HÖGSKOLAN
I GÄVLE

AKADEMIN FÖR TEKNIK OCH MILJÖ
Avdelningen för bygg-, energi- och miljöteknik

Utredning av undercentral i Brf. Bogården

En jämförelse mellan en ny och en gammal undercentral.

Tommy Hedin

2017

Examensarbete, Grundnivå (högskoleexamen), 15 hp
Energisystem
Energisystemingenjör, Co-op

Handledare: Roland Forsberg, Taghi Karimipanah
Examinator: Hans Wigö

Till Roland Forsberg

Min handledare, kollega och vän.
Stort tack för att du alltid ställt upp, alltid visat ett brinnande intresse och en vilja att se mig och mina studiekamrater att lyckas med studierna.
Utan din rådgivning och kunskap skulle denna resa varit mycket mer smärtsam än vad den blev.

Till Matilda

Min sambo, livspartner och mor till mitt barn.
Utan dig, ditt tålamod och din stöttning hade de fem senaste åren varit omöjliga att genomföra. Tack för att du finns i mitt liv.

Till min far och till min mor

Tack för er gränslösa kärlek.
Tack för att ni alltid funnits till för mig.
Tack för att ni alltid stöttat mig.
Tack för att ni gav mig modet att vandra den vägen i livet som jag ansåg vara den bästa för mig.
Detta är något som jag kommer att bära med mig i hela mitt liv.

Till övriga familj, släkt, nära och kära

Tack för alla fina ord och för all stöttning. Ni är samtliga ovärderliga.

Tommy Hedin den 16 maj 2017.

Sammanfattning

Denna uppsats tar sitt avstamp från en gammal rapport vid namn ”*Samkörning mellan värmepumpar och fjärrvärme. – Bostadsrättsföreningen Bogården”* från 2008. Denna rapport behandlar en undercentral vari det fanns risk för spridning av legionellabakterier. Rapporten från 2008 mynnade ut i åtgärdsförslag som togs i beaktande av Brf. Bogården och insatser genomfördes senare av SWECO i form av en nyprojektering av hela anläggningen. Följden av detta blev att undercentralen 2012 byggdes om helt och hållet och nya styr- och reglerflöden inrättades.

I detta arbete presenteras en bred bild av energiläget i världen och i Sverige för att sedan rikta fokus ner till Gävle och undercentralen i Brf. Bogården. I denna studie så genomfördes flertalet observationstillfällen där noteringar gjordes för att se hur anläggningen och dess styr- och reglerflöden tedde sig. Bieffekten av besöken bestod av upptäckter som på ett eller annat sätt påverkade anläggningen i sin helhet. Det som upptäcktes var att undercentralen inte styr och regleras enligt projekteringen, retur- och framledningstemperaturer var för höga och att värmepumparnas drifttider absolut inte var enligt funktionsbeskrivningen. Dessa styr- och reglerfel gör så att Bogården måste köpa in mer fjärrvärme än vad som behövs vilket leder till mer kostnader än nödvändigt.

Nyckelord: Undercentral, fjärrvärme, värmepumpar

Abstract

This paper takes its starting point from an old report named ”*Samkörning mellan värmepumpar och fjärrvärme. – Bostadsrättsföreningen Bogården”* from the year 2008. This report discusses a sub-station where there was a risk of proliferation of legionella bacteria. The 2008 report resulted in action proposals that were taken into account by tenant Bogården and thereafter efforts were implemented by SWECO in the form of a new projection of the entire sub-stationed facility. What happened next was that the sub-center was rebuilt completely in 2012 and a new management control settings were put into use.

In this work, a broad picture of the energy situation in the world and in Sweden is presented, and after that the paper shifts focus on Gävle and the sub-center of tenant Bogården. In this study, many observation visits were made and during these notes were made to see how the plant and its control and regulatory flows occurred. The side effect of the visits consisted of discoveries that in one way or another affected the plant. What was discovered was that the sub-central did not control and regulate according to the design, the return and outflow temperatures in the radiator circuit were way too high and the heat pump operating hours were not at all according to the functional description that was provided to aid this report. These controls and regulate errors forces the tenant Bogården to buy more district heating than needed, which leads to more costs than necessary.

Keywords: Sub-central, district heating, heat pumps

Innehållsförteckning

Sammanfattning **5**

Abstract **5**

Innehållsförteckning **1**

1. Introduktion **1**

1.1 Bakgrund *1*

1.2 För vem är rapporten intressant? *1*

1.2.1 Rapportens syfte 1

1.2.2 Begränsningar 2

1.2.2.1 Problem med varmvattencirkulationen 2

1.2.2.2 Enkätundersökning 2

1.3 Litteratöversikt *2*

1.3.1 Litteraturstudiens syfte 2

1.3.2 Litteraturstudie 3

1.4 Allmänt om energi *4*

1.4.1 Människan och energi 5

1.4.2 Människan och miljön 7

1.4.3 Framtida utmaningar 9

1.4.4 Svensk energiteknik 9

1.4.5 Sveriges energimix 9

1.4.5.1 Förnybart och icke förnybart 10

1.4.5.2 Icke förnybara energikällor 10

1.4.5.3 Förnybara energikällor 11

1.5 Lågenergihus *11*

1.5.1 Fjärrvärme 12

1.5.2 Kraftvärme 12

1.5.3 Så fungerar kraftvärmeproducerad fjärrvärme 13

1.5.4 Ett fjärrvärmesystems uppbyggnad från verk till abonnent 14

1.6 Inomhusklimat och termisk komfort *15*

1.6.1 Komfortparametrar 15

1.6.2 Termisk komfort 16

1.6.3 Ventilation 16

1.6.4 Ventilationstyper 16

1.6.5 Självdragsventilation med komplettering 17

1.6.6 Frånluftsventilation 17

1.6.7 FTX-system 17

1.7 Bogårdens undercentral *18*

2. Metod **19**

2.1 Litteratur *19*

2.2 Observationer hos Brf. Bogården *19*

2.3 Stickprov för reglerkurvor *20*

2.3.1 Beräkning för kurvorna 20

2.4 Den gamla rapporten *21*

2.5 Förbrukningsuppgifter från Riksbyggen *21*

2.6 Beräkningar för tappvarmvatten *21*

2.7 Driftkort och styr- och reglerförklaringar *21*

2.8 Uppsatsens reproducerbarhet *21*

3. Resultat **23**
3.1 Observationsnoteringar *23*
3.1.1 Värmeförbrukning 2017 23
3.1.2 Anläggningens förbrukade elenergi 23
3.1.3 Besöksnoteringar 23
3.1.3.1 Observation 1 23
3.1.3.2 Observation 2 24
3.1.3.3 Observation 3 24
3.1.3.4 Observation 4 25
3.1.3.5 Observation 5 25
3.1.3.6 Observation 6 26
3.1.3.7 Observation 7 27
3.1.3.8 Observation 8 27
3.1.3.9 Observation 9 28
3.1.3.10 Observation 10 29
3.1.3.11 Observation 11 29
3.1.3.12 Observation 12 30
3.1.3.13 Observerade verkningsgrader hos anläggningen 31
3.1.3.14 Mätvärden GT16 31
3.2 Övriga iakttagelser *31*
3.2.1 Stickprov 31
3.2.2 Reglerflöden 33
3.2.3 Temperaturmätningar med SwemaTemp 20 34
3.2.4 Driftkortet 34
3.3 Uppgifter från den gamla rapporten *35*
3.4 Uppgifter från Riksbyggen *36*
3.4.1 Total fjärrvärmeförbrukning för Brf. Bogården 36
3.4.2 Kallvattenförbrukning 36

4. Diskussion och analys **37**
4.1 Jämförelse av nyckeltal *37*
4.1.1 Verkningsgrad, COP 37
4.1.2 Tappvarmvatten 37
4.1.3 Köpt fjärrvärme 37
4.2 Reglerflöden *38*
4.2.1 Värmepumparna 38
4.2.2 Radiatorkretsarnas framledningstemperaturer 38
4.2.3 Detaljer i driftkortet 39

5. Slutsatser **41**
5.1 Nyckeltal *41*
5.1.1 Verkningsgrad, COP-värde 41
5.1.2 Tappvarmvatten 41
5.1.3 Fjärrvärmeförbrukning 41
5.2 Anläggningens reglerflöden *41*
5.2.1 Styrning av värmepumparna 41
5.2.2 Radiatorkretsar och dess temperaturer 41
5.2.3 Ändringar i relationshandlingen 42
5.3 Sammanfattande slutsatser *42*

6. Förslag till fortsatta studier **43**

7. Referenser **45**

Litteraturförteckning **45**

8. Bilagor **49**
Bilaga 1: Kallvattenförbrukning Bfr. Bogården *49*
Bilaga 2: Fjärrvärmeförbrukning Brf. Bogården *50*
Bilaga 3: Relationshandling Brf. Bogården *51*
Bilaga 4: Funktionsbeskrivning från relationshandling Brf. Bogården *52*
Bilaga 5: SwemaTemp 20 *53*
Bilaga 6: Ackumulatortankarna i undercentralen *53*
Bilaga 7: Undercentralens huvuddator *54*
Bilaga 8: VP1, VP2 och VP3 *54*
Bilaga 9: De tre kallvattenmätarna *55*
Bilaga 10: Kallvattenmätarens utseende *55*
Bilaga 11: Platsen där de gamla ackumulatortankarna stod före 2012 *56*

Figurer

Figur 1: Sveriges totala energitillförsel 2015. Energimyndigheten. 10
Figur 2: Använd fjärrvärme 1971–2013. Energimyndigheten, Energiläget 2015. 13
Figur 3: Tillförd energi för fjärrvärmeproduktion 1971–2013. Energimyndigheten, Energiläget 2015. 13
Figur 4: Principskiss för ett kraftvärmeverk. Bilden är tagen från www.vänerenergi.se. 14
Figur 5: Kopplingsschema över Bogårdens undercentral. 18
Figur 6: Reglerkurvans diagram med grafisk lösning. 32
Figur 7: Mätställen på rörledningar. 34
Figur 8: Värmeproduktion, drift- och mätdata från den gamla rapporten. 35
Figur 9: Värmepumparnas inverkan på den gamla anläggningen. Uppgifter tagna från den gamla rapporten. 35
Figur 10: Den gamla undercentralens kopplingsschema. 36

Tabeller

Tabell 1: Världens energiresurser 2002. Renewable Energy. 5
Tabell 2: Sveriges energikällor 2010. Siffror från" Energi. Möjligheter och dilemman."6
Tabell 3: Värmeförbrukning sedan årsskiftet 16–17. 23
Tabell 4: Anläggningens elförbrukning sedan årsskiftet 16–17. 23
Tabell 5: Kallvattenförbrukning observation 1. 23
Tabell 6: Mätarställning för värmeförbrukning och aktuellt COP-värde observation 1. 23
Tabell 7: Kallvattenförbrukning observation 2. 24
Tabell 8: Mätarställning för värmeförbrukning och aktuellt COP-värde observation 2. 24
Tabell 9: Anläggningens elförbrukning observation 2. 24
Tabell 10: Förbrukad fjärrvärme observation 2. 24
Tabell 11: Kallvattenförbrukning observation 3. 24
Tabell 12: Mätarställning för värmeförbrukning och aktuellt COP-värde observation 3. 24
Tabell 13: Anläggningens elförbrukning observation 3. 25
Tabell 14: Förbrukad fjärrvärme observation 3. 25
Tabell 15: Kallvattenförbrukning observation 4. 25
Tabell 16: Mätarställning för värmeförbrukning och aktuellt COP-värde observation 4. 25
Tabell 17: Anläggningens elförbrukning observation 4. 25

Tabell 18: Förbrukad fjärrvärme observation 4. 25
Tabell 19: Kallvattenförbrukning observation 5. 26
Tabell 20: Mätarställning för värmeförbrukning och aktuellt COP-värde observation 5. 26
Tabell 21: Anläggningens elförbrukning observation 5. 26
Tabell 22: Förbrukad fjärrvärme observation 5. 26
Tabell 23: Kallvattenförbrukning observation 6. 26
Tabell 24: Mätarställning för värmeförbrukning och aktuellt COP-värde observation 6. 26
Tabell 25: Anläggningens elförbrukning observation 6. 26
Tabell 26: Förbrukad fjärrvärme observation 6. 27
Tabell 27: Kallvattenförbrukning observation 7. 27
Tabell 28: Mätarställning för värmeförbrukning och aktuellt COP-värde observation 7. 27
Tabell 29: Anläggningens elförbrukning observation 7. 27
Tabell 30: Förbrukad fjärrvärme observation 7. 27
Tabell 31: Kallvattenförbrukning observation 8. 28
Tabell 32: Mätarställning för värmeförbrukning och aktuellt COP-värde observation 8. 28
Tabell 33: Anläggningens elförbrukning observation 8. 28
Tabell 34: Förbrukad fjärrvärme observation 8. 28
Tabell 35: Kallvattenförbrukning observation 9. 28
Tabell 36: Mätarställning för värmeförbrukning och aktuellt COP-värde observation 9. 28
Tabell 37: Anläggningens elförbrukning observation 9. 28
Tabell 38: Förbrukad fjärrvärme observation 9. 29
Tabell 39: Kallvattenförbrukning observation 10. 29
Tabell 40: Mätarställning för värmeförbrukning och aktuellt COP-värde observation 10. 29
Tabell 41: Anläggningens elförbrukning observation 10. 29
Tabell 42: Förbrukad fjärrvärme observation 10. 29
Tabell 43: Kallvattenförbrukning observation 11. 30
Tabell 44: Mätarställning för värmeförbrukning och aktuellt COP-värde observation 11. 30
Tabell 45: Anläggningens elförbrukning observation 11. 30
Tabell 46: Förbrukad fjärrvärme observation 11. 30
Tabell 47: Kallvattenförbrukning observation 12. 30
Tabell 48: Mätarställning för värmeförbrukning och aktuellt COP-värde observation 12. 30
Tabell 49: Anläggningens elförbrukning observation 12. 30
Tabell 50: Förbrukad fjärrvärme observation 12. 31
Tabell 51: Anläggningens COP-värden. 31
Tabell 52: Temperaturer vid GT16. 31
Tabell 53: Referenspunkter för den nya byggnadsdelens reglerkurva. 32
Tabell 54: Fjärrvärme- och kallvattenförbrukning under observation 10. 33
Tabell 55: Förbrukningsuppgifter från föregående år. 36
Tabell 56: Förbrukad kallvattenmängd. 36
Tabell 57: Gammal och ny förbrukning av kallvatten och tappvarmvatten. 37
Tabell 58: Gammal och ny fjärrvärmeförbrukning samt kostnad. 37

Formler

Formel 1: Formel för funktionerna. 20
Formel 2: Energi för tappvarmvatten. 21

1. Introduktion

1.1 Bakgrund

Grunden till detta examensarbete ligger i en rapport skriven och publicerad av Zidar Sadik 2008. Arbetet skrevs under handledning av Roland Forsberg och Ulf Larsson åt Brf. Bogården beläget i centrala Gävle.

Från början fanns det starka misstankar om legionella i vattensystemet, vilket fick till sin följd att 4st ackumulatortankar på 2,5 m^3 vardera omedelbart togs bort från undercentralen. I undercentralen stod 3st värmepumpar, dessa ville föreningen fortsätta utnyttja. För att säkerställa det fortsatta bruket av pumparna krävdes mer information om byggnadens termiska egenskaper.

I arbetet så genomförs en energiutredning av Brf. Bogården i centrala Gävle. Denna byggnad består av en gammal del, den gamla Pixfabriken, och två nyare delar. Tillsammans utgör dessa tre byggnadsdelar Brf. Bogården.

Utredningen mynnar ut i en energibalans som gör det tydligt hur byggnadens energiflöden ter sig. Sadik upprättar en lista i slutet av rapporten innehållande åtgärdsförslag i syfte att förbättra undercentralen i byggnaden. Dessa förslag har Sadik kostnadsberäknat för att påvisa det ekonomiska värdet i att genomföra förändringarna.

Tiden har gått sedan Sadiks avhandling publicerades 2008 och idag ser undercentralen annorlunda ut. Många ombyggnader har gjorts för att förbättra centralen så att den arbetar mer effektivt än förut. Dokumentation över *hur mycket* dessa förändringar har påverkat undercentralens prestanda finns dock inte, och det är där som denna rapport tar sitt avstamp.

1.2 För vem är rapporten intressant?

Rapporten är av intresse för Brf. Bogården då den levererar en tydlig bild över *hur* förändringarna har påverkat byggnadens energiförbrukning. Rapporten är också av intresse för SWECO och Riksbyggen. SWECO gjorde om undercentralen och kan via denna avhandling se om nödvändiga åtgärder vidtogs vid ombyggnationen. Det är Riksbyggen som sköter driften av undercentralen.

1.2.1 Rapportens syfte

Den här rapporten ger läsaren en bred bild över vad energi är och hur energiläget ser ut internationellt och nationellt. Rapporten tar även upp miljöaspekten, vilken ses som viktig i sammanhanget då människans energianvändning är starkt förknippad med miljö-/klimatpåverkan. Energiläget och miljöaspekten tas upp för att ge läsaren en bredare förståelse för nuläget och vad som ligger i framtiden. Med denna förståelse går det att få grepp om varför energi- och miljöfrågor är viktiga för framtida generationer, samt varför det är viktigt att förbättra en byggnads energiprestanda, detta leder till rapportens huvudsyfte: Utreda undercentralen i Brf. Bogården.

Till hjälp kommer en äldre rapport från 2008 att användas för att få fram nödvändiga data som förbrukningssiffror på värmeförbrukning och tappvarmvatten för den gamla undercentralen. Dessa uppgifter kommer sedan att jämföras med nyare förbrukningsdata från Riksbyggen som sträcker sig två år bakåt i tiden. När jämförelsen är gjord så kommer slutsatser att dras. Nedan följer en sammanfattning av syftet.

Denna rapport har som syfte att:

- Presentera en bild över energiläget internationellt och nationellt.
- Kontrollera om undercentralen regleras som angivet på befintligt driftkort.
- Jämföra den gamla rapportens (och därmed den gamla undercentralens) siffror med nya siffror framtagna i denna rapport.

1.2.2 Begränsningar

1.2.2.1 Problem med varmvattencirkulationen

Det har under en tid varit problem med VVC:n i Brf. Bogården då varmvattencirkulationen håller en för låg temperatur. Detta är ett allvarligt problem eftersom VVC:n i byggnader är till för att minimera risken för legionellabakterier och dess tillväxt genom att hålla en så pass hög temperatur och flöde att bakterierna dör. Flödet i systemet är tillräckligt men eftersom temperaturen inte är tillräcklig så riskerar systemet att infekteras med legionellabakterier. Även om detta ses som ett allvarligt problem och måste åtgärdas så är detta ett fall för erfarna med lång tid i branschen. I samråd med handledare Roland Forsberg så lämnas detta fall med VVC:n utanför uppsatsens ramar.

