

# **Autonom processtyrning inom industrin**

För- och nackdelar med autonomi

Daniel Markusas

Examensarbete för ingenjör (YH)-examen  
Utbildningsprogrammet för el- och automationsteknik  
Vasa 2022

## EXAMENSARBETE

Författare: Daniel Markusas

Utbildning och ort: El- och automationsteknik, Vasa

Inriktning: Automationsteknik

Handledare: Matts Nickull

Titel: Autonom processtyrning inom industrin – För- och nackdelar med autonomi

---

Datum: 26.5.2022    Sidantal: 25

---

### Abstrakt

Industrin utvecklas kontinuerligt och nya lösningar på vardagliga problem utvecklas hela tiden inom olika områden. Till dessa utvecklingsområden hör autonomi som växer kraftigt och utforskas kontinuerligt. Med hjälp av autonomi kan nya alternativ och möjligheter produceras för att reglera processer optimalt. Arbetet fokuserar på autonoma funktioner vid en fjärrvärmeackumulator i värmeproduktion men paralleller kan dras till övriga områden inom industrin

Målet med detta arbete var att hitta för- och nackdelar med att styra processen för en fjärrvärmeackumulator med hjälp av autonoma funktioner och sekvenser. Arbetet tillämpar en fjärrvärmeackumulator och dess autonomi vid Borgå Energi för att plocka fram nyanser.

Med hjälp av funktionsprincip av en fjärrvärmeackumulator och provkörningar av processen både manuellt och med automation skapades en bild av vad som kan försvåra eller underlätta en operatörs vardagliga uppgifter. Utöver detta diskuteras även andra faktorer och tankar som under arbetets gång uppkom.

Slutsatserna har som tanke att ge läsaren en bredare bild över autonoma funktioner inom industrin och eventuellt skapa nya synvinklar kring området.

---

Språk: svenska

Nyckelord: autonomi, fjärrvärmeackumulator, industri, värmeproduktion

## OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Daniel Markusas

Koulutus ja paikkakunta: Sähkö- ja automaatiotekniikka, Vaasa

Suuntautumisvaihtoehto: Automaatiotekniikka

Ohjaaja: Matts Nickull

Nimike: Autonominen prosessiohjaus teollisuudessa – Autonomian edut ja haitat

---

Päivämäärä: 26.5.2022      Sivumäärä: 25

---

### Tiivistelmä

Teollisuus kehittyy jatkuvasti ja uusia ratkaisuja päivittäisiin ongelmiin tehdään koko ajan eri alueilla. Näihin alueisiin kuuluu autonomia, joka kasvaa voimakkaasti ja aluetta tutkitaan jatkuvasti uusien vaihtoehtojen ja mahdollisuuksien varalta. Työ keskittyy kaukolämpöakun autonomisiin toimintoihin lämmöntuotannossa, mutta yhtäläisyyksiä voidaan vetää muidenkin teollisuuden alueisiin.

Tämän työn tavoitteena oli löytää etuja ja haittoja kaukolämpöakun prosessin ohjaamisesta autonomisten toimintojen ja sekvenssien avulla. Työssä sovelletaan Porvoon Energian kaukolämpöakkuja ja sen autonomiaa.

Kaukolämpöakun toimintaperusteen ja prosessien, sekä manuaalisten että autonomisten, koeajojen avulla luotiin kuva siitä, mitkä asiat voivat vaikeuttaa tai helpottaa operaattorin jokapäiväisiä tehtäviä. Tämän lisäksi käsitellään myös muita työn aikana heränneitä tekijöitä ja ajatuksia.

Johtopäätöksillä on tarkoitus antaa lukijalle laajemman kuvan teollisuuden autonomiasta ja mahdollisesti antaa uusia näkemyksiä aiheesta.

---

Kieli: ruotsi

Avainsanat: autonomia, kaukolämpöakku, teollisuus, lämpötuotanto

## **BACHELOR'S THESIS**

Author: Daniel Markusas

Degree Programme: Electrical Engineering and Automation, Vaasa

Specialisation: Automation

Supervisor: Matts Nickull

Title: Autonomous Process Control in Industry – Advantages and Disadvantages of Autonomy

---

Date: 26.5.2022      Number of pages: 25

---

### **Abstract**

The industry is constantly evolving and new solutions to everyday problems are constantly being developed in different areas. These areas of development include autonomy, which is growing rapidly and is constantly being explored. With the help of autonomy, new alternatives and opportunities can be produced to regulate processes optimally.

The work focuses on autonomous functions at a district heating accumulator in heat production, but parallels can be drawn to other areas within the industry.

The goal of this work was to find the pros and cons of controlling the process of a district heating accumulator using autonomous functions and sequences. The work applies a district heating accumulator and its autonomy at Porvoon Energia to pick out nuances.

With the help of the operating principle of a district heating accumulator and test runs of the process both manually and with automation, an overview was created of what can complicate or facilitate an operator's everyday tasks. In addition to this, other factors and thoughts that arose during the work are also discussed.

The conclusions are intended to give the reader a broader picture of autonomous functions in the industry and possibly create new perspectives around the area.

---

Language: Swedish

Key words: autonomy, district heating battery, industry, heat production

## Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Syfte .....	1
1.2	Uppdragsgivare.....	2
2	Allmänt om värmeproduktion.....	3
2.1	Fjärrvärme .....	3
2.2	Värmelagring.....	3
2.3	Fjärrvärmeackumulator .....	4
2.3.1	Fjärrvärmeackumulator vid Borgå Energi.....	5
2.3.2	Pumpstation.....	6
3	Processbeskrivning .....	7
3.1	Processinformation .....	7
3.2	Laddning.....	9
3.2.1	Laddning, normalläge .....	9
3.2.2	Laddning, motrotation.....	10
3.3	Urladdning .....	11
3.3.1	Urladdning, normalläge.....	11
3.3.2	Urladdning, motrotation.....	12
4	Automation och sekvenser och autonomi .....	13
4.1	Automation .....	14
4.2	Sekvenser .....	15
4.3	Autonomi .....	16
5	Manuella och autonoma körningar i praktiken .....	16
5.1	Manuell start av laddning.....	17
5.2	Manuell styrning vid laddning .....	17
5.3	Autonom start och laddning.....	18
6	Slutsatser .....	19
6.1	Underlättning av arbetsuppgifter .....	19
6.2	Noggrannhet och snabbhet vid reglering .....	20
6.3	Problem med automationssystem.....	21
6.4	Lönsamhet.....	22
7	Resultat .....	23
8	Diskussion .....	24
9	Källförteckning.....	25

# 1 Inledning

Automation inom industrin har redan länge varit en väsentlig del av vardagen. Då processerna och tekniken utvecklas krävs det alltmer av personer och system som jobbar med eller kring ämnesområdet. För att underlätta arbetet kan sekvenser och autonoma funktioner utvecklas för att till exempel kunna utföra många uppgifter med endast en knapptryckning eller snabbt kunna reagera på förändringar.

Inom värmeproduktionen är autonoma funktioner ett vardagligt fenomen då kraftverk önskas köras optimalt för att både minska på slitage samt maximera produktion.

Detta arbete har gjorts för Borgå Energi som nyligen investerat i och byggt en fjärrvärmeackumulator. Fjärrvärmeackumulatoren fungerar som värmeenergilagring och har som uppgift att jämna ut snabba förändringar i behovet av värme i fjärrvärmenätet, minska på behovet av bränslen, ta till vara värmeenergi för senare användning samt effektivisera elproduktion. Fjärrvärmeackumulatoren fungerar även som en reserv ifall det skulle uppkomma oförutsedda problem i produktionen.

I detta arbete undersöks automation och autonoma system för en fjärrvärmeackumulator. Arbetet fokuserar på att analysera skillnader, för- och nackdelar, som kan uppkomma då en fjärrvärmeackumulator styrs av autonoma sekvenser och funktioner jämfört med att operatörer i ett kontrollrum övervakar och styr dessa processer och hur detta eventuellt påverkar helheten.

## 1.1 Syfte

Syftet med detta arbete var att försöka ge en förståelse för varför autonoma funktioner och processer och speciellt processer som bör fungera optimalt är nödvändiga. Eftersom arbetsuppgifter ofta kan förändras på grund av implementering av autonoma processer motsätts ofta dessa förändringar starkt.

