

Metan från förgasning av biomassa

- En potentialstudie i Biogas Öst-regionen

Johan Lundberg

Examensarbete 2011
Institutionen för Teknik och Samhälle
Miljö- och energisystem
Lunds Tekniska Högskola



LUNDS UNIVERSITET
Lunds Tekniska Högskola

Institutionen Teknik och samhälle
Miljö- och energisystem

Metan från förgasning av biomassa

- En potentialstudie i Biogas Öst-regionen

Johan Lundberg

Examensarbete

Juni 2011

Dokumentutgivare, Dokumentet kan erhållas från LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA vid Lunds universitet Institutionen för teknik och samhälle Miljö- och energisystem Box 118 221 00 Lund Telefon: 046-222 00 00 Telefax: 046-222 86 44	Dokumentnamn
	Examensarbete
	Utgivningsdatum
	Juni 2011
	Författare
	Johan Lundberg

Dokumenttitel och undertitel

Metan från förgasning av biomassa - En potentialstudie i Biogas Öst-regionen

Sammandrag

Syftet med denna studie har varit att utreda potentialen för framställning av metan genom förgasning av biomassa i Biogas Öst-regionen. Potentialen uppskattas utifrån tekniska, ekonomiska och råvarurelaterade begränsningar. Beräkningar för utbyten av metan från förgasning av biomassa baseras på tidigare studier inom området. Potentiell tillgång till råvara inom respektive län har beräknats utifrån skogstillväxt, uttag av stubbar och GROT, utökning av odlingsarealer samt behandlade mängder brännbart avfall.

Förgasningstekniken möjliggör ett effektivt utnyttjande av bioenergi genom höga utbyten av drivmedel samt integreringsmöjligheter med fjärrvärmenät. Förgasning av biomassa för produktion av biometan är en ung teknik och har ännu inte demonstrerats i kommersiell skala. Kunskap och erfarenheter om förgasningstekniken specifikt är goda då förgasning har utnyttjats för ett flertal ändamål genom åren. Huvudutmaningen rör de efterföljande stegen gasrening, metanisering samt uppgradering och hur man kombinerar de olika processalternativen på det mest effektiva sättet.

De bäst lämpade teknikerna för produktion av metan från förgasning av biomassa är indirekt förgasning samt trycksatt CFB. Indirekt förgasning begränsas tekniskt till storlekar < 100 MW_{th} medan trycksatt CFB i teorin inte har några begränsningar. Potentialen för produktion av metan baseras på beräkningar för tillgång till råvara inom respektive län i Biogas Öst-regionen. Råvarorna GROT, stubbar, biprodukter från skogsindustrin, halm, salix samt brännbart avfall har lyfts fram som tänkbara råvaror i en förgasningsprocess. Störst råvarupotential har Östergötlands län, följt av Örebro län. Lägst råvarupotential har Stockholms län och Västmanlands län. GROT, stubbar och biprodukter från skogsindustrin står för 75-80 % av respektive läns råvarupotential. Utifrån hela regionens råvarupotential beräknas framställningen av metan genom förgasning uppgå till 20-33 TWh/år. Produktionskostnaden för metan från förgasning av biomassa har beräknats utifrån ett antal scenarier där pris på råvara och andelen spillvärme som kan avsättas för försäljning varierar. Råvarukostnaden och kapitalkostnaden har beräknats utgöra 65 % respektive 20 % av produktionskostnaden. Beroende på val av teknik, råvarupris samt spillvärme för försäljning varierar produktionspriset för metan genom förgasning av biomassa mellan 428-581 kr/MWh. Kan all uppkommen spillvärme säljas för 100 kr/MWh minskar produktionskostnad med 7 %, jämfört med om ingen spillvärme kan avsättas till försäljning. Om avsättning av spillvärme från förgasningsprocessen skall vara möjlig krävs ett stort värmebehov i fjärrvärmenätet samt att spillvärmen kan konkurrera med befintligt fjärrvärmeproduktion.

Nyckelord

Metan, förgasning, råvarupotential, produktionskostnad, spillvärme

Sidomfång	Språk	ISRN
67	Svenska Sammandrag på engelska	LUTFD2/TFEM--11/5055--SE + (1-67)

Organisation, The document can be obtained through LUND UNIVERSITY Department of Technology and Society Environmental and Energy Systems Studies Box 118 SE - 221 00 Lund, Sweden Telephone: int+46 46-222 00 00 Telefax: int+46 46-222 86 44	Type of document
	Master thesis
	Date of issue
	Juni 2011
	Authors
	Johan Lundberg

Title and subtitle

Methane from gasification of biomass – A potential study in the Biogas Öst-region

Abstract

The purpose of this study was to investigate the potential of producing methane from gasification of biomass in the Biogas Öst-region. The potential is estimated on the basis of technical, economic and raw material related limitations. Calculations of methane yields from gasification of biomass are based on earlier studies within the area. Calculations of potential supply of raw material in each county is based on wood growth, outtake of stubs and tops & branches, expanded cultivated area and treated amounts of waste.

The gasification technique enables an effective use of bioenergy with high yields of bio-transport fuel and possibilities of integration with district heating. The technique is relatively new and has not yet been demonstrated in a commercial scale. Experience and knowledge about the gasification process in specific are good, as gasification has been used for various purposes through the years. The main challenge lies in the subsequent steps, gas clean-up, methanisation and conditioning, and how to combine the process alternatives in the most effective way.

The most suitable techniques for production of methane through gasification of biomass are considered to be indirect gasification and pressurized CFB. Indirect gasification is limited to sizes < 100 MW_{th} whereas pressurized CFB in theory has no limitations. The raw materials tops & branches, stubs, forest industry residues, straw, willow and burnable waste are emphasised as possible fuels in a gasification process. Östergötland county and Örebro county have the biggest raw material potential in the Biogas Öst-region. Stockholm county and Västmanland county have the lowest raw material potential. Tops & branches, stubs and forest industry residues consist of 75-80 % of each county's total raw material potential respectively. Based on total raw material potential within the region, the production of methane from gasification is estimated to 20-33 TWh/year. The production cost of methane from biomass gasification has been calculated based on different scenarios where cost of raw material and portion of waste heat possible for selling are varied. The raw material cost and the capital cost constitutes of 65 % and 20 % of the production cost respectively. Depending on chosen technique, raw material cost and amount of waste heat possible for sale, the production cost of methane from biomass gasification varies between 428-581 SEK/MWh. If all produced waste heat is sold for 100 SEK/MWh the production cost decreases with 7 %, compared to no sales of waste heat. To enable dispose of waste heat to district heating a large heat demand is required and that waste heat can compete with existing district heat production.

Keywords

Methane, gasification, raw material potential, production cost, waste heat

Number of pages	Language	ISRN
67	Swedish, English abstract	LUTFD2/TFEM--11/5055--SE + (1-67)

Förord

Detta examensarbete har skrivits under våren 2011 och utgör avslutningen på civilingenjörsprogrammet Ekosystemteknik med inriktning mot energisystemanalys vid Lunds Tekniska Högskola. Arbetet har genomförts vid avdelningen Miljö- och energisystem i nära samarbete med Biogas Öst.

Stort tack till mina handledare Karin Ericsson och Jonas Forsberg som givit mig vägledning och goda råd under arbetes gång. Tack även till alla er som ställt upp med underlag och statistik. Utan ert bidrag skulle inte studien kunnat genomföras.

Lund den 11 juni 2011

Johan Lundberg

Innehållsförteckning

1 INLEDNING	1
1.1 BIOGAS ÖST.....	2
1.2 SYFTE OCH MÅL	2
1.4 METOD OCH AVGRÄNSNINGAR.....	2
2 TEKNISK BESKRIVNING	4
2.1 TERMISK FÖRGASNING – GRUNDPRINCIPER.....	4
2.2 REAKTORTYPER.....	6
3 SYSTEMLÖSNING FÖR METANPRODUKTION	10
3.1 FÖRGASNINGSTEKNIK	10
3.2 GASRENING	11
3.3 METANISERING	13
3.4 UPPGRADERING	14
4 RÅVARA	15
4.1 TRÄDBRÄNSLE	16
4.2 ÅKERBRÄNSLEN	17
4.3 AVFALL	18
5 EKONOMISK ANALYS	20
5.1 AVSÄTTNING FÖR BIOMETAN	20
5.2 AVSÄTTNING FÖR SPILLVÄRME	21
5.3 TILLGÅNG TILL RÅVARA	22
5.4 RÅVARUPRIS	22
5.5 STYRMEDEL	23
5.6 KAPITALKOSTNAD	24
5.7 PRODUKTIONSKOSTNAD.....	25
5.8 RESULTAT.....	26
7 LÄNSVIS ANALYS	32
7.1 STOCKHOLMS LÄN	34
7.2 SÖDERMANLANDS LÄN	36
7.3 UPPSALA LÄN.....	38
7.4 VÄSTMANLANDS LÄN	39
7.5 ÖREBRO LÄN.....	41
7.6 ÖSTERGÖTLANDS LÄN.....	42
7.7 SAMMANSTÄLLNING	43
8 DISKUSSION	46
9 SLUTSATS	50
REFERENSLISTA	51
ORDLISTA/BEGREPP	56
BILAGA 1: BERÄKNINGAR	58

1 Inledning

Med dagens fossila dominans i global energitillförsel och pågående klimatförändring som effekt krävs klimatneutrala och effektiva lösningar för att undvika negativa irreversibla effekter på ekosystemet. Transportsektorn är specifikt utsatt då oljeberoendet är extremt och tillgången på klimatneutrala drivmedel är få. Det stora beroendet av olja medför även osäkerheter vad gäller försörjningstrygghet, då oljeresurserna inte är oändliga, samt politiska oroligheter i länder med stora oljetillgångar. Bioenergi har potential att bli en del av ett klimatvänligt energisystem med tryggad energiförsörjning såväl lokalt som globalt. Bioenergi definieras som lagrad solenergi genom fotosyntes i gröna växter som är förnyelsebara. Bioenergi återfinns i biomassa som är material av biologiskt ursprung. Vid aerob nedbrytning eller förbränning i luft av biomassa bildas koldioxid. Ökade halter av koldioxid i atmosfären bidrar till förstärkt växthuseffekt. Då nybildningen av biomassan sker relativt snabbt (1-100 år) räknas biomassa som ett förnybart bränsle. Om uttaget av biomassa för energiutvinning inte är större än tillväxten kommer därför den koldioxid som uppkommit genom förbränning eller nedbrytning av biomassa genom fotosyntes tas upp av den nybildade biomassan. IEA bedömer att efterfrågan på biomassa kommer ha ökat med fyra gånger år 2050 jämfört med i dag.¹ Med ökad efterfrågan är det mycket viktigt att utnyttja tillgängliga biomassaresurser så effektivt som möjligt. Termisk förgasning av biomassa möjliggör höga utbyten av olika fordonsbränslen samt integrering med värme- och elproduktion.²

Förgasning kan definieras som den termokemiska process där ett kolhaltigt fast eller flytande ämne, vid upphettning i en miljö fri från, eller med en kontrollerad mängd syre, övergår till gasform. Produktgasen kallas initialt gengas och efter rening talar man om syntesgas, som huvudsakligen består av vätgas och kolmonoxid. Syntesgasen kan sedan omvandlas till olika fordonsbränslen, bland annat metan. Metan framställt genom termisk förgasning av biomassa brukar kallas biometan eller bio-SNG (Substitute Natural Gas). Slutprodukten biometan är högintressant då den kan distribueras och användas på samma sätt som naturgas och biogas görs i dag. Sveriges potential för framställning av biometan är mycket högre än potentialen för konventionell framställning av biogas via rötning. Orsaken till detta är att skogsrelaterat avfall, som inte lämpar sig för rötning, fungerar utmärkt som bränsle vid förgasning. Potentialen för framställning av biometan i Sverige har uppskattats till 59 TWh vilket kan jämföras med potentialen för biogas framställd via rötning på 15.2 TWh. Av dessa 59 TWh härrör 27 TWh från svartlut uppkommen i massa- och pappersbruk.³ Som jämförelse var energianvändningen för inrikes transporter inom den svenska transportsektorn 93 TWh, där 88 % av energianvändningen utgjordes av oljeprodukter.⁴

I samband med förgasning frigörs även stora mängder värme på grund av de höga temperaturer som krävs i förgasningsreaktorn. Det finns därför stor potential och ekonomiska incitament för integrering med verksamheter där spillvärmen kan

¹ IEA, 2009

² Värmeforsk, 2010

³ BioMil AB, 2008

⁴ Energimyndigheten, 2011

avsättas, exempelvis i fjärrvärmenät, kraftvärmeverk och för framställning av fjärrkyla via absorption.

Förgasning av biomassa för produktion av drivmedel har ännu inte demonstrerats i kommersiell skala. Erfarenheter från förgasningsprocessen finns då kol och naturgas länge fungerat som bränsle vid förgasning för framställning av syntesgas och drivmedel. Göteborgs Energi bygger i samarbete med E.ON en förgasningsanläggning för produktion av biometan med storleken 20 MW_{gas} som skall tas i bruk i slutet av 2012. Projektet heter GoBiGas och skall på sikt skalas upp till en anläggning med storleken 80 MW_{gas}. Projektet har beviljats med ekonomiskt stöd från Energimyndigheten, det största stödet för ett forskning- och utvecklingsprojekt som delats ut sedan Sverige gick med i EU.

1.1 Biogas Öst

Biogas Öst är ett regionalt samverkansprojekt med avsikt att verka för ökad produktion, distribution och användning av biogas i Uppsala, Stockholms, Västmanlands, Södermanlands, Örebro och Östergötlands län. Projektet inkluderar ett flertal offentliga och privata aktörer som tillsammans skall skapa de bästa förutsättningarna för biogasens expansion i regionen. Energikontoret Mälardalen står som huvudman för samverkansprojektet Biogas Öst.

En viktig del av arbetet inom Biogas Öst riktar sig mot biogasrelaterad information, kommunikation, marknadsföring och utbildning. Detta resulterar rent konkret bland annat i framtagande av strategier och kartläggningar för ökad produktion av biogas, nätverksarbete, arrangemang av kompetensutbildningar, att påverka beslutsfattare genom riktad information, förbättrad samverkan mellan biogasaktörer, verka för tilldelning av finansiella resurser till regionens aktörer och deltagande i EU-projekt.

Biogas Öst har ett långsiktigt mål som säger att 10 % av regionens drivmedel skall vara biogas år 2020.⁵

1.2 Syfte och mål

Syftet med rapporten är att utreda potentialen för framställning av metan genom förgasning av biomassa i Biogas Öst-regionen. Målet är att bedöma hur mycket metan som kan produceras med avseende på tekniska, ekonomiska och råvarurelaterade begränsningar. Rapporten skall fungera som underlag och vägledning för en eventuell satsning och utveckling av tekniken inom regionen.

1.4 Metod och avgränsningar

Rapportens utgångspunkt består av en litteraturstudie inom förgasningsteknik med fokus på metanproduktion från biomassa. Utifrån litteraturstudien presenteras lämpliga förgasningstekniker samt renings- och uppgraderingsprocesser passande för just biometan som slutprodukt.

En analys över länsvis tillgång till bränsle byggs på befintlig statistik, egna bedömningar och tidigare uppskattningar. För skogsbränsle beräknas potential för uttag av GROT och stubbar utifrån årlig skogstillväxt samt ekologiska, ekonomiska och tekniska begränsningar. Uppskattning av potential för biprodukter från

⁵ Biogas Öst, 2010

skogsindustrin grundas på antaganden om biomassaflöden från avverkning till sågverk samt pappers- och massabruk. Bedömning av tillgång till åkerbränslen i form av salix och halm baseras på tidigare studier samt aktuell åkerareal för odling av salix där även antagande om avkastning/ha inkluderas. Antaganden och beräkningar om råvarorna beskrivs mer detaljerat i kapitel 4.

För bedömning om ett uppförande av en förgasningsanläggning är möjlig diskuteras och analyseras parametrar utifrån tekniska, ekonomiska och bränslerelaterade begränsningar. Särskilt fokus kommer läggas vid parametrar som rör avsättningsmöjligheter för spillvärme samt tillgång och pris på bränsle. Sedan uppskattas investerings- och produktionskostnaden där bränslepris och andel avsatt spillvärme varieras för att presentera ett antal olika scenarier. Beräkning av produktionskostnader och beskrivning av scenarierna återges mer ingående i kapitel 5.

Baserat på antaganden om verkningsgrad för förgasningsprocessen presenteras i kapitel 7 länsvis uppskattad potential för produktion av biometan. Här analyseras även möjligheterna till uppförande av en förgasningsanläggning där storlek på fjärrvärmenät, avsättning av spillvärme, samt tillgång till bränslen beaktas. Avsättning av spillvärme diskuteras utifrån dagens fjärrvärmeproduktion där varaktighetsdiagram används som grund för resonemangen.

2 Teknisk Beskrivning

Förgasning av kolhaltiga bränslen har en mångårig historia bakom sig där produktgasen använts inom olika områden. Det första kända exemplet på förgasningstekniken utnyttjande är i kolmilor, där man med strypt syretillförsel hettade upp ved i syfte att framställa träkol. I 1800-talets Europa började kol förgasas för framställning av så kallad stadsgas. Stadsgasen utnyttjades initialt i gaslyktor men kom även senare att användas för uppvärmning och som bränsle i gasspisar. Än i dag använder cirka 80 000 hushåll i Stockholm gasspisar och stadsgas baserat på nafta (lättbensin) producerades fram till årsskiftet 2010/2011. Stadsgasen har nu ersatts av de miljövänligare alternativen biogas och naturgas.⁶ Under andra världskriget rådde brist på olja och fordonsbränsle producerades då genom förgasning av kol och biomassa. I Sverige utrustades under denna tid många fordon med gengasaggregat som försåg motorn med gasformigt bränsle. På senare år har förgasning mest utnyttjats i syfte att omvandla kol till ett renare och mer högvärdigt bränsle.

2.1 Termisk förgasning – grundprinciper

Förgasning är en termokemisk process som omvandlar ett fast eller flytande kolhaltigt bränsle till gasform via tillsättning av ett oxidationsmedium. Oxidationsmediet består vanligtvis av syre, luft eller vattenånga. Processen kan jämföras med förbränning men med skillnaden att energi binds till produktgasen i stället för att energi frigörs, som är fallet vid förbränning.

En typisk förgasningsprocess innehåller följande steg:⁷

- Förvärmning och torkning
- Pyrolys
- Förgasning
- Förbränning

Torkning och förvärmning är viktiga delar i förgasningsprocessen. Bränslets fukthalt skall vara så låg som möjligt innan det matas in i förgasningsreaktorn, annars åtgår extra energi för torkning i förgasningssteget och effektiviteten försämras. I många systemlösningar utnyttjas därför spillvärme från förgasningsprocessen, vilket ökar den totala verkningsgraden.⁸

Förgasningsprocessen kan indelas i två olika steg, pyrolys och förgasning. Båda stegen är förknippade med uppvärmning av bränslet. För att ett ämne skall genomgå en fasövergång, i detta fall från fast fas till gas, krävs en specifik temperatur för ett givet tryck. Vid ett givet tryck och en specifik temperatur kommer således ämnen spontant övergå från en fas till en annan.⁹ I en förgasningsreaktor kontrolleras därför temperatur och tryck för så effektiv fasövergång, från fast form till gas, av bränslet som möjligt.

⁶ Stockholm Gas, 2011

⁷ Basu, 2010

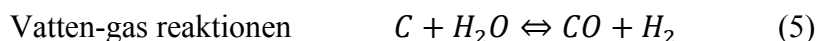
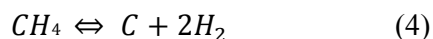
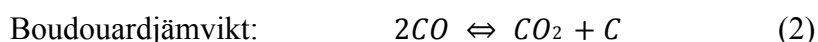
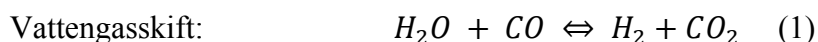
⁸ Värmeforsk, 2010

⁹ Atkins, 2006

Pyrolys sker i temperaturintervallet 350-600°C och kräver inget tillskott av syre, men vid denna temperatur kommer endast flyktiga ämnen i bränslet övergå till gasform. I detta steg bildas även tjärvätska och den fasta återstoden träkol/koks (char).¹⁰

För fullständig konversion av bränslet till gasform krävs även förgasning, som vanligtvis sker i temperaturintervallet 800-900°C med ett oxidationsmedium närvarande.¹¹ I vissa systemlösningar är förgasningen även trycksatt, med tryck upp emot 30 bar i reaktorn. I förgasningsteget kommer resten av bränslet konverteras till gas, där oxidationsmediet och produkterna från pyrolysen ingår en mängd jämviktsreaktioner som slutligen resulterar i en gas huvudsakligen bestående av de önskade produkterna vätgas(H₂) och kolmonoxid(CO) samt metan(CH₄), koldioxid(CO₂), vatten(H₂O) och högre kolväten. Målet är att binda så mycket av energiinnehållet i bränslet till den bildade gasen som möjligt. De reaktioner som äger rum bestämmer gasens komposition vilket är starkt avhängigt reaktortemperaturen. Höga temperaturer för reaktionerna mot sitt jämviktstillstånd, då konversions hastigheten ökar med temperaturen.¹² Förutom temperaturen inverkar även ett flertal andra parametrar på gasens sammansättning såsom typ av oxidationsmedie, reaktortryck, bränslets sammansättning, fukthalt i bränsle och hur bränslet kommer i kontakt med oxidationsmediet.¹³

Av de många reaktioner som sker i samband med förgasning anses nedanstående viktigare än andra.^{14 15}



Ibland eftersträvas ett specifikt förhållande mellan CO och H₂ i produktgasen för att underlätta senare omvandlingssteg och uppgraderingar. Detta kan göras genom att kontrollera vattengasskift-reaktionen (1) och på så vis uppnå önskad CO/H₂-kvot.¹⁶

Boudouardjämvikten (2) beskriver förgasningen av träkol i koldioxid för bildning av kolmonoxid. Vid låga temperaturer förskjuts reaktionen åt höger och sot bildas. Sot har negativ inverkan på vattengasskift-reaktion men tillsats av vattenånga förskjuter vattengasskift-reaktion åt höger vilket leder till att boudouardjämvikten förskjuts åt vänster, och problem med sotbildning undviks.¹⁷

¹⁰ Basu, 2010

¹¹ Tunå, 2008

¹² Värmeforsk, 2010

¹³ Balat et al, 2009

¹⁴ Värmeforsk, 2010

¹⁵ Basu, 2010

¹⁶ Chrisgas, 2007

¹⁷ Värmeforsk, 2010

Förgasning av träkol i vattenånga är ett viktigt steg i förgasningsprocessen och beskrivs i vatten-gas reaktionen (5). Denna reaktion är avgörande för hur mycket av kolet i bränslet som konverteras till gas.¹⁸

Metanjämviktsreaktionerna (3) och (4) bestämmer den initiala mängden metan i produktgasen. Med reaktion (3) kan man med ångreformerings styra reaktionen mot höger och öka vätgasinnehållet i produktgasen. Förskjuts reaktion (4) mot höger leder detta till bildandet av sot.¹⁹

De flesta reaktionerna som ingår i förgasningsprocessen, inkluderat de ovanstående, är endoterma. Endoterma reaktioner upptar värme från sin omgivning varför ett tillskott av värme är nödvändig för att reaktionerna skall kunna äga rum.²⁰ Förgasningsreaktorn förses med värme antingen direkt eller indirekt. Direkt tillförsel av värme sker i reaktorn genom partiell oxidation, alltså genom begränsad förbränning. Här tillåts förbränning av inmatat bränslet men endast i syfte att bibehålla eftersträvd reaktortemperatur och således underhålla förgasningsprocessen i reaktorn. Vid indirekt värmeförsel sker förbränning i stället i en separat reaktor där värmen sedan växlas över till förgasningsreaktorn för att nå önskad temperatur.²¹

Förutom syntesgas bildas även en rad oönskade produkter bland annat tjära, partiklar från aska, sot och träkol/koks samt svavel, klor och alkalimetaller som kontaminerar produktgasen och orsakar problem i anläggningen.²² Tjära består av aromatiska kolväten som vid höga temperaturer befinner sig i gasfas och ingår som en del i produktgasen. När produktgasen avkyls kondenserar tjäran och övergår till en tjock trögflytande vätska som antingen kan täppa igen efterföljande utrustning i anläggningen, eller bildar aerosoler dispergerade i produktgasen.²³ Partiklar från aska, sot och träkol/koks eroderar metallkomponenter i anläggningen och kan genom adsorption kan binda in många andra ämnen. Alkalimetaller, svavel och klor orsakar korrosion av metaller.²⁴ Dessa produkters negativa konsekvenser på förgasningsprocessen innebär att stor vikt bör läggas vid avskiljning och rening. Graden av kontaminering i produktgasen och i förgasningssystemet beror till stor del på val av förgasningsteknik.

