



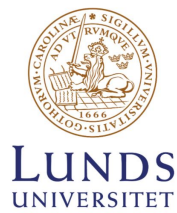
Produktionsoptimering hos kraftvärmeproducenter

Analys av produktionsoptimeringsystem med avseende på ekonomi och miljö

Matilda Meyer

Examensarbete på Civilingenjörsnivå
Avdelningen för Energihushållning
Institutionen för Energivetenskaper
Lunds Tekniska Högskola | Lunds Universitet





Produktionsoptimering hos kraftvärmeproducenter

Analys av produktionsoptimeringssystem med avseende på
ekonomi och miljö

Matilda Meyer

7 oktober 2020

*Examensarbete vid Lunds Tekniska Högskola
Institutionen för Energivetenskaper
VT 2020*

Föreliggande examensarbete på civilingenjörsnivå har genomförts vid Avd. för Energihushållning, Inst för Energivetenskaper, Lunds Universitet - LTH samt vid Energy Opticon AB i Lund.Handledare på Energy Opticon AB: Jacob Rubensson; handledare på LU-LTH: Per-Olof Johansson Kallioniemi; examinator på LU-LTH: Martin Andersson.

Examensarbete på Civilingenjörsnivå

ISRN: LUTMDN/TMHP-20/5460-SE

ISSN: 0282-1990

© 2020 Matilda Meyer samt Energivetenskaper

Energihushållning
Institutionen för Energivetenskaper
Lunds Universitet - Lunds Tekniska Högskola
Box 118, 221 00 Lund

www.energy.lth.se

Förord

Det här examensarbetet i energivetenskaper genomfördes under vårterminen 2020 inom civilingenjörsutbildningen Ekosystemteknik på Lunds tekniska högskola. Studien har genomförts på uppdrag av företaget Energy Opticon AB i Lund.

Jag vill börja med att tacka Energy Opticon som gjorde det möjligt för mig att skriva om ett mycket intressant ämne på en inspirerande arbetsplats. På Energy Opticon vill jag särskilt tacka Jacob Rubensson som har varit min handledare. Utöver detta vill jag även tacka övriga anställda på företaget som också har varit till stor hjälp under arbetets gång, samt de berörda kraftvärmekunder som med sin expertkunskap har bidragit till givande synvinklar och ett intressant resultat i studien. Jag vill även tacka min handledare på Lunds Tekniska Högskola på avledningen för energivetenskaper, Per-Olof Johansson Kallioniemi, och min mentor på Miljöbron, Malin Palander, som har varit viktiga bollplank under hela processen.

Till sist vill jag tacka min familj och mina vänner som har bidragit med mycket stöd under hela examensprocessen. Särskilt vill jag tacka Marc som varit med mig i både upp- och nedgångar.

Matilda Meyer

7 oktober 2020

Sammanfattning

Kraftvärmeproduktion är en produktionsteknik där både värme och el produceras i samma process. Eftersom produktionen innefattar små marginaler för att hålla sig konkurrenskraftig, är det viktigt att planera och optimera produktionen. En av de största kommersiella programvarorna för produktionsoptimering är Energy Optima 3 (EO3). I detta arbete analyserades denna programvara, som levereras av företaget Energy Opticon AB, med avseende på ekonomi och miljö. Syftet med studien var att undersöka nyttan för kraftvärmeproducenter att använda optimeringsprogramvaror som EO3 i sin produktion. Målet med studien var därmed att uppskatta de ekonomiska och miljömässiga vinsterna som kan erhållas genom att använda EO3 som programvara, samt att ta fram vilken metodik som är mest lämplig att använda sig av för att ta reda på storleken av dessa vinster. För att uppnå syftet och målet gick studien ut på att få en ökad förståelse om hur kraftvärmeproducenter praktiskt arbetar med sin produktion kopplat till ekonomi och miljö, samt att utifrån en kunds energisystem uppskatta vinsterna.

Undersökningen genomfördes genom en intervju- och en fallstudie. I intervjustudien utreddes hur kraftvärmeproducenter praktiskt arbetar med och utan optimeringsprogramvaror som EO3, samt vilka utmaningar som EO3 hjälper att hantera. I fallstudien, med hjälp av EO3 som verktyg, uppskattades de ekonomiska och miljömässiga vinsterna för utvalt företag som använder EO3 för sin produktion. Vad som analyserades var utvecklingen för företagets kostnader och utsläpp under en fyraårsperiod, samt hur deras verkliga produktion skilde sig mot de optimala produktionförslag som EO3 förespråkade under samma perioder. Om företaget minskade sina kostnader och utsläpp samtidigt som de körde sin produktion mer optimalt genom åren, kunde användningen av EO3 kopplas samman med vinsterna.

Utifrån studien kunde flera slutsatser dras. Gällande kraftvärmeproducenternas praktiska arbete med EO3, identifierades både direkta och kontinuerliga förbättringar som kan kopplas till ekonomiska och miljömässiga vinster. Direkta förbättringar handlar exempelvis om att EO3 hjälper till att ta beslut kring den kommande produktionen. Kontinuerliga förbättringar handlar bland annat om att arbetet med EO3 leder till fortlöpande tolkningsförbättringar av EO3s optimeringar samt trimningar av energisystemet. Vidare utifrån fallstudien gick det att urskilja ekonomiska och miljömässiga vinster genom att använda EO3 som programvara. För ekonomiska vinster indikerar resultatet att en minskning av totalkostnaden har skett i samband med att systemet har kört sin produktion mer optimalt tack vare EO3. För miljömässiga vinster har utsläppen för fossil olja minskat under åren då EO3 använts. Däremot kan inga slutsatser kring vinsternas slutliga storlek dras på grund av den valda fallstudiemetoden.

Därmed, gällande vilken metod som är mest lämpligt för att kunna kvantifiera de ekonomiska och miljömässiga vinsterna, identifierades flera viktiga punkter som bör beaktas i framtida vinstanalyser. Några av dessa punkter är bland annat att analysera ett system som har en specialiserad optimeringsmodellering för ökad noggrannhet i resultatet, samt som inte har genomgått stora förändringar under perioderna före och efter att EO3 implementerades. Utöver detta är det även fördelaktigt att genomföra analyser under längre perioder (t.ex. årsvis) samt att använda dynamisk data för bränslepriser, utsläppsprattspriser, miljöskatter och subventioner.

Nyckelord: Kraftvärmeproduktion, produktionsoptimering, ekonomi, miljö.

Summary

Cogeneration is a production technology where both heat and electricity are produced in the same process. Since the production includes small margins to stay competitive, is it important to plan and optimize the production. One of the largest commercial optimization softwares is Energy Optima 3 (EO3). In this study this software, which is supplied by the company Energy Opticon AB, was analysed with regard to economy and environment. The purpose of the study was to investigate the benefits for cogeneration producers of using optimization softwares such as EO3 in their production. The objective of the study was thus to estimate the economic and environmental profits that can be obtained by using EO3 as software, and to find which method that is most suitable for quantifying these profits. To achieve the purpose and goal, the study aimed to gain an increased understanding of how cogeneration producers practically work with their production linked to the economy and the environment, as well as to evaluate the profits for a customer's energy system.

The study was conducted using an interview and a case study. In the interview study it was investigated how cogeneration producers practically work with and without optimization softwares such as EO3, and what challenges EO3 helps to manage. In the case study, using EO3 as a tool, the economical and environmental profits were estimated for a selected company that use EO3 for their production. What was analysed was the development of the company's costs and emissions during a four-year period, and how their actual production differed from the optimal production proposals advocated by EO3 during the same periods. If the company reduced its costs and emissions while running its production more optimally, using EO3 could be linked to the profits.

Based on the studies, several conclusions could be drawn. Regarding the cogeneration producers' practical work with EO3, both direct and continuous improvements linked to economical and environmental profits were identified. Direct improvements are for example that EO3 helps to make decisions about the upcoming production. Continuous improvements are for example that EO3 results in ongoing interpretation improvements of EO3's optimizations and trimming of the energy system. Regarding the case study it was possible to distinguish economical and environmental reductions by using EO3 as a software. For the economical profits, there are clear indications that a reduction in total cost has been made simultaneously as the company has run its production more optimally. For the environmental profits, fossil oil emissions have decreased significantly over the years when EO3 was used. However, no conclusions regarding the final size of the profits can be drawn due to the chosen case study method.

Therefore, regarding which method that is most suitable for quantifying the economical and environmental profits, several points were identified that should be considered in future profit analyses. Some of these points include analysing a system where specialized optimization modelling for increased accuracy has been used, and where the system has not undergone major changes during the periods before and after EO3 was implemented. In addition, it is also advantageous to carry out an analysis for longer periods (for example annually) and to use dynamic data for fuel prices, emission rights prices, environmental taxes and subsidies.

Keywords: Cogeneration, production optimization, economy, environment

Innehåll

1	Introduktion	8
1.1	Inledning	8
1.2	Syfte, mål och frågeställningar	9
1.3	Avgränsningar	10
2	Teori	11
2.1	El-, värme- och kylmarknader	11
2.1.1	Fjärrvärmemarknader	11
2.1.2	Fjärrkylamarknader	12
2.1.3	Elmarknader	12
2.2	Tekniker för el-, värme och kylproduktion	13
2.2.1	Kraftvärmeverk	13
2.2.2	Övrig värme- och kylproduktion	14
2.3	Optimering, planering och drift av kraftvärmeproduktion	15
2.3.1	Produktionsplanering	16
2.3.2	Optimering	17
2.3.3	Teknisk data	17
2.3.4	Ekonomisk data	17
2.3.4.1	Bränslekostnader	18
2.3.4.2	Start- och stoppkostnader	19
2.3.4.3	Laständringskostnader	19
2.3.4.4	Underhållskostnader	19
2.3.4.5	Driftkostnad genom medel- och marginalkostnad	19
2.3.5	Utsläppsdata	20
2.3.6	Prognoser	22
3	Energy Optima 3	23
3.1	Energisystemmodell	24
3.2	Tillgängligheter	24
3.3	ECO-optimeringar	25
4	Metod	26
4.1	Intervjustudie	26
4.2	Fallstudie av Företag A	27
4.2.1	Uppsättning av ECO-optimeringar i EO3	28
4.2.2	Genomförda analyser	30
4.2.2.1	Undersökta kategorier	30
4.2.2.2	Vinstpotentialen	33
4.2.2.3	Real förändring jämfört med basåret	33

5	Resultat	34
5.1	Intervjustudie	34
5.1.1	Kraftvärmeproduktion med EO3	34
5.1.2	Kraftvärmeproduktion utan EO3	36
5.1.3	Upplevda utmaningar och hur EO3 hanterar dessa	36
5.2	Fallstudie	37
5.2.1	Kostnader	37
5.2.1.1	Totala kostnader och elförsäljning	37
5.2.1.2	Övriga kostnader	40
5.2.2	Utsläpp	44
5.2.3	Energitillförsel	45
6	Analys	48
6.1	Praktiskt arbete av kraftvärmeproduktion kopplat till ekonomi och miljö	48
6.2	Värdering av ekonomiska och miljömässiga vinster	49
6.2.1	Totalkostnad och elförsäljning	49
6.2.2	Bränslekostnad	51
6.2.3	Skattekostnad	52
6.2.4	Elinköpskostnad	52
6.2.5	Start- och stoppkostnad	53
6.2.6	Laständringskostnad	54
6.2.7	Underhållskostnad	54
6.2.8	Utsläpp	54
7	Diskussion	56
7.1	Bedömning av intervjumetoden och det praktiska arbetet hos kraftvärmeproducenter	56
7.2	Bedömning av fallstudiemetoden och uppskattningen av de ekonomiska och miljömässiga vinsterna	58
7.2.1	Felkällor	60
7.3	EO3 och dess påverkan på omvärlden och framtidens kraftvärmeproduktion	60
7.4	Förslag på framtida studier	61
8	Slutsats	62
	Litteratur	64
9	Appendix	67
9.1	Intervjufrågor	67
9.2	Fallstudie	67
9.2.1	Ingående data för varje kostnadskategori	67
9.2.2	Kostnadstyper för start och stopp, laständring och underhåll	68
9.2.3	Utveckling av elpris, utetemperatur och levererad energi	69
9.2.4	Perioder där generatorer var otillgängliga	71

Kapitel 1

Introduktion

Detta kapitel inleds med en introduktion till varför studien har genomförts. Därefter kommer studiens syfte, mål, frågeställningar och avgränsningar att presenteras.

1.1 Inledning

Kraftvärmeproduktion är en centraliserad energiproduktionsteknik som innebär att man producerar fjärrvärme och el i samma process. I Sverige är produktion av fjärrvärme vanligt, och omkring 60% av den totala tillförda värmenergin till Sveriges byggnader kommer från fjärrvärme (Frederiksen och Werner 2014). Vidare gällande elproduktion kommer ca 9% av Sveriges producerade el från kraftvärme (Energiföretagen 2020b).

Eftersom Sverige har ett kallare klimat med ett stort värmebehov, har kraftvärmeverk en stor fördel eftersom det förutom fjärrvärme kan producera el som ej är väderbaserad. Då det i dagsläget är planerat att avveckla Sveriges kärnkraftverk och ersätta det med förnybara energikällor såsom vind- och solkraft, kan kraftvärmeverk komma att spela en allt viktigare roll i framtiden. Utökningen av förnybar elproduktion kommer bland annat leda till problem gällande stabiliteten i elnätet samt brister kring eleffekten då dessa energikällor inte är planerbara. För att bidra till mer planerbar elproduktion och baskraft, är kraftvärmeverk ett bra alternativ då det både tillverkar el samt energiåtervinner överbliven värme till lokala fjärrvärmenät som annars skulle gå förlorad. Dessutom kan kraftvärmeverk baseras på förnybara bränslen (t.ex. biobränslen) eller återvunna bränslen (t.ex. avfall) istället för fossila. Det finns även andra alternativ för att endast producera värme (såsom värmeverk), men på grund av den stora elektifieringen som sker i dagens samhälle kan en kombination av el- och värmeproduktion vara att föredra i ett samhällsperspektiv. Därutöver, genom samproduktion av värme och el, utnyttjas dessutom bränslets energiinnehåll i större grad vilket är mer effektivt ur ett energisystemperspektiv (Energiföretagen 2020b).

Att producera värme och el innefattar små marginaler på grund av att förhållandet mellan kostnaderna och intäkterna är små. Detta innebär att varje felbedömning i produktionen kan få stora negativa konsekvenser på företagets konkurrenskraft. Vidare kan det även i framtiden komma att bli allt svårare för kraftvärmeföretag att hålla sig konkurrenskraftiga på grund av låga elpriser, en ökad energieffektivisering hos värmekunder samt att bränslen blir allt dyrare (FVB 2015). Därför är det viktigt för kraftvärmeproducenter att planera och optimera sin produktion. Större noggrannhet i prognoser och förbättrad optimering av produktionen innebär exempelvis att överflödigt användning av bränsle kan undvikas, vilket gör att företaget kan öka sin

konkurrenskraft på marknaden samtidigt som det leder till miljövinster (Frederiksen och Werner 2014). Ett sätt att optimera och planera sin produktion är bland annat med hjälp av optimeringsprogramvaror. En av de största kommersiella programvarorna för produktionsoptimering är Energy Optima 3 (EO3), och i detta arbete har denna programvara analyserats med avseende på ekonomi och miljö.

Studien har skett i samarbete med Energy Opticon AB, vilket är företaget som levererar EO3 till energiföretag. Programvaran innehåller prognoser för energiförbrukningar samt optimering av energiproduktion och elhandel. Ett användande av programvaran resulterar därmed, baserat på ovan, oftast i betydande förbättringar i ekonomi och miljö (Energy Opticon AB 2020a). En del av Energy Opticons kvalitetspolicy är dessutom att vara en know-how elevator för energibolags personal för att minska kostnader och utsläpp (Energy Opticon AB 2020b). Utifrån denna kvalitetspolicy är det därmed av intresse att analysera hur användandet av EO3 kan leda till ekonomiska besparingar och minskade utsläpp. Genom att utreda hur de ekonomiska och miljömässiga konsekvenserna blir av att använda EO3 som programvara, kan resultatet användas till följande:

- Ge ökad förståelse kring relevansen av produktionsoptimering hos kraftvärmeproducenter, och hur denna både på en företags- och samhällsmässig nivå bidrar till en förbättrad ekonomi samt minskad klimat- och miljöpåverkan.
- I marknadsföringssyfte, då kundnyttan av systemet blir mer tydligt och konkret, vilket därmed även kan bidra till en ökad försäljningspotential.
- Bidra till en ny metodik som kan användas för att kvantifiera vinsterna med optimeringssystemet.

1.2 Syfte, mål och frågeställningar

Syftet med denna studie är att undersöka nyttan för kraftvärmeproducenter att använda optimeringsprogramvaror som EO3 i sin produktion. Målet med studien är därmed att uppskatta de ekonomiska och miljömässiga vinsterna som kan erhållas genom att använda EO3 som programvara, samt att ta fram vilken metodik som är mest lämplig att använda sig av för att ta reda på dessa vinster. För att uppnå syftet och målet gick studien ut på att både att få en ökad förståelse om hur kraftvärmeproducenter praktiskt arbetar med sin produktion kopplat till ekonomi och miljö, samt att utifrån en kunds energisystem uppskatta vinsterna som de erhållit genom att använda EO3 som programvara. Utifrån detta ställdes följande frågeställningar:

- På vilket sätt kan praktiskt arbete hos kraftvärmeproducenter, med hjälp av EO3 som programvara, kopplas till ekonomiska och miljömässiga vinster?
- Kan ekonomiska och miljömässiga vinster urskiljas genom att använda EO3 som programvara, och på så sätt bevisa att kvalitetspolicyen gällande ekonomi och miljö uppnås?
- Vilken metodik är mest lämplig för att uppskatta storleken av de ekonomiska och miljömässiga vinsterna som uppstår genom att använda EO3?

Gällande det praktiska arbetet hos kraftvärmeproducenter, har intervjuer använts som metod. I intervjuerna har frågor kopplat till produktionsplanering samt ekonomisk och miljömässig uppföljning undersökts. Angående uppskattningen av de

ekonomiska och miljömässiga vinsterna som kan erhållas genom att använda EO3 som programvara samt vilken metodik som är mest lämplig, har en fallstuide utförts. I fallstudien har dessa vinster uppskattats för ett utvalt företag som använder EO3 för sin produktion.

1.3 Avgränsningar

De beräkningar och analyser som är gjorda i denna studie är avgränsade till kraftvärmeproducenter som använder EO3 för sin produktion. Globalt finns det flera olika optimeringsprogramvaror som är till för att hjälpa kraftvärmeproducenter att optimera och planera deras produktion på bästa sätt. I denna studie är det däremot endast optimeringsprogramvaran EO3 som kommer undersökas. Denna avgränsning är gjord eftersom studien har genomförts på uppdrag av Energy Opticon AB, vilket är företaget som har utvecklat EO3. Dessutom är EO3 den dominerande programvaran i norden, vilket gör att den blir mest relevant eftersom studien är avgränsad till svenska aktörer. Utöver detta fokuserar undersökningen på kraftvärmeproducenters energiproduktion och hur denna ser ut. Detta innebär att exempelvis kostnaderna och utsläppen som blir från energiflöden utanför energiproduktionen exkluderas.

Kapitel 2

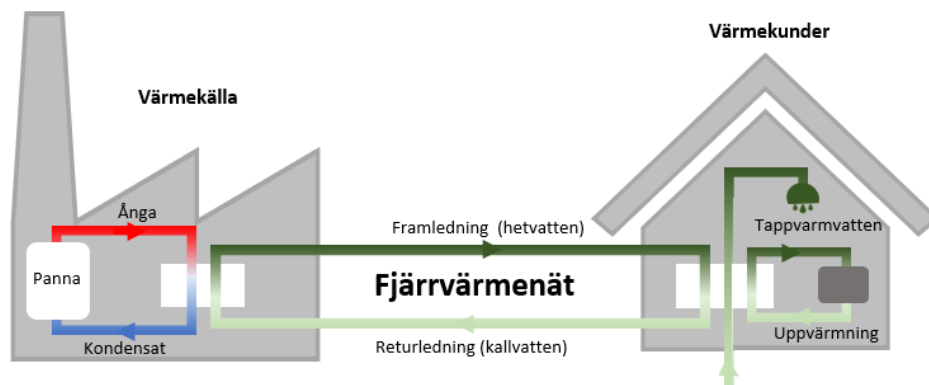
Teori

I följande kapitel presenteras relevant information för studien gällande marknader, produktionstekniker och optimering, planering och drift för el, värme och kyla.

2.1 El-, värme- och kylamarknader

2.1.1 Fjärrvärmemarknader

Fjärrvärmemarknader innebär att värme produceras i en centraliserad och miljöanpassad produktion för att tillgodose en värmelast hos kunder via ett distributionsnät. Vanligtvis utnyttjas energi som annars skulle gå förlorad för värmeproduktionen såsom avfall, skogsavverkningsrester och spillvärme från industrier (Energiföretagen 2020a). För att affärsidén ska lyckas krävs det att det finns en värmekälla som är konkurrenskraftig, ett värmebehov av en lokal marknad samt ett vattenburet rörsystem som kopplar samman värmekällan med värmekunderna (Frederiksen och Werner 2014). Ett förenklat fjärrvärmesystem kan ses i Figur 2.1.



Figur 2.1: Ett översiktligt fjärrvärmesystem, där värmekällan producerar värme som sedan överförs via ett distributionsnät till de lokala värmekunderna.

Värmelasten består av tre komponenter: byggnadsuppvärmning, tappvarmvatten och distributionsförluster (Kvarnström m. fl. 2007). Värmebehovet varierar stort över tid, både eftersom uppvärmning är starkt kopplad till utetemperaturen (vilken varierar stort under året), samt eftersom tappvarmvatten är starkt kopplat till mänskligt beteende hos konsumenterna (vilket varierar under dygnet). Den varierande värmelasten måste tillfredställas kontinuerligt, vilket leder till att värmekällornas värmeproduktion måste anpassas och regleras därefter. Målet med värmeproduktionen är att alltid minimera produktionskostnaden samtidigt som värmebehovet tillfred-

ställs för att systemet ska bli så konkurrenskraftigt som möjligt (Frederiksen och Werner 2014).

2.1.2 Fjärrkylamarknader

Fjärrkylamarknader innefattar en centraliserad produktion och distribution av kyla för att tillgodose ett kylbehov hos kunder. Tekniken bygger på samma princip som fjärrvärme, men istället för hetvatten är det kallvatten som distribueras och tillförs till kunderna för att bidra med komfortkyla (Energiföretagen 2018). I dagsläget är kunderna för fjärrkyla främst kontors- och affärslokaler samt industriprocesser. På grund av de pågående klimatförändringarna i samband med en ökad användning av värmeavgivande elektronik i våra byggnader förväntas kylbehovet öka i framtiden (Palm och Gustafsson 2017). I denna ökning kan fjärrkyla spela en viktig roll, eftersom en central produktion minskar miljöpåverkan och energianvändningen jämfört med att ha flera små kylanläggningar och luftkonditioneringsaggregat (Frederiksen och Werner 2014, Energiföretagen 2018).

2.1.3 Elmarknader

Elmarknader innefattar de marknader där aktörer inom produktion, leverans och konsumtion av elektricitet är inblandade (Nationalencyklopedin 2020a). Inom Europa finns det olika elmarknader som är sammankopplade via det europeiska elnätet. Varje elmarknad kan även bestå av flera länder, som i sin tur kan bestå av olika prisområden inom vilket elen handlas till samma pris. Exempelvis är den svenska elmarknaden, vilken innehåller fyra prisområden, en del av en integrerad nordisk-baltisk marknad som innefattar sju länder (Lusth m. fl. 2018). Vidare pågår det just nu i Sverige en omfattad nybyggnad av väderberoende vindkraft, medan planerbar elproduktion som kärnkraftverk läggs ner. Trots att Sverige har en stor andel planerbar vattenkraft att tillgå, gör överföringsbegränsningar i elnätet mellan olika elområden att det finns risk för effektbrister (Svenska kraftnät 2019). På grund av nedläggningen av planerbar elproduktion och överföringsbegränsningar i elnätet, kan kraftvärmeproducenter komma att få en viktigare roll i framtiden för att bibehålla effektbalansen i varje enskilt elområde (Energiföretagen 2020b).

Det finns flera olika elbörser där elektricitet handlas (European Commission 2019). För den nordisk-baltiska marknaden handlas majoriteten av elen via elbörsen Nord Pool AS vilken har både en dagenföremarknad (day-ahead market) och en intradagsmarknad (intra-day market). På dagenföremarknaden (även kallad spotmarknaden) sker planering av morgondagens elleveranser, genom att aktörer lämnar in sina köp- och säljbud för att elpriset ska kunna fastställas timvis för nästkommande dag. På intradagsmarknaden handlar aktörerna el upp till en timme för drifttimmen för att kunna justera mot eventuella förändringar som skett efter att dagenföremarknaden har stängts. Elpriset, och därmed den möjliga inkomsten för en elproduktionskälla, bestäms därmed utifrån utbud och efterfrågan. Där köp- och säljbud möts etableras marknadspriset (Lusth m. fl. 2018). Dygnsvis brukar elpriset generellt vara lägst på natten då vi har låg efterfrågan och högst på dagen då vi har hög efterfrågan. Samma trend gäller årsvis, där elpriset brukar vara högst på vintern (när eldriven värmeproduktion används i större utsträckning) och lägst på sommaren. Däremot vid mycket höga sommartemperaturer (då behovet av eldriven kylproduktion ökar) kan denna årtrend bli det motsatta (Vattenfall AB 2020).

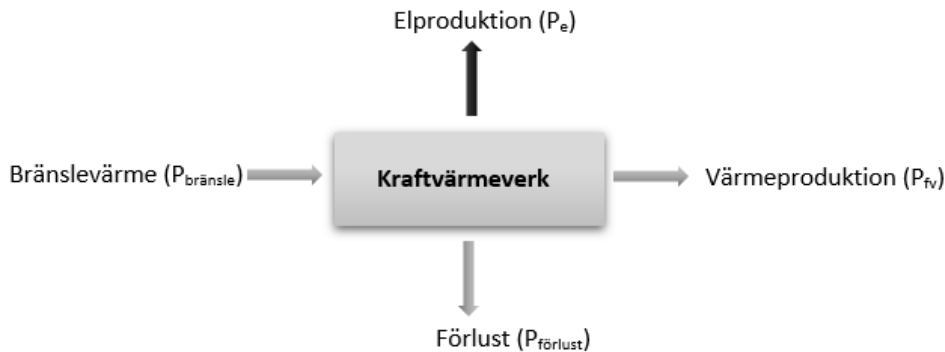
2.2 Tekniker för el-, värme och kylproduktion

2.2.1 Kraftvärmeverk

Ett kraftvärmeverk är en anläggning som producerar både el och värme i samma process. Producerad el matas främst ut på elnätet (men används även till viss del internt på anläggningen), medan producerad värme transporteras ut via ett fjärrvärmenät till lokala värmekunder. Kombinationen av att både producera el och värme leder till en hög totalverkningsgrad omkring 80-90%, vilket leder till ett mer effektivt energiutnyttjande då en stor andel av bränslets energiinnehåll utnyttjas (Nationalencyklopedin 2020c). Av den energi som tillförs i anläggningen blir vanligtvis ca 30-50% el och den återstående delen blir värme (Energiföretagen 2020b). Energibalansen för ett kraftvärmeverk illustreras i Figur 2.2. Balansen kan skrivas enligt följande ekvation (Frederiksen och Werner 2014):

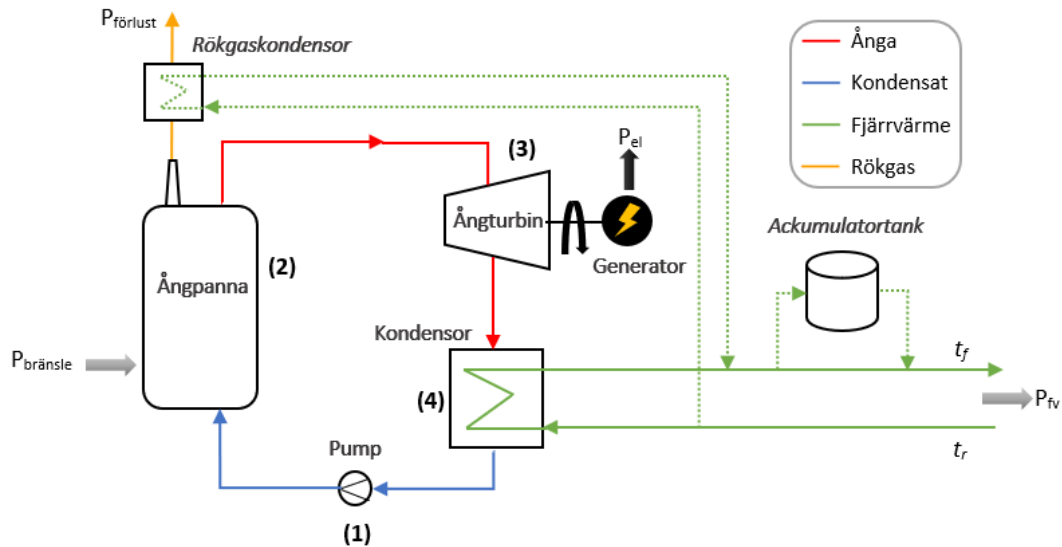
$$P_{\text{bränsle}} = P_{el} + P_{fv} + P_{\text{förlust}} [W] \quad (2.1)$$

där $P_{\text{bränsle}}$ är den tillsatta bränsleeffekten, P_{el} den producerade eleffekten, P_{fv} den producerade fjärrvärmeeffekten och $P_{\text{förlust}}$ den värmeeffekt som förloras till omgivningen. Värmeförlusten sker främst genom skorsstenen, men även genom anläggningens väggar.



