

Fjärrvärmeackumulatorns funktion i fjärrvärmenätet

Oscar Raunio

EXAMENARBETE	
Arcada	
Utbildning:	Energi- och miljöteknik
Identifikationsnummer:	8443
Författare:	Oscar Raunio
Arbetets namn:	Fjärrvärmeackumulatorns funktion i fjärrvärmenätet
Handledare (Arcada):	Harri Anukka
Uppdragsgivare:	Borgå Energi Ab
<p>Sammandrag:</p> <p>År 2020 påbörjade Borgå Energi Ab ett byggnadsprojekt av en fjärrvärmeackumulator som är ansluten till fjärrvärmenätet. Fjärrvärmeackumulatorm har ett vatteninnehåll på 10 000 m³, i vilket det går att både ladda in och ladda ur energi efter behov. Målet med detta arbete var att ta reda på vilken funktion fjärrvärmeackumulatorm har i fjärrvärmenätet samt vilka ekonomiska fördelar den skapar.</p> <p>I arbetet presenteras fjärrvärmeackumulatorns uppbyggnad och funktion, en analys över dess inverkan på fjärrvärmenätet och vilken nytta den medför. Mer specifikt har jag i detta arbete analyserat hur Borgå Energi Ab:s fjärrvärmeackumulator påverkar användningen av toppanläggningar och om det går att påverka elproduktionen med hjälp av fjärrvärmeackumulatorm.</p> <p>I arbetet har det granskats driftsdata per timme för alla anläggningar i hela fjärrvärmenätet under perioden december 2021 - februari 2022 för att räkna ut hur fjärrvärmeackumulatorm med dess specifika egenskaper kunde inverka på produktionen och fjärrvärmenätet.</p> <p>Analysen visar hur mycket energiproduktionen skulle kunna varieras genom att på ett smart sätt använda sig av fjärrvärmeackumulatorm i stället för att förbränna gas eller olja vid dessa tillfällen. Analysen visar också hur mycket användningen av fossila bränslen kan minskas såväl ur en ekonomisk synvinkel som då det kommer till utsläppsrättigheter. I arbetet påvisas även hur man med hjälp av fjärrvärmeackumulatorm kan optimera elproduktionen.</p>	
Nyckelord:	Fjärrvärmeackumulator, fjärrvärme, Borgå energi Ab, energiproduktion, elproduktion, toppanläggningar
Sidantal:	41
Språk:	Svenska
Datum för godkännande:	18.5.2022

DEGREE THESIS	
Arcada	
Degree Programme:	Energy and Environmental Engineering
Identification number:	8443
Author:	Oscar Raunio
Title:	Functioning of the district heat accumulator tank in the district heat network
Supervisor (Arcada):	Harri Anukka
Commissioned by:	Borgå Energi Ab
<p>Abstract:</p> <p>In year 2020, Borgå Energi Ab started a construction project of a district heat accumulator tank connected to the district heat network. The district heat accumulator tank has a water capacity of 10,000 m³, into which energy can be both loaded and unloaded as required. The goal of this work was to find out what function the district heat accumulator tank has in the district heating network and what economic benefits it creates. The work presents the structure and function of the district heat accumulator tank and an analysis of the impact of the district heat accumulator tank on the district heating network and the benefits it brings. More specifically, the work has analyzed the impact of Borgå Energi Ab's district heat accumulator tank on the use of peaking plants and whether it is possible to influence electricity production with the help of the district heat accumulator tank.</p> <p>Using hour-by-hour operating data for all plants in the entire district heating network over the period of December 2021 - February 2022, as well as the specific characteristics of the district heat accumulator tank, an estimate of what its impact might be on production and the district heating network has been made.</p> <p>The analysis shows how much energy production could be varied by smart use of the district heat accumulator instead of burning gas or oil at these times. The analysis also shows how much use of fossil fuels can be reduced both from an economic point of view and in terms of emission rights. The work also considers the optimization of electricity production, proving that the use of the district heating accumulator can increase the average price of the electricity produced.</p>	
Keywords:	District heat accumulator tank, district heat, Borgå energi Ab, Energy production, electricity production, peaking plants
Number of pages:	41
Language:	Swedish
Date of acceptance:	18.5.2022

INNEHÅLL

1	INLEDNING.....	6
2	TEORI.....	9
2.1	Fjärrvärme.....	10
2.2	Fjärrvärmeackumulator.....	11
3	BORGÅ ENERGIS FJÄRRVÄRMEACKUMULATOR	13
4	FJÄRRVÄRMEACKUMULATORNS FUNKTION.....	18
4.1	Laddning av fjärrvärmeackumulatorm.....	20
4.2	Laddning vid motrotation	22
4.3	Urladdning av fjärrvärmeackumulatorm.....	23
4.4	Urladdning vid motrotation	25
4.5	Akkumulatorm standby – Stop.....	26
4.6	Justering av fjärrvärmeackumulatorms vattennivå	27
4.7	Tryckjustering av fjärrvärmeackumulatorms ångspärr	29
5	RESULTAT	30
5.1	December	31
5.2	Januari.....	35
5.3	Februari.....	37
6	SLUTSATS	40
7	KÄLLOR.....	41

BILAGA 1

Figurer

- Figur 1. Borgå energis fjärrvärmeackumulator. Borgå 2020
- Figur 2. Fjärrvärmerör. Egen bild
- Figur 3. Illustrering av ångpanna med ångturbin. Egen bild
- Figur 4. Illustration över hur fjärrvärmeackumulatören är belägen i förhållande till värmeverket. AFRY AB
- Figur 5. Illustration över hur fjärrvärmeackumulatören är belägen i förhållande till pumpstationen samt värmeverket uppifrån. AFRY AB
- Figur 6. Laddning vid motrotation. Valmet DNA Automationssystem
- Figur 7. Urladdning vid motrotation. Valmet DNA Automationssystem
- Figur 8. Tryckmätarnas position, Elomatic
- Figur 9. Schema över ånggeneratören. Elomatic
- Figur 10. Fjärrvärmelast december 2021.
- Figur 11. Laddning och urladdning av fjärrvärmeackumulatören december 2021.
- Figur 12. Laddning och urladdning av fjärrvärmeackumulatören i förhållande till elpriset december 2021.
- Figur 13. Elproduktion med ackumulatören och utan ackumulator.
- Figur 14. Fjärrvärmebehov januari 2022.
- Figur 15. Laddning och urladdning av fjärrvärmeackumulatören januari 2022.
- Figur 16. Fjärrvärmebehov februari 2022
- Figur 17. Laddning och urladdning av fjärrvärmeackumulatören februari 2022.
- Figur 18. Tuotannon optimoinnin tulokset AFRY Performance Boosterissa, AFRY AB

1 INLEDNING

Borgå Energi Ab är ett energibolag som producerar el- och fjärrvärme i Borgå. I Tolkis som ligger i sydvästra Borgå finns två biokraftverk, vilka är kombinerade kraft- och värmeverk som förutom värme också producerar el. Tolkis biokraftverk är utrustat med två värmepannor med en effekt på 47,9 MW respektive 49 MW samt två el genererande turbiner med varsin effekt på 12 MW.

De övriga värmeanläggningarna i Borgå fjärrvärmenät består av Typografvägens, Harabackas och Gnistvägens värmeanläggningar. Typografvägen har tre värmepannor med en effekt på 12 MW var och därmed en total effekt på 36 MW. Harabackas värmeanläggning består av fyra värmepannor som har en gemensam effekt på 48 MW. Såväl Typografvägens värmeanläggning som Harabackas värmeanläggning är gasvärmeanläggningar och i första hand fungerar som reservanläggningar. De tas i bruk då fjärrvärmeeffekten från biokraftverken i Tolkis inte räcker till. Detta sker främst under de kallaste tiderna på året eller då det uppstår problem i biokraftverken. Det tredje värmeverket ligger på Gnistvägen i Borgå och är en oljevärmeanläggning utrustad med tre olika oljepannor. Oljepannorna har en sammanlagd effekt på 38 MW. Gnistvägens värmeanläggning står i reserv och används som ett sista alternativ ifall olika komplikationer som kombinerat med utemperaturen skulle skapa ett stort värmebehov i fjärrvärmenätet.

Samtliga värmeanläggningar och värmekraftverk är kopplade till fjärrvärmenätet. Borgås fjärrvärmenät är 160 kilometer långt. År 2020 var cirka 2 000 fastigheter anslutna till fjärrvärmenätet. Majoriteten av värmen som cirkulerar i nätet produceras i Tolkis biokraftverk. Under det varma året 2020 stod biokraftverken för 99,7 % av all värmeproduktion, medan de under normala år står för ungefär 95 % av den årliga värmeproduktionen. [1]

År 2020 påbörjade Borgå Energi AB ett byggnadsprojekt av en fjärrvärmeackumulator som är ansluten till fjärrvärmenätet. Fjärrvärmeackumulatorn har en vattenkapacitet på 10 000 kubikmeter, i vilken man kan både ladda in energi och ta ut energi efter behov. Den planerade energimängd som kan lagras är 320 MWh. Målet är att effekten in och ut

kan varieras mellan 1–32 MW. Fjärrvärmeackumulatorn blev färdig i februari 2022 och ska testköras under våren 2022.

De målsättningar man har för ackumulatorn är att fliskraftverken skall kunna köra med en jämnare last och att man skall kunna jämna ut lastvariationerna i fjärrvärmenätet med hjälp av fjärrvärmeackumulatorn. På det här sättet nås en effektiv och jämn produktion av värme. Dessutom förväntas det att man med fjärrvärmeackumulatorns hjälp skall kunna undvika att starta topplastanläggningar (gasvärmeverk) under korta köldknäppar nattetid. Ackumulatorn ger också möjligheten att i en liten skala variera elproduktionen i kraftverken oberoende av värmebehovet i fjärrvärmenätet.

Detta arbete kommer mer specifikt att analysera hur Borgå Energi AB:s fjärrvärmeackumulator kommer att inverka på Borgås fjärrvärmenäts drift. För att kunna ta reda på fjärrvärmeackumulatorns funktion för Borgå Energi AB, måste man först gå igenom själva fjärrvärmenätet. Därför behövs fjärrvärmenätets specifika egenskaper tas reda på och på så sätt få fram en bild av hur fjärrvärmeackumulatorn skall användas i fjärrvärmenätet för att uppnå sin optimala potential. Detta arbete har också för avsikt att se om de förväntade ekonomiska målsättningarna, som legat som grund då investeringsbeslutet gjorts, kan nås. En fjärrvärmeackumulator är en stor investering och syftet med detta arbete är att utreda vilken eventuell nytta fjärrvärmeackumulatorn har i fjärrvärmenätet.

I figur 1 visas en bild från byggnadsstadiet av Borgå energis fjärrvärmeackumulator.



Figur 1. Bild av Borgå energis fjärrvärmeackumulator i byggnadsstadiet.

2 TEORI

För att en värmeöverföring skall kunna ske krävs ett kallare och ett varmare medium, där värmen från det varma mediet flödar över till det kalla mediet tills de når exakt samma temperatur. Detta betyder att den mängd värme som överförs från det ena mediet är lika stor som den mängden värme det andra mediet tar emot. Dessa värmeöverföringar sker på tre olika sätt; konvektion, ledning och strålning.

Konvektion innebär en värmeöverföring som sker genom att gas eller vätska leds förbi en yta. Detta kan exemplifieras på följande sätt: Du håller ett svalare föremål ovanför en kastrull med kokande vatten så att den heta vattenången strömmar emot föremålet. Då föremålet blir upphettat av vattenången sker en värmeöverföring.

Värmeledning sker inom flytande, gasformiga eller fasta ämnen. Till exempel då ett järnspett hettas upp i ena ändan, börjar värmen sakta men säkert sprida sig från den upphettade ändan till den svalare ändan.