2.2 Reaktortyper

Det finns huvudsakligen tre reaktortyper: fastbäddsförgasare, fluidiserad bädd och suspensionsförgasare. Konstruktionen och tekniken skiljer sig mellan dem, varför de även har olika för- och nackdelar.

2.2.1 Fastbäddsförgasare

Fastbäddsförgasare är av relativ enkel konstruktion och används med fördel i småskaliga kraft- och värmeverk med effekter mellan 10 kW_{th} och 10 MW_{th}. Fastbäddsförgasare är vanligtvis uppbyggda av en cylinderformad reaktor med en

¹⁸ Basu, 2010

¹⁹ Värmeforsk, 2010

²⁰ Tunå, 2008

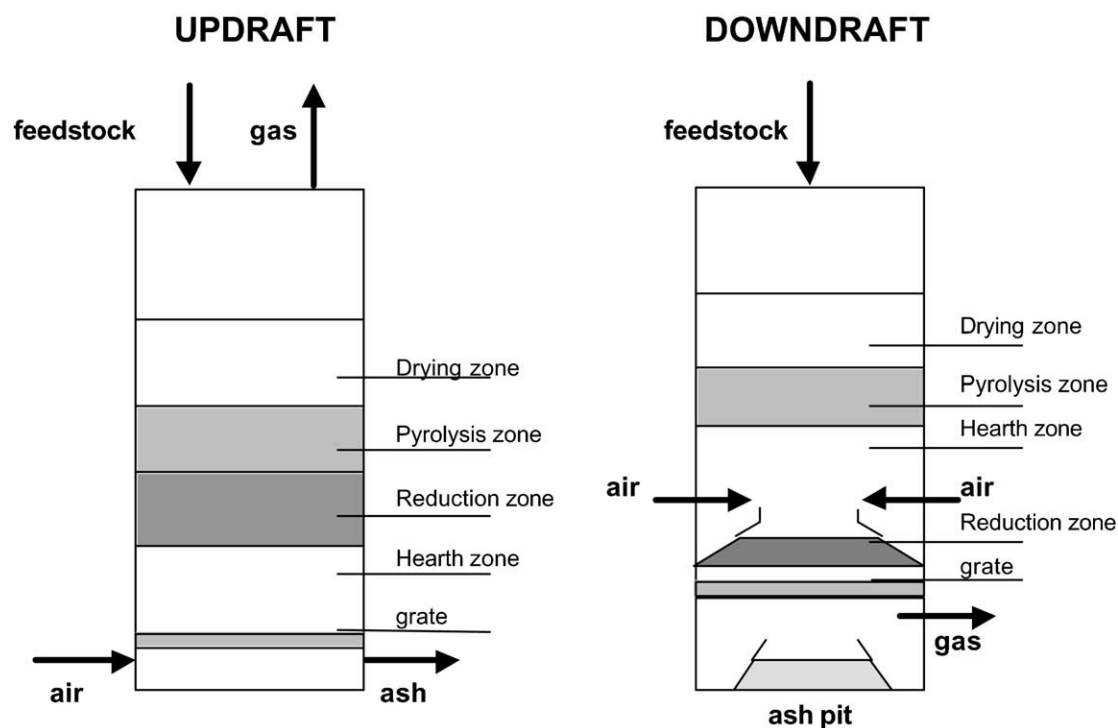
²¹ Belgiorno, 2003

²² Belgiorno, 2003

²³ Basu, 2010

²⁴ Belgiorno, 2003

bädd av fast bränsle som oxidationsmediet och gasen färdas igenom. Bädden av fast bränsle befinner sig nära botten av reaktorn vanligtvis på ett galler eller liknande. Bränslet matas in i toppen av reaktorn och beroende på förgasartyp förs oxidationsmediet antingen in runt mitten på reaktorn eller via botten av reaktorn. De två vanligaste typerna av fastbäddsförgasare, som redovisas i figur 1, är motströms- och medströmsförgasare.²⁵



Figur 1: Motströmsförgasare och medströmsförgasare (Belgiorno et al, 2003)

Fastbäddsförgasarna förknippas med tydliga temperaturzoner i reaktorn där torkning, pyrolys och förgasning sker separat. Motströmsförgasaren har höga halter av tjära och kolväten i sin produktgas, men ett högt energiinnehåll. Medströmsförgasarens halter av tjära är mycket lägre, men även energiinnehållet i produktgasen är lågt och mycket stoft förekommer.²⁶

2.2.2 Fluidiserad bädd

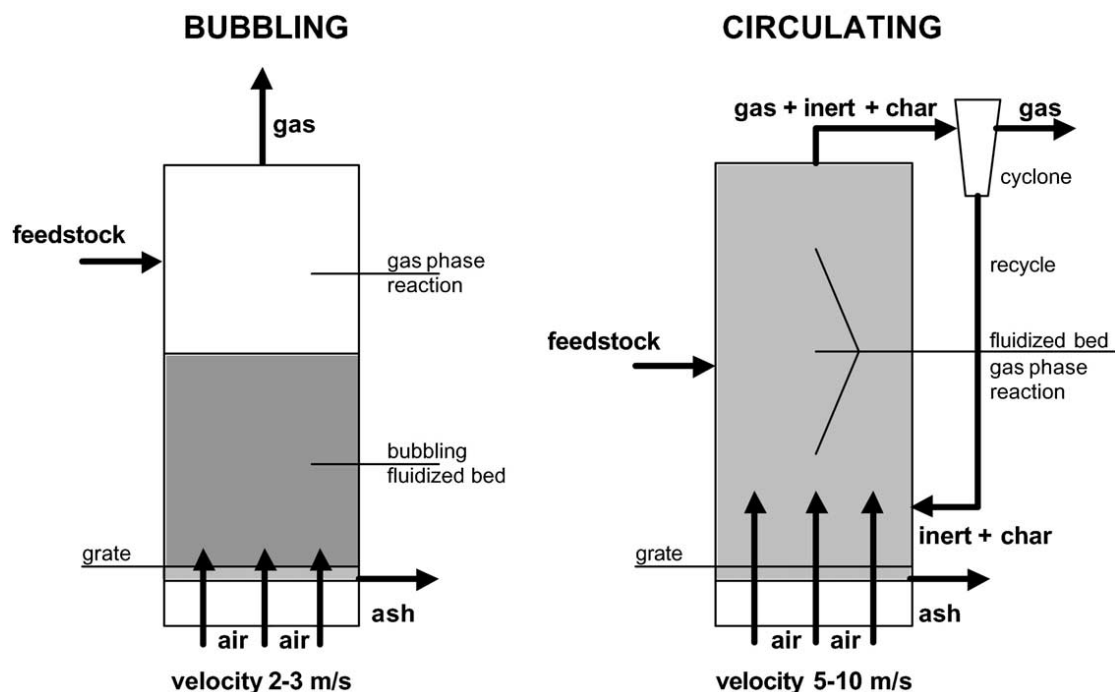
En fluidiserad bädd består av partiklar, vanligtvis sand, vilka man blåser en gas igenom. Vid tillräckligt hög gasflöde kommer partiklarna lyfta och övergå till ett vätske-liknande tillstånd. Gasen som blåses igenom partiklarna är oxidationsmediet i förgasningsprocessen och består av ånga, syre eller luft. Biomassan matas oftast in från toppen av reaktorn där även produktgasen tas ut. Då förgasartypen av fluidiserad bädd-design har egenskaper som hög uppvärmningshastighet och masstransport samt god omblandning av fasta partiklar kommer reaktionshastigheten vara hög och temperaturen nästintill konstant.²⁷ De cirkulerande bäddpartiklarna har hög kontakt

²⁵ Basu, 2010

²⁶ Elforsk, 2008

²⁷ Bridgewater, 1995

med bränslet och värmeöverföringen är därför god. Ju högre omblandning av bäddpartiklarna desto effektivare värmeöverföring och snabbare reaktioner erhålls. Reaktortyper av fluidiserad bädd är lämpliga i stora anläggningar med effekter från 10 MW_{th} och uppåt. I figur 2 redovisas två olika typer av fluidiserade bädd-reaktorer, bubblande fluidiserad bädd (BFB) och cirkulerad fluidiserad bädd (CFB).



Figur 2: Bubblande och cirkulerad fluidiserad bädd (Belgiorno et al, 2003).

Fluidiseringshastigheten är lägre i BFB jämfört med CFB varför bäddmaterialet är fokuserat till de lägre delarna av reaktorn i BFB, därmed även förgasningsprocessen. I en CFB är fluidiseringshastigheten mycket högre än i typen BFB vilket bidrar till att partiklarna kommer vara jämnt fördelade i hela reaktorn. Partiklar som följer med produktgas upp och ut ur reaktorn avskiljs med hjälp av en cyklon och återförs i botten av reaktorn igen.²⁸

Bäddpartiklarna värms antingen upp direkt eller indirekt, vilket illustreras i figur 3. Vid direkt uppvärmning nyttjas värmen från förbränningen som sker i botten av reaktorn där nedsjunket träkol reagerar med inblåsande oxidationsmedie.²⁹ Indirekta uppvärmningssystem får värme från förbränning utanför förgasningsreaktorn, t.ex. via integrering med kraftvärmeverk eller förbränningskammare endast avsedd för att driva förgasningsprocessen. Värmeöverföringen mellan den externa förbränningskammaren och förgasningsreaktorn sker antingen genom cirkulation av bäddmaterialet mellan de olika kamrarna eller via värmeväxling. I och med den indirekta uppvärmningen av bäddmaterialet är förbränning i reaktorn överflödigt varför man undviker luft eller syre som fluidiseringsmedium och oxidationsmedie, och i stället använder ånga.³⁰

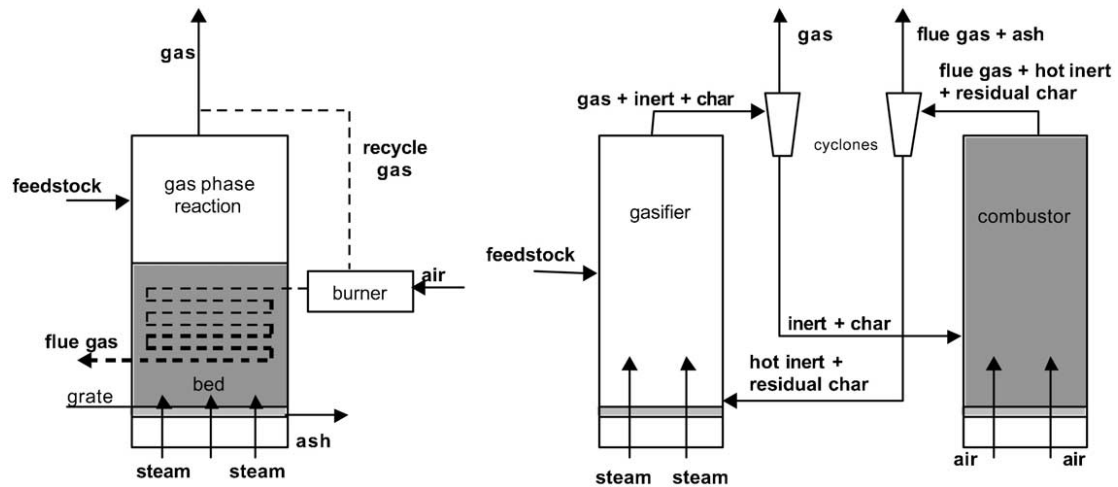
²⁸ Belgiorno et al, 2003

²⁹ Basu, 2010

³⁰ Värmeforsk, 2010

GAS INDIRECT GASIFIER

CHAR INDIRECT GASIFIER



Figur 3: Indirekt förgasning via värmeväxling och cirkulation av bäddmaterial (Belgiorno et al, 2003).

2.2.3 Suspension/flamförgasare (Entrained flow)

Flamförgasare, eller "Entrained Flow" som det heter på engelska, används idag för mycket storskalig förgasning av kol. Syre, ånga och bränsle matas in i reaktorn där en snabb förgasning sker, bränslets uppehållstid är bara några få sekunder. I området där syre matas in sker en kraftig förbränning som förser reaktorns värmebehov.³¹ Bränslet måste vara väldigt finfördelat, i form av pulver eller slurry, för det skall hinna förgasas under den korta uppehållstiden som råder i reaktorn. Mycket höga temperaturer och tryck används, 1300-1600°C respektive 25-60 bar.³² De höga temperaturerna resulterar i en mycket ren produktgas fri från tjära. Vid förgasning av biomassa kommer askans smältpunkt överskridas och aska tas ut som slagg.³³

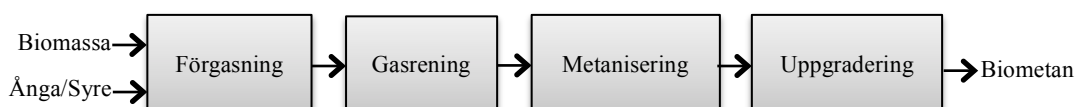
³¹ Basu, 2010

³² Elforsk, 2008

³³ Basu, 2010

3 Systemlösning för metanproduktion

Syftet med rapporten är att utreda potentialen för framställning av metan från förgasning av biomassa, så kallad biometan. Fördelen med biometan som slutprodukt är att den kan användas i konventionella biogasbilar eller matas in på existerande naturgasnät. Biogas Öst har som mål att minst 10 % av regionens drivmedel skall vara biogas/biometan år 2020, vilket motsvarar 3 TWh. Termisk förgasning av biomassa har stor potential och kan bidra till att det uppsatta målet nås. En systemlösning för produktion av biometan via förgasning av biomassa redovisas i figur 4. Ur figur 4 utläses att produktion av biometan från förgasning av biomassa även kräver även rening, metanisering samt uppgradering av syntesgasen.



Figur 4 Enkelt processschema för framställning av metan via förgasning av biobränsle.

3.1 Förgasningsteknik

De tidigare nämnda förgasningsteknikerna har olika egenskaper bland annat vad gäller energiinnehåll och komposition av syntesgas, möjlighet till uppskalning av anläggning, krav på råvara, uppvärmning av reaktorn med mera. För produktion av biometan är några tekniker bättre lämpade än andra. Fastbäddsförgasarna passar bäst för mindre anläggningar på grund av konstruktionen, som inte kan skalas upp över 10 MW_{th}. Det är inte ekonomiskt hållbart att producera biometan i anläggningar av denna storlek varför fastbäddstekniken inte anses vara ett alternativ. Vad gäller flamförgasarna ger dessa en syntesgas med knappt någon andel metan. Flamförgasartekniken är förknippat med mycket höga temperaturer i förgasningsprocessen vilket förhindrar bildningen av metan. Vidare ställs höga krav på bränslet då det måste vara finfördelat, vilket kan skapa problem såväl tekniskt som ekonomiskt. Detta bidrar till att denna teknik inte heller anses lämplig för metanproduktion via förgasning av biomassa.³⁴ Förgasartyp av fluidiserad bädd har en rad fördelar jämfört med fastbädds- och flamförgasare, och därmed störst potential för förgasning av biomassa med metan som slutprodukt. Egenskaper som gör tekniken intressant är:

- Den goda omblandningen mellan bäddmaterial och bränsle ger upphov till en stabil förgasningsprocess med hög kolkonversion och en jämn gaskvalité.
- Då man använder sig av bäddmaterial för uppvärmning av reaktorn krävs ingen tillsättning av syre eller luft i förgasningsreaktorn varför man får en låg utspädning av syntesgasen.
- Tekniken ger ett relativt högt utbyte av metan.
- Utnyttjandet av bäddmaterial är en förutsättning för indirekt förgasning samt att bäddmaterial med katalytiska egenskaper kan väljas.^{35 36}

³⁴ Mozafarrian et al, 2003

³⁵ Värmeforsk, 2010

³⁶ Tunå, 2008

Reaktortyper med fluidiserad bädd-teknik kan i sig konstrueras på många olika sätt, där exempelvis val av tryck, oxidationsmedie och möjlighet till indirekt förgasning bidrar till skillnader i egenskaper inom reaktorkategorin. De systemlösningar som visat sig ha bäst förutsättningar för produktion av biometan är indirekt förgasning vid atmosfärstryck och trycksatt syrgasblåst CFB. Här gäller dock att uppskalning av systemlösningar med indirekt förgasning begränsas av värmeväxlingsrelaterade problem och är därför passande för anläggningar <100 MW_{th}. Syrgasblåsta fluidiserade bädd-system har i detta fall bättre förutsättningar för uppskalning och är lämpliga i anläggningar >100 MW_{th}. Anläggningar som utnyttjar syrgas som oxidationsmedie är dock ofta nettokonsumenter av el trots intern elproduktion via ångturbin, då syrgasproduktionen är en elintensiv process.³⁷

Utöver de ovan nämnda teknikerna lämpliga för produktion av biometan finns ytterligare ett intressant alternativ, nämligen vätgasförgasning. Vätgasförgasning innebär att vätgas matas in i förgasningsreaktorn tillsammans med finfördelad biomassa med maximal fukthalt på 5 %. Förgasning sker vid 30 bars tryck så vätgasen komprimeras innan inmatning och koldioxid tillsätts för att trycksätta biomassan. Vätgasförgasning innebär ett högre utbyte av biometan jämfört med indirekt förgasning och trycksatt förgasning i CFB.

Vätgas antas komma att spela en nyckelroll i framtidens energisystem. Produktion av vätgas kan ske genom elektrolys av vatten, en process som kräver elektricitet. Utnyttjas förnybara energikällor för att driva elektrolysen fungerar den producerade vätgasen som en energibärare av förnybar elektricitet. Vätgasförgasning kan i framtiden komma att användas för att binda vätet kemiskt i metan då transport och lagring av ren vätgas är komplext. Tekniken antas dock vara mer intressant på längre sikt och kommer inte att diskuteras ytterligare i denna rapport.³⁸

3.2 Gasrening

Reningssteget i förgasningsprocessen skall bidra till att ge syntesgasen en specifik sammansättning fri från oönskade produkter. Syntesgasens innehåll efter uttag från förgasningsreaktorn består huvudsakligen av H₂, CO och CH₄ men även en mängd föroreningar, framförallt tjära, partiklar, högre kolväten, alkalimetaller, svavel och klor. Det är viktigt med effektiv rening då alltför höga halter av en förorening kan orsaka problem med anläggningens komponenter samt inverka negativt på efterföljande processer som metanisering och uppgradering.³⁹ Det finns många olika tekniker för rening av syntesgasen. Vissa tekniker är effektivare för rening av ett specifikt ämne varför man i själva reningssteget ofta använder ett antal olika reningsmetoder.

Tjära anses som det ämne som kan orsaka mest problem i en förgasningsanläggning. Det är därför viktigt att syntesgasen innehåller så låga halter av tjära som möjligt. Tjära kan krackas termiskt för reducering av halterna i syntesgasen. Termisk krackning av tjära kräver temperaturer över 1000°C. Sådana temperaturnivåer medför risk för sotbildning vilket inte är en önskvärd produkt i syntesgasen samt att den totala

³⁷ Mozafarrian et al, 2004

³⁸ Mozafarrian et al, 2003

³⁹ Tunå, 2008

verkningsgraden sjunker när gasens temperatur måste höjas efter förgasningssteget.⁴⁰ I stället kan katalytisk krackning utnyttjas där borttagning av tjära sker vid en lägre temperatur. Här tillsätts ett ämne som underlättar nedbrytningen av tjära, en så kallad katalysator. Katalysatorn kan införas i förgasningsreaktorn via bäddmaterialet eller i ett efterföljande reningssteg. Dolomit och olivin har bland annat visat sig ha goda egenskaper för att kunna användas som katalysatorer vid tjärkrackning. Katalytisk krackning har huvudsakligen studerats på forskningsnivå och i dag finns endast ett fåtal kommersiella system som utnyttjar tekniken.⁴¹

Effektiv avlägsning av tjära kan även ske via skrubbrar och genom barriärfilter. Filter fungerar som ett hinder för partiklar och tjära, medan ren gas tillåts flöda fritt igenom filtret. Filtret kan konstrueras så att en specifik partikelstorlek inte tillåts passera. Filtertekniken, likt katalytisk krackning, utnyttjar katalysatorer som fästs på filtret för effektiv nedbrytning av den infångade tjäran. Med tiden byggs dock ett lager av fasta partiklar upp på filterväggen vilket orsakar ett problematiskt tryckfall över filtret. Ett annat problem är risken för kondensering av tjära som med tiden täpper igen filtret och medför att dess renande egenskaper försvinner. För att undvika dessa problem är det viktigt att filtret tvättas vilket kan lösas genom motsatt riktning på gasflödet.^{42 43}

Skrubbrar har också visat sig vara effektiva för borttagning av både tjära och partiklar. En specifik systemlösning kallad OLGA anses vara mycket lovande för framtiden. Tekniken bygger på ett oljebaserat skrubmedium där tjäran kan separeras och recirkuleras in i förgasningsreaktorn. Den nerkyllning av syntesgasen som sker vid kontakt med skrubbermediet i kolonnen medför kondensering av tjära och möjliggör separeringen. I ett andra steg absorberas lättare tjärpartiklar av skrubbermediet. Tjärpartiklarna separeras sedan i en stripper med hjälp av het ånga/luft och den tjärmättade ångan/luften kan sedan användas som fluidiseringsmedium i förgasningsreaktorn. Denna systemlösning medför en högre totalverkningsgrad jämfört med om tjäran inte återvinns, samt att omhändertagning av förorenade tjärflöden undviks.⁴⁴

Partiklar från förgasningsprocessen avlägsnas ofta med hjälp av cykloner där man utnyttjar centrifugalkraften för att separera partiklarna från syntesgasen. Upp till 90 % av partiklarna med storlek ner till 5 μ m kan avlägsnas, samt en del av partiklarna i intervallet 1-5 μ m. Cykloner är robusta och kan användas även vid mycket höga temperaturer. För borttagning av mindre partiklar kan de tidigare beskrivna filter- eller skrubberteknikerna utnyttjas, där filtertekniken är effektivast med rening av partiklar ner till 0.5 μ m.⁴⁵

För borttagning av alkalimetaller, svavel, klor och andra ämnen kan, förutom de ovan nämnda metoderna, adsorption eller absorption vara ett alternativ. Absorption innebär att ett ämne upptas av en gas, vätska eller fast material. Med adsorption menas adhesionen (vidhäftningen) av ett ämne till en yta.⁴⁶ I ett reningssteg kan man här

⁴⁰ Mozafarrian et al, 2004

⁴¹ Zwart, 2009

⁴² Basu, 2010

⁴³ Ma et al, 2005

⁴⁴ Zwart, 2009

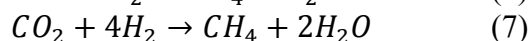
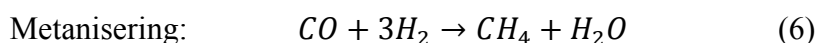
⁴⁵ Rezaiyan et al, 2005

⁴⁶ Atkins et al, 2006

välja absorberer eller adsorbenter som är specifikt anpassade för att binda in eller absorbera de föroreningar som återfinns i syntesgasen.