Företag kör i de flesta fallen med en linje att maximera vinsten och detta leder ibland till att alla medverkande inom organisationen inte är nöjda med alla beslut. Avsikten med arbetet är att presentera för- och nackdelar och utav detta göra det möjligt för läsaren att introduceras till nya synvinklar.

## 1.2 Uppdragsgivare

Borgå Energi är ett bolag som till stor del ägs av Borgå stad. Moderbolaget Borgå Energi Ab producerar el- och värmeenergi, säljer och distribuerar fjärrvärme i staden samt sköter om underhåll av fjärrvärmenätet. Till bolaget hör även dotterbolaget Borgå Elnät Ab som utvecklar och underhåller elnätet.

En av de centrala delarna för bolaget är grön energi och bolaget har redan tidigare uppfyllt EU:s energiproduktions- och klimatkrav för 2050. Elproduktionen är helt koldioxidfri och förnybar energi används till nästan 100 % vid produktion av el- och värmeenergi, men bolaget vill fortsätta utveckla sin verksamhet och för att nå 100 % förnybar energi. (Borgå Energi, 2021).

Bolaget producerar i huvudsak värme och el vid två bioanläggningar som använder biomassa av trä som bränsle. Denna CHP-anläggning, som står för Combined Heat and Power, stod år 2020 för 99,7 % av årsproduktionen av fjärrvärme. I huvudsak används den ena anläggningen som baslastpanna och den andra vid behov under vinterhalvåret. Dessutom har bolaget värmecentraler i sitt ägo. Dessa värmecentraler består av värmepannor som använder naturgas och olja som bränsle för att skapa värmeenergi. (Borgå Energi, 2021)

Tidigare har värmen som producerats vid CHP-anläggningen inte varit tillräcklig för att upprätthålla behovet av energi i fjärrvärmenätet ifall det varit mycket kallt väder och därför har bolaget använt sig av värmepannor för att kunna erbjuda tillräcklig mängd värmeenergi. I och med att fjärrvärmeackumulatören byggts minskar, till och med upphör, behovet av dessa värmecentraler vid normala förhållanden och ackumulatören kan stå för underskottet av energi vid kallt väder.

## 2 Allmänt om värmeproduktion

Kapitlet presenterar värmeproduktion och enheter som bygger upp ett fjärrvärmenäts helhet.

### 2.1 Fjärrvärme

Fjärrvärme är en metod att producera och distribuera värme till flera fastigheter med koncentrerad produktion genom ett fjärrvärmenät. Denna produktion förverkligas i huvudsak av ett eller flera kraftverk. Fjärrvärmenätet är byggt upp av två eller tre linjer: en het linje och en svalare linje. Värmebärarmediet, oftast vatten, värms upp i kraftverk eller värmecentraler och distribueras genom linjen till fastigheter som med hjälp av värmeväxlare tar till vara eller omvandlar energin enligt behov (Energiatollisuus, 2006). Därefter returneras det nu svalare vattnet genom den svalare linjen till kraftverk eller värmecentraler för återuppvärmning. Fjärrvärmenätverket är alltså ett slutet system vilket betyder att samma värmebärarmedium, oftast vatten, som skickas från kraftverket till fastigheter även kommer tillbaka till kraftverket för att värmas upp på nytt. För att kunna skapa ett flöde i nätverket utnyttjas teorin om tryckskillnader.

Nytan med fjärrvärme är att värmeproduktionen är mycket effektiv vilket betyder att mindre mängd energi behövs för att värma upp en mängd fastigheter i jämförelse till att varje fastighet skulle sköta om värmeenergiproduktionen självständigt. Värmeproduktion vid kraftverk sammankopplas även ofta till elproduktion vilket ökar verkningsgraden även mer och ger ett miljövänligt alternativ för uppvärmning.

### 2.2 Värmelagring

Värmelagring är en metod där värmeenergi tas till vara för att vid senare behov kunna användas. Eftersom kraftverk är begränsade mekaniskt kan de inte producera värme obegränsat. Då denna gräns kommer emot, men behovet av värme fortfarande växer, måste energibehovet mötas och detta görs endera med extra kraftverk, värmecentraler eller lagrad energi.

Ett vanligt problem vid distribution av värme är att behovet och konsumtionen är påverkad av yttre faktorer vilket kan göra det svårt att förutspå. Värmeproducenter utvecklar hela tiden sätt att förutspå dessa behov med hjälp av, som exempel, väderprognoser och insamling av data vilket visar när behovet är som störst under dagen men alltid är detta inte tillräckligt. Som grundtanke för värmelagring är att eventuella överskott vid produktion skall kunna tas



tillvara för att jämna ut underskott. Ett gott exempel på detta är vid CHP-anläggningar där både värme och el produceras. Ifall börspriset på el är högt, lönar det sig att producera el. Eftersom produktion av värme och el går hand i hand vid en CHP-anläggning produceras mycket värmeenergi då elproduktionen är hög. Då behovet av värme inte korrelerar med behovet av el som produceras, går värmeenergi till spillo ifall energin inte tas till vara. Med hjälp av värmelagring kan denna energi utnyttjas och senare användas enligt behov.

## 2.3 Fjärrvärmeackumulator

Fjärrvärmeackumulatören som fungerar som värmelager är i sin enkelhet en behållare för varmt eller hett vatten och är i huvudsak konstruerade för korttidslagring. Funktionsprincipen grundar sig på teorin om vätskors vikt vid olika densitet, att vätskor bildar skikten på grund av dessa viktskillnader samt att vattnets densitet förändras vid temperaturförändring (Ekeborg & Svenningsson, 1991). Med hjälp av dessa teorier är det möjligt att dra slutsatser och bevisa att vatten kan lagras i skikten för senare användning och utav detta bygga upp en teoretisk modell och funktionsprincip för en värmeackumulator.

Behållare av mindre storlek konstrueras i huvudsak för att vara trycksatta medan större versioner endast utnyttjar övertryck för att hålla ackumulatorns övre delar syrefritt. Detta eftersom för mycket syre kan komma in i fjärrvärmenätets vatten, vilket leder till att till exempel fjärrvärmenätets rör gjorda av järn kan börja rosta och detta kan leda till stora problem då det blir hål på ett rör.

En fjärrvärmeackumulator består i huvudsak av tre skikt: ett skikt där hett vatten från fjärrvärmenätet körs in och ut, ett skikt där vatten från kallare sidan körs in och ut samt ett mellanskikt där tidigare nämnda skikten blandas (Frederiksen & Werner, 1993). Huvudregeln är alltså att vatten inte skall blandas. Detta medför sig en utmaning då det krävs rörelseenergi för att vattnet i fjärrvärmenätet skall röra på sig och cirkulera. En relativt enkel lösning på detta problem är en diffusor. En diffusor är en mekanisk del som sänker på hastigheten av mediet som förflyttas. En diffusors uppgift är alltså att förändra dynamiskt tryck till statiskt tryck i mediet som förflyttas. En diffusor installeras vid mynningen av både den heta och den svala linjen i ackumulatören (Energiatollisuus, 2006).

Grundidén för en värmeackumulator är att hålla en konstant nivå på vattnet i behållaren vid användning så att inte mängden vatten i fjärrvärmenätet skall fluktuera. Detta betyder att det i huvudsak alltid körs lika mycket vatten in i värmeackumulatören som det körs ut. Ifall detta

inte görs, stiger eller sjunker vattenmängden i nätverket. Detta leder i huvudsak till tryckökning i fjärrvärmenätverket eller att vatten måste tas ur nätet på andra ställen. Ifall detta inte görs kan trycket öka för mycket och kan i värsta fall leda till att trycket i svalare linjen blir högre än i heta linjen i nätverket vilket leder till att svalare vatten kommer in i heta linjen. Ifall vatten som tas ur fjärrvärmeackumulatören däremot tas till vara annanstans kommer det en fysisk gräns emot. Detta på grund av att ackumulatören är den största vattenbehållaren i fjärrvärmenätverket och små nivåsenkningar kan leda till att vattenbehållare på andra ställen, dessa är upp till 50 m<sup>3</sup> i storlek, inte klarar av att ta emot mer vatten innan de överfylls.

### **2.3.1 Fjärrvärmeackumulator vid Borgå Energi**

Fjärrvärmeackumulatören som Borgå Energi investerat i är en behållare som är ca. 41,5 meter hög, 18,5 meter i diameter och kan rymma ca. 10 000 m<sup>3</sup> och har planerats ha en laddningskapacitet på upp till 400 MWh (Elomatic Engineering & Consulting, 2020).

