



LUND UNIVERSITY

Förädling och avsättning av jordbruksbaserade biobränslen

Börjesson, Pål

2007

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Börjesson, P. (2007). *Förädling och avsättning av jordbruksbaserade biobränslen*. (IMES/EESS Rapport; Vol. 62). Miljö- och energisystem, LTH, Lunds universitet.

Total number of authors:

1

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00



LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA

Lunds universitet

Institutionen för teknik och samhälle

Avdelningen för miljö- och energisystem

Förädling och avsättning av jordbruksbaserade biobränslen

Pål Börjesson

Rapport nr 62

Maj 2007

ISSN 1102-3651
ISRN LUTFD2/TFEM--07/3053--SE + (1-117)
ISBN 91-88360-86-5
© Pål Börjesson

Dokumentutgivare, Dokumentet kan erhållas från LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA vid Lunds universitet Institutionen för teknik och samhälle Avdelningen för miljö- och energisystem Box 118 221 00 Lund Telefon: 046-222 00 00 Telefax: 046-222 86 44	Dokumentnamn
	Rapport
	Utgivningsdatum
	Maj 2007
	Författare
	Pål Börjesson

Dokumenttitel och undertitel

Förädling och avsättning av jordbruksbaserade biobränslen

Sammandrag

Biobränslen från jordbruket kan förädlas och omvandlas till en rad olika energibärare och användas för olika energitjänster som produktion av värme, el och drivmedel. Råvaran kan utgöras av restprodukter som halm och gödsel samt odlade energigrödor av olika slag där produktionsförutsättningarna kan skilja väsentligt mellan olika regioner, typ av åkermark osv. På samma sätt finns skillnader i regionala och lokala förutsättningar för att förädla och avsätta jordbruksbaserade biobränslen och dess biprodukter. Syftet med denna rapport är att beskriva och analysera de tekniska och fysiska förutsättningarna för olika jordbruksbaserade biobränslesystem utifrån dagens infrastruktur och möjliga systemlösningar i framtiden. Hur olika bioenergisystem faktiskt kommer att utvecklas i framtiden styrs framför allt av ekonomiska överväganden vilket inte inkluderas i denna rapport. En annan avgränsning är att möjligheterna att utnyttja skogsindustrins infrastruktur för förädling och avsättning av jordbruksbaserade biobränslen inte inkluderas.

Rapporten inleds med en analys och beskrivning av olika biobränslesystems energieffektivitet samt hur mycket energi, netto och brutto, som kan produceras per hektar åkermark i form av värme, kraftvärme och drivmedel från olika energigrödor. Dessutom analyseras olika typer av energikombinat där flera energibärare kan produceras samtidigt. Därefter studeras de regionala förutsättningarna för förädling och avsättning av olika energibärare utifrån dagens och framtida infrastruktur i form av fjärrvärmesystem, småskaliga uppvärmningssystem, kraftvärmeproduktion, avsättning av biprodukter som foder, avsättning av rötrest, tillgång på skogsbränsle osv.

I rapporten beskrivs miljöeffekterna för olika biobränslesystem baserat på en sammanställning av olika miljösystemanalyser samt betydelsen av vilken metodik som används vid dessa analyser. Avslutningsvis görs ett antal räkneexempel i syfte att beskriva hur mycket värme, el och drivmedel som jordbruket kan leverera beroende på hur mycket restprodukter som tas tillvara och hur mycket åkermark som utnyttjas för energiodling och vilka omvandlingssystem som väljs.

Nyckelord

Jordbruk, biobränslen, värme, el, biodrivmedel, regionala avsättningsmöjligheter

Omfång	Språk	ISRN
117	Svenska Sammandrag på engelska	ISRN LUTFD2/TFEM--07/3053--SE + (1-117)
ISSN		ISBN
ISSN 1102-3651		ISBN 91-88360-86-5

Intern institutionsbeteckning

Rapport nr 62

Organisation, The document can be obtained through LUND UNIVERSITY Department of Technology and Society Environmental and Energy Systems Studies PO Box 118, SE-221 00 Lund, Sweden Telephone: int+46 46-222 00 00 Telefax: int+46 46-222 86 44	Type of document
	Report
	Date of issue
	May 2007
	Authors
	Pål Börjesson

Title and subtitle

Conversion and utilisation of biomass from Swedish agriculture

Abstract

Biomass feedstock from agriculture can be refined and converted into several different energy carriers and utilised for different energy services, such as production of heat, electricity or transportation fuel. The feedstock may be residues and by-products, such as straw and manure, or energy crops cultivated under different conditions depending on variations in regional and local conditions. Similar variations exist in the regional and local conditions for the refining and utilisation of the bioenergy and its by-products. The overall aim of this report is to analyse and describe the technical and physical conditions of different agriculture-based bioenergy systems using the existing infrastructure and potential new systems expected to be developed in the future. To which extent this technical/physical potential will be utilised in the future depends mainly on economic conditions and financial considerations. These aspects are not included in this study. Furthermore, potential possibilities to utilise existing infrastructure within the forest industry are not included.

The report starts with an analysis and description of the energy efficiency of different bioenergy systems, from the production of the biomass to the final use of the refined energy carrier, expressed as the amount of heat, electricity or transportation fuel produced per hectare and year. The possibilities to co-produce different energy carries in bio-refineries are also analysed. The next part of the report includes an analysis of the variation in the regional conditions for the conversion and utilisation of the different energy carriers, based on existing infrastructure, for instance, district heating systems, individual heating systems, combined heat and power production, utilisation of by-products as feed in animal production, utilisation of digestion residues as fertilisers, the supply of forest fuels, etc.

The report also includes a discussion of the environmental impact of an increased implementation of different bioenergy systems based on a review of existing environmental systems analyses. This part also includes a description of the consequences of choosing different methods for the analysis of the environmental effects. The final part of the report consists of some calculations showing how much heat, electricity and/or transportation fuels Swedish agriculture can deliver, depending on how much of the residues and by-products are recovered, how much agricultural land is utilised for energy production and what kind of conversion systems are utilised.

Keywords

Agriculture, bioenergy, heat, electricity, transportation fuels, regional utilisation

Number of pages	Language	ISRN
117	Swedish English abstract	ISRN LUTFD2/TFEM--07/3053--SE + (1-117)
ISSN		ISBN
ISSN 1102-3651		ISBN 91-88360-86-5

Department classification

Report No. 62

Förord

Denna studie har genomförts inom Statens Offentliga Utredningar: Bioenergi från jordbruket – en växande resurs (SOU 2007:36). Föreliggande rapport är också publicerad som en bilaga i denna SOU-publikation.

Författaren vill rikta ett stort tack till alla deltagare i referensgrupper samt expertgrupp inom utredningen för värdefulla kommentarer och synpunkter under studiens genomförande.

Lund, maj 2007

Pål Börjesson

Innehållsförteckning

1.	Inledning	3
2.	Syfte.....	4
3.	Metod.....	5
4.	Förädling av jordbruksbaserade biobränslen	5
	4.1 Värmeproduktion.....	7
	4.2 Kraftvärmeproduktion	9
	4.3 Drivmedelsproduktion	10
5.	Åkermarkseffektivitet för olika produktsystem	17
	5.1 Värmeproduktion.....	19
	5.2 Kraftvärmeproduktion	24
	5.3 Drivmedelsproduktion	29
6.	Energikombinat.....	35
	6.1 Etanol och biogas från spannmål.....	35
	6.2 Etanol, el och värme från lignocellulosa	36
	6.3 FT-diesel, el och värme från lignocellulosa.....	38
	6.4 Metanol/DME, el och värme från lignocellulosa	38
	6.5 Pellets, el och värme från lignocellulosa	40
	6.6 Utnyttjande av värmeöverskott i befintliga kraftvärmeverk.....	41
7.	Regionala förutsättningar för förädling och avsättning.....	43
	7.1 Värmeproduktion.....	43
	7.2 Kraftvärmeproduktion	48
	7.3 Drivmedelsproduktion	51
	7.3.1 Etanolproduktion från spannmål	51
	7.3.2 RME-produktion från raps.....	56
	7.3.3 Sammanfattande slutsatser kring RME- och etanolproduktion	60
	7.3.4 Drivmedel från lignocellulosa.....	61
	7.4 Energikombinat	62
	7.4.1 Etanol och biogas från spannmål	62
	7.4.2 Drivmedel, pellets, el och värme från lignocellulosa	64
	7.4.3 Utnyttjande av värmeöverskott i befintliga kraftvärmeverk.....	67
	7.5 Produktion och avsättning av biobränslen – regionala balanser	68
8.	Miljökonsekvenser	74
	8.1 Metodik vid miljökonsekvensbedömningar.....	74
	8.2 Exempel på resultat från miljösystemstudier	76

9.	Osäkerhet kring beräkningsmetodik.....	87
	9.1 Faktorer som påverkar energiutbyte – exempel bioetanol.....	87
	9.2 Alternativ till energianalys – exergi- och emergianalys	91
10.	Förutsättning för förädling och avsättning på nationell nivå – några räkneexempel.....	94
11.	Slutsatser och diskussion.....	105
12.	Referenser	115

1. Inledning

Det finns en rad olika möjligheter att producera bioenergi inom jordbruket. Biobränslen kan dels utgöras av restprodukter från växtodling som halm, blast mm, dels från djurproduktion som gödsel. Dessutom kan olika energigrödor odlas, dels traditionella grödor som t ex spannmål, oljevaxter och sockerbetor, dels nya energigrödor som t ex salix, rörflen, hampa och snabbväxande lövträd. Produktionsförutsättningarna och avkastningsnivåerna för dessa olika grödor kan skilja väsentligt utifrån lokala och regionala förutsättningar, t ex på vilka jordar dessa odlas samt var i landet odlingen sker (se t ex Börjesson, 2007). Detta ger en relativt komplex bild av produktionsförutsättningarna för biobränslen inom jordbruket och en slutsats är att långtgående generaliseringar inte är möjliga. En ökad kunskap om denna komplexitet och enskilda energigrödors produktionsförutsättningar utifrån lokala och regionala förutsättningar är därför viktigt i fortsatta analyser av jordbrukets möjligheter att producera bioenergi.

För att komplicera bilden ännu mer kan jordbrukets olika typer av biobränslen omvandlas till en rad olika energibärare och användas för olika energitjänster, t ex värmeproduktion, kraftvärmeproduktion och som drivmedel för transportarbete. Det finns också en rad olika omvandlingsvägar och tekniker för att förädla jordbrukets biobränslen, t ex förbränning, rötning, jäsning, pressning och förgasning. Sammanfattningsvis finns ett mycket stort antal kombinationer av bioenergisystem där olika produktsystem utgörs av olika råvaror, omvandlingstekniker och slutliga användningsområden. Dessutom kan olika bioenergisystem i sin tur kombineras på olika sätt i så kallade energikombinat, där ett flertal olika energibärare produceras samtidigt utifrån ett eller flera olika biobränslen. Vid förädling av jordbrukets biobränslen uppstår ofta också biprodukter som kan utnyttjas på olika sätt, t ex för energiproduktion eller som foder vid djurproduktion. Hur effektiva olika bioenergisystem är ur energi- och resurssynpunkt (t ex hur effektivt åkermarken utnyttjas) beror således på hur dessa system är utformade och eventuellt integrerade med varandra.

En ytterligare aspekt att beakta är vilka eventuella lokala och regionala förutsättningar som måste vara uppfyllda för att kunna producera och få avsättning för vissa energibärare. Exempel är existerande infrastruktur i form av fjärrvärmesystem för storskalig värme- och kraftvärmeproduktion men också för vissa energikombinatkoncept. Det måste också finnas förutsättningar för avsättning av eventuella biprodukter som genereras, t ex rötrest som gödselmedel vid biogasproduktion och drank och rapsmjöl som foder vid etanol- respektive RME-produktion. Sammanfattningsvis krävs en bred systemsyn när förutsättningarna för produktion, förädling och avsättning av olika jordbruksbaserade biobränslen analyseras.

2. Syfte

Syftet med detta projekt är att beskriva hur olika jordbruksrelaterade biobränslen kan förädlas till olika energibärare och energitjänster samt analysera hur energi- och resurseffektiva dessa olika bioenergisystem är. Dessutom analyseras de tekniska och geografiska förutsättningarna för att förädla olika biobränslen samt få avsättning för såväl förädlade energibärare som eventuella biprodukter. Dessa analyser baseras dels på dagens existerande infrastruktur och energiteknik, dels på nya system- och tekniklösningar inklusive olika möjliga drivmedels- och energikombinat. Avsättningsmöjligheter utifrån dagens infrastruktur innefattar dels storskaliga energianläggningar, t ex fjärrvärmeverk, dels småskaliga anläggningar på gårdsnivå, enskilda bostäder, offentliga lokaler etc. Här beaktas även en möjlig utveckling av t ex fjärrvärmesektorn i form av utbyggnad och ökad kraftvärmeproduktion. Avsättningspotentialen för framtida möjliga systemlösningar innefattar dels en utveckling av nya kombinationer av existerande teknik, t ex samproduktion av biodrivmedel och kraftvärme, dels ny teknik som förgasning och jäsning av cellulosa. En viktig avgränsning är att skogsindustrins infrastruktur inte inkluderas i denna analys. Det finns dock möjligheter att även utnyttja denna infrastruktur för förädling och avsättning av jordbruksbaserade biobränslen och detta behöver analyseras vidare i framtida studier.

Resultaten från denna studie ska ses, tillsammans med en tidigare studie kring regionala produktionsförutsättningar för jordbruksbaserade biobränslen (Börjesson, 2007), som ett underlag till kompletterande studier där de ekonomiska förutsättningarna analyseras. I denna studie görs inga ekonomiska överväganden. För att bedöma hur stor den faktiska biobränsleproduktionen kan bli i framtiden krävs kompletterande ekonomiska beräkningar och modelleringar över vilka förutsättningar jordbruket har idag och i framtiden för att producera bioenergi i förhållande till traditionella livsmedels- och fodergrödor. Lönsamheten för olika odlingssystem och grödor beror i sin tur till stor del av politiska beslut, t ex utformningen av stödsystem inom jordbrukspolitiken, samt marknaden för andra grödor. Dessutom krävs ekonomiska analyser över kostnader för olika omvandlingstekniker samt betalningsförmåga för förädlade biobränslen i jämförelse med prisutvecklingen för t ex fossila bränslen. Resultaten i denna rapport kan utnyttjas för att klargöra vilka konsekvenser olika prioriteringar kan få, t ex avseende utveckling och stimulans av olika energigrödor och omvandlingstekniker, för jordbrukets potential att producera bioenergi.

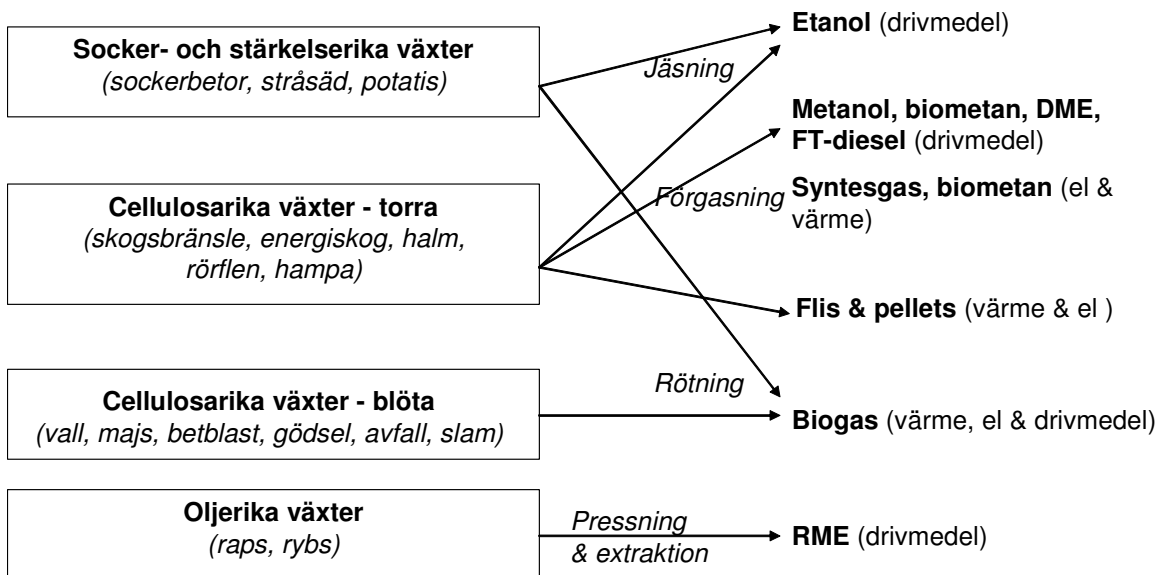
3. Metod

Datansamling baseras framför allt på litteraturstudier och sammanställning av offentlig statistik, forskningsrapporter, branschsammanställningar, tidigare utredningar mm. Dessutom utnyttjas kompletterande intervjuer med nyckelaktörer när litteraturdata saknas. Stor vikt har lagts vid att analyserna ska vara transparenta och att olika antaganden och beräkningar tydligt beskrivs.

Data över de regionala produktionsförutsättningarna för olika biobränslen bygger på Börjesson (2007). Energiutbytet från olika produktsystem redovisas dels som bruttoutbyte, dels som nettoutbyte där de energiinsatser som krävs för att driva produktsystemen dragits ifrån bruttoutbytet. Energiinsatserna avser primärenergi, d v s energiåtgång för framställning av de använda energislagen samt förluster vid omvandling och distribution av dessa är inkluderat. Ingen hänsyn har tagits till skillnader i energikvalitet (jämför exergi), d v s insatsenergi i form av fossil energi respektive producerad energi i form av biomassa betraktas lika ur energisynpunkt. En diskussion kring osäkerheter kring den här använda metoden förs i ett separat kapitel i rapporten liksom en jämförelse med alternativa metoder som exergi- och emergianalys.

4 Förädling av jordbruksbaserade biobränslen

Jordbrukets biobränslen i form av restprodukter som halm, blast och gödsel samt odlade energigrödor som spannmål, oljeväxter, sockerbetor, vall, salix, energigräs, majs, hampa, poppel osv har alla olika egenskaper som gör dessa mer eller mindre lämpliga för olika alternativa förädlingsvägar och slutliga energitjänster. Eftersom det finns ett stort antal olika biobränslen som är möjliga att utnyttja från jordbruket samt ett flertal olika omvandlingstekniker som kan utnyttjas för att förädla dessa, blir antalet möjliga kombinationer av olika produktsystem mycket stort (Figur 4.1). Därför görs här en avgränsning där enbart vissa produktsystem analyseras och redovisas som i sin tur får fungera som indikatorer på prestandan för en liknande grupp av produktsystem. De produktsystem som valts ut är system som är mest aktuella och relevanta utifrån dagens situation samt vilka som bedöms kunna bli det inom en relativt snar framtid (cirka 10-20 år).



Figur 4.1. Omvandlingsvägar för olika typer av biomassa till olika energibärare som kan användas för värmeproduktion, elproduktion samt som drivmedel.

I Figur 4.2 ges en översikt av vilka produktsystem som analyseras i denna studie. När det gäller traditionella livsmedelsgrödor som vete, sockerbetor och raps antas dessa utnyttjas för drivmedelsproduktion i form av etanol och biogas respektive rapsmetylester (RME). Havre och helsäd (t ex rågvete) antas utnyttjas för småskalig värmeproduktion. Vall och majs antas utnyttjas för storskalig biogasproduktion för produktion av kraftvärme och drivmedel, respektive småskaligt för produktion av värme och kraftvärme. Salix, poppel, hybridasp och gran antas utnyttjas i storskaliga anläggningar för produktion av värme och kraftvärme, samt för produktion av etanol (via jäsning) och metanol, dimetyleter (DME), Fischer-Tropsch (FT)-diesel samt biometan (via förgasning). Produktion av drivmedel från lignocellulosa baseras således på antagandet att dessa omvandlingstekniker blir kommersiella i framtiden genom fortsatt utveckling.

Hampa och rörlfen antas här utnyttjas för storskalig värme- och kraftvärmeproduktion. När det gäller hampa finns osäkerheter kring hur denna ska skördas och hanteras för att kunna utnyttjas för energiändamål. Det finns också endast ett fåtal förbränningstester gjorda och därmed begränsad kunskap om hampans bränsleegenskaper (Sundberg och Westlin, 2005). Restprodukter som halm antas utnyttjas för småskalig värmeproduktion respektive storskalig värme- och kraftvärmeproduktion. Halm, hampa och stråbränslen är

också möjliga råvaror för såväl förgasning som etanolproduktion men detta har inte undersökts vidare i denna studie p g a begränsningsskäl. Utveckling av etanolproduktion från halm pågår bl a i Danmark där halmpotentialen är mycket större än i Sverige (Bernesson och Nilsson, 2005). Preliminära tester visar att hampa kan vara en intressant råvara för etanolproduktion då denna har betydligt högre halt av cellulosa (cirka 60 %) jämfört med ved (cirka 40 %) och därmed mindre halt av hemicellulosa och lignin (Zacchi, 2006). Restprodukter som blast och gödsel antas här utnyttjas för småskalig biogasproduktion för värme- och kraftvärmeproduktion, respektive för storskalig biogasproduktion för kraftvärme- och drivmedelsproduktion. I avsnitt 4.1 till 4.3 beskrivs mer i detalj vilka antaganden som gjorts vad gäller omvandlingseffektivitet mm för de olika produktsystemen. Beskrivning av avkastningsnivåer för olika energigrödor inom olika produktionsområden ges i Börjesson (2007), liksom energiåtgång vid odling och transport av energigrödor. Därför beskrivs inte detta närmare i denna studie.

VETE & S.BETOR	>	JÄSNING - ETANOL RÖTNING – BIOGAS	>	DRIVMEDEL DRIVMEDEL
HAVRE	>	FÖRBRÄNNING (småskaligt)	>	VÄRME
HELSÄD	>	FÖRBRÄNNING (små- & storskaligt)	>	VÄRME
RAPS	>	PRESSNING/EXTRAKTION – RME	>	DRIVMEDEL
VALL MAJS	>	RÖTNING – BIOGAS (småskaligt) (storskaligt)	>	VÄRME & KRAFTVÄRME DRIVMEDEL & KRAFTV.
SALIX, POPPEL, H.ASP & GRAN	>	FÖRBRÄNNING (storskaligt) JÄSNING – ETANOL FÖRGASNING – METANOL, DME & FT-DIESEL – BIOMETAN	>	VÄRME & KRAFTVÄRME DRIVMEDEL DRIVMEDEL DRIVMEDEL & KRAFTV
HAMPA & RÖRFLEN	>	FÖRBRÄNNING (storskaligt)	>	VÄRME & KRAFTVÄRME
HALM	>	FÖRBRÄNNING (små- & storskaligt)	>	VÄRME VÄRME & KRAFTVÄRME
GÖDSEL & BETBLAST	>	RÖTNING – BIOGAS (små-&storskal.)	>	VÄRME & KRAFTVÄRME DRIVMEDEL & KRAFTV.

Figur 4.2. Beskrivning av analyserade produktsystem.

4.1. Värmeproduktion

Småskalig värmeproduktion genom förbränning av havre kräver speciell utrustning (pannor och skorstenar) som tål de korrosiva rökgaser som uppstår. I annat fall fås ofta problem med kort livslängd och skador på

utrustningen. Projekt kring utveckling av tekniken för havreeldning pågår idag, t ex inom LBU-programmet. Här antas att verkningsgraden vid småskalig förbränning av havre (gårdsanläggning) är i genomsnitt cirka 85 %. När det gäller halmeldning finns kommersiell teknik utvecklad för såväl småskalig som storskalig eldning. Småskalig förbränning av halm (gårdsanläggning) kan antingen ske genom satsvis förbränning då hela halmbalar matas in i pannan eller i form av riven halm i så kallade flödesmatade system. Flödesmatade system är dock vanligast i större anläggningar med mer avancerade pannor. Här antas att småskalig eldning av halm sker genom satsvis förbränning med en pannverkningsgrad om 70 % medan storskalig eldning sker genom flödesmatade system med en pannverkningsgrad om 85 % (Börjesson och Berglund, 2003). Storskalig förbränning av rörfen och hampa antas också ske genom flödesmatade system med motsvarande verkningsgrad som för halm, d v s 85 %. Storskalig förbränning av träbränslen som salix, poppel, hybridasp och gran bedöms kunna ske något mer energieffektivt jämfört med stråbränslen, med en genomsnittlig pannverkningsgrad om 90 % (Börjesson och Berglund, 2003).

Ett alternativ till att förbränna strå- och träbränslen i oförädlad form (d v s endast i hackad eller flisad form) är att förädla dessa till pellets. På detta sätt fås en jämnare kvalitet på bränslena samtidigt som hanterings- och förbränningstekniken kan bli effektivare. Dessutom ökar möjligheterna att avsätta dessa bränslen för småskalig eldning i pellets pannor. Samtidigt krävs en ytterligare energiinsats vid sönderdelning (malning) och pelletering. En uppskattning är att denna energiinsats uppgår till motsvarande cirka 15-20 % av träbränslets energiinnehåll (Gustavsson och Karlsson, 2002). Energiinsatsen vid pelletering av t ex halm eller vinterskördad rörfen och hampa antas bli något lägre eftersom dessa inte behöver torkas lika mycket som färsk vedbiomassa (som innehåller cirka 50 % vatten). Denna ökade energiinsats kompenseras något genom en något högre verkningsgrad vid förbränning av pellets jämfört med oförädlade strå- och träbränslen.

När det gäller förbränning av biogas för värmeproduktion antas denna ske med en verkningsgrad om 90 % i små gaspannor respektive 95 % i stora pannor (Börjesson och Berglund, 2003). Utbytet av biogas från vall, majs och betblast beräknas i genomsnitt uppgå till drygt 60 % av biomassans energiinnehåll (cirka 3 MWh biogas per ton ts) (se Tabell 4.1). Utbytet av biogas från gödsel antas i genomsnitt uppgå till cirka 40 % av gödselns energiinnehåll (cirka 2 MWh biogas per ton ts). Utbytet av biogas från olika råvaror kan dock variera väsentligt, bl a beroende av vilken rötningsteknologi som utnyttjas (Berglund och Börjesson, 2003; 2006).

Energiinsatsen vid storskalig rötning av vall, majs och betblast (exklusive odling och skörd alt. insamling som beskrivs i Börjesson, 2007) uppskattas i genomsnitt motsvara ungefär 20 % av biogasens energiinnehåll, fördelat på uppvärmning av biogasreaktor, 10 %, elförbrukning för omrörning, pumpning, sönderdelning mm, 4 %, samt transport (20 km) och spridning av rötrest, 6 %. Dessa uppgifter bygger på en tidigare

energianalys av olika biogassystem i Sverige (se Berglund och Börjesson, 2003; 2006). En viss justering har dock gjorts vad gäller elförbrukning då denna räknats om till svensk elmix i detta arbete i stället för naturgaskondens i den ursprungliga energianalysen. Detta innebär en lägre förbrukning av primärenergi för energiinsatsen i form av el. Värmebehovet antas tillgodoses genom förbränning av biogas där 1 kWh värme antas motsvara 1,3 kWh primärenergi.

I små biogasanläggningar (gårdsanläggningar) uppskattas energiförbrukningen vid rötning av vall, betblast och majs i genomsnitt motsvara 33 % av biogasens energiinnehåll, fördelat på uppvärmning av rötreaktor, 27 %, elförbrukning, 3 % samt spridning av rötrest, 3 % (baserat på data från Berglund och Börjesson, 2003; 2006 som justerats enligt ovan). Vid rötning av gödsel beräknas energiinsatsen för att driva rötreaktorn vara cirka 40 % högre jämfört med när t ex vall, majs och betblast rötas, framför allt p g a större energiåtgång för uppvärmning (Berglund och Börjesson, 2003; 2006). Däremot är energiåtgången för transport och spridning av rötrest lika. Detta innebär en energiinsats motsvarande cirka 26 % av biogasens energiinnehåll vid storskalig rötning av gödsel respektive cirka 45 % vid småskalig rötning av gödsel.

4.2. Kraftvärmeproduktion

När det gäller storskalig kraftvärmeproduktion från trädbränslen (salix, poppel, hybridasp och gran) respektive stråbränslen (halm, rörflen och hampa) via förbränning antas totalverkningsgraden vara samma som vid enbart värmeproduktion. Elproduktionen antas ske med ångturbinsteknologi där cirka en del el produceras per två delar värme, vilket motsvarar ett alfa-värde om 0,5 (Börjesson, 2001). Med ny kombicykelteknologi, där både ångturbin och gasturbin utnyttjas och där biomassan förgasats, kan upp till lika delar el och värme produceras, vilket motsvarar ett alfa-värde om 1. Fördelarna med ångturbinsteknologin är att denna är enklare, billigare och kommersiell vilket kombicykelteknologin ännu inte är, medan nackdelen är att en mindre andel el produceras. En studie av Helby m fl (2004) konstaterar dock att det kommer att krävas kraftigt ökade elpriser innan kombicykelteknologin kan bli mer lönsam än dagens ångturbinsteknologi och att kraftvärmeproduktionen från träd- och stråbränslen därför sannolikt kommer att baseras på ångturbinsteknologin under lång tid framöver. Dessutom bedöms det finnas en fortsatt utvecklingspotential för ångturbinsteknologin som kan leda till högre elverkningsgrad i framtiden (Börjesson, 2001). I denna studie antas storskalig kraftvärmeproduktion från 1 MWh trädbränsle i genomsnitt ge 0,3 MWh el respektive 0,6 MWh värme. En MWh stråbränsle antas i genomsnitt ge 0,28 MWh el respektive 0,57 MWh värme. Tekniken för småskalig kraftvärmeproduktion baserat på fasta biobränslen är dåligt utvecklad och bedöms därför vara för dyr för att vara ett realistiskt alternativ idag.

Storskalig samproduktion av el och värme från biogas antas ske via gasturbiner. Totalverkningsgraden för stora gasturbiner antas i genomsnitt uppgå till 85 % varav 40 % utgörs av el och 45 % av värme (Börjesson och Berglund, 2003). Denna teknik är kommersiell och tillämpas på ett flertal biogasanläggningar i Sverige idag. I studien inkluderas även ett exempel där biometan från termisk förgasning av träbränslen utnyttjas för kraftvärmeproduktion via gasturbiner. Småskalig kraftvärmeproduktion från biogas sker endast i begränsad omfattning idag på grund av svag lönsamhet. I vissa situationer, till exempel relativt stora djurgårdar med stora värmebehov, kan småskalig kraftvärmeproduktion vara lönsamt idag (Lantz, 2004). Småskalig kraftvärmeproduktion från biogas kan ske med ett antal olika tekniker som har olika egenskaper vad gäller kostnader, elverkningsgrad och totalverkningsgrad. Exempel är ottomotorer eller dieselmotorer som utnyttjar både biogas och diesel, s.k. dual-fuel principen. I Tyskland produceras el från biogas i ett stort antal gårdsanläggningar och här utnyttjas framför allt dieselmotorer men också ottomotorer. Dieselmotorer har den fördelen att de är massproducerade, vilket sänker investeringskostnaden relativt ottomotorer. Dessa har också en högre elektrisk verkningsgrad, i synnerhet för mindre anläggningar. Nackdelen för dieselmotorer relativt ottomotorer är exempelvis en högre kostnad för drift och underhåll, kortare livslängd och behovet av diesel (5 – 15 %).

Andra möjliga tekniker för småskalig kraftvärmeproduktion från biogas är sterlingmotorer och mikroturbiner som idag är utvecklade för naturgas. Nyligen har dock en gasturbin introducerats på marknaden som är speciellt anpassad för biogas (Turbec, 2006). Totalverkningsgraden för mikroturbiner ligger ofta kring 80-85 % varav 30-35 % utgörs av el och cirka 50 % av värme (Börjesson och Berglund, 2003). Nackdelarna med dessa tekniker är högre investeringskostnader jämfört med diesel- och ottomotorer medan fördelen är betydligt lägre underhållskostnader samt längre livslängd. Med fortsatt teknikutveckling, kostnadsreduktion och serietillverkning bör sterlingmotorer och mikroturbiner kunna bli konkurrenskraftiga i framtiden. I denna studie antas dock småskalig kraftvärmeproduktion från biogas utnyttja dieselmotorer (där cirka 5-10 % diesel utnyttjas i förhållande till biogas) med en totalverkningsgrad om cirka 80 % varav 30 % utgörs av el och 50 % av värme.

4.3. Drivmedelsproduktion

När det gäller utbytet av olika slags drivmedel från olika typer av biobränslen baseras dessa uppskattningar på mer eller mindre säkra data. När det gäller till exempel utbyte av etanol från spannmål respektive RME från raps baseras dessa på erfarenheter från existerande anläggningar. Detta gäller också delvis för biogas, framför allt biogas baserad på gödsel och vall. Utbytet och energiinsatser vid produktion av etanol och biogas från sockerbetor baseras dock på data från olika försök och teoretiska uppskattningar och beräkningar som presenterats i olika publikationer. Det samma gäller drivmedelutbytet och energiinsatser för produktion av de

s.k. andra generationens drivmedel som etanol från trädbränslen samt DME, FT-diesel, metanol och biometan från förgasad biomassa. Osäkerheterna i beräkningarna är därför relativt stora för dessa drivmedel eftersom tekniken inte är färdigutvecklad och därmed inte kommersiell.

I Tabell 4.1 sammanfattas de antaganden som gjorts i denna studie vad gäller omvandlingseffektivitet för de olika produktsystemen som analyseras samt hur mycket insatsenergi som krävs vid omvandling och förädling av biomassa till färdigt drivmedel. I tabellen redovisas också inom vilka intervall omvandlingseffektiviteten kan variera inom den litteratur som här utnyttjats. Utbytet av olika drivmedel från olika råvaror beror också till stor del på hur processerna är utformade och om samproduktion sker med andra energibärare i så kallade energikombinat. Om t ex samproduktion av drivmedel, fjärrvärme och el sker kan utbytet av drivmedel bli något lägre än när enbart drivmedelsproduktion prioriteras. Å andra sidan kan samproduktion av flera energibärare leda till en högre totalverkningsgrad jämfört med när enbart drivmedel produceras. I detta avsnitt antas drivmedelsproduktion prioriteras varför omvandlingseffektiviteten för drivmedelsproduktion ligger i den övre delen av de intervall som presenteras i Tabell 4.1. I kapitel 6 beskrivs olika möjliga energikombinat och hur omvandlingseffektivitet och totalverkningsgrad då kan skilja jämfört med de antaganden som görs i detta avsnitt.

Vid framställning av biodrivmedel fås ofta en restprodukt som kan utnyttjas för olika ändamål, t ex som foder vid djurproduktion eller som bränsle. Hur denna biprodukt beaktas i beräkningarna får ofta stor betydelse för hur stora energiinsatserna blir vid drivmedelsproduktion (se t ex avsnitt 9.1). Det finns flera olika metoder att fördela, eller allokera, energiinsatserna mellan drivmedlet och de biprodukter som genereras. Alla dessa metoder har sina för- och nackdelar vilket gör det svårt att hitta en enskild metod som alltid är att föredra. En metod som bl a används i t ex well-to-wheel-studier (se t ex Concawe m fl, 2006) är substitutionsprincipen som bygger på systemutvidgning där den aktuella biprodukten antas ersätta en befintlig produkt på marknaden. Biprodukter i form av rapsmjöl vid RME-produktion samt drank och pulpa vid etanolproduktion från vete respektive sockerbetor antas ersätta import av sojammjöl som proteinfoder. Energiåtgången för denna sojammjölproduktion, som i detta fall antas ske i USA, dras sedan ifrån den energiinsats som krävs vid framställning av respektive drivmedel. Fördelen med denna metod är att den följer de principer som beskrivs i den internationella standard som framtagits för genomförande av livscykelanalys (ISO 14041), där man förordar systemutvidgning före allokering när så är möjligt.

En nackdel med denna substitutionsmetod är dock att det ofta finns osäkerheter avseende den produkt som antas ersättas, dels kan det finnas ett flertal olika produkter på marknaden att välja mellan, dels kan kvaliteten på livscykeldata för ersättningsprodukten ofta vara bristfällig. Detta kan medföra relativt stora osäkerheter i beräkningarna. Dessutom kan marknaden för t ex biprodukter som foder bli mättad vid en storskalig utbyggnad av biodrivmedelsproduktion varför dessa kan börja utnyttjas för energiändamål. Detta diskuteras också i den well-to-wheel-studien som refereras ovan (Concawe m fl, 2006). Om

systemutvidgning inte bedöms vara möjlig eller relevant förordar ISO-standarderna allokering utifrån fysikaliska orsakssamband, t ex efter produkternas vikt eller energiinnehåll. När fokus ligger på energiproduktion, t ex biodrivmedelsproduktion, bedöms allokering utifrån energiinnehåll vara mest relevant. Om det finns stora skillnader i ekonomiskt värde mellan huvudprodukt och biprodukt kan det vara motiverat att använda ekonomisk allokering. En osäkerhet med denna metod är att priset på huvudprodukt respektive biprodukt oftast varierar över tiden.

I detta avsnitt utnyttjas fysikalisk allokering utifrån produkternas energiinnehåll vid fördelning av de energiinsatser som krävs vid produktion av biodrivmedel. Detta motiveras med att det här bedöms finnas relativt stora osäkerheter kring potentiella ersättningsprodukter vid en eventuell systemutvidgning, t ex avseende foderprodukter, varför denna metod inte utnyttjas här. Allokering utifrån ekonomiska samband (d v s priset på produkterna) samt systemutvidgning diskuteras senare i avsnitt 9.1. Den fysikaliska allokeringen i detta avsnitt bygger på att den energiinsats som krävs för att odla och skörda den aktuella energigrödan reduceras i motsvarande grad som andelen energi som återfinns i biprodukten. Vid t ex RME-produktion återfinns cirka en tredjedel av rapsfröets energiinnehåll i rapsmjölet, d v s energiinsatsen vid rapsodling reduceras i detta fall med en tredjedel. Vid etanolproduktion baserat på vete och sockerbetor återfinns också ungefär en tredjedel av råvarans energiinnehåll i biprodukterna drank respektive pulpa. Dessa biprodukter innehåller dock cirka 90 % vatten och är därför inte direkt jämförbara med den ursprungliga råvaran (likt rapsfrö och rapsmjöl), utan i dessa fall inkluderas även torkning av biprodukten. När det gäller etanolproduktion från lignocellulosa torkas också restprodukterna varefter dessa används internt för produktion av värme och ånga. Ett nettoöverskott av biprodukter fås dock, som här antas bestå av torkad ligninrest, som i energitermer också ungefär motsvarar en tredjedel av träråvarans energiinnehåll. Energiinsatsen vid energiskogsodling reduceras därför i detta fall också med en tredjedel.

De antaganden som görs i denna studie avseende omvandlingseffektivitet och energiinsats vid drivmedelsproduktion baseras på ett flertal olika referenser som beskrivs kortfattat nedan. När det gäller energiinsats för odling av olika energigrödor (som ska adderas till energiinsatserna vid omvandling och förädling) varierar dessa beroende på var i landet grödorna odlas. Dessa data har hämtats från Börjesson (2007) där avkastningsnivåer och energiinsatser för olika energigrödor beskrivs mer i detalj. I figurerna som presenteras i kapitel 5 inkluderas således energiinsatserna vid såväl odling och transport av biomassa som vid omvandling och förädling till färdigt drivmedel.

Omvandlingseffektivitet och energiinsats vid produktion av etanol från vete baseras på Börjesson (2004), Bernesson m fl (2006), Fredriksson m fl (2006) och Concawe m fl (2006). Energiinsatsen består dels av värme för fermentering, destillering och torkning av drank till foder, dels av el för förbehandling av råvara, pumpning mm. Hänsyn har tagits till att biprodukten drank produceras genom att energiinsatsen vid produktion av vete reduceras med 33 %. Omvandlingseffektivitet och energiinsats vid produktion av biogas

från vete baseras på Börjesson (2004) som i sin tur sammanställt data från Linné (2004) och Edström och Norberg (2001). Denna data bedöms vara något mer osäker då den baseras på teoretiska beräkningar i kombination med utrotningsförsök i lab-skala.

Data över omvandlingseffektivitet och energiinsats vid framställning av etanol och biogas från sockerbetor har bl a hämtats från L-B-Systemtechnik (2002), Linné m fl. (2005), Linné (2004), Concawe m fl (2006) samt Björnsson (2006). Dessa data är också relativt osäkra då de inte bygger på kommersiell teknik. Utvecklingsprojekt pågår dock där framställning av etanol och biogas från sockerbetor analyseras mer i detalj, t ex vid JTI i Uppsala. När det gäller framställning av RME från raps baseras antaganden om omvandlingseffektivitet och energiinsats på data från Bernesson m fl (2004), Fredriksson m fl (2006) samt Concawe m fl (2006). Hänsyn har tagits till att biprodukten rapsmjöl produceras genom att energiinsatsen vid produktion av raps reduceras med 33 %. Vid produktion av RME fås också glycerin som biprodukt men ur energisynpunkt har denna relativt liten betydelse varför denna försummas här (Concawe m fl, 2006).

Omvandlingseffektivitet och energiinsats vid produktion av biogas från vall, majs, betblast och gödsel baseras på data från Berglund och Börjesson (2003; 2006), Börjesson (2004), Karpenstein Machan (2005) samt Fredriksson m fl (2006). En viss justering har gjorts i denna studie genom att insatsen av el har räknats om till svensk elmix i studierna av Berglund och Börjesson (se avsnitt 4.1). Energiinsatsen i form av el vid uppgradering och komprimering av biogasen beräknas i genomsnitt motsvara 5 % av biogasens energiinnehåll.

När det gäller utbytet av etanol från lignocellulosa varierar detta beroende på vilken teknik som tillämpas, framför allt avseende det så kallade hydrolyssteget. I detta steg skiljs lignin från cellulosa och hemicellulosa som omvandlas till socker. Därefter sker traditionell jäsnings till etanol med hjälp av jästsvampar. Hydrolys kan ske med starka syror som t ex saltsyra, så kallad starksyrahydrolys, vilket är den teknik som framför allt tillämpas idag. I dessa fall uppgår utbytet av etanol till cirka 30 %, uttryckt i energitermer (Blinge m fl. 1997; Goldschmidt, 2005). Uttryckt i vikt motsvarar detta ett utbyte om cirka 20 %. Utveckling pågår dock mot effektivare hydrolysmetoder där bl a enzymer utnyttjas, så kallad enzymatisk hydrolys. Detta sker i kombination med inledande svagsyrahydrolys. Utbytet med denna tvåstegsmetod, som fortfarande inte är kommersiell, uppskattas kunna bli mellan 33 % upp till 43 % (L-B-Systemtechnik, 2002; Goldschmidt, 2005; Concawe m fl, 2006). Ett steg på vägen mot enzymatisk hydrolys är en tvåstegs svagsyrareaktor där t ex svavelsyra och svaveldioxid utnyttjas. Denna process är mycket lik tvåstegsprocessen för enzymatisk hydrolys och det andra stegets svagsyrareaktor kan därför lätt kompletteras med en enzymatisk reaktor när denna teknik är färdigutvecklad. En uppskattning av Zacchi (2006) är att ett realistiskt utbyte av etanol från barrved med enzymatisk hydrolys är cirka 36 % och ett optimistiskt utbyte cirka 40 %.

Utbytet av etanol kan variera något beroende på vilken vedråvara som används, t ex barrved eller lövved. Lövved (samt halm och stråbränslen) hydrolyseras lättare än barrved till sockermolekyler men är sedan svårare att jäsa till etanol då en större andel så kallat C-5-socker (pentoser) fås. Efter hydrolys av barrved, vilket är något svårare jämfört med lövved, fås en större andel så kallat C-6-socker (manos och lite xylos) som enkelt jäses till etanol med vanliga jästsvampar. Jäsning av pentoser till etanol kräver däremot modifierade jästsvampar (Zacchi, 2006). Om salix utnyttjas innebär detta en större andelen bark i förhållande till ved (p g a klenare stammar) än när t ex poppel, hybridasp eller gran används vilket kan medföra ett något lägre etanolutbytet per ton biomassa. Dessa eventuella skillnader mellan olika vedråvaror har dock inte beaktats i denna studie då bl a variationen p g a andra faktorer bedöms kunna vara lika stora eller större, t ex skillnader i kolhydratinnehåll mellan olika salixkloner (Zacchi, 2006). Kunskapen kring dessa olika faktorerers betydelse för etanolutbytet är också begränsad varför det inte går att göra mer precisa uppskattningar idag utan förenklingar måste göras.

Energiinsatsen vid framställning av etanol från lignocellulosa baseras på data från Blinge m fl. (1997), L-B-Systemtechnik (2002) samt Concawe m fl (2006). I processen erhålls en biprodukt som till stor del består av lignin som torkas och används internt för generering av värme och ånga. Dessutom fås ett överskott som här beräknas motsvara cirka en tredjedel av vedråvarans ursprungliga energiinnehåll, d v s energiåtgången vid odling av vedråvara reduceras med en tredjedel utifrån den allokeringssprincip som används här. Den externa energi som krävs antas därför enbart utgöras av el i detta fall. Möjligheterna med olika slags energikombinatlösningar där förutom etanol också t ex el, ligninpellets och värme produceras analyseras närmare i kapitel 6.

Antaganden om omvandlingseffektivitet och energiinsats vid förgasning av vedbiomassa baseras på data från Blinge m fl. (1997), L-B-Systemtechnik (2002), Goldschmidt (2005) samt Concawe m fl (2006). Vilka drivmedelsutbyten som fås för de olika drivmedlen beror på vilken process som utnyttjas (t ex atmosfärisk förgasning eller trycksatt förgasning) samt hur drivmedelsproduktionen integreras med t ex el- och värmeproduktion. En beskrivning av denna variation ges bl a i Goldschmidt (2005) och Concawe m fl (2006) som sammanställt olika studiers resultat. Till exempel visar dessa sammanställningar att nettoutbytet av FT-diesel kan variera mellan 30-45 % men att totalverkningsgraden är 45-50 % när också potentiell samproduktion av el inkluderas (se kapitel 6). Vid produktion av FT-diesel fås också nafta som ur energisynpunkt kan utgöra cirka en tredjedel. Höga utbyten av FT-diesel bygger oftast på att nafta reformeras till drivmedel. Rapporterade utbyten av metanol och DME varierar mellan 25-60 % beroende på hur mycket el och värme som samproduceras (se kapitel 6). En sammanställning i L-B-Systemtechnik (2002) ger liknande utbyten av metanol från förgasning av lignocellulosa, från 35 % upp till drygt 60 % beroende på processutformning och samproduktion av el och värme. När produktion av drivmedel prioriteras bedöms utbytet av DME och metanol kunna uppgå till mellan 46-59 % (Concawe m fl, 2006). Den externa energiinsatsen vid förgasning utgörs här endast av el då värmebehovet tillgodoses internt av vedråvaran.

Utbytet av biometan från förgasad lignocellulosa beräknas vara högre jämfört med flytande drivmedel, eller från 55 % upp till 70 % (Linné m fl. 2005; Karlsson & Malm, 2005). Den externa energiinsatsen utgörs av el som i jämförelse med produktion av FT-diesel, DME och metanol är något högre då även trycksättning av metangasen inkluderas i detta fall.

Som framgår av Tabell 4.1 har utbytesnivåer för biodrivmedel ofta valts som ligger i de högre intervallerna som rapporterats i olika publikationer. Anledningen till detta är dels att drivmedelsproduktion antas prioriteras i detta avsnitt (som fokuserar på drivmedel), dels en bedömning av hur realistiska rapporterade utbytesnivåer är. De intervall som redovisas i Tabell 4.1 ger dock en indikation på känsligheten i de antaganden som gjorts vid val av drivmedelsutbyten. I kapitel 6 diskuteras möjligheterna att samproducera biodrivmedel med andra energibärare som el, värme och fastbränsle (t ex pellets) vilket kan innebära en ökad totalverkningsgrad på bekostnad av ett lägre utbyte av drivmedel.

Tabell 4.1. Antaganden om drivmedelsutbyte och energiinsats vid omvandling och förädling av olika biomassaråvaror till färdigt drivmedel, baserat på sammanställning av litteratordata.

Biomassaråvara	Drivmedel	Drivmedelsutbyte (drivmedlets energiinnehåll dividerat med biomassans ursprungliga energiinnehåll, uttryckt som %)		Energiinsats vid omvandling och förädling (% av drivmedlets energiinnehåll)	
		Valt värde	Intervall ¹	Valt värde	Intervall ¹
Vete (kärna)	Etanol ²	55	52-55	50 ⁴	49-61
	Biogas	68	65-70	23	20-25
Sockerbetor	Etanol ²	55	53-55	38 ⁴	36-53
	Biogas	72	70-75	28	25-30
Raps	RME ²	42	41-45	10	5-17
Vall, betblast & majs	Biogas	62 ³	46-78	25	20-33
Gödsel	Biogas	42	33-50	30	25-38
Salix, poppel, hybridasp & gran	Etanol ²	36	30-40	13	10-25
	FT-diesel	45	30-46	2	1-3
	DME/metanol	58	46-59	2	1-3
	Biometan	65	55-70	4	2-6

¹ Sammanställning av litteratordata, se text för aktuella publikationer.

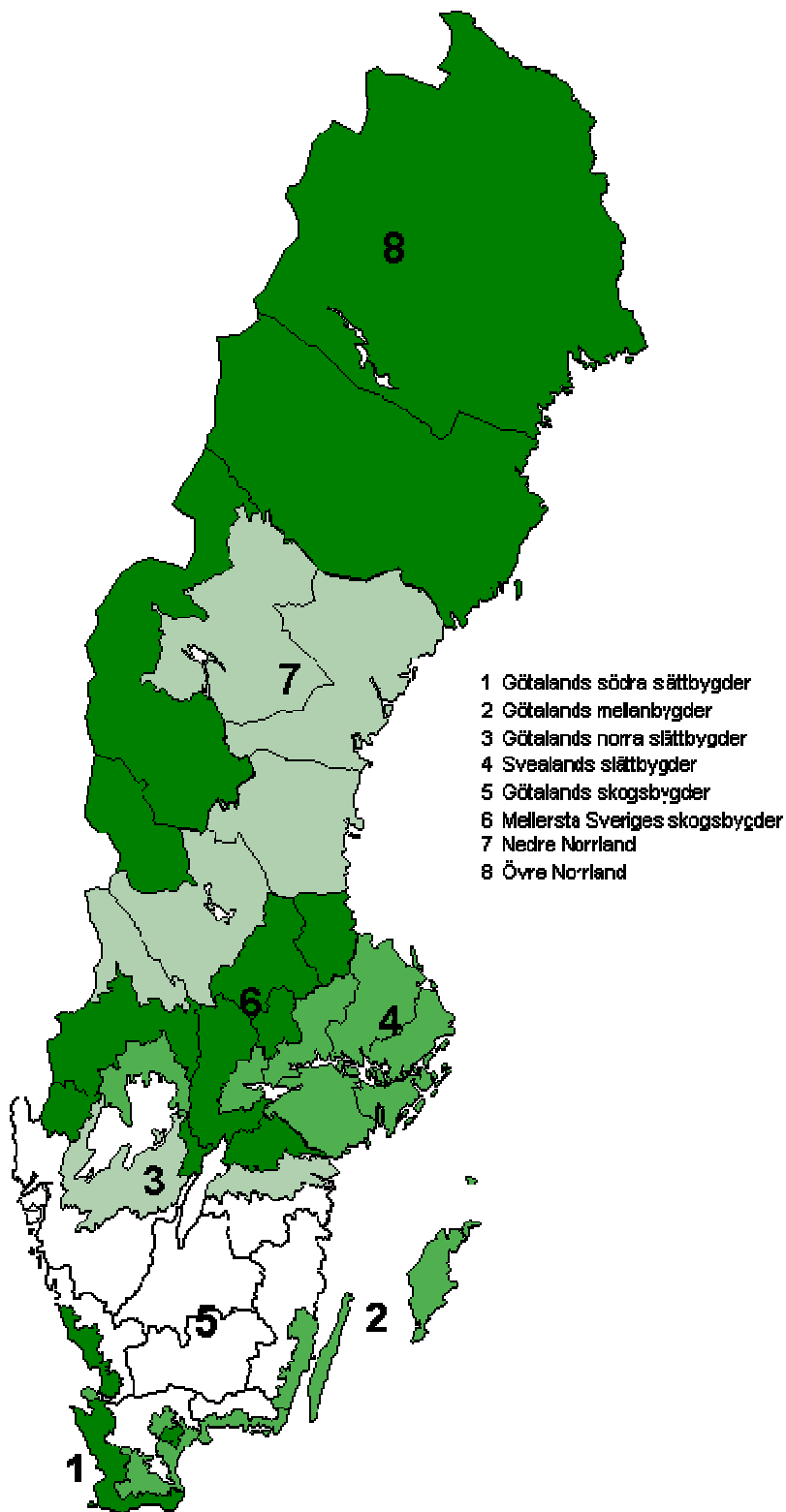
² Allokering av biprodukt har gjorts genom att energiinsatsen vid odling av respektive energigröda har reducerats motsvarande biproduktens energiinnehåll i förhållande till råvarans ursprungliga energiinnehåll (se text för utförligare beskrivning).