Strålning är värmevågor som överför värme utan något medium, till exempel solens värmeinstrålar. [2]

2.1 Fjärrvärme

Fjärrvärme går ut på att man värmer upp vatten i ett värmeverk och därefter pumpar det varma vattnet ut i ett rör nät som ligger under markytan. I fjärrvärmenätet finns två välsolerade rör som går sida vid sida, ett primär- och ett returrör (se figur 2, primärrör till höger och returrör till vänster). I primärröret leds det varma vattnet som pumpats ut av värmeanläggning och på retursidan kommer svalare vatten tillbaka till värmeanläggningen för att värmas upp igen.

Från värmeverket leder det primära fjärrvärmeröret till fastigheter som har en fjärrvärmeanslutning. Där leds vattnet in i kundens fjärrvärmecentral och en värmeöverföring sker i kundens värmepump. Det finns värmepumpar för värmekretsarna och en värmepump för tappvarmvattnet.

Det finns två olika kretslopp i kundens fjärrvärmepaket som växlar värme inne i värmepumpen. Den första kretsen är primärsidan i vilken endast fjärrvärmenätets vatten cirkulerar. Den andra kretsen är kundens egen värmekrets eller bruksvattenkrets. Fjärrvärmenätets och kundens bruks- eller värmekretsvatten blandas aldrig efter som det bara sker en värmeöverföring i värmepumparna. Efter att värmeöverföringen skett i värmepumparna åker primärsidans, alltså fjärrvärmenätets, vatten ut ur fastigheten i den så kallade returledningen för att värmas upp igen i värmeverket. [3]



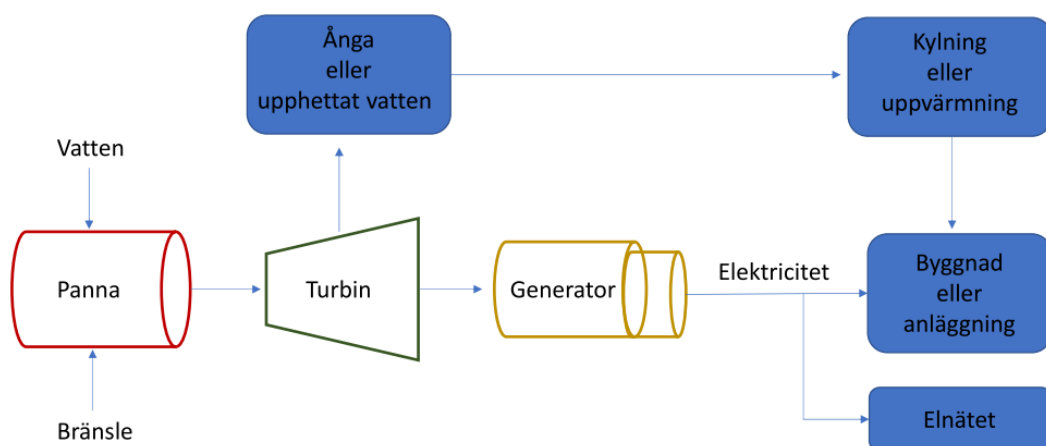
Figur 2. Fjärrvärmerör

På vintern kan detta heta vatten vara upp till 115 °C varmt. Med hjälp av ett tryck i röret på upp till 16 bar kan man hålla fjärrvärmevattnet i vätskeform för att förhindra det från att förångas. [4]

2.2 Fjärrvärmeackumulator

Med en fjärrvärmeackumulator kan man lagra energi i form av värme. En fjärrvärmeackumulator är en tank fylld med upphettat vatten och utgör en del av fjärrvärmenätet. För att el ska kunna genereras i turbinen i ett värmekraftverk krävs att värme produceras. Genom att koppla en fjärrvärmeackumulator till fjärrvärmenätet kan den värme som produceras ledas till ackumulatören och därigenom producera el. På det här sättet går inte värmen som produceras till spillo. Det här utgör en fördel för energibolaget eftersom fjärrvärmeackumulatören kan användas för elproduktion också då värmebehovet är lägre och elpriserna eller elbehovet högre. [5]

Figur 3 beskriver hur ett värmekraftverk genererar el. För att processen ska lyckas behöver värme produceras. Ett bränsle värmer upp pannan som hettar upp vattnet i pannan. I och med upphettningen bildas vattenånga som körs genom en turbin försedd med en generator som producerar el.



Figur 3. Illustrering av ångpanna med ångturbin

Med ackumulatorm kan man jämna ut topparna i körkurvorna för de andra värmeverken som är bundna till fjärrvärmenätet. Med körkurvor avses med vilken värmeeffekt, värmeverken körs. Genom att jämna ut topparna fås en jämnare last vilket är bättre för värmeverken eftersom det höjer verkningsgraden. Vad som avses med jämnare last kan åskådliggöras genom att jämföra med en ekonomisk körstil. Det är inte optimalt att köra bil genom att trycka gasen i botten och sedan släppa gasen, för att sedan trycka den i botten igen, utan i stället är det optimalt att hålla en jämn fart under hela körsträckan.

En jämnare last kan möjliggöras genom att fylla på ackumulatortanken under dagtid då behovet av värme oftast är lägre. Den lagrade energin i fjärrvärmeackumulatorm kan sedan tömmas ur på natten då värmebehovet är högre i fjärrvärmenätet.

En fjärrvärmeackumulatorm är även till nytta vid avbrott i fjärrvärmenätet. När en läcka uppstått och reparerats måste fjärrvärmenätet fyllas på igen. Genom att ta ut upphettat vatten som lagrats i fjärrvärmeackumulatorm fås varmt vatten direkt i nätet i stället för att fylla på med kallt vatten som hettas upp och körs ut i systemet från värmeanläggningen. Att fylla på med vatten i systemet krävs ändå, men nu kan det göras utan brådska och utan att värmeproduktionen fördröjs.

Fjärrvärmeackumulatorm kommer dessutom till nytta vid underhållning av värmeanläggningar. Värmen som lagrats i fjärrvärmeackumulatorm kan hjälpa till med att förse fjärrvärmenätet med värme under denna tid. På detta sätt kan man undvika att behöva starta ett reservvärmeverk eller iallafall kan behovet av reservvärmeverks insats minskas. [5]

3 BORGÅ ENERGIS FJÄRRVÄRMEACKUMULATOR

Borgå energis fjärrvärmeackumulator är placerad på den norra sidan om värmeverket på Gnistvägen (se figur 4 och 5). Det är en totalt 40 meter hög tank och har en volym på 10 000 m³. För att behålla fjärrvärmeackumulatorns tomrum syrefritt används en ånggenerator som är kopplad till fjärrvärmeackumulatorm via en ångledning. Fjärrvärmeackumulatorns gasrum ska vara syrefritt för att undvika korrosion av stålcisternen som är fylld med fjärrvärme-vatten.

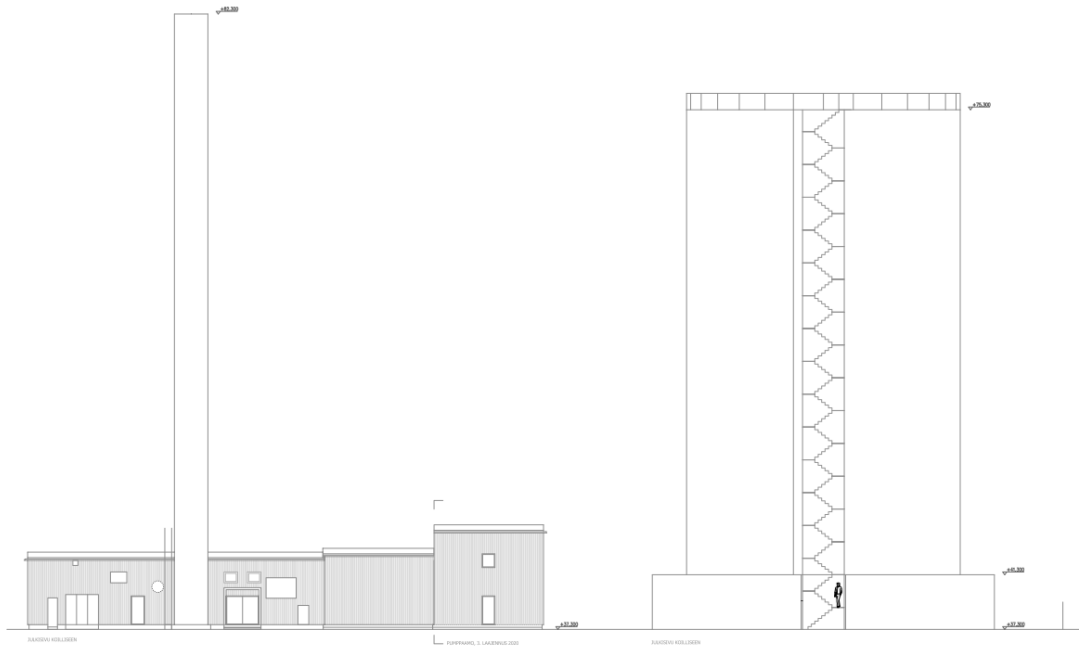
Förutom den tank som utgör fjärrvärmeackumulatorm, ingår i ackumulatorm laddnings- och tömningspumpar, en pump för påfyllning av vattenlåset, överfyllnadsrör och en pump för blandningsvatten. Pumparna finns i en skild pumpstationsbyggnad. Anläggningen omfattar även en bro för rören till och från pumpstationen samt nödvändig utrustning och instrument för rörledningar. [6]

Fjärrvärmeackumulatorns mått och effekt:

- Diameter	ca.18,5 m
- Höjd, totalt	ca 41,5 m
- Höjd, mantel	ca 39,0 m
- Höjd, maximalt vattenutrymme	ca 38,2 m
- Höjd, vattenutrymmets nedre gräns (min.)	ca 36,0 m
- Effekt vid maximalt flöde	32 MW

Fjärrvärmeackumulatorns konstruktions- och driftvärde

		Vattentemperatur
- Driftstemperatur (nominell)		95 °C
- Högsta tillåtna temperatur		102 °C
- Arbetstryck (nominellt)	20 mbar(g)	100,5 °C
- Konstruktionsstryck (maximalt)	40 mbar(g)	101,1 °C
- Konstruktionsstryck (minimum)	-5 mbar(g)	99,8 °C [6]



Figur 4. Illustration över hur fjärrvärmeackumulatorn är belägen i förhållande till värmeverket. [6]

Fjärrvärmeackumulatorn har två tömningspumpar, G2NDC21AP001 och G2NDC22AP001.

G2NDC21AP001 är utrustad med en frekvensomvandlare och går på lågt varvtal. Specifikationer för pumpen:

Kapacitet	max.
- Utgång (1 x 70 %)	146 kg/s
- Lyfthöjd	59 m [6]

Även G2NDC21AP001 är utrustad med en frekvensomvandlare och går på lågt varvtal. Specifikationer för pumpen:

Kapacitet	max.
- Utgång (1 x 30 %)	63 kg/s
- Lyfthöjd	59 m [6]

Fjärrvärmeackumulatorm är försedd med två laddningspumpar, G2NDC11AP001 och G2NDC12AP001.

