

# Efterfrågefleksibilitet i fjärrvärmenät

Jaan Peltola

Examensarbete för ingenjörsexamen(YH)

Utbildningsprogrammet för el- och automationsteknik

Vasa 2020



## EXAMENSARBETE

Författare: Jaan Peltola  
Utbildning och ort: El- och automationsteknik, Vasa  
Inriktningsalternativ: Automationsteknik  
Handledare: Erik Englund

Titel: Efterfrågeflexibilitet i fjärrvärmenät

---

Datum 31.3.2020

Sidantal 34

---

### Abstrakt

Syftet med detta examensarbete var att skapa ett styrsystem för att testa om avsevärd flexning kan åstadkommas i en byggnads värmesystem inom bekvämlighetsramar. Detta gjordes genom att sänka på framledningstemperaturen i respektive byggnads värmekrets. I teorin tas upp olika saker som bör beaktas för att bygga ett efterfrågeflexningssystem. Även olika efterfrågeflexningsmetoder tas upp samt vilken metod som användes i arbetet. Syftet med efterfrågeflexning är inte att spara energi utan att förskjuta energianvändningen till en tidpunkt där användningen är mindre. Genom detta kan Vasa elektriska åstadkomma en jämnare förbrukning på fjärrvärmenätet.

Arbetet omfattar fyra skolor runt om i Vasa. Skolornas värmekretsar ska kunna fjärrstyras då efterfrågeflexning behövs. En PLC används som huvudenhet för att skicka ut kommandon till respektive skolors PLC. Arbetet resulterade i ett fungerande styrsystem med ett bekväm efterfrågeflexning.

---

Språk: svenska

Nyckelord: efterfrågeflexning, fjärrvärme, Fidelix, Vasa elektriska, automation

---

## OPINNÄYTETYÖ

Tekijä:	Jaan Peltola
Koulutus ja paikkakunta:	Sähkö- ja automaatiotekniikka, Vaasa
Suuntautumisvaihtoehto:	Automaatiotekniikka
Ohjaaja:	Erik Englund

Nimike: Kulutusjousto kaukolämpöverkossa

---

Päivämäärä 31.3.2020

Sivumäärä 34

---

### Tiivistelmä

Oppinäytetyön tarkoitus oli luoda ohjausjärjestelmä, jotta saisi testattua, saadaanko suotava energian jousto kiinteistön lämmityspiiriä ohjaamalla. Energian jousto toteutettiin menojohdon asetusarvoa laskemalla. Teoriaosassa käydään läpi mitä pitää ottaa huomioon, kun rakentaa kulutusjoustojärjestelmää. Myös erilaisia kulutusjoustomenetelmiä käydään läpi ja mitä kulutusjoustomenetelmää käytettiin toteutuksessa. Kulutusjouston tarkoitus ei ole säästää energiaa, vaan tarkoituksena on lykätä energian käyttöä aikaväliin, missä kulutus on pienempi. Tämän avulla Vaasan sähkö saa tasaisemman energiakulutuksen kaukolämpöverkossa.

Työhön sisältyy neljä koulua ympäri Vaasaa. Koulujen lämmityspiiriä täytyy pystyä ohjaamaan etänä, jos kulutusjousto on tarvetta. Pääyksikkönä käytettiin PLC:tä, joka lähettää kulutusjoustopyynnön kiinteistöjen PLC:lle. Lopputulos oli toimiva kulutusjousto-ohjausjärjestelmä suotavalla joustolla.

---

Kieli: ruotsi

Avainsanat: kulutusjousto, kysyntäjousto, kaukolämpö, Fidelix, Vaasan sähkö, automaatio

---

## BACHELOR'S THESIS

Author: Jaan Peltola  
Degree Programme: Electrical Engineering and Automation, Vaasa  
Specialization: Automation technology  
Supervisor: Erik Englund

Title: Demand Side Management in a District Heating System

---

Date March 31, 2020

Number of pages 34

---

### Abstract

The purpose of this bachelor's thesis was to create a control system to test with if a considerable amount of consumption flexibility can be achieved in energy use in a house property's heating system. This was achieved through lowering the setpoint of a heating circuit's flow line. In the theory part I go through different things to consider when creating a demand side management system. I also go through a couple of different demand side management methods; also, which method is used in the execution part. The purpose of a demand side management system is not to save on energy but to delay the use of energy to a time period when there is less energy demand. Through this method Vaasan sähk6 can achieve a more stable district heating network.

The work contains four school buildings across Vaasa. The schools' heating circuit need to be remotely controlled if there is a demand for delaying the energy use. A PLC is used as a main unit to send a request to the schools PLC unit to lower energy use. The work resulted in a functioning demand side management system where a desirable consumption flexibility was achieved.

---

Language: swedish

Key words: demand side management, district heating, Fidelix, Vaasan sähk6, automation

---

# Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Syfte och mål .....	1
1.2	Uppdragsgivare.....	2
1.3	Avgränsning.....	2
2	Fjärrvärmeprocess.....	3
2.1	Värmeväxlare .....	4
2.2	Vasa fjärrvärmenät .....	4
3	Automationssystem.....	6
3.1	Programmeringsverktyg .....	7
3.2	FDX Compact-serie .....	7
4	Kommunikation .....	8
4.1	TCP/IP .....	9
4.1.1	Privatnät och LAN.....	9
4.1.2	Brandvägg.....	10
4.2	VPN- tunnel.....	10
5	Vattenburna värmesystem .....	11
5.1	Radiatorvärmesystem .....	12
5.2	Golvvärmesystem.....	13
6	Efterfrågestyrning.....	14
6.1	Funktionsprincip .....	15
6.1.1	Nätladdning .....	15
6.1.2	Ackumulatortankar i nätet.....	16
6.1.3	Värmelagring i byggnader .....	16
6.1.4	Lastväxling .....	17
6.1.5	Ackumulatortankar för varmvatten i byggnaden .....	17
7	Utförande.....	18
7.1	Systemspecifikation .....	18
7.2	Planering.....	18
7.2.1	Byggnaderna.....	19
7.2.2	Placering av PLC och kommunikation .....	19
7.2.3	Efterfrågeflextningen.....	19
7.2.4	Datainsamling och historisk uppföljning .....	19
7.2.5	Användargränssnitt.....	20
7.3	Användargränssnitt.....	20
7.3.1	Användargränssnitt i Efterfråge-VAK.....	20
7.3.2	Användargränssnitt i fastigheterna.....	21

7.4	Styrning.....	23
7.4.1	Styrning i byggnader .....	23
7.4.2	Styrning över nätet .....	25
8	Analys och utvärdering.....	26
9	Diskussion.....	31
10	Källförteckning .....	33

# 1 Inledning

Idag finns det stort behov av att effektivera processer av flera olika anledningar. Bland annat effektiveras processerna av ekonomiska skäl samt för att spara på miljön och för att minska på skadliga utsläpp. Aktörer lägger stora summor pengar i att skapa smarta system som ska kunna optimera energianvändning. Kunderna och regeringen sätter större krav på produkternas miljöinverkan. Koldioxidutsläppen ska minskas men produktionen behöver hållas på samma nivå, om inte högre. (Europaparlamentet, 2018) (Valtioneuvosto, 2019)

På grund av detta har Fidelix valt att investera i att hitta smartare lösningar för styrning och optimering för anläggningar. Detta för att kunna erbjuda miljövänligare produkter och tjänster till deras kunder samt förmånligare driftkostnader för kunden.

Eftersom man vill minska på koldioxidutsläppen men energitillgången behöver hållas på samma nivå, har efterfrågefleksibilitetsmetoden uppstått. Med denna metod kan belastningar sekvenseras så att energiproduktionen stabiliseras samtidigt som utsläppen och driftskostnaderna minskar.

## 1.1 Syfte och mål

Syftet med detta examensarbete var att skapa ett styrsystem för att styra belastningarna på fjärrvärmenätet, samt att skapa ett sätt för Vasa elektriska att testa om en lösning som denna är lönsam att investera i. Systemet ska kunna styras från Vasa elektriskas kontrollrum, samtidigt som varje fastighet ska ha en historikuppföljning på förbrukningen, inomhustemperaturen, utomhustemperaturen och på om efterfrågefleksibiliteten har varit aktiv. Uppföljningen behövs för att se hur mycket energiförbrukningen minskar samt om det finns utrymme för att strypa energiförbrukningen ytterligare om efterfrågefleksibiliteten är aktiv. Uppföljningen behövs även för att se om inomhustemperaturerna sjunker för lågt och hur snabbt de sjunker.

Målet var att undersöka några fastigheter för att se hur stor nytta det är att använda metoden samt att skapa ett system som är lätt att vidareutveckla om kunden vill göra fortsatta investeringar i styrsystemet. Kravet som ställs på systemet är att varmvattentillgången och ventilationens värmekrets inte ska begränsas samt att temperaturen i byggnaderna inte blir för låg.

## 1.2 Uppdragsgivare

Fidelix Oy är ett automationsföretag med fastighetsautomation som huvudsyssla. Fidelix Oy är ett landsomfattande företag som har hela processens steg under ett och samma tak. Allt från att tillverka PLC, I/O-kort till att installera och programmera automationssystem. Det kontor som jag utför mitt arbete för är Fidelix Pohjanmaa, som omfattar Vasa, Karleby och Seinäjoki. Fidelix Oy är grundat 2002 i Vanda med syfte att bli ledande inom smarta fastighetssystem i norden. Fidelix huvudkontor ligger i Vanda och deras undersöknings- och utvecklingscenter finns även där. År 2018 låg Fidelix omsättning på ca 40 miljoner Euro och de sysselsatte kring 280 personer på 13 orter runt Finland.

## 1.3 Avgränsning

Detta examensarbete är endast ett pilotprojekt för att skapa ett testsystem och för att testa om efterfrågefleksibilitetsmetoden är värd en investering i större skala. På grund av detta är arbetet begränsat till att skapa en kommunikationslinje från några fastigheter i Vasa till Vasa elektriskas kontor och att skapa ett lättanvändbart program för att styra energianvändningen.

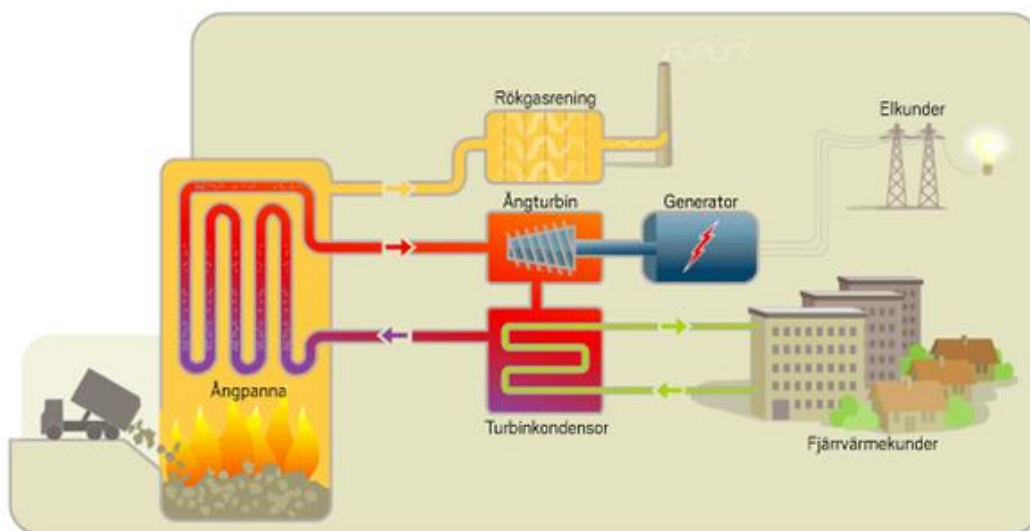
Själva programmet ska kunna återanvändas om arbetet leder till vidareutveckling. Programmet ska kunna kommunicera med ett antal PLC-enheter som finns i fastigheterna. PLC-enheterna i fastigheterna styr i sin tur radiatorkretsarna för att strypa värmeanvändningen när det finns behov för detta.