³ Biogasutbytet för majs antas vara 68 %.

⁴ Energiinsats i form av värme inkluderar torkning av biprodukt som motsvarar cirka 40 % av totala energiinsatsen. Om biprodukten inte torkas reduceras således energiinsatsen i motsvarande omfattning.

5 Åkermarkseffektivitet för olika produktsystem

I följande avsnitt (5.1-5.3) beskrivs hur stor energitjänst som olika produktsystem kan tillhandahålla per hektar åkermark när olika bibränslen utnyttjas för produktion av värme, el och drivmedel. Resultaten presenteras för olika produktionsområden i Sverige (se Figur 5.1) eftersom skördenivåerna för olika energigrödor skiljer geografiskt liksom möjligheterna att odla olika energigrödor. Avkastningsnivåer för olika grödor redovisas i Börjesson (2007).



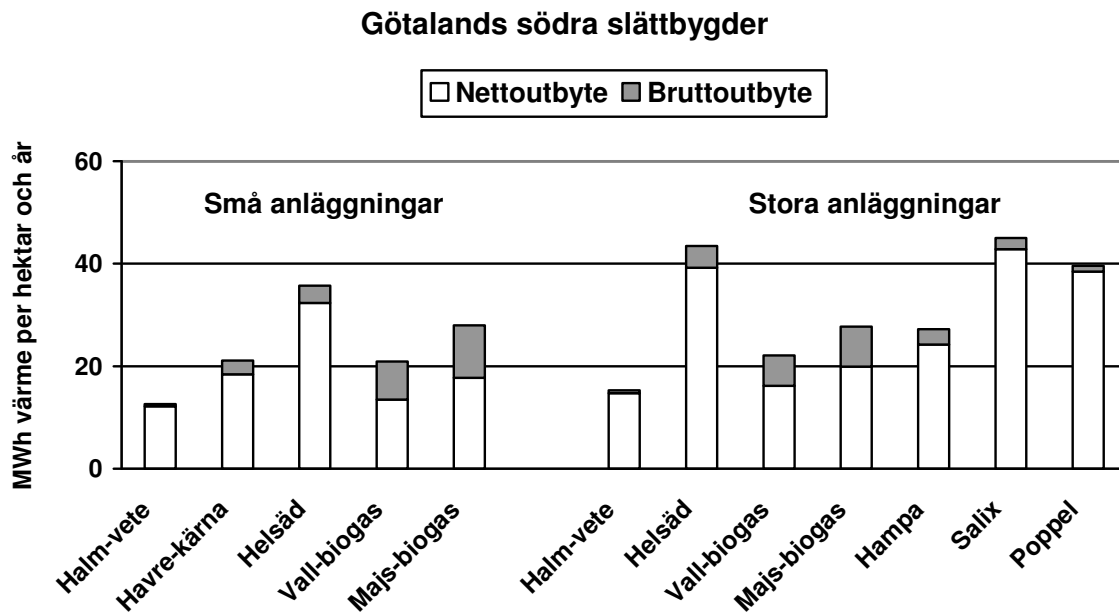
Figur 5.1. Indelning av Sveriges åkermark i olika produktionsområden (källa: SCB)

5.1 Värmeproduktion

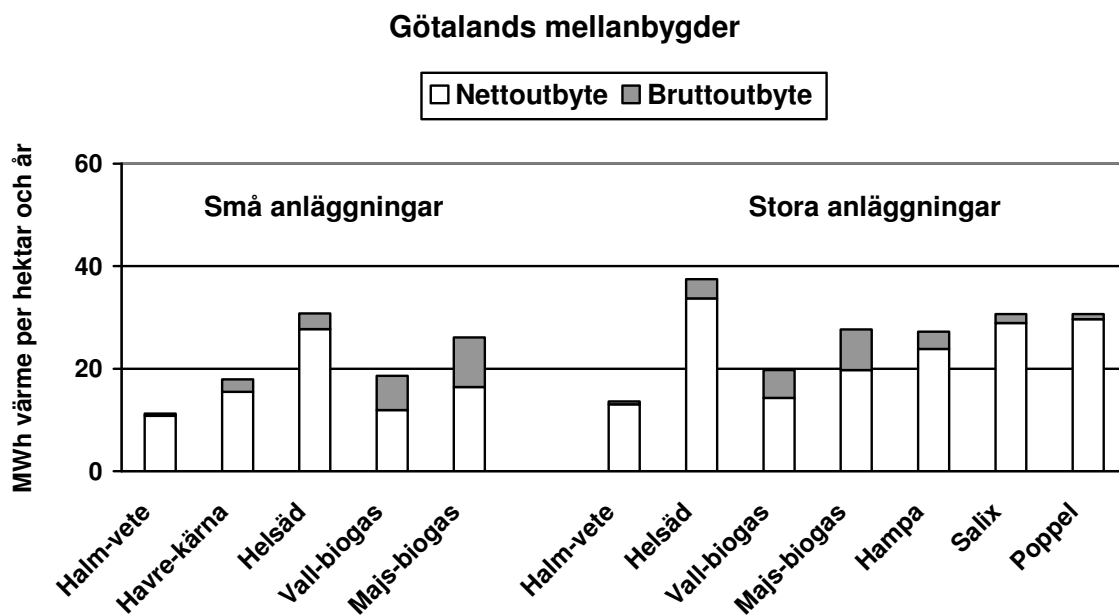
I Figur 5.2 till 5.9 beskrivs hur mycket värme som kan produceras (brutto och netto) från ett hektar åkermark som utnyttjas för odling av olika energigrödor i olika produktionsområden. Med bruttoproduktion menas den värme som faktiskt produceras och nettoproduktion har energiinsatserna vid odling och transport (gäller stora anläggningar) av respektive energigröda dragits ifrån, liksom den energi som krävs vid rötning när vall och majs först omvandlas till biogas.

En sammanfattning av resultaten som presenteras i Figur 5.2 - 5.9 är att salix, poppel och helsäd ger högst nettoutbyte vid storskalig värmeproduktion per hektar och år i Götalands södra slättbygder (kring 40 MWh värme). Värmeproduktion via rötning av vall och majs till biogas ger ungefär hälften så stort nettoutbyte av värme, d v s värmeproduktion via biogas ger relativt stora omvandlingsförluster jämfört med direkt förbränning. Vid småskalig värmeproduktion ger helsäd högst värmeutbyte följt av havrekärna och därefter majs via biogas. I Götalands mellanbygder bedöms helsäd ge högst värmeutbyte per hektar och år både vid storskalig och vid småskalig produktion (cirka 35 respektive 30 MWh). Därefter följer energiskog (salix och poppel) vid storskalig värmeproduktion. I Götalands norra slättbygder bedöms energiskog kunna ge högst nettoutbyte av värme (kring 35 MWh), följt av helsäd och därefter hampa i stora anläggningar.

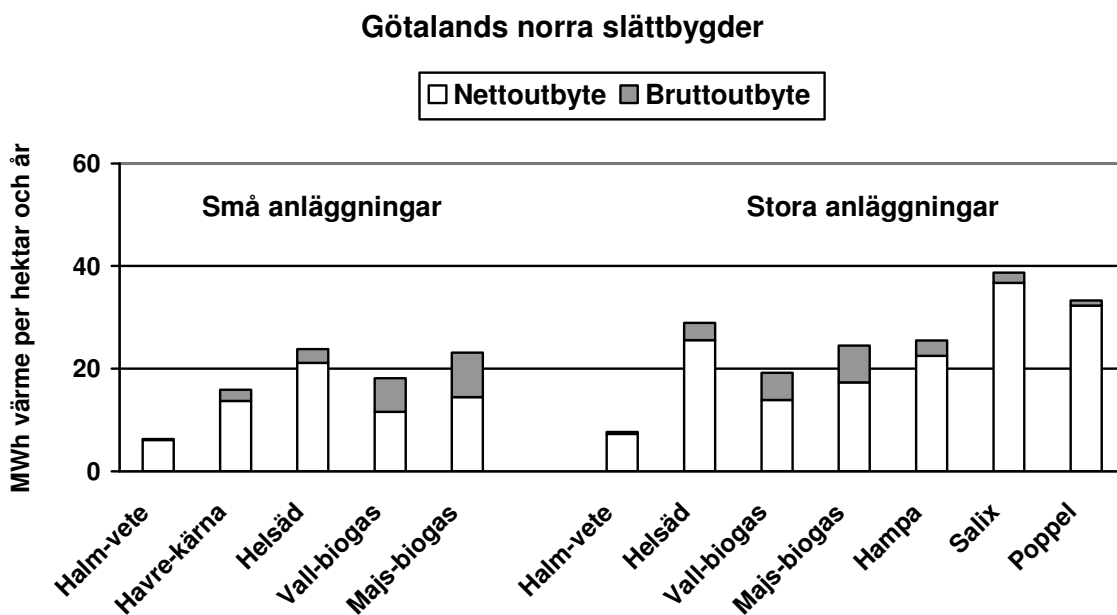
I Svealands slättbygder bedöms också salix ge högst nettoutbyte av värme (cirka 30 MWh), följt av hybridasp. Därefter kommer helsäd och hampa som bedöms ge ett liknande nettoutbyte (drygt 20 MWh) vid storskalig värmeproduktion. I Götalands skogsbygder bedöms hybridasp ge högst nettoutbyte (kring 25 MWh värme). Därefter kommer näringsoptimerad gödslad gran, hampa och rörflen. I mellersta Sveriges skogsbygder bedöms värmeproduktionen från hybridasp, gran (gödslad), hampa och rörflen ligga kring 20 MWh per hektar och år. I Nedre Norrland bedöms dessa energigrödor också ge högst nettoutbyte av värme, strax under 20 MWh per hektar vid storskalig värmeproduktion. I Övre Norrland bedöms hampa och rörflen ge högst nettoutbyte följt av näringsoptimerad gödslad gran. Utbytet av värme från helsäd och vall via biogas uppskattas vara ungefär hälften så högt.



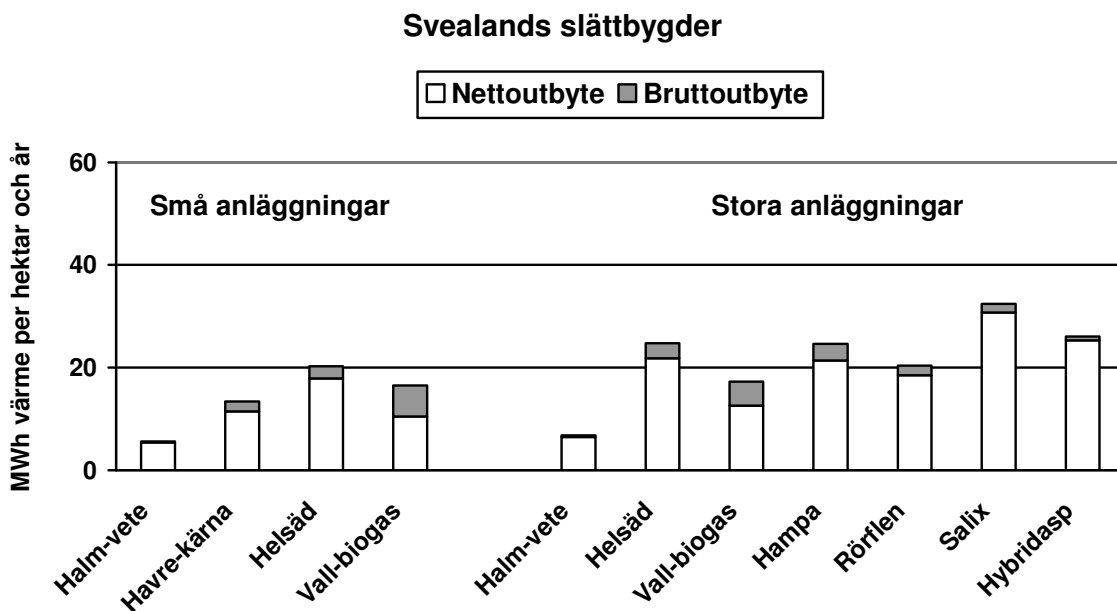
Figur 5.2. Uppskattning av genomsnittlig brutto- respektive nettoutbyte av värme per hektar och år för olika omvandlingstekniker och energigrödor vid odling i Götalands södra slättbygder på genomsnittlig åkermark. Hampa avser vårskörd och poppel helträdsskörd (exkl. stubbar).



Figur 5.3. Uppskattning av genomsnittlig brutto- respektive nettoutbyte av värme per hektar och år för olika omvandlingstekniker och energigrödor vid odling i Götalands mellanbygder på genomsnittlig åkermark. Hampa avser vårskörd och poppel helträdsskörd (exkl. stubbar).

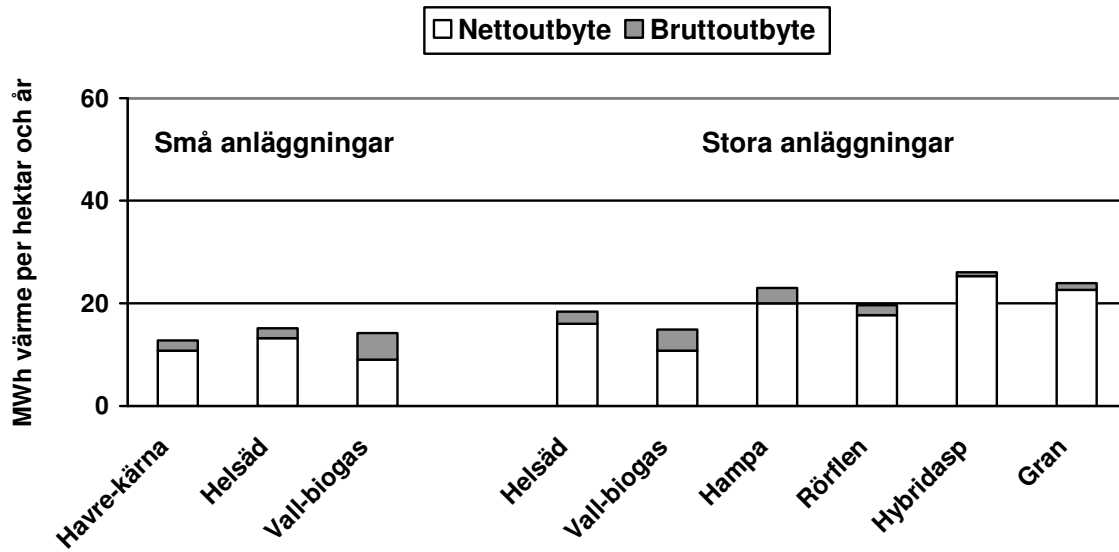


Figur 5.4. Uppskattning av genomsnittlig brutto- respektive nettoutbyte av värme per hektar och år för olika omvandlingstekniker och energigrödor vid odling i Götalands norra slättbygder på genomsnittlig åkermark. Hampa avser vårskörd och poppel helträdsskörd (exkl. stubbar).



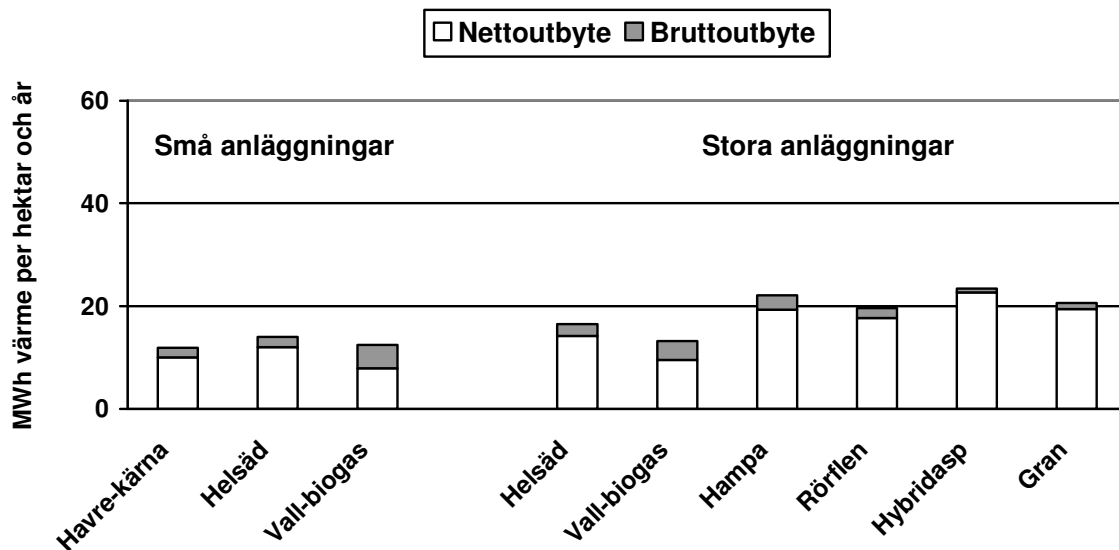
Figur 5.5. Uppskattning av genomsnittlig brutto- respektive nettoutbyte av värme per hektar och år för olika omvandlingstekniker och energigrödor vid odling i Svealands slättbygder på genomsnittlig åkermark. Hampa och rörflen avser vårskörd och hybridasp helträdsskörd (exkl. stubbar).

Götalands skogsbygder

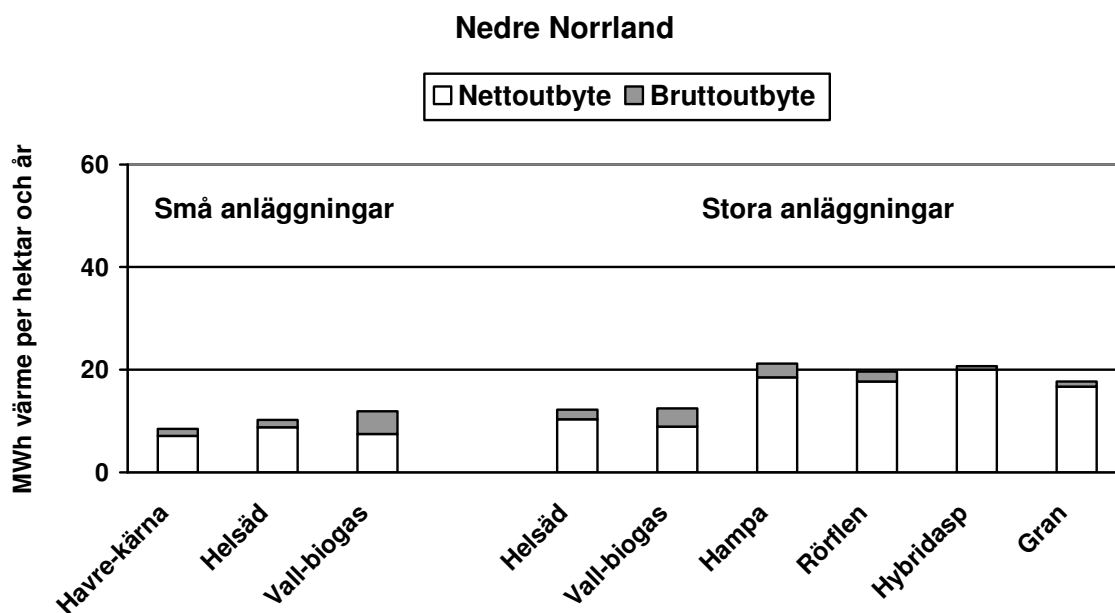


Figur 5.6. Uppskattning av genomsnittlig brutto- respektive nettoutbyte av värme per hektar och år för olika omvandlingstekniker och energigrödor vid odling i Götalands skogsbygder på genomsnittlig åkermark. Hampa och rörflen avser vårskörd samt hybridasp och gran (gödslad) helträdsskörd (exkl. stubbar).

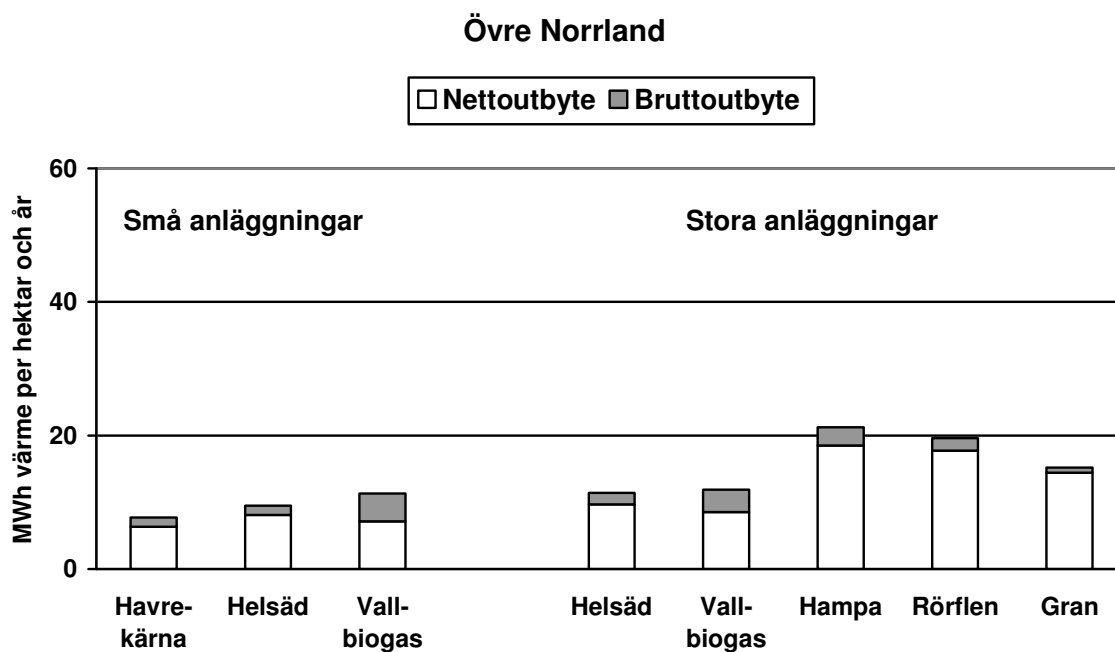
Mellersta Sveriges skogsbygder



Figur 5.7. Uppskattning av genomsnittlig brutto- respektive nettoutbyte av värme per hektar och år för olika omvandlingstekniker och energigrödor vid odling i mellersta Sveriges skogsbygder på genomsnittlig åkermark. Hampa och rörflen avser vårskörd samt hybridasp och gran (gödslad) helträdsskörd (exkl. stubbar).



Figur 5.8. Uppskattning av genomsnittlig brutto- respektive nettoutbyte av värme per hektar och år för olika omvandlingstekniker och energigrödor vid odling i nedre Norrland på genomsnittlig åkermark. Hampa och rörflen avser vårskörd samt hybridasp och gran (gödslad) helträdsskörd (exkl. stubbar).

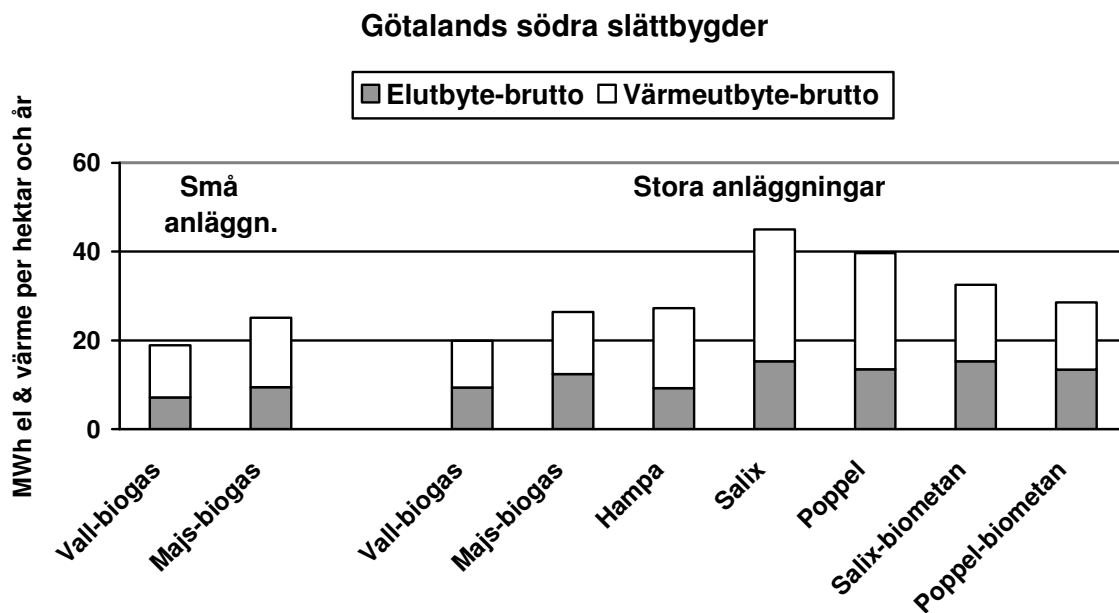


Figur 5.9. Uppskattning av genomsnittlig brutto- respektive nettoutbyte av värme per hektar och år för olika omvandlingstekniker och energigrödor vid odling i övre Norrland på genomsnittlig åkermark. Hampa och rörflen avser vårskörd samt gran (gödslad) helträdsskörd (exkl. stubbar).

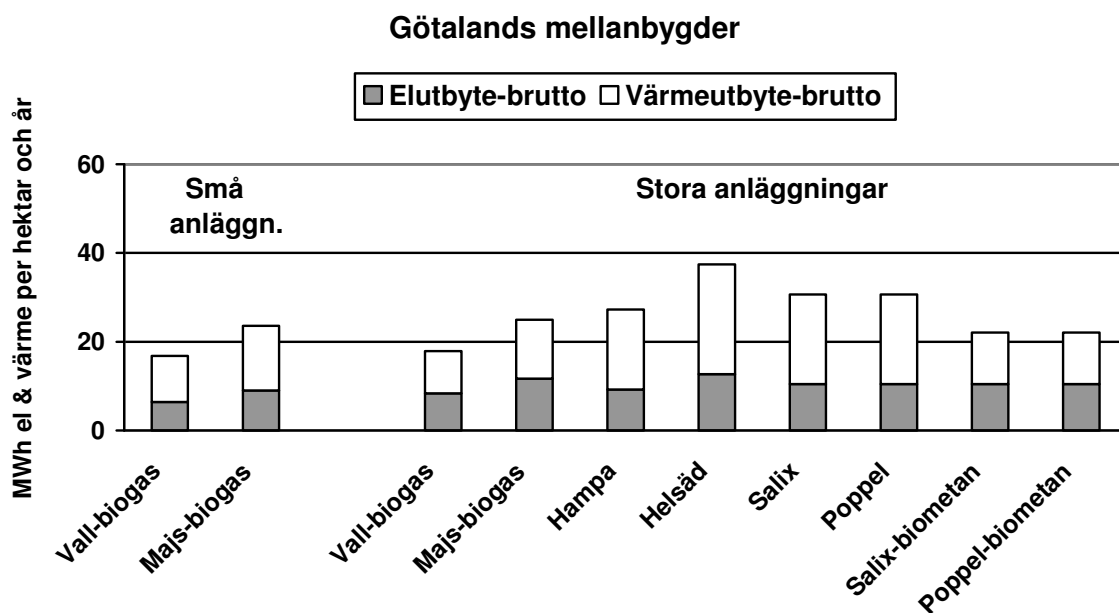
5.2 Kraftvärmeproduktion

I Figur 5.10 till 5.17 beskrivs hur mycket el och värme som kan produceras brutto vid kraftvärmeproduktion från ett hektar åkermark som utnyttjas för odling av olika energiogrödor i olika produktionsområden. Hur stora energiinsatser som krävs för respektive produktsystem framgår av figurerna som presenteras i föregående avsnitt avseende enbart värmeproduktion (avsnitt 5.1). Energiinsatserna vid kraftvärmeproduktion är i stort sett jämförbara med de vid enbart värmeproduktion.

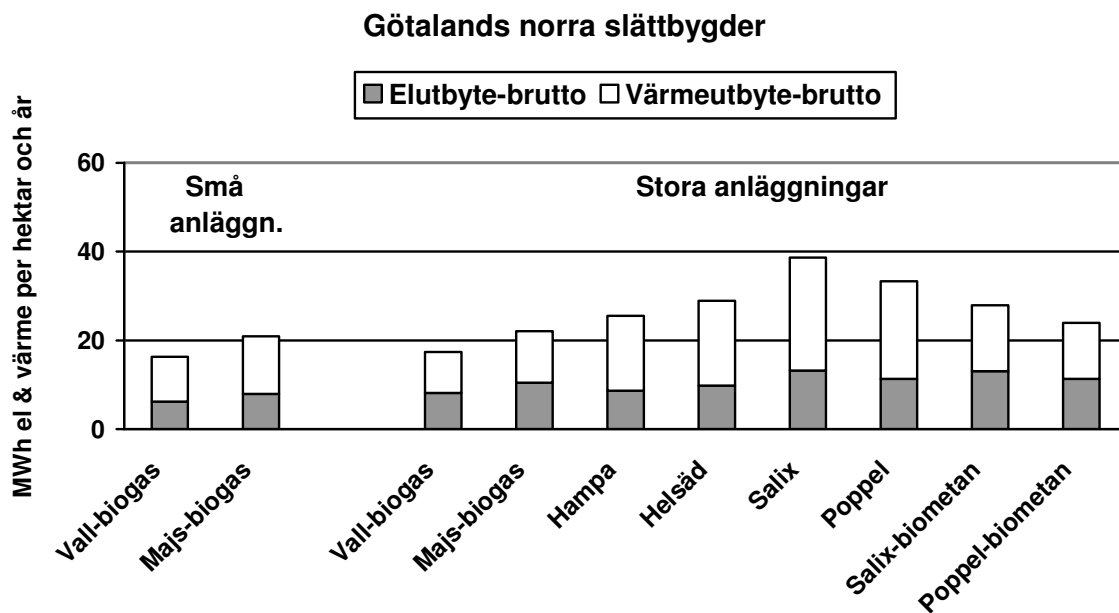
En sammanfattning av resultaten som presenteras i Figur 5.10 - 5.17 är att dessa i stort sett följer resultaten i avsnitt 5.1 avseende värmeproduktion, men med den skillnaden att cirka en tredjedel el och två tredjedelar värme produceras i stället för enbart värme. När biogas från vall och majs respektive biometan från förgasning av olika slags energiskog utnyttjas för kraftvärmeproduktion fås dock en något större andel el, knappt 50 % vid storskalig produktion. Vid småskalig kraftvärmeproduktion via biogas minskar andelen el till knappt 40 %. När det gäller småskalig kraftvärmeproduktion har endast biogassystem inkluderats eftersom det är endast dessa system som antas vara realistiska idag utifrån ekonomisk och teknisk synpunkt. Vid storskalig kraftvärmeproduktion baserat på energiskog av olika slag blir utbytet av el ungefär det samma per hektar oberoende om biomassan förbränns direkt eller först förgasas till biometan. Utbytet av värme blir däremot cirka 70 % högre vid direkt förbränning jämfört med när förgasning sker. Det totala utbytet av el och värme blir cirka 35-40 % högre per hektar vid kraftvärmeproduktion baserat på direkt förbränning jämfört med när biomassan först förgasas till biometan.



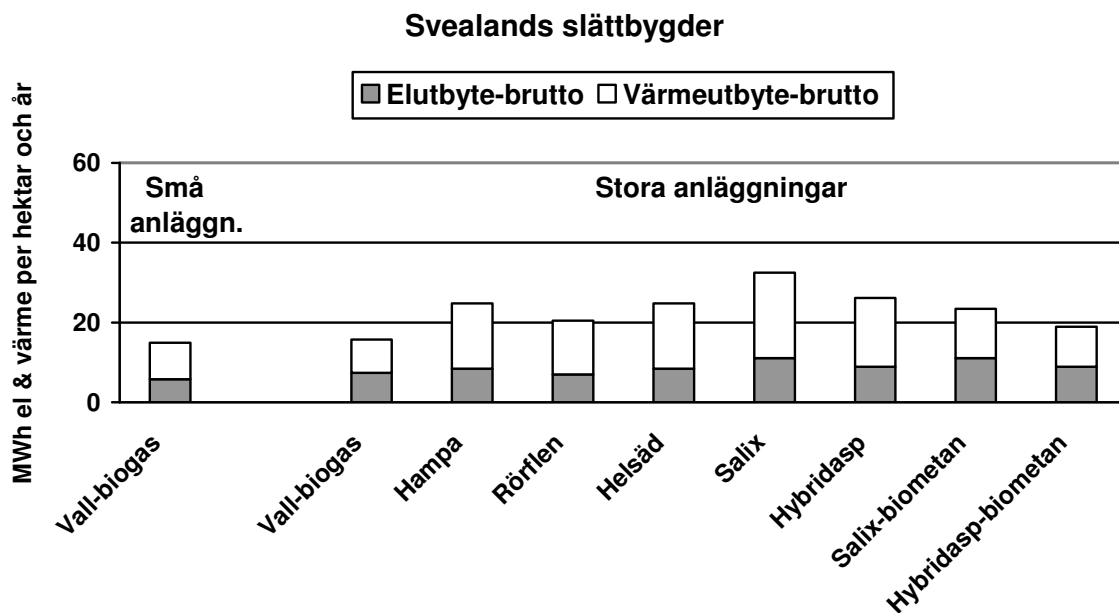
Figur 5.10. Uppskattning av genomsnittligt bruttoutbyte av el och värme per hektar och år för olika omvandlingstekniker och energigrödor vid odling i Götalands södra slättbygder på genomsnittlig åkermark. Hampa avser vårskörd och poppel helträdsskörd (exkl. stubbar).



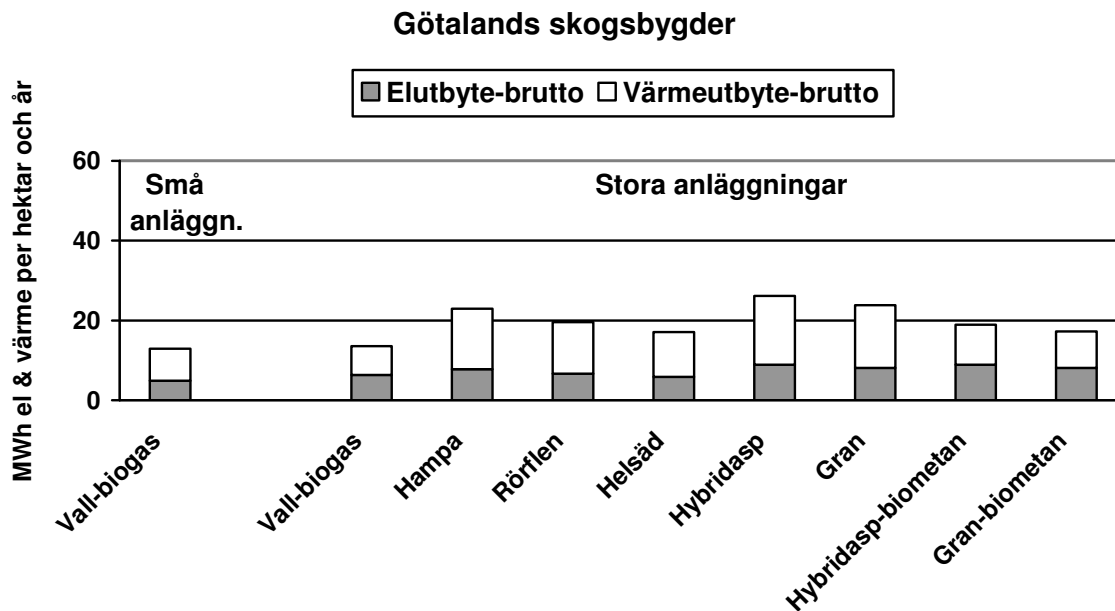
Figur 5.11. Uppskattning av genomsnittligt bruttoutbyte av el och värme per hektar och år för olika omvandlingstekniker och energigrödor vid odling i Götalands mellanbygder på genomsnittlig åkermark. Hampa avser vårskörd och poppel helträdsskörd (exkl. stubbar).



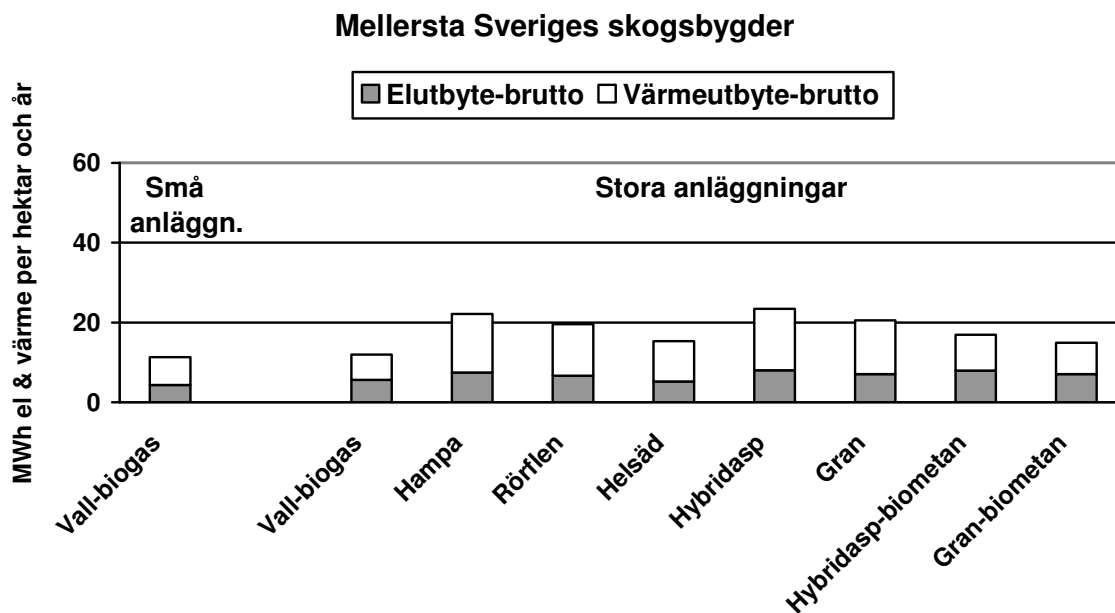
Figur 5.12. Uppskattning av genomsnittligt bruttoutbyte av el och värme per hektar och år för olika omvandlingstekniker och energigrödor vid odling i Götalands norra slättbygder på genomsnittlig åkermark. Hampa avser vårskörd och poppel helträdsskörd (exkl. stubbar).



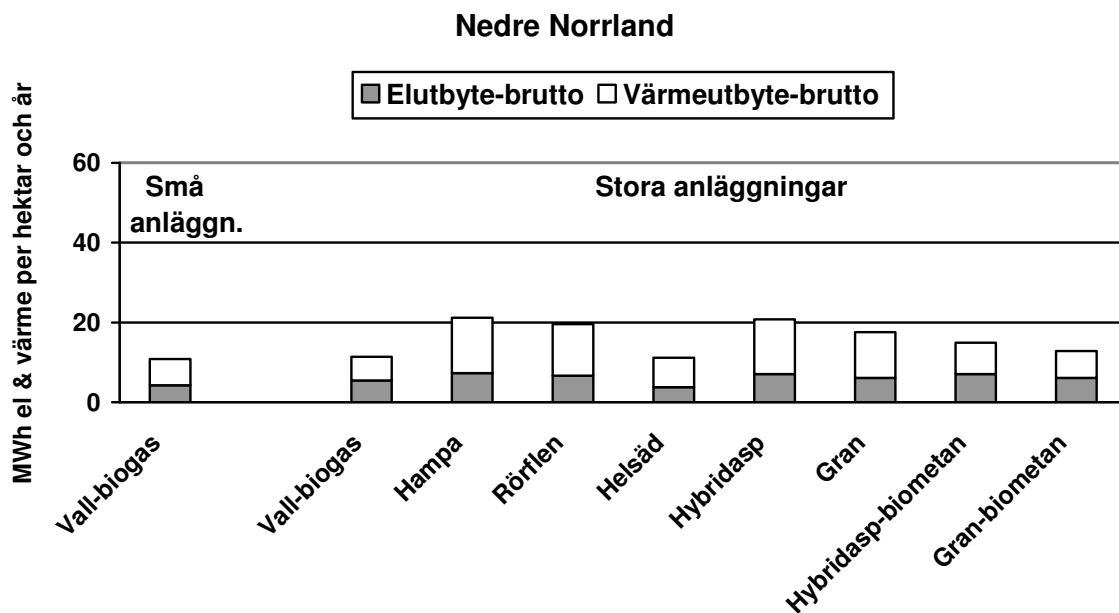
Figur 5.13. Uppskattning av genomsnittligt bruttoutbyte av el och värme per hektar och år för olika omvandlingstekniker och energigrödor vid odling i Svealands slättbygder på genomsnittlig åkermark. Hampa och rörfilen avser vårskörd och hybridasp helträdsskörd (exkl. stubbar).



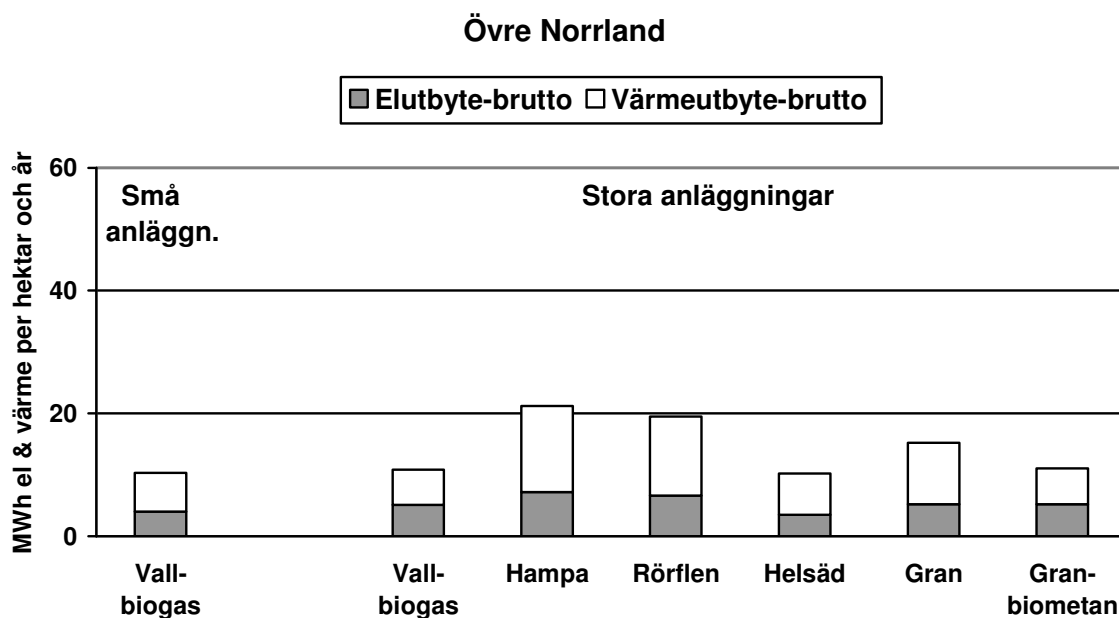
Figur 5.14. Uppskattning av genomsnittligt bruttoutbyte av el och värme per hektar och år för olika omvandlingstekniker och energigrödor vid odling i Götalands skogsbygder på genomsnittlig åkermark. Hampa och rörfilen avser vårskörd samt hybridasp och gran (gödslad) helträdsskörd (exkl. stubbar).



Figur 5.15. Uppskattning av genomsnittligt bruttoutbyte av el och värme per hektar och år för olika omvandlingstekniker och energigrödor vid odling i mellersta Sveriges skogsbygder på genomsnittlig åkermark. Hampa och rörfilen avser vårskörd samt hybridasp och gran (gödslad) helträdsskörd (exkl. stubbar).



Figur 5.16. Uppskattning av genomsnittligt bruttoutbyte av el och värme per hektar och år för olika omvandlingstekniker och energigrödor vid odling i nedre Norrland på genomsnittlig åkermark. Hampa och rörflen avser vårskörd samt hybridasp och gran (gödslad) helträds-skörd (exkl. stubbar).



Figur 5.17. Uppskattning av genomsnittligt bruttoutbyte av el och värme per hektar och år för olika omvandlingstekniker och energigrödor vid odling i övre Norrland på genomsnittlig åkermark. Hampa och rörflen avser vårskörd samt gran (gödslad) helträds-skörd (exkl. stubbar).

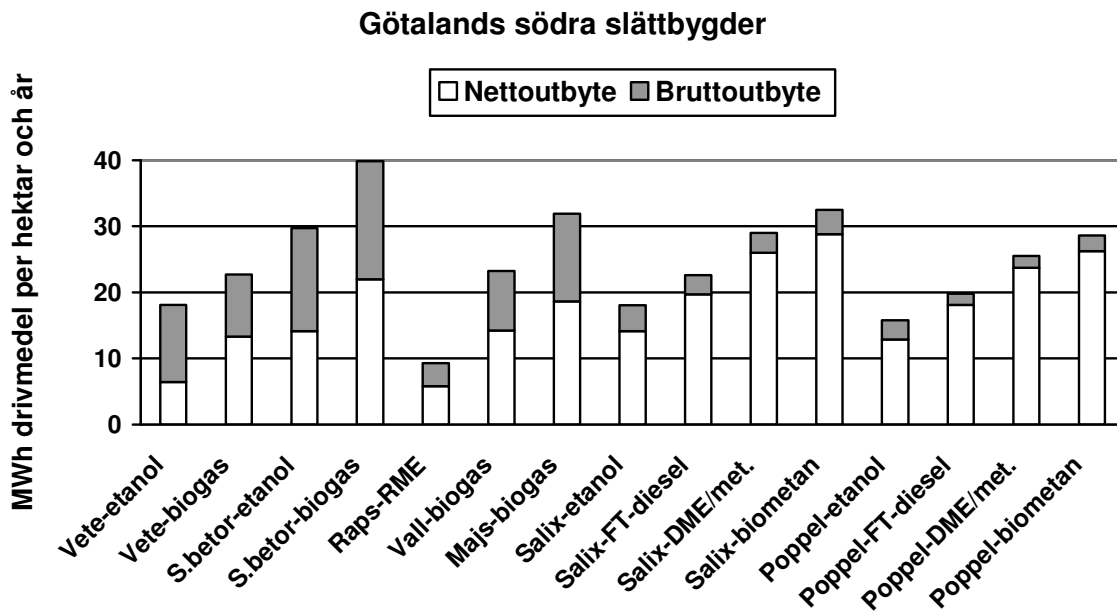
5.3 Drivmedelsproduktion

I Figur 5.18 till 5.25 beskrivs hur mycket drivmedel som kan produceras (brutto och netto) från ett hektar åkermark som utnyttjas för odling av olika energigrödor i olika produktionsområden. Med bruttoproduktion menas det drivmedel som faktiskt produceras och nettoproduktion har energiinsatserna vid odling, transport samt förädling till färdigt drivmedel dragits ifrån. Som beskrivs i avsnitt 4.3 fås biprodukter i vissa produktsystem som inte redovisas i Figur 5.18 – 5.25 mer än att insatsenergin reduceras något genom allokering (se avsnitt 4.3). Anledningen till detta är att fokus ligger på drivmedelsproduktion i detta avsnitt. Vid produktion av etanol från vete och sockerbetor, RME från raps samt etanol från energiskog av olika slag (salix, poppel, hybridasp och gran) fås biprodukter som i energitermer motsvarar ungefär en tredjedel av den ursprungliga biomassans energiinnehåll. Det totala energiutbytet (brutto) skulle öka med cirka 60 % för produktsystemen etanol från vete och sockerbetor om dess biprodukter (drank respektive pulpa) också skulle inkluderas. Motsvarande ökning för RME från raps (med biprodukten rapsmjöl) skulle bli cirka 75 % och för etanol från energiskog (med biprodukten lignin) cirka 90 %. Hur dessa biprodukter kan utnyttjas på olika sätt, bli a i energikombinat eller som fodermedel, diskuteras närmare kapitel 6 och avsnitt 8.3.

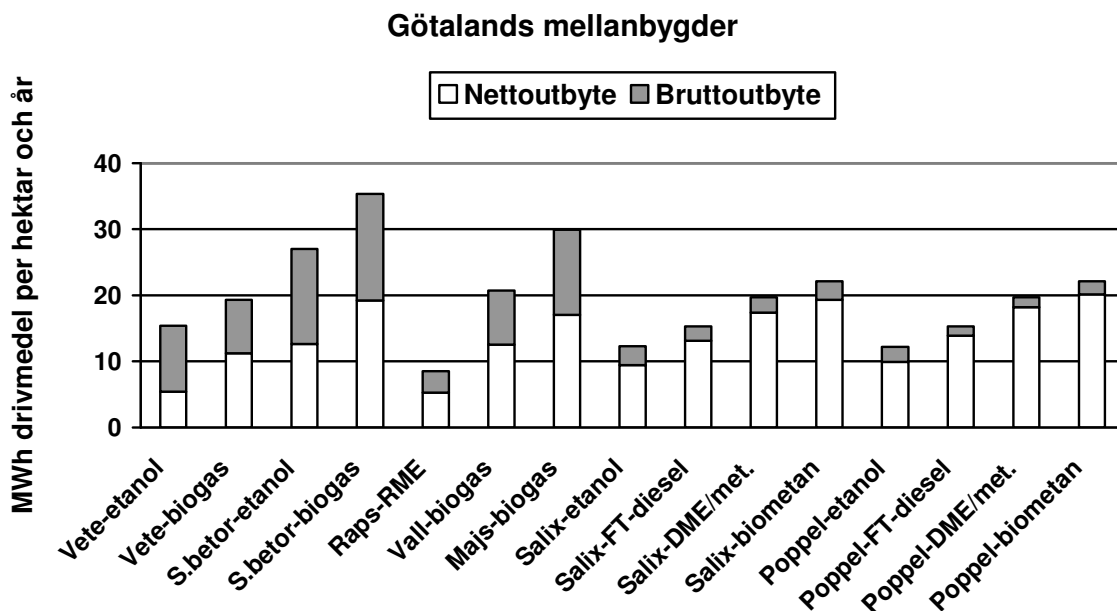
En sammanfattning av resultaten som presenteras i Figur 5.18 - 5.25 är att biometan, metanol och DME från salix och poppel ger högst nettoutbyte av drivmedel per hektar och år i Götalands södra slättbygder (25-30 MWh). Högst bruttoutbyte ger biogas från sockerbetor. Biogas från majs och FT-diesel från salix och poppel ger cirka 20 MWh drivmedel per hektar. Biogas från vall och vete samt etanol från salix, poppel och sockerbetor ger en nettoproduktion av drivmedel kring 13 till 17 MWh per hektar och år. Nettoproduktionen av etanol från vete och RME från raps motsvarar cirka 6 MWh per hektar medan bruttoproduktionen är nästan dubbelt så hög för etanol från vete jämfört med RME från raps. I Götalands mellanbygder bedöms biogas/biometan från sockerbetor, poppel och salix ge ungefär samma drivmedelsutbyte, cirka 20 MWh per hektar och år. Därefter följer metanol/DME från energiskog och biogas från majs. Biogas från majs ger näst högsta bruttoutbyte av drivmedel, efter sockerbetor. I Götalands norra slättbygder följer drivmedelsutbytet i stort samma mönster som i Götalands södra slättbygder men med den skillnaden att utbytet är normalt cirka 15-25 % lägre per hektar och år. Dessutom antas inte sockerbetor användas som råvara för drivmedelsproduktion.

