Halkko ym., 1998, ss. 39–40) Riippuvuus on useimmilla termistoreilla eksponentiaalinen ja esitetään seuraavalla kaavalla.

Kaava 2. Termistorien resistanssin lämpötilariippuvuus (Halkko ym., 1998, s.40).

$$R_T = R_0 e^{\beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)},$$

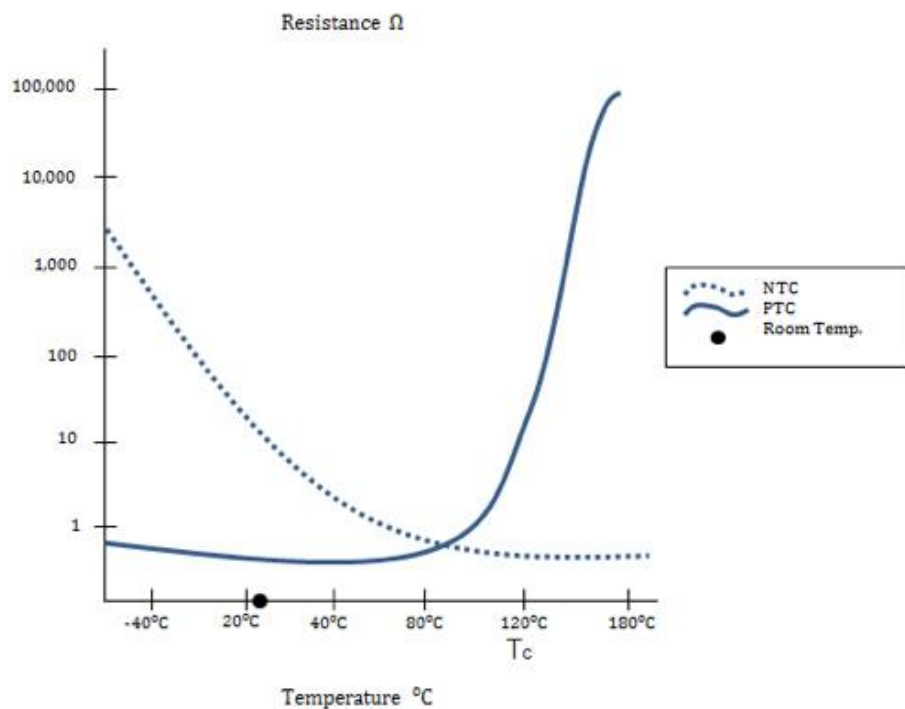
missä R_0 = resistanssin arvo vertailulämpötilassa T_0 ,

R_T = resistanssin arvo mittaustemperatuurissa T ,

β = materiaaleista riippuva vakio

Termistoreja on kahta eri tyyppiä: NTC (negative thermal coefficient) ja PTC (positive thermal coefficient). NTC-termistorien vastus laskee lämpötilan kasvaessa ja PTC-termistorien resistanssi nousee jyrkästi kapealla lämpötila-alueella. (Halkko ym., 1998, s.40) NTC- ja PTC-termistorien resistanssien riippuvuutta lämpötilasta on kuvattu kuvassa 12.

Kuva 12. Termistorien resistanssien riippuvuus lämpötilasta (Schwebler, 2020).



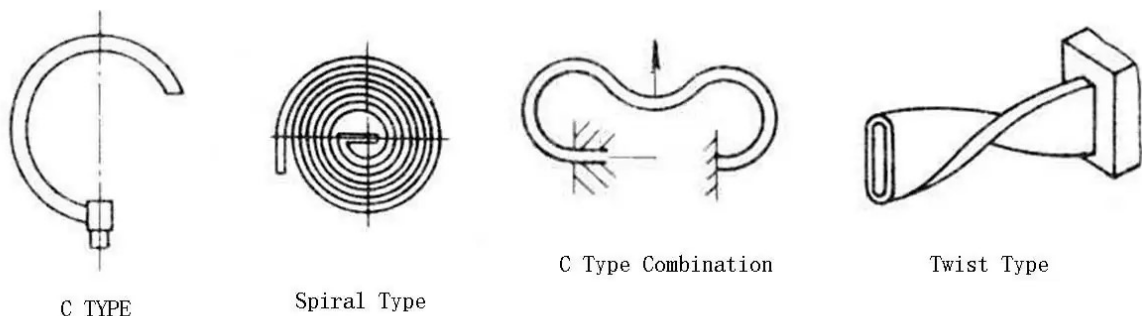
4.2 Paineen mittaus

Paine aiheutuu kaasun tai nesteen molekyyliden välisistä törmäyksistä. Paineen SI-järjestelmän mukainen yksikkö on pascal (Pa), mutta nesteen ja kaasun mittauksissa käytetään myös baaria (bar). Yksi baari vastaa 100 kilopascalaa. Baari on suosittu mittayksikkönä, koska yksi baari vastaa likimain normaalia ilmakehän painetta. Suurin osa teollisuudessa suoritettavista paineen mittauksista on paine-eron mittaus. Kun vertailupaineena käytetään ympäristöilman painetta, puhutaan myös yleensä paineenmittauksesta, vaikka täsmällisesti ilmaistuna kyseessä on ylipainemittaus. (Halkko ym., 1998, s.61)

Paineen mittaukseen on käytössä monenlaisia erilaisia menetelmiä, kuten erilaisia joustavia elimiä ja painelähettämiä. Nämä mittausmenetelmät ovat korkeissa paineissa käytettäviä mittausmenetelmiä. Lisäksi paineenmittaus voi olla toteutettu pneumaattisilla lähettimillä, mutta pneumatiikka on väistyvä teknologia paineenmittauksessa.

Laajasti tunnettu joustoon perustuva paineenmittausmenetelmä on bourdonputki, jota nimitetään myös paineputkeksi, painekaareksi tai putkijouseksi. Bourdonputki on yleensä ympyräkaaren tai spiraalin muotoinen (Kuva 13), toisesta päästä suljettu putki, joka pyrkii oikenemaan sen sisälle johdetun paineen kasvaessa. Siirtymä tai kiertymä välitetään vipu- ja hammasvälityksellä mittarin osoittimeen, jonka kääntymä on yleensä noin 270°. Bourdonputkella pystytään mittaamaan jopa 10000 bar paineita ja se soveltuu lähes kaikkien kaasujen ja nesteiden mittaukseen. (Halkko ym., 1998, s.63)

Kuva 13. Bourdonputkien eri muotoja (Elsamed, 2021).