G2NDC11AP001 är utrustad med en frekvensomvandlare och går på lågt varvtal. Specifikationer för pumpen:

Kapacitet	max.
- Utgång (1 x 70 %)	146 kg/s
- Lyfthöjd	59 m [6]

Likaså är G2NDC12AP001 utrustad med en frekvensomvandlare och går på lågt varvtal. Specifikationer för pumpen:

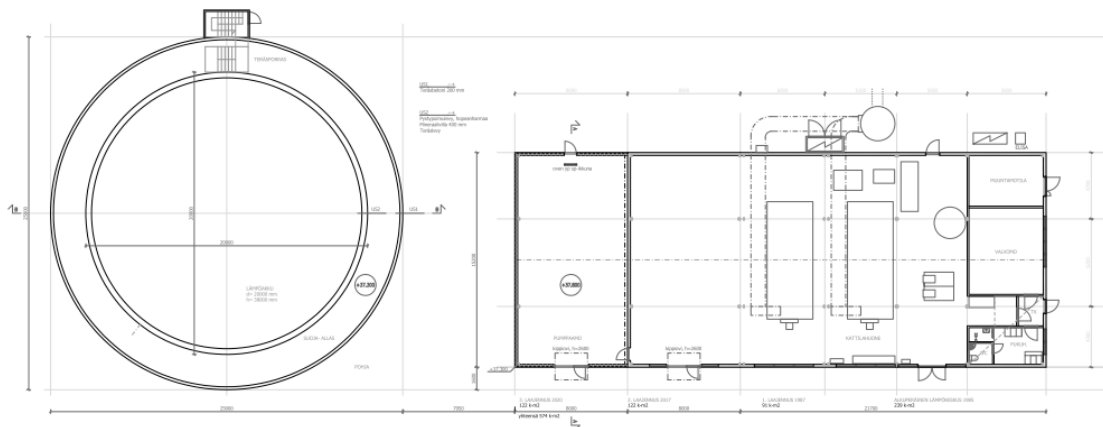
Kapacitet	max.
- Utgång (1 x 30 %)	63 kg/s
- Lyfthöjd	59 m [6]

Ångan till ångspjället som förvaras i den övre delen av Fjärrvärmeackumulatorm produceras av en ånggenerator, G2HAD10AC001. Ånggeneratorm upprätthåller det utgående ångtrycket helt självständigt vid det inställda driftstrycket. Ångtrycket till själva fjärrvärmeackumulatorm regleras via en självstyrande tryckregulator [6]

Specifikationer för ånggeneratorm:

Kapacitet	max.
- Ånga (1x100)	117 kg/h
- Vattenförbrukning	120 l/h
- Effekt	75 kW [6]

För att reglera temperaturen på fjärrvärmeackumulatorns utloppsvatten används en blandvattenpump av typen G2NDC40AP001. Blandvattenpumpen blandar kallt returvatten från fjärrvärmeackumulatormed utloppsvattnet. Med utloppsvatten avses det vatten som tas ut från ackumulatormed. Temperaturen på utloppsvattnet justeras enligt mätningen av värmesensorn G2NDA10CT001. Pumpen startar när laddningsprocessen pågår och utloppsvattentemperaturen för värmesensorn G2NDA10CT001 är över 95 °C. [6] När styr enhetens utdata är över 90 %, hålls utloppsvattnets flöde till ackumulatormed på den nivån. Denna begränsning finns för att förhindra att för hett vatten skulle laddas in i batteriet. [6]



Figur 5. Illustration över hur fjärrvärmeackumulatormed är belägen i förhållande till pumpstationen samt värmeverket uppfifrån. Pumpstationen är en tillbyggnad längs till vänster i värmeverket. [6]

FV-ackumulatormed (FV står för fjärrvärme) har en vattenlås pump som skydd för över- och undertryck. Vattenlås pumpen G2NDC30AP001 är en pump med direktdrift. Pumpen har ett hydrostatiskt tryck från FV-ackumulatormed på sugsidan. På trycksidan har pumpen ett det hydrostatiska tryck som är ovanpå FV-ackumulatormed tanken. Om vattennivån inne i FV-ackumulatormed överstiger 38,2 meter släpper vattenlåssets överflödsrör ut vatten ur FV-ackumulatormed rakt ner i avloppet. [6]

Kapacitet	max.
- Utgång (1 x 100 %)	2,0 m ³ /h
- Lyfthöjd	5 m

I pumpstationen finns två frånluftsfläktar, G2SAH01AN001 och G2SAH01AN002. Fläktarna suger luft ut ur pumpstationen i enlighet med systemets temperaturreglering. Och i enlighet med temperaturerna i pumprummet. [6]

Kapacitet	max.
- Utgång (1 x 100 %)	1800 l/s
- Tryckutgång	120 Pa

Akkumulatorn är utrustad med 37 temperaturmätare av sensortypen Sensortyp 1 x PT100, 6 / 500 mm för att övervaka förändringar i ackumulatorns laddningstillstånd. Mätarna är monterade på ackumulatorns vägg med 1 meters höjdskillnad.

Konstruktionsvärden för fjärrvärmenätet är 10 bar(g) och 120 °C. Rörmaterial och hållfasthet är i enlighet med standarden E16C1C. FV-ackumulatorns interna rörledningar, över-/undertrycksskyddets och överflödsledningen från batteriet är konstruerade för 16 bar(g) vid 120 °C. Rörmaterial och hållfasthet är i enlighet med E16C1AC. Rörledningarna för ånga och kondensat är konstruerade för 16 bar(g) och 184 °C. Rörmaterial och hållfasthet är i enlighet med E16C1C.

Som automationssystem för fjärrvärmeackumulatorn fungerar Valmet DNA. [6]

4 FJÄRRVÄRMEACKUMULATORNS FUNKTION

I detta kapitel beskrivs fjärrvärmeackumulatorns funktioner i olika kör situationer efter att ackumulatoren har laddats, testats och tagits i drift.

Funktionen i fjärrvärmeackumulatoren styrs genom "LADDA", "URLADDA" och "STOP" sekvenserna, samt de inställningarna som operatörerna gör när det gäller laddnings- och urladdningseffekt. I driftskärmen visas processtillstånden "LADDA", "URLADDA" och "STOP". Operatören kan starta den sekvensen han vill när han/hon befinner sig i M-läge (manuellt), när STOP-sekvensen är i automatiskt läge följer sekvensen processtillståndet "LADDA" / "URLADDA" och startar under dessa förhållanden och stoppar den pågående processen. [6]

Den så kallade kommandodelen av sekvenserna används för att kontrollera sekvensens startutlösningar och låsningar. Sekvenserna sätter de nödvändiga ventilerna, motorerna och kontrollerna på automatik och styr dem till det tillstånd som motsvarar processkontrollen. När kontrolltiden för villkoren för sekvenssteget överskrids, hoppar sekvensen till ett felsteg där motorerna stoppas, ventilerna stängs och ett larm utlöses. [6]

Ändringarna av processtyrningsläget ska programmeras så att de sker stegvis, detta för att lägesändringen inte skall orsaka tryckfluktuationer i fjärrvärmenätet. Detta bör också beaktas när utrustningen låses samman. [6]

Operatören ställer in det effektvärde som ska uppnås av fjärrvärmeackumulatören i en laddnings- eller urladdningssituation. Den inställda effekten justeras med stegvisa höjningar eller sänkningar vars tidsintervall bestämts när ackumulatören tagits i drift. [6]

Effektinställningen väljer automatiskt den fjärrvärmepump som startas av sekvensen. (Vid en effektinställning på mindre än 10 MW så startas den mindre pumpen).

I andra fall kan operatören själv välja vilken pump som ska startas av sekvensen. [6]

Fjärrvärmeackumulatörernas flödesregulatorer fungerar som uppströmsregulatorer och ger fjärrvärmepumpens varvtalsregulatorer ett börvärde för att uppnå önskad effektinställning. Om utgången av hastighetsregulatorn för fjärrvärmepumpen med lägre effekt är över 95 % och skillnaden mellan den effekt som ställts in av operatören och den faktiska effekten är över 10 % i mer än 30 minuter, startar pumpen med högre effekt parallellt. I den här situationen är pumparnas hastighetsreglering proportionell mot det önskade flödet, så att hastighetsregleringen av den lägre pumpen drivs stegvis till ett minimum och pumpen slutligen stoppas. Samtidigt tar den större pumpen stegvis över skötseln av pumpningen.

När fjärrvärmepumpen körs parallellt kan operatören välja vilken av pumparna som ska justera flödet genom att använda M/A-läget på pumpens hastighetsregulatorer. Fjärrvärmepumpar startas mot en stängd ventil och stoppas om det inte finns något flöde i den berörda ledningen under cirka 35 sekunder efter pumpstart eller om ventilen för minsta cirkulation inte har öppnats. [6]

4.1 Laddning av fjärrvärmeackumulatorn

Fjärrvärmeackumulatorn laddas genom att mata in hett fjärrvärmevatten ur fjärrvärmenätet i toppen av fjärrvärmeackumulatorn. Samtidigt pumpas samma mängd fjärrvärmevatten ut ur ackumulatorns botten. Det vatten som ligger lägst nere på ackumulatorns botten är det svalaste.

Det vatten som pumpas in i fjärrvärmeackumulatorn blandas till rätt temperatur i blandvattenpumpen G2NDC40AP001. Blandvattenpumpen blandar det heta vattnet som pumpas in i fjärrvärmeackumulatorn med vatten från retursidan.

Laddningssekvensen startas manuellt i kontrollrummet. Vid påbörjan av laddningssekvensen sätter operatören in den önskade effekten som han/hon vill att ackumulatorn skall laddas med. En laddningssekvens kan påbörjas om följande krav uppfylls:

- Störningskoden G2BHA01EZ001 för G2BHA01s matningsspänning visas inte.
- Fjärrvärmeackumulatorns process status är STOP.
- URLADDNING sekvensen G2NDA20BE001 för fjärrvärmeackumulatorns är inaktiv.
- Fjärrvärmeackumulatorns ytnivå är mellan 38,0 – 36,0 m.
- Ingen av de fyra pumparna på framledning eller retursidan har någon aktiv störning.
- Blandvattenpumpen G2NDC40AP001 har inga aktiva störningar.
- Ånggeneratorn har ingen aktiv störning.
- Vattnet i fjärrvärmenätets framledning har en högre temperatur än vattnet i fjärrvärmeackumulatorn. [6]

Fjärrvärmeackumulatorns LADDNING status är på när:

- Reglerventilen G2NDA20AA151 för fjärrvärmens framledning är öppen.
- Fjärrvärme-framledningens motroteringsreglerventil G2NDA30AA151 är öppen med > 10 %.
- Fjärrvärme-framlednings flödet är G2NDA20CF001 > XXX kg/s, varierat beroende på situation.
- Fjärrvärme-returledningens regleringsventil G2NDB10AA151 är öppen.
- Fjärrvärme-returledningens motroteringsreglerventil G2NDB30AA151 är öppen med > 10 %.

ELLER

- Om laddningens motrotation är aktiverad.
- Fjärrvärme-framlednings flödet är G2NDA20CF001 > XXX kg/s, varierat beroende på situation.
- Fjärrvärme-returledningens regleringsventil G2NDB10AA151 är öppen.

OCH

- Fjärrvärme-returledningens motroteringsreglerventil G2NDB30AA151 är öppen med > 10 %.

ELLER

- Fjärrvärme-returledningens avstängningsventil G2NDB20AA101 är öppen.

OCH

- Fjärrvärmepumpen G2NDC11AP001 är i gång.

ELLER

- Fjärrvärmepumpen G2NDC12AP001 är i gång.