I Svealands slättbygder bedöms biometan, metanol och DME från salix ge högst nettoutbyte av drivmedel (cirka 20 MWh), följt av motsvarande drivmedel från hybridasp. Nettoutbytet av FT-diesel från energiskog bedöms vara kring 15 MWh per hektar, följt av biogas från vall och vete samt etanol från energiskog kring 10 MWh. I Götalands skogsbygder bedöms drivmedel från hybridasp ge högst nettoutbyte (som högst 16-17 MWh), följt av drivmedel från gran (gödslad). Nettoutbytet av biogas från vall uppskattas till cirka 10 MWh per hektar vilket är ungefär samma som för etanol från hybridasp och FT-diesel från gran. I mellersta

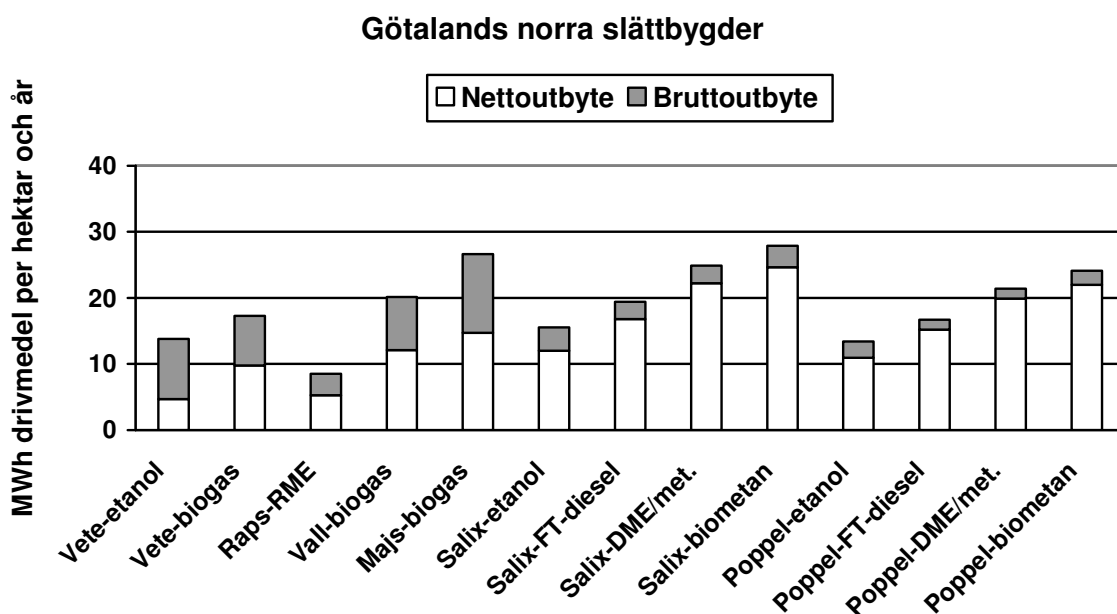
Sveriges skogsbygder och i nedre Norrland är de inbördes skillnaderna i nettoutbyte mellan olika drivmedel i stort sett liknande som i Götalands skogsbygder. Däremot är nettoutbytet per hektar cirka 10-15 % och 20-30 % lägre i mellersta Sveriges skogsbygder respektive nedre Norrland jämfört med i Götalands skogsbygder. I övre Norrland bedöms drivmedel från näringsoptimerad gödslad gran kunna ge som högst ett nettoutbyte om knappt 10 TWh per hektar och år. Biogas från vall bedöms dock kunna ge högsta bruttoutbyte av drivmedel. Nettoutbytet av biogas från vall är högre än för etanol från gran och i nivå med FT-diesel från gran.



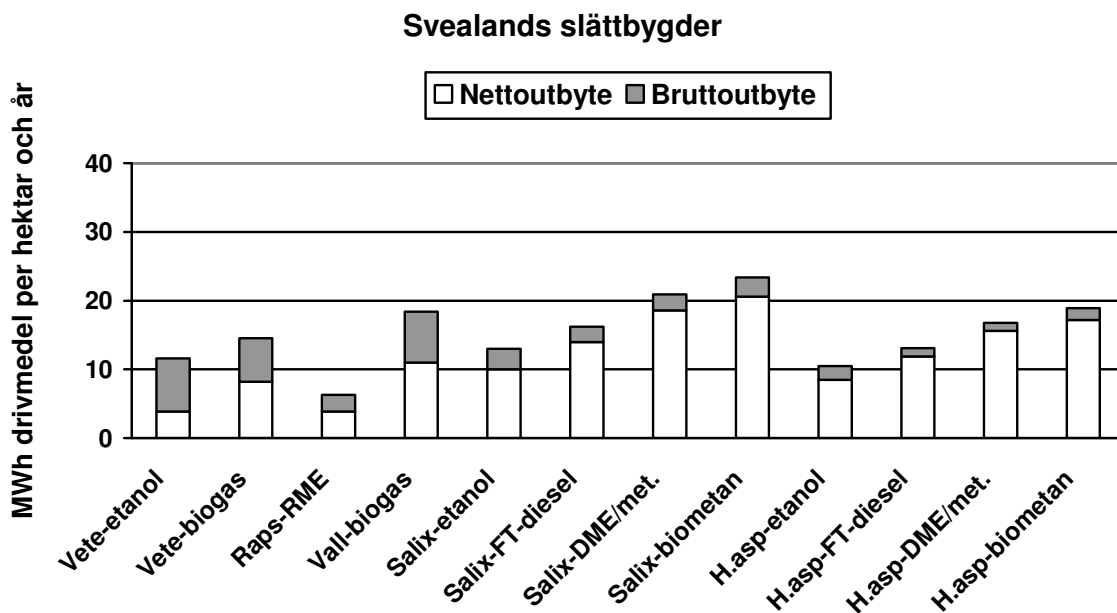
Figur 5.18. Uppskattning av genomsnittlig brutto- respektive nettoutbyte av drivmedel per hektar och år för olika omvandlingstekniker och energigrödor vid odling i Götalands södra slättbygder på genomsnittlig åkermark. Poppel avser helträdsskörd (exkl. stubbar).



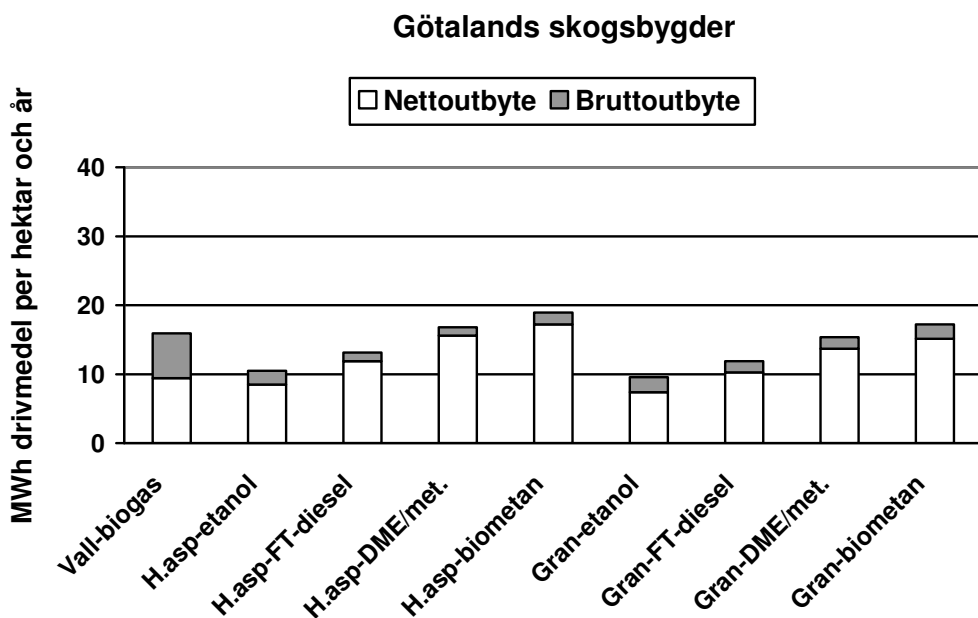
Figur 5.19. Uppskattning av genomsnittlig brutto- respektive nettoutbyte av drivmedel per hektar och år för olika omvandlingstekniker och energigrödor vid odling i Götalands mellanbygder på genomsnittlig åkermark. Poppel avser helträdsskörd (exkl. stubbar).



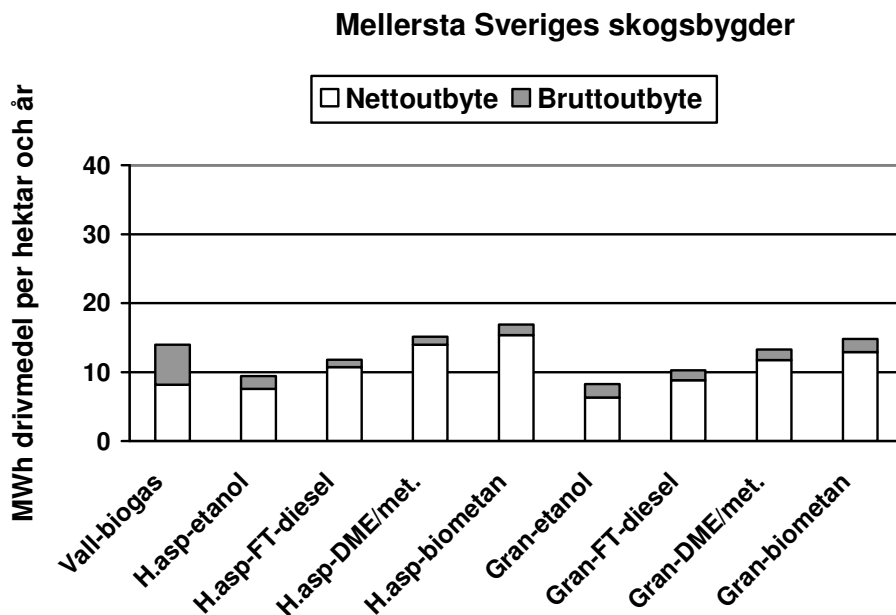
Figur 5.20. Uppskattning av genomsnittlig brutto- respektive nettoutbyte av drivmedel per hektar och år för olika omvandlingstekniker och energigrödor vid odling i Götalands norra slättbygder på genomsnittlig åkermark. Poppel avser helträdsskörd (exkl. stubbar).



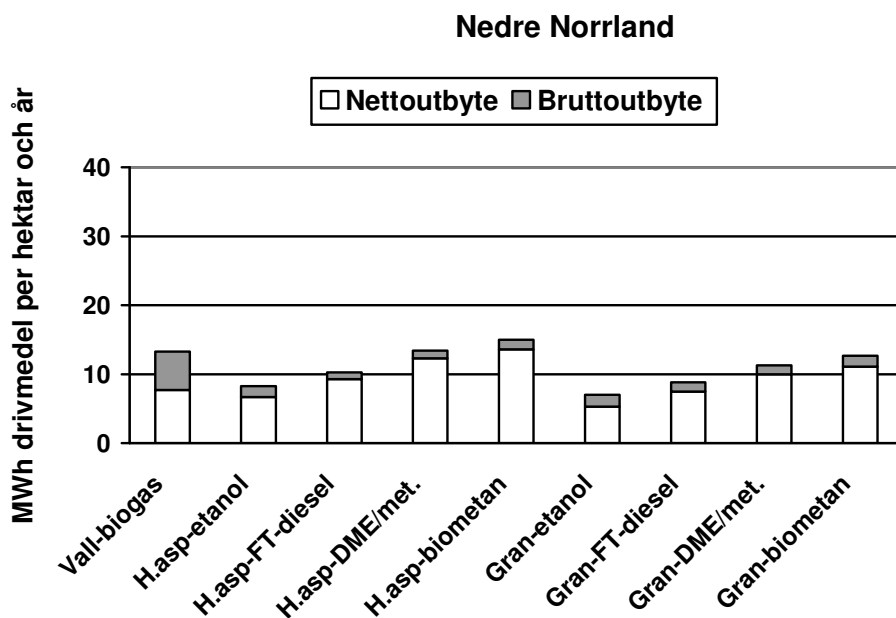
Figur 5.21. Uppskattning av genomsnittlig brutto- respektive nettoutbyte av drivmedel per hektar och år för olika omvandlingstekniker och energigrödor vid odling i Svealands slättbygder på genomsnittlig åkermark. Hybridasp avser helträdsskörd (exkl. stubbar).



Figur 5.22. Uppskattning av genomsnittlig brutto- respektive nettoutbyte av drivmedel per hektar och år för olika omvandlingstekniker och energigrödor vid odling i Götalands skogsbygder på genomsnittlig åkermark. Hybridasp och gran (gödslad) avser helträdsskörd (exkl. stubbar).

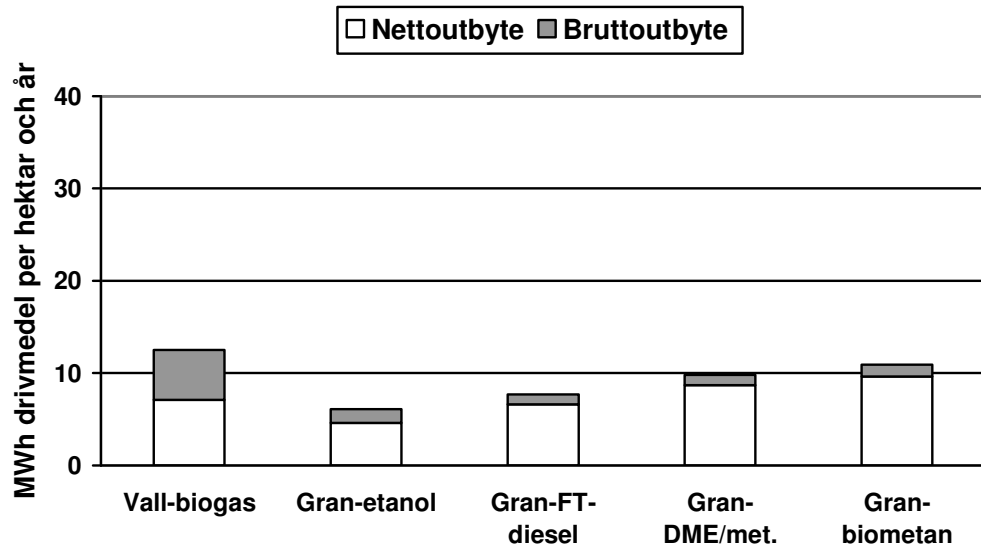


Figur 5.23. Uppskattning av genomsnittlig brutto- respektive nettoutbyte av drivmedel per hektar och år för olika omvandlingstekniker och energigrödor vid odling i mellersta Sveriges skogsbygder på genomsnittlig åkermark. Hybridasp och gran (gödsblad) avser helträdsskörd (exkl. stubbar).



Figur 5.24. Uppskattning av genomsnittlig brutto- respektive nettoutbyte av drivmedel per hektar och år för olika omvandlingstekniker och energigrödor vid odling i nedre Norrland på genomsnittlig åkermark. Hybridasp och gran (gödsblad) avser helträdsskörd (exkl. stubbar).

Övre Norrland



Figur 5.25. Uppskattning av genomsnittlig brutto- respektive nettoutbyte av drivmedel per hektar och år för olika omvandlingstekniker och energigrödor vid odling i övre Norrland på genomsnittlig åkermark. Gran (gödsblad) avser helträdsskörd (exkl. stubbar).

6 Energikombinat

I följande kapitel beskrivs några olika exempel på bioenergikombinat där drivmedel produceras tillsammans med andra energibärare som el, värme, pellets mm. Fokus ligger på att analysera hur totalverkningsgraden kan förändras när drivmedelsproduktion integreras med t ex kraftvärmeproduktion, fastbränsleproduktion osv. I detta kapitel analyseras inte de praktiska förutsättningarna för respektive kombinatlösning utifrån dagens infrastruktur, t ex befintligt värmeunderlag i fjärrvärmesystem etc, utan detta analyseras senare i avsnitt 7.4. Eftersom energikombinat sällan existerar idag bygger följande beskrivningar på framför allt teoretiska beräkningar och eventuellt förstudier från olika projekt.

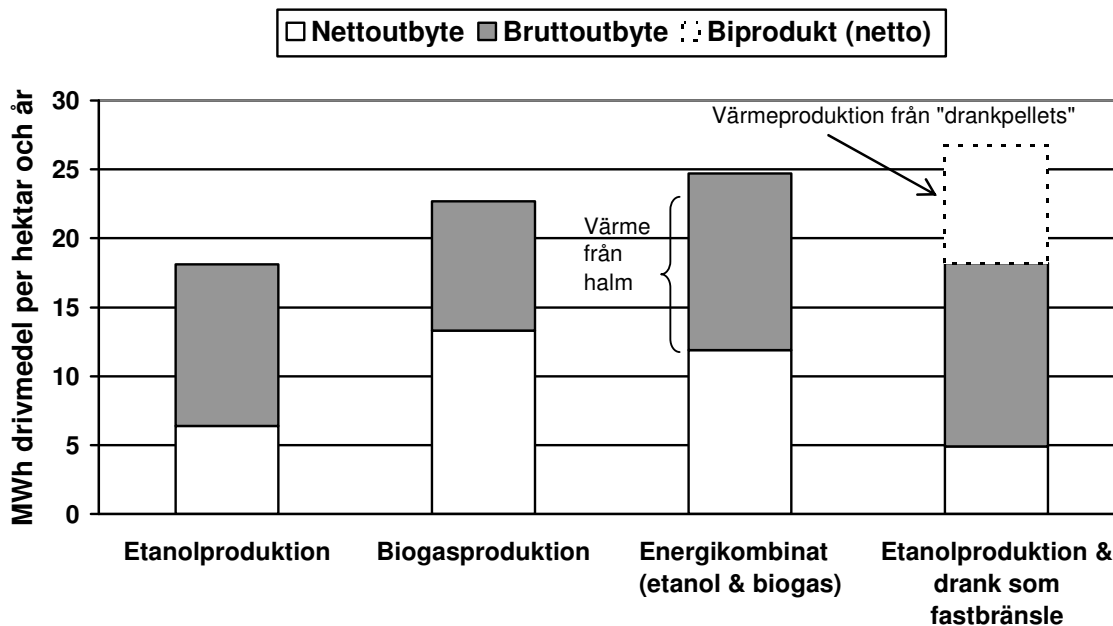
6.1. Etanol och biogas från spannmål

Vid tillverkning av etanol från spannmål fås en biprodukt, drank, som idag utnyttjas som foder vid djurproduktion. Dranken består till största delen av vatten (cirka 90 %) varför den normalt måste torkas för att kunna distribueras över ett större område som proteinfoder på djurgårdar. En stor del, cirka 45 %, av den värme som förbrukas vid etanoltillverkning går åt till torkning av drank. Ett alternativ till att torka dranken till djurfoder är att röta denna till biogas vilket medför att energiförbrukning för torkning kan undvikas samtidigt som mer biodrivmedel kan fås per hektar spannmål (Börjesson, 2004). Detta alternativ kan också bli aktuellt när avsättning av drank som djurfoder är begränsat (se avsnitt 7.3.1). I Figur 6.1. redovisas hur mycket etanol och biogas som kan fås per hektar vete i Götalands södra slättbygder vid separat etanol- och biogasproduktion (se avsnitt 5.3) respektive samproduktion av etanol och biogasproduktion i ett energikombinat (baserat på data från Börjesson, 2004). Vid samproduktion av etanol och biogas uppskattas utbytet av drivmedel utgöras av cirka 73 % etanol respektive 27 % biogas.

Som framgår av Figur 6.1 ökar bruttoutbytet av biodrivmedel per hektar med cirka 35 % när dranken rötas till biogas jämfört med när den torkas och utnyttjas som foder. Nettoutbytet av drivmedel ökar ännu mer, cirka 77 %, eftersom den ökade drivmedelsproduktion sker med en ungefär lika stor energiinsats som när dranken torkas. Jämfört med enbart rötning av vete bedöms nettoutbytet av drivmedel fortfarande vara något lägre, cirka 10 %. En stor del av det värmebehov som krävs vid framställning av etanol och/eller biogas skulle teoretiskt kunna baseras på den halm som fås vid odlingen av spannmål (se avsnitt 5.1), vilket också illustreras i Figur 6.1.

De praktiska förutsättningarna för att förverkliga detta koncept på energikombinat beror på flera olika faktorer. En faktor av betydelse är möjligheterna att återcirkulera rötresten till jordbruksmark som gödselmedel, vilket analyseras i avsnitt 7.4.1. Om det finns begränsade förutsättningar att avyttra drank som foder eller utnyttja denna för biogasproduktion är ett annat alternativ att torka och pelletera dranken till ett

fastbränsle för t ex värmeproduktion. Hur energiutbytet blir i detta fall illustreras också i Figur 6.1. Det sammantagna nettoutbytet av drivmedel och värme blir i detta fall drygt 10 % högre än nettoutbytet av enbart drivmedel vid ett etanol- och biogaskombinat. Samtidigt minskar nettoutbytet av drivmedel med cirka 60 %.

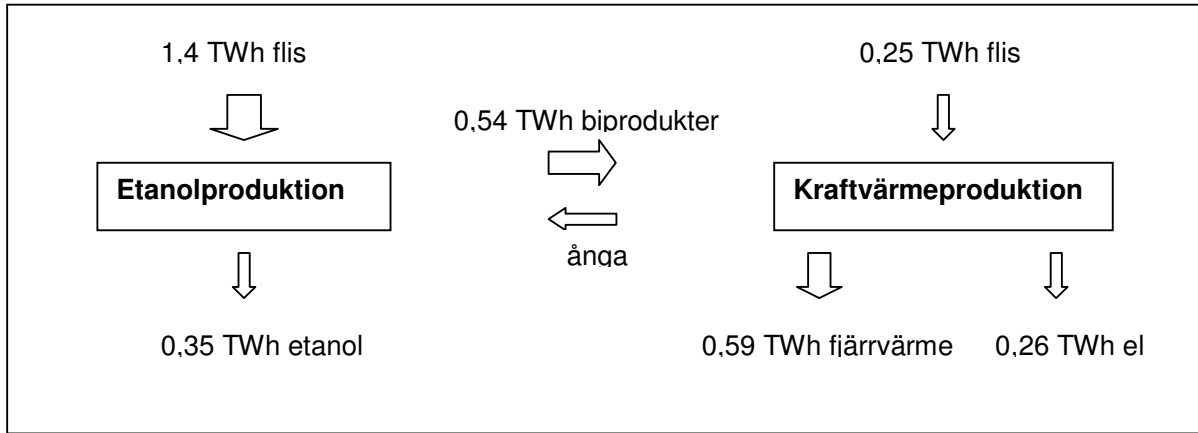


Figur 6.1. Utbyte av etanol och biogas som drivmedel samt drank (pelleterad) för värmeproduktion (MWh per hektar och år) från ett hektar höstvetedodling i Götalands södra slättbygder när olika omvandlingstekniker utnyttjas (se avsnitt 5.3).

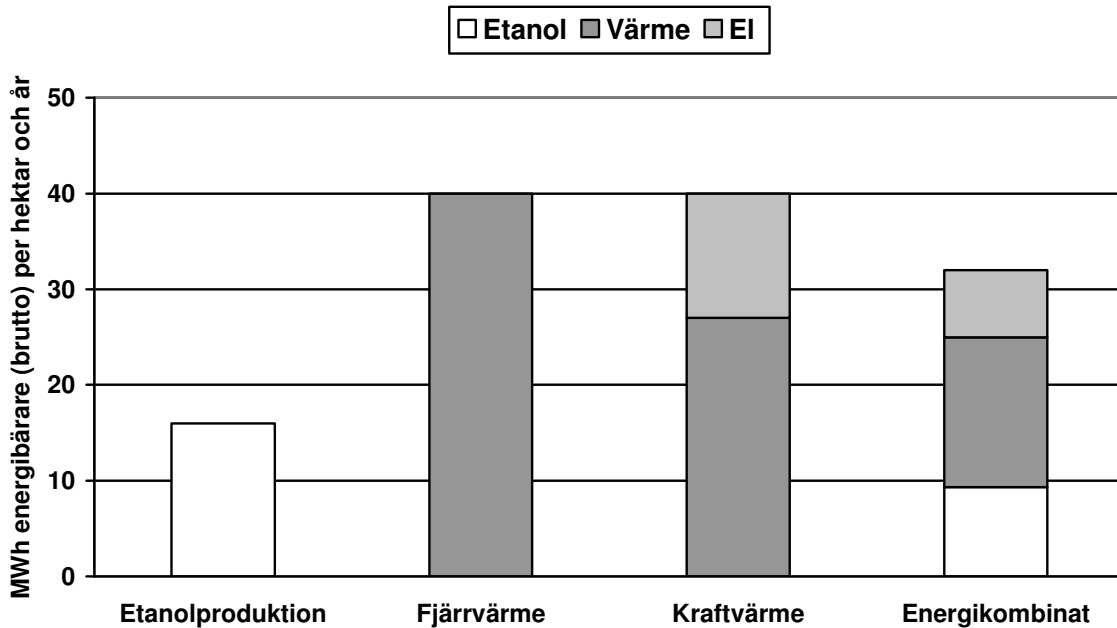
6.2. Etanol, el och värme från lignocellulosa

Vid framställning av etanol från lignocellulosa fås en stor fraktion restprodukt som huvudsakligen utgörs av lignin. Som beskrivs i avsnitt 4.3 beräknas utbytet av etanol kunna variera mellan cirka 30 % till 40 % av lignocellulosans energiinnehåll beroende av hur processen utformas och när drivmedelsproduktion prioriteras. Hur väl restprodukterna utnyttjas för energiändamål vid etanoltillverkning har således stor betydelse för den totala energieffektiviteten för dessa produktionssystem. En möjlighet att öka den totala effektiviteten vid framställning av etanol från lignocellulosa är att integrera denna produktion med produktion av kraftvärme. Ett exempel på ett energikombinat där en etanolanläggning integreras med en fjärrvärmeanläggning med kraftvärmeproduktion ges t ex av BAFF (2006) (se Figur 6.2). I detta koncept antas totalt 350.000 ton ts träflis användas årligen, vilket ungefär motsvarar 1,65 TWh, för att generera cirka 0,35 TWh etanol, 0,59 TWh fjärrvärme samt 0,26 TWh el. Den totala energieffektiviteten för detta kombinat blir således relativt högt, eller cirka 73 %. Däremot blir utbytet av etanol betydligt lägre, drygt 21 %, än de

utbyten som anges i kapitel 5. I Figur 6.3 görs en jämförelse mellan denna energikombinatlösning och tidigare analyser av värme-, kraftvärme- och etanolproduktion i avsnitt 5.1-5.3, avseende utbyte av respektive energibärare per hektar poppel i Götalands södra slättbygder. De praktiska förutsättningarna för att förverkliga detta koncept av energikombinat beror på ett flertal olika faktorer, bl a storlek på fjärrvärmesystem, vilket analyseras i avsnitt 7.4.



Figur 6.2. Exempel på energikombinat där etanol, fjärrvärme och el produceras från träflis (BAFF, 2006).



Figur 6.3. Utbyte av etanol, fjärrvärme och el (MWh brutto per hektar och år) från ett hektar poppel i Götalands södra slättbygder när olika omvandlingssystem utnyttjas (se avsnitt 5.1-5.3).

6.3. FT-diesel, el och värme från lignocellulosa

I avsnitt 4.3 beskrivs energibalansen för produktion av FT-diesel från lignocellulosa och utbytet av drivmedel som kan variera mellan 30 till 45 % av biomassans energiinnehåll. Om produktion av drivmedel prioriteras bedöms utbytet av FT-diesel kunna uppgå till cirka 45 %. I denna process produceras samtidigt en mindre mängd el och större mängd värme vilka antas används internt för att torka råvara, driva processen osv. Totalverkningsgraden antas således motsvara energiutbytet i form av drivmedel i detta fall.

Totalverkningsgraden bedöms dock kunna öka till cirka 50 % om FT-diesel samproduceras med el och värme för extern användning. I en sammanställning av Goldschmidt (2005) beskrivs möjliga biobränslebaserade energikombinat med tillverkning av drivmedel, bl a samproduktion av FT-diesel, el och värme. Baserat på dessa data har följande uppskattning gjorts över hur energibalansen kan se ut i olika kombinatlösningar (Tabell 6.1). I basfallet antas utbytet av FT-diesel vara 45 % och den interna produktionen av el och värme utnyttjas fullt ut inom processen. I de övriga fallen där el för extern användning produceras prioriteras elproduktion före värmeproduktion, d v s om en mindre andel el produceras ökar värmeproduktionen för extern användning i samma storleksordning. Beräkningarna baseras på elproduktion via kombicykel (gasturbin och ångturbin) med ett alfa-värde om 1, d v s lika delar el som värme antas produceras (Goldschmidt, 2005).

Tabell 6.1. Uppskattning av energibalans för olika energikombinat med tillverkning av FT-diesel.^a

Kombinatlösning	Förbrukning av biobränsle (MWh)	Produktion av energibärare för extern användning			Totalverkningsgrad (%)
		FT-diesel (MWh)	El (MWh)	Värme (MWh)	
1. Maximal FT-dieselproduktion	1	0,45	0	0	45
2. Produktion av el- och FT-diesel utan "shift" ^b	1	0,17	0,28	0,05	50
3. Produktion av el- och FT-diesel med "shift" ^b	1	0,24	0,24	0,02	50

^a Baserat på data från Goldschmidt (2005) som räknats om i denna studie.

^b Med "shift" menas konvertering av kolmonoxid (CO) till kolväteföreningar med hjälp av katalysatorer.

6.4. Metanol/DME, el och värme från lignocellulosa

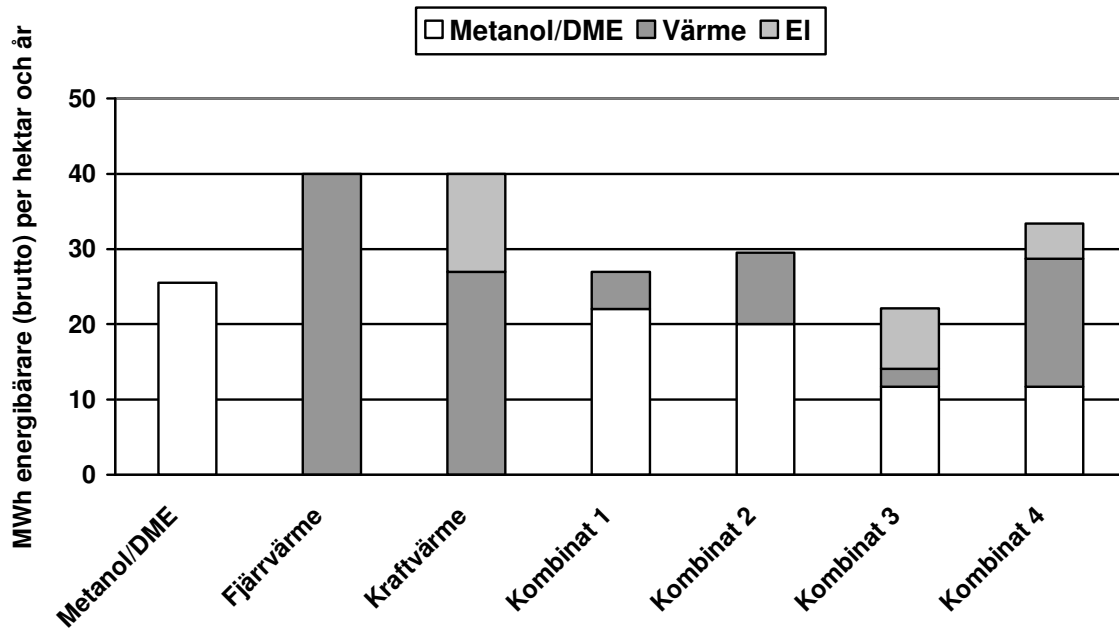
Utbytet av metanol/DME från förgasning av lignocellulosa antas i avsnitt 4.3 uppgå till 58 % när drivmedelsproduktion prioriteras. I detta alternativ produceras både el (i mindre omfattning) och värme vilka

används internt för att driva processen, d v s denna typ av anläggning kan ses som en fristående produktionsenhet. Möjligheterna är dock stora att samproducera metanol/DME med el och värme för extern användning genom integrering med en kraftvärmearläggning. Resultat från olika studier visar dock att totalverkningsgraden vid integrering kan variera relativt mycket. Exempel är studier som visar att när elproduktion prioriteras tillsammans med metanol/DME-produktion (och inte värmeproduktion) förblir totalverkningsgraden ungefär samma som för en fristående anläggning, d v s mellan 50 och 60 % (Goldschmidt, 2005). I dessa integreringsalternativ sjunker utbytet av metanol i ungefär samma storleksordning som utbytet av el för externt bruk ökar.

Om däremot värmeproduktion prioriteras före elproduktion för extern användning kan totalverkningsgraden öka till upp emot 70 %. Ett exempel som beskrivs av Goldschmidt (2005) och som baserat på ALTERNER-projektet BAL är en metanolanläggning som integreras med en kraftvärmepanna i kondensdrift som dimensioneras för att täcka det interna elbehovet. Här uppskattas utbytet av extern värme uppgå till cirka 12 % samtidigt som utbytet av metanol minskar till cirka 49 %, d v s totalverkningsgraden blir ungefär 61 % (Kombinat 1 i Figur 6.4). Om man i stället väljer att integrera med kraftvärmeproduktion och en panna i mottrycksdrift ökar totalverkningsgraden till 67 % där utbytet av metanol och extern värme uppgår till 46 respektive 21 % (Kombinat 2 i Figur 6.4).

Ett annat exempel som beskrivs av Goldschmidt (2005) och som baserat på ALTERNER-projektet BioMeeT är en simulerad integrering där anläggningen inte optimeras primärt mot metanolsyntesen utan även mot värme- och elproduktion för extern användning. Två alternativ beskrivs där elproduktion sker med gasturbin och ångturbin i kondensdrift i alternativ 1 och i mottrycksdrift i alternativ 2. Utbytet av metanol uppgår i båda fallen till cirka 25 % medan totalverkningsgraden är cirka 47 % för alternativ 1 respektive 72 % i alternativ 2. Utbytet av el och värme är 17 respektive 5 % i alternativ ett (Kombinat 3 i Figur 6.4) samt 10 respektive 36 % i alternativ två (Kombinat 4 i Figur 6.4). I Figur 6.4 görs en jämförelse mellan dessa fyra energikombinatlösningar och tidigare analyser av värme-, kraftvärme- och metanol/DME-produktion i avsnitt 5.1-5.3, avseende utbyte av respektive energibärare per hektar poppel i Götalands södra slättbygder.

Kommersiella metanol/DME-anläggningar förväntas bli stora i framtiden p g a skalfördelar. Förbrukningen av biomassa beräknas t ex uppgå till mellan cirka 2 och 3,5 TWh per år för de exempel på energikombinat som redovisas ovan. Möjligheterna att få avsättning för extern värme i t ex fjärrvärmesystem har därför stor betydelse för de praktiska förutsättningarna att implementera dessa energikombinat, vilket analyseras närmare i avsnitt 7.4.



Figur 6.4. Utbyte av metanol/DME, fjärrvärme och el (MWh brutto per hektar och år) från ett hektar poppel i Götalands södra slättbygder när olika omvandlingssystem utnyttjas (se avsnitt 5.1-5.3). För beskrivning av Kombinat 1 - 4, se text.

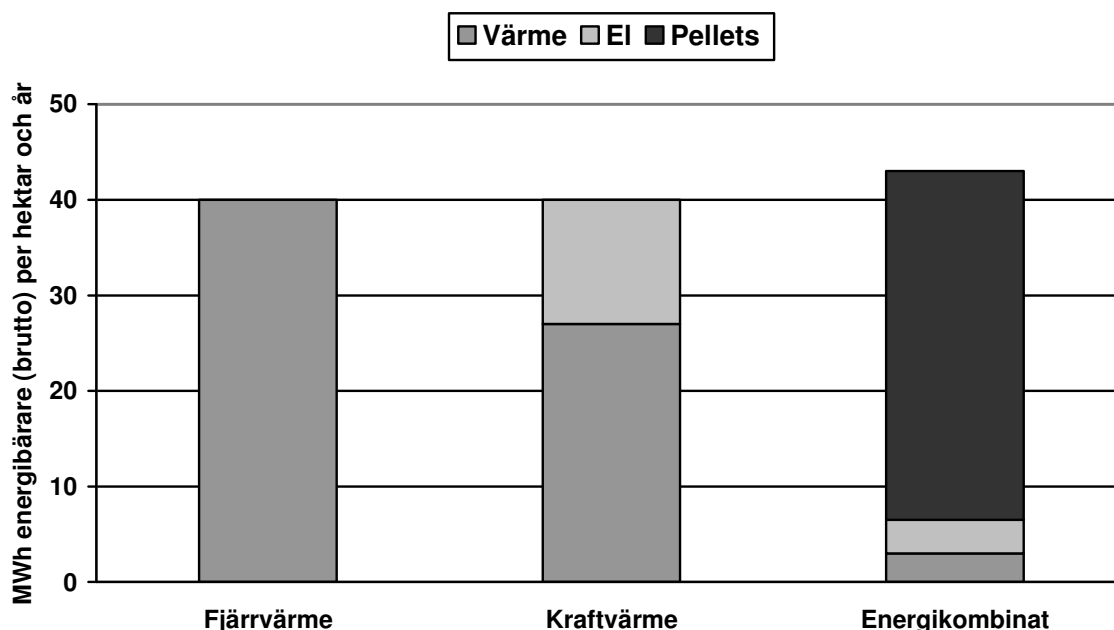
6.5. Pellets, el och värme från lignocellulosa

I avsnitt 4.1 diskuteras möjligheterna att förädla vedråvara och stråbränslen till pellets vilket öppnar en stor marknad inom småskalig värmeproduktion (se avsnitt 7.1). En möjlighet är att samproducera el, värme och pellets vilket bl a Skellefteå Kraft utvecklar kombinat kring. Ett exempel är ett pelletskombinat som är under uppförande i Storuman. Detta koncept bygger på att det finns en stor lokal/regional tillgång på bioråvara (t ex vedråvara) samtidigt som värmeunderlaget är begränsat (t ex små fjärrvärmesystem i mindre tätorter). I Tabell 6.2 beskrivs energibalansen för detta kombinat där cirka 600 GWh bioråvara (framför allt rundved) torkas och förädlas till pellets, el samt värme. Den totala verkningsgraden blir mycket högt i detta kombinat, cirka 98 %, fördelat på cirka 83 % pellets, 8 % el respektive 7 % värme. En anledning till den höga verkningsgraden är att ångan som genereras vid torkning utnyttjas på ett så effektivt sätt som möjligt genom optimerad elproduktion och därefter värmeproduktion (Atterhem, 2007). En stor fördel med detta koncept är den höga totalverkningsgraden i kombination med det begränsade värmeöverskottet, vilket diskuteras vidare i avsnitt 7.4.2. I Figur 6.5 görs en jämförelse mellan denna energikombinatlösning och tidigare analyser av värme- och kraftvärmeproduktion i avsnitt 5.1-5.3, avseende utbyte av respektive energibärare per hektar poppel i Götalands södra slättbygder.

Tabell 6.2. Uppskattning av energibalans för pelletskombinat i Storuman.^a

Förbrukning av biobränsle (GWh / år)	Produktion av energibärare för extern användning			Totalverkningsgrad (%)
	Pellets (GWh / år)	El (GWh / år)	Värme (GWh / år)	
600	500	48	40	98

^a Baserat på data från Atterhem (2007).

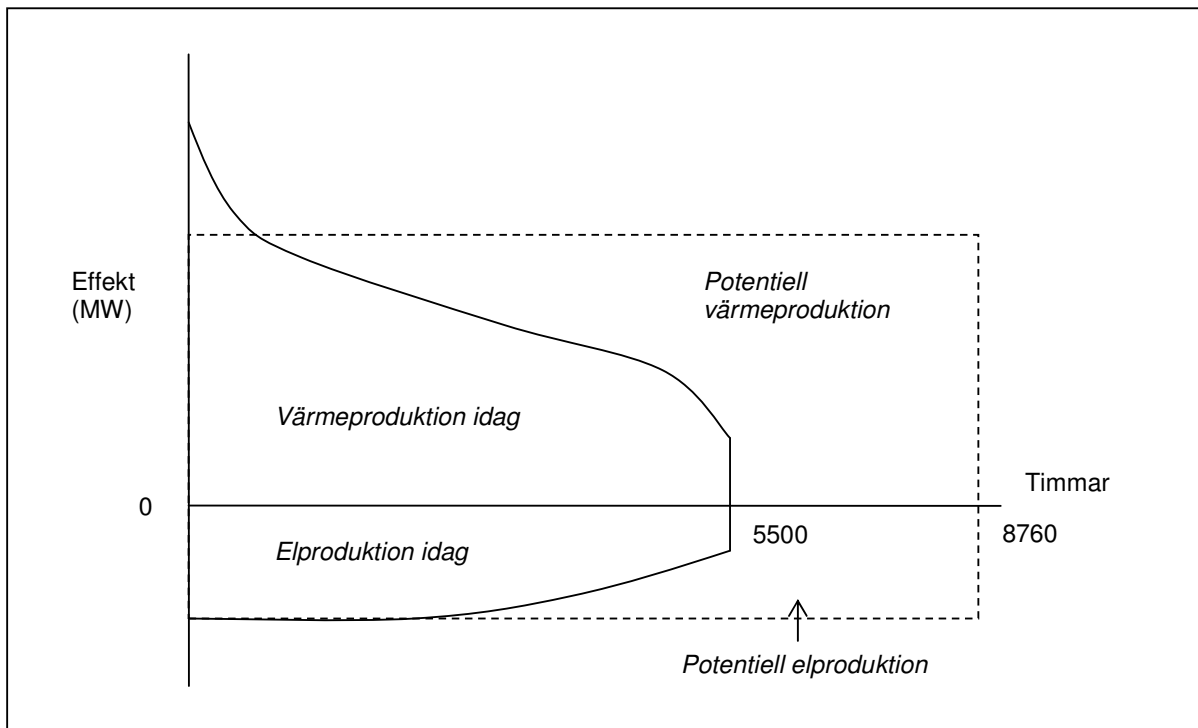


Figur 6.5. Utbyte av pellets, fjärrvärme och el (MWh brutto per hektar och år) från ett hektar poppel i Götalands södra slättbygder när olika omvandlingssystem utnyttjas (se avsnitt 5.1-5.2).

6.6. Utnyttjande av värmeöverskott i befintliga kraftvärmeverk

Utbyggnaden av kraftvärme i svenska fjärrvärmeverk går snabbt idag och en viktig drivkraft är det elcertifikatsystem som infördes 2005. Idag utnyttjas knappt 6 TWh biobränsle för elproduktion i fjärrvärmesektorn och kring 5 TWh inom massaindustrin. En skillnad mellan kraftvärme inom fjärrvärmesektorn och massaindustrin är att massaindustrin har ett relativt jämnt värme- och ångbehov över året medan behovet av fjärrvärme är betydligt lägre under sommarhalvåret än vinterhalvåret. Elproduktionskapaciteten utnyttjas därför ofta enbart till cirka hälften i fjärrvärmeverk med elproduktion. I

Figur 6.6 illustreras detta schematiskt med ett så kallat varaktighetsdiagram som visar hur mycket värme och el som levereras under årets timmar, samt skillnaden mot teoretisk maximal produktion av värme och el.



Figur 6.6. Schematisk beskrivning av el och värmeproduktion i fjärrvärmeverk idag respektive teoretisk maximal produktion när anläggningens kapacitet utnyttjas fullt ut året om.

Ett sätt att öka elproduktionen i befintliga kraftvärmeverk är att hitta nya avsättningsområden för det värmeöverskott man får under sommarhalvåret. På Ena Energi i Enköping har översiktliga beräkningar gjorts över hur ett värmeöverskott skulle kunna utnyttjas för dels pelletsproduktion, dels etanolproduktion (Eklund, 2007). Som beskrivs i avsnitt 4.1 uppskattas energibehovet vid tillverkning av pellets från färsk vedbiomassa (torkning, sönderdelning och pelletering) uppgå till mellan 15-20 % av vedens energiinnehåll. Om hela det potentiella värmeöverskottet i Enköpings kraftvärmeverk skulle utnyttjas för pelletsproduktion (cirka 200 GWh) skulle teoretiskt cirka 1 TWh pellets kunna produceras. Enligt den studie som tidigare gjorts inom Ena Energi bedöms den praktiska produktionen av pellets kunna uppgå till cirka 120 GWh (Eklund, 2007), d v s i detta fall utnyttjas endast cirka 12 % av det potentiella totala värmeöverskottet. Samtidigt skulle elproduktionen öka med cirka 10 %.

Ett annat alternativ som undersökts av Ena Energi är att utnyttja överskottsvärme för etanolproduktion från spannmål. I detta fall skulle cirka 20-25 % av det maximala potentiella värmeöverskottet utnyttjas för etanolproduktion (cirka 50 GWh). Den totala produktionen av etanol skulle uppgå till cirka 60 GWh (10

miljoner liter) och den ökade elproduktionen till cirka 20 GWh (Eklund, 2007). Från 1 kWh överskottsvärme skulle således cirka 1,2 kWh etanol och 0,4 kWh el kunna produceras i denna kombinatlösning. De regionala förutsättningarna att utnyttja dagens kraftvärmeverk för ökad elproduktion genom att utnyttja värmeöverskottet för pellets- och etanolproduktion diskuteras vidare i avsnitt 7.4.3.

7 Regionala förutsättningar för förädling och avsättning

De praktiska produktions- och avsättningsmöjligheterna för olika förädlade bibränslen kan variera utifrån lokala och regionala förutsättningar. Dessutom har de olika energibärarnas inneboende egenskaper stor betydelse för t ex avsättningen av dessa. Avsättning av t ex bibränslebaserad elproduktion antas vara obegränsad och distributionsnätet finns tillgängligt för såväl småskalig som storskalig produktion. Samma sak gäller för flytande biodrivmedel som kan användas i befintliga fordon. Nya typer av drivmedel som t ex gasformiga kräver dock en utbyggd infrastruktur. När det gäller avsättning av storskalig produktion av värme från bibränslen förutsätter detta fjärrvärmesystem. Småskalig värmeproduktion kan däremot baseras på förädlade bibränslen som pellets i enskilda pannor och mindre anläggningar vilket medför att de geografiska avsättningsbegränsningarna minskar. Pellets kan distribueras kostnadseffektivt över relativt stora regioner.

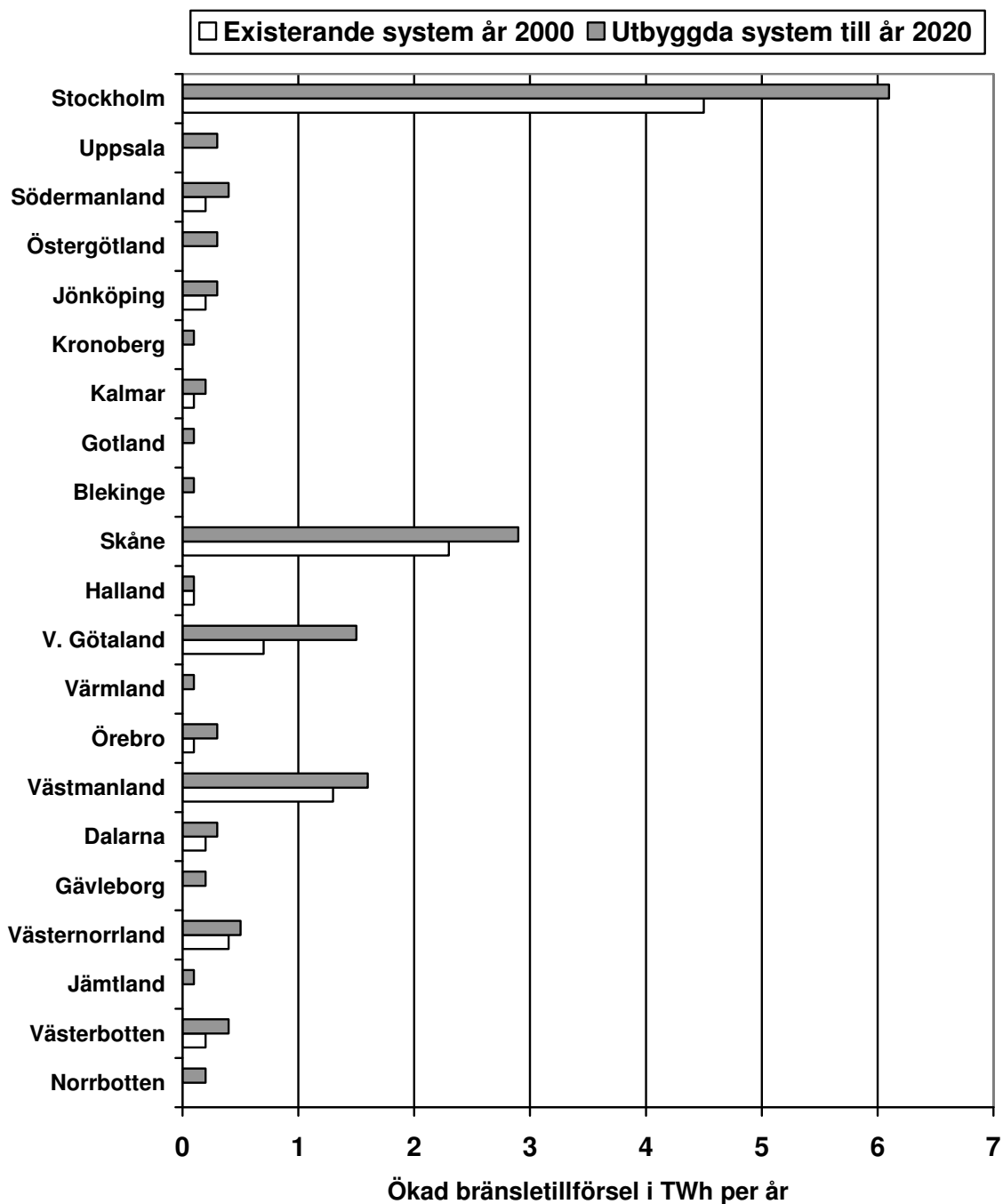
7.1 Värmeproduktion

I en tidigare studie från 2001 (Börjesson, 2001) har de tekniska förutsättningarna för att öka bibränsleanvändningen i svenska fjärrvärmesystem analyserats (se Figur 7.1). Analysen bygger på fjärrvärmestatistik och prognoser från Svenska Fjärrvärmeföreningen. I analysen antogs fortsatt ersättningen av fossila bränslen och el men att en viss del olja eller naturgas fortfarande används som spetslast motsvarande 20 % av bränsletillförseln. Detta är högt räknat utifrån dagens förutsättningar där andelen spetslast i form av olja snarare är mellan 5 till 10 % (Frisk, 2007). Dessutom inkluderades en bedömning över hur utbyggnaden av fjärrvärmesystemen kunde öka till år 2020 liksom anslutningsgraden i områden med fjärrvärme (för detaljerad beskrivning se Börjesson, 2001). Till exempel antogs att anslutningsgraden i områden med fjärrvärme kunde öka från knappt 75 % kring år 2000 till cirka 80 % inom ett par decennier.