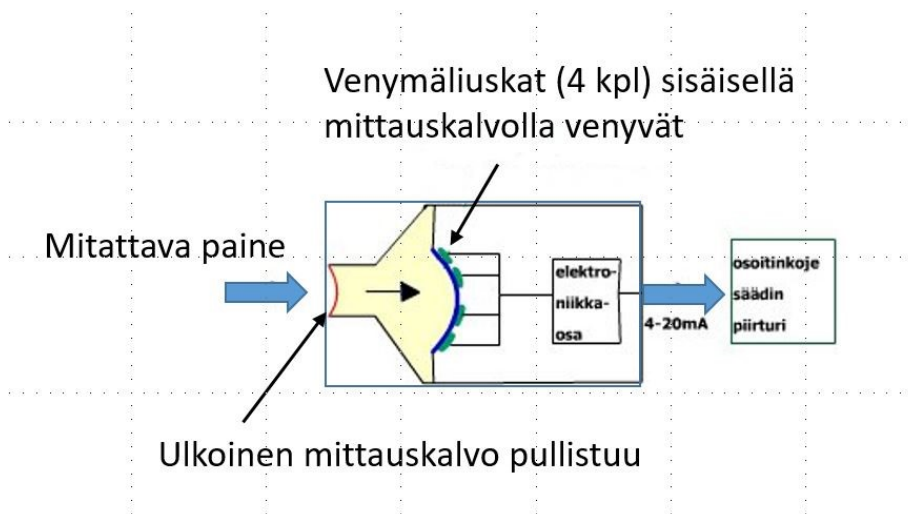
Paljeputkissa paine-ero muutetaan voimaksi, joten mekaanista energiaa pyritään sitomaan mahdollisimman vähän itse tuntoelimeen. Yksi paljeputken sovellus on bartonkenno, jota käytetään korkeiden paineiden mittaukseen. Bartonkennon palkeiden välinen tila on täytetty nesteellä. Kun palkeiden ulkopuolelle tuodaan painetta, neste pääsee kulkemaan palkeesta toiseen kuristusventtiilin kautta. Paine-eron aiheuttama voima siirtää paljeputket liittävä yhdystankoa, kunnes jousien aiheuttama vastavoima on yhtä suuri. Yhdystangon siirtymä on suoraan verrannollinen paine-eroon. (Halkko ym., 1998, s.64)

Painelähetimet ovat tuntoelimiin liitettäviä mittausvälineitä. Painelähetin voi mitata joko siirtymää tai jännitettä. Siirtymää mittaavassa lähettimessä paine aiheuttaa muutosta anturin verrannolliseen siirtymään. Siirtymä voi myös muuttua laakeroidun akselin kiertymäksi. Tämä siirtymä tai kiertymä mitataan resistanssin, induktanssin tai kapasitanssin muutoksena. Esimerkiksi potentiometrisessä painelähettimessä bourdonkaarimanometrin osoittimen kiertoliike välitetään mittarin kiertopotentimetriin. Potentiometrin vastuskäämiin aiheutuu resistanssi 10 Ω -25 k Ω alueella, josta voidaan lukea paine-ero. (Halkko ym., 1998, s.64)

Toisena esimerkkinä siirtymää mittaavasta lähetimestä on Hall-anturipainelähetin, jossa mitattava paine on kytketty bourdonkaareen, johon on kiinnitetty kestopagneetti. Magneetin lähellä olevaan Hall-anturiin muodostuu jännite, joka kasvaa paineen työntäessä magneettia lähemmäs anturia. U/I-muuntimessa jännitteen muutoksesta muodostetaan 4...20 mA virtaviesti, josta saadaan paine-ero. (Halkko ym., 1998, s.65)

Painelähetimet, jotka mittaavat jännitystä käyttävät venymäliuskoja taipuvan metallikalvon jännityksen mittaukseen. Metallikalvon jännitykset riippuvat eri puolilla vaikuttavien paineiden erosta. Kun paine-ero anturissa kasvaa, kalvon keskusta venyy ja ulkoreuna puristuu (Kuva 14). Venymäliuskat on kytketty Wheatstonen tasavirtasillaksi, jonka erojännite on verrannollinen paine-eroon. Paineantureiden venymäliuskoja ei enää nykyään valmisteta juurikaan metallista, vaan nykyaikaisissa antureissa käytetään puolijohdeliuskoja. (Halkko ym., 1998, ss. 68–69)

Kuva 14. Jännitystä mittaavan painelähettimen toiminta (Keuda, 2019-a).



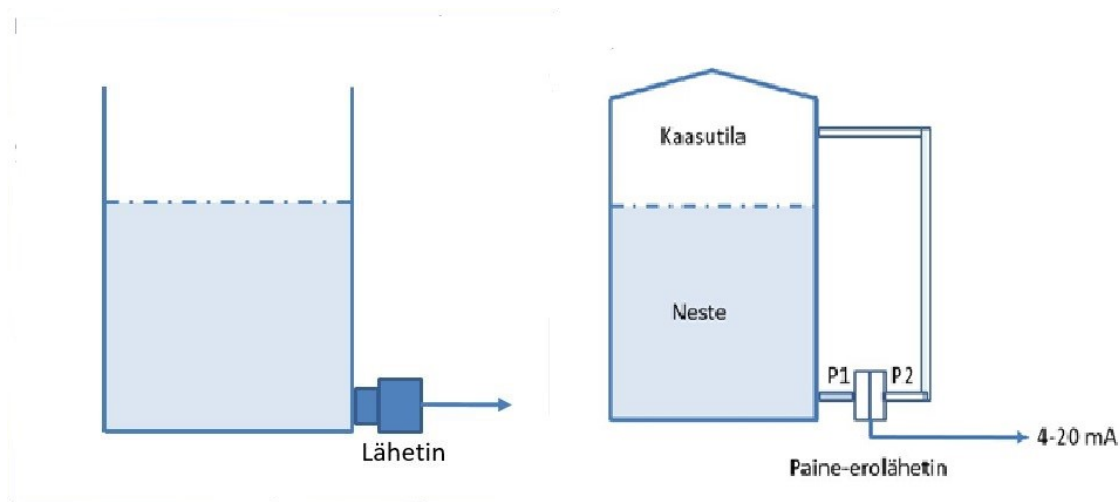
4.3 Pinnankorkeuden mittaus

Pinnankorkeus on yksi tärkeimpiä suureita, jonka avulla teollisuuden automatisoituja prosesseja ohjataan. Usein automaation kannalta riittää, että saadaan tieto siitä, milloin pinnankorkeus ylittää tai alittaa tietyn rajan. Tällöin käytetään niin kutsuttuja pintakytkimiä. Toisaalta prosessin ohjaus voi myös vaatia jatkuvan tiedon pinnankorkeudesta ja sen muutoksista. Jos pinnankorkeutta pyritään pitämään määrätyllä tasolla, puhutaan vakioarvosäädöstä. Pinnankorkeuden mittaamiseen on olemassa monia erilaisia menetelmiä, joiden valintaan vaikuttavat mitattavan aineen koostumus ja käyttöolosuhteet. (Halkko ym., 1998, s.74)