3.3 Metanisering

Initialt är metanhaltens i den reade syntesgasen någonstans emellan 10-20%, resten av energin återfinns i vätgasen och kolmonoxiden som är syntesgasens huvudbeståndsdelar. Denna halt av metan är otillräcklig för att gasen skall kunna utnyttjas av den gasdrivna fordonsflottan eller vara ett substitut till naturgas inom industrisektorn. För att öka utbytet av metan genomgår syntesgasen en metanisering där en reaktion mellan kolmonoxid och vätgas, som är starkt exoterm, bildar metan och vatten.



I reaktion (6) observeras att kvoten H_2/CO skall vara 3/1 för att metaniseringen skall fortgå optimalt. Innan syntesgasen genomgår metanisering är det därför önskvärt att kvoten mellan vätgas och kolmonoxid ligger så nära 3/1 som möjligt. Detta kan justeras genom att kontrollera vattengasskift-reaktionen, (1) ovan, där man ökar halten av CO eller H_2 på bekostnad av varandra. Justeringen av H_2/CO -kvoten kan antingen göras i eller innan syntesgasen förs in i metaniseringssteget. Oftast är kvoten lägre än 3/1 varför en ökning av H_2 -halten krävs.⁴⁷

I metaniseringen används en nickel-baserad katalysator för att underlätta och öka metanproduktionen. Katalysatorn tål dock inte alltför låga temperaturer då den deaktiveras. Annars gynnas metaniseringen av låg temperatur ($<300^\circ C$) och högt tryck. Låg temperatur är viktigt för att upprätthålla en stabil konversion till metan då alltför höga temperaturer i processteget ger upphov till nedbrytning av den initialt producerade metanen. Eftersom reaktionen är exoterm, och låga temperaturer är en förutsättning för en effektiv metanproduktion, finns stora möjligheter för värmeåtervinning i processteget.⁴⁸

Det finns emellertid några olika systemlösningar för metanisering av syntesgasen. Den som använts mest i kommersiella anläggningar kallas *recirkulerad gasreaktor* och är uppbyggd av en rad seriekopplade reaktorer som arbetar adiabatiskt. För att hålla nere temperaturen absorberas värmen från reaktionerna av recirkulerad syntesgas. Värmen avges sedan som ånga. En annan teknik som kallas *väggkyld reaktor* utnyttjar tuber fyllda med katalysatorer som absorberar värmen från reaktionerna. Fördelen med denna metod är att endast en reaktor krävs för metaniseringsprocessen och att tekniken enkelt kan skalas upp. Dock utsätts katalysatorn i tuben för hög påfrestning och att byta ut katalysatorn är svårt. Med tiden försämras därför katalysatorns kylegenskaper vilket inverkar negativt på metanutbytet i processen. En tredje metod för metanisering kallas *ångstyrd reaktor* där ånga tillsätts i ett flerstegssystem av ihopkopplade reaktorer i vilka metanisering kombinerat med vattengasskift äger rum. Med hjälp av ångan justeras gassammansättningen samtidigt som värme absorberas, vilket är ett kostnadseffektivt

⁴⁷ Heyne, 2010

⁴⁸ Zwart et al, 2006

sätt att återvinna energi på. I och med att ånga utnyttjas krävs heller ingen kompressor för recirkulation av gas eller liknande för att kontrollera temperaturen i processen.⁴⁹

3.4 Uppgradering

Efter metaniseringssteget innehåller produktgasen, förutom metan, även stora mängder koldioxid och vatten samt spår av vätgas och kolmonoxid. Innan produktgasen kan benämnas biometan och därmed ha samma egenskaper som natur- och biogas ställs specifika krav på kvalitet och sammansättning. Därför krävs ett uppgraderingssteg efter metaniseringen, där resterande oönskade ämnen i gasen avskiljs.

Den stora mängd vatten i produktgasen kondenseras genom nedkylning av gasen efter metaniseringssteget och vattnet kan sedan plockas ut. För avskiljning av CO₂ finns en rad olika kommersiella tekniker tillgängliga, bland annat PSA (Pressure Swing Adsorption), absorption och membranseparation.

Separering av CO₂ med PSA bygger på att stora molekyler som koldioxid fastnar på aktivt kol under högt tryck, medan mindre som metan passerar utan påverkan genom materialet. När trycket sedan sänks lossnar koldioxiden från det aktiva kolet och kan tas om hand. En systemlösning med PSA består av flera seriekopplade kolonner som växelvis arbetar med adsorption, trycksänkning, desorption och ökning av trycket, för att processen skall fortlöpa utan uppehåll.

Utnyttjande av absorptionstekniken bygger på att koldioxid är mer lösligt i vatten än metan och att koldioxidens löslighet ökar med trycket. Avskiljning av koldioxid kan därför ske genom att trycksätta gasen och sedan mata in den i en vattenskrubber. Koldioxiden löser sig i vattnet och sköljs ut. Dock krävs en efterföljande flash-tank som sänker trycket och avskiljer den metan som eventuellt lösts sig i vattnet. Absorption kan också ske med hjälp av Selexol som skrubbermedium. Selexol är ett lösningsmedel anpassat för sura gaser, t.ex. koldioxid. Förutom att koldioxid effektivt löser sig i Selexol renas även gasen på vatten och andra föroreningar. Även här krävs en flash-tank då metan delvis är lösligt i Selexol.

Borttagning av koldioxid med membranteknik bygger på att permeabiliteten genom membranet varierar för olika ämnen. Avskiljningen sker vid höga tryck där konstruktionen gör att permeabiliteten är lägst för metan som inte tillåts passera genom membranet. Metan blir därmed kvar på den trycksatta sidan varför en eventuellt efterföljande komprimering av gasen undviks.⁵⁰

⁴⁹ Mozaffarian et al, 2004

⁵⁰ SGC, 2001

4 Råvara

Förgasning är en robust teknik som kan hantera bränslen med varierad sammansättning och egenskaper. I teorin är därför alla kolhaltiga substanser lämpliga som bränsle i en förgasningsanläggning. Biomassa är specifikt intressant som energikälla vid metanproduktion eftersom det resulterar i ett förnybart bränsle. Biomassa definieras enligt Landsbyggsdepartementet som ”material med biologiskt ursprung som inte eller i endast ringa grad omvandlats kemiskt eller biologiskt”.⁵¹ Bränslen framställda från biomassa är förnybara eftersom biomassa ständigt nybildas. Förnybara bränslen genererar inte nettoutsläpp av koldioxid till atmosfären vid förbränning och bidrar därmed inte till växthuseffekten. Detta beror på att den koldioxid som frigörs då biomassa förbränns ingår i den naturliga kolcykeln, vilket innebär att den genom fotosyntes tas upp då biomassa nybildas. Biomassans nybildning medför att den, vid korrekt skötsel, är en förnybar resurs. Användning av biomassa medför därför att man verkar för en trygg energiförsörjning samt minskar beroendet av fossila bränslen. Energiresurser från biomassa är således intressanta ur ett miljö- och hållbarhetsperspektiv. Biobränslen framställs ur biomassa och har goda förutsättningar som råvara vid framställning av biometan. Biobränslen kan baserat på ursprung delas upp i följande kategorier:⁵²

Trädbränslen. I kategorin trädbränslen ingår rester från avverkningen i form av stubbar samt grenar och toppar, vanligen kallat GROT. Till kategorin räknas också resterna bark och spån från massa- och sågindustrin samt returträ.

Avlutar. I massaindustrin kokas träflis i lut för att skapa pappersmassa. Efter kokning silas pappersmassan bort. Kvar i kokvätskan blir lignin och kemikalier. Denna restvätska kallas avlut eller svartlut och förbränns internt i massabruket för el- och värmeproduktion.

Agrara bränslen (åkerbränslen). Denna kategori bränslen kommer från jordbruket. Hit räknas bland annat salix, halm, energigräs, hampa, spannmål, raps och vall.

Biobränsle från avfall. Organiskt avfall som ofta förbränns för el- och/eller värmeproduktion, exempelvis sorterat hushållsavfall, avloppsslam rester från livsmedelsindustrin och slakterier.

Torvbränsle. Utvinns ur torv som klassas som långsamt förnybart i Sverige.

Alla ovanstående biobränslen har olika egenskaper varför vissa har bättre förutsättningar som råvara i en förgasningsanläggning med biometan som slutprodukt. Vad gäller svartlut existerar teknik för förgasning av detta och anläggningen blir automatiskt bunden till massabruket. Tekniken för förgasning av svartlut lämpar sig bäst för framställning av andra sorters drivmedel än biometan då metanutbytet i processen är lågt. Avloppsslam, rester från livsmedelsindustrin, slakterier samt vissa åkerbränslen (ej salix och halm) håller vanligtvis hög fukthalt. Det finns i teorin tekniker för förgasning av dessa substrat, men det kommer ske vid höga temperaturer. Hög temperatur i förgasningsreaktorn innebär lågt utbyte av metan, ibland nästintill obefintligt. I denna rapport antas därför att substrat av denna typ inte är ett alternativ för produktion av biometan. Hög fukthalt på bränslet innebär även betydande transportkostnader, samt att dessa bränslen ofta kan användas för produktion av biogas via rötning. Det råder delade meningar om torvbränslen skall ingå i kategorin biobränslen eller ej. Torv anses som långsamt förnybart på grund av de flera tusen år

⁵¹ Regeringskansliet, 2011

⁵² Bioenergiportalen, 2011

det tar för torven att förnyas. Tvetydigheter kan därför uppkomma om produktion av biometan baseras på torvbränslen. I denna rapport kommer torvbränslen således inte antas vara ett bränslealternativ vid produktion av biometan.

De råvaror som antas vara attraktivast för produktion av biometan är:

- Trädbränsle
- Biobränsle från avfall (utsorterat brännbart avfall)
- Åkerbränslen (salix och halm)

Trädbränslen uppvisar jämn sammansättning, har låga halter av fukt, klor, svavel samt aska och antas vara den råvara som har bäst förutsättningar som bränsle.⁵³ Salix anses närmast ha identiska egenskaper som trädbränsle. Brännbart avfall och halm innehåller större andel klor, svavel och aska jämfört med trädbränslen och salix. Detta innebär att de inte har lika goda förutsättningar som råvara i förgasningsprocessen, men tillräckligt goda egenskaper för att de skall anses utgöra bränslealternativ.⁵⁴ Nedan följer tillvägagångssätt för beräkning och bedömning av potentialen för respektive råvara inom länen i Biogas Öst-regionen.

4.1 Trädbränsle

Trädbränslen kan, baserat på ursprung, delas upp i underkategorierna skogsbränslen och biprodukter från skogsindustrier, samt returträ. Uppskattning av potentialen för tillgång till trädbränsle i respektive län har baserats på statistik för årlig skogstillväxt per hektar skogsproduktiv mark⁵⁵ och arealer för skogsproduktiv mark⁵⁶ inom respektive län. Statistiken är hämtad från riksskogstaxeringen. Baserat på statistiken beräknas den årliga skogstillväxten, som även antas utgöra maximal årlig avverkningsvolym av stamved inom varje län. Med grund i detta antagande kan årligt uttag av GROT och stubbar plus rötter > 5 cm beräknas. Beräkningarna baseras på ett referensscenario från ”Skogliga konsekvensanalyser 2008” som beskriver utvecklingen förutsatt nuvarande ambitioner i skogsskötseln, beslutad miljöpolitik och förändring av klimatet.⁵⁷ I referensscenariot uppskattas tre olika potentialnivåer för GROT och stubbar baserat på inga, ekologiska samt ekonomiska och tekniska begränsningar. Potentialnivån utan begränsningar avser allt skogsbränsle som faller ut vid avverkning. Ekologisk begränsning relaterar till att 20 % av mängden GROT och stubbar lämnas kvar samt att askåterföring skall ske vid betydande uttag. Vidare sker inget uttag i bland annat reservat, torvmarker och blöta marker med låg bärighet. Ekonomiska och tekniska begränsningar innebär att ytterligare 20 % av mängden GROT och stubbar inom bestånd som avverkas lämnas kvar, alltså ett uttag på 60 % av totala mängden GROT och stubbar som i praktiken är tillgängligt. I de ekonomiska och tekniska begränsningarna sker heller inget uttag på ytor mindre än 1 hektar, av just ekonomiska skäl. Dessa nivåer anges i ”Skogliga konsekvensanalyser 2008” som procent av avverkad stamvedsmängd vid föryngringsavverkning samt gallring. I beräkningarna har ett medelvärde av procentsatsen för uttag av GROT och stubbar vid gallring respektive föryngringsavverkning använts, vilket medför ett antagande om att

⁵³ Zwart et al, 2006

⁵⁴ van Paasen et al, 2006

⁵⁵ Riksskogstaxeringen, 2011a

⁵⁶ Riksskogstaxeringen, 2011b

⁵⁷ Skogsstyrelsen och SLU, 2008

föryngringsavverkning och gallring sker i lika stor omfattning vid avverkning inom länen. Beräkningarna baseras på värmevärden från Skogforsk⁵⁸ som för GROT och stubbar är 2.2 MWh/m³sk respektive 2.1 MWh/m³sk. Uppskattad potential för skogsbränsle baserat på olika restriktioner anges i tabell 1. Från uppskattad avverkad stamvedsmängd antas hälften gå till sågverk och andra hälften till pappers- och massaindustri. I sågverk bedöms 50 % av stamvedens biomassa bli till biprodukter såsom spån, bark och flis. I pappers- och massaindustrier antas 10 % av ingående biomassa bli till restprodukter passande för bränsle i en förgasningsanläggning. Utgående från dessa antaganden presenteras även i tabell 1 bränslepotentialen för biprodukter från skogsindustrin. Uppkomna biprodukter från dagens sågverksindustrier utnyttjas ofta i pappers- och massabruk och hur stor del av dessa som kan bli tillgängligt för produktion av biometan via förgasning är osäkert. Framräknad potential från biprodukter från skogsindustrin kan därmed anses ligga högt. I beräkningarna har värmevärdet 1.9 MWh/m³sk använts.⁵⁹

Tabell 1. Potential för skogsbränsle med olika begränsningar angivet per län (TWh/år).

Län	GROT (58 % torrhalt)			Stubbar plus rötter > 5 cm (55 % torrhalt)			Biprodukter från skogsindustrin
	Utan beg.	Ekologisk beg.	Ekonomisk och teknisk beg.	Utan beg.	Ekologisk beg.	Ekonomisk och teknisk beg.	
Stockholm	1,35	0,92	0,60	1,93	1,02	0,64	1.03
Södermanland	1,87	1,27	0,82	2,67	1,41	0,89	1.42
Uppsala	2,17	1,48	0,96	3,10	1,64	1,03	1.65
Västmanland	1,66	1,14	0,73	2,38	1,26	0,79	1.27
Örebro	2,96	2,02	1,31	4,24	2,24	1,41	2.26
Östergötland	3,50	2,39	1,54	5,01	2,65	1,67	2.67

4.2 Åkerbränslen

Åkerbränslen delas in i energiskog (salix), halm, energigräs (rörflen), vall samt oljeväxter. I denna rapport kommer potential uppskattas för salix och halm. Vall och oljeväxter har hög fukthalt och är därmed bättre lämpade för rötning respektive förädling till RME (rapsmetylester). Uppskattning görs heller inte för rörflen då grödan inte antas kunna konkurrera med salix vad gäller avkastning i den aktuella regionen. Potentialer för salix och halm presenteras i tabell 2. Den uppskattade mängden salix tillgänglig idag har beräknats utgående ifrån statistik för andel åkerareal där salix odlas⁶⁰, ett antagande om avkastning på 8 ton TS/ha⁶¹ samt värmevärde på 5 MWh/ton TS.⁶² Den uppskattade salixpotentialen är tagen från en rapport av Börjesson (2001) som bygger på Naturvårdsverkets studie ”Jordbruk 2021” där åkerarealen tillgänglig för energiskog har bedömts. Rapporten tar även hänsyn till regionala variationer i skörd och är grundat på en studie av Linderoth och Båth (1999). Uppskattad nettotillgång och potential för halm är taget från en SLU-rapport, skriven av Bernesson et al (2009), där halmtillgångarna beräknats utifrån halm:kärna-

⁵⁸ Skogforsk, 2011

⁵⁹ Skogforsk, 2011

⁶⁰ Jordbruksverket, 2011

⁶¹ Agrobränsle, 2011

⁶² Svebio, 2011

kvoter samt regionala skördemängder. Halm:kärna-kvoterna bestämdes genom länsvis insamling av plantor och efterföljande avskiljning av agn och kärnor från stråna. Fraktionerna fick sedan genomgå en torkningsprocess varefter vägning av fraktionerna ägde rum för att bestämma mängd torrsbstans. Uppskattad nettotillgång av halm är baserad på bärgningskoefficienter och mängd halm som används inom djurhållningen. Vid beräkningar av halmpotentialen användes värmevärdet 4.8 MWh/ton TS.⁶³ Som jämförelse har en länsvis uppskattad halmpotential av Börjesson (2001) som bygger på Biobränslekommissionen (1992) samt Börjesson & Gustavsson (1996) även inkluderats i tabell 2.

Tabell 2. Potential för åkerbränsle per län (TWh/år).

Län	Salix tillgängligt idag ⁶⁴	Salix, uppskattad potential ⁶⁵	Halm, uppskattad nettotillgång ⁶⁶	Fysisk halmtillgång ⁶⁷	Halm, uppskattad potential ⁶⁸
Stockholm	0.02	0.6	0.06	0.43	0.1
Södermanland	0.08	0.9	0.29	0.8	0.3
Uppsala	0.09	0.9	0.51	1.1	0.3
Västmanland	0.04	0.9	0.32	0.75	0.2
Örebro	0.09	0.9	0.23	0.68	0.2
Östergötland	0.05	1.4	0.63	1.6	0.5

4.3 Avfall

Avfallsstatistik har hämtats från Avfall Sverige som är den svenska branschorganisationen för avfall och återvinning. Avfall Sveriges statistik insamlas genom webbverktyget Avfall Web där aktörer inom avfall och återvinning redovisar behandlade avfallsmängder. Statistiken visar inte var avfallet har uppkommit utan baseras på mottaget avfall på Sveriges behandlingsanläggningar. Det finns därför risk för osäkerheter i den geografiska fördelningen av potentialen för avfall då avfall som uppkommit i ett visst län kan ha transporterats till en avfallsanläggning i ett annat. Avfallsstatistiken är uppdelat mellan fraktionerna deponi, förbränning och biologisk behandling (rötning och kompostering), utifrån hur de behandlas. I potentialberäkningarna för avfall inkluderas endast brännbart avfall. Brännbart avfall utgörs av sorterat hushållsavfall och övrigt avfall, främst industriavfall. Deponiavfall består av oorganiska ämnen då det i Sverige är förbud mot deponering av organiskt avfall. Denna fraktion är därför inte lämplig som bränsle vid förgasning. Fraktionen biologisk behandling inkluderar rötbart och komposterbart avfall. Rötbart avfall har ofta hög fukthalt och är därför inte passande som bränsle vid förgasning med biometan som slutprodukt. Kategorin komposterbart består av källsorterat bioavfall, t.ex. matavfall eller park- och trädgårdsavfall. Även här kan fukthalten vara hög varför det komposterbara avfallet inte heller anses lämpligt som bränsle. I teorin kan mycket av det komposterbara avfallet även rötas för framställning av biogas och

⁶³ Svebio, 2011

⁶⁴ Egen beräkning

⁶⁵ Börjesson, 2001

⁶⁶ Bernesson et al, 2009

⁶⁷ Bernesson et al, 2009

⁶⁸ Börjesson, 2001

biogödsel. Potentialen för avfallsfraktionen brännbart presenteras i tabell 3. Vid beräkningar har värmeverdets 2.8 MWh/ton avfall använts.⁶⁹

Tabell 3. Länsvis behandlade mängder avfall lämpligt för förgasning (TWh/år)

Län	Brännbart avfall
Stockholm	1,10
Södermanland	0,00
Uppsala	0,46
Västmanland	0,04
Örebro	0,21
Östergötland	0,79

⁶⁹ Avfall Sverige, 2008

5 Ekonomisk analys

Förgasning av biomassa för framställning av biometan har ännu inte demonstrerats i stor skala. Erfarenheter finns från själva förgasningsprocessen då naturgas och kol länge varit aktuella som bränsle vid framställning av syntesgas och drivmedel. Utmaningarna vid uppskalning av förgasningsanläggningarna med biomassa som bränsle ligger i att på ett så effektivt sätt som möjligt kombinera de många processalternativ som finns tillgängliga, speciellt vad gäller gasrening, metanisering och uppgradering. Avgörande för en effektiv process är graden av integrering i anläggningen. I många delsteg frigörs värmeenergi som bör återvinnas för att öka verkningsgraden och förbättra anläggningens ekonomi. Sammantaget är det ett antal parametrar som inverkar på om en investering i en förgasningsanläggning är lönsam eller inte. Dessa kan antas vara:

- Avsättning av och pris på biometan
- Avsättning för spillvärme
- Råvarupris
- Tillgång till råvara
- Styrmedel
- Kapitalkostnad

5.1 Avsättning för biometan

Jämn efterfrågan på biometan är avgörande för om uppförande av en förgasningsanläggning skall ske eller inte. Biometan kan användas för el- och värmeproduktion, inom industrin och som drivmedel i transportsektorn. Transportsektorns förbrukning av bränsle uppvisar emellertid inga större variationer över året, till skillnad från till exempel el- och värmebehovet, och kan därför ta emot de mängder biometan som produceras i en förgasningsanläggning. Efterfrågan på fordonsgas i Biogas Öst-regionen förväntas år 2020 vara mellan 1-1,6 TWh beroende på planerade framtida satsningar på gasdrivna bussar, sopbilar, lastbilar och nyregistrerade gasdrivna personbilar.⁷⁰ Detta kan jämföras med Biogas Östs mål om att 10 % av drivmedlen i regionen år 2020 skall vara biogas, vilket resulterar i en efterfrågan på 3 TWh biogas.⁷¹ Jämn avsättning för producerad biometan kan även åstadkommas genom avtal med industrier med stort gasbehov. Industrin står för 35 % av Sveriges naturgasanvändning där gasen utnyttjas i processer såsom torkning, smältning och uppvärmning av vätskor.⁷² Biometan är likvärdigt naturgas och kan därför utnyttjas på samma sätt. Vid stora leveranser av biometan till en industri bör industrin ligga i anslutning till förgasningsanläggningen då distribution av biometan över längre sträckor är kostsamt. Vid stora leveranser av biometan och rimligt avstånd från förgasningsanläggningen kan ett lokalt gasnät konstrueras som möjliggör rörbunden transport av biometan. Ett uppförande av lokala gasnät är kostnadseffektivt vid leveranser från 100 GWh/år och transportavstånd runt 5 mil. Vid större leveranser kan gasnätets längd öka och för leveranser på 1 TWh/år är 20 mils rörbunden transport via lokalt gasnät rimligt. Sverige har för närvarande ett gasledningsnät som sträcker sig från Trelleborg och vidare upp mot västkusten, med grenledningar in mot landet. E.ON har för avsikt att bygga ut gasledningsnätet med en sträckning genom Biogas Öst-regionen som inkluderar städer som Linköping, Norrköping, Eskilstuna,

⁷⁰ Jonerholm et al, 2010

⁷¹ Biogas Öst, 2011

⁷² Svenskt Gastekniskt Center, 2011

Örebro och Västerås.⁷³ En utbyggnad skulle kunna innebära att distribution av biometan underlättas. För kortare transportsträckor och mindre leveranser anses distribution av komprimerad biogas (CBG) på så kallat lastväxlarflak vara det bästa alternativet. I framtiden antas även transport av flytande biogas (LBG) få ökad användning vilket blir kostnadseffektivare än transport av CBG då LBG har mer än dubbelt så högt energinnehåll.⁷⁴

5.2 Avsättning för spillvärme

Avgörande för en anläggnings ekonomi är även potential för avsättning av uppkommen spillvärme. Beroende på spillvärmens kvalitet (tryck och temperatur) kan olika användningsområden vara aktuella. Spillvärmens från en förgasningsanläggning är vanligtvis lågvärdig vilket begränsar användningsområdena. I och med spillvärmens låga kvalitet matas den med fördel in på fjärrvärmenät vilket inverkar på valet av lokalisering för anläggningen. En förutsättning för integrering mellan förgasningsanläggning och fjärrvärmenät är kravet på ett stort värmebehov inom fjärrvärmenätet. Förgasningsanläggningar kan på grund av skalekonomiska skäl inte konstrueras med för låga effekter. Fjärrvärmenät med relativt låga värmebehov är därför inte aktuella för integrering med förgasningsanläggningar. Detsamma gäller fjärrvärmenät vars bränslemix innehåller en betydande mängd spillvärme från industri eller dylikt. Utgör billig spillvärme baslast i ett fjärrvärmenät kommer behovet av extra spillvärme från en förgasningsanläggning bli lägre och problem med avsättning av värmen uppstår. Konkurrerar spillvärmens från förgasning med biokraftvärme eller avfallsförbränning kan det minskade värmeunderlaget från dessa produktionssätt vara ett hinder för avsättning av spillvärmens. Detta gäller specifikt för avfallsförbränning eftersom den bränslebesparing som utnyttjandet av spillvärmens resulterar i snarare bidrar till minskade intäkter i stället för minskade kostnader.⁷⁵ Avsättning av spillvärme under just sommartid utgör ett stort problem. Fjärrvärmens huvudsakliga syfte är uppvärmning av bostäder och lokaler, ett behov som bekant är lågt under årets varmaste tid. En lösning kan vara att i större grad vid lågt värmebehov i fjärrvärmenätet utnyttja överskottsvärmen för förtorkning av biomassa, vilket ökar den totala verkningsgraden. Förtorkning av biomassa under sommartid kräver dock möjlighet till bränsleförvaring, speciellt om förtorkningen avser bränslemängder uppemot årsförbrukningen. Ett annat alternativ är produktion av fjärrkyla genom absorption. Här utnyttjas energin i spillvärmens för att producera komfortkyla som förbättrar inomhusklimatet under sommartid. Absorptionskyla är högintressant då efterfrågan på komfortkyla ökar och elpriset förväntas stiga, samtidigt som man får avsättning för överskottsvärme under perioder med just lågt värmebehov.