Totalt bedömdes tillförseln av bibränslen för värmeproduktion kunna öka med cirka 10 TWh per år i existerande fjärrvärmesystem år 2000 genom framför allt bränslebyte. Med en fortsatt utbyggnad och ökad anslutningsgrad bedömdes tillförseln kunna öka ytterligare till totalt cirka 16 TWh per år kring år 2020. Som framgår av Figur 8.1 är förutsättningarna för ökad bibränsleanvändning störst i Stockholms län som ensamt svarade för knappt 50 % av de tekniska möjligheterna för ökad bibränsleanvändning i existerande

fjärrvärmesystem år 2000. Därefter kommer Skåne med motsvarande 25 %, följt av Västmanland och Västra Götaland. Det är också i dessa fyra län som förutsättningarna för en framtida ökad tillförsel i utbyggda system bedöms vara som störst.

Under de senaste åren har det skett en relativt kraftig ökad användning av biobränslen i fjärrvärmesystemen. Mellan år 2000 och 2004 ökade t ex användning av trädbränslen för fjärrvärmeproduktion (exklusive elproduktion) med cirka 6 TWh (Energimyndigheten, 2005). En stor del (cirka 60 %) av de uppskattade tekniska möjligheterna för ökad biobränsleanvändning i existerande fjärrvärmesystem som redovisas ovan har således redan utnyttjats i praktiken fram till år 2005. Med fortsatta bränslebyten (inklusive en mindre andel fossila bränslen som spetslast), utbyggnad och ökad anslutningsgrad bedöms dock ökningen av biobränsletillförseln till fjärrvärmeproduktionen kunna fortgå och motsvara upp till cirka 10 TWh per år på lite längre sikt. Nya prognoser och skattningar av framtida användning av biobränslen för fjärrvärmeproduktion är under framtagande av Svenska Fjärrvärmeföreningen (Land, 2007).



Figur 7.1. Uppskattning av de tekniska förutsättningarna för att öka biobräsleanvändningen i existerande fjärrvärmesystem år 2000 samt i utbyggda fjärrvärmesystem kring år 2020 (Börjesson, 2001). Fram till 2005 har cirka 60 och 37 % av denna tekniska potential att öka biobräsletillförsel utnyttjas avseende ”existerande fjärrvärmesystem” respektive ”utbyggda fjärrvärmesystem 2020”.

I Börjesson (2001) analyserades också de tekniska förutsättningarna för ökad avsättning av pellets för småskalig uppvärmning genom ersättning av eldningsolja. Analyser baseras på statistik över

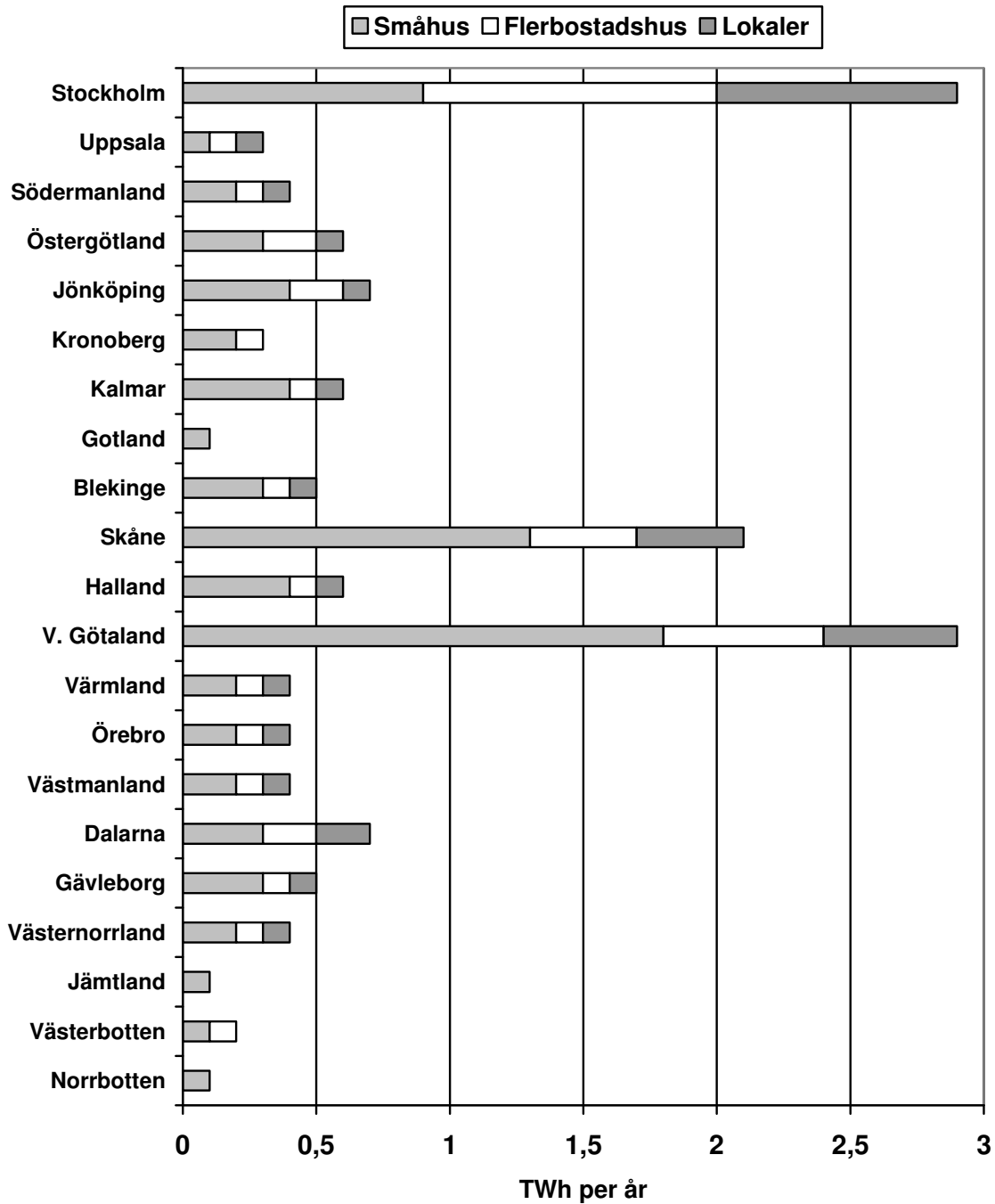
bostadsbeståndet kring år 2000 som använde egna oljepannor. I Sverige finns cirka 1,7 miljoner småhus där cirka 13 % (230.000) hade olja som enda uppvärmningskälla år 2000. Dessutom utnyttjade cirka 15 % (260.000) eldningsolja i kombination med ved eller el. Endast cirka 1 % av småhusbeståndet (15.000 – 20.000) använde pellets år 2000. När också flerbostadshus och lokaler inkluderas uppskattades den maximala tekniska användningspotentialen för pellets uppgå till cirka 16 TWh per år. Den länsvisa fördelningen av denna ”teoretiska” avsättningspotential för pellets redovisas i Figur 7.2. Som framgår av Figur 7.2 uppskattas den tekniska avsättningspotentialen för pellets genom ersättning av eldningsolja vara störst i Stockholms och Västra Götalands län följt av Skåne.

Förändringen av uppvärmningssystem inom småhussektorn och bland flerbostadshus och lokaler med egna oljepannor har gått mycket snabbt under de senaste åren. Den totala oljeförbrukningen inom sektorn bostäder och service minskade t ex med ungefär en tredjedel mellan år 2000 och 2004 (Energimyndigheten, 2005). Andelen småhus med enbart oljeeldning hade också drastiskt minskat och utgjorde endast cirka 6 % år 2004. Andelen småhus som utnyttjar pellets har kraftigt ökat och uppgår idag till cirka 100.000 (Andersson, 2006). Pelletsförsäljningen uppgick till ungefär 7 TWh år 2005 varav cirka 2,2 TWh utnyttjades i småhussektorn, 0,9 TWh i flerbostadshus, lokaler och närvärmsystem (mellansaklig förbränning) samt 3,9 TWh i större fjärrvärmeverk mm (PIR, 2006). Den snabbaste ökningen av pelletsanvändningen sker inom småhussektorn idag då t ex försäljningen av villapellets ökade med 73 % under första halvåret 2006 jämfört med första halvåret 2005 (Andersson, 2006).

Förutom en snabb ökning av användningen av pellets inom småhussektorn ökar också konverteringen från olja till värmepumpar. Idag bedöms konverteringstakten till värmepumpar vara ungefär lika stor som till pelletseldning (PIR, 2006). Av den teoretiska potentialen av ökad pelletsanvändning för småskalig uppvärmning genom ersättning av eldningsolja som redovisas i Figur 7.2 har redan (och kommer) således en stor andel att uppfyllas med andra uppvärmningssystem som t ex värmepumpar. Dessutom kan individuell oljeeldning till viss del ersättas med fjärrvärme genom utbyggnad av fjärrvärmsystem samt ökad anslutningsgrad i områden där fjärrvärme redan finns, vilket diskuterats tidigare i detta avsnitt. Förutom ersättning av eldningsolja kan pellets också ersätta t ex direktverkande eluppvärmning. I dessa fall kan t ex pelletskaminer utnyttjas i kombination med direktverkande el och svara för en del av uppvärmningen. Ungefär 17 % av småhussektorn hade direktverkande eluppvärmning år 2004 (Energimyndigheten, 2005).

Pellets skiljer sig från flis och oförädlade stråbränsle på så sätt att pellets är mindre kostnads känslig för ökade transportavstånd. Därför är kopplingen mellan regional produktion och regional avsättning betydligt svagare för pellets. I praktiken kan pellets tillverkas i t ex norra delen av Sverige och förbrukas i södra delen, speciellt om transport kan ske med båt. Pelletsproduktion från jordbruksbaserade biobränslen bedöms därför inte ha några regionala begränsningar avseende avsättningen av dessa. Däremot kan produktionen komma att

i allt större utsträckning integreras med t ex kraftvärmeproduktion i fjärrvärmesystem i framtiden, vilket medför att geografiska hänsyn ändå kan behöva tas (se avsnitt 6.5 och 7.4).



Figur 7.2. Maximal teknisk avsättningspotential för pellets inom respektive län år 2000 när all eldningsolja för uppvärmning av småhus, flerbostadshus och lokaler med egen oljepanna ersätts med pellets. (Se Börjesson, 2001, för detaljerad beskrivning av beräkningsförutsättningarna). Mellan år 2000 och 2005 har pelletsanvändningen ökat från cirka 0,3 till drygt 3 TWh per år inom bostadssektorn. Dessutom har oljeeldning till stor del också ersatts med värmepumpar. Den tekniska potentialen för ökad avsättning av pellets inom bostadssektorn är därför lägre idag jämfört med år 2000.

7.2 Kraftvärmeproduktion

I Börjesson (2001) har också de tekniska förutsättningarna för ökad kraftvärmeproduktion i fjärrvärmesystem och inom skogsindustrin baserat på biobränslen analyserats. I studien inkluderades två olika tekniker, dels traditionell förbränning och ångturbinsteknologi, dels förgasning och kombicykelteknologi som bygger på att både gasturbiner och ångturbiner utnyttjas för att maximera utbytet av el. Den senare teknologin, som ännu inte är färdigutvecklad, är dock mer komplicerad och beräknas bli väsentligt dyrare varför värderingen av el måste vara betydligt högre än värderingen av värme för att motivera den merinvestering som krävs. I en studie av Helby m fl (2004) konstaterades att kombicykelteknologin sannolikt kommer att ha mycket svårt att konkurrera med den traditionella ångturbinsteknologin under en relativt lång tid framöver. Därför redovisas enbart de tekniska förutsättningarna för kraftvärmeproduktion via ångturbinsteknologi här. Alfavärdet antas vara 0,5, d v s en andel el produceras per två andelar värme. Förutsättningarna för kraftvärmeproduktion inom skogsindustrin inkluderas inte heller här då denna potentiella elproduktion framför allt antas baseras på skogsbiomassa.

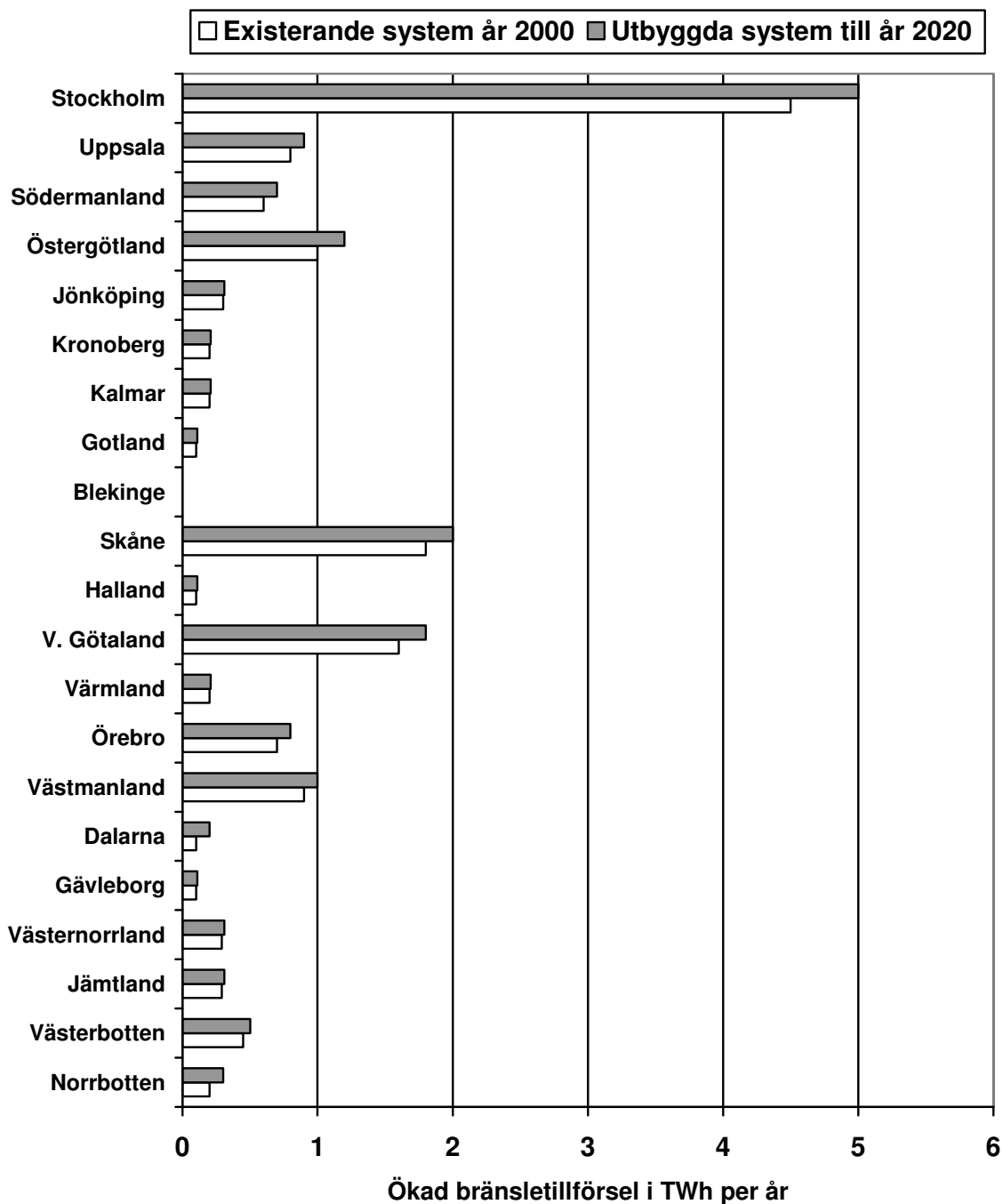
I Figur 7.3 redovisas de tekniska förutsättningarna för kraftvärmeproduktion i existerande fjärrvärmesystem år 2000 respektive utbyggda system kring år 2020 för respektive län (Börjesson, 2001). Denna bedömning bygger på antagandet att cirka 55 % av värmeunderlaget i fjärrvärmesystemen teoretiskt kan utnyttjas för biobränslebaserad kraftvärmeproduktion. Orsakerna till att inte all fjärrvärme bedöms kunna utnyttjas som värmeunderlag är att det är mest kostnadseffektivt att utnyttja större fjärrvärmesystem för kraftvärmeproduktion (> 60 MW värmeeffekt och 210 GWh årlig värmeleverans) och att vissa fjärrvärmesystem utnyttjar spillvärme mm från industrier (Börjesson, 2001). Dessutom utnyttjas avfall som bränsle vilket inte antas ersättas med biobränslen. Den ökade lönsamheten för kraftvärmeproduktion, bl a tack vare dagens elcertifikatsystem och teknikutveckling, har dock inneburit att allt mindre fjärrvärmeanläggningar installerar kraftvärme. Därför är den gräns som använts i Börjesson (2001) om minst 60 MW värmeeffekt och 210 GWh värmeleverans inte aktuell idag utan denna bör snarare vara kring 12 MW värmeeffekt och 45 GWh värmeleverans (Andersson, 2006). Detta innebär att de tekniska förutsättningarna för kraftvärmeproduktion i existerande fjärrvärmesystem ökar jämfört med de som beräknats i Börjesson (2001).

Totalt beräknas de tekniska förutsättningarna för elproduktionen i existerande fjärrvärmesystem år 2000 uppgå till 12 TWh, vilket motsvarar en ökad biobränsletillförsel om cirka 14 TWh. I utbyggda fjärrvärmesystem kring 2020 bedöms de tekniska förutsättningarna öka till 14 TWh el, d v s cirka 16 TWh biobränslen. Som framgår av Figur 7.3 är de tekniska förutsättningarna allra störst i Stockholms län där dessa motsvarar cirka en tredjedel av potentialen för samtliga län. Därefter kommer Skåne följt av Västra Götaland. Teoretiskt skulle biobränsletillförseln för kraftvärmeproduktion i Stockholms län kunna öka med upp emot 5 TWh per år, d v s ungefär lika mycket som för fjärrvärmeproduktion baserat på situationen år

2000 (se avsnitt 7.1). Totalt skulle då den teoretiska biobränsletillförseln till värme- och kraftvärmeproduktion i Stockholm läns fjärrvärmesystem kunna öka med cirka 10 TWh per år i framtiden.

Tillförseln av biobränslen för kraftvärmeproduktion inom fjärrvärmesystemen har ökat kraftigt under senare år. Under 2004 utnyttjades 5,6 TWh biobränslen för elproduktion i fjärrvärmesystemen vilket är ungefär en femdubbling jämfört med år 2000. Totalt utnyttjades drygt 10 TWh biobränslen för elproduktion år 2004 när också industriellt mottryck inom skogsindustrin inkluderas. Av den uppskattade tekniska potentialen för ökad tillförsel av biobränslen för elproduktion inom fjärrvärmesystemen om cirka 12 TWh per år (baserat på år 2000), har således nästan halva denna potential realiserats redan år 2004. Å andra sidan har de tekniska förutsättningarna ökat något sedan 2000 tack vare att kraftvärmeproduktion sker i allt mindre fjärrvärmeanläggningar (se ovan).

Som jämförelse har SVEBIO gjort en sammanställning över hur fjärrvärmebranschen bedömer utvecklingen av kraftvärmeproduktion fram till år 2010 (Hirsmark, 2005a). Denna sammanställning visar att elproduktionen från biobränslen förväntas öka från cirka 5 TWh el per år 2005 till cirka 8,5 TWh el per år 2010. Exklusive torv och avfall innebär detta en ökad biobränsletillförsel om cirka 3,5 TWh per år 2010 jämfört med 2005. Motsvarande ökning av elproduktionen inom massaindustrin bedöms till 2 TWh el, från cirka 4,5 TWh 2005 till cirka 6,5 TWh 2010 (Hirsmark, 2005b). Bland fjärrvärmeproducenterna angav cirka två tredjedelar att elcertifikatsystemet har en avgörande betydelse vid investeringar i ökad elproduktion. SVEBIO har också studerat den geografiska fördelningen av ökad kraftvärmeproduktion totalt sett, d v s inom både fjärrvärmesektorn och massaindustrin. Denna analys visar att den totala kraftvärmeproduktionen i absoluta tal till 2010 förväntas bli störst i Stockholms län, följt av Västernorrland, Skåne och Värmlands län (Hirsmark, 2006). Sammanfattningsvis bedömer fjärrvärmebranschen själva att biobränsleanvändningen för kraftvärmeproduktion kommer att öka med cirka 3,5 TWh biomassa fram till 2010, vilket kan jämföras med den uppskattade tekniska potentialen fram till 2020 som i denna studie uppskattas till mellan 8 och 10 TWh.



Figur 7.3. Uppskattning av de tekniska förutsättningarna för att öka bibränsleanvändningen för elproduktion via kraftvärmeproduktion i existerande fjärrvärmesystem år 2000 samt i utbyggda fjärrvärmesystem kring år 2020 (Börjesson, 2001). Fram till 2005 har cirka 40 och 36 % av denna tekniska potential att öka bibränsletillförsel utnyttjas avseende ”existerande fjärrvärmesystem” respektive ”utbyggda fjärrvärmesystem 2020”. Den tekniska potentialen antas dock ha ökat något sedan 2000 då allt mindre fjärrvärmeanläggningar installerar kraftvärme idag.

7.3 Drivmedelsproduktion

De regionala förutsättningarna för att producera drivmedel från jordbruksgrödor med dagens produktionssystem beror framför allt på två faktorer, dels tillgång på råvara, dels möjligheter att få avsättning för biprodukter. Idag utnyttjas biprodukter från RME- och etanolproduktion (rapsmjöl/rapskaka respektive drank) huvudsakligen som proteinfoder vid djurproduktion. I följande avsnitt analyseras förutsättningarna för regional avsättning av dessa biprodukter som foder vid en expansion av etanol- och RME-produktion, samt förutsättningarna för att förse denna expanderade drivmedelsproduktion med inhemska råvaror. Dessa beräkningar ska ses som teoretiska då t ex råvaruförsörjningen redan idag delvis baseras på import.

7.3.1 Etanolproduktion från spannmål

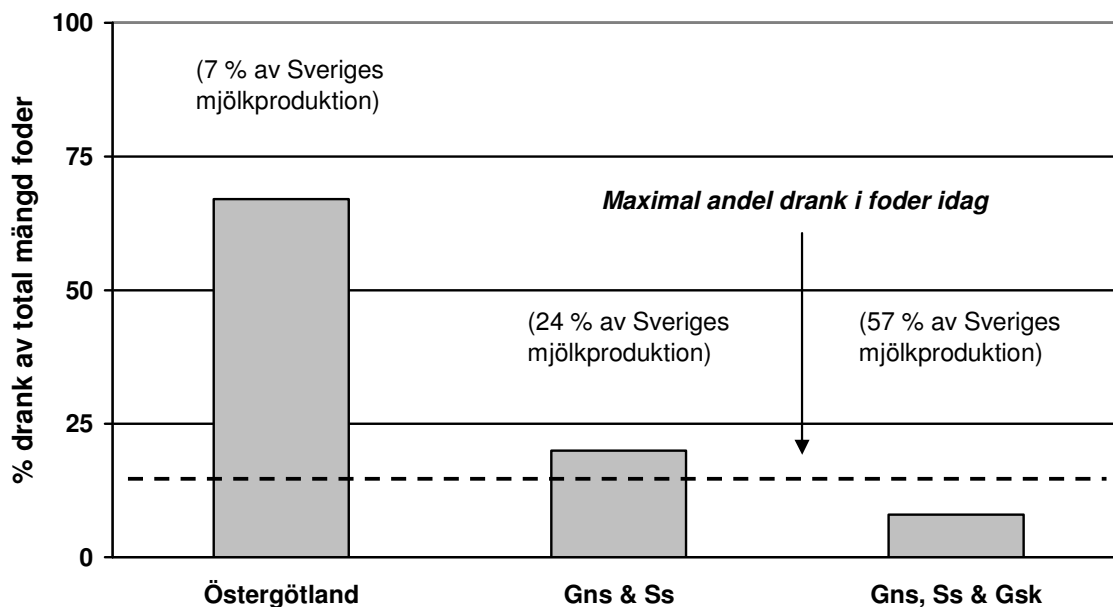
En studie från Svensk Mjök (Emanuelson m fl, 2006) har undersökt möjligheterna att utnyttja drank från svensk etanolproduktion (här kallad agrodrank) samt rapsmjöl från produktion av rapsolja och RME-produktion som foder inom svensk mjökproduktion. Syftet med studien var att analysera möjligheterna att öka andelen närproducerat proteinfoder för att minska importen av t ex sojamjöl, palmkärnkaka m m vid tillverkning av kraftfoder till mjölkkor. Idag utnyttjas cirka 26.000 ton ts agrodrank som foder inom mjökproduktion men i studien antas användningen kunna öka upp till 160.000 ton ts per år. För att producera en liter etanol (vilket motsvarar cirka 5,9 kWh) krävs cirka 2,3 kg ts vete vilket samtidigt genererar 0,8 kg ts drank (Bernesson m fl, 2006; Agroetanol, 2006). Produktionen vid Agroetanols anläggning i Norrköping uppgår idag till cirka 55 miljoner liter etanol (cirka 320 GWh) vilket motsvarar cirka 125.000 ton ts spannmål (eller cirka 150.000 ton torkad spannmål). Samtidigt genereras cirka 44.000 ton ts drank för foderändamål, d v s omkring 60 % av dagens etanoldrank används som foder inom mjökproduktion. Totalt användes cirka 38.000 ton torkad drank som foder under 2005 varav drygt 2.000 ton inom svinproduktion (SCB, 2006).

En ökad användning av drank upp till totalt 160.000 ton ts per år inom mjökproduktion (enligt Emanuelson m fl, 2006) motsvarar en etanolproduktion om cirka 200 miljoner liter (cirka 1,2 TWh). Detta motsvarar ungefär den totala produktionen i Agroetanols anläggningar i Norrköping efter den beslutade utbyggnaden. En ökad användning av agrodrank om totalt 160.000 ton ts motsvarar cirka 6 % av den totala foderförbrukningen bland Sveriges mjölkkor (Emanuelson m fl, 2006). Enligt Agroetanol (2006) har en inblandning upp till 15 % av agrodrank i djurfoder visat ge en positiv effekt. Enligt en europeisk så kallad "well-to-wheel-studie" antas upp till 20 % etanoldrank kunna blandas in i foder (Concawe m fl, 2006).

Den största effekten av en ökad användning av agrodrank om 160.000 ton ts per år inom mjökproduktion fås på mängden foderspannmål som minskar med 80.000 ton ts per år (Emanuelson m fl, 2006). Detta motsvarar en odlingsareal om cirka 15.000 – 20.000 hektar. Den totala minskningen av andra kraftfoderråvaror (raps-,

sockerbets-, sojaprodukter mm) uppskattas vara i samma storleksordning. Effekten på andelen närodlat foder, d v s foder producerat i Sverige, blir dock liten då denna ökar från dagens 87 till 89 %. En nackdel med agrodranken är att den idag inte håller en tillräckligt jämn och hög kvalitet. Enligt Emanuelson m fl. (2006) är det framför allt andelen fiberbundet kväve som varierar, från i bästa fall 10 % men ibland upp till 20 % vilket försämrar proteinvärdet och smältbarheten. En förutsättning för en ökad användning av agrodrank som foder i framtiden är att processen förbättras så att kvaliteten på foderprodukten motsvarar mjölkornas näringsbehov (Emanuelson m fl, 2006).

Den årliga konsumtionen av foder i den svenska mjölkproduktionen (inklusive rekryteringsdjur) uppskattas till cirka 3,45 miljoner ton ts (Emanuelson m fl, 2006). I Östergötland återfinns cirka 7 % av Sveriges mjölkproduktion (SCB, 2006) och därmed ett foderbehov om cirka 240.000 ton ts per år. I den utbyggda etanolanläggningen i Norrköping kommer cirka 160.000 ton ts agrodrank att produceras årligen vilket teoretiskt motsvarar cirka 2/3 av länets foderbehov för mjölkproduktion (Figur 7.4). I Götalands norra slättbygder och i Svealands slättbygder återfinns totalt cirka 24 % av Sveriges mjölkproduktion vilket motsvarar ett foderbehov om cirka 830.000 ton ts per år. Om all agrodrank skulle utnyttjas i mjölkproduktion inom dessa produktionsområden skulle andelen drank uppgå till cirka 20 % av totala foderbehovet, d v s något högre än vad Agroetanol rekommenderar idag (upp till 15 %) men i nivå med antaganden i den europeiska well-to-wheel-studien (Concawe m fl, 2006). Den största andelen av Sveriges mjölkproduktion, cirka 33 %, återfinns i Götalands skogsbygder vilket motsvarar ett foderbehov om cirka 1,1 miljoner ton ts foder. Tillsammans med Götalands norra slättbygder och Svealands slättbygder svarar dessa tre produktionsområden för omkring 57 % av Sveriges mjölkproduktion och om all agrodrank från den utbyggda etanolanläggningen skulle utnyttjas inom dessa tre områden uppgår andelen drank till cirka 8 % av totala foderintaget.



Figur 7.4. Andelen drank från den utbyggda etanolanläggningen i Norrköping jämfört med det totala behovet av foder i mjölkproduktion (år 2005) inom olika regioner.

Baserat på dagens mjölkproduktion i Sverige (om cirka 400.000 mjölkkor) skulle teoretiskt cirka 520.000 ton etanoldrink kunna utnyttjas som foder (15 % av totala foderkonsumtionen). Detta i sin tur motsvarar en etanolproduktion om cirka 650 miljoner liter per år, eller cirka 3,8 TWh (cirka 8 % av dagens bensinförbrukning). Denna ökade mängd etanol motsvarar ytterligare två etanolanläggningar i drygt samma storlek som den utbyggda anläggningen i Norrköping. Om inblandningen av drank kan öka från 15 till 20 % av totala foderkonsumtionen i svensk mjölkproduktion motsvarar detta + 25 % etanol. En mer realistisk bedömning är dock att andelen drank som foderråvara snarare ligger kring 5 till 7 % av totala foderkonsumtionen i framtiden, d v s i nivå med kommande produktion i den utbyggda etanolanläggningen i Norrköping (Herland, 2007). En ytterligare utbyggnad av etanolanläggningar kommer därför troligen att kräva andra avsättningsområden för dranken, t ex förbränning efter att denna torkats och pelleterats eller biogasproduktion. Detta i sin tur leder till en lägre intäkt för dranken och därmed något högre produktionskostnader för spannmålsbaserad etanol.

Förutom att utnyttja agrodrank som foder i mjölkproduktion kan dranken också utnyttjas som foder till köttdjur. Idag finns cirka 1,6 miljoner nötkreatur i Sverige varav cirka hälften utgörs av mjölkkor inklusive rekryteringsdjur (Emanuelson m fl., 2006). Av resterande cirka 800.000 nötkreatur är knappt 180.000 dikor för uppfödning av kalvar samt 250.000 kalvar under ett år (SCB, 2006). Resterande cirka 370.000 djur utgörs av kvigor, tjurar och stutar över ett år. En bedömning av Widebeck (2006) är att dikor, kvigor, stutar och kalvar endast i begränsad omfattning kan bli aktuella för drank som foder. Detta beror på att deras behov av

proteinfoder är betydligt lägre jämfört med mjölkkor och att behovet normalt tillgodoses av grovfoder (med undantag för kalvar). Dessutom är uppfödningen av dikor och köttjur betydligt mer utspridd över landet och utgörs oftast av mindre besättningar jämfört med mjölkkoibesättningar, vilket medför praktiska begränsningar vid distribution av drank som foder. Däremot kan agrodrank bli aktuellt som foder vid uppfödning av tjurar för slakt i större besättningar. Antalet tjurar i Sverige uppskattas här till cirka 200.000 (inklusive tjurar från mjölkkor). Den potentiella konsumtionen av drank för en slakttjur uppskattas till cirka 0,5 ton ts per år (cirka 1,5 kg ts drank per dag) vilket innebär totalt 100.000 ton ts (Hellberg, 2006). Detta motsvarar knappt 20 % av den maximala konsumtionen som uppskattats för mjölkkor eller drygt 60 % av produktionen av drank i en utbyggd Norrköpingsanläggning.

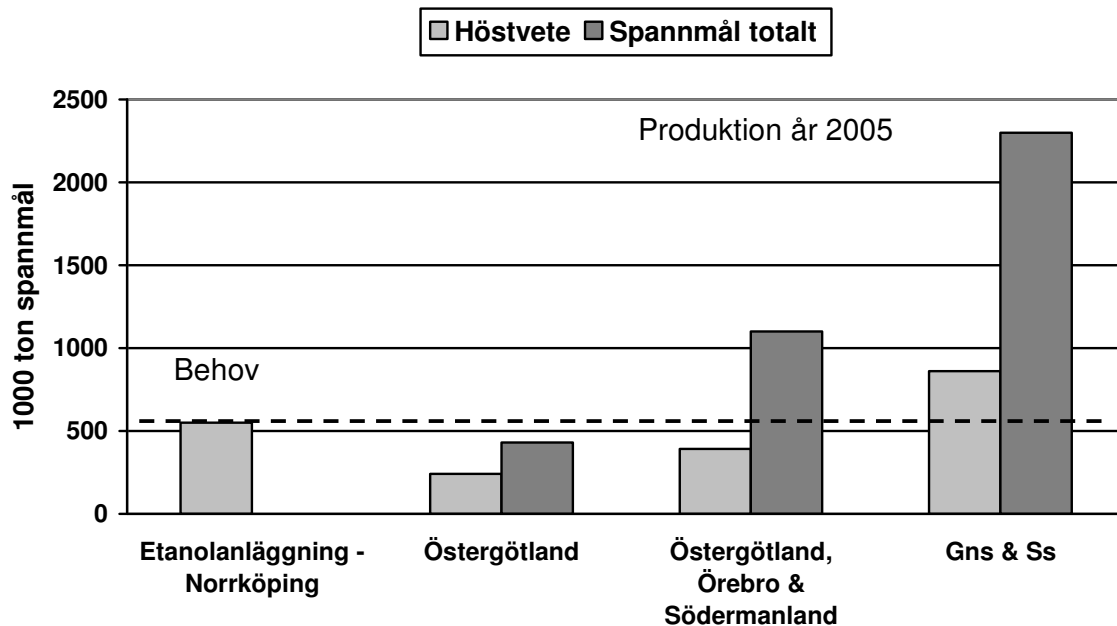
Drank har av tradition inte utnyttjats i någon större skala som foder i grisproduktion (Sigfridsson, 2006). Idag utnyttjas drygt 2.000 ton ts torkad drank som grisfoder (SCB, 2006) men enligt Agroetanol kan upp till 15 % agrodrank blandas i grisfoder (Agroetanol, 2006). Enligt Sigfridsson (2006) är dock grisar mer känsliga än idisslare för växlingar i foderkvalitet vad gäller fiberbundet protein och smältbarhet. Dessutom är sammansättningen av aminosyror i drank mindre optimal för grisar än för nötkreatur. Försök med inblandning av drank upp till 10-15 % i grisfoder har i vissa fall gett bra resultat (bibehållen tillväxt) men i andra fall sämre resultat (försämrade tillväxt) beroende på vilket parti drank som utnyttjats (Sigfridsson, 2006). För att drank ska kunna utnyttjas som ett bra grisfoder krävs förbättringar i framför allt torkningsprocessen som måste bli mer skonsam så att dranken inte bränns vilket leder till försämrade foderkvalitet (Sigfridsson, 2006).

Om kvaliteten på drank förbättras vilket medför att 15 % kan blandas in i grisfoder innebär detta att knappt 70.000 ton ts drank teoretiskt skulle kunna utnyttjas som foder till suggor och slaktsvin i Sverige. Detta är endast cirka 13 % av den teoretiska användningen av drank i mjölkproduktion. Denna mängd drank motsvarar en etanolproduktion om drygt 90 miljoner liter (eller 0,5 TWh), d v s en anläggning som är cirka 65 % större än nuvarande anläggning i Norrköping. Antalet suggor och slaktsvin uppgick till cirka 185.000 respektive 1,1 miljon år 2005 (SCB, 2006). Under ett år antas varje suga och slaktsvin förbruka 1.200 respektive 200 kg ts foder vilket ger ett totalt foderbehov om cirka 440.000 ton ts (Sigfridsson, 2006). Den regionala förekomsten av svinproduktion skiljer sig från mjölk- och nötdjursproduktion då svinproduktion framför allt är lokaliserad till slättbygder. Av Sveriges totala svinproduktion återfinns t ex drygt 25 % i Götalands södra slättbygder. Endast cirka 15 % av svinproduktionen finns i Sveriges skogsbygder och i Norrland (SCB, 2006).

Agroetanols utbyggda anläggning i Norrköping kommer att förbruka totalt cirka 550.000 ton spannmål. Detta kräver en spannmålsareal om cirka 100.000 hektar med en genomsnittlig höstveteskörd om cirka 5,5 ton per hektar och år i Götalands norra slättbygder (Börjesson, 2007). Totalt finns cirka 206.000 hektar åkermark i Östergötlands län varav cirka 44.000 hektar utnyttjades för höstveteodling år 2005 (SCB, 2006).

Den totala arealen spannmålsodling uppgick till knappt 90.000 hektar år 2005. Det kommande behovet av spannmål för etanolproduktion i Norrköping överstiger således dagens odling av höstvetete i länet med cirka 2,3 gånger (se Figur 7.5). Tillsammans med angränsande län som Örebro och Södermanlands län uppgick arealen höstvetete till totalt omkring 75.000 hektar år 2005, vilket motsvarar en produktion om cirka 390.000 ton höstvetete. Denna produktion motsvarar cirka 70 % av behovet i den utbyggda etanolanläggningen i Norrköping. Den totala arealen spannmålsodling i dessa tre län uppgick till cirka 190.000 hektar med en total spannmålsproduktion om cirka 1.100 ton.

Den totala arealen höstveteteodling i Götalands norra slättbygder och Svealands slättbygder uppgick år 2005 till cirka 89.000 hektar respektive 76.000 hektar. Detta motsvarar en produktion om totalt cirka 860.000 ton höstvetete baserat på genomsnittliga avkastningsnivåer för respektive produktionsområde (Börjesson, 2007). Detta innebär att omkring 65 % av den totala höstveteteodling i dessa två produktionsområden teoretiskt skulle behövas som råvara för den utbyggda etanolanläggningen i Norrköping. Den totala spannmålsarealen i Götalands norra slättbygder och Svealands slättbygder uppgick 2005 till cirka 500.000 hektar vilket motsvarar en total spannmålsproduktion om cirka 2.300 ton, d v s drygt 4 gånger mer spannmål än Norrköpinganläggningens behov. Teoretiskt skulle således nästan 25 % av den totala spannmålsproduktionen i dessa två produktionsområden behövas som råvara i Agroetanols utbyggda etanolanläggning.



Figur 7.5. Behov av spannmål (höstvetete) till den utbyggda etanolanläggningen i Norrköping i jämförelse med den regionala produktionen av höstvetete respektive spannmål totalt år 2005.

Sammanfattningsvis uppskattas den teoretiska maximala avsättningen av agrodrank i svensk djurproduktion (baserat på år 2005) kunna uppgå till cirka 700.000 ton ts per år när andelen drank maximalt kan utgöra 15 % av den totala foderkonsumtionen. Om andel drank kan öka till 20 % innebär detta att cirka 900.000 ton ts agrodrank teoretiskt kan utnyttjas som foder. Dessa mängder drank motsvarar knappt 900 miljoner liter (5,3 TWh) respektive 1.100 miljoner liter (6,5 TWh) etanol. Ur energisynpunkt motsvarar detta cirka 11 % respektive 14 % av dagens bensinförbrukning i Sverige. För varje kg spannmål som används för etanolproduktion produceras drank som kan ersätta ungefär 0,17 kg foderspannmål respektive 0,16 kg andra kraftfoderråvaror (Emanuelson m fl, 2006). En produktion om 1.000 miljoner liter etanol kräver 2,3 miljoner ton ts spannmål vilket i sin tur motsvarar en spannmålsareal om i genomsnitt cirka 500.000 hektar (baserat på en spannmålsskörd om 5,5 ton spannmål per hektar). Samtidigt kan cirka 85.000 hektar foderspannmål ersättas, d v s nettobehovet av spannmålsodling blir drygt 400.000 hektar. Som diskuterats tidigare i detta avsnitt uppskattas dock de praktiska möjligheterna att avsätta drank som foder vara betydligt lägre, kanske en tredjedel, än den teoretiskt maximala potential som redovisas här. Detta innebär att drank från en fortsatt ökad etanolproduktion sannolikt kommer att utnyttjas för andra ändamål, t ex biogasproduktion eller förbränning (se avsnitt 6.1 och 7.4.1).

Som jämförelse har det i den tidigare refererade europeiska well-to-wheel-studie (Concawe m fl, 2006) beräknas hur mycket drank från etanolproduktion som kan utnyttjas i foderstater till nötboskap och grisar inom EU. En uppskattning är att av det totala foderintaget kan maximalt 20 % utgöras av drank från vete-etanol, baserat på drankens sammansättning och foderkvalitet. Den totala konsumtionen av foder i EU uppskattas till cirka 300 miljoner ton per år, d v s den totala inblandningen av drank från etanolproduktion från vete (och sockerbetor) uppskattas till maximalt 60 miljoner ton per år. Detta motsvarar i sin tur en etanolproduktion om cirka 100 TWh per år, eller cirka 6 % av den uppskattade bensinförbrukning inom EU år 2010 (Concawe m fl, 2006).

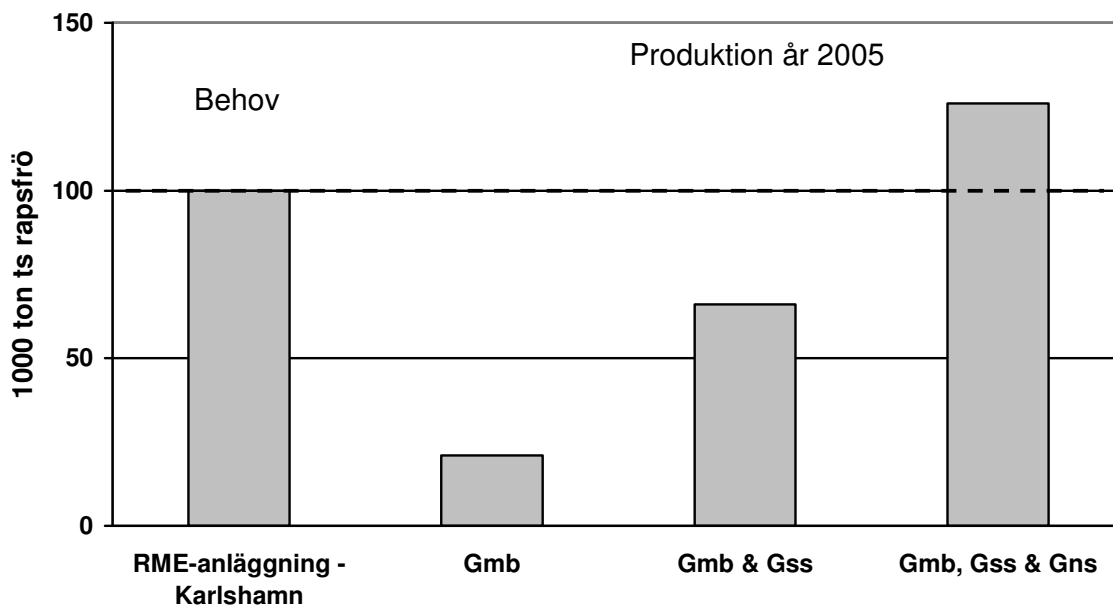
7.3.2 RME-produktion från raps

Vid produktion av RME fås biprodukterna rapskaka eller rapsmjöl samt glycerin. Vid småskalig produktion av RME via pressning fås rapskaka som biprodukt som innehåller både fett och protein. Vid storskalig RME-produktion där utvinning av rapsolja oftast sker genom extraktion fås rapsmjöl som biprodukt som huvudsakligen innehåller protein. Rapsmjöl betraktas som ett högkvalitativt proteinfoder som idag används framför allt inom mjölkproduktion (Emanuelson, 2006). En mindre andel används också inom svin- och fjäderfäproduktion (SCB, 2006). Rapskaka används också som tillsats i kraftfoder men inblandningen begränsas här framför allt av dess fettinnehåll. Detta innebär att den möjliga inblandningen av rapskaka i foder blir lägre än den potentiella inblandningen av rapsmjöl. Glycerin används framför allt som råvara i kemisk industri. Andelen biprodukter varierar beroende på hur tillverkningsprocessen är utformad. En

uppskattning av Bernesson m fl (2004) är att för varje liter RME (9,6 kWh) fås 2,0, 1,8 och 1,1 kg rapskaka/rapsmjöl i en småskalig, mellanstor respektive storskalig anläggning. Produktionen av glycerin beräknas uppgå till cirka 0,1 kg oberoende av anläggningsstorlek. Med liten anläggning menas gårdsanläggning som årligen producerar cirka 32.000 liter RME från cirka 110 ton rapsfrö. En mellanstor anläggning antas producera cirka 900.000 liter RME från cirka 2.700 ton rapsfrö medan en stor anläggning antas producera cirka 58 miljoner liter RME från cirka 130.000 ton rapsfrö. Med en genomsnittlig rapsskörd om i genomsnitt 2,3 till 2,8 ton ts per hektar och år, beroende på produktionsområde (se Börjesson, 2007), motsvarar detta en odlingsareal om 40-50, 1.000-1.200 respektive 50.000-60.000 hektar.

Idag finns en storskalig RME-anläggning i Karlshamn som ägs av Lantmännen (Svenska Ecobränsle AB). RME-produktionen beräknas till 45 miljoner liter när dess fulla kapacitet utnyttjas. En annan storskalig RME-anläggning är under uppförande i Stenungsund (Perstorp AB) där produktionen planeras till cirka 60 miljoner liter per år. Det finns också idag en mindre RME-anläggning som producerar cirka 10 miljoner liter per år (Norups gård, Knislinge) och ett flertal i samma storlek är under projektering. Omkring 14 mindre anläggningar producerar, eller planerar att producera RME i skalan 0,2-1 miljon liter per år (Lundin m fl, 2006). Sammantaget beräknas produktionskapaciteten i existerande anläggningar och anläggningar som är under uppförande uppgå till minst 115 miljoner liter RME per år (eller 1,1 TWh), vilket ungefär motsvarar 3,5 % av dagens dieselanvändning. Behovet av rapsfrö i dessa anläggningar beräknas till knappt 300.000 ton vilket i sin tur motsvarar en odlingsareal om 100.000 – 130.000 hektar.

År 2005 uppgick odlingen av oljeväxter i Sverige till 82.000 hektar i Sverige (SCB, 2006), d v s en stor andel av råvarubehovet i dessa RME-anläggningar måste täckas med import. Anläggningen i Stenungsund kommer t ex att basera hela sin RME-produktion på importerad rapsolja. En bedömning är att den maximala odlingsarealen oljeväxter med dagens produktionsmetoder är cirka 160.000 – 180.000 hektar p g a växtföljdsrestriktioner (Biärsjö, 2006). Om 180.000 hektar utnyttjas för rapsodling som enbart används för RME-produktion kan teoretiskt cirka 200 miljoner liter produceras (1,9 TWh). Denna mängd rapsfrö skulle då kunna försörja fyra stora RME-anläggningar i ungefär motsvarande storlek som den i Karlshamn. RME baserad på inhemska raps och utifrån dagens produktionsförutsättningar kan således maximalt ersätta cirka 6 % av dagens dieselanvändning. I Figur 7.6 redovisas en jämförelse mellan behovet av rapsfrö i RME-anläggningen i Karlshamn (när 45 miljoner liter produceras) och den regionala produktionen av rapsfrö (höst- och vårraps) under 2005. I Götalands mellanbygder, d v s där anläggningen är lokaliserad, motsvarade rapsproduktionen cirka 20 % av anläggningens behov. Tillsammans med Götalands slättbygder uppgick rapsproduktionen till cirka 65 % av anläggningens behov och när också Götalands norra slättbygder inkluderades blev den totala rapsproduktionen cirka 25 % större än behovet.



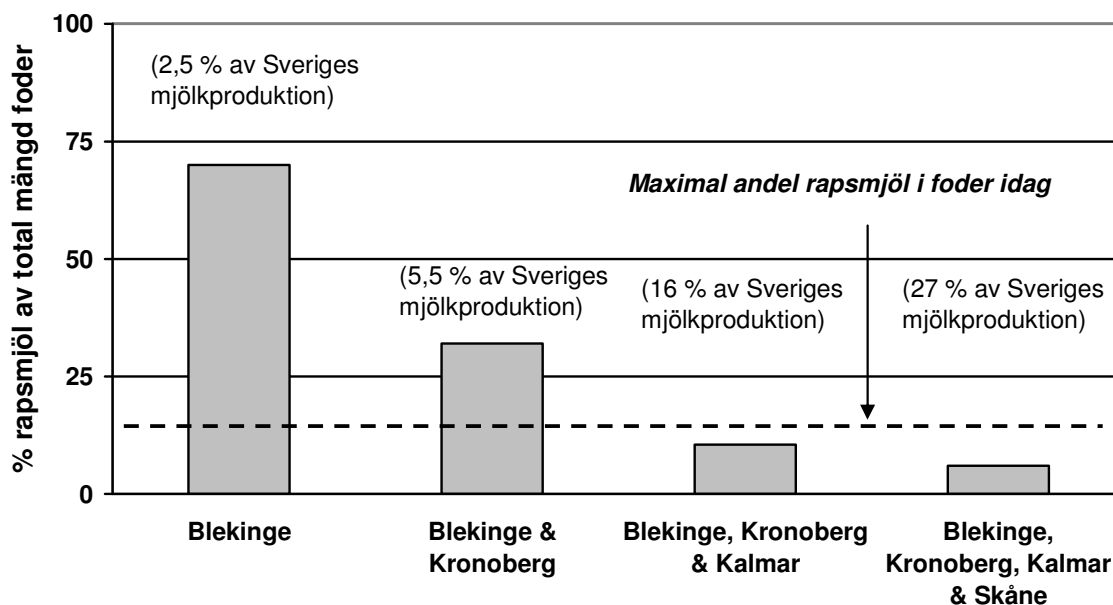
Figur 7.6. Behov av rapsfrö till RME-anläggningen i Karlshamn (45 miljoner liter) i jämförelse med den regionala produktionen av rapsfrö (höstraps och vårraps) år 2005.

Vid produktionen av en liter RME krävs cirka 2,2 kg ts rapsfrö. Samtidigt genereras 1,3 kg ts rapsmjöl baserat på genomsnittlig data för en mix av stora och mellanstora anläggningar (se ovan). Biprodukten glycerin beaktas inte i följande analyser då fokus ligger på foderbiprodukter. I Lantmännens RME-anläggning i Karlshamn beräknas cirka 58.000 ton ts rapsmjöl produceras när anläggningens kapacitet utnyttjas fullt ut. Denna mängd rapsmjöl motsvarar cirka 38 % av den totala mängd rapsprodukter som 2005 användes i foder och som producerades i Sverige (SCB, 2006). Den totala inhemska produktionen av rapsprodukter som råvaror i foder uppgick till cirka 152.000 ton ts varav största delen, drygt 80 % eller cirka 125.000 ton ts användes inom nötproduktion (SCB, 2006). Importen av rapsprodukter som råvara i foder uppskattas vara i ungefär samma storleksordning som den inhemska produktionen. Enligt Emanuelson m fl (2006) uppgick införseln av rapsprodukter från Europa till nötfoder till mellan 110.000 - 130.000 ton ts år 2004. Av denna totala användning om cirka 250.000 ton ts rapsprodukter uppskattas cirka 186.000 ton ts (eller 75 %) användas inom mjölkproduktion, inklusive rekrytering (Emanuelson m fl, 2006). Inblandningen av rapsprodukter i foder till mjölkproduktion uppgår idag till cirka 5 % av den totala foderförbrukningen.