Yksinkertaisimpia menetelmiä pinnankorkeuden mittaamisessa ovat mekaaniset mittarit. Tällä tarkoitetaan esimerkiksi mittatikkuja, tähyslaseja ja uimurimittareita. Uimurimittarit ovat näistä menetelmistä monimutkaisimpia, sillä niihin voidaan liittää lähettimiä ja niitä voidaan käyttää pintakytkiminä. Joissain tapauksissa säiliön pinnankorkeus voidaan määritellä myös punnitsemalla säiliö sisältöineen, jos säiliön muoto, tyhjän säiliön massa ja nesteen tiheys tunnetaan. (Halkko ym., 1998, ss. 74–76)

Hydrostaattiseen paineeseen perustuvat menetelmät mittaavat painetta, joka aiheutuu nestekerroksen massasta. Jos nesteen tiheys tunnetaan, sen korkeus voidaan laskea mitatun paineen avulla. Avoimessa säiliössä paine voidaan periaatteessa mitata millä tahansa menetelmällä. Paine-anturi asennetaan mittauksen nollakohtaa vastaavaan kohtaan, eli säiliön kylkeen tai pohjalle (Kuva 15). Painesäiliöissä ei kuitenkaan voida käyttää samoja menetelmiä kuin avoimissa säiliöissä, koska nestepinnan yläpuolinen paine vaikuttaa mittaustulokseen. Tällöin käytetään paine-eromittausta (Kuva 15), jossa mittarin matalamman paineen puoli yhdistetään painesäiliön yläosaan mittausalueen ylärajan yläpuolelle ja painelähetin sijoitetaan mittausalueen nollatasolle. (Halkko ym., 1998, ss. 76–77)

Kuva 15. Pinnankorkeusanturin asennus paine- ja avoimessa säiliössä (Keuda, 2019-b).



Kun pinnankorkeutta mitataan nosteen avulla, sovelletaan Arkhimedeen lakia, jonka mukaan kappaleeseen kohdistuu sitä suurempi noste, mitä suurempi osa siitä on nesteessä. Nosteeseen perustuva mittaus toteutetaan ns. uppoumauimurilla, joka sijoitetaan nestesäiliön erilliseen uimurikammioon. Nesteen pinnan noustessa yhä suurempi osa uimurista jää pinnan alle ja noste kasvaa. Nostevoima lasketaan käyttäen esimerkiksi vääntöputken kiertymää. Uimurilla pinnankorkeudesta saadaan jatkuva tieto ja sitä käytetään polttoaine- ja lauhdesäiliöiden pinnankorkeusmittauksissa. (Halkko ym., 1998, s.78)

Pinnankorkeuden sähköiseen mittaamiseen pintakytkimillä on olemassa muutamia eri vaihtoehtoja. Pintakytkin voi perustua elektrodeilla tunnusteluun, jolloin anturin elektrodin kosketus nesteeseen aiheuttaa virtapiirin sulkeutumisen, joka johtaa esimerkiksi pumpun moottorin virran katkeamiseen. Kapasitiiviset menetelmät voivat olla pintakytkimien lisäksi myös jatkuvia mittauksia. Käytännössä kapasitiiviset mittarit erottavat sähköä johtavat aineet johtamattomista. Kapasitiivinen pinnankorkeusanturi on kahdesta yhdensuuntaisesta kondensaattorilevystä muodostuva anturi, jossa sähköä johtamattoman nesteen joutuminen levyjen väliin aiheuttaa permittiivisyyden muutoksen. (Halkko ym., 1998, ss. 78–80)

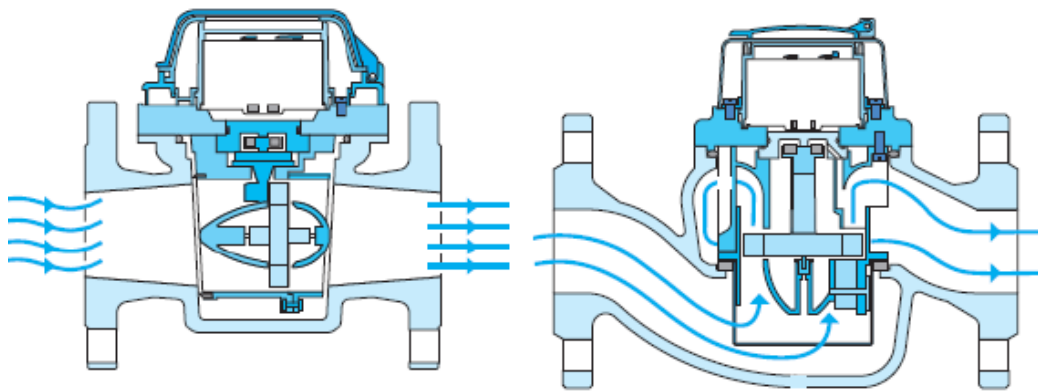
Optiset pintakytkimet perustuvat joko valon intensiteetin vaimenemiseen väliaineessa tai valon kokonaisheijastukseen kahden väliaineen rajapinnassa. Intensiteetin vaimenemiseen perustuvat pintakytkimet ovat suhteellisen yksinkertaisia ja voidaan rakentaa valolähteestä ja -ilmaisimesta. Kun mitataan valon kokonaisheijastumista, käytetään prismaan saapuvan valon kokonaisheijastusta, jossa normaalisti heijastus aiheuttaa valon palamisen ilmaisimelle, mutta jos prisman takana on nestettä, kokonaisheijastuminen ei tapahdu. (Halkko ym., 1998, s.81)

4.4 Virtausmittaus

Virtauksen mittaus on putkessa tai kanavassa virtaavan nesteen, kaasun tai höyryn virtausnopeuden, tilavuusvirran tai massanopeuden mittausta. Virtausnopeudella tarkoitetaan virtauksen etenemisnopeutta ja sen yksikkö on m/s. Tilavuusvirta kertoo virtauskanavan poikkileikkauksen läpi tietyssä ajassa virranneen aineen tilavuuden ja sen yksikkönä käytetään m³/s. Massavirta ilmoittaa virtauskanavan poikkileikkauksen läpi tietyssä aikana kulkeneen ainemäärän massan yksikössä kg/s. Virtausten mittausmenetelmiä on monta ja niiden valinta riippuu esimerkiksi virtauksen mittauspaikasta, mitattavasta aineesta, aineen fysikaalisista ominaisuuksista ja mittausten tarkkuusvaatimuksista. (Halkko ym., 1998, s.87)