## 2 Fjärrvärmeprocess

Fjärrvärme är ett sätt att producera och distribuera värmeenergi till kunderna via isolerade vattenledningar under marken. Fjärrvärmenätet är ett slutet nät som har två ledningar, fram- och returledning. Temperaturen i framledningen varierar mellan 65 och 115 °C och returledningen i sin tur är mellan 40 och 60 °C. (Hillamo, 2017)

För att värma framledningsvattnet i fjärrvärmenätet används ofta spillvärme från elkraftverk. Detta resulterar i ökad verkningsgrad i ett kraftverk, från cirka 30 – 40 % till cirka 90 %. I ett kraftverk värmer ångpannan vattnet i rören så att vattnet förångas, ångan driver en ångturbin som i sin tur driver generatoren som producerar el. När ångan har gått genom turbinen behöver ångan kylas ner till vatten innan den går in till reaktorn igen. Turbinkondensorn kylar ner ångan till vatten och transporterar bort värmen som uppkommit. Spillvärmen som kondensorns värmeväxlare tar upp ska göras av med. Detta görs genom att antingen dumpa ut den i naturen eller den mer hållbara lösningen är att använda värmeenergin som producerats för att till exempel värma hus. (Rydegren, 2017)

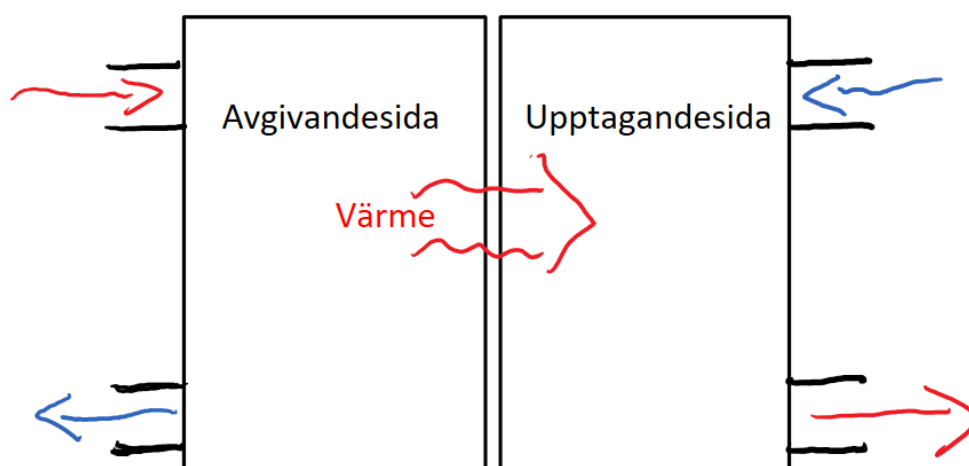


Figur 1. Elkraftverk med fjärrvärmenät. (Jönköping Energi, 2015)

## 2.1 Värmeväxlare

Värmeväxlare är apparater som används för att överföra värmeenergi från en varm substans till en kall substans. Det finns tre olika sätt som värme kan överföras på, nämligen genom strålning, konvektion eller värmeledning. Till exempel är bilens radiator/kylare en sorts värmeväxlare som överför värmen från motorn med hjälp av vatten till kylaren. Denna i sin tur överför värmen till luften, alltså överför bilen värmeenergin genom ledning och konvektion.

Värmeväxlare i byggnader överför värmeenergin från fjärrvärmenätet till respektive krets i byggnaden. En byggnads värmeväxlare har ofta flera olika kretsar som cirkulerar i byggnaden. Exempel på detta är varmvattenkrets, värmekrets och ventilationsvärmekrets. Energiöverföringen styrs med hjälp av ventiler och ventilmotorer som styr strömningshastigheten genom respektive krets. (Sundén, 2006)



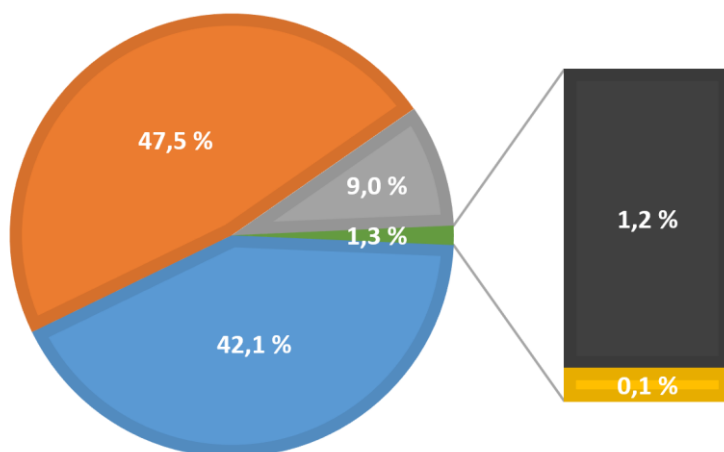
Figur 2. Värmeväxlare.

## 2.2 Vasa fjärrvärmenät

Vasa fjärrvärmenät består av en total längd på 242 km och har omkring 3268 kunder. År 2018 producerades 745 GWh och såldes 679 GWh energi med en topp effekt på 250 MW, där Vaskiluoto 2 stod för 421 GWh varav 67 GWh producerades med stenkol. Westenergy stod för 314 GWh av energin som blev producerad. Dessa kraftverk stod för cirka 99 procent av produktionen. Den sista procenten kom från lätt brännolja på 9 GWh och ytterligare 0,1 procent av produktionen kom från förbränning av deponigaser på 1 GWh. Distributionsförlusterna var år 2018 65,9 GWh alltså 8,8 procent av inmatad energi till fjärrvärmenätet. (Vaasan Sähkö Oy, 2019)

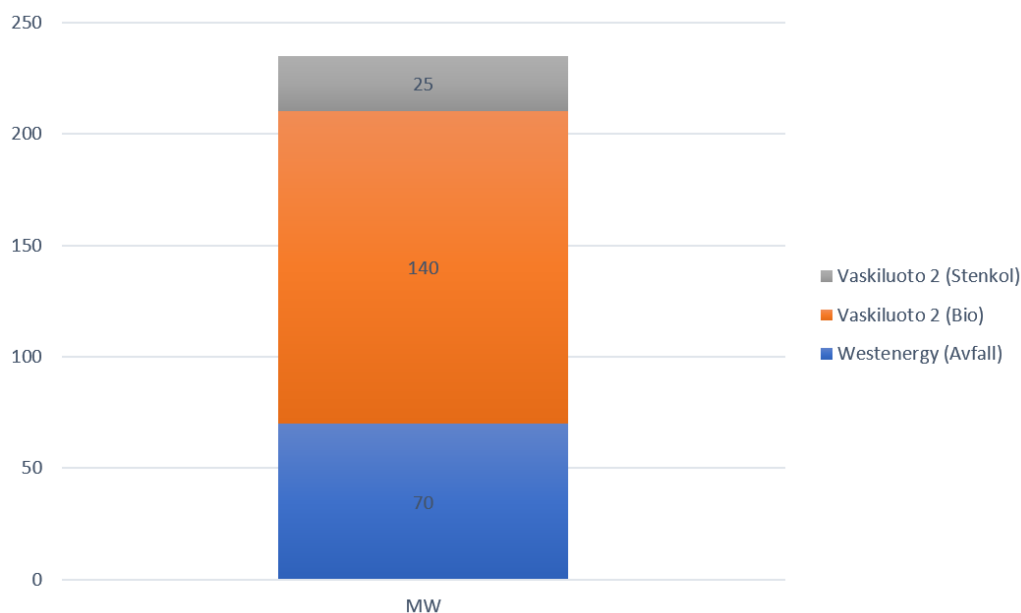
## ENERGIPRODUCERAT ÅR 2018

■ Avfall ■ Biobränsle och flis ■ Stenkol ■ Lätt brännolja ■ Deponigas



**Figur 3. Fjärrvärmens bränslen i Vasa år 2018. (Vaasan Sähkö Oy, 2019)**

Som tidigare nämnts har Vasa fjärrvärmenät flera kraftverk som producerar energi till nätet. Kraftverken körs enligt hur stort behov som finns på nätet. Som bas kör Westenergy med en toppeffekt på 70 MW och använder som bränsle icke återanvändbar kommunalt avfall. Därefter kompletterar Vaskiluoto 2 (VL2), som använder biobränsle och flis, upp till en effekt på 140 MW. VL2 kan ytterligare gå upp till en toppeffekt på 165 MW med hjälp av stenkol. Om energibehovet ökar ytterligare, har Vasa elektriska som sista alternativ några oljekraftverk som körs med lätt brännolja. Oljekraftverken har en total effekt på 225 MW och undviks att användas så långt som möjligt, endast vid toppeffekt eller under serviceavbrott på de andra kraftverken. Även stenkol undviks om möjligt. Detta resulterar i en effekt på 210 MW som Vasa elektriska vill hålla sig under. (Malassu, 2020)



**Figur 4. Vasa fjärrvärmeeffekt upp till 235 MW utan lätt brännolja och 210 MW utan stenkol. (Malassu, 2020)**

### 3 Automationssystem

Fidelix har ett brett sortiment för att skapa ett komplett automationssystem från centralenheter, modulkort och fältutrustningar. Med en beprövad PLC-teknik och öppen källkod är deras system lätt att använda på många olika byggnader. Allt från stora fabriker till egnahemshus. Systemet går att köras lokalt, men Fidelix erbjuder även tjänster för att nå din fastighet säkert via webben. Detta för att garantera ett effektivt och lätt system för att kontrollera och övervaka din fastighet. (Fidelix Oy, 2019)

Fidelix erbjuder även möjligheten att få en inbyggd skärm i centralenheten, för att lätt kontrollera och styra de olika processerna som finns i fastigheten. Det är dock möjligt att ansluta sig till centralenheten via dator och på så sätt är inte skärmen ett måste för att kunna styra processerna. (Fidelix Oy, 2019)

Fidelix har genom FX-Editor utvecklat ett eget programmeringsverktyg. Med hjälp av FX-Editor kan ett nytt system snabbt sättas upp av användaren, den integrerade HTML-editorn hjälper att effektivt generera fysiska punkter och skapa lätt användbara användargränssnitt. PLC-programmeringen sker i OpenPCS-verktyget vilket är integrerat i FX-Editor. (Fidelix Fx-Editor, 2020)

### 3.1 Programmeringsverktyg

OpenPCS är ett beprövad IEC 61131–3 kompatibelt programmeringsmiljö för PLC programmering utvecklad av infoteam Software AG. Programmet är utvecklat och optimerat för mikrokontrollers med begränsat minne och högt prestandakrav. Programmet är lättanvänt och används av många ledande företag inom industriella styrsystem runt om världen.