Produktionen av rapsmjöl i Lantmännens RME-anläggning i Karlshamn motsvarar således ungefär halva dagens införsel av rapsprodukter som råvara i nötfoder. En ökad inhemsk rapsmjölsproduktion till följd av en ökad RME-produktion bedöms av Emanuelson (2006) att framför allt ersätta importerade rapsprodukter. Om en maximal inhemsk odlingsareal för raps om 180.000 hektar enbart utnyttjas för RME-produktion kan teoretiskt cirka 200 miljoner liter RME och cirka 260.000 ton ts rapsmjöl produceras. Denna mängd

motsvarar således ungefär dagens totala användning av rapsprodukter i nötfoder. Jämfört med dagens agrodrank bedöms rapsmjöl vara en mer högvärdig proteinkälla i foder varför inblandning bedöms kunna öka väsentligt från dagens cirka 5 %. Om inblandningen ökar t ex till 15 % i foder till mjölkkor (inklusive rekrytering) motsvarar detta drygt 500.000 ton ts rapsmjöl, eller cirka 380 miljoner liter RME. Detta i sin tur motsvarar cirka 3,7 TWh eller knappt 12 % av dagens dieselförbrukning. Som jämförelse var den totala importen av oljehaltiga frön, frukter och biprodukter som råvara i foder ungefär 450.000 ton ts år 2005 (SCB, 2006).

Idag utnyttjas bara cirka 9.000 ton inhemska rapsprodukter i svinproduktion (SCB, 2006). En bedömning av Sigfridsson (2006) är dock att inblandningen av rapsmjöl i grisfoder kan uppgå till cirka 12 % och möjligen öka ytterligare i framtiden. En inblandning om 12 % motsvarar cirka 53.000 ton ts rapsmjöl, d v s ungefär så mycket som produceras i RME-anläggningen i Karlshamn när denna utnyttjas fullt ut. Den potentiella avsättningen av rapsmjöl i grisfoder är dock totalt sett betydligt lägre än i nötfoder, motsvarande cirka 10-15 % (se ovan). I Figur 7.7 redovisas en jämförelse mellan produktionen av rapsmjöl i RME-anläggningen i Karlshamn och den potentiella regionala avsättningen i form av foder i mjölkproduktion. För att komma ner i en inblandningsandel under 15 % krävs att rapsmjölet används inom ett område motsvarande Blekinge, Kronoberg och Kalmar län (drygt 10 %). Om också Skåne län inkluderas blir andelen rapsmjöl av total foderkonsumtion inom mjölkproduktion cirka 6 %.



Figur 7.7. Andelen rapsmjöl från RME-anläggningen i Karlshamn jämfört med det totala behovet av foder i mjölkproduktion (år 2005) inom olika regioner.

7.3.3 *Sammanfattande slutsatser kring RME- och etanolproduktion*

Det finns en relativt stor potential att öka avsättningen av biprodukter i form av rapsmjöl från storskalig RME-produktion (via extraktion) som proteinfoder inom svensk djurproduktion. Idag importeras en stor del av de proteinrika råvaror som används i foder. Rapsmjöl från RME-produktion klassas som ett högkvalitativt proteinfoder medan kvaliteten på drank från etanolproduktion behöver förbättras för att fungera som en fullgod ersättare till dagens proteinråvaror i foderblandningar. Rapskaka från mindre RME-anläggningar (via pressning) har en mer begränsad avsättning som foder än rapsmjöl på ett högre fetthinnehåll. Inom något år kommer produktionen av rapsmjöl (och en viss andel rapskaka) och drank från svenska drivmedelsanläggningar att tillsammans uppgå till cirka 230.000 ton ts (ungefär en tredjedel rapsmjöl och två tredjedelar drank). Detta motsvarar en tredjedel av den uppskattade teoretiskt maximala avsättningen inom dagens inhemska mjölk-, tjur- och svinproduktion (2005) om knappt 700.000 ton ts när rapsmjöl tillsammans med drank antas kunna utgöra cirka 15 % av den totala foderkonsumtionen.

Om den resterande teoretiska avsättningspotentialen om cirka 470.000 ton ts proteinråvara skulle utgöras av rapsmjöl motsvarar detta ungefär 350 miljoner liter RME. Detta i sin tur motsvarar cirka 3,4 TWh, eller 10 % av dagens dieselförbrukning. För att producera 350 miljoner liter RME krävs cirka 770.000 ton ts rapsfrö och en odlingsareal om ungefär 300.000 hektar (baserat på odling i södra och mellersta Sverige). Denna areal är drygt 3,5 gånger större än dagens odlingsareal (2005) för raps och knappt dubbelt så stor som den uppskattade maximala arealen baserat på dagens växtföljdsrestriktioner. Om den potentiella maximala rapsarealen om cirka 180.000 hektar skulle utnyttjas fullt ut (jämfört med drygt 80.000 hektar idag) kan på ytterligare 100.000 hektar 1,2 TWh RME respektive 160.000 ton ts rapsmjöl produceras. Denna mängd rapsmjöl motsvarar cirka 35 % av den resterande teoretiskt maximala avsättningspotentialen.

Den kvarvarande avsättningspotentialen för proteinråvara om cirka 300.000 ton ts skulle då teoretiskt kunna utgöras av drank vilket motsvarar cirka 2,3 TWh etanol och en spannmålsareal om cirka 170.000 hektar (samtidigt frigörs drygt 30.000 hektar foderspannmål). Som diskuterats ovan bedöms dock den praktiska potentialen att öka avsättningen av drank som foder vara begränsad efter att Norrköpingsanläggningen byggts ut. När det gäller RME-produktion är inhemsk produktion av rapsfrö således en mer begränsande faktor än avsättningen av rapsmjöl inom inhemsk djurproduktion, utifrån tekniska/biologiska förutsättningar. För spannmålsbaserad etanol respektive drank är situationen den omvända idag.

Om RME- och etanolanläggningar ses som biodrivmedels- och foderkombinat ökar deras energi- och resurseffektivitet jämfört med vad som indikeras i avsnitt 5.3. Utifrån detta synsätt, dvs anläggningarna betraktas som ett kombinat, kan en systemutvidgning vara mer relevant att använda vid energibalansberäkningar än den allokering av energiinsatser som gjorts i avsnitt 5.3 mellan drivmedel och foderbiprodukter. En systemutvidgning kan t ex innebära att drank antas ersätta importerat sojaprotein från

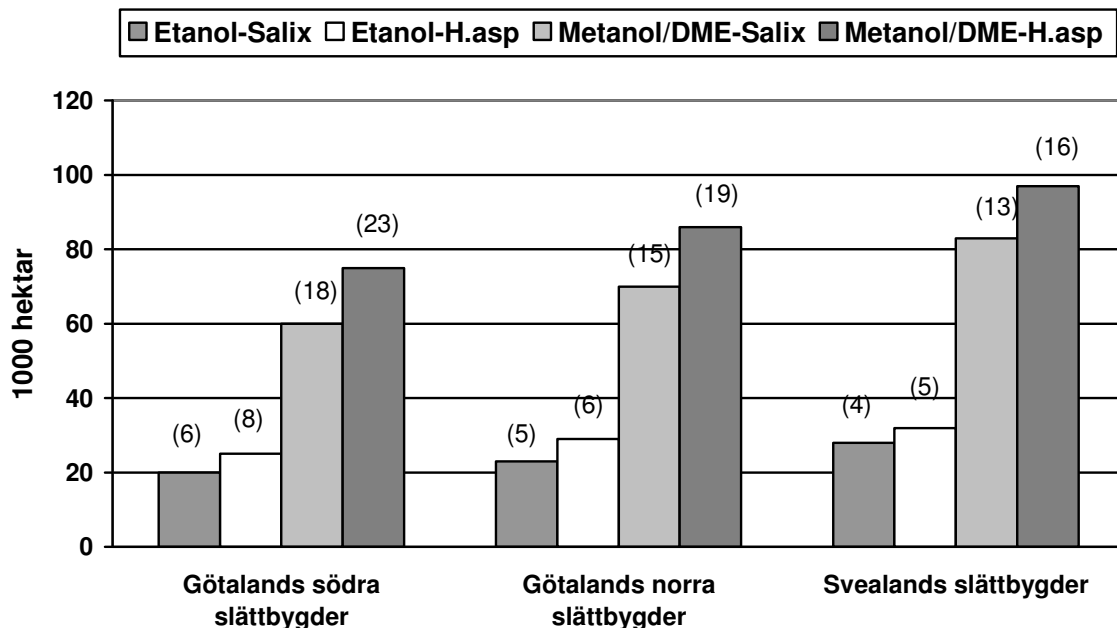
Nord- eller Sydamerika. Detta ger en stor indirekt energivinst som medför att energibalansen för inhemsk spannmålsetanol kan öka från cirka 1,5 till över 5 (Bernesson m fl, 2006). Motsvarande systemutvidgning vid inhemsk RME-produktion kan till och med leda till en negativ energibalans (Bernesson m fl, 2004). Dessa effekter av olika beräkningsmetodik diskuteras mer utförligt i kapitel 9.

7.3.4 *Drivmedel från lignocellulosa*

När det gäller råvarubehovet för etanol- och förgasningsanläggningar som baseras på lignocellulosa bedöms detta bli relativt stort för varje enskild anläggning för att nå kostnadseffektivitet. För en fristående etanolanläggning som producerar cirka 65 miljoner liter per år (cirka 0,37 TWh) krävs cirka 200.000 ton ts vedråvara per år vilket motsvarar cirka 1 TWh biomassa (Goldschmidt, 2005). En fristående metanolanläggning förväntas producera cirka 400 miljoner liter per år (cirka 1,7 TWh) vilket medför ett råvarubehov om cirka 600.000 ton ts vedråvara, eller cirka 3 TWh biomassa. I Figur 7.8 illustreras vilken odlingsareal som krävs inom olika produktionsområden om energiskog (salix alternativt hybridasp) ska försörja en fristående etanol- respektive metanol/DME-anläggning med vedråvara.

Som framgår av Figur 7.8 krävs en åkerareal mellan cirka 20.000 till 32.000 hektar för att producera vedråvara till en fristående etanolanläggning beroende på i vilket produktionsområde anläggningen lokaliseras och vilken energiskogsgröda som utnyttjas. Detta åkermarksbehov utgör 4-8 % av produktionsområdenas totala åkerareal. Motsvarande åkermarksbehov för att förse en fristående metanol/DME-anläggning varierar mellan 60.000 till knappt 100.000 hektar vilket utgör 13-23 % av produktionsområdenas totala åkerareal. Som jämförelse krävs cirka 100.000 hektar spannmålsodling för att förse den utbyggda etanolanläggningen i Norrköping med råvara, vilket motsvarar cirka 2,4 TWh spannmål. Åkermarksbehovet för att producera raps till dagens största RME-anläggning i Sverige (Karlshamn) uppgår till cirka 40.000 hektar, vilket motsvarar cirka 0,8 TWh rapsfrö.

Ett alternativ till vedråvara vid tillverkning av etanol och drivmedel baserat på förgasning är stråbränslen som t ex halm och rörflen. Om t ex vårskördad rörflen utnyttjas som råvara i stället för energiskog (salix) ökar arealbehovet i Götalands södra slättbygder med knappt 100 %. Motsvarande ökning i Svealands slättbygder är cirka 50 %. Arealbehovet ökar ännu mer när halm utnyttjas i stället för energiskog, knappt tre gånger i Götalands södra slättbygder. I praktiken kan framtida drivmedelsanläggningar också komma att baseras på en kombination av vedråvara och stråbränslen.



Figur 7.8. Uppskattat behov av åkermark för odling av vedråvara (salix alternativt hybridasp) till en fristående etanol- respektive metanol/DME-anläggning i tre olika produktionsområden. Värdena inom parantes anger hur stor andel denna odlingsareal utgör (i procent) av respektive produktionsområdes totala åkerareal.

7.4 Energikombinat

7.4.1 Etanol och biogas från spannmål

I avsnitt 6.1 diskuteras hur energibalansen vid spannmålsbaserad etanolproduktion kan förbättras genom att biprodukten drank utnyttjas som råvara för biogasproduktion i stället för som idag foder vilket kräver en stor energiinsats i form av torkning. Detta koncept kan också vara intressant om det finns begränsad avsättning av drank som foder (se avsnitt 7.3.1). Drank innehåller cirka 10 % torrsubstans vilket gör den lämplig för biogasproduktion genom så kallad kontinuerlig rötning då substratet är pumpbart. För varje liter etanol fås cirka 0,8 kg ts drank vilket motsvarar 8 kg när torrsubstanshalten är 10%. I Agroetanolns anläggning i Norrköping produceras idag cirka 55 miljoner liter etanol respektive 440.000 ton drank. Om denna drank skulle rötas för biogasproduktion skulle en ungefär lika stor mängd rötrest produceras (med ungefär samma ts-halt) som kan utnyttjas som gödselmedel inom lantbruket. Som jämförelse är produktionen av rötrest ofta mellan 50.000 – 70.000 ton per år i dagens storskalig biogasanläggningar i Sverige. Mängden rötrest som potentiellt skulle produceras i etanolanläggningen i Norrköping skulle därför bli cirka 6 till 8 gånger större än i dagens största biogasanläggningar som baseras på jordbruks- och livsmedelsindustriavfall (t ex i Kristianstad, Laholm och Linköping). I den utbyggda etanolanläggningen i Norrköping kommer cirka 200

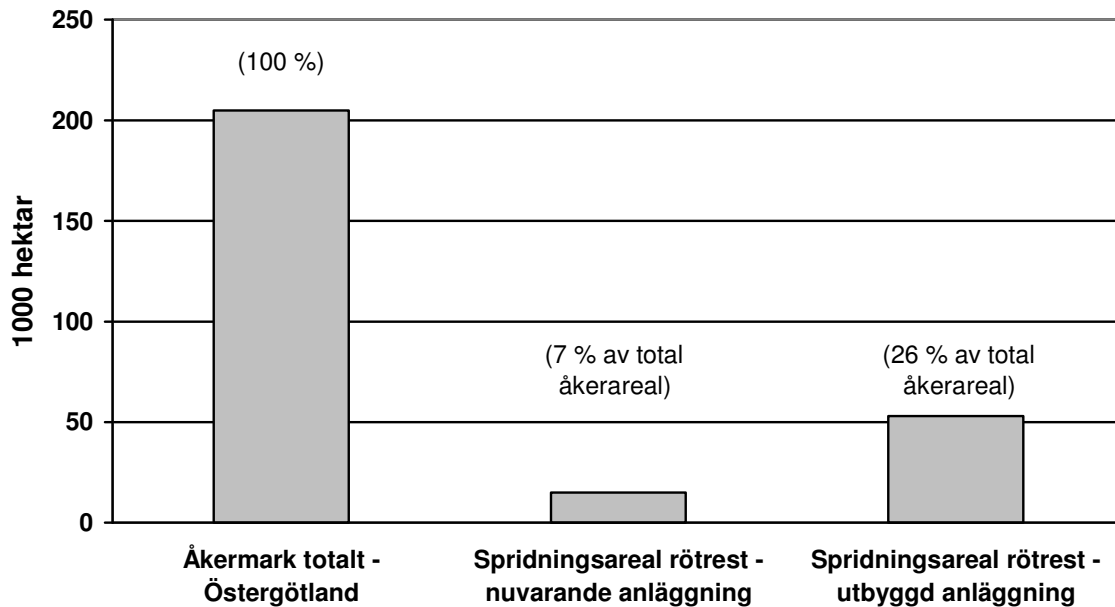
miljoner liter etanol att produceras (se avsnitt 7.3.1) vilket genererar cirka 1.600.000 ton drank per år. Om all denna drank skulle rötas för biogasproduktion blir således mängden rötrest i samma storleksordning, d v s 20 till 30 gånger större än i dagens största biogasanläggningar.

Mängden rötrest som kan spridas per hektar bestäms bl a av grödans växtnäringsbehov och rötrestens innehåll av växtnäring och tungmetaller. Eftersom drank är ett "rent" substrat är det framför allt växtnäringsinnehållet som bestämmer givans storlek. En bedömning av Berglund och Börjesson (2003) är att en genomsnittlig giva av flytande rötrest ofta ligger kring 30 ton per hektar. En rötrestmängd om 440.000 ton, d v s motsvarande en potentiell produktion i nuvarande etanolanläggning i Norrköping, skulle således kräva en spridningsareal om cirka 15.000 hektar. En utbyggd etanolanläggning (där potentiellt cirka 1.600.000 ton rötrest skulle produceras) medför en spridningsareal om cirka 53.000 hektar. Som jämförelse uppgår den totala åkerarealen i Östergötland till cirka 206.000 hektar (2005), d v s en spridningsareal om 15.000 och 53.000 hektar motsvarar ungefär 7 respektive 26 % av länets totala åkerareal (se Figur 7.9). Hur stor andel av åkermarken som praktiskt kan gödslas med rötrest beror av flera faktorer, t ex tillgång på andra organiska gödselmedel som stallgödsel, specifika krav för olika grödor, markförhållanden, infrastruktur i form av lagringsbrunnar osv. Detta innebär att endast en del av åkermarken kan komma i fråga för spridning av rötrest.

Ur framför allt ekonomisk synpunkt bör transportavstånden för rötrest hållas korta när dessa sker med lastbil eller traktor. Idag ligger ofta transportavstånden för rötrest vid större biogasanläggningar mellan 1 till 2 mil. I Berglund och Börjesson (2003) beskrivs en metod för att räkna ut medeltransportavståndet till åkermark beroende av ett antal lokalt/regionalt betingade faktorer när arealbehovet för att sprida en viss mängd rötrest är definierat. En faktor är andelen åkermarksareal i omgivande landskap. För Östergötlands del utgör åkermarksarealen i genomsnitt cirka 20 % av totala landarealen. En annan faktor är på hur stor del av åkermarken som rötrest kan spridas. Om 25-30 % av åkermarken är möjlig att sprida rötrest på uppskattas medeltransportavståndet för en spridningsareal om 15.000 hektar bli cirka 30-33 km (vägavståndet antas vara 50 % längre än fågelvägen). Motsvarande medeltransportavstånd för en spridningsareal om 53.000 hektar blir ungefär 56-61 km. Dessa transportavstånd är således betydligt längre än transportavstånden för rötrest från dagens största biogasanläggningar. Ur energisynpunkt medför ett ökat transportavstånd för rötrest från 2 till 6 mil att dess andel av totala energiinsatsen för biogasproduktionen ökar från knappt 4 % till drygt 10 % (Berglund och Börjesson, 2003; 2006).

När det gäller hantering och transport av rötrest kan detta ske på andra sätt än som antagits här. Till exempel kan rötresten avvattnas vilket ger en fast och en flytande del som kan medföra mer rationell rötresthantering. Eventuellt skulle "rening" av rötresten i ett konventionellt reningsverk vara möjligt där vattnet släpptes ut i en recipient och det "rena" slammet återfördes till åkermarken. Dessutom kan transport av rötrest ske i rörledningssystem via pumpning vilket har framför allt miljömässiga fördelar. Ur ekonomisk synpunkt krävs

dock speciella förutsättningar för att dessa system ska vara mer kostnadseffektiva än lastbilstransport (Johansson och Nilsson, 2006). En viktig faktor är mängden rötrest som transporteras då en ökad mängd förbättrar lönsamheten för transport via rörledningar jämfört med lastbilstransport. Med tanke på de stora mängder rötrest som potentiellt kommer att produceras om drank börjar rötas kan rötresttransport via rörledningar därför komma att bli det mest intressanta alternativet. Här krävs fördjupade analyser.



Figur 7.9. Uppskattat behov av spridningsareal för rötrest om drank rötas till biogas i dagens respektive en utbyggd etanolanläggning i Norrköping, jämfört med totala åkermarksarealen i Östergötlands län (rötrestgivan antas vara 30 ton per hektar och år vilket ungefär motsvarar 3 ton ts).

När det finns begränsade förutsättningar att avyttra drank som foder eller att utnyttja denna för biogasproduktion är ett ytterligare alternativ att torka och pelletera dranken för att sedan använda denna som bränsle. I Figur 6.1 i avsnitt 6.1 illustreras hur energibalansen blir för detta system. Jämfört med nettoutbytet av drivmedel i form av etanol och biogas blir det sammanlagda nettoutbytet av etanol och värme drygt 10 % högre när dranken pelleteras och eldas. Samtidigt blir nettoutbytet av enbart drivmedel 60 % lägre.

7.4.2 Drivmedel, pellets, el och värme från lignocellulosa

I avsnitt 6.2 till 6.4 diskuteras olika kombinatlösningar för samproduktion av el, värme och drivmedel från lignocellulosa. En faktor som styr de tekniska förutsättningarna för dessa kombinatlösningar är tillgången på fjärrvärmeunderlag. I de olika exempel som beskrivs i avsnitt 6.2 - 6.4 beräknas produktionen av extern

värme variera mellan 100 GWh upp till knappt 800 GWh per år. I det etanolkombinat som beskrivs i avsnitt 6.2 antas t ex att ungefär 600 GWh fjärrvärme produceras per år. I avsnitt 6.4 redovisas fyra olika exempel på kombinat där metanol/DME samproduceras med el och värme och där fjärrvärmeproduktionen antas vara ungefär 100, 400, 700 respektive 800 GWh per år. Som jämförelse finns det idag drygt 70 fjärrvärmenät i Sverige som distribuerar mer än 100 GWh värme per år, cirka 25 som distribuerar mer än 400 GWh samt drygt 10 som distribuerar mer än 800 GWh.

Eftersom fjärrvärmeleveransens storlek varierar över året (se t ex Figur 6.4) och värmeproduktionen i ett drivmedelskombinat förväntas bli relativt konstant över året krävs större fjärrvärmesystemen än vad som indikeras ovan. En grov uppskattning är att den årliga värmeleveransen i ett fjärrvärmeverk bör vara ungefär dubbelt så stor som värmeproduktionen i ett drivmedelskombinat för att denna värme ska kunna fungera som baslast och därmed ha avsättning året om. För ett drivmedelskombinat som producerar 100 GWh värme krävs därför med detta antagande ett fjärrvärmesystem som distribuerar cirka 200 GWh per år. Denna grova uppskattning bör dock analyseras noggrannare då behovet av en viss storlek på fjärrvärmenät i förhållande till värmeproduktion i drivmedelskombinat sannolikt kan variera utifrån lokala och regionala förutsättningar (t ex skillnader mellan norra och södra Sverige), specifika tekniska förutsättningar mm. I Tabell 7.1 görs en sammanställning över antalet fjärrvärmeverk i Sverige som antas leverera en tillräcklig mängd värme för att teoretiskt kunna integreras med de drivmedelskombinat som diskuteras ovan.

Antalet fjärrvärmenät som teoretiskt skulle kunna integreras med stora drivmedelsanläggningar som producerar mycket fjärrvärme, d v s de som oftast har högst totalverkningsgrad, är relativt få idag (se Tabell 7.1). Dessutom återfinns dessa fjärrvärmesystem i Sveriges större städer där en lokalisering av ett större drivmedelskombinat kanske inte är önskvärt. Ett alternativ är att välja ett drivmedelskombinat med en något lägre totalverkningsgrad men med en större andel el och en mindre andel värme. Om t ex fjärrvärmenät i storleksklassen 200 – 400 GWh värme skulle kunna utnyttjas vid integrering med drivmedelsproduktion ökar antalet potentiella fjärrvärmesystem till mellan 25 – 50 stycken. Många av dessa bör också ligga bättre till geografiskt för en samlokalisering med en större drivmedelsanläggning, jämfört med fjärrvärmesystem i storstäder. En annan möjlighet skulle kunna vara att koppla ihop två eller flera fjärrvärmenät för att på så sätt öka möjligheterna för stora värmeleveranser från drivmedelskombinat. Här krävs mer djupgående analyser.

En annan faktor som kan styra lokaliseringen av drivmedelskombinat är möjligheterna att producera vedråvara. I avsnitt 7.3.4 diskuteras hur stora arealbehov som krävs för produktion av olika slags energiskog till fristående etanol- och metanol/DME-anläggningar. Dessa uppskattningar är också relevanta för de drivmedelskombinat som diskuteras här då tillförseln av vedråvara uppskattas vara i samma storleksordning.

I avsnitt 6.5 beskrivs ett energikombinat där vedråvara (t ex rundved) förädlas till pellets, el och värme. Detta koncept är framtaget för att passa områden med stor tillgång på biomassa och samtidigt begränsade

möjligheter att få avsättning för fjärrvärme, t ex i små tätorter som Storuman. Produktionen av värme i detta specifika kombinat uppskattas till cirka 40 GWh per år (Atterhem, 2007). I jämförelse med de drivmedelskombinat som diskuteras ovan och de behov av fjärrvärmesystem som krävs i dessa fall behövs betydligt mindre fjärrvärmesystem för detta pelletskombinat. Antalet fjärrvärmesystem som levererar mer än 80 GWh värme per år (d v s dubbelt så mycket som produceras i pelletskombinatet vars värme antas utgöra baslast) uppgår till knappt 100 stycken i Sverige idag (Tabell 7.1). Detta i sin tur medför att de praktiska/tekniska möjligheterna att implementera detta pelletskombinat är betydligt större än t ex de storskaliga drivmedelskombinat med stor andel värmeproduktion som beskrivs ovan.

När det finns en begränsad avsättning av värme från t ex stora drivmedelskombinat inom befintliga fjärrvärmesystem kan denna överskottsvärme också utnyttjas för andra ändamål, t ex för produktion av pellets enligt det koncept som redovisas ovan. I dessa kombinat skulle således fyra olika energibärare för extern användning kunna produceras, d v s drivmedel, el, värme och pellets. Idag finns redan ”potentiell överskottsvärme” i befintliga kraftvärmeverk vilket teoretiskt skulle kunna utnyttjas för såväl pelletsproduktion som drivmedelsproduktion, vilket diskuteras i nästa avsnitt. Förutom att integrera biodrivmedelskombinat med fjärrvärmesystem bör det också finnas stora möjligheter att integrera med skogsindustrier, t ex massabruk och större sågverk. Detta har inte analyserats i denna studie men bör undersökas mer utförligt i kommande studier.

Tabell 7.1. Antal fjärrvärmenät i Sverige som teoretiskt bedöms vara tillräckligt stora för att kunna integreras med olika energikombinat baserat på vedråvara.

Energikombinat ¹	Storlek på fjärrvärmeleverans ² (GWh per år)	Antal fjärrvärmenät ³
Pellets	80	97
Metanol/DME alt. 1	200	50
Metanol/DME alt. 2	800	13
Etanol	1200	9
Metanol/DME alt. 3 & 4	1400	6

¹ För beskrivning av respektive kombinat, se avsnitt 6.2, 6.4 och 6.5 samt text ovan.

² En grov uppskattning är att fjärrvärmeleveranserna i ett nät bör vara dubbelt så stora som värmeproduktionen i ett drivmedels- och pelletskombinat för att denna värme ska fungera som baslast (se text ovan).

³ Baserat på data från Svebio (Andersson, 2006).

7.4.3 *Utnyttjande av värmeöverskott i befintliga kraftvärmeverk*

I avsnitt 6.6 diskuteras hur produktionen av el i befintliga kraftvärmeverk teoretiskt skulle kunna öka genom att utnyttja överskottsvärme under sommarhalvåret för torkning och pelletering av vedråvara, stråbränsle mm alternativt etanolproduktion från spannmål. Om ett kraftvärmeverk utnyttjar sin kapacitet fullt ut antas i följande uppskattningar att upp till dubbla mängden värme och el kan produceras per år, jämfört med dagens situation när behovet av fjärrvärme är begränsande (se Figur 6.5). Det finns sannolikt stora regionala och lokala avvikelser varför detta antagande bör ses som en grov uppskattning och analyseras mer noggrant i framtida studier.

Idag utnyttjas cirka 5,5 TWh biobränslen för elproduktion via kraftvärme, d v s om alla kraftvärmeverk utnyttjande sin kapacitet fullt ut skulle teoretiskt ytterligare cirka 5,5 TWh biobränslen behöva tillföras för enbart elproduktionen. Per varje kWh el som genereras fås samtidigt ungefär två delar värme, d v s biobränslebehovet för denna ökade värmeproduktion skulle maximalt kunna bli cirka 11 TWh. Med en verkningsgrad om ungefär 85 % innebär detta att 10 TWh värme teoretiskt skulle kunna användas för produktion av t ex pellets. Som beskrivs i avsnitt 4.1 beräknas energibehovet vid torkning och pelletering av fuktig vedråvara uppgå till motsvarande cirka 15-20 % av pelletbränslets energiinnehåll. Med hjälp av 10 TWh överskottsvärme (samt en mindre del el) skulle således teoretiskt cirka 50 TWh träpellets kunna produceras i dagens kraftvärmeverk.

I avsnitt 6.6 redovisas en specifik studie som gjorts vid Ena Energi i Enköping som visar att med den studerade tekniklösningen skulle motsvarande cirka 10 % av kraftvärmeverkets teoretiska värmeöverskott kunna utnyttjas för pelletsproduktion (Eklund, 2007). Om detta specifika exempel utnyttjas som ett generellt antagande skulle den teoretiska produktionspotentialen av pellets i dagens kraftvärmeverk sjunka till 5 TWh. Ena Energi's kraftvärmeverk har en eleffekt om 23 MW. Som jämförelse finns det idag drygt 30 stycken kraftvärmeverk i Sverige som har en större elproduktionskapacitet och cirka 40 stycken som har en lägre (exklusive kraftvärme från biogas, avfall och torv) (Andersson, 2006). En teoretisk produktionskapacitet mellan 5 till 50 TWh pellets i dagens kraftvärmeverk kan jämföras med dagens försäljning av pellets om cirka 7 TWh per år (PIR, 2006). Dessutom finns fortfarande en relativt stor avsättningspotential inom t ex bostadssektorn (se avsnitt 7.1). Med en fortsatt ökad utbyggnad av kraftvärmeproduktion i svenska fjärrvärmesystem (se avsnitt 7.2) ökar samtidigt potentialen att utnyttja överskottsvärme för olika typer av biobränsleförädling.

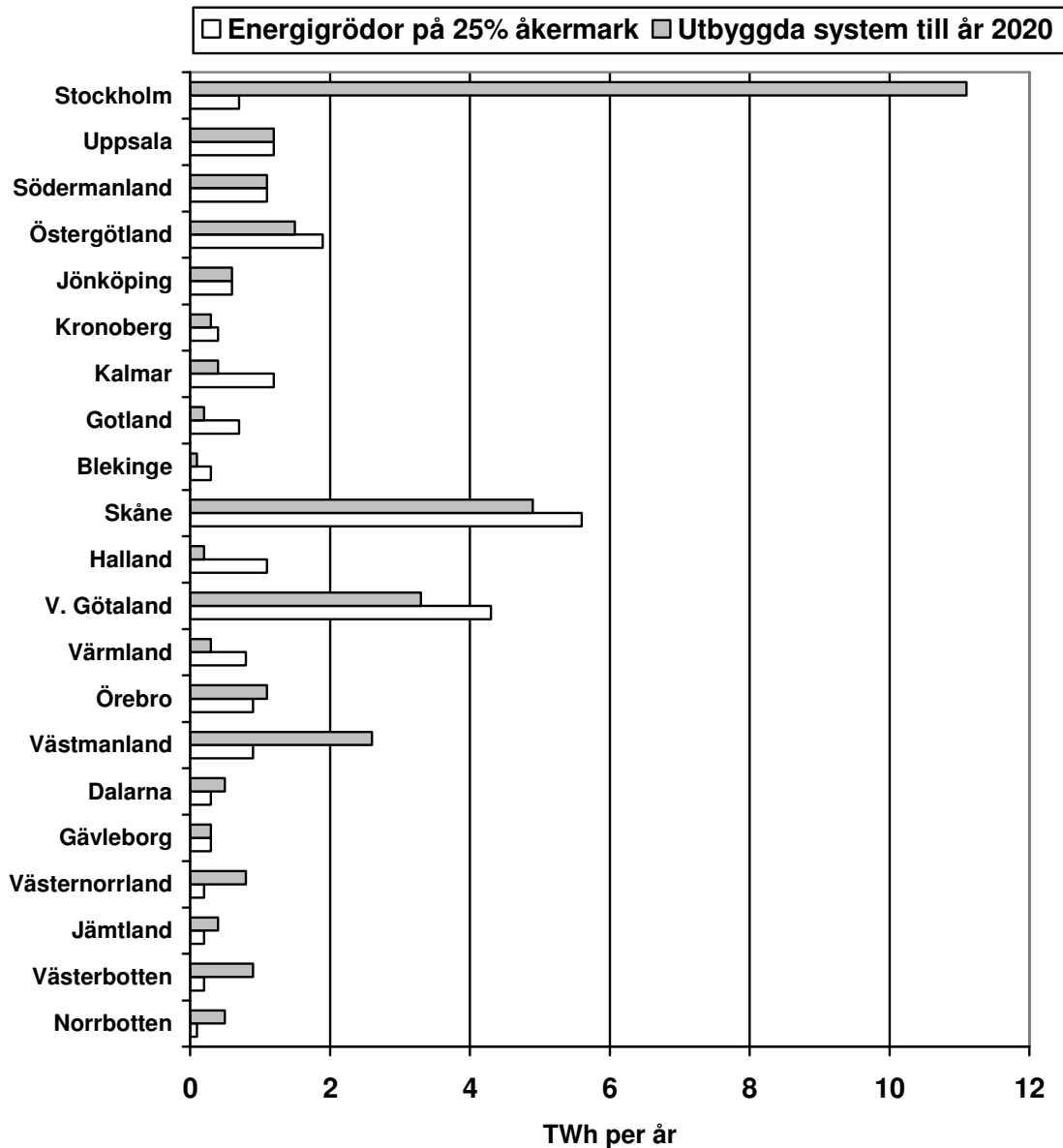
Det andra alternativet att utnyttja överskottsvärme i kraftvärmeverk som diskuteras i avsnitt 6.5 är etanolproduktion från spannmål. Detta exempel bygger också på en specifik studie vid Ena Energi (Eklund,

2007). I detta exempel bedöms cirka 20 % av det teoretiska maximala värmeöverskottet kunna utnyttjas och för varje MWh värme produceras ungefär 1,2 MWh etanol och 0,4 MWh el. Om detta exempel används som ett generellt antagande för landets samtliga kraftvärmeverk skulle teoretiskt ett värmeöverskott om totalt 2 TWh kunna användas för att producera cirka 2,4 TWh etanol respektive 0,8 TWh el. Som jämförelse beräknas den utbyggda etanolanläggningen i Norrköping producera cirka 1,2 TWh etanol (se avsnitt 7.3.1).

7.5 Produktion och avsättning av biobränslen - regionala balanser

Det är relativt stora skillnader i förutsättningarna för jordbruksbaserad biobränsleproduktion mellan de län där de tekniska förutsättningarna för en ökad användning av biobränslen för fjärrvärme- och kraftvärmeproduktion bedöms vara som störst, d v s Stockholm, Skåne, Västmanland och Västra Götaland. I Stockholms län är t ex tillgången på åkermark cirka 86.000 hektar (3,2 % av Sveriges totala åkermark) medan den i Skåne är drygt fem gånger större, eller cirka 454.000 hektar (17 % av Sveriges totala åkermark). Dessutom är produktionsförutsättningarna och skördenivåerna för energigrödor lägre i Stockholms län jämfört med i Skåne (se Börjesson, 2007). Om t ex 25 % av åkermarken utnyttjas för odling av högavkastande energigrödor som energiskog skulle cirka 0,8 TWh biomassa per år kunna produceras i Stockholms län, vilket kan jämföras med de uppskattade framtida tekniska förutsättningarna för ökad biobränsleanvändning för fjärrvärme- och kraftvärmeproduktion om drygt cirka 10 TWh per år, jämfört med år 2000 (se Figur 7.10). I Skåne skulle motsvarande produktion uppgå till cirka 5 TWh per år, d v s ungefär lika mycket som det potentiellt ökade behovet i utbyggda fjärrvärme- och kraftvärmesystem kring 2020. I Västra Götaland skulle det finnas ett regionalt överskott på åkerbränslen för kraftvärmeproduktion år 2020 om högavkastande energigrödor odlades på 25 % av åkermarken medan det i Västmanland skulle finnas ett underskott. Observera att en viss del av den beräknade ökade avsättningspotentialen för biobränslen i utbyggda fjärrvärme- och kraftvärmesystem redan är utnyttjad idag (se avsnitt 7.1 och 7.2).

Ökad bibränsleanvändning för fjärrvärme & kraftvärme

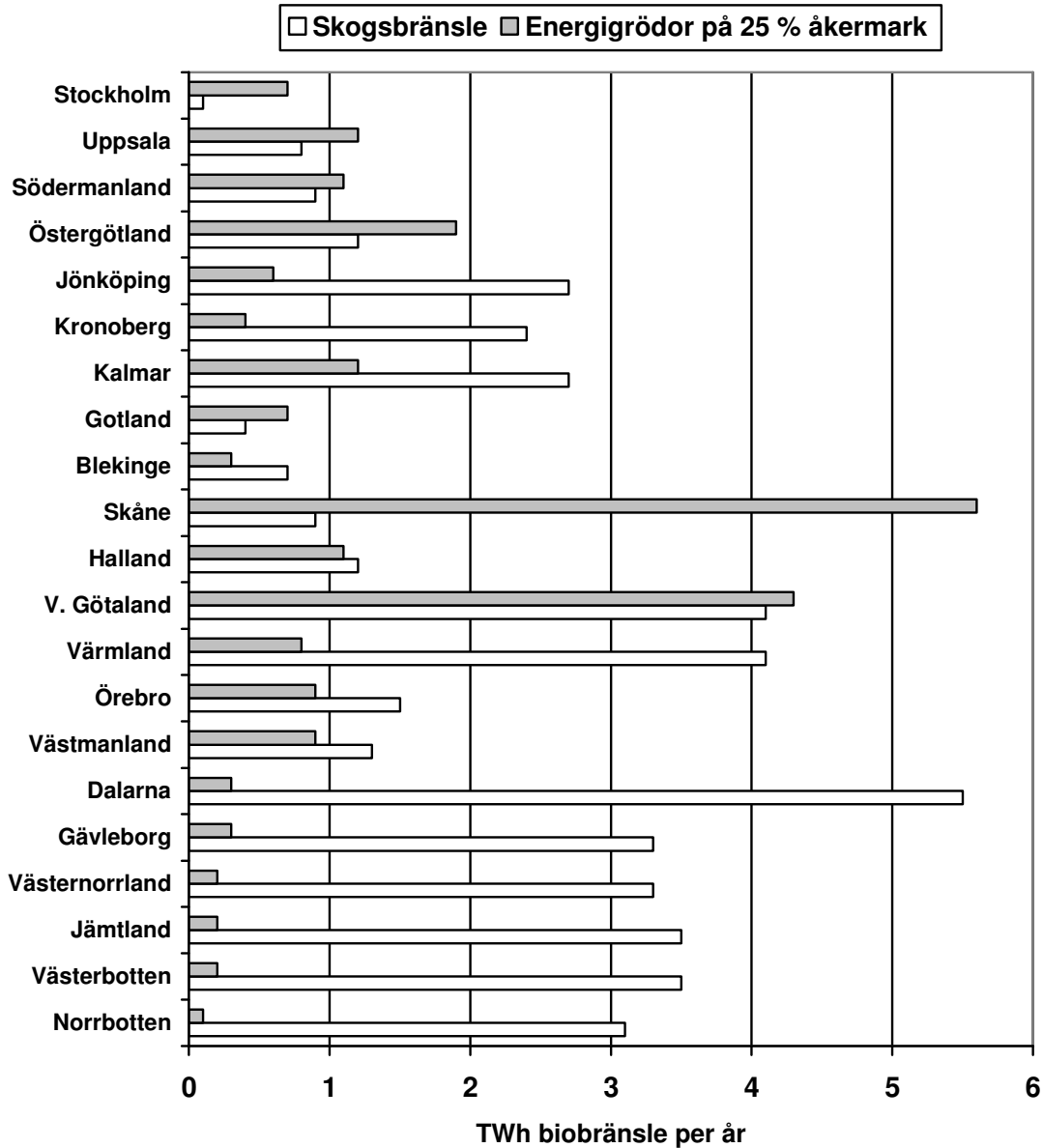


Figur 7.10. Regionala balanser mellan tillgång på åkerbränslen när 25 % av åkerarealen utnyttjas för odling av högavkastande energigrödor (Börjesson, 2007) och efterfrågan på bibränslen i utbyggda fjärrvärme- och kraftvärmesystem år 2020 (jämfört med år 2000) (Börjesson, 2001).

Förutom att öka användningen av jordbruksbaserade bibränslen för fjärrvärme- och kraftvärmeproduktion kan också uttaget och användningen av skogsbränslen öka. Förutsättningarna för detta skiljer också relativt mycket mellan olika län. En grov uppskattning av Börjesson (2001) av tillgången på GROT (grenar och toppar efter avverkning) och till viss del klen stamved för energiändamål inom respektive län redovisas i Figur 7.11. Som jämförelse redovisas också ett räkneexempel om hur mycket åkerbränslen som kan

produceras när 25 % av åkermarken (genomsnittlig åkermark) används för odling av högavkastande energigrödor.

Produktionsförutsättningar för skogs- och åkerbränslen



Figur 7.11. Uppskattning av den tekniskt/fysiska tillgången på skogsbränsle (i form av grot och till viss del klen stamved) inom respektive län exklusive existerande uttag år 2000 (baserat på Börjesson, 2001) samt produktionspotentialen av åkerbränslen när 25 % av åkermarken (genomsnittlig åkermark) används för odling av högavkastande energigrödor (Börjesson, 2007).

Totalt uppskattades den tekniskt tillgängliga och outnyttjade potentialen skogsbränsle uppgå till cirka 47 TWh år 2000. Denna grova uppskattning, som beskrivs mer i detalj i Börjesson (2001) och som baseras på data från bl a Skogsstyrelsen och SLU (Riksskogstaxering, Lönner m fl, 1998), ska ses som en indikation på inom vilka regioner som tillgången på skogsbränslen är stor respektive liten samt vilken betydelse produktion av jordbruksbaserade biobränslen kan få i förhållande till tillgången på skogsbränslen. Uttaget av skogsbränsle bedöms ha ökat något sedan år 2000.

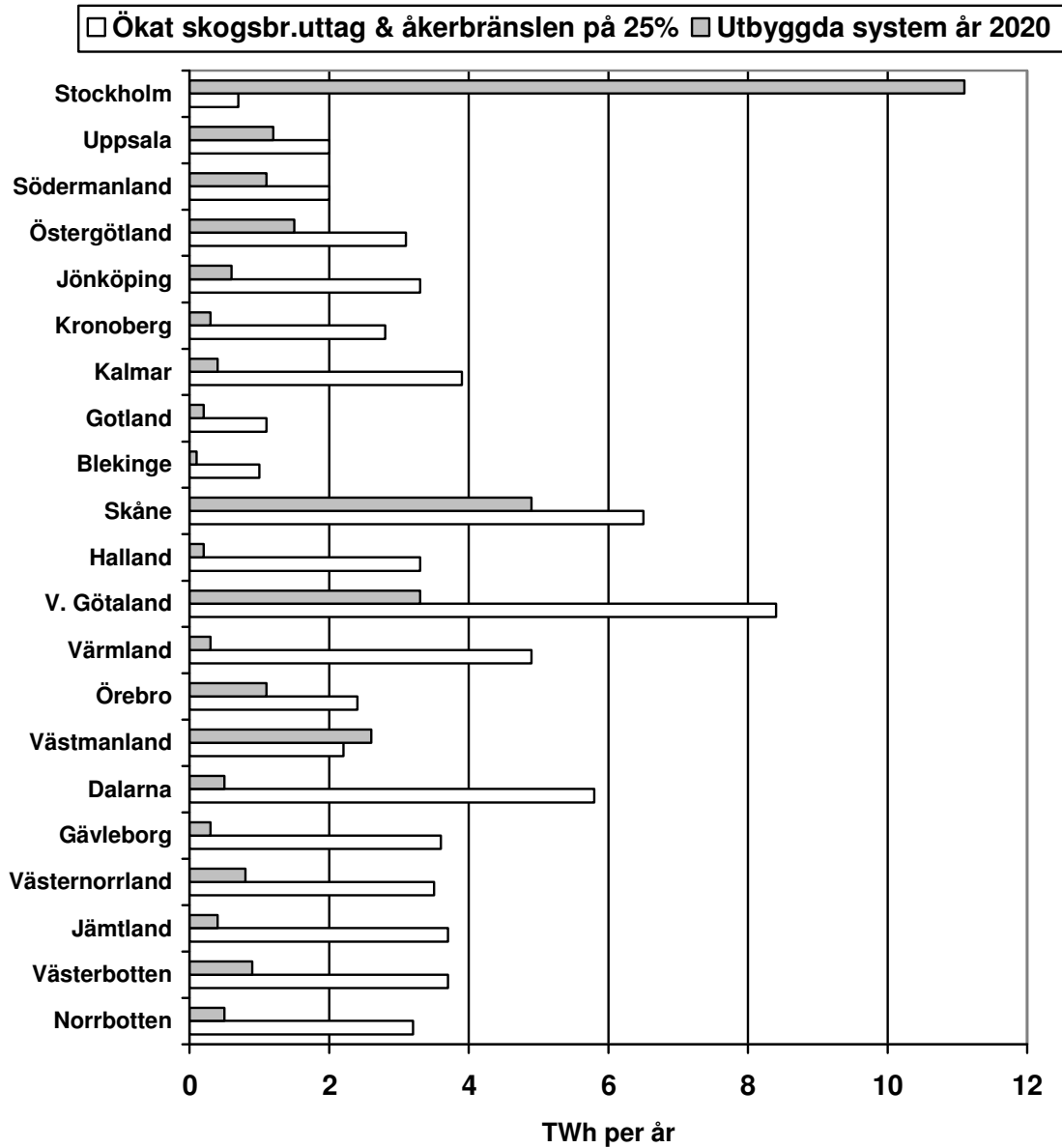
Som framgår av Figur 7.11 bedöms den tekniskt/fysiska tillgången på skogsbränslen, jämfört med uttaget år 2000, vara små i Stockholms län, kring 0,5 till 1,5 TWh per år i många jordbrukslän samt kring 2,5 till 4 TWh per år i många skogslän med undantag för Dalarna där den tekniskt/fysiska tillgången bedöms uppgå till över 5 TWh per år. I de allra flesta jordbrukslän skulle biobränslepotentialen från åkerbränslen överstiga potentialen från skogsbränslen om 25 % åkermark skulle utnyttjas för högvastande energigrödor. I Skåne skulle åkerbränslepotentialen i detta fall vara 4-5 gånger större än skogsbränslepotentialen. I alla skogslän dominerar dock skogsbränslepotentialen stort jämfört med åkerbränslepotentialen även när en fjärdedel av åkermarken utnyttjas för energiodling.

I Figur 7.12 beskrivs den regionala balansen mellan den tekniskt/fysiska tillgången på skogsbränslen (exklusive det aktuella uttaget år 2000) och åkerbränslen när 25 % åkermark utnyttjas för odling av högvastande energigrödor, samt den uppskattade tekniskt/fysiska avsättningspotentialen i utbyggda fjärrvärme- och kraftvärmesystem år 2020. I detta räkneexempel framgår att ett regionalt underskott av biobränslen endast skulle uppstå i Stockholms län där underskottet är stort och uppgår till cirka 10 TWh per år, och i Västmanlands län. I alla övriga län skulle ett regionalt överskott av biobränslen finnas. Tittar man på större regioner som t ex Mälardalen som helhet skulle dock ett kraftigt underskott finnas på grund av de stora avsättningsmöjligheterna i Stockholms län. I Småland, västra Götaland, norra Svealand och hela Norrland skulle dock ett stort överskott av biobränslen finnas. Observera att en viss del av den beräknade ökade avsättningspotentialen för biobränslen i utbyggda fjärrvärme- och kraftvärmesystem redan är utnyttjad idag (se avsnitt 7.1 och 7.2).

Dessa beräkningar av regionala balanser mellan potentiell tillgång på skogs- och åkerbränslen och avsättning inom utbyggda fjärrvärme- och kraftvärmesystem ska ses som teoretiska exempel och som indikationer på hur transportflöden av kan komma att se ut i framtiden. Idag sker transporter av biobränslen över relativt långa avstånd, t ex av skogsflis från skogrika och glest befolkade regioner till tätbefolkade regioner som domineras av jordbruksbygd. Ökade transportavstånd medför dock ökade kostnader, framför allt när transport sker med lastbil. Till exempel utgör transportkostnaden för skogsflis cirka 15-20 % av totala

produktionskostnaden när denna transporteras med lastbil cirka 5 mil. Om transportavståndet ökar till 15 mil ökar transportkostnadens andel till cirka det dubbla (Börjesson, 2001).

Ökad bibränsleanvändning för fjärrvärme & kraftvärme



Figur 7.12. Regionala balanser mellan den tekniskt/fysiska tillgången på skogsbränsle (i form av grot och till viss del klen stamved) exklusive existerande uttag år 2000 (Börjesson, 2001) samt åkerbränslen när 25 % av åkermarken (genomsnittlig åkermark) används för odling av högavkastande energigrödor (Börjesson, 2007) och efterfrågan på bibränslen i utbyggda fjärrvärme- och kraftvärmesystem år 2020 (jämfört med år 2000).

När det gäller produktion av biodrivmedel i olika slags energikombinat där avsättning av fjärrvärme förutsätts (se avsnitt 7.4.2 och 7.4.3) överstämmer produktionsförutsättningarna relativt väl med avsättningsförutsättningarna för fjärrvärme. Jordbrukslän med bra produktionsförutsättningar för energigrödor är normalt tätbefolkade med många tätorter som har fjärrvärmesystem. Detta illustreras relativt väl i t ex Figur 7.10. Förutom att integrera drivmedelsproduktion med fjärrvärmesystem kan denna produktion också integreras med skogsindustrier som massabruk, sågverk mm. Här finns sannolikt en stor potential att utveckla olika slags kombinalösningar i framtiden men denna frågeställning ligger utanför denna studie och behandlas därför inte vidare i denna rapport.

Ett alternativ till inhemsk produktion av biobränslen för att möta ett ökat behov inom fjärrvärme- och kraftvärmesektorn samt för drivmedelsproduktion är att importera biobränslen från utlandet, vilket redan sker i relativt stor omfattning idag. Eftersom import av biobränslen till allra största delen sker, och förväntas ske, via båttransport är en förutsättning att det finns tillgång på hamnar och att dessa är lämpliga för hantering av biobränslen. ”Import” av biobränslen via båt till underskottsområden kan också ske från överskottsområden inom landet, t ex från Norrlandskusten till Stockholmsregionen. I Börjesson (2001) har en översiktlig analys utförts över de tekniska förutsättningarna för att ta emot importerade biobränslen med båttransport inom respektive län. Analysen bygger på tillgången av allmänna hamnar (d v s enskilda företagshamnar ingår ej), kapacitet samt utrustning för hantering av skogsprodukter och fasta biobränslen. Utifrån dessa olika kriterier har sedan en sammanfattande bedömning och rangordning gjorts av respektive läns tekniska förutsättningar (år 2000) att importera fasta biobränslen via båt (se Tabell 7.2).