1.2.2.2 Enkätundersökning

En för uppsatsen intressant aspekt skulle ha varit att genomföra en enkätundersökning med de inneboende i Brf. Bogården. Enkäten skulle ha innehållit frågor angående tappvarmvattnet och dess temperatur. Frågor om inneklimatet skulle också ha varit med i enkäten i syfte att hitta eventuella problem med radiatorkretsen eller med ventilationssystemet. Dock skulle en enkätundersökning med de inneboende ha varit väldigt tidskrävande och lämnas därför utanför uppsatsen.

1.3 Litteratöversikt

1.3.1 Litteraturstudiens syfte

- Att lyfta fram alternativa energiåtgärder för Brf. Bogården.
- Visa tidigare forskning inom området energi.

1.3.2 Litteraturstudie

Risken för legionella i Bogårdens tappvarmvattensystem ledde som tidigare nämnts till att undercentralen idag ser helt annorlunda ut än 2007. 4st ackumulatortankar på 2,5 m^3 vardera avlägsnades genast för att undvika problem. Då bekräftades inte legionellabakterier i varmvattensystemet, men misstankarna räckte i detta fallet för att vidta åtgärder och inte riskera människoliv. Ackumulatortankarnas temperaturer låg på ca 40℃ och var dessutom stillastående. Detta är varken bra eller hälsosamt ur legionellasynpunkt [1].

Legionellabakterier kan inte växa och spridas i vatten som håller tillräckligt hög temperatur. Det finns en stark korrelation mellan vattnets temperatur och mängden bakterier i vattnet. Om ett tappvattensystem innehar en temperatur på minimum 55℃ minskar mängden bakterier markant. Detta för att legionella dör vid temperaturer kring 55℃. Vid en studie fann man att skillnaden i bakteriemängd i vattnet kunde skilja så mycket som 11% och 87% beroende på om vattnet är över eller under 55℃ [2]. Studien pekar på hur viktig den termiska kontrollen av vattnet är. Alltså hur viktigt det är att kontrollera vattnets temperatur så denna inte underskrider 55℃ i ett tappvattensystem [2].

Ackumulatortankarnas syfte var att förlänga de tre värmepumparnas drifttider. Tankarna laddades med värme från pumparna för att sedan kunna användas när behovet fanns. Detta system säkerställde en jämn tillgång på varmvatten oavsett förbrukning vid givet tillfälle [1]. Det gjorde också systemet mindre beroende av fjärrvärmen. Denna möjlighet försvann i och med att ackumulatortankarna togs bort från centralen.

Undercentralen i Bogården är ett centraliserat system. Detta innebär att alla lägenheterna i byggnaden får sitt varmvatten från samma plats i huset. Om vattnet i systemet håller en lägre temperatur så ökar risken för att bakterierna ökar i tillväxt, alltså ökar risken att legionella bakterier når ut till fler lägenheter [3]. Det som behövdes i detta fallet var ett sätt att lösa problemet med legionella och samtidigt hålla nere energiförbrukningen.

Ett decentraliserat tappvarmvattensystem är ett system som håller en lägre energiförbrukning än ett tappsystem med en gemensam undercentral. Med andra ord en mindre central i varje lägenhet som sköter värmetillförseln i en lokalt placerad värmeväxlare. *Low temperature district heating*, eller LTDH är uppbyggt på detta sätt och eliminerar både legionellarisken och minskar energiförbrukningen [3]. Bfr. Bogården har 176 lägenheter [1] och är en gammal byggnad. Så ett LTDH-system skulle innebära stora investeringar och en försämrad ekonomi för föreningen. Ett värmesystem som LTDH skulle lämpa sig bättre att projekteras i samband med nybyggnationer [3].

Efter att ackumulatortankarna togs bort från systemet så ville föreningen fortfarande bruka värmepumparna som ännu stod kvar. Detta för att inte behöva lägga ut ytterligare pengar på en *helt* ny undercentral och för att pumparna tar sin energi från frånluften. Detta för att minska behovet av värmeväxling med fjärrvärmenätet. Skulle värmepumparna tagits bort från centralen vore byggnaden helt beroende av fjärrvärmenätet.

Hade Bogården varit helt beroende av fjärrvärmenätet så skulle följden ha blivit att energiförbrukningen ökat. Således hade kostnaderna för att hålla en god termisk komfort också stigit. Då föreningen inte ville ha högre kostnader för sin energiförbrukning uppstår i detta fallet ett problem. Hur skulle de ökade kostnaderna kontras utan att investera för mycket pengar?

Ett enkelt svar hade varit tilläggsisolering. Idag projekteras byggnader så att de ska vara mycket energieffektiva och ha låga transmissionsförluster. I de fallen som nya hus har fjärrvärme tillkopplat så minskar dess energiförbrukning. Detta är ett resultat av bl.a. välisolerade väggar [4]. Dock skulle detta alternativ ha varit mycket kostsamt. Därför antogs inte alternativet vara av intresse för Bogården, som inte ville spendera stora summor på denna typ av åtgärder.

En annan typ av förbättringsåtgärd hade kunnat berört samtliga fönster i byggnaden. Det är en etablerad kunskap att fönster i en byggnad ställer till problem, men det finns också stora fördelar. Fördelarna är glasklara, effektivt ljusinsläpp bidrar till en ljusare bostad. Människan mår bättre av att kunna se ut genom väggarna i sitt hem och mår dessutom bra av solljuset [5]. Solljuset är helt enkelt livsviktigt för oss. Fönster gör också att belysning under dagtid inte är ett behov, detta är bra ur energisynpunkt. Problemen med fönster är att de ställer till det för inomhusklimatet. Det som händer är att energi i form av värme enklare slipper ut genom byggnadens klimatskal. Man kan på olika sätt påverka detta genom att installera tätare fönster. Tillexempel så finns det 3- och 4-glasfönster som är tätare med bättre isolerande förmåga. Alltså med ett lägre U-värde [$W/m^2 \times K$].

En brittisk studie berörde fönster och dess U-värde. Studien gick ut på att undersöka hur mycket ett fönsters U-värde kunde förbättras bara genom att täta det. Två fönster valdes ut varav ett lämnades precis som det var, detta var referensfönstret. Det andra fönstret som var precis likadant som referensfönstret genomgick en förtätning. Resultatet visade att referensfönstret hade ett U-värde på 2,67 $W/m^2 \times K$, medan det tätade fönstret uppvisade ett nytt U-värde på 1,79 $W/m^2 \times K$. Detta är en förbättring med ungefär 33 % [6].

Genomförandet av ett fönsterbyte i samtliga lägenheter i föreningen var inget som gjordes. Även om fönster med lågt U-värde hade installerats så handlade det om den ekonomiska frågan. Ett byte av fönster i den här typen av byggnader hade varit en kostsam process.

Förutsättningarna i Sverige och England skiljer sig mycket. Ett normalt fönster i Sverige erhåller ett bättre U-värde än fönstret i den brittiska studien. Fönstret i England fick ett förbättrat U-värde med 33 %, och detta är osannolikt i Sverige då ett standardfönster redan är så bra att det ses som otroligt att det skulle kunna förbättras med 33 %.

1.4 Allmänt om energi

Energi följer fysiska lagar. Två vanliga lagar i sammanhanget är termodynamikens första och andra huvudsats. Den första huvudsatsen lyder: Energi kan varken skapas eller förstöras, den är alltid konstant. Den andra huvudsatsen säger: Energi kan bara gå i en riktning. Från ett högre energitillstånd till ett lägre, eller varmt kan bara gå till kallt [7].

En kan fråga sig vad energi egentligen är? Fysiker och forskare har uppfattningen att allting vi idag kan se kom till i en enda stor energiomvandling. Vid universums absoluta födelse så omvandlades enorma mängder energi till massa. All massa som skapades bestod då, liksom nu, av protoner och neutroner som tillsammans bildar atomer. Albert Einstein, skaparen av relativitetsteorin, lyckades med sin välkända formel $E = mc^2$ visa forskarvärlden att energi är samma sak som massa, och tvärt om. Den moderna

kärnforskningen gav honom rätt. Det har visat sig att vid en kärnklyvningsprocess så blir en liten del av massan omvandlad till rörelseenergi [7].

Även i naturen förekommer energiförflyttningar som alla följer samma fysiska lagar. Om en hare blir dödad och uppäten av en räv så kommer räven att uppta kemisk energi i harens kött, som i sin tur kommer bli värmeenergi och rörelseenergi för räven. När harens kött passerat rävens matspjälkningssystem så kommer spillningen att avge värme till sin omgivning men också innehålla kemisk bunden energi för maskar och insekter. Detta är ett kretslopp av energi, som ständigt byter form men aldrig skapas eller förstörs [8].

Ordet energi har sitt ursprung från det grekiska ordet *ergon* och betyder *arbete.* Det vetenskapliga konceptet om energi har sitt syfte till att förklara vad som händer när man tillexempel förbränner ett bränsle, driver båtar och bilar eller laddar batterier. Dessa processer kan beskrivas med ord som *termisk energi (värme), kemisk energi (i batterier och bränslen), kinetisk energi (i rörliga substanser), elektrisk energi, potentiell energi* för att nämna några [9].

1.4.1 Människan och energi

Redan när människan fortfarande levde i grottan gjordes flera försök till att tygla termisk energi i form av eld. Med tiden utvecklades kunskaperna och tillslut lyckades de tidiga människorna komma på hur eld hanteras till en fördel. Ved sprider värme vid förbränning. Värmen kommer från lagrad energi i veden som en gång kom från solen. Det tidiga människosläktet hade kommit på hur *termisk energi* kunde utvinnas genom en *energiomvandling*. Idag jobbar människan på exakt samma sätt. Vi utvinner energi genom energiomvandlingar. Vi utvinner naturens resurser för att tillgodose våra behov. Det som eftersökes är energiomvandlingarna för det är via dem som vi får ut vår energi. Det är *energiomvandlingarna* vi behöver [10].

Idag finns det flera utvecklade metoder för att utvinna energi genom energiomvandlingar. Dem vanligaste energikällorna i världen är olja, kol och naturgas. Dessa är de tre stora. Andra vanliga energislag internationellt sett är också biomassa, kärnkraft och vattenkraft [11]. I tabell 1 nedan förtydligas fördelningen.

Tabell 1: Världens energiresurser 2002. Renewable Energy.

Energikälla	**Procentuell fördelning [%]**
Olja	32,6
Kol	22,2
Naturgas	21,1
Biomassa	10,6
Kärnkraft	5,7
Vattenkraft	5,5
Andra förnybara	2,3

Sedan 1925 har världens produktion av olja och naturgas ständigt ökat. Detta beror på att energibehovet i världen ökat. Världens energibehov ökade 10 gånger om bara under 1900-talet. 2002 uppgick världens befolkning till 6,2 miljarder människor. Samma år använde varje människa 74 GJ/dag i energi. Detta motsvarar ungefär 6 liter olja/person och dag [12]. Denna mängd olja motsvarar i början av 2000-talet ungefär 80 miljoner fat om dagen

[13]. Helt klart är det faktum att länder världen över är beroende av fossila bränslen. Ungefär 80 % av den totala primära energiförsörjningen består av kol, olja eller naturgas. Efterfrågan på dessa naturresurser är stor och produktionen ökar för varje år som går. Sedan 70-talet har den totala energianvändningen ökat med ungefär 100 %, en dubblering. Dock råder det meningsskiljaktigheter kring huruvida människan brutit så pass mycket av dessa resurser att jordens naturliga lager börjar sina. Alltså att människan inte längre kommer kunna bryta kol, olja eller naturgas i samma takt som förr. I takt med att resurserna sinar och efterfrågan fortfarande är hög så ökar priserna. Därför försöker många länder bli av med sitt beroende av fossila bränslen. Sedan oljekrisen på 1970-talet så har många länder tagit tag i problemet och kämpar nu för att bli av med behovet av olja [14].

Sedan 1971 har slutanvändningen inom transport- och industrisektorn registrerats av *International Energy Agency* (IEA). Statistiken täcker hela världen och IEA jämför följande kategorier med varandra: transportsektorn, industrisektorn, oljeanvändning som *inte* går till energisektorn och ”övrigt”. Statistiken visar att oljeanvändningen minskat inom industrisektorn. Tyvärr har densamma ökat inom transportsektorn. År 1973 stod transport- och industrisektorn för 45,4 % respektive 19,9 %. Samma sektorer stod för 64,5 % och 8 % år 2014 [15].

Ett lands energianvändning hänger ofta ihop med dess ekonomiska utveckling. Generellt använder världens industriländer mycket mer energi än världens utvecklingsländer. Inom Europa använder länderna i genomsnitt tre gånger mer energi per invånare än latinamerikanska invånare och hela sex gånger mer än invånare i Afrika och Asien. Några faktorer till som spelar in i ett lands energianvändning är även klimatet [13]. Var ett land är placerat geografiskt på jorden har en direkt inverkan på tillexempel bostadssektorns energianvändning. Är det varmt eller kallt i landet? Om det finns mycket energikrävande och elintensiv processindustri i ett land är detta en tredje faktor som spelar roll i den totala energianvändningen [13].

Sverige är ett utvecklat industriland med många energikrävande och elintensiva industriprocesser. Svenskarna lever också i ett kallt klimat, detta leder till ett värmebehov inom bostadssektorn stora delar av året. Detta placerar Sverige högt på OECD:s lista över elproduktion per person. Tre länder, Island, Norge och Kanada ligger före Sverige som för närvarande innehar fjärdeplatsen på denna lista. Något som skiljer Sverige från andra länder på listan är elproduktionen. 90 % av den totala elproduktionen i Sverige kommer från vattenkraft och kärnkraft tillsammans, dessa är de två största i Sverige [16]. 2010 var Sveriges totala energitillförsel 566 TWh, och som tidigare nämnts var kärnkraft en stor post. Olja är också en stor post följt av biobränsle och vattenkraft. Energikällorna i energitillförseln 2010 såg ut som följande: Fossila bränslen (kol, gas, olja) stod för 32 %, 182 TWh. Tätt följt av kärnkraften som stod för 30 %, 166 TWh. Biobränsle uppgick till 25 %, 141 TWh och förnybara (Vatten, sol, vind) stod för 12 %, 70 TWh. Tabell 2 förtydligar statistiken.

Tabell 2: Sveriges energikällor 2010. Siffror från” Energi. Möjligheter och dilemman.”

Energikälla	**Andel [%]**
Fossilt bränsle	32
Kärnkraft	30
Biobränsle	25
Förnybart	12

Sedan 1970-talet har den svenska energimixen genomgått en stor omvandling. Användningen av råolja och oljeprodukter minskat rejält, nästan 40 %. Elanvändningen har ökat i landet, mycket tack vare utbyggnaden av kärnkraften. Elproduktion från biobränsle har även ökat mycket, denna har genomgått en fördubbling. Fr.o.m. mitten på 1990-talet så fattades beslut om att bygga ut vindkraften i Sverige och detta har gett resultat. 2010 stod vindkraften för en marginell del i den totala energimixen, men utgjorde tillsammans med andra förnybara källor 47 % av den totala energitillförseln [17]. Idag är vindkraften ännu mer utbyggd än 2010. 3500 stycken vindkraftverk är idag uppförda i Sverige med en total installerad effekt på 6,3 GW. Detta bidrar med en betydande mängd el till det svenska elnätet [18]. Under 2015 stod vindkraften för 10 % [19] av den totala svenska energitillförseln. Detta motsvarade en ökning på 45 % mot föregående års elproduktion [20]. Tanken är att vindkraften ska vara en grundpelare i det svenska elnätet i framtiden. Som en del i det framtida förnybara elsystemet färdigställt 2040 kan vindkraften komma att stå för hela 50 TWh. För att uppnå detta så satsar energimyndigheten 133 miljoner kronor på insatser för vindkraftsutveckling och effektivisering. Satsningen varar fram till år 2021 och ska bidra med nya kunskaper och tekniska lösningar inom vindkraft [21].

Sverige blir bättre och bättre på att få bort fossila bränslen inom industri- och bostadssektorn. Totalt sett minskar användningen av olja, kol och gas inom landets gränser. Sverige gör sig mindre och mindre beroende av fossila bränslen, men trots detta ökar oljeanvändningen inom transportsektorn. Industrisektorn i Sverige täcker sitt energibehov med hjälp av 28 % fossila bränslen bland sina energikällor. Bostads- och servicesektorn använder 20 % fossila bränslen. Det är i transportsektorn som fossila bränslen har ett rejält övertag. 97 % av energibehovet inom transportsektorn täcks med hjälp av fossila bränslen, vilket gör sektorn till extremt beroende av fossila bränslen [22]. 2009 använde svenskarna 12,8 miljoner kubikmeter oljeprodukter. Produkterna täcker allt från bensin och diesel, till villaolja och smörjmedel. 2010 motsvarade samma siffra 13,3 miljoner kubikmeter. Dock visar statistiken att även om importen ökade något mellan dessa år så minskar användningen av bensin inom transportsektorn. Detta beror på att antalet bensindrivna fordon som rullar i Sverige har minskat. För transportsektorn är diesel det drivmedel som dominerar sektorn och användningen av drivmedlet har ökat de senaste åren [23].

1.4.2 Människan och miljön

Som beskrivits tidigare så bryter människan stora mängder resurser från naturen. Dessa resurser används för att omvandla energi i syfte att tillgodose människans energibehov. Detta fungerar i en liten skala, men dessvärre så sker det i hög takt överallt i världen. En fråga forskare och många människor ställer sig är *”Hur stor påverkan har detta beteende på miljön?”*. Detta kan ses som en relevant fråga då vi bara har en planet att leva våra liv och på. Det är denna planet som vi ska lämna, på ett ansvarsfullt sätt, till kommande generationer.

Det är svårt att svara på hur stor påverkan människans energibehov har på naturen i alla avseenden. Men det finns indikationer som forskare väljer att se som tydliga tecken på att det mänskliga beteendet har en betydande effekt på miljön och på klimatet.

Analyser av infrysta luftbubblor i inlandsis gör det möjligt för forskare att få en bild av hur temperatur och koldioxidhalten i luften hänger ihop. Upp till 1000 år gammal is har

analyserats och resultaten förmedlar en talande bild. Före 1700-talet så låg temperatur- och koldioxidhalten på någorlunda jämn nivå världen över. Koldioxidnivån låg på ca. 280 ppm för 1000 år sedan. Nivån börjar gå uppåt mellan 1700- och 1800-talen för att sedan fortsätta öka kraftigt fram till år 2000 då koldioxidhalten låg på ca. 370 ppm. Varför ökningen börjar under 1700-talet beror till stor del på industrialiseringen [24]. Under denna tid så gjorde ångmaskinen entré som bidrog till förbränningen av fossila bränslen och koldioxidutsläpp [25]. Den kraftigaste ökningen för koldioxidhalten i atmosfären de senaste 30 åren var mellan 2012 och 2013. Det året ökade halten med hela 2,9 ppm. 2013 uppgick koldioxidhalten i atmosfären till 396 ppm [26]. Om inget görs för att drastiskt minska utsläppen av koldioxid menar *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) att koldioxidhalten kan ha ökat till så mycket som 700 ppm till slutet av 2000-talet [27]. Detta har IPCC påvisat i modeller där världens klimat simulerats med hänsyn till en växande befolkning och ett ökat utsläpp av fossila bränslen. Samtliga modeller pekar på ett ”medelscenario” där halten av koldioxid fördubblats inom 100 år från 2005, då halten låg på 375 ppm. Konsekvenserna av detta skulle kunna vara att jordens medeltemperatur ökar med 1 till 5 ℃ och att havsytan stiger med 0,1 till 0,9 meter [28]. Detta skulle få förödande konsekvenser för stora delar av världens befolkning som lever vid havsnära städer.

