

Bioenergi från jordbruket – en växande resurs

Bilagedel

Stockholm 2007



STATENS OFFENTLIGA
UTREDNINGAR

SOU 2007:36

SOU och Ds kan köpas från Fritzes kundtjänst. För remissutsändningar av SOU och Ds svarar Fritzes Offentliga Publikationer på uppdrag av Regeringskansliets förvaltningsavdelning.

Beställningsadress:
Fritzes kundtjänst
106 47 Stockholm
Orderfax: 08-690 91 91
Ordertel: 08-690 91 90
E-post: order.fritzes@nj.se
Internet: www.fritzes.se

Svara på remiss. Hur och varför. Statsrådsberedningen, 2003.
– En liten broschyr som underlättar arbetet för den som skall svara på remiss.
Broschyren är gratis och kan laddas ner eller beställas på
<http://www.regeringen.se/remiss>

Textbearbetning och layout har utförts av Regeringskansliet, FA/kommittéservice

Tryckt av Edita Sverige AB
Stockholm 2007

ISBN 978-91-38-22752-7
ISSN 0375-250X

Innehåll

*Rapporter av
Pål Börjesson
Institutionen för teknik och samhälle,
Lunds tekniska högskola*

**Produktionsförutsättningar för bibränslen inom svenskt
jordbruk 5**

Förädling och avsättning av jordbruksbaserade bibränslen ...127

Produktionsförutsättningar för biobränslen inom svenskt jordbruk

*Pål Börjesson
Institutionen för teknik och samhälle,
Lunds tekniska högskola*

Förord

Denna studie har genomförts inom Statens Offentliga Utredningar: Jordbruket som bioenergiproducent (Jo 2005:05).

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

Innehåll

1	Bakgrund	11
2	Syfte.....	13
3	Metod	15
4	Dagens biomassaproduktion inom jordbruket	17
4.1	Nationell nivå.....	17
4.2	Regional nivå	23
4.3	Lokal nivå	32
4.4	Gårdsnivå.....	36
5	Nedlagd jordbruksmark.....	39
5.1	Uppskattad areal	39
5.2	Avkastningsnivåer.....	44
6	Restprodukter för energiändamål – produktionsförutsättningar	47
6.1	Växtrester från odling.....	47
6.2	Gödsel från animalieproduktion	51
7	Odling av energigrödor	55
7.1	Salix.....	55
7.2	Rörflen.....	58
7.3	Hampa	60
7.4	Majs.....	62

7.5	Poppel	64
7.6	Hybridasp	65
7.7	Gran.....	66
7.8	Andra energigrödor.....	68
8	Traditionella grödor för energiändamål – förädlingspotential	71
9	Energiskördeavkastning och resurseffektivitet – en summering.....	77
10	Potentiell biobränsleproduktion från jordbruket – några räkneexempel	91
11	Miljökonsekvenser av ökad bioenergiproduktion	103
12	Slutsatser och diskussion	111
13	Referenser	119

1 Bakgrund

Historiska bedömningar av jordbrukets bioenergipotential varierar ofta stort beroende på vilka förutsättningar som antagits. Till exempel kan bedömningar avse en fysisk potential utifrån dagens produktionsförutsättningar eller också inkludera tekniska, ekologiska och ekonomiska begränsningar. Möjliga biobränslen från jordbruket består dels av befintliga restprodukter som oftast är direkt tillgängliga, dels energigrödor som kan odlas på åkermark. Hur stor andel åkermark som kommer att utnyttjas för energiodlingar, vilka energigrödor som kommer att odlas samt var och på vilka marker detta kommer att ske har stor inverkan på hur mycket biobränslen som kan produceras inom jordbruket. Detta i sin tur styrs till stor del av gällande jordbrukspolitik och ekonomiska förutsättningar för lantbruket där t.ex. aktuella jordbruksstöd har stor påverkan, inklusive marknader för andra grödor.

I tidigare bedömningar av hur mycket biobränslen jordbruket kan komma att producera beaktas sällan regionala och lokala skillnader i produktionsförutsättningar utan analyserna bygger ofta på grova uppskattningar av genomsnittskördar för olika grödor. Förutsättningarna för att odla specifika grödor i olika delar av landet skiljer dock utifrån klimat, nederbörd, jordart m.m., vilket kräver analyser med tillräckligt hög geografisk upplösning för att få mer tillförlitliga uppskattningar. I tidigare analyser beaktas oftast också enbart bruttoproduktionen av bioenergi, dvs. hänsyn tas inte till hur mycket insatsenergi (oftast fossil) som krävs för att producera specifika biobränslen. Hur mycket insatsenergi som krävs vid odling av olika grödor kan ibland skilja relativt mycket vilket motiverar att denna aspekt också måste beaktas. Förutom att beakta hur mycket biomassa som kan produceras per hektar åkermark med olika odningssystem, samt med vilken energieffektivitet detta kan ske, är det också viktigt att analysera miljökonsekvenserna av dessa odningssystem. Genom att beakta dessa olika aspekter fås en relativt heltäckande bild av produktionsförutsättningarna för olika biobränslen inom svenskt jordbruk. Denna kunskap kan sedan ligga till grund för mer detaljerade beräkningar av produk-

tionskostnader i olika regioner samt i jämförelser med de avsättningsmöjligheter olika bibränslen har i olika delar av landet.

2 Syfte

Syftet med detta projekt är att analysera produktionsförutsättningarna för biobränslen inom svenskt jordbruk när hänsyn tas till produktionsrelaterade aspekter. Analysen inkluderar restprodukter från befintlig växtodling och djurproduktion samt potentiell odling av olika energigrödor. Inledningsvis görs en översiktlig beskrivning av dagens åkermarksanvändning och biomassaproduktionen samt hur mycket insatsenergi denna produktion kräver. Därefter beskrivs hur produktionsförutsättningar och skördeavkastningar skiljer mellan större produktionsområden, mindre skördeområden samt på gårdsnivå. Syftet med denna analys är att beskriva vilka skillnader i avkastning som kan förväntas i en framtida bioenergiproduktion beroende på var i landet produktionen kommer att ske samt vilken typ av åkermark som kommer att utnyttjas (bättre, genomsnittlig eller sämre åkermark). Dessutom diskuteras förutsättningarna för bioenergiproduktion på nedlagd jordbruksmark. Därefter beskrivs produktionsförutsättningarna för olika typer av restprodukter och energigrödor utifrån dagens situation samt hur avkastningen kan komma att öka i framtiden tack vare växtförädling, förbättrad odlingsteknik m.m. Avkastningen för olika energigrödor inom olika produktionsområden anges både som brutto- respektive nettoproduktion av bioenergi, dvs. beräkningar görs av den insatsenergi som krävs för olika produktionssystem. Syftet med dessa beräkningar är beskriva vilka skillnader som finns i energieffektivitet vid odling av olika energigrödor.

Baserat på de beräkningar och analyser som beskrivs ovan genomförs därefter ett antal räkneexempel över hur mycket bioenergi som jordbruket kan producera när åkermarken och restprodukter utnyttjas på olika sätt. Syftet med dessa räkneexempel är att belysa produktionsfaktorers betydelse samt hur dessa påverkar den totala mängd bioenergi som jordbruket potentiellt kan komma att producera i framtiden. Avslutningsvis görs en översiktlig analys av vilka miljökonsekvenser olika biobränslesystem kan ge upphov till, både lokalt och globalt. En avgränsning i denna studie är att ekologiskt jordbruk inte explicit studeras. Utgångspunkten för studien

är dagens jordbruk som till allra största delen baseras på konventionell produktion. Hur en större omställning till ekologisk odling ger för effekt på jordbrukets möjligheter att leverera biobränslen diskuteras dock översiktligt i slutet av studien.

Resultaten i denna studie ska ses som ett komplement och underlag till fortsatta studier. Exempel är studier som även inkluderar omvandling och avsättning av den producerade bioenergin. I denna studie har inga ekonomiska överväganden gjorts. Därför krävs också kompletterande studier där ekonomiska beräkningar och modelleringar beskriver vilka förutsättningar jordbruket har idag för att producera bioenergi i förhållande till traditionella livsmedels- och fodergrödor, samt hur dessa förutsättningar kan förändras i framtiden genom teknikutveckling och förändrade ekonomiska villkor.

3 Metod

Studien baseras på data som samlats in från framför allt litteraturstudier och sammanställning av offentlig statistik, forskningsrapporter, tidigare utredningar m.m. Dessutom utnyttjas kompletterande intervjuer med nyckelaktörer när litteraturdata saknas. Data över skillnader i åkermarkens produktionsförmåga, skördenivåer för traditionella grödor, nuvarande åkermarksanvändning etc. baseras huvudsakligen på existerande jordbruksstatistik. Data över skördenivåer för nya energigrödor, möjliga skördeökningar m.m. baseras framför allt på forskningsrapporter och forskningsresultat samt kompletterande intervjuer. Stor vikt har lagts vid att analyserna ska vara transparenta och att olika antaganden och beräkningar tydligt beskrivs. Eftersom tillgången på skördestatistik är betydligt större för traditionella grödor än för nya energigrödor blir säkerheten i beräkningarna också betydligt större för traditionella grödor. Det finns således en relativt stor osäkerhet i beräkningarna för nya energigrödor vilket bör beaktas vid tolkning av resultaten.

Produktionen av bioenergi uttrycks som MWh och baseras på det högre värmevärdet för aktuella biobränslen. För blöta restprodukter som gödsel beskrivs också energiproduktionen i form av möjlig biogasproduktion (dvs. inklusive omvandlingsförluster). Beräkningar av insatsenergi för olika produktionssystem baseras på direkta energiinsatser (t.ex. drivmedel i form av diesel) och indirekta energiinsatser (t.ex. naturgas för framställning av gödselmedel). Energiinsatserna avser primärenergi, dvs. 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), dvs. insatsenergi i form av fossil energi respektive producerad energi i form av biomassa betraktas lika ur energisynpunkt (se t.ex. Börjesson (2006a) för en jämförelse mellan energi-, exergi- och emergianalys). En bedömning är dock att energiinsatsens sammansättning av olika energibärare (huvudsakligen fossila) är relativt lika för de studerade produktionssystemen. Tidigare uppskattningar visar att om enbart

biobränslebaserade energibärare används som insatsenergi vid biobränsleproduktion (dvs. biodrivmedel, biobaserad el osv.) ökar insatserna av primärenergi med cirka 30 till 45 procent jämfört med när enbart fossila energibärare används (Börjesson, 1996).

4 Dagens biomassaproduktion inom jordbruket

4.1 Nationell nivå

Svensk åkermarksareal uppgick 2005 till knappt 2 700 000 hektar och fördelade sig på cirka 41 procent vallodling, 38 procent spannmålsodling, 9 procent övrig odling samt 12 procent träda (Tabell 4.1).

Tabell 4.1 Åkermarksanvändningen 2005¹

	Areal (1 000 hektar)	Andel av total åkermark (%)
Vete	356	13
Korn	381	14
Havre	203	8
Övriga spannmål	90	3
Baljväxter	41	1,5
Vall och grönfoder	1 088	41
Potatis	31	1
Socketbetor	49	1,5
Raps och rybs	83	3
Övriga växtslag	42	1,5
Träda ²	318	12
Ej utnyttjad åkermark	2	0
Summa åkermark	2 684	100

¹ Baserat på Jordbruksverket och SCB (2006). Avrundat till 1 000-tal hektar.

² Inklusiv obligatorisk träda, cirka 4,5 procent, och frivillig träda, cirka 7,5 procent.

Den mängd biomassa som producerades i svensk växtodling per år under perioden 2003 till 2005 redovisas i Tabell 4.2. Data för skörd av spannmål, baljväxter, vall, potatis, sockerbeter och oljeväxter baseras på statistik från SCB och Jordbruksverket (2006). Data för mängden växtrester som halm och blast baseras på uppskattningar som gjorts inom detta arbete och har därför större osäkerhet. Mängden ovanjordiska skörderester som växtodling genererar och

som presenteras i Tabell 4.2 ska inte likställas med den mängd som eventuellt skördas och tas tillvara idag. Den praktiska skördenivån är betydligt lägre, oftast endast hälften eller ännu lägre.

Mängden halm vid veteodling antas idag motsvara cirka 1,1 gånger kärnskörden men detta förhållande kan variera utifrån sorter, odlingsbetingelser m.m. (Löde, 2006). Andelen halm i förhållande till kärnskörd har minskat betydligt för vete sedan 1980- och 90-talet då andelen då ofta uppgick till 1,4–1,5 (Börjesson, 1994). Den totala biomasseskörden per hektar vid veteodling är med dagens sorter ungefär samma som under 1980- och 90-talet men genom växtförädling har en omfördelning av biomassa skett från halm till kärna. För övriga spannmålsslag som korn, havre och råg bedöms andelen halm i förhållande till kärnskörd vara i genomsnitt 0,8, 1,3 respektive 1,5 (Henriksson, 2006). En relativt stor variation förekommer även för dessa spannmålsslag beroende på sorter, odlingsbetingelser m.m.

Mängden halm vid oljeväxtodling antas motsvara cirka 2,7 gånger fröskörden med dagens sorter (Johnsson, 2006). Detta är något högre jämfört med under 1980- och 90-talet då den genomsnittliga andelen bedömdes vara cirka 2,5 med en variation mellan 2,2 till 2,8 (Börjesson, 1994). Anledningen till den något ökade andelen halm i förhållande till frö är utvecklingen av nya hybridsorter som ger en totalt sett betydligt högre biomasseproduktion per hektar, inklusive högre fröskörd. Mängden blast vid baljväxtodling uppskattas i genomsnitt uppgå till cirka 1,5 gånger ärt- och bönskörden. Andelen blast vid ärtodling uppskattas till ungefär 1 och vid bönodling ungefär 2 i förhållande till ärt- respektive bönskörden (Henriksson, 2006).

Mängden blast vid sockerbetsodling kan variera mellan 20 till 50 ton per hektar (Berglund och Börjesson, 2003). Med ett genomsnitt om cirka 35 ton per hektar och en vattenhalt om cirka 86 procent antas hektarskörden i medeltal bli cirka 5 ton torrsubstans per hektar. Detta motsvarar cirka 40 procent av den genomsnittliga skörden av sockerbetor, uttryckt per kg torrsubstans. Mängden blast vid potatisodling uppskattas variera mellan cirka 12 till 25 ton per hektar beroende på sort och odlingsbetingelser. Med en antagen genomsnittlig mängd om 18 ton och en vattenhalt om cirka 85 procent blir hektarskörden i medeltal ungefär 2,7 ton torrsubstans. Detta motsvarar cirka 30 procent av den genomsnittliga skörden av potatis, uttryckt per kg torrsubstans. I praktisk potatis-

odling sprutas ofta blasten ned för att avbryta tillväxten och underlätta upptagningen.

Som framgår av Tabell 4.2 beräknas bruttoproduktionen av energi i svensk växtodling under 2005 uppgå till cirka 78 TWh. Som jämförelse beräknades motsvarande bruttoproduktion uppgå till cirka 75 TWh år 1993, exklusive produktion på betesmark om cirka 14 TWh per år (Hoffmann och Uhlin, 1997).

Tabell 4.2 Genomsnittlig biomassaproduktion i svensk växtodling per år under 2003–2005¹

	Mängd biomassa (1 000 ton per år)	Vattenhalt ² (%)	Energiinnehåll ³ (MWh per ton torrsubstans)	Total Energiproduktion (TWh per år)
Vete	2 400	14	5,1	10,5
Korn	1 700	14	5,1	7,5
Havre	1 000	14	5,5	4,7
Övrig spannmål	600	14	5,1	2,6
Baljväxter	100	15	5,2	0,4
Vall och grönfoder	3 800	16,5	4,9	15,5
Potatis	1 000	80	4,8	1,0
Socketbetor	2 500	76	4,9	3,0
Oljeväxter	200	9	7,7	1,4
<i>Summa</i>				<i>47</i>
Halm – vete	2 600	15	5,0	11
Halm – korn	1 400	15	5,2	6,2
Halm – havre	1 300	15	5,0	5,5
Halm – övrig	900	15	5,0	3,8
Blast – Baljväxter	150	30	4,8	0,5
Blast – Potatis	500	85	4,8	0,4
Blast – Socketbetor	1 700	86	4,8	1,1
Halm – Oljeväxter	500	16	5,0	2,1
<i>Summa</i>				<i>31</i>
<i>Summa totalt</i>				<i>78</i>

¹ Exklusive betesmark.

² Vattenhalt avser inte alltid nyskördad biomassa utan kan även inkludera torkning, t.ex. för vall och grönfoder som avser ensilage/hösilage.

³ Baserat på Börjesson (1994) samt Hoffmann och Uhlin (1997). Avser högre värmevärde.

Hur mycket energi som den svenska jordbrukssektorn använder har nyligen beräknats av JTI (Edström m.fl., 2005). Här inkluderas såväl direkt energianvändning som diesel m.m. samt indirekt energianvändning i form av handelsgödsel, utsäde m.m. I Tabell 4.3

redovisas sammanlagda energianvändningen för svensk växtodling idag. Denna beräknas till cirka 5,5 TWh per år vilket kan jämföras med den totala energiproduktion om cirka 78 TWh per år som svensk växtodling genererar (se Tabell 4.2). Energibalansen för svensk växtodling blir således cirka 14, dvs. biomassaproduktionen är ungefär 14 gånger högre än den totala hjälpen energi som används. Om biprodukter som halm och blast räknas bort blir energibalansen drygt 8. Omvänt motsvarar energiinsatsen i svensk växtodling cirka 7 alternativt 12 procent av bruttoenergiproduktionen. Energiinsatserna vid växtodling har minskat över åren tack vare fortgående teknikutveckling med effektivare markbearbetning, skördeteknik, produktion av insatsmedel osv. (Börjesson, 1996; 1994). Denna teknikutveckling antas kunna fortgå vilket leder till fortsatt effektivisering, t.ex. genom utveckling av plöjningsfri odling, kombisådd osv.

Tabell 4.3 Beräknat energibehov vid svensk växtodling idag¹

Typ av energibehov	Energiinsats (TWh per år)
<i>Direkt energibehov</i>	
Spannmål 2	1,52
Vall och grönfoder	0,51
Andra grödor och träd	0,30
Bevattning	0,05
Stallgödselspridning	0,05
<i>Indirekt energibehov</i>	
Handelsgödsel	2,71
Bekämpningsmedel och kalk	0,16
Utsäde 3	0,03
Transporter för insatsmedel	0,12
Summa	5,45

¹ Data från Edström m.fl. (2005).

² Inklusive torkning.

³ Exklusive utsädets inneboende energi (bränslevärde)

Energibalansen varierar mellan olika grödor men också för en och samma gröda beroende på lokala produktionsförutsättningar. I Tabell 4.4 ges en översiktlig beskrivning av hur stor energiinsats som krävs vid odling av olika grödor samt ungefär hur denna kan variera utifrån regionala skillnader i produktionsförutsättningar inom olika regioner (se vidare avsnitt 9). Därutöver förekommer

ännu större skillnader utifrån variationer i lokala förutsättningar och på gårdsnivå (se avsnitt 4.4). Normalt är energieffektiviteten högst i produktionsområden med högst skördeavkastningar. Anledningen till att t.ex. vårkorn beräknas ha en något större energiinsats än höstvetete är framför allt på grund av att vårkorn har en lägre hektarskörd än höstvetete. Energiinsatsen i form av jordbearbetning, sådd m.m. är ungefär lika för de olika spannmålslagen, uttryckt per hektar.

Tabell 4.4 Energiinsats och energibalans för några traditionella grödor som odlas idag samt variation beroende på skillnader i genomsnittsskördar mellan olika produktionsområden¹

Gröda	Energiinsats (% av bruttoenergiskörd)	Energibalans (kvot mellan bruttoenergiskörd och energiinsats)
Höstvetete	12–15	8–7
Höstvetete inkl. halm	9–12	10–8
Höstraps	16–18	6–5
Höstraps inkl. halm	12–14	8–7
Vall	8–9	12–11
Vårkorn	14–18	7–5
Socketbetor	11–12	9–8
Socketbetor inkl. blast	10–11	9–10

¹ Bearbetad data från Berglund och Börjesson (2006; 2004), Bernesson m.fl. (2006; 2004) samt Börjesson (2004; 1996; 1994). Inkluderar även lastbilstransport från gård om 50 km.

Inom jordbruket produceras också andra restprodukter som gödsel från djurhållning. Energiförbehovet för svensk djurhållning har av Edström m.fl. (2005) beräknats till cirka 2,4 TWh per år. Gödsel är dock en restprodukt från omvandling av foder som har sitt ursprung i primärproduktionen av vall och spannmål och ska därför inte räknas in i jordbrukets primärenergiproduktion (se Tabell 4.2). Om så görs innebär detta en dubbelräkning av den primärproduktion som utnyttjas som foder.

I Tabell 4.5 redovisas den mängd gödsel som uppskattas produceras i svensk djurhållning idag. Uppskattningen baseras på statistik över antalet husdjur inom svenskt jordbruk 2005 (Jordbruksverket och SCB, 2006), tabellvärden för produktionen av gödsel från olika djurslag (Jordbruksverket, 2005; Lantz, 2004) samt justeringar utifrån mängden stallgödsel som spreds 2003 som räknats om till 2005 års förutsättningar (SCB, 2004). När det gäller pro-

duktionen av gödsel per djur varierar denna beroende på foderstat, intensiteten i djurproduktionen m.m., dvs. dessa värden är behäftade med en relativt stor osäkerhet. En övergång från uppboundna till mer frigående djur leder t.ex. till ett ökat behov av halm och därmed gödselproduktion. Tabellvärden för hur mycket gödsel olika djurslag producerar överensstämmer därför inte alltid helt med statistik över hur mycket stallgödsel som sprids per år. Därför har mängden gödsel per djurslag justerats i Tabell 4.5 så att den producerade mängden gödsel bättre överensstämmer med den mängd gödsel som faktiskt sprids.

Beräkningarna inkluderar all gödsel som produceras, dvs. även den mängd som faller på betesmark och som normalt inte samlas in. Hur stor denna del utgör beror på bl.a. på betesperiodens längd som för nötboskap oftast ligger kring 4 månader men som varierar något för olika djurslag (SCB, 2004). För mjölkkor kan dock en stor del av gödseln som produceras under betesperioden samlas in i samband med mjölkning och då cirka 40 procent av korna tillbringar natten inne under betesperioden (SCB, 2004). En uppskattning i denna studie är att 75–80 procent av bruttoproduktionen av gödsel samlas in och sprids på åkermark och 20–25 procent faller på betesmark.

Som framgår av Tabell 4.5 uppskattas den totala energimängden i form av gödsel inom svensk djurhållning uppgå till drygt 14 TWh per år vilket ungefär motsvarar 18 procent av den totala primärproduktionen av grödor inom svensk växtodling. Energiinnehållet i gödsel antas här i genomsnitt uppgå till 4,8 MWh per ton torrsubstans. All gödsel har dock inte sitt ursprung i svensk foderproduktion utan en del baseras på importerat foder, framför allt proteinfoder. Enligt befintlig statistik beräknas mängden gödsel som sprids per år uppgå till drygt 13 000 tusen ton flytgödsel och drygt 5 000 tusen ton fastgödsel vilket omräknat till ton torrsubstans blir ungefär motsvarande mängder (SCB, 2004). I energitermer motsvarar denna mängd gödsel cirka 10 TWh per år. I befintlig statistik inkluderas dock inte hästgödsel som i denna studie beräknas motsvara en stor energipotential, cirka 2 TWh brutto varav drygt hälften antas samlas in. Av bruttoproduktionen om drygt 14 TWh gödsel per år beräknas i denna studie cirka 11 TWh gödsel samlas in och finnas tillgänglig.

Tabell 4.5 Beräknad mängd gödsel som producerades inom svensk djurhållning under 2005¹

Djurslag	Antal	Mängd gödsel per djur (ton ts per år)	Total mängd gödsel (1 000 ton ts per år)	Total energimängd ² (TWh per år)
Mjölkkor	398 000	2,8	1 100	5,4
Dikor	177 000	1,5	270	1,3
Kvigor > 2 år	97 000	1,0	100	0,48
Kvigor 1–2 år	235 000	0,8	190	0,91
Tjurar & stutar > 2år	28 000	1,0	30	0,13
Tjurar & stutar 1–2 år	172 000	0,8	140	0,66
Kalvar < 1 år	512 000	0,5	260	1,2
Suggor & galtar för avel	190 000	0,6	120	0,55
Slaktsvin	1 076 000	0,18	190	0,93
Smågrisar	558 000	0,03	17	0,08
Baggar & tackor	226 000	0,25	57	0,27
Lamm	253 000	0,1	25	0,12
Höns	4 995 000	0,0055	27	0,13
Kycklingar	7 710 000	0,0020	15	0,07
Hästar	283 000	1,5	420	2,0
Summa				14,2

¹ Avser bruttoproduktion, dvs. inkluderar även den andel gödsel som faller på betesmark under betesperioden vilket beräknas utgöra 20–25 procent.

² Energiinnehållet i gödsel antas uppgå till i genomsnitt 4,8 MWh per ton torrsubstans.

4.2 Regional nivå

Av praktiska skäl brukar Sveriges åkerareal delas in i åtta olika produktionsområden som beskrivs i Figur 4.1. Denna indelning utgår inte från län utan från produktionsförutsättningar där förutom jordart också nederbörd, klimatzon m.m. inkluderas. Inom samma produktionsområde bedöms skördenivåer och möjligheter att odla olika slags grödor vara liknande. De åtta produktionsområdena är följande: 1) Götalands södra slättbygder (Gss), 2) Götalands mellanbygder (Gmb), 3) Götalands norra slättbygder (Gns), 4) Svealands slättbygder (Ss), 5) Götalands skogsbygder (Gsk), 6) Mellersta Sveriges skogsbygder (Ssk), 7) Nedre Norrland (Nn) och 8) Övre Norrland (Nö).

I Tabell 4.6 och Figur 4.2 beskrivs förekomsten av åkermark inom respektive produktionsområde samt en översiktlig beskrivning av åkermarksanvändningen för år 2005. Som framgår av Tabell 4.6 och Figur 4.2 utnyttjas vardera cirka 40 procent av Sveriges åkermark för spannmålsodling respektive vallodling. För-

delningen mellan olika produktionsområden skiljer dock avsevärt. Till exempel används cirka 50 procent av åkerarealen i Götalands och Svealands slättbygder för spannmålsodling medan andelen vallodling är mellan 50 och 75 procent i Götalands och Svealands skogsbygder samt i Norrland. Andelen träda är som högst i Svealands slättbygder, cirka 40 procent högre än genomsnittet, medan det är lågt i Götalands södra slättbygder, cirka 40 procent lägre än genomsnittet. Träda inkluderar såväl obligatorisk som frivillig träda där den obligatoriska delen utgör cirka 5 procent av Sveriges totala åkermark. Av dagens obligatoriska träda om cirka 121 000 hektar utnyttjas cirka 15 000 hektar för odling av energigrödor (Johnsson, 2006b).

Som framgår av Tabell 4.6 utgörs trädesarealen nästan uteslutande av obligatorisk träda i Götalands södra slättbygder medan trädesarealen i Svealands slättbygder till största delen utgörs av frivillig träda. Den främsta orsaken till dessa skillnader i andelen frivillig träda mellan olika produktionsområden är skillnader i lönsamhet vid växtodling mellan olika produktionsområden. Om t.ex. energiodling framför allt skulle komma att ske på nuvarande trädesareal innebär detta att energiproduktionen huvudsakligen lokaliseras till Svealands slättbygder och Götalands norra slättbygder som tillsammans representerar knappt 1,1 miljoner hektar åkermark. För att utnyttja trädesareal för bioenergiproduktion krävs dock sannolikt bättre ekonomiskt utbyte än de alternativ som finns i dagsläget. I Tabell 4.7 beskrivs odling av de viktigaste grödorna inom respektive produktionsområde mer i detalj.

Figur 4.1 Indelning av Sveriges åkermark i olika produktionsområden



Källa: SCB.

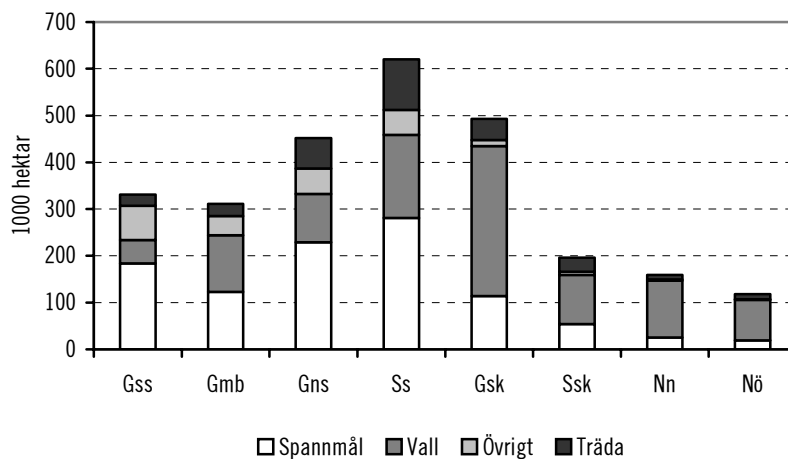
Tabell 4.6 Förekomst av åkermark inom Sveriges åtta olika produktionsområden samt dagens markanvändning¹

Produktionsområde	Areal		Spannmål %	Vall %	Övrigt %	Träda ² %
	(1 000 hektar)	(% av Sveriges totala åkermark)				
Götalands södra slättbygder	331	12,4	55	15	23	7 (7)
Götalands mellanbygder	311	11,6	39	39	14	8 (5)
Götalands norra slättbygder	452	16,9	50	23	13	14 (6)
Svealands slättbygder	620	23,1	45	29	9	17 (5)
Götalands skogsbygder	493	18,4	23	65	3	9 (3)
Mellersta Sveriges skogsbygder	196	7,3	27	53	5	15 (3)
Nedre Norrland	159	5,9	16	76	2	6 (1)
Övre Norrland	118	4,4	16	73	2	9 (2)
Hela riket	2 680	100	38	41	9	12 (5)

¹ Avser år 2005. Baserat på Jordbruksverket och SCB (2006).

² Inklusivt obligatorisk och frivillig träda. Obligatorisk anges inom parantes. Data från Johnsson (2006b).

Figur 4.2 Åkermarksanvändningen år 2005 inom respektive produktionsområde (Jordbruksverket och SCB, 2006)



Tabell 4.7 Odling av olika jordbruksgrödor inom respektive produktionsområde år 2005 (1 000 ha)¹

Produktionsområde	Spannmål					Oljeväxter	Sockerbeter	Baljväxter	Potatis
	Höstvete	Vårvete	Vårkort	Havre	Övrig				
Götalands södra slättbygder	76	12	70	14	12	16	36	9	7
Götalands mellanbygder	36	7	53	9	19	8	13	4	10
Götalands norra slättbygder	90	9	49	53	30	25	-	14	5
Svealands slättbygder	77	27	103	59	15	26	-	9	2
Götalands skogsbygder	12	3	41	42	14	4	-	2	2
Mellersta Sveriges skogsbygder	5	2	24	18	4	3	-	1	1
Nedre Norrland	-	-	20	5	1	-	-	-	1
Övre Norrland	-	-	15	3	-	-	-	-	1
Hela riket	296	60	375	203	95	82	49	39	29

¹ Baserat på Jordbruksverket och SCB (2006).

Skördenivån för de olika jordbruksgrödorna skiljer mellan olika produktionsområden. I Tabell 4.8 anges den genomsnittliga normskörden för olika grödor i Sverige samt hur denna skiljer mellan olika produktionsområden. Dessa skillnader i normskörd mellan olika produktionsområden åskådliggörs också i Figur 4.3.

Normskörden antas visa den skörd man kan förvänta sig under normala väderbetingelser. Normskörden i ett område utgörs av medeltalet av hektarskördarna enligt skördeskattningar under de senaste 15 åren före det aktuella normskördeåret plus en beräknad skördeförändring från 15-årsperiodens mitt till och med det aktuella skördeåret (Jordbruksverket och SCB, 2006). Normskörden baseras således på de faktiska skördar som fås för olika grödor inom olika produktionsområden och inte på potentiella skördenivåer för olika grödor när dessa odlas på olika jordar. I praktiken innebär detta att normskördarna för t.ex. vete och sockerbeter sannolikt är något högre än de genomsnittsskördar som skulle fås på en genomsnittlig åkermark inom ett aktuellt produktionsområde. Vete och sockerbeter odlas normalt på den bördigare åkermarken inom ett produktionsområde. När det gäller grödor som t.ex. korn och råg är situationen oftast den omvända. Dessa grödor odlas framför allt på lite svagare åkermark

vilket ger lägre normskörd än vad som skulle bli fallet om de odlades på en genomsnittlig åkermark. När det gäller vallskörd redovisas ingen statistik över normskördar utan endast över bärgad skörd vilket ligger till grund för de uppskattade skördenivåer som redovisas i Tabell 4.8. Vall odlas också normalt på lite sämre åkermark och ofta extensivt med undantag för gårdar med intensiv mjölk- och köttjursproduktion. Statistiken över bärgade vallskördar utgörs därför av en mix av extensiv och intensiv vallodling vilket tillsammans sett ger en lägre skördeavkastning jämfört med odling på genomsnittlig åkermark med jämförbar intensitet som ettåriga grödor. Därför bedöms de redovisade skördenivåerna för vall i Tabell 4.8 vara underskattade i jämförelse med övriga grödor.