Som framgår av Tabell 7.2 bedöms förutsättningarna för att importera fasta biobränslen med båt vara som allra bäst i Västra Götaland och Skåne, följt av Stockholms län, d v s i de tre län som de tekniskt/fysiska förutsättningarna för att öka biobränsleanvändningen för fjärrvärme- och kraftvärmeproduktion bedöms vara som störst. Som beskrivs ovan bedöms det regionala underskottet av biobränslen kunna bli mycket stort i Stockholms län om den tekniskt/fysiska potentialen för ökad biobränslebaserad fjärrvärme- och kraftvärmeproduktion realiserar. Förutsättningarna för att tillgodose detta potentiella underskott via import från andra regioner eller utlandet med båt bedöms dock vara goda och blir sannolikt det dominerande transportalternativet i denna tätbefolkade region då t ex lastbilstransporter i stor skala inte är ett realistiskt alternativ.

Tabell 7.2. Uppskattning av förutsättningarna för att ta emot fasta biobränslen med båt inom respektive län utifrån tillgång på allmänna hamnar och deras beskaffenhet (år 2000). Ju högre poäng desto bättre förutsättningar.¹

Betygspoäng	Län
6	Skåne, Västra Götaland
5	Stockholm
4	Kalmar, Blekinge
3	Halland, Gävleborg, Västernorrland, Norrbotten
2	Södermanland, Östergötland, Gotland, Värmland, Västerbotten
1	Uppsala, Västmanland
-	Jönköping, Kronoberg, Örebro, Dalarna, Jämtland

¹ Se Börjesson (2001) för detaljerad beskrivning av bedömningsgrunderna.

8 Miljökonsekvenser

8.1 Metodik vid miljökonsekvensbedömningar

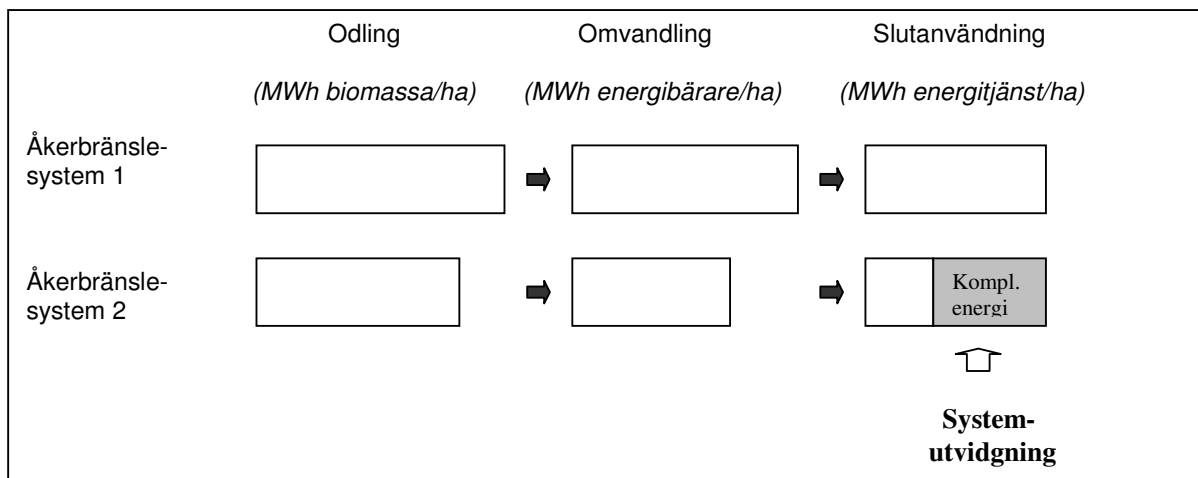
Miljökonsekvenserna vid en introduktion av olika bioenergisystem påverkas av ett antal olika faktorer. Beroende av hur olika bioenergisystem kombineras vad gäller typ av råvara som används (olika restprodukter, energigrödor osv), omvandlingsteknik (förbränning, rötning, jäsning, förgasning osv) samt teknik vid slutlig energitjänst (bensin-, diesel-, flexifuel-, bifuel-, hybrid-fordon osv) kan de enskilda bioenergisystemens miljöprestanda skilja avsevärt. Det är med andra ord viktigt att studera olika bioenergisystems miljöpåverkan ur ett livscykelperspektiv, från råvaruproduktion till slutlig energitjänst (jämför t ex så kallade well-to-wheel-studier för olika drivlinor när det gäller transportarbete).

En annan faktor som har stor betydelse för hur miljöpåverkan blir när olika bioenergisystem används är vilket eller vilka referenssystem som ersätts. Om t ex ett bioenergisystem ersätter ett annat kan miljökonsekvenserna bli små, eller till och med negativa. Ett exempel är om biogas från vall för fjärrvärmeproduktion ersätter salixflis (se t ex Börjesson och Berglund, 2003; 2007). Om däremot biogas från vall ersätter RME från raps som drivmedel blir miljöeffekterna positiva. Om fossila energisystem ersätts med bioenergisystem blir miljöeffekterna så gott som alltid positiva avseende utsläpp av växthusgaser och oftast vad gäller övriga utsläpp. Ett undantag kan vara bidraget till övergödning då vissa odlingssystem (framför allt ettåriga) kan medföra relativt höga kväveläckage. När restprodukter som gödsel, sockerbetsblast, halm mm utnyttjas som råvara blir miljövinsterna ofta större än när energigrödor utnyttjas,

framför allt när alternativa användningsområden för dessa restprodukter saknas (förutom som gödselmedel som är möjligt även om dessa restprodukter först utnyttjas som energiråvara, t ex via rötning till biogas där rötresten är ett högkvalitativt gödselmedel).

En tredje faktor av betydelse vid jämförelser av olika bioenergisystems miljöprestanda är att dessa jämförs på rättvisa grunder. Ett exempel är att bioenergisystem baserade på olika energigrödor levererar lika mycket energitjänst per hektar åkermark. Om så inte är fallet krävs en så kallad systemutvidgning där det system som levererar en lägre energitjänst kompletteras med ett annat så att dessa tillsammans levererar en energitjänst som motsvarar den som det jämförande systemet levererar. Detta synsätt gäller dock endast då man betraktar åkermark som en begränsad resurs. Om man inte gör detta utan betraktar tillgången på åkermark för energiproduktion obegränsad är systemutvidgning på olika nettoutbyten av energitjänst per hektar omotiverad.

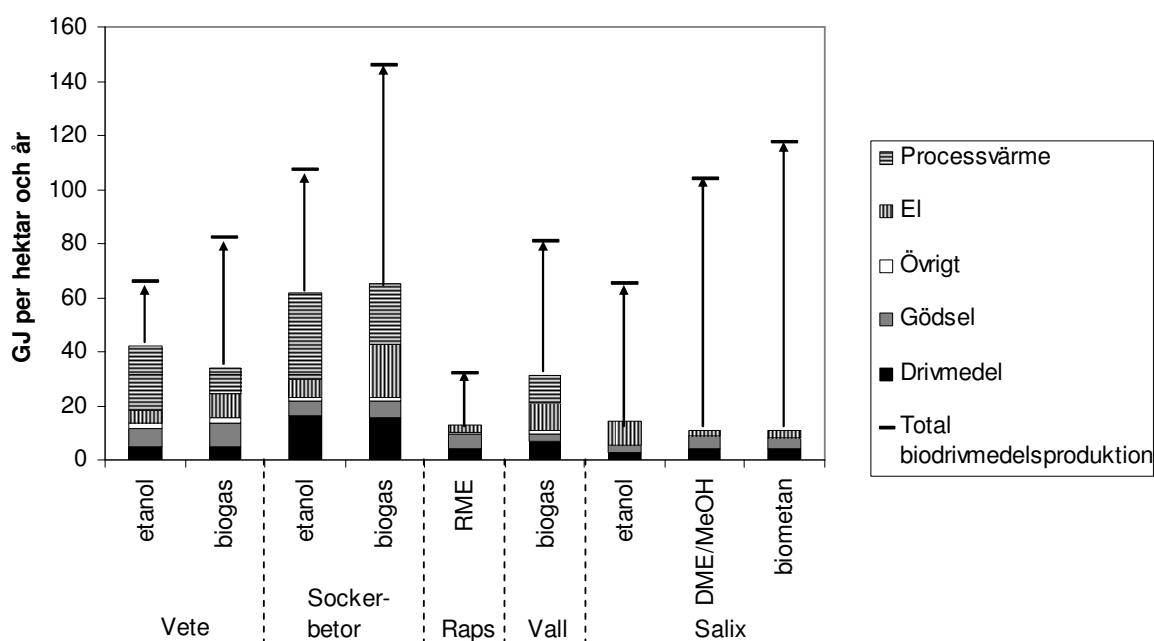
Ett exempel på när systemutvidgning krävs (d v s när man betraktar tillgången på åkermark begränsad) är om biogas från vall för fjärrvärmeproduktion ersätter salixflis. I detta fall blir nettoutbytet av värme per hektar åkermark mindre än hälften från vallbaserad biogas jämfört med direkt förbränning av salixflis (se t ex Figur 5.2). Beroende på vilket energisystem som antas komplettera biogassystemet i detta fall, t ex eldningsolja eller skogsflis, blir den ökade belastningen från systemutvidgningen väldigt olika. Det är med andra ord av stor betydelse både (1) hur stor systemutvidgning som krävs och (2) vilket kompletterande energisystem denna utvidgning består av. I Figur 8.1 ges en schematisk beskrivning av systemutvidgning för åkerbränslebaserade energisystem. Ett exempel på när systemutvidgning inte krävs är när vallbaserad biogas används som drivmedel och ersätter etanol från salix. I dessa två fall blir nettoutbytet av drivmedel per hektar i stort sett lika (se t ex Figur 5.18).



Figur 8.1. Schematisk beskrivning av principen med systemutvidgning när olika åkerbränslebaserade energisystem jämförs och när tillgången på åkermark för energiproduktion betraktas vara begränsad.

8.2 Exempel på resultat från miljösystemstudier

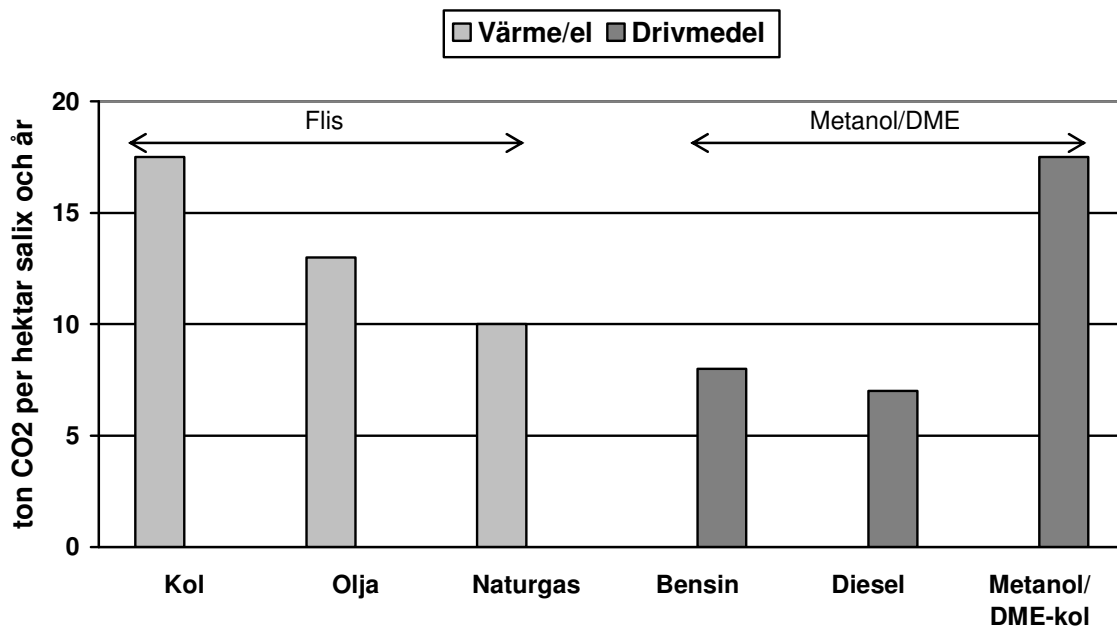
I avsnitt 5.3 redovisas netto- respektive bruttoutbytet av biodrivmedel för olika produktsystem. I dessa figurer redovisas den sammantagna energiinsatsen utan uppdelning på olika energislag. I Figur 8.2 illustreras hur mycket drivmedel man får ut per hektar när man preciserar energiinsatsen i form av drivmedel respektive andra energibärare. Detta angreppssätt är relevant när t ex minskat oljeberoende och minskad användning av fossila drivmedel prioriteras. Nettoutbytet av flytande/gasformigt drivmedel blir alltså skillnaden mellan total drivmedelsproduktion och energiinsats i form av fossilt drivmedel (huvudsakligen diesel). Som framgår av Figur 8.2 utgör insatsen av drivmedel oftast en mindre del av den totala energiinsatsen vid produktion av biodrivmedel. Insatsen av drivmedel, d v s diesel, motsvarar 3 till 15 % av bruttoutbytet av biodrivmedel beroende av drivmedelskedja. Nettoutbytet av drivmedel blir därför betydligt större när bruttoutbytet reduceras med insatt drivmedel i stället för total energiinsats. Energiinsatser i form av värme och el kan oftast baseras på fasta biobränslen.



Figur 8.2. Utbyte av drivmedel per hektar och år inklusive uppdelning av respektive energiinsats. Avser Götalands södra slättbygder och odling på genomsnittlig mark (jämför Figur 5.18). Eventuella biprodukter har allokerats utifrån energiinnehåll och dragits ifrån råvaruproduktion (Berndes m fl, 2006).

När det gäller reduktion av växthusgaser per hektar åkermark för olika energisystem illustrerar Figur 8.3 detta. I detta exempel antas salix odlad i Götalands södra slättbygder på genomsnittlig åkermark utnyttjas för dels el/värmeproduktion via förbränning av flis för att ersätta kol, olja respektive naturgas, dels som

drivmedel via förgasning till metanol/DME för att ersätta bensin, diesel respektive metanol/DME från förgasning av kol. Generellt fås större koldioxidreduktion per hektar när framför allt kol och olja för el/värmeproduktion ersätts jämfört med när bensin och diesel som drivmedel ersätts. Anledningen till detta är huvudsakligen de omvandlingsförluster som fås när biomassa konverteras till flytande och gasformiga bränslen. Om däremot fossila drivmedel börjar produceras från kol via förgasning (med ungefär samma omvandlingsförluster som vid förgasning av biomassa) ger denna ersättning lika hög koldioxidreduktion som när kol för el/värmeproduktion ersätts. I en framtid där eventuellt drivmedel kommer att produceras via förgasning av kol kan således ersättning av fossila drivmedel bli minst lika klimateffektivt som ersättning av fossila bränslen för el/värmeproduktion.



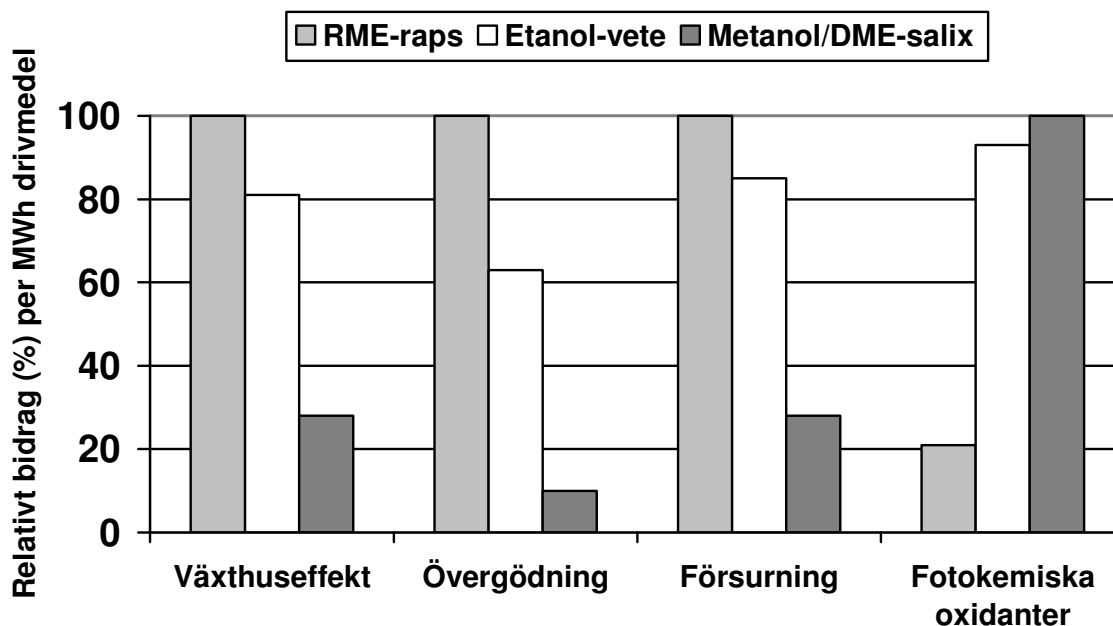
Figur 8.3. Reduktion av koldioxid (livscykelemissioner) per hektar och år när salix ersätter olika fossila bränslen för el/värmeproduktion respektive drivmedel. Avser Götalands södra slättbygder och odling på genomsnittlig åkermark.

När det gäller miljöpåverkan vid drivmedelsproduktion och skillnader mellan 1:a och 2:a generationens drivmedel illustreras detta i Figur 8.4. Livscykeldata för att producera etanol från spannmål och RME från raps bygger livscykelanalyser (LCA) av Bernesson m fl (2004; 2006). LCA-data för salixbaserad metanol/DME-produktion bygger på studier av Börjesson (2006) samt Börjesson och Berglund (2006b). LCA-data har justerats så att studierna ska bli jämförbara (avseende systemgränser mm). Produktionen av salix, vete och raps avser mellansvenska förhållanden (skördenivåer kring 7 ton ts salix, 5,1 ton ts vete

respektive 2,5 ton ts raps). Framställning av RME och etanol baseras på existerande teknik i Sverige idag och för metanol/DME förgasningsteknik som är under utveckling.

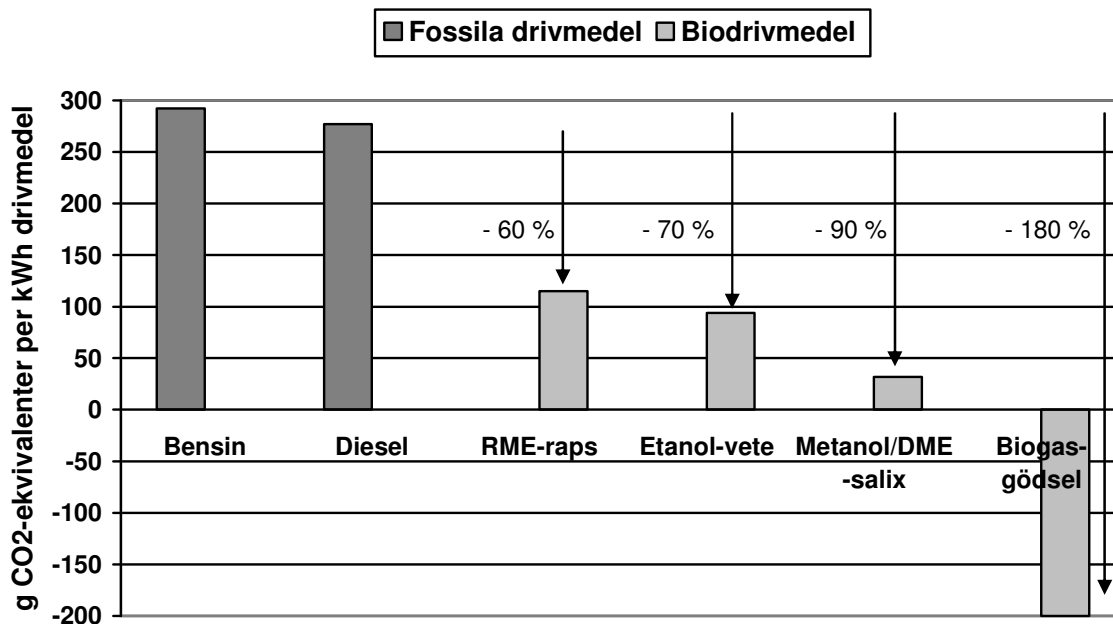
Som framgår av Figur 8.4 är miljöpåverkan vid framställning av metanol/DME från salix betydligt lägre avseende utsläpp av växthusgaser och bidrag till övergödning och försurning. De lägre utsläppen av växthusgaser för metanol/DME från salix beror på lägre insatser av fossil energi samt mindre behov av mineralgödsel som leder till utsläpp av lustgas (vilket är en cirka 300 gånger mer aggressiv växthusgas än koldioxid). Det lägre bidraget till övergödning beror framför allt på lägre kväveläckage vid odling eftersom salix är en flerårig gröda och vete och raps är ettåriga grödor. Däremot beräknas utsläppen av föroreningar som kan bilda fotokemiska oxidanter (framför allt kolväten) och därefter marknära ozon vara högst för metanol/DME från salix och etanol från spannmål (huvudsakligen p g a utsläpp vid omvandling till drivmedel). Utsläpp av växthusgaser samt övergödande och försurande ämnen är något lägre för spannmålsetanol än för RME.

I livscykelanalyser inkluderas sällan toxiska effekter från kemiska bekämpningsmedel. Generellt är dock användningen av bekämpningsmedel högst för raps, följt av spannmål och till sist energiskog där användningen är relativt begränsad. En annan brist med livscykelanalys är att effekter på biologisk mångfald normalt inte heller inkluderas. Anledningen är att det idag inte finns några allmänt vedertagna metoder för att kvantifiera effekter på biologisk mångfald och inkluderar markanvändningsaspekter i livscykelanalysmetodologin. I Börjesson (2007) görs dock en översiktlig kvalitativ bedömning av effekterna på biologisk mångfald vid olika typer av markanvändning. Denna bedömning visar att en övergång från ettåriga grödor som spannmål och oljeväxter till fleråriga grödor som energiskog bör leda till positiva effekter på den biologiska mångfalden, framför allt i intensiva jordbrukslandskap.



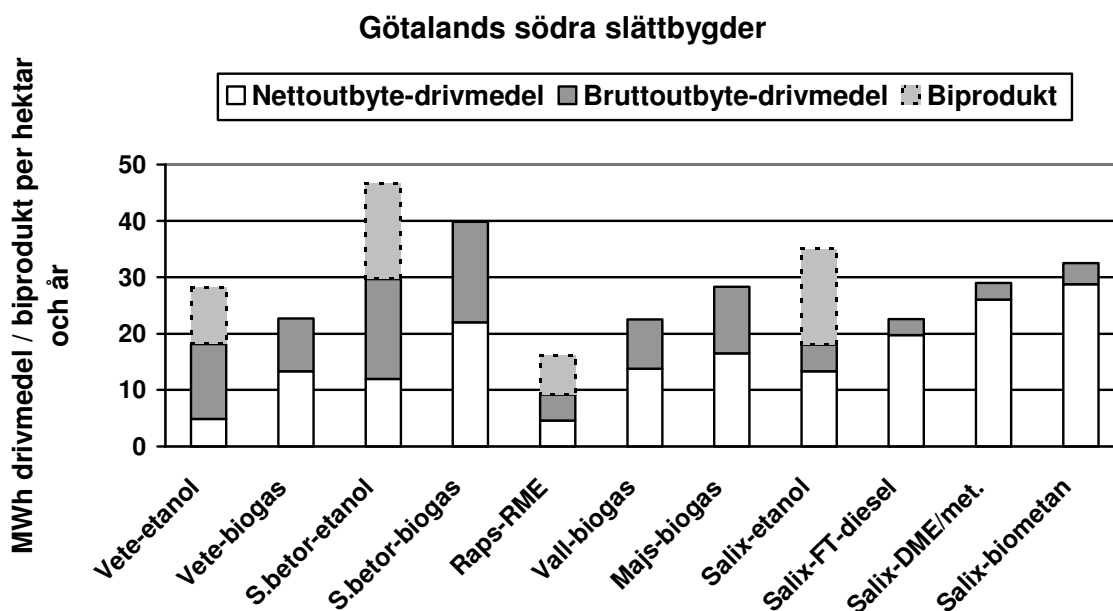
Figur 8.4. Livscykelanalys av produktion av spannmålsetanol, RME respektive metanol/DME från salix baserat på dagens odlingsförhållande i mellersta Sverige. Produktionsteknik för etanol och RME baseras på existerande teknik i Sverige samt för metanol/DME uppskattad förgasningsteknik under utveckling. Livscykeldata baseras på Bernesson m fl (2004; 2006), Börjesson (2006) samt Börjesson och Berglund (2006b) som justerats för att nå jämförbarhet.

Om det primära målet med biodrivmedel är att reducera utsläpp av växthusgaser skiljer sig 1:a och 2:a generationens drivmedel sig åt, vilket illustreras i Figur 8.4. I Figur 8.5 visas detta mer i detalj avseende hur nettoreduktionen blir i förhållande till fossila drivmedel som bensin och diesel. När metanol/DME ersätter bensin beräknas reduktionen av växthusgaser uppgå till cirka 90 %. Motsvarande reduktion när RME ersätter diesel och etanol bensin uppskattas till cirka 60 respektive 70 %. Beräkningarna bygger på samma data och förutsättningar som i Figur 8.4 ovan. I Figur 8.5 redovisas även reduktionen av växthusgaser när biogas från flytgödsel utnyttjas som drivmedel. Detta drivmedelssystem uppskattas leda till negativa nettoutsläpp av växthusgaser vilket beror på att metanläckage vid konventionell gödsellagring kan minska när gödsel rötas till biogas. Dessa resultat bygger på en studie av Börjesson och Berglund (2003; 2007) vars resultat redovisas mer i detalj i Figur 8.10 och 8.11. Dessa resultat återfinns också i två europeiska så kallade "well-to-wheel"-studier som presenteras i Figur 8.7 och 8.8 (VIEWLS, 2005), samt i Figur 8.9 (Concawe m fl, 2005).



Figur 8.5. Reduktion av växthusgaser (uttryckt som koldioxidekvivalenter per kWh drivmedel) när metanol/DME från salix, etanol från vete, RME från raps respektive biogas från gödsel ersätter fossila drivmedel. Avser livscykelemissioner och baserat på dagens odlingsförhållande i mellersta Sverige. Produktionsteknik för etanol, RME och biogas baseras på existerande teknik i Sverige samt för metanol/DME uppskattad förgasningsteknik under utveckling. Livscykeldata baseras på Bernesson m fl (2004; 2006), Börjesson (2006) samt Börjesson och Berglund (2006b) som justerats för att nå jämförbarhet.

I avsnitt 5.3 där netto- respektive bruttoutbytet av biodrivmedel för olika produktsystem redovisas har allokering av eventuella biprodukter gjorts utifrån deras energivärde och genom att energiinsatsen vid råvaruproduktion reducerats i motsvarande grad. Om även eventuella biprodukter och deras energiinnehåll inkluderas förändras det totala utbytet av energi per hektar. I Figur 8.6 illustreras detta genom att nettoutbytet av drank vid etanolproduktion från spannmål, pulpa från etanolproduktion från sockerbetor, rapsmjöl vid RME-produktion samt lignin från etanolproduktion från energiskog inkluderas tillsammans med drivmedelsutbytet. Ingen allokering och reduktion av insatsenergi vid odling görs således i detta fall. Figur 8.6 baseras på Figur 5.18 och avser odling i Götalands södra slättbygder på genomsnittlig åkermark. Respektive biprodukt antas vara torkad till hanterbar produkt som foder eller bränsle, d v s energiinsats för eventuell torkning är inkluderad. Som framgår av Figur 8.6 har utbytet av biprodukter relativt stor betydelse för det totala energiutbytet per hektar för de aktuella produktsystemen. Om fokus inte enbart ligger på biodrivmedelsutbyte utan på totalt energiutbyte (jämför kombinatlösningar) förbättras således produktsystem som genererar etanol och RME. Vid biogasproduktion fås också en biprodukt i form av rötrest vilken kan utnyttjas som gödselmedel och därmed ersätta mineralgödsel. Denna potentiella indirekta miljövinna beaktas i Figur 8.10 och 8.11. I avsnitt 6.1 diskuteras också närmare hur energibalansen ändras när dranken från spannmålsbaserad etanolproduktion utnyttjas för olika ändamål.

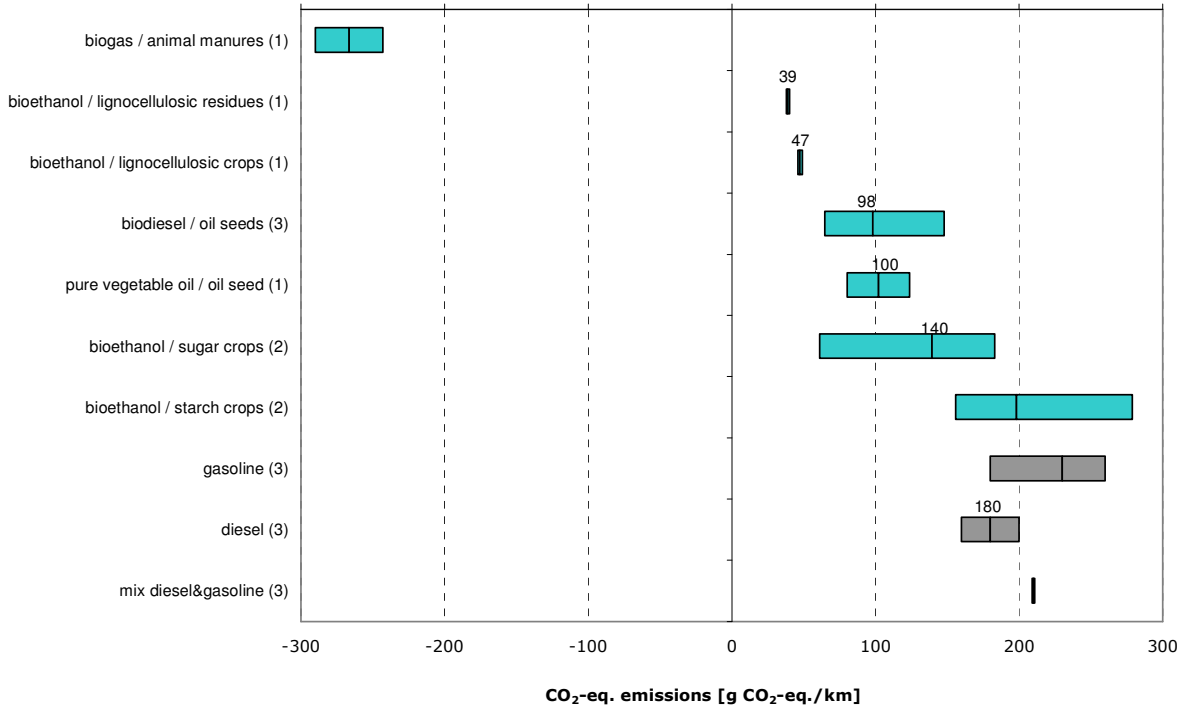


Figur 8.6. Uppskattning av genomsnittlig brutto- respektive nettoutbyte av drivmedel per hektar och år för olika omvandlingstekniker och energigrödor vid odling i Götalands södra slättbygder på genomsnittlig åkermark, inklusive generering av biprodukter (nettoutbyte).

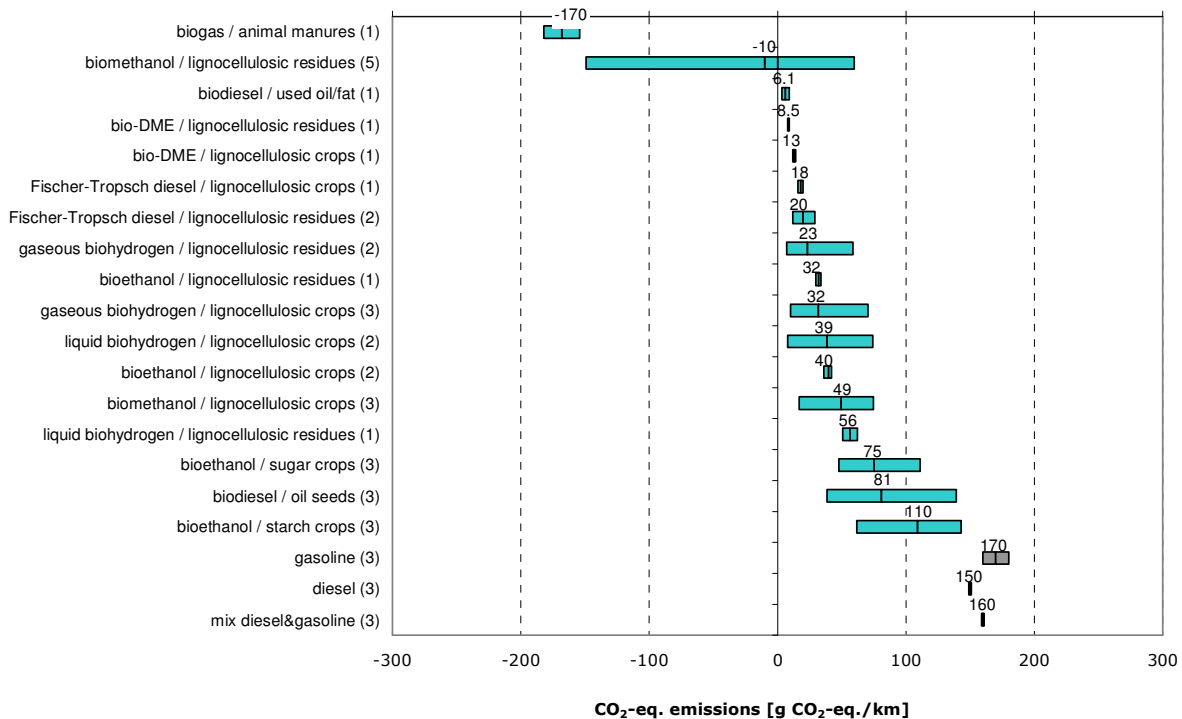
I Figur 8.7 och 8.8 redovisas resultat från en stor europeisk så kallad ”well-to-wheel”-studie över nettoutsläppen av växthusgaser (uttryckt som koldioxidkvivalenter per kilometer). Detta EU-projekt (VIEWLS) har utvecklat och tillämpat en metod för att sammanställa och på ett konsistent sätt jämföra ett stort antal tidigare studier av olika biodrivmedel avseende deras genomsnittliga utsläpp växthusgaser. Resultaten i Figur 8.7 stämmer relativt väl överens med resultaten i 8.5 för RME då utsläppen av växthusgaser antas ungefär halveras när diesel ersätts. Däremot uppskattas etanol från stärkelsegrödor leda till en betydligt lägre reduktion av växthusgaser i Figur 8.7 jämfört med i Figur 8.5. En anledning till denna skillnad kan vara att insatsenergin vid tillverkning av etanol till stor del baseras på fossil energi i VIEWLS-studien (genomsnittliga förhållanden i EU idag) medan framför allt bioenergi antas användas i studien av Bernesson m fl (2006) som baseras på aktuella svenska förhållanden. I Figur 8.7 redovisas även de negativa nettoutsläpp av växthusgaser som kan fås när biogas produceras från gödsel och som diskuteras ovan (se Figur 8.5). Näst efter biogas från gödsel bedöms etanol från lignocellulosa leda till störst reduktion av växthusgaser när bensin ersätts (cirka 80 % reduktion) avseende dagens produktionsteknik och förutsättningar i EU.

Som framgår av Figur 8.8 beräknas framtida biodrivmedel som t ex baseras på förgasning (DME, metanol, FT-diesel mm) leda till låga nettoutsläpp av växthusgaser (t o m negativa när restprodukter utnyttjas). DME

från energiskog beräknas t ex leda till en drygt 90-% reduktion när bensin ersätts vilket är ungefär samma resultat som presenteras i Figur 8.5. Generellt medför biodrivmedel från lignocellulosa lägre nettoutsläpp av växthusgaser än biodrivmedel från ettåriga energigrödor.



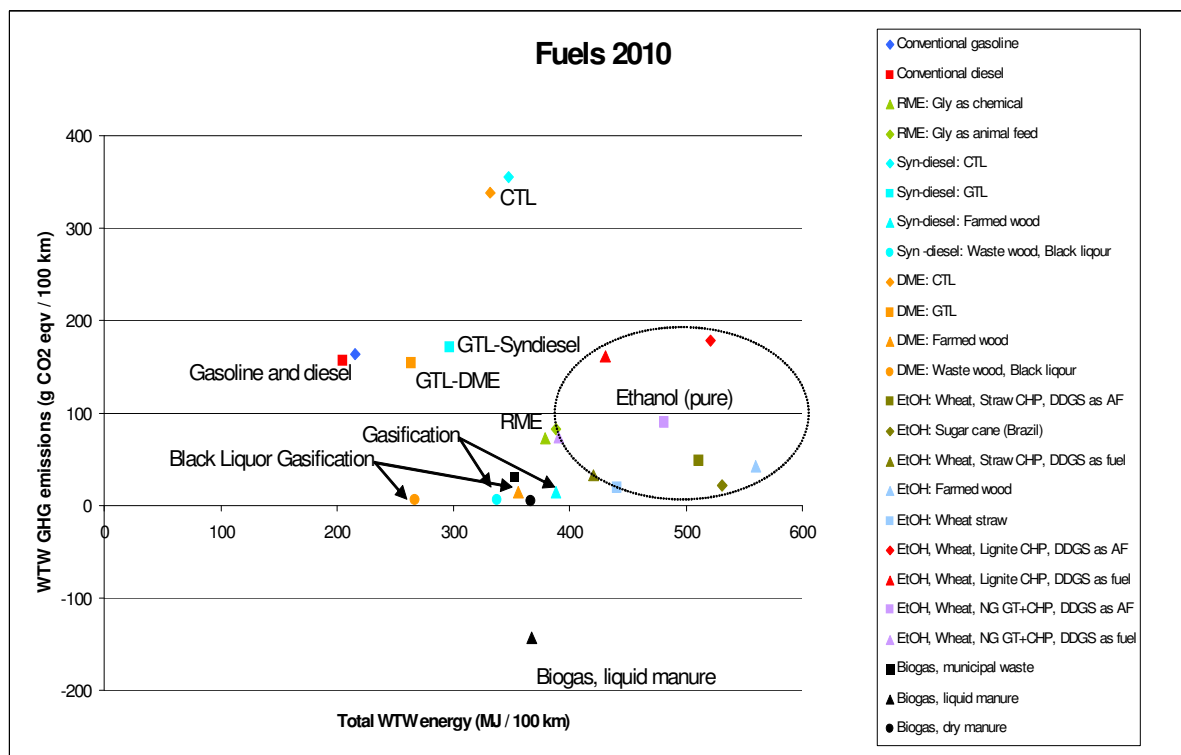
Figur 8.7. Nettoutsläpp av växthusgaser per km ur ett livscykelperspektiv för olika drivmedel givet dagens produktionsteknik och förutsättningar i EU (Källa: VIEWLS, 2005).



Figur 8.8. Nettoutsläpp av växthusgaser per km ur ett livscykelperspektiv för olika drivmedel givet en framtida situation inklusive teknikutveckling och förutsättningar i EU (Källa: VIEWLS, 2005).

En annan stor europeisk ”well-to-wheel”-studie är den som genomförts av Concawe, EUCAR & EC Joint Research Centre (2006), vars resultat bl a redovisas i Figur 8.9. Denna figur visar total energiförbrukning respektive utsläpp av växthusgaser per 100 kilometer för olika biodrivmedel och fossila drivmedel baserat på antagna förutsättningar år 2010. Som framgår av figuren beräknas drivmedel baserat på förgasning vara de energieffektivaste biodrivmedlen och ge lägst utsläpp av växthusgaser, tillsammans med biogas från gödsel (där biogas från flytgödsel ger ett negativt bidrag). I totala energiåtgången ingår inte bara den hjälpen energi som krävs vid odling och omvandling (som i tidigare figurer i denna rapport) utan även bränslets energiinnehåll.

Bland de olika etanolalternativen är etanol från sockerrör effektivast ur klimatsynpunkt. Spannmålsetanol som produceras med hjälp av halm för el- och värmeproduktion beräknas ge cirka 70 % lägre utsläpp av växthusgaser än bensin. Om däremot naturgas används för el- och värmeproduktion blir reduktionen endast cirka 40 % och om lignit (brunkol) utnyttjas blir utsläppen t o m högre än för bensin. Energieffektiviteten för alla etanolalternativ är relativt låg i förhållande till övriga drivmedelsalternativ. Användning av RME i stället för diesel beräknas medföra en halvering av utsläppen av växthusgaser. När naturgas används för produktion av flytande drivmedel (gas-to-liquid, GTL) blir utsläppen av växthusgaser jämförbara med bensin och diesel. Om i stället kol används fördubblas ungefär utsläppen, vilket stämmer väl överens med resultaten i Figur 8.3.

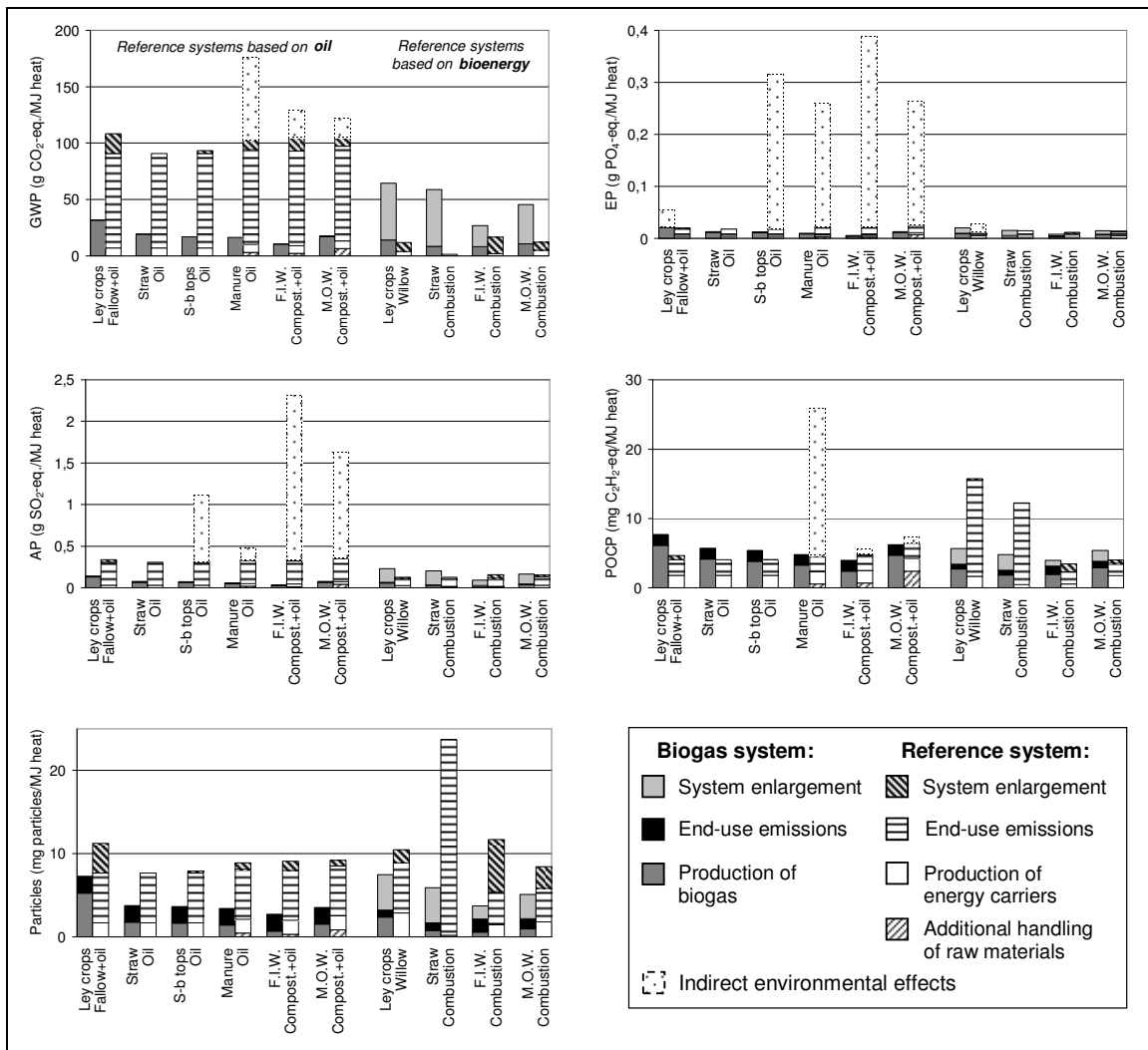


Figur 8.9. Utsläpp av växthusgaser samt total energiförbrukning per 100 km för olika drivmedel år 2010 i ett ”well-to-wheel-perspektiv” (Källa: Concawe m fl, 2005).

I Figur 8.10 och 8.11 redovisas några resultat från en systemstudie kring biogas och vilka miljöeffekter som fås när olika referenssystem ersätts (Börjesson och Berglund, 2003; 2006; 2007). Systemstudien bygger på svenska förhållanden idag och de metodprinciper som presenteras i avsnitt 8.1, t ex systemutvidgning enligt Figur 8.1. I Figur 8.10 och 8.11 inkluderas miljöpåverkan som växthuseffekt (Global Warming Potential, GWP), övergödning (Eutrophication Potential, EP), försurning (Acidification Potential, AP), potentiell bildning av fotokemiska oxidanter (Photochemical Oxidant Creation Potential, POCP) samt utsläpp av partiklar. Miljöpåverkan delas upp i utsläpp vid produktion respektive användning av bränslet, effekter av systemutvidgning samt indirekta miljöeffekter. Effekter av systemutvidgning inkluderar dels skillnader i energiutbyte per hektar åkermark eller per ton restprodukt, dels skillnader i växtnäringssystem när biogassystem introduceras. Exempel är effektivare näringsåtervinning när restprodukter utnyttjas och rörest återförs till åkermark vilket leder till ett minskat behov av mineralgödsel. Med indirekta effekter menas t ex minskad metanavgång från gödsellagring eller minskat kväveläckage när betblast samlas in.

En sammanfattning av Figur 8.10 som visar livscykelemissioner vid storskalig värmeproduktion är att biogassystem leder till minskad miljöpåverkan när fossila bränslen ersätts, med undantag för utsläpp av

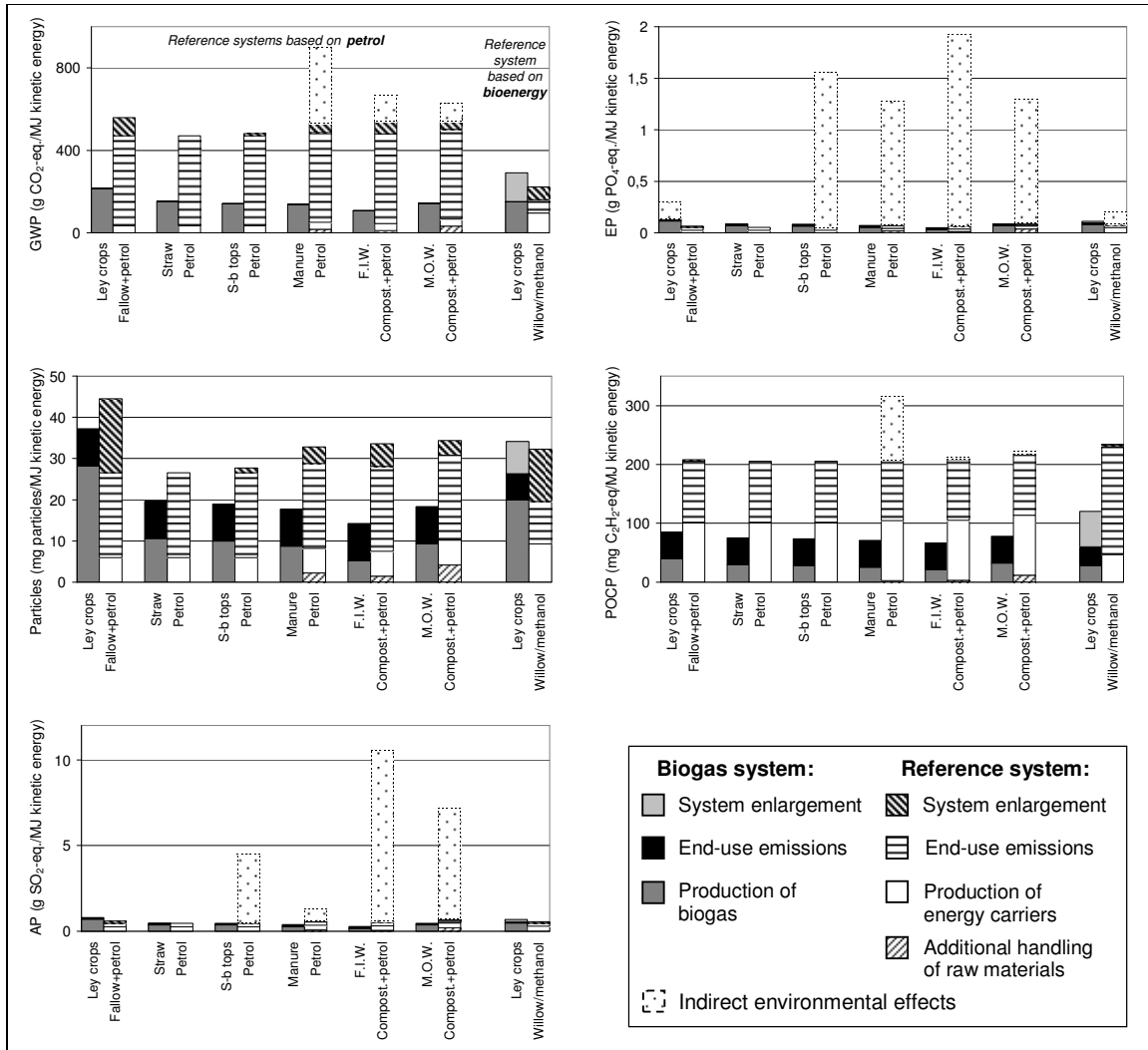
fotokemiska oxidanter i vissa fall (som sin tur kan bilda marknära ozon). När däremot biogassystem ersätter andra biobränslesystem som baseras på direkt förbränning, t ex salix och halm, blir miljöpåverkan ofta något större med undantag för utsläpp av partiklar och ibland fotokemiska oxidanter. Stora indirekta miljövinster fås när gödsel och sockerbetsblast utnyttjas för biogasproduktion samt när organiskt hushålls- och industriavfall utnyttjas och alternativet är kompostering.



Figur 8.10. Livscykelemissioner för storskalig värmeproduktion (g per MJ värme) för olika biogassystem respektive referenssystem baserat på dagens situation i Sverige. Pannverkningsgraden antas vara 85 % för halm, 90 % för olja, salix och avfall, samt 95 % för biogas (Källa: Börjesson & Berglund, 2007).

I Figur 8.11 redovisas livscykelemissioner vid drift av personbil med olika biogassystem respektive referenssystem. En sammanfattning av dessa resultat är att biogas som drivmedel leder till minskad miljöpåverkan i stort sett varje analyserat fall. Ett undantag är metanol baserat på energiskog via förgasning som är i stort sett jämförbar med biogas från vall ur miljösynpunkt. Ett annat undantag är när vallbaserad

biogas ersätter träda och bensindrift som leder till något ökad övergödning och försurning, men å andra sidan betydligt lägre utsläpp av växthusgaser. Likt för värmeproduktion (Figur 8.10) fås stora indirekta miljövinster när biogas från gödsel, betblast och organiskt hushålls- och livsmedelsavfall utnyttjas som drivmedel.



Figur 8.11. Livscykelemissioner vid drift av personbil (g per MJ motoreffekt) med olika biogassystem respektive referenssystem baserat på dagens situation i Sverige. Verkningsgraden antas vara 17 % för en bensinbil och 19 % för en biogasbil (Källa: Börjesson & Berglund, 2007).

