



Göteborgs universitet

Naturvetenskaplig Problemlösning

29 maj 2001

En studie av alternativ för utveckling mot en hållbar energiförsörjning i Göteborg

Lotta Bengtsson
Robert Hedman
Sofia Thulin

Handledare: Johan Swahn

Abstract

Göteborg has a highly developed network for district heating which is an environmentally preferable heating system. The heat is supplied as waste heat and by combustion of fossil fuels, where the latter causes emissions of CO_2 and therefore increases the greenhouse effect. In order to make the network even more environmentally adapted, a conversion to renewable energy sources could be made. Only about 4,5% of the power consumption in Göteborg is locally supplied, the remainder consists mostly of nuclear power and hydro power. A phasing out of the use of nuclear power will lead to an increased need of self-supported power. The aim of the study is to survey different possibilities for the heat and power supply of Göteborg in the year 2010 from an environmental sustainable perspective and create two scenarios. An analysis of the energy needs in Göteborg in the year 2010 was done and fuels and energy technologies were then studied where sustainability, costs and energy conversion efficiencies were considered. The sustainability dealt with environmental effects and was defined by three criteria. Biofuels, that are either burned directly in a combined power and heating plant or first gasified to let the produced gases be burned in a combined power and heating plant with a combined-cycle generation, is together with wind power the energy sources that best comply with our criteria. The first scenario covers the additional need of district heating, which is 650 GWh_{th} , by constructing a combined power and heating plant. In the second scenario Göteborg is independent of nuclear power. To replace the power loss of $1\,600 \text{ GWh}_e$ we suggest a construction of a combined power and heating plant together with an expanded wind power in a first step. When the gasification technique is better developed a completion of the energy supply could be made by constructing a combined power and heating plant with a combined-cycle generation. From these scenarios we can see that it is possible to supply Göteborg with energy from an environmental sustainable perspective.

Sammanfattning

Göteborg har ett väl utbyggt fjärrvärmenät som är ett miljömässigt bra uppvärmningssystem. Värmetillförseln kommer från spillvärme och förbränning av fossila bränslen, där det senare orsakar utsäpp av CO₂ och därmed leder till en ökad växthuseffekt. För att förbättra fjärrvärmenätet ur ett miljömässigt perspektiv kan en konvertering till förnybara bränslen genomföras. Endast omkring 4,5% av elförbrukningen i Göteborg tillförs lokalt, resten utgörs av kärnkraft och vattenkraft, men en avveckling av kärnkraften kommer att leda till ett ökat behov av egenproducerad el. Avsikten är att studien skall ge en översikt över olika möjligheter att försörja Göteborg med el och värme år 2010 ur ett miljömässigt hållbart perspektiv och leda fram till två scenarier. En behovsanalys av Göteborgs energiförsörjning år 2010 gjordes och bränslen och energitekniker studerades sedan utifrån hållbarhet, kostnader och energiutbyte, där hållbarheten behandlade miljöpåverkan och definierades med hjälp av tre kriterier. Biobränslen som antingen förbränns i ett kraftvärmeverk eller förgasas för att användas i ett kombikraftvärmeverk är tillsammans med vindkraft de energikällor som bäst uppfyller våra kriterier. Det första scenariot täcker det ökade behovet av fjärrvärme på 650 GWh genom ett kraftvärmeverk. Det andra scenariot gör Göteborg oberoende av kärnkraft. För att ersätta den elen som är 1 600 GWh föreslår vi i ett första steg ett kraftvärmeverk tillsammans med utökad vindkraft och i ett andra steg ett kombikraftvärmeverk. Det är alltså möjligt att försörja Göteborg med energi ur ett miljömässigt hållbarhetsperspektiv.

Förord

Föreliggande rapport är en del av examinationen av ett 10-poängsprojekt på programmet för Naturvetenskaplig problemlösning, fjärde terminen, kursen FIN800. Då studien specifikt berör Göteborg och de förhållanden som råder här är målgruppen mestadels göteborgare. Därför har vi valt att skriva på svenska.

Största delen av rapporten har producerats genom att vi suttit tillsammans och diskuterat, men en viss uppdelning vad gäller sammanställande av bakgrundsfakta har gjorts. Sofia har förutom faktainsamlingar kring avfallsförbränning och biogas varit den som sett till att hålla tempot uppe i gruppen. Lotta har ansvarat för biobränslen och behovsanalys och varit vår mest konstruktiva kritiker. Robert har fördjupat sig i vindkraft och energieffektivisering samt varit projektets teknikkonsult.

Vi vill rikta ett stort tack till vår eminente handledare Johan Swahn som ställt upp och hjälpt oss med avgränsningar, kluriga frågeställningar och allt annat genom hela projektet. Dessutom har följande personer varit till stor hjälp för att ge oss ett så brett och objektivt synsätt som möjligt: Sebastian Bäckström - CTH Transportteknik, Tomas Kåberger - Ecotraffic, Ola Nordgren, Bengt Yngve och Lars Holmqvist, samtliga Göteborg Energi.

För frågor och kommentarer kan vi nås på följande epost-adresser:

Lotta Bengtsson, md9benlo@mdstud.chalmers.se

Robert Hedman, md9hedro@mdstud.chalmers.se

Sofia Thulin, np00soth@dd.chalmers.se

Innehåll

1 Inledning	3
2 Göteborgs energiförsörjning idag	3
3 Planer för framtida energiförsörjning i Göteborg	4
3.1 Naturgaskombikraftvärmeverk i Rya	4
3.2 Vindkraftparker	4
3.3 Sävenäs avfallskraftvärmeverk	4
4 Behovsanalys	5
4.1 Fjärrvärmebehov år 2010	5
4.2 Elbehov år 2010	5
5 Kriterier för hållbar energiförsörjning	6
6 Ett urval energiförsörjningsmetoder	6
6.1 Tekniker	6
6.2 Bränslen	7
7 Analys av olika anläggningar	9
8 Scenarier	10
9 Diskussion	11

1 Inledning

Det mänskliga samhällets energibehov tillgodoses idag i mycket hög grad av fossila bränslen som vid förbränning bland annat avger koldioxid. En ökad halt av koldioxid i atmosfären är den huvudsakliga orsaken till förstärkt växthuseffekt. Forskarvärlden är enig om detta och så gott som enig om att det påverkar klimatet. Samtidigt diskuteras möjliga lösningar intensivt. En av dessa lösningar bygger på en energiförsörjning baserad på förnybara energikällor och teknik som redan idag i många fall finns tillgänglig. Därför är det nu i första hand upp till våra makthavare att fatta de beslut som leder oss in i en hållbar framtid.