Tabell 4.8 Genomsnittlig normskörd (omräknat till ton ts per hektar och år) för olika grödor i Sverige samt variationen mellan olika produktionsområden¹

Produktionsområde	Höst-vete	Vår-vete	Vår-kort	Havre	Höst-raps	Vår-raps	Sockerbetor	Vall ²
Götalands södra slättbygder	6,8	5,5	5,0	4,6	2,8	2,0	11,2	3,4
Götalands mellanbygder	5,7	4,6	4,0	3,9	2,6	1,9	10,1	4,5
Götalands norra slättbygder	5,0	4,0	4,0	3,7	2,6	2,0	-	3,5
Svealands slättbygder	4,4	4,0	3,5	3,3	2,3	2,0	-	2,7
Götalands skogsbygder	4,3	3,6	3,0	2,9	2,4	1,8	-	3,4
Mellersta Sveriges skogsbygder	4,2	3,8	2,8	2,8	2,4	-	-	2,8
Nedre Norrland	-	-	2,0	1,8	-	-	-	2,6
Övre Norrland	-	-	1,8	1,9	-	-	-	2,9
Hela riket	5,3	4,5	3,7	3,3	2,6	1,9	11,1	3,2

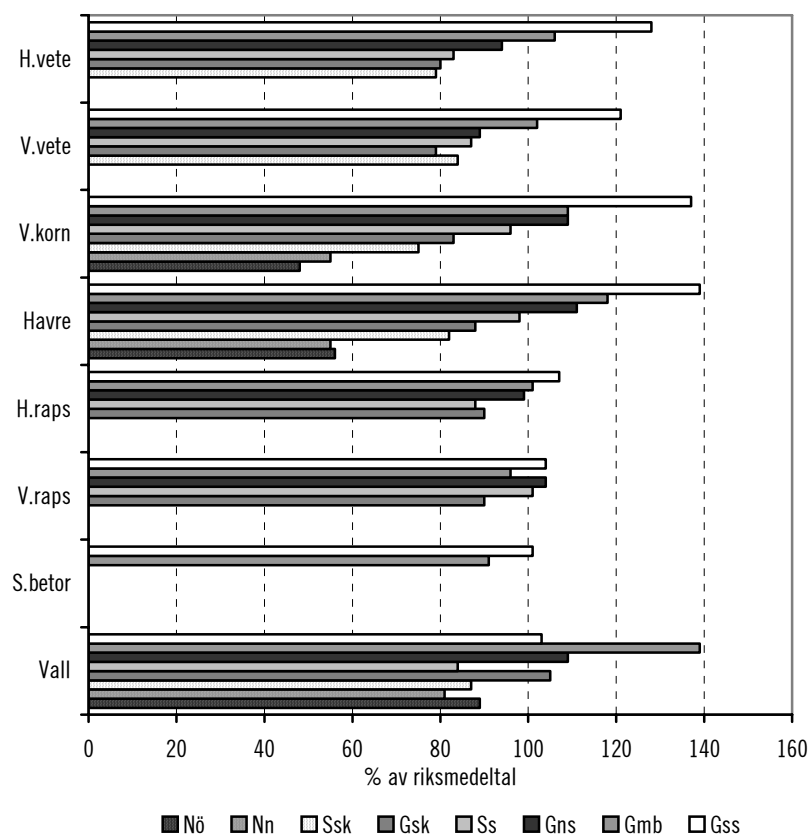
¹ Normskördar 2005 baserat på Jordbruksverket och SCB (2006).

² Ej normskörd utan genomsnittlig bärgad skörd 2002–2004 vilket innebär att dessa inte ger en rättvis bild av produktionsförutsättningarna (se text).

Som framgår av Tabell 4.8 och Figur 4.3 är skillnaderna i medel-skördar stora mellan olika produktionsområden. När det t.ex. gäller spannmåls-skördar är dessa mellan 20 till 40 procent högre i Götalands södra slättbygder än genomsnittliga normskördar för riket, beroende av spannmålslag. I Svealands slättbygder är de jämförbara eller ner till 20 procent lägre. I Norrland är spannmåls-skördarna cirka hälften så höga som genomsnittliga normskördar för riket. Däremot är skillnader i normskördar av oljeväxter betydligt mindre mellan olika produktionsområden, endast cirka +/- 10 procent. När det gäller bärgade skördar av vall är dessa i

jämförelse relativt låga i slättbygderna. Allra högsta vallskördar bärgas i Götalands mellanbygder där skördenivån är cirka 40 procent högre än genomsnittet för riket. Vallskördarna i Norrland är i jämförelse relativt höga, eller endast cirka 10 till 20 procent lägre än genomsnittet för riket. En förklaring till varför bärgade vallskördar är relativt sett låga i slättbygder jämfört med mellan- och skogsbygder är att vallodling i slättbygder till stor del utgörs av extensiv odling. I mellan- och skogsbygder är mjölk- och köttjursproduktion betydligt mer omfattande än i slättbygder varför produktion av vallfoder har högre prioritet inom mellan- och skogsbygder vilket leder till en intensivare vallodling. De skillnader i bärgade vallskördar som redovisas i Tabell 4.8 mellan olika produktionsområden speglar därför inte de faktiska produktionsförutsättningarna då dessa bedöms vara högre för slättbygder.

Figur 4.3 Normskörd för olika grödor i olika produktionsområden uttryckt som procent av genomsnittlig normskörd för riket vilket motsvarar 100 procent. (Normskörd avser 2005. Vallskörd avser genomsnittlig bärgad skörd 2002–2004)

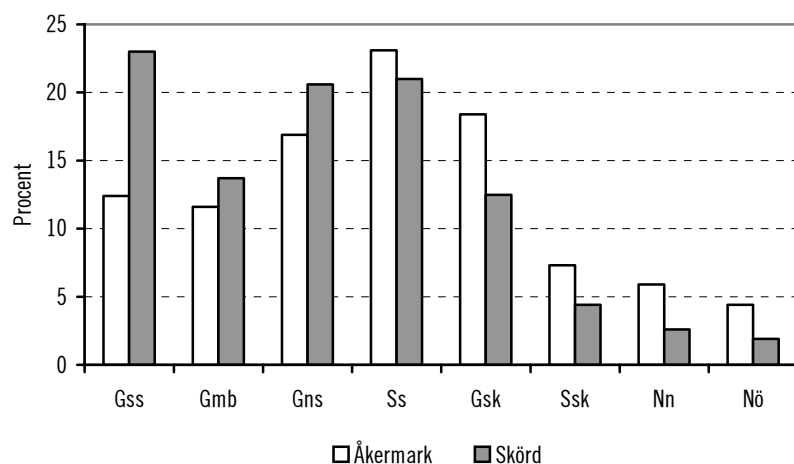


I Figur 4.4 beskrivs förhållandet mellan respektive produktionsområdes andel av total åkermark i Sverige och dess andel av total biomassaskörd (brutto, inklusive växtrester) uttryckt i energitermer. Som framgår av Figur 4.4 produceras mer biomassa (brutto) i t.ex. Götalands södra slättbygder än i Svealands slättbygder trots att åkerarealen är nästan dubbelt så stor i Svealands slättbygder jämfört med i Götalands södra slättbygder. Genom att dividera andelen av total biomassaskörd med andelen av total åkermark fås en kvot som tydligt beskriver dagens skillnader mellan de olika produktionsområdenas effektivitet i fråga om bio-

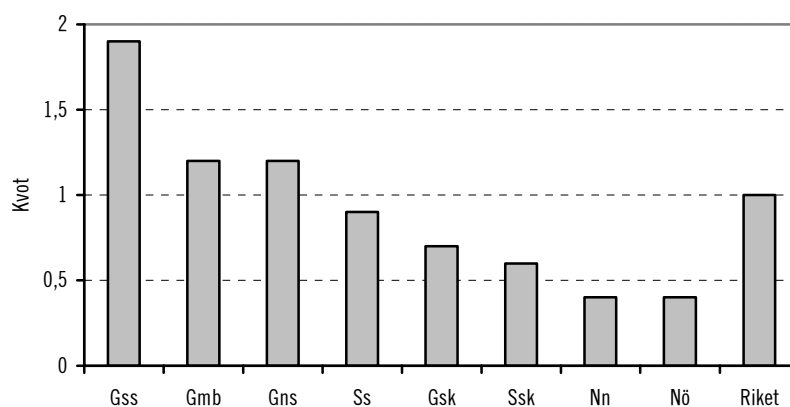
masseproduktionen per enhet åkerareal (se Figur 4.5). Som visas i Figur 4.5 produceras nästan dubbelt så mycket biomassa per enhet åkerareal i Götalands södra slättbygder än genomsnittet för Sverige. I Götalands norra slättbygder och mellanbygder produceras också mer biomassa per enhet åkermark än genomsnittet (kvot över 1). I Svealands slättbygder produceras något mindre biomassa per enhet åkerareal jämfört med genomsnittet för riket, medan motsvarande produktion i nedre och övre Norrland är mindre än hälften.

Sammanfattningsvis produceras idag nästan fem gånger mer biomassa (brutto) per enhet åkerareal i Götalands södra slättbygder jämfört med i Norrlands jordbruksbygder. Orsakerna till dessa skillnader är framför allt skillnader i skördenivåer per hektar och vilka grödor som odlas (och kan odlas) inom respektive produktionsområde. Dessa skillnader i produktionsförutsättningar mellan olika produktionsområden har således stor betydelse för hur mycket bioenergi jordbruket kan komma att producera i framtiden beroende på var i landet denna huvudsakligen kommer att ske.

Figur 4.4 Förhållandet mellan respektive produktionsområdes andel av total åkermark i riket och andel av total biomassaskörd, uttryckt i procent (avser 2005)



Figur 4.5 Kvoten mellan andel av total biomassaskörd i riket och andel av total åkermark för respektive produktionsområde (avser 2005)



4.3 Lokal nivå

Förutom att klimat, nederbörd m.m. påverkar de regionala skillnaderna i skördenivåer och förutsättningar för att odla olika grödor spelar också åkermarkens jordart stor roll. Åkermark med hög lerhalt är t.ex. oftast betydligt bördigare än sandjordar, speciellt vid begränsad nederbörd under växtsäsongen. I Tabell 4.9 redovisas den procentuella fördelningen av olika jordarter som lerjord, siltjord, sandjord och organogen jord (mulljord) för respektive län som procent av länets totala åkermarksareal. Som framgår av Tabell 4.9 kan t.ex. förekomsten av lerjord variera från cirka 8 till 80 procent mellan olika län. Jordartsfördelningen kan således variera stort mellan olika län. Detta innebär också att skördenivåerna inom ett och samma län kan variera väsentligt vilket tidigare beskrivningar av normskördar inom olika produktionsområden delvis visar. Till exempel ingår Skåne i tre olika produktionsområden (Gss, Gmb och Gsk) där normskörden för korn varierar med en faktor 1,8. Statistiken över normskördar för de större produktionsområdena baseras på ett antal skördeområden inom respektive län som för Skåne t.ex. utgörs av 17 stycken. Motsvarande antal för t.ex. Jönköping är 6 stycken, Västra Götaland 20 stycken, och Östergötland, Västmanland och Västerbotten 7 stycken. Detta i sin tur speglar delvis spridningen av olika jordarter inom respektive län.

Tabell 4.9 Länsvis tillgång på åkermark samt dess jordartsfördelning

	Areal ¹		Jordartsfördelning (%) ²			
	(1 000 hektar)	(% av Sveriges totala åkermark)	Lerjord ³	Siltjord ⁴	Sandjord ⁵	Organogen Jord ⁶
Stockholms	86	3,2	80	6	8	6
Uppsala	149	5,6	76	14	4	6
Södermanlands	129	4,8	62	22	2	12
Östergötlands	206	7,7	78	8	6	8
Jönköpings	90	3,4	38	10	36	16
Kronobergs	51	1,9	30	8	46	16
Kalmar	126	4,7	48	10	26	16
Gotlands	86	3,2	52	6	20	22
Blekinge	31	0,4	44	20	22	14
Skåne	454	16,9	71	6	20	3
Hallands	114	4,3	40	6	42	12
Västra Götalands	476	17,8	51	23	18	8
Värmlands	110	4,1	20	56	20	4
Örebro	107	4,0	52	24	8	16
Västmanlands	123	4,6	74	14	4	8
Dalarnas	62	2,3	8	82	4	6
Gävleborgs	70	2,6	56	28	8	8
Västernorrlands	52	1,9	20	68	2	10
Jämtlands	43	1,6	62	6	18	14
Västerbottens	72	2,9	8	34	42	16
Norrbottens	37	1,4	14	32	36	18
Hela riket	2 680	100	55	19	17	9

¹ Avser år 2005. Baserat på Jordbruksverket och SCB (2005).

² Baserat på Börjesson (1997).

³ Inkluderar lätt lera till styv lera.

⁴ Inkluderar finmo och mjåla.

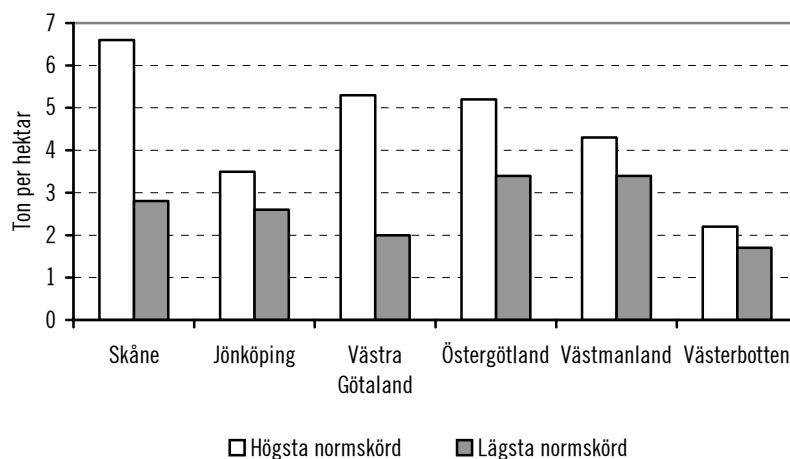
⁵ Inkluderar sand och grovmo.

⁶ Inkluderar åkermark med över 20 procent mullhalt.

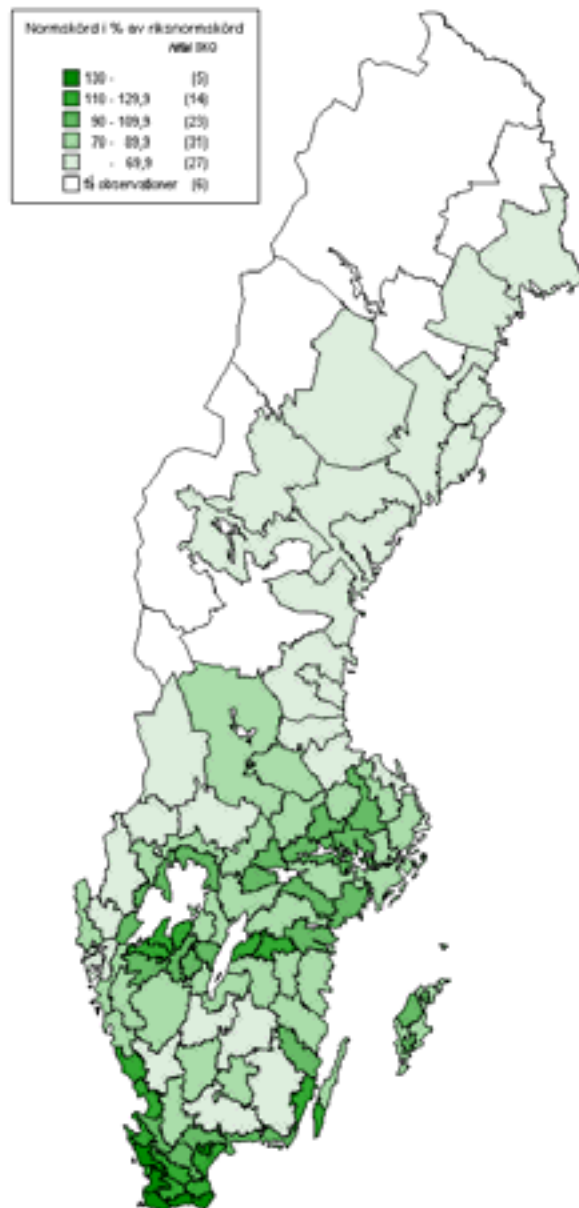
I Figur 4.6 samt 4.7 illustreras denna skillnad i normskördar mellan olika skördeområden (Jordbruksverket och SCB, 2005). En slutsats är att län med mer homogena jordar, t.ex. Östergötland och Västmanland med 75–80 procent lerjord, har relativt liten spridning i normskördar mellan olika skördeområden (cirka 1,5 respektive 1,25). Län med mycket åkermark och relativt stor variation i olika jordarter, t.ex. Skåne och Västra Götaland, har betydligt större spridning i normskörd mellan olika skördeområden (cirka 2,5). En jämförelse mellan Figur 4.7 och Figur 4.1 (som beskriver indelningen av Sveriges åtta produktionsområden) visar t.ex. att sprid-

ningen i normskörd av vårkorn inom ett och samma produktionsområde ofta uppgår till +/- 20 procent (dvs. varje produktionsområde innefattar minst två skördenivåklasser enligt Figur 4.7). Förutom signifikanta skillnader i genomsnittsskördar mellan olika produktionsområden (som beskrivs i avsnitt 4.2) finns således också signifikanta skillnader i skördenivå inom respektive produktionsområde (här beskrivet som skördeområden) som bl.a. beror på lokala variationer i jordart. Dessa lokala variationer i skördenivåer kan också få stor betydelse för hur mycket bioenergi jordbruket kan komma att producera. Om t.ex. energiodlingar framför allt lokaliseras på sämre åkermark inom ett produktionsområde fås en lägre total produktion än vad genomsnittsskördarna för produktionsområdet indikerar.

Figur 4.6 Högsta respektive lägsta normskörd av korn under 2005 för de skördeområden som ingår i respektive län (Jordbruksverket och SCB, 2005)



Figur 4.7 Normskörd för vårkorn för olika skördeområden uttryckt som procent av genomsnittlig normskörd för riket (vilket motsvarar 100 procent)

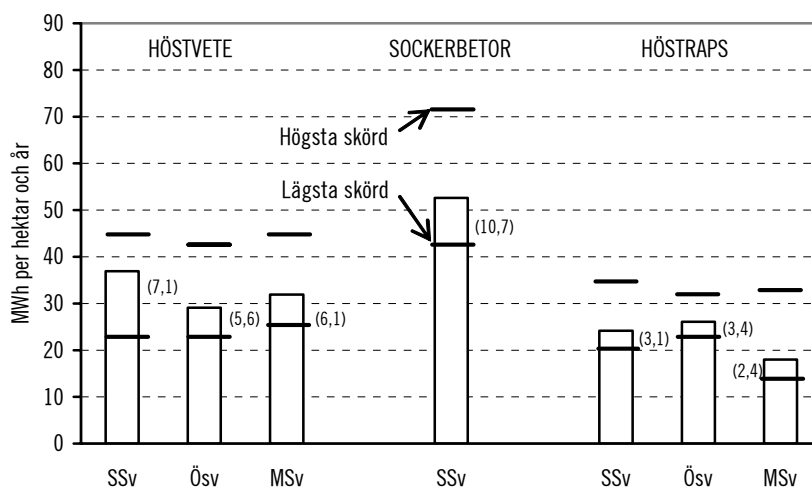


Källa: Jordbruksverket och SCB, 2005.

4.4 Gårdsnivå

Odling i Balans är ett flerårigt projekt som stöds av ett 20-tal intressenter inom jordbrukssektorn vars syfte är att kombinera ekonomi och ekologi för den enskilda gården (Odling i Balans, 2006). Inom projektet finns cirka 15 pilotgårdar i södra och mellersta Sverige som dokumenteras årligen, bl.a. när det gäller skördeavkastning och energibalans i växtodling. I Figur 4.8 beskrivs hur energiskörden för höstvet, sockerbetor och höstraps kan variera inom åtta av dessa gårdar under perioden 2003-2006. Data baseras på Törner (2006) och de aktuella gårdarna är lokaliserade i södra Sverige (SSv), sydöstra Sverige (ÖSv) samt i Mälardalen (MSv).

Figur 4.8 Genomsnittlig bruttoenergiskörd för höstvet, sockerbetor och höstraps för åtta växtodlingsgårdar lokaliserade i södra Sverige (SSv), sydöstra Sverige (ÖSv) samt i Mälardalen (MSv) under odlings-säsongerna 2003-2006. Variationen i skördenivå indikeras mer "Högsta skörd" respektive "Lägsta skörd". Värdena inom parantes anger den genomsnittliga skördenivån i ton torrsubstans. Baserat på data från Odling i Balans (Törner, 2006).



Resultaten i Figur 4.8 indikerar att skördenivån kan variera avsevärt mellan olika gårdar, fält och odlingsår. Skillnaderna i skördenivå inom en gård uppgår oftast till +/- 20 procent och ibland upp till det dubbla eller mer. Förutom skillnader i bruttoenergiskörd varie-

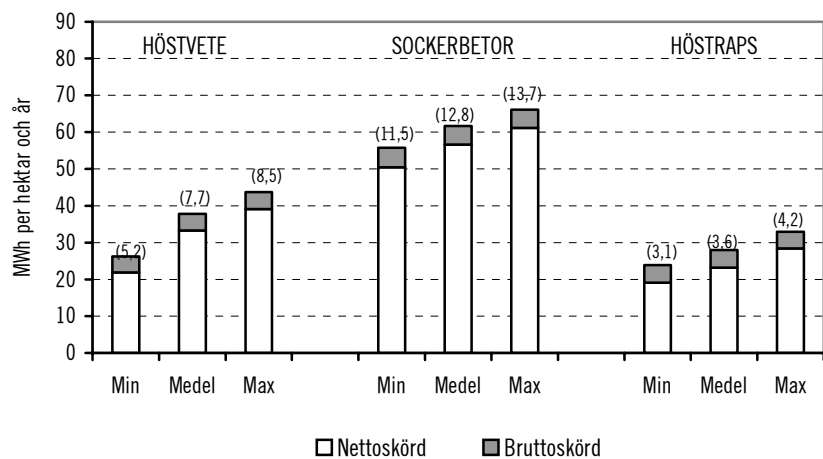
rar också behovet av insatsenergi per skördad mängd biomassa mellan olika gårdar, fält och år. Energiinsatsen vid höstveteodling varierar i detta exempel mellan drygt 7 procent upp till cirka 20 procent av energiskörden (i genomsnitt 12 procent) varav 60 – 90 procent utgörs av drivmedel, gödselmedel och torkning. Variationen i insatsenergi beror framför allt på skördenivå och skillnader i behov av spannmålstorkning. Energiinsatsen vid sockerbetsodling varierar mellan cirka 5 till 10 procent (i genomsnitt 7 procent) och vid odling av höstraps mellan cirka 10 till 25 procent (i genomsnitt 14 procent). Vid odling av höstraps utgör normalt 75–90 procent av insatsenergin drivmedel, gödselmedel och torkning.

I Figur 4.9 beskrivs hur energiskörden för höstvete, sockerbetor och höstraps kan skilja för en enskild gård mellan olika fält och odlingsår (2003–2005) (Törner, 2006). För den aktuella gården som är belägen i södra Skåne är bruttoenergiskörden för sockerbetor cirka dubbelt så stor jämfört med höstraps (fröskörd) och cirka 50 procent högre jämfört med höstvete (kärnskörd). Höstveteskörden ligger i genomsnitt kring 9 ton per hektar och år vilket indikerar mycket bördig åkermark. Variationen i skörd mellan olika fält och odlingsår är ungefär +/- 25 procent för höstvete, +/- 10 procent för sockerbetor och +/- 20 procent för höstraps. Energiinsatsen är relativt lika för de olika grödorna, cirka 3,8 till 5,6 MWh per hektar och år beroende av t.ex. behov av torkenergi, mineralgödsel och drivmedel. Dessa tre poster svarar normalt för 70 till 95 procent av den totala energiinsatsen vid odling (transport från gård är inte inkluderat). Nettoenergiskörden, dvs. bruttoenergiskörden minus energiinsatsen, är för höstvete, sockerbetor och höstraps i genomsnitt cirka 88 procent, 92 procent respektive 83 procent av bruttoenergiskörden för den aktuella gården. Energibalansen, dvs. kvoten mellan bruttoenergiskörd och energiinsats, är i genomsnitt cirka 7,4 för höstvete (5,1–8,5), 11,1 för sockerbetor (9,5–12,5) respektive 4,8 för höstraps (4,0–6,3).

En jämförelse mellan nettoenergiskörden för höstvete för de pilotgårdar som ingår i Odling i Balans visar att energinettet i genomsnitt var cirka 25 procent högre under 2003 till 2005 för de gårdar som ligger i Skåne jämfört med de gårdar som ligger i Östergötland och Mälardalen (Törner, 2006). Skillnaden mellan de olika odlingsåren kan dock vara stor, speciellt i Östergötland och Mälardalen.

Sammanfattningsvis kan skillnader i skördenivå mellan olika fält inom en och samma gård vara stora, ofta +/- 20 procent eller mer. Därtill kommer signifikanta skillnader i årsmån. Dessutom styr aktuella förutsättningar på gården vilka energigrödor som är lämpliga att odla, t.ex. utifrån markförhållanden, aktuell växtföljd m.m., vilket också påverkar hur stor energiskörden blir per hektar. Beroende av vilka fält lantbrukaren väljer att odla energigrödor på fås således skillnader i hur mycket bioenergi gården kommer att producera. Om lantbrukare generellt väljer att odla energigrödor på de mer lågavkastande fälten på gården innebär detta också att den totala mängden bioenergi som jordbruket kan producera blir lägre än vad genomsnittsskördar inom produktionsområden respektive skördeområden indikerar. Detta kan också delvis förklara de låga skördar som tidigare satsningar på energiodlingar gett, t.ex. salixodlingar i samband med Omställning -90. Här utnyttjades till stor del marginalmarker som kanske avkastade endast hälften jämfört med genomsnittlig åkermark inom produktionsområdet.

Figur 4.9 Brutto- respektive nettoenergiskörd för höstvet, sockerbetor och höstraps för en växtodlingsgård i södra Skåne under odlings-säsongerna 2003–2005. Värdena inom parentes anger skördenivån i ton torrsbstans. Baserat på data från Odling i Balans (Törner, 2006).



5 Nedlagd jordbruksmark

Förutom de cirka 2,7 miljoner jordbruksmark som används idag för livsmedels- och foderproduktion (inklusive 12 procent träda, se Tabell 4.1) finns också tidigare jordbruksmark som lagts ned under senare år och som inte utnyttjas aktivt idag (och som inte ingår i officiella register eller söks EU-stöd för). Denna tidigare jordbruksmark, som kan bestå av gammal åkermark, betesmark och hagmark, bedöms i vissa studier kunna vara tillgänglig för energiproduktion. Det finns dock en stor osäkerhet i hur stor areal nedlagd jordbruksmark som finns, hur lämplig denna är för energiproduktion samt vilka skördenivåer som kan bli aktuella på dessa marker. För att få säkrare bedömningar kring dessa frågeställningar krävs betydligt bättre kartläggning och statistik än vad som finns idag. I följande avsnitt görs dock en översiktlig sammanfattning utifrån den data som finns tillgänglig idag.

5.1 Uppskattad areal

Det finns olika uppskattningar om hur stor areal nedlagda jordbruksmark uppgår till. Enligt t.ex. Oljekommissionen (2006) bedöms cirka 400 000 hektar ”tidigare jordbruksmark” kunna utnyttjas för energiproduktionen i framtiden. Denna areal baseras på en relativt grov uppskattning av SCB om att det finns cirka 150 000 hektar ängs- och hagmarker som markägare inte söker stöd för, dvs. inte ingår i officiella register, samt cirka 250 000 hektar ”tidigare åkermark” som inte används aktivt och som ännu inte vuxit igen. Denna ”tidigare åkermark” utgörs också av betesmark.

En annan bedömning av Riksskogstaxeringen 2003–2005 är att det finns cirka 240 000 hektar skogsmark som varit jordbruks- och hagmark under de senaste 20 åren (Fridman, 2006). Det saknas dock uppgifter om hur stor andel av denna areal som beskogats idag. Dessutom finns ytterligare cirka 310 000 hektar skogsmark som varit jordbruksmark för över 20 år sedan (se Tabell 5.1). Av dessa 310 000 hektar är cirka 260 000 hektar (82 procent) be-

skogade medan drygt 50 000 hektar (18 procent) fortfarande är kalmare. Som framgår av Tabell 5.1 återfinns drygt hälften av de totalt 240 000 hektar jordbruks- och hagmark som lagts ner under de senaste 20 åren i Götaland. I Svealand återfinns knappt 30 procent och i Norrland ungefär 20 procent. Enligt Riksskogstaxeringen har nedläggningen av hagmark framför allt skett i Götaland där motsvarande 75 procent av all nedlagd hagmark återfinns. När det gäller jordbruksmark som lagts ned för mer än 20 år sedan och som fortfarande inte beskogsats (kalmare) återfinns knappt hälften av denna i Götaland och drygt en fjärdedel i norra Norrland.

Tabell 5.1 Tidigare jordbruks- och hagmark som nu definieras som skogsmark enligt Riksskogstaxeringen 2003–2005¹

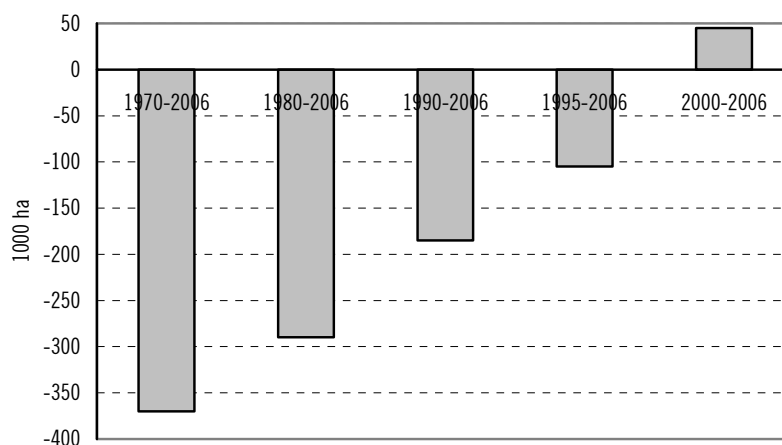
	Jordbruks- och hagmark som lagts ner inom de senaste 20 åren		Jordbruksmark som lagts ner för över 20 år sedan	
	Hagmark	Jordbruksmark	Kalmare	Beskogad
Total areal i Sverige	80 000 ha	158 000 ha	56 000 ha	257 000 ha
Fördelning per region				
Norra Norrland	3 %	17 %	27 %	43 %
Södra Norrland	6 %	9 %	13 %	15 %
Svealand	16 %	34 %	14 %	33 %
Götaland	75 %	40 %	46 %	35 %

¹ Data baserat på Fridman (2006).

Som jämförelse till de uppskattningar som gjorts av Oljekommissionen och Riksskogstaxeringen avseende arealen nedlagd jordbruksmark finns en så kallad blockdatabas som upprättades av Jordbruksverket 1998 och som bygger på Lantmäteriverkets ekonomiska kartblad. Dessa kartblad har olika ålder där vissa är från 1950-talet vilket innebär att aktualitetsgraden är varierande. I samband med upprättandet av denna blockdatabas identifierades cirka 200 000 så kallade block bestående av framför allt nedlagd åkermark men också betesmark som inte utnyttjades för vare sig jordbruks- eller skogsproduktion (Tarighi, 2006). Ett block utgör en sammanhängande mark som avgränsas mot en skog, väg, vattendrag eller dylikt och kan utgöras av ett eller flera skiften. En grov uppskattning är att ett genomsnittligt block motsvarar 2–3 hektar (Tarighi, 2006). Detta ger en total areal nedlagd åker- och betesmark om cirka 400 000–600 000 hektar sedan 1950-talet och framåt.

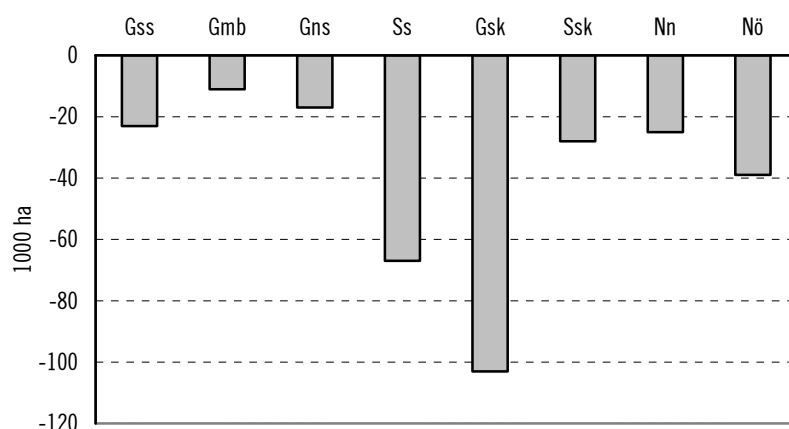
Ett annat sätt att få en uppfattning om hur mycket nedlagd åkermark som finns är att följa åkerarealens utveckling. Detta kan t.ex. göras med ledning av den statistik som årligen har rapporterats från lantbruksregistret sedan början av 1960-talet tillsammans med de uppgifter som jordbrukarna har lämnat i samband med stödansökningar under de senaste åren. Följande uppskattningar har utförts av Marknadsenheten på Jordbruksverket (Johnsson, 2006b). I Figur 5.1 beskrivs hur stor arealminskningen av åkermark vid olika tidpunkter jämfört med 2006 års areal. Åkerarealen har minskat kontinuerligt sedan 1960-talet men under vissa perioder har minskningen gått snabbare, t.ex. i samband med omställningen i början av 1990-talet (Johnsson, 2006b). Det har även skett arealökningar under perioden, t.ex. till följd av omläggning av statistiken då storleken på företaget som inkluderas ändrades från 2 till 0,3 hektar åker 1996. Införandet av gårdsstöd 2005 har också lett till att nya arealer har anmälts för stöd. Totalt har åkerarealen ökat med cirka 35 000 hektar sedan 2004. Enligt Jordbruksverkets studier har den areal som tillkommit i flesta fall utgjorts av mycket små skiften som huvudsakligen använts för vall och bete (Johnsson, 2006b). Som framgår av Figur 5.1 har åkerarealen minskat med cirka 300 000 hektar under den senaste 25-årsperioden och med drygt 100 000 under den senaste 10-årsperioden. Enligt Johnsson (2006b) är uppgifterna från lantbruksregistret kring utvecklingen av betesmarksarealens storlek mycket osäkra och inte användbara för en bedömning hur utvecklingen varit under en längre tidsperiod. Därför inkluderas inte betesmarksarealens utveckling här.