Fjärrvärmeackumulatören har försetts med två linjer (rör), en för hett vatten och en för svalare vatten. Dessa linjer är försedda med en diffusor per linje. Ackumulatören är även försedd med övertrycksventil för att trycket i ackumulatorns övre delar inte skall överstiga önskade värden. Ackumulatören är också försedd med ett vattenlås ifall vattennivån i ackumulatören skulle stiga för högt. Fyra tryckmätningar och 37 temperaturmätningar förmedlar nödvändig information till ett automationssystem för att kunna veta hur mycket värmeenergi ackumulatören är laddad med samt för att kunna reglera vattennivån. Intill ackumulatören ligger även en pumpstation.



*Figur 1. Fjärrvärmeackumulator, Borgå Energi.*

### **2.3.2 Pumpstation**

Pumpstationen som Borgå Energi byggt omfattar fyra huvudpumpar med frekvensomriktare. Frekvensomriktares funktionsprincip grundar sig på omvandling av en växelspannings frekvens och med hjälp av detta kan växelströmsmotorers varvtal regleras. (Elomatic Engineering & Consulting, 2020).

Pumpar har som uppgift att skapa tryck så att vatten kan köras in och ut ur både fjärrvärmenätet och fjärrvärmeackumulatorn. Pumparna är installerade två per linje. Sammanlagda mängden vatten som pumparna kan förflytta är ca. 750 m<sup>3</sup>/h per linje. Utöver dessa pumpar har även en pump för att kyla ner vattnet i den heta linjen med frekvensomriktare samt en pump för att köra in vatten i fjärrvärmeackumulatorns vattenlås installerats. Respektive linje är även försedd med 16 ventiler varav fem per linje är installerade med ställdon och resterande är handventiler. Ventilerna installerade med ställdon möjliggör reglering av vattenflödet och handventilerna är i huvudsak till för att möjliggöra underhåll.



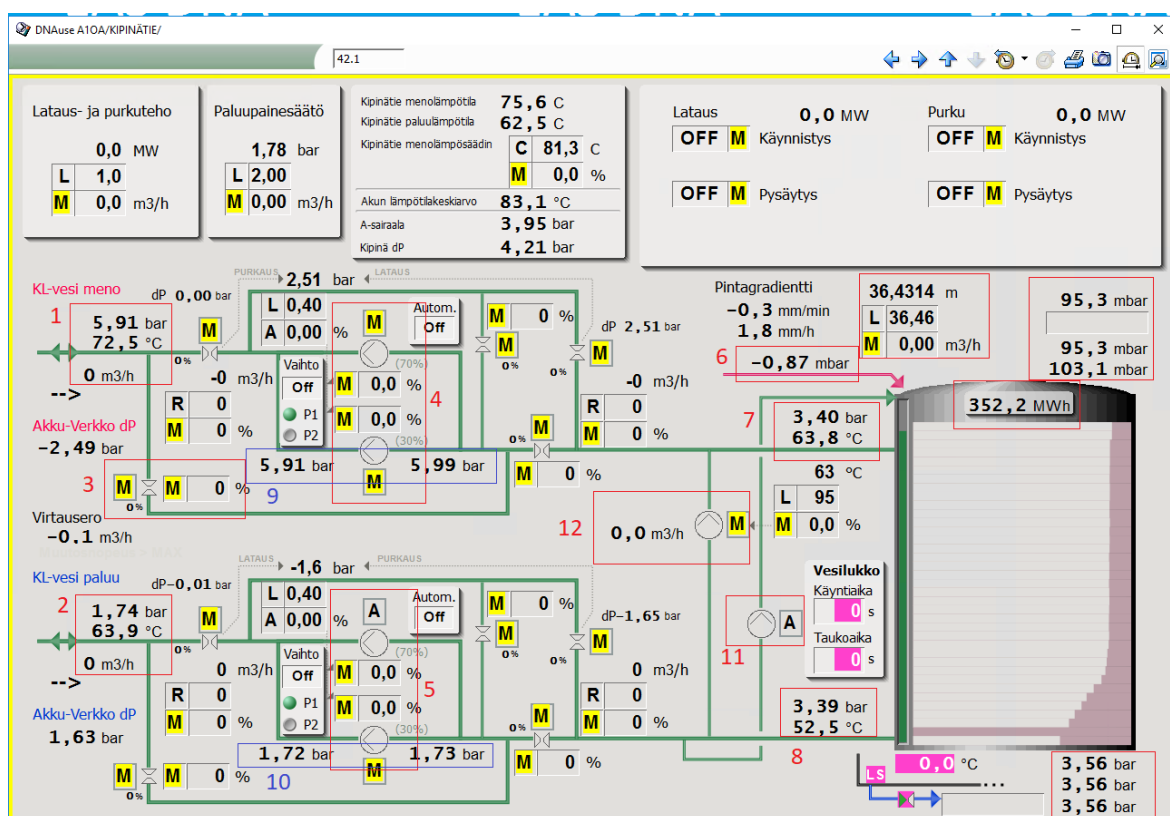
*Figur 2. Fjärrvärmeackumulatorns pumpstation vid Borgå Energi.*

### **3 Processbeskrivning**

Processhelheten för en värmeackumulator kan delas upp i två delprocesser: laddning och urladdning. Dessa processer möjliggör tillvaratagande av värmeenergi och förbrukning av lagrad värmeenergi. Processerna körs i huvudsak med pumpar som drivs av elmotorer och ventiler som styrs av ställdon. För att hålla koll på vad som pågår i processerna används mätningar för informationsinsamling. Denna helhet placeras ofta i en skild pumpstation och positioneras i fjärrvärmeackumulatorns närhet. Kapitlet kommer till stor del fokusera på fjärrvärmeackumulatören vid Borgå Energi och den kommer användas för exempel.

#### **3.1 Processinformation**

Figur 3 visar ett urklipp ur automationssystemet. Urklippet med förklaringar visar processerna i pumpstationen, enheter samt processvärden.



Figur 3. Urklipp av processhelhet för fjärrvärmeackumulator.

De gröna linjerna är rör där fjärrvärmevatten färdas.

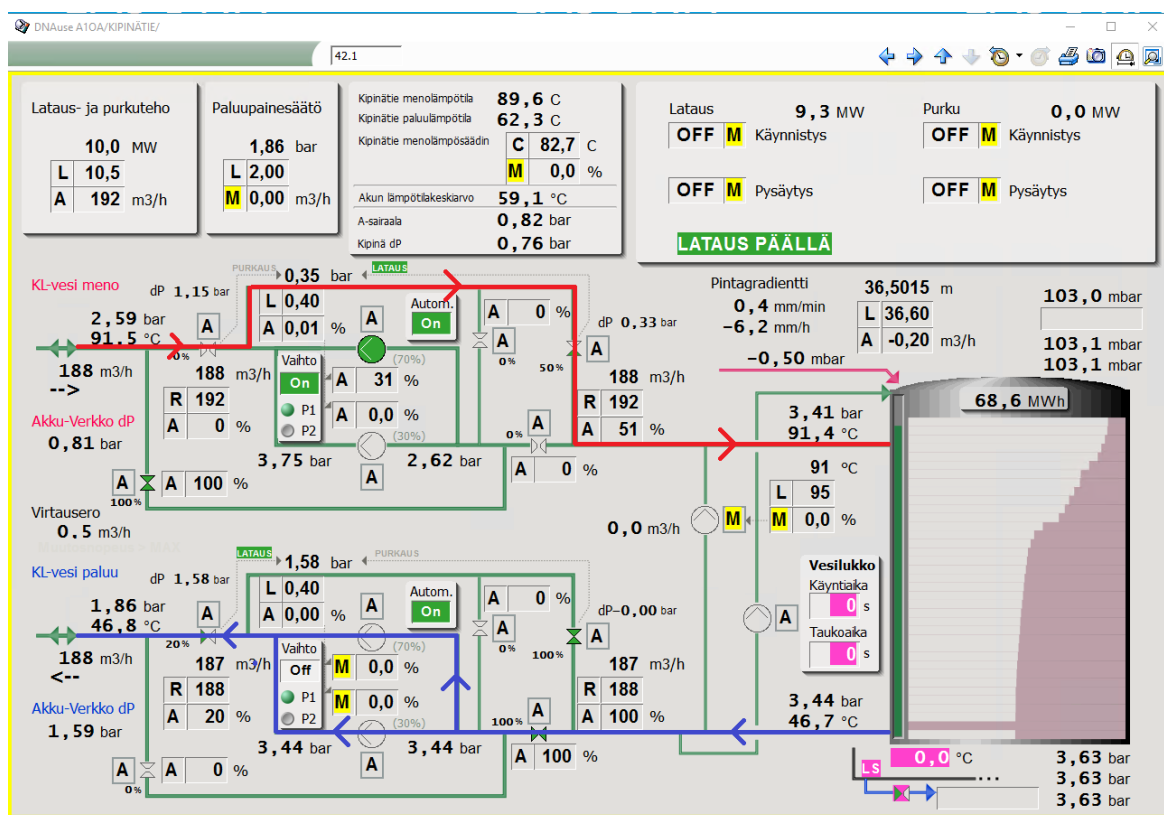
1. Tryck-, temperatur- och flödesmätning för vattnet som körs in i och ut ur fjärrvärmenätet, heta linjen
2. Se punkt 1. Svala linjen
3. Ventil som kan styras med hjälp av ställdon från automationssystemet. %-talet vid ventilerna indikerar hur mycket ventilen är öppnad.
4. Pumpar för att skapa tryck. Heta linjen.
5. Se punkt 4. Svala linjen.
6. Tryckmätning för ånga som körs in i fjärrvärmeackumulatorns övre del.
7. Tryck- och temperaturmätning för rören som går till fjärrvärmeackumulatorn, heta linjen.
8. Se punkt 7. Svala linjen.
9. Tryckmätningar före och efter pumparna.
10. Tryckmätningar före och efter pumparna.
11. Pump för att fylla vattenlås i fjärrvärmeackumulatorn
12. Pump för att blanda vatten som körs in i fjärrvärmeackumulatorn så att det inte är för hett.