Sedan 50-talet har Göteborgs kommun byggt ut ett stort system för fjärrvärme. Idag finns ett visst behov av modernisering och eventuellt en utbyggnad av tillförseln till fjärrvärmenätet. Det medför i så fall ett behov av att bygga en eller flera nya anläggningar för fjärrvärmeproduktion. På det kommunala bolaget Göteborg Energi AB finns långt gångna planer på att bygga ett naturgaseldat kombikraftvärmeverk. Anläggningen motiveras med att man från företagens sida vill vara förberedd på ett ökat fjärrvärmebehov samt att elproduktionen skulle fylla ett behov på den nordeuropeiska elmarknaden. Den skulle konkurrera ut främst kolkondenskraft och vara ett bra alternativ genom de renare utsläppen och det betydligt bättre resursutnyttjande som kraftvärmeproduktion innebär. Vi har valt att inte utgå från Göteborg Energis utgångspunkter utan vi baserar vår studie på att energitillförsel skall vara behovsanpassad och att elproduktion trots den avreglerade nordeuropeiska elmarknaden bör ses ur ett lokalt perspektiv. Med det menar vi att om kärnkraften skall kunna avvecklas som tänkt måste någonstans initiativ tas för att producera ersättningselen. Eftersom all energiförsörjning innebär miljökonsekvenser bör den produktionen ske lokalt för att i högre grad göras uppenbar för konsumenterna. Det finns svårigheter med att diskutera elsystemet utifrån ett lokalt perspektiv eftersom elmarknaden inte är bunden till kommunen. Vår definition av lokal elproduktion är sådan som sker inom kommunens gränser samt berör göteborgarna genom det kommunalägda Göteborg Energi.

Projektet Göteborg 2050 har gett oss i uppdrag att sammanställa och värdera olika alternativ för utveckling mot en hållbar energiförsörjning i Göteborg. Läs mer om Göteborg 2050 på www.goteborg2050.nu. Uppdraget har resulterat i denna studie som behandlar metoder för att tillföra den el och fjärrvärme som behövs för att täcka Göteborgs framtida energibehov och leder fram till två scenarier. Dessa skiljer sig fundamentalt åt i frågan om vilka behov som ska täckas. Det ena scenariet täcker det förväntade fjärrvärmebehovet. Det andra har som utgångspunkt att Göteborg redan år 2010 skall vara oberoende av kärnkraft. Det innebär att närmare hälften av Göteborgs eltillförsel måste ersättas, helst med lokal elproduktion. Tidsperspektivet sträcker sig fram till år 2010.

I studien analyseras Göteborgs el- och värmebehov år 2010 och tre kriterier för en miljömässigt hållbar energiförsörjning definieras. Kriterierna mognade fram efter diskussioner med personer som besitter stor kunskap inom ämnet. En översikt av bränslen och energitekniker sammanställs med avseende på hållbarhet, kostnad och energiutbyte. Slutligen sammanfogas behov och kriterier med tekniker och bränslen.

Rapporten inleds med en sammanfattning av energiförsörjningen i Göteborg idag följt av en kort beskrivning av de planer som finns för en framtida energiförsörjning i Göteborg. Sedan följer behovsanalysen och därefter presenteras våra kriterier för en hållbar energiförsörjning. En översikt ges av ett antal utvalda energiförsörjningsalternativ. Därefter diskuteras hur alternativen matchar behov och kriterier, vilket leder fram till två scenarier med en efterföljande diskussion.

2 Göteborgs energiförsörjning idag

Göteborgs fjärrvärmenät täcker större delen av kommunens yta och Göteborg Energi levererar omkring 3 500 GWh_{th}/år [1]. En tredjedel av energin i fjärrvärmenätet utgörs av spillvärme från Shells och Preems raffinaderier och en fjärdedel kommer från Renovas avfallsförbränningsanläggning vid Sävenäs. Därutöver finns värmepumpar som tar tillvara värmen ur avloppsvattnet vid stadens avloppsreningsverk. Dessa anläggningar utgör baslasten i Göteborgs fjärrvärmeförsörjning.

Fjärrvärmebehovet är som störst den kallare delen av året, övrig tid klarar ovanstående anläggningar att täcka behoven. Göteborg Energi har som komplement Rosenlundsverket och Sävenäsverket för kraftvärme- respektive värmeproduktion. Rosenlundsverket har två ångpannor och fem hetvattenpannor som eldas främst med naturgas, men även med en del olja. Av Sävenäsverkets fyra hetvattenpannor eldas tre med naturgas och en med biobränslet tallbecksolja. Rosenlundsverket svarade år 2000 för 287 GWh_{th}

samt 77 GWh_e och Sävenäverket bidrog med 292 GWh_{th}, där 89 GWh_{th} kom från tallbecksolja [2]. Dessutom driver Göteborg Energi ett antal mindre kraftvärme- och värmeanläggningar som år 1998 bidrog med 273 GWh_{th} respektive 22,5 GWh_e. Dessa utgör topplast och reservkapacitet vid driftstörningar och eldas huvudsakligen med naturgas, men även med kol, olja och biobränsle. Merparten av dessa anläggningar används endast under mycket kalla vinterdagar. Att naturgas är det dominerande bränslet kan delvis förklaras med den naturgasledning från Danmark som färdigställdes 1988.

Förluster vid omvandling och distribution uppgår enligt Lars Holmquist på Göteborg Energi till cirka 10% av den totala fjärrvärmeförseln. Förlusterna sker både i själva ledningsnätet och i värmväxlarna i fastigheterna och är procentuellt större under sommarhalvåret än vinterhalvåret enligt Peter Karlsson på Göteborg Energi.