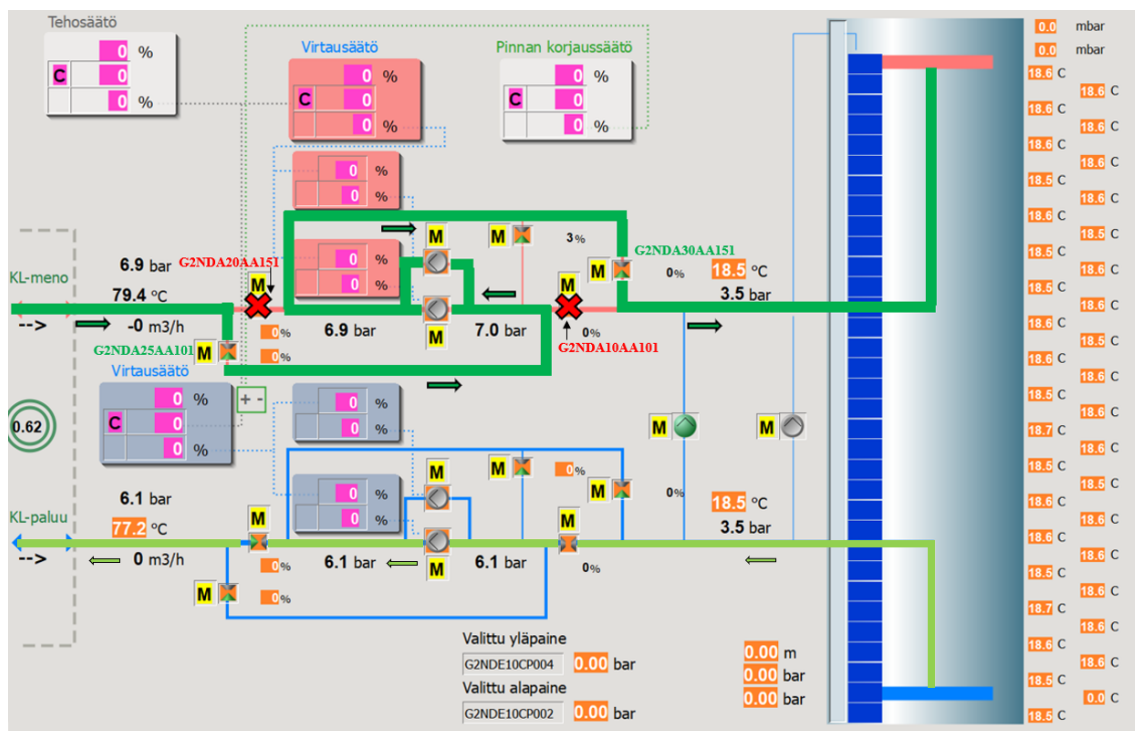
ELLER

- Fjärrvärme-framledningens flödet är G2NDA20CF001 > XXX kg/s, varierat beroende på situation.
- Om laddningens motrotering är aktiverad. [6]

4.2 Laddning vid motrotation

Laddningen av fjärrvärmeackumulatorn sker alltid i en så kallad motrotation. Det är en motrotation i förhållande till den så kallade normalrotationen på framledningssidan. Normalrotation utnyttjas för att urladda ackumulatorn och flödet går då den raka vägen. Tillika som en laddning av fjärrvärmeackumulatorn sker på framledningssidan sker en normalrotationsurladdning av ackumulatorn på retursidan.

När fjärrvärmeackumulatorn fylls via omvänd laddning avses en laddningssituation där en eller två av pumparna i fjärrvärmeackumulatorns framledning är i gång och ventilererna G2NDA25AA101 och G2NDA30AA151 är öppna medan ventilererna G2NDA20AA151 och G2NDA10AA101 är stängda. (se figur 6) Om flödet som behövs i framledningen är mindre än pumpens (G2NDC22AP001) minimiproduktion, reglerar regleringsventilen G2NDA30AA151 flödet. [6]



Figur 6. Laddning vid motrotation. Valmet DNA Automationssystem [7]

4.3 Urladdning av fjärrvärmeackumulatorn

En urladdning av fjärrvärmeackumulatorn sker genom att ta ut hett vatten ur toppen på ackumulatorn med hjälp av en pump eller via regleringsventilen med hjälp av ackumulators hydrostatiska tryck. Samtidigt som urladdningen sker så fylls fjärrvärmeackumulatorn i botten med en lika stor mängd vatten från retursidan. Om retursidans fjärrvärmevatten har en 10 grader Celsius högre temperatur än vattentemperaturen i fjärrvärmeackumulators botten, stoppas urladdningen och kan återupptas först när det kallare vattnet i fjärrvärmeackumulatorn har försvunnit.

Urladdningssekvensen startas manuellt från kontrollrummet. Vid inledningen av laddningssekvensen sätter operatören in den önskade effekten som han/hon vill att ackumulatorn skall urladdas med. En urladdningssekvens kan påbörjas om följande krav uppfylls:

- Fjärrvärmevattnet i retursidan är inte mer än 10 grader Celsius varmare än vattnet i botten på fjärrvärmeackumulatorn.
- Störningskoden G2BHA01EZ001 för G2BHA01s matningsspänning är inte aktiv.
- Fjärrvärmeackumulators process status är STOP.
- LADDNING sekvensen G2NDB10BE001 för fjärrvärmeackumulatorn är inaktiv.
- Fjärrvärmeackumulators ytnivå är mellan 38,0 – 36,0 m.
- Ingen av de fyra pumparna på framledning och retursidan har någon aktiv störning.
- Blandvattenpumpen G2NDC40AP001 har inga aktiva störningar.
- Ånggeneratorn har ingen aktiv störning.
- Vattnet i fjärrvärmeackumulators framledning har en högre temperatur än vattnet i fjärrvärmenätet.
- Alla manuella ventiler är öppna.
- Inget lås på fjärrvärmeackumulators digitalsystem är aktiverat. [6]

Fjärrvärmeackumulatorns URLADDNING status är på när:

- Reglerventilen G2NDA20AA151 för fjärrvärmens framledning är öppen.
- Fjärrvärme-framledningens motroteringsreglerventil G2NDA30AA151 är öppen med > 10 %.
- Fjärrvärme-framlednings flödet är G2NDA20CF001 > XXX kg/s, varierat beroende på situation.
- Fjärrvärme-returlednings regleringsventil G2NDB10AA151 är öppen.
- Fjärrvärme-returledningens motroteringsreglerventil G2NDB30AA151 är öppen med > 10 %.

ELLER

- Urladdningens motrotering är aktiverad.
- Fjärrvärme-framlednings flödet är G2NDA20CF001 > XXX kg/s, varierat beroende på situation.
- Fjärrvärme-framlednings regleringsventil G2NDB20AA151 är öppen.

OCH

- Fjärrvärme-framlednings motroteringsreglerventil G2NDA30AA151 är öppen med > 10 %.

ELLER

- Fjärrvärme-framlednings avstängningsventil G2NDB20AA101 är öppen.

OCH

- Fjärrvärmepumpen G2NDC21AP001 är i gång.

ELLER

- Fjärrvärmepumpen G2NDC22AP001 är i gång.

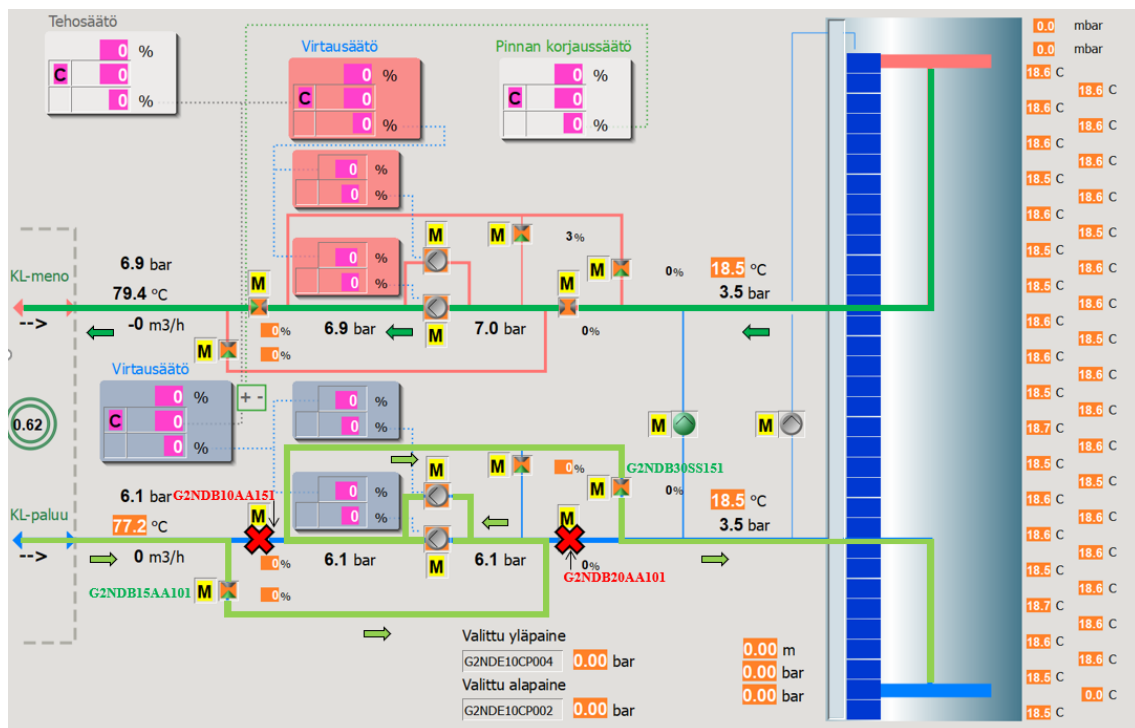
ELLER

- Fjärrvärme-framlednings flödet är G2NDA20CF001 > XXX kg/s, varierat beroende på situation.
- Urladdningens motrotering är aktiverad. [6]

4.4 Urladdning vid motrotation

När man gör en urladdning av fjärrvärmeackumulatorm på framledningssidan så sker det en motrotation på retursidan. Det är en motrotation i förhållande till den så kallade normalrotationen på retursidan vilket skulle betyda en laddning av fjärrvärmeackumulatorm på framledningssidan. Tillika som en normalrotations urladdning av fjärrvärmeackumulatorm sker på framledningssidan så sker en motrotations laddning av ackumulatorm på retursidan.

När en urladdning på framledningssidan sker så fylls ackumulatorm via retursidan genom att en eller två av pumparna i fjärrvärmeackumulatorms retur är i gång och ventilerna G2NDB15AA101 och G2NDB30AA151 är öppna medan ventilerna G2NDB10AA151 och G2NDB20AA101 är stängda. (se figur 7) Om flödet i returledningen är mindre än minimiflödet för pumpen G2NDC12AP001 så justerar regleringsventilen G2NDB30AA151 flödet. [6]



Figur 7. Urladdning vid motrotation. Valmet DNA Automationssystem [7]

4.5 Ackumulatorn standby – Stop

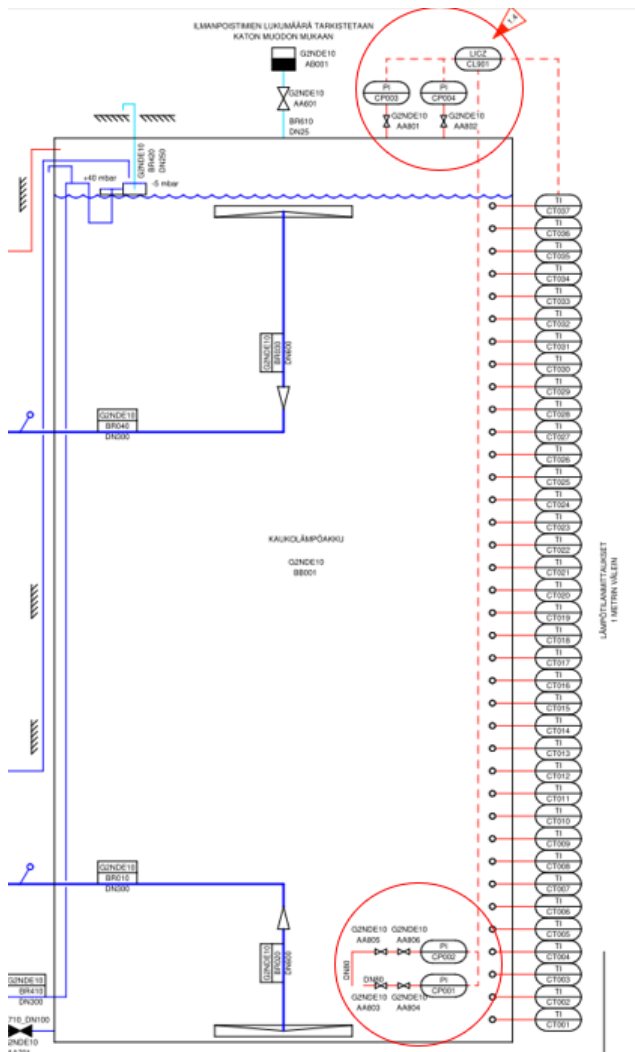
När fjärrvärmeackumulatorn är i standby läge så är läget följande:

- Framledningssidans reglerventil G2NDA20AA151 är stängd.
- Framledningssidans avstängningsventil G2NDA10AA101 är stängd
- Framledningssidans motrotations reglerventil G2NDA30AA151 är stängd.
- Framledningssidans motrotations avstängningsventil är stängd.
- Fjärrvärmepumpen G2NDC21AP001 är avstängd.
- Fjärrvärmepumpen G2NDC22AP001 är avstängd.
- Retursidans reglerventil G2NDB30AA151 är stängd.
- Retursidans avstängningsventil G2NDB15AA101 är stängd.
- Retursidans motrotations reglerventil G2NDB30AA151 är stängd.
- Retursidans motrotations avstängningsventil är stängd.
- Fjärrvärmepumpen G2NDC11AP001 är avstängd.
- Fjärrvärmepumpen G2NDC12AP001 är avstängd.
- Fjärrvärmeackumulatorns blandvattenpump G2NDC40AP001 är avstängd.
- Alla manuella ventiler är öppna.
- Inget lås på fjärrvärmeackumulatorns digitalsystem. [6]

4.6 Justering av fjärrvärmeackumulatorns vattennivå

Vattennivån i fjärrvärmeackumulatortan mäts med hjälp av dubbla tryckmätare. Två tryckmätare är belägna på ackumulatortans botten och de två andra i toppen. Tryckmätningarna baserar sig på tryckskillnaden, där man jämför trycket i ackumulatortans botten med trycket i ackumulatortans tomrum.

För beräkning av vattennivån subtraherar man fjärrvärmeackumulatortans undertryck i tryckmätaren G2NDE10CP001 med fjärrvärmeackumulatortans övertryck i tryckmätaren G2NDE10CP003 och undertrycket i tryckmätaren G2NDE10CP002 med övertrycket i tryckmätaren G2NDE10CP004. (se figur 8) Av de beräknade ytorna väljs den högre ytan för visning och justering. [6]



Figur 8. Tryckmätarnas position inringat i rött, Elomatic [6]

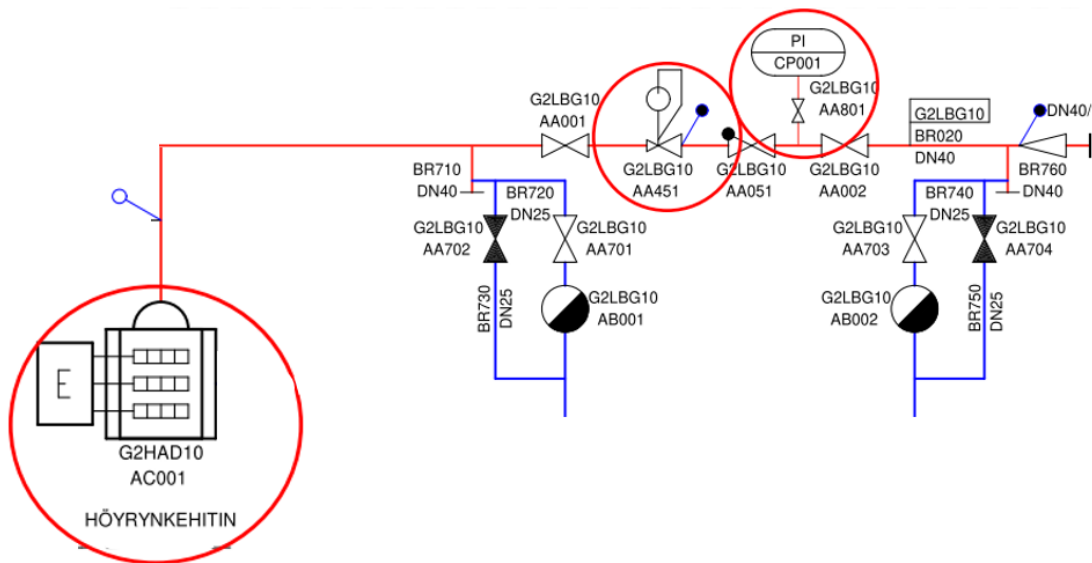
Nivåkontrollen för fjärrvärmeackumulatören fungerar som en +/- justering för att korrigera fjärrvärmeackumulatorns flöde på framledningen vid förändringar i vattennivån. Om vattennivån i fjärrvärmeackumulatören är högre än regulatorns börvärde så minskar regulatorn utflödet i förhållande till returflödet. Om vattennivån i fjärrvärmeackumulatören är lägre än regulatorns börvärde ökar regulatorn på flödet i utloppsledningen i proportion till flödet i returledningen.

Minimivattennivå då fjärrvärmeackumulatören är urladdad ligger på 36,3 m och den maximala vattennivån är 37,2 m då ackumulatören är fulladdad. Om vattennivån i fjärrvärmeackumulatören skulle överstiga 38,2 m, töms det fjärrvärmevattnet som överskrider nivån ut genom ett överfyllnadsrör. Om en pågående laddnings- eller urladdningsprocess är i gång stoppas alltid den processen om inte fjärrvärmeackumulatorns vattennivå är mellan 36 – 38 meter. [6]

4.7 Tryckjustering av fjärrvärmeackumulatorns ångspärr

Ånggeneratoren G2HAD10AC001 producerar den ånga som behövs uppe i toppen på ackumulatorm för ångbädden. Ånggeneratoren är en helt oberoende och automatiskt fungerande enhet. Ånggeneratoren upprätthåller självständigt det utgående ångtrycket vid det inställda driftstrycket.

Det inkommande ångtrycket i fjärrvärmeackumulatorm justeras med tryckregulatorn G2LBG10AA451 som är helt självstyrd. (se figur 9) Tryckregulatorn justerar ledningstrycket i förhållande till lufttrycket och tar därmed hänsyn till förändringar i lufttrycket. Engångsjusteringar för ångledningen görs baserat på tryckmätning av tryckmätaren G2LBG10CP001. [6]



Figur 9. Schema över ånggeneratorm. Elomatic [6]

5 RESULTAT

Analys av ackumulators/värmelagrets inverkan på fjärrvärmeproduktionen.

I detta arbete har det utgående från produktionsdata timme för timme för tidsperioden december 2021 till februari 2022, analyserats hur mycket man skulle ha kunnat minska på gasanvändningen i toppanläggningarna med hjälp av fjärrvärmeackumulatör samt hur mycket man kunde inverka på produktionen av el.

Under december 2021 var ackumulatör ännu under byggnad. I mitten av januari påbörjades det manuella provkörningar och testning av automationen. Målet är att få automatiserad körning utgående från produktions- och väderprognoser under våren 2022.

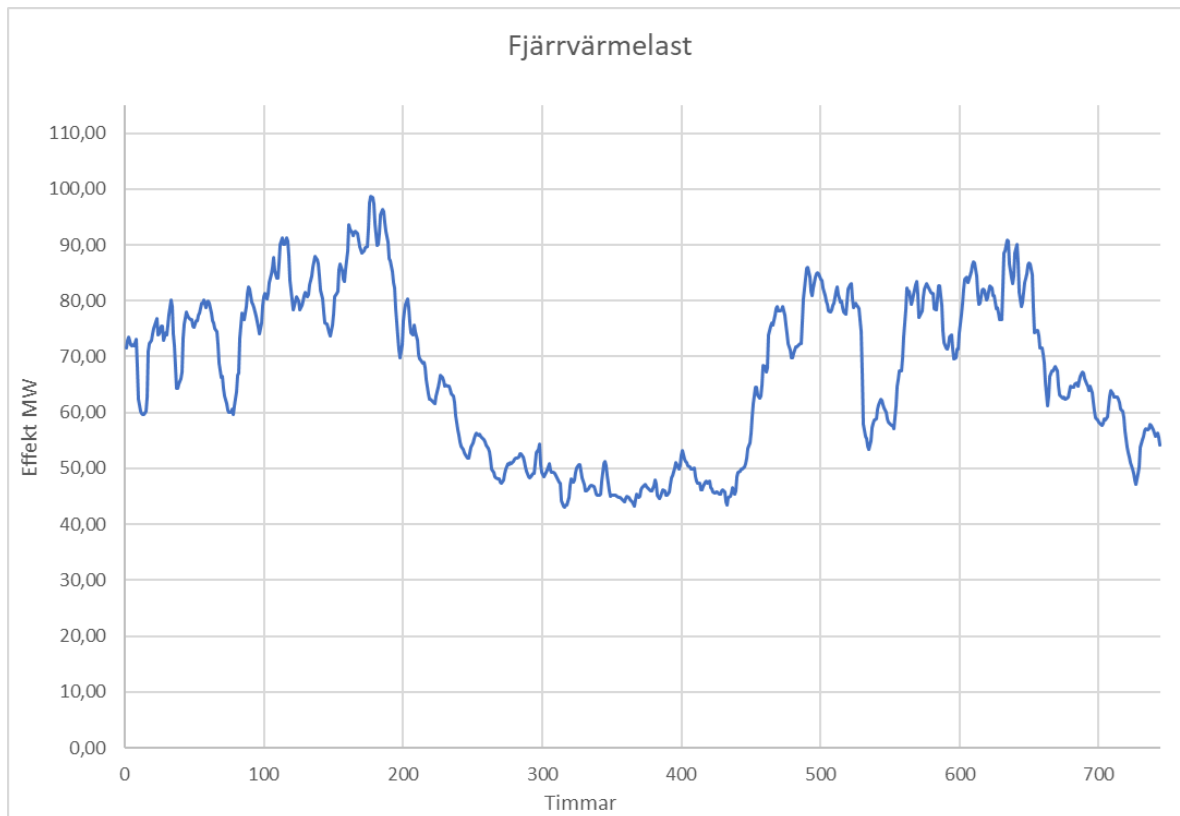
Akkumulatör kan laddas då biokraftverken i Tolkis har kapacitet som överskrider lasten i fjärrvärmenätet. Värme från ackumulatör utnyttjas då kraftverken går för fullt och lasten i nätet överskrider den kapaciteten. Härmed undviker man att starta toppanläggningar.

Toppeffekten från kraftverken ligger kring 72 MW. I analysen har använts data från produktionens automationssystem för att hämta fram hur mycket av energiproduktionen i toppanläggningarna man skulle ha kunnat ersätta genom att använda ackumulatör.

5.1 December

December 2021 var enligt daggradtal (735, normalår 625) årets kallaste månad i Borgå.

Förverkligad gasanvändning var ungefär 4300 MWh. [8]



Figur 10. Fjärrvärmebehov december 2021.

Antalet timmar då lasten i nätet överskred 72 MW var 364 timmar och antalet timmar då det funnits möjlighet att ladda fjärrvärmeackumulatorn var 380. Enligt data skulle det av de 364 timmarna varit 159 sådana som man kunnat utnyttja energi från ackumulatorn och 205 sådana som man måste använda toppanläggningar.