## 3.2 Laddning

Med laddning menas att fjärrvärmeackumulatorn laddas. Hett vatten körs in i fjärrvärmeackumulatorn från den heta linjen och svalare vatten körs ut ur fjärrvärmeackumulatorn till svala linjen. Laddning av en fjärrvärmeackumulator kan utföras på tre olika sätt. Eftersom fjärrvärmenätet är tryckbesatta och vattnet i fjärrvärmeackumulatorn skapar ett tryck måste dessa tryck övervinnas för att vatten skall flöda i rätt riktning för respektive laddningsätt.

### 3.2.1 Laddning, normalläge

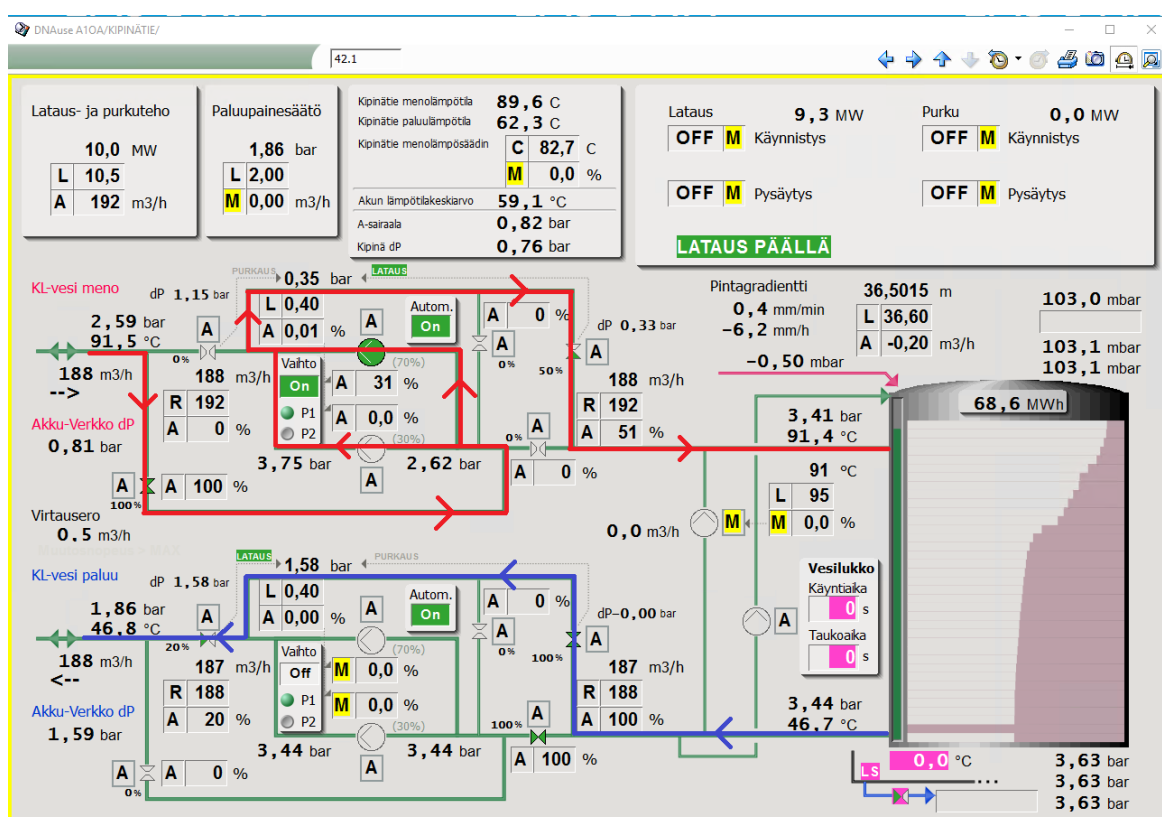
Laddning vid normalläge innebär att fjärrvärmenätets tryck är högre än fjärrvärmeackumulatorns tryck. I detta fall räcker det till att endast öppna ventiler i heta linjen för att vattnet skall flöda i rätt riktning eftersom tryckskillnad skapar flöde. Däremot måste både ventiler och pumpar i svalare linjen startas för att övervinna trycket i fjärrvärmenätet så att vatten flödar i rätt riktning. (Elomatic Engineering & Consulting, 2020).



Figur 4. Urklipp ur automationssystem vid laddning, normalläge.

### 3.2.2 Laddning, motrotation

Vid laddning i motrotation är trycket i fjärrvärmenätet lägre än i fjärrvärmeackumulatorn för båda linjerna. Detta medför att vattnet från fjärrvärmenätets heta linje måste pumpas till ett högre tryck än vad fjärrvärmeackumulatorns vatten bildar för att vatten skall flöda in i fjärrvärmeackumulatorn. Detta kan beroende på behovet av laddning göras med endera pumpen eller både och. Tillika är trycket i svala linjen högre i fjärrvärmeackumulatorn än i fjärrvärmenätet vilket betyder att det räcker till att öppna ventiler för att vattnet skall flöda in i fjärrvärmenätet och inga pumpar behöver startas. (Elomatic Engineering & Consulting, 2020).