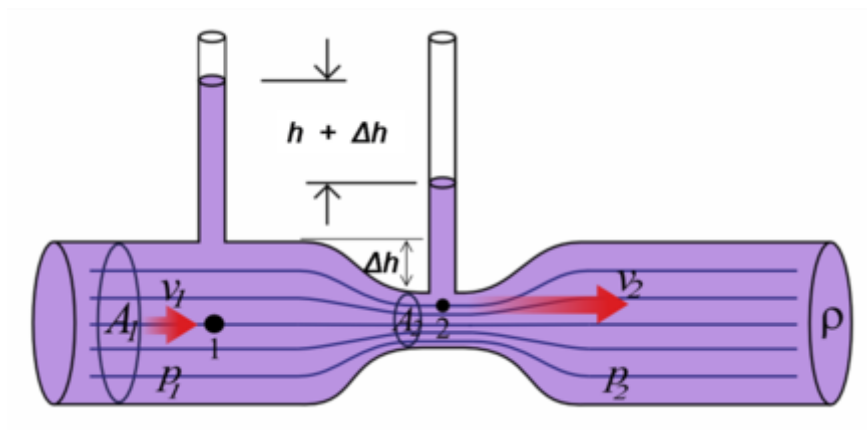
Siivikkomittari on virtausmittari, joka käyttää herkästi laakeroitua, siivekkeillä varustettua roottoria mittauksessa. Aineen virtaus pyörittää roottoria, aiheuttaen pyörimisnopeuden, joka on verrannollinen virtausnopeuteen. Siivikkomittarit voidaan jaotella kahteen ryhmään rakenteensa perusteella. Aksiaalisessa rakenteessa virtaus osuu roottorin akselin suuntaisesti. Tähän ryhmään kuuluvat mm. Woltman-mittarit, joissa roottorin liike välitetään mekaanisesti laskijalaitteelle kuvan 16 mukaisesti. Woltman-mittaria käytetään pääasiassa veden määrälaskijana. Toinen siivikkomittarin rakennetyyppi on tangentialinen mittari, jossa virtaus kohtaa roottorin kohtisuorasti sitä vastaan. Esimerkiksi siipipyörämittari on tangentialinen mittari, jota käytetään käyttöveden kulutukseen mittaukseen. (Halkko ym., 1998, ss. 94–95)

Kuva 16. Kaksi erilaista Woltman-mittarin rakennetta (Crainic, 2012, s.8).



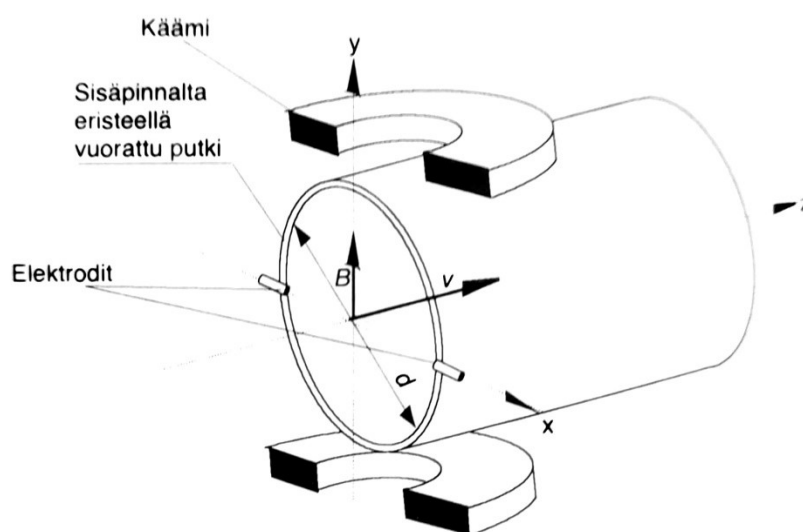
Kuristusmenetelmällä tarkoitetaan virtauksen mittausta putkeen sijoitetun kuristuskohdan aiheuttaman paine-eron avulla. Kuristuselimet aiheuttavat kuitenkin painehäviöitä, jotka pyritään pitämään mahdollisimman pieninä (Halkko ym., 1998, ss. 95–96). Painehäviöiden suhteen tehokkain kuristuselinmittari on venturiputki. Venturiputki on rakenteeltaan kuvan 17 mukainen putki, jossa Virtaus saapuu tulosylinterin kautta ja ajautuu kartiomaisen supistuksen kautta keskellä sijaitsevaan sylinterimäiseen kurkkuun ja ulos toisesta päästä. Paine mitataan kahdesta kohdasta, tulopuolelta ja kurkusta. (Halkko ym., 1998, ss. 100–101)

Kuva 17. Venturiputken toiminta (Wikipedia, n.d.).



Magneettinen virtausmittaus on mittausmenetelmä, joka perustuu sähkömagneettiseen induktioon, jota sovelletaan sähköä johtavien nesteiden tilavuusvirran mittaukseen. Mittariin indusoituva virtausjännite on suoraan verrannollinen nesteen tilavuusvirtaan. Kuvassa 18 näkyy magneettisen virtausanturin toimintaperiaate. Neste virtaa nopeudella v putken läpi. Putken sisäpinta on vuorattu eristeellä ja putken vastakkaisille puolille on sijoitettu käämit. Käämeissä kulkeva sähkövirta luo virtaussuuntaa vastaan kohtisuoran magneettikentän vuotiheydellä B . Elektrodit on sijoitettu putken halkaisijalle, jolloin ne ovat kohtisuorassa magneettikenttää vastaan. (Halkko ym., 1998, ss. 118–119)

Kuva 18. Magneettisen virtausmittarin toimintaperiaate (Halkko ym., 1998, s. 118).



5 Radanvarsitien voimala ja sen automaatio

Tämän työn ja raportin pääasiallinen tavoite oli selvittää Valkeakosken Energian Radanvarsitien kaukolämpövoimalan (Kuva 19) automaation nykytilanne siinä määrin, että työn tilaaja, Valkeakosken Energia, voi tämän opinnäytetyön tietoja hyödyntäen tehdä tarjouspyynnön voimalan automaation uusimisesta. Tarve lämpökeskuksen automaatiikan uusimiselle on varsin ilmeinen. Voimala on rakennettu vuonna 1990 ja täten sen automaatioteknologia on käytännössä kokonaan 1980-luvulta. Pääasiallisesti voimalan automaatiota pyrittiin selvittämään prosessin I/O-määrän ja prosessia ohjaavien säädinten näkökulmasta.

Työn kohteena ollut lämpökeskus on varalämpökeskus, joka toimii varalaitoksena Valkeakosken kaupungin kaukolämpöverkolle. Laitosta käytetään lämmön tuotantoon Tervasaaren tehtaan tuotannon tauotessa. Tavallisen vuoden aikana lämpökeskusta käytetään yhteensä noin kuukauden ajan, mutta esimerkiksi vuonna 2020 voimalaa ei ajettu lainkaan. Keskus on kiinteä kattilalaitos, jonka kattiloina ovat kaksi tuliputkikattilaa. Voimalan teho suoraan kattiloista on 19,8 MW. Polttoaineenaan voimala käyttää maakaasua, mutta myös öljynpoltolle on mahdollisuus.