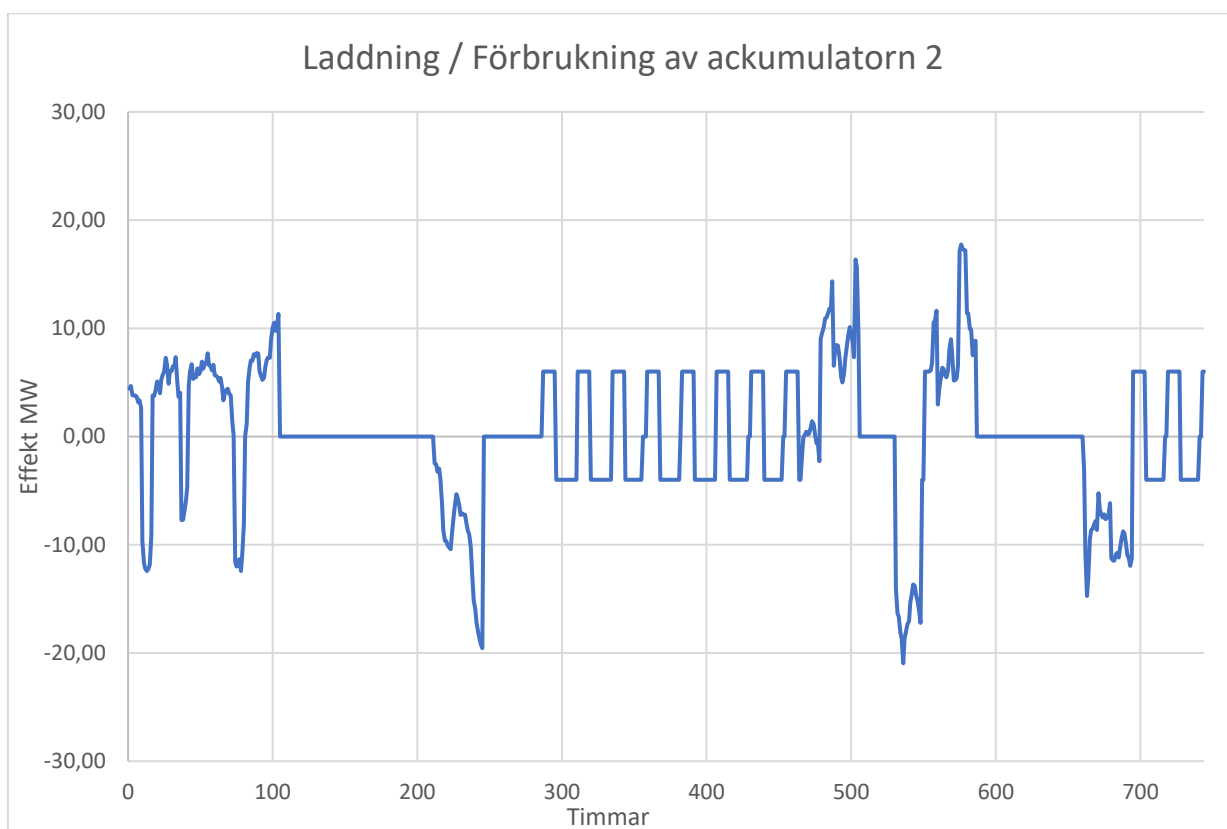


Figur 11. Laddning och urladdning av fjärrvärmeackumulatorn december 2021.

Från detta fick jag uträknat att energi från ackumulatorn i december skulle ha kunnat utnyttjas ungefär 850 MWh. Detta skulle ha minskat gasanvändningen med ungefär 1000 MWh (med en uppskattad verkningsgrad på 0,85 i gasanläggningarna). Vilket är en minskning av gasanvändningen på 23% under den kallaste månaden 2021. I euron skulle detta ha betytt en inbesparing på 100 000 – 120 000 euro med gaspriserna i december 2021. [9]

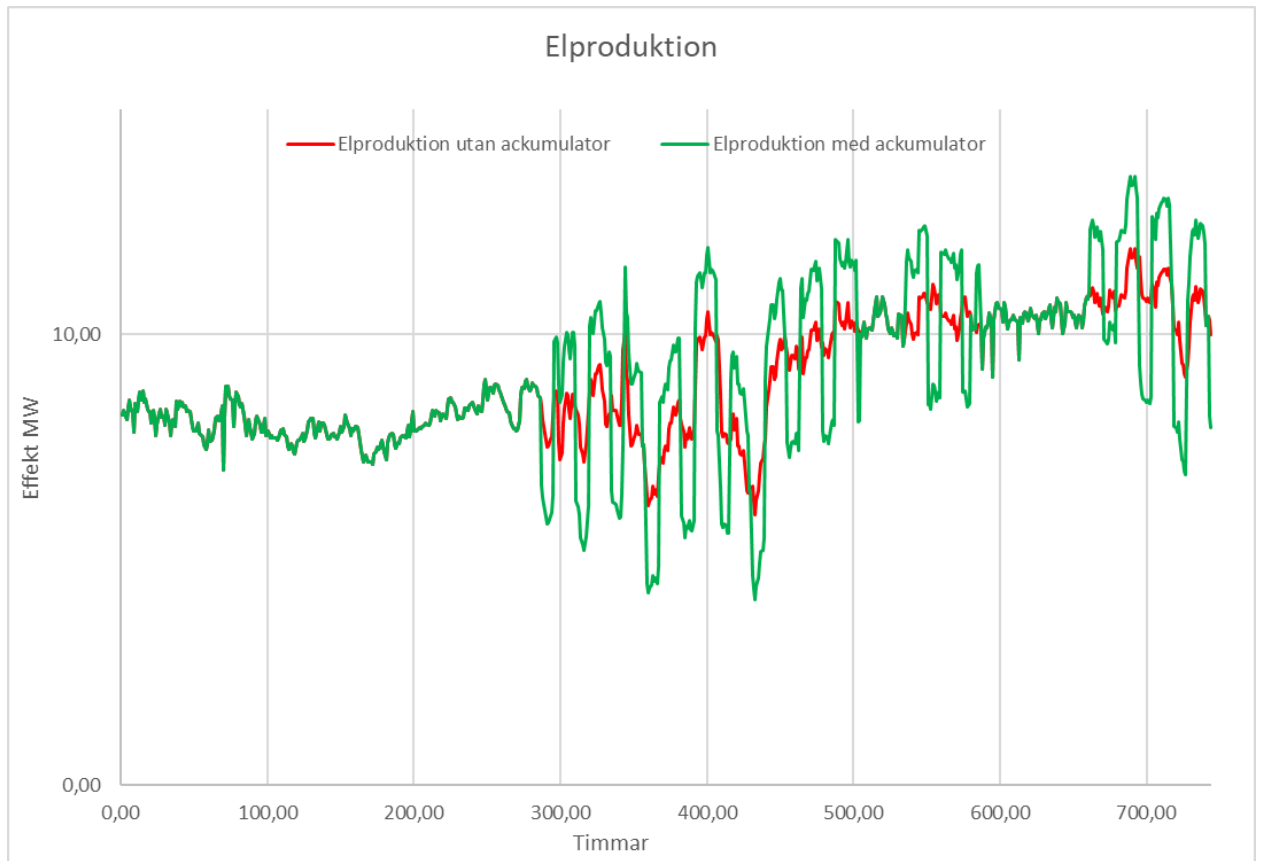
Utsläppsrätter skulle också ha sparats då CO₂ utsläppen minskat med 200 ton. I december var priset ungefär 80 € /ton vilket resulterar i en inbesparing på 16 000 euro. Om den kalla perioden i december inte varit så lång hade det funnits möjligheter att ladda oftare och därmed skulle minskningen av gasanvändningen vara ännu större. Nyttan av ackumulatorn är som störst då temperaturen varierar mera.

Elproduktionen i CHP kraftverken kan utnyttjas med hjälp av ackumulatorn genom att ladda ackumulatorn medan elpriset är högre och sedan ta ut energin när elpriset är lägre. Exempelvis om elpriset är 120 € på dagen och 20 € på natten, kan man ladda in X mängd energi i ackumulatorn på dagen när det oftast är högre utetemperaturer och sedan ta ut samma mängd energi på natten. Genom att ta ut energin på natten justerar man nivån på fjärrvärmeackumulatorn så att det är möjligt att ladda ackumulatorn igen när elpriset är högre. En annan fördel med detta är att kraftverken i detta fall har en möjlighet att gå jämnare dygnet runt.



Figur 12. Laddning och urladdning av fjärrvärmeackumulatorn i förhållande till elpriset december 2021.

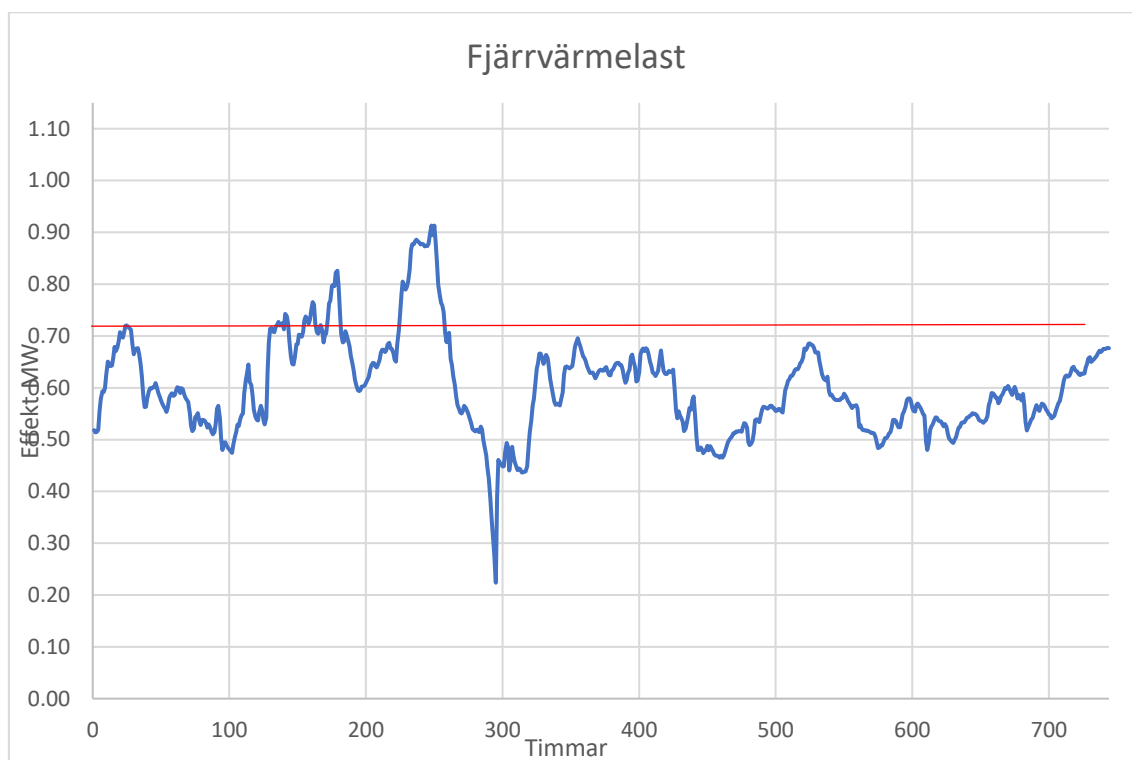
Grafen i tabell 3 visar hur utfallet skulle vara om man laddade fjärrvärmeackumulatorn med en effekt på 4 MW i 12 timmar på dagen då elpriset var högre och sedan urladdade fjärrvärmeackumulatorn under natten då elpriserna var lägre samt effektbehovet i fjärrvärmenätet var högre. Genom att ladda 12 timmar om dagen med en effekt på 4 MW och urladda om natten i 8 timmar med en effekt på 8 MW, betyder det att den sammanlagda effekten som laddades på dagen var 48 MW och samma mängd urladdades ut i fjärrvärmenätet under natten.



Figur 13. Elproduktion med ackumulatorn och utan ackumulator.