Figur 2.2: Energibalans för ett kraftvärmeverk. Energi i form av bränslevärme tillsätts, vilket omvandlas till el, fjärrvärme och förluster. Baserad på Frederiksen och Werner 2014.

Det finns olika typer av kraftvärmeverksanläggningar som baseras på olika termodynamiska processer. Mottryckskraftvärmeverk är ett av de mest vanliga. De baseras på en ångturbincykel där ett slutet vattenburet system används för att producera el och fjärrvärme. Det slutna systemet gör det möjligt att utnyttja alla typer av bränslen eftersom turbiner inte utsätts för förbränningsprodukter som kan orsaka korrosion eller erosion. Utöver detta har ett kraftvärmeverk rökgasrening, vilket innebär att de rökgaserna som bildas vid förbränningen av bränslen rengörs innan de släpps ut. Det är dessutom vanligt att en rök-gaskondensator används eftersom den kan återvinna värmeenergi från rökgaserna till fjärrvärmenätet. För att lättare kunna styra värmeförlusten till fjärrvärmenätet, kan även en ackumulatortank användas som buffert vid de tillfällen då fjärrvärmelasten varierar kraftigt (Frederiksen och Werner 2014). Ett övergripande mottryckskraftvärmeverk ses i Figur 2.3.



Figur 2.3: Ett förenklat mottryckskraftvärmeverk. Anläggningen består av en panna där bränslet förbränns, en ångturbin där ångan passerar och gör att den sammankopplade generatoren kan producera el, en kondensator som återvinner värmeenergin till ett fjärrvärmenät samt en pump som trycksätter vattencykeln. Utöver detta har systemet en rökgaskondensator som återvinner värmeenergi från rökgaserna samt en ackumulatortank som kan fungera som buffert när fjärrvärmelasten varierar kraftigt. t_f innebär framledning av hetvatten och t_r returledning av kallvatten. Baserad på Frederiksen och Werner 2014.

Sammanfattningsvis fungerar cykeln i Figur 2.3 enligt följande (Frederiksen och Werner 2014):

- (1) Vatten inom det vattenburna systemet blir trycksatt genom en pump.
- (2) Det trycksatta vattnet bildar sedan ånga genom att ta upp värme som frigjorts vid bränsleförbränningen i panna.
- (3) Ångan passerar en ångturbin som omvandlar ångans rörelseenergi till mekaniskt arbete, vilket gör att den sammankopplade generatoren kan tillverka el som sedan kan matas ut på elnätet.
- (4) Ångan kondenseras därefter i kondensorn, och den värmeenergi som erhålls vid kondenseringen överförs till ett fjärrvärmenät. Det kondenserade vattnet trycksätts sedan igen och förs tillbaka in i panna där processen börjar om på nytt, vilket är anledningen till att det kallas en sluten process.

2.2.2 Övrig värme- och kylproduktion

Angående övrig energiproduktion kallas anläggningar där det endast produceras värme för värmeverk. I värmeverk, precis som i ett kraftvärmeverk, används en panna för eldning av bränsle. Däremot överförs värmen direkt till fjärrvärmenätet utan att först tillverka el. En sådan panna kallas för hetvattenpanna, och den kan precis som en ångpanna utnyttja olika typer av bränslen för värmeproduktionen (Nationalencyklopedin 2020d, Nationalencyklopedin 2020b). Övriga sätt att producera värme är genom el, exempelvis via elpannor och värmepumpar. I elpannor används direktverkande el för värmeproduktionen, medan värmepumpar utvinnet och flyttar värme från omgivningen (t.ex. från luften, marken eller vatten) för att bilda hetvatten. Värmepumpar är mer effektiva än elpannor och producerar mer värme per investerad MW el. Gällande hetvattenpannor, elpannor och värmepumpar används dessa främst som reservproduktion (exempelvis om någon baslastpanna skulle gå sönder) samt vid

spetslast, d.v.s. för att tillgodose värme vid de tillfällen då det blir extra kallt och baslasten inte klarar av att fylla fjärrvärmebehovet (Frederiksen och Werner 2014).

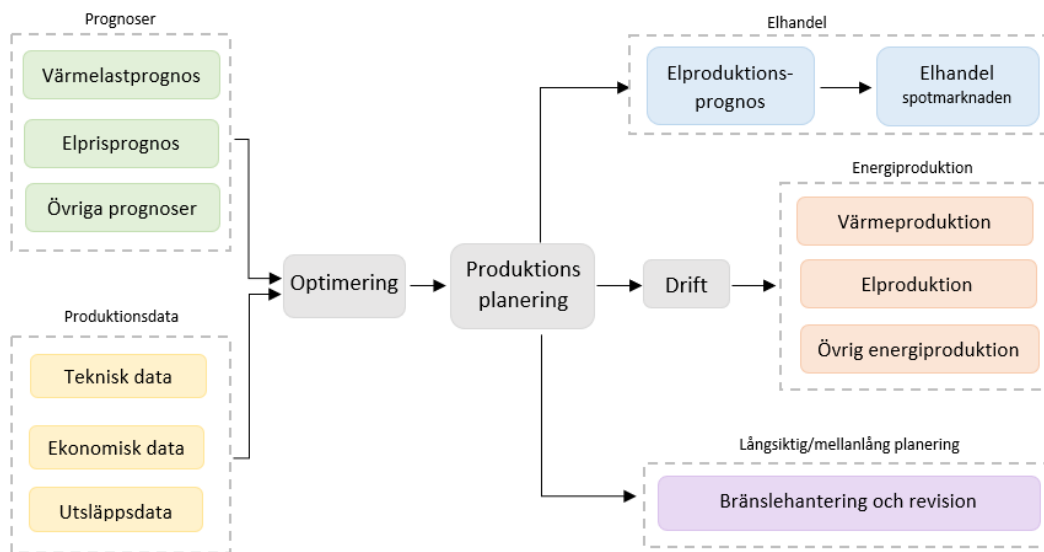
Angående kylproduktion finns det många olika tekniker för att producera fjärrkyla. Frikyla är en teknik, vilket innebär att kyla hämtas från naturliga temperatursänkor i omgivningen (såsom havet, sjöar eller vattendrag) för att sedan överföra kylan till fjärrkylanätet (Energiföretagen 2018). Ett annat produktionssätt är via en kompressorkylmaskin, vilket innebär att man flyttar värmeenergi från det man vill kyla ner till en värmesänka (Abrahamsson och Nilsson 2013). Tekniskt sätt är en kompressorkylmaskin samma typ av aggregat som en värmepump, och maskinen kan producera antingen värme eller kyla, eller båda nyttigheter på samma gång (Frederiksen och Werner 2014). En annan produktionsteknik är en absorptionskylmaskin. Den drivs av majoritetens värme (t.ex. spill- eller fjärrvärme) och en mindre mängd el för att avlägsna värme och kyla ner fjärrkylanätet (Energiföretagen 2018).

2.3 Optimering, planering och drift av kraftvärmeproduktion

Eftersom driften av ett kraftvärmeverk är förenat med små marginaler för att kunna erbjuda el och värme till konkurrenskraftiga priser, är det viktigt för producenter att optimera produktionen så att den sker så effektivt som möjligt. För att uppnå en konkurrenskraftig drift krävs det därför att en produktionsplanering genomförs (Dotzauer 2002b). Produktionsplanen bygger på en produktionsoptimering där matematiska optimeringsmetoder och modeller används för att få ut den bästa möjliga körstrategin av kraftvärmeverket. En produktionsplanering syftar främst till en kort-siktig planering (närmaste veckan) men kan också handla om en mellanlång planering (upp till en månad) eller en långtidsplanering (ett år eller längre) (Häggståhl och Dotzauer 2004).

Målet med en produktionsplanering är att tillgodose värmelasten i ett fjärrvärmenät, samtidigt som det levereras önskvärd mängd el, till det lägsta möjliga driftpriset. Driftpriset är direkt kopplat till anläggningens kostnader (exempelvis bränslekostnader, start- och stoppkostnader av enheter, skatter etc.) samt dess inkomster (exempelvis elförsäljning, elcertifikat, subventioner etc.). Dessa ekonomiska data är därmed centrala för att göra produktionsplanen så ekonomiskt optimal som möjligt. Även teknisk data, såsom min- och maxlast för olika enheter samt hur olika enheter är kopplade till varandra, är grundläggande för att utföra planeringen. Utöver detta är även utsläppsdata för olika bränslen som används under produktionen relevanta då de påverkar eventuella skatter (Dotzauer 2002a).

En produktionsplanering utförs genom att det först utformas en värmelastprognos som sedan ligger till grund för optimeringen och konstrueringen av produktionsplanen. Samtidigt, eftersom elmarknadspriset har stor påverkan på anläggningens inkomster, utnyttjas även elprisprognoser för att planera kraftvärmeproduktionen (Hedberg och Koppers 2011). När planeringen har gjorts baserat på prognoserna, samt i samband med produktionsdata, görs även en elproduktionsprognos vilket behövs för att kunna handla på elmarknaden. Övriga prognoser, exempelvis för fjärrkylalast, kan även göras i de fall där även ytterligare energilag produceras i anläggningen. Ju med exakta prognoser som kan utföras, desto bättre produktionsplanering eftersom avvikelsekostnaderna för anläggningens oplanerade produktion minskar (Frederiksen och Werner 2014).



Figur 2.4: Övergripande produktionsplanering av utflöden (energiproduktion, elhandel och långsiktig/mellanlång planering) med hjälp av produktionsoptimering genom viktiga inflöden (prognoser och produktionsdata).

2.3.1 Produktionsplanering

Syftet med produktionsplaneringen är att optimera produktionen och erhålla den mest ekonomiska körstrategin för kraftvärmeverket. Produktionsplanering handlar främst om korttidsplanering för de närmast kommande dygnet, men den kan även göras över andra tidshorizonter. Vilken tidshorizont som planeringen syftar till beror på vilka uppgifter som ska besvaras.

Långtidsplanering (ett år eller längre) syftar till att estimeras mängden bränsle som kommer förbrukas, med fokus på optimering av bränslelager, bränslekontrakt och miljöavgifter. Även revisioner ligger i fokus (Häggstahl och Dotzauer 2004), vilket innebär att man förbereder den kommande driftsäsongen och fastställer anläggningens tekniska status för framtiden (FVB 2014). En mellanlång planering (upp till en månad) grundar sig också i planering av bränslelager, men även planering av bränsletransporter (Häggstahl och Dotzauer 2004). Planeringen sker även eftersom vissa skatter avräknas månadsvis (Dotzauer 2002a). Korttidsplanering (realtid till en vecka) syftar till att optimera hur produktionsenheterna ska startas och stoppas och hur produktionen ska allokeras mellan dem för att hitta den bästa produktionsmixen. Dessutom om anläggningen har en ackumulatortank syftar korttidsplaneringen till att bestämma hur denna ska användas (Häggstahl och Dotzauer 2004).

Oavsett tidshorizont är planeringsprincipen densamma. Till en början sker en värmelastprognos där sedan produktionen staplas in under värmelastkurvan baserat på en körorderlista (i vilken produktionsenheterna rangordnats efter stigande rörlig kostnad). Den med lägst driftkostnad placeras underst i kurvan, och den med högst placeras överst. Däremot är det inte garanterat att en sådan staplingsstrategi är den mest optimala, då andra tidskopplade villkor gällande t.ex. start- och stoppkostnader samt ackumulatörer kan påverka hur den optimala produktionsmixen ser ut. Genom dataprogram som hjälper till att optimera produktionen kan planeringen ske på ett bättre sätt (Frederiksen och Werner 2014, Häggstahl och Dotzauer 2004).

2.3.2 Optimering

Optimering av kraftvärmeproduktion är nyckeln till en bra produktionplanering. Vad som behövs för att kunna genomföra en produktionsoptimering är prognoser (värmelast- och elprisprognoser) samt produktionsdata (teknisk, ekonomisk och utsläppsdata). En optimeringsberäkning för en produktionplanering utförs med hänsyn till att minimera kostnaderna för produktionen givet de villkor som bestämts gällande energisystemmodellen. För att genomföra optimeringen krävs det att den verkliga processen av kraftvärmeproduktionen beskrivs via matematiska modeller. Hur komplex den matematiska modellen bör vara, beror på vägningen mellan att få ett så noggrant resultat som möjligt och samtidigt behålla beräkningstiden så kort som möjligt (Dotzauer 2002a). Ett generellt optimeringsproblem kan skrivas enligt följande formel (Häggståhl och Dotzauer 2004):

$$\min_x f(x) \quad \text{s.t. } g(x) = 0 \quad (2.2)$$

där $f(x)$ är problemets objektfunktion, x är vektorn som innehåller problemets beslutsvariabler, och $g(x) = 0$ är problemets bivillkor. s.t här står för "subject to", vilket på svenska kan översättas till "med hänsyn till". Målet med optimeringsproblemet är att identifiera den vektor x som uppfyller bivillkoret $g(x)$ samtidigt som $f(x)$ blir så litet som möjligt. Om optimeringsproblemet kopplas till kraftvärmeproduktion, handlar det om att hitta den produktionsmix (x) som ger lägsta kostnader ($f(x)$) samtidigt som värmeproduktionen uppfyller värmebehovet ($g(x)$). Utifrån optimeringen kan således produktionsplaneringen avgöra hur produktionsenheterna ska startas och stoppas, samt fastställa hur enheternas produktionsnivåer ska vara utifrån deras driftstatus och kostnader (Häggståhl och Dotzauer 2004).

2.3.3 Teknisk data

Energisystemmodellens tekniska data är de som avgör vilka möjligheter och begränsningar som finns under en produktionsplanering. Exempel på teknisk data är bland annat:

- Uppsättning av systemmodellen och kopplingar mellan olika enheter, vilket därmed avgör hur energiflöden måste färdas.
- Enheters min- och maxlaster vilket påverkar hur mycket energi som faktiskt kan produceras.
- Verkningsgraden (förhållandet mellan nyttiggjord energi och tillförd energi), vilket är ett mått på hur effektiv en enhet är.
- Maximal laständringshastighet, vilket påverkar hur lasten i en enhet maximalt får ändras per tidsenhet.

2.3.4 Ekonomisk data

Energisystemmodellens ekonomiska data avgör vilken produktionsmix som är mest fördelaktig och hur olika enheter ska köras för att erhålla den minsta möjliga produktionskostnaden. Exempel på ekonomisk data är bland annat:

- Bränslekostnader, vilket är kostnaden för att använda ett visst bränsle.
- Start- och stoppkostnader, vilket avgör hur mycket det kostar att starta eller stoppa produktionen inom en viss enhet.

- Laständringskostnader, vilket uttrycker hur mycket det kostar att ändra lasten inom en viss enhet.
- Underhållskostnader, både rörliga och fasta, vilket beskriver hur mycket det kostar att underhålla en viss enhet.

Tillsammans utgör dessa kostnader en total driftkostnad, vilket kan uttryckas antingen som en medel- eller marginalkostnad. I följande underavsnitt kommer de olika ekonomiska data att förklaras mer ingående.

2.3.4.1 Bränslekostnader

För kraftvärmeproduktion är bränslekostnaderna de enskilt största när det kommer till de rörliga produktionskostnaderna (Fjärrvärmeutredningen 2005). Vanliga bränslen som används inom kraftvärmeproduktion är exempelvis eldningsolja, naturgas, kol, avfall samt fasta och flytande bibränslen (Naturvårdsverket 2018). Sammanfattningsvis består den totala bränslekostnaden av ett bränslepris, flera bränsleskatter och avgifter (energiskatt, koldioxidskatt, svavelskatt och kväveoxidavgift) samt ett utsläppsrättspris.

Bränslepriset är kostnaden för själva bränslet. För majoriteten av alla bränslen innebär detta en kostnad, men för avfall får man istället betalt för att ta emot bränslet. Gällande skatter varierar dessa beroende på vilken typ av bränsle och användningsområde det handlar om (Helbrink m. fl. 2016). För energi-, koldioxid och svavelskatten är det främst fossila bränslen som omfattas. Koldioxidskatten varierar mellan olika bränslen och är baserad på dess kolinnehåll, medan svavelskatten är en fixt avgift som betalas endast om bränslets svavelinnehåll överstiger 0,05 vikt% (Skatteverket 2020b). Kväveoxidavgiften bestäms utifrån faktiska kväveutsläpp som sker under årets gång, och eftersom systemet bygger på återbetalning till de med lägst utsläpp kan kväveavgiften även bli en intäkt (Helbrink m. fl. 2016). Utsläppsrätter, precis som energi- och koldioxidskatten, omfattar främst fossila bränslen. Handeln med utsläppsrätter är ett styrmedel på EU-nivå och innebär att energiproducerande anläggningar måste besitta en utsläppsrätt för varje ton CO_2eq som släpps ut (Energimyndigheten 2018).



Figur 2.5: Översikt av de olika delar som påverkar bränslekostnaden: ett bränslepris, flera bränsleskatter och avgifter (energiskatt, koldioxidskatt, svavelskatt och kväveoxidavgift) samt ett utsläppsrättspris (Helbrink m. fl. 2016)

För vissa bränslen inom kraftvärmeproduktion kan subventioner erhållas vilka bidrar till att minska bränslekostnaden. Exempelvis kan subventionerna syfta till att minska bränslekostnaden för miljömässiga bränslen som i vanliga fall har stora kostnader (Larsson m. fl. 2003). Exempel på en subvention är bland annat elcertifikat. För varje producerad MWh el som sker med hjälp av förnybara bränslen erhålls ett elcertifikat från staten, vilket sedan kan säljas vidare till kvotpliktiga (främst elleverantörer) och

på så sätt bidra till en extra inkomst för produktionen (Energimyndigheten 2017).

När ett bränsle (förutom olja) används inom kraftvärme erhålls en viss skattebefrielse beroende på andelen som används till el- respektive värmeproduktionen. För den andelen bränsle som används för att producera skattepliktig el erhålls 100% skattebefrielse från både energiskatt, koldioxidskatt och utsläppsrätter. Detta för att undvika dubbelsbeskattning då elen redan beskattas i användarledet. Detta gäller däremot inte för inköpt eller egenproducerad hjälpel, det vill säga den el som produceras och används internt inom anläggningen. För den andelen bränsle som används för att producera värme erhålls 9% skattebefrielse på utsläppsrätter (Skatteverket 2020b; Helbrink m. fl. 2016).

2.3.4.2 Start- och stoppkostnader

Start- och stoppkostnader innebär de kostnader som uppstår när en enhet startas eller stoppas. För start utgörs det bland annat av det extra bränsle som behövs för att värma upp processen till rätt temperatur innan produktionen kan sättas igång. Övriga start- och stoppkostnader utgörs även av den extra service som krävs samt den eventuella framtida minskade tillgängligheten som blir på grund av det slitage som sker på systemets komponenter. Detta eftersom start och stopp orsakar stora temperatur- och tryckförändringar vilka har en stor tärande effekt på systemet. Start- och stoppkostnader är ofta svåra att estimeras då slitaget och dess effekter på systemet kan uppkomma flera år senare. För att undvika stora framtida kostnader orsakade av slitage vid start och stopp, blir det således önskvärt att ha en jämn produktion där enheter inte startas och stoppas i för hög utsträckning (Kumar m. fl. 2012).

2.3.4.3 Laständringskostnader

Laständringskostnader innebär de kostnader som uppstår när lasten för en enhet ändras. Precis som för start- och stoppkostnader leder laständringar till slitage på systemet och dess komponenter, vilket resulterar i kostnader i form av extra service och eventuella minskade tillgängligheter. Hur stor laständringskostnaden är beror på vilken typ av enhet det är (där baslastenheter har högre kostnad då är designade att ha en jämn last) samt på vilken hastighet lasten ändras (där snabbare hastighetsförändring leder till en större kostnad) (Kumar m. fl. 2012).

2.3.4.4 Underhållskostnader

Underhållskostnader innefattar de utgifter som är kopplade till underhåll och reparationer av maskiner och komponenter inom anläggningen. Då produktionen sliter på anläggningen krävs det att den underhålls kontinuerligt. Detta för att hålla en god kvalitet och undvika oväntade fel på produktionsystemet. Underhållskostnaden kan både vara fast (konstant kostnad när en enhet är igång) eller rörlig (kostnad som beror på enhetens lastnivå) (Kumar m. fl. 2012).

2.3.4.5 Driftkostnad genom medel- och marginalkostnad

Driftkostnaden inom ett kraftvärmeverk kan beskrivas genom marginal- och medelkostnad. För ett kraftvärmeverk handlar det om produktionskostnaden för att producera energi (MW) i form av el eller värme.

Medelkostnaden beskriver genomsnittskostnaden per producerad MW. Målet med medelkostnaden är att utvärdera hur totalkostnaden TK förändras beroende på hur

många MW som produceras. Om totalkostnaden TK beskrivs som en funktion av mängden producerad MW P genom $f(x) = TK(P)$ kan medelkostnaden beräknas enligt följande:

$$K_{medel} = \frac{TK}{P} [SEK/MW] \quad (2.3)$$

I jämförelse med medelkostnaden beskriver istället marginalkostnaden hur totalkostnaden TK av produktionen förändras då det produceras ytterligare en MW. Målet med marginalkostnaden är att undersöka om det är lönsamt att producera en extra MW eller inte vid en viss tidpunkt. Om totalkostnaden även här beskrivs som en funktion av mängden producerad MW, kan marginalkostnaden beräknas som en stegvis förändring enligt följande:

$$K_{marginal} = \frac{\Delta TK}{\Delta P} [SEK/MW] \quad (2.4)$$

Medan medelkostnaden innefattar alla kostnader för produktionen utslagen på mängden producerad MW, så innehåller marginalkostnaden endast den ytterligare kostnad som produktionen av en extra MW medför (EDUCBA 2020). Förutom att medel och marginalkostnaden kan beräknas för ett helt system eller anläggning som en helhet, kan de även beräknas för olika enheter separat för att fastställa vilka enheter som har billigast produktion. Utifrån detta kan således den mest ekonomiska körordningen av enheterna bestämmas.

Eftersom det uppstår två typer av energier under kraftvärmeproduktion, brukar medel- och marginalkostnaden beräknas separat för värmen och elen. Hur dessa kostnader beräknas beror på hur allokeringen har skett av samkonstanderna mellan värme- och elproduktionen. En vanlig allokeringmetod för kraftvärmeproducenter är att värmeproduktionen anses vara huvudprodukten eftersom det finns ett fjärrvärmebehov som måste uppfyllas. Elproduktionen anses således att vara en biprodukt som istället bidrar till att minska marginal- och medelkostnaden för värmeproduktionen genom sin försäljningsintäinkt utefter spotmarknadens elpris. Eftersom spotmarknadens elpris varierar över tid, kommer även medel- och marginalkostnaden för ett helt system eller anläggning att variera. För enskilda enheter beror variationen av medel och marginalkostnaden på deras koppling till elpriset. Exempelvis vid ett högt elpris kan vissa enheter få minskad driftkostnad (t.ex en generator och sammankopplad kondensator) medan andra enheter som konsumerar el (t.ex. värmepumpar) får högre driftkostnader (Sjödín och Henning 2004).

2.3.5 Utsläppsdata

I kraftvärmeproduktion utnyttjas bränslen för att tillverka el och värme. Användningen av bränslena i produktionen leder till utsläpp av växthusgaser, vilka bidrar till ökad global uppvärmning. De mest relevanta växthusgaserna som kan uppstå vid användning av bränslen är koldioxid (CO_2), metan (CH_4) och lustgas (N_2O). För att kunna jämföra emissionsdata för olika bränslen anges deras totala utsläpp vanligtvis i koldioxidekvivalenter (CO_2eq), vilket innebär att alla växthusgaser omvandlas till hur mycket deras utsläpp hade motsvarat i koldioxid. Hur många kg CO_2eq som släpps ut per kg växthusgas kan ses i Figur 2.6 (Gode m. fl. 2011).

Växthusgas	Beteckning	Utsläpp i koldioxidekvivalenter (kg CO ₂ eq/kg gas)
Koldioxid	CO ₂	1
Metan	CH ₄	23
Lustgas	N ₂ O	295

Figur 2.6: Exempel på olika växthusgaser och hur mycket utsläpp de motsvarar i koldioxidekvivalenter (CO₂eq) (Gode m. fl. 2011).

För att få med alla växthusgasutsläpp som sker vid användningen av ett bränsle måste hela dess livscykel (utvinning, transport, omvandling och förbränning) beaktas. Det är endast fossila utsläpp av CO₂eq som ska tas hänsyn till då de bidrar till en nettoökning av CO₂eq i atmosfären, medan biogena utsläpp är en del av kolets naturliga kretslopp. I Gode m. fl. 2011 har fossila utsläpp utifrån ett livscykelperspektiv för konventionella bränslen inom svensk el- och värmeproduktion sammanställts. I Figur 2.7 presenteras totala utsläpp för några av de bränslen som presenteras i rapporten (Gode m. fl. 2011). Utsläppsdata för el är baserade på andra källor, där svensk elmix baseras på Energi- och klimatrådgivningen 2018, nordisk elmix på Naturvårdsverket 2018 och europeisk elmix på European Environment Agency 2018.

Bränsle	Totala utsläpp (kg CO ₂ eq/MWh)
Fossila bränslen	
Eldningsolja 1 (EO 1)	288
Eldningsolja 2-5 (EO 2-5)	295
Naturgas	248
Stenkol	385
Avfall	
Hushållsavfall	144
Verksamhets- och grovavfall	94
Returträ (RT-flis)	3,2
Torv	425
Fasta biobränslen	
Energiskog (Salix)	28
Träpellets och träbriketter	19,8
Övriga träbränslen <i>GROT, stubbar, gallringsvirke, skogsflis, bark och sågverksrester</i>	7,8
Bioljor	
Råtallolja	2,5
Tallbecksolja	6,5
El	
Svensk elmix	13*
Nordisk elmix	125**
Europeisk elmix	296***
Spillvärme	0

Figur 2.7: Sammanställning av totala utsläpp (fossil del) i CO₂eq/MWh för olika bränslen (Gode m. fl. 2011). Utsläppsdata för el är baserade på andra källor, där svensk elmix baseras på Energi- och klimatrådgivningen 2018 (*), nordisk elmix på Naturvårdsverket 2018 (**), och europeisk elmix på European Environment Agency 2018 (***)

Eftersom optimeringen av kraftvärmeproduktion sker utifrån att minimera produktionskostnaderna, används utsläppsdatan främst till att beräkna kostnaden för den mängden utsläppsrätter som måste köpas för att kompensera för bränsleutsläppen (Eriksen 2000). För varje ton CO₂eq som släpps ut vid förbränningen av ett bränsle måste man köpa en utsläppsrätt (Gode m. fl. 2011). Övriga kostnader kopplat till bränsleutsläpp, till exempel koldioxidskatten, uttrycks istället genom en kostnad per

MWh bränsle istället för per mängden utsläpp som det orsakar. Däremot, eftersom koldioxidskattens storlek är baserad på fossil kolmängd i ett bränsle, gör det att utsläppen ändå inkorporeras i optimeringen av kraftvärmeproduktionen (Skatteverket 2020a, Dotzauer 2002a).

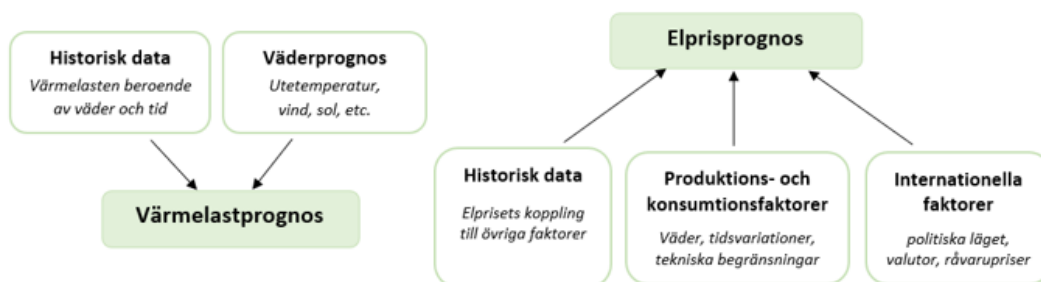
2.3.6 Prognoser

Värmelastprognoser och elprisprognoser inom kraftvärmeproduktion är mycket viktiga för att kunna utföra en optimal produktionsplanering. Prognoserna förutser både hur mycket värmeenergi som måste produceras för att tillfredställa kunderna, men även hur mycket extra inkomst som kan ges via elproduktionen.