Elförbrukningen i Göteborg är ungefär 4 300 GWh/år och år 2000 var den lokala produktionen 193 GWh, eller 4,5%. Av detta var 9 GWh vindkraft och resten el från kraftvärmeproduktion, varav 10 GWh från biogas, 91 GWh från naturgas samt 83 GWh från avfallsförbränning [1][3][4]. Den svenska elförsörjningen fördelades år 2000 på 51% vattenkraft, 37% kärnkraft och 12% importerad el. Den andel som inte är lokalproducerad, det vill säga drygt 4 100 GWh_e, antas följa samma mönster [5].

3 Planer för framtida energiförsörjning i Göteborg

För närvarande planeras fyra större projekt kopplade till Göteborgs framtida energiförsörjning. Projekten är mer eller mindre långt komna och osäkerheten kring deras genomförande är fortfarande stor.

3.1 Naturgaskombikraftvärmeverk i Rya

Göteborg Energi har sedan slutet av 1980-talet planerat för ett naturgaseldat kraftvärmeverk med kombinerad gas- och ångturbincykel, ett så kallat kombikraftvärmeverk. Tänkt placering är en del av området mellan Rya skog, Älvsborgsbron och Göta Älv. Den tillförda bränsleeffekten avses bli 600 MW med en uteffekt på 270–300 MW_e och 230–250 MW_{th}, vilket innebär en totalverkningsgrad på 83–92% [6]. Kombicykeln ger ett högt α -värde (kvoten mellan el- och värmeproduktion). I det här fallet ligger α -värdet mellan 1,08 och 1,30, vilket kan jämföras med en modern ångpannecykel där α -värdet ligger kring 0,5.

Naturgaskombin är tänkt att ersätta en del äldre värme- och kraftvärmeanläggningar, värmepumpar och en eventuell nedläggning av raffinaderiverksamhet. Den skulle även täcka förväntade behov av fjärrvärme vid utbyggnaden av fjärrvärmenätet [7]. Den årliga drifttiden beräknas till 5 000–5 500 timmar, vilket skulle ge en årsproduktion på 1 150–1 375 GWh_{th} och 1 350–1 650 GWh_e [6].

3.2 Vindkraftparker

I dagsläget projekteras två större havsbaserade vindkraftparker som berör vår studie. Det ena projektet drivs av Bohus Energi AB och består av 22 stycken 2 MW vindkraftverk placerade i Hakefjorden i Göteborgs hamninlopp. Vindkraftparken väntas få en årlig produktion om 100 GWh_e [8]. Vidare bedriver Göteborg Energi en förstudie som består av ett fyrtiotal vindkraftverk om 2,5–3,5 MW med en årsproduktion på 400–500 GWh_e. Parken skall placeras sydväst om Fladen [9].

3.3 Sävenäs avfallskraftvärmeverk

Det kommunala renhållningsbolaget Renova driver Sävenäs avfallsförbränningsanläggning som har tillstånd att bränna 400 000 ton avfall/år. År 2000 levererades 83 GWh_e och 973 GWh_{th} [3][4]. Trots förbättrad källsortering ökade avfallsmängderna till Renova förra året med 7,6% jämfört med året innan, vilket delvis förklaras med högkonjunktens produktions- och konsumtionsökning. Studier visar på en konstant ökning även över en längre tid och då räcker inte Sävenäsanläggningen till. Det betyder att det extra avfallet måste behandlas på annat vis eller att en utbyggnad/nybyggnad av sopförbränningsanläggningar måste göras. Renova har till Miljödomstolen ansökt om en ändring av det nu gällande tillståndet. Förslaget går ut på att öka förbränningen till 460 000 ton avfall/år från och med år 2002. Renova planerar även för en ny ugn som skulle möjliggöra en ökning från 460 000 ton/år till 550 000 ton avfall/år från och med år 2005 [3][10].

4 Behovsanalys

Då studien strävar efter att ge en bild av hur Göteborgs energisystem kan utvecklas på bästa sätt ur ett långsiktigt hållbarhetsperspektiv är det ur resursbesparingssynpunkt viktigt att all nybyggnation skall vara behovsrelaterad. Av denna anledning studeras de behov som finns innan vi ger oss i kast med metoderna för energiförsörjning.

En fjärrvärmeproduktion som överstiger behoven kan kallas överetablering och bör undvikas. Elproduktion som överstiger behoven lokalt är inte en överetablering på samma sätt, eftersom elen säljs på den nordeuropeiska marknaden. Här handlar det istället om en total överetablering, vilket avspeglar sig i de låga elpriserna i hela Europa.

4.1 Fjärrvärmebehov år 2010

För att kunna bedöma vilka behov fjärrvärmerna har av utbyggnad fram till år 2010, måste en uppskattning av uppvärmningsbehoven göras. Göteborg Energi erbjuder de närmaste åren 16 000 villor i Göteborg och Partille att ansluta sig till fjärrvärmenätet. Vid utgången av år 2000 var 1 500 av dessa redan anslutna [1]. Om de resterande 14 500 ansluter sig och varje villa behöver 16 MWh fjärrvärme/år kommer användningen att öka med 230 GWh_{th}.

Cirka 90% av Göteborgs flerfamiljshus är redan anslutna till fjärrvärmenätet [1]. Därför finns inga större utbyggnadsbehov för befintliga flerfamiljsfastigheter. 1998 förbrukade ungefär 167 000 lägenheter [11] 2 200 GWh_{th} [12], vilket ger cirka 13 MWh_{th}/lägenhet. När det gäller nybyggnation räknar Göteborgs stadsbyggnadskontor i Översiktsplan -99 med en framtida årlig utbyggnad av uppemot 1 500 nya lägenheter/år. Eftersom nybyggda lägenheter är mer energieffektiva är deras fjärrvärmebehov lägre och kan enligt Hans Eek på Göteborg Energi antas vara 8,5 MWh_{th}/lägenhet. Fram till år 2010 behövs då en utökad tillförsel på 115 GWh_{th} till flerfamiljsfastigheter.

Förlusterna vid distribution och omvandling till lägenheterna och villorna antas vara 10%, eller 38 GWh_{th}.