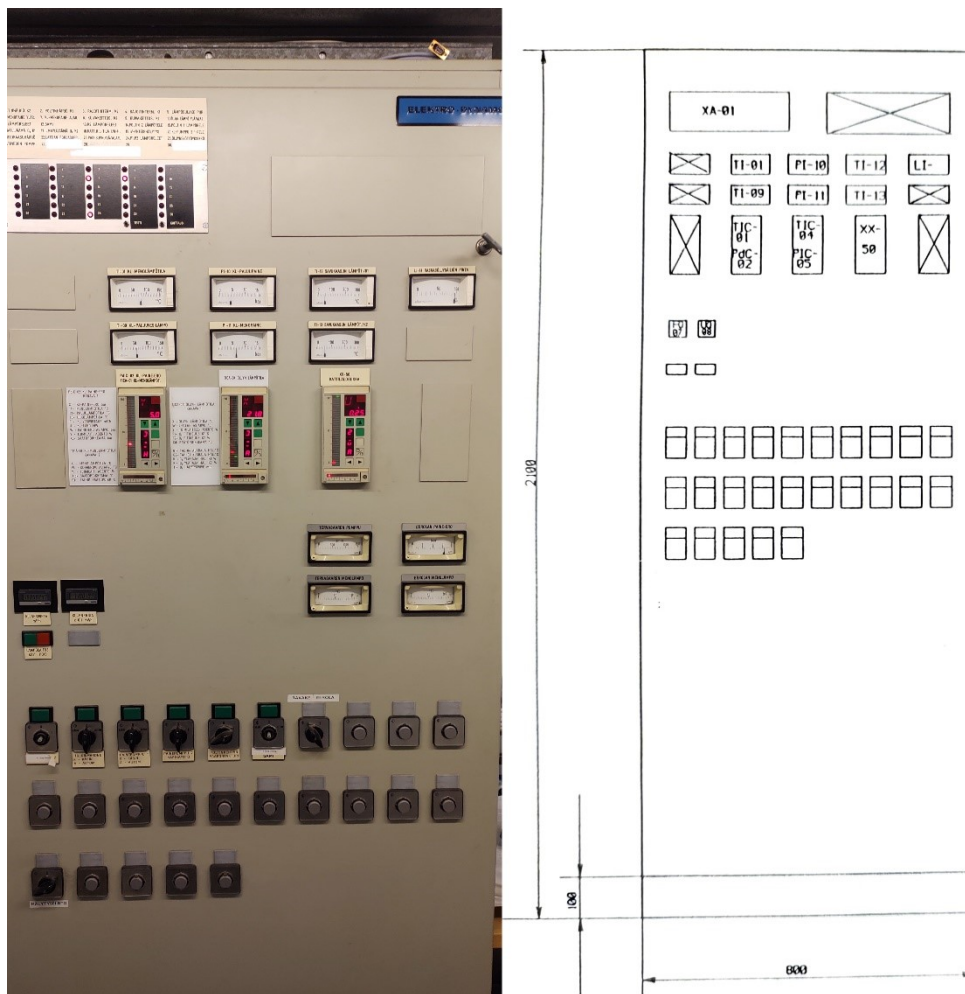
Voimalan nykyinen automaatioaste on hyvin rajallinen. Käytännössä prosessin automaatio tapahtuu kokonaan kolmen yksikkösäätäjän kautta. Voimalan käyttäjä syöttää asetusarvoja prosessin lämpötiloille ja paine-eroille säätimiltä voimalaa ajettaessa. Säätimien lisäksi voimalan kattiloiden polttimilla on omat automaatiikkansa, mutta ne eivät kuulu tämän opinnäytetyön piiriin. Voimalassa ei ole myöskään mahdollisuutta etäkäyttöön ja Lämpökeskuksen yhteydessä sijaitsevasta valvomosta voidaan vain kuitata hälytyksiä ja seurata lämpötiloja, paineita ja tehoa.

Kuva 19. Radanvarsitien voimala.



Lämpökeskuksen prosessin ohjaus ja valvonta tapahtuu voimalassa sijaitsevalla automaatiokeskuksella. Keskukseen kuuluvat lämpötilan, paineen, pinnankorkeuden ja virtauksen mittalaitteiden osoitinkojeet. Lisäksi keskuksesta löytyvät häiriöiden valvontataulu, kytkimet painepumpuille ja tuloilmalle sekä yksikkösäätimet, joilla säädellään paine-eroa ja lämpötilaa sekä peruskattilan ja lisäkattilan valinta. Kuvassa 20 on esitetty keskus ja sen layout-kuva. Keskukseen sisällä sijaitsee mm. lämpötilalähettimeä, galvaanisia erottimia, kontaktoreja ja releohjaukset säädön toimilaitteille, mittauksille ja moottoriohjauksille. Keskukseen sisustan layout-kuvat löytyvät liitteestä 1.

Kuva 20. Keskus ja -layout.



5.1 Yksikkösäätimien säätöpiirien toiminta ja I/O-tiedot

Kaukolämpökeskuksen automaatio-ohjaimina toimivat kolme digitaalista yksikkösäädintä. Säätimet ovat Hartmann & Braunin valmistamia 2-kanavaisia digitaalisäätimiä. Säätimissä on tulopaikkoja 6 kpl 4...20 mA analogituloja ja 8 kpl 0/24 V DC digitaalituloja. Lähdoille paikkoja on kaksi analogituloille, myöskin 4...20 mA alueella, sekä 12 kpl digitaallilähdöille 0/24 V DC. Säätimien syöttöjännite on 220 V 50 Hz taajuudella. Tässä kappaleessa on kuvattu säätimien käyttötarkoituksia ja toimintaa. Liitteen 2 taulukossa on esitetty voimalan I/O-luettelo, jonka tiedot on kerätty pääosin kaukolämpökeskuksen suunnittelukuvista. Liitteen tietoihin viitataan säätöpiirien toiminnan kuvauksissa.

Säätäjä XX-50 on kattilalogiikan säätäjä. Tätä yksikkösäätäjää käytetään säätämään kumpi, voimalan kattiloista on peruskattila ja kumpi on lisäkattila. Peruskattila on se kattila, joka käynnistyy ensimmäisenä ja lisäkattila otetaan käyttöön ennalta määritellyn tehorajan tullessa vastaan, kuten esimerkiksi 6 MW. Tätä rajaa ei kuitenkaan aseteta XX-50-säätimeltä vaan kattiloiden polttimilta. Poltinkeskukselta säädetyn arvon mukaan säädin käynnistää tai sammuttaa lisäkattilan polttimen, ohjaa raitisilmapeltelejä ja säätää kattiloiden sulkuventtiilien SV-101 ja SV-201 asentoja. Kaukolämpötehon laskenta tapahtuu kuitenkin TICA-01/PdIC-02-säätimessä, jonka kautta XX-50-säädin saa tiedon tehosta, jonka perusteella se tekee ohjauksensa. Liitteessä 2 on esitetty kaikki XX-50-säätöpiirin tulot ja lähdöt.