Ytterligare ett alternativ för avsättning av spillvärme kan vara integrering med ett kraftvärmeverk. Förgasningsanläggningen är självförsörjande på värme i form av ånga och behöver egentligen inte ett extra värmestillskott från kraftvärmeverket. Det tryck och den temperatur som ångan håller räcker mer än väl för förgasningsanläggningens processer. Den internt producerade ångan i förgasningsanläggningen kan i vissa fall därför utnyttjas effektivare för elproduktion i ett kraftvärmeverk. Kraftvärmeverket kan sedan leverera ånga tillbaka till förgasningsanläggningen, med ett lägre ångtryck mer passande för processerna som

⁷³ E.ON, 2011

⁷⁴ Benjaminsson et al, 2009

⁷⁵ Cronholm et al, 2009

kräver värme i förgasningsanläggningen. För en så hög grad av integrering som möjligt kan ett kraftvärmeverk uppföras i samband med en ny förgasningsanläggning och dimensioneras så att ångan från förgasningsanläggningen kan driva kraftvärmeverket på dellast. På detta vis kan totalverkningsgraden öka något samtidigt som kraftvärmeverket kommer vara i drift samma perioder som förgasningsanläggningen.⁷⁶

5.3 Tillgång till råvara

Tillgång till råvara inverkar kraftigt på produktionskostnaden för biometan i en förgasningsanläggning. De mest intressanta råvarorna för förgasning för Biogas Öst-regionens del är avverkningsrester i form av GROT och stubbar. Potentialen för dessa avverkningsrester är stor och uttaget förväntas öka genom effektivare teknik och logistik samt genom högre biobränslepriser och bättre kunskap om ekologiska konsekvenser som uppstår vid avverkning och uttag av skogsbränsle.⁷⁷ Transport av skogsbränsle från källa till slutanvändning kan vara kostsamt. Transportavståndet för skogsbränsle från avverkning till kund begränsas ekonomiskt då långa transporter på väg inte är lönsamt. Det maximala avståndet för transport med lastbil anses vara 15 mil och vid avstånd längre än 15 mil är järnvägstransporter konkurrenskraftiga, förutsatt tillgång till terminal och effektiv terminalhantering.⁷⁸ Utöver transport av skogsbränsle på väg eller järnväg, vilket oftast sker inom landet, kan import via sjövägen vara ett alternativ. Transport av skogsbränsle via sjövägen inom landet kan ske via hamnar på ostkusten. Län och regioner i norra Sverige har ofta överskott av skogsbränsle varför båttransport till län med stor efterfrågan, framför allt Stockholmsområdet, är lönsamt. Efterfrågan på biobränslen väntas i framtiden även bidra till att långväga sjötransporter av skogsbränsle från länder med stora resurser som Kanada och Ryssland kan bli aktuellt. Då tillgången till råvara är begränsat till områden eller regioner bör hänsyn till närhet och tillgång till råvara tas vid en eventuell lokalisering av en förgasningsanläggning.

5.4 Råvarupris

Biobränslen förutses få en än mer betydande roll i Sveriges framtida energisystem. Betalningsviljan för biobränsle förväntas kunna öka under 10 år till följd av stigande biobränslepriser. Priserna på biobränsle väntas stiga på grund av ökad konkurrens såväl nationellt som internationellt. Den ökade efterfrågan beror främst på målsättningen att försöka lindra växthuseffekten, vilket styrs av styrmedel. I detta arbete utgör biobränslen ett förnybart koldioxidneutralt bränsle lämpligt för utnyttjande i ett hållbart energisystem där det kan ha många användningsområden. Det stora intresset för biobränslen har till viss del även sin grund i viljan att regionalt trygga energiförsörjningen genom att utnyttja inhemska naturresurser. Genom övergång mot ett mer självförsörjande energisystem minskar även beroendet av olja. Priserna på skogsflis för värmeverk har bara under de senaste 10 åren stigit med 78 %.⁷⁹ Då biobränslen i form av skogs- och åkerbränsle antas bli huvudråvaran i processen inverkar bränslepriset kraftigt på produktionskostnaden därmed även vid investeringsbedömningar för förgasningsanläggningar. Vid uppskattningar om

⁷⁶ Fjärrsyn, 2008

⁷⁷ Skogsstyrelsen et al, 2009

⁷⁸ Enström, 2009

⁷⁹ Skogsstyrelsen, 2011

framtida priser för biobränslen hamnar priser för år 2020, uttryckt i dagens priser, runt 230 kr/MWh⁸⁰ vilket kan jämföras med dagens pris på 190-200 kr/MWh⁸¹ för värmeverk. Det stora intresset och ökningen av användandet av biobränsle under 2000-talet i Sverige beror till stor del på elcertifikatsystemet, som infördes 2003 och gjort det attraktivt att basera elproduktionen på biobränsle. Inverkar gör även koldioxid- och energiskatt då biobränsle inte är belastat med dessa skatter och därför ges konkurrensfördelar gentemot andra bränslen. Införandet av koldioxid- och energiskatt förklarar den kraftiga ökningen av biobränsleanvändandet under 1990-talet.

5.5 Styrmedel

Biogas/biometan var tidigare generellt befriade från energi- och koldioxidskatt. Den 1 januari 2011 ersattes skattebefrielsen med möjlighet till avdrag för energi- och koldioxidskatt för producenter av biogas/biometan. I och med att det generella undantaget för energi- och koldioxidskatt upphört blev producenter av biogas/biometan skyldiga att deklarerat energi- och koldioxidskatt. Avdrag för energi- och koldioxidskatt kan göras för biogas/biometan som sålts eller förbrukats som motorbränsle eller som bränsle för uppvärmning. Därmed anses skattebefrielsen för biogas/biometan kvarstå, men för att kunna göra avdragen krävs det att biogasproducenterna blir godkända som lagerhållare för biogas/biometan.⁸² Möjligheten till avdrag för energi- och koldioxidskatt för biogas/biometan bidrar till konkurrensfördelar jämfört med de fossila bränslena och medför en högre efterfrågan på biogas/biometan inom transportsektorn.

Större tankställen är sedan 2006 skyldiga att tillhandahålla ett förnybart drivmedel, och valet har oftast fallit på etanol då installation av en etanolkpump är betydligt enklare och billigare än biogas. Tankställen som är intresserade av att erbjuda ytterligare ett förnybart drivmedel kan ansöka om investeringsstöd för detta. Stödet skall bidra till att stimulera en expanderings av andra förnybara drivmedel än etanol, och biogas/biometan är det bränsle som är mest aktuellt. Nyligen blev det även klart med en förlängning av den framgångsrika reduceringen av förmånsbeskattningen för miljöbilar som haft stor betydelse för de gasdrivna fordonens expansion i Sverige.⁸³ Förmånsbeskattningen anses ha bidragit till att företag och offentliga verksamheter ofta valt att satsa på gasdrivna fordon vilket även ökat andelen gasdrivna fordon på andrahandsmarknaden.⁸⁴

Det som i dag saknas är stimulering tydligt riktad mot produktion av biogas/biometan. Investeringsstöd enligt förordningen om förnybara gaser (SFS 2009:938) för utveckling av teknik för framställning och främjande av klimatneutrala energigas kan sökas men Energimyndighetens förfogande av medel till detta är begränsade. I biogasstrategin (2010:923) framarbetat av Energimyndigheten är fokus riktat mot framställning av biogas genom rötning. Strategin omfattar inte produktion av biometan via termisk förgasning då tekniken anses vara i utvecklingskedet samt att osäkerheter och kunskapsluckor om teknikens inverkan på ekonomin och

⁸⁰ Elforsk, 2008

⁸¹ Energimyndigheten, 2011

⁸² Skatteverket, 2011

⁸³ Energigas Sverige, 2011

⁸⁴ DN, 2011

sysselsättningen existerar. Ett system med kvotplikt för förnybara drivmedel, liknande elcertifikatsystemet har diskuterats. Kvotpliktssystemet skulle innebära att regeringen införde volymkvoter för olika biodrivmedel som distributörer och oljebolag var tvungna att inneha och tillhandahålla för försäljning. För att i framtiden främja utvecklingen av biometan från förgasning skulle det även kunna bli aktuellt med ett riktat produktionsstöd, där man erhåller en specifik summa pengar per producerad energi från biometan alternativt ett system liknande elcertifikatsystemet. Alternativet skulle kunna vara ett investeringsstöd för uppförandet av förgasningsanläggningar.

5.6 Kapitalkostnad

Förgasning av biomassa är just nu i utvecklingsskedet och man får räkna med ett antal decennier innan biometan produceras i kommersiell skala. Det är ofta svårt att uppskatta kapital- och produktionskostnader för tekniker som inte demonstrerats fullskaligt under en längre tid. Kapitalkostnaden för en förgasningsanläggning antas i dagens läge vara mycket hög, dels på grund av anläggningarnas storlek samt brist på kunskap vad gäller utveckling och uppförande av själva anläggningen. Kapitalkostnaden är central vid bedömning om en investering i en förgasningsanläggning är genomförbar eller inte. Kapitalkostnaden beskriver investeringens alla betalningskonsekvenser med avseende på kalkylränta och livstid på förgasningsanläggningen. Med andra ord anger kapitalkostnaden de årliga kostnaderna för investeringen under hela förgasningsanläggningens livslängd. I tabell 4 anges investeringsbelopp för förgasningsanläggningar. Investeringskostnader som anges här får antas vara väldigt osäkra och kan tänkas variera några 10 % -enheter åt båda hållen.

Tabell 4. Investeringsbelopp för trycksatt syreblåst CFB samt indirekt förgasning.

Teknik och anläggningens effekt	Investeringskostnad (Mkr)	Specifik investeringskostnad (kr/kW _{th})
Indirekt förgasning (100 MW _{th})	457 ⁸⁵	4 570
Trycksatt CFB (100 MW _{th})	490 ⁸⁶	4 900

Kapitalkostnaden beräknas med reala annuitetsmetoden där annuitetsfaktorn (k) ges av formeln:

$$k = \frac{p}{1-(1+p)^{-n}}$$

där p = kalkylränta och n = ekonomisk livslängd.

Real kalkylränta sätts till 8 % och ekonomisk livslängd antas vara 20 år. För dessa värden beräknas annuitetsfaktorn till 0,102.

Kapitalkostnaden (K) ges av formeln:

$$K = I * k$$

där I = investeringsbeloppet och k = annuitetsfaktorn.

⁸⁵ Mozaffarian et al, 2003

⁸⁶ Mozaffarian et al, 2003

5.7 Produktionskostnad

Produktionskostnaden (kr/MWh_{biometan}) beräknas enligt formeln:

$$\text{Produktionskostnad} = \frac{\text{Kapitalkostnad} + \text{Råvarukostnad} + \text{Elkostnad} + \text{DoU} - \text{Inkomst spillvärme}}{\text{Mängd producerad biometan}}$$

Genomsnittlig årlig produktionskostnad för en förgasningsanläggning kommer här beräknas utifrån ett antal olika scenarier där tre olika nivåer för råvarukostnad samt mängd spillvärme tillgängligt för avsalu används.

5.7.1 Råvarukostnad

För beräkning av produktionskostnaden används pris för skogsflis som råvarukostnad. Råvaror från skogen har störst potential och skogsflis kan därmed antas utgöra en av huvudråvarorna till förgasning i framtiden. Tre olika prisnivåer för skogsflis ingår i beräkningarna. Prisnivåerna utgör dagens pris (låg) samt medel och hög prisnivå. Dagens pris baseras på Energimyndighetens statistik för trädbränsle- och torvpriser, medelpris baseras på uppskattningar inom BIODONK, bedömning hög prisnivå utgör eget antagande. Prisnivåerna medel och hög är uttryckta i dagens priser. Priserna för skogsflis presenteras i tabell 5.

Tabell 5. Prisnivåer för skogsflis i 3 scenarier.

Bränsle	Låg (kr/MWh)	Medel (kr/MWh)	Hög (kr/MWh)
Skogsflis	200 ⁸⁷	230 ⁸⁸	280 ⁸⁹

5.7.2 Spillvärme

Uppkommen spillvärme i en förgasningsanläggning antas kunna säljas för inmatning på närliggande fjärrvärmenät, till industri eller annan verksamhet med stort värmebehov. Andelen uppkommen spillvärme som kan säljas inverkar på förgasningsanläggningens ekonomi. Vid beräkning av produktionskostnad varierar andelen spillvärme som antas kunna avsättas till försäljning mellan nivåerna 100 %, 50 % samt 25 % av total mängd producerad överskottsvärme. Spillvärmerna antas kunna säljas för 100 kr/MWh.

5.7.3 Elkostnad

En förgasningsanläggning producerar internt elektricitet från uppkommen spillvärme i form av ånga. Den producerade elektriciteten täcker dock inte anläggningens behov varför en kostnad för inköp av el uppstår. Mängden el som behövs köpas in har uppskattats till 2.7 MW_{el} för trycksatt CFB och 2.8 MW_{el} för indirekt förgasning, baserat på en 100 MW anläggning.⁹⁰ I beräkningarna antas elpriset uppgå till 60 öre/kWh. I och med användandet av egenproducerad elektricitet blir verksamheten även kvotpliktig och måste därför varje år inneha en viss mängd elcertifikat i förhållande till elanvändningen.⁹¹ El som produceras från biomassa i en förgasningsanläggning anses förnybar och kan därför bli berättigad tilldelning av

⁸⁷ Energimyndigheten, 2011

⁸⁸ Elforsk, 2008

⁸⁹ Eget antagande

⁹⁰ Mozaffarian et al, 2003

⁹¹ Energimyndigheten, 2011

elcertifikat om anläggningen godkänns av Energimyndigheten. Om anläggningen blir godkänd kan tilldelade elcertifikat utnyttjas för att uppfylla kvotplikten. Beroende på elanvändningens storlek i förgasningsanläggningen kan elcertifikat, utöver de som tilldelas för den interna elproduktionen, behöva köpas för att uppnå innehav av korrekt mängd elcertifikat det aktuella året. Kostnader för elcertifikat inkluderas inte i produktionskostnaden.

5.7.4 Drift och underhåll

Kostnader för drift och underhåll består av en fast och en rörlig kostnad. Den fasta kostnaden uppgår till 2.5 % av investeringskostnaden och den rörliga delen uppgår till 30 kr/MWh_{bränsle}.⁹²

5.7.5 Producerad biometan

Mängd producerad biometan beror på verkningsgraden i förgasningsanläggningen samt antal drifttimmar per år. Verkningsgrad för produktion av biometan samt andel uppkommen spillvärme presenteras i tabell 6.

Tabell 6. Verkningsgrad för biometan, värme samt totalverkningsgrad.⁹³

Teknik	Biometan (%)	Spillvärme (%)	Totalverkningsgrad (%)
Indirekt förgasning	67	23	90
Trycksatt CFB	66	24	90

Förgasningsanläggningen antas vara i drift 7500h/år. I tabell 7 presenteras årlig producerad biometan samt spillvärme för en anläggning med effekten 100 MW_{th}.

Tabell 7. Mängd producerad biometan samt spillvärme för en anläggning med effekten 100 MW_{th} i drift 7500h/år.

Teknik	Biometan (GWh)	Spillvärme (GWh)
Indirekt förgasning	502	172,5
Trycksatt CFB	495	180

5.8 Resultat

Nedan redovisas investeringsbeloppet för olika storlekar på förgasningsanläggningen. För beräkning av investeringsbelopp av anläggningar med andra effekter än de som redovisas i tabell 4 används följande formel:

$$\text{Kostnad } x = \text{Kostnad } y (\text{Effekt } x / \text{Effekt } y)^\alpha$$

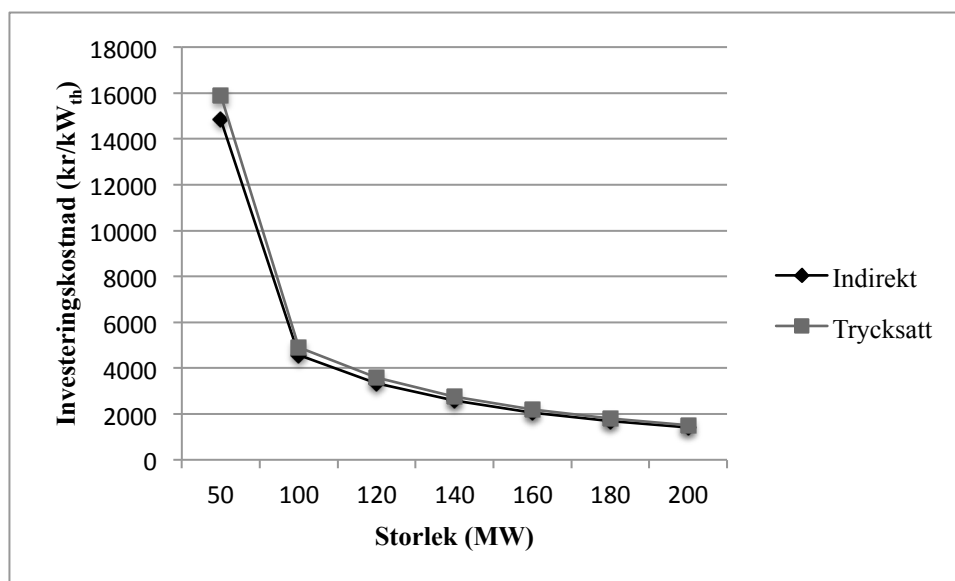
där $\alpha = 0,7$ och står för skalningsfaktor.

I figur 5 presenteras investeringsbeloppet för olika storlekar på förgasningsanläggningen. Det är tydligt att en anläggning med storleken 50 MW_{th} blir avsevärt mycket dyrare räknat i kr/kW_{th} jämfört med anläggningar från 100 MW_{th} och uppåt. Investeringsbeloppet i kr/kW_{th} minskar markant med ökad anläggningsstorlek även vid effekter över 100 MW_{th}. Tekniken med indirekt förgasning är dock, som

⁹² Marbe et al, 2005

⁹³ Mozaffarian et al, 2003

tidigare nämnt, förknippad med begränsningar vad gäller uppskalning och limiteras rent tekniskt till en maximal storlek runt 100 MW_{th}.



Figur 5. Inverkan av anläggningsstorlek på investeringskostnad.

Produktionskostnaden beräknas utifrån parametrar angivna i kapitel 5. Beräkningarna baseras på olika scenarier som bygger på tre nivåer för råvarukostnad respektive andel spillvärme för försäljning. Scenarierna presenteras i tabell 8.

Tabell 8. Scenarier för råvarukostnad och andel spillvärme för försäljning.

Andel spillvärme för försäljning	Råvarukostnad		
	Låg - 200 kr/MWh	Medel - 230 kr/MWh	Hög - 280 kr/MWh
100 %	L-100	M-100	H-100
50 %	L-50	M-50	H-50
25 %	L-25	M-25	H-25

Råvarukostnad och andel spillvärme för försäljning varierar enligt ovanstående vid beräkning av produktionskostnaden. Resterande parametrar hålls konstant. Beräkningarna baseras på en förgasningsanläggning med storleken 100 MW_{th}.

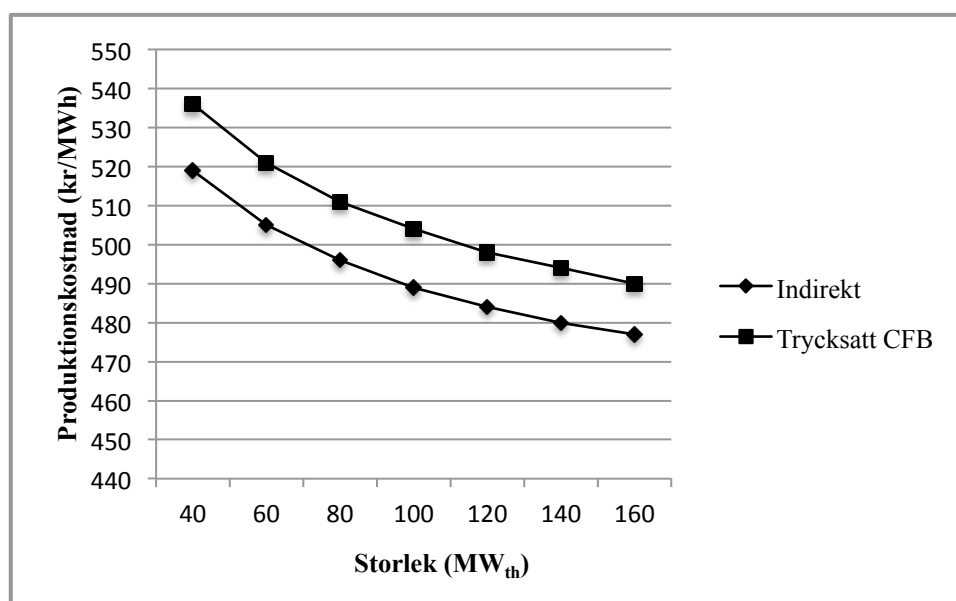
Tabell 9. Produktionskostnad för biometan vid varierad råvarukostnad samt varierad andel spillvärme för försäljning baserat på en anläggning med storleken 100 MW_{th}.

Scenario	Indirekt förgasning (kr/MWh)	Trycksatt CFB (kr/MWh)
L-100	428	435
L-50	445	453
L-25	453	461
M-100	472	480
M-50	490	497
M-25	498	506
H-100	547	555
H-50	564	572
H-25	573	581

I tabell 9 observeras att produktionskostnaden över lag är högre för trycksatt CFB jämfört med indirekt förgasning. Detta beror på en högre investeringskostnad, lägre verkningsgrad samt större elbehov för trycksatt CFB. Nivån på bränslekostnaden inverkar kraftigt på produktionskostnaden. Det skiljer cirka 30 % i produktionskostnad mellan lägsta och högsta nivån på använt pris för skogsflis. Andelen spillvärme som kan avsättas till försäljning, då man jämför 100 % respektive 25 % försäljning av andel producerad spillvärme, innebär en skillnad på 5-6 % i produktionskostnad. Garanti för hög avsättning och försäljning av spillvärme kan därför vara avgörande för ekonomisk balans i en förgasningsanläggning.