För att få en hållbar energiförsörjning behöver vi förutom att se på tillförseln även effektivisera användandet av energi. Bättre isolering, högre energimedvetande och tekniska lösningar för effektivare reglering av uppvärmning innebär besparingar i fjärrvärmeförsömlen. En sänkning av medeltemperaturen i alla befintliga lägenheter med 1° C från dagens dryga 22° C skulle hos det kommunala Bostadsbolaget ge en besparing på 6% av energibehovet [13]. HSB har precis påbörjat ett projekt tillsammans med Göteborg Energi, där HSB:s fjärrvärmecentraler i flerfamiljsfastigheterna datoriseras för att noggrannare kunna bevakas och styras från en central via Internet. Den här insatsen väntas minska energibehovet för uppvärmning med 5-10% [14]. Skulle dessa åtgärder genomföras och få full utdelning i hela Göteborg uppskattas att fjärrvärmebehovet för lägenheter minska med 10%, eller 220 GWh_{th}. På grund av osäkerhet kring vad som kommer att göras och vilka styrmedel som kommer att hjälpa utvecklingen framåt är det mycket svårt att göra en korrekt bedömning av den egentliga storleken på besparingarna.

Av de produktionsanläggningar som finns idag är Rosenlundverket den anläggning som på grund av dess ålder, centrala läge och de bränslen som används är närmast nedläggning. Dessutom är fem av sju pannor enbart byggda för värmeproduktion. Genomförs nedläggningen blir ersättningsbehovet 287 GWh_{th}. Om Sävenäsverkets tre naturgaspannor ersätts, medför det ett ersättningsbehov på 203 GWh_{th}. Ersättningen av pannorna i Sävenäs motiveras av bränslevallet samt att de inte producerar någon el.

Vi antar att utbyggnaden av fjärrvärmenätet till villor och nya lägenheter går som planerat. Med en energieffektivisering på 10% av den nuvarande fjärrvärmeanvändningen och om förnyelsen av gamla anläggningar genomförs blir det totala tilläggsbehovet till fjärrvärmenätet 653 GWh_{th}.

4.2 Elbehov år 2010

Utvecklingen av elsystemet går dels mot en regionalisering, dels mot en ökad lokal tillförsel. Regionaliseringen innebär en utbyggnad av det internationella elnätet för att ge en flexibel tillförsel över stora regioner. Om kärnkraften skall kunna avvecklas måste initiativ tas någonstans för att producera ersättningselen. I Sverige kommer kärnkraftsavvecklingen troligen leda till många mindre kraftproducerande anläggningar utspridda över hela landet. En följd av detta är att varje mindre region i större omfattning ansvarar för sin egen elförsörjning och de konsekvenser elproduktion kan leda till: vindkraft med sina

visuella ingrepp i landskapet, förbränning av naturgas som med sin klimatpåverkan kan förändra livssituationen för miljontals människor, ovarsamt skogsbruk som både drabbar den biologiska mångfalden och de människor som valt att bosätta sig nära naturen. En annan följd är att sårbarheten i systemet minskas.

Av Göteborgs elförbrukning på 4 300 GWh/år är 193 GWh egenproducerad el. Stängningen av Roslundverket skulle minska den egenproducerade elen med 77 GWh. Antaganden om fördelningen av allokerad eltilförsel år 2010 är på grund av dynamiken i Europas energisystem svåra att göra inom ramen för denna studie. Därför grundas antaganden enbart på fördelningen för år 2000. Det innebär 51% vattenkraft, 37% kärnkraft och 12% import.

Samhällets elanvändning ökar stadigt, men förutsatt att effektiviseringar genomförs, eluppvärmda villor ansluts till fjärrvärmenätet och ett högre energimedvetande leder till mindre slöseri, antar vi att elanvändandet bevaras konstant. Om så sker behövs för att Göteborg år 2010 ska vara oberoende av kärnkraft en lokal elproduktion på 1 600 GWh.

5 Kriterier för hållbar energiförsörjning

Studiens mål är att ta fram scenarier för en framtida hållbar energiförsörjning för Göteborg. För de energiförsörjningsmetoder som bäst uppfyller kriterierna redovisas även prisbild och energiutbyte. Men vad är egentligen en hållbar energiförsörjning? Svaret varierar beroende på vem som tillfrågas. Efter diskussioner och litteraturstudier fastställdes tre grundläggande kriterier.

Förnybara bränslen Ett hållbart energisystem innebär i första hand att systemet inte baseras på uttag och förbrukning av ändliga resurser.

Koldioxidfritt För att undvika ytterligare förstärkt växthuseffekt tillåts inga nettoutsläpp av CO₂ och andra växthusgaser vid själva energiomvandlingen. Utvinning av energiråvara och transporter skall ge så låga utsläpp som möjligt.

Minimal miljöpåverkan Övriga utsläpp skall vara så låga som möjligt och uttag av råvara skall vara skonsam för naturen. Dessutom skall verksamheten inte påverka människors hälsa och välbefinnande negativt.

Vi inser att det i dagsläget är svårt att fullt ut uppfylla samtliga kriterier, men på sikt bör detta vara de mål som skall eftersträvas.

6 Ett urval energiförsörjningsmetoder

Under 1990-talet har det rört sig ordentligt inom den svenska energisektorn. Från att ha haft ett system av storskaligt producerad elkraft, till stor del tillförd från icke-förnybara bränslen, har viljan att förbättra energisystemet och kraven på något nytt, baserat på förnybarhet börjat ge resultat.

I det här kapitlet presenteras försörjningsmetoder uppdelat på tekniker och bränslen.

6.1 Tekniker

I ett framtida Sverige där kärnkraften fasats ut och koldioxidproblematiken tas på allvar, kommer intresset för tekniker för enbart värme- eller elproduktion att minska. För bästa resursutnyttjande bör all storskalig förbränning nyttjas för samproduktion av värme och el, varför denna studie exempelvis inte behandlar kondenskraft och värmeverk.

Idag är lönsamheten för att bygga anläggningar för kraftproduktion dålig på grund av de låga elpriserna. De möjligheter som ändå anses ekonomiskt realistiska är naturgaskraftvärmeverk och tack vare subventioner biobränslekraftvärmeverk. Att en naturgaskombi är intressant för Göteborg Energi beror bland annat på bränsletillgången och en relativt låg bränslekostnad. Dessutom är tekniken effektiv med hög verkningsgrad och ett högt α -värde. Alla antaganden om drifttid för kraftvärmeanläggningar baseras på den av Göteborg Energi beräknade drifttiden för Rya naturgaskombi, som är 5 500 h/år.