Det finns olika metoder som kan tillämpas för att minska utsläppen av koldioxid. En sådan metod heter *Carbon Capture Storage* (CCS) och bygger på att gasen fångas in redan innan den når atmosfären. Statoil äger en plattform vid namn Sleipner T som tar upp naturgas från havsbotten i atlanten [29]. Denna naturgas innehåller en del koldioxid som på kemisk väg avlägsnas för att sedan pumpas tillbaka ungefär 800m ner i berggrunden. Koldioxiden kan pumpas ned i håligheter som tidigare innehållit olja eller naturgas, eller pumpas ned i porös berggrund. En miljon ton koldioxid har sedan 1996 pumpats ner i berggrunden under Sleipner. Mängden motsvarar 2 % av Sveriges totala koldioxidutsläpp. Detta hålrum skulle kunna rymma hela Europas totala koldioxidutsläpp i närmare 200 år. Världshaven innehåller stora mängder koldioxid och har en förmåga att ta upp mer koldioxid genom att gasen löser sig i vattnet. Dock är lagring av koldioxid i haven förknippat med en del risker. En av riskerna med detta är att havens pH-värde förändras och blir surare vilket inte är bra för växt- och djurriket i haven [30].

Som tidigare nämnts så är transportsektorn en bov i dramat. En tanke är därför att försöka tillämpa teknik och metoder som avskiljer koldioxid från avgaserna redan i bilarna. Tyvärr anses dagens teknik och metoder vara för dyra och klumpiga för att anpassas och monteras på bilar [30].

Många kraftbolag har under en tid satsat på CCS då det ses som ett bra och billigt sätt att minska klimatpåverkan genom minskade koldioxidutsläpp. Men utvecklingen av CCS är en kostsam process och innefattar stora projekt. Följden blir en sämre verkningsgrad i kraftverken och ett dyrare elpris per kWh. Även om tanken är god med CCS och det skulle ha en positiv inverkan på klimatet så finns det kritiska röster mot tekniken. CCS möjliggör fortsatt användning av fossila bränslen och skulle eventuellt stanna upp användningen av förnybara energislag. Människan skulle fortfarande vara fast i ett beroende som hon helt vill bort från. 2011 fattade tyska staten beslut som gjorde att flera CCS-projekt tillfälligt pausades. Detta påverkade bland annat en testanläggning som var planerad av Vattenfall i Tyskland [31].

1.4.3 Framtida utmaningar

Urbaniseringen är inte bara ett fenomen i Sverige. Ute i världen är urbaniseringen en stark trend. Majoriteten av den mänskliga befolkningen bor idag i städer istället för på landsbygden. Enligt uppskattningar som FN gjort så kommer minst 75 % av världens befolkning bo i städer från 2022. Detta samtidigt som befolkningen fortfarande ökar. FN räknar med att 5 % av jordens befolkning bor i någon av världens 21st megastäder, alltså städer med mer än 10 miljoner invånare. När ökad befolkning och ökad urbanisering går hand i hand så bidrar detta till en mer koncentrerad efterfrågan på resurser. Detta skapar problem då världens städer står för 80 % av människans koldioxidutsläpp. Men i dessa problem finns det stora möjligheter. För att hitta lösningarna krävs det en rad politiska beslut, innovationer och kreativitet [32].

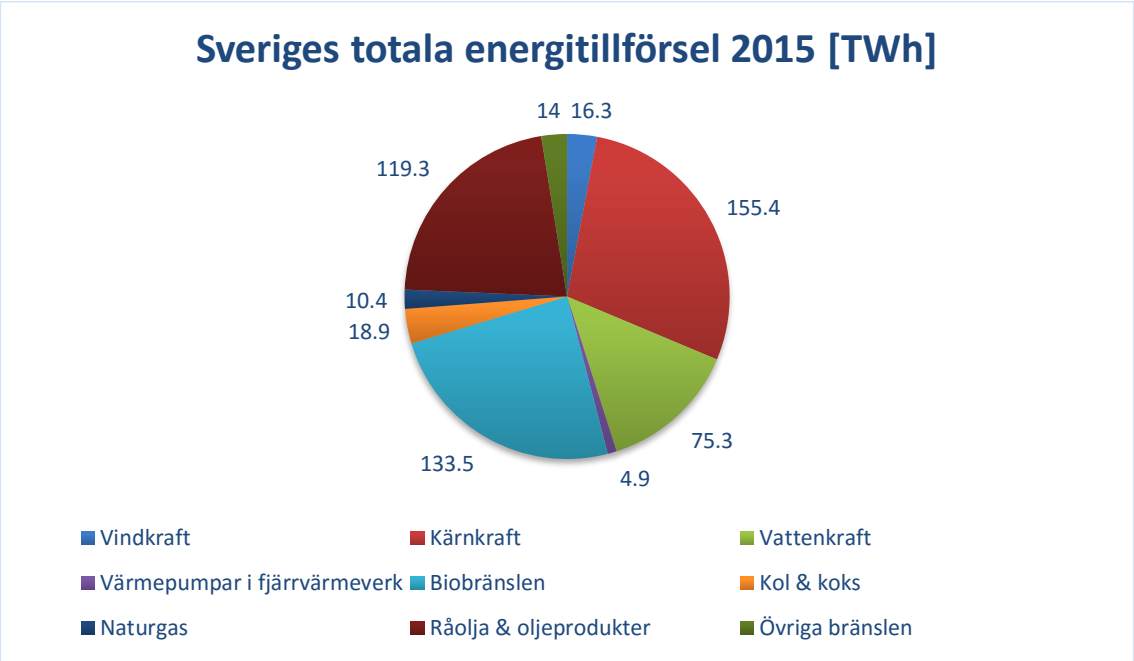
1.4.4 Svensk energiteknik

Den bakomliggande tanken med forskning kring energi- och klimatfrågor är att komma bort från beroendet av fossila bränslen. Detta för att skapa ett mer hållbart samhälle men också för att skapa bra förutsättningar för framtida generationer att leva vidare. Lyckas människan minska koldioxidutsläppen så skapar detta en god möjlighet för återhämtning av natur och klimat.

I Sverige har det under många år bedrivits framgångsrik forskning kring olika typer av energislag. Bl.a. har forskningen inom vindkraft lett till billigare och bättre generatorer. Pågående forskning bedrivs också inom vågkraft i Sverige, detta energislag spås en god framtid [33]. Forskningen inom energi och avfall är en intressant gren av förnybar energi. Även inom detta område gör Sverige framsteg. Enligt energimyndigheten producerades det 2015 hela 1947 GWh biogas från 282 anläggningar runt om i Sverige. Anläggningarnas utformning varierar i statistiken. Biogasen kan bland annat användas för värmeproduktion och elproduktion vilket är bättre än att använda fossila bränslen för samma ändamål. Sedan 2012 har flytande biogas producerats i landet och under 2015 uppgick denna mängd till 37 GWh där merparten av gasen användes inom transportsektorn [34]. Som tidigare nämnts står transportindustrin inför stora utmaningar och biogas kan vara en av lösningarna som krävs för att minska transporternas koldioxidutsläpp.

1.4.5 Sveriges energimix

Statistik från 2015 säger att Sveriges totala energitillförsel uppgick till 548 TWh [35] fördelat på 9 olika energislag. Den tillförda energin är uppdelad på vindkraft, kärnkraft, vattenkraft, värmepumpar i fjärrvärmeverk, biobränslen, kol och koks, naturgas, råolja och oljeprodukter och övriga bränslen. Figur 1 gör fördelningen tydlig. Dessa siffror är samtliga bruttotal då det är tillförd energi och inte använd energi.



Figur 1: Sveriges totala energitillförsel 2015. Energimyndigheten.

Energimixen i Sverige ser annorlunda ut idag jämfört med längre tillbaka i tiden. 1970 hade inte Sverige någon elproduktion från kärnkraften. Detta år så var den totala energitillförseln 457 TWh. Över de kommande 30 åren fram till 2010 så ökade energitillförseln med 30 %, från 457 TWh till 616 TWh. I den senare siffran så bidrar kärnkraften med 166 TWh vilken är den största förändringen sedan 1970. Samma statistik visar också på att Sverige minskade sin tillförsel av energi från råolja och oljeprodukter med 163 TWh, från 350 TWh till 187 TWh [36].

1.4.5.1 Förnybart och icke förnybart

De olika energislagen delas in i två olika klasser. Den ena är förnybara energislag och den andra är icke förnybara energislag. För att förtydliga följer nedan en förklaring kring vad dessa två typer innebär.

1.4.5.2 Icke förnybara energikällor

Icke förnybara energikällor är hämtat ur berggrunden och består av rester från biologiskt material. Växter och djur som levde för många miljoner år sedan hamnade efter sin död i syrefattiga miljöer. Detta gjorde att förmultning av materialet inte blev möjligt. Efter en lång tid under höga tryck och temperaturer långt in i jordens inre omvandlades materialet till bränslekällor som naturgas, olja och kol med högt energiinnehåll. Bergformationer och lager med kompakt packad lera ligger ovanför bränslekällorna och därför slipper de inte ut förrän människan når dem via sin utvinning. Nedbrytningen av dessa material sker hela tiden, och kommer att göra så i många miljoner år framöver. Problemet är att människan utvinner dessa material i högre utsträckning än nybildningstakten. Dessa energikällor innehåller farliga ämnen. Som tidigare nämnts har dessa ämnen en inverkan på klimatet vid användning och spridning. Därav är dessa inte förnybara energikällor [37].

1.4.5.3 Förnybara energikällor

Vad som är förnybara energikällor är inte alltid glasklart även om det finns en allmän uppfattning av vad det innebär. Energikällor som fortfarande flödar och inte påverkas av människans användning är ett exempel på vad som räknas som förnybart. Solfångare, solceller, vindkraft- och vattenkraftsanläggningar kan placeras ut på många platser i Sverige, men detta kommer inte att påverka själva energikällan. Solen kommer fortfarande att lysa med sina strålar, vinden kommer fortfarande att blåsa sina vindar och vattnet kommer fortfarande att rinna nedströms. Detta trots att människan ständigt utnyttjar energiinnehållet i dessa medier.

Biobränslen är ett samlingsnamn för en mängd olika bränslen med ett ickefossilt biologiskt ursprung [38]. Även biobränslen är förnyelsebara och exempel på sådana källor är energiskog, ved, majs och halm. Gemensamt för dessa källor är att förnyelsetakten är snabbare än förbrukningstakten. Torv är en omdiskuterad energikälla, alla är inte överens om det är en förnyelsebar källa eller inte då det tar en del tid för torven att bildas. Desamma gäller även för avfall, i vissa ögon ses det som en förnyelsebar energikälla och i andras ögon ses det inte som en förnyelsebar energikälla [39]. 2015 stod vatten- och vindkraft samt biobränslen för 225,1 TWh av Sveriges totala energitillförsel enligt Figur 1 tidigare i rapporten.

1.5 Lågenergihus

Mellan 1970- och 1990-talet ökade energianvändningen inte särskilt mycket inom bostadssektorn. Detta trots att befolkningen i Sverige ökade med en halv miljon invånare och många byggnader uppfördes som krävde uppvärmning. Varför inte energianvändningen ökade nämnvärt beror på effektiviseringar av värmesystemen. Under 70-talet byttes många oljepannor ut mot fjärrvärme. Det är mer effektivt att omvandla energi på en plats och distribuera ut till hemmen än att varje byggnad skulle ha sin egna värmeproduktion. Byggnaderna blev också hela tiden bättre ur energisynpunkt. Genom att förbättra den termiska prestandan så minskade den slutliga användningen.

Det finns byggnader som är konstruerade så att de har en bra energiprestanda. Dessa byggnader kallas för lågenergihus och innebär att husen har lägre energiförbrukning än vad den svenska byggnormen kräver. Boverkets byggregler, BBR, menar att nybyggda lågenergihus ska ha en energiförbrukning som är 50 % lägre än det normala kravet. Vid en ombyggnation av ett hus ska den befintliga energiförbrukningen minska med 50 % och samtidigt ha en energiförbrukning som minst är 40 % lägre än vad som är det normala kravet vid nybyggnationer. Alternativt ska ombyggnationen leda till en energiförbrukning som är hela 75 % mindre än standardkravet.
Det finns olika typer av lågenergihus som fungerar på olika sätt. Ett av dem är *Passivhus*. Tanken är att ingen extern energi ska tillföras huset för uppvärmning, utan all intern energi tas tillvara. Tillexempel så värms huset upp av interna laster och solinstrålning. En del av energin kommer tillbaka in i byggnaden via en effektiv återvinning i den mekaniska ventilationen. En annan typ av lågenergihus är *Nollenergihus.* Principen bygger på att lika mycket energi som byggnaden kräver skall den också generera. En tredje variant av lågenergihus är *Plusenergihus* som med hjälp av ett bra isolerat klimatskal samt solceller och solvärme blir mycket effektivt. Huset blir så effektivt att det gör av med mindre energi än vad det producerar. Således blir huset en ”elproducent” som levererar el ut på elnätet [40].

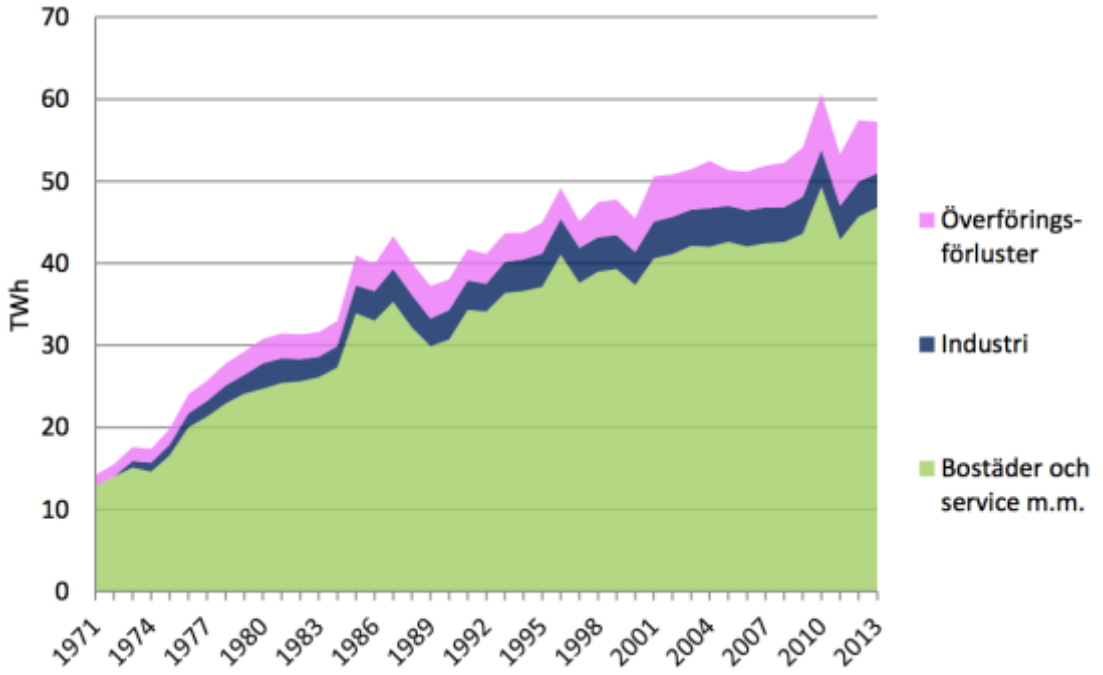
1.5.1 Fjärrvärme

Det vanligaste sättet att föra värme till byggnader idag är via ett fjärrvärmeverk där energin omvandlas för att sedan distribueras ut på ett fjärrvärmenät. Den här typen av uppvärmningssätt är den vanligaste i Sverige och har funnits i landet sedan 1950-talet. 2013 stod fjärrvärmen för 58 % av den totala energitillförseln till bostäder och lokaler. Den kraftvärmeproducerade fjärrvärmen har med åren ökat mer och mer sedan 2003 års nivåer. 30 % av fjärrvärmen bestod av kraftvärmeproducerad fjärrvärme 2003 för att 2015 inneha en andel om 40 %. Statistik från energimyndigheten säger att 1971 var den totala energileveransen från fjärrvärmen i storleksordningen 14 till 15 TWh och 2013 var siffran 56 till 57 TWh. Värdet inkluderar områdena industri, bostäder och service och överföringsförluster.

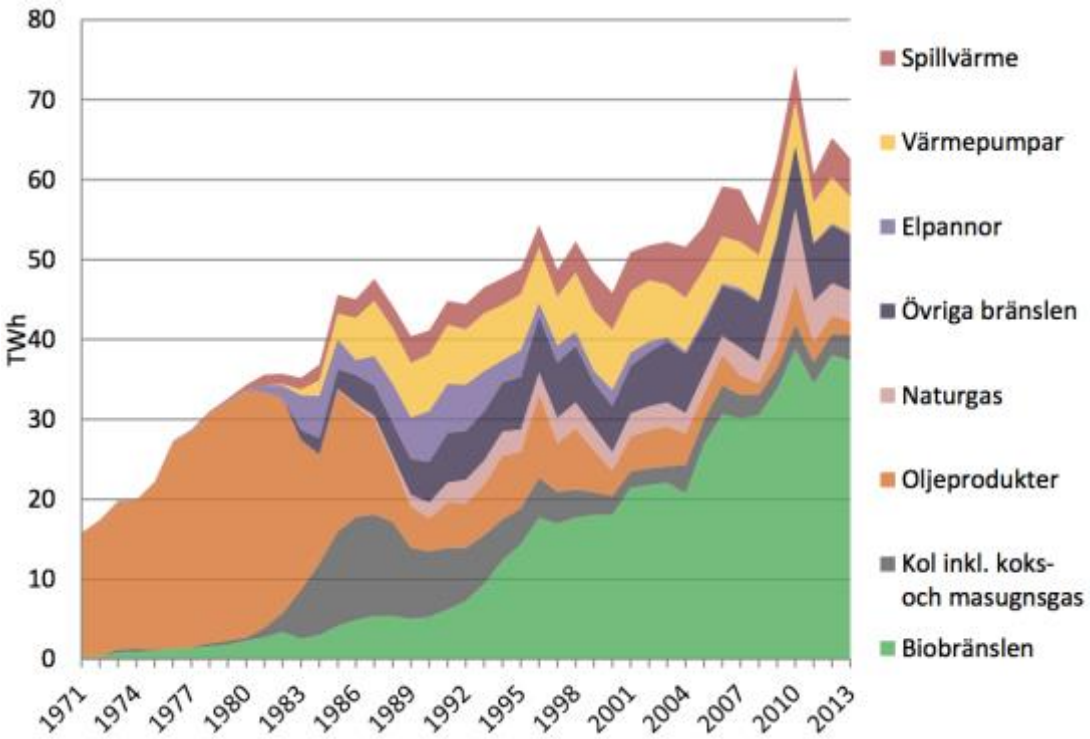
Förbättringar och effektiviseringar har gjorts för att minska de totala förlusterna inom fjärrvärmenätet. Mellan 1990 och 1999 så uppgick medelförlusterna i systemet till 17 % för att senare minska ner till 10 % mellan åren 2000 och 2009. 2013 var förlusterna 11 % av den totala levererade fjärrvärmen. Sedan 1971 har förlusterna ständigt ökat i antal terawattimmar, men i förhållande till totalen ständigt minskat [41]. Med andra ord så ger effektiviseringarna i verk och distributionssystem resultat.