9 Osäkerheter kring beräkningsmetodik

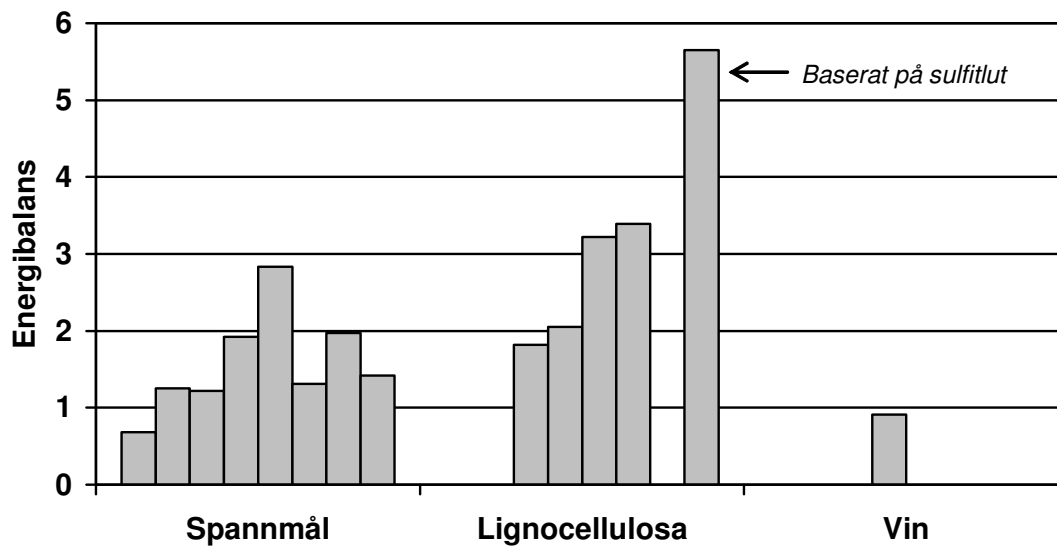
De beräkningar som görs i denna studie (samt i Börjesson, 2007) kring energieffektivitet och energiutbyte för olika biobränslebaserade produktsystem baseras på energianalyser enligt ”energy input-energy output-metoden” som utvecklades i början av 1970-talet (Johansson & Lönnroth, 1975). Denna metod är den dominerande metoden för energianalys idag vilket illustreras av det stora antalet studier som publicerats i svenska och internationella publikationer (se t ex Börjesson, 2006). Alternativa metoder till energianalys är exergianalys och emergianalys, vilka beskrivs närmare i avsnitt 9.2.

I energianalys används ofta måttet energibalans som beskriver ett produktsystems energieffektivitet. Med energibalans menas här kvoten mellan produktens energiinnehåll och den hjälpenergi som förbrukats under framställningen av produkten. Energianalys av t ex biodrivmedel inkluderar således hela bränslekedjan, från odling av biomassa via omvandling till framställning av färdigt drivmedel. Förutom direkta energiinsatser, t ex i form av diesel vid odling och transporter, inkluderas också indirekta energiinsatser som t ex framställning av gödselmedel som används vid odling. Energiinsatser avser normalt primärenergi, d v s inklusive den energi som förbrukats vid framställningen och distribution av respektive energibärare. Om energibalansen för ett biodrivmedel är över 1 betyder detta att energiutbytet i form av drivmedel är större än den hjälpenergi som gått åt för att producera drivmedlet. Om däremot energibalansen är under 1 har mer hjälpenergi förbrukats än vad som återfinns i drivmedlet. I följande avsnitt (9.1) diskuteras hur energibalansen för bioetanol kan skilja mellan olika studier och vad detta beror på.

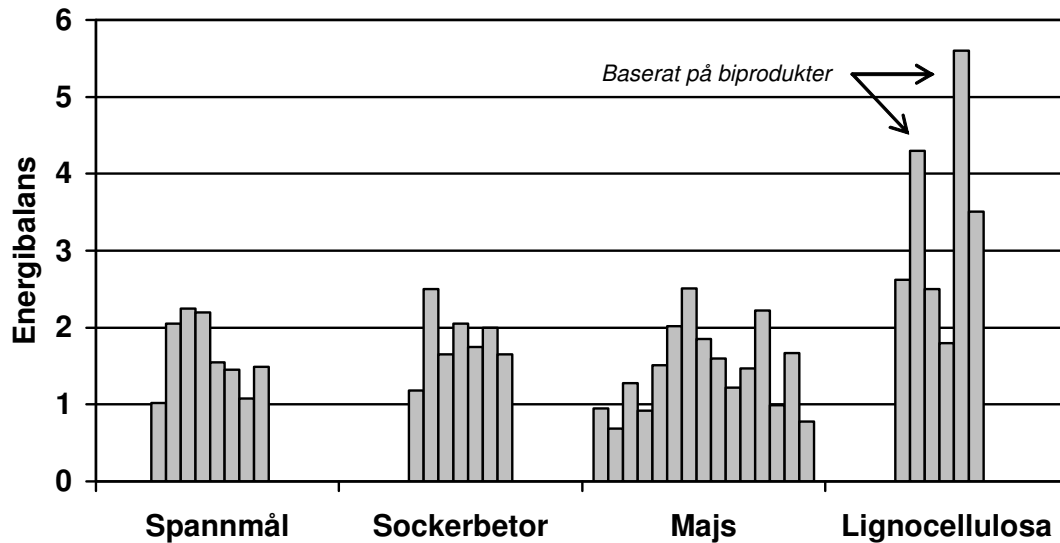
9.1 Faktorer som påverkar energiutbyte – exempel bioetanol

I en studie av Börjesson (2006) har resultat från svenska och internationella energianalyser av bioetanol sammanställts och analyserats. Syftet har varit att se hur energibalansen för bioetanol skiljer mellan olika studier samt analysera vad detta beror på. I Figur 9.1 och 9.2 illustreras hur spridningen i energibalans för bioetanol kan vara mellan olika svenska respektive internationella studier och beroende på vilken råvara som används. Varje enskild stapel i respektive diagram avser en studie vars referens återfinns i Börjesson (2006). Som framgår av Figur 9.1 och 9.2 varierar den beräknade energibalansen för bioetanol stort, dels mellan olika studier, dels mellan olika råvaror. Bioetanol från lignocellulosa beräknas generellt ha högre energibalans än bioetanol från spannmål. Den högsta energibalansen för lignocellulosabaserad etanol (5,65) i Figur 9.1 avser framställning från sulfitulut som är en biprodukt vid framställning av pappersmassa. Denna biprodukt belastas inte med någon energiinsats vid framställning vilket gör att denna produktionskedja inte är direkt jämförbar med övriga. Övriga studier avser framställning från energiskog (salix) eller hyggesrester.

Energibalansen för etanol baserat på spannmål beräknas ofta ligga mellan 1,2 och 2 (Figur 9.1 och 9.2). Som jämförelse beräknas energibalansen för spannmålsbaserad etanol uppgå till mellan 1,5 (Svealands slättbygder) och 1,6 (Götalands södra slättbygder) i denna studie. Den högsta energibalansen som redovisats för spannmålsbaserad etanol är 2,8 (Figur 9.1). Två viktiga orsaker till dessa skillnader i energibalans är olika antaganden för systemgränser samt hur allokering sker mellan etanol och biprodukter (drank). Resultaten från internationella studier indikerar att energibalansen för etanol från sockerbetor och majs är jämförbar med den för spannmålsbaserad etanol (oftast mellan 1 och 2). Energibalansen för vinbaserad etanol i Figur 8.1 avser framställning från överskottsvin från Sydeuropa där energiinsatser för själva vinodlingen är exkluderad då överskottsvinet betraktas som ett ”avfall”. När också vinodlingen inkluderas blir energibalansen ännu lägre. Likt resultaten från de svenska studierna beräknas energibalansen från lignocellulosabaserad etanol i internationella studier ligga högre, ofta mellan 2 och 4. Här utgörs råvaran oftast av energiskog och snabbväxande lövträd.



Figur 9.1. Sammanfattning av energibalans för bioetanol från olika biomassråvaror publicerade i olika svenska studier (för referens till respektive studie – se Börjesson, 2006).



Figur 9.2. Sammanfattning av energibalans för bioetanol från olika biomasseråvaror publicerade i olika internationella studier (för referens till respektive studie – se Börjesson, 2006).

En slutsats från Figur 9.1 och 9.2 är att spridningen i rapporterade energibalanser för bioetanol är stor, även när en och samma råvara används. Det finns en mängd olika faktorer till detta, dels de som beror på skillnader i faktiska lokala förutsättningar (skördenivå, processteknik mm), dels de som beror på skillnader i beräkningsmetod. I Tabell 9.1 sammanfattas dessa olika faktorer. Det är oftast skillnader i beräkningsmetodik som ger upphov till den största spridningen i resultat. Två av de mest betydelsefulla faktorerna är här systemgränsdragning (t ex om biprodukter ingår) och val av allokeringmetod (t ex fördelning av energiinsats mellan drivmedel och biprodukter). Beroende av hur dessa definieras kan energibalansen för spannmålsbaserad etanol variera stort. Detta innebär i sin tur att rättvisande jämförelser endast kan göras när de bakomliggande metodantaganden är lika, vilket de sällan är mellan olika studier.

Tabell 9.1. Orsaker till skillnader mellan olika studiers resultat av energibalansen för bioetanol (Börjesson, 2006).

Källor	Exempel
Geografisk lokalisering	Klimat Tillgängliga råvaror (grödor)
Odlingspraktik	Mekanisering Typ av gödsling
Skördeutbyte	Grödor Etanol
Råvarans kvalitet	Socket / stärkelse / lignocellulosa Biprodukt / energigröda
Transport av råvaror	Avstånd Transportslag
Etanolanläggning	Skalstorlek Teknikstatus Användning av biprodukter (drank)
Energisystemets struktur	Elproduktion Övriga energibärare
Datakvalitet	Ålder Tillförlitlighet
Systemgränsdragning	Omfattning Inkludering av biprodukter
Allokering	Metod Värdering av biprodukter

Ett exempel som beskriver betydelsen av vilken allokeringsmetod som utnyttjas samt vilka systemgränser som dras ges i Tabell 9.2. Detta exempel bygger på beräkningar av Bernesson m fl (2006) som sin studie bl a analyserar energibalansen för spannmålsetanol (vars resultat ingår i Figur 9.1). Som framgår av Tabell 9.2 kan energibalansen variera mellan 1,7 till 2,8 beroende på vilken allokeringsmetod som används. Ett alternativ till allokering mellan etanol och drank som foder är att utvidga systemgränserna så att energiinsatsen för produktion av ett alternativt proteinfoder dras ifrån den totala energiinsatsen för spannmålsbaserad etanolproduktion. Ett alternativt proteinfoder är importerad soja (mjöl och olja) som blandats för att innehålla motsvarande proteinhalt och energihalt som torkad drank. Som framgår av Tabell 9.2 är energiåtgången vid produktion och transport av sojaproteinofoder relativt stor eftersom energibalansen för spannmålsbaserad etanol kraftigt förbättras när energiåtgången för detta ersättningsfoder dras ifrån energiinsatsen för etanolproduktionen.

Tabell 9.2. Energibalans för spannmålsbaserad etanol beroende av allokeringmetod.^a

Allokeringsmetod	Förklaring	Energibalans
Ingen allokering	All energiinsats belastar etanol	1,7
Fysikalisk allokering	Energiinsats fördelas mellan etanol och drank baserat på deras energiinnehåll	2,8
Ekonomisk allokering	Energiinsats fördelas mellan etanol och drank baserat på deras ekonomiska värde	2,3
Systemutvidgning	Energiinsats för produktion och transport av ersättningsfoder baserat på importerad soja dras ifrån den totala energiinsatsen för etanolproduktion	5,3

^a Baserat på Bernesson m fl (2006).

9.2 Alternativ till energianalys – exergi- och emergianalys

Som beskrivs i avsnitt 8.1 är energianalys enligt ”energy input-energy output-metoden” den dominerande metoden för energianalys idag och en anledning till detta är att den är praktiskt användbar och relativt enkel att genomföra. Parallellt med utvecklingen av energianalys sedan 1970-talet har också två alternativa metoder utvecklats, exergi- och emergianalys. En beskrivning av dessa och hur dessa skiljer mot energianalys presenteras i Börjesson (2006) som följande sammanfattning bygger på.

Emergi- och exergianalys har inte fått samma genomslag då dessa är mer komplexa att genomföra, framför allt när det gäller emergianalys, och deras praktiska användbarhet är begränsad. I exergianalys beräknas inte bara energiförlusterna genom produktionssystemet utan också förluster av energikvalitet. Exergi definieras som ”användbar energi”, eller den del av energin som kan användas för att utföra ett arbete. Exempel på energi med högt exergivärde (hög kvalitet) är el medan värme har ett relativt lågt exergivärde. Vid exergianalys beräknas först ingående energiflöden till systemet varefter dessa multipliceras med ”energikvalitetsfaktorer” för att få fram exergiflödet. Vid jämförelser av olika bioenergisystems energieffektivitet tillför exergianalys relativt begränsad ”merinformation” jämfört med energianalysmetoden. Anledningen är att energikvalitetsförlusterna är liknande för biobränsleproduktionssystem eftersom sammansättningen av den hjälpenergi i form av fossila bränslen, el mm som används är snarlika.

Emergianalys är en betydligt mer omfattande och tidskrävande analys än exergianalys. Emergi definieras som den ackumulerade mängd resurser som krävs för att producera en vara, tjänst eller ett bränsle. Den ackumulerade mängden resurser uttrycks vanligen som solevivalent, eller solemergijoule (sej). Emergi kan beskrivas som ”energiminne”, d v s minnet av den sammanlagda tillgängliga energi som använts för att

frambringa produkten. Emergialanalys inkluderar dels direkta insatser från naturen, t ex sol, vind och regn, dels insatser från den mänskliga ekonomin, t ex material, bränslen och mänskligt arbete. I emergialanalys ingår den monetära ekonomin som ett subsystem till det övergripande ekosystemet. Emergialanalys är således betydligt mer komplex än exergialanalys, då förutom förlorad energikvalitet också ackumulerad förbrukning av resurser beräknas för varje processsteg.

I emergialanalys är alla system organiserade som vävar där strukturernas komplexitet ökar med varje energiomvandling. Högre komplexitet innebär högre transformationsnivå. Emergivärdet för en produkt beräknas genom att dess innehåll av tillgänglig energi multipliceras med dess transformitet. Transformiteter för olika insatsvaror och tjänster, t ex sol, regn, bränslen, material, mänskligt arbete osv, finns oftast tillgängliga i olika emergialanalyser. Samma produkt, t ex etanol, kan ha olika transformiteter som beror på olikheter i de processer som leder fram till produkten. Resultaten av emergialanalys kan presenteras i olika kvoter som utgör underlag för utvärdering av de undersökta processerna:

- a) Emergi-insatskvoten, som är kvoten mellan insatserna från det ekonomiska systemet och insatserna från naturen. Kvoten mäter resurseffektivitet samt vissa aspekter av miljöbelastning.
- b) Emergi-avkastningskvoten, som är kvoten mellan utgående emergi och det ekonomiska systemets emergi-insats. Kvoten är ett mått på det ekonomiska systemets ”vinst”.
- c) Miljöbelastningskvoten, som är kvoten mellan insatsen från det ekonomiska systemet och de icke-förnyelsebara insatserna från naturen ställda mot de förnyelsebara insatserna från naturen.
- d) Uthållighetsindex, som beräknas genom att dividera emergi-avkastningskvoten med miljöbelastningskvoten. Detta index ger ett sammanvägt mått på ekonomisk och ekologisk balans.

Emergialanalyser av t ex spannmålsbaserad etanol visar via emergi-avkastningskvoten att etanol inte levererar något nettoenergidrag till ekonomin utan att resursinsatsen är cirka tio gånger högre än vad spannmålen ger tillbaka i form av etanol. Detta beror på att resursanvändningen över kedjan spannmål-jäsning-etanol ökar hela tiden vilket resulterar i att energiinnehållet i etanolen långt underskrider summan av energiinnehållet i spannmålen samt i alla de direkta insatser från naturen och från den mänskliga ekonomin som utnyttjats.

Denna skillnad i resultat jämfört med traditionell energialanalys där spannmålsetanol har en positiv energibalans beror således på att ”all” resursförbrukning genom hela produktionskedjan tas med vid emergialanalys och inte bara den hjälpenergi som inkluderas vid energialanalys. Som framgår av beskrivningen ovan inkluderas även insatser i form av sol, regn, vind, mänskligt arbete mm i emergialanalys vilket inte inkluderas i energialanalys. Ett exempel visar t ex att energibalansen för halm till färdig värme (varmvatten) är 12, att exergieffektiviteten endast är 15 %, samt att emergi-avkastningskvoten är 1,1, vilket indikerar att en stor mängd energi har förbrukats historiskt för att framställa halmbränslet.

Emergiansanalys har intentionen att vara ett "allomfattande" beslutsunderlag för företag, industri och samhälle, som vägvisare för att nå en "hållbar" utveckling ur resurssynpunkt. Hittills har den dock mest använts inom den akademiska världen och risken är också stor att den kommer att stanna där då emergigbegreppet kan kännas svårhanterligt. Emergiansanalysens praktiska användbarhet är således begränsad och dess styrka ligger framför allt i beskrivningar av ekonomiska-ekologiska interaktioner och klargörande av systemstrukturer. Dessutom har emergiansanalys som metod ett antal begränsningar som gör att metoden i sig kan ifrågasättas. Metoden medför långtgående aggregering av data och information. Dessutom görs en mängd olika antaganden som baseras på olika typer av kriterier vilket tillsammans gör analysernas resultat svåra att utvärdera.

En viktig aspekt vid systemanalys är att analyserna ska vara transparenta och inte ha för långtgående aggregering, så att all information är synlig för användaren som därigenom kan kritiskt granska analysens kvalitet och relevans. Denna utveckling säkras t ex för livscykelanalys via standardisering enligt ISO 14040-43. Emergiansanalys har svårt att uppfylla dessa krav. En annan aspekt som gör emergiansanalys diskutabel är att de transformiteter som används inte alltid baseras på naturvetenskapliga grunder. Ett exempel är att emergin av arbetskraft bedöms genom att omvandla löner till emergi. Emergiansanalys har således delvis förlorat sin betydelse i och med utvecklingen av livscykelanalys då resurs- och miljöaspekter för olika produkter och tjänster beskrivs här. Man kan säga att de ursprungliga intentionerna med emergiansanalys idag till stor del tillgodoses med en kombinerad användning av betydligt mer praktiskt anpassade verktyg som energiansanalys och livscykelanalys, tillsammans med ekonomiska analyser som t ex cost-benefit-analyser.

Sammanfattningsvis svarar energi-, exergi- och emergiansanalys på olika frågeställningar och innebörden av "energikvalitet" definieras olika. Det är därför ganska meningslöst att jämföra deras resultat med varandra då dessa måste tolkas var för sig.

10 Förutsättningar för förädling och avsättning på nationell nivå – några räkneexempel

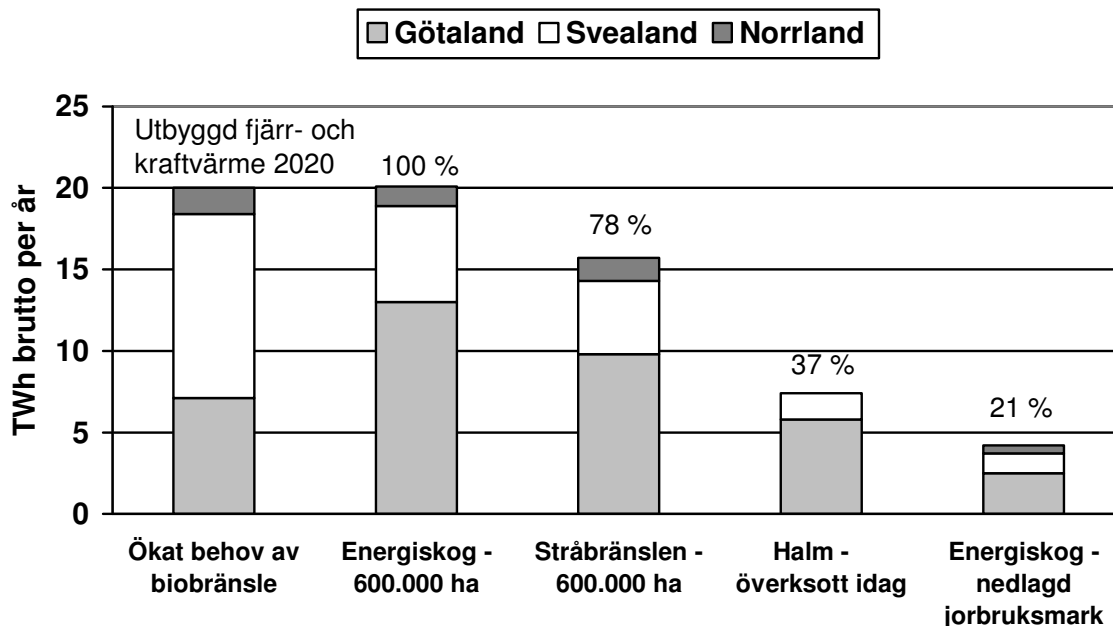
I Börjesson (2007) presenteras ett antal räkneexempel över hur mycket bioenergi svenskt jordbruk kan producera beroende av vilka energigrödor som odlas, hur odlingarna fördelar sig över landet, vilken typ av åkermark som utnyttjas samt vilket tidsperspektiv som avses. I detta kapitel görs också ett antal räkneexempel men här ligger fokus på förutsättningarna för förädling av avsättning av biobränslen och inte primärt på hur produktionsförutsättningarna varierar utifrån olika faktorer. För en mer utförlig beskrivning av dessa aspekter hänvisas till Börjesson (2007).

I avsnitt 7.1 och 7.2 analyseras den tekniska potentialen för att öka användningen av biobränslen för fjärrvärme- och kraftvärmeproduktion fram till cirka 2020, jämfört med idag. En grov uppskattning är att denna motsvarar vardera cirka 10 TWh biobränslen per år, d v s totalt ungefär 20 TWh. I Figur 10.1 illustreras vilka arealer jordbruksmark som krävs för att producera denna mängd biomassa (brutto) när energiskog (maximalt halva arealen salix och resterande del poppel, hybridasp och gran) odlas med dagens produktionsförutsättningar. Dessutom beskrivs hur mycket stråbränslen (hälften rörflen och resterande del helsäd och hampa) som kan produceras på motsvarande åkerareal. Odlingsarealen antas vara jämnt fördelad över Sveriges åkermark och motsvara genomsnittlig åkermark. Som jämförelse anges hur mycket halm (spannmåls- och oljeväxthalm) som uppskattas finnas tillgängligt för energiändamål idag samt ett exempel på hur mycket bioenergi som kan produceras på nedlagd åkermark (Börjesson, 2007). I detta exempel antas att 200.000 hektar nedlagd jordbruksmark med medelhög bonitet utnyttjas för odling av poppel, hybridasp och gran (gödslad). Det finns stora osäkerheter både vad gäller tillgången på nedlagd jordbruksmark för energiproduktion samt dess produktionsförmåga varför detta exempel i Figur 10.1 endast representerar ett grovt räkneexempel. För en mer utförlig beskrivning av potentiell biobränsleproduktion på nedlagd jordbruksmark, se Börjesson (2007). Det är viktigt att påpeka att resultaten i Figur 10.1 enbart är ett teoretiskt räkneexempel. I praktiken kommer sannolikt den största andelen av fjärrvärme- och kraftvärmeverkens växande behov av biobränslen att tillgodoses av skogsbränslen. För en mer utförlig diskussion kring den regionala tillgången på skogsbränslen jämfört med de regionala förutsättningarna att producera biobränslen inom jordbruket, se avsnitt 7.5.

Som framgår av Figur 10.1 krävs det teoretiskt cirka 22 % åkermark (knappt 600.000 hektar) för att producera 20 TWh (brutto) biomassa när energiskog odlas. I detta exempel antas salix odlas på maximalt halva denna åkerareal. Produktionen är nästan dubbelt så stor som behovet i en utbyggd fjärrvärme- och kraftvärmeproduktion i Götaland medan det motsatta förhållandet gäller i Svealand. Om 22 % åkermark i stället utnyttjas för stråbränsleproduktion minskar produktionen av biomassa med drygt 20 %, d v s cirka 28 % åkermark krävs för att producera 20 TWh biobränslen. Tillgången på halm för energiändamål uppskattas

motsvara drygt en tredjedel av det totala behovet och cirka 80 % av behovet i Götaland. Om halm utnyttjas fullt ut skulle behovet av åkermark för odling av energiskog minska till cirka 400.000 hektar, d v s från 22 % till 15 % av åkermarken. Om dessutom 200.000 hektar nedlagd jordbruksmark utnyttjas för odling av poppel, hybridasp och gran skulle denna biobränsleproduktion kunna tillgodose ungefär en fjärdedel av biobränslebehovet i utbyggda fjärrvärme- och kraftvärmesystem kring 2020. Tillsammans med halm skulle energiskog på nedlagd jordbruksmark kunna tillgodose cirka 60 % av behovet och samtidigt minska behovet av energiskog på åkermark till drygt 250.000 hektar, vilket motsvarar knappt 10 % av totala åkermarksarealen.

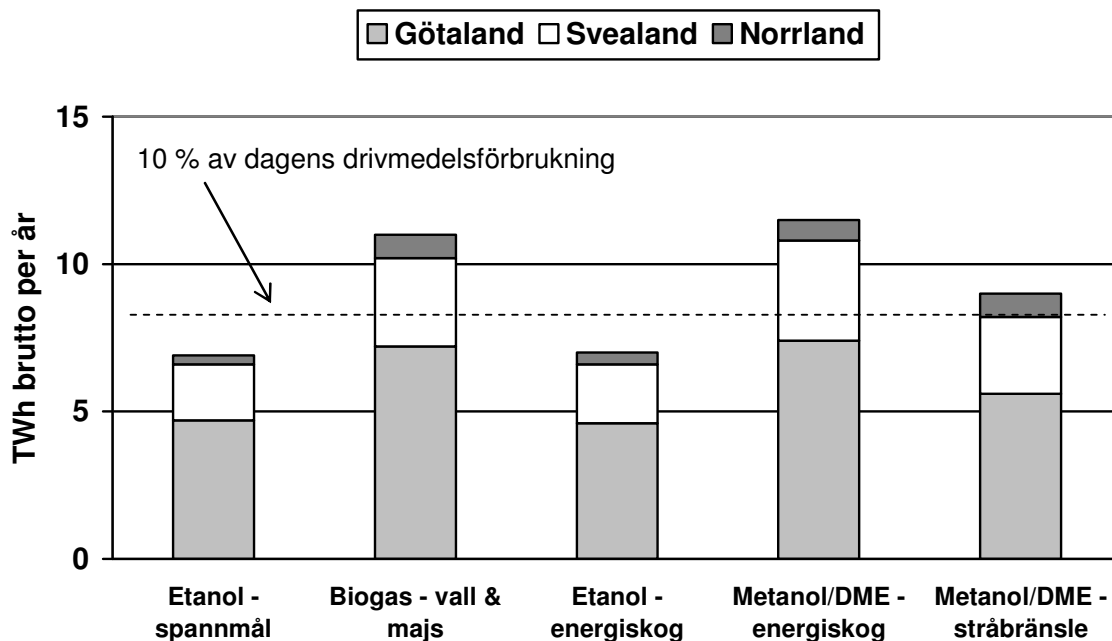
Genom fortgående växtförädling och utveckling av odlingsteknik antas avkastningen av såväl livsmedelsgrödor som energigrödor kunna öka i framtiden. En uppskattning är att förädlingspotentialen är något högre för energigrödor än traditionella livsmedels- och fodergrödor under de närmaste 10 till 20 åren. I Börjesson (2007) beskrivs detta mer utförligt samt redovisas ett räkneexempel om hur mycket mer bioenergi som kan produceras kring 2020 jämfört med idag på samma åkerareal. En uppskattning är att avkastningen från odlingar av energiskog av olika slag och stråbränslen för energiändamål kan vara upp till cirka 25 % högre kring 2020 jämfört med dagens produktionsförhållanden. Detta i sin tur innebär ett minskat behov av åkermark för att producera motsvarande mängd biomassa. I stället för 600.000 hektar energiskogsodling som antas krävas i figur 10.1 behövs endast cirka 470.000 hektar kring 2020 (cirka 17 % av dagens totala åkerareal) för att producera cirka 20 TWh biobränslen för utbyggda fjärrvärme- och kraftvärmesystem. Om inte behovet av inhemskt producerade livsmedels- och fodergrödor ökar frigörs således ytterligare åkermark som potentiellt kan utnyttjas för energiodling.



Figur 10.1. Behov av åkermark för odling av energiskog (maximalt halva arealen salix och resterande del poppel, hybridasp och gran) med dagens produktionsförutsättningar för att tillgodose ett uppskattat biobränslebehov för utbyggd fjärrvärme- och kraftvärmeproduktion kring 2020. Som jämförelse anges hur mycket stråbränslen (hälften rörflen och resterande del helsäd och hampa) som kan produceras på motsvarande areal, samt tillgången på halm för energiändamål baserat på dagens spannmåls- och oljeväxtodling. Dessutom anges ett exempel på hur mycket biobränslen som kan produceras på 200.000 hektar nedlagd jordbruksmark med medelbonitet när poppel, hybridasp och gran odlas (se text för utförligare förklaringar av förutsättningar).

I Figur 10.2 illustreras hur mycket biodrivmedel (brutto) som kan produceras på motsvarande areal som diskuteras ovan, d v s 600.000 hektar åkermark. I figuren inkluderas inga biprodukter (se t ex Figur 8.6 i avsnitt 8) eller behov av insatsenergi som beskrivs i avsnitt 5.3. Om 600.000 hektar genomsnittlig åkermark jämnt fördelat över landet utnyttjas för spannmålsodling kan cirka 7 TWh (brutto) etanol produceras. Detta motsvarar cirka 8,5 % av nuvarande drivmedelsanvändning inom transportsektorn. Nettoutbytet av etanol blir cirka 7 % lägre när den diesel som använts i produktionskedjan dras ifrån (se Figur 8.2). Om vall och majs (södra Sverige) odlas som råvara för biogasproduktion kan cirka 11 TWh (brutto) biogas produceras (netto - 8 %). Om energiskog i form av salix (maximalt på halva arealen), poppel, hybridasp och gran odlas och utnyttjas för etanolproduktion uppskattas ungefär lika mycket drivmedel produceras som när spannmål utnyttjas (brutto cirka 7 TWh och netto - 4 %). Om motsvarande biomassa utnyttjas för produktion av metanol eller DME via förgasning uppskattas cirka 11,5 TWh (brutto) drivmedel kunna produceras (netto - 4 %). Detta motsvarar cirka 14 % av dagens drivmedelsförbrukning. När i stället stråbränslen utnyttjas som råvara (hälften rörflen och resterande del helsäd och hampa) för metanol/DME-produktion minskar drivmedelsproduktionen till cirka 9 TWh (netto - 6 %). Cirka 65 % av drivmedelsproduktionen beräknas ske i Götaland, 25-30 % i Svealand samt 5-10 % i Norrland.

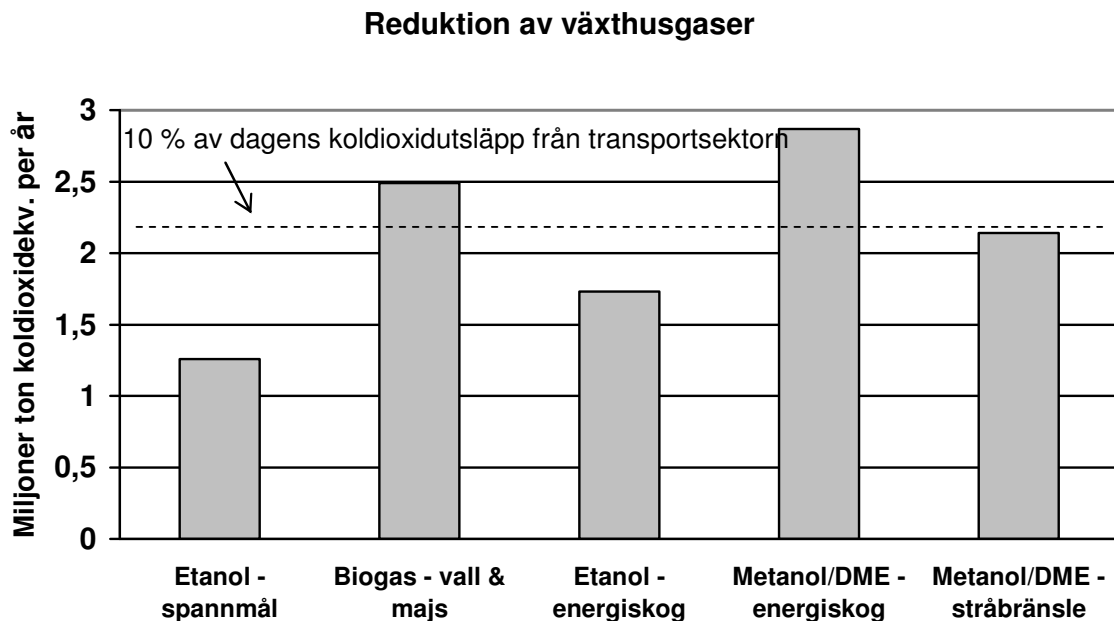
Vid förgasning av lignocellulosa eftersträvas i första hand råvaror som har så litet innehåll av näringsämnen som möjligt (kväve, fosfor, kalium o s v) som t ex finns i gröna delar som barr och blad. Därför är det lämpligt att utnyttja framför allt stamved och torkad grot (grenar och toppar) och om stråbränslen som rörflen och hampa utnyttjas bör dessa vara skördade på vårvintern. Hetsäd innehåller näringsämnen i kärnan men en bedömning är att denna råvara bör vara ungefär jämförbar med t ex halm vid förgasning (Augustsson, 2007).



Figur 10.2. Bruttoproduktion av biodrivmedel från 600.000 hektar åkermark (d v s 22 % av dagens åkermarksareal) utifrån dagens produktionsförutsättningar. Biprodukter från etanolproduktion (drank och lignin) samt energiinsatser för respektive produktionssystem är inte inkluderade (se avsnitt 5.3).

I Figur 10.3 illustreras hur stor reduktion av växthusgaser de olika drivmedelskedjorna i Figur 10.2 kan medföra när dessa ersätter bensin. Detta räkneexempel bygger på relativt grova antaganden baserat på genomsnittlig energi- och gödslingsintensitet för de olika produktionssystemen. Reduktionen av växthusgaser per kWh drivmedel baseras på Figur 8.5 som kompletteras med data för biogas från vall och majs, etanol från energiskog samt metanol/DME från stråbränsle. Energiinsats i form av värme och el i produktionssystemen antas vara förnybara, t ex biobränslen, medan energiinsatsen i form av drivmedel antas vara diesel. Utsläppen av koldioxid från denna dieselanvändning inkluderas i beräkningarna. Hur stor insats av diesel som krävs för de olika biodrivmedelssystemen redovisas i Figur 8.2.

Som framgår av Figur 10.3 uppgår reduktionen av växthusgaser med mellan ungefär 1,3 till 2,9 miljoner ton koldioxid per år beroende av vilken drivmedelskedja som avses. Störst reduktion fås för metanol/DME från energiskog, följt av biogas från vall och majs, metanol/DME från stråbränsle, etanol från energiskog och till sist etanol från spannmål. Som jämförelse uppgår Sveriges totala utsläpp av koldioxid till cirka 57 miljoner ton varav transportsektorn svarar för cirka 22 miljoner ton (Energimyndigheten, 2005). Reduktionen av växthusgaser i detta räkneexempel motsvarar således cirka 6 % upp till 13 % av dagens utsläpp från transportsektorn.

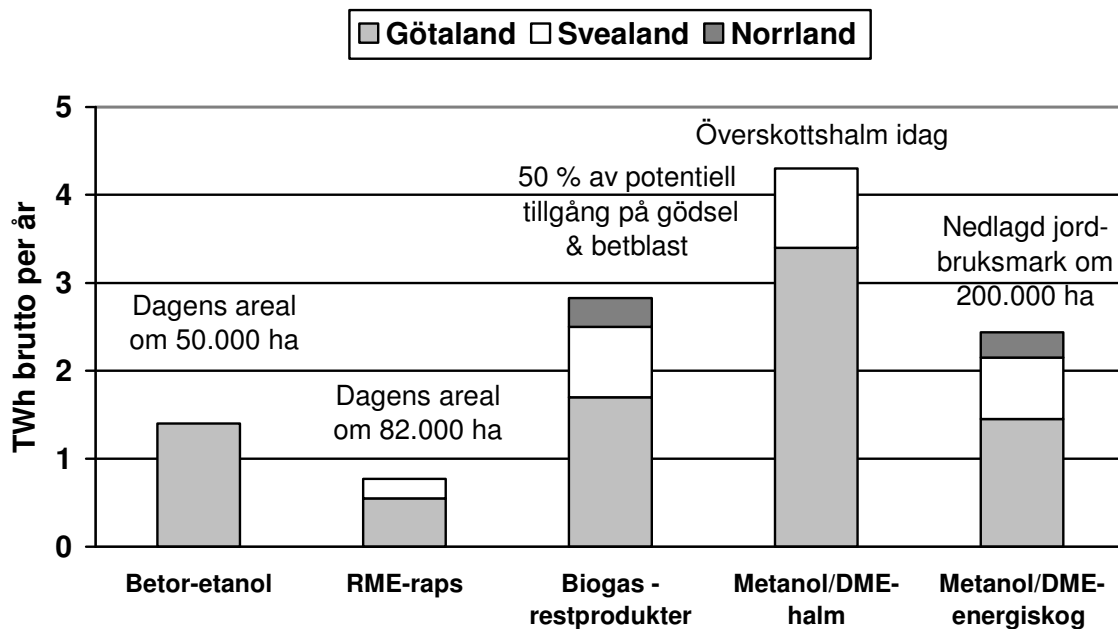


Figur 10.3. Reduktion av växthusgaser när biodrivmedel från 600.000 hektar åkermark (se Figur 10.2) ersätter bensin. Energiinsatser i form av värme och el antas vara förnybara medan insatser i form av drivmedel antas vara fossila (se text för ytterligare förklaringar).

Förutom de exempel på produktionskedjor för drivmedel som illustreras i Figur 10.2 kan också andra bioråvaror utnyttjas för drivmedelsproduktion. I Figur 10.4 ges några räkneexempel kring hur mycket drivmedel som skulle kunna produceras från dagens odling av sockerbetor och oljeväxter, från restprodukter som gödsel, betblast och halm, samt från nedlagd jordbruksmark som utnyttjas för odling av poppel, hybridasp och gran. Från dagens sockerbetsodling skulle teoretiskt knappt 1,5 TWh brutto etanol kunna produceras vilket är ungefär dubbelt så mycket som den potentiella RME-produktionen från dagens oljeväxtodling, trots att arealen oljeväxtodling är två tredjedelar större än arealen sockerbetsodling (se Figur 10.4). Om hälften av den fysiska/tekniska biogaspotentialen från gödsel och betblast utnyttjas kan knappt 3 TWh brutto drivmedel produceras. Om dagens uppskattade potential av överskottshalm för energiändamål utnyttjas för förgasning kan drygt 4 TWh brutto metanol/DME teoretiskt produceras. Från 200.000 nedlagd

jordbruksmark med medelgod bonitet kan teoretiskt cirka 2,5 TWh brutto metanol/DME produceras när energiskog i form av poppel, hybridasp och gran (gödslad) odlas.

Som redovisas i Figur 8.5 kan biogasproduktion från gödsel leda till en stor reduktion av växthusgaser genom att spontana metanutsläpp från gödsellagring kan reduceras samtidigt som fossila bränslen kan ersättas. Om 2,5 TWh biogas produceras från gödsel uppskattas grovt detta kunna leda till en växthusgasreduktion om ungefär 1,2 miljoner ton koldioxidekvivalenter när bensin ersätts. Denna reduktion motsvarar ungefär drygt 5 % av dagens koldioxidutsläpp från transportsektorn.

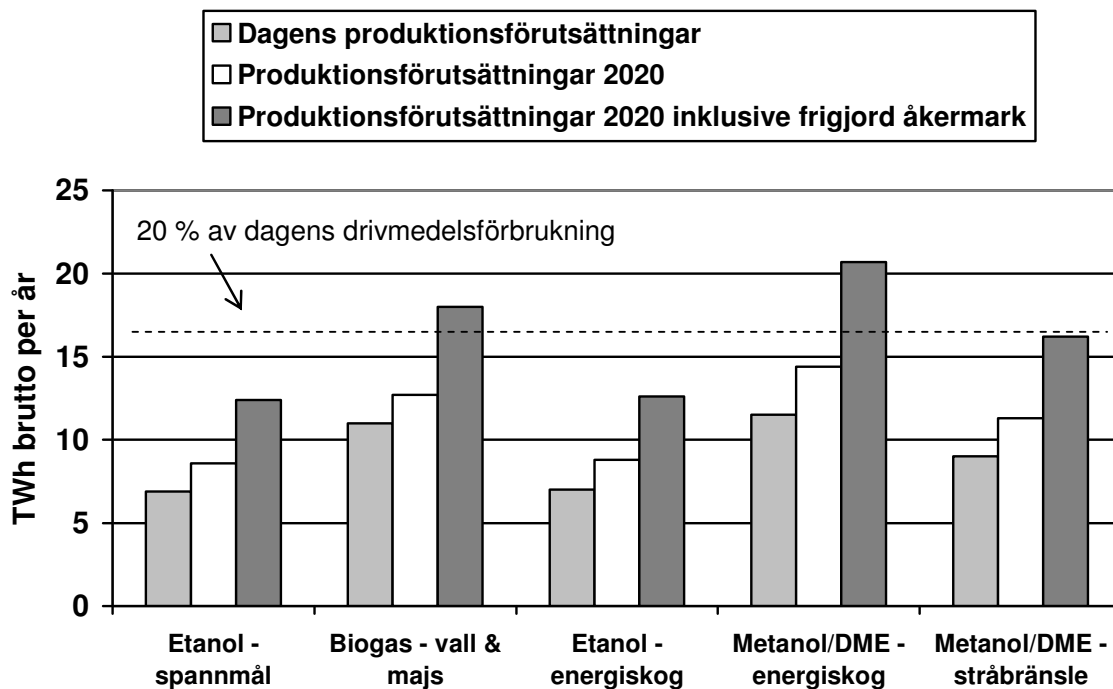


Figur 10.4. Bruttoproduktion av drivmedel från dagens odlingsareal av sockerbetor och oljeväxter, från gödsel och betblast när halva den fysiska/tekniska potentialen utnyttjas och från överskottshalm från dagens spannmåls- och oljeväxtodling samt från 200.000 hektar nedlagd jordbruksmark med medelgod bonitet (se text för utförligare förklaringar av förutsättningar).

Som diskuteras ovan bedöms fortgående växtförädling och utveckling av odlingsteknik medföra att avkastningen av såväl livsmedelsgrödor som energigrödor ökar i framtiden. En uppskattning är att avkastningen av flertalet energigrödor kan öka med i genomsnitt cirka 2 % per år till 2020 jämfört med dagens produktionsförhållanden medan motsvarande skördeökningar för traditionella livsmedels- och fodergrödor bedöms bli något lägre, cirka 1 % per år (se Börjesson, 2007). Om behovet av inhemskt producerade livsmedels- och fodergrödor förblir konstant kan teoretiskt ytterligare knappt 10 % åkermark frigöras för energiproduktion. I Figur 10.5 illustreras hur bruttoproduktionen av biodrivmedel kan öka fram

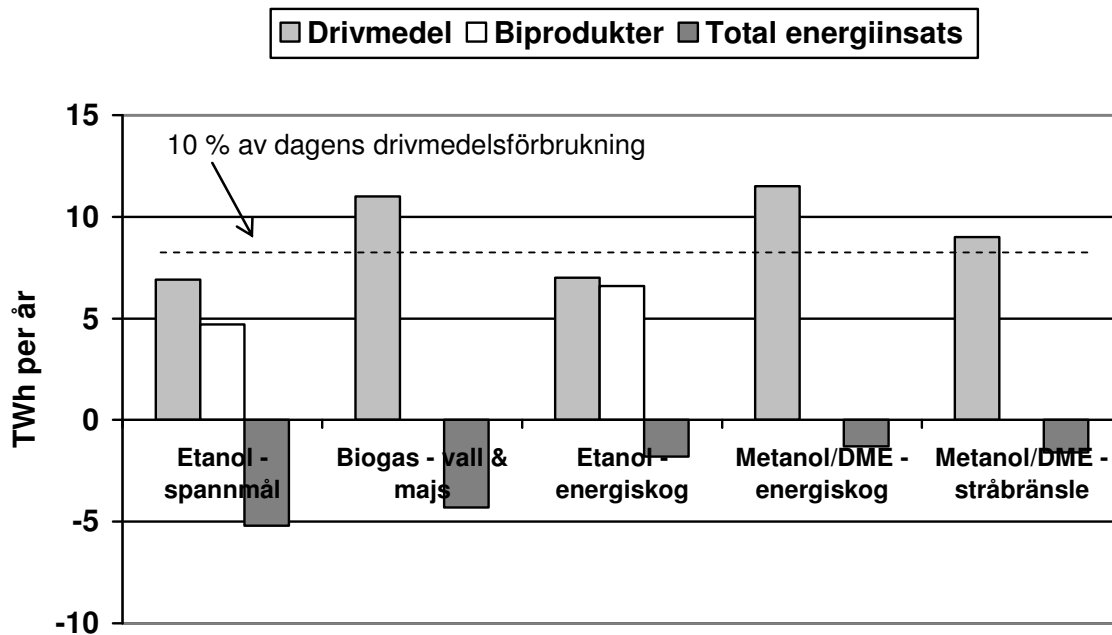
till 2020 baserat på dessa antaganden. Arealen åkermark antas även i detta räkneexempel uppgå till 600.000 hektar samt till 850.000 hektar när också frigjord åkermark inkluderas.

Jämfört med bruttoproduktionen av biodrivmedel under dagens produktionsförutsättningar (vars staplar motsvarar de som presenteras i Figur 10.2) bedöms produktionen kunna öka med ungefär 25 % till 2020 tack vare förbättrade produktionsförutsättningar (se Figur 10.5). Om dessutom potentiellt frigjord åkermark om cirka 250.000 inkluderas (tack vare förbättrade produktionsförutsättningar för livsmedels- och fodergrödor) kan bruttoproduktionen öka med upp till 80 % kring 2020 jämfört med dagens produktionsförutsättningar. Detta i sin tur skulle innebära att bruttoproduktionen av biogas från vall och majs eller metanol/DME från stråbränslen teoretiskt skulle kunna utgöra ungefär 20 % av dagens drivmedelsförbrukning. Metanol/DME från energiskog skulle kunna utgöra en ännu större andel, cirka 25 %. I dessa fall utnyttjas drygt 30 % av dagens åkermarksareal.



Figur 10.5. Bruttoproduktion av biodrivmedel från 600.000 hektar åkermark utifrån dagens produktionsförutsättningar respektive uppskattade produktionsförutsättningar 2020, samt från 850.000 hektar som inkluderar teoretisk frigjord åkermark för energiproduktion när behovet av inhemskt producerade livsmedels- och fodergrödor är konstant. Biprodukter från etanolproduktion (drank och lignin) samt energiinsatser för respektive produktionssystem är inte inkluderade (se avsnitt 5.3).

I Figur 10.6 redovisas bruttoproduktionen av drivmedel från 600.000 hektar åkermark med dagens produktionsförutsättningar (se Figur 10.2) tillsammans med produktionen av biprodukter i form av drank och ligninrest vid etanolproduktion från spannmål respektive lignocellulosa samt den totala energiinsatsen som krävs för respektive produktsystem. När ungefär 7 TWh etanol produceras från 600.000 hektar spannmålsodling genereras samtidigt knappt 5 TWh drank. Cirka 15 till 20 % av denna mängd drank antas kunna utnyttjas som foder i dagens djurproduktion medan resterande del antas utnyttjas för energiändamål (se avsnitt 7.3.1). Behovet av energi för att driva detta produktsystem uppskattas till drygt 5 TWh (inklusive torkning av drank), d v s ungefär i samma storleksordning som biprodukternas energiinnehåll. För att producera drygt 11 TWh biogas från vall och majs krävs en energiinsats om drygt 4 TWh. Motsvarande energibehov för att producera 11,5 TWh metanol/DME från energiskog och 9 TWh från stråbränsle beräknas till cirka 1,3 respektive 1,6 TWh. När 600.000 hektar åkermark utnyttjas för energiskogsbaserad etanolproduktion kan cirka 7 TWh etanol och ungefär lika mycket ligninrest produceras. Energinbehovet för detta produktsystem uppskattas till knappt 2 TWh, d v s ungefär 25 till 30 % av biproduktens energiinnehåll. Ligninresten kan sedan utnyttjas för olika energiändamål som t ex samproduktion av el och värme (se t ex avsnitt 6.2).



Figur 10.6. Bruttoproduktion av biodrivmedel från 600.000 hektar åkermark (d v s 22 % av dagens åkermarksareal) utifrån dagens produktionsförutsättningar samt produktion av biprodukter och totala energiinsatser för respektive produktsystem.

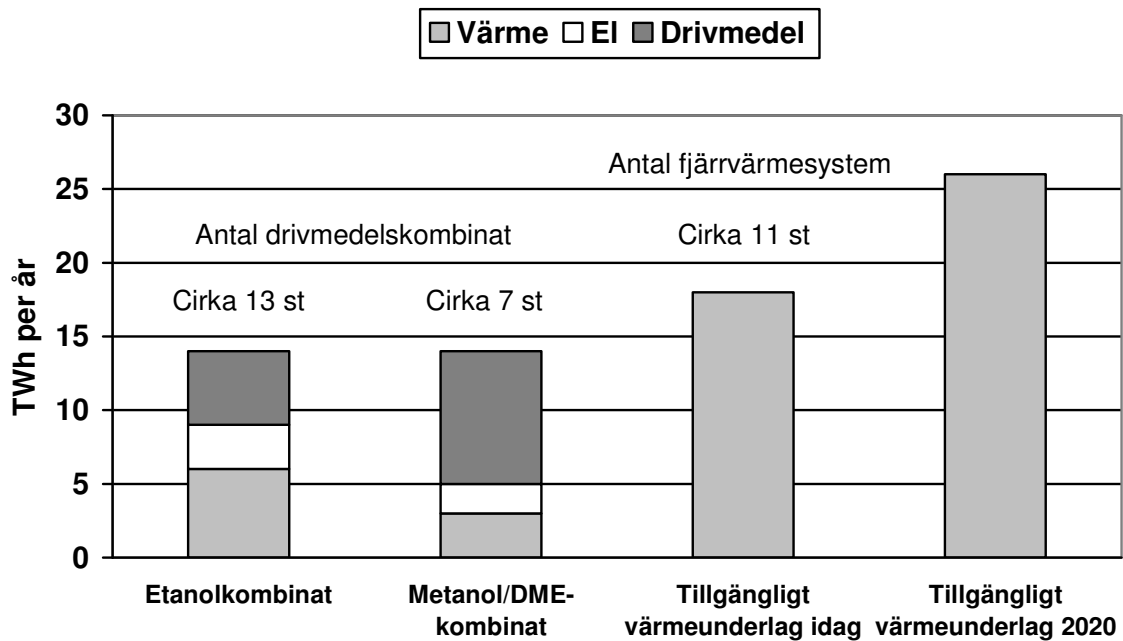
I kapitel 6 redovisas olika exempel på energikombinat där biodrivmedel produceras tillsammans med andra energibärare som el, värme och pellets. I avsnitt 7.4 analyseras de regionala tekniska/fysiska förutsättningarna för att implementera dessa kombinat. En grov slutsats från dessa olika exempel är att energikombinat baserat på lignocellulosa ofta beräknas få en totalverkningsgrad kring 70 %. Andelen drivmedel som produceras är högre för förgasning, ofta kring cirka 40-45 % för metanol/DME, jämfört med jäsning till etanol där utbytet beräknas vara kring 20-25 %. Andelen el kan vara relativt lika, cirka 10-15 %, medan andelen värme antas vara högre för etanol än för metanol/DME. Storleken på anläggningarna bedöms också skilja där ett genomsnittligt etanolkombinat antas förbruka cirka 1,5 TWh biomassa per år medan en genomsnittlig förgasningsanläggning antas vara ungefär dubbelt så stor och förbruka cirka 3 TWh per år.