Kraftvärme innebär samproduktion av el och värme. Städer i Sverige generellt och kanske särskilt Göteborg har ett väl utbyggt fjärrvärmenät. Men på grund av svensk energipolitik under 70- och 80-talen, har fjärrvärmens produktionsanläggningar sällan tidigare utnyttjats för kombinerad el- och värmeproduktion. Det har lett till ett onödigt lågt energiutbyte ur de bränslen som använts. I kraftvärmeverk eldas bränsle i en panna och de heta förbränningsgaserna värmer vatten till ånga som under högt tryck pressas genom en turbin. Turbinen driver en generator som genererar el. Den heta ångan kondenseras och genom värmeväxling tillförs värmeenergin fjärrvärmenätet. Ett kraftvärmeverk kan eldas med till exempel biobränslen eller brännbart avfall. Det är rimligt att räkna med en verkningsgrad på 90% samt ett α -värde på 0,6. Kondensering av rökgaserna kan ge ytterligare fjärrvärme. Totalverkningsgraden blir då 110%, men eftersom rökgaskondensering är en elkrävande process minskar den el som kan levereras till nätet. Investeringskostnaden för ett kraftvärmeverk ligger i dagsläget på omkring 10 000 kr/kW [15].

Kombikraftvärme är den termiska process för kraftvärmeproduktion som har högst elverkningsgrad idag. Ett kombikraftvärmeverk producerar el genom att bränsle i gasform förbränns i en gasturbin som driver en generator. De heta förbränningsgaserna värmer vatten till ånga under högt tryck. Ångorna körs genom en ångturbin, som även den driver en generator. Ångan kondenseras därefter varvid energi överförs till kylvattnet. Värme kan även utvinnas genom kondensering av de heta rökgaserna från förbränningen. Förgasade biobränslen, förgasat avfall, biogas och naturgas är exempel på möjliga bränslen. Drifttid och verkningsgrad antas vara samma som för ett kraftvärmeverk, men α -värdet är ungefär 1,2. För förgasade biobränslen och avfall blir α -värdet något lägre eftersom själva förgasningen är en energikrävande process. Vi räknar här med $\alpha=1$ [16].

Förgasning är ingen förbränningsteknik utan en teknik för omvandling av fasta bränslen till gasformiga bränslen. Gasen eldas i ett kraft- eller kombikraftvärmeverk. I förgasningen omvandlas det fasta bränslet till en brännbar gas, syntesgas, som har ett värmevärde på 1,5 kWh/m³. Gasen renas och trycksätts innan den förs in till förbränningen. Förgasningen kan göras i några olika typer av anläggningar, där fluidiserande bädd har de flesta fördelarna och därför är den vanligaste metoden. Biobränsle och brännbart avfall är exempel på bränslen som kan förgasas [17].

Fram till för några år sedan var ångpanna den enda tekniken för förbränning av biobränslen. Högsta elverkningsgrad i en sådan biobränsleeldad förbränningsanläggning är 25% baserat på effektivt värmevärde. Den låga effektiviteten beror främst på att anläggningarna är små. Eftersom gasturbiner och kombikraftvärmeverk ger högre effektivitet vill man kunna använda biobränslen även för sådan teknik. Förgasningsanläggningar har fördelen att elverkningsgraden är högre. Där kombicykel används kan verkningsgrader över 50% nås på sikt. Investeringskostnaderna för en kombikraftvärmeanläggning med tillhörande förgasning väntas när tekniken är etablerad enligt Lars Waldheim på TPS Termiska processer vara 10 000–20 000 kr/kW [18].

Vindkraft har genom en allt snabbare teknikutveckling och sjunkande kostnader burits fram mot att bli en betydande energikälla. Utvecklingen har bland annat lett till förbättrade förutsättningar att placera vindkraftverken till havs. Genom att en mängd vindkraftverk placeras i grupper till havs istället för enstaka eller små grupper på land vinner man flera fördelar. Det blåser mer och jämnare till havs vilket ger en högre, jämnare produktion och minskat slitage. Inom en snar framtid kommer vindkraftverken, som är 80 m eller högre, att bli svåra att transportera och bygga på land. Detta blir betydligt enklare till havs. Då det är svårt att hitta lämplig mark att bygga vindkraft på är en annan fördel att intressekonflikterna till havs är färre.

Trots att vindkraften är en förnybar, bränslefri och därmed utsläppsfri energiteknik medför den en viss miljöpåverkan som skiljer sig från miljökonsekvenserna från dagens traditionella kraftproduktion. Det rör sig huvudsakligen om visuell påverkan av landskapsbilden samt eventuell miljöpåverkan på de grundvattenbankar där placeringen är möjlig [8].

6.2 Bränslen

De förbränningstekniker som nu studerats kan anpassas för en mängd olika bränslen. Vi har studerat några aktuella fasta och gasformiga bränslen. En anläggning tänkt för ett specifikt fast bränsle kan

konverteras för förbränning av andra fasta bränslen. Detsamma gäller gasformiga bränslen. Vid planering av nya anläggningar är det därför av vikt att betänka möjliga konverteringsalternativ.

Biobränslen omfattar många olika kategorier biologiskt material, där vårt fokus ligger på trädbränslen från den svenska skogen. De är förnybara bränslen under förutsättning att skogsbruket bedrivs i former som ger en långsiktigt uthållig virkesproduktion. Möjligheterna och behovet att återföra askan från biobränsleledning gör att avfallsmängderna kan minimeras och kretslopp av näringsämnen slutas. Dessutom motverkar askåterföringen den försurande effekt som ett ökat uttag av helträd leder till. Förbränning av biobränslen ger inget nettotillskott av koldioxid till atmosfären. Vid biobränsleuttag i form av avverkningsrester försvinner det organiska materialet i resterna istället för att tillföras skogsmarken. Skillnaden i mängden organiskt material i en jord där avverkningsrester legat kvar kontra plockats bort har dock visat sig vara relativt små och till största delen övergående. Vid produktion och transport är koldioxidemissionerna endast 5% av energiinnehållet i bränslet. Förbränning av biobränslen med modern teknik ger låga nettoutsläpp av koldioxid och andra växthusgaser till atmosfären, samt generellt mycket låga utsläpp av försurande kväveoxider och svaveldioxid samt kolväten. Naturvårdsanpassning av det ordinarie skogsbruket, genom exempelvis FSC-certifiering, är en viktig åtgärd för att bevara den biologiska mångfalden i skogen [19].