Figur 5.1 Förändringar i åkerareal vid olika tidpunkter jämfört med 2006 års åkerareal, baserat på data från Jordbruksverket (Johnsson, 2006b)



Nedläggningen av åkermark varierar mycket mellan olika produktionsområden. Procentuellt har åkerarealen i Norrland samt i mellersta Sveriges och Götalands skogsbygder minskat betydligt mer än i Götalands och Svealands slättbygder (Johnsson, 2000b). I t.ex. norra Norrland har åkerarealen minskat med 25 procent sedan början av 1970-talet medan motsvarande minskning i Götalands södra slättbygder har varit mindre än 7 procent. I Figur 5.2 redovisas hur stor areal åkermark som lagts ner inom respektive produktionsområde mellan 1970 och 2006 (Johnsson, 2006b). Minskningen i hektar har varit störst i Götalands skogsbygder med drygt 100 000 hektar.

Figur 5.2 Minskad åkerareal i olika produktionsområden under perioden 1970–2006, baserat på data från Jordbruksverket (Johnsson, 2006b)



Sammanfattningsvis finns en stor osäkerhet kring hur mycket nedlagd jordbruksmark som finns idag och som inte aktivt utnyttjas för jordbruks- eller skogsproduktion. Detta gäller framför allt nedlagd betes- och hagmark. När det gäller åkermark tyder statistiken på att mellan 150 000–300 000 hektar lagts ner under de senaste 25 åren. Dessutom finns en stor osäkerhet kring hur stor andel av denna potentiella areal som är lämplig att utnyttja för energiproduktion. Sannolikt är det den mest lågavkastande och olönsamma jordbruksmarken som normalt tas ur drift först. Det kan vara marker med dålig arrondering och som ligger otillgängligt till med långa transportavstånd, marker som är svårbrukade på grund av mycket odlingshinder i form av sten m.m., blöta torvmarker där dräneringssystem slutat fungera vilket innebär problem med bärighet för maskiner osv. En del av dessa marker är därför troligen också olämpliga för t.ex. bioenergiproduktion då produktionskostnaderna skulle bli för höga i förhållande till möjlig skördeavkastning. En stor del av dessa marker, framför allt gamla hagmarker, bör också vara värdefulla att bevara med tanke på den biologiska mångfalden och därför inte aktuella för bioenergiproduktion.

5.2 Avkastningsnivåer

Hur produktiv nedlagd jordbruksmark är och som kan bli aktuell för energiproduktion är naturligtvis omöjligt att veta. En utgångspunkt för bedömning av produktiviteten kan dock vara antagandet om att denna inte ger en högre avkastning än den som fås på de mest lågproduktiva åkermarkerna som fortfarande brukas. Ett mått på detta kan t.ex. den lägsta normskörden av korn för ett skördeområde inom ett produktionsområde vara. Den lägsta normskörden för korn uppgår till mellan cirka 2,6–3,6 ton per hektar i Götaland beroende av vilket skördeområde som avses (Jordbruksverket och SCB, 2005, se Figur 4.7). Motsvarande lägsta normskörd i Svealand och Norrland är 1,9–3,4 respektive 1,6–2,0 ton per hektar. När också halm inkluderas blir biomassaskörden, uttryckt i ton ts per hektar och år, cirka 4–5,5 i Götaland, 2,9–5,2 i Svealand respektive 2,4–3,1 i Norrland.

En annan utgångspunkt för bedömning av nedlagd åkermarks produktivitet kan vara antagandet om att denna är jämförbar med produktiviteten för genomsnittlig skogsmark inom området. Boniteten, dvs. en ståndorts virkesproducerande förmåga, för skogsmark i Norrland är i genomsnitt till cirka 4 skogskubikmeter per hektar och år medan den i Svealand och Götaland uppgår till cirka 6 respektive 9 skogskubikmeter (SCB, 2006). Detta motsvarar ungefär 2, 3 respektive 4,5 ton ts per hektar och år vid helträdsskörd. Boniteten varierar dock också betydligt inom en region eller produktionsområde. I Götaland återfinns t.ex. cirka 80 procent av skogsmarken inom bonitetsklass 5 till 11 skogskubikmeter per hektar och år med en relativt jämn fördelning mellan bonitetsklasserna. I Svealand och Norrland återfinns cirka 80 procent av skogsmarken inom bonitetsklass 3 till 8 respektive 2 till 5 skogskubikmeter per hektar och år (SCB, 2006).

Sammanfattningsvis ger dessa två olika sätt att uppskatta en möjlig avkastningsnivå på nedlagd jordbruksmark ungefär samma resultat, dvs. mellan 4–6, 3–5 och 2–3 ton ts per hektar och år i Götaland, Svealand respektive Norrland. Variationen kan dock vara betydligt större i praktiken då nedlagd jordbruksmark kan betraktas som marginalmark med stora lokala skillnader i produktionsförmåga. Med tanke på att nedlagd jordbruksmark bedöms till stor del utgöras av mindre skiften med dålig arrondering är det endast ett begränsat urval av energigrödor som kan bli aktuella att odla här. De praktiska möjligheterna att odla t.ex. ettåriga traditionella

grödor eller energiskog i form av salix bedöms vara mycket begränsade. Däremot kan odling av snabbväxande lövträd som hybridasp och poppel eller gran med eller utan gödsling vara ett betydligt mer realistiskt alternativ. Vid denna odling utnyttjas traditionella skogsmaskiner som är anpassade för varierande terrängförhållanden och som inte kräver stora enhetliga arealer med bra arrondering likt dagens jordbruksmaskiner.

6 Restprodukter för energiändamål – produktionsförutsättningar

6.1 Växtrester från odling

Som framgår av Tabell 4.2 motsvarar dagens produktion av restprodukter inom växtodlingen cirka 31 TWh biomassa per år. Hur stor del av denna mängd som kan utnyttjas för energiändamål beror av ett flertal faktorer. Den största delen, cirka 27 TWh per år, utgörs av halm från spannmålsodling. Bedömningar visar att den nettohalmmängd som är möjlig att skörda, dvs. exklusive stubb, agnar, boss och spill vid bärgning, oftast uppgår till mellan 60–80 procent av den totala halmproduktionen (Börjesson, 1994; Henriksson och Stridsberg, 1992). Om nettohalmmängden som är möjlig att skörda uppgår till i genomsnitt 70 procent för spannmål reduceras tillgången av halm från 27 TWh till cirka 18 TWh per år.

Enligt Henriksson och Stridsberg (1992) är det inte rimligt att räkna med att all halm bärgas från alla fält varje år. Klimat, väderleksvariationer, tidsbrist på grund av annat skördearbete är orsaker till detta. Dessutom bör halm sparas av ekologiska skäl för att bibehålla åkermarkens mullhalt. Detta är speciellt viktigt på gårdar med enbart växtodling som inte har tillgång på stallgödsel (Bernesson och Nilsson, 2005). Därför är mängden ”bärgningsbar halm” lägre än tillgänglig nettohalmmängd. Andelen bärgningsbar halm i förhållande till tillgänglig nettohalmmängd bedöms kunna variera mellan cirka 20 procent upp till 85 procent beroende av spannmålsslag, jordart, växtföljd, tillgång på stallgödsel och region i landet (Henriksson och Stridsberg, 1992; Bernesson och Nilsson, 2005). En grov bedömning är att den bärgningsbara halmskörden ofta motsvara cirka 75 procent av nettohalmmängden i södra och östra Götaland medan den i nordvästra Götaland och västra Svealand bedöms uppgå till cirka 50 procent idag. Dessa regionala skillnader beror på en kombination av olika längd på bärgningsperiod och behov av halm för att bibehålla mullhalten i åkermarken. Andelen bärgningsbar halm kan dock komma att förändras i framtiden om värdet på halm ökar och dagens skörd begränsas av kort

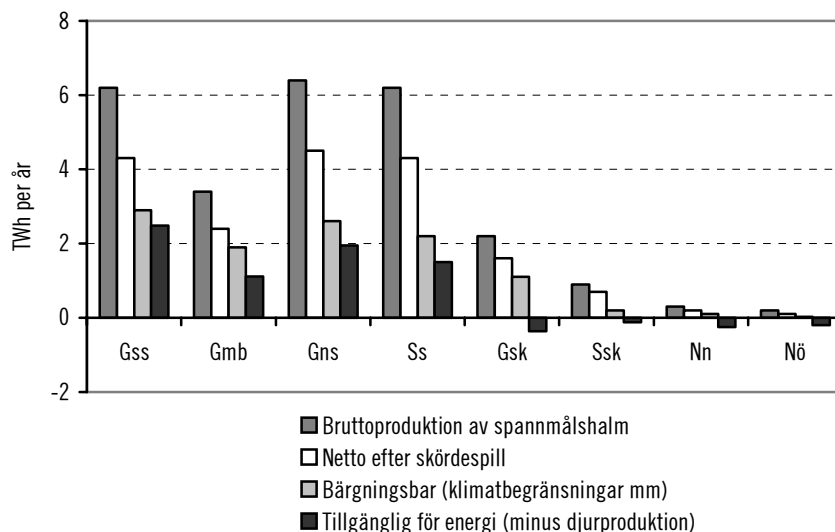
bärgningsperiod. Om bärgning av halm får högre prioritet medför detta ökade investeringar i maskinkapacitet och snabbare halm-skörd. Beroende på odlingsteknik (t.ex. plöjningsfri odling), tillgång på andra organiska restprodukter (t.ex. gödsel, rötrest m.m.) samt växtföljd (t.ex. större inslag av fleråriga grödor) kan också behovet av halm för att bibehålla åkermarkens mullhalt ändras. Utifrån de restriktioner som antas gälla idag reduceras tillgången av halm ytterligare till cirka 11 TWh per år.

Av den bärgningsbara halmmängden används en relativt stor del inom husdjursproduktionen som strö och foder. Enligt Henriksson och Stridsberg (1992) är förbrukningen av halm per djurslag och år ungefär följande: kor 720 kg, ungdjur 360 kg, kalvar 240 kg, får 360 kg, suggor 365 kg, slaktsvin 55 kg och hästar 720 kg. Baserat på dessa förbrukningssiffror samt statistik över antalet husdjur år 2005 beräknas den totala halmförbrukningen inom animalieproduktionen uppgå till knappt 5 TWh per år. Av den bärgningsbara halmskörden om cirka 11 TWh blir således cirka 6 TWh kvar när förbrukningen inom animalieproduktionen dragits bort. En relativt stor del av den halm som används som foder och strö kommer dock att återfinnas i gödseln och kan därför utnyttjas för energi-produktion vilket diskuteras senare i rapporten. De uppskattningar som anges ovan om förbrukningen av halm för olika djurslag är relativt grova och kan skilja stort utifrån lokala förutsättningar. Till exempel kan behovet av strö skilja beroende på vilka system som används vid djurhållning, t.ex. uppbunda djur eller djur i lösdrift. En förändring av antalet husdjur påverkar också behovet av halm som strö och foder. Som jämförelse visar tidigare potentialuppskattningar för halm att mellan 4 till 10 TWh halm per år kan utnyttjas för energiändamål (Henriksson och Stridsberg, 1992; SOU, 1992; Bernesson och Nilsson, 2005).

I Figur 6.1 redovisas tillgången på spannmålshalm inom de olika produktionsområdena baserat på de antaganden som gjorts i denna studie. Som framgår av figuren bedöms tillgången av halm för energiändamål vara koncentrerad till framför allt Götalands slättbygder (Gss och Gns) där ett "överskott" om drygt 4 TWh beräknas finnas. Däremot kan det till och med råda ett visst "underskott" av halm i Götalands och Svealands skogsbygder och i Norrland, framför allt till följd av ett stort behov av halm inom djurproduktion. Beräkningarna av tillgången av halm är behäftade med relativt stor osäkerhet vilket framgår av de antaganden som gjorts ovan. Om t.ex. ekologiska och klimatmässiga restriktioner

vid bärgning av halm minskar med cirka 30 procent till följd av effektivare bärgningsteknik och förändrad odlingsteknik innebär detta att ytterligare cirka 2 TWh halm är tillgängligt för energiändamål. Om behovet av halm för djurproduktion minskar med t.ex. 20 procent innebär detta cirka ytterligare 1 TWh halm för energiändamål. Om däremot arealen spannmålsodling minskar med t.ex. 20 procent minskar mängden tillgänglig halm i motsvarande grad. Resultaten i Figur 6.1. över tillgänglig mängd halm för energiändamål ska därför ses som relativt grova uppskattningar.

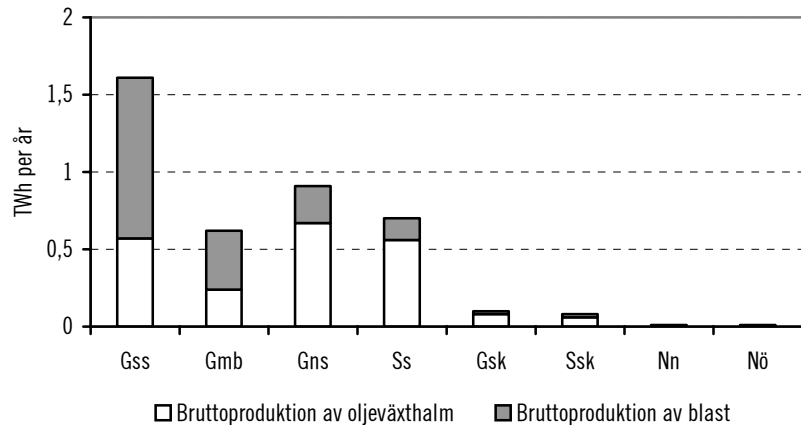
Figur 6.1 Uppskattad tillgång på spannmålshalm inom respektive produktionsområde (avser 2005)



Bruttoproduktionen av rapshalm samt blast från baljväxter, potatis och sockerbetor uppgår till vardera cirka 2 TWh per år, dvs. till totalt cirka 4 TWh (se Tabell 4.2). Produktionen av blast, vilket till drygt hälften utgörs av sockerbetsblast, är framför allt koncentrerad till Götalands södra slättbygder (Figur 6.2). Produktionen av rapshalm är mera jämnt fördelat över de tre slättbygdsområdena. Idag tillvaratas och utnyttjas dessa restprodukter endast i marginell omfattning för energiändamål eller som foder. Rapshalm bedöms dock vara ett bra bränsle att elda både i större och mindre pannor och tidigare studier pekar på möjligheterna att använda sockerbetsblast för biogasproduktion (Christensson och Linné, 2000).

Om hälften av rapshalmen och sockerbetsblasten skulle kunna tas tillvara för energiändamål motsvarar detta cirka 1,5 TWh per år.

Figur 6.2 Uppskattad bruttoproduktion av oljeväxthalm och blast från sockerbeter, baljväxter och potatis inom respektive produktionsområde



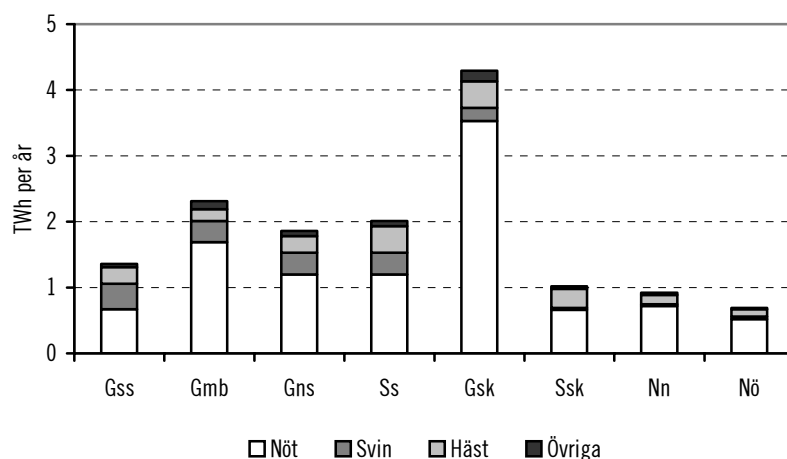
Energiåtgången för att tillvarata restprodukter som spannmåls- och oljeväxthalm beräknas motsvarande i genomsnitt cirka 4 procent av halmens energiinnehåll med en variation mellan cirka 3 och 5 procent beroende på om hektarskördarna är höga respektive låga (Börjesson 2004; 1994). Denna energiåtgång inkluderar pressning till storbalar, fälttransport samt transport till energianläggning om 50 km med lastbil. Vägtransport till energianläggning utgör i detta fall cirka 20 procent av totala energiinsatsen (Börjesson, 1996). Nettoenergiskörden av halm utgör således cirka 95–97 procent av bruttoenergiskörden när denna pressas och tas tillvara för energiändamål. Energiåtgången för att tillvarata betblast beräknas motsvara i genomsnitt cirka 5 procent av blastens energiinnehåll när denna skördas och ensileras i plansilo och därefter transporteras 50 km till energianläggning med lastbil (Berglund och Börjesson, 2003; 2006). Nettoenergiskörden av betblast utgör därmed normalt cirka 95 procent av bruttoenergiskörden.

6.2 Gödsel från animalieproduktion

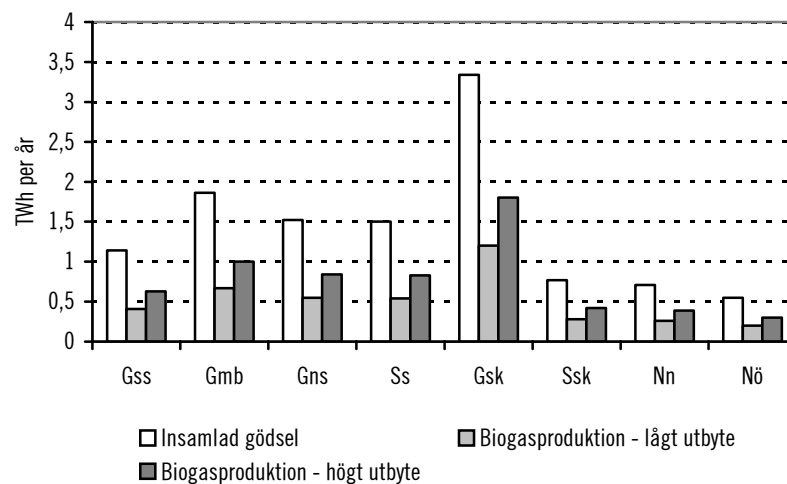
Som beskrivs i Tabell 4.5 antas bruttoproduktionen av gödsel i Sverige uppgå till motsvarande drygt 14 TWh per år i Sverige. Av denna mängd beräknas cirka 11 TWh samlas in och spridas på åkermark. Som framgår av föregående avsnitt är en grov uppskattning att knappt 5 TWh halm användas per år inom djurproduktionen som strö och foder. Här antas att en större andel av denna halm-mängd utnyttjas som strö vilket innebär att cirka en tredjedel av den insamlade gödseln bedöms utgöras av halm. I Figur 6.3 redovisas den regionala bruttoproduktionen av gödsel uppdelat på djurslag. Som framgår av figuren återfinns den största bruttoproduktionen av gödsel i Götalands skogsbygder, cirka 30 procent. I Götaland som helhet återfinns cirka två tredjedelar.

I Figur 6.4 redovisas den regionala tillgången på insamlad gödsel samt en grov uppskattning av hur mycket biogas denna mängd kan generera. Den teoretiska produktionen av biogas från gödsel uppskattas här kunna uppgå till totalt mellan 4–6 TWh per år. Utbytet av biogas beräknas kunna variera mellan cirka 35 till 60 procent av gödselns totala energiinnehåll beroende på vilken rötningsteknologi som utnyttjas samt vilken typ av gödsel som rötas. Det genomsnittliga utbytet av biogas, baserat på dagens rötningsteknologi, uppskattas t.ex. variera mellan olika typer av gödsel enligt följande: nötgödsel cirka 1,7 GWh per ton torrsubstans, svinggödsel 1,9, hästgödsel 2,2 samt gödsel från övriga djurslag (får- och höns-gödsel) 2,9 GWh per ton torrsubstans (Berglund och Börjesson, 2003). Den regionala fördelningen av potentiell biogasutvinning från gödsel följer i stort sett fördelningen av bruttoproduktionen av gödsel, dvs. denna är i stor utsträckning koncentrerad till Götaland och speciellt till Götalands skogsbygder. När det gäller hästgödsel är en alternativ energiutvinning förbränning eftersom torrsubstanshalten är oftast är hög. Om hästgödsel förbränns i stället för rötas kan energiutbytet öka från cirka 2,2 GWh per ton ts (i form av biogas) till cirka 4 GWh per ton ts (i form av värme). Den totala värmeproduktionen från förbränning av hästgödsel skulle teoretiskt kunna uppgå till cirka 1 TWh (samtidigt som biogaspotentialen för gödsel minskar med cirka 0,5 TWh).

Figur 6.3 Beräknad bruttoproduktion av gödsel för respektive djurslag inom respektive produktionsområde (avser 2005)



Figur 6.4 Beräknad insamlad mängd gödsel och möjlig biogasproduktion inom respektive produktionsområde (avser 2005)



Energiåtgången (uttryckt som primärenergi) för biogasproduktion baserat på gödsel uppskattas till i genomsnitt cirka 30 procent av biogasens energiinnehåll när rötning sker i en central biogas-anläggning och med dagens teknologi. Denna uppskattning baseras

på en energianalys av biogasproduktion av Berglund och Börjesson (2003; 2006) vars resultat delvis justerats här genom att insatsen av el räknats om till svensk elmix. Energiinsatserna inkluderar förbrukning av värme och el i biogasanläggningen, transport av gödsel 20 km från gård till biogasanläggning med lastbil samt återtransport och spridning av rötrest. I praktiken varierar ofta transportavståndet mellan 10 och 20 km och om transportavståndet är 10 km minskar energiinsatsen till cirka 27 procent. Om gödseln röts i en uppvärmd gårdsanläggning uppgår behovet av primärenergi till cirka 45 procent av biogasens energiinnehåll med dagens rötningsteknologi. Genom effektivare rötningsteknologi uppskattas behovet av primärenergi per producerad enhet biogas kunna reduceras upp till en fjärdedel (Berglund och Börjesson (2003; 2006).

7 Odling av energigrödor

Energigrödor kan utgöras av dels traditionella livsmedels- och fodergrödor, dels nya mer anpassade grödor för energiändamål. Exempel på traditionella grödor är vete, havre, raps, sockerbetor och vall medan nya energigrödor är t.ex. salix, majs, rörflen och hampa. Förutom dessa grödor kan snabbväxande lövträd som poppel och hybridasp samt gran också bli aktuella att plantera på åkermark, bl.a. för energiändamål. I följande avsnitt beskrivs produktionsförutsättningarna för nya energigrödor samt hur dessa skiljer mellan olika produktionsområden. Förutom skillnader i skördeavkastning mellan olika grödor, dvs. bruttoproduktion per hektar och år, skiljer sig också grödorna åt utifrån hur mycket insatsenergi som krävs för att odla och skörda dessa. Generellt sett kräver ettåriga grödor mer energiinsats per skördad mängd biomassa än fleråriga grödor. Ur resurseffektivitetssynpunkt är det därför motiverat att också beakta hur nettoavkastningen av energi per hektar och år (dvs. bruttoskörd minus energiinsats vid odling) skiljer mellan olika grödor och produktionssystem.

7.1 Salix

När salixodlingar etablerades i början av 1990-talet beräknades skördarna kunna uppgå till cirka 12 ton ts per hektar och år (se t.ex. SOU 1992). De praktiska skördenivåerna från dessa odlingar blev dock betydligt lägre, oftast mindre än hälften. Orsakerna till detta är flera som t.ex. misslyckade etableringar på grund av dålig ogräsbekämpning, utebliven gödsling, olämpliga sorter samt plantering på lågproduktiv åkermark. Dessutom ger första skörd (efter 3 till 5 år) cirka 40 procent lägre skörd än påföljande skördar när salixodlingen etablerat sig. Lärdomarna från dessa första praktiska salixodlingar är att odlingarna kräver bra åkermark, omsorgsfull etablering, anpassad gödsling och bra sortval för att ge höga skördar. Idag uppskattas skördenivåerna för salix till mellan 7 och 10 ton ts per hektar och år i välskötta odlingar (Agrobränsle, 2006).

En förklaring till denna lägre uppskattning jämfört med 90-talets uppskattningar om 12 ton är bl.a. att gödslingsintensiteten i dagens praktiska odlingar är lägre än vad som antogs i 90-talets salixkalkyler (Rosenqvist, 2006). Förädling av salix har dock gått snabbt framåt under senare år och de kloner som finns på marknaden idag beräknas kunna ge 30–50 procent högre biomassaskörd än de kloner som marknadsfördes i slutet av 90-talet (Agrobränsle, 2006). Detta indikerar att skördenivåerna i framtida välskötta salixodlingar baserade på nytt plantmaterial bör kunna öka signifikant, framför allt om gödslingsintensiteten är väl anpassad till förväntat skördeutfall. Förädling förväntas också ge kloner som tål kallare klimat. Idag odlas salix huvudsakligen söder om Dalälven men med fortsatt förädling förväntas salixodling också bli möjlig i Norrland.

Vid uppskattningar av skördenivåer för salix inom olika produktionsområden relateras dessa ofta till spannmålsskördar. I en studie av Ericsson och Nilsson (2006) antogs t.ex. att salixskörden i välskötta odlingar med anpassad gödsling kan vara cirka 50 procent högre än kärnsköörden för vete. En annan uppskattning av Agrobränsle är att dagens salixodlingar kan ge cirka 25 procent högre skörd än vete på samma åkermark, uttryckt som ton ts per hektar och år (Melin, 2006). Salix skiljer sig dock något åt jämfört med spannmålsgrödor då tillgången på vatten under vegetationsperioden oftast har större betydelse för salix än spannmålsgrödor. Salix odlas därför med fördel på jordar med god vattentillgång. Detta indikerar samtidigt att relationen mellan spannmåls- och salixskörd kan variera mellan olika regioner med olika nederbörd. En studie av Lindroth och Båth (1999) visar att tillväxten i salixodlingar till stor del begränsas av vattentillgången, framför allt i sydöstra Sverige där nederbörden under vegetationsperioden är betydligt lägre än i sydvästra Sverige. Slutsatsen från studien är att stora skillnader i skördenivåer för salix kan förväntas mellan olika regioner utifrån skillnader i nederbörd och vattentillgång. Detta innebär samtidigt att uppskattade salixskördar baserat på spannmålsskördar kan bli relativt missvisande, framför allt i regioner med begränsad nederbörd.

I en studie av Börjesson m.fl. (2002) har den genomsnittliga skördenivån för salix uppskattats för olika län, bl.a. baserat på data från Lindroth och Båth (1999). En jämförelse mellan uppskattade skördenivåer för salix i denna studie och t.ex. uppskattade salixskördar baserat på spannmålsskördar visar relativt stora skillnader för vissa län. Om t.ex. den förväntade skördenivån för salix baseras

på normskörden för höstvetete uppskattas salixskörden bli ungefär lika i Hallands län som i Kalmar län. Dessa län har relativt liknande jordartsfördelning (se Tabell 4.9). Om däremot skördeuppskattningar också beaktar vattentillgång under vegetationsperioden beräknas salixskörden i Hallands län kunna bli i genomsnitt knappt 50 procent högre än i Kalmar län (Börjesson m.fl., 2002). I denna studie beräknas skördenivån för salix i välskötta odlingar och med dagens produktionsmetoder ligga i genomsnitt kring 9–10 ton ts i Götalands södra slättbygder, 6–7 ton ts i Götalands mellanbygder, 8 ton ts i Götalands norra slättbygder samt kring 7 ton ts i Svealands slättbygder.

Eftersom salixskörden påverkas i stor utsträckning av vattentillgång har jordart och dess vattenhållande förmåga stor betydelse för den lokala variationen i skördenivå, framför allt i områden med liten nederbörd under vegetationsperioden. Alriksson (1997) har studerat sambandet mellan lerhalt och salixtillväxt vilket visar att vid lerhalter under 20 procent har lerhalten ofta mycket stor betydelse för avkastningen. Enligt Alriksson (1997) kan avkastningen därför förväntas bli låg på lätta jordar med lerhalt understigande 10 procent i regioner med låg nederbörd under vegetationsperioden. Odling av salix påverkas därför till stor del av vilken jordart åkermarken utgörs av i regioner med låg eller relativt låg nederbörd, dvs. sydöstra Sverige. I sydvästra Sverige där nederbörden är hög under vegetationsperioden har jordarten mindre betydelse för salixskörden. Här kan höga salixskördar fås även på lättare jordar. Slutsatsen av detta är att salix är lämpligast att odla på lerjordar i sydöstra Sverige medan den kan odlas på de flesta jordar i sydvästra Sverige. Eftersom salix är en vattenkrävande gröda kan den med fördel utnyttjas som vegetationsfilter för att rena näringsrika vatten, t.ex. dräneringsvatten och avloppsvatten. På detta sätt fås både höjda skördenivåer och effektiv vattenrening (se t.ex. Börjesson m.fl., 2002; Börjesson och Berndes, 2006).

Energiinsatsen vid salixproduktion beräknas uppgå till cirka 5 procent av salixflisens energiinnehåll (Börjesson 2006b; 1996; 1994). Energiinsatsen (uttryckt som primärenergi) utgörs av produktion av sticklingar, markbearbetning, plantering, ogräsbekämpning, gödning, skörd, flistransport till värmeverk (50 km) samt återställning av åkermarken efter avslutad odling efter 20 till 25 år. Om avståndet för flistransport ökar till t.ex. 150 km ökar den totala insatsen av primärenergi till motsvarande cirka 6,5 procent av salixflisens energiinnehåll. En annan faktor som till viss del på-

verkan energibalansen för salixproduktion är skördenivån. En minskad eller ökad skördenivå för salix är dock inte direkt proportionella med skillnader i energibalans. En lägre tillväxt medför t.ex. att skördeintervallet kan öka från tre till fyra år samtidigt som behovet av gödsel minskar något. En uppskattning är att energiinsatsen vid skördenivåer kring 5–7 ton ts per hektar och år uppgår i genomsnitt till cirka 5,5 procent av salixflisens energiinnehåll medan den vid skördenivåer kring 8–10 ton uppgår till cirka 4,5 procent. Sammanfattningsvis uppskattas nettoenergiskörden av salix bli mellan 93–96 procent av bruttoenergiskörden beroende på skördenivå, transportavstånd m.m.

7.2 Rörflen

Rörflen är ett flerårigt cirka två meter högt gräs med ett kraftigt styft strå, breda blad och lång vippa. Rörflen växer vilt i större delen av landet och förekommer särskilt på våt- och översvämningssmarker och trivs bra på mullrika, lätta jordar med god vattentillgång (Landström & Wik, 1997). Rörflen har provats som foderväxt men odlas i dag i norra Sverige och i Finland som energigröda, om än i mindre omfattning. Dagens rörflensodling utgörs framför allt av en sort, Palaton, som ursprungligen togs fram för djurproduktion (Larsson m.fl., 2006). Förädling av nya rörflensorter anpassade för energiändamål har dock pågått sedan slutet av 1980-talet och hittills har en ny sort, Bamse, utvecklats för kommersialisering. Det finns också sorten under utveckling som visar upp till 30 procent högre skörd än Palaton och som bedöms kunna bli kommersiella (Larsson m.fl., 2006). Tekniken för rörflensodling har utvecklats och idag tillämpas huvudsakligen vårskördemetoden. Denna teknik innebär att gräset får växa hela växtsäsongen och skördas först följande vår då rörflen är torr och marken bär. Avslagning kan dock ske redan på senhösten efter att växtperioden är över. Vårskördemetoden gynnar rörflenens uthållighet och avkastningsförmåga samt förbättrar dess bränsleegenskaper. Bland annat lakas kalium och klor ut under senhösten vilket ger mindre problem med asksintring m.m. vid förbränning. Samtidigt återförs växtnäring till marken vilket medför minskat gödslingsbehov. I rörflensodlingar kan också slam utnyttjas som gödselmedel. Rörflen ger en jämn skörd under många år samtidigt som den är

mycket vinterhärdig varför odlingarnas livslängd beräknas till minst tio år.

Erfarenheter från rörflensodlingar i Röbbäcksdalen visar genomsnittliga bärgade skördenivåer om cirka 4 ton ts per hektar och år vid vårskörd med en variation mellan 3 och 6 ton. Den biologiska skördenivån är dock betydligt högre, 6 till 10 ton, då relativt stora förluster om cirka 40 procent förekommer i form av vinterförluster (cirka 15–25 procent) och skörderelaterade förluster (cirka 15–25 procent) (Larsson m.fl., 2006). Den lägre skördenivån om 3 ton avser skörd efter första odlingsåret vilket förklaras med att odlingen då inte är helt etablerad (jämför med t.ex. salixodling). Tidigare långliggande försök visar att den biologiska skördenivån (exklusive vinter- och skördeförluster) ofta ligger kring cirka 10 ton ts per år i etablerade odlingar. Tidigare försök visar också att skördenivåerna inte skiljer nämnvärt mellan norra och södra Sverige (Landström & Wik, 1997). Bärgade skördenivåer kan till och med vara högre i norra Sverige än i södra när vårskörde-metoden tillämpas eftersom vinterförlusterna normalt blir lägre i norra Sverige än i södra (varmare klimat och därmed snabbare biologisk nedbrytning).