Värmelastprognoser bygger på att använda historisk data för att hitta samband över hur värmelasten beror på väder och tid (Kvarnström m. fl. 2007). Gällande väder handlar det främst om utetemperatur, men det kan även handla om exempelvis vindhastighet och solinstrålning (Hedberg och Koppers 2011). Gällande tid handlar det oftast om tidpunkt på året (t.ex. årstid) samt vecko- och dygnsvariationer på grund av mänskligt beteende (högre tappvarmvattenanvändning på vardagar och dagtid, lägre på helger och nattetid).

Elprisprognoser bygger på flera olika faktorer. *Produktions- och konsumtionsfaktorer* är exempelvis väder, tidsvariationer (dygns-, vecko-, och säsongsvariationer) kopplade till konsumenternas beteende och tekniska begränsningar. *Internationella faktorer* är exempelvis det politiska läget, valutor och råvarupriser. Utöver detta är även historisk data användbart för att kunna hitta samband mellan elpriset och de faktorer som beskrivits ovan (Beigaite, Krilavičius och Man 2018).

Baserat på värmelast- och elprisprognoser kan en elproduktionsprognos och efterföljande elhandel estimeras. Utifrån värmelastprognoser fastställs hur mycket värmeenergi som behövs produceras för att tillfredställa värmebehovet, vilket i sin tur påverkar hur mycket el som kommer produceras. Däremot vid högt elpris finns det incitament att producera mer el vilket kan påverka produktionsplaneringen. Utifrån elproduktionsprognosen kan sedan säljbuden på elmarknaden bestämmas för att handla på elbörsen (Frederiksen och Werner 2014, Hedberg och Koppers 2011).



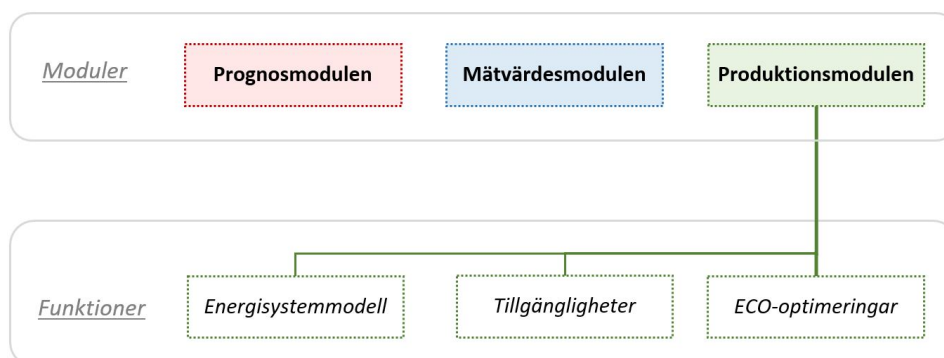
Figur 2.8: Övergripande metod för att utföra en värmelast- och elprisprognos. Värmelastprognoser utnyttjar historisk data och väderprognoser. Elprisprognoser använder historisk data, produktions- och konsumtionsfaktorer samt internationella faktorer.

Kapitel 3

Energy Optima 3

Energy optima 3 (EO3) är en kommersiell optimeringsprogramvara som används för att genomföra produktionsplaneringar för industriella verksamheter. För kraftvärmeproducenter använder programvaran samma principer som beskrivits i avsnitt 2.3 för att genomföra de optimerade produktionsplaneringarna, där prognoser och produktionsdata används för att hitta den mest ekonomiska körstrategin givet att fjärrvärmelasten uppfylls. I denna studie används EO3 för att genomföra fallstudien och få fram slutliga resultat gällande de ekonomiska och miljömässiga vinsterna.

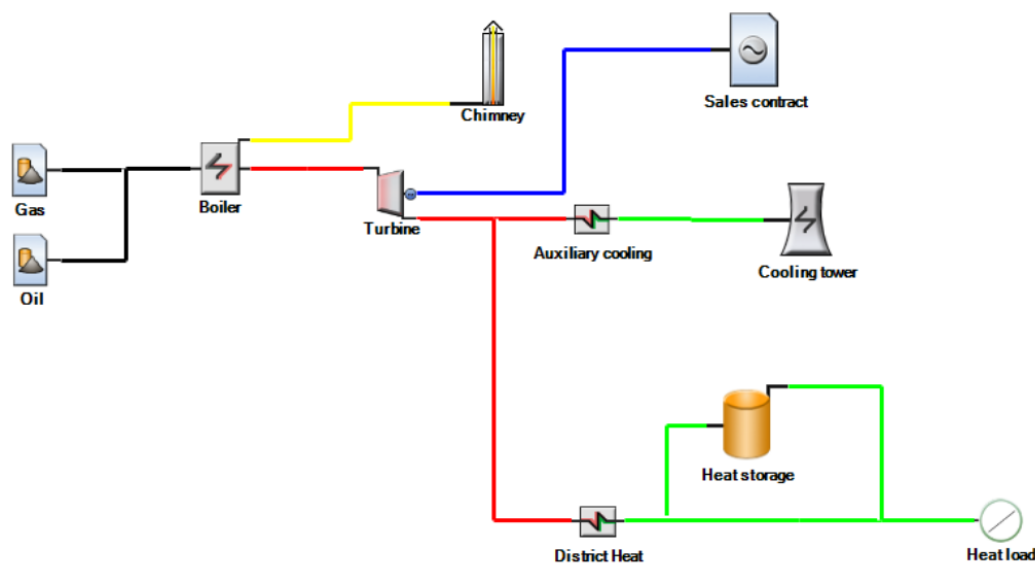
EO3 är uppbyggt av olika moduler, bland annat en prognosmodul, en mätvärdesmodul och en produktionsmodul. Under dessa moduler skapas, definieras och sammanställs relevanta värden, variabler och parametrar som behövs för att utföra optimeringarna. Under prognosmodulen skapas prognoser över relevant data (exempelvis väder-, fjärrvärme- och elprisprognoser) vilka sedan används för att kunna planera den kommande kraftvärmeproduktionen. I mätvärdesmodulen sammanställs verklig mätdata från produktionen, exempelvis hur den verkliga körningen av enheterna såg ut och hur mycket fjärrvärme och el som faktiskt levererades. Under produktionsmodulen sker själva optimeringen av el- och värmeproduktionen, där optimeringar både kan göras för att fastställa framtida produktion (baserat på prognosvärden) eller för att analysera dåtida produktion (baserat på mätvärden). Under en optimering beräknas optimerade variabler fram vilka visar hur enheter bör eller borde ha körts för att tillgodose fjärrvärmelasten till den minsta produktionskostnaden. Under varje modul tillkommer viktiga funktioner, och i följande avsnitt kommer några av produktionsmodulens funktioner som är relevanta för denna studie att förklaras mer ingående. En övergripande bild av EO3:s moduler samt de funktioner som anses relevanta visas i Figur 3.1.



Figur 3.1: En övergripande bild av EO3:s moduler samt de funktioner under produktionsmodulen som anses vara relevanta för denna studie.

3.1 Energisystemmodell

I produktionsmodulen definieras energisystemmodellen av anläggningen och hur energiflöden ska gå mellan systemets olika enheter. Uppbyggnaden av energisystemmodellen sker genom att enheter såsom pannor, generatorer, kondensorer och ackumulatörer placeras ut och kopplas samman genom in- och utflöden. Till varje enhet definieras teknisk data (såsom lastintervall och verkningsgrad) samt ekonomisk data (såsom laständringskostnad och underhållskostnad). Enheterna kopplas även ihop med ingående bränslekontrakt och utgående fjärrvärmelast för att få en komplett övergripande energimodell som optimeringen och planeringen av el- och värmeproduktionen kan baseras på. I de fallen där anläggningen även köper och säljer el, inkluderas elköps- och elförsäljningskontrakt. Exempel på hur en energimodell kan ställas upp i EO3 visas i Figur 3.2.



Figur 3.2: Exempel på en uppbyggd energisystemmodell i EO3. Enheter, bränslekontrakt, fjärrvärmelast samt elinköps- och elförsäljningskontrakt sammankopplas med in- och utflöden för att få en komplett energimodell som optimeringen och planeringen av produktionen kan baseras på.

Målet med uppbyggnaden av energisystemmodellen är att få fram en energimodell som liknar den verkliga processen så mycket som möjligt. I många fall är den verkliga processen mycket komplex och svår att bygga upp endast med hjälp av EO3s visualiseringsverktyg. I dessa fall utförs även specialprogrammering av energimodellen för att den ska bli så representativ som möjligt.

3.2 Tillgängligheter

Under produktionsmodulen hanterar även EO3 tillgängligheter för alla enheter, vilket innebär deras produktionsstatus under olika tidsperioder. Genom inställningarna kan man tvinga en enhet under en begränsad tid att vara icke tillgänglig (t.ex. som en enhet har gått sönder eller behöver underhållsarbete), att tvångsköra (t.ex. om ska testköras under en viss period) eller att ändra sina lastgränser (t.ex. öka eller minska lastintervallet). Produktionsoptimeringarna i programmet baseras således på de angivna tillgängligheterna och anpassar den optimala produktionsmixen därefter.

3.3 ECO-optimeringar

ECO-optimeringar är också en del av produktionsmodulen i EO3. ECO-optimeringar går ut på att analysera historisk produktionsdata och jämföra den verkliga produktionen med hur en optimerad produktion hade varit under samma tidsperiod. Syftet med ECO-optimeringar och jämförelsen mellan en verklig och optimal produktion, är att kunna utvärdera hur väl produktionen skett ekonomiskt och identifiera eventuella förbättringsåtgärder som kan göras för att nå en mer optimal produktion. Vid en ECO-optimering är det två optimeringsberäkningar som görs över samma tidsperiod och som jämförs i varje analys:

- **Optimering av ECO-real.** Det innebär att optimeringen följer den faktiska produktionen genom att följa uppmätta mätvärden från utvalda enheter. Det ekonomiska resultatet av detta blir därmed den riktiga produktionskostnaden under perioden. Om vissa mätvärden inte matchar energisystemmodellens gränser, hjälper även denna ECO-optimering till med att kunna förbättra och trimma systemet så att det blir mer verklighetsförankrat. I de fall där vissa mätvärden trots trimning ändå ligger utanför den uppsatta energisystemmodellen, anpassar ECO-real dessa så att de slutligen ligger innanför de gränser som definierats. Det kan exempelvis handla om en panna där mätvärdet har legat över den definierade maxlasten, eller en laständringshastighet som har gått snabbare än den maximala som definieras i modellen.
- **Optimering av ECO-optimal.** Det innebär att optimeringen sker utifrån de normala optimeringsfunktionerna, vilket resulterar i hur den mest optimala körstrategin hade sett ut baserat på de uppmätta lastprognoserna. Det ekonomiska resultatet av detta blir därmed hur den optimala produktionskostnaden hade varit under perioden.

Kapitel 4

Metod

I följande kapitel presenteras de metoder som har använts för att svara på studiens frågeställningar. Först kommer metoden för intervjustudien att presenteras, vilken syftar till att utreda kraftvärmeproducenternas praktiska arbete kopplat till ekonomi och miljö. Därefter kommer metoden för fallstudien att tas upp, vilken syftar till att uppskatta de ekonomiska och miljömässiga vinsterna som kan erhållas genom att använda EO3 som programvara.

4.1 Intervjustudie

För att ta reda på hur kraftvärmeproducenter praktiskt arbetar med produktion kopplat till ekonomi och miljö har en intervjustudie genomförts. Flera aktörer intervjuades för att kunna analysera om det finns eventuella samband och likheter kring hur olika aktörer reflekterar angående produktionsplanering samt ekonomisk och miljömässig uppföljning inom verksamheten. Med detta som grund valdes följaktligen en kvalitativ intervjumetod med en halvstrukturerande intervjuform. Formen grundar sig i att kunna hitta djupare svar (både kvalitativa och kvantitativa) samt relationer mellan olika begrepp. Detta genom att ställa frågor som både kan ge öppna och fasta svar, samtidigt som det ger möjlighet för den intervjuade att fördjupa sig i frågor som de anser är meningsfulla (Lantz 2013).

För att kunna få djupare svar skedde urvalet av aktörer systematiskt och ändamålsenligt i samarbete med handledaren på Energy Opticon, som med sin arbetslivserfarenhet och längre samarbete med kunderna kunde avgöra vilka aktörer och personer som skulle kunna ge relevanta svar inom områdena. Totalt valdes fem olika aktörer att intervjuas, och för varje intervju var det ett blandat antal av intervjuade personer (mellan en till fyra personer). Gemensamt för de intervjuade var att de jobbar som produktionsplanerare inom bolaget och att de jobbar mycket aktivt med EO3 och med ECO-optimeringar i sin produktion. Intervjuerna avgränsades till svenska aktörer med kraftvärmeproduktion utspridd runt om i Sverige. På grund av aktörernas utspridning skedde alla intervjuer via internet. För att kunna låta de intervjuade att svara och diskutera fritt, har de valts att hållas anonyma.

Innan intervjuerna formulerades ett par förbestämda frågor kopplat till produktionsplanering samt ekonomisk och miljömässig uppföljning. Vissa av frågorna var mer öppna med större möjligheter att fördjupa sig och diskutera det som intervjupersonen ansåg vara viktigt inom just det området. Andra var mer fasta och specifika, men gav samtidigt möjlighet för den intervjuade att resonera kring varför de svarat på ett visst sätt. Vilka frågor som ställdes finnes i sektion 9.1 under Appendix.

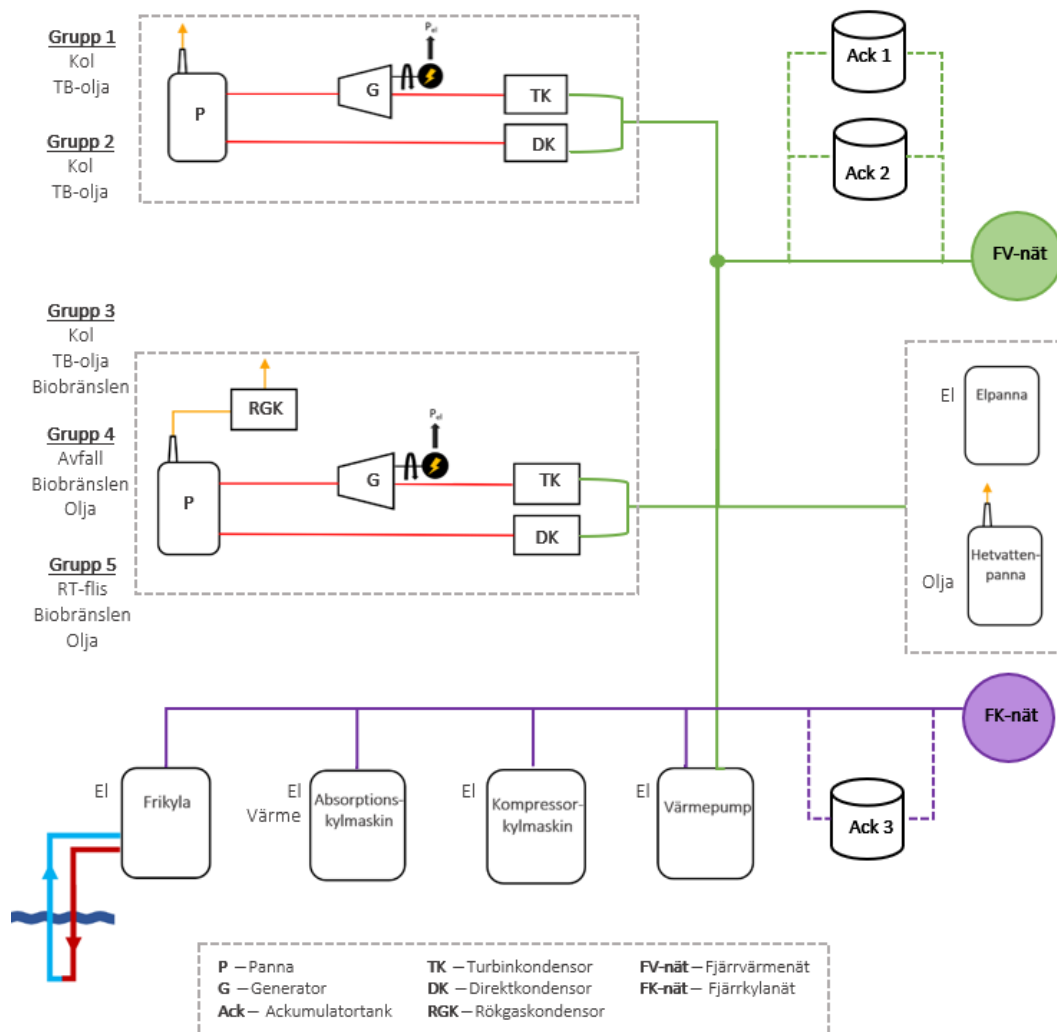
Inför varje intervju skickades ett dokument till de som skulle intervjuas innehållande syfte och mål med studien samt vilka frågor som skulle ställas. Detta för att ge de intervjuade en överblick av vad arbetet skulle gå ut på, samt möjligheten att vara förbereda och ha tid att tänka igenom frågorna innan intervjun för att samtalet skulle bli så effektivt som möjligt.

Intervjuerna gick till på så sätt att frågorna ställdes i samma ordning till alla aktörer. Beroende på de intervjuades intresse och kunskap inom det område som frågades om, diskuterades vissa frågor mer djup än andra. I samband med de frågor som ställdes och de svar som gavs (samt de diskussioner som kom upp), antecknades svaren för att sedan kunna jämföra likheter och skillnader mellan de intervjuade aktörerna. Dessutom antecknades de diskussioner som kom upp för att få med viktiga synpunkter som, även om de endast kom från någon aktörer, skulle kunna bidra med viktig kunskap till området. Efter varje intervju bearbetades anteckningarna. De delar som ansågs vara mest relevanta kopplades till de frågor som ställts, sammanfattades i en tabell i Excel för att lättare kunna väga aktörernas svar mot varandra.

4.2 Fallstudie av Företag A

I denna fallstudie har *Företag A*, ett svenskt kraftvärmeföretag, undersökts utifrån målet att uppskatta de ekonomiska och miljömässiga vinsterna med att använda EO3. Företag A är även en av de intervjuade aktörerna. Förutom fjärrvärme och el producerar även Företag A fjärrkyla. Företaget har valts att hållas anonymt för att kunna presentera ett så transparent resultat som möjligt. EO3 implementerades fullt ut i företaget hösten år 2014, och innan dess användes EO3 endast för att göra prognoser.

I Figur 4.1 presenteras de enheter som någon gång varit varit aktiva i systemet de senaste sju åren, vilket är bak till året 2013 innan EO3 implementerades fullt ut. Sammanfattningsvis har systemet haft fem aktiva grupper som alla har producerat både värme och el enligt principen för ett mottryckskraftvärmeverk. Utöver grupperna har systemet även enheter för enbart värmeproduktion vid spetslast, däribland en elpanna, flera värmepumpar och flera hetvattenpannor som drivs med olja. Systemet har även två ackumulatortankar. För fjärrkylaproduktionen sker den med hjälp av frikyla, absorptionskyla, kompressorkyla samt via värmepumparna. Fjärrkylaproduktionen är även sammankopplad med en ackumulatortank. Under de senaste sju åren (2013 till 2020) har de vissa av grupperna både tagits ur drift och lagts till, vilket har lett till att den möjliga produktionsmixen har varierat från år till år.



Figur 4.1: Övergripande bild av Företags A:s energisystemmodell vilken inkluderar de enheter som någon gång varit aktiva de sju senaste åren (från 2013 till 2020). För både el och värmeproduktion innefattar systemet fem olika grupper. För enbart värmeproduktion finns en elpanna, flera värmepumpar och flera oljedrivna hetvattenpannor att tillgå samt två ackumulatortankar. Fjärrkylaproduktionen sker med hjälp av frikyla, absorptionskyla, kompressorkyla samt via värmepumparna.

För att göra Företag A:s energisystemmodell så representativ som möjligt, har specialprogrammering skett i EO3 genom unik modellering och specifika uppsättningar av ECO-optimeringar. Den unika modelleringen är anpassad så att ECO-real starkt följer de mätvärden som finns, även om det skulle innebära att mätvärdena går utanför energisystemmodellens gränser. Detta leder till ett mer noggrant resultat för ECO-real eftersom den exakt följer hur det sett ut i verkligheten under perioden.

4.2.1 Uppsättning av ECO-optimeringar i EO3

Målet med fallstudien var att uppskatta de ekonomiska och miljömässiga vinsterna genom att använda EO3 som programvara. I fallstudien undersöktes därmed hur kostnaderna och utsläppen från produktionen har utvecklats sedan dess att företag A implementerade EO3 i sin verksamhet. För att mäta vinsterna genomfördes ECO-optimeringar. För att begränsa studien valdes det att endast varje vinterperiod, månaderna december till mars, skulle analyseras för varje år. Dessa månader är främst intressanta eftersom fjärrvärmelasten generellt är som högst då, vilket gör att produktionen under dessa månader utnyttjar flest enheter.

För att kunna mäta utvecklingen av vinsterna var det önskvärt att göra ECO-optimeringar bakåt till vintern år 13/14 innan EO3 implementerades fullt ut, fram till nuvarande vinter år 19/20. Däremot, eftersom Företag A:s produktionssystem har genomgått stora förändringar under dessa år, fick följande vinterperioder exkluderas från studien för att resultatet skulle kunna bli jämförbart:

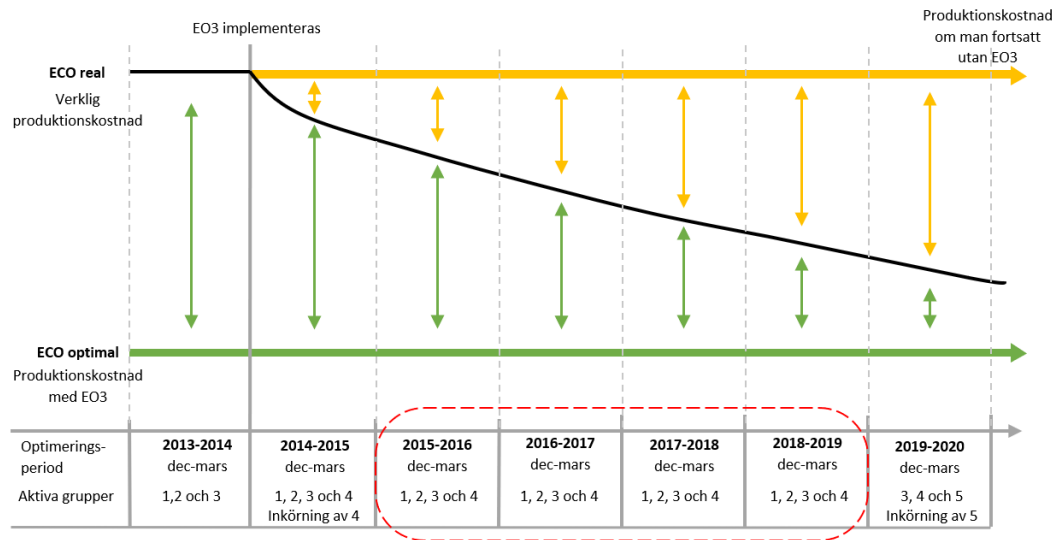
- Vintern år 13/14. Under denna period fanns endast grupp 1, 2 och 3 tillgängligt för energiproduktionen.
- Vintern år 14/15. Tidigare under våren 2014 installerades grupp 4, men på grund av vissa problem kopplat till avfallsbränslet kom inte pannan igång förrän några månader därefter. Dessa problem påverkade vinterperioden och gjorde körningen svårare. Utöver detta var det även en viss inkörningsperiod när grupp 4 installerades. Denna inkörning har troligtvis påverkat produktionen genom att tvinga vissa enheter att köra på ett visst sätt även om det skulle leda till högre kostnader.
- Vintern år 19/20. Produktionsmixen under denna period skiljer sig mot tidigare år. Dels eftersom grupp 1 och 2 ur drift våren år 2019, dels eftersom grupp 5 installerades vintern 2019 och hade samma inkörningsproblematik som tidigare beskrivits för grupp 4 under vintern 14/15.

Med detta i åtanke kommer fyra ECO-optimeringar för vinterperioderna år 15/16 till 18/19 att presenteras och jämföras i det slutgiltiga resultatet. Varje genomförd ECO-optimering innefattar en real optimering (baserat på mätvärden) och en optimal optimering (bästa möjliga produktionsutfall kostnadsmässigt) under varje vinterperiod. I Figur 4.2 presenteras en sammanställning av de genomförda ECO-optimeringarna tillsammans med vilken period som var optimerad, antalet veckor samt start- och stoppdatum. ECO-optimeringarna börjar från vinterperioden 15/16 (optimering 1) och avslutas med vinterperioden 18/19 (optimering 4).

ECO-optimering	Tilldelad vinterperiod	Faktisk optimerad period	Antal veckor	Startdatum	Stoppdatum
1	15/16	december 2015 – mars 2016	17	2015-12-01	2016-03-29
2	16/17	december 2016 – mars 2017	17	2016-12-01	2017-03-30
3	17/18	december 2017 – mars 2018	17	2017-12-01	2018-03-30
4	18/19	december 2018 – mars 2019	17	2018-12-01	2019-03-30

Figur 4.2: Sammanställning av de ECO-optimeringar som genomförts i fallstudien tillsammans med vilken period som var optimerad, antalet veckor samt start- och stoppdatum. Varje optimering har även blivit tilldelad den vinterperiod som den syftar till undersöka. ECO-optimeringarna börjar från vinterperioden 15/16 (optimering 1) och avslutas med vinterperioden 18/19 (optimering 4).

För att få en bättre visuell överblick av ECO-optimeringarna sammanställdes dessa i Figur 4.3. Figuren visar ett exempel på hur den verkliga produktionskostnaden kan utvecklas efter implementering av EO3, och hur denna över tid kan röra sig närmre optimala produktionsförhållanden. Även de exkluderade perioderna visas för att få en bättre helhetssyn av de sju senaste åren bak till året 2013 innan EO3 implementerades. För varje vinterperiod presenteras vilka grupper som var aktiva, och fyraårsperioden mellan 15/16 till 18/19 (markerat i rött) valdes som sagt för vinstanalysen. I figuren motsvarar den svarta linjen ECO-real och faktisk produktionskostnad, gröna linjen ECO-optimal och bästa möjliga produktionskostnad med EO3 och gula linjen den produktionskostnad som blivit om man fortsatt utan EO3.



Figur 4.3: Exempel på hur den verkliga produktionskostnaden kan utvecklas efter implementering av EO3 och hur denna över tid kan röra sig närmre optimala produktionsförhållanden. Figuren ger en visuell överblick av vinterperioderna de sju senaste åren för Företag A, samt vilka grupper som varit aktiva varje optimeringsperiod. Svart linje motsvarar ECO-real (verklig produktionskostnad), grön linje ECO-optimal (bästa möjliga produktionskostnad med EO3) och gul linje den produktionskostnad om man fortsatt utan EO3.

Skillnaden mellan ECO-real och optimal (grönt område) demonstrerar vinstpotentialen och hur mycket man hade kunnat spara i absoluta tal om produktionen varit mer optimal. Jämförs den här differensen med ECO-real erhålls vinstpotentialen och hur mycket man hade kunnat spara i %. Ju mindre vinstpotentialen är, desto mer optimalt har den verkliga produktionen kört. Därför är det önskvärt att vinstpotentialen minskar med åren. Skillnaden mellan produktionskostnaden om man fortsatt utan EO3 och ECO-real (gult område) blir istället den faktiska vinsten och hur mycket man faktiskt har sparat genom att den verkliga produktionen blivit mer och mer optimal. Ju lägre produktionskostnaden blir genom åren, desto mer pengar har man sparat genom implementeringen av EO3.