Ett av de större problemen med att basera energisystemet på biobränslen är de begränsade landresurser som finns att tillgå. Redan idag får den biologiska mångfalden stryka på foten för mänsklighetens framfart. Vidare bidrar mat- och energiförsörjningsproblematiken till att det finns en stor risk för konkurrens om marktytor.

Det effektiva värmevärdet i biobränslen beror på fukttinnehållet. GROT med effektivt värmevärde 2,60 MWh/ton är ett exempel på ett biobränsle med hög fukthalt. Torrflis däremot har lägre fukthalt och ett effektivt värmevärde på 4,60 MWh/ton. Priset på svenskt biobränsle varierar omkring 10 öre/kWh [20].

Brännbart avfall är en mix av förnybart och icke förnybart material, där det senare till stor del består av oljebaserade produkter. Idag är sorteringen inte tillräcklig för att kunna skilja de olika fraktionerna från varandra, vilket gör att förbränning leder till nettoutsläpp av koldioxid. Avfall kan hanteras på olika sätt. Det kan dels deponeras för att undvika de gifter som bildas vid förbränning, dels förbrännas för att minska deponimängderna och det kan även sorteras noggrannare för att ta till vara på allt återvinningsbart material och använda resten för energiåtervinning.

Vid förbränning bildas miljöfarliga ämnen via rökgaser och askor. Rökgaserna som bildas renas, men antalet ämnen som kontrolleras är starkt begränsade eftersom de utsläppsdirektiv som finns saknar krav på många ämnen. Bottenaska som blir kvar när avfallet har bränts utgör 30% av den massa som matas in i ugnarna. Den sorteras för att få ut slaggrus som kan användas som fyllnadsmaterial vid till exempel vägbyggen. Utsläppsdirektiv saknas för aska och slagg [21]. Flygaska, slam och övriga restprodukter från reningsprocessen blandas till en stabil restprodukt som läggs på deponi. Restprodukten innehåller miljöfarliga ämnen vars miljöpåverkan inte är fullt utredda [22][23].

Biogas bildas vid anaerob nedbrytning av biologiskt material och kan därmed betraktas som ett förnybart bränsle. Idag sker utvinningen främst ur deponier (deponigas) och slam från avloppsreningsverk (rötgas). Rötning av organiskt material från hushåll, industri, handel och jordbruk samt odling av vallgrödor som rötas är andra alternativ. Då det organiska materialet rötas erhålls förutom biogas även en rötrest som kan användas som jordförbättringsmedel och återför därmed gödningsämnen till jordbruket. Rötresten innehåller dock i många fall tungmetaller varför den ännu inte används i det syftet.

Gasen är ett högvärdigt och rent bränsle med små emissioner. Huvudbeståndsdelarna i gasen är växthusgaserna metan och koldioxid, men eftersom biogasens ursprung är biologiskt är det endast oförbränd metan som bidrar till växthuseffekten. Förbränningen ger också upphov till små emissioner av svavel- och kväveoxider. Deponigas innehåller dessutom ett antal olika föroreningar som klor, freoner, polyaromatiska kolväten och kvicksilver som måste tas i beaktande vid användning [24][25].

Naturgas är ingen förnybar energikälla och förbränning bidrar till förstärkt växthuseffekt. Naturgas är liksom kol och olja ett fossilt bränsle, men vid förbränning avges en mindre mängd miljöfarliga ämnen än vid förbränning av kol och olja. Även koldioxidutsläppen är lägre. Emissionerna från råvaruuttag, distribution, gasbehandling och förbränning består främst av koldioxid, kväveoxider, svaveldioxid och kolväten. Andra restprodukter är svavelhaltigt avfall samt kemikalier [26].

7 Analys av olika anläggningar

Så långt har studien presenterat hur dagens energisystem ser ut i Göteborg och de planer som berör vår studie. Vidare följde en behovsanalys med en diskussion kring energieffektivisering. Då studiens mål är att ta fram scenarier för hur stadens energiförsörjning kan göras hållbar definierades tre kriterier för vad som kännetecknar en hållbar energiförsörjning. En mycket kortfattad genomgång av tekniker och bränslen gjordes och här följer en sammanfogning av behov och kriterier med tekniker och bränslen.

Naturgaskombi Naturgas passar med utgångspunkt från kriterierna inte in i ett hållbart energisystem. Teknisk livslängd för kraftvärmeverk är ungefär 40 år och under den tiden hinner stora mängder CO₂ släppas ut. Ett av Göteborg Energis argument för naturgaskraftvärmeverket i Rya är att import av kolkraft kan minskas genom utbyggnad av svensk naturgaskraftvärmeproduktion. Detta är osäkert då historien talar för att ökad tillgång på el leder till ökad användning. Värmeproduktionen vid anläggningen i Rya skulle ge 1200 GWh. Utifrån den här studiens behovsanalys skulle hälften av den värmen vara tillräcklig.

Det finns en ekonomisk osäkerhet kring naturgasens framtid. När Europa har enats om en gemensam energipolitik kommer troligtvis olja och kol att beskattas hårdare än idag. En trolig utveckling är då att många anläggningar konverteras till naturgasdrift. Då blir konkurrensen om naturgas hårdare och priserna stiger. På grund av de utsläpp av växthusgaser som nyttjandet av naturgasen orsakar kan även den komma att beskattas hårdare. Sverige liksom andra länder som har stora biobränsleresurser behöver inte påverkas av den här utvecklingen. Det kan nämnas att ett modernt kraftverksblock som kan utnyttja många olika slags bränslen just nu byggs i Köpenhamn. I planerna har biobränslen ersatt stora mängder naturgas [27].

Avfallsförbränning Brännbart avfall som bränsle uppfyller i dagsläget inte kriterierna. Med förbättrad sortering kan förnybart material skiljas från övrigt avfall och därmed eldas som biobränsle. Det ställer dock höga krav på konsumenterna, men kanske ännu högre på producenterna. Dels måste en mängd ämnen helt tas bort ur produktionen, dels måste produkter och förpackningar tillverkas på ett sätt som underlättar för konsumenten att lämna dem till återvinning och förbränning.