I tidigare uppskattningar av den genomsnittliga bärgade skördenivån för sensommarskördad rörflen antogs skördenivåer om cirka 7 ton ts per hektar och år i Götalands södra slättbygder, cirka 6 ton i Svealands slättbygder samt cirka 5 ton i övre Norrland (Börjesson, 1994). Baserat på nya praktiska erfarenheter och övergång till vårskörde-metoden bör skördenivåerna vara relativt lika i norra Sverige som i södra. I en tidigare studie av Naturvårdsverket (1997) antogs t.ex. att den bärgade skördenivån för rörflen efter vårskörd i genomsnitt uppgick till 4,7 ton ts i södra och mellersta Sverige respektive 5,8 ton ts i norra Sverige.

Sammanfattningsvis är odling av rörflen speciellt lämpligt i Norrland där också andra alternativa energigrödor är betydligt färre än i södra och mellersta Sverige. De bärgade skördenivåerna vid vårskörd bedöms här kunna uppgå till cirka 4,5 ton ts i norra Sverige i etablerade odlingar på lämpliga marker, dvs. mullrika, lätta jordar med god vattentillgång. Denna bedömning baseras på de mest aktuella skörderesultaten (Röbbäcksdalen) samt exklusive första skörd som är betydligt lägre än i etablerade odlingar. I södra Sverige bedöms skördenivån för vårskördad rörflen ligga kring 5 ton ts per hektar och år. Genom förbättrad skördeteknik med mindre förluster samt genom att nya mer högavkastande sorter

börjar marknadsföras bör skördenivåerna kunna öka ytterligare cirka 30 procent.

Energiinsatsen vid rörfbensproduktion beräknas uppgå till cirka 9 procent av rörfbens energiinnehåll vid en årlig bärgad skörd om cirka 5 ton ts per hektar och år (Börjesson 1996; 1994). Energiinsatsen (uttryckt som primärenergi) utgörs av produktion av utsäde, markbearbetning, sådd, ogräsbekämpning, gödsling, skörd, balning samt transport till energianläggning med lastbil (50 km). Förändringar i skördenivåer beräknas inte väsentligt påverka energiinsatsen per ton rörfben. Om skördenivån ökar eller minskar med ett ton ts per hektar och år beräknas energiinsatsen ändras till motsvarande cirka 8,5 respektive 9,5 procent av rörfbens energiinnehåll (Börjesson 1996; 1994). Sammanfattningsvis uppskattas nettoenergiskörden av rörfben bli mellan 90–92 procent av bruttoenergiskörden beroende på framför allt skördenivå.

7.3 Hampa

Hampa är en ettårig växt som kan utnyttjas för olika ändamål som oljeproduktion och fiberproduktion. Hampa kan också utnyttjas för energiändamål men erfarenheterna från detta är mycket begränsade idag. En studie av Sundberg & Westin (2005) har sammanställt de erfarenheter som finns idag samt vilka skördenivåer som kan vara rimliga i framtida praktiska odlingar av hampa för energiändamål. När hampa utnyttjas som biobränsle antas bara stammen skördas efter att bladen fallit av, dvs. skörd av hampa antas ske antingen under senhösten (med högre vattenhalt) eller genom vårskörd likt rörfben (med lägre vattenhalt). Detta innebär dock samtidigt vinterförluster om 25 till 40 procent (Jordbruksverket, 2006; Sundberg & Westin, 2005). Genom att bladen återcirkulerar till marken minskar också behovet av gödsel något samtidigt som bränsleegenskaperna förbättras. Lämpliga jordar för hampaodling är framför allt mulljordar men också fuktiga, mullrika lättleror eller leriga sandjordar med högt kväve- och kalkinnehåll. Hampa kräver god vattentillgång framför allt under början av vegetationsperioden för att ge hög skörd.

Av de hampasorter som finns att tillgå har ingen förädlats specifikt för biobränsleproduktion utan huvudsakligen för fiberproduktion. Dessa antas också utnyttjas för biobränsleproduktion (Sundberg & Westin, 2005). När hampa odlas för energiproduktion

i stället för fiberproduktion kan utsädesmängd och planttätthet minskas med bibehållen biomasseskörd per hektar. Hampa är en näringskrävande växt med ett stort behov av framför allt kväve, kalium och kalcium. Erfarenheter från odlingsförsök i Sverige visar att en kvävegiva om cirka 120 kg kväve per hektar och år gav högst skörd. Enligt Sundberg & Westin (2005) kan avkastningsnivån för hampa variera stort beroende på ett flertal olika faktorer. En sammanställning av svenska odlingsförsök visar att mängden stambiomassa (exklusive blad) på hösten ofta uppgick till 6,5 till 10 ton ts per hektar på mineraljord. Något högre avkastningsnivåer har noterats på mulljordar på Gotland. Ett treårigt odlingsförsök i Skåne med tre hampasorter visade t.ex. avkastningsnivåer om 8 till 14 ton ts biomassa per hektar och år, vilket ungefär motsvarar 6,5 till 11 ton ts stamskörd (Svennerstedt & Svensson, 2004). Sundberg & Westin bedömer därför att stamskörden av hampa bör kunna bli upp till 10 ton ts per hektar och år i välskötta odlingar på lämpliga jordar. På bördiga mulljordar kan till och med ännu högre avkastning fås.

Hur stor den bärgade skörden blir av den potentiella stamskörden beror sedan dels på vilken teknik som används, dels när skörden sker. Skördetekniken för hampa för energiändamål behöver enligt Sundberg & Westin (2005) utvecklas för att denna ska bli rationell och problemfri då det idag inte finns någon optimal teknik. Idag tillämpas olika skördetekniker beroende av vad hampan ska användas till. Exempel är avhuggning med slätterbalk där stjälken delas i mindre delar för att sedan balas i storbalar. Ett annat exempel är sönderdelning av avhuggen hampa med exakthack (Svennerstedt & Svensson, 2004). En grov uppskattning i detta arbete är att skördeförlusterna vid stamskörd av bränslehampa bör kunna hamna kring i genomsnitt cirka 10–15 procent med utvecklad teknik, dvs. något lägre jämfört med energigräs som rörflen. Likt rörflen antas här att hampa skördas på vårvintern när denna ska utnyttjas för energiändamål. Detta medför en högre torrsustanshalt och mindre risk för asksintring vid förbränning. Samtidigt minskar biomasseskörden på grund av vinterförluster. Här antas att skördenivån för vårskördad hampa i praktisk odling ligger mellan 6–6,5 ton ts per hektar och år i södra Sverige respektive mellan 5–5,5 ton ts i norra Sverige.

Hampaodling bedöms här framför allt komma att lokaliseras på mulljordar och det län som har högst andel organogena jordar är Gotland. Här utgör organogena jordar cirka 22 procent av totala

åkerarealen, vilket kan jämföras med ett riksgenomsnitt om cirka 9 procent (se Tabell 4.9). Andra län med hög andel organogena jordar är Örebro (cirka 16 procent) och Smålands tre län (cirka 16 procent).

Energibalansstudier för hampa som bränsleråvara saknas idag. Detaljerade energianalyser är också svåra att göra innan man vet vilken skördeteknik som kommer att utnyttjas vid en framtida bränsleproduktion. En grov uppskattning i denna studie är att energiinsatsen vid odling av bränslehampa (inklusive transport om 50 km till energianläggning) kan komma att uppgå till motsvarande cirka 10 till 12 procent av hampans energiinnehåll vid en stamskörd om 5 till 7 ton ts vid vårskörd. Denna uppskattning baseras på likheter och skillnader med andra energigrödor (både ettåriga och fleråriga) som analyserats ur energisynpunkt vad gäller odlings-teknik, gödselmängder m.m. Energiinsatsen bedöms således bli något högre jämfört med t.ex. rörfen vilket kan förklaras med att hampa är en ettårig gröda som kräver årlig markbearbetning och sådd. Sammanfattningsvis uppskattas nettoenergiskörden av hampa som bränsleråvara kunna bli mellan 88–90 procent av bruttoenergis-körden när utvecklade odlings- och skördesystem finns.

7.4 Majs

Odling av majs som djurfoder förekom på knappt 6 000 hektar i Sverige 2005, framför allt i Skåne, Halland och i Kalmar län. Intresset för majsodling ökar och odlingsarealen har ökat med cirka 1 000 hektar per år under de senaste åren (Areskoug, 2006). Idag sker också en snabb ökning av majsodling i norra Götaland, t.ex. i Östergötland. I Tyskland används majs i stor skala som energi-gröda för biogasproduktion, vilket också skulle kunna vara möjligt i Sverige. Odling av majs som biogasråvara skiljer sig något jämfört med odling som djurfoder. Vid odling av majs till djurfoder är det viktigt att kolvsättning hinner ske i god tid så att fullmatade kolvar fås vid skörd vilket ger ett energirikt foder. Vid odling av majs som biogasråvara optimeras hög biomassaproduktion vilket t.ex. kan ske genom val av sorter med sen kolvsättning som i sin tur leder till längre växtperiod och högre total biomassaskörd.

Majs är en så kallad C4-växt som har ett effektivare upptag av koldioxid än traditionella jordbruksgrödor (så kallade C3-växter) och därmed också ett lägre vattenbehov. Å andra sidan kräver majs

mer värme än traditionella grödor. Därför passar majs bäst i södra Sverige och utmed kusterna. Nya sorter är dock mer tåliga mot kallare klimat vilket möjliggör odling något längre norrut än tidigare, t.ex. norra Götaland och södra Svealand (Areskoug, 2006). Majs trivs bäst på varma lätta jordar men kan odlas på de flesta jordar utom styva och kalla lerjordar. Skördestatistik från praktisk majsodling saknas idag men resultat från fältförsök i södra Sverige på lämpliga jordar visar ofta skördar över 10 ton ts per hektar och år (Areskoug, 2006). Tidigare fältförsök som utfördes i södra Sverige under 1980-talet där olika potentiella energigrödor testades visade att skördenivån för majs var hög i jämförelse med många andra energigrödor och ibland i nivå med t.ex. salix (se avsnitt 7.8). En uppskattning i denna studie är att skördenivån för majs (inklusive skördeförfluster) vid praktisk odling ligger i genomsnitt kring drygt 9 ton ts per hektar och år i södra Götaland och kring 8 ton i norra Götaland, dvs. högre än vallskördar på motsvarande åkermark och i ungefär samma nivå som salixskördar (med undantag för sydöstra Götaland). Erfarenheter från Tyskland visar att skördenivåerna för majs som biogasråvara kan vara betydligt högre än dessa uppskattningar. Den genomsnittliga skördenivån för majs till biogasproduktion uppskattas till cirka 13 ton ts per hektar och år i Tyskland (Maiskomitee, 2006). Eftersom majs är en C4-växt och trivs i varmare klimat uppskattas dock inte de svenska majs-skördarna kunna bli lika höga som i Tyskland. Detta indikerar dock att utvecklings-potentialen för majs kan vara stor även i Sverige och att framtida skördenivåer kan komma att bli betydligt större än dagens.

Energibalansstudier av majsodling i Sverige saknas idag men en grov uppskattning i denna studie är att den ungefär motsvarar energibalansen som uppskattats för hampa. Båda är ettåriga grödor och har ungefär samma behov av gödsel samt antas skördas med någon form av exakthack eller liknande. När transport om 50 km till energianläggning inkluderas antas således energiinsatsen vid majsodling uppgå till motsvarande cirka 10 till 12 procent av majsens energiinnehåll vid en skörd om 7 till 10 ton ts.

7.5 Poppel

Odling av hybridpoppel förekommer endast på något hundratals hektar idag varför skördeuppskattningar från praktiska odlingar är få (Verwijst, 2006). Poppel är ett snabbväxande trädslag som beräknas ge en optimal biomassaproduktion med en omloppstid om högst 15 till 20 år när denna odlas på åkermark (Christersson, 2006). Dagens växtmaterial kommer huvudsakligen från Nordamerika, dvs. poppel betraktas inte som ett inhemskt trädslag. Två plantager belägna i Skåne (Sångetorp utanför Sturup och Johannesholm utanför Skurup) som etablerades 1991 och som avverkades efter 13 år (2004) visade en genomsnittlig vedproduktion om 8 ton ts per hektar och år när stam och grenar inkluderades (helträdsskörd). Åkermarken bestod av sandig mo respektive moig moränlera där den genomsnittliga höstveteskörden uppgår till cirka 6,5 respektive 6 ton per hektar och år (Christersson, 2006).

Den maximala tillväxten (exklusive skördeförfluster) beräknas för hybridpoppel kunna uppgå till ungefär 11 till 12 ton ts per hektar och år när också grenar och toppar inkluderas (Rytter, 2006a). Ett odlingsförsök på sandjord i Halland där poppel näringsbevattades gav en totalproduktion av stamved om 8 till 11 ton ts per hektar och år vilket tillsammans med grenar och toppar motsvarar cirka 10 till 13 ton ts (Johansson, 2006a). I försöket ingick också björk och al som gav cirka 15 till 35 procent lägre avkastning. En sammanställning av äldre försök med poppel visar en årlig produktion om cirka 6 till 7 ton ts per hektar och år (Johansson, 2006b). Tidigare odlingar har dock ofta drabbats av frostsador på grund av att plantmaterialet inte varit tillräckligt anpassat till det svenska klimatet vilket medfört lägre avkastning. Hybridpoppel har därför framför allt odlats i södra Sverige. Nytt poppelmateriale från nordligare breddgrader i Nordamerika förväntas dock kunna ge mer frosthärdiga sorter i framtiden (Rytter, 2006a). Odlingssäkerheten för hybridpoppel bedöms idag vara något lägre jämfört med t.ex. hybridasp då hybridpoppel drabbas i större utsträckning av svamp- och bakterieangrepp samt är frostkänsligare (Rytter, 2006a).

Poppel etableras likt salix med sticklingar. Behovet av näringsämnen är också ungefär lika för poppel som för salix (Weih, 2006). Poppel är också relativt vattenkrävande och växer bra på sedimentjordar. En skillnad mot salix är att poppelplantager ofta behöver hägnas i viltrika områden. Efter avverkning (efter cirka 15 till 20 år) föryngras hybridpoppel huvudsakligen med stubbskott. Erfaren-

heter visar dock att dessa stubbskott är tämligen sköra, ofta har dålig kvalitet, angrips lätt av röta samt är svårskötta (Rytter, 2006a). Ett alternativ till att föryngra via stubbskott är att plantera nya sticklingar.

Sammanfattningsvis bedöms här poppel framför allt vara lämplig att odla i Götalands slättbygder idag. Skördenivåerna för poppel på genomsnittlig åkermark i dessa områden uppskattas till cirka 7–8,5 ton torrsubbans per hektar och år.

Energiinsatsen vid poppelodling har beräknats till motsvarande cirka 2 procent av energiskörden i form av vedbiomassa vid en omloppstid om cirka 15 år och en skördenivå om ungefär 8 ton ts per hektar och år (Börjesson, 2006c). I energiinsatserna inkluderas produktion av sticklingar, plantering, skogsvård, avverkning, skotning och flisning. Vid slutavverkning antas 60 procent tas ut som stamved och 40 procent som flis. Om också transport till energianläggning om 50 km med lastbil inkluderas ökar energiinsatsen till cirka 3 procent. Gödsling innebär ytterligare ökad energiinsats till motsvarande totalt cirka 4 till 5 procent av energiskörden. Sammanfattningsvis uppskattas nettoenergiskörden av poppel bli mellan 95–97 procent av bruttoenergiskörden beroende på gödslingsintensitet, transportavstånd m.m.

7.6 Hybridasp

Hybridasp är, likt hybridpoppel, ett snabbväxande lövträd som odlas i begränsad omfattning i Sverige idag (Verwijst, 2006). Hybridasp betraktas, till skillnad mot hybridpoppel, som ett inhemskt trädslag. Hybridasp växer normalt något långsammare än hybridpoppel och beräknas ge en något lägre hektarskörd, eller maximalt cirka 8 till 11 ton ts per år (helträdsskörd) när denna odlas på jämförbar odlingsmark (Rytter, 2006a). Omloppstiden för plantager med hybridasp beräknas till cirka 25 år. En sammanställning av äldre försök med hybridasp visar en årlig produktion mellan 2 och 6 ton ts per hektar och år när denna odlas på skogsmark (Johansson, 2006b). Den högre avkastningen avser odling på bördig skogsmark med hög bonitet medan den lägre avkastningen avser odling på sämre skogsmark med låg bonitet. Som jämförelse producerar ”vanlig” asp endast cirka hälften så mycket vedbiomassa per hektar och år. Jämfört med gran bedöms hybridasp producera

cirka 50 procent mer biomassa på jämförbar skogsmark (Rytter, 2006b). Hybridasp har ungefär samma ståndortskrav som gran.

Etablering av hybridasp sker med plantor vilket medför en högre anläggningskostnad jämfört med t.ex. hybridpoppel (Rytter, 2006a). Däremot sker föryngringen av hybridasp efter avverkning med rotskott vilket ger säkrare och bättre återväxt jämfört med hybridpoppel. Liksom hybridpoppel kräver plantager med hybridasp oftast hägn i viltrika områden. Detta i sin tur kräver relativt stora sammanhängande plantager för att få ner produktionskostnaderna. Vid odlingar nära bebyggelse, vägar m.m. kan i vissa fall viltstängsel undvikas. Som diskuteras i föregående avsnitt bedöms odlingssäkerheten för hybridasp idag vara något större jämfört med hybridpoppel då hybridasp drabbas i mindre utsträckning av svamp- och bakterieangrepp samt är frosttåligare (Rytter, 2006a). Därför kan hybridasp också odlas längs t.ex. Norrlandskusten. Erfarenheter från planteringar på mulljordar (organogena jordar), t.ex. i samband med ”Omställning -90”, visar på dålig etablering i många fall på grund av hårt ogrästryck, skador från sork m.m. En bedömning av Rytter (2006b) är därför att snabbväxande lövträd som t.ex. hybridasp bör undvikas på dessa marker.

Sammanfattningsvis bedöms hybridasp (baserat på dagens växtmaterial) ge en något lägre hektarskörd än poppel men samtidigt vara odlingssäkrare och tolerera något kallare klimat. Detta innebär också att hybridasp kan odlas längre norrut och inom fler produktionsområden i Sverige än poppel idag.

Energiinsatsen vid odling av hybridasp uppskattas här vara jämförbar med energiinsatsen vid odling av hybridpoppel då dessa odlingar har stora likheter. Den något längre omloppstiden för hybridasp jämfört med hybridpoppel har marginell betydelse för energibalansen. Därför uppskattas nettoenergiskörden av hybridasp blir cirka 95 till 97 procent av bruttoenergiskörden beroende på skördenivå, transportavstånd, gödslingsintensitet m.m.

7.7 Gran

Ett alternativ till snabbväxande lövträd på åkermark är odling av gran. Detta kan antingen ske med konventionella metoder eller genom optimerad näringstillförsel som innebär ökad produktion. Försök i norra Sverige (Västerbotten) har visat att volymproduktionen i granbestånd som gödslats optimalt efter näringsbehov kan

öka med upp till fyra gånger (från cirka 4 kubikmeter per hektar och år till 16 kubikmeter) (Bergh, 1999; Linder & Bergh, 1996). Motsvarande ökning i södra Sverige (Småland) är cirka en fördubbling (från cirka 13 kubikmeter till cirka 25 kubikmeter). Anledningen till den högre tillväxtökningen i norra Sverige är att vattentillgången under växtsäsongen inte är lika begränsande här som i södra Sverige (framför allt sydöstra Sverige). En uppskattning av Andersson m.fl. (2001) är att praktisk tillämpning av näringsoptimerad gödsling av granskog på skogsmark bör kunna ge mellan 4 till 6 kubikmeters ökad virkesproduktion per hektar och år på en stor andel av Sveriges skogsmark.

En uppskattning av Börjesson (2006c) är att odling av gran på bra åkermark i södra Götaland (med en medelskörd av höstvetete om cirka 7,5 ton) ger en stamvedsskörd om drygt 9 kubikmeter utan gödsling respektive knappt 14 kubikmeter med gödsling. Inklusive skörd av toppar och grenar (helträdsskörd) motsvarar detta cirka 4,8 respektive 6,1 ton ts per hektar och år (densiteten är cirka 15 procent lägre för gödslad gran jämfört med ogödslad). Jämfört med odling av poppel på motsvarande åkermark uppskattas skörden av ogödslad respektive gödslad gran vara 40 respektive 15 procent lägre, uttryckt som ton ts per hektar och år (Börjesson, 2006c). En bedömning i denna studie är att odling av gran på åkermark är mest realistiskt i skogs- och mellanbygder och endast i mindre utsträckning i rena slättbygder. Dessutom antas gödsling ske av granskog som planteras på åkermark. Granskog på åkermark i Götalands skogsbygder antas därför kunna producera i medeltal cirka 5 ton ts per hektar och år (helträdsskörd), vilket ungefär motsvarar 11,5 kubikmeter (stamved) per hektar och år. I övre Norrland antas motsvarande produktion ligga kring drygt 3 ton ts per hektar och år (helträdsskörd), eller drygt 7 kubikmeter (stamved). Om gran odlas med konventionella metoder utan gödsling uppskattas skördenivån bli cirka 30 procent lägre i södra Sverige respektive 50 procent lägre i norra Sverige.

Efter slutavverkning av gran på åkermark kan det i vissa fall bli aktuellt med att bryta upp stubbarna, t.ex. om åkermarken ska utnyttjas för annan odling än trädodling. Detta medför samtidigt en extra energiskörd. Av granens totala biomassa återfinns cirka 5-10 procent i stubben och ytterligare 10-20 procent i grövre rötter och finrötter. Vid dagens metoder för stubbrytning skördas de största rotbenen tillsammans med stubben medan en stor del av den finare rotbiomassan lämnas kvar. En uppskattning i denna

studie är att biomassaskörden ökar med cirka 10–15 procent (uttryckt som ton ts) när också stubbar bryts jämfört med helträdsskörd. I energitermer blir ökningen något större då energiinnehållet i stubb- och rotved är cirka 10 procent högre än i helträdsflis.

Energiinsatsen vid konventionell odling av gran på åkermark har beräknats motsvara cirka 2 procent av energiskörden vid helträds-skörd (Börjesson, 2006c). I energiinsatsen inkluderas skogsvård, avverkning, skotning, flisning samt transport till energianläggning 50 km med lastbil. Vid näringsoptimerad gödsling av granskog på åkermark beräknas energiinsatsen öka till motsvarande cirka 5,5 procent av energiskörden när tillväxtökningen ligger kring 4 kubikmeter per hektar och år (Börjesson, 2006c; Andersson m.fl., 2001). När tillväxtökningen är ännu högre minskar energiinsatsens storlek per enhet energiskörd, t.ex. motsvarande drygt 4 procent av energiskörden när tillväxtökningen ligger kring 8 kubikmeter per hektar och år. Energianalyser av stubbrytning saknas idag men en grov bedömning i denna studie är att energiinsatsen bör vara ganska liten i förhållande till den skördade biomassan. Detta behöver dock bekräftas i framtida studier.

7.8 Andra energigrödor

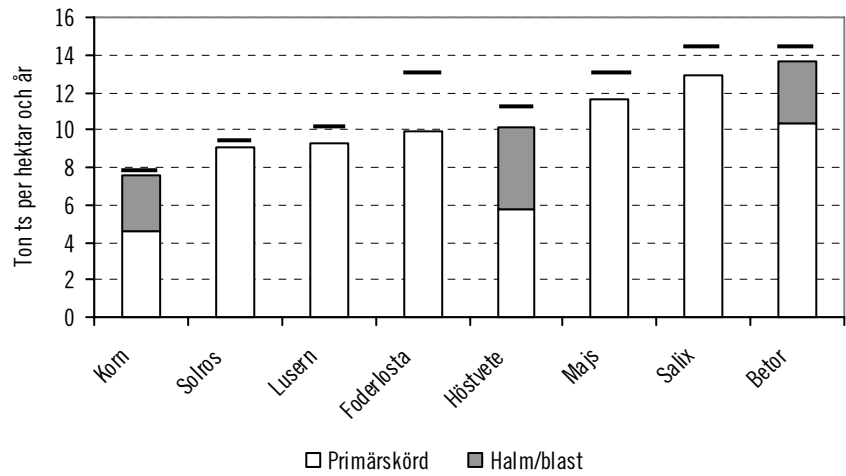
Förutom de energigrödor som beskrivs ovan finns flera andra grödor som potentiellt kan utnyttjas för energiändamål. Under 80- och 90-talet testades t.ex. olika typer av grödor i olika försök för att jämföra deras avkastningsnivåer. Ett exempel är ett projekt utfört mellan 1981 och 1986 av Hushållningssällskapet som baserades på fyra större fältförsök lokaliserade i Skåne (utanför Lund respektive Helsingborg), Halland (söder om Halmstad) samt i Östergötland (väster om Linköping) (Törner, 1988). Förutsättningarna för växtplatserna varierade något då vegetationsperiodens längd i Skånes kustzon är cirka 250 dagar medan den endast är cirka 200 dagar i Östergötland. Försöksplatserna utan för Lund och Halmstad bestod av lättare jordar medan den utanför Linköping bestod av lerjord. Försöksplatsen utanför Helsingborg bestod av något sämre jordbruksmark (Törner, 1988).

I Figur 7.1 sammanfattas avkastningsnivån för olika grödor som innefattades i försöken. Avkastningen avser genomsnittlig biologisk skörd exklusive skördeförfluster i medeltal för samtliga

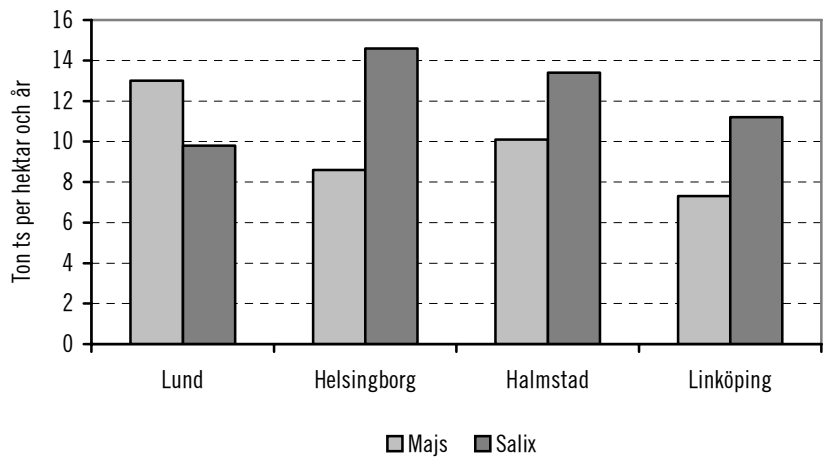
försöksplatser (gödslingsnivåerna låg mellan 75 till 150 kg kväve per hektar och år). Dessutom indikeras den högsta biomassa-produktionen som uppnåddes i något försöksled. Resultaten från fältförsöken visade i vissa fall på stora skillnader mellan olika grödor och försöksplatser. Ett exempel är skörd av majs där skördenivån i Östergötland var betydligt lägre än i Skåne och Halland (se Figur 7.2). Detta förklaras med att vegetationsperioden är kortare i Östergötland samt att majs är mindre lämpligt att odla på lerjord (Törner, 1988). Den lägre skörden av majs i försöket utanför Helsingborg förklaras med brist på växttillgängligt fosfor då denna jord hade en mycket hög fosforbindande förmåga. Ett annat exempel är avkastningen av Salix som var högst för de kustnära odlingarna i Skåne och Halland (Helsingborg och Halmstad) där nederbörden var cirka 20 procent högre under vegetationsperioderna jämfört med Lund och Linköping (Figur 7.2).

Andra grödor som testades i något eller några av fältförsöken var också fodermärgkål, jordärtskocka och lusern. Försöksresultaten indikerade en årlig tillväxt om mellan 9 till 10 ton ts per hektar och år för dessa grödor (Törner, 1988). Dessa grödor bedömdes tillsammans med majs som möjliga substrat för biogasproduktion. Detta gällde även solros som sällan kunde odlas till full mognad med fullmatade frön (för t.ex. oljeutvinning). Foderlösa, som är ett gräs, antogs framför allt kunna utnyttjas som ett fastbränsle för förbränning.

Figur 7.1 Genomsnittlig biologisk skörd (exklusive skördeföruster) från fyra större fältförsök lokaliserade i Skåne, Halland och Östergötland under 1981–1986 (Törner, 1988). Markering över respektive stapel anger den högsta skörden som uppnåddes i något försöksled.



Figur 7.2 Genomsnittlig biologisk skörd (exklusive skördeföruster) av majs och salix i de fyra olika fältförsöken (exklusive etableringsåret för salix) (Törner, 1988)



8 Traditionella grödor för energiändamål – förädlingspotential

Eftersom växtförädling av traditionella jordbruksgrödor historiskt fokuserat på att förbättra deras egenskaper som livsmedels- respektive fodergrödor förväntas det finnas en relativt stor förädlingspotential när inriktningen ändras mot bioenergiproduktion. Avkastningsökningen för spannmålsgrödor har historiskt legat kring cirka 2 procent per år medan motsvarande ökning för oljeväxter, potatis, sockerbeter och vall legat kring 1 procent eller strax under (Börjesson, 1994; 1996). Dessa historiska avkastningsökningar beror dock inte enbart på växtförädling utan även på förändrad odlingsteknik, t.ex. ökad och/eller effektivare insats av mineralgödsel och bekämpningsmedel, förbättrad jordbearbetning m.m. En bedömning är att växtförädling i sig har medfört en skördeökning om cirka 0,5–1 procent, beroende av gröda.

En förklaring till att skördeökningarna för t.ex. oljeväxter varit betydligt lägre jämfört med spannmål är två specifika ”tapp” där förädlingen av oljeväxter ändrat inriktning. Den första nedgången i skörd var under 1970-talet och orsakades av övergången till så kallad ”enkel-låg” raps med mycket låga halter av erukasyra. Den andra nedgången kom under 1980-talet vid övergång till så kallad ”dubbel-låg” raps där också svavelinnehållet i rapsmjölet (och därmed innehållet av glukosinolater) kraftigt sänktes (Johnsson, 2006a). Sedan slutet av 1990-talet har dock hybridtekniken utnyttjats vid rapsförädling vilket gett relativt stora skördeökningar. Effekterna av denna teknik mattas dock av något över tiden vilket medför något lägre skördeökningar idag jämfört med när tekniken infördes (Johnsson, 2006a).

En uppskattning i en tidigare studie av Andersson (1990) var att den årliga skördeökningen för traditionella grödor som började användas för energiändamål skulle kunna bli motsvarande 3 till 5 procent per år under en tioårsperiod (1990–2000) tack vare växtförädling och utvecklad odlingsteknik. För nya energigrödor

som rörflen och salix antogs ännu högre skördeökningar per år. En tidigare uppskattning av Börjesson (1994; 1996) var att den årliga skördeökningen för spannmål skulle bli relativt oförändrad, cirka 2 procent per år under en tjugofemårsperiod (1995-2015) medan den för oljeväxter, sockerbetor och framför allt vallgräs skulle bli 0,5-1,5 procentenheter högre jämfört med tidigare ökningarna när dessa började användas för energiändamål. Den främsta orsaken till varför skördenivån för vallgrödor antogs kunna öka väsentligt (upp till 3 procent per år) var att dessa odlingsystem hittills optimerats för maximal proteinskörd vilket bl.a. inneburit allt tidigare skördetidpunkt och därmed ofta lägre total biomassaskörd. Detta kan också vara en förklaring till varför den bärgade vallskörden per hektar (som anges i SCB's skördestatistik) inte ökat på samma sätt som för livsmedelsgrödor under senare år (Rosenqvist, 2006).

En framtida växtförädling av oljeväxter mot bl.a. ökad fröskörd och oljehalt i fröet bedöms av Johnsson (2006a) bli samma oavsett om rapsolja ska användas till energi eller livsmedel eftersom sammansättningen på dagens rapsolja har visat sig lämplig även för RME-produktion. Ett alternativ skulle kunna vara att gå tillbaka till 1960-talets rapsorter med hög erukasyrahalt då dessa eventuellt kan ge högre skördeökningar. Detta skulle dock ställa till stora problem inom oljeväxtodlingen eftersom oljeväxter korsbefruktas vilket innebär att rapsorter med hög erukasyrahalt kan korsas med raps för livsmedelsproduktion och därmed "kontaminera" denna raps. Detta kan också leda till att rapsfält "kontamineras" under ett flertal år då rapsfrö lagras i markens fröbank. Därför ses inte detta som ett realistiskt alternativ idag (Johnsson, 2006a). Genmodifierad raps skulle dock kunna ge väsentliga skördeökningar, kanske uppemot ett ton per hektar och år (Johnsson, 2006a). Detta beror främst på ökad resitens och tolerans mot vissa växtsjukdomar som medför skördebortfall idag. Genmodifierade oljeväxter odlas i större delen av världen förutom Europa.

När det gäller spannmål för energiändamål som t.ex. vete för etanolproduktion bedömer Henriksson (2006) att förädlingspotentialen är större än för traditionellt brödvete, eller cirka 1 procentenhet ytterligare i skördeökning per år under en 10- till 15-årsperiod. Idag utnyttjas traditionellt brödvete som etanolvete. Orsakerna till varför en större skördeökning bedöms kunna fås vid förädling av "energivete" jämfört med brödvete är att betydligt färre egenskaper behöver beaktas. Vid förädling av energivete är det framför allt tre egenskaper som maximeras: hög avkastning, hög

stärkelsehalt samt bra resistensegenskaper (Henriksson, 2006). Detta gäller också för andra spannmålsslag som t.ex. havre för förbränning. När det gäller genmodifierad spannmål bedöms detta kunna leda till snabbare skördeökningar, speciellt om hybridsorter kan utvecklas. Hybrideffekten är normalt störst de första åren för att sedan mattas av något över tiden. Nya energispannmålssorter kommer också att kräva mindre kvävegödsling eftersom proteininnehållet inte längre blir intressant. Risken för t.ex. liggsäd bedöms då också minska (Henriksson, 2006).