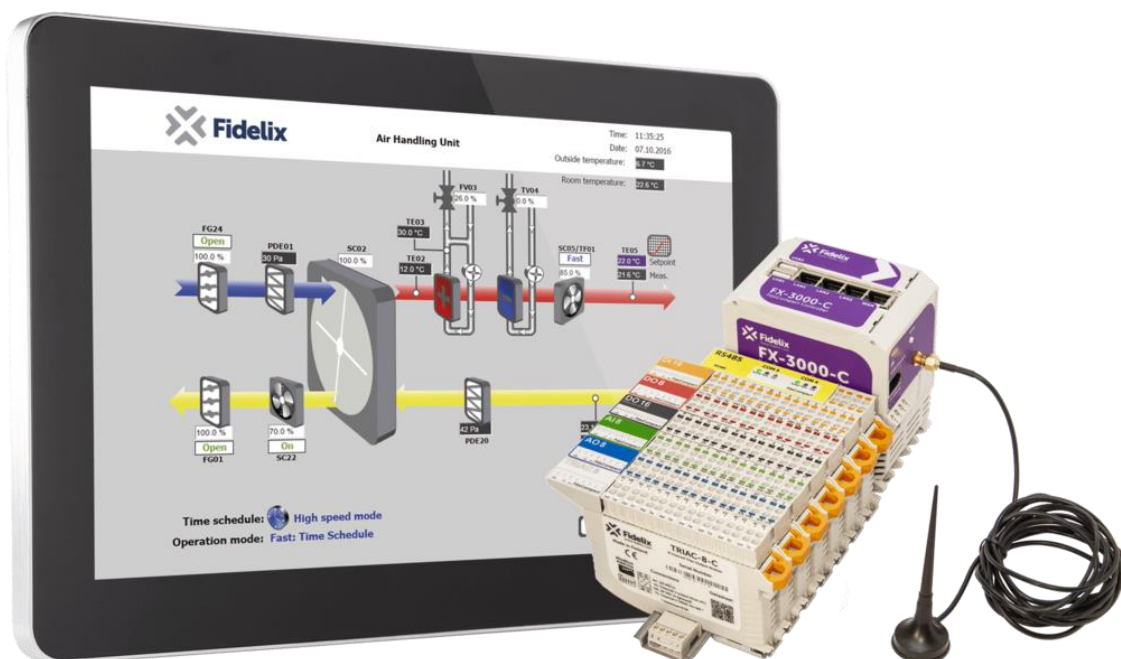
Verktyget är byggt enligt IEC 61131–3 standarden, som används av programmerbara styrsystem runt om i världen. Standarden har fem olika programmeringsspråk: Ladder Diagram (LD), Function BlockDiagram (FBD), Structured Text (ST), Instruction List (IL) och Sequential Function Chart (SFC). Det språk som Fidelix använder sig av är Structured text (ST) språket. (Infoteam software AG, 2020) (Fidelix Oy, 2019)

### 3.2 FDX Compact-serie

Hörnstenen i Fidelix smarta fastighetsautomationssystem är FDX-Compact-serien. Det är en lättinstallerad och flexibel produktfamilj som snabbar upp installationen och idrifttagandet av objektet. Med hjälp av det tydliga användargränssnittet och pekskärmen är den enkel att använda. (Fidelix Compact, 2019)

Den fritt programmerbara FX-3000-C PLC är hjärnan i den smarta lösningen och möjliggör en enkel programmering, kommunikation och säkerhet för din fastighet. Med inbyggd NAT-router, Wifi-kort och GSM-modem är kommunikationsmöjligheterna många för att kommunicera med andra Fidelix PLC eller med din dator. FX-3000 stöder även BACnet, Modbus och M-Bus kommunikationsprotokoll, vilket möjliggör kommunikation med alla aktörers fältutrustning på marknaden. (Fidelix Compact, 2019)

FDX-Compact modulkort serien ger en enkel lösning för att koppla upp alla signaler till PLC. Med hjälp av den smala formfaktorn kan en centralenhet vid behov vara väldigt liten. Modulkorten använder sig av Modbus kommunikations protokollen för att kommunicera med PLC:n. (Fidelix Compact, 2019)



Figur 5. Fidelix FDX-Compact-serie. (Fidelix Oy, 2019)

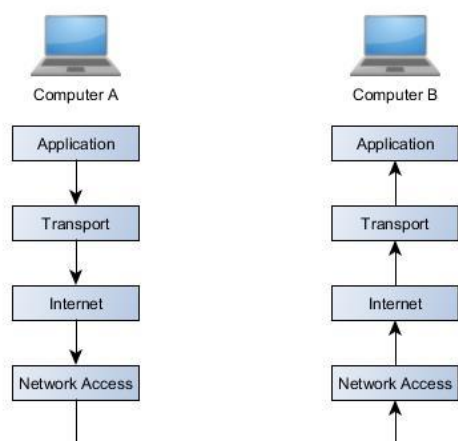
## 4 Kommunikation

Kommunikation är en central faktor för alla apparater, för att klara av att kommunicera mellan olika komponenter. Liksom vi människor kommunicerar med tal har maskiner också ett sätt att kommunicera. Det finns flera olika sorts kommunikationsprotokoll ute i världen, den vanligaste är dock TCP/IP och av detta protokoll är vårt världsomfattande nätverk uppbyggt. Andra sorters kommunikationsmedel som används är bland annat Modbus, M-bus, CAN-bus och BACnet. Alla dessa kommunikationsspråk har olika funktionaliteter. Modbus är till exempel enkelt och snabbt att använda, men klarar inte av att skicka stora mängder data på en gång.

I detta kapitel kommer det att tas upp om kommunikationen genom TCP/IP-protokollet, LAN nätverk, brandväggar samt en del om VPN.

## 4.1 TCP/IP

Med hjälp av TCP/IP-protokollet kan man skicka data, specifikt till en given adress. TCP står för Transmission Control Protocol och IP står för Internet Protocol. TCP/IP är uppbyggd på flera olika lager. Det första är applikationslagret, vilket program som webbläsaren kommunicerar direkt med. Detta lager har ett protokoll, som till exempel, http om man besöker websidor eller smtp om man kollar email. Nästa lager är transportlagret där TCP och UDP ligger. Applikationslagret kommunicerar med transportlagret via portar. Varje protokoll i applikationslagret har en egen port så TCP-lagret vet var ifrån data kommer. Till exempel kommunicerar websidor genom http protokollet vilket i sin tur kommunicerar via port 80 till transportlagret. Transportlagret ansvarar för sändningen och mottagningen av data i både sändarens och mottagarens ända. Transportlagret ger över paketerad data till Internetlagret för sändning. Internetlagret är ansvarig över att veta varifrån paketet kommer och till vilken IP adress den ska sändas till. Internetlagret ger sedan paketet till det sista lagret, nämligen nätverkslagret. Nätverkslagret ser till att paketet når fysiskt rätt adress. (Kozierok, 2005)



Figur 6. TCP/IP-kommunikation mellan två datorer.

### 4.1.1 Privatnät och LAN

En LAN (Local Area Network) är ett privat nätverk som sammankopplar datorer i ett begränsat område. Detta kan vara i, till exempel hem, skolor eller i kontorsbyggnader. De som kan vara uppkopplade till en LAN är de som fysiskt har kopplat deras dator till LAN nätet. De kan även vara uppkopplade trådlöst via WLAN (Wireless Local Area Network). Datorer som är uppkopplade till samma LAN kan se varandra och kan använda samma servrar och printrar. (Kozierok, 2005)

### 4.1.2 Brandvägg

En brandvägg är ett system som är designad för att stoppa obehörigt tillträde till ett privat nätverk. En brandvägg skapar en säkerhetsbarriär mellan det privata nätverket och det offentliga. På internet finns det skadliga program och personer som försöker ta sig in på privata nätverk för att göra skada. Därför är en brandvägg viktig, eftersom brandväggen försöker stoppa skadlig trafik. För en stor organisation med många datorer och olika servrar, är brandväggen väldigt viktig. Datorerna är uppkopplade till deras privata nätverk och brandväggen förhindrar att dessa servers blir tillgängliga för utomstående. Brandväggen filtrerar inkommande data och bestämmer, enligt dess regler, vilken data tillåts att komma igenom till deras privata nät.

Dessa regler kallas för en "Access control list" och bestäms av administratören. Administratören bestämmer inte bara vad som kan komma in på nätverket utan även vad som kan komma ut. Dessa regler accepterar eller blockerar tillgången. Brandväggar används även inom en stor organisations inrenät, för att isolera olika avdelningar från varandra. Detta skapar ytterligare en säkerhetsbarriär och ifall att någon tar sig in på organisationens inrenät, har personen inte tillgång till alla datorer och filer på en gång.

Regler för brandväggen kan vara bestämd enligt:

- IP adress
- Domain namn
- Protokoll
- Program
- Portar
- nyckelord

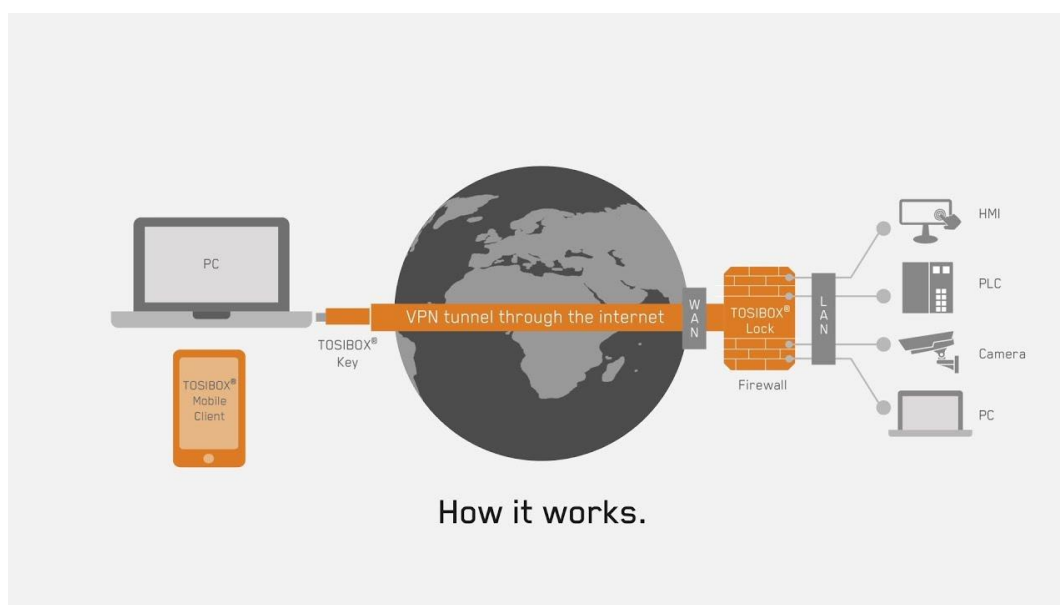
### 4.2 VPN- tunnel

Virtual Private Network (VPN) är ett sätt att koppla upp sig till ett privat nätverk ifall användare inte fysiskt har möjlighet att koppla upp sig till nätverket. VPN skapar en krypterad tunnel mellan det privata nätverket och det offentliga nätverket. Detta möjliggör att användaren virtuellt kan vara uppkopplad till exempelvis företagets lokala nätverk, även om användaren är hemma. VPN utvecklades främst för företag, så att de anställda kan arbeta



hemifrån och ändå ha tillgång till företagets lokala servrar. Företag har ofta lokala servrar, som är säkra och bara kan nås via företagets lokala nät.

VPN används också för att skapa IoT nätverk (Internet of Things). Om användaren har ett objekt som är bakom ett privat nätverk eller om ingen nätuppkoppling finns, kan IOT nätverket användas. Tosibox Oy är ett företag som erbjuder olika lösningar för IoT-nätverk. Tosibox använder en router som kopplas upp till objektet ifrågan. Routern skapar en point-to-point kommunikation mellan objektet, där routern befinner sig och användaren. Ifall det inte finns en nätuppkoppling där tosibox routern ska placeras, är det möjligt att koppla routern till ett 3g/4g-nätverk. Användaren kan via VPN-uppkopplingen få åtkomst till ett avlägset objekt, via tosibox. (Tosibox Oy, 2020)



Figur 7. Tosibox VPN-nätverk. (Tosibox Oy, 2020)

## 5 Vattenburna värmesystem

I sin enklaste form fungerar ett vattenburet värmesystem genom att vatten som cirkulerande vätska värms i en centralenhet och cirkuleras med hjälp av pumpar till radiatorer, det varma vattnet överför sin värme till luften via radiatorer och det nerkylda vattnet går via returledningarna tillbaka till centralenheten för att värmas igen.

Värme vill alltid söka sig från en kallare substans till en varmare. Genom värmelärans lag kan man bygga på för att skapa ett värmesystem. Fouriers lag om värmeöverföring säger att, hastigheten av värmeöverföring är omvänt proportionell till temperaturskillnaden och

värmeflödet, i detta fall flödet på vattnet. Värme överförs genom kontakt, med en större kontaktyta kan större mängd energi överföras till en annan substans. I värmesystem vill man överföra värmen från vattnet till luften i ett utrymme. Luften har en mindre värmeöverföringsförmåga. Genom att ha en större kontaktyta kan mera energi överföras från vattnet till luften. (Kreider, Curtiss, & Rabl, 2010)

För att uppehålla värmen eller värma en byggnad behöver mängden värmeenergi som transporteras vara större eller lika med mängden värmeenergi som läcker ut ur byggnaden. Om mängden tillförd värmeenergi är mindre än värmen som strålar ut ur byggnaden, kommer byggnaden börja kylas ner.