1.5.2 Kraftvärme

När ett och samma verk producerar både el och värme så kallas det för ett kraftvärmeverk. Detta möjliggör en mycket högre verkningsgrad i verket då kraftvärme får ut både *värme* och *kraft* (elektricitet) i processen. Kraftvärme tar reda på mer energi ur bränslet än tillexempel kärnkraft. Under 1980-talet så började en utfasning av fossila bränslen vilket gjorde att nya bränslekällor fick ersätta de gamla. Kraftvärme klarar av att hantera flera olika sorters bränslen, och detta är till nytta för samhället. Bränslen som annars skulle ha gått förlorade kan istället förbrännas och energin kan istället användas. Exempel på några bränslen som går att använda i processen är avfall, spån och träflis [42]. Användning av avfall som bränsle har ökat sedan 2000-talet, och detta beror på att deponering av brännbart avfall förbjöds år 2002. Avfall utgör idag grunden i fjärrvärmeproduceringen i många svenska städer. En annan förändring sedan 1990-talet är att biobränslen används mer inom fjärrvärmen och har vuxit fram till den ensamt största bränsleposten. Biobränslen stod för 37 TWh av den tillförda energin inom fjärrvärmeproduktionen 2013 [43] och stod för 129 TWh inom hela totala tillförseln i Sverige samma år [44]. Figur 2 och Figur 3 som gör det hela tydligare.



Figur 2: Använd fjärrvärme 1971–2013. Energimyndigheten, Energiläget 2015.



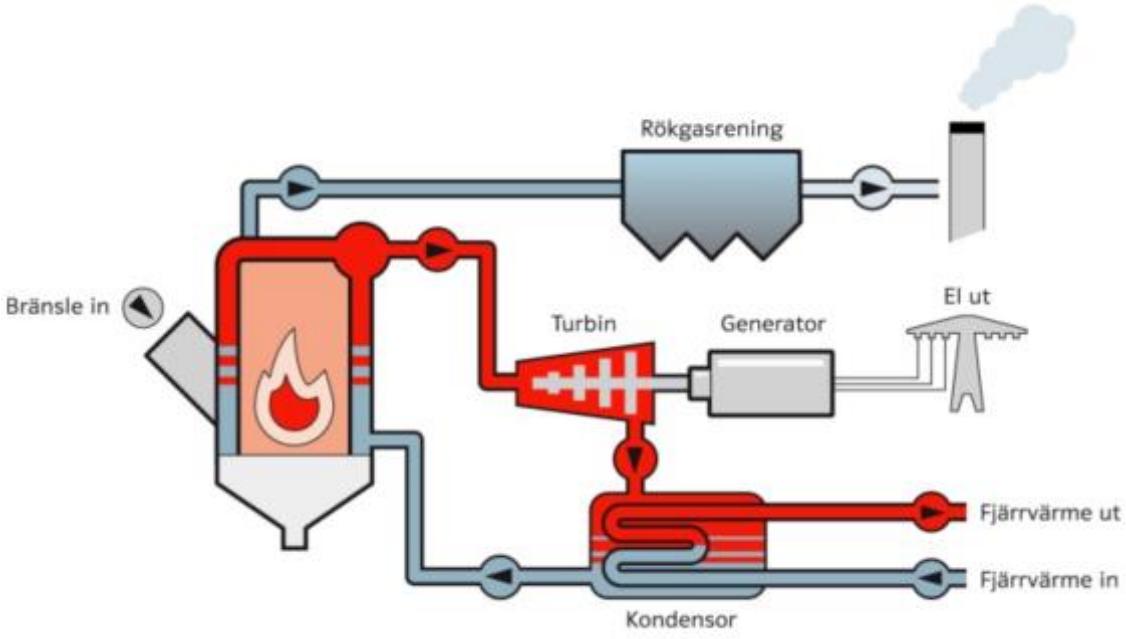
Figur 3: Tillförd energi för fjärrvärmeproduktion 1971–2013. Energimyndigheten, Energiläget 2015.

1.5.3 Så fungerar kraftvärmeproducerad fjärrvärme

Fjärrvärme bygger på att få vatten att koka upp i en panna och genomgå en fasomvandling till ånga. Ångan leds bort till en fjärrvärmeväxlare för att föra över sin värme till fjärrvärmenätet, detta är ett slutet vattensystem vilket går ut till stadens abonnenter. När ångan fört över sin värme till fjärrvärmenätet kondenserar denna till vatten och pumpas

sedan till ångpannan. Detta är grundprincipen. När det kommer till *Kraftvärme* så ser processen lite annorlunda ut.

Kraftvärme fungerar på samma sätt som tidigare beskrivits, dock läggs ytterligare två till tre komponenter till i processen, nämligen en *turbin* och en *generator*. Även *rökgaskondensering* förekommer i vissa kraftvärmeverk. Bränslet matas in och förbränns i förbränningskammaren som på insidan är klätt med rör som är fyllda med vatten. Vattnet i dessa rör är inkommande kallt vatten från fjärrvärmereturen som i sin tur värms upp och förångas inne i pannan. Ångan förs under högt tryck genom en turbin som i sin tur roterar med en hög hastighet. Turbinens axel är kopplad till en elgenerator som i sin tur genererar elektricitet som skickas ut på elnätet. Ångan som passerar turbinen har nu lägre tryck och temperatur än tidigare och leds nu till en *kondensor* eller fjärrvärmeväxlare. I denna så kondenserar ångan tillbaka till flytande form och har då i sin tur avgett sin värme till vattnet i fjärrvärmenätet som sedan pumpas ut till samhället. Framledningstemperaturen vid kraftverket håller vanligtvis runt 75℃ till 120℃ beroende på tillfälligt värmebehov [45]. Kondensatet pumpas från kondensorn vidare in till pannan där hela processen börjar om igen. I vissa kraftvärmeverk så finns det rökgaskondensering, om så är fallet så passerar kondensatet först en anordning som låter den utgående rökgasen avge sin värme till kondensatet innan det åter förs in till pannan. Detta gör att det inkommande vattnet till pannan inte behöver värmas upp lika mycket och därmed ökar den totala verkningsgraden för hela kraftvärmeverket. En annan fördel som rökgaskondensering har är att den utgående rökgasen rensas från föroreningar. Figur 4 förtydligar processen.



Figur 4: Principskiss för ett kraftvärmeverk. Bilden är tagen från www.vänerenergi.se.

1.5.4 Ett fjärrvärmesystems uppbyggnad från verk till abonnent

Fjärrvärmesystemet består av tre stycken huvuddelar. Den första är fjärrvärmeverket som beskrivits ovan. Den andra är fjärrvärmenätet eller distributionssystemet, och det tredje och sista består av en fjärrvärmecentral eller undercentral som finns i varje enskild byggnad som är kopplad till distributionsnätet. Likt den som är placerad i Bogårdens källare. Vattnet som cirkulerar mellan värmeverket och abonnentcentralerna kallas för *primärvatten* och ligger på *primärsidan* av en byggnads undercentral. Varje undercentral

består av minst två stycken värmeväxlare. En för värmesystemet, alltså *sekundärsidan*, vari *sekundärvatten* flödar. Den andra växlaren är till för tappvarmvattenberedning.

Varför sekundär- och primärsida skiljs åt är dels för att läckage i byggnadens system skulle riskera att dränera distributionssystemet på vatten. Men också för att fjärrvärmenätets vatten håller ett högre tryck och temperatur än på primärsidan. Skulle då systemen varit sammankopplade skulle det leda till ett mycket dyrare värmesystem i byggnader som är kopplade till fjärrvärmenätet. Uppdelningen av primär- och sekundärsida ger också fjärrvärmeverket en större kontroll över primärvattnet så att detta inte syresätts eller förorenas. [46].

När primärvattnet avgett sin värme i växlaren för radiatorsystemet så för sekundärvattnet värmen vidare ut i byggnaden. Värmen avges i rum som har värmebehov, via radiatorer eller andra anordningar som avger värme. När sekundärvattnet gått igenom hela systemet så kommer det att hålla en lägre temperatur, men passerar en växlare inför nästa varv och blir återigen varmt. En del av primärvattnet går mot en växlare för tappvarmvattenberedning. Det fungerar så att kallvatten kommer in i byggnaden från vattensystemet i gatan för att passera tappvarmvattenväxlaren där den värms upp utav primärvattnet och går sedan ut till byggnadens tappställen. Detta system kallas för ett enstegskopplat system och är den enklaste varianten av kopplingar. Denna variant används som vanligast i mindre hus och byggnader där det inte är meningsfullt att använda en mer komplicerad kopplingsprincip. De andra mer komplicerade kopplingsprinciperna kallas för två- och trestegskopplingar [47]. De olika kopplingsprinciperna kan effektiviseras på olika sätt för att minska behovet av fjärrvärmen och istället ta energin från omgivningen.

1.6 Inomhusklimat och termisk komfort

Det som påverkar energianvändningen i en byggnad är i allra högsta grad de som vistas i den. Oavsett om byggnadens termiska egenskaper ses som bra eller dåliga, så kommer alltid den termiska komforten att avgöras som bra eller dålig av ockupanterna i byggnaden. När en person upplever att den termiska komforten är otillräcklig så justeras vanligtvis värmetillförseln via radiatorsystemet eller via ventilationen. Antingen höjes värmen via reglage, vilket ger en högre energiförbrukning. Eller så sänkes värmen via reglage vilket leder till en minskad energiförbrukning. Det finns ingen fast temperatur eller fasta omständigheter under vilka alla ockupanter är nöjda med den termiska komforten. Detta beror på att alla människor är olika och upplever temperatur på olika sätt. Vad påverkar då människors upplevda inomhusklimat i en byggnad? Mer om detta i kapitlet som följer.

1.6.1 Komfortparametrar

Den viktigaste funktionen som VVS-installationer har är att få människor i byggnader att må bra. Av den anledningen är det därför viktigt att installationer i byggnader fungerar bra då människor idag vistas ungefär 85 % av sin tid inomhus [48]. Människors välmående påverkas av flera samverkande parametrar eller *komfortparametrar*, som tillsammans utgör termen *inomhusklimat*. Ett bra inomhusklimat innefattar inte bara en god termisk komfort. Ett bra inomhusklimat tar hänsyn till hygieniska och ljus- och ljudmässiga parametrar.

1.6.2 Termisk komfort

Termisk komfort inträffar när en ockupant i ett rum i en byggnad upplever att temperaturen är precis så bra som den kan bli. Alltså att temperaturen varken behöver sänkas eller höjas för att hitta en nivå där personen i fråga känner behag och inte obehag. Hur en person upplever det termiska klimatet beror på *de sex klassiska inneklimatparametrarna*. Två av dessa sex är individuella och är olika från person till person. Dessa två är klädsel och aktivitetsnivå. Klädseln spelar stor roll då en person har låg isolerförmåga om denne bara har kalsonger och t-shirt på sig medan en person med vinterjacka och flera lager med kläder på kroppen kommer att erhålla en hög isolerförmåga. Aktivitetsnivå är den andra personliga parametern och syftar till hur mycket en person rör på sig. Befinner sig personen sittande i ett lugnt kontorslandskap och har en låg aktivitetsnivå, eller är personen på ett gym och tränar och får således en hög aktivitetsnivå? En person som sover avger ungefär 85 W. Detta kan jämföras med en person som löptränar. Under löpträning så kan en människa avge så mycket som 740 W. Därför blir dessa parametrar relevanta när det kommer till hur rummets temperatur upplevs. De fyra andra parametrarna tar hänsyn till luftens temperatur och hastighet, omgivande ytors temperatur och luftens fuktighet. Om VVS-installationerna klarar av att hantera samtliga parametrar så finns det goda möjligheter att boende i en byggnad kommer att må bra under sin vistelse däri [49].

1.6.3 Ventilation

Ett effektivt sätt att styra inomhusklimatet är med hjälp av ventilationen. Huvudfunktionerna som ett ventilationssystem har är att föra bort emissioner i luften som kommer från människor och byggnads- och inredningsmaterial och ersätta denna med ny frisk luft. Ventilationen ska också skapa ett undertryck i byggnaden och ”suga in” luft genom otätheter i byggnadsskalet istället för att ”trycka ut” luften genom otätheterna. På detta sätt elimineras risken att varm luft trycks igenom klimatskalet, kondenserar och skapar fukt- och mögelproblem i ytterväggarna. Ett ventilationssystem kan även användas för att värma och/eller kyla delar av en byggnad och därför blir det viktigt att alla föroreningar kan föras bort från byggnaden utan att det blir drag eller för stora temperaturskillnader vilket skulle försämra inneklimatet.

Samtliga ventilationssystem är uppbyggda med fyra grundläggande delsystem. Dessa är: ett *rumssystem* med till- och frånluftsdon utplacerade i rummen, ett *distributionssystem* som levererar luften via kanaler till rummen, ett *luftbehandlingsaggregat* som i sin enklaste form kan bestå av endast en fläkt, men det är inte ovanligt att det även innehåller värme- och kylbatterier samt filter och återvinnare och *ett system som styr och reglerar temperaturer, luftflöden och tryck*. Det finns en stor mängd teknik och utformningar på samtliga delsystem, detta gör att ventilationssystem kan anpassas efter olika typer av behov och krav [50].

1.6.4 Ventilationstyper

Rent principiellt behöver alla byggnader ett ventilationssystem för att klara av de krav som ställs på inomhusklimat och luftkvalitet. I Sverige förekommer normalt tre stycken huvudtyper, dessa ventilationstyper heter: Självdrag, även kallat *S-system*, Frånluft, eller

F-system och Till- och frånluft med värmeåtervinning som vanligtvis kallas för *FTX-system*. Samtliga av dessa ventilationssystem varierar i sina utföranden.

1.6.5 Självdragsventilation med komplettering

Självdrag är idag inte vanligt vid nyproduktion av byggnader. Men självdragssystem var vanligt i bostäder som konstruerades före 1970. Denna ventilationstyp bygger på att låta de termiska krafterna driva systemet vilket gör driften helt kostnadsfri. Ingen el behövs för att driva systemet eftersom det inte finns någon installerad fläkt som kräver el. Dock finns det heller inte någon återvinning i denna typ av ventilation, så ur energisynpunkt är detta ett krävande system. När den inkommande luften värms upp av interna värmelaster så skapas en densitetskillnad mellan inne- och uteluft. Detta gör att den varma luften med lägre densitet sedan stiger genom ventilationskanalerna ut från byggnaden. Ny luft passerar in genom tilluftsdon och otätheter i byggnadsskalet och ersätter den gamla luften. Under vintertid när temperaturskillnaderna normalt sett är stora mellan ute- och inomhusluften så finns det risk för överventilering. Motsatsen gäller för sommartid då det är små temperaturskillnader mellan inne- och uteluft. Under dessa förhållanden skapas det inga stora skillnader i densitet som gör att luften rör sig, vilket leder till underventilering.

Det går att komplettera ett självdragssystem med en fläkt, i detta fall så kallas det för fläktförstärkt självdrag, eller *FFS-system*. Denna vidareutveckling av självdragssystemet gör det möjligt att kontrollera luftflödet genom byggnaden under sommartid så att risken för underventilering minimeras [51].

1.6.6 Frånluftsventilation

Denna ventilationstyp kallas för F-system och bygger på att en fläkt suger ut luften ur byggnaden likt ett FFS-system. Fläkten gör det möjligt att justera luftflödet efter behov och skapar ett stabilt undertryck i byggnaden. Den stora skillnaden är den att i ett F-system så sugs all luft till en gemensam stamkanal som leder fram till frånluftsfläkten istället för att luften, som i ett FFS-system, leds till fläkten genom separata kanaler från varje rum. Den här sortens ventilationsteknik kräver mer utrymme i byggnaden än ett självdragssystem men har en fördel i att det finns möjlighet att komplettera systemet med värmeåtervinning. I det fall en frånluftsvärmepump installeras kan energi sparas då värme tas från frånluften och förs via en köldbärare till en värmepump. Via värmepumpen kan värmen distribueras till tappvarmvattensystem och/eller radiatorsystemet i en byggnad [52].

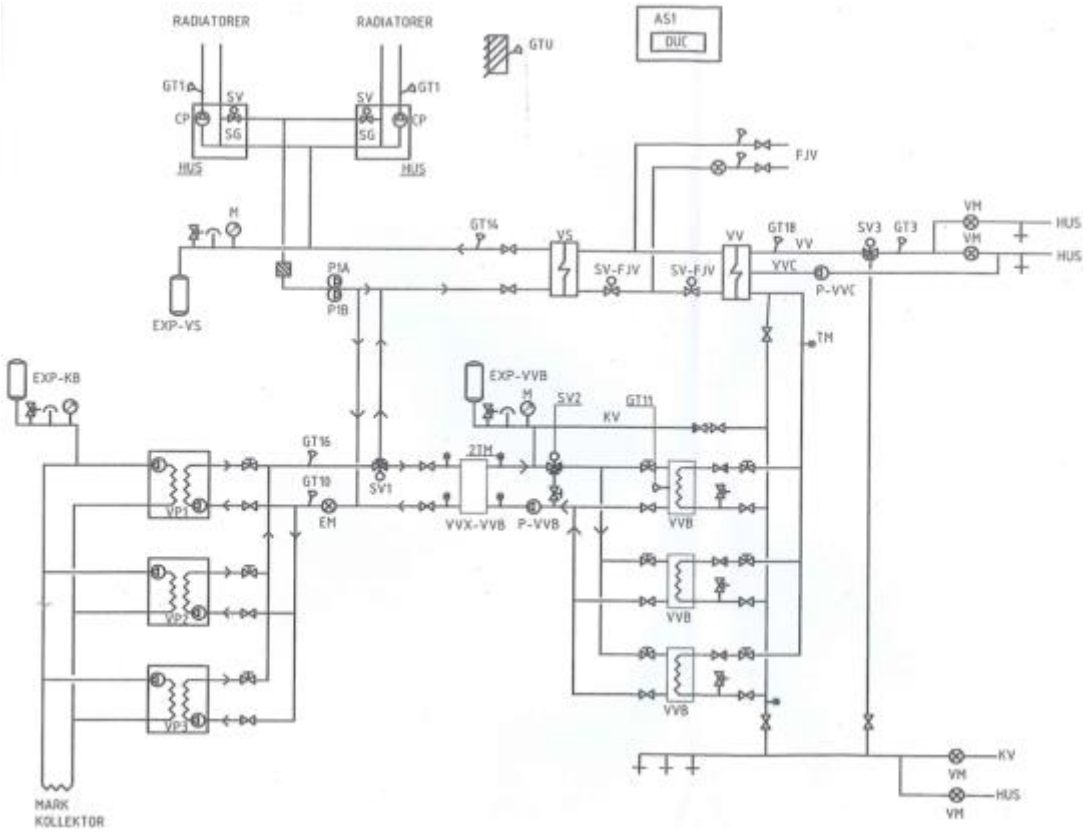
1.6.7 FTX-system

Detta system är det vanligaste ventilationssystemet inom lokalbyggnader såsom kontor, skolor, varuhus och sjukhus. Aggregatet innehåller till- och frånluftsfläktar, filter, kylare och värmare. I aggregatet så passerar både till- och frånluft, detta gör att värmen kan tas tillvara genom en växlare. Räcker inte värmen i frånluften till så kan ett värmebatteri leverera resterande värme till önskad tilluftstemperatur. Behöver tilluften kylas så kliver ett kylbatteri in och kyler inkommande luft till önskad temperatur.