I följande räkneexempel antas utbytet av överskottsvärme vara i genomsnitt cirka 30 % i etanolkombinat respektive cirka 15 % i metanol/DME-kombinat. Den totala värmeproduktionen blir ungefär lika i absoluta tal, cirka 450 GWh värme per år. Som beskrivs i avsnitt 7.4 antas värmeöverskottet i ett drivmedelskombinat framför allt fungera som baslast i fjärrvärmesystem och utgöra cirka 50 % av totala värmeleveransen. Detta innebär i sin tur att lämpliga fjärrvärmesystem bör motsvara minst 900 GWh levererad värme per år. I Figur 10.7 redovisas ett räkneexempel där 600.000 hektar energiskog utnyttjas som råvara till två olika typer av drivmedelskombinat, ett baserat på etanolproduktion och ett baserat på förgasning och metanol/DME-produktion. Dessutom illustreras den tekniskt/fysiska tillgången på värmeunderlag i fjärrvärmesystem.

Som framgår av Figur 10.7 bedöms 20 TWh biomassa från 600.000 hektar energiskog kunna generera cirka 5 TWh etanol, 3 TWh el och 6 TWh värme i 13 stycken etanolkombinat. Som jämförelse finns idag 11 stycken fjärrvärmesystem som antas vara tillräckligt stora för att ta emot detta värmeöverskott, d v s något färre än antalet etanolkombinat. Dessa fjärrvärmesystem levererar idag totalt cirka 18 TWh värme, d v s tre gånger så mycket som den potentiella värmeproduktionen i etanolkombinat. Om 20 TWh energiskog i stället utnyttjas i metanol/DME-kombinat bedöms cirka 9 TWh drivmedel, 2 TWh el och 3 TWh värme kunna produceras i 7 stycken anläggningar. Denna värmeproduktion motsvarar cirka 17 % av den totala värmeleveransen i de fjärrvärmesystem som bedöms vara tillräckligt stora för att ta emot detta värmeöverskott idag. Genom en fortsatt utbyggnad av fjärrvärme- och kraftvärmeproduktion bedöms det potentiella värmeunderlaget för drivmedelskombinat kunna öka med drygt 40 % till 2020 och motsvara cirka 26 TWh värme per år. Denna grova uppskattning baseras på att cirka 35-40 % av den totala tekniska/fysiska ökade avsättningspotentialen om cirka 20 TWh biomassa bedöms återfinnas i fjärrvärmesystem som levererar minst 900 GWh värme per år, utifrån dagens fördelning av storlek på fjärrvärmesystem och total leverans av fjärrvärme. Detta ökade värmeunderlag är drygt 4 och drygt 8 gånger större än den potentiella produktionen av överskottsvärme i etanol- respektive metanol/DME-kombinat enligt ovan.

Som tidigare diskuterats i avsnitt 7.4.2 bedöms de praktiska möjligheterna att integrera drivmedelskombinat med fjärrvärmesystem minska ju större värmeöverskott som fås. De stora fjärrvärmesystem som antas krävas

i räkneexemplet ovan återfinns i Sveriges större städer där en lokalisering av större drivmedelskombinat kan vara problematiskt. Detta räkneexempel indikerar också att trots att metanol/DME-kombinat uppskattas bli ungefär dubbelt så stora som etanolkombinat kan den totala produktionen av överskottsvärme bli hälften så stort vilket bör medföra större möjligheter att integrera metanol/DME-kombinat med fjärrvärmesystem. Förutom att integrera biodrivmedelskombinat med fjärrvärmesystem bör det också finnas stora möjligheter att integrera med skogsindustrier, t ex massabruk och större sågverk. Detta har inte analyserats i denna studie men bör undersökas mer utförligt i kommande studier.

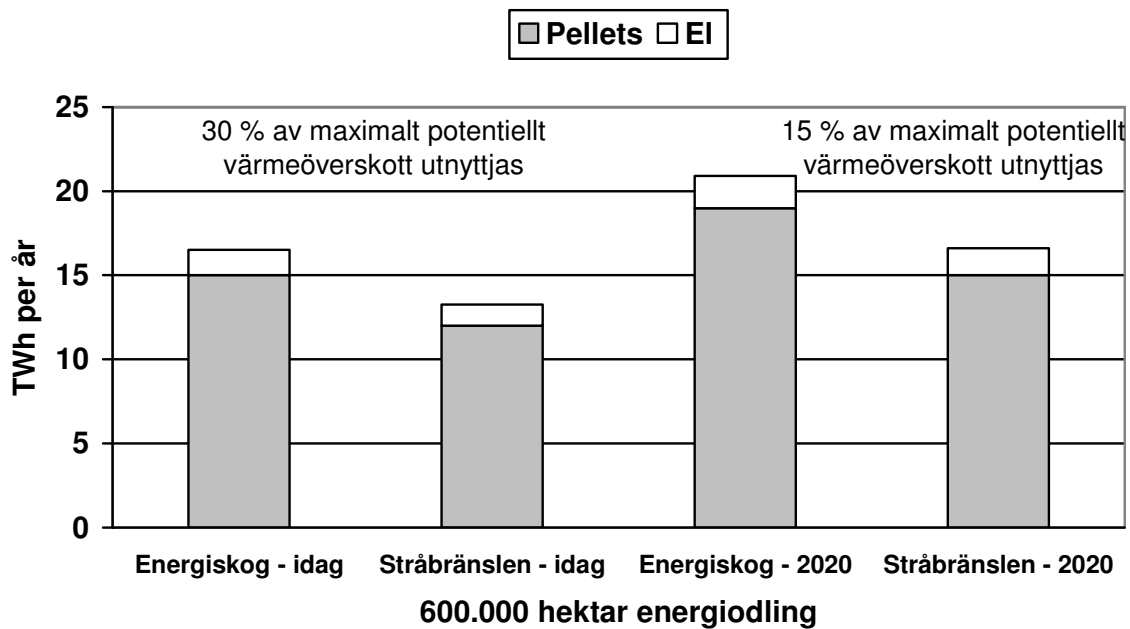


Figur 10.7. Produktion av biodrivmedel, el och värme i energikombinat från 600.000 hektar energiskog (dvs 22 % av dagens åkermarksareal) utifrån dagens produktionsförutsättningar samt tillgängligt värmeunderlag i fjärrvärmesystem större än 900 GWh värmeleverans per år idag respektive i utbyggda system kring 2020.

I avsnitt 6.6 och 7.4.3 diskuteras hur potentiella värmeöverskott i befintliga kraftvärmeverk kan utnyttjas för olika ändamål, t ex produktion av pellets eller biodrivmedel. I detta sista räkneexempel illustreras hur mycket pellets som kan produceras från färsk biomassa, t ex från ved eller stråbränslen som rörfen, när dagens respektive ett framtida potentiellt värmeöverskott i kraftvärmeverk utnyttjas för torkning och pelletering. I dessa kombinat antas att energibehovet för torkning och pelletering av färsk biomassa motsvarar cirka 20 % det färdiga pelletbränslets energiinnehåll (se avsnitt 6.6). Om 600.000 hektar energiskogsodling som producerar ungefär 20 TWh biobränsle per år utnyttjas för detta kombinatkoncept kan teoretiskt cirka 15 TWh pellets och 1,5 TWh el produceras samtidigt som cirka 3 TWh överskottsvärme använts för pelletsproduktionen (Figur 10.8). Detta motsvarar ungefär 30 % av dagens teoretiskt maximala potential av

överskottsvärme i befintliga kraftvärmeverk (se avsnitt 7.4.3). Om stråbränslen odlas i stället för energiskog på 600.000 hektar beräknas den totala produktionen av pellets och el bli drygt 20 % lägre.

I Figur 10.8 illustreras även hur motsvarande produktion kan se ut kring 2020 när hänsyn tas till de produktionsförutsättningar som då bedöms gälla, d v s högre skördenivåer tack vare växtförädling och förbättrad odlingsteknik. En grov uppskattning är att produktionen av pellets och el kan öka med cirka 25 % när samma odlingsareal utnyttjas. Kring 2020 antas samtidigt kraftvärmeproduktionen ha byggts ut och den maximala potentialen uppskattas vara cirka tre gånger högre jämfört med idag (se avsnitt 7.2). Detta innebär att trots att produktionen av pellets och el antas öka minskar andelen överskottsvärme som behövs för denna produktion. I detta fall antas cirka 15 % av den maximala överskottsproduktionen av värme att utnyttjas. Som jämförelse bedömdes i en förstudie vid Ena Energi i Enköping att cirka 10 % av det potentiella värmeöverskottet skulle kunna användas för produktion av pellets (se avsnitt 7.4.3).



Figur 10.8. Produktion av pellets och el från 600.000 hektar energiodling med hjälp av potentiella värmeöverskott i dagens kraftvärmeanläggningar och i utbyggda system kring 2020. Energiodling avser dels energiskogsodling (maximalt halva arealen salix), dels stråbränsleodling (framför allt rörflen) med dagens respektive uppskattade produktionsförutsättningar kring 2020.

11 Slutsatser och diskussion

Biobränslen från jordbruket som restprodukter och energigrödor kan utnyttjas för olika energiändamål som produktion av värme, el eller drivmedel. Från ett hektar åkermark kan upp till 40 MWh värme fås via storskalig förbränning av energiskog (salix och poppel) och helsäd odlade i Götalands södra slättbygder. Om vårskördad hampa utnyttjas kan cirka 25 MWh värme fås och från småskalig förbränning av havrekärna cirka 20 MWh. Om vall eller majs utnyttjas för biogasproduktion blir nettoutbytet av värme mellan 15 och 20 MWh per hektar. Ett hektar halm ger mellan 12 till 15 MWh värme. I Götalands mellanbygder sjunker nettoutbytet av värme per hektar något, speciellt för energiskog som påverkas relativt mycket av lägre nederbörd i sydöstra Sverige. Här ger helsäd högst nettoutbyte av värme per hektar. I Götalands norra slättbygder ger energiskog (salix och poppel) högst nettoutbyte av värme, kring 35 MWh. Ett hektar energiskog (salix och hybridasp) ger mellan 25 och 30 MWh värme i Svealands slättbygder.

I Götalands och mellersta Sveriges skogsbygder ger energigrödor som hybridasp, hampa (vårskördad), gran (gödslad) samt rörfen (vårskördad) alla kring 20 MWh värme per hektar och år, eller strax över. Därefter kommer helsäd följt av vall via biogas. Småskalig förbränning av havrekärna ger cirka 10 MWh värme per år. I nedre och övre Norrland ger hampa och rörfen (vårskördad) högst nettoutbyte av värme, tillsammans med hybridasp i nedre Norrland. Därefter kommer gran (gödslad), helsäd, vall via biogas samt havrekärna.

Vid storskalig kraftvärmeproduktion fås ungefär samma totala nettoutbyte av energi som vid enbart värmeproduktion enligt ovan, men i form av ungefär en tredjedel el och två tredjedelar värme. Vid småskalig kraftvärmeproduktion antas endast biogas vara ett realistiskt alternativ idag. Förutom storskalig kraftvärmeproduktion via direkt förbränning av kan också t ex vedråvara förgasas till biometan som sedan förbränns i gasturbin. Utbytet av el blir ungefär lika stort i dessa båda fall, cirka 15 MWh från energiskog (salix och poppel) i Götalands södra slättbygder, medan utbytet av värme bli betydligt lägre för förgasningsalternativet (cirka 15 MWh jämfört med cirka 25 MWh vid direkt förbränning, d v s 40 % lägre).

När energigrödor utnyttjas för drivmedelsproduktion sjunker nettoenergiutbytet i form av drivmedel ofta med 25 till 50 % jämfört med nettoenergiutbytet av värme eller kraftvärme, med undantag för biogas. Nettoutbytet av biogas som drivmedel är endast något lägre jämfört nettoutbytet av biogasbaserad värme och kraftvärme. I Götalands södra slättbygder ger biometan, metanol och DME från salix och poppel via förgasning högst nettoutbyte, mellan 25 till 30 MWh per hektar och år. Högst bruttoutbyte ger biogas från sockerbetor men nettoutbytet är betydligt lägre, drygt 20 MWh. Därefter följer FT-diesel från salix och poppel och biogas från majs (cirka 20 MWh netto), biogas från vall och vete samt etanol från salix, poppel och sockerbetor (13 till 17 MWh) samt etanol från vete och RME (cirka 6 MWh per hektar). Bruttoproduktionen är dock nästan dubbelt så hög för etanol som för RME. I övriga slättbygder följer drivmedelsutbytet i stort samma mönster som i Götalands södra slättbygder men med den skillnaden att

utbytet är generellt cirka 15-35 % lägre per hektar och år. Dessutom antas inte sockerbetor användas som råvara för drivmedelsproduktion.

I Götalands skogsbygder bedöms drivmedel från hybridasp ge högst nettoutbyte (15 till 17 MWh), följt av drivmedel från gran (gödslad). Nettoutbytet av biogas från vall uppskattas till cirka 10 MWh per hektar vilket är ungefär samma som för etanol från hybridasp och FT-diesel från gran. I mellersta Sveriges skogsbygder och i Norrland är de inbördes skillnaderna i nettoutbyte mellan olika drivmedel i stort sett liknande som i Götalands skogsbygder. Däremot är nettoutbytet per hektar cirka 10-15 % respektive 20-35 % lägre. Sammanfattningsvis ger energiskog (salix) i Götalands södra slättbygder som högst cirka 30 MWh drivmedel per hektar och år medan motsvarande högsta drivmedelsutbyte i övre Norrland är cirka 10 MWh (från gödslad gran).

Vid drivmedelsproduktion fås i vissa fall också biprodukter som kan utnyttjas för andra ändamål, t ex som foder eller som fastbränsle. Exempel är drank och pulpa vid etanolproduktion från spannmål respektive betor, rapskaka och rapsmjöl vid RME-produktion i mindre respektive större anläggningar (genom pressning respektive extraktion), samt lignin vid etanolproduktion från lignocellulosa. Ur energisynpunkt motsvarar dessa biprodukter cirka 60 % av bruttoutbytet av etanol från spannmål och sockerbetor, 80 % av bruttoutbytet av RME samt cirka 90 % av bruttoutbytet av etanol från lignocellulosa.

Genom att kombinera produktion av biodrivmedel och andra energibärare som el, värme, pellets mm kan det totala nettoenergiutbytet per hektar öka. Ett exempel är samproduktion av etanol och biogas från spannmål. Om drank rötas i stället för torkas till foder ökar nettoutbytet av drivmedel per hektar med cirka 70 %. Ett problem med detta koncept vid storskalig produktion av etanol är att mycket stora mängder rötrest produceras vilket kräver stora spridningsarealer och relativt långa transportavstånd. Om t ex dranken i en utbyggd etanolanläggning i Norrköping skulle rötas krävs cirka 25 % av Östergötlands totala åkermark som spridningsareal och det genomsnittliga transportavståndet beräknas till cirka 6 mil. Jämfört med dagens största biogasanläggningar blir rötrestproduktionen i en utbyggd Norrköpingsanläggning cirka 20 till 30 gånger större och transportavståndet 3 till 6 gånger längre. En bedömning är därför att samproduktion av etanol och biogas framför allt passar i mindre anläggningar eller i större anläggningar där enbart delströmmar utnyttjas. Ett annat alternativ är effektivare teknik för hantering och transport av rötrest, t ex via pumpning i rörledningar eller separering av rötresten i en fast och en flytande del. Ett annat alternativ vid begränsad avsättning av drank som foder är att torka och pelletera denna och utnyttja den för värmeproduktion. Jämfört med nettoutbytet av drivmedel vid samproduktion av etanol och biogas blir det sammanlagda nettoutbytet av drivmedel och värme drygt 10 % högre när dranken utnyttjas som bränsle. Däremot blir nettoutbytet av enbart drivmedel per hektar cirka 60 % lägre.

Vid produktion av etanol från lignocellulosa (t ex energiskog i olika former) kan biprodukten lignin utnyttjas för produktion av pellets eller el och värme. Om t ex etanol samproduceras med el och värme kan det totala nettoenergiutbytet per hektar i stort sett fördubblas jämfört med när enbart drivmedel produceras. Samtidigt sjunker utbytet av drivmedel per hektar vid samproduktion. Jämfört med värme- eller kraftvärmeproduktion blir det totala energiutbytet vid samproduktion med etanol cirka 20 % lägre. Vid förgasning av lignocellulosa till olika drivmedel kan också samproduktion med el och värme ske. På samma sätt som för etanol ökar normalt totalverkningsgraden medan utbytet av drivmedel minskar något.

De drivmedelskombinat som har högst totalverkningsgrad, kring 70 %, genererar ofta en stor andel värme vilket förutsätter ett stort värmeunderlag för att få avsättning för denna värme. Eftersom en storskalig produktionsanläggning för biodrivmedel, t ex ett förgasnings- eller etanolkombinat, förväntas producera drivmedel, el och värme jämnt över året krävs stora fjärrvärmesystem för att få avsättning av värmen även under sommarhalvåret. En grov uppskattning är att den totala värmeproduktionen i ett fjärrvärmesystem bör vara minst dubbelt så stor som värmeproduktionen i ett drivmedelskombinat för att denna överskottsvärme ska fungera som baslast året om i fjärrvärmesystemet. Stora drivmedelskombinat kan därför kräva fjärrvärmesystem som är i storleksordningen 1 TWh fjärrvärmeleverans per år eller mer, vilket ungefär motsvarar de tio största fjärrvärmenäten i Sverige idag. Dessa stora fjärrvärmesystem återfinns i Sveriges största tätorter där en lokalisering av ett storskaligt drivmedelskombinat kanske kan vara problematiskt. En annan möjlighet är att integrera med skogsindustrier, t ex massabruk och större sågverk, men detta har inte undersökts närmare i denna studie utan behöver analyseras vidare.

Ett alternativ är att minska värmeöverskottet och öka drivmedels- och/eller elproduktionen i ett energikombinat. Samtidigt minskar då totalverkningsgraden något och kan bli kring 60 till 65 %, ibland lägre. I dessa fall krävs mindre fjärrvärmesystem som för vissa kombinat endast behöver vara i storleksordningen 0,2 TWh fjärrvärmeleverans per år, vilket motsvarar cirka 50 fjärrvärmenät i Sverige idag. Detta innebär samtidigt att möjligheterna att samlokalisera drivmedels- och kraftvärmeproduktion bör öka väsentligt. Pelletskombinat under utveckling visar att samproduktion av pellets, el och värme kan ske med en mycket hög totalverkningsgrad samtidigt som värmeöverskottet hålls lågt. En anledning till detta är att ångan som genereras vid torkning utnyttjas på ett så effektivt sätt som möjligt genom optimerad elproduktion och därefter värmeproduktion. Detta koncept är lämpligt i områden med stor tillgång på bioråvara (t ex vedråvara) och som har ett begränsat värmeunderlag. Dessa kombinat kräver fjärrvärmesystem som har en fjärrvärmeleverans kring endast cirka 80 GWh per år, vilket motsvarar knappt 100 fjärrvärmenät idag.

En annan möjlighet är att utnyttja befintliga kraftvärmeverk och integrera dessa med t ex produktion av drivmedel, pellets mm. Idag utnyttjas inte dessa kraftvärmeverk fullt ut för elproduktion eftersom det finns en begränsad avsättning av värme under sommarhalvåret. Detta potentiella värmeöverskott skulle t ex kunna utnyttjas för torkning av vedråvara eller stråbränslen som sedan pelleteras. En teoretisk beräkning visar att

med dagens potentiella värmeöverskott i befintliga kraftvärmeverk skulle flera tiotals TWh pellets kunna produceras. En mer realistisk och praktisk uppskattning är mellan 5 till 10 TWh pellets när endast en mindre andel av det potentiella värmeöverskottet utnyttjas. Samtidigt ökar också elproduktionen. Eventuellt kan värmeöverskottet också utnyttjas för t ex produktion av etanol från spannmål. Om t ex 20 till 25 % av det potentiella värmeöverskottet utnyttjas för etanolproduktion skulle dagens kraftvärmeverk teoretiskt kunna producera cirka 2,5 TWh etanol och ytterligare knappt 1 TWh el. Som jämförelse produceras cirka 5 TWh el i dagens kraftvärmeverk och en utbyggd etanolanläggning i Norrköping kommer att producera cirka 1,2 TWh etanol.

Åkermarksbehovet för produktion av vedråvara till etanol- och metanol/DME-anläggningar uppskattas till 20.000-30.000 hektar respektive 60.000-100.000, beroende av vilken typ av energiskog som utnyttjas (salix, poppel eller hybridasp) samt var produktionen sker (Götalands södra slättbygder, Götalands norra slättbygder eller Svealands slättbygder). Tillförseln av biomassa uppskattas till cirka 1 TWh per år till etanolanläggningar respektive cirka 3 TWh till metanol/DME-anläggningar. Som jämförelse krävs cirka 100.000 hektar spannmålsodling för att förse den utbyggda etanolanläggningen i Norrköping med råvara, vilket motsvarar cirka 2,4 TWh spannmål. Åkermarksbehovet för att producera raps till dagens största RME-anläggning (Karlshamn) uppgår till cirka 40.000 hektar, vilket motsvarar cirka 0,8 TWh rapsfrö. Om stråbränslen som rörfen (vårskördad) utnyttjas vid drivmedelsproduktion i stället för energiskog ökar arealbehovet med mellan 50 till 100 % beroende av produktionsområde. Om halm utnyttjas blir arealbehovet knappt 3 gånger större i södra Sverige jämfört med när energiskog utnyttjas.

Det finns stora regionala skillnader i förutsättningarna för att öka avsättningen av biobränslen för fjärrvärme- och kraftvärmeproduktion. En grov uppskattning är att de tekniska förutsättningarna för att öka användningen av biobränslen för fjärrvärme- respektive elproduktion via kraftvärme uppgår till vardera cirka 10 TWh fram till år 2020. Av denna tekniska avsättningspotential om cirka 20 TWh återfinns knappt hälften i Stockholms län, cirka en fjärdedel i Skåne län samt en stor andel i Västra Götalands län och övriga delar av Mälardalen. Med undantag för Stockholms län sammanfaller dessa regionala förutsättningar för biobränsleavsättning relativt väl med de regionala produktionsförutsättningarna för jordbruksbaserade biobränslen. Tätbefolkade områden med stora fjärrvärmesystem sammanfaller således ofta med utpräglade jordbruksbygder.

Förutom att öka användningen av jordbruksbaserade biobränslen för fjärrvärme- och kraftvärmeproduktion kan också användningen av skogsbränslen öka. De regionala förutsättningarna för ett ökat skogsbränsleuttag skiljer också relativt mycket mellan olika län. I utpräglade jordbrukslän är de tekniska/fysiska förutsättningarna för ett ökat skogsbränsleuttag relativt små. I utpräglade skogslän dominerar dock skogsbränslepotentialen stort även när en stor andel av länets åkermark utnyttjas för energiproduktion. Ett alternativ till inhemsk produktion av biobränslen är import. Eftersom import av biobränslen till allra största

delen sker, och förväntas ske, via båttransport är en förutsättning att det finns tillgång på hamnar och att dessa är lämpliga för hantering av biobränslen. En bedömning är att dagens förutsättningar för att importera fasta biobränslen med båt är som allra bäst i Västra Götaland och Skåne, följt av Stockholms län, d v s i de tre län som de tekniskt/fysiska förutsättningarna för att öka biobränsleanvändningen för fjärrvärme- och kraftvärmeproduktion bedöms vara som störst.

Genom att förädla biobränslen till pellets öppnar sig en stor marknad inom småskalig uppvärmning av småhus, flerbostadshus och lokaler. De tekniska förutsättningarna för att öka användning av pellets för småskalig värmeproduktion bedöms vara stora, kanske mellan 5 till 10 TWh beroende av hur stor andel som kommer att utgöras av andra uppvärmningssystem som t ex värmepumpar. Den potentiella avsättningen av pellets är som störst i Stockholms län, följt av Västra Götaland och Skåne län. Pellets skiljer sig från flis och oförädlade stråbränslen på så sätt att pellets är mindre kostnadskänsligt för ökade transportavstånd. Därför är kopplingen mellan regional produktion och regional avsättning betydligt svagare för pellets. Pellets kan också vara aktuellt för export, speciellt om transport kan ske med båt.

De regionala förutsättningarna för att producera drivmedel från jordbruksgrödor med dagens produktionssystem beror framför allt av två faktorer, dels tillgång på råvara, dels möjligheter att få avsättning för biprodukter. Idag utnyttjas biprodukter från RME- och etanolproduktion, d v s rapskaka (små anläggningar som utnyttjar pressning) och rapsmjöl (större anläggningar som utnyttjar extraktion) respektive drank, som proteinfoder vid djurproduktion. Rapsmjöl klassas idag som ett högkvalitativt proteinfoder medan kvaliteten på drank från etanolproduktion behöver förbättras för att fungera som en fullgod ersättare till dagens proteinfoder. En uppskattning är att dessa foderprodukter kan maximalt utgöra upp till cirka 15 % av totala foderkonsumtionen vilket motsvarar en teoretisk avsättningspotential om cirka 700.000 ton torrs substanshalt (ts). Inom något år kommer produktionen av drank och rapsmjöl (inklusive en mindre del rapskaka) att uppgå till cirka 230.000 ton ts i Sverige (cirka 1/3 rapsprodukter och 2/3 drank).

Oljeväxtarealen beräknas kunna öka från dagens cirka 80.000 hektar till maximalt cirka 180.000 hektar utifrån de växtföljdsrestriktioner som är aktuella idag. Om ytterligare 100.000 hektar rapsodling utnyttjas för RME-produktion fås cirka 1,2 TWh drivmedel respektive 160.000 ton ts proteinråvara. Som jämförelse uppgår dagens införsel av rapsfoderprodukter från Europa till cirka 120.000 ton ts. En ökad RME-produktion skulle således generera rapsmjöl som till största delen skulle kunna ersätta denna införsel. När det gäller RME-produktion är inhemsk produktion av rapsfrö således mer begränsande än avsättning av rapsmjöl inom inhemsk djurproduktion, utifrån dagens tekniska/biologiska förutsättningar.

När det gäller spannmålsbaserad etanol respektive drank är situationen den omvända idag. Här är avsättningen av drank som foder mer begränsande än odlingen av spannmål utifrån dagens

tekniska/biologiska förutsättningar. En bedömning är att den praktiska avsättningspotentialen för drank som foder blir uppfylld inom något år när etanolanläggningen i Norrköping är utbyggd. Denna praktiska potential motsvarar ungefär en tredjedel av den teoretiska. Vid en ytterligare ökad etanolproduktion från spannmål bedöms därför dranken framför allt utnyttjas för andra ändamål, t ex biogasproduktion eller förbränning.

Beroende av beräkningsmetodik kan olika resultat fås vad gäller energieffektivitet och energiutbyte från olika biobränslesystem. En sammanställning av svenska och internationella energianalyser av t ex bioetanol visar att energibalansen (drivmedelsutbyte / total energiinsats) kan variera relativt mycket men oftast ligga inom intervallet 1,2 till 2. De två faktorer som påverkar resultaten mest är systemgränsdragning samt allokeringmetod. Beroende på hur energiinsatsen fördelas mellan drivmedel och biprodukter fås olika resultat. Om systemgränserna utvidgas så att i detta fall biprodukten drank antas ersätta importerat sojaproteinfoder ökar energibalansen väsentligt, eftersom energiinsatsen för att producera och transportera sojaprotein är betydligt större än att producera inhemsk drank. Slutsatsen från detta är att rättvisande jämförelser endast kan göras när bakomliggande metodantaganden är lika.

Den beräkningsmetodik som används i denna studie baseras på energianalys enligt ”energy input – energy output-metoden” som utvecklades i början av 1970-talet. Två alternativa metoder är exergi- respektive emergianalys. I exergianalys beräknas inte bara energiförlusterna genom produktionssystemet utan också förluster av energikvalitet. Vid jämförelser av olika bioenergisystems energieffektivitet tillför exergianalys relativt begränsad ”merinformation” jämfört med energianalysmetoden. Anledningen är att energikvalitetsförlusterna är liknande för biobränsleproduktionssystem eftersom sammansättningen av den hjälpenergi i form av fossila bränslen, el mm som används är snarlika.

Emergianalys är en betydligt mer omfattande och tidskrävande analys än exergianalys. Emergi definieras som den ackumulerade mängd resurser som krävts för att producera en vara, tjänst eller ett bränsle. Den ackumulerade mängden resurser uttrycks vanligen som solevkvalenter, eller solemergijoule (sej). Emergi kan beskrivas som ”energiminne”, d v s minnet av den sammanlagda tillgängliga energi som använts för att frambringa produkten. Emergianalys inkluderar dels direkta insatser från naturen, t ex sol, vind och regn, dels insatser från den mänskliga ekonomin, t ex material, bränslen och mänskligt arbete. I emergianalys ingår den monetära ekonomin som ett subsystem till det övergripande ekosystemet. Emergianalys är således betydligt mer komplex än exergianalys, då förutom förlorad energikvalitet också ackumulerad förbrukning av resurser beräknas för varje processteg. Två stora brister med emergianalys är att denna har begränsad praktisk användbarhet och har svårt att uppfylla kraven transparens och konsekvent metodologi. En viktig aspekt vid systemanalys är att analyserna ska vara transparenta och inte har för långtgående aggregering, så att all information är synlig för användaren som därigenom kan kritiskt granska analysens kvalitet och relevans.

Sammanfattningsvis svarar energi-, exergi- och emergianalys på olika frågeställningar och innebörden av "energikvalitet" definieras olika. Det är därför ganska meningslöst att jämföra deras resultat med varandra då dessa måste tolkas var för sig. De metoder som nästan uteslutande utnyttjas vid bedömningar av bioenergisystem ur miljö- och resurssynpunkt är idag energianalys och livscykelanalys. En speciell form av dessa analyser är så kallade "well-to-wheel"-studier som framför allt fokusera på energieffektivitet, utsläpp av växthusgaser samt kostnader för olika biodrivmedelskedjor. En summering av dessa studiers resultat är att andra generationens drivmedel baserat på förgasning av lignocellulosa (t ex energiskog i olika former) normalt ger lägst nettoutsläpp av växthusgaser. När t ex metanol eller DME från energiskog ersätter bensen kan reduktionen av växthusgaser uppgå till kring 90 %. Motsvarande reduktion när RME ersätter diesel är ungefär 60 %. Beroende på vilken typ av insatsenergi som används vid etanolproduktion varierar reduktionen av växthusgaser. Om t ex bibränsle används, vilket är fallet för svenskproducerad etanol, kan spannmålsetanol reducera utsläppen med cirka 70 % när bensen ersätts. När naturgas används vid etanolproduktion minskar reduktionen till cirka 40 % och om lignit (brunkol) används blir utsläppen t o m högre än för bensen.

Generellt fås större koldioxidreduktion per hektar energiodling när kol och olja för el- och värmeproduktion ersätts jämfört med när bensen och diesel som drivmedel ersätts. Anledningen till detta är huvudsakligen de omvandlingsförluster som fås när biomassa konverteras till flytande och gasformiga bränslen. Om däremot fossila drivmedel börjar produceras från kol via förgasning (med ungefär samma omvandlingsförluster som vid förgasning av biomassa) ger ersättning av detta drivmedel lika hög koldioxidreduktion som när kol för el/värmeproduktion ersätts. Om fokus sätts på minskat beroende av fossila drivmedel är det intressant att se hur stor andel av energiinsatserna vid biodrivmedelsproduktion som utgörs av fossila drivmedel. Denna andel utgör oftast en mindre del av den totala energiinsatsen vid produktion av biodrivmedel, mellan 10-25 %. Nettoutbytet av drivmedel blir därför betydligt större när bruttoutbytet jämförs mot insatt drivmedel i stället för total energiinsats. Energiinsatser i form av värme och el kan oftast baseras på fasta bibränslen.

Resultat från livscykelanalyser visar att miljöpåverkan vid framställning av metanol/DME från salix, jämfört med RME och spannmålsetanol, inte bara är lägre avseende växthusgaser utan också med hänsyn till övergödning och försurning. De lägre utsläppen av växthusgaser för metanol/DME från salix beror på lägre insatser av fossil energi samt mindre behov av mineralgödsel och därmed lägre utsläpp av lustgas. Det lägre bidraget till övergödning beror framför allt på lägre kväveläckage vid odling eftersom salix är en flerårig gröda och vete och raps är ettåriga grödor. Däremot beräknas bidraget av fotokemiska oxidanter (som kan bilda marknära ozon) vara lägst för RME. Biogas baserat på vall är ungefär jämförbart med metanol/DME baserat på salix ur livscykelanalys. Utsläpp av övergödande och försurande ämnen beräknas vara något lägre för spannmålsetanol än för RME. I livscykelanalyser inkluderas sällan toxiska effekter från kemiska bekämpningsmedel. Generellt är dock användningen av bekämpningsmedel högst för raps, följt av spannmål och till sist energiskog där användningen är relativt begränsad. En annan begränsning med livscykelanalys är

att effekter på biologisk mångfald sällan beaktas. En bedömning är dock att odling av energiskog i stället för ettåriga grödor som spannmål och oljevaxter leder till en något ökad biologisk mångfald i framför allt utpräglade jordbruksbygder.

Miljösystemstudier av biogassystem visar att biogas ger störst miljövinster när det utnyttjas som drivmedel. Biogas kan till och med leda till negativa nettoutsläpp av växthusgaser när denna produceras från gödsel. Anledningen är att metanläckage vid konventionell gödsellagring kan minska när gödsel rötas. Biogas från gödsel kan sägas få dubbel klimatnytta eftersom reduktionen av metanutsläpp vid gödsellagring kan vara i samma storleksordning som reduktionen av koldioxid när fossila bränslen ersätts. Stora indirekta miljövinster fås också när sockerbetsblast utnyttjas för biogasproduktion (minskat kväveläckage) samt när organiskt hushålls- och industriavfall utnyttjas och alternativet är kompostering (minskade ammoniakutsläpp). När biogas används för värmeproduktion och ersätter fossila bränslen fås normalt också en minskad miljöpåverkan. När däremot biogassystem ersätter andra biobränslesystem som baseras på direkt förbränning, t ex salix och halm, kan miljöpåverkan bli något större.

I ett antal räkneexempel illustreras olika effekter på nationell nivå för några av de biobränslesystem som analyseras inom denna studie. För att möta ett potentiellt ökat behov av biobränslen om cirka 20 TWh i utbyggda fjärrvärme- och kraftvärmesystem i framtiden krävs cirka 600.000 hektar energiskogsodling (22 % av dagens åkermarksareal) bestående av en mix av salix, poppel, hybridasp och gran. Om stråbränslen som rörfen, helsäd och hampa odlas i stället krävs cirka 20 % mer åkermark. Om tillgången på halm för energiändamål utnyttjas fullt ut minskar behovet av energiskogsodling till motsvarande 15 % av totala åkermarksarealen. Om dessutom 200.000 nedlagd jordbruksmark utnyttjas för odling av snabbväxande lövträd och gran kan behovet av energiskogsodling minska ytterligare, till motsvarande 10 % av åkermarken. Genom växtförädling och förbättrade odlingsmetoder bedöms produktiviteten i energiodlingar kunna öka med cirka 25 % till 2020 vilket innebär att åkermarksbehovet minskar i ungefär samma utsträckning. Detta exempel ska ses som ett teoretiskt räkneexempel då det i praktiken sannolikt kommer att bli skogsbränsle som svarar för den största tillförseln av biobränslen till en expanderande fjärrvärme- och kraftvärmesektor.

Om 600.000 hektar i stället används för drivmedelsproduktion kan cirka 7 TWh (brutto) etanol från spannmål alternativt energiskog fås eller cirka 11 TWh (brutto) biogas från vall och majs.

Bruttoproduktionen av metanol/DME från förgasning av energiskog eller stråbränslen uppskattas kunna bli 11,5 respektive 9 TWh. Som jämförelse motsvarar 8,5 TWh ungefär 10 % av dagens drivmedelsförbrukning i Sverige. För att producera dessa biodrivmedel krävs fossila drivmedel (diesel) som motsvarar 4 till 8 % av biodrivmedlens energiinnehåll. Dessutom krävs energiinsatser i form av el och värme i olika grad som ofta kan baseras på biobränslen.

Reduktionen av växthusgaser som dessa biodrivmedelssystem kan ge upphov till beräknas grovt till mellan 1,3 och 2,9 miljoner ton koldioxidkvivalenter per år beroende av vilket system som avses och när bensin ersätts. Högst reduktion ger metanol/DME från energiskog som motsvarar ungefär 13 % av dagens koldioxidutsläpp från transportsektorn (som uppgår till cirka 22 miljoner ton koldioxid per år). Därefter följer biogas från vall och majs, metanol/DME från stråbränslen, etanol från energiskog och sist etanol från spannmål där reduktionen uppskattas uppgå till motsvarande 6 % av dagens utsläpp från transportsektorn. Energiinsatserna i form av värme och el antas vara förnybara medan insatserna av drivmedel antas vara fossila.

Baserat på uppskattade produktionsförutsättningar kring 2020 beräknas biodrivmedelsproduktionen kunna öka med cirka 25 %. Om dessutom förbättrade produktionsförutsättningar för foder- och livsmedelsgrödor medför att ytterligare åkermark frigörs för energiproduktion (förutsatt att behovet av foder- och livsmedelsgrödor är konstant) kan produktion av biodrivmedel öka med upp till 80 %. System baserat på biogas från vall och majs respektive metanol/DME från stråbränslen genererar i detta fall drivmedel som ungefär motsvarar 20 % av dagens drivmedelsförbrukning. Metanol/DME från energiskog skulle kunna utgöra en ännu större andel, cirka 25 %.

Om dagens sockerbetsareal om cirka 50.000 hektar utnyttjas för etanolproduktion kan teoretiskt cirka 1,5 TWh (brutto) etanol produceras vilket är ungefär dubbelt så mycket som den potentiella RME-produktionen från dagens 82.000 hektar oljeväxtodling. När hälften av den fysiska/tekniska biogaspotentialen från gödsel och betblast utnyttjas kan knappt 3 TWh (brutto) drivmedel produceras. Produktionen av metanol/DME från överskottshalm uppskattas till cirka 4 TWh (brutto). Motsvarande produktion från energiskog odlad på 200.000 nedlagd jordbruksmark uppskattas till cirka 2,5 TWh (brutto). Som diskuterats tidigare kan biogas från gödsel medföra så kallad dubbel klimatnytta. Reduktionen av växthusgaser uppskattas grovt till cirka 1,2 miljoner ton koldioxidkvivalenter per år när ungefär halva den fysiska/tekniska potentialen biogas från gödsel (cirka 2,5 TWh) utnyttjas som drivmedel och ersätter bensin. Denna reduktion motsvarar drygt 5 % av dagens koldioxidutsläpp från transportsektorn.

Produktionen av 7 TWh etanol från 600.000 hektar spannmålsodling genererar samtidigt motsvarande knappt 5 TWh drank, varav cirka 15-20 % bedöms kunna användas som foder i dagens djurproduktion. Resterande del kan användas för energiändamål. Behovet av energi för att driva detta produktsystem är i samma storleksordning som drankens energiinnehåll. Vid produktion av cirka 11 TWh biogas från 600.000 hektar vall och majs krävs cirka 4 TWh energi. Motsvarande behov vid framställning av cirka 11,5 TWh metanol/DME från energiskog är ungefär 1,3 TWh. När energiskog utnyttjas för produktion av etanol fås ungefär lika mycket lignin som biprodukt, cirka 7 TWh, och energiinsatsen för detta produktsystem uppskattas till knappt 2 TWh (d v s motsvarande ungefär 25-30 % av biproduktens energiinnehåll).

När 600.000 hektar energiskog (en mix av salix, poppel, hybridasp och gran) utnyttjas som råvara i potentiella etanolkombinat kan teoretiskt cirka 5 TWh etanol, 3 TWh el och 6 TWh värme produceras i cirka 13 stycken anläggningar (baserat på en genomsnittlig typanläggning). Som jämförelse uppskattas det idag finnas 11 stycken tillräckligt stora fjärrvärmesystem som kan ta emot detta värmeöverskott och som levererar cirka 3 gånger mer värme totalt sett. Om energiskogsråvaran i stället utnyttjas i potentiella metanol/DME-kombinat kan teoretiskt ungefär 9 TWh drivmedel, 2 TWh el och 3 TWh värme produceras i cirka 7 stycken anläggningar (baserat på en genomsnittlig typanläggning). Trots att dessa metanol/DME-kombinat antas vara dubbelt så stora som etanolkombinat bör den lägre produktionen av överskottsvärme leda till något större förutsättningar för integration med t ex fjärrvärmesystem. Genom en fortsatt utbyggnad av fjärrvärme- och kraftvärmeproduktion bedöms det potentiella värmeunderlaget för drivmedelskombinat kunna öka med drygt 40 % till 2020. Till detta kommer potentiella värmeunderlag inom skogsindustrin.

Ett annat alternativ är att utnyttja 600.000 hektar energiskog för pellets- och elproduktion i befintliga kraftvärmeverk. Genom att utnyttja cirka 30 % av dagens maximala potential av överskottsvärme (producerat under sommarhalvåret) kan 20 TWh energiskogsflis förädlas till cirka 15 TWh pellets och 1,5 TWh el. Om i stället stråbränslen odlas på 600.000 hektar bedöms produktionen av pellets och el bli ungefär 20 % lägre. Med de produktionsförutsättningar som antas gälla kring 2020 kan produktionen av pellets och el öka med cirka 25 % från samma odlingsareal. Samtidigt bedöms endast cirka 15 % av den uppskattade maximala potentialen av överskottsvärme utnyttjas tack vare den utbyggnad av kraftvärmeproduktion som antas kunna ske till 2020.

En sammanfattande slutsats i denna rapport är att biobränslesystem är komplexa att analysera eftersom en mängd olika kombinationer av system är möjliga. Dessutom varierar de lokala och regionala förutsättningarna för produktion, omvandling och avsättning av olika jordbruksbaserade biobränslen. Beroende av vilken eller vilka parametrar som studeras kan olika system ha sina specifika för- och nackdelar och passa olika bra i olika delar av landet. Det är därför svårt att göra långtgående generaliseringar och kategoriseringar av bättre eller sämre biobränslesystem. För detta krävs betydligt mer detaljerade och specifika analyser baserat på aktuella lokala förutsättningar. En övergripande slutsats är dock att högvakastande fleråriga energigrödor som t ex energiskog i olika former, tillsammans med restprodukter som inte utnyttjas idag, oftast är effektiva ur resurs-, energi- och miljösynpunkt. Dessutom framstår en utveckling av olika typer av energikombinat som en effektiv strategi ur ett flertal aspekter. En utveckling av energikombinat är framför allt viktigt för att kunna producera biodrivmedel med hög resurseffektivitet. Nuvarande fokusering på antingen el- och värmeproduktion eller drivmedelsproduktion från biobränslen kommer därför sannolikt att försvinna allt mer i framtiden.

12 Referenser

- Agroetanol (2006). www.Agroetanol.se
- Andersson K. (2006). SVEBIO. Personlig kommunikation.
- Augustsson O. (2007). Växjö Universitet. Personlig kommunikation.
- BAFF (2006). (BioAlcohol Fuel Foundation) www.baff.info
- Bakay A., Hansson P-A., Norén O. och Nordberg Å. (2002). "Grön traktor" – Alternativa drivmedel för det ekologiska lantbruket. JTI-rapport 302, Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.
- Berglund M. & Börjesson P. (2006). Assessment of Energy Performance in the Life-cycle of Biogas Production. Biomass and Bioenergy Vol. 30, pp. 254-266.
- Berglund M. & Börjesson P. (2003). Energianalys av biogassystem. Rapport nr 44, Miljö- och energisystem, Lunds Tekniska Högskola, Lund.
- Berndes G, Börjesson P. & Rosenqvist H. (2006). Bioenergi: resurseffektivitet och bidrag till energipolitiska mål. Manuskript, STEM-rapport.
- Bernesson S., Nilsson D., Hansson P-A. (2006). A limited LCA comparing large- and small-scale production of ethanol for heavy engines under Swedish conditions. Biomass and Bioenergy, Vol. 30, pp. 46-57.
- Bernesson S. & Nilsson D. (2005). Halm som energikälla. Rapport 2005:07, Inst. För biometri och teknik. SLU, Uppsala.
- Bernesson S., Nilsson D. & Hansson P-A. (2004). A limited LCA comparing large- and small-scale production of rape methyl ester (RME) under Swedish conditions. Biomass and Bioenergy, Vol. 26, pp. 545-559.
- Biärsjö, J. (2006). Svensk Raps. Personlig kommunikation.
- Blinge M., Arnäs P-O., Bäckström S., Furnander Å. och Hovelius K. (1997). Livscykelanalys (LCA) av drivmedel. KFB-Meddelande 1997:5, Kommunikationsforskningsberedningen, Stockholm.
- Björnsson, L. (2006). Avd. för Bioteknik, Lunds Universitet. Personlig kommunikation.
- Börjesson P. (2007). Produktionsförutsättningar för biobränslen inom svenskt jordbruk. Underlagsrapport i Statens Offentliga Utredningar (SOU): Jordbruket som bioenergiproducent (JO 2005:05).
- Börjesson P. and Berglund M. (2006). Environmental systems analysis of biogas systems – Part I: Fuel cycle emissions. Biomass and Bioenergy Vol. 30, pp. 469-485.
- Börjesson P. and Berglund M. (2007). Environmental systems analysis of biogas systems – Part II: The environmental impact of replacing various reference systems. Biomass and Bioenergy Vol 31, pp 326-344.
- Börjesson P. (2006). Energibalans för bioetanol – En kunskapsöversikt. Rapport nr 59, Miljö- och energisystem, Lunds Tekniska Högskola, Lunds.

- Börjesson P. (2004). Energianalys av drivmedel från spannmål och vall. Rapport nr 54, Miljö- och energisystem, Lunds Tekniska Högskola, Lund.
- Börjesson P. & Berglund, M. (2003). Miljöanalys av biogassystem. Rapport nr 45, Miljö- och energisystem, Lunds Tekniska Högskola, Lund.
- Börjesson P. (2001). Framtida tillförsel och avsättning av biobränslen i Sverige – Regionala analyser. Rapport nr 34, Miljö- och energisystem, Lunds Tekniska Högskola, Lund.
- Börjesson P. (1996). Energy analysis of biomass production and transportation. Biomass and Bioenergy, Vol. 11, pp. 305-318.
- Concawe, EUCAR & EC Joint Research Centre (2006). Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context.
- Edström M. och Nordberg Å. (2001). Bedömning av rötbarhet hos drank och vete – Ett projekt utfört på uppdrag av Eskilstuna Energi- och Miljö. JTI-uppdragsrapport, Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.
- Eklund U. (2007). Ena Energi, Enköping. Personlig kommunikation.
- Emanuelsson M, Cederberg C, Bertilsson J & Rietz H. (2006). Närodlat foder till mjölkkor – en kunskapsuppdatering. Svensk Mjölk, Forskning, Rapport 7059-P, Stockholm.
- Energimyndigheten (2005). Energiläget 2005. Eskilstuna.
- Ericsson K. & Nilsson L. (2006). Assessment of the potential biomass supply in Europe using a resource-focused approach. Biomass and Bioenergy, Vol. 30, pp. 1-15.
- Fredriksson H, Baky A, Bernesson S, Nordberg Å, Norén O. & Hansson P-A (2006). Use of on-farm produced biofuels on organic farms – Evaluation of energy balances and environmental loads for three possible fuels. Agricultural Systems, Vol. 89, pp. 184-203.
- Frisk J. (2007). Svensk Energi. Personlig kommunikation.
- Goldschmidt B. (2005). Biobränslebaserade energikombinat med tillverkning av drivmedel. Värmeforsk, Rapport 904 Anläggningsteknik, Stockholm.
- Gustavsson L. & Karlsson Å. (2002). A system perspective on the heating of detached houses. Energy Policy, Vol. 30, pp. 553-574.
- Helby P, Börjesson P, Hansen A.C, Roos A, Rosenqvist H. & Takeuchi L. (2004). Market development problems for sustainable bioenergy systems in Sweden – The BIOMARK project”. Report No 38, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Lund.
- Hellberg, S. (2006). Lantmännen. Personlig kommunikation.
- Herland E. (2007). Lantmännen. Personlig kommunikation.
- Hirsmark J. (2006). Biokraftproduktion 2002-2010 fördelat per län. Svebio, Stockholm.
- Hirsmark J. (2005a). Elcertifikatsystemets effekter på biokraft inom kraftvärmesektorn. Svebio, Stockholm.
- Hirsmark J. (2005b). Elcertifikatsystemets effekter på biokraft inom massaindustrin. Svebio, Stockholm.

- Johansson M. & Nilsson T. (2006). Transporter i gårdsbaserade biogassystem. Examensarbete, Miljö- och energisystem, Lunds Tekniska Högskola, Lund.
- Johansson TB & Lönnroth M. (1975). Energianalys – en introduktion. Energi och Samhälle, Sekretariatet för Framtidsstudier, Stockholm.
- Karlsson S. & Malm D. (2005). Förnybar naturgas – Förgasning av biobränslen för framställning av metan eller vätgas. Rapport SGC 156, Svenskt Gastekniskt Centrum, Malmö.
- Karpenstein Machan M. (2005). Energiplanzenbau für Biogasanlagenbetreiber. DLG-Verlags-GmbH Frankfurt am Main, Tyskland.
- L-B-Systemtechnik (2002). Well-to-wheel analysis of energy use and greenhouse gas emissions of advanced fuel/vehicle systems: A European study.
- Land A. (2007). Svenska Fjärrvärmeföreningen, Stockholm. Personlig kommunikation.
- Lantz M. (2004). Gårdsbaserad produktion av biogas för kraftvärme – ekonomi och teknik. Examensarbete, Inst. för teknik och samhälle, Lunds universitet, Lund.
- Linné M. (2004). Personlig kommunikation. BioMil AB, Lund.
- Linné M., Jönsson O. & Reitz J. (2005). Sammanställning och analys av potentialen för production av förnyelsebar metan (biogas och SNG) i Sverige – Litteraturstudie. Rapport - Biomil AB and SGC, Malmö.
- Lönner G, Danielsson B-O, Vikinge B, Parikka M, Hektor B & Nilsson P-O (1998). Kostnader och tillgänglighet för trädbränslen på medellång sikt. Rapport nr 51, Inst. för Skog-Industri-Marknad-Studier (SIMS), SLU, Uppsala.
- PIR (2006). Pelletsindustriernas Riksförbund. www.PIR.org
- SCB (2006). Jordbruksstatistisk årsbok 2006. Örebro.
- Sigfridsson, K. (2006). Svenskt Svincentrum, Svalöv. Personlig kommunikation.
- Sundberg M. & Westin H. (2005). Hampa som bränsleråvara – förstudie. JTI-rapport 341, Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.
- Turbec (2006). www.turbec.com
- VIEWLS (2005). Environmental and economic performance of biofuels. Volume 1 -main report Publication produced under the framework of the VIEWLS project. April 2005.
- Widebeck, L. (2006). Svensk Mjök, Eskilstuna. Personlig kommunikation.
- Zacchi, G. (2006). Personlig kommunikation, Lunds Universitet, Lund.

ISSN 1102-3651
ISRN LUTFD2/TFEM--07/3053--SE + (1-117)
ISBN 91-88360-86-5