Ett annat problem kan vara att kommuner, som har hand om avfallshanteringen, även driver och bygger avfallsförbränningsanläggningar. Dessa anläggningar är med dagens regelverk ekonomiskt fördelaktiga och kan därför tänkas motverka en strävan mot mindre avfall samt en bättre och utökad materialåtervinning.

De ökande avfallsmängderna och förbudet att deponera brännbart avfall som träder i kraft vid årsskiftet 2001/2002 innebär att avfallsförbränning kommer att vara en realitet inom tidsramen för denna studie. I rekommendationen räknas därför dagens el- och värmeproduktion från avfallsförbränningen in.

Kraftvärmeproduktion med biogas Tekniken är möjlig men tillgången på gasen är idag begränsad. Tillväxtpotential finns, till exempel kan bättre avfallssortering leda till att en större andel av avfallet rötas för utvinning av biogas. Vid kraftvärmeproduktion bör gasen renas från stoft och i vissa fall korrosiva komponenter som svavelväte, klorerade kolväten och vattenånga.

Kraftvärmeproduktion med biobränslen Biobränslen är en energiresurs som matchar kriterierna. Internationellt pågår debatten om den förstärkta växthuseffekten och mycket pekar mot att energiförsörjning baserad på biobränslen kommer att vara den stora räddningen och möjligheten för minskade koldioxidutsläpp. Tillgången är god i Sverige och transportererna löses med minsta möjliga miljöpåverkan om större delen fraktas på tåg och båt. Genom att använda landsvägsfordon drivna av förnybara bränslen är även landsvägs transporter ett alternativ.

Biobränslen kan exempelvis eldas i en kraftvärmeanläggning. Enligt riksdagens energipolitiska beslut skall andelen biobränsleeldad kraftvärme öka. Fram till halvårsskiftet år 2002 betalas ekonomiskt stöd ut med 3 000 kr/installerad kW för ny kraftproduktion, dock max 25% av investeringskostnaden. Det är en bidragande orsak till att bioeldad kraftvärme under perioden från slutet av 1990-talet till början av 2000-talet byggts ut med närmare 1 TWh [28].

Biobränsleförgasning Biobränslen kan även förgasas och användas i en kombicykel. Denna teknik prövas just nu i England med svensk teknik [17]. Sverige är världsledande på teknikområdet. I stor skala är tekniken inte utprovad, men branschen tror att kommersiella anläggningar är möjliga före år 2010. En fördel med förgasningen är att en högre elverkningsgrad kan uppnås.

Vindkraft Denna teknik uppfyller allra bäst våra kriterier. Tekniken är utprovad och börjar nu bli ekonomiskt lönsam. Placering i grupper till havs väntas ge vinster genom storskalighet och högre, jämnare produktion. Det kan sänka produktionskostnaden från dagens 30-40 öre/kWh till omkring 22 öre/kWh utan statsbidrag. Möjligheten finns idag att få ett statligt investeringsbidrag på 15% av investeringskostnaden. Dessutom finns möjlighet till andra stöd med finansiering kopplade till den snabba teknikutvecklingen [29][30].

Den statliga Vindkraftutredningen har nyligen lagt fast att en utbyggnad av den svenska vindkraften med upp till 10 TWh/år skall eftersträvas. Det är även i linje med den svenska energipolitiken där kärnkraftsavvecklingen ligger som grund [31].

8 Scenarier

Resultatet presenteras i form av två scenarier. Det ena täcker fjärrvärmebehovet och innebär en effektiviserad och modern produktion av fjärrvärme som i största möjliga omfattning används för samproduktion av värme och el. Den el som produceras i detta scenario kan säljas på elmarknaden. I det andra scenariot täcks elbehovet då Göteborg redan år 2010 är oberoende av kärnkraft. Det görs med hjälp av vindkraft och kraftvärmeproduktion baserad på biobränslen. Även fjärrvärmebehovet täcks med detta scenario.

Scenario som täcker fjärrvärmebehovet Det väntade behovet av fjärrvärme är cirka 650 GWh_{th}. För att täcka detta behov byggs ett kraftvärmeverk med en värmeeffekt på 120 MW och eleffekt på 70 MW och 5 500 drifttimmar/år. Det kommer att täcka det beräknade värmebehovet samt ge 390 GWh_e. Bränslereffekten i en sådan anläggning med en verkningsgrad på 90% blir då 210 MW eller en årsförbrukning på 1 160 GWh. Mängden GROT som behövs i detta scenario är 450 000 ton/år.

Det väntade tilläggsbehovet är alltså ganska litet; hälften av den värme som den planerade naturgaskombin i Rya skulle leverera. En stor del av behovet skulle kunna täckas genom bättre utnyttjande och konvertering av befintliga anläggningar. Drifttiden för den tallbecksoljeeldade pannan på Sävenäsverket skulle kunna ökas och anläggningen konverteras till kraftvärme med en eller flera nya biobränsleeldade pannor. Även en del mindre anläggningar skulle kunna konverteras på liknande sätt. Då detta torde vara en relativt billig lösning för att täcka fjärrvärmebehovet frigörs resurser som kan läggas på en pilotanläggning för förgasade biobränslen och en ökad utbyggnad av vindkraften.

Scenario som täcker elbehovet År 2010 är behovet av lokal elproduktion cirka 1 600 GWh. Det täcks med vindkraft och biobränsleeldad kraftvärme. Med de två planerade vindkraftsparkerna tillförs systemet ungefär 600 GWh_e/år. Om vindkraftsutbyggnaden sker enligt den statliga Vindkraftsutredningens planeringsmål bör Göteborg med knappt 10% av Sveriges befolkning producera knappt 10% av Sveriges samlade vindkraftsel. Därmed behöver ytterligare minst 400 GWh_e produceras av Göteborg Energi eller inom kommunens gränser.