Då aggregatet innehåller både till- och frånluftsfläktar så kräver systemet två separata kanalsystem, ett för tilluft och ett för frånluft. Detta kanalsystem tar mer plats än kanaler hos andra ventilationstyper, men gör det möjligt att kontrollera luftföringen i varje rum och vid rätt injustering säkerställer ett bra och dragfritt inomhusklimat [53].

1.7 Bogårdens undercentral

En nyprojektering av Bogårdens undercentral gjordes av SWECO 2012 och bygges därefter om och ser idag annorlunda ut än tidigare. Nedan följer ett kopplingsschema taget från undercentralens driftkort.



Figur 5: Kopplingsschema över Bogårdens undercentral.

Denna undercentral är mer komplicerad än en en-, två-, eller trestegskopplad central. Grundidén med denna abonnentcentral är att dra nytta av värmen i frånluften* via tre stycken värmepumpar (VP1, VP2, VP3) som är av typen *Fighter 1320 – 30* och är konstruerade av NIBE. Som tidigare nämnts så är det samma värmepumpar som står där idag som var installerade innan ombyggnationen. Dessa värmepumpar är sekvensstyrda efter det aktuella värmebehovet och deras syfte är att ladda tre stycken ackumulatortankar (VVB) med värme när temperaturen i dessa understiger 45℃. När temperaturen i VVB är över 47℃ regleras värmen från VP1-VP3 istället till sekundärsidan för att avge värme mot radiatorkretsen via en värmeväxlare. Köldmediet som är i VP-kretsen är R407c. Driftkortet i sin helhet bifogas i kapitel *Bilagor* i rapporten. Detta system säkerställer att Bogården inte behöver täcka hela sitt energibehov med fjärrvärme. I detta fall så kommer bara fjärrvärmen in för att ”spetsa” temperaturerna till sina börvärden i radiatorkretsen och till tappvarmvattnet innan det går ut på sina respektive nät.

* Det står fel o relationshandlingen. Markkollektor är egentligen frånluftsvärme.

2. Metod

2.1 Litteratur

Detta arbete skrevs med hjälp av en mängd böcker med energi som sitt huvudområde. Många av de hade tidigare använts under utbildningen och tolkades därför som säkra källor med relevans för den utförda studien. Dessa böcker användes för att på ett så korrekt sätt som möjligt beskriva energi ur en allmän synpunkt och för att beskriva olika former av energiteknik och dess funktioner.

Ett av grundkraven för att denna uppsats skulle få ett godkännande var att den skulle innehålla minst fem stycken vetenskapliga artiklar. Dessa var samtliga tagna från sciencedirect och var peer-viewed, vilket innebar att artiklarna hade genomgåtts en sakkunnig granskning av forskare inom det aktuella området. Eftersom dessa artiklar är granskade av forskare så har de en hög validitet. Dock så granskades artiklarna innan beslut togs om de skulle användas i denna uppsats, detta för att säkerställa att journalartiklarna passade in i sammanhanget och att de kunde bidra till en mer komplett uppsats.

2.2 Observationer hos Brf. Bogården

Flertalet besök gjordes hos Bogården och till dess undercentral. Under dessa besök så gjordes ett antal noteringar som var viktiga för att kunna genomföra jämförelsen mellan den gamla och den nya anläggningen. Följande noteringar gjordes vid besöken och går att läsa nedan:

- Datum och tid.
- Mätarställning på inkommande kallvatten. I undercentralen satt det tre stycken mindre flödesmätare placerade på samma kallvattenledning. På mätarna fanns det en siffra i större typsnitt som angav antalet förbrukade kubikmeter kallvatten samt en siffra i mindre typsnitt som angav hur många liter kallvatten som passerat mätaren sedan den senaste passerade kubikmetern kallvatten. Se bild på kallvattenmätaren i *Bilagor*.
- Temperaturgivare GT16's mätvärde noterades. Denna skulle alltid hålla 50℃.
- Antalet värmepumpar som brukades. På värmepumparnas displayer avlästes om de var i bruk eller inte. Eventuella pump-larm noterades.
- Fjärrvärmeförbrukning. Avlästes från en mätbox placerad vid fjärrvärmetilloppet i undercentralen.
  Följande punkter avlästes från displayen på undercentralens huvuddator:
- Utetemperatur.
- Värmeförbrukning.
- Elenergi.
- Anläggningens verkningsgrad.

Vid ett av observationstillfällena så genomfördes temperaturmätningar på utsidan av ledningar i undercentralen. Detta för att kontrollera att reglering och styrning av anläggningen gick till på rätt sätt. Mätningarna gjordes med hjälp av en SwemaTemp 20 som placerades mot utvalda ledningar för att mäta temperaturen.

2.3 Stickprov för reglerkurvor

Vid vissa av besöken gjordes även ett stickprov för att undersöka om tilloppstemperaturen var enligt undercentralens reglerkurvor. Detta gjordes genom att läsa av och notera temperaturgivarna på shuntgrupperna för värmekretsen i undercentralen. För att kunna konstruera ett diagram för reglergrafen så behövdes referenspunkterna för vilka centralen styrdes efter. Värmesystemet reglerades efter två olika grafer, en för den gamla byggnadsdelen och en för den nya byggnadsdelen. Referenspunkterna för dessa reglergrafer lästes av via displayen på huvuddatorn i undercentralen. Vid beräkningen användes endast en graf då grafen för den nya och den gamla byggnadsdelen är så lika att skillnaden är försumbar. Graferna som användes för beräkningen var de för den nya delen av huset. Tillopps- och returkurvan kunde beskrivas med $y = kx + m$ för att enkelt kunna beräkna de teoretiska temperaturerna. Egentligen är kurvorna logaritmiska men för enkelhetens skull användes linjära grafer. Felmarginalen är så liten att den är försumbar. I resultatdelen följer en grafisk lösning och en algebraisk lösning för temperaturerna som noterades vid observationstillfälle 7, 10, 11 och 12. Värmesystemet var konstruerat på sådant sätt att vid en utetemperatur på 20℃ skulle framledningstemperaturen i systemet alltid vara 20℃ i både ny och gammal byggnadsdel.

2.3.1 Beräkning för kurvorna

Beräkningarna gäller för funktionerna i *Figur 7* i rapporten och dessa användes senare för att få fram fram- och returtemperaturerna vid en given utetemperatur.

$$y = kx + m$$

Formel 1: Formel för funktionerna.

Lösning för framledningstemperatur:

$m = 67$

$$k = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{20 - 67}{40 - 0} = -1{,}175$$

$$\rightarrow y = -1{,}175x + 45$$

Lösning för Returtemperatur:

$m = 45$

$$k = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{20 - 45}{40 - 0} = -0{,}625$$

$$\rightarrow y = -0{,}625x + 45$$

2.4 Den gamla rapporten

För att kunna genomföra jämförelsen mellan den nya undercentralen mot den gamla så krävdes äldre förbrukningsuppgifter. Dessa togs från en gammal rapport vid namn ”Samkörning mellan värmepumpar och fjärrvärme - *Bostadsrättsföreningen Bogården*” skriven av Zidar Sadik. Uppgifterna från rapporten antogs som riktiga då uppsatsen är godkänd sedan 2008. Informationen i denna rapport jämfördes med förbrukningsuppgifter för den nya undercentralen.

2.5 Förbrukningsuppgifter från Riksbyggen

En del av jämförelsen krävde förbrukningsinformation för den nya undercentralen. Informationen tillhandahölls utav Riksbyggen som stod för drift och underhåll av centralen. Förbrukningsinformationen sträckte sig tre år bakåt i tiden och användes som underlag i beräkningarna. Den inkommande kallvattenmängden delades med tre, detta för att en tredjedel beräknades att gå till varmvattenberedning. Detta var ett erfarenhetsvärde som var vanligt förekommande i dessa sammanhang.

2.6 Beräkningar för tappvarmvatten

Ekvationen som användes för att få fram hur mycket energi som gick åt för att bereda varmvattnet såg ut som följande:

$$E = \frac{c_P \times q \times \Delta T}{3600} \left[{}^{MWh}/_{\text{år}} \right]$$

Formel 2: Energi för tappvarmvatten.

där:

$C_P = Vattnes\ specifika\ värmekapacitet\ [{}^{J}/_{kg \times K}]$

$q = Kallvattenflödet [{}^{m^3}/_{\text{år}}]$

$\Delta T = temperaturskillnad\ [36°C]*$

2.7 Driftkort och styr- och reglerförklaringar

Ett driftkort för undercentralen användes för att kunna överblicka och förstå hur undercentralen fungerade och reglerades. Driftkortet och observationstillfällena användes i kombination för att upptäcka eventuella reglerfel i anläggningen. Driftkortet som användes i studien följer i *Bilagor*.

2.8 Uppsatsens reproducerbarhet

Denna rapport har ett mått av reproducerbarhet då det är fullt möjligt att använda sig av samma metod som i denna uppsats. Viktigt att tänka på är dock att resultaten kommer att

* Inkommande kallvatten antas värmas upp från $10°C$ till $46°C$.

skilja sig åt eftersom de två undercentralerna som ingår i denna uppsats ser ut och regleras just som de gör. Abonnentcentraler anpassas efter varje byggnads enskilda behov och därför kommer en annan framtida studies resultat att skilja sig från de resultat och upptäckter som görs i denna rapport. En annan faktor som spelar roll är också vart i landet eller i världen en annan studie genomförs då utetemperaturer och klimat kan skilja från hur det ser ut just i Sverige och i Gävle där denna studie är genomförd.

3. Resultat

3.1 Observationsnoteringar

Noteringarna som gjordes under observationerna i Brf. Bogården följer nedan. Observera att fjärrvärmeförbrukning samt anläggningens elförbrukning inte noterades under observation 1.

3.1.1 Värmeförbrukning 2017

Tabell 3: Värmeförbrukning sedan årsskiftet 16–17.

Månad	Värmeförbrukning [kWh]	COP-värde
Januari	5700	3,65
Februari	5890	3,57
Mars	5560	3,68

3.1.2 Anläggningens förbrukade elenergi

Tabell 4: Anläggningens elförbrukning sedan årsskiftet 16–17.

Månad	Elförbrukning [kWh]
Januari	15 597
Februari	16 506
Mars	15 096

3.1.3 Besöksnoteringar

3.1.3.1 Observation 1

Besökstid: 21: a april kl. 00:00
Utetemperatur: 5,7℃
Status för värmepumpar: Endast en värmepump i bruk. Låg KB-larm och Summalarm på de två andra.

Tabell 5: Kallvattenförbrukning observation 1.

Mätare	Förbrukat antal m^3	Förbrukat antal liter
1	4866	953
2	4136	740
3	4005	908
Totalt	13007	2601

Tabell 6: Mätarställning för värmeförbrukning och aktuellt COP-värde observation 1.

Mätarställning [kWh]	COP-värde
2290	389

3.1.3.2 Observation 2

Besökstid: 24:e april kl. 23:20
Utetemperatur: 3,9℃
Status för värmepumpar: Endast en värmepump i bruk. Låg KB-larm och Summalarm på de två andra.

Tabell 7: Kallvattenförbrukning observation 2.

Mätare	Förbrukat antal m^3	Förbrukat antal liter
1	4907	466
2	4171	799
3	4040	165
Totalt	13118	1430

Tabell 8: Mätarställning för värmeförbrukning och aktuellt COP-värde observation 2.

Mätarställning [kWh]	Verkningsgrad [%]
2600	389

Tabell 9: Anläggningens elförbrukning observation 2.

Mätarställning [kWh]
6679

Tabell 10: Förbrukad fjärrvärme observation 2.

Mätarställning [MWh]
826,73

3.1.3.3 Observation 3

Besökstid: 25:e april kl. 23:00
Utetemperatur: 2,8℃
Status för värmepumpar: Endast en värmepump i bruk. Låg KB-larm och Summalarm på de två andra.

Tabell 11: Kallvattenförbrukning observation 3.

Mätare	Förbrukat antal m^3	Förbrukat antal liter
1	4918	728
2	4181	380
3	4049	496
Totalt	13148	1604

Tabell 12: Mätarställning för värmeförbrukning och aktuellt COP-värde observation 3.

Mätarställning [kWh]	COP-värde
2700	3,89

Tabell 13: Anläggningens elförbrukning observation 3.

Mätarställning [kWh]
6943

Tabell 14: Förbrukad fjärrvärme observation 3.

Mätarställning [MWh]
831,54

3.1.3.4 Observation 4

Besökstid: 26:e april kl. 22:13
Utetemperatur: 3,5℃
Status för värmepumpar: Endast en värmepump i bruk. Låg KB-larm och Summalarm på de två andra.

Tabell 15: Kallvattenförbrukning observation 4.

Mätare	Förbrukat antal m^3	Förbrukat antal liter
1	4929	945
2	4190	956
3	4058	828
Totalt	13177	2729

Tabell 16: Mätarställning för värmeförbrukning och aktuellt COP-värde observation 4.

Mätarställning [kWh]	COP-värde
2800	3,89

Tabell 17: Anläggningens elförbrukning observation 4.

Mätarställning [kWh]
7202

Tabell 18: Förbrukad fjärrvärme observation 4.

Mätarställning [MWh]
836,19

3.1.3.5 Observation 5

Besökstid: 30:e april kl. 22:19
Utetemperatur: 7,4℃
Status för värmepumpar: Endast en värmepump i bruk. Låg KB-larm och Summalarm på de två andra.

Tabell 19: Kallvattenförbrukning observation 5.

Mätare	Förbrukat antal m^3	Förbrukat antal liter
1	4981	002
2	4234	714
3	4101	383
Totalt	13316	1099

Tabell 20: Mätarställning för värmeförbrukning och aktuellt COP-värde observation 5.

Mätarställning [kWh]	COP-värde	Övrig notering
3220	3,89	April stannade på 3230 kWh.

Tabell 21: Anläggningens elförbrukning observation 5.

Mätarställning [kWh]	Övrig notering
8271	April stannade på 8288 kWh.

Tabell 22: Förbrukad fjärrvärme observation 5.

Mätarställning [MWh]
854,89

3.1.3.6 Observation 6

Besökstid: 1: a maj kl. 21:28
Utetemperatur: 9,2℃
Status för värmepumpar: Endast en värmepump i bruk. Låg KB-larm och Summalarm på de två andra.

Tabell 23: Kallvattenförbrukning observation 6.

Mätare	Förbrukat antal m^3	Förbrukat antal liter
1	4993	972
2	4245	791
3	4112	121
Totalt	13350	1884

Tabell 24: Mätarställning för värmeförbrukning och aktuellt COP-värde observation 6.

Mätarställning [kWh]	COP-värde
80	3,90

Tabell 25: Anläggningens elförbrukning observation 6.

Mätarställning [kWh]
217

Tabell 26: Förbrukad fjärrvärme observation 6.

Mätarställning [MWh]
858,08

3.1.3.7 Observation 7

Besökstid: 2: a maj kl. 22:30
Utetemperatur: 6,8℃
Status för värmepumpar: Endast en värmepump i bruk. Låg KB-larm och Summalarm på de två andra.

Tabell 27: Kallvattenförbrukning observation 7.

Mätare	Förbrukat antal m^3	Förbrukat antal liter
1	5006	063
2	4256	048
3	4122	061
Totalt	13384	172

Tabell 28: Mätarställning för värmeförbrukning och aktuellt COP-värde observation 7.

Mätarställning [kWh]	COP-värde
190	4,03

Tabell 29: Anläggningens elförbrukning observation 7.

Mätarställning [kWh]
472

Tabell 30: Förbrukad fjärrvärme observation 7.

Mätarställning [MWh]
861,18

3.1.3.8 Observation 8

Besökstid: 3:e maj kl. 23:34
Utetemperatur: 4,5℃
Status för värmepumpar: Endast en värmepump i bruk. Låg KB-larm och Summalarm på de två andra.

Tabell 31: Kallvattenförbrukning observation 8.

Mätare	Förbrukat antal m^3	Förbrukat antal liter
1	5018	130
2	4266	329
3	4132	068
Totalt	13416	527

Tabell 32: Mätarställning för värmeförbrukning och aktuellt COP-värde observation 8.

Mätarställning [kWh]	COP-värde
300	3,99

Tabell 33: Anläggningens elförbrukning observation 8.

Mätarställning [kWh]
751

Tabell 34: Förbrukad fjärrvärme observation 8.

Mätarställning [MWh]
864,98

3.1.3.9 Observation 9

Besökstid: 4:e maj kl. 15:25
Utetemperatur: 9,1℃
Status för värmepumpar: Endast en värmepump i bruk. Låg KB-larm och Summalarm på de två andra.

Tabell 35: Kallvattenförbrukning observation 9.

Mätare	Förbrukat antal m^3	Förbrukat antal liter
1	5025	594
2	4271	744
3	4137	313
Totalt	13433	1651

Tabell 36: Mätarställning för värmeförbrukning och aktuellt COP-värde observation 9.

Mätarställning [kWh]	COP-värde
370	3,99

Tabell 37: Anläggningens elförbrukning observation 9.

Mätarställning [kWh]
926

Tabell 38: Förbrukad fjärrvärme observation 9.

Mätarställning [MWh]
867,79

3.1.3.10 Observation 10

Besökstid: 5:e maj kl. 15:30
Utetemperatur: 20,1℃
Status för värmepumpar: VP1 visar *Ext. Block* på sin display, VP2 skiftar mellan *summalarm* och *LP-larm* och VP3 skiftar mellan *Låg KB-larm* och *MS-larm*.

Tabell 39: Kallvattenförbrukning observation 10.