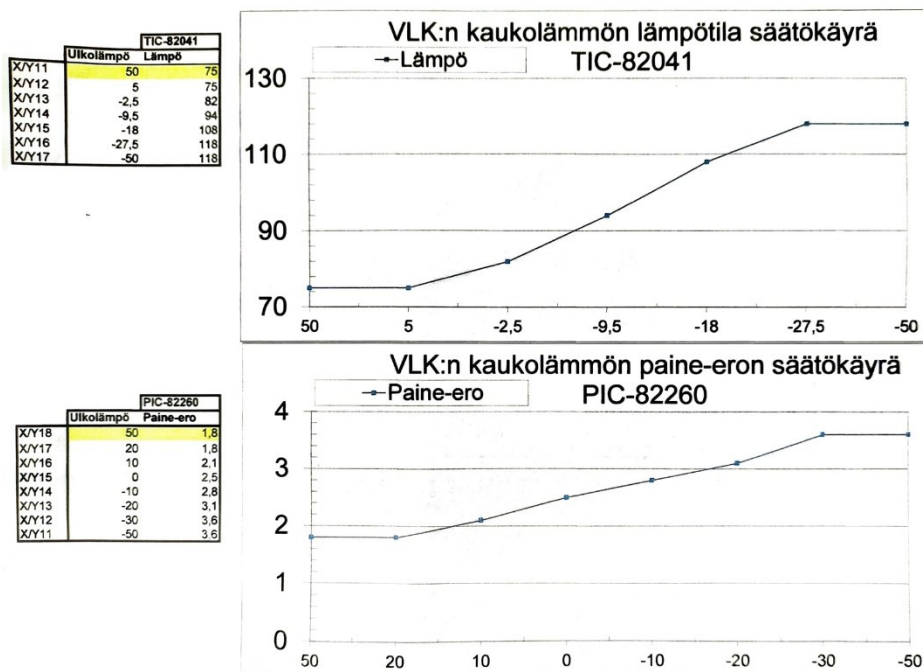
TICA-04/PICA-05 on öljyn lämpötilan ja paineen säädöstä vastaaja säädin, mutta se ei ole enää aktiivisessa käytössä. Lämpökeskuksen pääasiallinen polttoaine on nykyään maakaasu ja vaikka öljyn käytölle polttoaineena on yhä mahdollisuus tätä säädintä ei käytetä edes öljyllä ajettaessa. Raskasöljysäiliö, jota tämä säädin sääteli yhtenä tehtävänä, on nykyisin poistettu laitoksesta. Jotkin säätimen toiminnot ovat kuitenkin edelleen aktiivisia. Esimerkiksi öljyn lämpötilatietoja mitataan edelleen ja tieto niistä viedään voimalan valvomon tietokoneille ja ilmaylijäämää valvovat kattiloiden happianturit ovat edelleen paikoillaan. Liitteessä 2 on listattu kaikki TICA-04/PICA-05 säätöpiirin I/O-tiedot, mutta kaikki niistä eivät välttämättä ole enää relevantteja voimalan automaation ohjauksen kannalta.

Voimalan käytön kannalta TICA-01/PdIC-02-säädin on olennaisen tärkeä. Säätimen 1-kanavaan kytketty TICA-01-säätöpiiri ohjaa lämpökeskuksen menoveden lämpötilaa. Kyseinen säätöpiiri ei kuitenkaan säätele kattiloiden palamislämpötilaa, sillä poltinautomaatio vastaa tästä. TICA-01 ohjaa lämpötilaventtiiliä TV-01, jonka kautta kaukolämpöverkkoon menevää lämmintä vettä laimennetaan verkosta palaavalla viileällä vedellä. Säädin ohjaa venttiiliä menoveden ja paluuveden lämpötilaa mittaavien TI-01- ja TI-09-mittarien sekä pumpun virtamittarin mittaustietojen perusteella.

Säätimen 2-kanavaan kytketty PdIC-02-säätöpiiri säätelee kaukolämpöverkon paine-eroa säätämällä kaukolämpöpumppujen kierrosnopeutta. Säädin saa mittaustiedon Kaukolämpöverkon paine-erosta Pd-02 paine-erolähtetimeltä, joka laskee paine-eron PIA-10- ja PIA-11-painelähtettimien tiedoista. Paine-eron ja virtauksen perusteella PdIC-02 lähettää ohjauskomentoja pumppujen taajuusmuuttajille. Alun perin säädin ohjasi vain toista kaukolämpöpumppua, mutta sittemmin molemmat pumput on kytketty tämän säätimen alaisuuteen.

Voimalan suunnittelukuvista käy ilmi, että TICA-01/PdIC-02-säätimen on ilmeisesti kaavailtu toimivan alun perin itsenäisesti ulkolämpötilan perusteella, sillä ulkolämpötilalle on varattu säätimessä tulo-osoite ja se on kirjattu logiikkakaavioihin. Kuitenkin todellisuudessa tätä ominaisuutta ei ole toteutettu ja voimalan käyttäjä säätää lämpötilan ja paine-eron asetusarvoa säätimeltä manuaalisesti aina ulkolämpötilan muuttuessa kuvan 21 arvojen mukaisesti. Kaikki TICA-01/PdIC-02-säätimen tarkat I/O-tiedot löytyvät liitteestä 2.

Kuva 21. Valkeakosken kaukolämmön lämpötilan ja paineen säätö ulkolämpötilan mukaan.



5.2 Valvonnan mittaukset ja hälytykset

Voimalan prosessia valvotaan automaatiokeskukselta ja lämpökeskuksen yhteydessä olevasta erillisestä rakennuksesta, jossa sijaitsee koko kaukolämpöverkkoa valvova valvomo. Tähän valvomoon lämpökeskukselta tulee tieto meno- ja paluuveden lämpötilasta ja paineesta, tieto öljyn ja savukaasun lämpötilasta sekä tietoa venttiilien asennoista. Tieto tulee valvomolle automaatiokeskukseen yhdistetyn kommunikaatioyksikön (Kuva 22) kautta. Automaatiokeskuksen laitteistoon kuuluu säätimien lisäksi valvontataulu ja monta eri osoitinlaitetta, jotka näyttävät mittaustietoa prosessin suureista, kuten lämpötilasta, paineesta ja virtauksesta. Prosessia valvotaan paikallisesti näiden avulla.

Kuva 22. Kommunikaatioyksikkö.