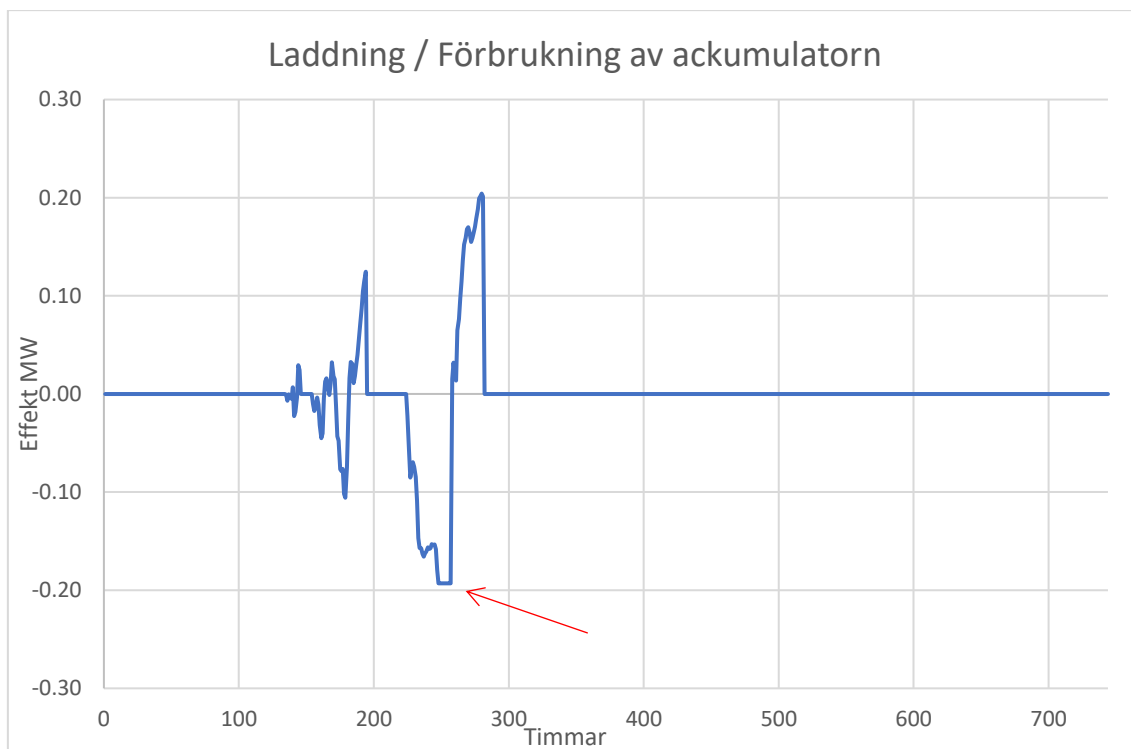
5.2 Januari

Januari 2022 var något varmare än ett normalår. Daggradtalet för januari var 630 i jämförelse med ett normalår då det ligger på 664. Medeltemperaturen för januari låg på $-3,34\text{ }^{\circ}\text{C}$ medan den för ett normalår skulle ligga på $-5,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. [8] Den totala värmeproduktionen för januari var omkring 44 600 MWh varav biokraftverken kunde täcka 44 110 MWh.



Figur 14. Fjärrvärmebehov januari 2022.

Den röda linjen på grafen i tabell 5 visar var gränsen går för de två biokraftverken. Om den begärda effekten i fjärrvärmenätet överskrider den kombinerade effekten på totalt 72 MW behöver ett gasvärmeverk startas. Det område som går över den röda linjen på grafen här ovan motsvarar 475 MWh. Med ett inräknat jordgaspris för rörliga och fasta kostnader låg kostnaden på $148,62\text{ €/MWh}$. Alltså skulle 475 MWh kosta drygt 70 000 €. [9]



Figur 15. Laddning och urladdning av fjärrvärmeackumulatorn januari 2022.

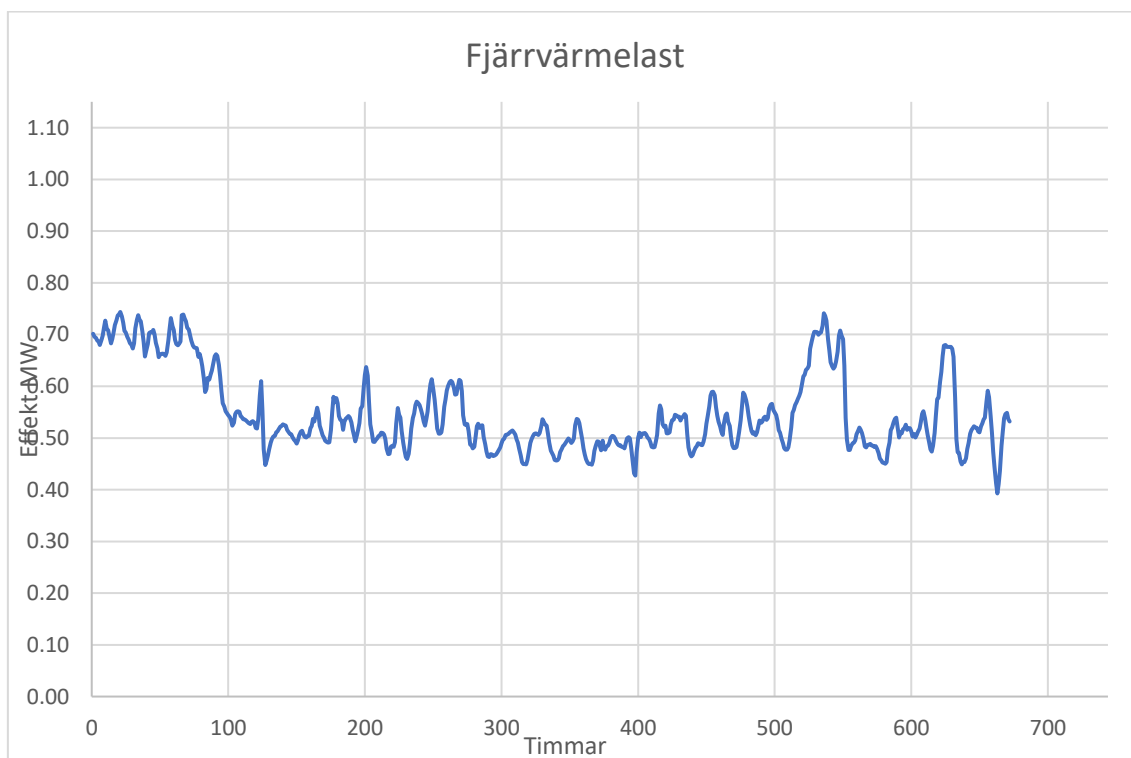
Grafen ovan visar hur fjärrvärmeackumulatorn laddats och urladdats under januari månad. När linjen ligger på nivån 0 på X-axeln innebär det att fjärrvärmeackumulatorn är full laddad (320MW). När linjen dyker under nollstrecket ger ackumulatorn ut energi i nätet och när linjen stiger över nollstrecket laddas ackumulatorn. Pilen på grafen visar på en situation där behovet i fjärrvärmenätet har överstigit 72 MW så pass länge att fjärrvärmeackumulatorn har hunnit bli tom. I detta fall finns det inga andra alternativ än att sätta i gång ett av gasvärmeverken.

Med hjälp av fjärrvärmeackumulatorn kunde energibolaget under januari månad ha sparat in 385 MWh motsvarande drygt 57 000 €.[8] Bränslekostnaden för 1 MWh värme producerat med flis är ungefär 25 € då det sker i biokraftverken. Genom att ladda fjärrvärmeackumulatorn med hjälp av biokraftverken skulle det ha kostat energibolaget ungefär 9 000 €, vilket resulterar i inbesparing på över 49 000 €. Det sparades även på utsläppsrättigheter genom att det i stället för 475 MWh gas användes endast 90 MWh gas.

Under januari månad gick det inte att öka på elproduktionen med hjälp av fjärrvärme-ackumulatorn. Det här eftersom turbinerna under de kallaste dagarna gick på fullt och under de varmare dagarna var elpriset så pass lågt att det inte var lönsamt.

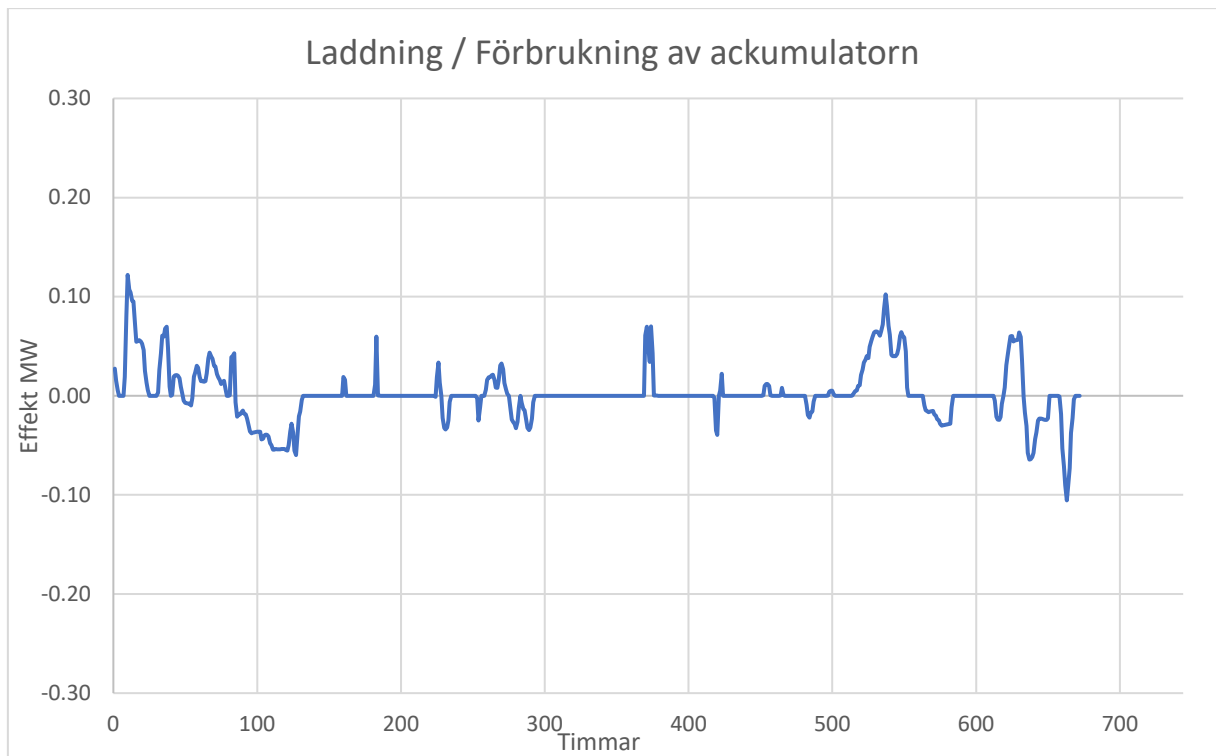
5.3 Februari

Liksom januari var februari 2022 varmare än ett under ett normalår. Daggradtalet för februari var 527 i jämförelse med ett normalår då det ligger på 652. Medeltemperaturen för februari låg på $-1,83\text{ }^{\circ}\text{C}$ medan den för ett normalår skulle ligga på $-6,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. [8] Den totala värmeproduktionen för februari var omkring 36 835 MWh och endast 24 MWh kunde inte täckas med enbart biokraftverken.



Figur 16. Fjärrvärmebehov februari 2022.

Eftersom februari var så pass varm kördes värmeproduktionen under februari månad endast i förhållande till elpriset. Detta gjordes manuellt men i framtiden kommer allt detta att automatiseras och grunda sig på prisprognoser av el-priset samt väderleksprognoser och uppskattat värmebehov i fjärrvärmenätet.