Mätare	Förbrukat antal m^3	Förbrukat antal liter
1	5037	512
2	4283	006
3	4148	051
Totalt	13468	569

Tabell 40: Mätarställning för värmeförbrukning och aktuellt COP-värde observation 10.

Mätarställning [kWh]	COP-värde
460	3,96

Tabell 41: Anläggningens elförbrukning observation 10.

Mätarställning [kWh]
1161

Tabell 42: Förbrukad fjärrvärme observation 10.

Mätarställning [MWh]
870,71

3.1.3.11 Observation 11

Besökstid: 6:e maj kl. 14:34
Utetemperatur: 12,5℃
Status för värmepumpar: VP1 visar *Ext. Block* på sin display. VP2 visar *summalarm* och VP3 skiftar mellan *Låg KB-larm* och *MS-larm*.

Tabell 43: Kallvattenförbrukning observation 11.

Mätare	Förbrukat antal m^3	Förbrukat antal liter
1	5050	271
2	4293	644
3	4158	619
Totalt	13501	1534

Tabell 44: Mätarställning för värmeförbrukning och aktuellt COP-värde observation 11.

Mätarställning [kWh]	COP-värde
540	4,0

Tabell 45: Anläggningens elförbrukning observation 11.

Mätarställning [kWh]
1349

Tabell 46: Förbrukad fjärrvärme observation 11.

Mätarställning [MWh]
872,21

3.1.3.12 Observation 12

Besökstid: 7:e maj kl. 14:25
Utetemperatur: 9,4℃
Status för värmepumpar: VP1 var i bruk, VP2 visar *summalarm* och VP3 skiftar mellan *summalarm* och *MS-larm*.

Tabell 47: Kallvattenförbrukning observation 12.

Mätare	Förbrukat antal m^3	Förbrukat antal liter
1	5062	079
2	4303	781
3	4168	463
Totalt	13533	1323

Tabell 48: Mätarställning för värmeförbrukning och aktuellt COP-värde observation 12.

Mätarställning [kWh]	COP-värde
640	3,96

Tabell 49: Anläggningens elförbrukning observation 12.

Mätarställning [kWh]
1615

Tabell 50: Förbrukad fjärrvärme observation 12.

Mätarställning [MWh]
875,54

3.1.3.13 Observerade verkningsgrader hos anläggningen

Tabell 51: Anläggningens COP-värden.

Observation	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
COP-värde	3,89	3,89	3,89	3,89	3,89	3,90	4,03	3,99	3,99	3,96	4,00	3,96

Genomsnittligt COP-värde: 3,94≈COP 4,00

3.1.3.14 Mätvärden GT16

Tabell 52: Temperaturer vid GT16.

Observation	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
Mätvärde [°C]	46	42	50	40	38	44	43	40	41	53	50	51

3.2 Övriga iakttagelser

3.2.1 Stickprov

Vid observation 7, 10, 11 och 12 så genomfördes de stickproven som nämnts i kapitel *2.2.1 Stickprov för reglerkurva*. Reglerkurvornas diagram med en grafisk lösning för utetemperaturerna som noterades vid observationstillfällena 7 och 11 följer i figur 6 och dess referenspunkter i tabell 53. Därefter följer algebraiska lösningar för utetemperaturerna noterade vid tillfälle 7, 10, 11 och 12.

Vid slutet av observation 7 så noterades utetemperaturen till 6,8℃ och temperaturerna var enligt givarna på shuntgruppen 37℃ för framledningstemperaturen och 28℃ för returtemperaturen.

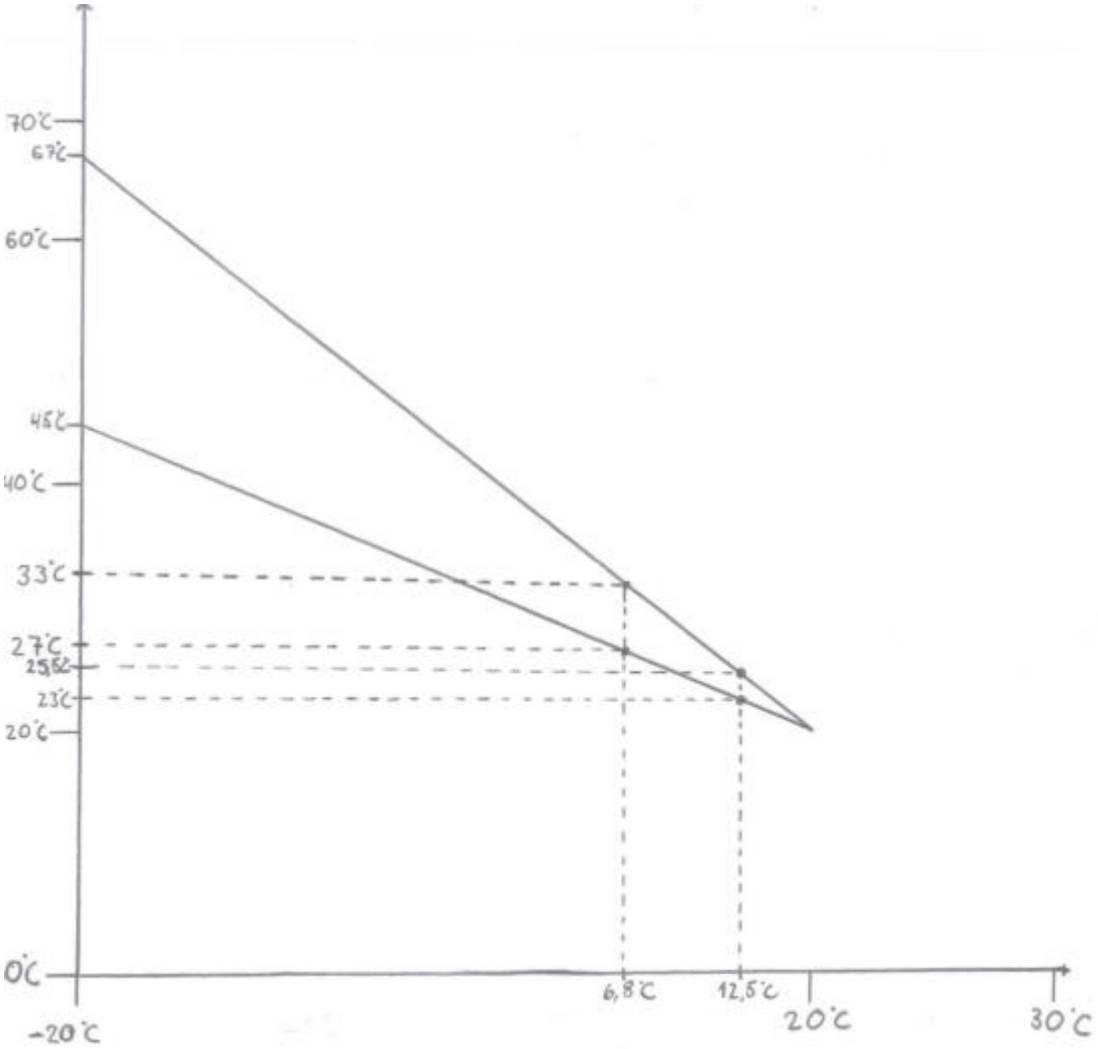
Observationstillfälle 10 den 5:e maj var speciellt ur den synpunkten att det var mycket varmt ute. Utetemperaturen noterades till 20,1℃ och vid tidpunkten så visade shuntgrupperna framledningstemperaturer på 25,9℃ för den gamla byggnadsdelen och 26,1℃ för den nya byggnadsdelen.

Vid observation 11 gjordes en likadan iakttagelse men returtemperaturen noterades inte. Under observationen noterades utetemperaturen till 12,5℃ och temperaturgivaren på shuntgruppen visade en framledningstemperatur på 33℃.

Under observation 12 noterades utetemperaturen till 9,4℃ och framledningstemperaturen enligt givarna på shuntgrupperna var då 36,5℃ för den gamla byggnadsdelen, samt 40,5℃ för den nya byggnadsdelen.

Tabell 53: Referenspunkter för den nya byggnadsdelens reglerkurva.

Utetemperatur	-20	-5	5	20
Framledningstemperatur	67	54	46	20



Figur 6: Reglerkurvans diagram med grafisk lösning.

Observation 7
Utetemperatur 6,8°C:

$$y_{fram.temp.} = -1{,}175 \times 26{,}8 + 67 \approx 35{,}5°C$$
$$y_{returtemp.} = -0{,}625 \times 26{,}8 + 45 \approx 28{,}3°C$$

Observation 10
Utetemperatur 20,1°C:

$$y_{fram.temp.} = 20°C$$
$$y_{returtemp.} = 20°C$$

Observation 11
Utetemperatur 12,5°C:

$$y_{fram.temp} = -1{,}175 \times 32{,}5 + 67 \approx 28{,}8°C$$
$$y_{returtemp.} = -0{,}625 \times 32{,}5 + 45 \approx 24{,}7°C$$

Observation 12
Utetemperatur 9,4℃:

$$y_{fram.temp} = -1{,}175 \times 29{,}4 + 67 \approx 32{,}5℃$$
$$y_{returtemp.} = -0{,}625 \times 29{,}4 + 45 \approx 26{,}6℃$$

3.2.2 Reglerflöden

Observation 7 den 2: a maj varade mellan klockan 22:30-23:51. VP1 var enda värmepumpen i bruk vid tillfället och dess levererade temperatur fluktuerade mellan 48℃ och 38℃.

Observation 10 varade mellan klockan 15:30-18:30 den 5:e maj. Temperaturen utomhus uppgick till 20,1℃ vid ankomst för att stiga upp till 22℃. Enligt reglerkurvan ska tilloppstemperaturen på radiatorkretsen under dessa förhållanden inte vara mer än 20℃. Trots detta var framledningstemperaturen denna dag 25,9℃ och 26,1℃ för den gamla respektive nya delen av Bogården. När ackumulatortankarna håller en temperatur om 47℃ skall SV1 växla om och leverera värmen från värmepumparna till radiatorkretsen. Följande händelseförlopp utspelade sig under vistelsen:

VP1 stoppade värmeproduktionen och stängdes vid ackumulatortemperatur 48℃. GT16 höll då 52,6℃ och SV1 skiftade *inte* om sitt läge till värmeproduktion. Istället höll SV1 fortfarande stängt mot radiatorkretsen, vilket också huvuddatorns display indikerade.

Under vistelsen så noterades kallvattenförbrukning samt fjärrvärmeförbrukning vid ankomst. Men denna gång noterades dessa även innan anläggningen lämnades. I tabell 54 nedan så tydliggörs förbrukningen på dessa två poster:

Tabell 54: Fjärrvärme- och kallvattenförbrukning under observation 10.

Förbrukning	**Mätarställning 15:30**	**Mätarställning 18:30**	**Differens**
Fjärrvärme	870,71 MWh	870,75 MWh	0,04 MWh
Kallvatten	13 468 m^3/569 liter*	13 471 m^3/375 liter*	2806 liter

Mellan tiderna 15:30 och 18:30 gick det åt 2806 liter kallvatten och 0,04 MWh/40kWh fjärrvärme. Nedan följer en beräkning för den mängd energi som teoretiskt borde ha gått åt för att bereda varmvatten:

$$E_{tappvarmvatten} = \frac{4190 \times \frac{2{,}806}{3} \times 36}{3600} \approx 39{,}2\ kWh$$

Vid observation 11 den 6: e maj så gick VP1 mellan *Ext. Block*, alltså att vara avstängd och att variera mellan temperaturerna 50℃ och 37,5℃ enligt GT16. Utetemperaturen var vid tillfället 12,5℃ och då höll ackumulatortankarna 47,7℃. SV1 stod i läge för värmeproduktion.

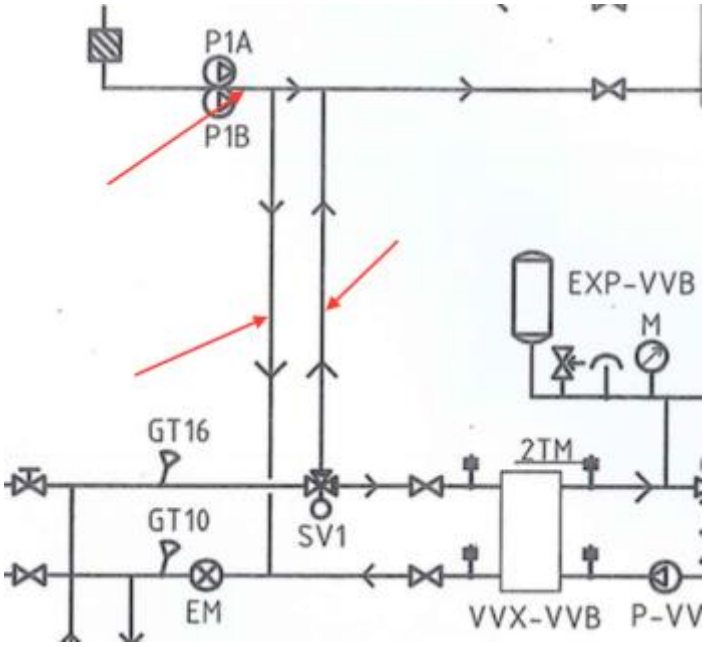
Vid observation 12 den 7:e maj så registrerades utetemperaturen till 9,4℃. Vid tillfället så indikerade GT16 att temperaturen från VP1 var 50,6℃ och temperaturen i

* Mätarställning: passerad kubik/passerad liter

ackumulatortankarna höll 46,9℃. SV1 stod inställd i läge för att ladda tankarna, detta bekräftades via huvuddatorns display som visade att ackumulatorn laddades via SV1. Framledningstemperaturerna för den gamla byggnadsdelen var 36,5℃ och var för den nya delen 40,5℃.

3.2.3 Temperaturmätningar med SwemaTemp 20

Vid en av observationerna upptäcktes det att styrventiler som skulle hålla stängt mot fjärrvärmen vid lågt värmebehov höll sig öppna oavsett om ett värmebehov fanns eller inte. I och med detta så upptäcktes också att styrventilerna på shuntgrupperna kärvade, ventilerna spärrades för att sedan åter öppnas. Genast började styrventilerna på båda shuntgrupperna reglera sig efter rådande behov på ett sätt som inte noterats innan. Dessa upptäckter gjordes i samband med utförda temperaturmätningar. Mätningar gjordes på ledningar enligt *Figur 7*. Dessa mätningar gjordes för att kontrollera om varmvatten strömmade över mot SV1. Temperaturerna som uppmättes tydde på att allt var i sin ordning vid tillfället.



Figur 7: Mätställen på rörledningar.

3.2.4 Driftkortet

Under observationstillfällena så upptäcktes detaljer kring driftkortet tillhörande undercentralen som inte stämde och/eller verkade icke nödvändiga.

- Det står ”markkollektor” på relationshandlingen men egentligen tar värmepumparna sin värme från frånluften.
- Vattenledningen mellan inkommande kallvatten och SV3 samt SV3 i sig själv finns inte längre men är utmärkt på kopplingsschemat.
- VVX-VVB är en laddväxlare till ackumulatortankarna som det finns en del frågetecken kring. Är den nödvändig?

3.3 Uppgifter från den gamla rapporten

Enligt den gamla rapporten klarade värmepumparna av att leverera 182 MWh under perioden april 2007 till maj 2008. 41,4 MWh elenergi tillfördes värmepumparna under tidsperioden, vilket ger en COP-faktor på 4,4.

Värmeproduktion, drift- och mätdata

Period 2007/2008	Tillfört elenergi (kWh)	Givet energi (kWh)	COP (-)
Maj	5086	23600	4,64
Juni	1252	5300	4,23
Juli	106	400	3,77
Augusti	993	4700	4,73
September	4449	21200	4,77
Oktober	7782	35400	4,55
November	7386	30800	4,17
December	213	200	0,94
Januari	3598	15200	4,22
Februari	2978	12800	4,30
Mars	4134	17500	4,23
April	3455	15000	4,34
summa	41,4 MWh	182,1 MWh	4,4 -

Figur 8: Värmeproduktion, drift- och mätdata från den gamla rapporten.

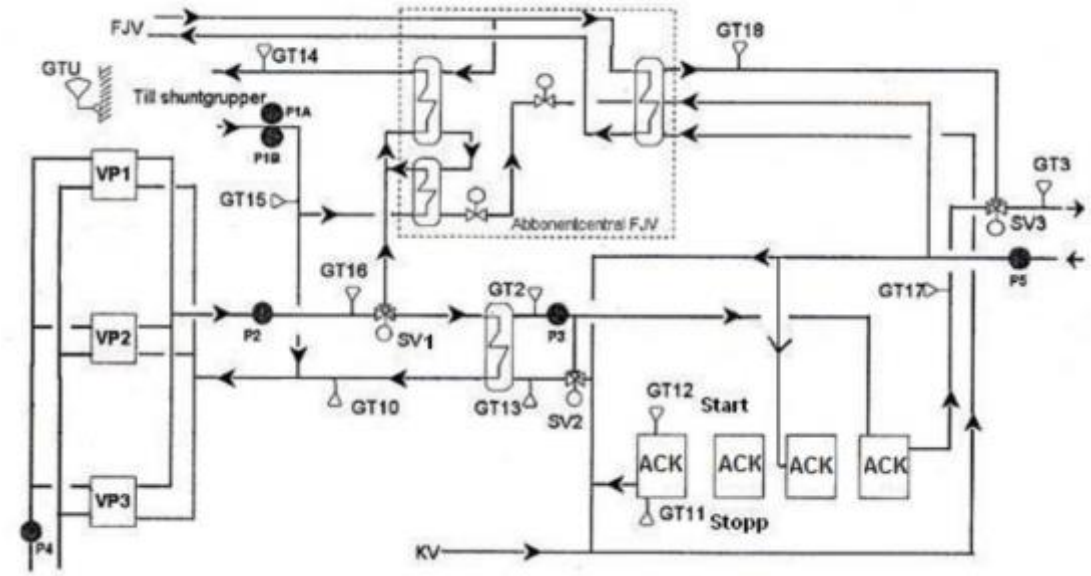
Enligt *Figur 8* så köpte Bogården in 1785 MWh som annars hade varit 1967,1 MWh utan värmepumparna. Men i och med detta så ökar också den levererade elenergin till värmepumparna. Elenergin uppgick till 41,4 MWh.

Drift	Tillförd el MWh	Produktion MWh	Fjärrvärme MWh	Fjärvärmepris kr/MWh	Elpris kr/MWh	Värmekostnad kr/år	Elkostnad kr/år
Fjv	0,0	0,0	1 967,1	550,0	1 150,0	1 081 905	0
Fjv + VP	41,4	182,1	1 785,0	550,0	1 150,0	981 750	47 610
Värmefaktor, COP		4,4	(-)				

Figur 9: Värmepumparnas inverkan på den gamla anläggningen. Uppgifter tagna från den gamla rapporten.