## **5.1 Radiatorvärmesystem**

Radiatorsystem är ett sätt att överföra den transporterade värmen till de utrymme man vill värma upp. Radiatorer i byggnader placeras på väggen. Ifall fönster finns i utrymmet placeras radiatorerna under fönstret för att minska dragningskänslan. Radiatorer är bra på att snabbt reagera på förändringar i inomhustemperaturen på grund av direkt kontakt med luften. Även med en stor kontaktyta kan radiatorer reagera snabbt på förändringar orsakad av till exempel ugnar, spisar och människor.

Radiatorer fungerar genom principen att varm luft alltid stiger uppåt. Om radiator placeras längs väggen kommer den kalla luften i nedre delen av radiatoren att värmas upp och sakta börja stiga upp. Med hjälp av detta kommer luften i utrymmet att börja cirkulera, figur 6 demonstrerar detta fenomen.

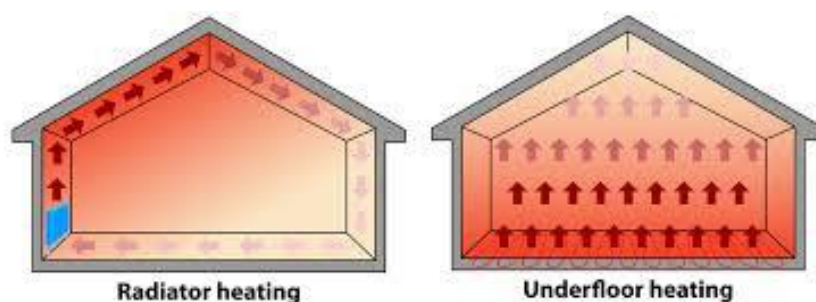
Termostaterna på en radiator fungerar genom att när temperaturen i utrymmet når önskad temperatur kommer termostaten att stänga ventilen. Ventilen i sin tur styr strömningshastigheten av vatten genom radiatoren. Om strömningshastigheten på vattnet minskas betyder detta att mängden energi som kan överföras till utrymmet, minskar. Temperaturen i radiatorretsar kan vara upp till 90 °C, beroende på hur mycket materialet på vattenrören klarar av.



Figur 8. Modell av uppvärmning av inomhusluft med radiatorer. (Flowers, 2013)

## 5.2 Golvvärmesystem

Vattenburna golvvärmesystem har ofta en stor termisk massa, golvvärmeslingorna täcker hela golvet och värmer upp det. Vattenburna golvvärmesystemens framledningstemperatur är oftast högst 40 °C, men har ofta större termisk massa. Detta för att golvvärmeslingorna är långa och täcker hela golvet, vilket gör att en stor massa vatten finns i systemet. Även själva golvet kan vara en termisk massa, om golvet är gjort av värmeledande material som till exempel betong. Nackdelen med golvvärme är att det tar lång tid att höja eller sänka temperaturen i rummet. Golvvärmen är ofta sektionerad i olika delar genom en golvvärmestock, där olika utrymmen får sin egen krets. På golvvärmestocken finns ventiler för vardera krets för att styra strömningshastigheten i kretsen. Genom att öka eller sänka strömningshastigheten justerar man energiöverföringen. Ventilerna styrs med termostater, antingen trådlösa eller med tråd. Termostaterna placeras på väggen för att få en optimal mätning punkt för mätning av innetemperaturen.



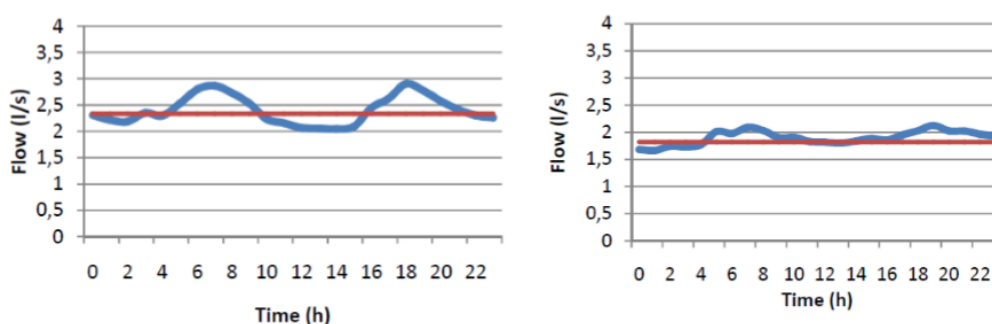
Figur 9. Luftcirkulation med radiatorer och golvvärme. (Abel Environmental Services Ltd., 2020)

## 6 Efterfrågestyrning

Efterfrågestyrning eller behovsstyrd hantering, är ett sätt att styra produktionen och behovet av energin. Det kan vara frågan om el- eller fjärrvärmeenergi. Energibolaget styr aktivt behovet av energin, istället för att tro att behovet ligger utanför deras kontroll. Internationellt har det gjorts mycket undersökningar om efterfrågefleksibilitet, men största delen av all undersökning fokuserar på elsystem. Forskning om efterfrågefleksibilitet inom fjärrvärme har däremot utförts i begränsad omfattning och har på så sätt även fått mindre uppmärksamhet.

Vanligtvis dras systemavgränsningen för kundens energianvändning utanför leverantörens kontroll. Det leder inte bara till att leverantören måste bygga nya energitillgångar vart efter kundens behov ökar, utan leverantören behöver även vara beredd på att kundens användning starkt kan variera. Följden av detta är, att delar av leverantörens tillgångar endast är i användning då behovet är som störst. På grund av detta kan man ha många igång- och nerkörningar av processen, vilket ofta leder till stora uppstartskostnader. Flera uppstarter kan påverka miljön negativt på grund av att kraftverk vid uppstart ofta använder tungolja för uppvärmning av värmepannan. På samma gång sjunker kraftverkets effektivitet. Med dyra uppstarter och dålig effektivitet, säljer vissa kraftverk energi med förlust då behovet är som störst. Genom att kontrollera kundens behov, kan man uppnå ett stabilare och effektivare nät. Följden av detta är ett jämnare energibehov och lägre driftkostnader samt att det är skonsammare för miljön. Målet är att behovet ska se mera ut som grafen till höger, se Figur 10.

(Vanek & Albright, 2012) (Kensby, Johansson, & Samuel Jansson, 2019) (VALOR Partners Oy, 2015)



Figur 10. Graferna representerar fjärrvärmenätets användning vid given tidpunkt, där vänstra grafen är utan efterfrågefleksibilitet och den högra är målet man vill nå med metoden. Röda linjen indikerar den belastningsgrad man vill uppnå. (Wernstedt & Johansson, 2008)

I detta kapitel kommer det att tas upp mer om efterfrågefleksibilitetsmetoden, var den kan användas samt vilka fördelar det finns med att investera i efterfrågestyrning. Fokuset kommer främst att ligga på efterfrågestyrning på fjärrvärmenät samt vilka slags lösningar man kan implementera. Detta för att tillämpa efterfrågefleksibilitetsmetoden på fjärrvärmenät. Det är även möjligt att implementera vissa lösningar på elnätets efterfrågestyrning.

## **6.1 Funktionsprincip**

Efterfrågefleksibilitet baserar sig på att förskjuta belastningen från en tidpunkt där energianvändningen är högre till en senare tidpunkt där energianvändningen är lägre. På så sätt kan man undvika att behöva starta ett till kraftverk, för att användas i enbart några timmar. På samma gång stiger effektiviteten på hela fjärrvärmeanläggningen när leverantören kan kontrollera användningen av kraftverket och använda det på det mest effektiva sättet. Kunskapen om hur energibolagen kan förutse energibehovet, ligger i den insamlade datan samt i väderprognosen.

Efterfrågefleksibilitetsmetoden är inte ett sätt att spara eller minska på energianvändningen. Istället är det ett sätt att effektivisera fjärrvärmenätets användning på så sätt att belastningen under hela dygnet är så jämn som möjligt.

I detta stycke, kommer det att tas upp några olika sätt att implementera efterfrågefleksibilitetsmetoden. De två första metoderna, nätladdning och ackumulatortankar i nätet, är inte direkt en efterfrågefleksion utan mera en produktionsfleksion. I dessa kan leverantören lagra energi då användningen är lägre för att kunna flexa med produktionen då användningen är högre. Men principen är den samma i dessa två fall. I det ena fallet vill man förskjuta användningen i tid och i det andra fallet förskjuta produktionen i tid.

### **6.1.1 Nätladdning**

Vissa fjärrvärmenät antas ha möjlighet att lagra en betydande mängd energi i fjärrvärmenätet. Utan några investeringar kan energibolaget ha möjlighet att flexa med produktionen genom att höja framledningstemperaturen. En temperaturhöjning kan i genomsnitt ta tre timmar att nå kunden och kan innebära en effekt på 8 MW och en kapacitet på 24 MWh. Detta betyder i vissa fall att det finns en betydande termisk tröghet i

fjärrvärmenätet och en potential att lagra energi. Nackdelen med att höja framledningstemperaturen är emellertid att distributionsförlusterna antas öka proportionerligt. (Kensby, Johansson, & Samuel Jansson, 2019)

### **6.1.2 Ackumulatortankar i nätet**

Akkumulatortankar i nätet kan möjliggöra en betydande flexning i produktionen för energibolaget genom att köra kraftverken på konstant effekt och lagra värmeenergi i ackumulatortankar när efterfrågan är lägre. När efterfrågan ökar kan den lagrade värmeenergin användas som energikälla för att kompensera det ökade energibehovet.

Energibolagen behöver inte längre starta ett kraftverk bara för att användningen ökar för några timmar, utan kraftverken kan köra på optimal nivå för att uppnå högsta möjliga effektivitet. Detta gör kraftverken inte bara mer miljövänliga utan även mer kostnadseffektiva och möjliggör även produktionsflexning. Om till exempel elprisen är högt för några timmar kan fjärrvärmeproduktionen minskas för en kort tid, utan att framledningstemperaturen sjunker avsevärt. (Kensby, Johansson, & Samuel Jansson, 2019)

### **6.1.3 Värmelagring i byggnader**

Värmelagring i byggnader innebär att man utnyttjar den termiska trögheten i en byggnad. Byggnader har oftast en hög termisk tröghet och det kan ta en lång tid att få någon betydande temperaturförändring. Nyare byggnader är ofta bättre isolerade och har mindre energiförlust, vilket också betyder att värmeförsörjningen inte är lika hög.

Genom att höja på värmekretsens temperatur, kan energi lagras i byggnadens värmekretsar. I byggnader där fjärrstyrning av termostaten är möjligt kan ytterligare energi lagras. Detta kan göras genom att höja termostatens börvärde med 1 – 3 °C och på så sätt lagras energin i byggnaden. Genom att höja inomhustemperaturen kan energin lagras i inomhusluften samt i byggnadens stomme och på så sätt uppnå en större potential i flexibilitet. I byggnader med manuella termostat är det svårare att åstadkomma någon betydande värmelagring i själva byggnaden, speciellt då utomhustemperaturen är närmare -20 °C och värmekretsens framledningstemperatur ligger vid den högsta tillåtna temperaturen.

Genom att sänka framledningstemperaturen i värmekretsen kan man sänka värmekretsens energiförbrukning tillfälligt. Hur länge man kan flexa med effektminskningen beror på byggnadens termiska tröghet och isolering. En byggnad som har större termisk tröghet kan flexa längre med effektminskningen.

När man flexar med uppvärmningen i en byggnad måste kundens bekvämlighet beaktas. Även risker som finns med att sänka framledningstemperaturen och inomhustemperaturen måste beaktas. Exempel på detta kan vara risken att temperaturen hastigt sjunker för lågt eller ledningarna förfryser.