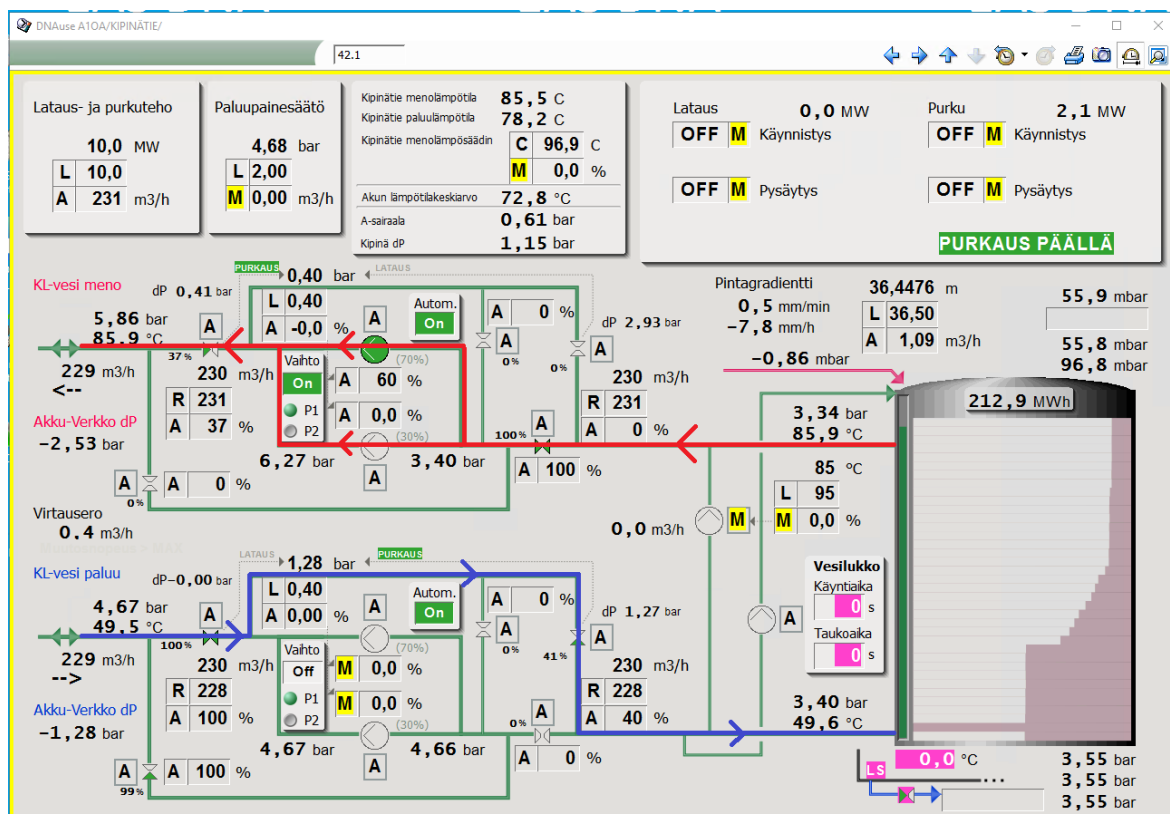
Figur 5. Urklipp ur automationssystem vid laddning, motrotation.

### 3.3 Urladdning

Urladdning kan utföras på två olika sätt. Eftersom trycket i svala linjen alltid är lägre än i heta linjen vid normaltillstånd kan inte version 3 av laddning förekomma. Vid urladdning körs svalare vatten in i fjärrvärmeackumulatorn från svalare linjen tillika som hett vatten körs in i heta linjen från fjärrvärmeackumulatorn för att kunna använda det heta vatten som varit lagrat.

#### 3.3.1 Urladdning, normalläge

Vid normalläge av urladdning är trycket i fjärrvärmenätet högre än trycket i fjärrvärmeackumulatorn. På samma sätt som vid laddning måste tryck övervinnas för att vatten skall flöda i önskad riktning. Eftersom trycket i heta linjen är högre än i fjärrvärmeackumulatorn, måste pumpar startas för att kunna köra ut hett vatten ur fjärrvärmeackumulatorn. Däremot räcker det att ventiler öppnas i svalare linjen för att vattnet skall flöda. (Elomatic Engineering & Consulting, 2020).

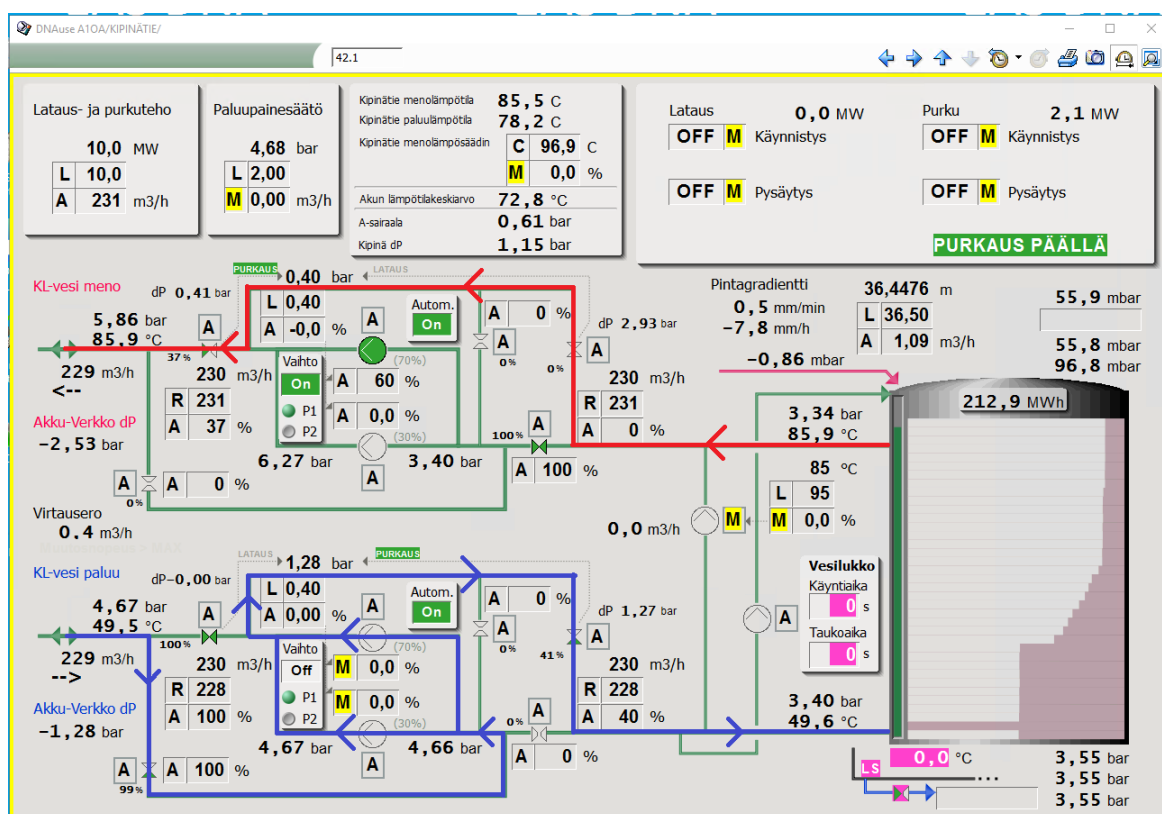


Figur 6. Urklipp ur automationssystem vid urladdning, normalläge.



### 3.3.2 Urladdning, motrotation

Vid urladdning med motrotation är trycket i fjärrvärmenätet lägre än trycket i fjärrvärmeackumulatorn. I detta fall måste alltså trycket i fjärrvärmelinjen övervinnas på svalare sidan för att kunna köra svalt vatten in i fjärrvärmeackumulatorn och detta kan göras med ena, andra eller båda pumparna som ligger i linjen. Tillika räcker det till att endast öppna ventiler i heta linjen för att vatten skall flöda i rätt riktning eftersom trycket vattnet bildar i fjärrvärmeackumulatorn är högre än i heta linjen i fjärrvärmenätet. (Elomatic Engineering & Consulting, 2020).



Figur 7. Urklipp ur automationssystem vid urladdning, motrotation.

## 4 Automation och sekvenser och autonomi

Automation har underlättat vardagen redan i hundratals, till och med tusentals år. Ofta tänker folk att automation och automationssystem är något tekniskt invecklat, men som exempel kan väderkvarnar som mal säd eller vävstolar för tillverkning av tyger plockas fram eller varför inte en dörr som öppnas automatiskt då någon går nära dörren.

Inom industrin används automation för att övervaka och styra processer och samla in nödvändig information med hjälp av olika mätningar. Detta både underlättar arbetet och skapar inbesparningar då en eller flera personer inte behöver vara närvarande vid själva processen för att kontrollera temperaturer, tryck eller flöden. Med hjälp av automationssystem kan alltså data samlas in och bearbetas betydligt enklare.

Sekvenser är funktioner som görs i en specifik ordning och kan upprepas otaliga gånger. Eftersom processer inom industrin ofta körs i exakt samma ordning kan program byggas upp för att underlätta styrning av diverse enheter. Som exempel kan en operatör vid ett kärnkraftverk lyftas fram. Operatören har som uppgift att köra ner, alltså stänga av, ett kärnkraftverk. Processen för att köra ner kraftverket innehåller hundratals olika steg som operatören måste minnas eller följa att utföra till punkt och pricka. Mitt i nedkörningen blir operatören distraherad av ett telefonsamtal och glömmer bort var han var i nedkörandet, vilket inte skulle få uppkomma. Med sekvenser kan alla dessa hundratals funktioner utföras med en knapptryckning till punkt och pricka varje gång utan utomstående möjlighet av distraktion. Ifall fel uppstår framkommer ett alarm som berättar vad som är fel och då felet är åtgärdat kan sekvensen fortsätta precis där som den var innan felet uppstod.