När det gäller potentiella skördeökningar för spannmål tack vare växtförädling som diskuteras ovan gäller dessa kärnskördar. De historiska skördeökningarna för spannmål har inte inneburit att den totala biomassaskörden ökat utan en omfördelning skett från halm till kärna (Henriksson, 2006). När kärnsköörden ökat har halmsköörden minskat i ungefär motsvarande grad. Detta i sin tur innebär att skördeutvecklingen för helsäd antas bli ungefär konstant om växtförädling endast fokuserar på ökad kärnskörd.

När det gäller utvecklingen av traditionella vallgrödor för energisynpunkt kan skördeavkastningen öka på flera olika sätt. En första åtgärd är att optimera skördetidpunkten utifrån högsta möjliga biomassaskörd, inte proteinskörd och smältbarhet som är fallet idag vid foderproduktion. En andra åtgärd är att ändra sammansättningen på vallen, t.ex. välja mer högvakastande gräsarter som också är mer odlingssäkra än t.ex. klöver. Å andra sidan kräver detta mer energiinsatser i form av gödselmedel. En tredje åtgärd innefattar förädling av olika vallgräsarter för att maximera biomassaavkastning (Henriksson, 2006). En bedömning av Andersson (2006) är att vallskörden kan öka med 10–20 procent per hektar och år om maximal biomassaskörd eftersträvas i stället för optimal proteinskörd och smältbarhet. Via förädling bedöms en något större skördeavkastning vara möjlig för vallgrödor om dessa enbart behöver förädlas mot högre biomassaavkastning och inte mot diverse foderegenskaper (Andersson, 2006). När det gäller vallodling för biogasproduktion kan det dock i vissa fall vara motiverat att optimera skördetidpunkt efter hög smältbarhet och inte maximal biomassaskörd för att få bästa gasutbyte. Ett exempel är "Projekt Växtkraft" i Västerås där vallgrödor utnyttjas tillsammans med organiskt avfall för biogasproduktion. Vallen består här av olika gräsarter och rödklöver som i stort sett inte kvävegödslas och skördas två gånger per år optimerat utifrån smältbarhet, dvs.

skördas relativt tidigt. Den totala bärgade skörden uppgår för dessa vallar till mellan 6 och 7 ton ts per hektar och år (Ström, 2006).

Idag förädlas sockerbeter mot ökad skörd av vitt socker med hög renhet. Om kraven på renhet minskar och förädlingen enbart fokuserar på maximal energiskörd i form av socker bedöms cirka 10 procent högre skörd kunna fås (Wremerth Weich, 2006). Sockerbeter kan användas för t.ex. etanolproduktion eller biogasproduktion. Om t.ex. etanolanläggningar ska vara flexibla och även kunna producera vitt socker beroende på efterfrågan av etanol respektive socker kan enbart traditionella sockerbeter användas. Om däremot enbart energi ska produceras i form av etanol och/eller biogas kan mer högavkastande sockerbeter med lägre renhet utnyttjas. Genmodifiering av sockerbeter kan medföra stora skördeökningar i framtiden. Ett exempel är utvecklingen av en så kallad vinterbeta som sås på hösten och skördas på sensommaren eller hösten påföljande år. Tack vare den längre odlingsäsongen bedöms cirka 25 procent högre skörd kunna fås (Wremerth Weich, 2006). Detta förutsätter dock att genom genteknik göra det möjligt att ”stänga av” blomning och frösättning som induceras av vinterperioden. Detta nya odlingsystem kräver samtidigt frosttåliga betersorter med högre resistens mot växtsjukdomar (Tuveesson, 2006).

Förutom växtförädling kan också förändrade odlingsystem som medför mindre markpackning och ökad mullhalt ge högre skördar. Markpackning bedöms t.ex. ofta kunna medföra skördesänkningar om 10 till 20 procent på lerjordar (Thyselius m.fl., 1992). Den moderna odlingstekniken med intensiv markbearbetning och ett större inslag av ettåriga grödor i växtföljden har också inneburit humusförluster och därigenom sänkt markbördighet, vilka också bedöms kunna ge skördesänkningar om 10–20 procent (Bouwman, 1990; Andersson 1990). Exempel på åtgärder för att motverka dessa negativa effekter är förbättrade maskiner som ger mindre markpackning (bättre däck m.m.), minskad markbearbetning (plöjningsfria odlingsystem m.m.) samt ett större inslag av fleråriga grödor i växtföljden (ökad mullhalt, bättre markstruktur m.m.) (se t.ex. Naturvårdsverket, 1997). Odlingsystem med minskad markbearbetning medför också lägre energiinsatser och högre nettoenergiskördar.

En allt större övergång till ekologisk odling kan å andra sidan leda till minskade skördenivåer per hektar och år till följd av att intensiteten i växtodlingen minskar. I ekologisk odling används varken kemiska gödselmedel eller bekämpningsmedel. Beroende av

vilken gröda som avses blir skördeminskningen jämfört med konventionell odling olika stor. Skördeminskningen i t.ex. ekologisk vallodling baserade på kvävefixerande grödor är ofta obetydlig jämfört med konventionell vallodling. Däremot kan skördeminskningen vara relativt stor för grödor baserade på intensiva odlingssystem som sockerbeter och oljeväxter. I en framtidsanalys över det svenska jordbruket (Naturvårdsverket, 1997) antogs t.ex. att spannmålsskörden per hektar kommer att vara cirka 30–40 procent lägre i ekologisk odling jämfört med i konventionell odling kring år 2020.

Sammanfattningsvis bedöms en ny inriktning på växtförädlingen för traditionella grödor mot ökade energiskördar kunna ge större skördeökningar än historiskt för vissa grödor. Däremot kan ändrade produktionsmetoder både ge högre respektive lägre skördenivåer per hektar. Historiska skördeökningar beror till relativt stor del av ökad intensitet i form av ökad användning av kemiska gödselmedel och bekämpningsmedel. Förutsättningarna för att fortsätta denna ökade odlingsintensitet är dock betydligt mer osäkra idag eftersom ökad intensitet ofta innebär ökad miljöbelastning. Därför antas här att skördeökningar till följd av ökad intensitet i växtodling blir lägre i framtiden än historiskt. Om t.ex. kostnaderna för kvävegödsel skulle öka betydligt mer än intäkterna för den skörade biomassan i framtiden medför detta också lägre ekonomiskt optimala kvävegivor och därmed minskad intensitet i växtodlingen. Däremot finns en stor potential att effektivisera användningen av insatsmedel som gödsel och bekämpningsmedel genom så kallad precisionsodling. Detta innebär också oftast minskad miljöbelastning. Om framtida produktionsmetoder baseras alltmer på ekologisk odling kan skördenivåerna per hektar komma att minska jämfört med konventionell odling. Det bedöms dock finnas en relativt stor potential för att öka skördarna även i ekologisk odling då denna odlingsteknik fortfarande är relativt outvecklad.

I Tabell 8.1 sammanfattas en grov bedömning i denna studie över hur den årliga skördeökningen kan bli fram till år 2020 för dels traditionella grödor som utnyttjas för livsmedels- och foderändamål respektive energiändamål, dels för nya energigrödor (som beskrivs i avsnitt 7). Bedömningen avser konventionell växtodling, dvs. ekologisk odling beaktas inte här. Inom en tidsperiod t.o.m. 2020 antas inte skördeökningar genom genteknik vara praktiskt möjlig varför denna aspekt ej heller inkluderas i Tabell 8.1.

Tabell 8.1 Uppskattade skördeökningar för olika grödor fram till år 2020¹

Gröda	Användningsområde	Årlig skördeökning (%)	Total skördeökning till år 2020 (%)
Spannmål (kärna)	Livsmedel & foder	1,0	14
	Energi	2,0	29
Oljeväxter (frö)	Livsmedel, foder & energi	1,0	14
Sockerbetor	Livsmedel	1,0	14
	Energi	2,0	29
Vall	Foder	0,5	7
	Energi	1,0	14
Rörflen, majs, hampa, Salix, poppel, hybridasp & gran	Energi	2,0	29

¹ Avser konventionell växtodling samt exklusive genmodifierade grödor. Se text för beskrivning av övriga antaganden. Baseras på uppskattade aktuella skördenivåer som sammanfattas i Tabell 9.1.

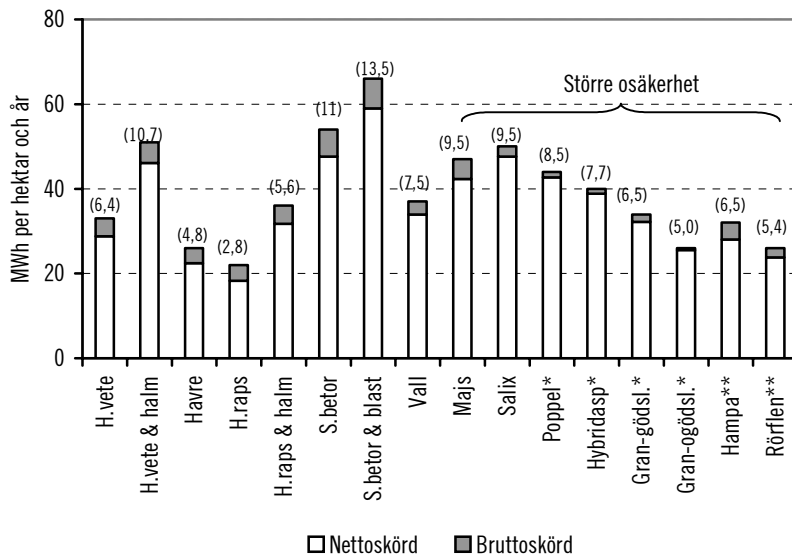
9 Energiskördeavkastning och resurseffektivitet – en summering

I följande avsnitt summeras och beskrivs hur brutto- respektive nettoenergiskörden bedöms bli för olika energigrödor inom olika produktionsområden i Sverige. Med bruttoenergiskörd menas energiskörd exklusive de energiinsatser som krävs vid odling medan dessa är dragits ifrån energiskörden vid nettoenergiskörd (se avsnitt 3). I energiinsatserna ingår också transport från gård till energianläggning om 50 km med lastbil. I Figur 9.1–9.8 presenteras beräknade genomsnittsskördar utifrån dagens produktionsförutsättningar och när odling sker på genomsnittlig åkermark inom respektive produktionsområde. Skördenivåerna för de olika energigrödorna är relaterade till en genomsnittsskörd för höstveten alternativt vårkorn. Osäkerheterna i uppskattningarna är som störst för nya energigrödor på grund av det begränsade underlagsmaterialet (se avsnitt 7) medan osäkerheterna bedöms vara betydligt mindre för traditionella grödor. Dessa uppskattningar utgår huvudsakligen från justerade normskördar. För vall har dock en större justering gjorts jämfört med befintlig statistik över bärgad skörd inom respektive produktionsområde. Orsaken till detta är att befintlig skördestatistik inte bedöms spegla en genomsnittlig vallskörd på genomsnittlig åkermark som produceras med en jämförbar intensitet som ettåriga grödor (se avsnitt 4.2). I Tabell 9.1 sammanfattas bedömningarna av bruttoskörd mer i detalj där också skördenivåer för grödor som inte visas i figurerna redovisas.

En sammanfattning av resultaten som presenteras i Figur 9.1–9.8 är att sockerbeter ger högst nettoenergiskörd per hektar och år i Götalands södra slättbygder och mellanbygder när också blasten skördas (kring 60 MWh), trots att energiinsatsen är relativt hög. Salix, majs och poppel ger också en hög energiskörd i Götalands södra slättbygder (kring 45–50 MWh) samtidigt som energiinsatsen är relativt låg för salix och poppel. Höstveten inklusive halm ger en liknande nettoenergiskörd som salix trots att energiinsatsen

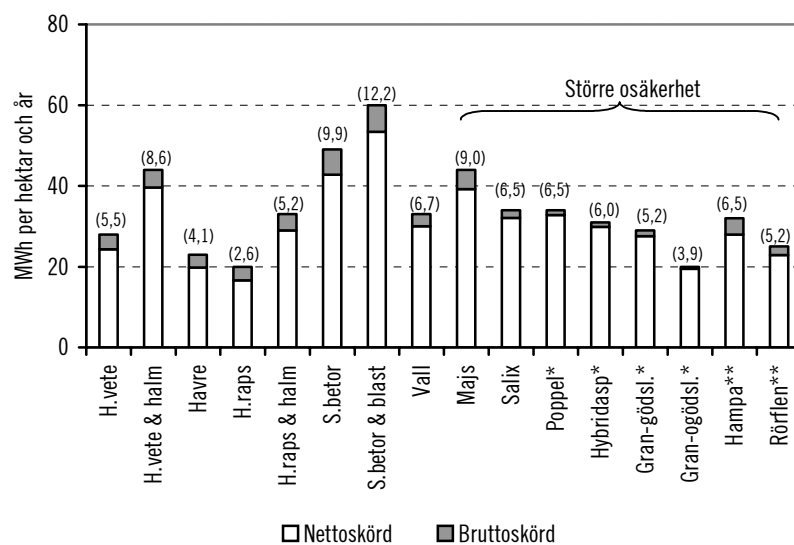
är högre. I Götalands mellanbygder bedöms majs och höstveten inklusive halm ge högst energiskörd efter sockerbeter (drygt 40 MWh). Därefter kommer salix, poppel, hybridasp, vall, hampa och höstraps inklusive halm som alla bedöms ge en relativt lika energiskörd (cirka 32–34 MWh). I Götalands norra slättbygder bedöms salix kunna ge högst nettoenergiskörd (kring 40 MWh), följt av poppel, majs, hybridasp, höstveten inklusive halm respektive vall. I Svealands slättbygder bedöms också salix ge högst nettoenergiskörd (cirka 35 MWh), följt av hybridasp. Därefter kommer vall, hampa och höstveten inklusive halm som alla bedöms ge en liknande energiskörd (knappt 30 MWh). I Götalands skogsbygder bedöms salix tillsammans med hybridasp kunna ge högst energiskörd (kring 30 MWh). Därefter kommer näringsoptimerad gödslad gran, hampa, vall respektive rörflen. I Mellersta Sveriges skogsbygder bedöms avkastningen av hybridasp, salix och hampa vara högst (cirka 25 MWh), följt av rörflen, näringsoptimerad gödslad gran respektive vall. I Nedre Norrland bedöms hampa, rörflen och hybridasp (längst kusten) ge högst nettoenergiskörd (mellan 20–25 MWh), följt av vall och näringsoptimerad gödslad gran. I Övre Norrland bedöms också hampa och rörflen ge högst nettoenergiskörd (strax över 20 MWh), följt av vall och näringsoptimerad gödslad gran.

Figur 9.1 Uppskattning av genomsnittlig brutto- respektive nettoenergi-skörd per hektar och år för olika energigrödor vid odling i Göta-lands södra slättbygder idag. Värdena inom parentes anger hektarskörd i ton torrsbstans per år (relaterade till en höstvete-skörd om 7,5 ton). Stubbskörd i granodling medför 10–15 procent högre energiskörd.



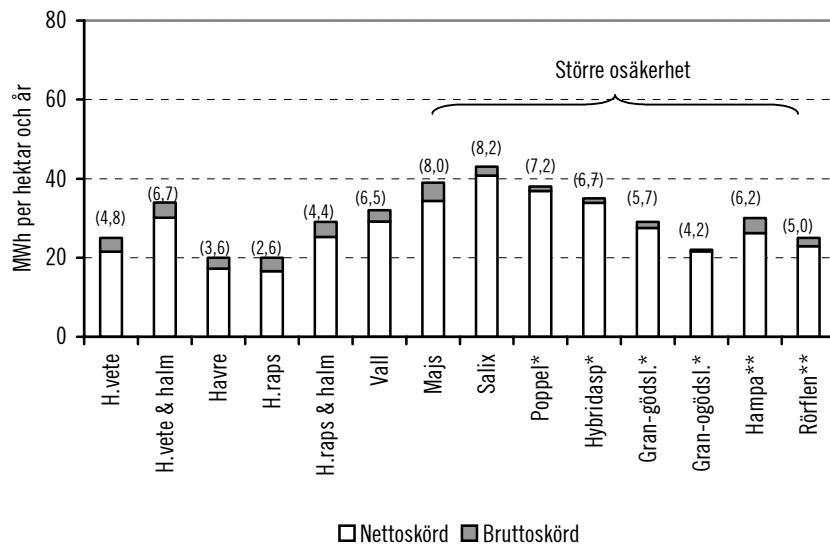
* Avser helträdsskörd exkl. stubbar ** Avser vårskörd

Figur 9.2 Uppskattning av genomsnittlig brutto- respektive nettoenergiskörd per hektar och år för olika energigrödor vid odling i Göta-lands mellanbygder idag. Värdena inom parentes anger hektarskörd i ton torrsubbans per år (relaterade till en höstveteskörd om 6,4 ton). Stubbskörd i granodling medför 10–15 procent högre energiskörd.



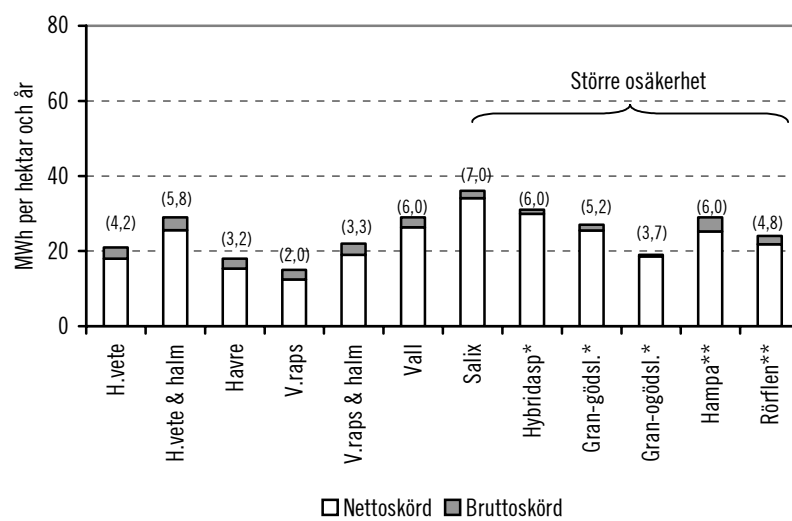
* Avser helträdsskörd exkl. stubbar ** Avser vårskörd

Figur 9.3 Uppskattning av genomsnittlig brutto- respektive nettoenergi-skörd per hektar och år för olika energigrödor vid odling i Göta-lands norra slättbygder idag. Värdena inom parentes anger hektarskörd i ton torrsbstans per år (relaterade till en höstveteskörd om 5,5 ton). Stubbskörd i granodling medför 10–15 procent högre energiskörd.



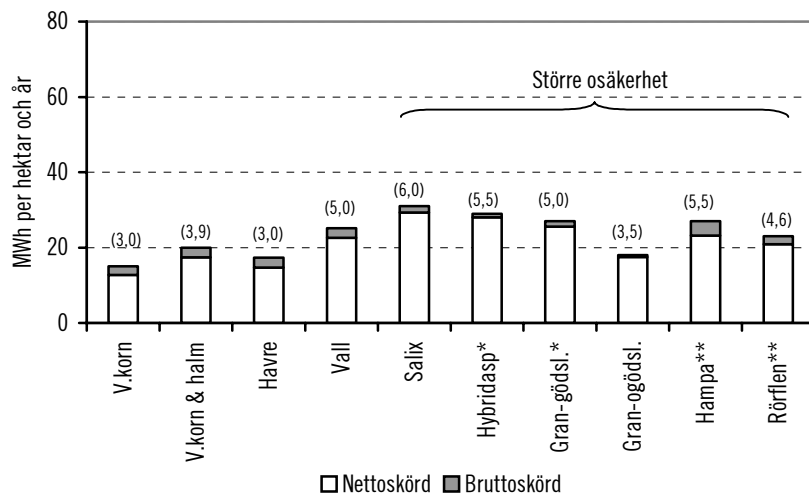
* Avser helträdsskörd exkl. stubbar ** Avser vårskörd

Figur 9.4 Uppskattning av genomsnittlig brutto- respektive nettoenergis-körd per hektar och år för olika energigrödor vid odling i Svea-lands slättbygder idag. Värdena inom parentes anger hektarskörd i ton torrsubbans per år (relaterade till en höstveteskörd om 4,9 ton). Stubbskörd i granodling medför 10–15 procent högre energiskörd.



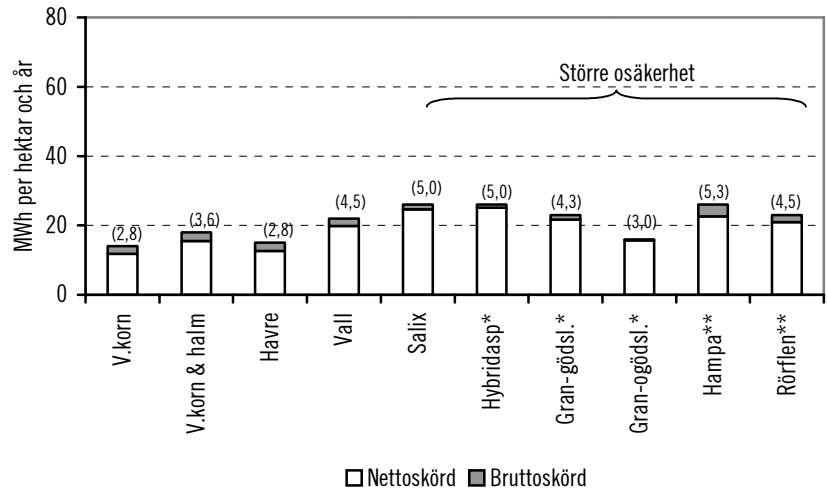
* Avser helträdsskörd exkl. stubbar ** Avser vårskörd

Figur 9.5 Uppskattning av genomsnittlig brutto- respektive nettoenergis-körd per hektar och år för olika energigrödor vid odling i Göta-lands skogsbygder idag. Värdena inom parentes anger hektar-skörd i ton torrsbstans per år (relaterade till en vårkornskörd om 3,5 ton). Stubbskörd i granodling medför 10–15 procent högre energiskörd.



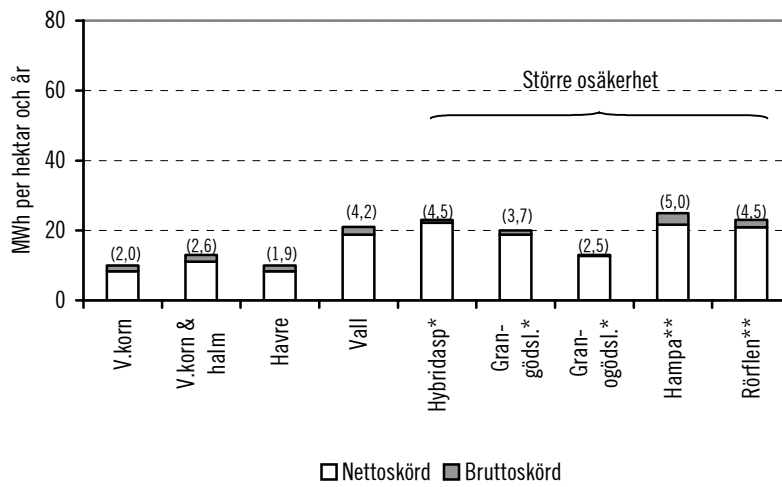
* Avser helträdsskörd exkl. stubbar ** Avser vårskörd

Figur 9.6 Uppskattning av genomsnittlig brutto- respektive nettoenergi-skörd per hektar och år för olika energigrödor vid odling i Mellersta Sveriges skogsbygder idag. Värdena inom parentes anger hektarskörd i ton torrsubbans per år (relaterade till en vårkornskörd om 3,3 ton). Skördenivå för hampa avser vårskörd. Skörd av hybridasp och gran avser helträdsskörd. Stubbskörd i granodling medför 10–15 procent högre energiskörd.



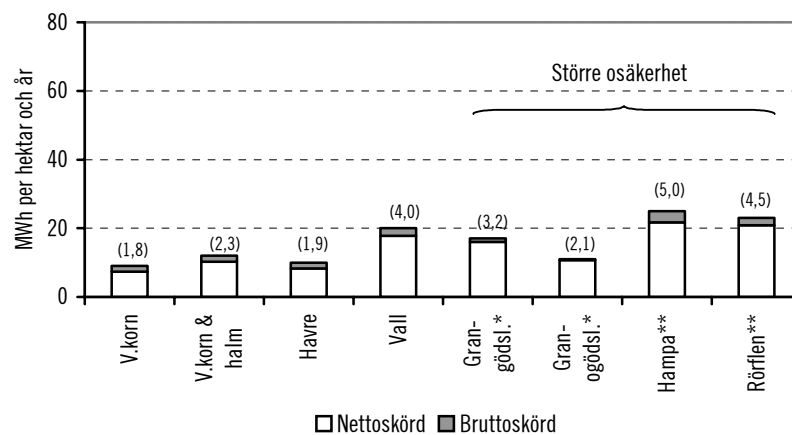
* Avser helträdsskörd exkl. stubbar ** Avser vårskörd.

Figur 9.7 Uppskattning av genomsnittlig brutto- respektive nettoenergi-skörd per hektar och år för olika energigrödor vid odling i Nedre Norrland idag. Värdena inom parentes anger hektarskörd i ton torrsbstans per år (relaterade till en vårkornskörd om 2,3 ton). Stubbskörd i granodling medför 10–15 procent högre energi-skörd.



* Avser helträdsskörd exkl. stubbar ** Avser vårskörd.

Figur 9.8 Uppskattning av genomsnittlig brutto- respektive nettoenergi-skörd per hektar och år för olika energigrödor vid odling i Övre Norrland idag. Värdena inom parentes anger hektarskörd i ton torrsbstans per år (relaterade till en vårkornskörd om 2,1 ton). Stubbskörd i granodling medför 10–15 procent högre energi-skörd.



* Avser helträdsskörd exkl. stubbar ** Avser vårskörd.

Tabell 9.1 Sammanfattning av uppskattade genomsnittliga skördenivåer för olika energigrödor odlade på genomsnittlig åkermark inom respektive produktionsområde¹

Energigröda	HVV ² (LVV) (MWh per ton torrsubst)	Genomsnittlig skördenivå per hektar och år							
		Gss (Ton ts / MWh)	Gmb (Ton ts / MWh)	Gns (Ton ts / MWh)	Ss (Ton ts / MWh)	Gsk (Ton ts / MWh)	Ssk (Ton ts / MWh)	Nn (Ton ts / MWh)	Nö (Ton ts / MWh)
Vete-kärna	5,1 (4,5)	6,4 / 33	5,5 / 28	4,8 / 25	4,2 / 21	-	-	-	-
Vete – kärna & halm	5,1 & 5,0 (4,5 & 4,4)	10,7 / 51	8,6 / 44	6,7 / 34	5,8 / 29	-	-	-	-
Korn-kärna	5,1 (4,5)	-	-	-	-	3,0 / 15	2,8 / 14	2,0 / 10	1,8 / 9
Korn-kärna & halm	5,1 & 5,2 (4,5 & 4,6)	-	-	-	-	3,9 / 20	3,6 / 18	2,6 / 13	2,3 / 12
Havre-kärna	5,5 (4,9)	4,8 / 26	4,1 / 23	3,6 / 20	3,2 / 18	3,0 / 17	2,8 / 15	1,9 / 10	1,9 / 10
Havre-kärna & halm	5,5 & 5,0 (4,9 & 4,4)	8,5 / 44	6,8 / 36	5,2 / 28	4,6 / 25	4,4 / 24	4,0 / 21	2,7 / 14	2,7 / 14
Raps-frö	7,7 (7,1)	2,8 / 22	2,6 / 20	2,6 / 20	2,0 / 15	-	-	-	-
Raps-frö & halm	7,7 & 5,0 (7,1 & 4,4)	5,6 / 36	5,2 / 33	4,4 / 29	3,3 / 22	-	-	-	-
Socketbetor	4,9 (4,5)	11 / 54	9,9 / 49	-	-	-	-	-	-
Socketbetor & blast	4,9 & 4,8 (4,5 & 4,4)	13,5 / 66	12,2 / 60	-	-	-	-	-	-
Vall	4,9 (4,5)	7,5 / 37	6,7 / 33	6,5 / 32	6,0 / 29	5,0 / 25	4,5 / 22	4,2 / 21	4,0 / 20
Majs	4,9 (4,5)	9,5 / 47	9,0 / 44	8,0 / 39	-	-	-	-	-
Rörflen ³	4,9 (4,5)	5,4 / 26	5,2 / 25	5,0 / 25	4,8 / 24	4,6 / 23	4,5 / 23	4,5 / 23	4,5 / 23
Hampa ³	4,9 (4,5)	6,5 / 32	6,5 / 32	6,2 / 30	6,0 / 29	5,5 / 27	5,3 / 26	5,0 / 25	5,0 / 25
Salix ⁴	5,2 (4,4)	9,5 / 50	6,5 / 34	8,2 / 43	7,0 / 36	6,0 / 31	5,0 / 26	-	-
Poppel ⁴	5,2 (4,4)	8,5 / 44	6,5 / 34	7,4 / 38	-	-	-	-	-
Hybridasp ⁴	5,2 (4,4)	7,7 / 40	6,0 / 31	6,7 / 35	6,0 / 31	5,5 / 29	5,0 / 26	4,5 / 23	-
Gran – gödsblad ⁵	5,2 (4,4)	6,5 / 34	5,2 / 27	5,7 / 29	5,2 / 27	5,0 / 27	4,3 / 23	3,7 / 20	3,2 / 17
Gran – konvent. ⁵	5,2 (4,4)	5,0 / 26	3,9 / 20	4,2 / 22	3,7 / 19	3,5 / 18	3,0 / 16	2,5 / 13	2,1 / 11

¹ Se text för närmare beskrivning av antaganden vid uppskattning av skördenivå för respektive gröda.

² Högre värmevärde, HVV (lägre värmevärde, LVV, inom parantes).

³ Avser vårskörd vilket medför förluster av biomassa under vinterhalvåret mellan 15–40 procent, exklusive direkta skörde-förluster. Vinterförluster bedöms bli större ju längre söderut odlingen sker på grund av mildare vintrar vilket medför ökad mikrobiell aktivitet och nedbrytning. Lägre biomasseskördar i norra Sverige kompenseras således till stor del av lägre vinterförluster varför vårskörd av hampa och rörflen varierar relativt lite mellan de olika produktionsområdena.

⁴ Avser skörd i etablerade bestånd, dvs. från och med andra omdrevet för salix och i tätplanterade bestånd av poppel och hybridasp. Eftersom plantering av hybridasp sker med plantor, till skillnad från salix och poppel som planteras med sticklingar, blir planteringskostnaden betydligt högre vilket kan leda till att plantantalet per hektar blir lägre för hybridasp. Detta kan i sin tur medföra något lägre biomasseskörd under första omdrevet (cirka 25 år) än vad som anges i Tabell 9.1. I andra omdrevet sker etablering av hybridasp med rotskott vilket ger ett högt stamantal och därmed hög skördenivå likt i en tätplanterad odling.

⁵ Gödsblad gran avser näringsoptimerad gödsling av granskog som i praktisk tillämpning bedöms ge i genomsnitt mellan 30 procent (södra Sverige) till 50 procent (norra Sverige) högre biomasseskörd (ton ts) än ogödsblad, konventionell granodling. Efter slutavverkning av granskog på åkermark kan stubbrytning bli aktuellt vilket bedöms kunna ge en ökad biomasseskörd om cirka 10–15 procent (ton ts) jämfört med skördenivåerna i Tabell 9.1 (som avser helträdskörd exklusive stubbrytning).

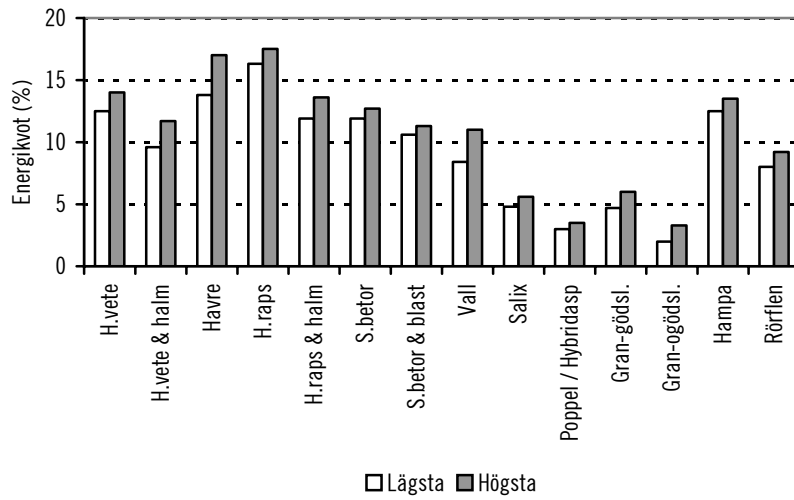
I Figur 9.9 redovisas en summering av energieffektiviteten, uttryckt som energikvot, för de olika odlingssystem som ingår i Figur 9.1–9.8 och Tabell 9.1. Energitkvot definieras i detta fall som den totala primärenergiinsatsen som krävs för att driva systemet

dividerat med energiinnehållet i den producerade biomassan, uttryckt i procent. Ju högre energikvoten är, desto sämre är energi-effektiviteten. För varje gröda redovisas den högsta respektive lägsta energikvoten som beräknats för de olika odlingssystem som redovisas ovan. Denna spridning i energikvot visar på hur energi-effektiviteten för de olika odlingssystemen beräknas skilja beroende på produktionsförutsättningar. Den lägsta energikvoten motsvarar normalt odling i de mest högavkastande produktionsområdena (oftast Gss) medan de högsta motsvarar odling i de mest lågavkastande områdena (skogsbygderna och Norrland).