4.2.2 Genomförda analyser

Efter att ECO-optimeringarna genomfördes analyserades dessa för att säkerställa att de värden som uppkommit var rimliga och korrekta. Detta innebar att jämföra produktionsmixen hos ECO-real mot de faktiska mätvärdena för att se till att dessa mer eller mindre följde varandra. Dessutom, för både ECO-real och optimal, undersöktes produktionsmixen för att se till att varje optimering gått igenom med fullständiga resultat. Vid eventuella fel hanterades dessa genom att ta bort eller lägga till tillgängligheter. Detta genom att matcha dessa med hur de faktiska mätvärdena såg ut för perioden. Därefter genomfördes analysen av hur kostnaderna och utsläppen har utvecklats under den utvalda fyraårsperioden. Sammanfattningsvis är det fyra olika huvudkategorier som har undersökts: kostnader, utsläpp, energitillförsel samt extra inkomster. För varje huvudkategori är det två olika resultatanalyser som genomförts: utveckling av vinstpotentialen under fyraårsperioden samt förändringen av reala kategorivärden jämfört med basåret (första optimeringen vintern år 15/16).

4.2.2.1 Undersökta kategorier

I studien är det fyra huvudkategorier som har undersökts: kostnader, utsläpp, energitillförsel samt extra inkomster. Kostnader och utsläpp är främst av intresse för att

kunna svara på frågeställningarna. Utöver dessa är även energitillförsel och extra inkomster relevant, dels eftersom de bränslen som används och deras tillförda mängd är starkt kopplade både till kostnader och utsläpp, dels eftersom inkomster från elförsäljning leder till en minskad totalkostnad av produktionen. I Figur 4.4 presenteras en sammanställning av huvudkategorierna tillsammans med deras respektive delkategorier som undersökts i studien.

Undersökta kategorier	
Kostnader	Utsläpp
Totala kostnader	Totala utsläpp
Bränslekostnader	Utsläpp baserat på bränsletyp
Skattekostnader	Energitillförsel
Elinköpskostnader	Total energitillförsel
Start- och stoppkostnader	Energitillförsel baserat på bränsletyp
Laständringskostnader	Extra inkomster
Underhållskostnader	Elförsäljning

Figur 4.4: Sammanställning av huvuskategorierna tillsammans med deras respektive delkategorier som undersökts i fallstudien.

För huvudkategorierna har följande parametrar antagits för varje delkategori:

- **Totala kostnader** (TK), vilket är den slutliga totalkostnaden av produktionen, innefattar alla kostnader som uppkommit under optimeringen. Även intäkter från elförsäljning ($I_{\text{elförsäljning}}$) är inkluderat här, vilka bidrar till att totalkostnaden minskar. Därmed är totalkostnaden kopplat till hur mycket inkomster från elförsäljning som erhållits under perioden. Även totalkostnaden exklusive intäkten från elförsäljning ($TK_{\text{exkl. elförsäljning}}$) presenteras i resultatet. Kopplingen mellan dessa kostnader är följande:

$$TK = TK_{\text{exkl. elförsäljning}} - I_{\text{elförsäljning}} \quad (4.1)$$

- **Bränslekostnader** ($K_{\text{Bränsle}}$) innefattar kostnaden för bränsleanvändningen baserat på bränslepris tillsammans med utsläppsrätter, extra bränslekostnader som krävs vid start- och stopp av olika enheter samt övriga extra bränslekostnader (både fasta och rörliga) för varje panna. De extra bränslekostnaderna innebär de kostnader som krävs för att hantera bränslet, exempelvis bränsleförvaring eller bränsleberedning.
- **Skattekostnader** (K_{Skatter}) är en egen post i EO3 och presenteras därför separat från bränslekostnaden. Skattekostnaden innebär de skatter, exempelvis energi- eller koldioxidskatter, som måste betalas för bränslena beroende på om de används till att producera el eller värme. Även eventuella subventioner för bränslen (vilka bidrar minskning av den totala skattekostnaden) hanteras här. För elskatter inkluderas även nätavgiften för den inköpta elen. Sammanfattningsvis för bränsle- och skattekostnaderna har alla bränslepriser, utsläppsrättspriser, skatter och subventioner antagits vara konstanta under hela fyraårsperioden baserat på de värden som var satta i EO3 när analysen började i mars 2020. I verkligheten kan dessa kostnader ha varierat från år till år.
- **Elinköpskostnader** ($K_{\text{Elinköp}}$) innefattar de kostnader som uppkommer vid köp av extern el till energisystemet. Detta gäller även den bränslekostnad för inköpt el som används till exempelvis elpannorna och värmepumparna. Dessa bränslekostnader inkluderas här eftersom det i EO3 inte går att urskilja vart i

energisystemet den inköpta elen har gått till. Elinköpskostnaderna baseras på timvisa värden för den inköpta elmängden i MW samt elpriset på Nord Pool AS. Notera att elskatter och nätavgifter är inkluderade i kategorin skattekostnader.

- **Start- och stoppkostnader** ($K_{Start/stopp}$) innefattar de definierade start och stoppkostnaderna som finns i EO3 för varje enhet.
- **Laständringskostnader** ($K_{Laständring}$) innefattar de definierade laständringskostnaderna som finns i EO3 för varje enhet.
- **Underhållskostnader** ($K_{Underhåll}$) innefattar de definierade fasta och rörliga underhållskostnaderna som finns i EO3 för varje enhet.
- **Totala utsläpp** (CO_2eq) har tagits fram baserat på mängden energitillförsel som skett för varje bränsletyp tillsammans med dess utsläppsdata. Utsläppen för varje bränsle grundar sig i de värden som presenterats i Figur 2.7. Däremot har utsläppsdata för vissa av Företag A:s bränsletyper behövt justeras i de fall då bränslet består av olika sorter. Exempelvis för avfall tar Företag A både emot hushålls- och industriavfall. Eftersom dessa två avfallssorter har olika utsläppsdata måste avfallets generella utsläpp uppskattas. De antaganden som gjorts för företag A:s bränslen kan ses i Figur 4.5
- Förutom totala utsläpp har även **utsläppen analyserats separat för de olika bränsletyperna**. Genom denna uppdelning erhålls en bättre översikt av vilka bränslen som främst orsakat utsläppen.

Använd utsläppsdata för bränslen i energisystemmodellen		
Bränsle	Antagande	Utsläpp (kg CO ₂ eq/MW)
Avfall	50% hushållsavfall och 50% industriavfall	119
Biobränslen	Givet utsläppsvärde för övriga trädbränslen	7,8
TB-olja	Givet utsläppsvärde för TB-olja	6,5
Inköpt el	Baserat på nordisk elmix	125
Kol	Givet utsläppsvärde för stenkol	385
Olja	Givet utsläppsvärde för EO1	288
	Giver värde för EO5	295

Figur 4.5: Sammanställning av utsläppsdata för företag A:s bränslen tillsammans med vilka antaganden och uppskattningar som gjorts för att få fram ett generellt utsläppsvärde. Utsläppen baseras på givna värden i Figur 2.7.

- **Total energitillförsel** ($P_{Energitillförsel}$) innebär den bränslemängd i MW som tillförts för att producera fjärrvärme, fjärrkyla och el. Denna kategori är av intresse eftersom både kostnader och utsläpp är starkt kopplade till hur mycket energi av varje bränsleslag som tillförs till produktionen.
- Förutom total energitillförsel har även **energitillförseln analyseras separat för de olika bränsletyperna**. Genom denna uppdelning erhålls en bättre översikt av vilka bränslen som främst har använts under varje period.
- **Elförsäljning** ($I_{elförsäljning}$) innebär inkomsten via försäljning av producerad el som skett under perioden. Denna inkomst används som en sätt för att minska totalkostnaden av energiproduktionen. Inkomster från elförsäljning erhålls genom den levererade elen i MW i kombination med elpriset på Nord Pool AS för varje timme. I denna studie är det endast inkomsten från elförsäljningen som bidrar till att minska totalkostnaden. Inkomst från såld fjärrvärme och fjärrkyla är inte inkluderade i den slutliga totalkostnaden.

4.2.2.2 Vinstpotentialen

För varje kategori undersöks vinstpotentialen, vilket innebär hur mycket man hade kunnat spara i exempelvis pengar eller utsläpp om man kört mer optimalt. För att undersöka utvecklingen av vinstpotentialen jämfördes värdet för den reala optimeringen mot den optimala enligt följande formel:

$$Vinstpotential = \frac{(ECO-real) - (ECO-optimal)}{(ECO-real)} [-] \quad (4.2)$$

Formlen ger vinstpotentialen och hur mycket man hade kunnat spara om man kört mer optimalt i % för varje optimering. Positiv potential innebär att ECO-real hade större värden jämfört med ECO-optimal. Ju mindre vinstpotentialen är, desto mer optimalt har den ECO-reala optimeringen och den verkliga produktionen kört.

För delkategorin *Elförsäljning*, vilket innebär en inkomst istället för en kostnad, beräknas istället en inkomstpotential. Inkomstpotentialen innebär hur mycket extra inkomst man hade kunnat erhålla från elförsäljningen om man kört produktionen mer optimalt. Inkomstpotentialen beräknas genom följande formel:

$$Inkomstpotential = \frac{(ECO-optimal) - (ECO-real)}{(ECO-real)} [-] \quad (4.3)$$

Vad som bör noteras för potentialerna är att de även kan bli negativa. För vinstpotentialen skulle det innebära att ECO-real är lägre än ECO-optimal, och för inkomstpotentialen vice versa. Eftersom EO3 optimerar produktionen för att få en så låg totalkostnad som möjligt, kan det ibland göra att vissa kostnader måste öka eller att vissa inkomster måste begränsas för att i slutändan få ett bättre resultat. Därmed är det möjligt att negativa potentialer för vissa kategorier kan uppkomma exempelvis där EO3 föreslår högre kostnader eller lägre inkomster än reall utfall, för att i slutändan kunna få lägre totalkostnad.

4.2.2.3 Real förändring jämfört med basåret

För denna undersökning har det analyserats hur reala värden för varje kategori har förändrats jämfört med vinterperioden som är närmast året då EO3 implementerades. Detta innebär att kategoriernas reala värden jämförs med hur de var för ECO-optimeringen vintern år 15/16 (period 1), vilket i rapporten framöver kommer nämnas som basåret. För åren därefter, alltså ECO-optimering 2 till 4, presenteras hur stora kategorivärdena är jämfört med basåret i procent enligt följande formel:

$$Real\ förändring = \frac{ECO-real}{ECO-real\ basår\ (period\ 1)} [-] \quad (4.4)$$

För att jämförelsen mellan ECO-optimeringarna och basåret ska bli representerbar, används genomsnittliga värden för de olika kategorierna istället för absoluta värden. Detta genom att dividera kategorivärdena med mängden levererad energi för varje period. På så sätt blir resultatet jämförbart även om vissa ECO-optimeringar har haft större mängd produktion. För att räkna ut medelvärden används följande formel:

$$Medelvärde = \frac{ECO-real}{Levererad\ energimängd\ [MW]} = \frac{ECO-real}{P_{FV} + P_{FK} + P_{el}} [-] \quad (4.5)$$

där P_{FV} , P_{FK} och P_{el} är total levererad energimängd under perioden i form av fjärrvärme, fjärrkyla samt såld el i MW.

Kapitel 5

Resultat

I detta kapitel presenteras först resultatet av intervjustudien och en sammanfattning av de svar som de intervjuade aktörerna har givit. Därefter presenteras resultatet av fallstudien och hur de ekonomiska och miljömässiga vinsterna har utvecklats sedan dess att EO3 implementerades hos Företag A.

5.1 Intervjustudie

I denna sektion presenteras resultatet utifrån intervjustudien för att svara på frågeställningen gällande kraftvärmeproducenternas praktiska arbete kopplat till ekonomi och miljö. Studien genomfördes enligt metodförklaringen i avsnitt 4.1. Resultatet är strukturerat efter svaren på hur kraftvärmeproducenterna praktiskt arbetar med och utan optimeringsprogramvaror som EO3, samt vilka utmaningar och svårigheter som uppstår vid arbetet som EO3 hjälper till att hantera.

5.1.1 Kraftvärmeproduktion med EO3

Aktörerna som intervjuats förklarar generellt att de, som en del av ett optimeringsteam, ansvarar för arbetet med optimeringarna i EO3. Många av dem nämner även att de kontinuerligt arbetar i EO3 för att se till att indata är rätt (t.ex. uppdaterade priser och tillgängligheter) och att optimeringarna och energisystemmodellen ständigt är uppdaterad.

Optimeringarna i EO3 används huvudsakligen som underlag för produktionen och hjälper till att ta beslut kring hur den kommande perioden (timmen, dagarna eller veckan) ska köras. Främst handlar det om vilka enheter som ska vara på eller av samt deras lastnivå kopplat till fjärrvärme- och elprisprognosen. Vissa jobbar även mycket effektivt med elprisets koppling till varje enhets marginalkostnad och använder detta för att hantera körordningen av enheter. Andra jobbar inte alls aktivt med varje enhets marginalkostnad och nämner att fokus istället ligger på det översiktliga resultatet kring produktionsmixen som EO3 ger dom. Genom det arbetet som sker i EO3, kopplas sedan resultatet till driftteamet vilka är dom som aktivt sköter produktionen och gör de aktiva valen kring produktionsmixen. Sammanfattningsvis är det överlag de intervjuade aktörerna, optimeringsteamet, som genomför uppdateringen av planeringen via EO3. Sedan är det driftteamet som genomför driften av produktionen.

Gällande ekonomisk uppföljning arbetar alla de intervjuade aktivt med detta. De genomför alla ECO-optimeringar för att kunna jämföra det reala utfallet av produktionen mot hur det optimala hade sett ut under samma period. Hur ofta ECO-

optimeringar genomförs varierar mellan aktörerna, men de sker generellt dygnsvis, veckovis eller månadsvis. Utifrån aktörernas olika svar kan man dra slutsatsen att den ekonomiska uppföljningen främst sker av två anledningar:

- **Kontinuerlig återkoppling till driftteamet.** Många av aktörerna styrker att detta är en mycket viktig del i arbetet med ekonomisk uppföljning. Återkopplingen används för att driftteamet ska få mer insyn i hur produktionen såg ut föregående dag eller vecka. Denna återkoppling bidrar bland annat till en bättre uppfattning kring vad det har för ekonomisk betydelse att göra ett visst val under produktionen. Dessutom nämns det att uppföljningen gör det mer tydligt för driften vart de ska lägga sitt främsta fokus. Uppföljningen av den föregående produktionen nämns av många som mycket viktig för att kunna förbättra den framtida produktionen.
- **Arbete kring budget och avräkning.** Många av aktörerna utför månadsvisa ECO-optimeringarna och använder dessa för att genomföra budgetberäkningar och avräkningar. Gällande budget kan det handla om att jämföra det verkliga utfallet med den satta budgeten för perioden. Gällande avräkningar handlar det främst om fjärrvärmesystem som är sammankopplande, där vinsterna från systemet måste beräknas för att avgöra vilket bolag som ska betala vem för att fördela ut kostnaderna mellan parterna.

För miljömässig uppföljning är det ingen av de intervjuade aktörerna som genomför detta i EO3. Flera av de intervjuade förklarar bland annat att de är fokuserade på de kostnader som uppstår under produktionen och att försöka minska dessa, medan de miljömässiga parametrarna istället hanteras av företagets miljöavdelning. Miljöavdelningen har bland annat ansvar över utsläppsmätningar, utsläppstillstånd samt redovisningar av hållbarhetsrapporter. Däremot nämner flera aktörer att de aktivt måste arbeta med utsläppstillstånden och att produktionen måste följa dessa. De nämner även, eftersom styrmedel för utsläpp är en ekonomisk sida som går in i EO3, att de arbetar med utsläppen indirekt.

Ingen av aktörerna har tidigare undersökt de ekonomiska och miljömässiga vinsterna sedan dess att de implementerade EO3 i verksamheten. Vissa förklarar att de har haft systemet så pass länge att en sådan beräkning inte skulle vara möjlig. Andra nämner att de genom månadsvisa ECO-optimeringar främst har vetat hur effektiv produktionen har varit månadsvis, och inte hur kostnaderna och utsläppen har förändrats genom åren. Många förklarar dock att de har en känsla av att produktionen har blivit bättre sedan dess att EO3 implementerades på grund av följande aspekter:

- **Gällande optimeringsteamet** anser flera aktörer att man har lärt sig mer samt blivit bättre på att använda sig av och tolka optimeringarna i EO3 genom åren. Bland annat nämns det att EO3 har hjälpt till att förstå hur anläggningen fungerar på ett bättre sätt, vilket även har lett till att energisystemmodellen i EO3 har kunnat trimmas och på så sett bidra till en bättre produktion.
- **Gällande driftteamet** understyrker många aktörer att det i början var svårare att få dom att acceptera EO3. Det nämns att flera i driftteamet har haft sitt arbete i många år, vilket gör att det inte var lätt att övertala dom att lita på ett nytt system. Exempelvis kan det handla om situationer där EO3 föreslår en produktionstrategi som inte alls stämmer överens med vad man brukar göra i samma situation, samt att EO3 var ett nytt planeringssätt vilket gjorde att förtroendet för systemet i början var lågt. Många av aktörerna nämner att det

har krävts mycket arbete tillsammans med driften för att öka förtroendet, och att det har skett en stegvis förbättring genom åren. Det nämns även att det är en stor skillnad idag gällande driftteamtes förtroende jämfört med hur det såg ut i början.

5.1.2 Kraftvärmeproduktion utan EO3

Alla aktörer säger att om man inte skulle använda EO3 för att genomföra produktionsplaneringen, skulle man använda Excel för att göra samma arbete manuellt. Även enklare lastprognoser skulle i så fall göras främst baserat på utetemperaturen. De aktörer som nyligen började använda EO3 säger att de tidigare använde en egengjord Excelfil. Exempel på hur arbetet gick till genom Excel förklaras av en aktör som nämner att de då uppdaterade Excelfilerna för produktionsplanering tre gånger om dagen, till skillnad från dagsläget via EO3 där de istället får en uppdatering var 15 minut. Vidare förklarar många att implementeringen av EO3 skedde i samband med att anläggningen fick nya enheter eller blev allt för stort och komplext. De förklarar att denna typ av förändring gjorde att de var tvungna att ha ett bättre hjälpmedel för att kunna hantera planeringen. Vad som främst blev för svårt att hantera i Excel var exempelvis den timvisa inköpen och försäljningen av el, enheter med olika dynamik och olika beroende till elpriset, för mycket handpåläggning vilket lätt kunde leda till enkla misstag och förlorad kontroll samt att det kräves mycket kunskap om anläggningen för att kunna använda Excelfilen på rätt sätt.

5.1.3 Upplevda utmaningar och hur EO3 hanterar dessa

För vilka utmaningar som aktörerna tycker uppstår vid produktionsoptimeringar och hur EO3 hjälper till att hantera dessa varierar svaren. Det som nämns är exempelvis:

- **Genomförande av prognoser.** Många av aktörerna nämner prognoser som den största utmaningen vid produktionsplanering. Eftersom EO3 har integrerade prognoser av t.ex. värmelast och elpris, är det till stor hjälp i det dagliga arbetet. Det nämns att det hade varit mycket jobb att ta fram egna prognoser.
- **Analysera olika scenarions.** Eftersom prognoser är en mycket viktig del av produktionsplaneringen, är det hjälpsamt att även kunna analysera hur produktionen kommer se ut som något skulle bli annorlunda än vad man förväntat sig. I EO3 kan man genomföra simuleringar för att analysera hur produktionen kan komma att se ut vid olika scenarions. Scenarions som kan undersökas är bland annat hur produktionen kommer påverkas om temperaturen eller elpriset skulle minska eller öka samt om någon enhet skulle vara ur drift.
- **Automatiserad produktionsoptimering.** Skulle produktionsplaneringen istället ske via exempelvis Excel, skulle det innebära mer manuellt arbete och handpåläggning. Eftersom EO3 kan genomföra optimeringar automatiskt baserat på användarens önskemål, minskar mängden manuellt arbete stort.
- **Snabbare respons till driftteamet.** Genom de automatiska optimeringarna i EO3 ger det snabbare och enklare respons till driftteamet kring hur det ska köra enheterna i dagsläget. Eftersom de i realtid kan se denna information underlättar och förbättrar det produktionen.
- **Mindre att ta hänsyn till.** En energimodell är mycket komplex, och att fullständigt beakta hela modellen i en Excelfil är svårt. Genom energimodellens uppsättning i EO3 baserat på användarens indata, gör det att programvaran

automatiskt tar hänsyn till enheters komplexa samband och dynamik såsom verkingsgrader, produktionskostnad och elförsäljning kopplat till elpris etc.

- **Bättre systemöverblick.** Via EO3 ger det en bättre överblick av energisystemet som fler kan ta del av. Ett exempel är tillgängligheter som alla kan ta del av och även se vem som har lagt in vad.

5.2 Fallstudie

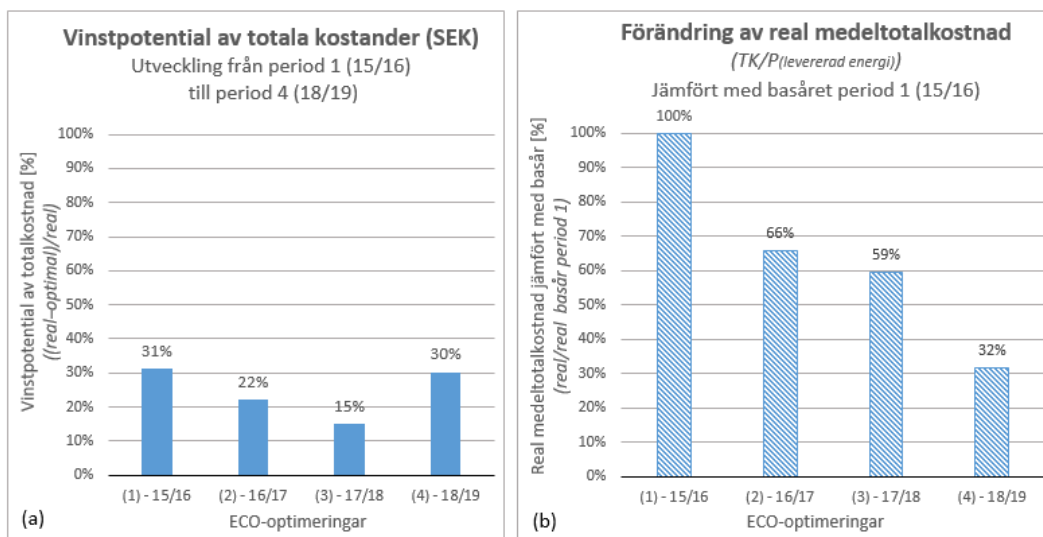
I denna sektion presenteras resultatet av fallstudien för att svara på frågeställningen kopplat till om ekonomiska och miljömässiga vinster kan urskiljas genom att använda EO3 som programvara. Studien genomfördes enligt metodavsnittet 4.2. Resultatet är strukturerat efter de huvudkategorier som har undersökts. För varje huvudkategori presenteras delkategoriernas resultat för utvecklingen av vinstpotentialen samt förändringen av de reala kategorivärdena mot det satta basåret (period 1).

5.2.1 Kostnader

I denna sektion presenteras resultatet för delkategorierna kopplat till kostnader. Eftersom totalkostnadens slutresultat är kopplat till inkomsterna från elförsäljning presenteras de tillsammans i sektion 5.2.1.1. För övriga delkategorier, vilka totalkostnadens utgifter består av, presenteras deras resultat i sektion 5.2.1.2.

5.2.1.1 Totala kostnader och elförsäljning

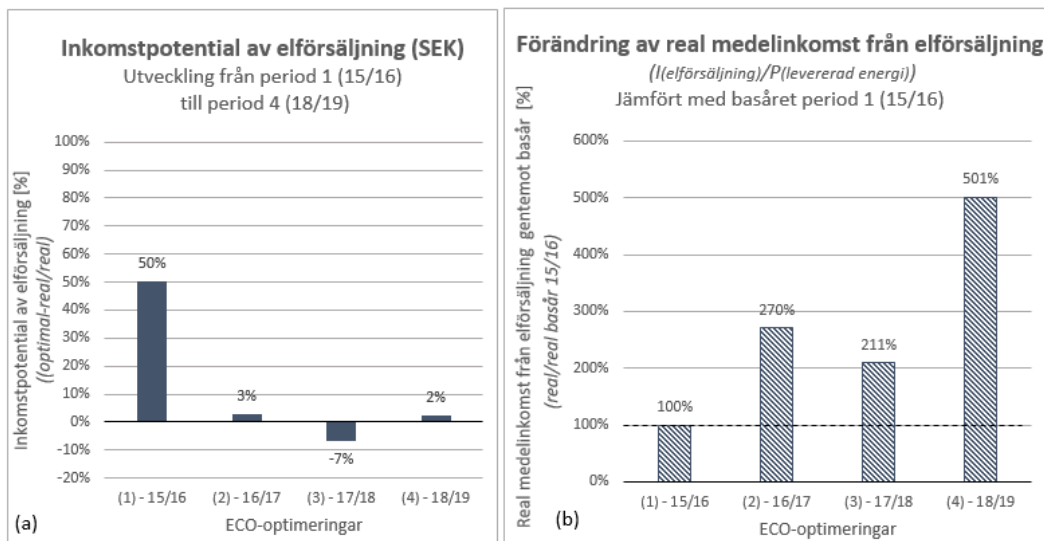
I Figur 5.1 presenteras vinstpotentialens utveckling för totalkostnaden (a) samt den reala genomsnittliga totalkostnadens förändring jämfört med basåret (b).



Figur 5.1: (a) Utveckling av vinstpotentialen för totalkostnaden. (b) Förändring av den reala genomsnittliga totalkostnaden jämfört med basåret.

Gällande vinstpotentialen (a) var den 31% vid period 1. Därefter minskade den kontinuerligt till period 3 ner till sammanlagt 15%. Den sista perioden ökade vinstpotentialen igen till samma nivå som den var vid period 1, omkring 30%. För den reala medeltotalkostnaden (b) har den kontinuerligt minskat under hela fyraårsperioden. Sammanlagt minskade den med 68% från period 1 till 4.

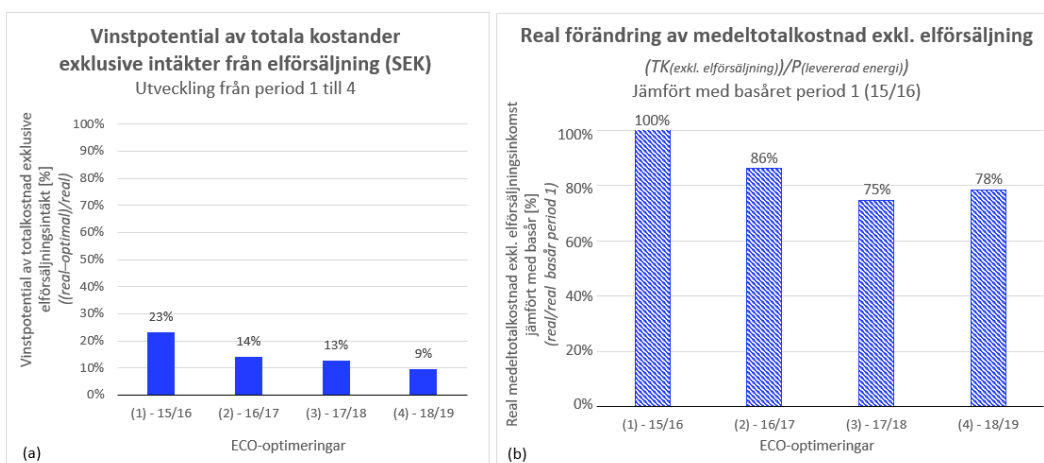
I Figur 5.2 presenteras inkomspotentialens utveckling för elförsäljning (a) samt förändringen av den reala medelinkomsten från elförsäljning jämfört med basåret (b).



Figur 5.2: (a) Inkomspotentialens utveckling för elförsäljning. (b) Förändringen av den reala medelinkomsten från elförsäljning jämfört med basåret.

För inkomspotentialen (a) var den som störst period 1 och låg på 50%. För efterkommande perioder var inkomspotentialen lägre och varierade mellan 3 och -7%. För den reala medelinkomsten (b) var den lägst period 1. För efterföljande perioder ökade inkomsten och period 4 (vintern med störst inkomster) var den 401% högre jämfört med basåret. Den drastiska skillnaden av elförsäljningsinkomsten grundar sig i att elpriset ökade genom åren (se Figur 9.5 och 9.6 i appendix) samt i att generatorernas tillgänglighet förbättrades. Detta kommer analyseras närmare i analysavsnittet 6.2.1.