Det finns även några naturliga begränsningar som man behöver ta i beaktan. Det går inte att ladda ur med mera effekt än vad effektbehovet är för uppvärmningen i fastigheten. Byggnaden kan alltså inte avge energi till fjärrvärmenätet. Det går inte heller att värma med en större energimängd än värmekretsens dimensionerade effekt. (Kensby, Johansson, & Samuel Jansson, 2019) (VALOR Partners Oy, 2015)

#### **6.1.4 Lastväxling**

Lastväxling med fjärrvärme och luftvärmepump innebär att fastigheten har både fjärrvärme och luftvärmepump som energikällor. Genom att flexa användningen mellan dessa två enligt el- och fjärrvärmepriser, kan en fastighetsägare uppnå billigare driftskostnader. Ofta prioriterar fastighetsägare att använda luftvärmepumpar på grund av en lägre statisk kostnad på el och fjärrvärme. Denna metod används mer för att minska på användningen av fjärrvärme än att förskjuta användningen. (Kensby, Johansson, & Samuel Jansson, 2019) (VALOR Partners Oy, 2015)

#### **6.1.5 Ackumulatortankar för varmvatten i byggnaden**

Varmvattenlagring i tankar kan sänka hastiga förändringar som sker i varmvattenkretsarna. I byggnader där man använder mycket varmvatten är potentialen mycket stor för flexning med varmvatten, men detta kan endast åstadkommas med investeringar i varmvattenlagringstankar. En fastighet som har tidvis stor varmvattenanvändning, kan den ekonomiska potentialen bli stor. Ifall varmvattentankar investeras i, kan energin köpas då den är som billigast.

De stora pikarna i fjärrvärmenätet som sker varje morgon beror på att folk duschar före de åker iväg till jobbet. Genom att lagra det varmvattnet som en byggnad använder till exempel

på morgonen, kan avsevärd flexning åstadkommas i fjärrvärmenätet. (Kensby, Johansson, & Samuel Jansson, 2019)

## **7 Utförande**

I detta kapitel kommer det att tas upp hur efterfrågeflexibilitetssystemet är planerat och uppbyggt. Efterfrågeflexningsmetoden som används beskrivs i kapitel 6.1.3 Värmelagring i byggnader.

### **7.1 Systemspecifikation**

Vasa elektiska vill ha ett styrsystem för att testa efterfrågeflexningsmetoden. Systemet ska kunna styras från kontrollrummet som befinner sig på Vasa elektriskas kontor. Projektet innehåller fyra byggnader: Silveria, Borgaregatans skola, Västerskogs skola och Roparnäs skola. Alla dessa byggnader ska kunna styras från ett och samma program. Roparnäs skola kom inte med i utförandet på grund av pågående reparationer på skolan, men skolan är medplanerad samt med i användargränssnittet för att underlätta att ta med skolan när möjligt.

Syftet med att skapa ett system för att testa efterfrågeflexibilitetsmetoden är om man får stabiliserad nätverkets toppar som förekommer under morgonen mellan klockan 6:00 och 9:00. Avsiktet är att testa om man får ett önskvärt efterfrågeflexning från varje byggnad. Syftet är inte att stänga av batterishunten och efteråt öppna fullt tillbaka. Komfortgränserna måste definieras.

### **7.2 Planering**

Det behövs en PLC som används som huvudenhet som i sin tur skickar kommandon åt de resterande PLC:na i de andra byggnaderna. Huvudenheten skickar kommandot att byggnaderna behöver sänka på framledningstemperaturen i batterikretsen.

Nätverk är den största utmaningen för att få skapat ett sådant styrsystem. PLC:n som används som huvudenhet behöver via nätverket kunna skicka kommando till alla andra PLC:n och även läsa data från dem. Exempel på detta är framledningstemperatur, börvärde, temperaturmätningar från olika utrymmen samt att avläsa energiförbrukningen. Alla byggnader ligger under Vasa stads nätverk, men de ligger inte alla under samma brandvägg. Detta kräver att Vasa stads IT-avdelning ger tillgång för huvud PLC:n för att kunna kommunicera med alla PLC:n som är med i projektet.



### **7.2.1 Byggnaderna**

Som det nämns i tidigare kapitel, innehåller arbetet fyra byggnader där varje byggnad har flera PLC:n. Varje PLC i respektive byggnad styr en del av byggnaden och har information för att upprätthålla en bra efterfrågeflexning. Temperaturmätningar finns runt om i byggnaden på olika PLC:n. Mätningarna används för övervakning av innetemperaturen. Temperaturen får inte sjunka för snabbt eller för lågt ner.

### **7.2.2 Placering av PLC och kommunikation**

Det har krävts en hel del planering för att hitta en bra placering för efterfråge-VAK, det vill säga, för att åstadkomma en kommunikation mellan alla andra PLC:n som ingår i arbetet. Det krävs inte bara att kommunikationen mellan byggnaderna fungerar utan kommunikationen behöver även vara säker. För att alla PLC:n är uppkopplade till Vasa stads lokala nätverk behöver kommunikationen utåt vara isolerad från deras nätverk. Orsaken till detta är att man inte vill riskera att någon obehörig ska komma in på nätverket. Varje skola har en egen brandvägg. Administratören behöver ge tillgång för efterfråge-VAK att kommunicera med skolornas PLC:n.

### **7.2.3 Efterfrågeflexningen**

Efterfrågeflexningsmetoden som kommer att användas är den som beskrivs i kapitel 6.1.3. För att utföra detta behöver PLC:n som styr värmepumpen i respektive byggnad sänka på framledningstemperaturens börvärde. Börvärdet på värmepumpens batterikrets ska kunna ställas ner så mycket som kunden behöver. Framledningstemperaturen ändras alltid enligt vad utetemperaturen är. Sänkningen av framledningstemperaturen ska alltid vara relativ till den nuvarande utetemperaturen. Till exempel om utetemperaturen är  $-15\text{ °C}$  kommer framledningstemperaturen i normaldrift vara  $62\text{ °C}$ , Om efterfrågeflexningen aktiveras och ställs på  $10\text{ °C}$  ska framledningstemperatur sänkningen vara i detta fall  $62\text{ °C} - 10\text{ °C} = 52\text{ °C}$ , alltså framledningstemperaturen blir  $52\text{ °C}$ .

### **7.2.4 Datasamling och historisk uppföljning**

För all viktig data som samlas in, ska det skapas en historisk uppföljning på. Detta för att kunna importera data till Excel för analys. Genom att skapa en historisk uppföljning på data möjliggör det att lokalisera och hitta problem som uppstår. Till exempel om någon rum i en byggnad snabbt kyls ner och blir för kallt, kan problemet åtgärdas genom att analysera

datainsamlingen för att se var problemet ligger. Man kan även analysera hur mycket man kan strypa värmen utan att temperaturen sjunker för snabbt och försämrar bekvämligheten.

### **7.2.5 Användargränssnitt**

Användargränssnittet ska vara enkelt att använda och på framsidan ha allt behövt för att kunna styra efterfrågeflextningen i fastigheterna. Framsidan ska ha ett tidsprogram vilket bestämmer när styrningen ska gå på och om framledningstemperaturen ska sänkas eller höjas. Framsidan behöver även ha möjligheten för användaren att ställa in hur mycket framledningstemperaturen ska sänkas eller höjas när efterfrågeflextningen är aktiv.

## **7.3 Användargränssnitt**

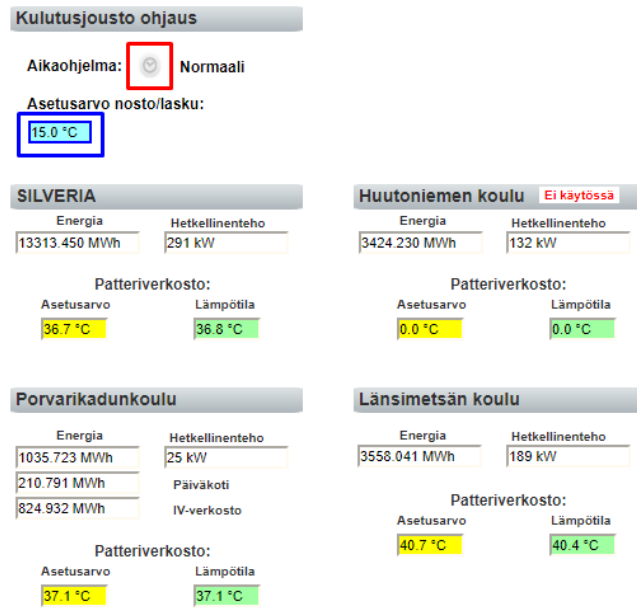
Användargränssnittet byggdes upp med hjälp av Fidelix egna verktyg FX-editor. Användargränssnittet är delat upp på så sätt att styrning eller begäran på efterfrågeflextningen skickas av efterfråge-VAK. Även hur mycket framledningstemperaturen ska ändras på skickas av efterfråge-VAK till respektive byggnads VAK02. I detta kapitel tar jag upp hur användargränssnittet är uppbyggda, både för kunden och i byggnaderna ute på fältet.

På framsidan har bara det mest väsentliga för användaren. Tidsprogrammet och börvärdes-sänkning och höjning är de enda punkter som kan ändras. Resten är mätdata om respektive byggnad. Varje byggnads effekt och energianvändning finns på framsidan. För att kunna verifiera att styrningen gick igenom finns börvärdet och ärvärdet på respektive batterikrets på framsidan.

### **7.3.1 Användargränssnitt i Efterfråge-VAK**

För kunden är användargränssnittet uppbyggt i syfte att det ska vara lättanvändbart. Med bara några få knapptryck ska kunden kunna styra efterfrågeflextningen. Styrningen sker via ett tidsprogram, vilken tid efterfrågeflextningen ska aktiveras eller inaktiveras.

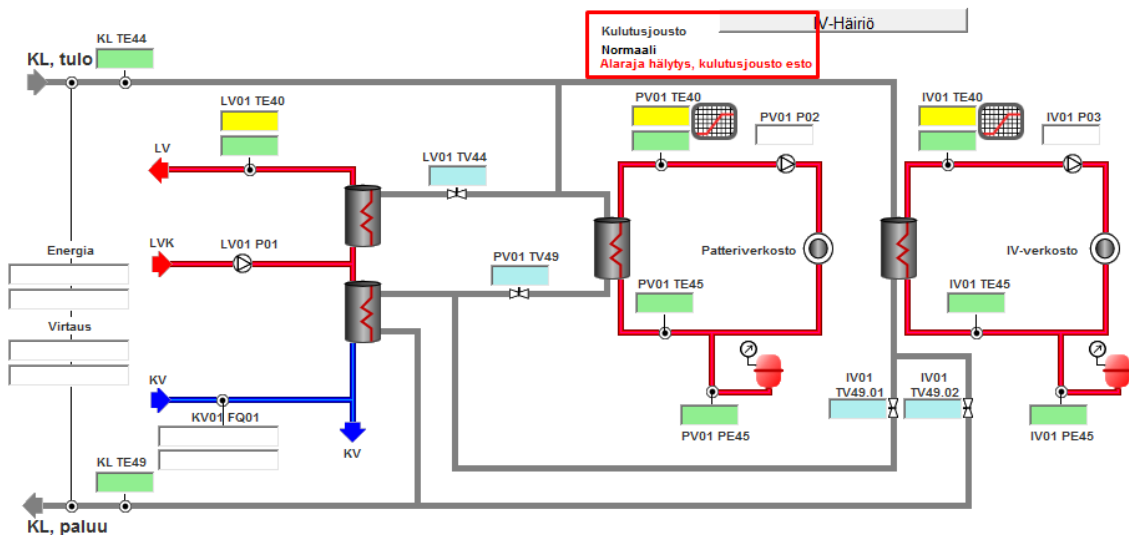
I tidsprogrammet (Figur 11, röda rutan) väljer användaren vilken tid och vilken veckodag efterfrågeflextningen ska aktiveras eller inaktiveras. Hur mycket börvärdet ska sänkas eller höjas på när efterfrågeflextningen är aktiv ställs in i den blåa rutan, se Figur 11. Den data som är mest väsentlig för kunden är också lagd på framsidan, det vill säga momentaneffekt, börvärde samt ärvärde för respektive byggnad.



Figur 11. Framsidan av efterfråge-VAK.

### 7.3.2 Användargränssnitt i fastigheterna

Fastigheterna har från tidigare ett användargränssnitt för värmeväxlaren. Det som behöver tilläggas är två punkter, det vill säga efterfrågestyrningsläge och efterfrågestyrningsspärralarm. I den röda rutan i Figur 12 är den tillagda delen. Ifall efterfrågeflektionen ska ställas in på att sänka framledningstemperaturen kommer texten ”normaali” bytas till ”asetusarvon lasku” Regulatorns börvärde sjunker med lika mycket som är ställt in i blå rutan, se Figur 11.