Som framgår av Figur 9.9 är den genomsnittliga energikvoten lägst för ogödslad gran, poppel och hybridasp där energiinsatsen motsvarar är cirka 2–4 procent av energiskörden. Därefter kommer salix och näringsoptimerad gödslad gran med en energiinsats motsvarande cirka 5–6 procent av energiskörden. Fleråriga energi-grödor som rörflen och vall har en energikvot kring 8-10 procent. Energiinsatsen för ettåriga grödor varierar från motsvarande drygt 10 procent upp till cirka 17 procent av energiskörden. När restprodukter som halm och blast också skördas minskar energikvoten något. Energitvoten för en och samma gröda skiljer ofta 15-20 procent beroende på om denna odlas i ett högavkastande eller lågavkastande produktionsområde. Med andra ord så är den genomsnittliga energiinsatsen per producerad energienhet biomassa ofta 15-20 procent högre när odling sker i ett lågavkastande produktionsområde jämfört med ett högavkastande.

Som redovisats i avsnitt 4.3 och 4.4 kan variationen i skördeavkastning inom ett produktionsområde vara stor beroende på skillnader i lokala förutsättningar och på gårdsnivå. En bedömning i avsnitt 4.3 är att skördenivåerna ofta kan skilja +/- 20 procent mellan olika skördeområden som ingår i samma produktionsområde, dvs. jämfört med genomsnittsskörden för produktionsområdet. I avsnitt 4.4 beskrivs hur skördeavkastningen kan skilja mellan olika fält inom en gård och en grov uppskattning är att denna variation i skördenivå också ofta kan uppgå till +/- 20 procent eller mer. Energiskördens storlek har i sin tur stor inverkan på energikvotens storlek. I avsnitt 4.4 beskrivs hur energiinsatsens storlek av energiskörden kan variera mellan olika gårdar, fält och år. Detta exempel visar att energikvoten kan skilja +/- 50 procent mellan olika fält och år där förutom skillnader i hektarskörd t.ex. behov av torkning för spannmål och oljeväxtfrö spelar stor roll.

Figur 9.9 Uppskattad genomsnittlig energikvot (primärenergiinsats / bruttoenergiavkastning) uttryckt i procent för olika odlingssystem samt hur denna varierar beroende på inom vilket produktionsområde odling sker (se Figur 9.1-9.8). Stora lokala skillnader i energikvot kan dock förekomma (se avsnitt 4.3 och 4.4)



10 Potentiell biobränsleproduktion från jordbruket – några räkneexempel

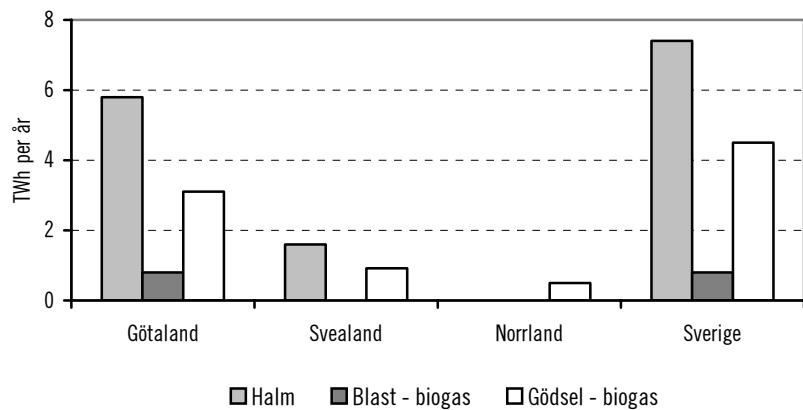
I detta avsnitt beskrivs ett antal olika räkneexempel över hur mycket bioenergi som kan produceras inom svenskt jordbruk beroende på hur mycket åkermark som utnyttjas, dess regionala fördelning, lokala produktionsförutsättningar samt vilka energi-grödor som odlas. Dessutom summeras den maximala tillgången av restprodukter som bedöms kunna finnas tillgänglig för energi-produktion. Följande räkneexempel inkluderar inga ekonomiska överväganden eller praktiska begränsningar utan ska ses som enbart teoretiska exempel på hur den fysiska tillgången på bioenergi kan variera beroende på vilka produktionsförutsättningar som antas.

Som framgår av Figur 10.1 bedöms cirka 7 TWh halm (spannmåls- och oljeväxthalm) finnas tillgängligt för energiändamål baserat på dagens produktionsförutsättningar. Cirka 80 procent av halmen finns tillgänglig i Götaland medan drygt 20 procent finns tillgängligt i Svealand. Denna uppskattning av tillgänglig halm för energiändamål är dock grov och behäftad med relativt stor osäkerhet (se avsnitt 6.1). Tillgången på halm för energiändamål kan t.ex. öka med ytterligare cirka 2 TWh per år om dagens klimatmässiga och ekologiska restriktioner minskar med 30 procent till följd av effektivare bärningsteknik som medför kortare bärningsperiod och förändrad odlingsteknik som bättre bibehåller åkermarkens mullhalt. Om t.ex. behovet av halm inom djurproduktionen minskar med 20 procent innebär detta ytterligare cirka 1 TWh halm tillgängligt för energiändamål. Om däremot spannmålsodlingen minskar med 20 procent minskar tillgången på halm i motsvarande grad.

Av de olika typer av blast som produceras i svensk växtodling bedöms framför allt betblast vara möjlig att utnyttja för energiändamål. All betblast återfinns i Götaland. Om betblast utnyttjas för biogasproduktion bedöms maximalt cirka 0,8 TWh biogas kunna produceras utifrån dagens produktionsförutsättningar. Hur

stor andel av denna teoretiskt maximala produktion som kommer att utnyttjas i praktiken beror av en mängd olika faktorer som inte analyseras närmare i denna studie. Tillgången av gödsel för biogasproduktion är framför allt lokaliserad i Götaland, knappt 70 procent, medan cirka 20 procent finns i Svealand och 10 procent i Norrland. Totalt bedöms cirka 4,5 TWh biogas kunna utvinnas ur gödsel utifrån dagens produktionsförutsättningar och om all tillgänglig gödsel utnyttjas. Med förbättrad biogasteknologi kan den teoretiskt maximala biogasproduktionen öka till cirka 6 TWh (se avsnitt 6.2). Dessutom kan hästgödsel komma att utnyttjas för förbränning i stället för biogasproduktion vilket ökar energiutvinningen något. Hur stor andel av dagens gödselproduktion som kommer att utnyttjas för energiändamål i framtiden är mycket osäkert och beror av en mängd olika faktorer som kräver detaljerade analyser utifrån lokala förutsättningar m.m.

Figur 10.1 Uppskattad maximal tillgång på restprodukter från jordbruket för energiändamål under dagens produktionsförutsättningar. Observera att beräkningarna bygger på relativt grova uppskattningar och kan variera betydligt med förändrade produktionsförutsättningar (se text ovan samt avsnitt 6).



I tidigare potentialuppskattningar av jordbrukets möjligheter att producera bioenergi antas ofta att den trädesareal som finns idag bör kunna utnyttjas för bioenergiproduktion. Här ges några exempel på hur mycket bioenergi som skulle kunna produceras på denna areal beroende på vilka förutsättningar som gäller.

Som beskrivs i avsnitt 4 består träda dels av obligatorisk träda (cirka 5 procent av åkermarken), dels av frivillig träda (cirka 7 procent av åkermarken), vilket totalt ger en trädesareal motsvarande 12 procent av Sveriges åkermark (2005). Det första exemplet (Träda 1) baseras på att den obligatoriska trädesarealen om 5 procent av åkerarealen utnyttjas för bioenergiproduktion och att denna trädesareal utgörs av genomsnittlig åkermark. En mix av olika energigrödor odlas med en genomsnittlig energiskörd (brutto) i MWh per hektar och år enligt följande (baserat på Figur 9.1–9.8): Gss 43, Gmb 35, Gns 33, Ss 30, Gsk 25, Ssk 22, Nn 20 samt Nö 18.

Det andra exemplet (Träda 2) baseras på att såväl obligatorisk som frivillig träda utnyttjas för bioenergiproduktion (dvs. 12 procent av åkerarealen) och i övrigt samma förutsättningar som det första exemplet. Det tredje exemplet (Träda 3) bygger på exempel två men med den skillnaden att avkastningsnivån antas vara 20 procent lägre på åkermark som tas ut i träda jämfört med avkastningsnivån på genomsnittlig åkermark.

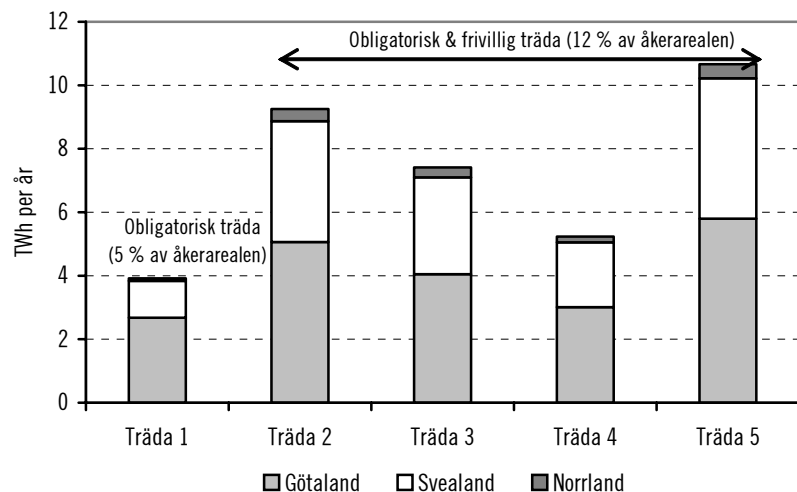
Det fjärde exemplet (Träda 4) bygger på exempel tre men med den skillnaden att mixen av energigrödor huvudsakligen utgörs av ettåriga grödor som spannmål och oljeväxter. Detta bedöms ge följande genomsnittliga energiskördar (brutto) i MWh per hektar och år: Gss 35, Gmb 28, Gns 23, Ss 20, Gsk 18, Ssk 15, Nn 12 samt Nö 10. Det femte exemplet (Träda 5) bygger på exempel två men med den skillnaden att mixen av energigrödor förändras så att framför allt högavkastande grödor odlas. Detta bedöms ge följande genomsnittliga energiskördar (brutto) i MWh per hektar och år: Gss 50, Gmb 40, Gns 38, Ss 35, Gsk 28, Ssk 25, Nn 22 samt Nö 22.

I Figur 10.2 presenteras hur stor bruttoproduktion av biobränslen som fås i de fem olika alternativen. Som framgår av Figur 10.2 varierar den totala bioenergiproduktion mellan cirka 5 till drygt 10 TWh beroende på hur trädesarealen utnyttjas och när denna motsvarar dagens totala trädesareal om 12 procent åkermark. När endast obligatorisk träda utnyttjas beräknas i detta exempel cirka 4 TWh bioenergi kunna produceras. En skillnad mellan Träda 1 och Träda 2 (förutom en mindre total bioenergiproduktion i Träda 1) är att om enbart obligatorisk träda utnyttjas kommer knappt 70 procent av bioenergin att produceras i Götaland medan denna andel sjunker till drygt 50 procent när också produktion på frivillig träda inkluderas. En orsak till detta är att andelen frivillig träda är betydligt större i t.ex. Svealands slättbygder än i Götalands södra slättbygder (se avsnitt 4). Andelen bioenergi som produceras

i Norrland är liten, eller kring 2-4 procent av totala biobränsleproduktionen.

Om trädesarealen framför allt utgörs av något sämre åkermark än genomsnittet (här 20 procent lägre avkastning) sjunker den totala bioenergiproduktionen från drygt 9 TWh per år (Träda 2) till drygt 7 TWh (Träda 3). Om dessutom framför allt ettåriga grödor som spannmål och oljeväxter utnyttjas som energigrödor minskar bioenergiproduktionen ytterligare med ungefär 2 TWh till totalt drygt 5 TWh per år (Träda 4). Om däremot mer högavkastande energigrödor utnyttjas kan totalproduktionen uppgå till drygt 10 TWh när trädesarealen antas utgöras av genomsnittlig åkermark (Träda 5). Idag utnyttjas drygt 10 procent av den obligatoriska trädesarealen för bioenergiproduktion medan ingen odling sker på den frivilliga trädesarealen (Johnsson, 2006b).

Figur 10.2 Bruttoproduktion av bioenergi när dagens trädesareal (2005) utnyttjas på olika sätt. Se text för förklaring av respektive räkneexempel

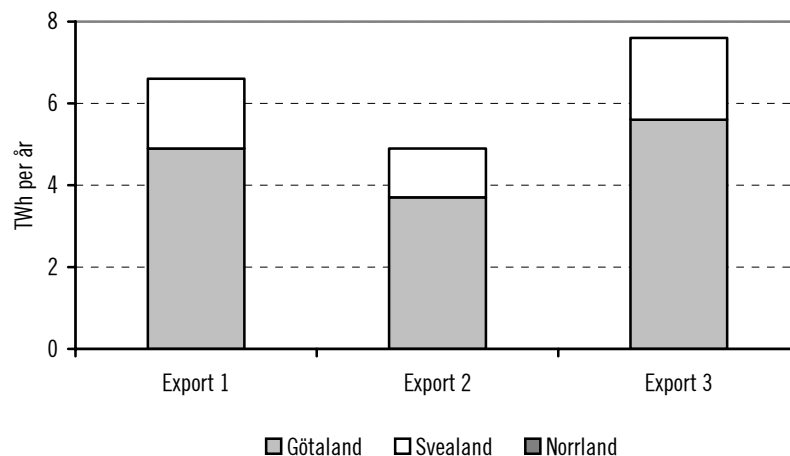


I tidigare uppskattningar av jordbrukets bioenergipotential antas ibland att den areal som nu utnyttjas för odling av exportgrödor i stället skulle kunna utnyttjas för odling av energigrödor (se t.ex. Herland, 2005). Dessa exportgrödor utgörs huvudsakligen av spannmål vars areal har uppskattats till cirka 150 000 ha under 2005 (Jordbruksverket, 2006). Motsvarande andel för de senaste 5 åren

har i genomsnitt varit cirka 200 000 hektar. I denna studie antas exportspannmål huvudsakligen utgöras av vete och råg som odlas på 150 000 ha vilket ungefär motsvarar 40 procent av nuvarande odlingsareal för vete och råg, eller knappt 6 procent av Sveriges totala åkermarksareal (2005). Denna andel spannmålsodling för export antas vara jämnt fördelat över totala arealen vete- och rågodling samt utgöras av något bättre åkermark än genomsnittet (20 procent högre skördeavkastning). I Figur 10.3 redovisas hur mycket bioenergi som skulle kunna produceras på denna spannmålsareal utifrån tre olika exempel. I exempel 1, "Export 1, antas odling ske med en genomsnittlig mix av olika energigrödor (jmf "Träda 1, 2 och 3"), i "Export 2" med huvudsakligen spannmåls- och oljeväxtgrödor (jmf "Träda 4") samt i "Export 3" med huvudsakligen högavkastande energigrödor (jmf "Träda 5").

Som framgår av Figur 10.3 skulle mellan cirka 5 och 7,5 TWh biomassa (brutto) kunna produceras på den åkermark som idag utnyttjas för odling av spannmål som exporteras (och som antas ha cirka 20 procent högre avkastning än genomsnittlig åkermark). Produktionen av bioenergi på denna areal skulle således kunna bli nästan lika stor som odling på nuvarande totala trädesareal när denna antas utgöra något sämre åkermark trots att trädesarealen är dubbelt så stor (motsvarande 12 procent av åkerarealen) än arealen spannmålsodling för export (motsvarande knappt 6 procent av åkerarealen). Förutom att skördenivån antas vara lägre på åkermark i träda är spannmålsodling för export (som antas utgöras av odling av vete och råg) till 80 procent är lokaliserad i Götalands och Svealands slättbygder där skördenivåerna är betydligt högre än genomsnittet för Sveriges åkermark (se t.ex. Figur 9.1 till 9.8). Om denna areal fortsättningsvis framför allt utnyttjas för spannmålsodling, och till viss del oljeväxtodling, för energiändamål bedöms cirka 5 TWh bioenergi kunna produceras. Om däremot mer högavkastande energigrödor odlas bedöms energiproduktionen kunna öka med upp till 50 procent, eller motsvarande cirka 7,5 TWh.

Figur 10.3 Bruttoproduktion av bioenergi på den areal som idag uppskattas utnyttjas för odling av spannmål för export (vete och råg) vilket motsvarar knappt 6 procent (150 000 ha) av Sveriges åkerareal. Se text för förklaring av respektive alternativ.



En annan beräkningsgrund för hur mycket åkermark som kan bli tillgängligt för energiproduktion baseras på hur mycket åkermark som krävs för att säkra landets självförsörjning. Denna beräkningsgrund användes t.ex. i Biobränslekommissionens slutbetänkande i början av 1990-talet (SOU, 1992). Då antogs att en åkerareal om cirka 2 miljoner hektar skulle vara tillräcklig för landets självförsörjning med dåtidens aktuella produktionsmetoder. Andelen åkermark som skulle kunna vara tillgänglig för energiproduktion antogs då uppgå till cirka 800 000 hektar. Sverige har dock inte sedan 1989 års jordbrukspolitik uttryckt något mål för självförsörjning av livsmedel, men med ökad konkurrens om åkermarken och ökad användning av åkermark för energiändamål kan denna målsättning eventuellt åter aktualiseras (Johnsson, 2006b). Marknadsenheten på Jordbruksverket har gjort en översiktlig och grov uppskattning över hur mycket åkermark som krävs idag (2005) för att säkerställa landets självförsörjning. Denna uppskattning bygger på följande beräkningar (Johnsson, 2006b):

- Inhemsk produktion + Import = Tillgång
- Konsumtion + Export (inkl. lagerförändring) = Förbrukning
- Inhemsk produktion / Förbrukning = Självförsörjningsgrad

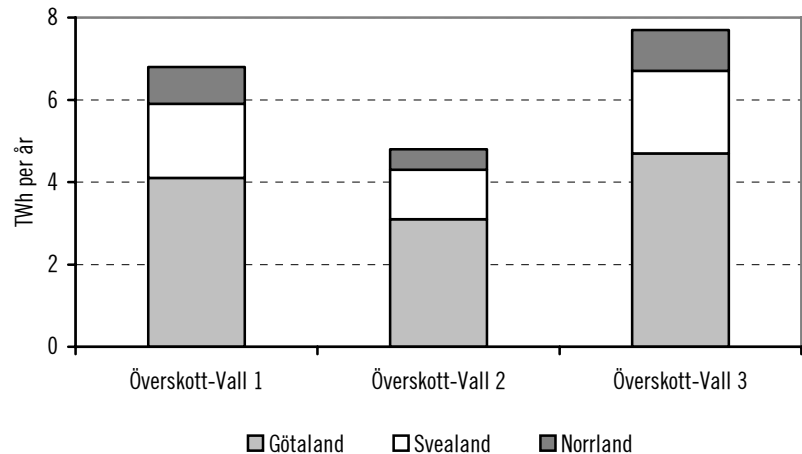
Resultatet från beräkningarna visar att självförsörjningsgraden för spannmål och socker ligger över 100 procent, eller knappt 120 procent. För övriga jordbruksprodukter ligger självförsörjningsgraden mellan 80–100 procent med undantag för fjäderfäkött, cirka 70 procent, och nötkött, cirka 60 procent (Johnsson, 2006b). Omräknat i hektar bedöms överskottsarealen för spannmål uppgå till cirka 180 000 hektar medan underskottsarealen för foderproduktion till nötkött bedöms uppgå till knappt 100 000 hektar. Den totala nettoöverskottsarealen uppskattas till mellan 30 000–40 000 hektar. Denna nettoöverskottsareal är således betydligt lägre än tidigare uppskattningar från början av 1990-talet (se t.ex. SOU, 1992).

En annan fråga som hör samman med överskottsareal är hur vall- och betesmark utnyttjas (Johnsson, 2006b). Under de senaste åren har t.ex. arealen vall och bete ökat med cirka 10 procent utan att djurantalet gått upp. En uppskattning av Marknadsenheten vid Jordbruksverket (Johnsson, 2006b) visar att överskottsarealen vallodling och bete idag uppgår till cirka 250 000 hektar. Denna uppskattning baseras på beräkningar av foderbehovet i dagens djurproduktion samt den aktuella produktionen av grovfoder som visar att det idag produceras cirka 30 procent mer foder än vad behovet är. I Figur 10.4 redovisas hur mycket bioenergi som skulle kunna produceras på denna överskottsareal om 250 000 hektar som här antas utgöras av åkermark. I praktiken består dock denna överskottsareal också av en viss andel betesmark (Johnsson, 2006b). Överskottsarealen av vall, vilket motsvarar cirka 9 procent av totala åkerarealen respektive cirka 23 procent av totala vallarealen i Sverige (2005), antas fördela sig jämnt över dagens odlingsareal för vall och utgöras av genomsnittlig åkermark. Följande tre räkneexempel inkluderas i Figur 10.4: ”Överskott-Vall 1” där energiodling antas ske med en genomsnittlig mix av olika energigrödor (jmf ”Träda 1, 2 och 3”), ”Överskott-Vall 2” där energiodling antas ske med huvudsakligen spannmåls- och oljeväxtgrödor (jmf ”Träda 4”) samt ”Överskott-Vall 3” där energiodling antas ske med huvudsakligen högavkastande energigrödor (jmf ”Träda 5”).

Den totala produktionen av bioenergi på dagens överskottsareal av vall uppskattas kunna bli mellan 5 och 8 TWh per år (brutto), beroende av vilka energigrödor som antas odlas (Figur 10.4). Cirka 60–65 procent av bioenergin produceras i Götaland, cirka 25 procent i Svealand samt 10–15 procent i Norrland. Den totala produktionen av bioenergi på dagens överskottsareal av vall bedöms

således kunna bli i samma storleksordning som när arealen spannmål för export utnyttjas för bioenergiproduktion (se Figur 10.3). Däremot skiljer sig den regionala fördelningen av bioenergiproduktionen väsentligt åt mellan dessa två olika räkneexempel.

Figur 10.4 Bruttoproduktion av bioenergi på den vallareal som ej bedöms behövas för att täcka dagens grovfoderbehov inom inhemsk djurproduktion. Denna överskottsareal uppskattas till cirka 250 000 hektar, eller cirka 9 procent av Sveriges åkerareal (baserat på data från Johnsson, 2006b). Se text för förklaring av respektive alternativ.

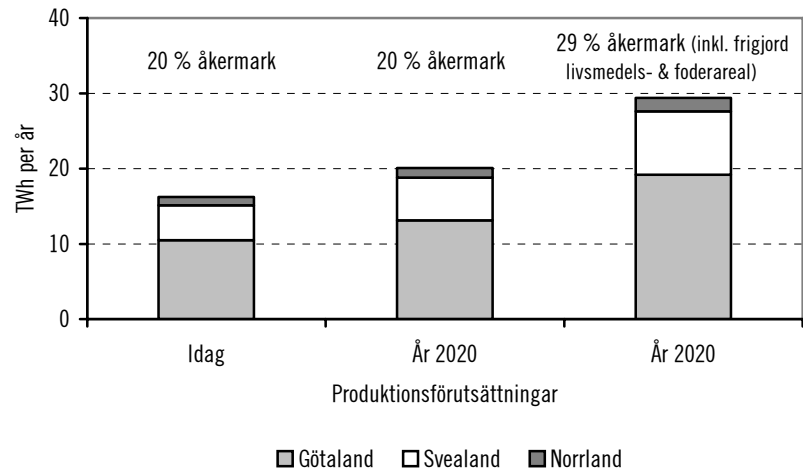


I avsnitt 7 och 8 diskuteras bl.a. olika gröders förädlingspotential och hur förbättrad odlingsteknik kan leda till ökade skördar i framtiden. I Tabell 8.1 sammanfattas detta i en bedömning över hur stora skördeökningar som kan fås för såväl livsmedels- och fodergrödor som energigrödor fram till år 2020. Högre skördeavkastning innebär att mängden bioenergi som produceras på en viss areal åkermark kan öka i framtiden. Dessutom kan tillgången på åkermark för energiproduktion öka eftersom en ökad skördeavkastning för livsmedels- och fodergrödor möjliggör att ytterligare åkermark frigörs förutsatt att behovet av dessa inhemskt producerade grödor är konstant. I Figur 10.5 redovisas resultatet av ett räkneexempel som beaktar dessa aspekter. I räkneexemplet antas att 20 procent av dagens åkermark finns tillgängligt för odling av energigrödor. Denna åkerareal (som t.ex. kan utgöras av tidigare trädesareal och

överskottsareal av spannmål och vallfoder, se Figur 10.2–10.4) antas vara jämnt fördelad över produktionsområdena. Energiproduktionen antas ske med en genomsnittlig mix av olika energi-grödor (jmf ”Träda 1, 2 och 3”).

Som framgår av Figur 10.5 uppskattas cirka 16 TWh bioenergi kunna produceras årligen med dagens produktionsmetoder när 20 procent genomsnittlig åkermark finns tillgängligt för energiproduktion. Med oförändrad åkerareal antas cirka 25 procent mer bioenergi, eller totalt cirka 20 TWh, kunna produceras år 2020 tack vare förbättrade produktionsförutsättningar. Dessa förbättrade produktionsförutsättningar antas dessutom kunna leda till att ytterligare 9 procent åkermark frigörs till år 2020 från livsmedels- och foderproduktion när behovet av inhemskt producerade livsmedels- och fodergrödor är konstant. På dessa 29 procent åkermark beräknas knappt 30 TWh bioenergi kunna produceras. Sammanfattningsvis visar detta räkneexempel att en framtida ökad skördeavkastning för såväl energi- som livsmedels- och fodergrödor kan leda till en närmast fördubblad bioenergiproduktion på jordbruksmark. Detta räkneexempel förutsätter konventionell växtodling. Om däremot en allt större andel åkermark utnyttjas för ekologisk odling ökar behovet av mark för livsmedelsproduktion i framtiden eftersom skördenivåerna är lägre än i konventionell odling. Hur stor andel av åkermarken som utnyttjas för ekologisk odling har således också stor betydelse för hur mycket åkermark som finns tillgängligt för energiproduktion i framtiden.

Figur 10.5 Bruttoproduktion av bioenergi när motsvarande 20 procent av dagens åkerareal utnyttjas för energiodling med dagens respektive uppskattade produktionsförutsättningar år 2020. Se text för förklaring av respektive alternativ.



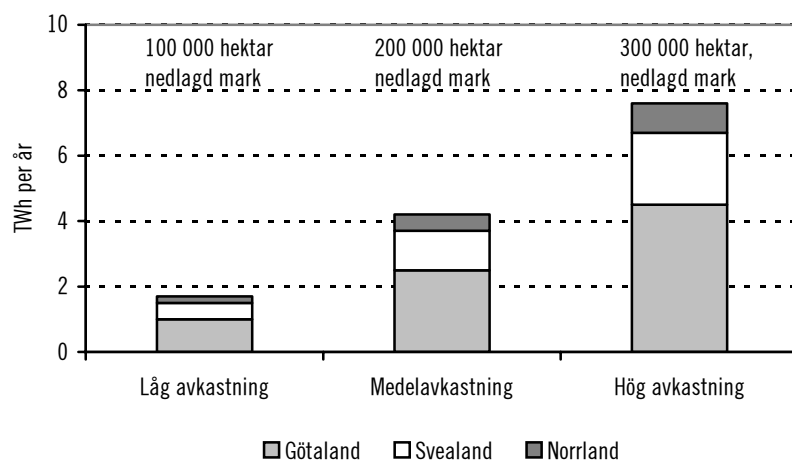
Förutom att utnyttja befintlig åkermark för energiproduktion kan även nedlagd jordbruksmark som idag inte utnyttjas för vare sig skogs- eller jordbruksproduktion komma att utnyttjas för energiproduktion i framtiden. I avsnitt 5 diskuteras hur stor areal nedlagd jordbruksmark som finns och som kan utnyttjas för energiproduktion samt vilken skördeavkastning som kan fås på dessa marker. De övergripande slutsatserna i avsnitt 5 är att det finns en mycket stor osäkerhet både vad det gäller tillgång på nedlagd jordbruksmark för energiproduktion och dess produktivitet. För att kunna göra säkrare bedömningar krävs därför betydligt bättre kunskap kring dessa frågeställningar och mer detaljerade studier i framtiden. I denna studie görs dock en grov uppskattning av vilken betydelse nedlagd jordbruksmark kan ha som resurs vid en framtida produktion av bioenergi.

Detta sista räkneexempel bygger på de bedömningar som görs i avsnitt 5 och innefattar tre olika fall. Gemensamt för alla tre fall är att andelen nedlagd jordbruksmark som kan utnyttjas för energiproduktion antas fördela sig enligt följande: 50 procent i Götaland, 30 procent i Svealand och 20 procent i Norrland. I exempel 1, "Nedlagd Mark – Låg", antas totalt 100 000 hektar finnas tillgängligt samtidigt som avkastningen är 4, 3 och 2 ton ts per hektar

och år i Götaland, Svealand respektive Norrland (vilket antas motsvara 20, 15 respektive 10 MWh per hektar och år). I exempel 2, "Nedlagd Mark – Medel", antas 200 000 hektar finnas tillgängligt med en avkastning om 5, 4 respektive 2,5 ton ts per hektar och år. I exempel 3, "Nedlagd Mark – Hög", antas 300 000 hektar finnas tillgängligt med en medelavkastning om 6, 5 och 3 ton ts per hektar och år i Götaland, Svealand respektive Norrland.

Som framgår av Figur 10.6 antas produktionen av bioenergi på nedlagd jordbruksmark kunna variera mellan drygt 1,5 TWh upp till drygt 7,5 TWh beroende av hur mycket mark som finns att tillgå och dess produktivitet. Om t.ex. endast upp till 100 000 hektar lågproduktiv mark finns tillgängligt blir den totala bioenergiproduktionen på denna nedlagda jordbruksmark relativt liten (cirka 1–2 TWh per år). Om däremot 200 000–300 000 hektar nedlagd relativt produktiv jordbruksmark finns tillgängligt för energiproduktion kan bidraget av bioenergi bli väsentligt (cirka 4–8 TWh per år). Som diskuteras i avsnitt 5 bedöms framför allt snabbväxande lövträd och gran bli aktuella som "energigrödor" på nedlagd jordbruksmark då denna antas ofta bestå av små skiften, ha dålig arrondering och odlingshinder m.m. som gör odling av mer intensiva jordbruksgrödor olämplig. Däremot är t.ex. traditionella skogsmaskiner anpassade för dessa odlingsförutsättningar.

Figur 10.6 Bruttoproduktion av bioenergi på nedlagd jordbruksmark beroende på tillgänglig areal respektive skördeavkastning. Se text för förklaring av respektive alternativ.



11 Miljökonsekvenser av ökad bioenergiproduktion

Miljöpåverkan vid odling av energigrödor och skillnader mot odling av konventionella livsmedels- och fodergrödor har analyserats i ett flertal olika studier sedan slutet av 1980-talet. Exempel är Gustavsson (1987), Andersson (1990), Thyselius m.fl. (1992), Frank (1992), Bergström & Johansson (1992), Åbyhammar m.fl. (1993), Geber & Tuvevsson (1993), Perttu (1993), Sjödahl Svensson m.fl. (1994), Stjernquist (1994), Östman (1994), Eriksson & Ledin (1995), Johnsson (1995), Hasselgren (1995), Börjesson (1997), Naturvårdsverket (1997), Börjesson (1999a,b), Elowson (1999), Börjesson m.fl. (2002), Berndes m.fl. (2004), Bernesson m.fl. (2004), Börjesson & Berndes (2006), Jordbruksverket (2006), Börjesson & Berglund (2006a,b) samt Bernesson m.fl. (2006).

En generell slutsats från dessa studier är att en övergång från odling av ettåriga grödor som spannmål och oljevaxter till fleråriga energigrödor som energigräs och energiskog ofta ger positiva miljöeffekter. Detta beror till stor del på att odlingsintensiteten normalt är lägre för fleråriga grödor med lägre användning av gödsel och bekämpningsmedel, mindre intensiv jordbearbetning m.m. i kombination med att åkermarken är bevuxen året om. Exempel på positiva miljöeffekter som kan fås vid en övergång från ettåriga odlingssystem (spannmål, oljevaxter m.m.) till fleråriga (vall, energiskog m.m.) är:

- Minskad risk för växtnärläckage.
- Minskad risk för vatten- och vinderosion.
- Förbättrad markstruktur genom ökad mullhalt och minskad markbearbetning.
- Minskad användning av kemiska bekämpningsmedel.
- Möjlighet att utnyttja slam och avloppsvatten som gödselmedel.
- Möjlighet att föra bort kadmium med vissa salixkloner.
- Ökad biologisk mångfald i åkerlandskapet.

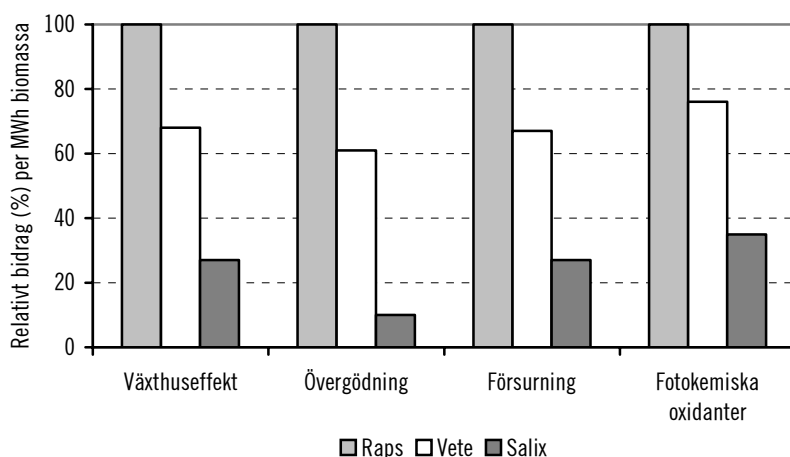
Det finns ett flertal olika studier som beskriver hur fleråriga energiodlingar kan utnyttjas för att skydda och återställa påverkade vatten- och markresurser (se t.ex.; Aronsson, 2000; Börjesson m.fl., 2002; Hasselgren, 2003; Berndes m.fl., 2004; Dimitriou, 2005; Börjesson & Berndes, 2006). Genom att optimera lokalisering, utformning och skötsel kan så kallade multifunktionella energiodlingar generera ett flertal olika miljötjänster. Dessa kan dels vara riktade, t.ex. vegetationsfilter för vattenrening och omhändertagande av slam samt skyddszoner och lähågn mot erosion, dels av mer generell natur som t.ex. ökad kolinbindning och markbördighet, kadmiumavlastning och förbättrad jaktpotential. De regionala förutsättningarna för att utnyttja multifunktionella odlingar skiljer sig delvis åt där oftast de största förutsättningarna finns i tätbefolkade jordbrukslän med stora behov av vatten- och markvårdsåtgärder samt för att omhänderta och rena organiska restprodukter (Börjesson m.fl., 2002).