Kraftvärme och kombikraftvärme behöver byggas ut motsvarande 600 GWh_e. Generatoreffekten måste då med 5 500 drifttimmar/år uppgå till 110 MW_e. Om 55 MW_e byggs inom en snar framtid i form av ett kraftvärmeverk erhålls 300 GWh_e och 500 GWh_{th}. Resterande 55 MW_e byggs senare i form av ett kombikraftvärmeverk med biobränsleförgasning. Om tekniken inte har utvecklats för storskalig produktion kan en pilotanläggning byggas. Den ger 300 GWh vardera av el och värme.

Det totala bränslebehovet för dessa anläggningar med en verkningsgrad på 90% blir 1 560 GWh. Används GROT som bränsle behövs 600 000 ton/år.

Genom detta scenario har behovet av el men även värmebehovet, som är 650 GWh_{th}, täckts med ett överskott på cirka 150 GWh_{th}. Värmeöverskottet används med fördel för att göra fjärrvärmenätet ännu bättre ur en hållbarhetsaspekt.

9 Diskussion

Vi är väl medvetna om att stora mängder bibränslen kommer att krävas. Bränsletransporten behöver inte bli ett stort miljöproblem om transporten sker på tåg eller båt. Transportsättet som väljs beror till stor del på vilket uppsamlingsområde som berörs, vilket i sin tur beror på tillgången till bibränslen. Detta kan vara ämnet för vidare studier. Vid lokalisering av bibränsleeldade anläggningar av den här storleken bör de stora lagrings- och lossningsytor som krävs tas i beaktande. Placeringen bör även vara sådan att den lätt kan nås med de transporter som krävs.

En vidare studie kan också innehålla en djupare behovsanalys. Där kan industrier, främst framtiden för oljeraffinaderierna, och offentliga lokaler inkluderas samt en mer detaljerad genomgång av möjligheter för energieffektivisering.

Vi har tagit fram en bild av hur Göteborg skulle kunna utvecklas mot att få en hållbar energiförsörjning om tio år. Det skulle ske med hjälp av vind och bibränslen. Men med det dynamiska läge som råder inom energibranschen kan även andra energiförsörjningsmetoder få en betydande roll i framtiden, något vi har svårt att förutse idag.

Referenser

- [1] *Årsredovisning med miljööredovisning 2000*. Göteborg: Göteborg Energi AB, 2001.
- [2] Bäckström, E.: *Driftdata Rosenlund och Sävenäs*. Göteborg, 2001.
- [3] *Årsredovisning 2000*. Göteborg: Renova AB, 2001.
- [4] *Avfallskraftvärmeverket i Sävenäs, Göteborg*. Göteborg: Renova AB.
- [5] Lagheim, A.: *Energiförsörjningen i Sverige – Läget 1999, Prognos 2000 – 2002*. Energimyndigheten, 2001-02-26. (El 2:2001).
- [6] Nordgren, O., Göteborg Energi AB. Muntlig information, februari 2001.
- [7] Yngve, B., Göteborg Energi AB. Muntlig information, maj 2001.
- [8] Jenneberg, L.-H.: *Gruppstation av vindkraftverk inom Hakefjorden*. HydroGIS AB, december 2000. (Rapport 175).
- [9] Karlsson, P., Göteborg Energi AB. Muntlig information, maj 2001.
- [10] Kallerdahl, C.: Ansökan om ökad förbränning på Sävenäs. *Renova AB*. (<http://www.renova.se>), 2001-05-16.
- [11] *Göteborgsbladet 2000*. Göteborg: Göteborgs stadskansli, 2000.
- [12] Larsson, A.: *Supplying Input to Lifestyle Scenarios: The Energy System in Göteborg Today and in 2050*. Göteborg: Avdelningen för fysisk resursteori, Chalmers tekniska högskola, 2000.
- [13] Eriksson, D., Bostadsbolaget. Muntlig information, april 2001.
- [14] Johannesson, T., HSB. Muntlig information, maj 2001.
- [15] Jonsson, U., Växjö Energi AB. Muntlig information, maj 2001.
- [16] Johansson, T.B. m.fl.: *Renewable Energy Sources for Fuels and Electricity*. London: Earthscan Publications Ltd., 1993. ISBN 1-85383-155-7
- [17] Technology. *Arbre Organisation* (<http://www.arbre.co.uk/tech.htm>), 2001-05-16.
- [18] Morris, M., Waldheim, L.: Efficient Power Generation from Wood Gasification. *Gasification for the Future*, Noordwijk, Nederländerna, 11 – 13 april, 2000.
- [19] Larsson, P.: *Biobränsle och mångfald – på kollisionskurs i skogen? Riktlinjer för naturvårdsanpassad biobränsleanvändning*. Stockholm: Svenska Naturskyddsföreningen, 1998. (Rapport 9417/98).
- [20] Lantz, P.: *Framtida tillgång på träbränslen – en sammanställning av sex studier över framtida tillgång på träbränslen*. Skogsstyrelsen, 1996.
- [21] *Environment in the European Union at the turn of the Century*. European Environment Agency, 1999. (kapitel 3.7).
- [22] *Skryt eller skrot, klarar svensk avfallsförbränning EU:s krav?* Greenpeace, 2000.
- [23] Rosenberg, P.: *Stoppa utökad sopförbränning*. Svenska Naturskyddsföreningen, 2001. (Hållbart nr 1/01).
- [24] Ström, E., Ekeborg, T.: *Biogas för värme, el-, och drivmedelsproduktion*. Vällingby: Statens vattenfallsverk, 1991. ISBN 991-319531-4
- [25] Härelind-Ingelsten, H.: *Biogas från hushållsavfall och andra källor*. Institutionen för kemisk miljövetenskap, Chalmers tekniska högskola, 1996. ISBN 992-553804-1

- [26] *Livscykelanalys – Sydkrafts elproduktion*. Sydkraft, 1997.
- [27] Projekter. *Energi E 2* (<http://www.energie2.dk>), 2001-02-07.
- [28] *En översikt – Kraftvärme från biobränsle*. Energimyndigheten.
- [29] Siden, G.: Vindkraft till havs, *Föreläsningsserie i Energiteknik*, Göteborg, 2001-04-05.
- [30] *En översikt – Vindkraft*. Energimyndigheten.
- [31] Svensson, K.: *Rätt plats för vindkraften*. Statens offentliga utredningar, 1999. (SOU 1999:75).