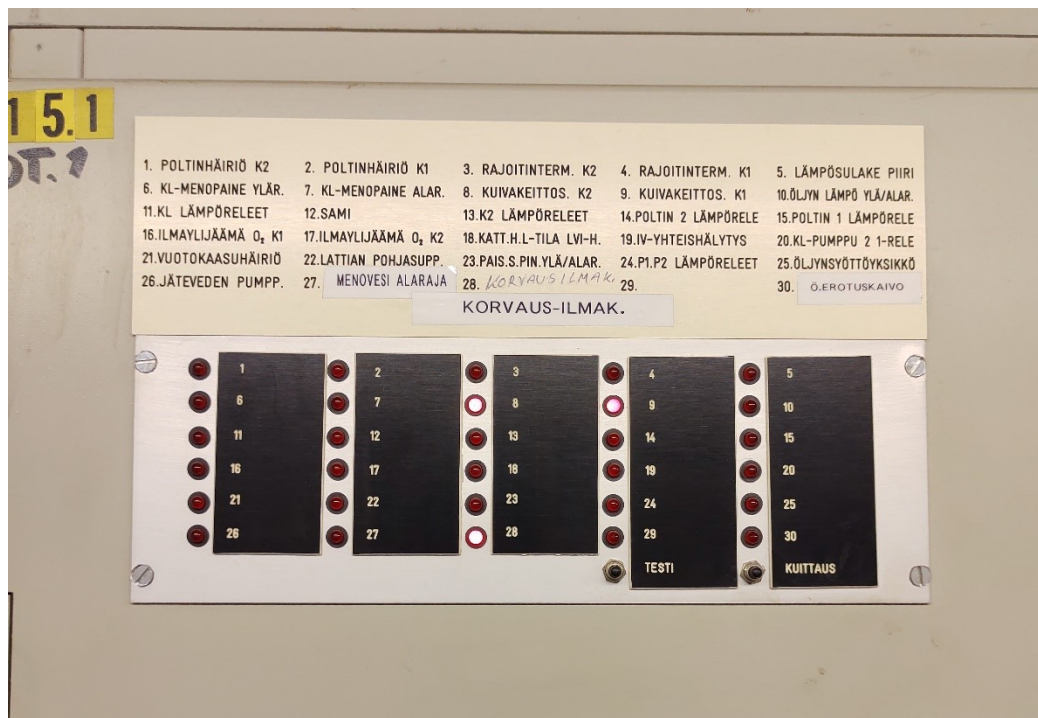


Moni automaatiokeskuksen osoitinlaitteissa (Kuva 20) näkyvistä mittauksista osoitetaan yksikkösäädinten kautta. TI-01 KL-menolämpötila, TI-09 paluuviesilämpö ja FIQ-07 KL-vesivirtaus ovat kaikki mittauksia, joiden tieto kulkee osoitinlaitteille PdIC-02/TICA-01-säätimen kautta (Liite 2). Kyseinen säädin laskee myös kaukolämmön tehoa, joka näky KL-energian osoitinlaitteessa UIQ-08. Loput keskuksen osoitinlaitteista saavat mittaustietonsa suoraan kenttälaitteilta. PI-10 ja PI-11 osoitinlaitteissa näytetään kaukolämpöveden paluupaine ja menopaine. TI-12 osoittaa K1-kattilan savukaasun lämpötilan ja TI-13 K2-kattilan savukaasun lämpötilan.

LI-14 mittari on TICA-04/PICA-05-säätimen tavoin vanhentunut toimilaite, sillä raskasöljysäiliötä, jonka pintaa se mittasi ei ole enää olemassa. Voimalan sisäisten mittausten lisäksi automaatiokeskukselle tulee myös mittaustietoa UPM:n tervasaaren tehtaan pumpun virtauksesta ja menolämmöstä sekä Eerolan pumpun paine-erosta ja menolämmöstä. Tervasaaren ja Eerolan mittaukset tulevat keskukselle mittauspaikoilta puhelinkaapelin välityksellä.

Valvontataulusta XA-01 (Kuva 23) löytyy 30 eri hälytystä, jotka tulevat yksikkösäätimiltä, polttimilta ja prosessin kenttälaitteilta. TICA-04/PICA-05-säätimen lähtöinä on signaaleja hälytykselle lämmön ja paineen ylä- ja alarajalle (Taulukko 2), mutta nämä hälytykset eivät ole enää ajankohtaisia, sillä koko säädin on poistunut käytöstä. TICA-01/PdIC-02-säädin vastaa menoveden lämpötilan alarajan hälytyksestä ja XX-50-säädin ei lähetä minkäänlaisia hälytyksiä. Polttimilta tulee hälytyksiä poltinreleistä ja lämpösulakkeista Kentältä tulevia hälytyksiä ovat mm. LSA-6-pinnanohjausyksiköltä tuleva signaali paisuntasäiliön pinnankorkeuden ylä- ja alarajasta ja korvausilmakoneen hälytys. Kaikki valvontataulun hälytykset näkyvät kuvassa 23.

Kuva 23. Automaatiokeskuksen valvontataulu.



5.3 Automaation kehittäminen

Tulevaisuudessa tavoitteena olisi pystyä käyttämään voimaa etänä. Etäkäyttöä varten ainakin tehoa, lämpötilaa, paine-eroa ja virtausta pitäisi pystyä säätämään etänä.

Välttämättä ei ole tarpeellista toteuttaa mahdollisuutta käynnistää voimala etänä. Kun voimalan automaatiota lähdetään uusimaan, on suositeltavaa uusia koko automaatiokeskus ja korvata myös kaikki voimalan käsikäyttöiset venttiilit joko sähköisesti tai pneumaattisesti ohjattavilla venttiileillä.

Yksikkösäätimet ovat vanhanaikainen ja nykyajan prosessiohjauksen tarpeisiin riittämätön tapa ohjata prosessia. Kaikki kolme yksikkösäädintä voidaan korvata PLC-ohjaimella ja HMI-käyttöliittymällä. Tärkein asia PLC:n valinnassa on I/O-määrä. Järjestelmässä on tällä hetkellä yhteensä tuloja 15 digitaalista ja 20 analogista sekä lähtöjä 26 digitaalista ja 13 analogista (Liite 2). Tosin on huomioitavaa, että TICA-04/PICA-05-säädin on käytännössä poistunut käytöstä ja sen I/O on laskettu mukaan näihin määriin, joten todellinen I/O-tarve voi olla hieman pienempi.

Toisaalta PLC-ohjaimen ohjelmointia varten täytyy myös mahdollisesti lisätä myös uusia tuloja ja lähtöjä, sillä nykyinen järjestelmä on suhteellisen yksinkertainen. PLC:n ohjelman tulisi esimerkiksi ohjata kaukolämmön lämpötilaa ja paine-eroa omatoimisesti kuvan 21 arvojen mukaisesti ilman asetusarvojen säätämistä ja tätä varten täytyy järjestelmään tuoda tulospääntä tietä ulkolämpötilasta. Näiden I/O-tietojen perusteella tulisi mitoittaa PLC-ohjaimen I/O-kortit.

Kaikki automaatiokeskuksen osoitinlaitteet voidaan myös poistaa ja mittaukset voidaan näyttää digitaalisen käyttöliittymän kautta. Keskuksesta sijaitsevat kytkimet tuloilmakoneelle ja painepumpuille voidaan myöskin toteuttaa käyttöliittymältä ohjattuna. Kuvan 23 valvontataulukin voidaan poistaa ja hälytykset voidaan toteuttaa jonkinlaisena häiriölistana PLC:n käyttöliittymässä. Kuvan 22 kommunikaatioyksikkö tarvitsee todennäköisesti poistaa, jotta keskus saadaan yhdistettyä valvomoon nykyaikaisilla väyläteknologioilla ja kommunikaatioprotokollilla etäohjausta varten.