Det finns dock också situationer då energiodling kan leda till negativa miljökonsekvenser. Exempel är när energiodlingar ersätter t.ex. extensiv vallodling eller bevuxen träda. I dessa fall kan t.ex. risken för växtnärläckage öka, den biologisk mångfalden eventuellt minska m.m. Om dessutom nedlagd jordbruksmark i form av gammal hagmark och betesmark börjar utnyttjas för energiodling kan konsekvenserna för den biologiska mångfalden bli stora. En slutsats är således att det som framför allt avgör vilka miljökonsekvenser en ökad odling av energigrödor medför är vilken alternativ markanvändning som ersätts. Vid bedömning av miljökonsekvenser av ökad produktion av bioenergi inom jordbruket är det viktigt att göra detta utifrån ett brett systemperspektiv. Detta innebär t.ex. att de produktionssystem som jämförs ska tillhandahålla motsvarande produkter och/eller tjänster. Om så inte är fallet måste det system som saknar någon produkt eller tjänst kompletteras. Om t.ex. energiodling jämförs med träda måste systemet med träda kompletteras med ett system för energiproduktion (t.ex. fossil energi) för att systemen ska bli jämförbara. Denna metodologi har bl.a. utvecklats inom livscykelanalys. Inom livscykelanalys uttrycker man miljöpåverkan per funktionell enhet som utgör systemens gemensamma nämnare och jämförelsebas. En funktion kan definieras som något som uppfyller ett behov.

Exempel på resultat från livscykelanalyser av olika energigrödor redovisas i Figur 11.1. Data för vete- och rapsodling för etanolrespektive RME-produktion baseras på Bernesson m.fl. (2004,

2006) medan data för salixodling baseras på Börjesson (2006b). Indata har här justerats så de olika odlingsystemen blir så jämförbara som möjligt (samma produktionsområde, miljöeffekter m.m.). I dessa analyser inkluderas utsläpp från såväl tekniska system (drivmedel, gödselmedelstillverkning m.m.) som biologiska system (växtnäringsläckage, lustgasbildning m.m.). Som framgår av Figur 11.1 bedöms odling av salix ge lägre utsläpp av växthusgaser, övergödande och försurande ämnen samt fotokemiska oxidanter som kan bilda marknära ozon, jämfört med odling av raps och vete. Odling av vete ger i sin tur lägre miljöpåverkan än odling av raps. Om även halm inkluderas förbättras resultaten för raps och vete något.

Figur 11.1 Relativt bidrag till olika miljöeffekter vid produktion av raps (frö), vete (kärna) och salix (flis) baserat på data från livscykelanalyser av Börjesson (2006b) och Bernesson m.fl. (2004, 2006) som justerats för att uppnå jämförbarhet



När det gäller utsläpp från tekniska system (drivmedel, gödselmedelstillverkning m.m.) vid odling av energigrödor har dessa utsläpp en tydlig koppling till den insatsenergi som krävs för att driva odlingsystemet. Detta innebär att ju större energiinsats som krävs per producerad enhet biomassa, ju större negativ miljöpåverkan i form av utsläpp från tekniska system. I Figur 9.9 (avsnitt 9) sammanfattas hur stor energiinsatsen är i förhållande till energiskörden för olika grödor (uttryckt som energikvot), vilket således ger en bild av vilka grödor som har låga respektive höga

utsläpp från tekniska system vid odling. Energikvoten är lägst för ogödslad gran, poppel och hybridasp där energiinsatsen motsvarar är cirka 2–4 procent av energiskörden. Därefter kommer salix och näringsoptimerad gödslad gran med en energiinsats motsvarande cirka 5–6 procent av energiskörden. Fleråriga energigrödor som rörflen och vall har en energikvot kring 8–10 procent. Energiinsatsen för ettåriga grödor varierar från motsvarande drygt 10 procent upp till cirka 17 procent av energiskörden.

För att få en mer fullständig bild av miljöpåverkan vid odling av energigrödor måste dock utsläpp från tekniska system kompletteras med utsläpp från biologiska system, vilket t.ex. Figur 11.1 är ett exempel på. Som diskuteras ovan medför odling av fleråriga grödor oftast lägre risk för näringsläckage i form av nitrat, framför allt tack vare att åkermarken är bevuxen året om. Fleråriga odlingssystem kräver oftast också lägre kvävegödselgivor tack vare effektivare recirkulering av näringsämnen inom odlingen. Detta kan i sin tur leda till minskad risk för bildning av lustgas, vilken är en potent växthusgas, ammoniak m.m.

En brist med livscykelanalyser är att dessa oftast inte inkluderar effekter på biologisk mångfald eller toxiska effekter från användning av kemiska bekämpningsmedel. En orsak till att toxiska effekter från bekämpningsmedel sällan inkluderas är problem med att kvantifiera dessa effekter och aggregera ihop effekter från olika typer av bekämpningsmedel. Ett alternativ är att i stället beskriva insatsen av kemiska bekämpningsmedel i kvalitativa termer, t.ex. vilken typ av preparat som används och dess giftighet. En bedömning i denna studie är att användningen av kemiska bekämpningsmedel är som högst i odling av oljeväxter, följt av spannmålsodling och till sist energiskogsodling. En ökad odling av raps för RME-produktion skulle således kunna öka risken för t.ex. läckage av bekämpningsmedel till vattendrag och grundvatten med efterföljande toxiska effekter. Om däremot energiskogsodling ökar på bekostnad på odling av spannmål och oljeväxter bör risken för oönskad spridning av kemiska bekämpningsmedel i vattendrag och grundvatten minska.

När det gäller problem med att inkludera effekter på biologisk mångfald i livscykelanalyser är en orsak till detta är att det krävs en jämförelse med en alternativ markanvändning för att kunna bedöma dessa. Dessutom kan inte dessa effekter kvantifieras på samma sätt som utsläpp till luft och vatten. De finns dessutom endast ett begränsat antal studier som analyserat hur olika energi-

odlingar påverkan den biologiska mångfalden och de som finns är relativt gamla (se t.ex. sammanställningar i Börjesson m.fl. 2002; Börjesson 1999a; 1997). De analyser som finns är framför allt inriktade på energiskog vars resultat visar att t.ex. salix oftast medför en ökad biodiversitet inom intensivt brukade jordbruksområden. Energiskogsodlingar kan t.ex. utgöra refuger, spridningskorridorer och skydd för större djur som fåglar, men också för smådjur och insekter. Sett över ett större geografiskt område, t.ex. en region innehållande många olika landskapstyper, behöver dock inte en ökad biodiversitet i det öppna jordbrukslandskapet medföra att den totala diversiteten inom regionen ökar. De flesta däggdjur, insekter m.m. som förekommer i energiodlingar är t.ex. ofta vanligt förekommande inom andra biotoper utanför jordbrukslandskapet.

Som diskuteras ovan kan odling av energigrödor också leda till negativa effekter på den biologiska mångfalden om marker med stora naturvärden börjar utnyttjas. Exempel är nedlagd jordbruksmark som gamla hag- och betesmarker, slätterängar, fuktängar m.m. Sammanfattningsvis krävs bättre kunskap och nya studier kring hur en ökad odling av energigrödor påverkar den biologiska mångfalden och i vilka situationer denna försämras respektive kan förbättras.

I Tabell 11.1 görs en grov summering över hur miljökonsekvenserna kan bli vid en ökad produktion av biobränslen. För att få bättre och säkrare bedömningar krävs dock betydligt mer detaljerade analyser som baseras på de aktuella lokala förutsättningarna samt bättre generell kunskap kring olika energiodlingars miljöeffekter, framför allt avseende biologisk mångfald.

När det gäller utnyttjandet av jordbrukets restprodukter för energiändamål kan stora indirekta miljövinster fås. När t.ex. gödsel rötas till biogas kan spontana utsläpp av metan vid konventionell lagring av flytgödsel minska väsentligt. Eftersom metan är en 20 gånger mer potent växthusgas än koldioxid medför detta en stor vinst ur klimatsynpunkt. Denna reduktion av växthusgaser beräknas kunna vara i samma storleksordning som den reduktion av koldioxid som fås när biogas ersätter ett fossilt bränsle (Börjesson & Berglund, 2003; 2006b). Genom att utnyttja gödsel för biogasproduktion som sedan ersätter ett fossilt bränsle kan således en dubbel klimatnytta fås. En annan positiv effekt med att röta gödsel är att dess innehåll av växttillgängligt kväve ökar genom att en del av det organiskt bundna kvävet omvandlas till ammoniumkväve. Detta innebär i sin tur större möjlighet till precisionsgödsling och

minskad risk för kväveläckage samt att behovet av t.ex. mineralgödsel kan minska. Ett minskat behov av mineralgödsel innebär indirekta miljövinster i form av minskade emissioner från gödselmedelstillverkning, t.ex. av lustgas som är en mycket potent växthusgas (Börjesson och Berglund, 2003; 2006b).

När betblast samlas in för t.ex. produktion av biogas minskar risken för läckage av nitrat och emissioner av ammoniak vilket medför en stor vinst i form av minskad risk för övergödning. Ur livscykelsynpunkt är denna miljövinster betydligt större än t.ex. minskade utsläpp av övergödande emissioner (framför allt kväveoxider) när biogas ersätter fossila bränslen (Börjesson & Berglund, 2003; 2006b). Insamling och rötning av betblast innebär också ett bättre växtnäringsutnyttjande vilket kan medföra att behovet av mineralgödsel minskar och därmed indirekta miljövinster i form av minskade emissioner från gödselmedelstillverkning (Börjesson & Berglund, 2003;2006b).

Som tidigare diskuterats bör en del halm lämnas kvar på åkermarken av ekologiska skäl för att bibehålla åkermarkens mullhalt. Detta gäller framför allt på kreaturslösa gårdar och på åkermark med styva leror med dålig markstruktur. Med ökad mullhalt ökar markens bördighet samtidigt som t.ex. risken för näringsläckage normalt minskar. Ett alltför högt uttag av halm för energiändamål kan därför i vissa situationer leda till negativa lokala miljökonsekvenser. Uttag av halm för energiändamål innebär samtidigt att inlagringen av kol i åkermarken minskar något. Ur växthusgassynpunkt har dock denna minskade kolinlagring en relativt liten betydelse jämfört med den koldioxidreduktion som fås när halm ersätter fossila bränslen (Börjesson & Berglund, 2003; 2006b).

Tabell 11.1 Summering av tänkbara miljökonsekvenser vid ökad produktion av bibränslen¹

	Övergödning, försurning, marknära ozon	Biologisk mångfald	Växthuseffekt ²
Energiskog & energigräs ersätter ettåriga grödor	++	+	+
Energiskog & energigräs ersätter extensiv vall & bevuxen träda	-	- / +	+++
Energiskog & energigräs odlas på lågavkastande marker med höga naturvärden	-	---	+++
Energispannmål & oljevaxter ersätter ettåriga grödor	0	0	0
Energispannmål & oljevaxter ersätter extensiv vall & bevuxen träda	--	-	++
Energispannmål & oljevaxter odlas på lågavkastande marker med höga naturvärden	--	----	++

¹ Plus (+) indikerar positiv effekt, minus (-) negativ effekt samt noll (0) ingen förändring.

² Inkluderar både förändrad kolinbindning i mark och minskade utsläpp av koldioxid vid ersättning av fossila bränslen

12 Slutsatser och diskussion

Svensk växtodling producerar idag (2005) knappt 80 TWh biomassa per år varav cirka 30 TWh utgör restprodukter (halm, blast, boss, agnar, stubb m.m.) som till största delen inte skördas. För denna växtodlingsproduktion krävs cirka 5,5 TWh hjälpenergi som huvudsakligen utgörs av fossila bränslen. Som jämförelse uppgår den årliga tillväxten av biomassa inom svenskt skogsbruk till cirka 200 TWh per år (inklusive grenar och toppar med exklusive stubbar). Användningen av biobränslen i det svenska energisystemet uppgår till cirka 110 TWh per år idag varav huvuddelen utgörs av restprodukter från skogssektorn. Endast en marginell mängd biobränslen kommer från jordbrukssektorn idag.

Sveriges åkerareal är indelat i åtta olika produktionsområden där varje område har liknande skördenivåer och möjlighet att odla olika slags grödor. Produktionen av biomassa skiljer väsentligt mellan de olika områdena. I Götalands södra slättbygder var t.ex. den totala biomassaskörden något större än i Svealands slättbygder under 2005 trots att åkermarksarealen är nästan dubbelt så stor i Svealands slättbygder. Biomassaskörden i Götalands södra slättbygder var nästa tre gånger högre än i Götalands och Svealands skogsbygder och ungefär fyra gånger högre än i Norrland. Dessa skillnader i produktionsförmåga kan således få stor betydelse för hur mycket bioenergi svenskt jordbruk kan komma att producera i framtiden beroende på var i landet och inom vilka produktionsområden bioenergiproduktionen huvudsakligen kommer att ske.

Förutom skillnader i skördeavkastning mellan större regionala produktionsområden finns stora lokala skillnader som t.ex. beror på skillnader i jordart. Andelen lerjord kan t.ex. variera från cirka 8 procent upp till 80 procent mellan olika län. Även inom en och samma gård kan skördeavkastningen skilja väsentligt mellan olika fält. Jämfört med genomsnittliga skördenivåer för ett större produktionsområde kan variationen på lokal nivå och på gårdsnivå ofta uppgå till minst +/- 20 procent. Om t.ex. något sämre mark än genomsnittlig åkermark kommer att utnyttjas för bioenergiproduktion får detta också stor betydelse för hur mycket bioenergi

svenskt jordbruk kan komma att producera. Tidigare uppskattningar om jordbrukets biobränslepotential baseras oftast på mycket grova antaganden där genomsnittliga skördenivåer används för delar eller landet som helhet.

Biobränslen från jordbruket kan bestå dels av restprodukter från växtodling (halm och blast), dels av odlade energigrödor (traditionella grödor och/eller nya energigrödor). Förutom att odla energigrödor på befintlig åkermark kan odling också komma att ske på nedlagd jordbruksmark som idag inte utnyttjas aktivt (för jordbruks- eller skogsproduktion). Kunskapen kring hur mycket nedlagd jordbruksmark som finns och hur stor del av denna som kan vara lämplig att utnyttja för bioenergiproduktion är dock mycket bristfällig idag. Här krävs således fördjupade analyser. En mycket grov uppskattning är att mellan 150 000–300 000 hektar kan finnas tillgänglig som delvis kan utnyttjas. Skördeavkastningen på denna nedlagda jordbruksmark bedöms vara relativt låg (vilket bl.a. varit ett skäl till nedläggning) och jämförbar med sämre åkermark alternativt genomsnittlig skogsmark inom det aktuella området. Stora lokala variationer bedöms dock förekomma.

Av den totala produktionen av växtrester (halm och blast) om cirka 30 TWh bedöms cirka 6–7 TWh halm kunna utnyttjas för energiändamål utifrån dagens produktionsförutsättningar. Mängden blast (huvudsakligen betblast) som finns tillgängligt för energiändamål, t.ex. biogasproduktion, beräknas till cirka 0,5–1 TWh per år. Förutom förluster i form av stubb, agnar, boss och spill vid bärgning av halm måste en del halm lämnas kvar av ekologiska skäl för att bibehålla åkermarkens mullhalt (framför allt på rena växtodlingsgårdar). Dessutom kan halmbärgning hindras av dålig väderlek, framför allt i mellersta och norra Sverige där bärgningsperioden på hösten är kort. En stor del halm (cirka 5 TWh per år) används dessutom inom animalieproduktionen idag. Dessa uppskattningar om tillgången på halm för energiändamål är relativt grova och kan ändras med ändrade antaganden och produktionsförutsättningar. Om t.ex. ekologiska och klimatmässiga restriktioner vid bärgning av halm minskar med cirka 30 procent till följd av effektivare bärgningsteknik och förändrad odlings-teknik innebär detta att ytterligare cirka 2 TWh halm är tillgängligt för energiändamål.

Den regionala tillgången av halm för energiändamål är framför allt koncentrerad till Götalands slättbygder där cirka två tredjedelar återfinns. I Götalands och Svealands skogsbygder samt i Norrland

beräknas inget överskott av halm finnas (bl.a. på grund av ett relativt stort behov inom djurproduktionen). Sockerbetsblast för biogasproduktion återfinns framför allt i Götalands södra slättbygder. Den regionala fördelningen av gödsel är dock den motsatta då huvuddelen återfinns i Götalands skogs- och mellanbygder (knappt 50 procent) och en betydande andel (cirka 20 procent) i Svealands skogsbygder och Norrland.

Produktionen av gödsel som tas omhand och sprids på åkermark uppskattas till cirka 11 TWh per år. Om all denna gödsel utnyttjas för biogasproduktion kan teoretiskt 4–6 TWh biogas fås, beroende på vilken rötningsteknologi som utnyttjas. En stor del av den halm som utnyttjas inom djurproduktion återfinns i denna gödsel. Produktionen av hästgödsel uppskattas till drygt 1 TWh per år för vilken förbränning kan vara ett alternativ till biogasproduktion.

Energigrödor som odlas på åkermark kan dels utgöras av traditionella livsmedels- och fodergrödor som spannmål, oljeväxter, sockerbeter och vall, dels av nya energigrödor som salix, rörflen, majs och hampa. Dessutom kan snabbväxande lövträd som poppel och hybridasp utnyttjas liksom gran som t.ex. odlas med hjälp av näringsoptimerad gödsling. Skillnaden i skördeavkastning mellan olika grödor kan vara stor liksom skördeavkastningen mellan olika produktionsområden. Dessutom skiljer grödorna sig åt vad gäller behovet av insatsenergi. Generellt sett kräver ettåriga grödor en högre energiinsats per skördad mängd biomassa än fleråriga grödor.

Energikvoten, eller energiinsatsen dividerat med energiskörden, är lägst för ogödslad gran, poppel och hybridasp där energiinsatsen motsvarar är cirka 2–4 procent av energiskörden. Därefter kommer salix och näringsoptimerad gödslad gran med en energiinsats motsvarande cirka 5–6 procent av energiskörden. Fleråriga energigrödor som rörflen och vall har en energikvot kring 8–10 procent. Energiinsatsen för ettåriga grödor varierar från motsvarande drygt 10 procent upp till cirka 17 procent av energiskörden. Energikvoten ökar normalt med minskad skörd, dvs. i mer lågproduktiva produktionsområden krävs oftast en högre energiinsats per skördad mängd biomassa av en gröda jämfört med i mer högproduktiva produktionsområden. Stora lokala skillnader i energikvot för en och samma gröda kan dock förekomma då såväl energiskörd som energiinsats varierar mellan olika gårdar, fält och odlingsår.

I Götalands södra slättbygder uppskattas sockerbeter, salix, helsäd och majs ge högst nettoenergiskörd (bruttoskörd minus

energiinsats) per hektar och år. Därefter följer poppel, hybridasp och vall. Hampa och rörflen uppskattas ge något lägre hektarskördar då dessa antas skördas på vårvintern för att ge högre torrsubstanshalt och bättre förbränningsegenskaper. Vårskörd innebär dock också relativt stora biomasseförluster under vintern. Lägst nettoskörd per hektar har höstraps när enbart frö skördas. I Götalands mellanbygder är skillnaderna mellan grödorna liknande men med skillnaden att skördenivån för majs och hampa uppskattas vara relativt sett något högre och för salix något lägre. Detta beror bl.a. på lägre nederbörd i sydöstra Svergie.

I Götalands norra slättbygder bedöms salix ge högst nettoenergiskörd, följt av poppel och majs. Därefter kommer hybridasp, helsäd, vall, gödslad gran (näringsoptimerad gödsling) och hampa. I Svealands slättbygder bedöms skillnaderna mellan grödorna vara liknande. Däremot antas att praktisk odling av poppel och majs inte är aktuellt inom detta produktionsområde idag på grund av att dagens växtmaterial inte är anpassat till klimatet i mellersta och norra Sverige. I Götalands skogsbygder bedöms salix, hybridasp, näringsoptimerad gödslad gran och hampa ge högst nettoenergiskörd per hektar och år, följt av rörflen och vall. Dessa skillnader gäller också för Mellersta Sveriges skogsbygder. I Norrland bedöms hampa och rörflen ge högst nettoenergiskörd per hektar och år. Längs södra Norrlandskusten antas också hybridasp kunna odlas vilket bedöms ge en jämförbar skörd. Därefter kommer vall och gödslad granskog. En anledning till att skördenivån för vårskördad hampa och rörflen är relativt sett högre i norra Sverige än i södra är att förlusterna under vinterhalvåret är lägre i norra Sverige än i södra tack vare ett kallare vinterklimat.

När det gäller bedömningarna över möjliga skördeavkastningar för olika grödor är dessa betydligt mer osäkra för nya energigrödor än för befintliga grödor. Uppskattade skördenivåer för spannmål, oljeväxter, sockerbetor osv. bygger på befintlig och omfattande statistik som saknas för nya energigrödor. I vissa fall baseras skördeuppskattningarna för nya energigrödor enbart på ett fåtal fältförsök. För att få mer tillförlitliga och säkra uppskattningar krävs därför betydligt mer fältförsök och mätningar i praktiska odlingar. Beaktat dessa osäkerheter har den potentiella genomsnittliga bruttoproduktionen av bioenergi per hektar och år uppskattats för respektive produktionsområde när energiodlingarna består av 1) en mix av mer hög- och lågavkastande grödor, 2) framför allt av mer lågavkastande grödor (t.ex. oljeväxter och

spannmål exklusive halm), respektive 3) av mer högavkastande grödor (se ovan). Denna grova uppskattning ger följande resultat där avkastningsintervallet inom parantes avser fall 2 och 3 (MWh brutto per hektar och år): Götalands södra slättbygder, 43 (35–50), Götalands mellanbygder, 35 (28–40), Götalands norra slättbygder, 33 (23–38), Svealands slättbygder, 30 (20–35), Götalands skogsbygder, 25 (18–28), Mellersta Sveriges skogsbygder, 22 (15–25), Nedre Norrland, 20 (12–22), respektive Övre Norrland, 18 (10–22). Dessa uppskattningar avser dagens produktionsförutsättningar.

Med växtförädling och förbättrad odlingsteknik bedöms skördeökningar om cirka 2 procent per år vara möjliga under de närmsta 10–15 åren för energispannmål, energibetor samt övriga energigrödor som salix, röfken, hampa, majs, poppel, hybridasp osv. För traditionella grödor som utnyttjas som livsmedel eller foder bedöms skördeökningar om cirka 1 procent kunna fås de närmsta åren. En anledning till att energigrödor bedöms ha större förädlingspotential än livsmedels- och fodergrödor är att antalet parametrar att förädla mot är avsevärt färre för energigrödor (framför allt maximal skörd och resitens mot sjukdomar och klimat). Med genteknik kan skördeökningarna bli ännu högre i framtiden.

Ett räkneexempel av hur mycket bioenergi som skulle kunna produceras på åkermark som ligger i träda idag visar att denna biobränsleproduktion kan variera mellan cirka 5 TWh upp till drygt 10 TWh per år. Inga ekonomiska övervägande inkluderas här. Om enbart obligatorisk träda utnyttjas (5 procent av åkermarken) kan teoretiskt cirka 5 TWh produceras per år om genomsnittlig åkermark och en genomsnittlig mix av energigrödor utnyttjas. Omkring 70 procent av bioenergin produceras då i Götaland. Om både obligatorisk och frivillig träda utnyttjas (totalt 12 procent av åkermarken) kan produktionen öka till cirka 9 TWh. I detta fall produceras cirka 50 procent av bioenergin i Götaland medan produktionen i Norrland är marginell. Om träda antas förläggas på något sämre åkermark kan produktionen reduceras till drygt 7 TWh och om dessutom framför allt mer lågavkastande grödor odlas (spannmålskärna och oljefrö) sjunker produktionen ytterligare till drygt 5 TWh per år. Om däremot mer högavkastande energigrödor utnyttjas och träda antas utgöras av genomsnittlig åkermark kan teoretiskt drygt 10 TWh bioenergi produceras.

Ett andra räkneexempel visar att om vi använder den åkerareal som idag utnyttjas för odling av spannmål för export, cirka 6 procent av åkermarken, skulle teoretiskt mellan 5 TWh och 7,5 TWh

bioenergi kunna produceras. Den lägre nivån avser mer lågavkastande grödor och den högre nivån mer högavkastande grödor. Denna relativt sett höga produktionen av bioenergi beror framför allt på att högavkastande åkermark i Götalands och Svealands slättbygder antas utnyttjas. Cirka 80 procent av bioenergin produceras i Götaland. Ett tredje räkneexempel bygger på att vi idag har överskott på vallodling som inte behövs för att tillgodose grovfoderbehovet i svensk djurproduktion. På denna vallareal om cirka 9 procent av åkermarken skulle teoretiskt mellan 5 TWh och 8 TWh bioenergi skulle kunna produceras, beroende på val av energigrödor. Den regionala fördelningen av denna produktion skiljer sig väsentligt åt jämfört med exemplet ovan (spannmål för export) då cirka 15 procent bioenergi kan komma att produceras i Norrland, 25 procent i Svealand och 60 procent i Götaland.

Ett fjärde räkneexempel beaktar konsekvenserna av framtida skördeökningar tack vare växtförädlig och förbättrad odlings-teknik. Om 20 procent åkermark utnyttjas för energiodling (mix av energigrödor) kan teoretiskt cirka 16 TWh bioenergi produceras idag om genomsnittlig åkermark utnyttjas som fördelar sig jämnt över produktionsområdena. Med förbättrade produktionsförutsättningar antas produktionen kunna öka till ungefär 20 TWh till år 2020. Högre skördeavkastning för livsmedels- och fodergrödor innebär samtidigt att mer åkermark teoretiskt kan frigöras för energiproduktion, förutsatt att behoven av livsmedels- och fodergrödor är konstant. Denna ökning uppskattas till 9 procent av dagens åkerareal och på totalt 29 procent åkermark bedöms knappt 30 TWh bioenergi kunna produceras år 2020. Detta exempel förutsätter konventionell växtodling men om en allt större andel åkermark utnyttjas för ekologisk odling i framtiden kan behovet av mark för livsmedelsproduktion öka. Detta beror på att skördenivåerna normalt är lägre i ekologisk odling än i konventionell. Hur stor andel av åkermarken som kommer att utnyttjas för ekologisk odling har således också stor betydelse för hur mycket åkermark som potentiellt kan finnas tillgängligt för energiproduktion i framtiden.

Det femte och sista exemplet beskriver hur mycket bioenergi som teoretiskt kan produceras på nedlagd jordbruksmark beroende på hur stora areal som finns tillgänglig respektive dess produktivitet. Eftersom det finns en stor osäkerhet kring båda dessa två parametrar antas här bioenergiproduktionen på nedlagd jordbruksmark kunna variera mellan cirka 1,5 och 7,5 TWh per år. Den lägre

produktionen avser odling på 100 000 hektar mark med låg produktionsförmåga medan den högre avser odling på 300 000 hektar mark med relativt hög produktionsförmåga. För att kunna göra säkrare bedömningar krävs bättre kunskap både vad gäller tillgången på nedlagd jordbruksmark och dess produktionsförmåga.

Vilka miljökonsekvenser en ökad produktion av bioenergi inom jordbruket medför beror framför allt av två faktorer, dels vilka energigrödor och odlingssystem som väljs, dels vilken alternativ markanvändning dessa odlingssystem ersätter. Generellt sett innebär odling av fleråriga energigrödor i stället för ettåriga miljövinster i form av minskat näringsläckage, minskad energiinsats vid odling och därmed minskade luftemissioner, något ökad biodiversitet m.m. Om däremot energigrödor t.ex. ersätter extensiv vall eller grön träda kan den lokala miljöbelastningen öka något. Detta innebär dock samtidigt att en annan energikälla måste användas och om denna utgörs av fossila bränslen fås negativa miljöeffekter, framför allt utsläpp av växthusgaser. Om nedlagd jordbruksmark börjar utnyttjas för energiodling kan negativa effekter fås på den biologiska mångfalden om marker med höga naturvärden, t.ex. gamla hag- och betesmarker, tas i bruk. När restprodukter som gödsel och betblast utnyttjas för energiändamål (dvs. biogasproduktion) kan betydande indirekta miljövinster fås i form av minskade utsläpp av växthusgasen metan vid gödsellagring respektive minskat kväveläckage. För att få säkrare miljökonsekvensbedömningar av ökad bioenergiproduktion inom jordbruket krävs dock betydligt mer detaljerade analyser som baseras på de aktuella lokala förutsättningarna samt bättre generell kunskap kring olika energiodlingars miljöeffekter.

Syftet med denna rapport har varit att beskriva produktionsförutsättningarna för biobränslen inom svenskt jordbruk och hur dessa varierar utifrån olika faktorer. Slutsatsen är att jordbrukets produktionspotential kan variera väsentligt beroende på vilka energigrödor och odlingssystem som väljs, vilken typ av åkermark som utnyttjas och var i landet odlingen sker. Hur stor den faktiska biobränsleproduktionen blir i framtiden styrs framför allt av ekonomiska överväganden vilka inte inkluderats här. 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. 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 produktionssystem, för jordbrukets potential att producera bioenergi.

13 Referenser

- Agrobränsle (2006). www.agrabransle.se
- Alriksson B. (1997) Influence of site factors on Salix growth with emphasis on nitrogen response under different soil conditions. Doctoral thesis, Silvestria 46, Swedish university of agricultural sciences, Uppsala, Sweden.
- Andersson B. (2006). Svalöv-Weibul AB, Svalöv. Personlig kommunikation.
- Andersson M, Bergh J, Börjesson P, Dahlin B. & Sallnäs O. (2001). Biobränsleproduktion genom näringsoptimerat skogsbruk. Rapport ER 7:2001, Statens Energimyndighet, Eskilstuna
- Andersson R. (1990). Biobränslen från jordbruket – en analys av miljökonsekvenserna. Rapport 3713, Statens Naturvårdsverk, Stockholm.
- Areskoug G. (2006). Hushållningssällskapet, Kristianstad. Personlig kommunikation.
- Aronsson P (2000). Nitrogen retention in vegetation filters of short-rotation willow coppice. Doctoral thesis, Silvestria 161, Swedish university of agricultural sciences, Uppsala, Sweden.
- Bouwman A.F. (1990). Soils and the greenhouse effect. John Wiley and Sons., Chichester, England.
- Bergh J. (1999). Potentialen för gran I Sverige – en outnyttjad resurs. Fakta Skog nr 2, SLU, Uppsala.
- Berglund M. & Börjesson P. (2003). Energianalys av biogassystem. Rapport nr 44, Miljö- och energisystem, Lunds Tekniska Högskola, Lund.
- Berglund M. & Börjesson P. (2006). Assessment of Energy Performance in the Life-cycle of Biogas Production. Biomass and Bioenergy Vol. 30, pp. 254–266.
- Bergström L. & Johansson R. (1992). Influence of fertilized short-rotation forest plantations on nitrogen concentrations in groundwater. Soil Use and Management, Vol. 8, pp. 36–40.
- Berndes G., Fredriksson, F. & Börjesson P. (2004). Energy crop production as a tool for phytoextraction in agriculture. Agriculture, Ecosystems and Environment Vol. 103, pp. 207–223.