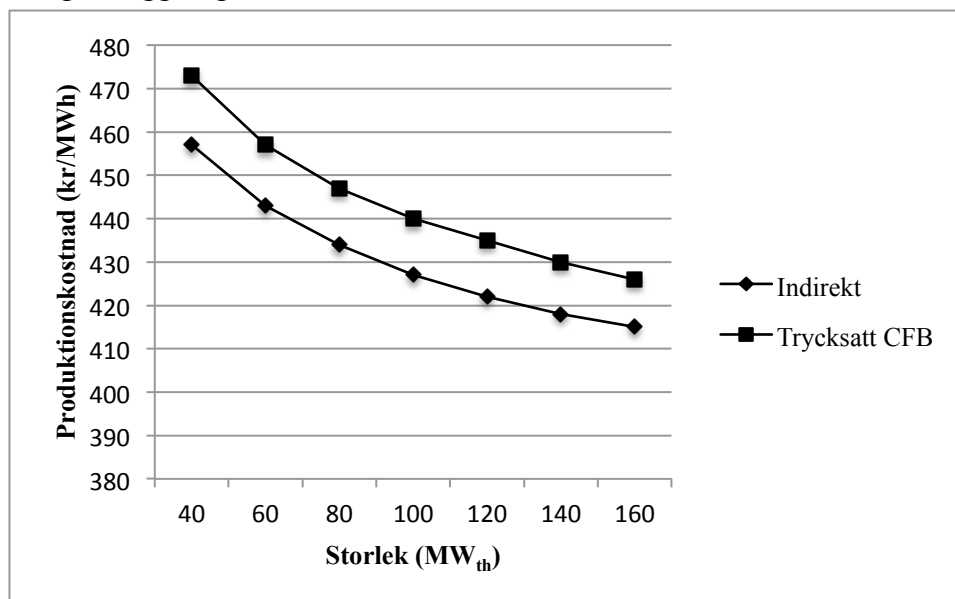
Kapitalkostnaden utgör en stor andel av produktionskostnaden. Som tidigare nämnt är förgasningsanläggningar förknippade med skalekonomiska aspekter och det krävs stora anläggningar för att god lönsamhet skall uppnås. Nedan presenteras produktionskostnaden för olika storlekar på förgasningsanläggningen utifrån scenario M-50.

I figur 6 utläses att produktionskostnaden för biometan varierar mellan 477 kr/MWh och 536 kr/MWh beroende på teknik och anläggningens storlek. Produktionskostnaden för indirekta förgasningsanläggningar över 100 MW_{th} kan antas vara osäkra då den interna värmeväxlingen utgör ett frågetecken och antas leda till problem vid uppförande av anläggningar över 100 MW_{th}. Produktionskostnaden för indirekta förgasningsanläggningar över 100 MW_{th} har ändå valts att inkluderas för att illustrera skillnaden i kostnader mellan teknikerna förutsatt en framtida lösning på problemet med värmeväxling i stora indirekta förgasningsanläggningar.



Figur 6. Inverkan av anläggningens storlek på produktionskostnad utifrån scenario M-50.

I figur 7 presenteras ytterligare produktionskostnader för olika stora förgasningsanläggningar, i detta fall utifrån scenario L-100.



Figur 6. Inverkan av anläggningens storlek på produktionskostnaden utifrån scenario L-100.

Figur 7 uppvisar liknande utseende som figur 6 fast produktionskostnaden är lägre i scenario L-100, som bygger på lägsta bränslekostnaden och 100 % avsättning av spillvärme. För att få en indikation på lönsamheten i en förgasningsanläggning kan produktionskostnaden för biometan jämföras med försäljningspriset för biogas, då försäljning av biometan producerad genom förgasning antas kunna ske till likvärdigt pris. I biogasbranschen används kr/Nm³ (kr/normalkubikmeter) för att belysa kostnaden för gas. En normalkubikmeter står för den mängd gas som upptar volymen en kubikmeter vid trycket 1 bar (normaltryck vid havsnivå). 1 Nm³ biogas (97 % metanhalt) har värmevärdet 9,67 kWh.⁹⁴ Omräknas produktionskostnaden till kr/Nm³ hamnar man mellan 4-4,6 kr/Nm³. Försäljningspriset för biogas vid tiden för skrivande uppgår till cirka 13 kr/Nm³.⁹⁵ För tydlighetens skull redovisas även försäljningspriset i kr/MWh och öre/kWh. Biogasen säljs därmed för 1344 kr/MWh (134,4 öre/kWh) vilket kan jämföras med produktionspriserna i figur 7 som varierar mellan ca 480-540 kr/MWh. Vid enbart hänsyn till här framräknad produktionskostnad och försäljningspris för biogas observeras en vinstmarginal. Det bör tilläggas att distributions- och fraktkostnader inte är inkluderat i produktionskostnaden. Dessa skall därmed täckas av skillnaden mellan försäljningspris och produktionspris vilket innebär att vinstmarginalen blir lägre än vad som observeras här.

Naturgas kan substitueras av biometan och det är därför intressant hur produktionspriset för biometan från förgasning av biomassa står sig mot råvarupriset för naturgas. I skrivande stund uppgår råvarupriset för naturgas till 190 kr/MWh⁹⁶, vilket utgör ungefär hälften av den lägsta framräknade produktionskostnaden för biometan från förgasning. Sveriges nuvarande koldioxidskatt för naturgas vid

⁹⁴ Biogasportalen, 2011

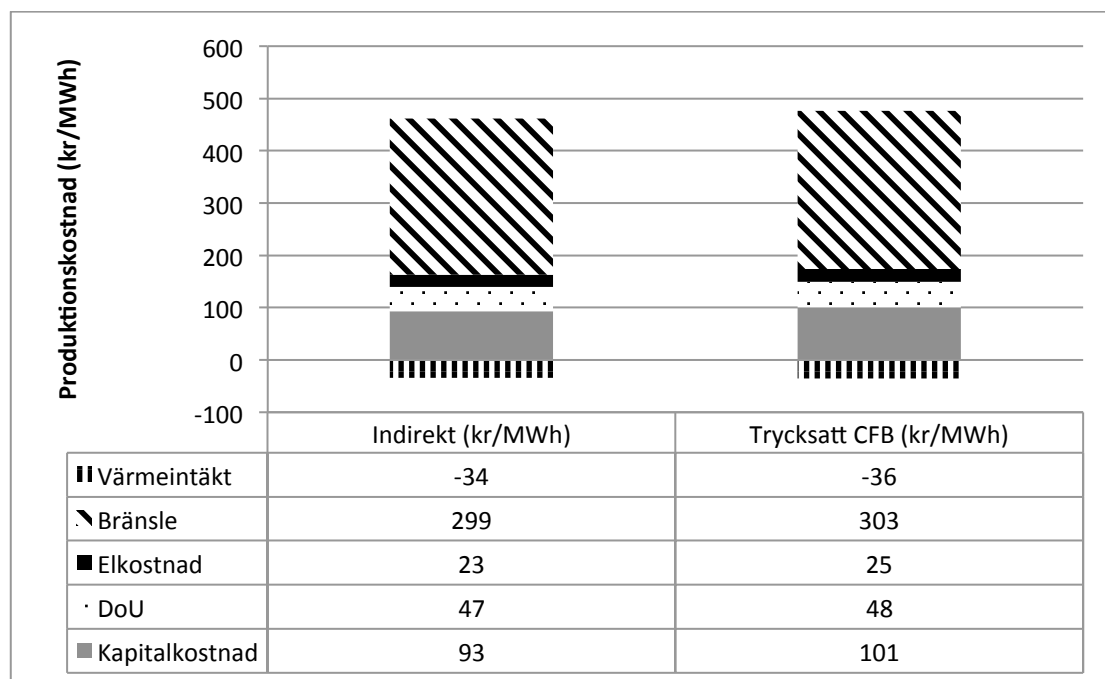
⁹⁵ Gasbilen.se, 2011

⁹⁶ Energy.eu, 2011

användning för drift av motordrivet fordon uppgår till 1581kr/1000 m³⁹⁷, vilket motsvarar 144 kr/MWh baserat på att energiinnehållet i naturgas är 11 kWh/Nm³.⁹⁸ Det totala priset för naturgas då den utnyttjas för drift av motordrivet fordon blir därmed 334 kr/MWh. Jämförs detta med produktionskostnaderna i tabell 9 observeras att koldioxidskatten för naturgas måste höjas med 100-200 kr/MWh för att biometan från förgasning av biomassa skall kunna konkurrera med naturgas inom transportsektorn.

Som jämförelse ligger bensinpriset i skrivande stund på 13,50-14,00 kr/liter inklusive skatter.⁹⁹ Energiinnehållet för 1 liter bensin är 9,06 kWh¹⁰⁰ vilket resulterar i ett bensinpris på cirka 1500 kr/MWh (150 öre/kWh). Bensinpriset är därmed högre än priset för biogas, med avseende på energiinnehåll.

I figur 8 nedan redovisas hur stor del av produktionskostnaden som utgörs av investering, drift och underhåll, elkostnad, bränslekostnad respektive värmeintäkt. De redovisade kostnaderna gäller för anläggningar med storleken 100 MW_{th} samt scenariot L-100. Om ingen hänsyn tas till intäkter från värmeförsäljning kan ur figur 8 utläsas att bränslekostnaden utgör nästan 65 % av den totala produktionskostnaden för biometan. Betydande är även andelen som utgörs av kapitalkostnaden som uppgår till 20 % av total produktionskostnad. Scenariot L-100 bygger på 100 % avsättning av spillvärmen från förgasningsprocessen. I figur 8 observeras en intäkt då spillvärmen antas kunna säljas för 100 kr/MWh. Värmeförsäljningen innebär att produktionskostnaden sjunker med 7 - 8 %. Möjlighet till avsättning av spillvärmen kan därmed med ha stor betydelse för den ekonomiska balansen i en förgasningsanläggning.



Figur 7. Redovisning av produktionskostnadens olika delar utifrån 100 MW_{th} och scenario L-100.

⁹⁷ Skatteverket, 2011

⁹⁸ Biogasportalen, 2011

⁹⁹ Bensinpriser.nu, 2011

¹⁰⁰ Biogasportalen, 2011

Då produktion biometan från förgasning av biomassa ännu inte sker i kommersiell skala är uppskattningar av investeringskostnaden, således kapitalkostnaden, svårbedömda. För att belysa vilken inverkan förändringar av kapitalkostnaden har på produktionspriset för biometan redovisas i tabell 10 beräkningar baserade på värden i figur 8.

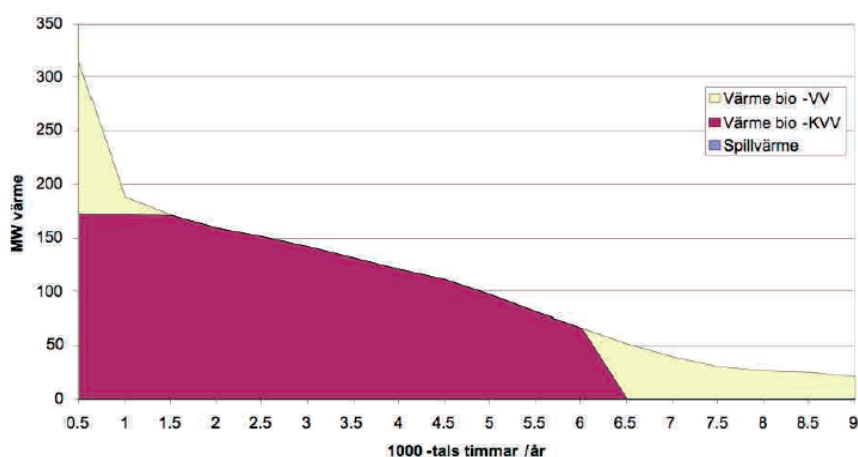
Tabell 10. Kapitalkostnadens inverkan på produktionspriset för trycksatt CFB och scenario L-100.

Förändring av kapitalkostnad (+/- %)	Inverkan på produktionskostnaden (+/- %)
25	5,7
50	11,4

Varje förändring i procent av kapitalkostnaden innebär en ändring av produktionskostnaden med ca 0,23 %.

7 Länsvis analys

I detta kapitel kommer resonemang och beräkningar för potentialen för biometan presenteras inom varje län. Beräkningar för produktion av biometan baseras på antaganden och beräkningar om tillgång till råvara presenterade i kapitel 4 samt verkningsgrader för förgasning angivna i tabell 6. Det antas att all potentiell råvara kan utnyttjas till förgasning varför resultaten av beräkningarna illustrerar och indikerar maximal produktion av biometan inom varje län. Därmed tas ingen hänsyn till andra användare av presenterade råvaror. För skogsbränslen redovisas potentialen som intervall då det i framtiden är osäkert hur stort uttaget av GROT och stubbar kommer att bli. Dock finns i dag möjligheter för ökat uttag av såväl GROT som stubbar, speciellt då stubbbrytning är en relativt ny avverkningsmetod, varför det är rimligt att anta att potentialen ligger i övre halvan av intervallet. Inom varje län har även det största fjärrvärmenätet studerats i syfte att avgöra vilka möjligheter för integrering mellan en eventuell förgasningsanläggning och fjärrvärmenät som existerar. Resonemang om möjlighet till integrering grundas på varaktighetsdiagram för respektive fjärrvärmenät. Varaktighetsdiagrammen belyser värmeproduktionen över året samt vilken typ av bränsle som används för värmeproduktion. Utifrån varaktighetsdiagrammet bedöms om spillvärme kan konkurrera med existerande värmeproduktion fjärrvärmenätet. Ett varaktighetsdiagram för ett hypotetiskt fjärrvärmenät presenteras i figur 9.¹⁰¹



Figur 9. Varaktighetsdiagram för ett hypotetiskt fjärrvärmenät utan spillvärme (Gode et al, 2008).

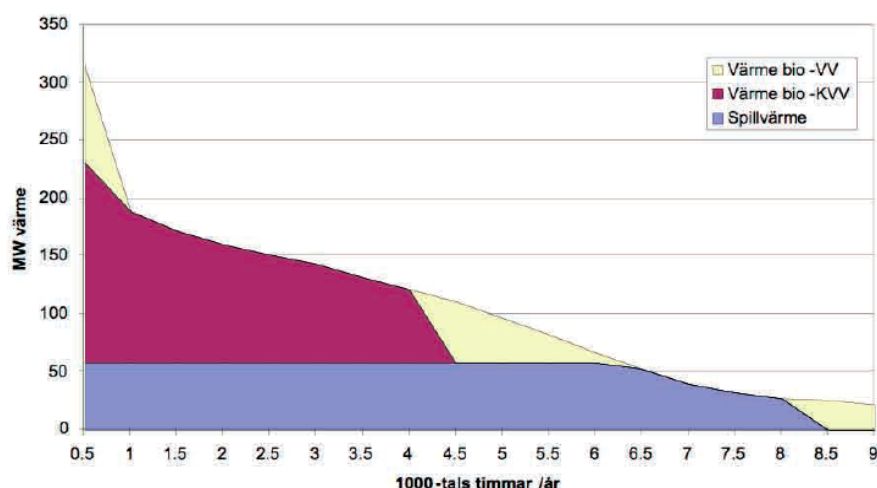
Figur 9 illustrerar hur värmeproduktionen kan se ut i ett fjärrvärmenät. Kraftvärmeverket (bio-KVV) står för den så kallade baslasten då den är i drift flest timmar om året, här även med hög effekt. Resten av värmen produceras i ett värmeverk (bio-VV). Baslasten utgörs ofta av energiproduktion med höga kapitalkostnader men med låga driftskostnader, exempelvis avfallsförbränning. Tvärtom gäller för spetslast som vanligtvis utgörs av energiproduktion med låga kapitalkostnader och höga driftskostnader. En typisk spetslast består ofta av oljepannor.

Vid integrering med en förgasningsanläggning, förutsatt att producerad spillvärme utgör baslast, kommer varaktighetsdiagrammet i figur 9 ändra utseende. I figur 10 illustreras hur spillvärmen förskjuter värme från kraftvärme- och värmeverket uppåt i

¹⁰¹ Gode et al, 2008

varaktighetsdiagrammet.¹⁰² Drifttiden för kraftvärmeverket sjunker på grund av att spillvärmerna från förgasningsanläggningen ersätter värmen tidigare producerad i kraftvärmeverket. Minskad drifttid för ett kraftvärmeverk innebär lägre elproduktion därmed minskade intäkter från elförsäljning samt eventuella elcertifikat. Avvägningen mellan billig spillvärme, exempelvis från förgasning, eller längre drifttid för kraftvärmeverket kan vara komplex. Valet mellan förgasning för produktion av drivmedel eller el- och värmeproduktion via kraftvärme kan antas bero på framtida styrmedel för förnybar elproduktion, oljepris samt riktade styrmedel för förnybara drivmedel.

Utgörs baslasten i ett fjärrvärmenät av annan billig spillvärme eller från förbränning av avfall kan spillvärmerna från en förgasningsanläggning få problem att avsättas. Ett uppförande av en förgasningsanläggning kan inte antas vara aktuell då närliggande fjärrvärmenät redan är försett med värme från avfallsförbränning i den grad att det årliga grundbehovet av värme är täcks. Beroende på försäljningspris kan spillvärme från förgasning antas kunna konkurrera med annan industriell spillvärme.



Figur 10. Varaktighetsdiagram för ett hypotetiskt fjärrvärmenät försett med spillvärme från en förgasningsanläggning för produktion av biometan (Gode et al, 2008).

Om värmebehovet i fjärrvärmenät med avfallsförbränning ökar skulle det möjligen kunna täckas av spillvärme från förgasningsanläggning. Sveriges framtida totala fjärrvärmeleveranser bedöms dock minska till följd av effektiviseringsåtgärder samt ökad konkurrens från värmepumpar. Hur leveranserna ser ut för ett visst bolag beror på prisnivå, utbyggnadsmöjligheter och om regionen expanderar eller minskar. I vissa delar av Sverige kan därför fjärrvärmevolymerna även öka.¹⁰³

Om ett bolag som äger fjärrvärmenät investerar i en förgasningsanläggning och kopplar samman nätet och anläggningen, antas en stor del av investeringen bero på att det finns utrymme för ytterligare spillvärme på fjärrvärmenätet. Aktörer skilda från fjärrvärmebranschen som avser uppföra en förgasningsanläggning behöver i dagens läge avtal med ägare av fjärrvärmenätet om leveranser av spillvärme.

¹⁰² Gode et al, 2008

¹⁰³ Göransson et al, 2009

Spillvärmeleveranser sker därmed endast om fjärrvärmenätets ägare anser att det är lönsamt. Ofta består fjärrvärmeproduktionen till ett nät av avfallsförbränning som baslast och ett kraftvärmeverk som täcker resten av värmebehovet. Integrering med en förgasningsanläggning i ett nät med denna produktionsmix är problematiskt då spillvärmens inte antas kunna konkurrera med avfallsförbränning samt att lägre drifttid på kraftvärmeverket innebär totala minskade intäkter för fjärrvärmebolaget även om billig spillvärme är tillgänglig.

I framtiden antas fjärrvärmenäten öppnas för tillträde för enskilda aktörer och inte bara för nätets ägare.¹⁰⁴ Principen kalla tredjepartstillträde. Därmed kan enskilda aktörer som investerar i förgasning sälja spillvärmens direkt till kund utan hänsyn till dagens nätägare. På detta vis ökar konkurrensen inom nätet och den relativt billiga spillvärmens från förgasningsprocessen kan lättare avsättas för försäljning.

7.1 Stockholms län

En sammanställning av råvarupotentialen för Stockholms län redovisas i tabell 10 och möjlig produktion av biometan utifrån råvarupotentialen presenteras i tabell 11.

Tabell 11. Råvarupotential för Stockholms län (TWh/år).

GROT	Stubbar	Biprodukter skogsindustrin	Salix	Halm	Avfall	Totalt
0,6 - 1,35	0,64 -1,93	1,03	0,6	0,1	1,1	4 - 6,1

Tabell 12. Potential för produktion av biometan från förgasning av biomassa i Stockholms län (TWh/år).

Teknik	GROT	Stubbar	Biprodukter från skogsindustrin	Salix	Halm	Avfall	Totalt
Indirekt	0,4 - 0,91	0,43 - 1,3	0,69	0,4	0,07	0,74	2,7 - 4,1
CFB	0,39 - 0,89	0,43 - 1.28	0,68	0,4	0,07	0,73	2.7 - 4

Användningen av biobränsle i Stockholms län är i dag omfattande. För el- och värmeproduktion uppgick mängden biobränsle till 5 TWh år 2008.¹⁰⁵ Detta innebär att användandet av biobränsle år 2008 inom sektorn el- och värmeproduktion ligger i nivå med den totala råvarupotentialen för länet. Framtida ökad efterfrågan kan för Stockholms läns del innebära ett stort regionalt underskott av biobränsle. En lösning kan vara ökad import från Norrland som har överskott på biobränsle eller från utlandet med båttransport, något som Stockholms län med sitt kustläge har goda förutsättningar för.¹⁰⁶

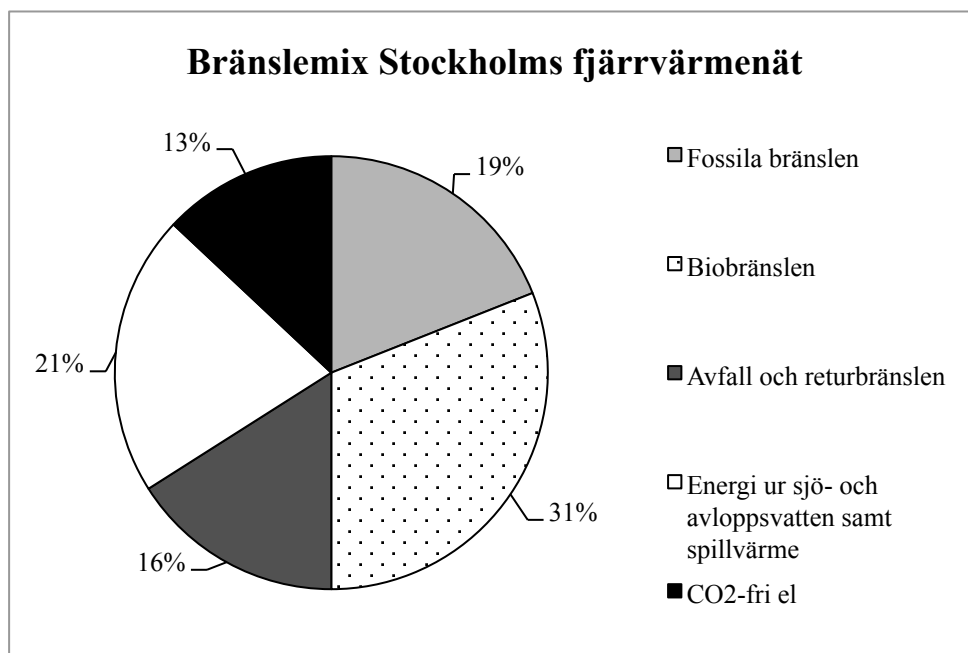
Fortum äger Stockholms fjärrvärmenät som är Sveriges största med avseende på värmeleveranser. Fortum valde att inte lämna ut varaktighetsdiagram för sitt nät och en bedömning av möjligheterna till integrering med en förgasningsanläggning görs i stället utifrån bränsemix i fjärrvärmeproduktionen. Bränsemixen för fjärrvärmeproduktionen i Stockholms nät presenteras i figur 11.¹⁰⁷

¹⁰⁴ SOU, 2011

¹⁰⁵ Svensk Fjärrvärme, 2011

¹⁰⁶ Börjesson, 2001

¹⁰⁷ Fortum, 2011



Figur 11. Bränslemix för Stockholms fjärrvärmenät (Fortum 2011).