Den gamla undercentralen var installerad enligt *Figur 8*. Grundtanken med denna anläggning är densamma som idag: Så mycket som möjligt av värmehovet i ackumulatortankarna ska täckas med hjälp av värmepumparna. När tankarna har fått sin värme ska SV1 styra om flödet till radiatorkretsen. Då liksom nu ska även GT16 konstant hålla 50°C.

Enligt uppgifter från den gamla rapporten så uppgick den totala kallvattenförbrukningen till 14 120 m^3. 273 MWh gick åt för ett bereda 30 % av denna vattenmängd till varmvatten.



Figur 10: Den gamla undercentralens kopplingsschema.

3.4 Uppgifter från Riksbyggen

3.4.1 Total fjärrvärmeförbrukning för Brf. Bogården

Tabell 55: Förbrukningsuppgifter från föregående år.

År	**2015**	**2016**	**Medelvärde**
Förbrukning [MWh]	1335	1485	1410

3.4.2 Kallvattenförbrukning

Av erfarenhet beräknas ca. 33 % av kallvattnet beredas till varmvatten.

Tabell 56: Förbrukad kallvattenmängd.

År	**2015**	**2016**	**Medelvärde**
Förbrukning [m^3]	12 529	12 446	12 488

$$E_{tappvarmvatten} = \frac{4190 \times \frac{12488}{3} \times 36}{3600} \approx 174416\ kWh \approx 174{,}4\ MWh$$

4. Diskussion och analys

4.1 Jämförelse av nyckeltal

4.1.1 Verkningsgrad, COP

Den gamla undercentralen hade ett COP-värde på 4,4 vilket är bättre än dagens snittvärde som erhållits från observationstillfällena. Dagens COP-värde hamnar på 3,94 i snitt, vilket ger ett COP-värde på ca. 4.

4.1.2 Tappvarmvatten

Föreningen förbrukade 2007/2008 14 120 m^3 varav 30 % beräknades gå till beredning av tappvarmvatten i den gamla rapporten. Energin som gick åt att bereda tappvarmvatten under 2007/2008 uppgick till 273 MWh. Förbrukningssiffror från Riksbyggen visar att 2015 förbrukades det 12 529 m^3 kallvatten och 2016 12 446 m^3 kallvatten. Tappvarmvattnet beräknades utifrån snittvärdet av förbrukningssiffrorna från 2015 och 2016. Snittet blev 12 488 m^3 och ca. 33 % av denna vattenmängd gick till tappvarmvattenberedning enligt erfarenhetsvärde. Energin som gick åt för att bereda tappvarmvattnet enligt de nya siffrorna uppgick till 174,4 MWh.

Tabell 57: Gammal och ny förbrukning av kallvatten och tappvarmvatten.

Gammal förbrukning	14 120 m^3	273 MWh
Ny förbrukning (Snitt)	12 488 m^3	174,4 MWh

Den nya förbrukningen av tappvarmvatten är alltså 98,6 MWh *lägre* än 2007/2008-nivåerna. Detta är en minskning om ca 36 % och beror säkerligen på att de som bor i föreningen idag brukar mindre vatten än de inneboende gjorde 2007/2008.

4.1.3 Köpt fjärrvärme

Gammal statistik pekar på att Bogården köpte in 1785 MWh fjärrvärme till en kostnad av 981 750 kr beräknat på ett fjärrvärmepris på 550 kr/MWh. Idag köper Bogården in 1410 MWh och kostnaden uppgår till 775 500 kr beräknat på samma fjärrvärmepris som 2007/2008, detta är en kostnadsminskning på ca 21 %. De faktorer som är med och inverkar på mängden inköpt fjärrvärme är i första hand värmebehovet i byggnaden som styrs efter rådande väderförhållanden. Genomsnittstemperaturen i Sverige stiger för varje år, detta kanske har påverkat Bogårdens fjärrvärmeförbrukning till en viss del, men den slutsatsen kan inte dras med stor säkerhet då statistiken bara sträcker sig bakåt till 2015. Det är troligare att undercentralen har presterat mycket bättre efter ombyggnaden 2012. Detta innebär att anläggningens värmepumpar levererar energi i sådan stor mängd att mindre fjärrvärme behöver köpas in till föreningen och därmed sparar Bogården pengar. En annan faktor som spelar in är att Bogårdens tappvarmvattenförbrukning minskat, därför minskar också andelen fjärrvärme som går till att ”spetsa” utgående varmvatten till rätt temperatur innan det når de boende i byggnaden.

Tabell 58: Gammal och ny fjärrvärmeförbrukning samt kostnad.

Gammal förbrukning	1785 MWh	981 750 kr
Ny förbrukning	1410 MWh	775 500 kr

4.2 Reglerflöden

4.2.1 Värmepumparna

Bieffekten av observationsbesöken blev upptäckter angående styr- och reglerflödena i undercentralen. Den mest påtagliga bristen i anläggningen idag är att endast en värmepump (VP1) varit i bruk vid samtliga observationer hos Brf. Bogården. Vid fåtal tillfällen har temperaturen på GT16 varit 50℃ eller mer och vid majoriteten av observationerna har temperaturen varit lägre än 50℃. Detta stämmer inte med driftkortet som anger att GT16 konstant ska hålla 50℃ och det vittnar om att VP1 inte klarar av att leverera korrekt temperatur på egen hand.

VP2 och VP3 har inte under någon av observationerna varit i bruk och visar på sina displayer Summalarm, Låg KB-larm och LP-larm. Det skulle kunna vara så att trycket är för lågt pga. att det i köldbärarkretsen är för lite medium. VP2 och VP3 skulle troligen fungera om köldbärare fylldes på i köldbärarkretsen och om rätt tryck användes i anläggningen. Följden av denna korrigering skulle kunna vara att VP1-VP3 tillsammans skulle klara av att leverera 50℃ till ackumulatortankarna och/eller till radiatorkretsen. Detta skulle resultera i att Brf. Bogården behöver köpa in mindre fjärrvärme till undercentralen för att spetsa tappvarmvattnet och för uppvärmning av byggnaden.

4.2.2 Radiatorkretsarnas framledningstemperaturer

Vid observationstillfälle 10 så var utetemperaturen över 20℃ och detta var helt klart den varmaste dagen under hela denna studie. Enligt radiatorkretsarnas kurvor skulle då framledningstemperaturen i kretsarna *inte* vara mer än 20℃ men det visade sig på shuntgruppernas temperaturgivare att temperaturen låg klart högre än tänkt. Framledningstemperaturen denna dag var 25,9℃ för den gamla byggnadsdelen och 26,1℃ för den nya byggnadsdelen. Detta är för högt och skulle kunna bero på några olika faktorer.

I samband med temperaturmätningarna under en av observationerna så upptäcktes reglerfel på tre stycken styrventiler. En av dessa satt på inkommande fjärrvärme till radiatorkretsen och två satt placerade på varsin shuntgrupp för gammal respektive ny byggnadsdel. Efter att värmekretsens styrventil spärrades och sedan öppnades igen så stängde denna genast automatiskt mot fjärrvärmetilloppet. Således har fjärrvärmevatten kommit in i anläggningen trots att behovet inte alltid funnits. I samband med detta hade som tidigare nämnts även shuntgruppernas ventiler kärvat och inte reglerat som det ursprungligen var tänkt. På liknande sätt så spärrades ventilerna för att sedan öppnas igen. Följden blev att ventilerna började reglera in sig på ett sätt som de inte gjort tidigare under någon observation. Detta skulle kunna vara en förklaring till varför framledningstemperaturerna i båda radiatorkretsarna håller alldeles för höga temperaturer än vad det bör vara enligt reglerkurvan.
En annan förklaring skulle kunna vara att det är en inbyggd tröghet i systemet. Alltså att hela anläggningen skulle behöva mer tid för att reglera in sig till rätt

framledningstemperatur på respektive radiatorkrets i byggnaden. Detta är nog inte fallet för denna anläggning då utetemperaturen var över 20℃ under hela dagen. Observation 10 gjordes dessutom på en sen eftermiddag och därför borde systemet redan då ha reglerat in sig på rätt temperaturer eller eventuellt ligga inom en rimlig marginal från 20℃.

4.2.3 Detaljer i driftkortet

Rimligtvis bör det vara så att relationshandlingen ska vara transparant för att en person som kommer ner till anläggningen ska kunna se och förstå hur undercentralen är uppbyggd utan att bli vilseledd på något sätt. Idag är det inte så, och vad detta beror på är oklart. Följande bör ändras:

- ”Markkollektor” ersätts med ”frånluftsvärme”.
- Vattenledningen mellan inkommande kallvatten och SV3 finns inte längre och bör tas bort från kopplingsschemat.
- VVX-VVB ses som onödig, istället borde värmepumparnas krets gå igenom ackumulatortankarna för att direkt avge sin värme där istället för att först avge värmen i en växlare vars cirkulationskrets i sin tur värmer vattnet i ackumulatortankarna. VVX-VVB gör så att anläggningen tappar verkningsgrad.

5. Slutsatser

5.1 Nyckeltal

5.1.1 Verkningsgrad, COP-värde

Verkningsgraden för undercentralen före ombyggnation låg på 4,4. Idag är COP-värdet ca. 4,0. Den är lägre idag än före ombyggnationen 2012.

5.1.2 Tappvarmvatten

Förbrukningen före 2012 var 273 MWh och snittet för åren 2015 och 2016 gav en teoretisk förbrukning på 174,4 MWh. Således är förbrukningen 98,6 MWh mindre än tidigare.

5.1.3 Fjärrvärmeförbrukning

Den gamla rapporten från 2008 uppger att den dåvarande förbrukningen låg på 1785 MWh vilket är högre än dagens förbrukning. Den inköpta fjärrvärmen idag uppgår till 1410 MWh. Detta är en minskning om 375 MWh, eller ca. 21 %.

5.2 Anläggningens reglerflöden

5.2.1 Styrning av värmepumparna

Under denna studie har bara en värmepump (VP1) varit i bruk. De två andra värmepumparna (VP2 och VP3) har hela tiden larmat om lågt tryck, låg köldbärare och summalarm. Samtidigt har temperaturen i GT16 fluktuerat mycket och inte levererat 50℃ konstant som är projekterat. Slutsatsen som dras är att VP1 verkar klara av att hålla 50℃ ut till ackumulatortankarna/värmesystemet om det är tillräckligt varmt ute men så fort det blir kallt fluktuerar temperaturen mycket. Åtgärdas larmen i pumparna så går det inte att utesluta att systemet skulle fungera som projekterat.

5.2.2 Radiatorkretsar och dess temperaturer

Radiatorkretsarna håller för hög framledningstemperatur vilket är onödigt och kostsamt för Brf. Bogården. Styrventilerna på de två shuntgrupperna verkar inte ha reglerat som tänkt och styrventilen på den inkommande fjärrvärmen verkar ha hållit öppet trots att behovet inte alltid funnits. Om detta åtgärdas så är det mycket möjligt att framledningstemperaturerna sjunker i systemet och således minskar förbrukningen av fjärrvärme. Om ventilerna fungerar som de ska kan den andra förklaringen vara att det är en inbyggd tröghet i systemet, vilket betyder att vid tiden för observationen hade inte framledningstemperaturen gått ned tillräckligt mycket och anläggningen behövde mer tid för att nå börvärde 20℃.

5.2.3 Ändringar i relationshandlingen

Som nämnts i diskussionen bör kopplingsschemat till anläggningen uppdateras för att göra det tydligare hur anläggningen ser ut.

5.3 Sammanfattande slutsatser

- COP-värdet är lägre idag än tidigare.
- Tappvarmvattenförbrukningen är lägre idag än tidigare.
- Fjärrvärmeförbrukningen är lägre idag än tidigare.
- Åtgärdas larmen på VP1-VP3 utesluts inte att anläggningen kommer att fungera som projekterat.
- Framledningstemperaturerna på båda radiatorkretsarna är för höga, vilket gör att Bogården betalar mer för sin värme än vad som behövs.

6. Förslag till fortsatta studier

Förutsatt att åtgärder genomförs mot värmepumparna så skulle ett intressant arbete behandla en uppföljning kring anläggningen. Studien skulle kunna innehålla en slags kontroll om styr- och reglerflödena är i enlighet med projekteringen och om framledningstemperaturerna på radiatorkretsarna regleras enligt reglerkurvorna.

7. Referenser

Litteraturförteckning

[1] Z. Sadik, ”Samkörning mellan värmepumpar och fjärrvärme Bostadsrättsföreningen Bogården,” Högskolan i Gävle, Gävle, 2008.

[2] I. s. Boppe, E. Be dard, C. Taillandier, D. Lecellier, M.-A. Nantel-Gauvin, M. Villion, C. Laferriere och M. Prevost, ”Investigative approach to improve hot water system hydraulics through temperature monitoring to reduce building environmental quality hazard associated to Legionella,” *Building and Environment*, pp. 233-234, 31 Augusti 2016.

[3] X. Yang, H. Li och S. Svendsen, ”Decentralized substations for low-temperature district heating with no Legionella risk, and low return temperatures,” *Energy*, pp. 65-75, 1 September 2015.

[4] M. Åberg och D. Henning, ”Optimisation of a Swedish district heating system with reduced heat demand due to energy efficiency measures in residential buildings,” *Energy Policy*, vol. 39, nr 12, p. 7839, 1 December 2011.

[5] W. Hee, M. Alghoul, B. Bakhtya, O. Elayeb, M. Shameri , M. Alrubaih och K. Sopian, ”The role of window glazing on daylighting and energy saving in buildings,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, p. 1, 29 Oktober 2014.

[6] E. Cuce, ”Role of airtightness in energy loss from windows: Experimental results from in-situ tests,” *Energy and Buildings*, 13 Januari 2017.

[7] G. Agfors, H. Borgström, H. Frank, E. Giertz, L. Högberg, B. Kasemo, H. Lagerträd, C. Sjölin, E. Stattin och E. Vinger, Energi. Möjligheter och dilemman, Stockholm: Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien, 2012, p. 14.

[8] G. Agfors, H. Borgström, H. Frank, E. Giertz, L. Högberg, B. Kasemo, H. Lagerträd, C. Sjölin, E. Stattin och E. Vinger, Energi. Möjligheter och dilemman, Stockholm: Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien, 2012, p. 15.

[9] G. Boyle, Renewable Energy, Oxford: Oxford University Press, 2004, p. 3.

[10] M. Areskoug, Miljöfysik - Energi för hållbar utveckling., Lund: Studentlitteratur, 2012, pp. 38-39.

[11] G. Boyle, Renewable Energy, Oxford: Oxford University Press, 2004, p. 7.

[12] G. Boyle, Renewable Energy, Oxford: Oxford University Press, 2004, p. 6.

[13] G. Agfors, H. Borgström, H. Frank, E. Giertz, L. Högberg, B. Kasemo, H. Lagerträd, C. Sjölin, E. Stattin och E. Vinger, Energi. Möjligheter och dilemman, Stockholm: Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien, 2012, p. 38.

[14] G. Agfors, H. Borgström, H. Frank, E. Giertz, L. Högberg, B. Kasemo, H. Lagerträd, C. Sjölin, E. Stattin och E. Vinger, Energi. Möjligheter och dilemman., Stockholm: Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien, 2012, pp. 36-37.

[15] International Energy Agency, ”Key world energy statistics,” 2016. [Online]. Available: www.iea.org. [Använd 27 Mars 2017].

[16] G. Agfors, H. Borgström, H. Frank, E. Giertz, L. Högberg, B. Kasemo, H. Lagerträd, C. Sjölin, E. Stattin och E. Vinger, Energi. Möjligheter och dilemman, Stockholm: Kungl. Vetenskapsakademien, 2012, pp. 38-39.

[17] G. Agfors, H. Borgström, H. Frank, E. Giertz, L. Högberg, B. Kasemo, H. Lagerträd, C. Sjölin, E. Stattin och E. Vinger, Energi. Möjligheter och dilemman., Stockholm: Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien, 2012, p. 21.

[18] Energimyndigheten, ”Energimyndigheten.se,” 26 10 2016. [Online]. Available: http://www.energimyndigheten.se/fornybart/vindkraft/marknadsstatistik/. [Använd 28 03 2017].

[19] Energimyndigheten, ”Energimyndigheten.se,” 01 05 2016. [Online]. Available: https://energimyndigheten.a-w2m.se/Home.mvc?ResourceId=5569. [Använd 28 03 2017].

[20] SCB, ”SCB.se,” 24 02 2017. [Online]. Available: http://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/energi/energibalanser/kommunal-och-regional-energistatistik/pong/statistiknyhet/kommunal-och-regional-energistatistik-2015/. [Använd 28 03 2017].

[21] L. Palmblad, ”Energimyndigheten.se,” Energimyndigheten, 01 03 2017. [Online]. Available: http://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2017/133-miljoner-i-ny-satsning-pa-vindkraftsforskning/. [Använd 28 03 2017].

[22] M. Areskoug, Miljöfysik - Energi för hållbar utveckling., Lund: Studentlitteratur, 2012, p. 93.

[23] G. Agfors, H. Borgström, H. Frank, E. Giertz, L. Högberg, B. Kasemo, H. Lagerträd, C. Sjölin, E. Stattin och E. Vinger, Energi. Möjligheter och dilemman., Stockholm: Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien, 2012, p. 43.

[24] M. Areskoug, Miljöfysik - Energi för hållbar utveckling, Lund: Studentlitteratur, 2012, pp. 61-62.

[25] G. Boyle, Renewable Energy, Oxford: Oxford University Press, 2004, p. 10.

[26] SMHI, ”smhi.se,” SMHI, 9 september 2014. [Online]. Available: https://www.smhi.se/forskning/forskningsnyheter/koldioxidhalten-okar-snabbare-i-atmosfaren-1.77799. [Använd 3 april 2017].

[27] G. Boyle, Renewable Energy, Oxford: Oxford University Press, 2004, p. 11.

[28] M. Aureskog, Miljöfysik - Energi för hållbar utveckling, Lund: Studentlitteratur, 2012, p. 63.

[29] Statoil, ”www.statoil.com,” Statoil, [Online]. Available: https://www.statoil.com/en/what-we-do/norwegian-continental-shelf-platforms/sleipner.html. [Använd 5 april 2017].

[30] G. Agfors, H. Borgström, H. Frank, E. Giertz, L. Högberg, B. Kasemo, H. Lagerträd, C. Sjölin, E. Stattin och E. Vinger, Energi. Möjligheter och dilemman., Stockholm: Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien, 2012, p. 54.

[31] G. Agfors, H. Borgström, H. Frank, E. Giertz, L. Högberg, B. Kasemo, H. Lagerträd, C. Sjölin, E. Stattin och E. Vinger, Energi. Mijligheter och dilemman., Stockholm: Kungl. Vetenskapsakademien, 2012.

[32] G. Agfors, H. Borgström, H. Frank, E. Giertz, L. Högberg, B. Kasemo, H. Lagerträd, C. Sjölin, E. Stattin och E. Vinger, Energi. Möjligheter och dilemman, Stockholm: Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien, 2012, pp. 74-75.