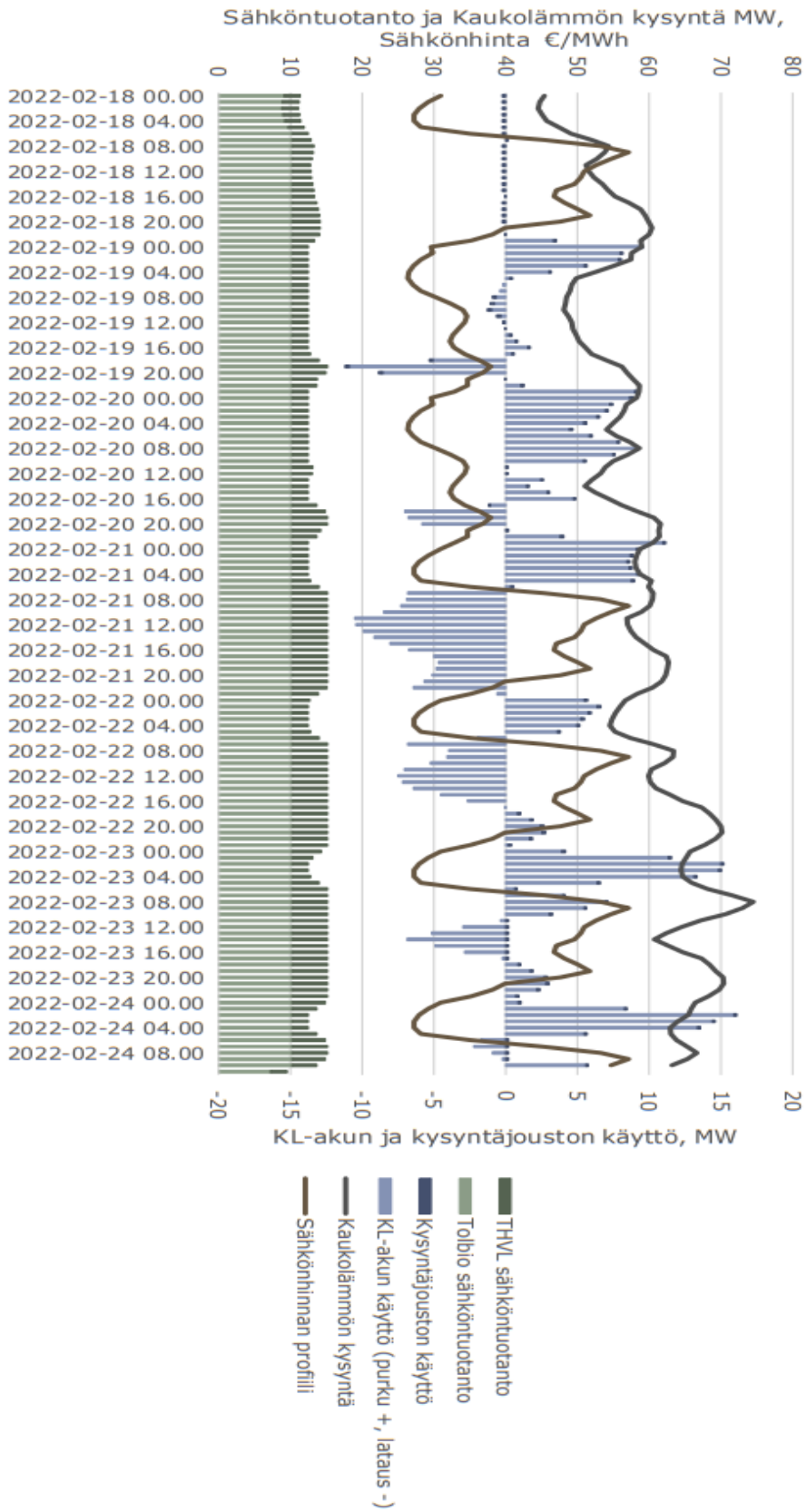


Figur 17. Laddning och urladdning av fjärrvärmeackumulatorn februari 2022.

Intelligensen som i framtiden kommer att styra fjärrvärmeackumulatorns laddning- och urladdningssekvenser, håller företaget AFRY AB på att utveckla för Borgå Energi AB. Denna automatiserade intelligens körs genom att kombinera de olika produktionsanläggningars data, fjärrvärmenätets totala värmebehov i nuläget och genom uppskattningar av kommande värmebehov utgående från väderprognoser.

I figur 10 presenteras en graf över hur den automatiserade intelligensen kan optimera el- och värmeproduktionen under loppet av en vecka.

Tuotannon optimoinnin tulokset AFRY Performance Boosterissa



Figur 18. Resultaten av produktionsoptimeringen i AFRY Performance Booster. Tuotannon optimoinnin tulokset AFRY Performance Boosterissa, AFRY AB [10]

6 SLUTSATS

Sammanfattningsvis visar analysens resultat av Borgå Energi AB:s fjärrvärmeackumulator, att den avsevärt minskar behovet av toppanläggningarnas drift. Därmed minskar även behovet av gas, som bolaget normalt använder för att driva fjärrvärmeproduktionen. Detta resulterar i inbesparingar i och med minskade bränslekostnader samtidigt som det minskar på de fossila utsläppen, vilket även i sin tur ger ekonomiska inbesparingar i form av minskade utsläppskostnader.

Med hjälp av fjärrvärmeackumulatören kan elproduktionen optimeras genom att styra elproduktionen till de dyrare timmarna och härmed höja den producerade elens medelpris.

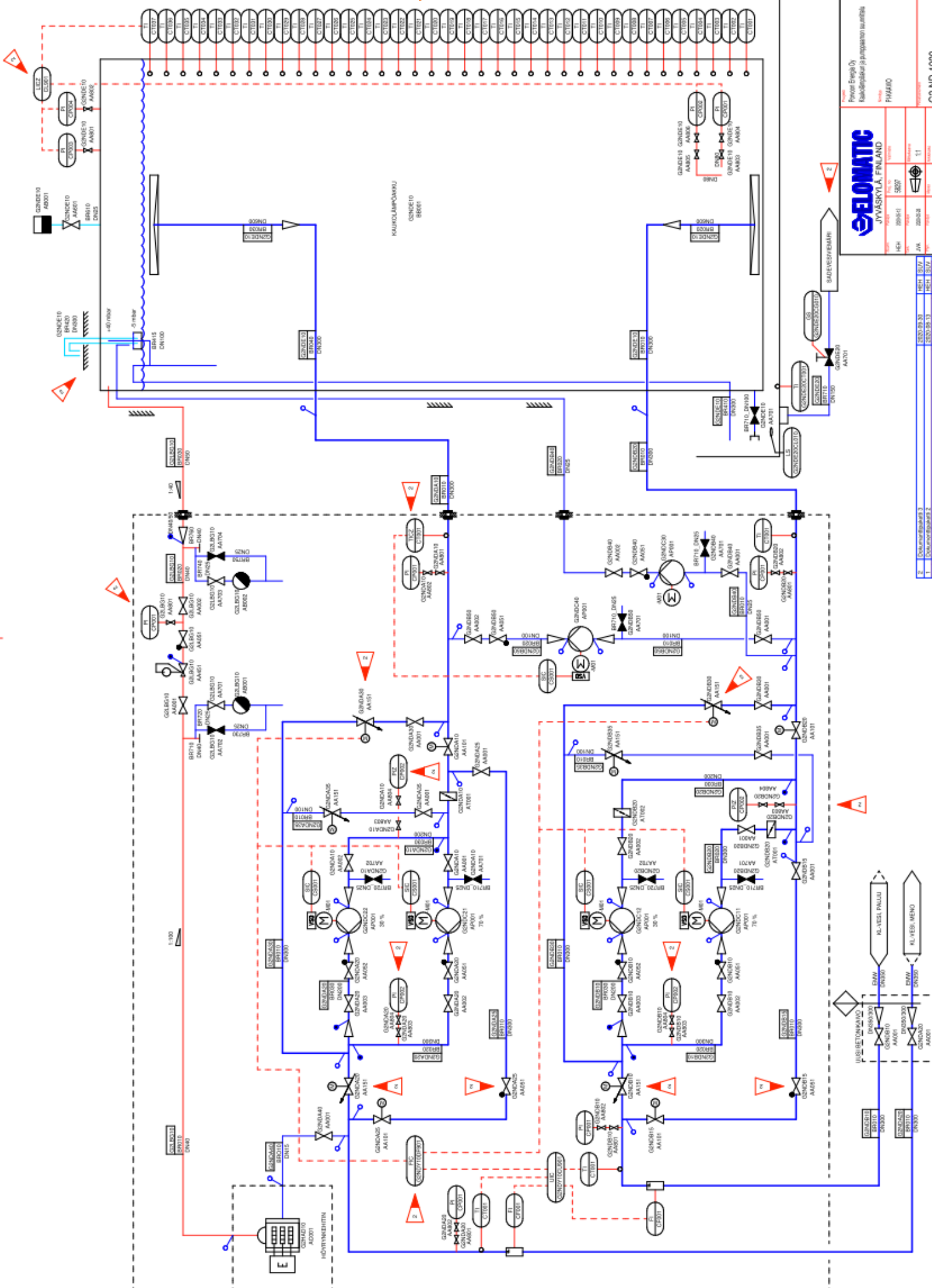
Även vid läckor i fjärrvärmenätet kommer fjärrvärmeackumulator till nytta. Efter att läckan reparerats måste fjärrvärmenätet fyllas på igen. I dessa fall kan man ta ut upphettat vatten som lagrats i fjärrvärmeackumulatören vilket direkt ger varmt vatten i nätet i stället för att fylla på med kallt vatten som skall hettas upp i värmeanläggningen och köras ut i fjärrvärmenätet. Om man därtill beaktar den kommande intelligensen som i fortsättningen skall styra fjärrvärmeackumulatorns drift kan innebära en betydande ekonomisk nytta av fjärrvärmeackumulatören. Det indikerar också att de förväntade ekonomiska målsättningarna som investeringsbeslutet byggde på, kan uppfyllas.

7 KÄLLOR

- [1] <https://www.esitteemme.fi/porvoonenergia/WebView/> Hämtad: 3.1.2022
- [2] <https://www.energihandbok.se/varmeoverforing> Hämtad: 3.1.2022
- [3] <https://www.danfoss.com/en/about-danfoss/our-businesses/heating/knowledge-center/heating-school/how-does-district-heating-work/> Hämtad 5.1.2022
- [4] https://www.engineeringtoolbox.com/boiling-point-water-d_926.html Hämtad: 5.1.2022
- [5] Hake, A. (2014). Teknoekonomisk förundersökning av ackumulatortank för Luleå fjärrvärmesystem. Luleå: Luleå Tekniska Universitet (examensarbete). S.9
- [6] Elomatic consulting and engineering, *säätökuvaukset, kaukolämpöakku Porvoon Energia*.
- [7] Valmet DNA Automationssystem
- [8] Gasum Oy
- [9] Ilmatieteenlaitos, <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/kuukausitilastot> Hämtad: 23.3.2022
- [10] Tuotannon optimoinnin tulokset AFRY Performance Boosterissa, AFRY AB

BILAGA 1

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16



EFONTIC
JYVÄSKYLÄ, FINLAND

Projekti: Energia Oy
Maailmanlaajuisen parannuksen malli

Kartta	PAAKIO
Pääsuojuri	11
Keskisuojuri	11
Alisuojuri	11
Käyttösuojuri	11
Käyttösuojuri	11

Koordinaatio	Kohde	Käyttökäyt.	Käyttökäyt.	Käyttökäyt.	Käyttökäyt.
2	2020.09.30	JVA	2024.08	11	2024.08
1	2020.09.30	JVA	2024.08	11	2024.08

G2-ND-1000