I figur 11 utläses att bränslemixen till stor del består av energi ur sjö- och avloppsvatten, spillvärme, avfall samt returbränslen. Dessa antas utgöra baslasten och står för närmare 34 % av fjärrvärmeproduktionen. Spillvärme från en förgasningsanläggning antas i dagens läge endast kunna konkurrera med annan befintlig spillvärme, ej med avfallsförbränning samt energi ur sjö- och avloppsvatten, och en integrering mellan Stockholms nät och en eventuell anläggning är därför begränsade. Biobränsle utnyttjas för kraftvärme och Fortum har stora planer för framtida utbyggnad av kraftvärmeproduktion i fjärrvärmenätet. Detta innebär att värmebehovet täcks ytterligare och avsättning av spillvärmens försvåras. Fossila bränslen och CO₂-fri el antas utgöra spetslast i fjärrvärmeproduktionen och konkurrerar därför inte med spillvärmens från förgasning. I frånvaron av varaktighetsdiagram blir en bedömning om spillvärme från förgasning skulle kunna konkurrera med annan värmeproduktion i nätet svår. Stockholmsregionen expanderar dock kraftigt och det framtida värmebehovet kan därför antas öka.

Utifrån behovet av fordonsgas skulle en förgasningsanläggning med fördel kunna lokaliseras i länet. Stockholms läns efterfrågan på fordonsgas bedöms år 2020 uppgå till ca 550 GWh.¹⁰⁸ Det motsvaras av en anläggning på drygt 100 MW_{th}, som vid 7500 h drifttid ger upphov till cirka 180 GWh spillvärme. År 2008 levererade Fortum 8 TWh fjärrvärme till sina kunder.¹⁰⁹ Jämförs andel uppkommen spillvärme från en anläggning på 100 MW_{th} med Fortums värmeleveranser i Stockholms fjärrvärmenät observeras att spillvärmens endast utgör 2,2 % av de totala värmeleveranserna 2008. Baserat på detta antas det finnas förutsättningar för avsättning av värmen. Med antagande om pris på 200 kr/MWh för skogsflis och försäljning av all uppkommen spillvärme i en 100 MW_{th} anläggning uppskattas produktionskostnaden för biometan i Stockholms län till 430 - 440 kr/MWh, beroende på produktionsteknik.

¹⁰⁸ Jonerholm et al, 2010

¹⁰⁹ Svensk Fjärrvärme, 2011

7.2 Södermanlands län

En sammanställning av råvarupotentialen för Södermanlands län redovisas i tabell 12 och möjlig produktion av biometan utifrån råvarupotentialen presenteras i tabell 13.

Tabell 13. Råvarupotential för Södermanlands län (TWh/år).

GROT	Stubbar	Biprodukter skogsindustrin	Salix	Halm	Avfall	Totalt
0,82 – 1,87	0,89 – 2,67	1,42	0,9	0,3	0	4,3 – 7,2

Tabell 14. Potential för produktion av biometan från förgasning av biomassa i Södermanlands län (TWh/år).

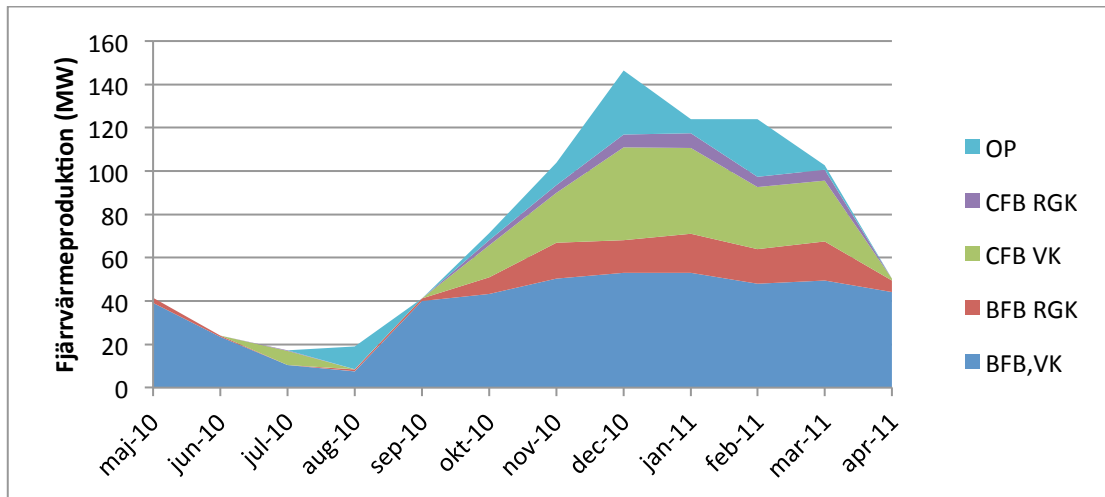
Teknik	GROT	Stubbar	Biprodukter från skogsindustrin	Salix	Halm	Avfall	Totalt
Indirekt	0,55 – 1,25	0,43 – 1,3	0,69	0,6	0,2	0	2,47 – 4
CFB	0,54 – 1,23	0,43 – 1,28	0,68	0,59	0,2	0	2,44 – 3,98

Enligt statistiken från Avfall Sverige behandlas inget brännbart avfall i Södermanland varför potentialen här blir noll. Sett till övriga läns behandlade mängder avfall kan potentialen för brännbart avfall med ursprung i Södermanland grovt uppskattas till 0,5 TWh. I Södermanlands län uppgick mängden biobränsle för el- och värmeproduktion till nästan 1,3 TWh år 2008.¹¹⁰ Råvarupotentialen är långt mycket högre varför det finns gott om utrymme för ökat användande av biomassa i länet.

Största fjärrvärmenätet i Södermanland återfinns i Eskilstuna och ägs av Eskilstuna Energi och Miljö. Energitillförsel för fjärrvärmeproduktion för perioden i varaktighetsdiagrammet (figur 12) uppgick till 954 GWh.¹¹¹ Vintern 2010 – 2011 var väldigt kall varför leveranserna var högre än normalt. Värmen produceras i ett fliseldat kraftvärmeverk som vid behov spetsas med olja. Ingen spillvärme matas in på fjärrvärmenätet och avfallsförbränning förekommer inte. Det finns därför goda förutsättningar för integrering mellan Eskilstunas fjärrvärmenät och en förgasningsanläggning. Vid en integrering kommer förgasningsanläggningen utgöra baslast för värmeproduktion till fjärrvärmenätet och spillvärmen för 100 kr/MWh från förgasningsprocessen kan antas vara ett billigare alternativ än flisbaserad värme från kraftvärmeanläggningen.

¹¹⁰ Svensk Fjärrvärme, 2011

¹¹¹ Eskilstuna Energi & Miljö, 2011



Figur 12. Varaktighetsdiagram för Eskilstunas fjärrvärmenät. OP=oljepanna. CFB=cirkulerad fluidiserad bädd. BFB=bubblande fluidiserad bädd. RGK=rökgaskondensering (Eskilstuna Energi och Miljö, 2011).

Ur varaktighetsdiagrammet i figur 12 utläses att baslasten i Eskilstunas fjärrvärmenät utgörs av förbränning av flis i en bubblande fluidiserande panna (BFB, VK). Då värmebehovet är stort (ej juni, juli och augusti) står baslasten för en värmeproduktion på 420 GWh.

Görs antagandet om att denna värme skall ersättas av spillvärme från en förgasningsanläggning uppskattas anläggningens storlek till 230 MW_{th}, baserat på verkningsgraden för en trycksatt CFB, 100 % avsättning av uppkommen spillvärme samt 7500 h drifttid. 230 MW_{th} är en mycket stor anläggning som kräver ca 1,7 TWh biomassa per år. Anläggningen skulle leverera uppemot 1,1 TWh biometan per år och därmed kunna täcka hela Biogas Öst-regionens efterfrågan på fordonsgas år 2020. Uppförande av en anläggning med denna storlek är i dagens läge orealistiskt då förgasningsprocessen skulle behöva mer biomassa än vad det används biobränsle för el- och värmeproduktion per år i Södermanland i nuläget. Storleken på en förgasningsanläggning som integreras med Eskilstunas fjärrvärmenät antas därför inte begränsas av hur mycket spillvärme som kan avsättas utan snarare tillgång till biomassa samt konsekvenserna av minskad elproduktion i kraftvärmeverket till följd av kortare drifttid.

En rimlig storlek på förgasningsanläggning med anslutning till Eskilstunas fjärrvärmenät kan i stället antas vara 85 MW_{th}. Med indirekt förgasning och 7500 h drifttid kommer en sådan anläggning producera nästan 430 GWh biometan och ge upphov till 150 GWh spillvärme. 150 GWh spillvärme motsvaras av fjärrvärmeproduktion på 20 MW i 7500 h. Relateras detta till varaktighetsdiagrammet i figur 11 observeras att spillvärmens från en anläggning med 85 MW_{th} antas få avsättning året runt. Produktionskostnaden för indirekt förgasning, med en bränslekostnad på 200 kr/MWh samt 100 kr/MWh i intäkter för all uppkommen spillvärme, uppgår till 428 kr/MWh.

7.3 Uppsala län

En sammanställning av råvarupotentialen för Uppsala län redovisas i tabell 14 och möjlig produktion av biometan presenteras i tabell 15.

Tabell 15. Råvarupotentialen för Uppsala län (TWh/år).

GROT	Stubbar	Biprodukter skogsindustri	Salix	Halm	Avfall	Totalt
0,96 – 2,17	1,03 – 3,1	1,65	0,9	0,3	0,46	3,65 – 6,93

Tabell 16. Potential för produktion av biometan från förgasning av biomassa i Uppsala län (TWh/år).

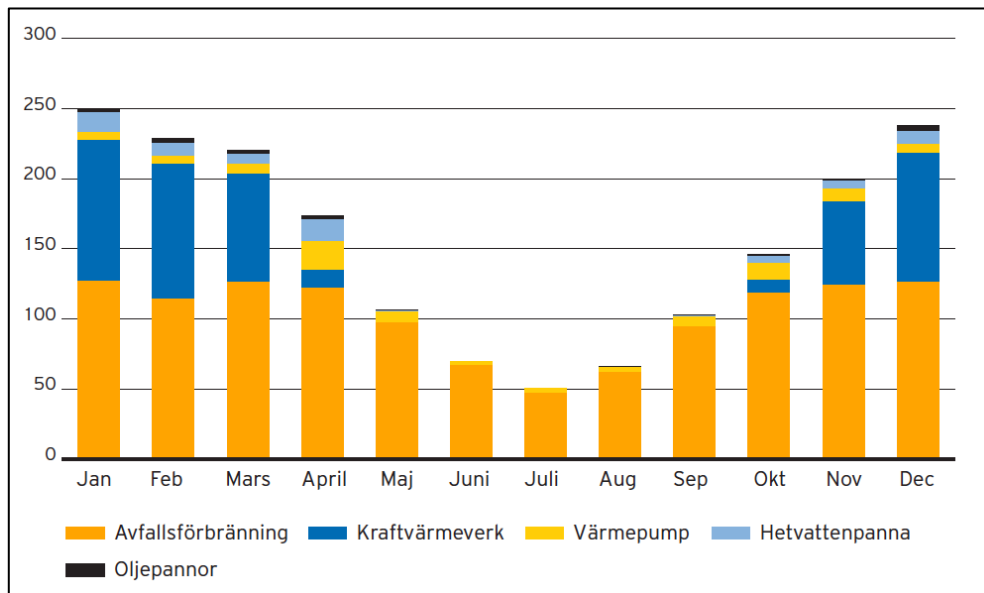
Teknik	GROT	Stubbar	Biprodukter från skogsindustrin	Salix	Halm	Avfall	Totalt
Indirekt	0,64 – 1,45	0,69 – 2,08	1,1	0,6	0,2	0,31	2,44 – 4,64
CFB	0,63 – 1,43	0,68 – 2,05	1,09	0,59	0,2	0,31	2,41 – 4,58

I Uppsala län användes 0,64 TWh biobränsle för el- och värmeproduktion år 2008.¹¹² Råvarupotentialen är mycket högre vilket möjliggör en framtida ökning i användningen av biobränsle.

Uppsala läns största fjärrvärmenät finns i Uppsala och ägs av Vattenfall AB. År 2009 levererades 1377 GWh fjärrvärme som till största delen producerades i en anläggning för avfallsförbränning och i ett kraftvärmeverk. I figur 13 återfinns ett varaktighetsdiagram för Uppsalas fjärrvärmenät där värmeproduktion (GWh) för år 2009 illustreras per månad.¹¹³ I varaktighetsdiagrammet observeras tydligt att avfallsförbränningen dominerar värmeproduktionen. Avfallet kommer huvudsakligen ifrån Uppland, Södermanland och Västmanland. Viss import sker även från Norge, Åland och Holland. I och med omfattande avfallsförbränningen och därmed, tillgång till billig värme, kan det i Uppsalas fjärrvärmenät bli svårt att få avsättning för spillvärme från en förgasningsanläggning. Förbränning av avfall kommer inte stå tillbaka för en förgasningsanläggning vilket betyder att spillvärmen från förgasningsprocessen hamnar över värmeproduktion från avfall i varaktighetsdiagrammet. Förgasningsanläggningen kommer därmed inte få tillräckligt med drifttid för att lönsamhet skall nås. Ett alternativ är att utnyttja en del avfallet för förgasning och i stället öka drifttiden för kraftvärmeverket för att täcka värmeförlusten som uppstår då avfallet förgasas. Sommartid produceras fjärrkyla i anläggningen för avfallsförbränning vilket även ger möjligheter för avsättning av spillvärme från förgasningsprocessen då värmebehovet är lågt.

¹¹² Svensk Fjärrvärme, 2011

¹¹³ Vattenfall AB, 2011



Figur 13. Varaktighetsdiagram för Uppsala fjärrvärmenät år 2009. Fjärrvärmeleveranser GWh/månad (Vattenfall, 2011).

En viss andel av det avfall som i dag förbränns för fjärrvärmeproduktion till Uppsalas fjärrvärmenät kan också samförigas med trädbränslen. Då behöver det inte uppstå en minskning i värmeproduktionen, förutsatt tillräckligt stor förgasningsanläggning och tillgång till trädbränslen. Antas 20 % av avfallet, som i nuläget skulle förbränts med antagande om 80 % värmeverkningsgrad, i stället utnyttjas för produktion av biometan måste förgasningsanläggningen förse Uppsalas fjärrvärmenät med 170 GWh. Detta motsvaras av en förgasningsanläggning med storleken 94 MW_{th}. Antas bränslekostnaden uppgå till 200 kr/MWh och att all spillvärme kan säljas för 100 kr/MWh beräknas produktionskostnaden till 430-440 kr/MWh. Bränslekostnaden, därmed produktionskostnaden, antas här vara högre än det verkliga fallet då en stor del av den inmatade råvaran består av avfall som vanligtvis är billigare än skogsflis.

7.4 Västmanlands län

En sammanställning av råvarupotentialen för Västmanlands län redovisas i tabell 16 och möjlig produktion av biometan presenteras i tabell 17.

Tabell 17. Råvarupotential för Västmanlands län (TWh/år).

GROT	Stubbar	Biprodukter skogsindustri	Salix	Halm	Avfall	Totalt
0,73 – 1,66	0,79 – 2,38	1,27	0,9	0,2	0,04	3,87 – 6,45

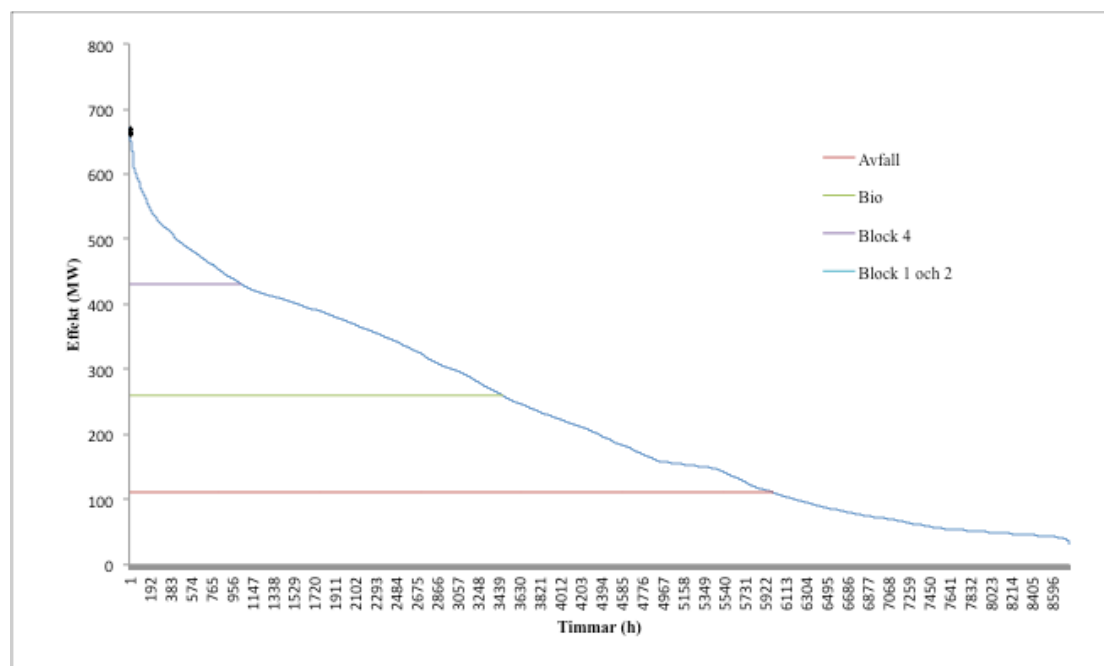
Tabell 18. Potential för produktion av biometan från förgasning av biomassa i Västmanlands län (TWh/år).

Teknik	GROT	Stubbar	Biprodukter från skogsindustrin	Salix	Halm	Avfall	Totalt
Indirekt	0,49 – 1,11	0,53 – 1,60	0,85	0,60	0,13	0,03	2,63 – 4,62
CFB	0,48 – 1,10	0,52 – 1,57	0,84	0,59	0,13	0,03	2,59 – 4,26

I Västmanlands län användes 1,3 TWh biobränslen för el- och värmeproduktion år 2008.¹¹⁴ Råvarupotentialen är minst det tredubbla och det finns därför utrymme för en ökning av biobränsleanvändandet i länet.

¹¹⁴ Svensk fjärrvärme, 2011

Västmanlands största fjärrvärmenät finns i Västerås och ägs av Mälarenergi. Fjärrvärmeproduktionen sker i Sveriges största kraftvärmeverk och förbränningen kommer i framtiden huvudsakligen baseras på den nya pannan för avfall samt existerande förbränning av biobränsle. Utöver block för förbränning av avfall och biobränsle finns även block där bränslet baseras på torv och kol. I figur 14 redovisas ett hypotetiskt varaktighetsdiagram baserat på fjärrvärmeproduktionen till Västerås nät år 2010.¹¹⁵



Figur 14. Varaktighetsdiagram för Västerås fjärrvärmenät (Mälarenergi, 2011).

Figur 14 visar att den framtida fjärrvärmeproduktionen i Västerås kommer domineras av avfallsförbränning, samt förbränning av biobränsle. Vid större värmebehov utnyttjas Block 4 samt Block 1 och 2, där värmeproduktionen huvudsakligen baseras på kol, torv och tallbeckolja. Fjärrvärmeproduktionen är på årsbasis som lägst 30 MW. Om en förgasningsanläggning skall antas täcka ett konstant värmebehov på 30 MW krävs en anläggning i storleksordningen 125 MW_{th}, baserat på året runt-drift. Utnyttjas en del av avfallet som skulle förbränts i förgasningsanläggningen kan bränslekostnaden, därmed produktionskostnaden, sänkas jämfört med om förgasningen endast använder trädbränslen som råvara. Antas en 125 MW_{th} förgasningsanläggning uppföras i anslutning till Västerås fjärrvärmenät bedöms produktionskostnaden till 430 kr/MWh, men lägre om en stor andel avfall kan bli tillgängligt som råvara. Med 7500 h drifttid och trycksatt CFB som vald teknik kommer anläggningen behöva 937 GWh bränsle och producera 618 GWh biometan per år.

¹¹⁵ Mälarenergi, 2011

7.5 Örebro län

En sammanställning av råvarupotentialen för Örebro län redovisas i tabell 18 och möjlig produktion av biometan presenteras i tabell 19.

Tabell 19. Råvarupotential för Örebro län (TWh/år)

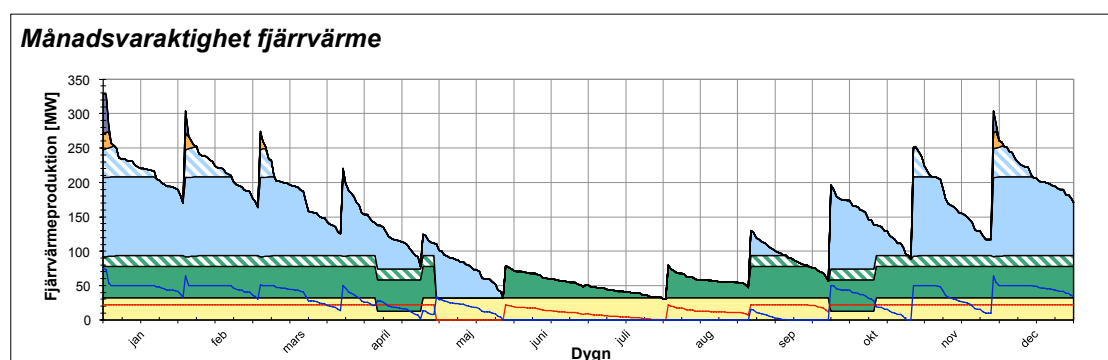
GROT	Stubbar	Biprodukter skogsindustri	Salix	Halm	Avfall	Totalt
1,31 – 2,36	1,41 – 4,24	2,26	0,90	0,20	0,21	6,30 – 10,2

Tabell 20. Potential för produktion av biometan från förgasning av biomassa i Örebro län (TWh/år).

Teknik	GROT	Stubbar	Biprodukter från skogsindustrin	Salix	Halm	Avfall	Totalt
Indirekt	0,88 – 1,98	0,95 – 2,84	1,51	0,60	0,13	0,14	4,20 – 7,20
CFB	0,86 – 1,95	0,93 – 2,80	1,49	0,59	0,13	0,14	4,14 – 7,10

I tabell 18 observeras att Örebro län har stora skogliga resurser där stubbrytning har störst potential. Örebro län använde år 2008 1,1 TWh biobränsle för el- och värmeproduktion. Detta kan jämföras med råvarupotentialen på 6,3 – 10,2 TWh/år vilket innebär att utnyttjandet av biomassa i framtiden kan öka.

Länets största fjärrvärmenät finns i Örebro och ägs av E.ON. Figur 15 visar ett hypotetiskt varaktighetsdiagram år 2013 för Örebros fjärrvärmenät där fjärrvärmeproduktionen uppgår till 1193 GWh.¹¹⁶ Baslasten (gult fält) utgörs av spillvärme från SAKAB, som förbränner farligt avfall. Det gröna fältet utgör fjärrvärmeproduktion från en ny biobränslepanna, Bio 70, i Åbyverket (kraftvärme) som tas i drift 2013. Det gröna streckade fältet består av fjärrvärmeproduktion från rökgaskondensering i Bio 70 och utnyttjas endast då värmebehovet är större. Ljusblått fält utgör fjärrvärmeproduktion i en ångpanna eldad med biobränsle och torv.



Figur 15. Varaktighetsdiagram för Örebros fjärrvärmenät år 2013 (E.ON Örebro, 2011).