Figur 12. Värmeväxlaren i Silvera.

Inställningssidan för efterfrågeflektion behövs också för att ställa in hur mycket temperaturen får sjunka före efterfrågeflektionsspärren aktiveras. De finns två gränser som kan spärra efterfrågeflektionen, det vill säga om temperaturen i ett utrymme sjunker för lågt eller om medeltemperaturen sjunker för lågt. Användaren får ställa in hur lågt temperaturen i ett enskilt utrymme och medeltemperaturen i byggnaden får sjunka före efterfrågeflektionen spärras.

Silveria  
Ruutikellarintie 4, 65100 Vaasa  
Kulutusjousto, asetukset



#### Asetukset

##### Sisälämpötila, Alin lämpötila

Sisälämpötila alin lämpötila mittausta: 18.7°C

Sisälämpötila alaraja:

##### Sisälämpötila, Keskiarvo

Sisälämpötila keskiarvo: 22.4°C

Sisälämpötila keskiarvo alaraja:

Figur 13. Inställningssidan för Silverias efterfrågeflektion.

## 7.4 Styrning

Styrningen i efterfrågestyrsystemet sker genom varje byggnads VAK02 som styr värmeväxlaren i respektive byggnad. Den hämtar även temperaturmätningar från andra VAK i byggnaden. Efterfråge-VAK skickar begäran till respektive byggnads VAK02 för vilka efterfrågeflextningar ska utföras. Dessa efterfrågeflextningar är:

- Normaldrift
- Temperatursänkning
- Temperaturhöjning

Hur mycket temperaturen ska sänkas eller höjas skickas även av en efterfråge-VAK (Figur 11). Alla dessa utföranden görs på värmekretsens börvärde. Efterfråge-VAK har både kommunikation i Vasa stads lokalnätverk och genom en tosibox kommunikation upp till Fidelix portal. Användaren kan öppna Fidelix portalen via webben varifrån som helst och kan styra efterfråge-VAK.

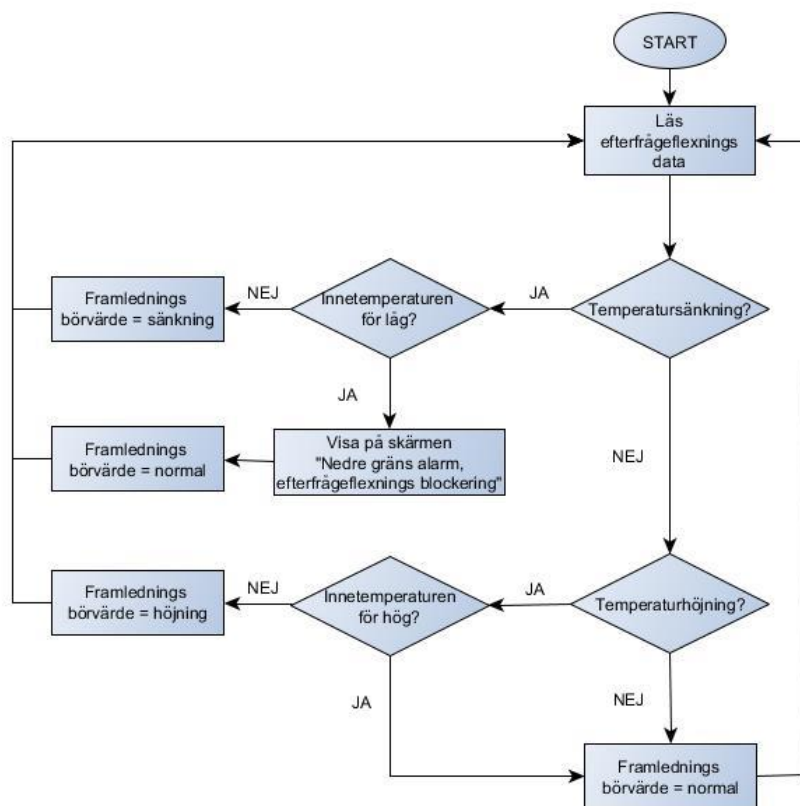
### 7.4.1 Styrning i byggnader

Styrningen i systemet utförs i respektive byggnad. Efterfråge-VAK skickar endast begäran på efterfrågeflextningsåtgärder. Ifall kommunikationen upphör mellan VAK:arna fortsätter styrningen, eftersom själva styrningen sker i respektive VAK02.

Om efterfråge-VAK skickar en begäran om temperatursänkning, utför VAK02 i respektive byggnad temperaturbörvärdets sänkning. Ifall temperaturen är över lägsta tillåtna temperatur angiven av användaren, kan VAK02 utföra temperatursänkningen (Figur 13).

Ifall temperaturen är under tillåten lägsta temperatur skriver VAK02 ut på grafiken temperaturen är för låg och spärar efterfrågeflextningen i befintlig byggnad (Figur 12). Information om aktiv efterfrågespärr skickas till efterfråge-VAK för dataloggning.

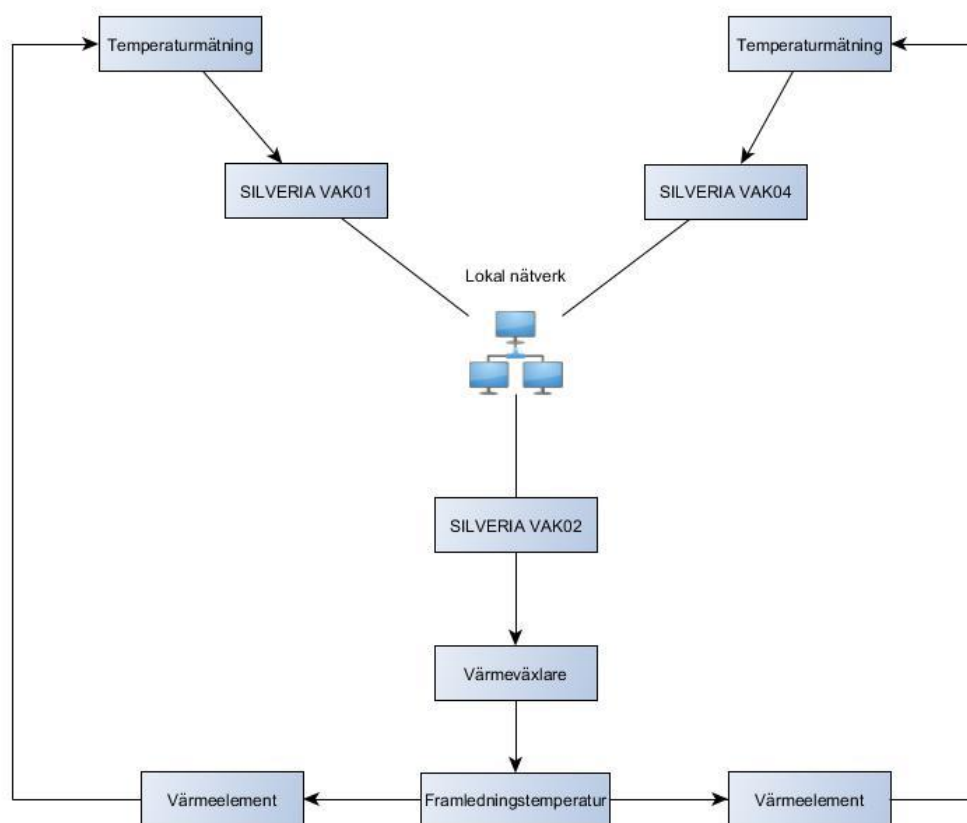
Ifall en temperaturhöjning begärs av efterfråge-VAK, ska VAK02 verifiera att temperaturen kan göras inom ramarna för temperaturhöjning. Innetemperaturen ska inte höjas mera än 1 °C från normal innetemperatur.



**Figur 14.** Flödesschema på VAK02 efterfrågestyrning, där efterfrågeflexningsdata är den som efterfråge-VAK skickar.

Varje styrning har påverkan på byggnaden och inverkar på hela processen av uppvärmningen. Ifall temperaturen sänks i framledningen märks förändringen i byggnaden. Temperaturmätningarna läses av den VAK som givaren är kopplad till och skickas till VAK02. VAK02 kontrollerar ifall temperaturen är under den gräns som användaren gett. Varje steg i processen inverkar på styrningen och varandra. I Figur 15 ser man relationen mellan framledningstemperaturen och innetemperaturen.

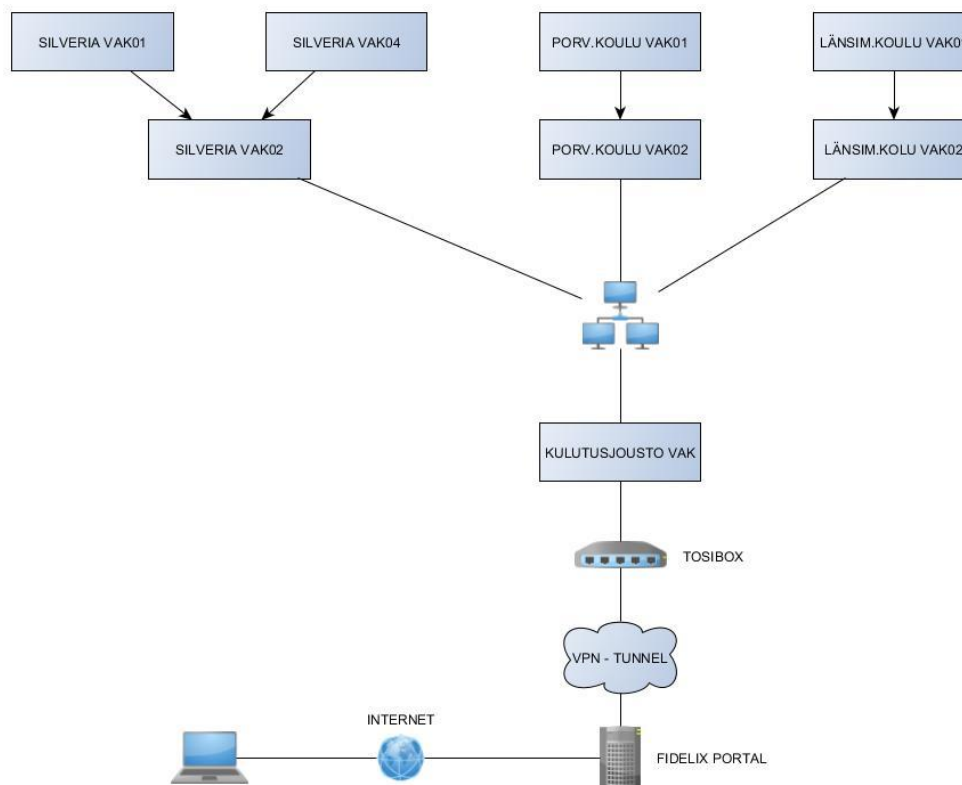
Ifall framledningstemperaturen sänks (Figur 14) kommer den energi som strömmar till värmeelementet att minska, vilket betyder under en längre tid kommer innetemperaturen att sjunka. Hur snabbt innetemperaturen sjunker beror på hur mycket framledningstemperaturen sänks. Ifall temperaturen har sjunkit för lågt kommer argumentet i Figur 14 "Innetemperaturen för låg" att bli "ja" vilket stoppar efterfrågeflexningen.



**Figur 15. Flödesschema över hur varje skede i processen inverkar varandra.**

#### 7.4.2 Styrning över nätet

Kommunikationen till efterfråge-VAK körs via en Tosibox router. Tosibox routern skapar ett VPN-tunnel, genom vilken kommunikation mellan efterfråge-VAK och användarens dator kan skapas. Tosiboxen är kopplad till efterfråge-VAK:s LAN port. Genom att ha tosiboxen kopplad till LAN port kan man endast kommunicera med efterfråge-VAK, resten av nätet är utanför användarens räckvidd. Tosibox linkas till Fidelix tjänst Fidelix Portal. Efterfråge-VAK kan styras varifrån som helst genom kommunikation till Fidelix portalen.



Figur 16. Kommunikation över nätet i efterfrågeflexibilitetssystemet.