[33] G. Agfors, H. Borgström, H. Frank, E. Giertz, L. Högberg, B. Kasemo, H. Lagerträd, C. Sjölin, E. Stattin och E. Vinger, Energi. Möjligheter och Dilemman., Stockholm: Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien, 2012, pp. 72-73.

[34] Energimyndigheten, Produktion och användning av biogas och rötrester år 2015, Statens energimyndighet, 2016, p. 5.

[35] Energimyndigheten, ”Energitillförsel,” Energimyndigheten, 14 03 2017. [Online]. Available: http://www.ekonomifakta.se/Fakta/Energi/Energibalans-i-Sverige/Energitillforsel/?graph=/1338/all/all/. [Använd 06 04 2017].

[36] G. Agfors, H. Borgström, H. Frank, E. Giertz, L. Högberg, B. Kasemo, H. Lagerträd, C. Sjölin, E. Stattin och E. Vinger, Energi. Möjligheter och Dilemman., Stockholm: Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien, 2012, p. 22.

[37] G. Agfors, H. Borgström, H. Frank, E. Giertz, L. Högberg, B. Kasemo, H. Lagerträd, C. Sjölin, E. Stattin och E. Vinger, Energi. Möjligheter och dilemman., Stockholm: Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien, 2012, pp. 100-101.

[38] G. Agfors, H. Borgström, H. Frank, E. Giertz, L. Högberg, B. Kasemo, H. Lagerträd, C. Sjölin, E. Stattin och E. Vinger, Energi. Möjligheter och dilemman., Stockholm: Kungi. Ingenjörsvetenskapsakademien, 2012, p. 111.

[39] G. Agfors, H. Borgström, H. Frank, E. Giertz, L. Högberg, B. Kasemo, H. Lagerträd, C. Sjölin, E. Stattin och E. Vinger, Energi. Möjligheter och dilemman., Stockholm: Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien, 2012, pp. 108-109.

[40] G. Agfors, H. Borgström, H. Frank, E. Giertz, L. Högberg, B. Kasemo, H. Lagerträd, C. Sjölin, E. Stattin och E. Vinger, Energi. Möjligheter och dilemman., Stockholm: Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien, 2012, pp. 76-77.

[41] Energimyndigheten, Energiläget 2015, Stockholm: Energimyndigheten, 2015, p. 48.

[42] Vattenfall, ”www.vattenfall.se,” Vattenfall, 13 04 2016. [Online]. Available: https://corporate.vattenfall.se/om-oss/var-verksamhet/kraftvarme/. [Använd 21 04 2017].

[43] Energimyndigheten, Energiläget 2015, Stockholm: Energimyndigheten, 2015, p. 49.

[44] Energimyndigheten, Energiläget 2015, Stockholm, 2015, p. 54.

[45] Vattenfall, ”www.vattenfall.se,” Vattenfall, [Online]. Available: https://www.vattenfall.se/fjarrvarme/sa-fungerar-fjarrvarme/. [Använd 24 04 2017].

[46] C. Warfvinge och M. Dahlblom, Projektering av VVS-installationer, Lund: Studentlitteratur, 2013, pp. 4:67-4:70.

[47] C. Warfvinge och M. Dahlbom, Projektering av VVS-installationer, Lund: Studentlitteratur, 2013, pp. 4:71-4:72.

[48] P.-G. Persson, VVS-system/Inneklimat, Stockholm: Schneider Eletric, 2012, p. 129.

[49] C. Warfvinge och M. Dahlblom, Projektering av VVS-installationer, Lund, 2012, pp. 1:2-1:4.

[50] C. Warfvinge och M. Dahlblom, Projektering av VVS-installationer, Lund: Studentlitteratur, 2012, pp. 2:1-2:4.

[51] C. Warfvinge och M. Dahlblom, Projektering av VVS-installationer, Lund, 2013, pp. 2:9-2:13.

[52] C. Warfvinge och M. Dahlblom, Projektering av VVS-installationer, Lund: Studentlitteratur, 2013.

[53] C. Warfvinge och M. Dahlblom, Projektering av VVS-installationer, Lund: Studentlitteratur, 2013, pp. 2:16-2:18.

[54] C. Warfvinge och M. Dahlblom, Projektering av VVS-konstruktioner, Lund: Studentlitteratur, 2013.

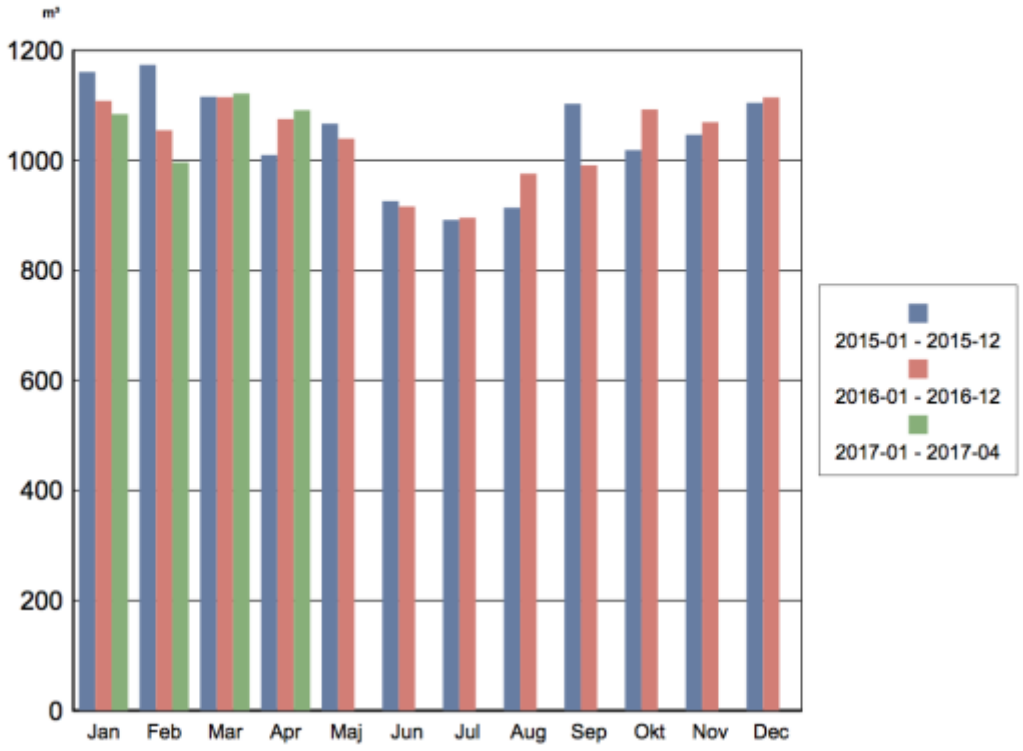
8. Bilagor

Bilaga 1: Kallvattenförbrukning Bfr. Bogården

RIKSBYGGEN

Förbrukningsrapport fastighetsbas

Företag: 03108 BRF BOGÅRDEN (Verklig förbrukning)
Mätslag: Kallvatten



BRA: 20300 m²

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
2015-01 - 2015-12	1161	1174	1115	1010	1067	926	892	914	1103	1018	1047	1105
2016-01 - 2016-12	1108	1054	1115	1075	1039	916	896	976	991	1092	1069	1114
2017-01 - 2017-04	1084	996	1122	1091								
Budget 2017-01 - 2017-04	0	0	0	0								
Avvikelse mot budget i %	-	-	-	-								
Avvikelse % mot föreg. år	-2,2	-5,5	0,6	1,5								
Nyckeltal 2017-01 - 2017-04 (lit/m² BRA)	53,4	49,1	55,3	53,8								

	Ack. utfall Jan-Apr			Helår (prognos 2017)		
Årsvärden	**2015**	**2016**	**2017**	**2015**	**2016**	**2017**
Verklig förbrukning (m³)	4459	4353	4293	12529	12446	4293
Budgeterad förbrukning	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Avvikelse mot budget i %	-	-	-	-	-	-
Avvikelse % för år 2017 mot år, Verklig	-3,7	-1,4		-65,7	-65,5	
Nyckeltal verklig (lit/m² BRA)	219,7	214,4	211,5	617,2	613,1	211,5

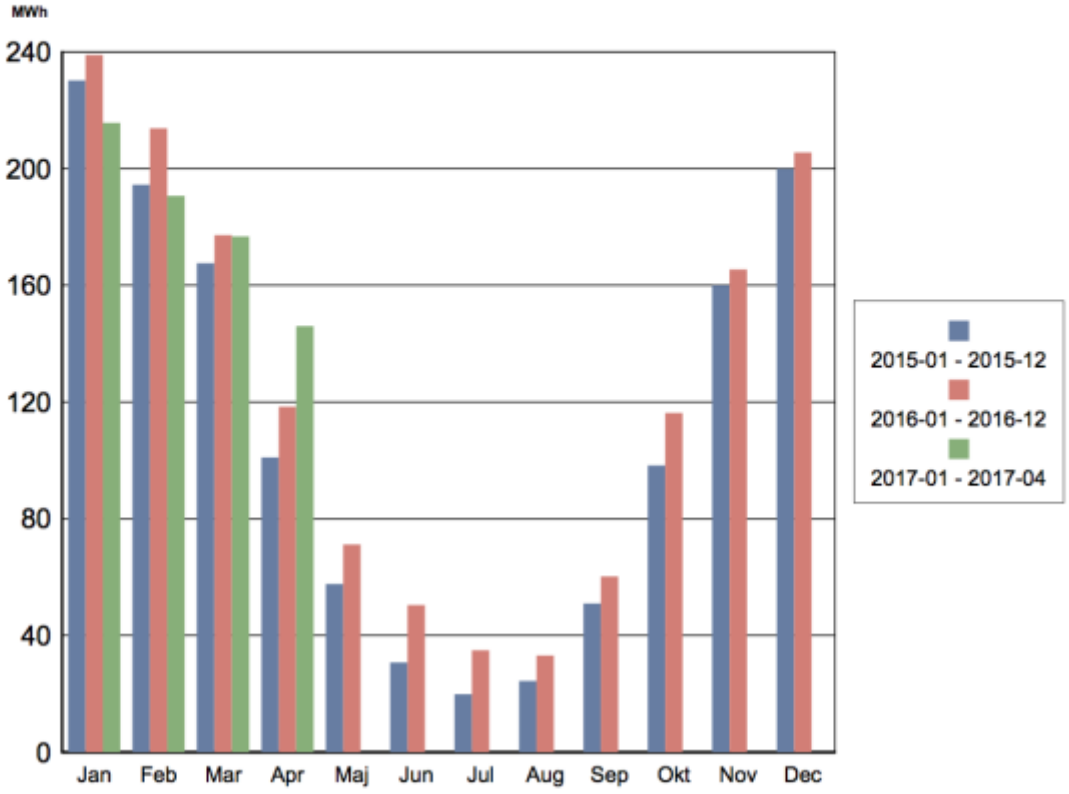
Bilaga 2: Fjärrvärmeförbrukning Brf. Bogården

RIKSBYGGEN

Förbrukningsrapport fastighetsbas

RB03LSD - 2017-05-10 11:07:00

Företag: 03108 BRF BOGÅRDEN (Klimatkorrigerad förbrukning)
Mätslag: Fjärrvärme

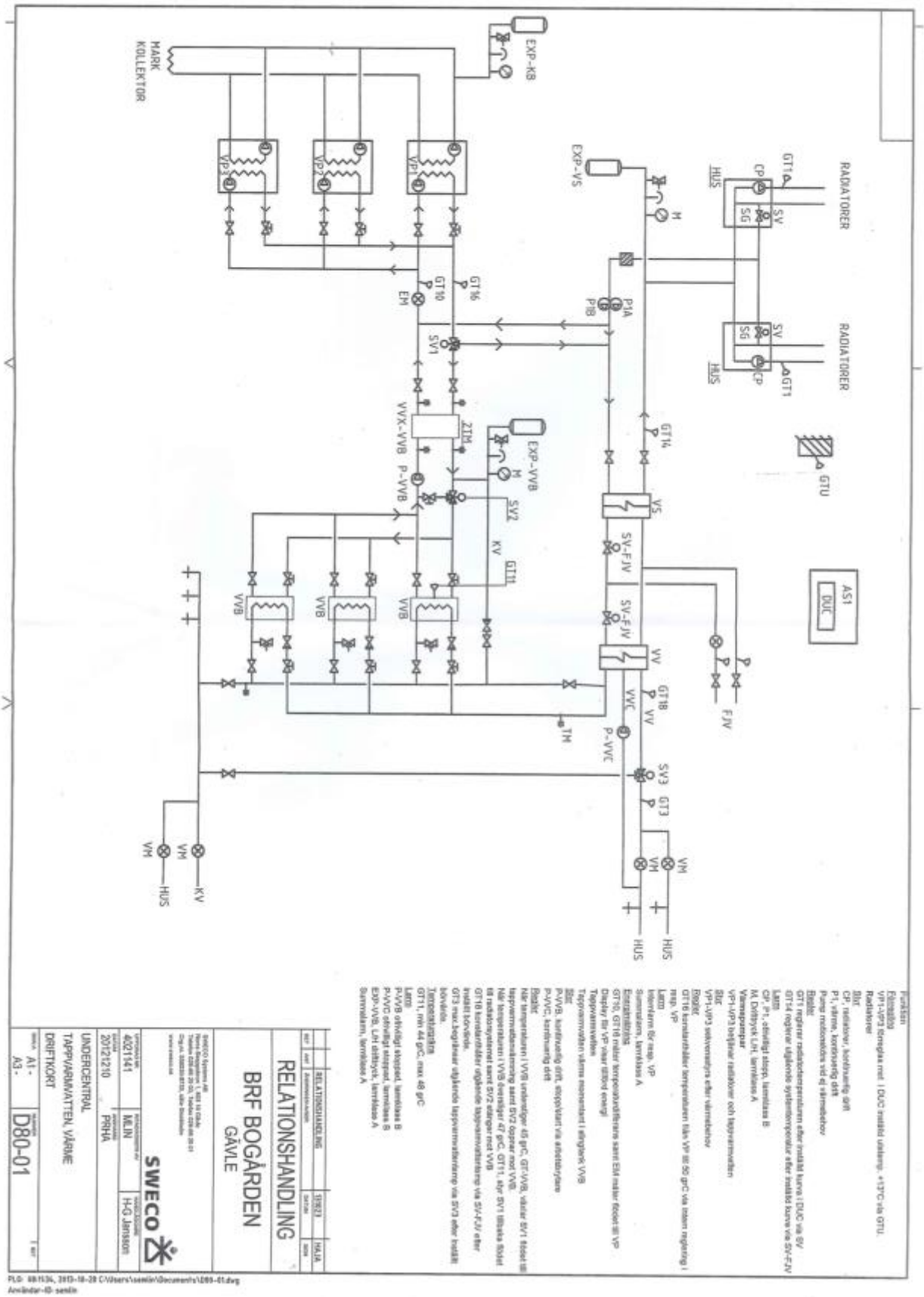


BRA: 20300 m²

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
2015-01 - 2015-12	230	194	168	101	57,7	30,8	19,9	24,4	50,9	98	160	200
2016-01 - 2016-12	239	214	177	118	71,2	50,4	34,9	33,1	60,2	116	165	205
2017-01 - 2017-04	216	191	177	146								
Budget 2017-01 - 2017-04	0	0	0	0								
Avvikelse mot budget i %	-	-	-	-								
Avvikelse % mot föreg. år	-9,7	-10,9	-0,2	23,3								
Nyckeltal 2017-01 - 2017-04 (kWh/m² BRA)	10,6	9,4	8,7	7,2								
Graddag verklig (1968 / år)	594	508	462	404								
Graddag normal (4104 / år)	626	567	532	382	225	101	31	60	179	337	471	593

	Ack. utfall Jan-Apr			Helår (prognos 2017)		
Årsvärden	**2015**	**2016**	**2017**	**2015**	**2016**	**2017**
Verklig förbrukning (MWh)	611	748	690	1211	1434	690
Klimatkorrigerad förbrukning (MWh)	693	748	729	1335	1485	729
Budgeterad förbrukning	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Avvikelse mot budget i %	-	-	-	-	-	-
Avvikelse % för år 2017 mot år, Verklig	12,8	-7,8		-43,0	-51,9	
Avvikelse % för år 2017 mot år, Klimatkorr.	5,1	-2,6		-45,4	-50,9	
Nyckeltal verklig (kWh/m² BRA)	30,1	36,8	34,0	59,6	70,7	34,0
Nyckeltal klimatkorr. (kWh/m² BRA)	34,1	36,9	35,9	65,8	73,2	35,9

Bilaga 3: Relationshandling Brf. Bogården



Bilaga 4: Funktionsbeskrivning från relationshandling Brf. Bogården

Funktion

Förregling

VP1-VP3 förreglas mot i DUC inställd utetemp. +13°C via GTU.

Radiatorer

Styr

CP, radiatorer, kontinuerlig drift

P1, värme, kontinuerlig drift

Pump motionskörs vid ej värmebehov

Regler

GT1 reglerar radiatortemperaturen efter inställd kurva i DUC via SV

GT14 reglerar utgående systemtemperatur efter inställd kurva via SV-FJV

Larm

CP, P1, ofrivilligt stopp, larmklass B

M, Drifttryck L/H, larmklass A

Värmepumpar

VP1-VP3 betjänar radiatorer och tappvarmvatten

Styr

VP1-VP3 sekvensstyrs efter värmebehov

Regler

GT16 konstanthåller temperaturen från VP till 50 grC via intern reglering i resp. VP

Larm

Internlarm för resp. VP

Summalarm, larmklass A

Energimätning

GT10, GT16 mäter temperaturdifferans samt EM mäter flödet till VP

Display för VP visar tillförd energi

Tappvarmvatten

Tappvarmvatten värms momentant i slingtank VVB

Styr

P-VVB, kontinuerlig drift, stopp/start via arbetsbrytare

P-VVC, kontinuerlig drift

Regler

När temperaturen i VVB understiger 45 grC, GT-VVB, växlar SV1 flödet till tappvarmvattenvärmning samt SV2 öppnar mot VVB.

När temperaturen i VVB överstiger 47 grC, GT11, styr SV1 tillbaka flödet till radiatorsystemet samt SV2 stänger mot VVB

GT18 konstanthåller utgående tappvarmvattentemp via SV-FJV efter inställt börvärde.

GT3 max.begränsar utgående tappvarmvattentemp via SV3 efter inställt börvärde.

Temperaturgräns

GT11, min 44 grC, max 48 grC

Larm

P-VVB ofrivilligt stoppad, larmklass B

P-VVC ofrivilligt stoppad, larmklass B

EXP-VVB, L/H drifttryck, larmklass A

Summalarm, larmklass A

Bilaga 5: SwemaTemp 20

Bilaga 6: Ackumulatortankarna i undercentralen

Bilaga 7: Undercentralens huvuddator

Bilaga 8: VP1, VP2 och VP3

Bilaga 9: De tre kallvattenmätarna

Bilaga 10: Kallvattenmätarens utseende

Bilaga 11: Platsen där de gamla ackumulatortankarna stod före 2012