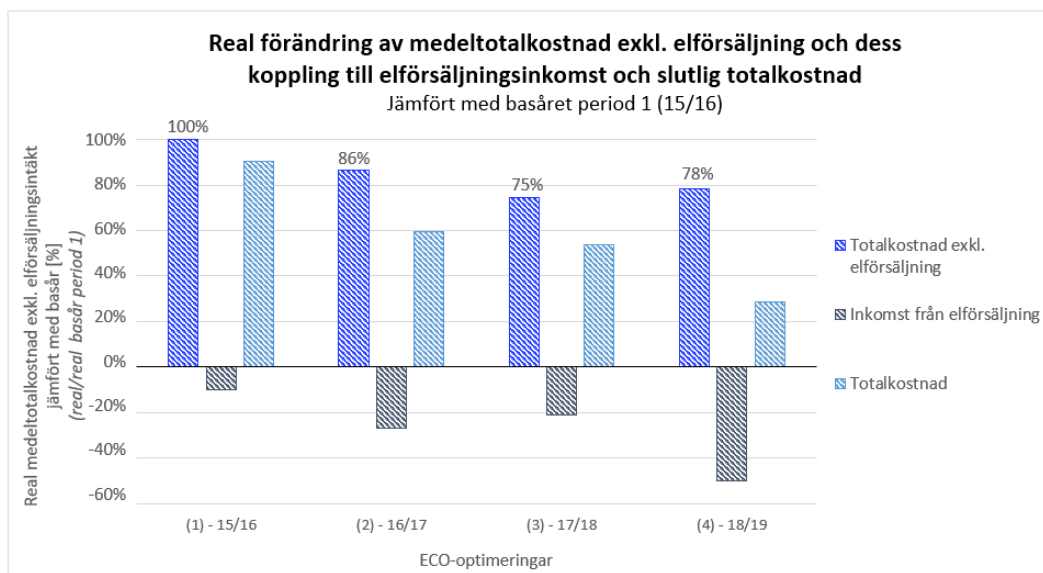
I Figur 5.3 presenteras vinstpotentialens utveckling för totalkostnaden exklusive elförsäljningsintäkter (a) samt dess reala förändring jämfört med basåret (b). Denna kategori redovisas för att senare kunna analysera totalkostnadens utveckling utan att behöva ta hänsyn till variationen av elinkomsterna, samt för att kunna dela upp kostnaden i de övriga kostnadskategorierna.



Figur 5.3: (a) Utveckling av vinstpotentialen för totalkostnaden exkl. inkomster från elförsäljning. (b) Förändring av den reala medeltotalkostnaden exkl. inkomster från elförsäljning jämfört med basåret.

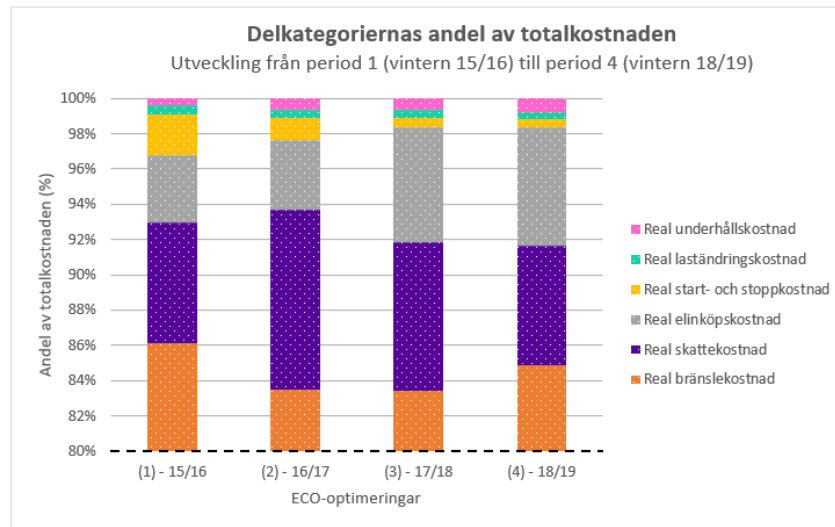
Gällande vinstpotentialen (a) var som störst period 1 (23%) för att sedan minska kontinuerligt ner till period 4 (9%). Angående förändringen av den reala medeltotalkostnaden exkl. elförsäljning (b) hade period 1 hade högst kostnad. För kommande vintrar minskade den kontinuerligt och period 3 var den 25% lägre jämfört med basåret. Den sista perioden ökade kostnaden igen, men den var fortfarande 22% lägre jämfört med basåret. Beräknas ett genomsnittligt procentvärde ut för period 3 och 4, minskade totalkostnaden exkl. elförsäljningsintäkter totalt ca 24% under fyraårsperioden jämfört med basåret.

För att kunna se förhållandet mellan totalkostnaden, elförsäljningsinkomsterna och totalkostnaden exkl. elförsäljning presenteras deras reala förändring tillsammans i Figur 5.4. Procentsatserna är gentemot totalkostnaden exkl. elförsäljning, där 100% motsvarar storleken av denna kategori under basåret. Om man i figuren summerar totalkostnaden exkl. elförsäljning med elförsäljningsinkomsterna, erhålls den slutliga totalkostnaden. Figuren visar att totalkostnadens stora minskning genom åren främst beror på att inkomsterna från elförsäljning har ökat drastiskt. Utan elförsäljningsinkomsternas drastiska ökning, hade totalkostnadens minskning inte varit lika stor och mer lik den förändring som skett för totalkostnaden exkl. elförsäljning.



Figur 5.4: Förändring av totalkostnaden, elförsäljningsinkomsterna och totalkostnaden exkl. elförsäljning för att kunna se hur de förhåller sig till varandra. Procentsatserna är gentemot totalkostnaden exkl. elförsäljning, där 100% motsvarar storleken av denna kategori under basåret.

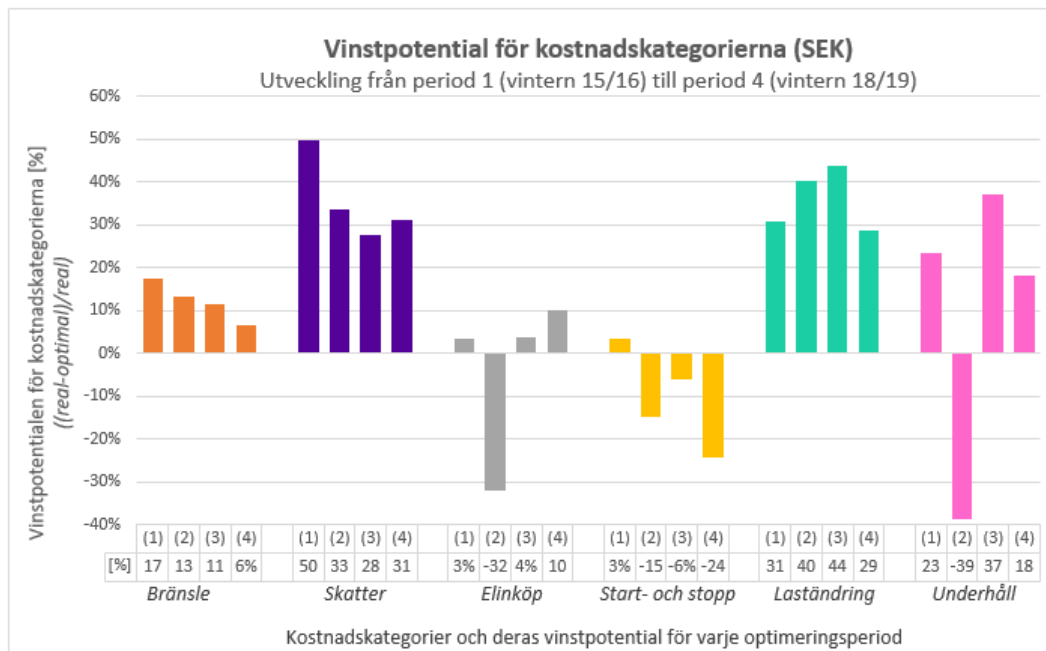
För totalkostnaden exkl. elförsäljning består dess kostnader av de övriga kostnadskategorierna som presenteras i Figur 4.4. Hur stor andel kostnadskategorierna approximativt har varit under fyraårsperioden visas i Figur 5.5. Bränslekostnaden har dominerat alla åren med omkring 83-86% av totalkostnadens utgifter. För övriga delkategorier har de varierat omkring 7-10% för skattekostnaden, 4-7% för elinköpskostnaden, 0,5-2% för start- och stoppkostnaden, 0,5% för laständringskostnaden samt 0,5-1% för underhållskostnaden.



Figur 5.5: Hur stor andel varje delkategori approximativt har varit av den reala totalkostnaden under fyraårsperioden. För varje delkategorier har de varierat omkring 83-86% för bränslekostnaden, 7-10% för skatteskostnaden, 4-7% för elinköpskostnaden, 0,5-2% för start- och stoppkostnaden, 0,5% för laständringskostnaden samt 0,5-1% för underhållskostnaden.

5.2.1.2 Övriga kostnader

I denna sektion presenteras en sammanställning av resultatet (vinstpotentialen och den reala värdesförändringen) för de kostnadskategorier som totalkostnadens utgifter består av: bränslekostnader, skatteskostnader, elinköpskostnader, start- och stoppkostnader, laständringskostnader och underhållskostnader. I Figur 5.6 presenteras en **sammanfattning av vinstpotentialens utveckling** för varje kostnadskategori.

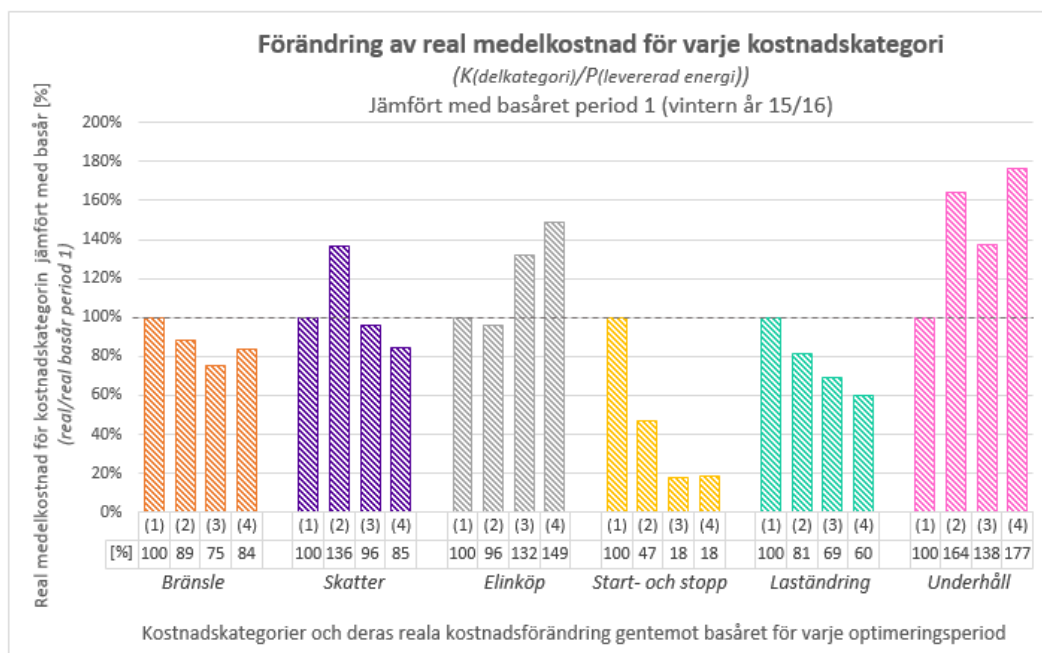


Figur 5.6: Sammanfattning av vinstpotentialens utveckling för de delkategorier som totalkostnadens utgifter består av: bränslekostnader, skatteskostnader, elinköpskostnader, start- och stoppkostnader, laständringskostnader och underhållskostnader.

Utifrån Figur 5.6 kan följande resultat för varje delkategori urskiljas:

- **Bränslekostnader.** Vid period 1 var vinstpotentialen 17%. Därefter minskade den kontinuerligt alla åren ner till 6% period 4. Sammanlagt blev den totala vinstpotentialens minskning 11% från den första till den sista perioden.
- **Skattkostnader.** Vid period 1 var vinstpotentialen 50%. Därefter minskade den kontinuerligt ner till 28% för period 3. För period 4 ökade den igen upp till 31%. Beräknas ett medelvärde ut för period 3 och 4, blev den totala vinstpotentialens minskning ca 21% från den första till den sista perioden.
- **Elinköpskostnader.** Vinstpotentialen var mycket växlande under fyraårsperioden. Vid period 1 var den 3%. För period 2 var den negativ och det reala utfallet för elinköpskostnaderna var 32% lägre jämfört med det optimala. För period 3 och 4 ökade vinstpotentialen igen till ungefär samma nivå som tidigare (4% för period 3 och 10% för period 4).
- **Start- och stoppkostnader.** Vid period 1 var vinstpotentialen 3%. För efterföljande perioder var den istället negativ, vilket innebär att den reala start- och stoppkostnaden generellt var lägre för det reala utfallet än för det optimala. För period 2, 3 och 4 låg vinstpotentialen på -15%, -4% samt -24%.
- **Laständringskostnader.** Vid period 1 var vinstpotentialen 31%. För efterföljande perioder ökade den kontinuerligt upp till 44% för period 3. Den sista perioden minskade den igen ner till liknande nivå som den var period 1 (29%).
- **Underhållskostnader.** Vinstpotentialen var mycket växlande under fyraårsperioden. Vid period 1 var den 25%, och för perioden därpå var den istället negativ och gick ner till -39%. För period 3 och 4 blev vinstpotentialen positiv igen och landade på 37% respektive 18%.

I Figur 5.7 presenteras en **sammanfattning av den reala genomsnittliga kostnadsförändringen gentemot basåret** för varje kostnadskategori.



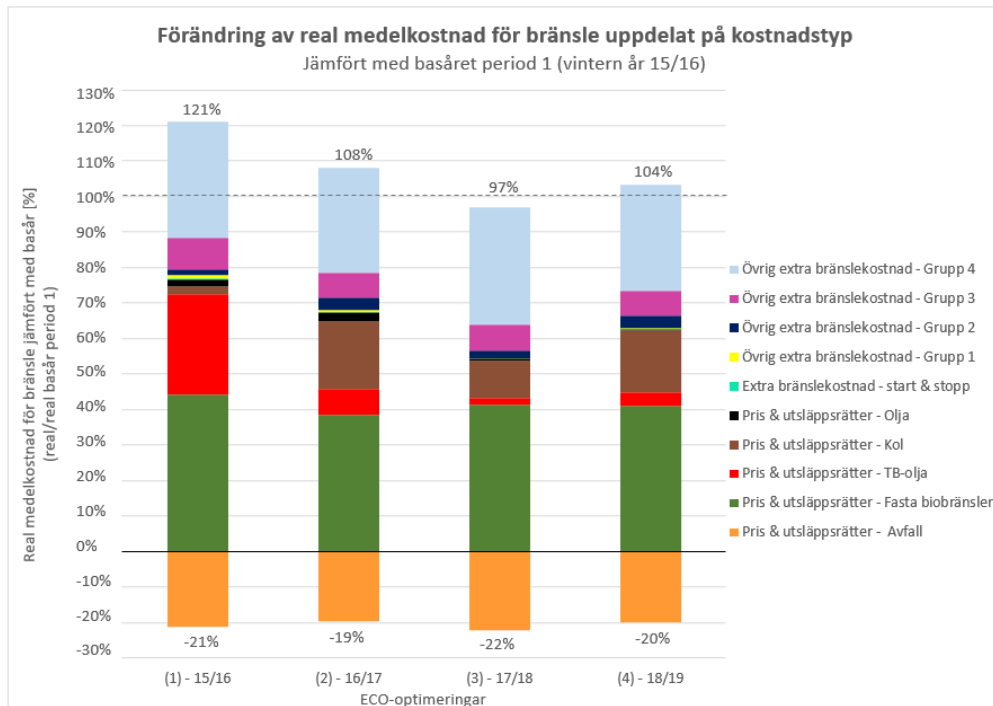
Figur 5.7: Sammanfattning av den reala genomsnittliga kostnadsförändringen för de delkategorier som totalkostnadens utgifter består av: bränslekostnader, skattkostnader, elinköpskostnader, start- och stoppkostnader, laständringskostnader och underhållskostnader.

Utifrån Figur 5.7 kan följande resultat för varje delkategori urskiljas:

- **Bränslekostnader.** Period 1 hade högst genomsnittligt bränslekostnad av alla perioder. För kommande vintrar minskade kostnaden kontinuerligt och period 3 var den 25% lägre jämfört med basåret. Den sista perioden ökade kostnaden igen, men den var fortfarande 16% lägre jämfört med basåret. Beräknas ett genomsnittligt procentvärde ut för period 3 och 4, minskade bränslekostnaden totalt ca 20% under fyraårsperioden jämfört med basåret.
- **Skatteskostnader.** Från period 1 till 2 ökade kostnaden och blev 36% större jämfört med basåret. Därefter minskade den igen kontinuerligt till period 4 där kostnaden var endast 85% jämfört med basåret. Överlag, förutom ökningen period 2, minskade skatteskostnaden därmed ca 15% från första till sista perioden.
- **Elinköpskostnader.** Kostnaden ökade överlag under fyraårsperioden. Först minskade den med 6% jämfört med basåret för period 2, för att sedan efterföljande perioder öka igen. För period 3 och 4 var kostnaden 32% respektive 49% högre jämfört med basåret.
- **Start- och stoppkostnader.** Period 1 hade störst start- och stoppkostnad. Därefter den minskade kontinuerligt med 53% från period 1-2 samt 29% från period 2-3 för att slutligen landa på 18% jämfört med basåret. Mellan period 3 och 4 skedde ingen förändring. Totalt minskade start- och stoppkostnaden med 82% under fyraårsperioden jämfört med basåret.
- **Laständringskostnader.** Period 1 hade störst laständringskostnad. Den minskade därefter kontinuerligt under fyraårsperioden med 19% från period 1-2, 12% från period 2-3 samt 9% från period 3-4. Totalt minskade laständringskostnaden med 40% under fyraårsperioden jämfört med basåret.
- **Underhållskostnader.** Kostnaden var som minst period 1. För efterföljande perioder ökade kostnaden först med 64% jämfört med basåret för period 2. För period 3 minskade kostnaden igen, men var fortfarande 38% högre jämfört med basåret. För period 4, vilket är året med störst underhållskostnad under fyraårsperioden, var kostnaden 77% högre jämfört med basåret.

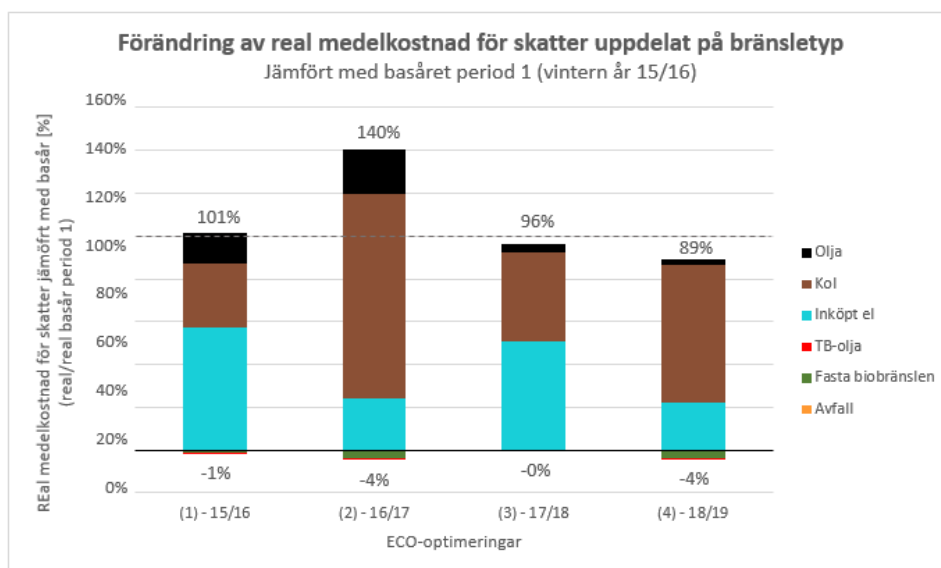
Eftersom bränsle- och skatteskostnader är de största delkategorierna av totalkostnaden, kommer deras kostnader att presenteras mer ingående. För de mindre delkategorierna (start- och stopp-, laständrings- och underhållskostnader) presenteras de i appendix. För elinköpskostnader har ingen kostnadsuppdelning gjorts.

För bränslekostnader i Figur 5.8 presenteras vilka kostnadstyper kategorin består av för varje period. Även negativa kostnader som bidrar till att minska den totala bränslekostnaden visas. Adderas kostnaderna med den negativa delen för respektive period erhålls samma procentsatser som i Figur 5.7 för bränsle. Kostnaden för fasta biobränslen baserat på pris och utsläpprätter dominerar alla perioder. Avfall har negativa kostnader och medför istället en inkomst. Vidare är de övriga extra bränslekostnaderna (vilket är de kostnader som krävs för varje grupp att hantera sina bränslen) en större del av totalen. Grupp 4 (som främst använder avfall för energiproduktion, se Figur 4.1) har störst övriga extra bränslekostnader av alla grupper.



Figur 5.8: Den reala genomsnittliga bränslekostnadens förändring jämfört med basåret uppdelat på olika kostnadstyper.

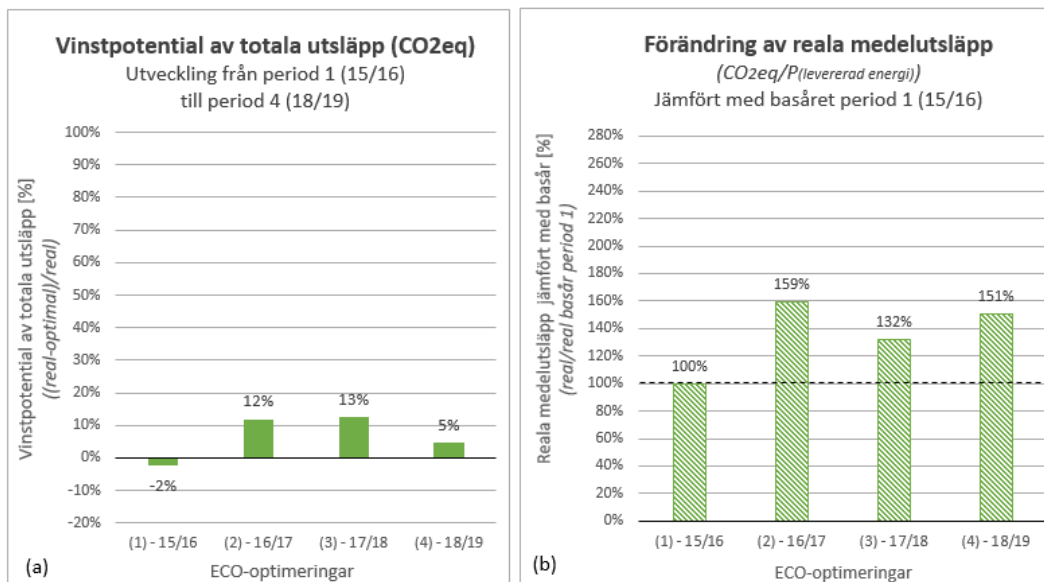
För skattekostnader i Figur 5.9 presenteras vilka bränsletyper skatterna tillhör för varje period. Även de subventioner som minskar den totala skattekostnaden visas. Ad-deras skatterna och subventionerna för respektive period erhålls samma procentsatser som i Figur 5.7 för skatter. Kol och el har dominerat alla perioder med varierande storlek. Kolskatterna var störst period 2 och minst period 1, medan elskatterna var störst period 1 och minst period 4. Utöver detta var även oljeskatterna en större skattepost period 1 och 2, för att sedan minska period 3 och 4. De subventioner som bidrar till att minska skattekostnaden kommer främst från fasta biobränslen och TB-olja. Deras bidragande effekt varierar från 0-4% minskning under fyraårsperioden.



Figur 5.9: Den reala genomsnittliga skattekostnadens förändring jämfört med basåret uppdelat på den bränsletyp som skatten tillhör. Figuren visar både skatterna och subventionerna.

5.2.2 Utsläpp

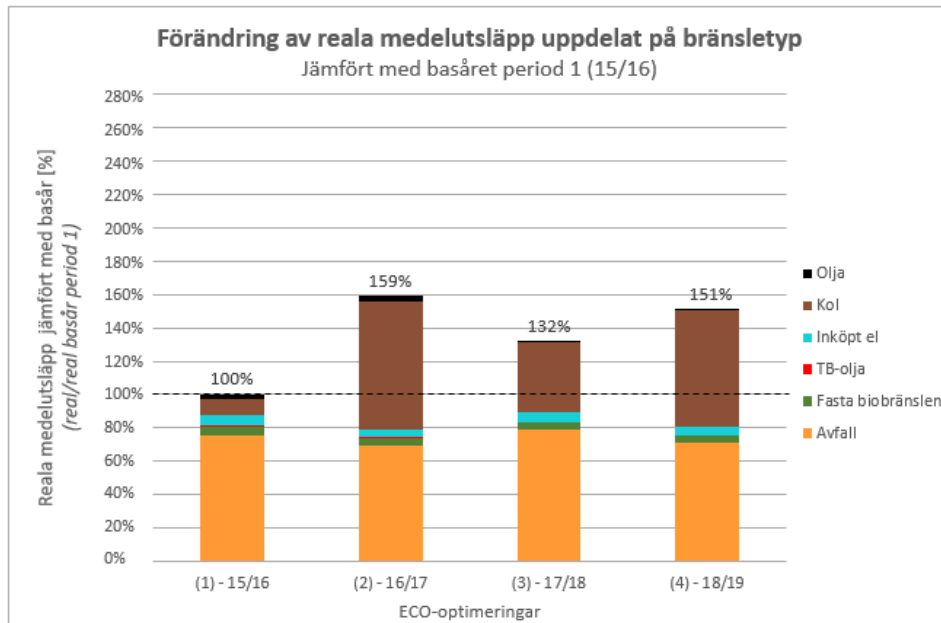
I denna sektion presenteras resultatet för delkategorierna kopplat till utsläpp, vilket är totala utsläpp samt utsläpp baserat på bränsletyp. Vinstpotentialens utveckling för de totala utsläppen (a) samt de reala medelutsläppens förändring jämfört med basåret (b) presenteras i Figur 5.10.



Figur 5.10: (a) Vinstpotentialens utveckling för totala utsläpp. (b) De reala medelutsläppens förändring jämfört med basåret.

Vinstpotentialen för totala utsläpp (a) har varit växlande under fyraårsperioden. Period 1 hade lägst vinstpotential av alla vintrar på -2%, vilket innebär att det reala fallet hade mindre utsläpp jämfört med det optimala. Därefter ökade vinstpotentialen upp till 12 respektive 13% för period 2 och 3. Den sista vinterperioden minskade vinstpotentialen igen till 5%. Gällande de reala medelutsläppens förändring jämfört med basåret (b), var de lägst för period 1 jämfört med efterföljande år. För period 2 var utsläppen störst under fyraårsperioden med 59% högre medelutsläpp jämfört med basåret. Utsläppen för period 3 och 4 var 32% respektive 51% högre jämfört med basåret.

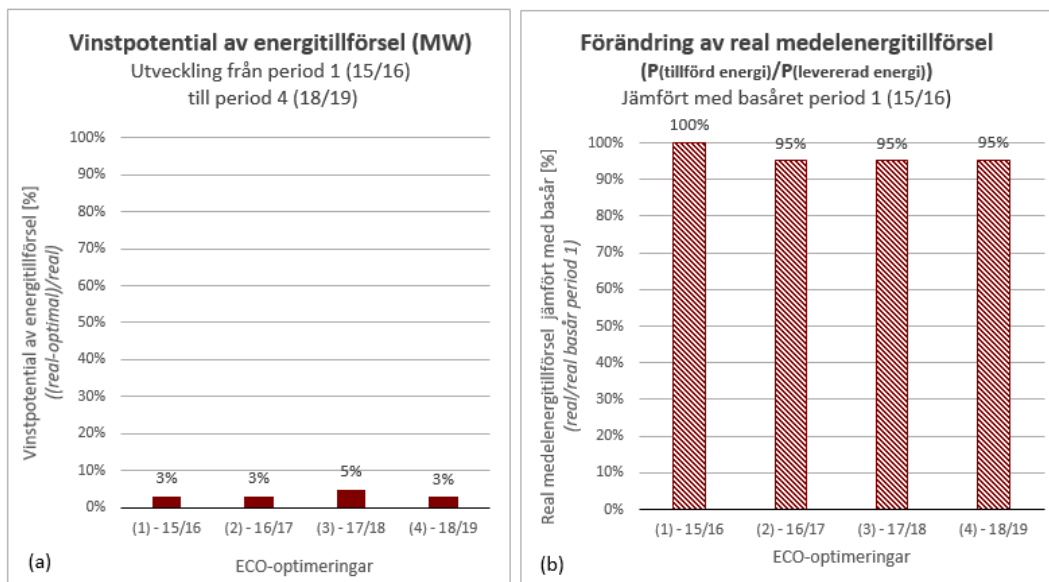
I Figur 5.11 presenteras de reala medelutsläppens förändring jämfört med basåret uppdelat på den bränsletyp som utsläppen tillhör. Resultatet bygger på samma förändring av de reala medelutsläppen som visas i Figur 5.10b. Under fyraårsperioden kommer majoriteten av utsläppen från avfall och kol. Utöver detta har utsläppen från avfall, fasta biobränslen, TB-olja och inköpt el legat på likande nivåer under hela fyraårsperioden (om de analyseras utifrån de totala utsläppen). Utsläppen från olja har minskat genom åren, och de var störst period 1 och 2 för att sedan minska för period 3 och 4. Utsläppen från kol har varit växlande med minst utsläpp under period 1, och högst utsläpp under period 2.