Spillvärme från en förgasningsprocess antas inte kunna konkurrera med värmen som levereras från SAKAB. Den verksamhet med förbränning av farligt avfall som SAKAB bedriver är ovanlig och värmeleveranserna från SAKAB antas inte minska. Om spillvärme från en förgasningsanläggning skall avsättas i Örebros fjärrvärmenät hamnar den således ovanför SAKABs värmeproduktion i varaktighetsdiagrammet. Enligt varaktighetsdiagrammet ovan producerar SAKAB och pannan Bio 70

¹¹⁶ E.ON Örebro, 2011

exklusive rökgaskondensering totalt 264 MWh respektive 319 MWh under året. En 100 MW_{th} förgasningsanläggning med 7500 h drifttid genererar enligt tabell 7 mellan 170 – 180 MWh spillvärme per år. Avsättning av sådana mängder spillvärme innebär lägre behov av värme från SAKAB och/eller kraftvärmeverket.

En möjlig integrering mellan Örebros fjärrvärmenät och en förgasningsanläggning antas bli komplicerad och endast genomförbar med en relativt liten förgasningsanläggning. Dock skulle en större förgasningsanläggning, med avseende på värmeproduktionen, innebära att äldre pannor i kraftvärmeverket kan fasas ut.

Utifrån figur 15 antas utrymme för ytterligare 15 MW spillvärme till Örebros fjärrvärmenät vara möjligt. Då behövs en anläggning med storleken 65 MW_{th} som årligen kräver 490 GWh råvara och producerar 322 GWh biometan. En sådan anläggning antas kunna avsätta all uppkommen spillvärme till Örebros fjärrvärmenät utifrån en drifttid på 7500 h om året. Produktionskostnaden beräknas därmed till 440 kr/MWh.

7.6 Östergötlands län

En sammanställning av råvarupotentialen för Östergötlands län redovisas i tabell 20 och möjlig produktion av biometan presenteras i tabell 21.

Tabell 21. Råvarupotential för Östergötlands län (TWh/år)

GROT	Stubbar	Biprodukter skogsindustri	Salix	Halm	Avfall	Totalt
1,54 – 3,50	1,67 – 5,01	2,67	1,40	0,50	0,79	8,57 – 13,87

Tabell 22. Potential för produktion av biometan från förgasning av biomassa i Östergötlands län (TWh/år).

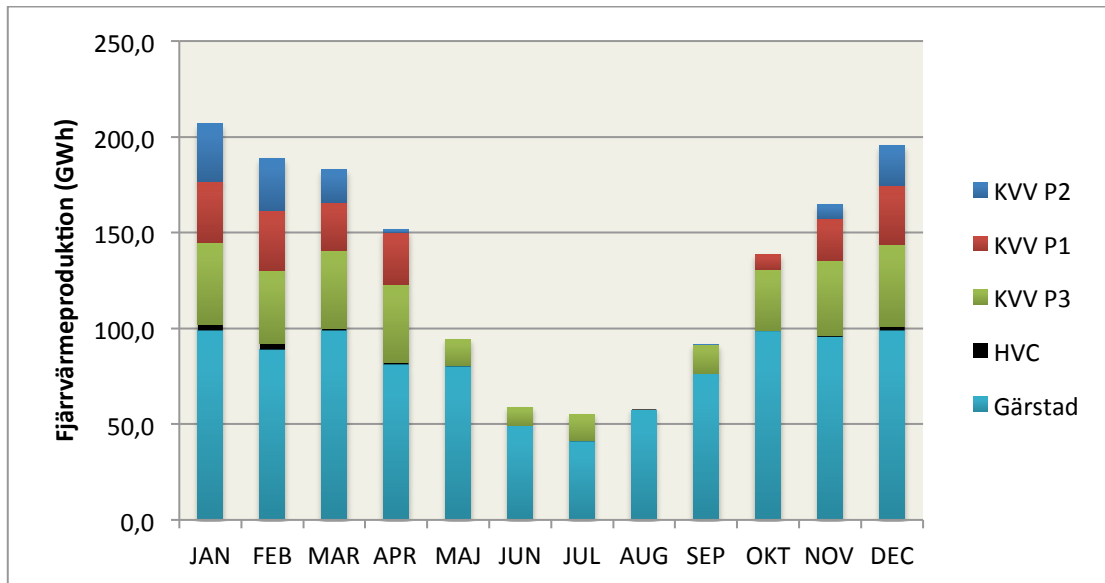
Teknik	GROT	Stubbar	Biprodukter från skogsindustrin	Salix	Halm	Avfall	Totalt
Indirekt	1,03 – 2,35	1,12 – 3,36	1,79	0,94	0,34	0,53	5,75 – 9,31
CFB	1,02 – 2,31	1,10 – 3,31	1,76	0,92	0,33	0,52	5,65 – 9,15

I Östergötland utnyttjades år 2008 1,1 TWh biobränsle för el- och värmeproduktion.¹¹⁷ Östergötland har mycket stora skogliga resurser och även stor potential att i framtiden öka odlingen av salix. Därmed finns stora möjligheter att biomassa blir tillgängligt för produktion av biometan via förgasning.

Största fjärrvärmenätet i Östergötland återfinns i Linköping och ägs av Tekniska Verken AB. I figur 16 nedan presenteras den månadsvisa fjärrvärmeproduktionen till Linköpings nät för år 2010.¹¹⁸ Baslasten utgörs av avfallsförbränning i Gärstadsverket och resten av fjärrvärmeproduktionen sker huvudsakligen i kraftvärmeverkets tre olika pannor (KVV P1-P3). I P1 utnyttjas kol, gummi samt plast, P2 använder olja och P3 är en ren biobränslepanna. HVC står för hetvattencentral och utgörs av oljepanna.

¹¹⁷ Svensk Fjärrvärme, 2011

¹¹⁸ Tekniska Verken AB, 2011

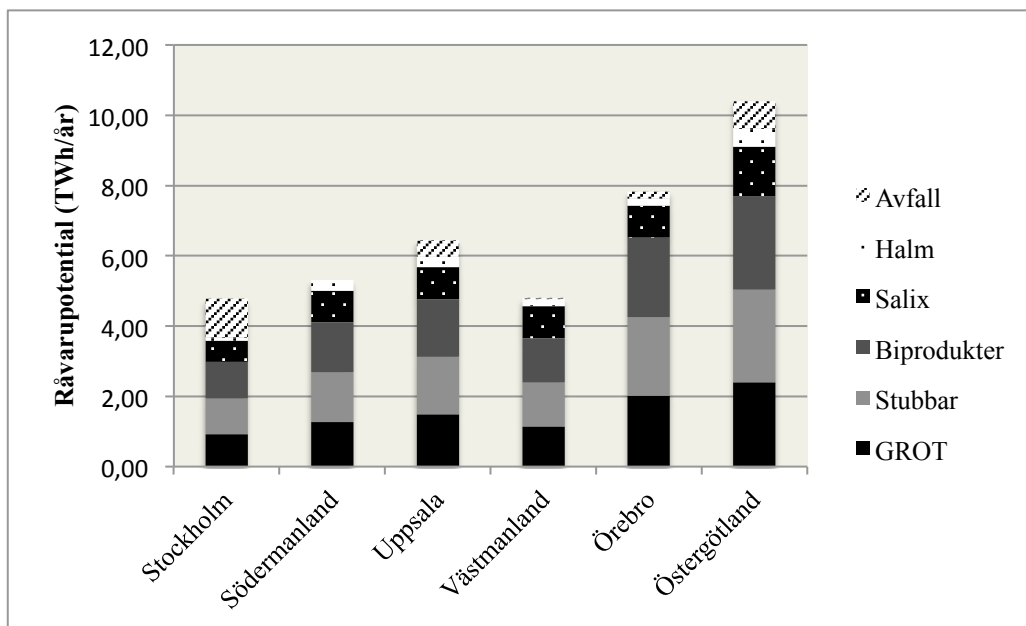


Figur 16. Varaktighetsdiagram för Linköpings fjärrvärmenät (Tekniska Verken AB, 2011).

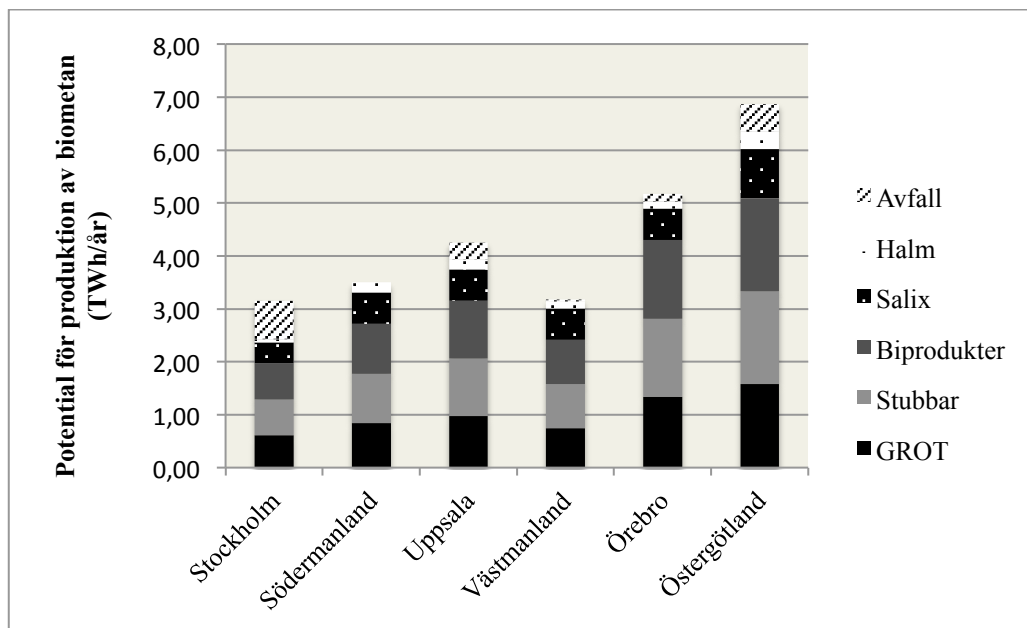
Avsättning av spillvärme till Linköpings nät genom förgasning skulle kunna innebära att de äldre pannorna P1 och P2 kan fhasas ut. Utifrån figur 16 görs antagandet om att spillvärme från förgasningsprocessen ersätter en del av värmen från P3, som i sin tur ersätter värme från P1 och P2. Därmed kommer det inte finnas något behov av att ha P3 i drift under sommaren. I stället ökar produktionen av el- och värme från P3 resterande delen av året, då även behovet är större. Storleken på förgasningsanläggningen uppskattas genom värmeproduktionen från P3 i juni månad, som låg på 14 MW_{th}, till 61 MW_{th}. För denna storlek på anläggning åtgår 460 GWh bränsle och producerar 307 GWh biometan. Produktionspriset bedöms bli 443 kr/MWh.

7.7 Sammanställning

Nedan redovisas och jämförs länens totala råvarupotential samt potential för produktion av biometan med avseende på länets råvarupotential.



Figur 17. Sammanställning av råvarupotential för respektive län.



Figur 18. Potential för produktion av biometan i respektive län.

I figur 17 redovisas råvarupotentialen i respektive län. Den råvara som uppvisar störst potential är skogsbränslen. Tidigare har potentialen för GROT och stubbar redovisats som intervall på grund av osäkerheter i storlek på framtida uttag vid avverkning. I figur 17 visas potentialen för uttag med hänsyn till ekologiska begränsningar, vilket motsvarar ett ungefärligt medelvärde av tidigare presenterat intervall för primära skogsbränslen. I figur 17 observeras även att Salix skulle kunna bli en viktig pusselbit vid ökad efterfrågan av biobränsle. I dag är knappa tiondelen av den redovisade potentialen tillgänglig, och tillgången skulle därför kunna öka markant. Presenterade mängder avfall utnyttjas i nuläget för förbränning och det är därför osäkert hur mycket som skulle kunna bli tillgängligt för förgasning. Det är i framtiden möjligt att produktion av biometan ur avfall är mer lönsamt än förbränning för el- och värmeproduktion. Äldre anläggningar för avfallsförbränning kan därför komma att ersättas av förgasningsanläggningar.

Jämförs länens förutsättningar för tillgång till råvara och produktion av biometan kan ur figur 17 och figur 18 utläsas att Östergötland och Örebro har störst tillgång till råvara och skulle därmed kunna producera mest biometan inom länen. Stockholm har sämst förutsättningar för produktion av biometan om man ser till länets råvarupotential. Stockholms län har dock störst efterfrågan på fordonsgas och lokalisering av en förgasningsanläggning inom länet skulle ha fördelar vad gäller avsättning av biometan samt spillvärme, då Stockholms län innefattar många mycket stora fjärrvärmenät.

En förgasningsanläggning runt 100 MW_{th} genererar så stora mängder biometan att det vid ett uppförande är aktuellt med en utbyggnad av ett lokalt gasnät. Inom Biogas Öst-regionens skulle en förgasningsanläggning innebära att Mälaren, eller delar av Mälaren, kan omringas av ett nät för biometan/biogas. En anläggning med storleken 100 – 200 MW_{th} innebär att uppbyggnad av ett gasnät om 10 – 20 mil är rimligt. Därmed skulle städer som Stockholm, Uppsala och Västerås eller Stockholm, Norrköping och Linköping alternativt Örebro, Västerås och Stockholm kunna sammankopplas via ett gasnät. Med avseende på tillgång på råvara samt efterfrågan på fordonsgas är det inte realistiskt att det uppförs förgasningsanläggningar i varje

län. Det är därför mer fördelaktigt om en förgasningsanläggning lokaliseras så att parametrarna råvarutillgång, avsättning av spillvärme samt efterfrågan på biometan optimeras. Det är heller inte realistiskt att en förgasningsanläggningens behov av råvara kan täckas av länens tillgång till trädbränsle och avfall. Framtida möjligheter till import från andra delar av Sverige eller utlandet kommer också spela en avgörande roll för en förgasningsanläggningens lokalisering i regionen.

Utgående från geografiskt läge, närhet till råvara, avsättning av spillvärme, avsättning av biometan samt möjligheter till import kan vissa områden inom regionen anses ha bättre förutsättningar för en lokalisering av en förgasningsanläggning än andra. Med geografiskt läge avses möjligheten att omfattas av ett framtida lokalt gasledningsnät. Nedan redovisas de olika länens fördelar respektive nackdelar med avseende på lokalisering av en förgasningsanläggning.

Tabell 23. Fördelar och nackdelar för lokalisering av en förgasningsanläggning i respektive län.

Län	Fördelar	Nackdelar
Stockholm	Stor efterfrågan på fordonsgas, stora fjärrvärmenät, möjlighet till import av bränsle med båttransport	Låg råvarupotential
Södermanland	Geografiskt läge, ingen spillvärme i Eskilstunas fjärrvärmeproduktion	Liten efterfrågan på biometan i närområdet
Uppsala	Relativt god tillgång till råvara, geografiskt läge	Problem med avsättning av spillvärme
Västmanland	Geografiskt läge, avsättning av spillvärme	Låg råvarupotential
Örebro	Tillgång till råvara	Spillvärme från SAKAB
Östergötland	Tillgång till råvara, efterfrågan på fordonsgas	Geografiskt läge

8 Diskussion

Teknik

Framställning av biometan genom förgasning av biomassa har i framtiden stor potential att bidra till ett mer uthålligt energisystem, såväl nationellt som internationellt. Detta beror till stor del på teknikens höga utbyte av metan samt god tillgång på bränsle i form av skogsbränslen och ökade avfallsmängder. Tekniken är dock ung och i dag finns ännu inga kommersiella anläggningar för produktion av biometan via förgasning av biomassa. De tekniker som utpekats som mest lämpliga är indirekt förgasning och förgasning i trycksatt CFB samt vätgasförgasning. Vätgasförgasning kan i framtiden användas för att kemiskt binda vätgas i metan i syfte att undvika den komplexa hanteringen som ren vätgas förknippas med. För att metan framställt via vätgasförgasning skall klassas som ett förnybart drivmedel måste vätgasen produceras på ett uthålligt sätt. En produktionsväg är genom elektrolys av vatten, en process som kräver elektricitet. Marginalen i Europa är för tillfället kolkondens, en elproduktionsteknik som släpper ut stora mängder koldioxid. Innan vätgasförgasning kan anses vara intressant bör därför elproduktionen kopplad till Europas ledningsnät bidra mindre till växthuseffekten och helst vara helt klimatneutralt.

Indirekt förgasning och trycksatt CFB är tekniker som har olika för- och nackdelar vid framställning av biometan. Indirekt förgasning med sin enskilda förbränningskammare kan konstrueras på många olika sätt och optimeras för de aktuella förutsättningar som råder. Tekniken kan därför antas vara mer flexibel än trycksatt CFB och skulle i teorin även kunna integreras med en befintlig anläggning som har förutsättningar att förse förgasningsprocessen med den mängd värme som krävs. Trycksatt CFB är något mer begränsat i dess systemlösning men tekniken är väl beprövad och används ofta i förbränningsanläggningar. Trycksatt CFB har till skillnad mot indirekt förgasning inte några begränsningar vad gäller uppskalning. Då förgasningsanläggningar av skalekonomiska skäl inte kan konstrueras med för små effekter kan trycksatt CFB vara den teknik som är mest intressant att satsa på i framtiden.

Det finns god kunskap och erfarenheter om själva förgasningsprocessen då förgasning historiskt varit vanligt förekommande inom olika sektorer och på senare år storskaligt utnyttjats för förgasning av fossila bränslen i syfte att producera syntesgas eller högvärdigare bränslen. Vad gäller de efterföljande stegen gasrening, metanisering och uppgradering finns mindre kunskap där en utveckling måste ske för att få ner investeringskostnaderna och påskynda kommersialiseringen. Brist på kunskap finns framför allt om hur de olika processalternativen skall kombineras och hur de fungerar i större skala. Forskning sker huvudsakligen i laboratorienivå och teknikerna har begränsade möjligheter att testas i större skala. En del pilotanläggningar finns runt om i världen där nya tekniker kan testas men pilotanläggningarna är små jämfört med den storlek på förgasningsanläggningar som krävs för lönsamhet. Gasrening är mycket komplext då förhållandena är specifika för varje enskild förgasningsanläggning. Systemlösningar för förgasning, speciellt för den komplicerade gasreningen, måste standardiseras för att förgasningstekniken skall utvidgas och ett genombrott på marknaden skall ske.

Råvara

Förgasningsprocessen är en flexibel teknik som kan utnyttja de flesta kolhaltiga råvarorna som bränsle. De potentialberäkningar för biometan som gjorts i rapporten utgår ifrån att hela råvarupotentialen kommer att utnyttjas för förgasning med biometan som slutprodukt. Hur stor andel som i verkligheten kan antas bli aktuellt som bränsle i en förgasningsprocess är dock mer osäkert. De mängder avfall som presenterats ovan utnyttjas redan i förbränningsanläggningar för el- och värmeproduktion. Det är därför svårbedömt om det för tillfället finns, och hur mycket, brännbart avfall som skulle avsättas för produktion av biometan via förgasning. På nationell basis är trenden att avfallsförbränningen ökat, vilket kan innebära att större mängder brännbart avfall i framtiden kan bli tillgängligt. I nuläget ansvarar kommunerna för insamling av hushållsavfall och det är ofta ett kommunalt bolag som sedan sköter avfallshanteringen. Detta kan försvåra tillgången till brännbart avfall för aktörer som inte är knutna till den kommunala verksamheten. Ett alternativ för att få tillgång till större mängder avfall kan vara import. Importeras avfall från länder där avfallet annars skulle deponerats kan även utsläpp av metan orsakade av nedbrytning undvikas.

Vad gäller potentialen för salix är den i länen baserad på en ökad andel åkerareal där salix produceras. Den mängd salix som odlas i dag är relativt liten jämfört med den uppskattade potentialen, som är tio gånger större eller mer jämfört med dagens skörd i de aktuella länen. Det finns därför möjligheter att i större grad utnyttja salix som bränsle. Det är även sannolikt att större andel halm utnyttjas som bränsle i framtiden. Hur stora mängder som kan bli tillgängligt beror på odlingsarealen för spannmål och andel som används inom djurhållningen, där användningsområdena är foder och strö. Hur mycket av dessa åkerbränslen som kan avsättas för just förgasning är svårt att uppskatta och beror till stor del på hur mycket biobränsleanvändningen kan öka inom el- och värmeproduktionen.

Störst råvarupotential har trädbränslen i form av GROT och stubbar då uttaget i framtiden förväntas öka. Hur stora uttag som kan göras begränsas av vilka restriktioner avverkningen måste förhålla sig till. Uttag kan i praktiken inte ske överallt utan begränsas bland annat av framkomlighet, naturskyddade områden och upprätthållande av näringsbalansen genom att lämna en viss kvot av GROT och barr i skogen. Uttag av grot sker i större omfattning än stubbrytning, varför den framtida potentialen är större för stubbar och som därför kan utgöra en stor källa till trädbränsle på sikt. Trädbränslen är den biomassa som är bäst lämpad som bränsle i en förgasningsprocess och är därför mycket attraktivt. Förutom hur stora mängder trädbränsle som kan tas ut begränsas även tillgången av höga transportkostnader. Transport med lastbil är endast ekonomiskt försvarbart vid kortare sträckor. Järnvägstransporter är billigare vid längre sträckor men förutsätter närhet till spår och terminal för omlastning. Vissa områden kan antas vara lokaliserade så att avverkning inte är lönsamt. Stor tillgång till trädbränsle inom ett län eller en region innebär därför inte alltid att tillgängligheten är god.

Man kan även diskutera huruvida råvaror med högre fukthalt, såsom matavfall, andra åkerbränslen än hal och salix samt skörderester i stället för rötning kan utnyttjas i en förgasningsanläggning. Förgasningsprocessen har högre gasutbyte jämfört med rötning men hög fukthalt innebär att mer energi åtgår för att förångna vattnet innan själva bränslet kan förgasas. I större förgasningsanläggningar skulle kanske en del av

bränlemixen kunna bestå av råvara med högre fukthalt, utan att ha större inverkan på verkningsgraden. På detta vis görs större mängder bränsle tillgängligt.

Ekonomi

Förgasning av biomassa förknippas i dag med höga investerings- och produktionskostnader. Detta beror på att tekniken är relativt ny och att det inte finns tillräckligt med erfarenhet från fullskalig produktion av biometan. Sett till hela produktionskostnaden för biometan utgör kapitalkostnaden en betydande del. Framtida teknikutveckling och större grad av erfarenhet som kommer av ökad forskning samt uppförande av fler anläggningar kommer innebära att kapitalkostnaden med tiden sjunker, som därmed sänker produktionskostnaden. Den största delen av produktionskostnaden, som utgör 65 %, är dock råvarupriset. Priset för all typ av biomassa lämplig för förgasning antas stiga de närmaste åren på grund av ökad efterfrågan från framförallt el- och värmeproduktionssektorn. En prishöjning för bränsle inverkar naturligtvis negativt på produktionskostnaden. Dock kan oljepris samt utvecklingen av framtida styrmedel bidra till att betalningsförmågan för biometan som transportbränsle ökar, varför biometan får konkurrensfördelar jämfört med andra transportbränslen samt om tillgången till råvara. Oljepriset förväntas de kommande åren stiga på grund av ökad efterfrågan från utvecklingsländer samt osäkerheter om framtida försörjningstrygghet för oljeprodukter avseende tillgång och politisk oro i oljeländer. Om Sveriges energi- och koldioxidskatt kvarstår eller ökar kommer biometan som transportbränsle antas bli än billigare jämfört med bensin och diesel. Stigande priser för biomassa på grund av råvarukonkurrensen med el- och värmeproduktionssektorn kan innebära att alternativa elproduktions sätt blir billigare, varför avsättning av biomassa för förgasning blir det mest lönsamma alternativet.

Avgörande för god lönsamhet vid investering i en förgasningsanläggning är även hur stor andel av uppkommen spillvärme som kan avsättas till försäljning. Spillvärmen från förgasningsprocessen har störst potential att matas in på ett fjärrvärmenät. Då storleken på eventuella förgasningsanläggningar förväntas bli stora krävs ett stort värmebehov i fjärrvärmenätet för att en integrering skall bli aktuell. Förutom krav på värmebehov måste spillvärmen även antas kunna konkurrera med befintlig fjärrvärmeproduktion i nätet. Möjligheterna till integrering mellan fjärrvärmenät och förgasningsanläggning är därmed begränsat till stora fjärrvärmenät vars värmeproduktion inte innehåller stora mängder annan spillvärme eller avfallsförbränning.