## 4.1 Automation

För att automation skall fungera för en process måste information samlas in från själva processen. Denna information samlas till exempel in med temperatur-, tryck- eller flödesmätningar utöver många fler. Dessa och andra mätningar utförs ofta inom industrin med en strömsignal på 0–20 mA eller 4–20 mA. Utöver strömmätningar kan även spänningsmätningar på till exempel 0–5 V eller 0–10 V användas. Dock är det vanligare inom industrin då sträckor kan vara långa, vilket skapar spänningsfall i kablar, att strömsignaler används.

Automationssystem byggs i huvudsak upp med av digitala och analoga in- och utgångar. Med digitala ingångar kan till exempel information från en säkerhetsbrytare fås för att veta ifall elen är bortkopplad från en maskin ifall den inte körs. Med digitala utgångar kan till exempel kontaktorer styras för att starta en motor. Analoga ingångar läser av strömsignaler och analoga utgångar kan ge strömsignaler för att exempelvis berätta för ett ställdon vilken position denne ska inta. Utöver dessa finns det även ett stort utbud på andra möjligheter. Informationen från processen bearbetas i processtationen i automationssystem som sedan styr processen enligt behov.

Automationen vid en fjärrvärmeackumulator kan vara relativt simpel. Information från temperatur, tryck- och flödesmätningar är nog för att få ut nödvändig information från processen. Med hjälp av denna information kan sedan automationssystemet till exempel beräkna vilken hastighet en motor skall rotera för att skapa ett önskat tryck eller vilken ställning ett ställdon skall inta för att skapa önskat flöde.

Ett exempel på automation är nivåreglering av vatten i en fjärrvärmeackumulator. Med hjälp av till exempel tryckmätningar beräknas vattennivån ut med till exempel en millimeters noggrannhet. Ifall nivån sjunker för lågt ger automationssystemet en styrsignal åt en reglerventil i linjen som flödar in i ackumulatören att öppnas mer för att mer vatten skall komma in i ackumulatören än vad som tas ur den. På detta sätt stiger vattennivån i ackumulatören.

## 4.2 Sekvenser

Automatiska sekvenser som fungerar självständigt kan byggas ifall man vet att funktioner kommer att utföras i samma ordning varje gång. Sekvenser byggs upp genom att kontrollera parametrar, låsningar och information i en process för att processen skall vara i ett läge där en sekvens kan utföras för att sedan verkställa en eller flera funktioner till lika eller i tur och ordning. För en fjärrvärmeackumulator kan man skapa sekvenser för att till exempel köra i gång laddning eller avsluta laddning. Nedan ett förkortat exempel taget från en sekvens som startar laddning vid normalläge av fjärrvärmeackumulatören vid Borgå Energi (Elomatic Engineering & Consulting, 2020).

### **Utgångsläge:**

Inget fel i matningsspänningen.

Fjärrvärmeackumulatören är i standby- läge, alltså inga andra funktioner körs.

Urladdningssekvensen exekveras inte.

Fjärrvärmeackumulatorns vattennivå är inom tillåtna värden.

Pumparna ger inga felmeddelanden.

### **Steg 1:**

Pumpar och ventiler ställs till automatiskt läge, alltså tillåter automationssystemet att styra diverse pumpar och ventiler.

### **Steg 2:**

Ventiler som tillåter att vatten cirkulerar genom pumparna i heta linjen öppnas.

### **Steg 3:**

Rätt pump startas i svala linjen, det vill säga, pumpen eller pumparna som är optimala med laddningseffekten startas.

### **Steg 4:**

Då trycket efter pumparna överstiger fjärrvärmenätets tryck öppnas reglerventiler stegvis.

Tillika öppnas reglerventiler för heta linjen så att vatten kan flöda.

### **Steg 5:**

Laddning är nu i gång och indikeras. Automationssystem följer med vattennivån i fjärrvärmeackumulatören och styr enligt behov med hjälp av flödesmätningar att rätt mängd körs in i och ut ur fjärrvärmeackumulatören.

### 4.3 Autonomi

Till skillnad från automation, som ofta kräver någon form av mänsklig påverkan, är autonoma funktioner självständiga och kräver ingen mänsklig påverkan för att fungera. Inom industrin förverkligas detta genom att utveckla program och helheter som inte kräver mänsklig påverkan för att optimera produktion. Borgå Energi utvecklar i samarbete med externa parter ett autonomt system för laddning och urladdning av fjärrvärmeackumulatorn. Utöver detta utvecklas och planeras även andra helheter som kommer fungera autonomt.

Det autonoma program som utvecklats för att sköta om fjärrvärmeackumulatorn kommunicerar med automationssystemet för att få processdata från fjärrvärmeackumulatorn. Programmet samlar information från priser på bränslen, väderprognoser, prognoser för börspriset på el, produktionsprognoser, data från tillfällig produktion samt data från fjärrvärmeackumulatorn och utför med hjälp av detta dataanalys och beräkna ut ett optimalt sätt att tillämpa fjärrvärmeackumulatorn. Programmet ger efter uträkningar kommandon till fjärrvärmeackumulatorns automationssystem ifall någon process skall tillämpas och i så fall hur. Detta medför att helheten för fjärrvärmeackumulatorn fungerar självständigt och ingen mänsklig påverkan krävs utöver prognoser.

## 5 Manuella och autonoma körningar i praktiken

För att kunna skapa en bild av vad som kan krävas av en operatör för att övervaka och styra en fjärrvärmeackumulator utfördes både manuella och autonoma körningar. Manuella körningar förverkligas genom att autonoma funktioner som är implementerade stängs av och operatören styr och övervakar processhelheten. Autonom körning utförs genom att all funktionalitet tillämpas och helheten styr sig själv.

Körningarna begränsades till start av laddning vid normalläge samt tillhörande kontinuerlig laddning eftersom produktionshelheten skulle ha påverkats ifall flera versioner testats vid olämpliga tillfällen. Därtill granskades endast väsentliga delar av fjärrvärmenätet för körning av fjärrvärmeackumulatorn eftersom påverkan kan leda till väldigt omfattande ändringar i helheten.

## 5.1 Manuell start av laddning

Vid manuell start av laddning måste operatören kontrollera att det är nödvändigt att ladda ackumulatorn med värmeenergi. Informationen får operatören från produktionsprognoser och information om tillfällig produktion vid huvudkraftverken. Ifall behovet att ladda ackumulatorn är aktuellt kan laddningsprocessen påbörjas. Utgångsläget i provkörningen som görs är att trycket i fjärrvärmenätet är högre än i fjärrvärmeackumulatorn vilket hänvisar till laddning vid normalläge i rubrik 3.2.1.

Processen påbörjades genom att öppna en minimiflödesventil samt en slussventil i svala linjen för att vattnet i pumpen skulle cirkulera. Tillika öppnades en slussventil i heta linjen för att förbereda heta linjen för laddning. Då ventilerna öppnats kunde vald pump, bestäms enligt laddningsbehov eftersom pumparna är dimensionerade olika, startas för att skapa ett tryck. Eftersom trycket i fjärrvärmenätet var högre än i fjärrvärmeackumulatorn måste trycket pumpen skapade vara högre än trycket i fjärrvärmenätet för att vattnet skall flöda i önskad riktning. Eftersom laddning skulle utföras, skulle ackumulatorn fyllas med hett vatten från fjärrvärmenätet och svalare vatten köras ur ackumulatorn in i fjärrvärmenätet.

Huvudpumparna, vars rotationshastighet är reglerbar med frekvensomriktare, ökades därefter stegvis. Då önskat tryck uppnåtts kunde sedan reglerventiler i respektive linje öppnas. Ventilerna öppnades turvis och stegvis tills önskat flöde uppnåtts och laddningen fortsatte därefter kontinuerligt.

Under hela uppkörningen kontrollerades värden både vid pumpstationen samt värden såsom tryck i resterande delar av fjärrvärmenätverket. Vid olika mer drastiska justeringar kunde det tydligt noteras hur trycket sjönk i andra delar av nätverket.