Figur 5.11: De reala medelutsläppens förändring jämfört med basåret, uppdelat på den bränsletyp som utsläppen tillhör.

5.2.3 Energitillförsel

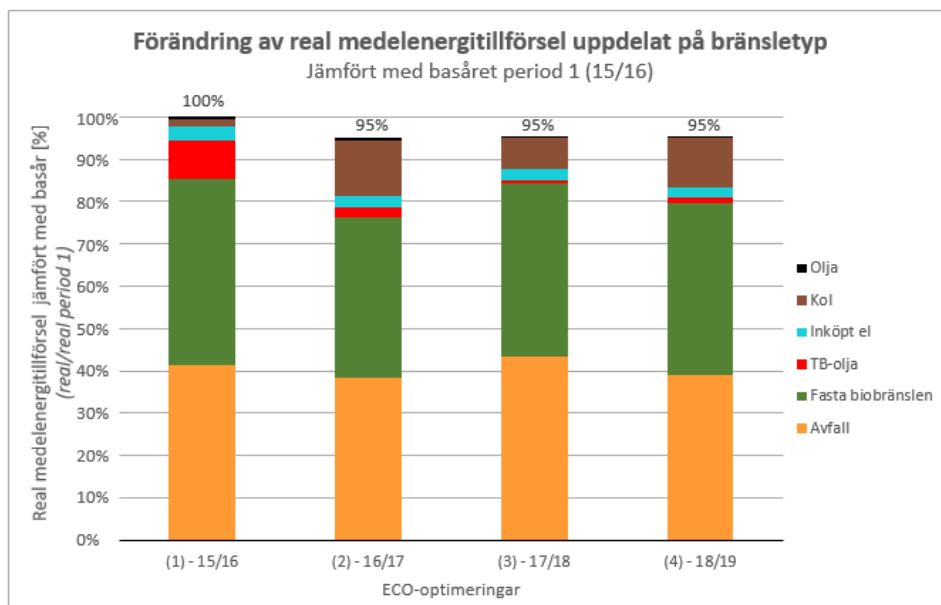
I denna sektion presenteras resultatet för delkategorierna kopplat till energitillförsel, vilket är total energitillförsel samt energitillförsel baserat på bränsletyp. Vinstpotentialens utveckling för energitillförseln (a) samt den reala genomsnittliga energitillförselns förändring jämfört med basåret (b) presenteras i Figur 5.12.



Figur 5.12: (a) Vinstpotentialens utveckling för energitillförsel. (b) Den reala förändringen av genomsnittlig energitillförsel jämfört med basåret.

Gällande vinstpotentialen (a) var den stabil under fyraårsperioden och varierade mellan 3 och 5%. För den reala förändringen (b) var den var som störst period 1 men minskade sedan med 5% till period 2. Därefter för övriga perioder låg den genomsnittliga energitillförseln på 95% jämfört med basåret.

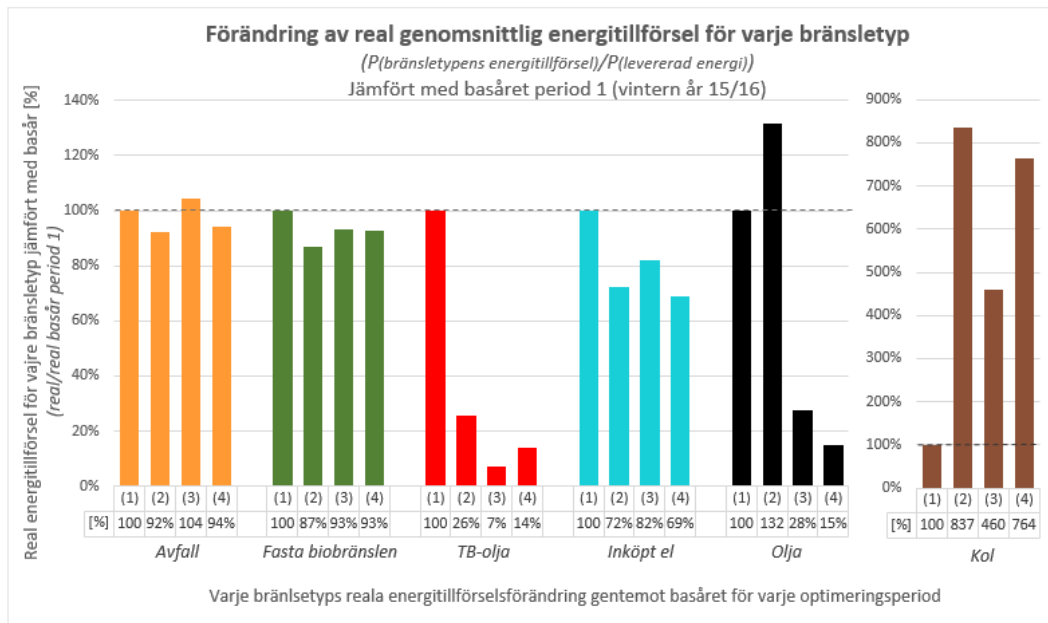
I Figur 5.13 presenteras den reala förändringen av genomsnittlig energitillförsel jämfört med basåret uppdelat på bränsletyperna. För varje period har bränslena avfall och fasta biobränslen dominerat energitillförseln. Tillsammans har de varierat mellan 75% (period 2) och 85% (period 1) i förhållande till basåret. För TB-olja var energitillförseln störst period 1 (ca 10% gentemot basåret) för att sedan minska för efterföljande år. Inköpt el har legat på en jämn nivå under hela fyraårsperioden (ca 3% gentemot basåret). Tillförseln av kol var som minst period 1 (ca 2% gentemot basåret) och som högst period 2 (ca 13% gentemot basåret). Gällande tillförsel av olja låg den på 1% gentemot basåret för period 1 och 2, för att sedan minska under period 3 och 4.



Figur 5.13: Den reala förändringen av genomsnittlig energitillförsel jämfört med basåret, uppdelat på den bränsletyp som energitillförseln tillhör.

Genom att undersöka bränsletypernas individuella energitillförselsförändring gentemot hur stora de var basåret, går det lättare att se hur de mindre tillförda energityperna (kol, TB-olja, inköpt el och olja) har varierat under fyraårsperioden. Således kan skillnader urskiljas även om bränslets förändring överlag är liten i förhållande till totalen. Bränsletypernas individuella förändring gentemot basåret presenteras i Figur 5.14. Dessutom, eftersom energitillförseln är direkt kopplad till utsläppen, gäller den individuella förändringen i förhållande till basåret även för utsläpp.

I Figur 5.14 går det att urskilja att energitillförseln för avfall och fasta biobränslen har legat på en jämn nivå jämfört med basåret och endast varierat med ca $\pm 10\%$. För TB-olja, inköpt el samt fossil olja går det att urskilja en generell minskning av tillförd energi under fyraårsperioden jämfört med basåret. För kol har tillförsel varit växlande med minst tillförsel period 1, och störst tillförsel period 2.



Figur 5.14: Bränsletypernas individuella förändring av tillförd energi eller utsläpp gentemot basåret.

Kapitel 6

Analys

I detta kapitel analyseras resultatet av intervjustudien och fallstudien. Först analyseras intervjustudien och det praktiska arbetet av kraftvärmeproduktion kopplat till ekonomi och miljö. Sedan utvärderas resultatet av fallstudien, där varje kategori analyseras var för sig.

6.1 Praktiskt arbete av kraftvärmeproduktion kopplat till ekonomi och miljö

I denna sektion analyseras resultatet av intervjustudien. I intervjuerna kopplat till ekonomisk och miljömässig uppföljning, är det tydligt att aktörernas fokus är på ekonomi och minskade kostnader i produktionen. När det gäller miljöfrågor och miljömässiga uppföljningar är det istället en annan avdelning som har högsta ansvar. Till följd av denna fokusuppdelning blir det tydligt att EO3 främst används till att förbättra ekonomiska aspekter, eftersom det är där högsta prioritet ligger för produktionsplanerare. Däremot leder exempelvis miljöskatter och utsläppstillstånd till att EO3 delvis också används för att förbättra miljömässiga aspekter, men då mer som en indirekt förbättring eftersom de inte är prioriterade på samma sätt som kostnader.

På grund av att EO3 främst används till att förbättra kostnader medan miljömässiga förbättringar är en indirekt påföljd, finns det anledning att tro att de ekonomiska vinsterna av att använda EO3 skulle vara större än de miljömässiga. I fallstudien som genomförts kan man exempelvis se ett sådant resultat, där de ekonomiska besparingarna baserat på totala kostnader tydligt kan urskiljas (både genom minskad vinstpotential och medelkostnad genom åren) medan resultatet för totala utsläpp inte visar en tydlig vinst. Däremot, på grund av den indirekta påföljden av miljöskatter och utsläppstillstånd, finns det inget som säger emot att vinstresultatet hade kunnat se annorlunda ut om man hade analyserat ett annat system.

När det gäller det praktiska arbetet av kraftvärmeproduktion med hjälp av EO3, finns det många delar som kan kopplas till ekonomiska och miljömässiga vinster. Dessa delar kan både leda till direkta förbättringar inom områdena, men även till kontinuerliga förbättringar ju längre tiden går.

Eftersom EO3 hjälper till att ta beslut kring den kommande produktionen, och eftersom beslutsunderlaget frekvent förnyas baserat på ständigt uppdaterade fjärrvärme- och elprisprognoser, leder till en produktion som har mycket bra möjligheter att köra så optimalt som möjligt. Denna användning av EO3 ger således direkta resultat på vinsterna. Även de utmaningar som EO3 hjälper till att hantera (prognoser, ana-

lys av scenarions, automatiserad produktion, snabb respons till driftteam, mindre att ta hänsyn till och bättre systemövecklick) är delar som direkt förbättrar produktionen. De direkta resultaten kan exempelvis tydas i fallstudien, där den reala totalkostnadens förändring (både med och utan elförsäljning) är som störst i början i båda fallen. Att istället använda egengjord Excellfil för planering och prognoser vid större produktionssystem såsom hos de som intervjuats, kan inte ge samma möjlighet till att uppnå lika hög precision på planeringen som man får via EO3. Därmed måste EO3 vara mer fördelaktig när det kommer till ekonomi och miljö i produktionen. De utmaningar som aktörerna tycker uppstå vid produktionsplaneringar och på vilka sätt EO3 hanterar dessa, styrker även att EO3 har många fördelar och funktioner som en Excellfil inte skulle ha. Däremot är det svårt att veta om samma fördelaktighet hade gällt för ett mindre produktionssystem. Det finns anledning att tro att ju mer komplext ett system är desto mer nytta kan man förvänta sig, och detta eftersom alla de intervjuade aktörerna i själva verket implementerade EO3 när systemet blev mer komplext.

Utöver direkta resultat på vinsterna, går det även utifrån intervjuerna att identifiera delar i det praktiska arbetet med EO3 som leder till kontinuerliga förbättringar ju längre tiden går. För det första, genom att använda EO3 som optimeringsprogramvara, ger det möjlighet att på ett effektivt sätt lära sig sitt energisystem på en mer detaljerad nivå. Genom det kontinuerliga lärandet blir man således bättre på att tolka EO3s optimeringar, samt att det ger möjlighet att med den kunskap som erhålls kunna trimma systemet och göra det bättre. För det andra, eftersom det tar tid för EO3 att bli accepterat av driftpersonal, krävs det dessutom att man arbetar med systemet ett tag för att det ska bli mer och mer integrerat. För det tredje, eftersom man med EO3 och ECO-optimeringar kan genomföra ekonomiska uppföljningar på ett enkelt sätt, kan man därmed ha kontinuerlig återkoppling med driftteamet gällande produktionen. Denna återkoppling leder till att driftpersonal fortlöpande blir bättre på att köra produktionen. Dessa tre delar inom det praktiska arbetet med EO3 innebär sammanfattningsvis att vissa förbättringar är kontinuerliga och att det kan ta tid att uppnå full potential av vinsterna genom att använda EO3. Dessa förbättringarna kan exempelvis kopplas till resultatet i fallstudien, där bland annat den konstanta minskningen av vinstpotentialen och den reala totalkostnaden (både med och utan elförsäljning) år efter år visar på detta faktum.

6.2 Värdering av ekonomiska och miljömässiga vinster

I denna sektion kommer fallstudien och resultatet av de ekonomiska och miljömässiga vinsterna att analyseras. Följande avsnitt följer samma ordning för kategorierna som i resultatdelen. För de övriga kostnadskategorierna kan analysen av resultatet huvudsakligen hänvisas till Figur 5.6 för vinstpotentialen och Figur 5.7 för den reala genomsnittliga kostnadsförändringen. I de avsnitt där grupperna från Företag A:s anläggning nämns, finns de beskrivna i Figur 4.1 med tillhörande bränslen för varje grupp.

6.2.1 Totalkostnad och elförsäljning

Sammanfattas resultatet för den slutliga totalkostnadens vinstpotential och reala förändring, visar det att Företag A både har blivit bättre på att köra mer optimalt genom åren samtidigt som den genomsnittliga totalkostnaden har minskat (Figur 5.1). Denna trend kring vinsterna kan mer eller mindre dras även om vinstpotentia-

len ökade igen för period 4. Detta eftersom totalkostnaden var mycket lägre för den perioden jämfört med basåret. Således blir den absoluta mängden pengar man hade kunnat spara under period 4 mycket mindre än för period 1, trots att vinstpotentialerna procentuellt ligger på samma nivå.

Även om resultatet visar att Företag A har blivit bättre på att köra mer optimalt samt har minskat sina totalkostnader, är det svårt att avgöra hur stor del av förändringen som är direkt kopplad till EO3. Fastän jämförelsen är mellan perioder med samma aktiva enheter inom energisystemmodellen, finns det ändå en variation mellan enheternas tillgängligheter som kan ha påverkat kostnadsminskningen. Exempelvis under period 1 var generatorerna både för grupp 2 och 4 otillgängliga under en stor del av perioden (se Figur 9.9 i appendix). Detta gjorde att man inte kunde sälja lika mycket el, vilket antagligen ledde till en högre slutlig totalkostnad än vad den hade varit om generatorerna fanns tillgängliga. Därmed hade minskningen av den reala medeltotalkostnaden från period 1 till 4 möjligtvis inte varit så stor om generatorerna varit tillgängliga som vanligt. Samma problem gällande tillgängligheter skedde i period 3, där generatören för grupp 4 var otillgänglig under längre tid, vilket även här ledde till lägre intäkter från elförsäljning. Dock minskade ändå kostnaden mellan period 2 och 3 trots att period 2 hade större chans till elförsäljningsintäkter. Detta påvisar således att totalkostnaden ändå minskade trots varierande elförsäljning.

En annan aspekt som försvårar möjligheten att avgöra hur stor del av förändringen som är direkt kopplad till EO3, är att elpriset ökade konstant för varje period (se Figur 9.5 och 9.6 i appendix). Detta kan också bidra till att den slutliga totalkostnaden var så hög period 1 jämfört med period 4, eftersom man då fick ca hälften så mycket inkomster per såld MW el. Däremot är det samtidigt svårt att avgöra hur mycket extra elförsäljningsinkomst som erhöles tack vare att EO3 hjälpte till att planera och optimera produktionen (och således elförsäljningen) på bästa sätt. I intervjustudien under sektion 5.1.2 nämns bland annat att elförsäljningen var svår att hantera utan EO3. Därför finns det anledning att tro att elförsäljningen faktiskt har förbättrats, även om det är svårt att se det i resultatet p.g.a de stora skillnaderna i elpriset.

Undersöks vinstpotentialen och den reala förändringen för totalkostnaden exklusive elförsäljning, kan man få en bättre bild av de eventuella vinsterna utan att behöva ta hänsyn till generatorernas tillgängligheter och det ökande elpriset. Sammanfattas resultatet för totalkostnaden exkl. elförsäljning, visar även det att Företag A både har blivit bättre på att köra mer optimalt genom åren samtidigt som den genomsnittliga totalkostnaden har minskat (Figur 5.3). Däremot skedde det en mindre ökning av den reala totalkostnaden för period 4. Det kan dock grunda sig i att man möjligtvis anpassade produktionen och ökade produktionskostnaderna för att kunna producera mer el. Genom att producera mer el och få mer inkomster från elförsäljning, kan det i slutändan leda till en lägre slutlig totalkostnad om inkomsten är större än kostnadsökningen (se ekvation 4.1).

Gällande resultatet för totalkostnaden exkl. elförsäljning, försvårar aspekten kring stordriftsfördelar att kunna dra direkta slutsatser kring vinsten. Detta gäller även övriga kostnadskategorier. Stordriftsfördelar innebär att genomsnittskostanden generellt minskar ju mer enheter som produceras. För kraftvärmeproducenter innebär detta att ju mer mängd levererad energi som skett under perioden, desto lägre genom-

snittlig kostnad kan man förvänta sig. Exempelvis hade period 4 lägre totalkostnader än period 1, samtidigt som det levererades mer energi under period 4 jämfört med 1 (se Figur 9.8 i appendix). Därför blir det även utifrån detta perspektivet svårt att avgöra vad EO3 respektive stordriftsfördelarna har bidragit till för att minska totalkostnaden. Dock för period 2 och 3, vilka levererade i princip samma mängd energi under sina perioder, kan man fortfarande se en kostnadsminskning mellan perioderna. Därför kan man trots stordriftsfördelarna ändå se att EO3 fortfarande har hjälp till, men att storleken på kostnadsminskningen kopplat till EO3 inte verklighetsmässigt kan antas vara så stor. Utöver detta, eftersom en högre levererad energimängd i vissa fall kan innebära att fler anläggningar behövs användas vilket ökar produktionskostnaden, behöver inte stordriftsfördelarna alltid gälla för kraftvärmeproduktionen.

6.2.2 Bränslekostnad

Vinstpotentialens kontinuerliga minskning varje år påvisar att Företag A med tiden har kört sina bränslekostnader mer och mer optimalt. Detta resultat tillsammans med den reala förändringen som också minskat kontinuerligt (förutom period 4), kan man dra slutsatsen att EO3 har hjälp till att få ner bränslekostnaderna sedan dess att programvaran implementerades. Ökningen av den reala kostnaden för period 4 kan bero på, precis som beskrivs ovan för totalkostnaden exkl. elförsäljning, att det möjligtvis var mer optimalt att öka bränslekostnaden för att på så sätt kunna öka sin elförsäljning och i slutändan kunna minska totalkostnaden.

Resultatet för bränslekostnaden är mycket lik den för totala kostnader exklusive elförsäljning. Detta, tillsammans med att bränslekostnaden utgör omkring 83-86% av totalkostnaden, visar att totalkostnadens vinstresultat främst är kopplat till hur bränslepriset har förändras. Utöver detta gör även bränslekostnadens stora andel att dess reala kostnadsförändring då blir mycket större jämfört med om samma procentuella förändring skulle ske för en mindre kategori, såsom underhåll eller laständring. Exempelvis, trots att real laständringskostnad minskat med 40%, blir den reala minskningen av ca 20% bränslekostnader mycket högre i absoluta tal och därmed mer viktig i slutändan.

Vad som främst har påverkat den reala minskningen av bränslekostnaden (Figur 5.8), beror på att man främst har minskat kostnaderna för bränslepriser och utsläppsrätter för TB-olja och kol. Även oljans kostnad för bränslepriser och utsläppsrätter har minskat år till år och bidragit med några procents minskning jämfört med basåret. Utöver detta, trots att det inte går att urskilja ur figuren, har även den extra bränslekostnad som krävts vid start och stopp minskat. Övriga extra bränslekostnader är de kostnadstyper som istället har legat på liknande nivåer alla perioder, där de för grupp 4 är en av typerna med störst procentuell andel. Detta då bränslehantering och förberedning av avfall är mycket kostsamt. Däremot eftersom avfallspriset är negativt tar dessa priser i princip ut varandra.

Vad som dock måste beaktas vid uppskattningen av kostnadsvinsten, är att bränslepriserna och utsläppsrätterna har antagits vara statiska för alla optimeringar i EO3. I verkligheten kan dessa variera år efter år, och de kan både gå upp och ner beroende på marknaden. Eftersom de reala bränslekostnaderna främst består av bränslepriser och utsläppsrätter, och eftersom den minskning som skett främst har berott på en minskning av just dessa kostnadstyper, går det inte att veta om storleken på minskningen i resultatet stämmer. För att få mer noggranna resultat hade dynamiska bränsle- och utsläppsrättspriser behövt användas istället.

6.2.3 Skattekostnad

Skattekostnadens vinstpotential minskade kontinuerligt för varje period, förutom en mindre ökning period 4. Således kan man konstatera att Företag A med tiden generellt har kört sina skattekostnader mer optimalt. Var den främsta förändringen har skett är att skatterna för kol, olja och el har blivit mer lika optimalfallet. Överlag använder dessutom optimalfallet mer tillförsel av avfall än Realt, vilket därmed orsakar att Realt utfall får högre skattekostnader eftersom avfall under dessa perioder inte bidrog till några skatter i EO3.

Utifrån den minskade vinstpotentialen tillsammans med den överlag minskade reala medelskatteostnaden, kan det estimeras att skattekostnaden har minskat genom åren p.g.a. att produktionen har kört mer optimalt tack vare EO3. Däremot, eftersom real kostnad ökar mellan period 1 och 2, minskade den inte hela tiden. Man kan spekulera kring att skattekostnaden för period 1 var lägre än vad den normalt hade varit, eftersom period 1 hade färre tillgängliga generatorer. Detta gjorde att det, för produktionen i grupp 2, användes en större mängd TB-olja eftersom dess skattekostnad för att producera enbart fjärrvärme är mycket lägre än den för kol. Denna förskjutning av energitillförseln från kol till TB-olja kan ses i Figur 5.13. Att andelen TB-olja var så stor period 1 gjorde sannerligen att skattekostnaden blev extra låg. Därmed är det svårt att veta hur skattekostnaden hade varit om generatorerna (specifikt den för grupp 2) hade varit tillgängliga som vanligt. I exempelvis period 2 var alla generatorer överlag tillgängliga under hela perioden. Utifrån detta kan man misstänka att om period 1 hade haft samma förutsättningar, hade skattekostnaden möjligtvis legat på en liknande nivå som för period 2. I det fallet hade man möjligtvis kunnat se en medelskatteminskning för alla åren istället, men det är endast spekulationer.

Angående att skattekostnaden har minskat genom åren p.g.a. att produktionen har kört optimalt tack vare EO3, är det även andra aspekter som måste beaktas vid värderingen av kostnadsvinsten. Precis som för bränslekostnaden, har de skattesatser som använts för alla bränslen antagits vara statiska för alla perioder. I verkligheten kan dessa, precis som bränslekostnaden, variera exempelvis beroende på det politiska läget samt beroende på uppsatta politiska mål kring exempelvis utsläpp. Därmed går det inte att veta om den minskning som uppskattats i resultatet stämmer. För att få mer noggranna resultat hade även dynamiska skattepriser behövt användas istället.

6.2.4 Elinköpskostnad

Eftersom vinstpotentialen för elinköpskostnaden är mycket växlande för varje period, samt eftersom det skett en generell ökning av dess reala värde, går det inte att urskilja några kostnadsvinster i denna kategori. Däremot beror den reala kostnadsökningen främst på att elpriserna ökade varje period, och inte på hur mycket el som faktiskt köptes in. I verkligheten har mängden inköpt el i MW överlag minskat (se Figur 5.14), och hade elpriserna legat på en konstant nivå hade en kostnadsminskning istället kunnat antas. Dock är det svårt att veta om minskningen av inköpt el i MW beror på EO3, eller om det främst beror på att elpriset blev så pass dyrt genom åren att man således automatiskt fick minska sina inköp.

För mängden inköpt el var den högst period 1 och period 3. Detta kan möjligtvis ha berott på att dessa perioder hade fler timmar med lägre utomhustemperatur än de övriga (se Figur 9.7 i appendix). Detta kan förklara varför mängden el som köptes in ökade mellan period 2 och 3 fastän elpriset också ökade. De kallare temperaturerna

kan ha gjort att mer spetslast behövdes. I motsats till detta följde tillförseln av olja, vilket också används till spetslast, inte denna trend och minskade istället generellt under perioderna. Därmed kan man spekulera att användningen av olja som bränsle faktiskt har minskat tack vare EO3, medans mängden inköpt el mer har följt hur den faktiska utetemperaturen har varit.

Utöver detta är det ett resultat som sticker ut gällande vinstpotentialen, vilket är det starka negativa värdet för period 2. Detta värde beror på att det optimala utfallet under samma period förespråkade mycket större inköp av el och användning av elverkande värmeproduktion, för att den slutliga totalkostnaden skulle bli så låg som möjligt. Detta påverkade även underhållskostnaden och gjorde att den blev mycket högre för det optimala utfallet än det reala för period 2 (se sektion 6.2.7).

6.2.5 Start- och stoppkostnad

Resultatet gällande vinstpotentialen för start- och stoppkostnader sticker ut jämfört med övriga kostnadskategorier. Även om man kan se en generell minskning av vinstpotentialen, var den för majoriteten av perioderna negativ. Detta innebär att det optimala utfallet förespråkade fler start och stopp för att kunna uppnå en optimal slutlig totalkostnad, medan det reala utfallet inte har följt dessa förslag utan istället hållit sina start- och stoppkostnader på en lägre nivå.

ECO-optimal genererar alltid det mest optimala utfallet baserat på den uppsatta energimodellen i EO3. Om det optimala utfallet då föreslår fler start och stopp för varje period, innebär det att det i slutändan skulle leda till lägre totala kostnader. Att reallt utfall hade så mycket färre start och stopp, kan grunda sig i en av två orsaker. Antingen (förutsatt att de start- och stoppkostnader som är satta i EO3 är korrekta) kan det grunda sig i att de i produktionen, trots de föreslag som EO3 gett, inte är tillräckligt modiga i att använda enheterna mer aktivt genom start och stopp. Det kan också grunda sig i att det i verkligheten faktiskt inte är rimligt att starta och stoppa enheter så många gånger som optimalt utfall föreslår. Detta indikerar i så fall att de satta start- och stoppkostnaderna i EO3 är för låga i förhållande till vad de skulle vara i verkligheten. Precis som teorin beskrivit gällande start och stopp, kan detta i så fall vara kopplat till svårigheterna med att anta start- och stoppkostnader och att det kan ta tid att trimma in rätt data.

Även om vinstpotentialen är negativ för majoriteten av perioderna, har den reala medelkostnaden för start och stopp minskat kraftigt från period 1 till 4. Störst förändring av start- och stoppkostnaden är för pannorna i varje grupp (se Figur 9.2 i appendix). Även för generatorerna har start och stopp minskat trots att försäljningen av el samtidigt har ökat. Däremot kan den kraftiga minskningen mellan period 1 och 2 diskuteras. Under period 1 kan man urskilja att det var det fler insatta tillgängligheter och tvingade stopp jämfört med de resterande perioderna. Detta kan möjligtvis ha gjort att start- och stoppkostnaderna för period 1 blivit extra höga, jämfört med vad de skulle varit om mängden tillgängligheter hade varit samma som för period 2-4.

Även om kostnadsminskningen inte kan antas vara så stor som den är i resultatet, visar dock den generella minskningstrenden att Företag A har blivit bättre på att undvika start- och stoppkostnader. Dock, eftersom vinstpotentialen är negativ för majoriteten av perioderna, kan man inte direkt koppla dessa resultat till EO3s planeringsförslag för start och stopp. Däremot kan EO3 överlag som hjälpmedel till produktionplaneringen ha haft en generell bidragande faktor i det stora hela.

6.2.6 Laständringskostnad

Vinstpotentialen för laständringskostnaden har utifrån resultatet generellt ökat, medan den reala medelkostnaden kontinuerligt har minskat för varje period. Den reala minskningen är främst p.g.a. att pannornas laständringskostnad har minskat kraftigt (Figur 9.3 i appendix). Därför kan man således uppskatta att Företag A har blivit mer kostnadseffektiva när det gäller laständringar.

Det är svårt att veta exakt vad som kan ha orsakat de motverkande trenderna mellan vinstpotentialen och den reala förändringen. En möjlig orsak kan vara att det kanske har funnits vissa tillgängligheter och krav på laständringar i verkligheten, men att de inte har lagts in i EO3. Detta kan därmed ha tvingat den verkliga produktionen att utföra fler laständringar medan det optimala utfallet har kunnat ligga på mer jämn nivå utan att behöva gå upp och ner i last. Således kan systemet fortfarande ha blivit bättre och minskat sina laständringskostnader på grund av EO3, eftersom det optimala fallet i så fall kan ha varit omöjligt att fullt uppnå.