6 Pohdintaa ja huomioita

Kaiken kaikkiaan Radanvarsitien kaukolämpökeskus on automaation näkökulmasta pitkälti vanhentunut. Laitoksen ikä oli tuntuva tekijä myös selvitystyötä tehdessä. Kaikki laitoksen dokumentaatio oli paperilla laitoksen suunnittelukansioissa, joka vaikeutti osaltaan aineiston tutkimista. Lisäksi osa lämpökeskuksen alkuperäisestä dokumentaatiosta on saattanut hukkua yli 30 vuoden aikana. Esimerkiksi prosessin toimintaselostus olisi ollut hyödyllinen selvitystä tehdessä.

Tästä huolimatta selvitystyö onnistui kuitenkin lopulta suhteellisen hyvin. Onnistuttiin selvittämään voimalan säätöpiirien toiminta ja luomaan yleiskuva siitä, millainen laitos on kyseessä ja mihin sitä käytetään. Selvitystyön tärkein tuotos tulevaisuuden automaatiojärjestelmän suunnittelun kannalta on todennäköisesti liitteen 2 I/O-luettelo, jonka avulla voidaan lähteä rakentamaan uutta automaatio-ohjausta.

Voimalassa ja sen dokumentaatiossa on myös epäkohtia, jotka on hyvä huomioda tulevaisuudessa. Suunnittelukuvia ja logiikkakaavioita tutkiessa paljastui joitakin eroavaisuuksia dokumentaatiossa esitettyjen asioiden ja laitoksen todellisuuden välillä. Esimerkiksi keskuksen layout-kuvissa (Liite 1) valvontataulu XA-01 on sijoitettu keskuksen takalevylle, vaikka todellisuudessa se sijaitsee vasemmalla sivulevyllä.

Toisena esimerkkinä on se, kuinka dokumentaatioissa mainitaan useaan kertaan ulkolämpötilan mittauksen käyttö TICA-01/PdIC-02-säätimessä, vaikka tällaista mittausta ei säätimessä ole. Koska voimalan dokumentaatiossa on tällaisia eroavaisuuksia, on myös mahdollista, että tämä raportti sisältää samanlaisia epäkohtia, jotka ovat jääneet huomaamatta. Tästä huolimatta tämän opinnäytetyön sisältö on varmasti hyödyllistä automaatiojärjestelmää uusittaessa.

Lähteet

Bolton, W. (2006). *Programmable logic controllers*. Elsevier Science & Technology.

Crainic, M. (2012). *A Short history of residential water meters part I mechanical water meters with moving parts*. Kaksi erilaista Woltman-mittarin rakennetta [kuva].

https://www.researchgate.net/publication/283045689_A_SHORT_HISTORY_OF_RESIDENTIAL_WATER_METERS_PART_I_MECHANICAL_WATER_METERS_WITH_MOVING_PARTS

Electrical A2Z. (n.d.). *PLC järjestelmä* [kuva].

<https://electricala2z.com/motors-control/plc-programmable-logic-controller-hardware-components-plc-hardware-basics/>

Elsamed. (2021). *Bourdonputkien eri muotoja* [kuva].

<https://elsamed.com/fi/how-does-a-bourdon-tube-work/>

Energiateollisuus. (n.d.) *Kaukolämpöverkkoja yli 15 000 km*.

<https://energia.fi/energiasta/energiaverkot/kaukolampoverkot>

Energiateollisuus. (2020). *Kaukolämpötilasto*. Kaukolämpötilasto 2020, taulukot (XLSX).

<https://energia.fi/uutishuone/materiaalipankki/kaukolampotilasto.html#material-view>

Energiateollisuus. (2021). *Kaukolämpö tuotantomuodoittain* [kuva].

https://energia.fi/files/5650/Kaukolampovuosi_2020_netti_kj_paivitetty_20210318.pdf

Halko, P., Härkönen, S., Lähteenmäki, I. & Välimaa, T. (1998). *Teollisuuden mittaustekniikka. Perusmittauksia*. Edita.

Halko, P., Härkönen, S., Lähteenmäki, I. & Välimaa, T. (1998). *Teollisuuden mittaustekniikka. Perusmittauksia*. Edita. *Magneettisen virtausmittarin toimintaperiaate* [kuva].

Huhtinen, M., Korhonen, R., Pimiä, T. & Urpalainen, S. (2008). *Voimalaitostekniikka*.

Opetushallitus. *Öljykäyttöisen lämpökeskuksen kytkentäkaavio* [kuva].

Keuda. (2019-a). *Jännitystä mittaavan painelähtetimen toiminta* [kuva].

<https://pinja.keuda.fi/mod/page/view.php?id=351401>

Keuda. (2019-b). *Pinnankorkeusanturin asennus paine- ja avoimessa säiliössä* [kuva].

<https://pinja.keuda.fi/mod/page/view.php?id=351403&lang=fi>

Koskelainen, L., Saarela, R., Sipilä, K. (2006). *Kaukolämmön käsikirja*. Energiateollisuus.

Laaksonen, L. (2018). *Kaukolämmön menoveden lämpötilan taloudellinen optimointi*.

Kaukolämmityksen periaatekuva. [kuva].

https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/158481/Diplomityo_laaksonen_lauri.pdf?sequence=1

Ladder logic world. (n.d.). *Tikapuukaavio* [kuva].

<https://ladderlogicworld.com/ladder-logic-programming/>

Motiva. (2019). *Kaukolämpö*.

https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo

PLC academy. (2018). *Yksinkertainen FBD-ohjaus* [kuva].

<https://www.plcacademy.com/function-block-diagram-programming/>

PR electronics. (n.d.) *Metallien resistanssin lämpötilariippuvuuksia* [kuva].

<https://www.prelectronics.com/fi/the-fundamentals-of-rtd-temperature-sensors/>

Schwebler, B. (2020). *Termistorien resistanssien riippuvuus lämpötilasta*. [kuva].

<https://www.digikey.fi/fi/articles/how-to-accurately-sense-temperature-using-thermistors>

Valkeakosken energia. (n.d.). Miksi valita kaukolämpö?

<https://valkeakoskenenergia.fi/yrityksille-ja-taloyhtioille/kaukolampo/miksi-valita-kaukolampo/>

Valkeakosken karttapalvelu. (n.d.). [kartta]. Paikkatietoikkuna. Haettu 11.2.2022 osoitteesta <https://kartat.vlk.fi/?zoomLevel=6&coord=339385.0338994304 6796154.31954252&mapLayers=114+100+default,816+100+>

Värjä, P. & Mikkola, J. (2012). *Uusi kiinteistöautomaatio*. Cadnet Oy.

Wikipedia. (n.d.). *Venturiputken toiminta* [kuva].
<https://fi.wikipedia.org/wiki/Venturi-ilmi%C3%B6>

Liite 1: Keskuslayout-kuvat