## 5.2 Manuell styrning vid laddning

Vid manuell styrning av laddning bör operatören kontinuerligt följa med nödvändig processinformation. Till detta hör i huvudsak flödes- och tryckmätningar. Som tidigare nämnt är funktionsprincipen för en fjärrvärmeackumulator att vattennivån skall hållas konstant och därför skall det i huvudsak köras in lika mycket vatten som det tas ur ackumulatorn.

Då laddningsprocessen startats, stod manuell reglering av laddning i fokus. Utgångsläget var densamma som i vid uppkörning, alltså laddningseffekten som skulle följas togs från

prognosdata och data från tillfällig produktion vid huvudkraftverken. Bland annat var flödesinformation det viktigaste som övervakades och styrdes. Ifall flödesskillnaden steg för högt reglerades reglerventil(er) eller pump(ar) i respektive linje för att behålla önskad laddningseffekt. Detta utfördes genom att öppna en dialogruta för respektive enhet och därefter ändrades styrvärdet endera högre eller lägre. Därtill måste vattennivån i ackumulatören medföljas så den inte i långa loppet förändrades.

I fall där temperaturen på vattnet som körs in i ackumulatören är för hög måste detta justeras med en pump som tar vatten direkt från ackumulatorns svala linje för att köra in det i heta sidan. Detta läge uppkom inte under testkörningarna.

### **5.3 Autonom start och laddning**

Vid autonom start med sekvenser och vid laddning sköter automationssystemet fullständigt om helheten.

Automationssystemet kommunicerar med parterna i nätverk som byggts upp för att få information ifall laddning eller urladdning av ackumulatören skall påbörjas. Då parametrar för laddning fullföljdes och automationssystemet meddelade att laddning kommer påbörjas kunde den autonoma helheten medföljas.

Automationssystemet fick ett kommando som berättade att laddning kommer startas. Då automationssystemet fått detta kommando kontrollerade det läget i fjärrvärmenätet och ackumulatören och utav detta valde det laddningsversion.

Då laddningsversionen var bestämd startade sekvensen för laddningsversionen, se kapitel 4.2 för en förkortad version av en sekvens. Då sekvensen kört klart var laddningen i gång. Vid laddning följde automationssystemet kontinuerligt med minsta lilla förändring inom processen som förekom och reglerade processen enligt behov.

Under tiden allting pågick följde operatörer och annan personal i huvudsak endast med att allting fungerade som det skulle eftersom systemet fortfarande var i utvecklingsskedet. I normalsituation meddelar endast automationssystem att laddning kommer påbörjas och ingen påverkan eller övervakning från operatörer vore nödvändigt.

## 6 Slutsatser

Med hjälp av testkörningar av en fjärrvärmeackumulator och observationer förknippade till dessa plockas några punkter fram som skapar en bild av olika synpunkter kring ämnet. Dessutom ges en inblick i hur ett företag möjligtvis kan se på helheten om utveckling, effektivisering av produktion och vinstmaximering.

### 6.1 Underlättning av arbetsuppgifter

Liksom med all automation är tanken att underlätta till exempel en operatörs eller montörs arbetsbörda. Ett av de mest konkreta exemplen är bekvämligheten att kontrollera helheten från ett kontrollrum på till exempel annan ort än själva processen istället för att manskap och resurser sätts på att varje temperaturmätning kontrolleras till exempel en gång i minuten för att reglera processen enligt behov. Då processer blir alltmer krävande och invecklade kan automationssystem samla ihop all relevant information för att sedan med en snabb blick kunna säkerställa att en process är stabil. Under påfrestande och stressartade situationer kan viktig information förbises vilket leder till att något katastrofalt kan hända. Med hjälp av autonoma system kan dessa risker minimeras då dessa system byggs upp för att vara helt självständiga. Avvikelser från det normala ger alarm och tillika kan operatören fokusera på andra uppgifter med bättre koncentration. Alarm kan sedan åtgärdas enligt operatörens eget omdöme ifall alarmet är något som måste prioriteras över andra uppgifter.

Inläring av nya arbetare påverkas möjligtvis av autonoma system då operatörer inte har möjlighet att genom misstag som man gjort lära sig vad man borde ha gjort annorlunda. Däremot är det överlag bättre för ett företag där helheten kan påverkas mycket ifall missbedömningar sker att inläring sker via nödvändig inskolning än att försöks och misstagsmetoden används medan processer pågår.

Tankar som ofta väcks är att system och maskiner tar över arbetsuppgifter inom industrin då saker automatiseras och att arbetsplatser försvinner. I det fallet måste dock företag som investerar i automationssystem och autonoma funktioner vara förberedda på att något oförväntat kan hända och att beredskapen för att åtgärda problemet är nödvändig. Personal måste alltså vara tillgänglig för att åtgärda fel som uppstår.

Vid Borgå Energi utförs övervakning genom ett kontrollrum som är beläget vid huvudkraftverken. Kontrollrummet sköter övervakning av huvudkraftverken, värmecentraler och kraftverk i företagets ägo samt säljer detta och dejourering som tjänster



till andra företag. Tack vare automationssystem som Borgå Energi har till sitt förfogande behöver inte värmecentraler och kraftverk övervakas på plats utan dessa kan övervakas från kontrollrummet vid huvudkraftverken. Borgå Energi har utvecklat samt utvecklar hela tiden autonoma system för att underlätta vardagen. Tanken är att processer skall optimeras till sådan grad att autonoma system reglerar och styr processerna så optimalt som möjligt och underlätta den vardagliga arbetsbördan och att det inte skall finnas behov av mänsklig. Genom detta optimeras produktionen för att skapa bättre vinst.

Med tanke på körning av fjärrvärmeackumulatorn skapar automation och autonoma funktioner ett underlättat arbete då processhelheten sköts autonomt. Ventiler behöver till exempel inte justeras för hand och processvärden övervakas kontinuerligt och fel som eventuellt uppstår i processen alarmeras direkt. Detta medför att operatörer kan koncentrera sig på andra processer i helheten som kräver mer uppmärksamhet för att sedan själva eller vid behov kunna förmedla information vidare till parter vars uppgift det är att kontrollera felet. Exempel på detta uppstod under testkörningarna då alarm från andra processer störde koncentrationen både under tiden som laddning påbörjades samt under kontinuerlig laddning.

## **6.2 Noggrannhet och snabbhet vid reglering**

En av de största fördelarna med automationssystem är noggrannhet vid reglering av processer. I fall där automationssystemen är så pass utvecklade att endast ett börvärde krävs, alltså ett önskat värde på till exempel hur mycket energi som skall produceras i ett kraftverk, sköter automationssystemet om helheten och hur processer skall regleras.

För en process kan det finnas lika många sätt att styra processen manuellt som det finns arbetare, till och med fler. Detta kan medföra att processerna inte körs optimalt eftersom viktiga detaljer och information kan utelämnas. Operatören i fråga kanske inte har behövliga kunskap om hur en process skall styras optimalt och detta leder exempelvis till minskning av vinst eller mer slitage på mekaniska delar.

Helheten av en process kan vara mycket komplex och detaljer kan ofta förbises vid reglering av delprocesser. Personen som reglerar delprocessen kanske inte är medveten om vilka andra processer i helheten som påverkas utan fokuserar endast på delprocessen. Detta kan leda till att viktig information förbises och att till exempel ett tryck i en annan del av processhelheten sjunker för mycket.

Fjärrvärmenät påverkas mycket av små förändringar vilket medför att reglering bör vara så noggrann och snabb som möjligt. Detta har även vid provkörningar av fjärrvärmeackumulatorn noterats då tryck kan sjunka ifall ventiler justeras drastiskt eller fel. I vardagliga situationer där en oerfaren operatör som kanske inte har en god helhetsbild eller nödvändig information reglerar fjärrvärmeackumulatorns process kan en ventil justeras för mycket vilket kan leda till problem i resten av nätverket.

Eftersom autonoma system hela tiden samlar in information från den pågående processen kan reglering skötas oerhört noggrant och konstant. Detta noterades vid körningar av processen. Automationssystemet var oerhört noggrant och reglerade processen effektivt och kontinuerligt. Däremot noterades det vid manuella körningar stunder då regleringen åsidosattes och viktig information som kunde ha påverkat eller direkt påverkade processen inte blev åtgärdade. Snabbheten steg även fram i en tydlig roll vid testkörningar. Något som tog automationssystemet under tre sekunder att åtgärda, kunde dröja uppemot minuter vid manuell körning. Detta medförde i sin tur att regleringen troligtvis inte var optimal.