6.2.7 Underhållskostnad

Eftersom vinstpotentialen för underhållskostnaden är mycket växlande för varje period, samt eftersom det skett en generell ökning av underhållskostnaden, går inte inte att urskilja några kostnadsvinster i denna kategori. Gällande den ökande underhållskostnaden är det däremot något man kan förvänta sig eftersom systemet blir allt äldre. Ett åldrande system kräver per automatik mer underhåll för att hålla upp kvaliteten på produktionen. Resultatet för underhållskostnaden kan dock i verkligheten se annorlunda ut, eftersom teknisk data kring den fasta och rörliga underhållskostnaden har varit statistiska för varje optimering. I verkligheten kan dessa möjligtvis ha uppdaterats genom åren för att bättre spegla enheternas ökade ålder.

Ett resultat som sticker ut för underhållskostnaden är den starkt negativa vinstpotentialen för period 2. Detta värde beror på att det optimala utfallet under samma period förespråkade mycket större inköp av el och användning av elverkande värmeproduktion, vilket ledde till starkt ökade underhållskostnader för elpannan och värmepumparna som inte det reala utfallet hade.

6.2.8 Utsläpp

För de totala utsläppen går inte att se någon tydlig utsläppsminskning (Figur 5.10). Vinstpotentialen varierar utan någon tydlig trend, samtidigt som den reala utsläppsförändringen istället ser ut att öka för perioderna. Dock kan resultatet av vinstpotentialens utveckling samt ökningen av den reala förändringen diskuteras.

Precis som diskuteras i tidigare avsnitt, var flera generatorer otillgängliga under en längre tid i period 1. För produktionen i grupp 2 gjorde detta att det blev mer fördelaktigt att använda mer TB-olja istället för kol för att enbart producera fjärrvärme. Kol släpper ungefär ut ca 60 gånger mer CO_2eq per MW jämfört med TB-olja. Hade tillgängligheten av generatorerna varit samma som för de övriga perioderna, är det därmed en stor sannolikhet att mängden tillförd kol och således totala utsläpp hade varit mycket större för period 1 än vad resultatet visar. På grund av utsläppens relation till kostnader i form av miljörelaterade skatter, avgifter och subventioner är det möjligt att de reala totala utsläppen hade följt samma förändring likt kostnaderna. De totala utsläppens förändring från period 2 till 4 följer samma mönster som totalkostnaderna exkl. elförsäljning, med en real minskning mellan period 2 och

3 för att sedan efterföljas av en ökning period 3 till 4. Därför, om tillgängligheterna för period 1 hade varit samma som för de övriga, går det att spekulera att de totala utsläppen istället hade genomgått en genomsnittlig minskning under fyraårsperioden till skillnad från den generella ökningen vi kan se i dagsläget. Gällande vinstpotentialen för period 1 hade även denna då möjligen varit större än vad den visar i dagsläget, vilket i så fall hade lett till en minskande vinstpotential istället för en växlande som den är i dagsläget.

Mängden utsläpp är direkt korrelerade till hur mycket energitillförsel av varje bränsletyp som skett. För energitillförseln låg vinstpotentialen och den reala energitillförseln på liknande nivå för alla perioder (Figur 5.12). Eftersom utsläppen ändå har förändrats mellan perioderna, betyder detta att de totala utsläppen främst är påverkade av hur den individuella tillförseln av varje bränsletyp har förändrats till skillnad från energitillförseln som total. Resultatet i Figur 5.11 visar att det är främst utsläppen från kol som i slutändan påverkar hur stora de totala utsläppen blir. Detta eftersom kol har så pass höga utsläppsvärden, vilket gör att dess utsläpp blir påtagliga i slutändan trots att bränslet endast har varit en mindre del av energitillförseln. Därför är mängden tillförd kol till systemet den avgörande faktorn för slutresultatet av utsläppsvinsten. Utöver kol är även olja ett fossilt bränsle med stora utsläpp per tillförd MW. Oljans energitillförsel och utsläpp i förhållande till sig själv har minskat markant under fyraårsperioden (se Figur 5.14). Dock är dess andel av de totala utsläppen så pass liten vilket gör att dess förändring utifrån totala utsläpp i princip blir försumbar. Däremot är oljans minskade utsläpp ändå relevant, eftersom alla utsläpp som man kan minska och undvika fortfarande är en viktig vinst i det globala perspektivet.

Vidare är utsläppsdaten för varje bränsle som Företag A använder baserade på data från Gode m. fl. 2011 och Naturvårdsverket 2018, tillsammans med gjorda antaganden gällande bränslefraktionen för varje bränsletyp. Gällande den data som har använts, kan man för vissa bränslen klimatvärdera utsläppen annorlunda än vad som gjorts i källorna. Exempelvis för avfall kan man argumentera för att avfallsförbränning är ett sätt att undvika eventuella utsläpp som istället hade skett via metangas i en deponi. Eftersom metangas är en mycket starkare växthusgas än koldioxid, är det därför bättre utifrån detta perspektivet att förbränna avfallet än att inte göra det. Dessutom utifrån ett energisystemperspektiv, gör förbränningen att man kan återvinna energi som annars skulle gå till spillo. Även för el är det möjligt att klimatvärdera utsläppsdaten annorlunda, eftersom hela elsystemet i hela Europa är sammankopplat. Därför är det omöjligt att exakt veta hur den el man köper har producerats och vilket utsläppsvärde den egentligen borde ha, då detta kan förändras varje sekund. Skulle man i fallstudien exempelvis ha antagit en europeisk elmix skulle elens andel av totalutsläppen varit mycket högre, och vice versa för svensk elmix. Gällande de antaganden som har gjorts för Företag A:s bränslen, kan dessa också ha varit annorlunda i verkligheten och ha varierat beroende på vilken blandning av bränslet som köptes in till produktionen. Exempelvis kan avfallets fraktion från industri kontra hushåll ha varierat, vilket gör att det i princip är omöjligt att kunna göra ett exakt korrekt antagande gällande avfallets fraktioner.

Kapitel 7

Diskussion

I detta kapitel diskuteras intervju- och fallstudien. Först sker det en bedömning av intervjumetoden och hur man från denna kan dra slutsatser kring det praktiska arbetet hos kraftvärmeproducenter. Sedan sker det en bedömning av fallstudiemetoden och hur de valda tillvägagångssätten har påverkat möjligheten att dra slutsatser kring de ekonomiska och miljömässiga vinsterna.

7.1 Bedömning av intervjumetoden och det praktiska arbetet hos kraftvärmeproducenter

Intervjustudien gjordes i syfte av att kunna svara på frågeställningen om på vilket sätt det praktiska arbetet hos kraftvärmeproducenter med hjälp av EO3 som programvara kan kopplas till ekonomiska och miljömässiga vinster. I analysavnittet identifierades några delar i det praktiska arbetet med EO3 som både direkt och kontinuerligt förbättrar vinsterna, vilka kunde kopplas samman med hur resultatet såg ut i fallstudien. Trots att man utifrån intervjuerna kan se en koppling mellan det praktiska arbetet med EO3 och vinsterna, finns det aspekter som gör det svårt att kunna dra generella slutsatser kring vinsterna för alla EO3s kunder. Detta grundar sig i intervjumetodens upplägg och avgränsningar.

Angående det upplägg som gjordes handlar det främst om vilken typ av intervjumetod som valdes:

- För det första valdes en kvalitativ intervjumetod för analysen. Denna typ av metod hade vissa fördelar eftersom den gav möjlighet att på ett djupare sätt förstå aktörernas upplevelser och deras syn på kraftvärmeproduktion. Dessutom var den fördelaktig eftersom författaren, som inte hade mycket tidigare kunskap inom området, fick möjlighet att ställa följdfrågor och diskutera ämnen som ledde till en bättre övergripande förståelse av produktionsplanering. Däremot hade en kvantitativ intervjuform, exempelvis via en enkät, också inneburit vissa fördelar. Förutom att den hade gett möjlighet att få svar från fler aktörer, hade man även kunnat få mer konkreta svar och mätbara resultat vilket ytterligare hade förbättrat jämförbarheten mellan de olika aktörerna. Man hade möjligen även kunnat hitta mer heltäckande samband med hjälp av statistiska beräkningar.
- För det andra valdes en halvstrukturerande intervjuform. Denna intervjustruktur är fördelaktig då den ger möjlighet att fördjupa sig i frågorna och på så sätt få bättre resultat. Däremot hade även en strukturerad intervjuform, exempelvis

genom en enkät som presenterades ovan, gett möjlighet till mer jämförbara och kvantitativa analyser vilka hade kunnat bidra till ett mer heltäckande resultat av många fler aktörer och kunder hos Energy Opticon.

Angående de avgränsningar som gjordes handlar det främst om vilka aktörer som valdes att intervjuas:

- För det första intervjuades endast fem olika aktörer. Hade fler aktörer intervjuats hade svaren blivit mer generaliserbara och kunnat antas gälla för en större majoritet av EO3s kunder.
- För det andra intervjuades endast produktionsplanerare och personer inom ett optimeringsteam. Utifrån intervjuerna kom det fram att även arbetet hos driftteamet var relevant för hur väl integrerat EO3 kan bli. Därutöver, eftersom det främst är företagens miljöavdelning som hanterar miljörelaterade frågor, hade det varit intressant att intervju dem gällande den miljömässiga uppföljningen. Om personer inom drift och miljöavdelningen också hade intervjuats, hade det eventuellt bidragit med en bättre helhetsbild.
- För det tredje intervjuades aktörer som mycket aktivt jobbar med EO3 och dess olika funktioner såsom ekonomisk uppföljning via ECO-optimeringar. Detta urval gör naturligtvis att jämförelsen mellan de intervjuade blir mer rimlig, samt att aktörernas intervju svar blir mer jämförbara med resultatet i fallstudien (eftersom även Företag A var en av de intervjuade aktörerna). En nackdel är att resultaten både av intervju- och fallstudien främst kan kopplas till aktörer som har ett lika stort intresse, aktivt arbete och framgångsrik integrering av EO3 som de intervjuade har. Därmed är det svårt att veta om en likande minskning av vinstpotentialen samt de reala totalkostnaderna (som vi kan se i fallstudien) hade skett för en kund där det aktiva arbetet inte är lika påtagligt. Dock är målet med denna studie att uppskatta hur stora vinster man kan uppnå med hjälp av EO3 som programvara. Därför är både valet av intervjuade aktörer samt av Företag A till fallstudien försvarbart då de visar bra exempel på system där EO3 blivit väl integrerat i verksamheten.
- För det fjärde intervjuades endast svenska aktörer. Precis som diskuterades ovan ger en sådan avgränsning mer jämförbara resultat mellan de intervjuade aktörerna. Svenska aktörer måste följa samma regelverk och har sannolikt mer lika tankesätt gällande kraftvärmeproduktion. Däremot kan dessa delar möjligtvis se annorlunda ut i andra länder. Därmed hade det varit intressant att även intervju internationella aktörer för att få en mer heltäckande bild.
- Slutligen intervjuades kraftvärmeföretag med en mer omfattande systemkomplexitet. Enligt intervjuaren var bland annat energisystemets komplexitet en viktig del i varför aktörerna implementerade EO3 från första början. Därför hade det även varit intressant att intervju mindre komplexa energisystem för att veta hur de ser på EO3 som hjälpmedel, och om arbetet med EO3 och dess funktioner skulle användas lika aktivt.

Sammanfattningsvis av bedömningen av intervjumetoden, finns det aspekter kring upplägget och avgränsningarna som hade kunnat ske annorlunda om syftet istället hade varit att få en mer heltäckande bild av hur Energy Opticon kunder resonerar kring kraftvärmearbete kopplat till ekonomi och miljö. Däremot syftar frågeställningen till att svara på hur praktiskt arbete hos kraftvärmeproducenter, med hjälp av EO3 som programvara, kan kopplas till ekonomiska och miljömässiga vinster. Därför

var det mer intressant att främst intervjua aktörer som arbetar liknande med EO3 som hjälpmedel och som samtidigt kunde kopplas till resultatet i fallstudien. Därför var avgränsningarna nödvändiga i detta arbete för att kunna jämföra de två olika studiernas resultat. Dessutom, för att få en bättre förståelse för kopplingen mellan praktiskt arbete med EO3 och vinster, var en djupare intervjuform mer gynnsam eftersom gav en mer personlig kontakt till aktörerna och följaktligen en bättre förståelse kring hur man arbetar med EO3 i produktionen.

7.2 Bedömning av fallstudiemetoden och uppskattningen av de ekonomiska och miljömässiga vinsterna

Fallstudien gjordes i syfte av att kunna svara på frågeställningarna kring om ekonomiska och miljömässiga vinster kan urskiljas utifrån att använda EO3 som programvara, samt kring vilken metod och tillvägagångssätt som är lämplig för att uppskatta vinsterna som uppstår genom att använda EO3. I analysavsnittet analyserades alla undersökta kategorier var för sig för att kunna uppskatta vinsterna baserat på de förutsättningar fallstudien hade, samt för att kunna ta reda på om det fanns några brister i metoden som gjorde att uppskattningen av vinsterna var svårare att identifiera.

Utifrån fallstudien kan man i resultatet se tydliga indikationer på att en minskning av totalkostnaden (både med och utan elförsäljning) har skett i samband med att systemet har minskat sin vinstpotential och kört mer optimalt genom EO3s produktionsförslag. Därför kan man dra den övergripande slutsatsen att kostnaderna har minskat genom att Företag A har implementerat EO3 i sin verksamhet, och att Energy Opticons kvalitetspoliy kopplat till minskade kostnader har uppfyllts. Däremot går det inte att veta den exakta storleken av de ekonomiska vinsterna, eftersom det finns brister i metoden som gör det svårt att kunna avgöra vinststorleken.

Gällande totala utsläpp kan man utifrån resultatet inte se några indikationer på att det skett en utsläppsminskning. Detta resultat kan däremot grunda sig i att period 1 hade färre tillgängliga generatorer för att producera el, vilket ledde till att man använde en större mängd TB-olja än man vanligtvis hade gjort. För att få reda på hur förändringen av de totala utsläppen kan kopplas till användningen av EO3, hade därmed utförandet av fallstudien behövs justeras för att undvika påverkan från dessa tillgängligheter. Även om de totala utsläppen inte kunde påvisa en minskning, har däremot de fossila utsläppen från olja minskat markant. Således finns det indikationer på att EO3 åtminstone delvis har hjälpt till att minska användningen och utsläppen för fossil spetslast, vilket trots sin lilla andel av totala utsläpp fortfarande är en vinst. Därmed kan man utifrån den fallstudie som gjorts även bevisa att kvalitetspolicyn kring minskade utsläpp uppfylls för fossil olja.

EO3 har därmed i denna studie visat sig leda till minskade kostnader och utsläpp i produktionen. Eftersom Företag A är en svenskt företag som främst utnyttjar biobränsle och avfall i produktionen, tror författaren att resultatet främst kan kopplas till svenska aktörer eftersom de vanligtvis använder liknande bränslen samt bör ha liknande strategier och kunskaper när det kommer till produktionsplanering och optimering. Eventuellt skulle resultatet även vara applicerbart på utländska aktörer som har en stor andel av dessa bränslen.

En aspekt som måste beaktas vid resultatet av vinsterna, är att en undersökning

med hjälp av ECO-optimeringar innebär att man kollar på produktionen bakåt i tiden. Att kunna göra detta är givetvis en fördel eftersom man på ett bättre sätt kan studera hur produktionen har varit och vad man hade kunnat göra bättre. Dock medför detta att optimeringen av ECO-optimal redan har "facit" på hur alla fjärrvärmelaster, fjärrkylalaster och elpriser såg ut. Det är alltid lättare att uppnå en optimal produktionkostnad när det redan finns exakta svar på dessa delar, än när man måste planera produktionen baserat på prognoser som kan ändras fram till produktionstillfället. Därför måste man väga in att ECO-optimal på så sätt automatiskt har bättre förutsättningar att ge en lägre produktionskostnad än ECO-real.

Gällande den generella metoden som använts under fallstudien, har bland annat Företag A:s speciella ECO-modellering varit en unik förutsättning. För fallstudien har det inneburit att ECO-real exakt har följt de verkliga mätvärdena som funnits även om dessa skulle ha legat utanför energisystemmodellens gränser. Detta är en fördel eftersom resultatet av ECO-real blir mer verklighetstroget och pålitligt gällande vinstpotentialen och reala förändringar, jämfört med om analysen hade gjorts på ett företag som inte skulle ha det. Därför skulle det för framtida vinstanalyser vara fördelaktigt att använda en sådan typ av specialmodellering för ECO-optimeringarna.

För att kunna dra mer konkreta slutsatser kring de totala utsläppen samt storleken av de kostnadsminskningar som skett, finns det delar i metoden som hade behövt justeras. I fallstudien fick bland annat avgränsningar göras gällande vilka perioder som skulle analyseras. Detta på grund av att Företag A:s system har genomgått stora förändringar sen dess att EO3 implementerades i verksamheten. Detta gjorde att perioder som egentligen hade varit av intresse för vinstanalysen exkluderades. För att kunna analysera vinsterna som erhållits genom att använda EO3, hade det varit mycket hjälpsamt för resultatet att åtminstone genomföra analyser tillbaka till året innan EO3 implementerades. Därför, för framtida vinstanalyser, är det viktigt att de genomförs på energisystem som inte har genomgått stora förändringar omkring perioderna innan och efter EO3 implementerades.

Andra avgränsningar som gjordes i fallstudien var att endast vinterperioderna för varje undersökt år analyserades. Detta beslut togs för att begränsa studiens omfattning och för att kunna genomföra arbetet inom det satta tidsomfånget. Utifrån detta perspektiv är de valda vinterperioderna fördelaktiga, eftersom det är då kraftvärmeproduktionen generellt är som högst och då företaget främst har nytta av ett optimeringssystem som hjälper till med produktionsplaneringen. Däremot hade det varit bättre att genomföra månadsvisa ECO-optimeringar för hela året istället eftersom det skulle ge en ännu bättre helhetsbild av vilka vinster kom uppkommit. Årsvisa optimeringar av fler perioder hade dessutom minskat risken för att vissa tillgängligheter skulle ta över resultatet, vilket är det som det har hänt i fallstudien exempelvis för period 1 angående elproduktionen och användningen av TB-olja. Även omständigheterna kopplat till stordriftsfördelar hade kunnat hanteras på ett bättre sätt, eftersom man skulle få fler perioder att kunna jämföra och ett mer omfattande beslutsunderlag att basera vinstanalysen på.

En del av metoden som starkt har påverkat möjligheten att kunna avgöra storleken på de ekonomiska vinsterna, är att alla ECO-optimeringar har genomförts baserat på statisk data för bränslepriser, utsläppspriser, energiskatter, koldioxidskatter och subventioner. I verkligheten kan dessa variera mycket stort från år till år. Eftersom det i studien dessutom påvisades att bränslekostnaderna var en mycket stor andel av

totalkostnaden, hade det därför varit extra viktigt att inkludera dynamiska bränslepriser och utsläppspriser vilka både har haft en stor påverkan på den slutliga bränslekostnaden. På grund av detta faktum går det inte att dra slutsatser kring kostnadernas vinststorlek, utan endast att det finns indikationer på en kostnadsminskning. I framtiden för att kunna analysera storleken på de vinster som kan erhållas, måste dynamiska kostnader inkluderas i de gjorda ECO-optimeringarna.

7.2.1 Felkällor

Det finns några eventuella felkällor som förutom den valda falltsudiemetoden kan ha påverkat det slutliga resultatet. Däremot bedömer författaren att deras påverkan bör vara försumbar, eftersom dessa felkällor endast skett i en mycket liten utsträckning. De felkällor som identifieras är följande:

- **Saknade mätvärden.** För vissa enheter uppkom det ibland timvisa saknade mätvärden i EO3. De kan uppstå om det exempelvis har varit problem med mätutrustning i produktionsanläggningen. För att ECO-optimeringarna skulle kunna genomföras, fylldes dessa mätvärden i genom att koppla dem till existerande mätvärden hos en annan enhet via energiflöden. Därefter kunde de saknade mätvärdena beräknas med hjälp av energiomvandlingar. Om detta inte var möjligt fylldes de i genom att stegvis öka eller minska mätvärdet kontinuerligt för att matcha nedanstående tidssteg.
- **Manuell inläggning av mätvärden.** Eftersom det endast fanns tre år av mätvärden tillgängligt i EO3, behövdes mätvärden för ECO-optimeringarna 15/16 (period 1) och 16/17 (period 2) läggas in manuellt. Även om inläggningen skedde noggrant och systemetiskt, kan eventuellt den mänskliga faktorn ha gett upphov till eventuella fel.
- **Justering av tillgängligheter.** Om vissa tillgängligheter inte matchar hur mätvärdena har varit under perioden, kan de genomförda ECO-optimeringarna få optimeringsfel. Om ett sådant fel uppstod, hanterades detta genom att anpassa tillgängligheterna utifrån mätvärden och den faktiska produktionen. Detta genom att antingen ta bort, ändra eller lägga till tillgängligheter.
- **Anpassning av energisystemmodellen.** Eftersom analysen sker bakåt i tiden kan vissa problem uppstå med den uppsatta energisystemmodellen i EO3. Detta eftersom systemet kontinuerligt förändras, och vissa inställningar som gäller i dagsläget gällde inte förr. Således kan ECO-optimeringar som görs längre bak i tiden få optimeringsfel. För att hantera detta har därmed energisystemmodellen anpassats när sådana fel uppstod. Överlag har det däremot endast inneburit små justeringar.

7.3 EO3 och dess påverkan på omvärlden och framtidens kraftvärmeproduktion

I dagsläget finns majoriteten av EO3:s kunder i Sverige. Sverige har länge varit ett föregångsland inom fjärrvärmeproduktion (t.ex. via kraftvärme), vilket troligtvis har gjort att kunskapen och intresset kring produktionsplanering och optimering har blivit mycket etablerat. Denna framgång tror författaren grundar sig i att Sverige har ett kallare klimat med både stor efterfrågan på värme och el, samt i att landet har höga skatter och övriga styrmedel som har fått producenter att vilja minska sina

kostnader och utsläpp. Kunskapen och intresset av produktionsplanering och optimering har därmed gjort att bland annat EO3 implementerats hos många av Sveriges kraftvärmeföretag. Detta har sannerligen lett till en ökad konkurrenskraft och minskade utsläpp, vilket har hjälpt till med att uppnå Sveriges miljömål om minskade växthusgaser till år 2045 (Sveriges Miljömål 2020). Om EO3 (men även andra typer av optimeringsprogramvaror) hade börjat användas i ännu större utsträckning inom kraftvärmeproduktion, kommer konkurrenskraften och möjligheterna att nå miljömålet år 2045 bara bli bättre. Därför hoppas författaren att allt fler kraftvärmeföretag och industrier implementerar optimeringsprogramvaror eftersom de skulle ha mycket relevanta och positiva effekter på en samhällsmässig nivå.

Förutom Sverige blir användningen av EO3 allt mer vanlig i andra Europeiska länder där kraftvärmeproduktion är utbredd. I Europa, till skillnad från Sverige, används en mycket större andel fossila bränslen för att producera värme, kyla och el. För produktion av värme och kyla är i dagsläget 75% av de bränslen som används fossila (Energiföretagen 2020b). För elproduktion ligger samma siffra på omkring 40% (Agora Energiewende och Sandbag 2020). Den stora användningen av fossila bränslen gäller även globalt, och på grund av detta skulle bland annat EO3 kunna bli ett viktigt hjälpmedel för att motverka klimatkrisen och starkt förändra världens värme-, kyla- och elproduktion till det bättre. Även om relevansen av att använda programvaror för produktionsplanering och optimering blir mer allmänt spridd globalt, tror författaren att det kommer krävas mycket arbete med kunskapsspridning dessa frågor. Dock kommer inte endast en implementering av optimeringsprogramvaror vara lösningen, utan det kommer även krävas att fossila bränslen ersätts av förnybara- eller avfallsbränslen. Detta är något som är svårare för en programvara att lösa, men tack vare exempelvis EO3:s koppling till Sverige där användningen av förnybart och avfall är mycket stort, skulle möjligtvis EO3 och dess koppling till flera svenska kraftvärmeföretag kunna fungera som en inspirationskälla.

7.4 Förslag på framtida studier

För framtida undersökningar gällande EO3 och dess koppling till ekonomiska och miljömässiga vinster, har författaren identifierat några punkter som skulle vara intressanta att utforska:

- Genomföra en liknande studie utifrån de metodförändringar som identifierats som relevanta för att kunna få ett bättre och mer kvantifierbara resultat kring vinster.
- Analysera ett system med stor andel fossila bränslen då resultatet i en sådan studie hade varit mer applicerbart globalt.
- Göra samma typ av studie men att istället jämföra vinsterna mellan två system: ett där kunder är mer aktiva i användandet av EO3, och ett där kunder är mer passiva i sitt användande. Detta för att få bättre kunskap i hur viktig det är att ha en framgångsrik implementering av programvaran.
- Jämföra skillnaderna i vinsterna om man istället skulle optimera produktionen utifrån att minska utsläppen istället för kostnaderna. Om det är möjligt att styra produktionen mer utifrån utsläpp utan att öka kostnaderna allt för mycket, skulle det vara ett intressant resultat.

Kapitel 8

Slutsats

Syftet med denna rapport var att undersöka nyttan för kraftvärmeproducenter att använda optimeringsprogramvaror som EO3 i sin produktion. Målet med studien var därmed att uppskatta de ekonomiska och miljömässiga vinsterna som kan erhållas genom att använda EO3 som programvara, samt att ta fram vilken metodik som är mest lämplig att använda sig av för att ta reda på storleken av dessa vinster. För att uppnå syftet och målet gick studien ut på att få en ökad förståelse om hur kraftvärmeproducenter praktiskt arbetar med sin produktion kopplat till ekonomi och miljö, samt att utifrån en kunds energisystem uppskatta vinsterna. Utifrån de frågeställningar som ställdes för att uppnå syftet och målet kan flera slutsatser dras.

Den första frågeställningen syftar till att svara på vilket sätt praktiskt arbete hos kraftvärmeproducenter, med hjälp av EO3 som programvara, kan kopplas till ekonomiska och miljömässiga vinster. Utifrån intervjustudiens resultat och analys, kunde både direkta och kontinuerliga förbättringar av ekonomi och miljö kopplas samman med hur det praktiska arbetet med hjälp av EO3 som programvara går till:

- Direkta förbättringar kan ses genom att EO3 hjälper till att ta beslut kring den kommande produktionen, genom att beslutsunderlaget frekvent förnyas baserat på ständigt uppdaterade fjärrvärme- och elprisprognoser samt genom de utmaningar som EO3 hjälper till att hantera. Dessa delar leder till direkta effekter på produktionen och gör att den direkt efter implementeringen av EO3 som programvara blir mycket bättre, till skillnad från om produktionen istället skulle fortsättas att planeras via en Excelfil.
- Kontinuerliga förbättringar kan ses genom att EO3 medför ett effektivt sätt att lära sig sitt energisystem, vilket således leder till fortlöpande tolkningsförbättringar av EO3s optimeringar samt trimningar av energisystemet. Utöver detta leder även tiden för driftteamet att fullt lita på systemet samt de fortlöpande ekonomiska uppföljningarna genom ECO-optimeringar att det tar tid för EO3 som programvara att nå sin fulla potential.

Den andra frågeställningen går ut på att ge svar om det går att urskilja ekonomiska och miljömässiga vinster genom att använda EO3 som programvara, och om det på så sätt kan bevisa att kvalitetspolicyen gällande ekonomi och miljö uppnås. Utifrån fallstudiens resultat, analys och diskussion kan slutsatser dras kring vinsterna.

Det går att urskilja både ekonomiska och miljömässiga vinster utifrån att använda EO3 som programvara. Därmed kan man dra slutsatsen att Energy Opticons kvalitetspoliy kopplat till minskade kostnader och utsläpp har uppfyllts. För ekonomiska

vinster finns tydliga indikationer på att en minskning av totalkostnaden (både med och utan elförsäljning) har skett i samband med att systemet har minskat sin vinstpotential och kört mer optimalt genom EO3s produktionsförslag. För miljömässiga vinster (även om det inte går att se något vinstresultat kring totala utsläpp), har utsläppen för fossil olja minskat markant genom åren då EO3 använts som programvara. Däremot kan inga konkreta slutsatser kring vinsternas storlek dras på grund av den valda fallstudiemetoden.