Försäljning av spillvärme från förgasning kan i framtiden underlättas om införandet av tredjepartstillträde blir av. Därmed får enskilda aktörer tillträde till fjärrvärmenäten och kan sälja spillvärme direkt till kund utan nätägarens inblandning. Spillvärme från förgasning får därigenom fördelar och kan i större grad konkurrera med avfallsförbränning, annan spillvärme samt värme från kraftvärmeverk.

För att göra spillvärmen attraktivare kan priset varieras under året, eller i vissa fall skänkas bort sommartid. Det kan vara mer lönsamt att inte ta betalt för spillvärmen om det bidrar till att anläggning får avsättning för värmen. Finns det av någon anledning inte behov av spillvärme från förgasningsanläggningen måste värmen kylas bort för att processen skall fortgå. Det kan kosta mer att kyla bort spillvärmen jämfört med att man får avsättning för värmen utan intäkt. Andra alternativ är produktion av

kyla via absorption eller utnyttja spillvärmen, eller en del av värmen till förtorkning av råvaran.

Biogas Öst-regionen

Länen inom Biogas Öst-regionen uppvisar olika förutsättningar för produktion och distribution av biometan som drivmedel. Vissa har större tillgång till råvara inom länet, något som kan tänkas ha stor inverkan vid en investeringsbedömning då bränslekostnaden utgör den största delen av produktionskostnaden. Sämre tillgång till råvara inom länet kan vägas upp genom import där tillgång till hamnar samt järnväg är fördelaktigt. Produktionskostnaden kan därför antas variera inom regionen och en väl avvägd lokalisering är därför avgörande för gasningsanläggningens lönsamhet. Det krävs mer ingående analyser av specifika områdens förutsättningar för att exakta lokaliseringalternativ skall kunna anges. Bedömningen utgående från olika städers fjärrvärmeproduktion ger en indikation på hur eventuella lokaliseringalternativ kan arbetas fram, men bygger i denna rapport på antaganden och grova uppskattningar. Utöver fjärrvärmeproduktion måste även tillgång till råvara, efterfrågan på biometan samt distributionsalternativ i detalj studeras. I denna rapport anges tillgång på råvara och efterfrågan på biometan länsvis. Dessa parametrar kommer variera mellan områden inom länen, och för att arbeta fram specifika produktionskostnader och lokaliseringalternativ krävs därför djupare studier och analyser.

Produktion av biometan genom förgasning förknippas med höga investeringskostnader samt stor produktion av biometan. Detta talar för samverkan mellan länen inom Biogas Öst-regionen vid en satsning på en förgasningsanläggning. Beroende på anläggningens storlek kan uppbyggnad av ett lokalt gasnät bli aktuellt vilket underlättar och sänker distributionskostnaderna. Om satsningar på produktion av biometan via förgasning av biomassa bli verklighet inom Biogas Öst-regionen kan ett gasnät runt Mälaren, eller mellan städer i regionen, bli aktuellt.

9 Slutsats

Förgasningsteknikerna trycksatt CFB och indirekt förgasning har visat sig vara bäst lämpade för produktion av biometan. Indirekt förgasning begränsas tekniskt till storlekar runt 100 MW_{th} medan trycksatt CFB-anläggningar i teorin inte har några begränsningar.

Potentialen för framställning av biometan genom förgasning av biomassa i Biogas Öst-regionen uppgår till 20-33 TWh/år. Störst råvarupotential har Östergötlands län (10,4 TWh/år) följt av Örebro län (7,8 TWh). Sämst tillgång till råvara har Västmanland och Stockholms län, båda cirka 4,8 TWh/år. GROT, stubbar och biprodukter från skogsindustrin utgör cirka 75-80 % av respektive läns råvarupotential. Om odlingen av salix ökar kan tillgången i framtiden tiodubblas jämfört med i dag. Lägst potential har halm. Redovisade potentialer för avfall utnyttjas för energiåtervinning genom förbränning. Det är därför osäkert hur stora mängder avfall som kan bli tillgängligt för produktion av biometan genom förgasning av biomassa i Biogas Öst-regionen.

Förgasningstekniken befinner sig i pilotstadiet varför kapitalkostnaderna är höga. Kapitalkostnaden beräknades utgöra 20 % av produktionskostnaden. Viktigaste parametern för ekonomin i en förgasningsanläggning är råvarukostnaden, som beräknades till cirka 65 % av produktionskostnaden. Produktionskostnaden har beräknats variera mellan 428-581 kr/MWh, beroende på teknik, råvarupris och hur stor andel av uppkommen spillvärme som kan säljas.

Avsättning och försäljning av uppkommen spillvärme kan vara avgörande för den ekonomiska balansen. 100 % avsättning av spillvärmens beräknades sänka produktionskostnaden med 5-6 % jämfört med 25 % avsättning av total mängd uppkommen spillvärme. Spillvärmens egenskaper gör att den passar utmärkt för inmatning på fjärrvärmenät. Integrering med fjärrvärmenät förutsätter stort värmebehov samt att spillvärmens från förgasning kan konkurrera med befintligt fjärrvärmeproduktion. Problem med avsättning av spillvärme uppstår då fjärrvärmeproduktionen består av avfallsförbränning då spillvärme från förgasningsprocessen inte antas kunna konkurrera med avfallsförbränning. Avsättning av spillvärme kan även vara komplext då fjärrvärmeproduktionen utgörs av kraftvärme. Avvägningen mellan minskade bränslekostnader för kraftvärmeverket vid mottagning av spillvärme och minskade intäkter för producerad el och tilldelade elcertifikat är svårbedömd.

Referenslista

- Atkins & De Paula, ”*Physical Chemistry 8th Edition*”, Oxford Press, 2006
- Avfall Sverige, ”*Energi från avfall ur ett internationellt perspektiv*”, Rapport 2008:13, 2008
- Balat M., Balat M., Kirtay E., och Balat H., ”*Main routes for the thermo-conversion into fuels and chemicals – Part 2: Gasification systems*”, Energy Conversion and Management 50, sid 3158-3168, 2009
- Basu P, ”*Biomass gasification and pyrolysis: Practical design and theory*”, Academic Press, 2010
- Belgiorno V., De Feo G., Della Rocca C., Napoli R.M.A., ”*Energy from gasification of solid wastes*”, Waste Management 23, sid 1-15, 2003
- Benjaminsson J., och Nilsson R., ”*Distributionsformer för biogas och naturgas i Sverige*”, Grontmij, 2009
- Bensinpriser.nu, ”*Drivmedelspriser för bilar*”, hämtad 2011-05-11 från <http://www.bensinpriser.nu/>
- Bernesson S., och Nilsson D., ”*Halm som bränsle*”, SLU, Institutionen för energi och teknik, Rapport 011, 2009
- Biobränslekommissionen, ”*Biobränsle för framtiden – Slutbetänkande från Biobränslekommissionen*”, Statens Offentliga Utredningar (SOU) 1992:90, Allmänna Förlaget, Stockholm
- Biogasportalen, ”*Energiinnehåll i biogas och andra drivmedel*”, hämtad 2011-05-11 från <http://www.biogasportalen.se/sv-SE/FranRavaraTillAnvandning/VadArBiogas/Energiinnehall.aspx>
- Biomil AB och Envirum AB, ”*Den svenska biogaspotentialen från inhemska produkter*”, 2008
- Börjesson P., ”*Framtida tillförsel och avsättning av biobränslen i Sverige – regionala analyser*”, Lunds Universitet, Miljö- och energisystem, Rapport 34, 2001
- Börjesson P., and Gustavsson L., ”*Regional production and utilisation of biomass in Sweden*”, Energy – The International Journal 21, 747-764, 1996
- Bridgewater A.V., ”*The technical and economic feasibility of biomass gasification for power generation*”, Fuel. Vol 74, 631-653, 1995
- Chrisgas, ”*Clean hydrogen-rich Syntesis Gas – Report on WGS Reaction studies*”, 2007, hämtad 2011-02-28 från http://lnu.se/polopoly_fs/1.37651!D150_Feb%202007.pdf

Cronholm Lars Åke., Grönkvist Stefan., Saxe Maria., ”Spillvärme från industrier och värmeåtervinning från lokaler”, Fjärrsyn, Rapport 2009:12, 2009

Dagens Nyheter, ”Ge oss besked om miljöbilarna”, DN Debatt 2011-01-11, hämtad 2011-04-12 från: <http://www.dn.se/debatt/ge-oss-besked-om-miljobilarna>

Elforsk, ”Inventering av framtidens el- och värmeproduktionstekniker”, Rapport 08:78, 2008

Elforsk, ”Konsekvenser för energi- och skogssektorn av förändrad efterfrågan på biomassa”, Rapport 08:60, 2008

Energigas Sverige, ”Gasbilens framtid avgörs i vårpropositionen”, Pressmeddelande Energigas Sverige, hämtad 2011-04-12 från: http://www.mynewsdesk.com/se/pressroom/energigas-sverige-service-ab/pressrelease/view/gasbilens-framtid-avgoers-i-vaarpropositionen-595701?utm_source=rss&utm_medium=rss&utm_campaign=Subscription&utm_content=pressrelease

Energimyndigheten, ”Energiläget 2010”, hämtad 2011-05-23 från http://webbshop.cm.se/System/ViewResource.aspx?p=Energimyndigheten&rl=default:/Resources/Permanent/Static/6792e3736ce045c4a41f2c397b1eff97/ET2010_45.pdf

Energimyndigheten, ”Trädbränsle- och torvpriser, korrigerad 2011-03-02”, hämtad 2011-04-26 från http://www.energimyndigheten.se/Global/Energifakta/officiell%20statistik/EN0307_SM1101_webben_110302_korrigerad.pdf

Energimyndigheten, ”Anmälan om kvotplikt”, hämtad 2011-04-27 från <http://www.energimyndigheten.se/sv/Foretag/Elcertifikat/Kvotpliktig/Elanvandare-som-anvander-el-som-du-själv-producerat-importerat-eller-kopt-/Anmalan-om-kvotplikt/>

Energy.eu, ”Energy Index – European Gas Index”, hämtad 2011-06-21 från www.energy.eu

Enström J., ”Terminalhantering för effektivare järnvägstransport av skogsbränsle”, Skogforsk, Resultat 13, 2010

E.ON, ”Karta över Sveriges gasledningsnät”, hämtad 2011-06-02 från <http://www.eon.se/templates/Eon2TextPage.aspx?id=47710&epslanguage=SV>

Fortum, ”Vår bränslemix”, hämtad 2011-05-26 från <http://fortum.se/countries/se/privat/fjarrvarme/miljo/branslemix/pages/default.aspx>

Fjärrsyn, ”Effektiv produktion av biodrivmedel”, Rapport 2008:8, 2008

Gasbilen.se, ”Aktuella priser”, hämtad 2011-05-12 från <http://www.gasbilen.se/Att-tankad-in-gasbil/Aktuella-priser.aspx>

- Gode, Hagberg, Rydberg, Rådberg och Särnholm, ”Effektiv produktion av biodrivmedel”, Fjärrsyn, Rapport 2008:8, 2008
- Göransson A., Johnsson J., Sköldberg H., Stridsman D., Unger T., Westholm E., ”Fjärrvärmens i framtiden – behovet”, Fjärrsyn, rapport 2009:21, 2009.
- Heyne S, ”Process Integration Opportunities for Synthetic Natural Gas (SNG) Production by Thermal Gasification of Biomass”, Chalmers, 2010
- IEA, Key World Energy Statistics, 2010
- IEA Bioenergy, Annual report, 2009
- Ingman D., Larsson E., Waldheim L., ”Biobränsleförgasning för kraftvärme respektive energikombinat – integration med Rya kraftvärmeverk i Göteborg”, Nykomb Synergetics AB och TPS, 2006
- Jonerholm K., Forsberg J., Millers-Dalsjö D., och Parada C.G., ”Utbud och Efterfrågan på Fordonsgas i Biogas Öst Regionen”, Biogas Öst och Sweco, 2010
- Linderoth A., och Båth A., ”Assessment of regional willow coppice yield in Sweden on basis of water availability”, Forest Ecology and Management 121, 57-65, 1999.
- Mozaffarian M., Swart R.W.W., Boerrichter H., och Deurwaarder E.P., ”Biomass and waste-related SNG production technologies”, Contribution to the “2nd World Conference and Technology Exhibition on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection ”, 2004
- Mozaffarian M., och Swart R.W.W., ”Feasibility of biomass/waste-related SNG production production technologies”, ECN-biomass systems, 2003
- Naturvårdsverket, ”Det framtida jordbruket - Sverige 2021”, Rapport 4755, 1999
- Regeringskansliet, ”Vad är bioenergi?”, hämtad 2011-03-29 från <http://www.sweden.gov.se/sb/d/9097/a/81762>
- Rezaiyan J och Cheremisinoff N.P., ”Gasification Technologies – A primer for Engineers and Scientists”, CRC Press, 2005
- Riksskogstaxeringen, ”Landarealen fördelat på skogsmark och impediment, 2005-2007”, 2011a
- Riksskogstaxeringen, ”Genomsnittlig årlig avsatt respektive väderkorrigerad tillväxt fördelat på trädslag, 2005-2009”, 2011b
- Rodin J., och Wennberg O., ”Förgasning för bränsleproduktion i stor- och småskaliga energikombinat”, Värmeforsk, Rapport 1150, 2010
- Skatteverket, ”Energi-, koldioxid- och svavelskatt - Skattesatser 2011”, hämtad 2011-06-21 från

<http://www.skatteverket.se/foretagorganisationer/skatter/punktskatter/allapunktskatter/energiskatter.4.18e1b10334ebe8bc8000843.html>

Skatteverket, ”Ändrade regler för beskattning av biogas”, hämtad 2011-05-23 från http://www.skatteverket.se/download/18.152108eb12c9f03824f80001238/information_om_biogas.pdf

Skogsstyrelsen och SLU, ”Skogliga konsekvensanalyser 2008”, Rapport 25, 2008
Skogforsk, ”WECalc – Ett beräkningsverktyg översättning mellan energi och volymenheter”, hämtad 2011-04-06 från <http://woodenergy.sites.djangoeuropa.com/conversion//>

Skogsstyrelsen, ”Priser på trädbränsle och torv per MWh, fritt förbrukare , löpande priser exklusive skatter”, hämtad 2011-05-13 från <http://skogsstyrelsen.se/Myndigheten/Statistik/Amnesomraden/Priser/Tabeller--figurer/>

Skogsstyrelsen, Skogsindustrierna, SLU och LRF Skogsägarna, ”Skogsbränsle”, Skogsskötselserien nr 17, 2009

Svebio, ”Bioenergihandboken”, hämtad 2011-04-06 från <http://www.novator.se/bioenergy/facts/index.html>

Svensk Fjärrvärme, ”Bränslen och produktion 2008i”, hämtad 2011-05-09 från <http://www.svenskfjarrvarme.se/Statistik--Pris/Fjarrvarme/Energitillforsel/>

Svenskt Gastekniskt Center, ”Adding gas from biomass to the gas grid”, Rapport 118, 2001

Svenskt Gastekniskt Center, ”Naturgas i Sverige”, hämtad 2011-04-11 från <http://www.sgc.se/index.asp?Menu=Energigas&ID=424>

Statens Offentliga Utredningar, ”Fjärrvärme i konkurrens”, SOU 2011:44, 2011

Tunå P. ”Substitute natural gas from biomass gasification”, SGC Rapport 187, 2008.

van Paasen S.V.B., Cieplik M.K., Phokawat N.P., ”Gasification of Non-woody Biomass”, ECN, 2006

Vattenfall AB, ”Vattenfall Heat Uppsala – Säkerhet hälsa och miljö 2009”, hämtad 2011-05-09 från http://www.vattenfall.se/sv/file/Uppsala_miljoredovisning_2009_13795250.pdf

Zwart R.W.R, ”Gas cleaning downstream biomass gasification”, ECN Status Report, 2009

Swart R.W.W., Boerrichter H., och Deurwaarder E.P, van der Meijden C.M., van Paasen S.V.B., ”Production of Synthetic Natural Gas (SNG) from Biomass”, ECN, 2006

Telefon/mejlkontakt

Avfall Sverige, Jenny Westin, Mejlkontakt 2011-04-05

E.ON Värme AB, Maria Pettersson, Mejlkontakt, 2011-05-09

Eskilstuna Energi & Miljö AB, Lise-Lott Niva, Mejlkontakt 2011-05-05

Mälarenergi, Conny Arnfeldt, Marianne Allmyr och Joachim Sunqvist, Telefon och mejlkontakt 2011-05-24 samt 2011-05-30.

Skogforsk, Rolf Björheden, Mejlkontakt 2011-03-25

Skogsindustrierna, Ingrid Haglind, Mejlkontakt 2011-03-28

Stockholms Länsstyrelse, Ylva Ericsson, Telefon- och mejlkontakt 2011-03-30

Tekniska Verken, Martin Ek och Joakim Holm, Telefon och mejlkontakt 2011-05-18 samt 2011-05-25.

Ordlista/Begrepp

Absorption – Gas, ämne eller energiform tränger in och upptas av ett ämne.

Absorptionskyla – Produktion av kyla från ånga eller spillvärme/fjärrvärme.

Adiabatisk – Process som sker utan värmeutbyte med omgivningen.

Adsorption – När ett fast ämne till sin yta binder in ämnen från en gas eller en vätska.

Aerosol – Fasta eller flytande partiklar suspenderade i en gas.

Aktivt kol – Finfördelat kol, nästan puderlikt, som har en mycket stor area per volym.

Aska – Del av bränsle. Icke brännbar. Består av grundämnena som kisel, magnesium, aluminium, järn och kalcium.

Bärgningskoefficient – Uttrycker andel bärgningsbar gröda.

Flash-tank – Används för att separera gasfas från vätskefas genom trycksänkning av vätskan.

Föryngringsavverkning – Avverkning där merparten av träden på ett område avlägsnas och ersätts med en ny skogsgeneration. Synonymt med slutavverkning.

Gengas – Gas bestående av kolmonoxid, metan, vätgas och koldioxid.

Halm:kärna-kvot – Betecknar mängd halm i förhållande till mängd kärna.

Katalysator – Fast, flytande eller gasformigt ämne som ökar en kemisk reaktions hastighet utan att förbrukas.

Kolväten – Kemisk förening enbart bestående av kol och väte.

Komfortkyla – Kyla som används för att sänka byggnaders inomhustemperatur för människors komfort.

Krackning (termisk och katalytisk) – Sönderdelning av kolvätemolekyler. Vid termisk krackning utnyttjas höga temperaturer och tryck. Vid katalytisk krackning utnyttjas en katalysator.

Metan (CH₄) – Det enklaste kolvätet, en färg- och luktlös gas.

Oxidationsmedium – Ämne som får annat ämne att oxidera. Oxidation är en reaktion i vilken ett ämne avger en eller flera elektroner. Vardagligt innebär oxidation reaktion med syre (O₂).

Permeabilitet – Ett porösts mediums genomsläpplighet av gas eller vätska.

Pyrolys – Torrdestillation. Organiskt material upphettas vid frånvaro av syre. Genererar produkterna koks/char, flytande kolväten samt gaser (ex. koldioxid, vätgas, kolmonoxid och metan).

RME (rapsmetylester) – Biodiesel som kan användas i dieselmotorer. Framställs från rapsolja.

Rötning – Biologisk nedbrytning av organiskt material i syrefri miljö.

Salix – Växt av släktet vide. Odlas ofta som energiskog.

Skogskubikmeter (m³sk) – Ett mått på stående skog. Avser all stamved ovanför stubben.

Skrubber – Anordning för rökgasrening.

Sot – Substans som uppstår vid ofullständig förbränning. Består vanligtvis av aska samt oförbränt bränsle.

Stadsgas – Gasformigt bränsle bestående av lika delar luft och metan.

Stripper – Reningsprocess där en eller flera komponenter i ett vätskeflöde avlägsnas av ett ångflöde.

Syntesgas – Gas huvudsakligen bestående av väte och kolmonoxid.

Termokemi – Läran om värmeutbyte vid kemiska reaktioner.

Bilaga 1: Beräkningar

Beräkning av potential för skogsbränsle

Teoretisk avverkningsmängd beräknas enligt nedan:

$$\text{produktiv skogsmark (ha)} * \text{tillväxt (m}^3\text{/sk/år och ha produktiv skogsmark)}$$

Tabell 23. Resultat från beräkning av teoretisk avverkningsmängd utifrån tillväxt och andel skogsproduktiv mark.

Län	Produktiv skogsmark (1000 ha)	Tillväxt (m ³ sk/år, ha prod. skogsmark)	Teoretisk avverkningsmängd (1000 m ³ sk/år)
Stockholm	301	6,0	1 806
Södermanland	337	7,4	2 494
Uppsala	439	6,6	2 897
Västmanland	353	6,3	2 224
Örebro	582	6,8	3 958
Östergötland	624	7,5	4 680

Utifrån teoretisk avverkningsmängd uppskattas uttag av GROT och stubbar plus rötter >5cm baserat tekniska, ekologiska och ekonomiska begränsningar.

Tabell 24. Uttag av GROT och stubbar plus rötter > 5 cm som procent av avverkad stamved för olika restriktioner. Procentsatsen avser medelvärde för gallring och slutavverkning. (SKA-VB 08)

	GROT (procent/m ³ sk)	Subbar plus rötter > 5 cm (procent/m ³ sk)
Utan begränsningar	34	51
Ekologiska begränsningar	23.2	27
Ekologisk, ekonomisk och teknisk begränsning	15	17

Potential för GROT och stubbar plus rötter > 5 cm beräknas enligt:

$$\text{Teoretisk avverkningsmängd (m}^3\text{/sk/år)} * \text{procentsats för uttag av GROT el. stubbar} * \text{värmvärde (MWh/m}^3\text{sk)}$$

Tabell 25. Resultat från beräkning av potential (TWh/år) för GROT och stubbar utifrån teoretisk avverkningsmängd, olika restriktioner samt värmvärdena 2.2 MWh/m³sk respektive 2.1 MWh/m³sk.

Län	GROT (58 % torrhalt)			Stubbar plus rötter > 5 cm (55 % torrhalt)			Biprodukter från skogsindustrin
	Utan beg.	Ekologisk beg.	Ekonomisk och teknisk beg.	Utan beg.	Ekologisk beg.	Ekonomisk och teknisk beg.	
Stockholm	1,35	0,92	0,60	1,93	1,02	0,64	1.03
Södermanland	1,87	1,27	0,82	2,67	1,41	0,89	1.42

Uppsala	2,17	1,48	0,96	3,10	1,64	1,03	1,65
Västmanland	1,66	1,14	0,73	2,38	1,26	0,79	1,27
Örebro	2,96	2,02	1,31	4,24	2,24	1,41	2,26
Östergötland	3,50	2,39	1,54	5,01	2,65	1,67	2,67

Beräkning av investeringskostnad och produktionskostnad för biometan.

Beräkning av investeringskostnad för trycksatt CFB och indirekt förgasning. Eurons valutakurs år 2003 har hämtats från Riksbanken. Omräkning av investeringskostnaden men hänsyn till inflationen är utförda med SCB:s prisomräknare för inflation.

Eurons valutakurs i genomsnitt under år 2003:
9,125 sek.

Investeringskostnad för CFB 100MW

År 2003
48.2 miljoner euro = 440 miljoner kr

År 2011
490 miljoner (11,51% förändring).

Investeringskostnad för indirekt förgasning 100 MW

År 2003
44,9 miljoner euro = 410 miljoner kr

År 2011
457 miljoner kr (11,52% förändring)

Beräkning av annuitetsfaktorn

Livslängd (n): 20 år
Kalkylränta (p): 8 %

$$k = \frac{p}{1 - (1 + p)^{-n}}$$

Annuitetsfaktorn (k) beräknas till: 0,10185