## 8 Analys och utvärdering

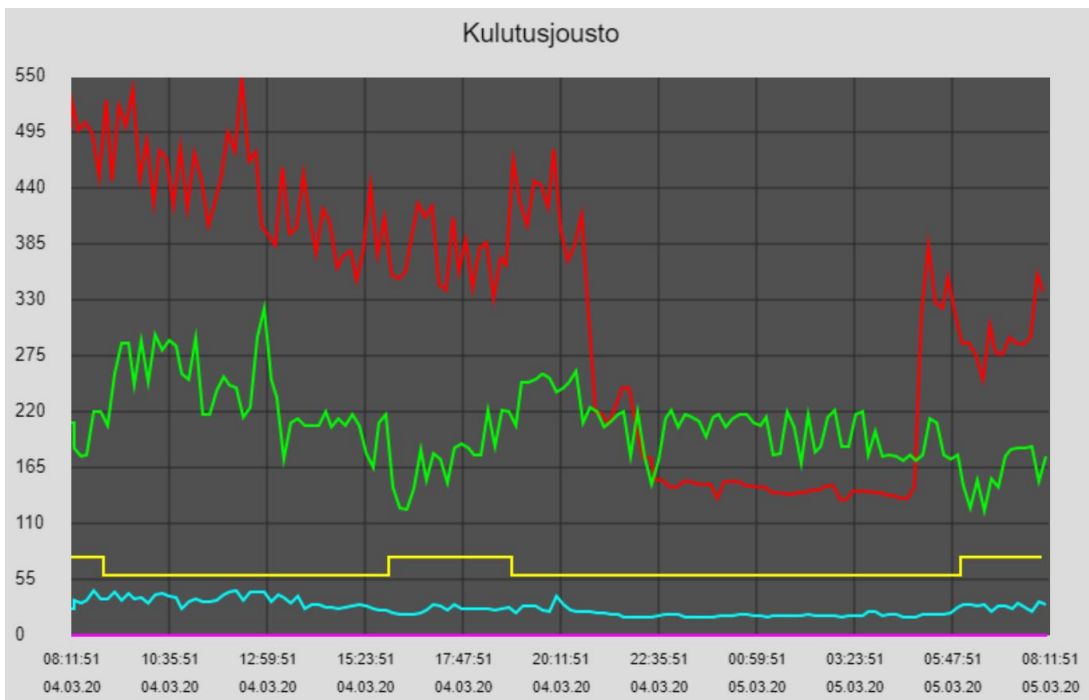
Arbetet resulterade i ett fungerande styrsystem, där efterfrågeflexningen kan styras för testning. Detta innebär att kunden fick ett fungerande styrsystem. Målet var att sänka värmekretsens framledningstemperatur med 10–20 °C och förskjuta energianvändningen, från en tidpunkt där användningen är högre till en tidpunkt på dygnet där den är lägre.

Svaret på, om målet blev uppnått, är inte helt svartvitt. Om man minskar på framledningstemperaturen är förväntningarna att energianvändningen minskar. Först minskar energin, enligt den insamlade data men efter en stund stiger energiförbrukningen igen. För att energimätningen är den samma för hela värmeväxlaren, är det svårt att avgöra om energioökningen är på grund av värmekretsen, varmvattenförbrukning eller om det är ventilationen som försöker kompensera. Problemet med att ha energimätningen i samma ser man tydligt på mätdata från Silveria.



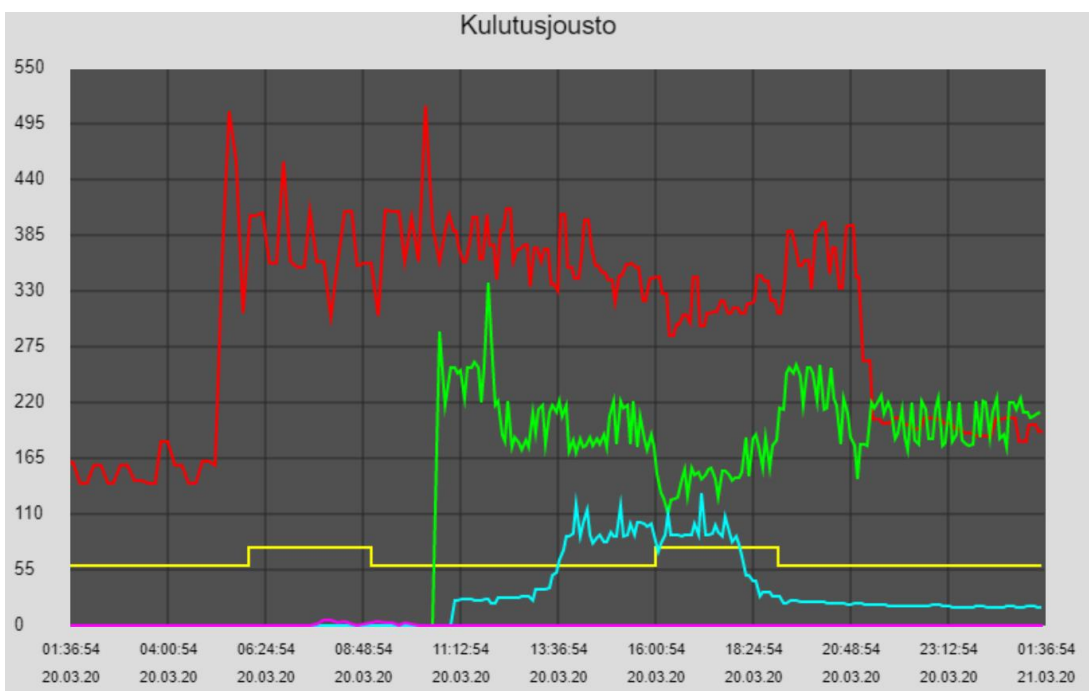
En stor del av Silverias förbrukning är varmvattenförbrukning och ventilationsvärmekretsen. Ventilationen i Silveria är igång från måndagen till fredagen, från klockan 6:00 på morgon till 21:00 på kvällen. Detta ser man tydligt i Figur 17 och Figur 18. I Figur 17, när ventilationen stängs av klockan 21:00, ser man tydligt att effekten sjunker från omkring 400 kW till 150 kW. Samma fenomen ser man i Figur 18 när ventilationen körs igång klockan 6:00. Effekten ökar från omkring 150 kW till 400 kW. De hastiga förändringarna i förbrukningen är på grund av den massiva vattenförbrukningen i Silveria. Detta kan konstateras eftersom Silveria har flera undervisningskök, som använder en massa vatten till bland annat matlagning och diskning. Det som ytterligare verifierar detta är, de hastiga svängningarna i förbrukningen som försvann när skolan stängdes ner på grund av coronapandemin, se Figur 18.

På grund av ovan nämnda orsaker kan tydningen bli svårare, speciellt med ett samplingsintervall på 10 minuter. När mätdatat har hastiga svängningar och samplingsintervallet är långt, kan data se ut som att ingen energiminskning har skett när efterfrågeflexningen varit aktiv. Ifall samplingen sker i det ögonblick där förbrukningen varit högre, ser mätningen ut som att ingen efterfrågeflexning har uppnåtts. I Figur 17 är samplingsintervallet 10 minuter. Figur 18 och Figur 19 har en samplingsintervall på 5 minuter. I Figur 18, den 20.03.2020, ungefär klockan 12, blev samplingsintervallet ändrat till 5 minuter. Mätdatat blir betydligt lättare att tyda i Figur 18 efter att samplingsintervallet blev ändrat.



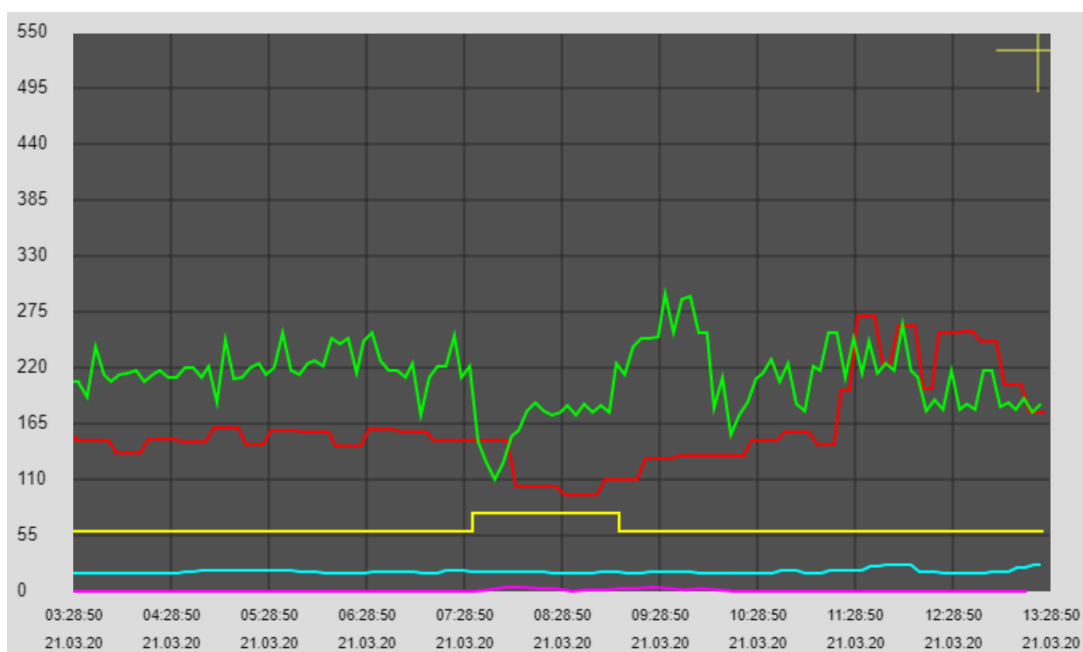
**Figur 17.** Enheten är kW, samplingstiden 10 minuter. Det gula strecket indikerar på att efterfrågeflexningen varit aktiv, det röda strecket är Silveria och det gröna är Västerskogs skola.

I Figur 17 ser man otydligheten i mätdata på Silveria. Samplingstiden var 10 minuter, vilket kan vara en del av problemet i tydningen av data. Som man kan se i Figur 18, när samplingstiden blev minskad till 5 minuters intervall, blev resultatet tydligare.



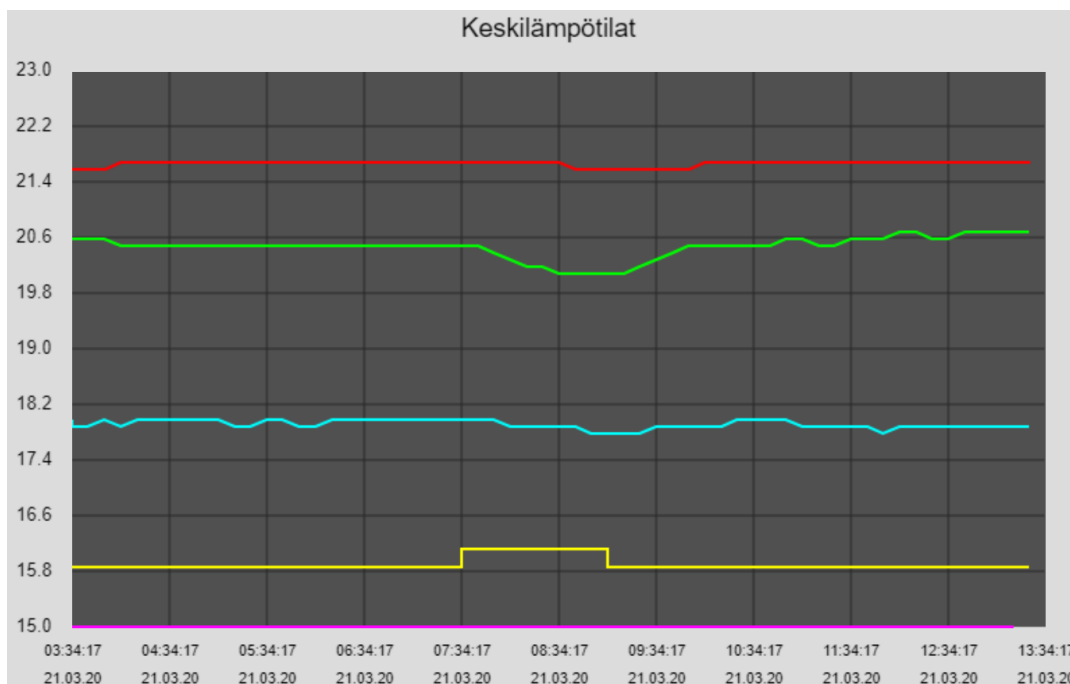
**Figur 18.** Enheten är i kW, samplingstiden 5 minuter.