### **6.3 Problem med automationssystem**

Fastän fördelarna med automationssystem och autonoma system är många, finns det även nackdelar. Ett av de största är att automationssystem endast gör vad de blivit programmerade att göra. Ett gott exempel på detta kommer från Borgå Energi under en av fjärrvärmeackumulatorns testkörningar. Ett fel i en flödesmätning uppstod som tills vidare är ett mysterium. Mätsignalen som indikerar hur mycket vatten flödar i pumpstationens rör började ge värden som inte stämde ihop med verkligheten fastän flödet fortfarande var detsamma. Detta ledde till att automationssystemet började reglera ventiler enligt detta felaktiga flöde och detta medförde sedan problem på andra ställen i fjärrvärmenätet och helheten. Efter detta implementerades begränsningar som återställer värden för reglering till innan problem uppstår ifall drastiska förändringar liksom det tidigare nämnda framkommer.

Automationssystem är i de flesta fallen inte perfekta efter att man beslutat att systemet är funktionsdugligt. Tanken kanske ofta är att då ett automationssystem implementerats skall det vara perfekt och inga fel kan uppstå, detta är dock inte verkligheten utan automationssystem är aldrig perfekta. Med ett tankesätt att allt fungerar perfekt är det sedan enkelt att skylla på automationssystemet då saker inte fungerar som det skall fastän problem kanske ligger på andra ställen. Tvärtom, automationssystem utvecklas hela tiden då ny

information är tillgänglig och detta kan ibland medföra långa och tidskrävande utvecklingsprocesser.

Praktiskt exempel på detta vid fjärrvärmeackumulatorn är att sekvenser och autonoma system inte har kunnat startas av orsak eller annan. Troligtvis beror detta på att värden inte har varit inom godkända gränser för att sekvenser skall kunna utföras. Dessa problem går att åtgärda genom att ändra på de gränser som kan låsa funktioner och då samma situation uppstår igen vid något annat tillfälle kan processen startas som planerat. Dock kan utformning av alla möjliga situationer vara mycket tidskrävande och saker kan förbises. Alla fel som kan uppstå är svåra att förutspå men kan åtgärdas enligt behov.

## 6.4 Lönsamhet

En stor fråga då det investeras i automationssystem och autonoma system är lönsamheten. Ifall inga tidigare erfarenheter finns, kan det vara ett stort beslut och många beräkningar måste göras. Inom företag beräknas det alltid flera gånger vad som är lönsamt då investeringar sker. Vinst och återbetalningstid beaktas mycket.

Liksom tidigare nämnt, kan körning av processer göras på otaliga sätt, andra mer optimala än andra. Ett alternativ är att företag investerar pengar i att alla parter skolas för att ha förståelse hur en process körs så optimalt som möjligt och strikta linjer läggs upp för hur processen skall styras. Trots detta kommer människan aldrig vinna över optimerade program i noggrannhet och snabbhet då processförmågan hos en dator är så snabb och noggrann att människan inte hinner blinka förrän något är uträknat exakt.

Ett annat alternativ är att företaget investerar i ett program som gör allting på exakt samma sätt varje gång och programmet kör processen optimalt. Informationsinsamlingen kan vara oändlig med diverse program som samarbetar tillika som tidigare erfarenheter tas i beaktande.

Vid fjärrvärmeackumulatorn stiger i huvudsak kostnaden för att utveckla autonoma systemet och sekvenser upp i huvudroll vid beräkning av lönsamheten. Då ett automationssystem som samlar och förmedlar information samt gör det möjligt att styra processen på distans vore tillämpat oberoende kan det lämnas utanför dessa beräkningar. Paketpris på helheten kan eventuellt sänka på priset men i huvudsak står kostnaden för utveckling dock i fråga. Tyvärr finns data om skillnader för optimerad körning med hjälp av automatiserade funktioner och manuell körning inte till förfogande vid skrivande stund. Detta lyfts dock fram eftersom

skillnader i produktionen kan skapas och på årsnivå kan inbesparingar vara relevanta vilket medför att lönsamheten stiger.

## **7 Resultat**

I den dagliga verksamheten finns det många faktorer som kan påverka arbetet. Fel och problem i en process kräver ofta fullständig koncentration för att lösas och ifall det finns andra processer som kräver uppmärksamhet kan det vara svårt att hålla koll på helheten.

Arbetet lyfter fram både för och nackdelar med autonomi. I fall där hjälp av automationssystem och autonomi gör det möjligt att fokusera på fel eller viktiga händelser i en process medan en annan process fungerar självständigt medför att produktion kan fortsätta normalt. Helheten kan bestå av hundratals processer som mer eller mindre kräver uppmärksamhet och detta medför att resursbehovet skulle bli så stort att hjälp måste söka annanstans, till exempel från autonomi.

Problem med autonomi kan även vara vardagliga och fel som inte går att förutspå kan leda till stora fel och problem. Utformning av en autonom helhet kan vara tidskrävande men underlättar vardagen oerhört då helheten utformats.

Sammanfattningsvis visar detta arbete att fördelarna med autonomi överväger nackdelarna då en synvinkel där vinsten önskas maximeras tillämpas, vilket ofta står i huvudroll för ett företag. Detta medför att investeringar och fortsatt utveckling inom autonomi lönar sig. Arbetet visar också att produktion och processer kan vid normalläge köras optimalt med hjälp av autonomi och underlättar den vardagliga arbetsbördan.

## 8 Diskussion

Under byggnadsprojektets gång, där underskriven även varit inblandad, har ett flertal tankar från flera olika parter kring automationen och autonoma systemet för fjärrvärmeackumulatören väckts. Idéen att undersöka saken noggrannare väcktes och jag lade fram förslag för Borgå Energi om saken och vi kom överens om att detta skulle vara ämnet för examensarbetet.

Kortfattat påbörjades planering av fjärrvärmeackumulatorprojektet under 2020 och våren 2021 påbörjades byggandet av fjärrvärmeackumulatören samt tillhörande pumpstation. Nödvändiga installationer för testningar färdigställdes i januari 2022 och därefter påbörjades manuella provkörningar. De manuella körningarna gav rikligt med information för att de automatiska sekvenser och funktioner som planerats och byggts i automationssystemet skulle kunna finslipas. Egentliga provkörningar med sekvenser och autonomi kunde därefter påbörjas och utveckling av autonomin pågår fortfarande i skrivande stund.

Arbetet har varit givande och har gett en bättre överblick över helheten kring automation och autonoma processer. Automation och autonomi påverkar inte endast processer, utan även människan och hans arbete. Arbetet påbörjades med stora förväntningar och kanske även för djupgående planer. Till stor del har förväntningar uppfyllts och jag har lärt mig mycket. Arbetet och helheten kunde ha planerats bättre men slutproduktionen är jag dock tillfredsställd med.

Som utvecklingsförslag för arbetet kan diskussioner och intervjuer med till exempel operatörer och montörer utföras. Dessa känner direkt av effekten av autonomi och hur autonomin påverkar vardagen och kan ha rikligt med synvinklar kring området.

Avslutningsvis vill jag tacka Borgå Energi för möjligheten att genomföra detta arbete och speciellt automationschef Marko Heikkilä som givit mig mycket information för arbetet och fortsättningen.

## 9 Källförteckning

- Berglund, S.-E., Gustavsson, R., Englund, G., & Åkerlund, J. (2004). *Frekvensomriktare - guide för elanvändare och allmänt sakkunniga inom elområdet*. Stockholm: Elforsk.
- Borgå Energi. (2021). *Årsberättelse 2020*.
- Ekeborg, T., & Svenningsson, P. J. (1991). *Akkumulatorsystem vid kraftvärmeanläggningar*. Vällingby: Statens vattenfallsverk.
- Elomatic Engineering & Consulting. (2020). *Säätökuvaukset, Kaukolämpöakku Porvoon Energia*.
- Elomatic Engineering & Consulting. (2020). *Toimintakuvaus, Kaukolämpöakku Porvoon Energia*. [Internt dokument].
- Energiateollisuus. (2006). *Kaukolämmön käsikirja*. Helsinki: Kirjapaino Libris oy.
- Frederiksen, S., & Werner, S. (1993). *Fjärrvärme : Teori, teknik och funktion*. Lund: Studentlitteratur AB.