Den sista frågeställningen avser därmed att svara på vilka metoder och tillvägagångssätt som är mest lämpliga för att uppskatta storleken av de ekonomiska och miljömässiga vinsterna som kan erhållas genom att använda EO3 som programvara. Att använda ECO-optimeringar som metod för att uppskatta vinsterna är mycket bra, eftersom den gör det möjligt att på ett enkelt sätt jämföra ett reall produktionsutfall mot ett optimalt. Under bedömningen av intervju- och fallstudiemetoden, identifierades viktiga punkter som bör beaktas i framtida vinstanalyser för att på ett bättre sätt kunna kvantifiera storleken av vinsterna:

- Om det är av intresse att mäta hur stora vinsterna kan bli genom att använda EO3, är det bra att analysera ett system där integreringen av EO3 har varit framgångsrik och där företaget utnyttjar flera av EO3 olika funktioner. Detta eftersom det visar vad vinsterna kan bli om företaget utnyttjar systemet så effektivt som möjligt.
- Använd specialmodellering för ECO-optimeringarna. Eftersom modelleringen gör att det verkliga produktionsutfallet (ECO-real) följer de exakta mätvärdena som uppkommit, blir resultatet av vinsterna mer verklighetstroget och pålitligt.
- Genomför vinstanalysen på ett energisystem som inte har genomgått stora förändringar vid perioderna innan och efter att EO3 implementerades i verksamheten. Detta skulle bidra till att vinsterna kan analyseras från perioden innan EO3 implementerades, samt att vinsterna på ett bättre sätt skulle kunna kopplas till användandet av EO3 istället för eventuella förändringar som energisystemet genomgått.
- Utför ECO-optimeringar under längre tidsperioder, exempelvis årsvis. Det skulle leda till ett bättre och mer omfattande beslutsunderlag, vilket skulle ge mer tydliga resultat kring de ekonomiska och miljömässiga vinsterna. Dessutom skulle faktorer som tillgängligheter och stordriftsfördelar inte riskera att ta över och påverka resultatet på samma sätt.
- Använd dynamisk data för bränslepriser, utsläppsrättspriser, energiskatter, koldioxidskatter samt subventioner i systemet. Eftersom dessa kan förändras kraftigt från år till år, samt eftersom de starkt påverkar den slutliga totalkostnaden, är dynamisk data för dessa mycket viktiga för att kunna kvantifiera storleken på vinsterna.

Litteratur

- Abrahamsson, K. och Nilsson, J. (2013). *Kartläggning av marknaden för fjärrkyla*. Eskilstuna: Energimarknadsinspektionen. (Rapport Ei R2013:18).
- Agora Energiewende och Sandbag (2020). *The European Power Sector in 2019 - The European Power Sector in 2019: Up-to-Date Analysis on the Electricity Transition*.
- Beigaitė, R., Krilavičius, T. och Man, K. (2018). "Electricity Price Forecasting for Nord Pool Data". I: DOI: [10.1109/PlatCon.2018.8472762](https://doi.org/10.1109/PlatCon.2018.8472762).
- Dotzauer, E. (2002a). *Produktionsplanering av el och värme - Matematiska modeller och metoder*. Västerås: Mälardalens Högskola, Institutionen för Samhällsteknik. (MDH Ist 2002:2).
- Dotzauer, E. (2002b). "Simple model for prediction of loads in a district heating system". I: *Applied energy* 73(3), s. 277 - 921. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0306-2619\(02\)00078-8](https://doi.org/10.1016/S0306-2619(02)00078-8).
- EDUCBA (2020). *Average Cost vs Marginal Cost*. URL: <https://www.educba.com/average-cost-vs-marginal-cost/> (hämtad 2020-03-03).
- Energi- och klimatrådgivningen (2018). *Miljöpåverkan från el*. URL: <https://energiradgivningen.se/klimat/miljopaverkan-fran-el> (hämtad 2020-04-13).
- Energiföretagen (2018). *Fjärrkyla*. URL: <https://www.energiforetagen.se/energifakta/fjarrkyla/> (hämtad 2020-04-13).
- Energiföretagen (2020a). *Fjärrvärme - resurseffektiv uppvärmning*. URL: <https://www.energiforetagen.se/energifakta/fjarrvarme/> (hämtad 2020-04-08).
- Energiföretagen (2020b). *Kraftvärme*. URL: <https://www.energiforetagen.se/sa-fungerar-det/kraftvarme/> (hämtad 2020-01-29).
- Energimyndigheten (2017). *Om elcertifikatsystemet*. URL: <http://www.energimyndigheten.se/fornybart/elcertifikatsystemet/om-elcertifikatsystemet/> (hämtad 2020-04-13).
- Energimyndigheten (2018). *Utsläppshandel i EU*. URL: <http://www.energimyndigheten.se/klimat--miljo/handel-med-utslappsraatter/om-utslappshandel/utslappshandel-i-eu/> (hämtad 2020-03-10).
- Energy Opticon AB (2020a). *Den optimala programvaran för att spara tid, pengar och miljö inom energiföretag*. URL: <https://www.energyopticon.com/energy-optima-3/> (hämtad 2020-06-15).
- Energy Opticon AB (2020b). *Om Energy opticon*. URL: <https://www.energyopticon.com/om-oss/> (hämtad 2020-06-15).
- Eriksen, P.B. (2000). "Economic and environmental dispatch of power/CHP production". I: *Electric Power Systems Research* 57 (2001), s.33-39. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-7796\(00\)00116-4](https://doi.org/10.1016/S0378-7796(00)00116-4).
- European Commission (2019). *Quarterly Report on European Electricity Markets*. Market Observatory for Energy: DG for Energy, volume 12, issue 2.
- European Environment Agency (2018). <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/overview-of-the-electricity-production-2/assessment-4>. URL: <https://www.eea.europa.eu>.

- [eu/data-and-maps/indicators/overview-of-the-electricity-production-2/assessment-4](#) (hämtad 2020-03-11).
- Fjärrvärmeutredningen (2005). *Fjärrvärme och kraftvärme i framtiden*. Stockholm: Miljödepartementet (SOU 2005:33).
- Frederiksen, S. och Werner, S. (2014). *Fjärrvärme och fjärrkyla*. Studentlitteratur AB.
- FVB (2014). *Öresundskraft rustar för framtiden*. URL: <https://www.fvb.se/fvbnytt34-14/> (hämtad 2020-02-17).
- FVB (2015). *Så blir kraftvärmerna lönsam*. URL: <https://www.fvb.se/fvbnytt36-15/> (hämtad 2020-05-17).
- Gode, J. m. fl. (2011). *Miljöfaktaboken 2011 - Uppskattade emissionsfaktorer för bränslen, el, värme och transporter*. Stockholm: Värmeforsk Service AB. (Rapport 2011:1183).
- Hedberg, M. och Koppers, G. (2011). *Lastprognoser för fjärrvärme med hänsyn till scenarier och osäkerheter i vädret*. Stockholm: Värmeforsk Service AB. (Rapport 2011:1196).
- Helbrink, J. m. fl. (2016). *Ekonomiska förutsättningar för skilda kraftslag - En underlagsrapport till energikommissionen*. Sweco Sverige AB.
- Häggståhl, D. och Dotzauer, E. (2004). *Produktionsplanering under osäkerhet - Simulatorbaserad produktionsplanering av medelstora kraftvärmeverksanläggningar*. Stockholm: Värmeforsk Service AB.
- Kumar, N. m. fl. (2012). *Power Plant Cycling Costs*. Kalifornien: NREL. (Rapport NREL/SR-5500-55433).
- Kvarnström, J. m. fl. (2007). *Lastprognoser för fjärrvärme*. Stockholm: Värmeforsk Service AB. (Rapport 2007:1046).
- Lantz, A. (2013). *Intervjumetodik*. Studentlitteratur AB.
- Larsson, E. m. fl. (2003). *Ekonomiska styrmedel inom energiområdet - En faktarapport inom IVA-projektet energiframsyn Svergie i Europa*. Eskilstuna: Kungliga Ingenjörsvetenskapsakademien, IVA.
- Lusth, T. m. fl. (2018). *Svergies el- och naturgasmarknad 2018*. Eskilstuna: Energi-marknadsinspektionen. (Rapport Ei R2019:02).
- Nationalencyklopedin (2020a). *Elmarknad*. URL: <http://www.ne.se.ludwig.lub.lu.se/uppslagsverk/encyklopedi/läng/elmarknad> (hämtad 2020-02-03).
- Nationalencyklopedin (2020b). *Hetvattentral*. URL: <http://www.ne.se.ludwig.lub.lu.se/uppslagsverk/encyklopedi/läng/hetvattentral> (hämtad 2020-04-13).
- Nationalencyklopedin (2020c). *Kraftvärmeverk*. URL: <http://www.ne.se.ludwig.lub.lu.se/uppslagsverk/encyklopedi/läng/kraftvärmeverk> (hämtad 2020-01-27).
- Nationalencyklopedin (2020d). *Värmeverk*. URL: <http://www.ne.se.ludwig.lub.lu.se/uppslagsverk/encyklopedi/läng/värmeverk> (hämtad 2020-04-13).
- Naturvårdsverket (2018). *Vägledning i Klimatklivet - Beräkna utsläppsminskning*. URL: <https://www.naturvardsverket.se/upload/stod-i-miljoarbetet/bidrag-och-ersattning/bidrag/klimatklivet/berakna-utslappsminskning-vagledning-klimatklivet-2018-09-04.pdf> (hämtad 2020-03-04).
- Palm, J. och Gustafsson, S. (2017). *Hinder och möjligheter för expansion av fjärrkyla*. Stockholm: Energiforsk AB. (Rapport 2017:361).
- Sjödén, J. och Henning, D. (2004). "Calculating the marginal costs of a district-heating utility". I: *Applied Energy* 78 (2004), s.1–18. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0306-2619\(03\)00120-X](https://doi.org/10.1016/S0306-2619(03)00120-X).

- Skatteverket (2020a). *Energiskatter och andra miljörelaterade skatter*. URL: <https://www.skatteverket.se/omoss/varverksamhet/statistikochhistorik/punktskatter/energiskatterochandramiljorelateradeskatter.4.3152d9ac158968eb8fd24b2.html?q=skatter> (hämtad 2020-04-16).
- Skatteverket (2020b). *Skattesatser på bränslen och el från och med den 1 januari 2020*. URL: <https://www.skatteverket.se/foretagochorganisationer/skatter/punktskatter/energiskatter/skattesatserochvaxelkurser.4.77dbcb041438070e0395e96.html> (hämtad 2020-03-10).
- Svenska kraftnät (2019). *En statusuppdatering om läget i kraftsystemet - Systemutvecklingsplan 2020-2029*.
- Svergies Miljömål (2020). *Utsläpp av växthusgaser till år 2045*. URL: <https://www.sverigesmiljomal.se/etappmalen/utslapp-av-vaxthusgaser-till-ar-2045/> (hämtad 2020-08-19).
- Vattenfall AB (2020). *Timpriser på nordiska elbörsen*. URL: <https://www.vattenfall.se/elavtal/elpriser/timpris-pa-elborsen/> (hämtad 2020-08-19).

Kapitel 9

Appendix

9.1 Intervjufrågor

Ställda intervjufrågor till produktionsplanerare:

- Hur skulle ni i dagsläget arbetat med produktionsoptimering om ni inte hade använt optimeringsprogramvaror som EO3?
- Vilka utmaningar och svårigheter upplever ni vid produktionsoptimeringar? På vilket sätt hjälper implementationen av EO3 att möta dessa utmaningar?
- Hur arbetar ni med marginalkostnader i eran produktion?
- Hur jobbar ni med utsläppsberäkningar i eran verksamhet?
- Hur jobbar ni med ekonomisk uppföljning? Använder ni ECO-optimeringen i EO3, eller använder ni andra metoder?
- Har ni någon gång undersökt vilka ekonomiska och miljömässiga vinster som erhållits genom användningen av EO3 för era produktionsoptimeringar? I så fall, har ni kunnat se någon trend?
- Hur tänker ni kring beräkningen av de ekonomiska och miljömässiga vinsterna? Tycker ni att ECO-optimeringen och den ekonomiska uppföljningen fungerar bra för detta ändamål? Eller har ni några idéer kring andra metoder som skulle kunna användas?

9.2 Fallstudie

9.2.1 Ingående data för varje kostnadskategori

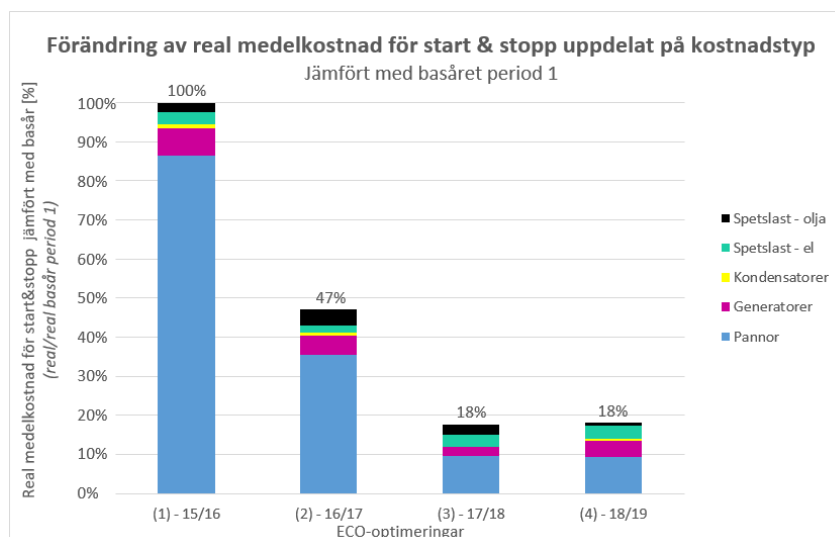
Kostnadsposter i EO3 som ingått i varje kostnadskategori visas i följande figur.

Kostnadsposter i EO3 som ingått i varje kostnadskategori				
Bränslekostnader	Skatte-kostnader	Start- och stoppkostnader	Laständrings-kostnader	Underhålls-kostnader
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bränslestarkostnad ▪ Bränslestoppkostnad ▪ Kostnad för bränsleförbrukning ▪ Extra bränslekostnader ▪ Extra fast bränslekostnad ▪ Extra variabel bränslekostnad 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Skatt på bränsle till fjärrvärme ▪ Skatt på bränsle till el ▪ Skatt och uttagsavgift för inköpt el 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Startkostnad het ▪ Startkostnad kall ▪ Startkostnad varm/standard ▪ Stoppkostnad 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Laständrings-kostnader 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fast underhålls kostnad ▪ Variabel underhålls kostnad

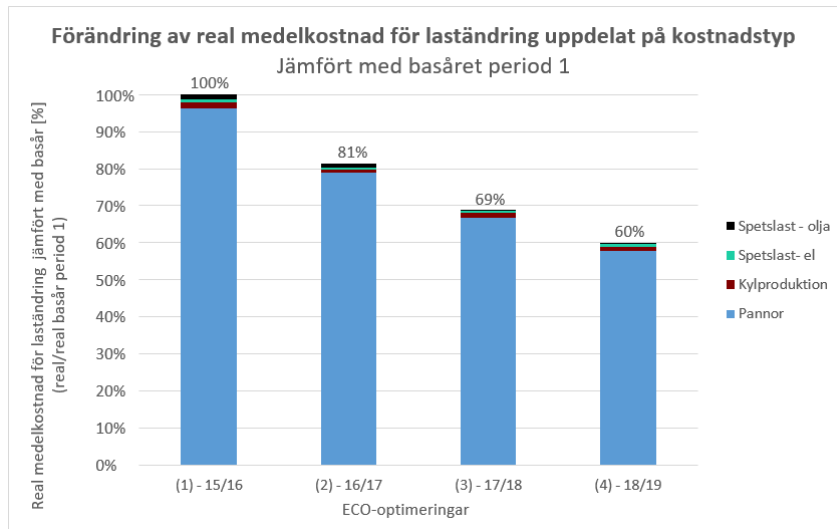
Figur 9.1: Kostnadsposter i EO3 som ingått i varje kostnadskategori

9.2.2 Kostnadstyper för start och stopp, laständring och underhåll

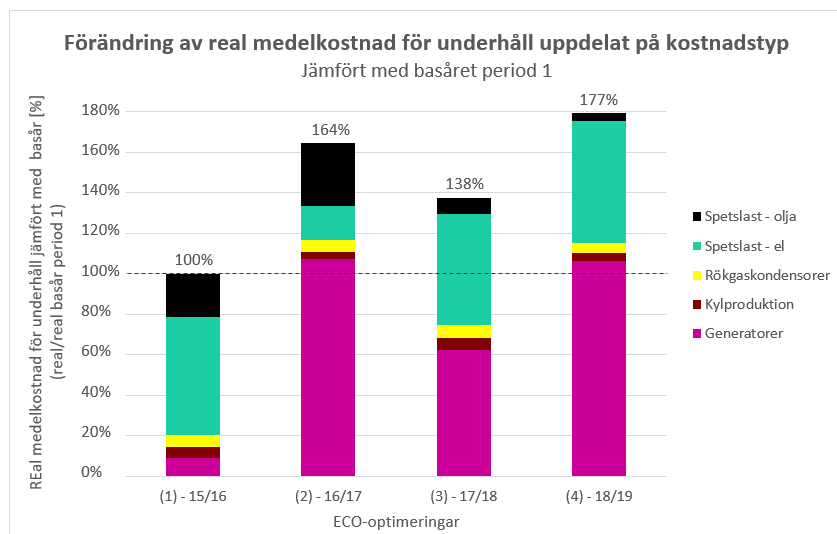
I följande sektion presenteras vilka kostnadstyper som kostnadskategorierna start och stopp, laständring och underhåll har bestått av. Resultatet kan ses i figurerna nedan.



Figur 9.2: Den reala genomsnittliga start- och stoppkostnadens förändring jämfört med basåret uppdelat på olika kostnadstyper. Kostnaden för pannorna dominerar alla perioder, och har kontinuerligt minskat under fyraårsperioden. Kostnaderna för generatorer, kondensatorer, elproducerande spetslast och oljeproducerande spetslast har alla haft varierande storlek under fyraårsperioden.



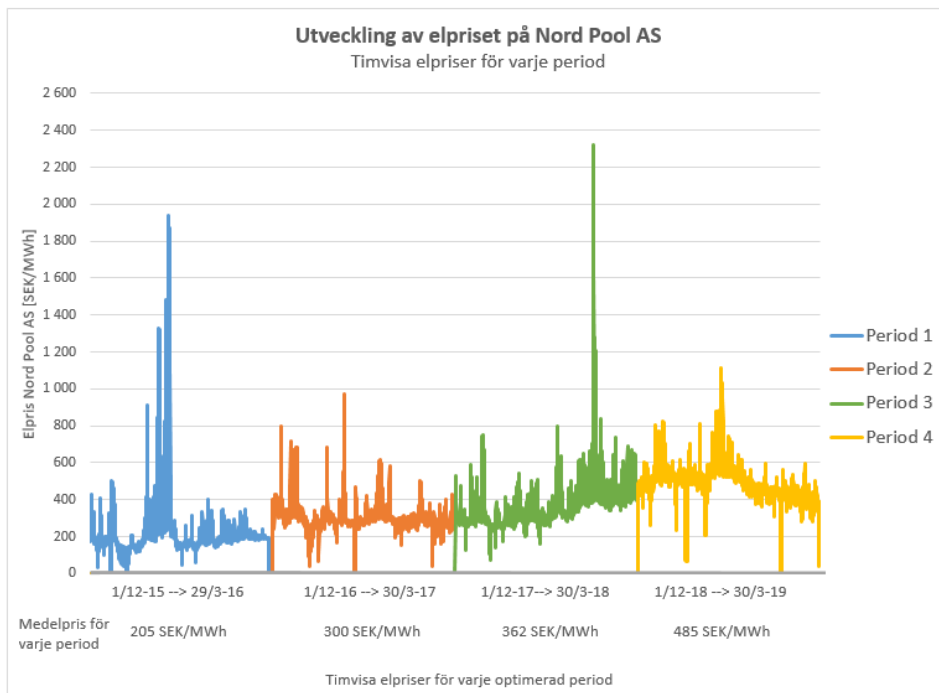
Figur 9.3: Den reala genomsnittliga laständringskostnadens förändring jämfört med basåret uppdelat på olika kostnadstyper. Kostnaden för pannorna dominerar alla perioder, och har kontinuerligt minskat under fyraårsperioden. Övriga kostnader för kylproduktion och spetslast har varit små och legat på liknande nivåer alla perioder.



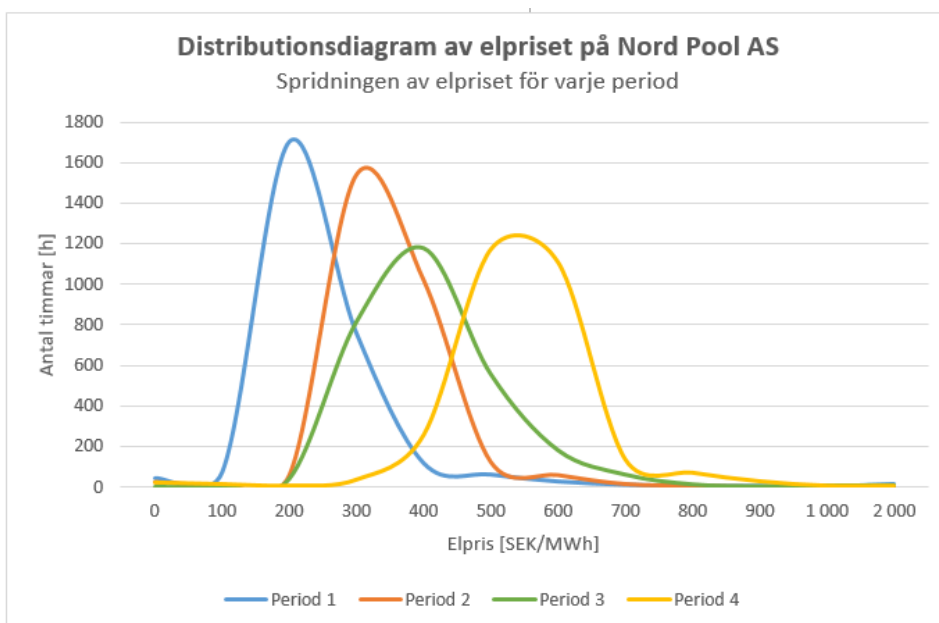
Figur 9.4: Den reala genomsnittliga underhållskostnadens förändring jämfört med basåret uppdelat på olika kostnadstyper. För varje period har antingen kostnaderna för generatorer och elproducerande spetslast varit dominerande, men deras storlek har varit mycket växlande för varje period. Kostnaderna för oljeproducerande spetslast har generellt minskat under perioderna, medan kostnaderna för kylproduktion och rökgaskondensatorerna har legat på liknande nivåer under hela fyraårsperioden.

9.2.3 Utveckling av elpris, utetemperatur och levererad energi

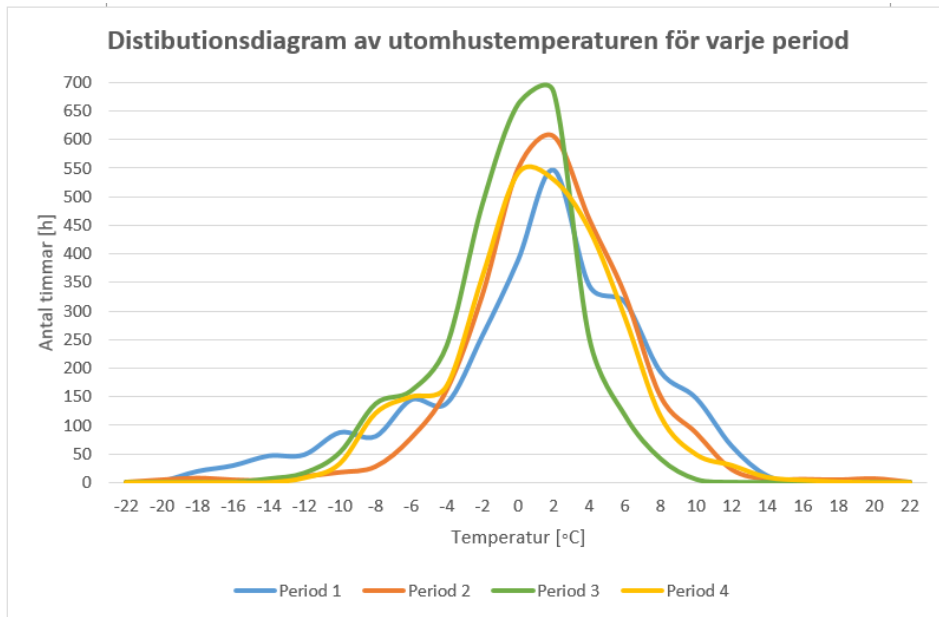
I denna sektion presenteras övrig data kopplat till elpris, utetemperatur och levererad energi vilka kan ses i figurerna nedan.



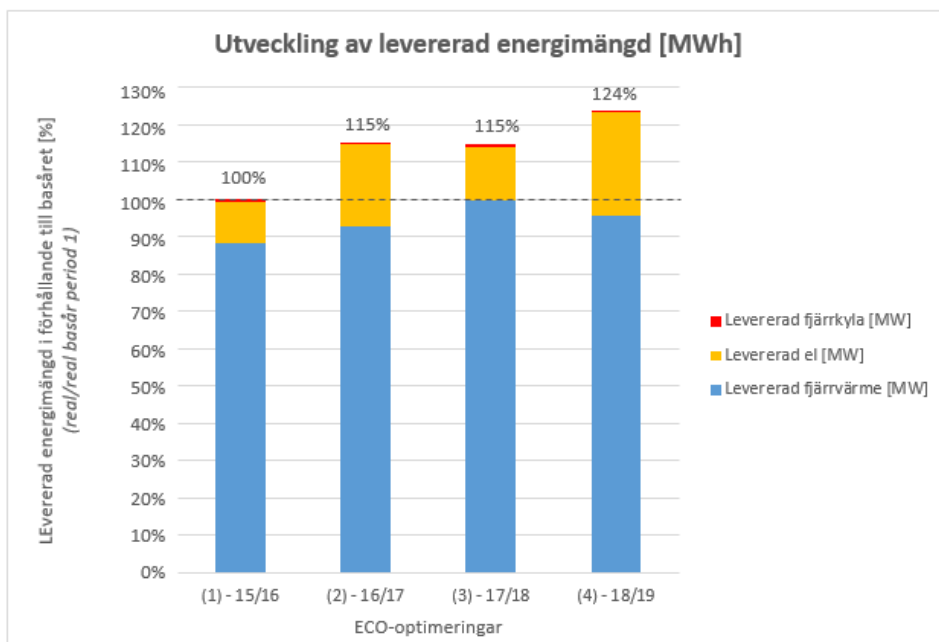
Figur 9.5: Utvecklingen av timvisa elpriser på Nord Pool AS för varje period. Medelpriset för varje period har ökat kontinuerligt och period 4 var elpriset ca 140% högre jämfört med period 1.



Figur 9.6: Distributionsdiagram av timvisa elpriser för varje period. Diagrammet visar hur många timmar under varje period som elpriset var en viss nivå.



Figur 9.7: Distibutionsdiagram av utomhustemperaturen för varje period. Diagrammet visar hur många timmar under varje period som utetemperaturen låg på en viss nivå.



Figur 9.8: Den reala utvecklingen av levererad energi och dess förändring jämfört med basåret, uppdelat på varje levererad energityp.

9.2.4 Perioder där generatorer var otillgängliga

Följande figur visar de tidsintervall där generatorerna för grupp 1, 2, 3 respektive 4 var otillgängliga, samt vilken optimeringsperiod varje otillgänglighet påverkade.

Perioder med otillgängliga generatorer			
Generator	Från	Till	Tillhörande period
Grupp 1	2015-05-15 07:00	2020-01-01 16:00	Alla perioder
Grupp 2	2015-03-24 17:00	2016-02-14 19:00	Period 1
Grupp 3	2014-01-01 14:00	2016-01-27 17:00	Period 1
	2017-01-11 10:00	2017-01-14 13:00	Period 2
	2017-03-23 10:00	2018-05-17 15:00	Period 2, Period 3
Grupp 4	2018-12-18 14:00	2018-12-21 21:00	Period 4
	2018-12-22 15:00	2018-12-22 18:00	Period 4
	2016-03-30 00:00	2016-03-30 12:00	Period 1
	2016-12-01 10:00	2016-12-01 14:00	Period 2
	2016-12-28 11:00	2016-12-28 21:00	Period 2
	2017-12-17 17:00	2017-12-18 15:00	Period 3
	2018-12-12 08:00	2018-12-12 11:00	Period 4
	2018-12-19 09:00	2018-12-19 07:00	Period 4
	2018-12-19 20:00	2018-12-20 09:00	Period 4

Figur 9.9: Figur över de tidsintervall där generatorerna för grupp 1, 2, 3 respektive 4 var otillgängliga, samt vilken optimeringsperiod varje otillgänglighet påverkade.