I Figur 18 är vattenförbrukning minimal eller helt enkelt icke existerande, vilket kan vara orsaken till en så tydlig graf, efter att samplings tiden ändrades till 5 minuter. Samplings tiden ändrades den 20.03.2020, ungefär klockan 12:00, se Figur 18. Orsaken till att samplings tiden är så hög, är en historisk uppföljning på en punkt kan ha ett maximalt antal sparade samplings på 20 000. Med 10 minuters samplings tid kan man se data 138,9 dagar bakåt medan med 5 minuters samplings tid kan man se knappt 70 dagar. Flera mätningar utfördes och det fanns dagar där resultatet var tydligare än vad Figur 17 visar. Figur 17 visar hur otydliga vissa mätningar kan bli. Orsaken är troligen variationer i vattenförbrukning och ventilation.



**Figur 19. Enheten är kW. Endast värmeförbrukning.**

I Figur 19 finns inget annat än värmekretsens förbrukning. I figuren kan man se en tydlig minskning i energiförbrukning under tiden när efterfrågeflextningen varit aktiv. Energiförbrukningen faller lågt i början när börvärdet ändras, men efter en stund när framledningstemperaturen har sjunkit, under börvärdet, börjar energiförbrukningen igen sakta öka. Om man ser på medeltemperaturer i byggnaderna, sjönk Västerskogens skola endast en halv grader medan Silverias medeltemperatur inte ändrades alls. (Figur 20).



**Figur 20. Medeltemperatur i °C från respektive byggnad.**

Enligt Figur 20 har temperaturen i Västerskogens skola sjunkit med  $0,33 \text{ }^\circ\text{C/h}$ . För att uppehålla en bekväm och obemärkt efterfrågeflektion ska temperaturförändringen inte vara mera än  $0,5 \text{ }^\circ\text{C/h}$ . Om temperaturen sjunker snabbare än  $0,5 \text{ }^\circ\text{C/h}$  kan personerna börja känna av att det känns kyligt, även om slutmålet blir samma.

Efter att samplingstiden ändrades till 5 minuters intervall, blev grafens tydning lättare. I resultatet i Figur 18 mellan klockan 16:00 till 19:00 och i Figur 19 klockan 7:00 till 9:00 ser man en tydlig sänkning av förbrukningen, då efterfrågeflektionen varit aktiv. Detta resultat kan ses både i Silveria och i Västerskogens skola. Efterfrågeflektionen kan ligga allt mellan 30 kW till 100 kW mindre. Dock kan en 100 kW effektminskning uppkomma i mätningensdata endast en kort tid efter att efterfrågeflektionen varit aktiv. Detta, på grund av att efterfrågeflektionen utförs genom att sänka framledningens börvärde. När man minskar börvärdet i en regulator kommer ärvärdet att vara högre än börvärdet. Om ärvärdet är högre än börvärdet, som i detta fall, kommer regulatorn att stänga ventilen. När ärvärdet närmar sig börvärdet, kommer regulatorn att saktat börja öppna upp ventilen igen, se Figur 19. Förbrukningen sjunker i medeltal cirka 40 kW när efterfrågeflektionen är aktiv. Med detta kan man konstatera att efterfrågeflektionen fungerar.

## 9 Diskussion

Efterfrågefleksibilitet är ett intressant ämne. Behovet av efterfrågefleksibilitetssystem kommer att öka i vårt samhälle både i elnätet och fjärrvärmenätet när höga krav sätts på energieffektivisering i alla sammanhang. Grundtanken med detta examensarbete var att skapa ett styrssystem där man kan testa efterfrågefleksibilitetsmetodens effekt och inverkan, ifall man kan förskjuta energianvändning i tid utan att försämra värmesystemets kvalitet eller öka risker i värmekretsen.

Resultatet blev inte helt lätt att tolka. Största problemet var att energimätningen inte var optimal. För att få ett bättre resultat skulle en skild mätning behöva göras på radiatorns värmekrets och samplingsintervallet skulle ha behövt vara 5 minuter i stället för 10 minuter. Även den dåliga vintern påverkade testningen negativt. Potentialen hos efterfrågefleksning ökar med sjunkande utetemperatur, eftersom effektbehovet för uppvärmningen ökar ifall utetemperaturen är lägre. Om utetemperaturen ligger kring +20 °C är flexningspotentialen noll. De flesta värmekretsar stängs av automatiskt när utetemperaturen blir högre än +17 °C.

Av ovan nämnda orsaker, blev tydningen lite problematiskt. I flera av mätningarna när efterfrågefleksningen var aktiv, minskade förbrukningen inte alls (Figur 18, mellan 6:00 och 9:00). Ibland blev förbrukningen högre, speciellt på Silveria. Eftersom problemet inte var återupprepande och överensstämmande med andra mätningar kan man konstatera att varmvattenförbrukningen orsakade detta. Ifall liknande saker uppkommer borde en uppföljning göras på varmvattenventilen. Genom att ha uppföljning på varmvattenventilens läge, kan man utesluta om förändringen i förbrukningen är orsakad av varmvattenförbrukning.

När framledningstemperaturen sänks, kan man dra den slutsatsen att energianvändningen minskar och potentialen till att fördröja energibehovet är därmed också möjlig, se Figur 18 och Figur 19. När framledningstemperaturens börvärde sänks betyder det att framledningstemperaturen blir högre än börvärdet och då stänger regulatorn ventilen helt. Då blir värmekretsens energiförbrukning noll tills framledningstemperaturen sjunker under börvärdet. Detta fenomen ser man tydligt i Figur 19, där förbrukningen snabbt till en början sjunker och efter en tid stiger förbrukningen lite grann.

I Silveria kan man konstatera att efterfrågefleksningen fungerar, men deras största förbrukning ligger i varmvattenförbrukningen. Deras hastiga förändringar i förbrukningen beror på den massiva varmvattenförbrukningen. Där skulle Silveria uppnå den största

efterfrågeflextionspotentialen, genom att investera i varmvattentankar. De skulle inte endast uppnå en jämnare förbrukning, utan även genom investering i stora varmvattentankar, öppna möjligheten att köpa energi då den är som billigast.

Det som inte iaktogs i arbetet är vädret samt aktiviteten i byggnaderna. Vädret påverkar direkt en byggnads värmebehov, eftersom framledningens temperatur direkt är sammankopplad till utetemperaturen. Med andra ord ändras värmekretsens energiöverföring enligt vädret. På grund av detta påverkade vädret tydningen av mätdatat. Utetemperaturen är oftast lägre på morgonen och stiger under dagen. Ifall temperaturen ändras under testningen blir analysen problematisk eftersom energibehovet ändras. En annan faktor är solen. Varken solen och temperaturförändringen är en nackdel i efterfrågeflextningen, men påverkar tydningen av mätdatat.

Examensarbetet avgränsades till att skapa ett styrsystem för efterfrågeflextning i Vasa elektriskas fjärrvärmenät och för att ge Vasa elektriska en möjlighet att testa efterfrågeflextningens potential och den ekonomiska nyttan för fjärrvärmenätet.

För en fortsatt utveckling kan följande punkter beaktas:

- Energimätning direkt på värmekretsens.
- Kortare samplingsintervall.
- Justering av börvärdet ska göras stegvis så att framledningstemperaturen sjunker med bara ett par grader i taget. Justeringarna görs med ca 10 minuters mellanrum.
- Inställningen för hur mycket temperaturen ska sänkas ska vara individuell för varje byggnad.
- Tidsprogrammet ska vara individuellt för varje byggnad.

Till sist vill jag tacka Fidelix och Jonas Wikström, som har gett mig möjlighet att utföra ett projekt som detta. Jag har fått lära mig mycket om efterfrågeflextibilitet och om vilka möjligheter det öppnar. Jag vill även tacka min handledare för den hjälp och det stöd som jag fått under arbetets gång.

## 10 Källförteckning

- Abel Environmental Services Ltd. (2020). *www.aeslimited.co.uk*. Hämtat från <https://www.aeslimited.co.uk/domestic-solutions/underfloor-heating/>
- Europaparlamentet. (den 26 03 2018). *www.europarl.europa.eu*. Hämtat från <https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/society/20180208STO97442/kasvihuonekaasupaastojen-vahentaminen>
- Fidelix Compact. (2019). *Fidelix.fi*. Hämtat från <https://www.fidelix.fi/sv/fastighetsautomation/>
- Fidelix Fx-Editor. (2020). *Fidelix FX-Editor*. Hämtat från <http://www.fidelix.se/startside/fx-editor/>
- Fidelix Oy. (2019). *Fidelix.fi*. Hämtat från [www.fidelix.fi](http://www.fidelix.fi)
- Flowers, J. (2013). Hämtat från <https://learn.compactappliance.com/wall-heaters/>
- Hillamo, H. (2017). *Energia.fi*. Hämtat från [https://energia.fi/sv/basfakta\\_om\\_energibranschen/energinat/fjarrvarmenat](https://energia.fi/sv/basfakta_om_energibranschen/energinat/fjarrvarmenat)
- Infoteam software AG. (2020). Hämtat från <https://infoteam.de/en>
- Jönköping Energi. (2015). Hämtat från <https://www.jonkopingenergi.se/vi-erbjuder/fjarrvarme/sa-fungerar-det/sa-fungerar-ett-kraftvarmeverk-2#>
- Kensby, J., Johansson, L., & Samuel Jansson, J. C. (Februari 2019). *Energiforsk.se*. Hämtat från <https://energiforskmedia.blob.core.windows.net/media/25881/varderingsmodell-fo-r-efterfra-geflexibilitet-2019-564.pdf>
- Kozierok, C. M. (2005). *The TCP/IP Guide*.
- Kreider, J. F., Curtiss, P. S., & Rabl, A. (2010). Heating and cooling of buildings.
- Malassu, M. (den 04 03 2020). Vaasan Sähkö Oy.
- Motiva Oy. (den 18 11 2019). *motiva.fi*. Hämtat från [https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiankaytto\\_suomessa/energian\\_kokona\\_iskulutus](https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiankaytto_suomessa/energian_kokona_iskulutus)
- Retherm Krüge AB. (2019). Hämtat från <https://www.rethermkruge.se/product/armaturjonsson-golvvarme-fd-rf-6-slingor>
- Rydegren, E. (den 10 Februari 2017). *Energiföretagen.se*. (Swedenergy AB) Hämtat från <https://www.energiforetagen.se/sa-fungerar-det/kraftvarme/>
- Sundén, B. (2006). i *Värmeöverföring* (s. 315). Studentlitteratur.
- Tosibox Oy. (2020). *Tosibox.com*. Hämtat från <https://www.tosibox.com/fi/tosibox-iot-ekosysteemi/>
- Vaasan Sähkö Oy. (2019). Hämtat från <https://www.vaasansahko.fi/kaukolammon-tulos/>

- VALOR Partners Oy. (den 31 Augusti 2015). *Energia.fi*. Hämtat från [https://energia.fi/files/439/Kaukolammon\\_kysyntajousto\\_loppuraportti\\_VALOR.pdf](https://energia.fi/files/439/Kaukolammon_kysyntajousto_loppuraportti_VALOR.pdf)
- Valtioneuvosto. (2019). *Valtioneuvosto.fi*. Hämtat från <https://valtioneuvosto.fi/rinteen-hallitus/hallitusohjelma/hiilineutraali-jaluonnon-monimuotoisuuden-turvaava-suomi>
- Vanek, F., & Albright, L. (2012). *Energisystemteknik*. Ithaca.
- Wernstedt, F., & Johansson, C. (2008). *Intelligent distributed load control*. Hämtat från [http://www.fukt.bsnet.se/~uncle/papers/Wernstedt\\_Johansson.pdf](http://www.fukt.bsnet.se/~uncle/papers/Wernstedt_Johansson.pdf)