- 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.
- 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. (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.
- Börjesson P. & Berndes G. (2006). The Prospects for Willow Plantations for Wastewater Treatment in Sweden. *Biomass and Bioenergy* Vol. 30, pp. 428-438.
- Börjesson P. and Berglund M. (2006). Environmental Analysis of Biogas Systems – Part I: Fuel Cycle Emissions. *Biomass and Bioenergy* Vol. 30, pp. 469-485.
- Börjesson P. and Berglund M. (2006). Environmental Analysis of Biogas Systems – Part I: Fuel Cycle Emissions. *Biomass and Bioenergy* Vol. 30, pp. 469-485.
- Börjesson P. and Berglund M. (2007). Environmental Analysis of Biogas Systems – Part II: Environmental effects when replacing various reference systems. Accepterad för publicering i *Biomass and Bioenergy*.
- Börjesson P. (2006a). Energibalans för bioetanol – en kunskapsöversikt. Rapport nr 59, Miljö- och energisystem, Lunds Tekniska Högskola, Lund.
- Börjesson P. (2006b). Livscykelanalys av Salixproduktion. Rapport nr 60, Miljö- och energisystem, Lunds Tekniska Högskola, Lund.
- Börjesson P. (2006c). Energianalyser av produktion av vete, poppel och gran på åkermark i södra Sverige. I ”Poppel – sammanfattning från ett seminarium vid Inst. för Lövträdsodling den 15 mars 2005”, Christersson L. och Verwijst T. (eds), SLU, Uppsala.
- 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., Berndes G., Fredriksson F. & Kåberger T. (2002). Multifunktionella bioenergiödlingar. Rapport nr 37, Miljö- och energisystem, Lunds Tekniska Högskola, Lund.
- Börjesson P. (1999a). Environmental Effects of Energy Crop Cultivation in Sweden – Part I: Identification and Quantification. *Biomass and Bioenergy*, Vol 16, pp. 137–154.
- Börjesson P. (1999b). Environmental Effects of Energy Crop Cultivation in Sweden – Part II: Economic Valuation. *Biomass and Bioenergy* Vol.16, pp. 155–170.
- Börjesson P. (1997). Miljöeffekter vid odling av energigrödor – identifiering, kvantifiering och ekonomisk värdering. Rapport 1997/4, Vattenfall Utveckling AB, Stockholm.
- Börjesson P. (1996). Energy analysis of biomass production and transportation. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 11, pp. 305–318.
- Börjesson P. (1994). Energianalyser av biobränsleproduktion i svenskt jord- och skogsbruk. Rapport nr 17, Miljö- och energisystem, Lunds Tekniska Högskola, Lund.
- Christensson K. & Linné M. (2000). Production of biogas for an improved nitrogen economy and retention. A co-operation between Skåne Energy Agency & the VEGOMIL project. Energikontoret Skåne, Lund.
- Christersson L. (2006). Domesticering av träd. I ”Poppel – sammanfattning från ett seminarium vid Inst. för Lövträdsodling den 15 mars 2005”, Christersson L. och Verwijst T. (eds), SLU, Uppsala.
- Dimitriou I. (2005). Performance and sustainability of short-rotation energy crops treated with municipal and industrial residues. Doktorsavhandling, *Acta Universitatis agriculturae Sueciae* 2005:44, Inst. för Lövträdsodling, SLU, Uppsala.
- Edström M., Pettersson O., Nilsson L. & Hörndahl T. (2005). Jordbrukssektorns energianvändning. JTI-rapport 342, Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.
- Elowson S. (1999). Willow as a vegetation filter for cleaning of polluted drainage water from agricultural land. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 16, pp. 281–290.
- 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.
- Eriksson J. & Ledin S. (1995). Effekter av långvarig salixodling på kadmiuminnehållet i jorden – en pilotstudie. Rapport 1995/6, Vattenfall Utveckling AB, Stockholm.

- Frank K. (1992). Energiskogens miljökonsekvenser – aspekter på odling, slamgödsling och förbränning. Rapport 159, Inst. för Lantbruksteknik, SLU, Uppsala.
- Fridman J. (2006). Riksskogstaxeringen, SLU, Umeå. Personlig kommunikation.
- Geber U. & Tuvevesson M. (1993). Vallväxters egenskaper som producenter av energi- och fiberråvara och som biologisk renare av näringsrika vatten. Växtodling nr 43, Inst. för Växtodlingslära, SLU, Uppsala.
- Gustavsson L. (1987). Plant conservation aspects of energy forestry – A new type of land use in Sweden. *Forestry Ecology and Management*, Vol. 21, pp. 141–161.
- Hasselgren K. (1995). Kadmiumhalt i salixodling efter behandling med kommunala restprodukter. Rapport 1995/1, Vattenfall Utveckling AB, Stockholm.
- Hasselgren K. (2003). Use and treatment of municipal waste products in willow biomass plantations. Licentiate thesis, Report No 3242, Dept of Water Resources Engineering, Lund University, Lund.
- Henriksson A. & Stridsberg S. (1992). Möjligheter att använda halmeldning till energiförsörjningen i södra Sverige. Inst. för lantbruksteknik, SLU & Biosyd, Borgeby.
- Henriksson T. (2006). Svalöf-Weibul AB, Svalöv. Personlig kommunikation.
- Herland E. (2005). LRFs energiscenario till år 2020. LRF, Stockholm.
- Hoffmann R. & Uhlin H-E. (1997). Resursflöden i jordbruket i energi-, fysiska och monetära termer. Småskriftsserien 111, Inst. för ekonomi, SLU, Uppsala.
- Johansson U. (2006a). Gödslingsbevättning av poppel. I ”Poppel – sammanfattning från ett seminarium vid Inst. för Lövträdsodling den 15 mars 2005”, Christersson L. och Verwijst T. (eds), SLU, Uppsala.
- Johansson T. (2006b). Asp, hybridasp och poppel som skogsträd i Sverige. I ”Poppel – sammanfattning från ett seminarium vid Inst. för Lövträdsodling den 15 mars 2005”, Christersson L. och Verwijst T. (eds), SLU, Uppsala.
- Johnsson B. (2006a). Svalöf-Weibul AB, Svalöv. Personlig kommunikation.
- Johnsson B. (2006b). Jordbruksverket, Jönköping. Personlig kommunikation.

- Johnsson L. (1995). Tungmetaller i träd och energigrödor – en litteraturstudie. Rapport 1995/5, Vattenfall Utveckling AB, Stockholm.
- Jordbruksverket (2005). Riktlinjer för gödsling och kalkning 2006. Rapport 2005:21, Jönköping.
- Jordbruksverket och SCB (2005). Normskördar för skördeområden, län och riket 2005. Statistiska Meddelanden JO 12 SM 0501, Statistiska centralbyrån, Örebro.
- Jordbruksverket och SCB (2006). Jordbruksstatistisk årsbok 2006. Statistiska centralbyrån, Örebro.
- Jordbruksverket (2006). Bioenergi – ny energi för jordbruket. Rapport 2006:1, Jönköping.
- Landström S. & Wik M. (1997). Rörflen – odling, skörd och hantering. Fakta Mark/Växter nr 1. SLU, Uppsala.
- Lantz M. (2004). Gårdsbaserad produktion av biogas för kraftvärme – ekonomi och teknik. Examensarbete, Inst. för teknik och samhälle, Lunds universitet, Lund.
- Larsson S., Örberg H., Kalén G., Thyrel M. (2006). Rörflen som energigröda. BTK-rapport 2006:11, Enheten för Biomassateknologi och Kemi, SLU, Umeå.
- Linder S. & Bergh J. (1996). Näringsoptimering – granen växer ur produktionstabellerna. Fakta Skog nr 4, SLU, Uppsala.
- Lindroth A. & Båth A. (1999). Assessment of regional willow coppice yield in Sweden on basis of water availability. *Forest Ecology and Management*, Vol. 121, pp 57–65.
- Löde J. (2006). Svalöf-Weibull AB, Svalöv. Personlig kommunikation.
- Maiskomitee (2006). www.maiskomitee.de
- Melin G. (2006). Agrobränsle, Svalöv. Personlig kommunikation.
- Naturvårdsverket (1997). Det framtida jordbruket 2021. Rapport 4755, Stockholm.
- Odling i Balans (2006). www.odlingibalans.com
- Oljekommissionen (2006). På väg mot ett oljefritt Sverige. Kommissionen mot oljeberoende. Stockholm.
- Perttu K. (1993). Biomass production and nutrient removal from municipal wastes using willow vegetation filters. *Journal of Sustainable Forestry*, Vol. 1, pp. 57–70.
- Rosenqvist H. (2006). Billeberga. Personlig kommunikation.
- Rytter L. (2006a). Hybridasp eller hybridpoppel. I ”Poppel – sammanfattning från ett seminarium vid Inst. för Lövträdsodling

- den 15 mars 2005”, Christersson L. och Verwijst T. (eds), SLU, Uppsala.
- Rytter L. (2006b). Skogforsk, Ekebo Svalöv. Personlig kommunikation.
- SCB (2006). Skogsstatistisk årsbok 2006. Örebro.
- SCB (2004). Gödselmedel i jordbruket 2002/03. Statistiska Meddelanden MI 30 SM 0403. Örebro.
- Sjödahl Svensson K., Granhall U. & Andrén O. (1994). Soil biological aspects on short-rotation forestry. Report 1994:53, NUTEK, Stockholm.
- SOU (1992). Biobränslen för framtiden – Slutbetänkande av Biobränslekommissionen. Statens Offentliga Utredningar 1992:90, Allmänna Förlaget, Stockholm.
- Stjernquist I. (1994). An integrated environmental analysis of short rotation forests as a biomass resource. Biomass and Bioenergy, Vol. 6, pp. 3–10.
- Ström P. (2006). Projekt Växtkraft, Västerås. Personlig kommunikation
- Sundberg M. & Westin H. (2005). Hampa som bränsleråvara – förstudie. JTI-rapport 341, Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.
- Svennerstedt B. & Svensson G. (2004). Industrihampa – odling, skörd, beredning och marknad. Fakta Jordbruk nr 7, SLU, Uppsala.
- Taraghi M. (2006). Jordbruksverket, Jönköping. Personlig kommunikation.
- Thyselius L., Johansson W., Mattsson L. & Wallgren B. (1992). Energigrödor för biogas. Rapport 1992/51, Vattenfall Utveckling AB, Stockholm.
- Tuvesson S. (2006). Syngenta (Hilleshög), Landskrona. Personlig kommunikation.
- Törner L. (2006). Odling i Balans, Vallåkra. Personlig kommunikation.
- Törner L. (1988). Tillväxt och energiutbyte vid odling av olika energigrödor på jordbruksmark. Rapport EO-88/9, Statens Energiverk, Stockholm.
- Weih M. (2006). När och om poppel ska gödglas. I ”Poppel – sammanfattning från ett seminarium vid Inst. för Lövträdsodling den 15 mars 2005”, Christersson L. och Verwijst T. (eds), SLU, Uppsala.

- Verwijst T. (2006). Storskalig introduktion och utveckling av poppelplantager i Sverige. I ”Poppel – sammanfattning från ett seminarium vid Inst. för Lövträdsodling den 15 mars 2005”, Christersson L. och Verwijst T. (eds), SLU, Uppsala.
- Wremerth Weich E. (2006). Syngenta (Hilleshög), Landskrona. Personlig kommunikation.
- Åbyhammar T., Fahlin M. & Holmroos S. (1993). Kadmium i biobränslesystemet. Rapport 1993/13, Vattenfall Utveckling AB, Stockholm.
- Östman G. (1994). Kadmium i salix. Rapport 1994/5, Vattenfall Utveckling AB, Stockholm.

Förädling och avsättning av jordbruksbaserade biobränslen

*Pål Börjesson
Institutionen för teknik och samhälle,
Lunds tekniska högskola*

Förord

Denna studie har genomförts inom Statens Offentliga Utredningar: Jordbruket som bioenergiproducent (Jo 2005:05).

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

Innehåll

1	Inledning.....	133
2	Syfte.....	135
3	Metod	137
4	Förädling av jordbruksbaserade bibränslen	139
4.1	Värmeproduktion.....	141
4.2	Kraftvärmeproduktion.....	143
4.3	Drivmedelsproduktion	145
5	Åkermarkseffektivitet för olika produktsystem.....	153
5.1	Värmeproduktion.....	155
5.2	Kraftvärmeproduktion.....	160
5.3	Drivmedelsproduktion	165
6	Energikombinat.....	171
6.1	Etanol och biogas från spannmål	171
6.2	Etanol, el och värme från lignocellulosa.....	173
6.3	FT-diesel, el och värme från lignocellulosa	175
6.4	Metanol/DME, el och värme från lignocellulosa.....	176
6.5	Pellets, el och värme från lignocellulosa.....	178
6.6	Utnyttjande av värmeöverskott i befintliga kraftvärmeverk	179

7	Regionala förutsättningar för förädling och avsättning...	183
7.1	Värmeproduktion	183
7.2	Kraftvärmeproduktion	189
7.3	Drivmedelsproduktion.....	193
7.3.1	Etanolproduktion från spannmål	193
7.3.2	RME-produktion från raps.....	199
7.3.3	Sammanfattande slutsatser kring RME- och etanolproduktion	203
7.3.4	Drivmedel från lignocellulosa	205
7.4	Energikombinat	207
7.4.1	Etanol och biogas från spannmål	207
7.4.2	Drivmedel, pellets, el och värme från lignocellulosa	210
7.4.3	Utnyttjande av värmeöverskott i befintliga kraftvärmeverk	212
7.5	Produktion och avsättning av biobränslen - regionala balanser	214
8	Miljökonsekvenser	223
8.1	Metodik vid miljökonsekvensbedömningar	223
8.2	Exempel på resultat från miljösystemstudier	225
9	Osäkerheter kring beräkningsmetodik	239
9.1	Faktorer som påverkar energiutbyte – exempel bioetanol	240
9.2	Alternativ till energianalys – exergi- och emergianalys.....	243
10	Förutsättningar för förädling och avsättning på nationell nivå – några räkneexempel	247
11	Slutsatser och diskussion	261
12	Referenser	275

1 Inledning

Det finns en rad olika möjligheter att producera bioenergi inom jordbruket. Biobränslen kan dels utgöras av restprodukter från växtodling som halm, blast m.m., dels från djurproduktion som gödsel. Dessutom kan olika energigrödor odlas, dels traditionella grödor som t.ex. spannmål, oljevaxter och sockerbeter, dels nya energigrödor som t.ex. salix, rörfen, 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 bi-bränslen 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 odlingsystem och grödor beror i sin tur till stor del av politiska beslut, t.ex. utformningen av stödssystem 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

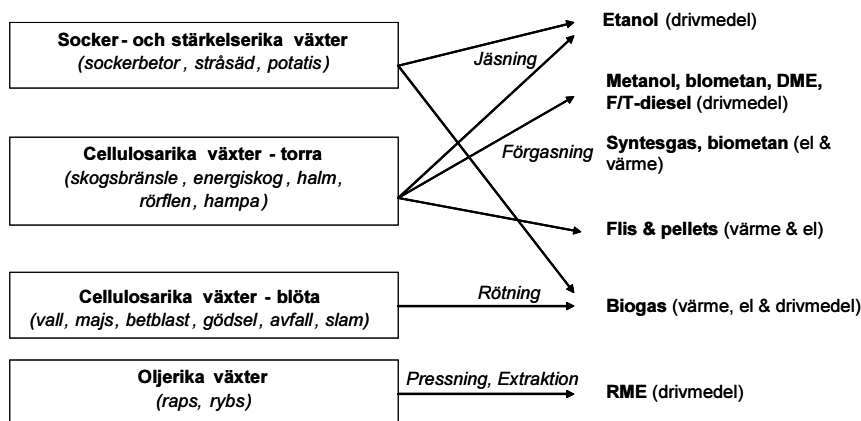
Datainsamling baseras framför allt på litteraturstudier och sammanställning av offentlig statistik, forskningsrapporter, branschsammanställningar, tidigare utredningar m.m. Dessutom utnyttjas kompletterande intervjuer med nyckelaktörer när litteraturdata saknas. Stor vikt har lagts vid att analyserna 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, dvs. 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), dvs. 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 bibränslen

Jordbrukets bibränslen i form av restprodukter som halm, blast och gödsel samt odlade energigrödor som spannmål, oljeväxter, sockerbeter, 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 bibränslen 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 rörflen 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 förbrännings- tester gjorda och därmed begränsad kunskap om hampanns bränse- egenskaper (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 på grund av begränsningsskäl. Utveckling av etanolproduk- tion 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 etanol- produktion då denna har betydligt högre halt av cellulosa (cirka 60 procent) jämfört med ved (cirka 40 procent) 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 m.m. för de olika produkt- systemen. 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.

Figur 4.2 Beskrivning av analyserade produktsystem

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.

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 procent. 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 procent medan storskalig eldning sker genom flödesmatade system med en pannverkningsgrad om 85 procent (Börjesson och Berglund, 2003). Storskalig förbränning av

rörflen och hampa antas också ske genom flödesmatade system med motsvarande verkningsgrad som för halm, dvs. 85 procent. Storskalig förbränning av trädbränslen som salix, poppel, hybridasp och gran bedöms kunna ske något mer energieffektivt jämfört med stråbränslen, med en genomsnittlig pannverkningsgrad om 90 procent (Börjesson och Berglund, 2003).

Ett alternativ till att förbränna strå- och träbränslen i oförädlad form (dvs. 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 pelletspannor. Samtidigt krävs en ytterligare energiinsats vid sönderdelning (malning) och pelletering. En uppskattning är att denna energiinsats uppgår till motsvarande cirka 15–20 procent av träbränslets energiinnehåll (Gustavsson och Karlsson, 2002). Energiinsatsen vid pelletering av t.ex. halm eller vinterskördad rörflen och hampa antas bli något lägre eftersom dessa inte behöver torkas lika mycket som färsk vedbiomassa (som innehåller cirka 50 procent 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 procent i små gaspannor respektive 95 procent i stora pannor (Börjesson och Berglund, 2003). Utbytet av biogas från vall, majs och betblast beräknas i genomsnitt uppgå till drygt 60 procent 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 procent 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 procent av biogasens energiinnehåll, fördelat på uppvärmning av biogasreaktor, 10 procent, elförbrukning för omrörning, pumpning, sönderdelning mm, 4 procent, samt transport (20 km) och spridning av rötrest, 6 procent. 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 energinsatsen i form av el. Värmebehovet antas tillgodoseas 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 procent av biogasens energiinnehåll, fördelat på uppvärmning av rötreaktor, 27 procent, elförbrukning, 3 procent samt spridning av rötrest, 3 procent (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 procent högre jämfört med när t.ex. vall, majs och betblast rötas, framför allt på grund av 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 procent av biogasens energiinnehåll vid storskalig rötning av gödsel respektive cirka 45 procent 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. Dess-

utom 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 träbränsle 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 procent varav 40 procent utgörs av el och 45 procent 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, t.ex. 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 procent).

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 procent varav 30–35 procent utgörs av el och cirka 50 procent 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 mikro-turbiner kunna bli konkurrenskraftiga i framtiden. I denna studie antas dock småskalig kraftvärmeproduktion från biogas utnyttja dieselmotorer (där cirka 5–10 procent diesel utnyttjas i förhållande till biogas) med en totalverkningsgrad om cirka 80 procent varav 30 procent utgörs av el och 50 procent 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 t.ex. 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 produkt-systemen 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 sojamjöl som proteinfoder. Energiåtgången för denna sojamjölsproduktion, 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 produktens vikt eller energiinnehåll. När fokus ligger på energiproduktion, t.ex. biodrivmedelsproduktion, bedöms allokering utifrån energiinnehåll vara mest relevant. Om det finns stora skillnader i eko-

nomiskt 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 (dvs. 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, dvs. 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 procent 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 omvandlings-effektivitet 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 figurena 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 m.m. Hänsyn har tagits till att biprodukten drank produceras genom att energiinsatsen vid produktion av vete reduceras med 33 procent. 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 procent. 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 procent 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 hydrolyssteg. I detta steg skiljs lignin från cellulosa och hemicellulosa som omvandlas till socker. Därefter sker traditionell

jäsning 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 procent, uttryckt i energitermer (Blinge m.fl. 1997; Goldschmidt, 2005). Uttryckt i vikt motsvarar detta ett utbyte om cirka 20 procent. 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 procent upp till 43 procent (L-B-Systemtechnik, 2002; Goldschmidt, 2005; Concawe m.fl., 2006). Ett steg på vägen mot enzymatisk hydrolys är en tvåstegs svagsyraprocess där t.ex. svavelsyra och svaveldioxid utnyttjas. Denna process är mycket lik tvåstegsprocessen för enzymatisk hydrolys och det andra stegets svagsyra-reaktor 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 procent och ett optimistiskt utbyte cirka 40 procent.

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 (på grund av 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 på grund av 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, dvs. 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 procent men att totalverkningsgraden är 45–50 procent 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 procent 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 procent upp till drygt 60 procent 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 procent (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 procent upp till 70 procent (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 litteraturdata

Biomassaråvara	Drivmedel	Drivmedelsutbyte		Energiinsats vid omvandling och förädling (procent av drivmedlets energiinnehåll)	
		(drivmedlets energiinnehåll dividerat med biomassans ursprungliga energiinnehåll, uttryckt som procent)		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 litteraturdata, 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 procent.

⁴ Energiinsats i form av värme inkluderar torkning av biprodukt som motsvarar cirka 40 procent 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 biobränslen 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.

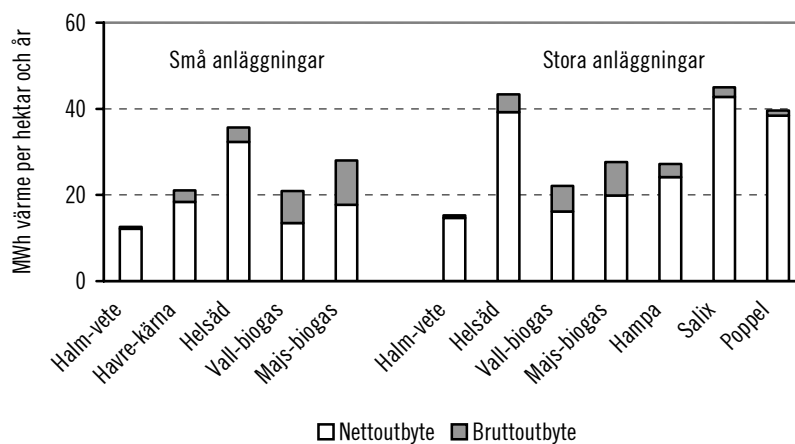
5.1 Värmeproduktion

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.

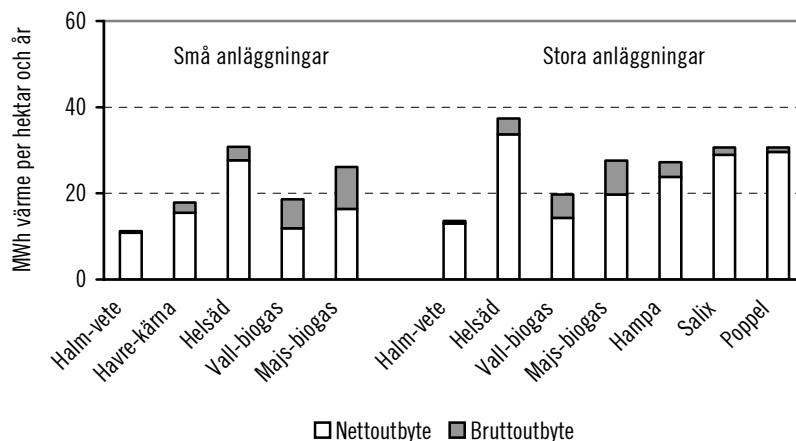
En sammanfattning av resultaten som presenteras i Figur 5.2–5.9 är att salix, poppel och helsäd ger högst nettoutbyte vid storskalig värmeproduktion per hektar och år i Götalands södra slättbygder (kring 40 MWh värme). Värmeproduktion via rötning av vall och majs till biogas ger ungefär hälften så stort nettoutbyte av värme, dvs. 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 rörfen. I mellersta Sveriges skogsbygder bedöms värmeproduktionen från hybridasp, gran (gödslad), hampa och rörfen 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 rörfen ge högst nettoutbyte följt av näringsoptimerad gödslad gran. Utbytet av värme från helsäd och vall via biogas uppskattas vara ungefär hälften så högt.

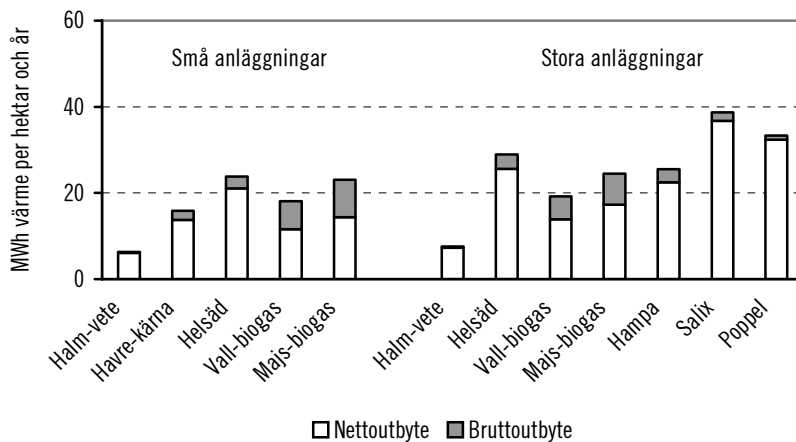
Figur 5.2 Uppskattning av genomsnittlig brutto- respektive nettoutbyte av värme per hektar och år för olika omvandlingstekniker och energi-grödor vid odling i Götalands södra slättbygder på genomsnittlig åkermark. Hampa avser vårskörd och poppel helträdsskörd (exkl. stubbar).



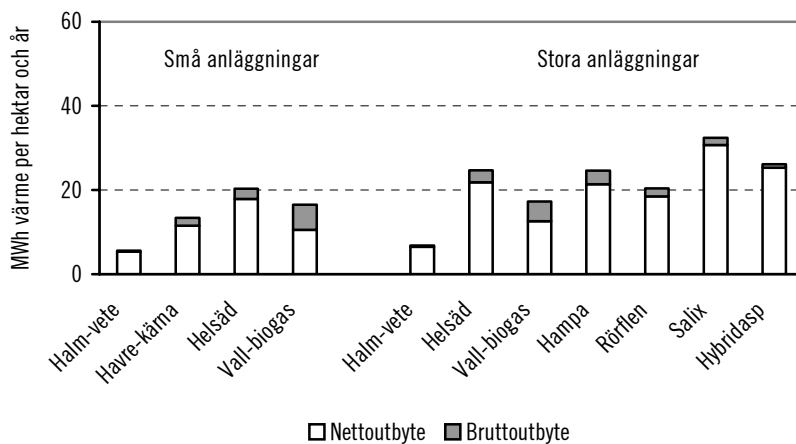
Figur 5.3 Uppskattning av genomsnittlig brutto- respektive nettoutbyte av värme per hektar och år för olika omvandlingstekniker och energi-grödor vid odling i Götalands mellanbygder på genomsnittlig åkermark. Hampa avser vårskörd och poppel helträdsskörd (exkl. stubbar).



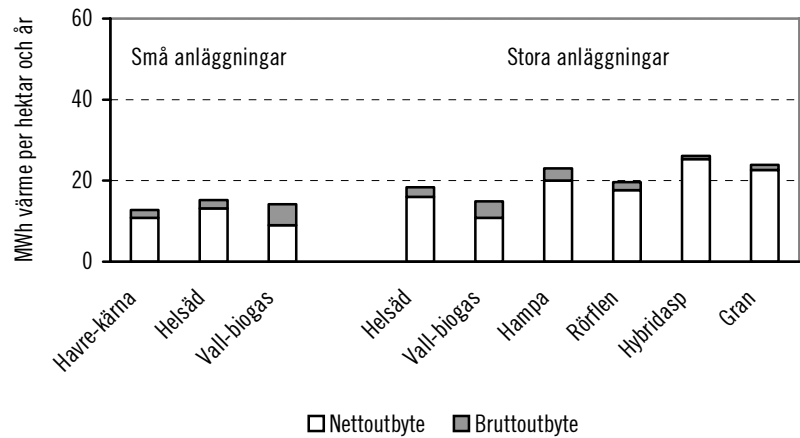
Figur 5.4 Uppskattning av genomsnittlig brutto- respektive nettoutbyte av värme per hektar och år för olika omvandlingstekniker och energi-grödor vid odling i Götalands norra slättbygder på genomsnittlig åkermark. Hampa avser vårskörd och poppel helträds-skörd (exkl. stubbar).



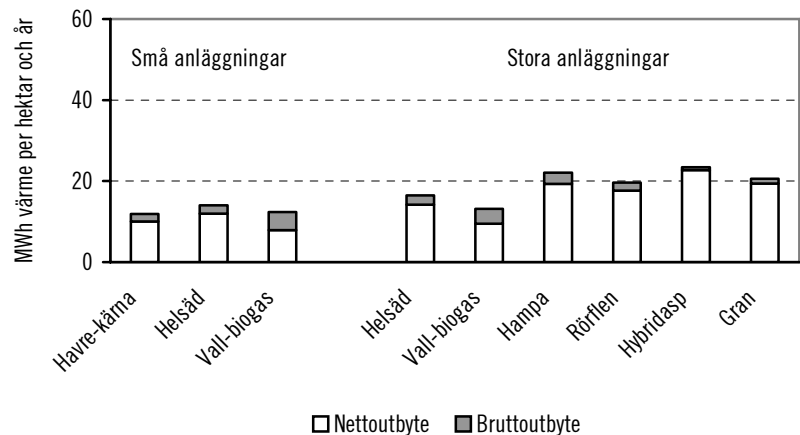
Figur 5.5 Uppskattning av genomsnittlig brutto- respektive nettoutbyte av värme per hektar och år för olika omvandlingstekniker och energi-grödor vid odling i Svealands slättbygder på genomsnittlig åkermark. Hampa och rörfilen avser vårskörd och hybridasp helträds-skörd (exkl. stubbar).



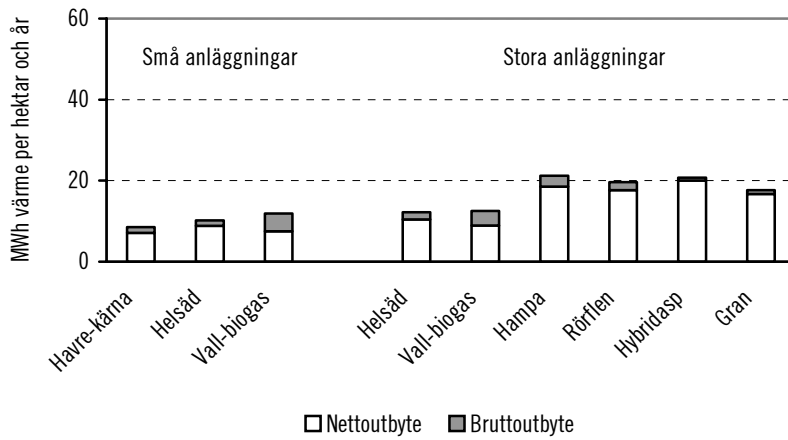
Figur 5.6 Uppskattning av genomsnittlig brutto- respektive nettoutbyte av värme per hektar och år för olika omvandlingstekniker och energi-grödor vid odling i Götalands skogsbygder på genomsnittlig åkermark. Hampa och rörfilen avser vårskörd samt hybridasp och gran (gödsblad) helträdsskörd (exkl. stubbar).



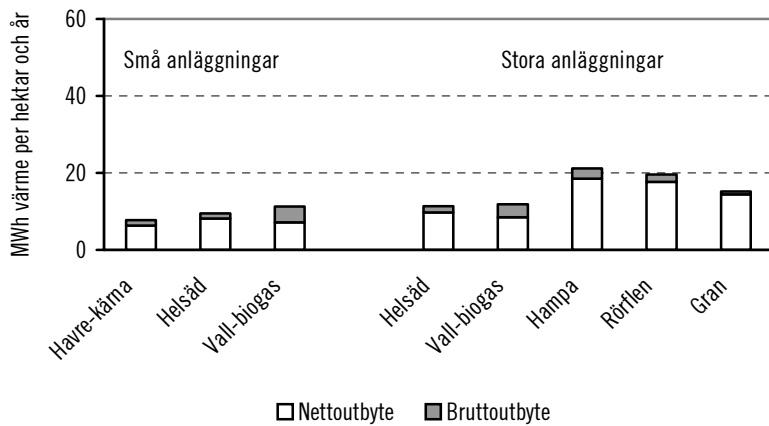
Figur 5.7 Uppskattning av genomsnittlig brutto- respektive nettoutbyte av värme per hektar och år för olika omvandlingstekniker och energi-grödor vid odling i mellersta Sveriges skogsbygder på genomsnittlig åkermark. Hampa och rörfilen avser vårskörd samt hybridasp och gran (gödsblad) helträdsskörd (exkl.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



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

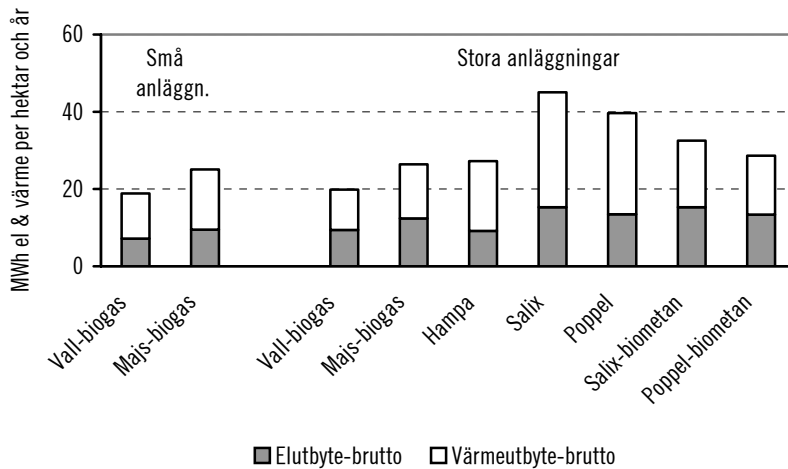


5.2 Kraftvärmeproduktion

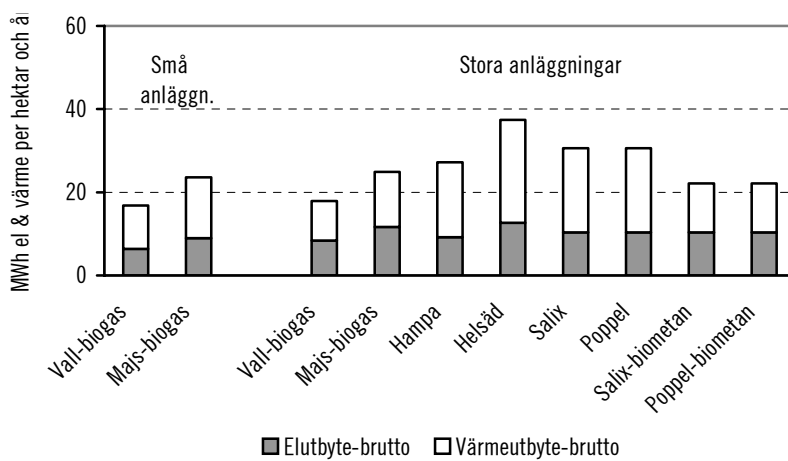
I Figur 5.10 till 5.17 beskrivs hur mycket el och värme som kan produceras brutto vid kraftvärmeproduktion från ett hektar åkermark som utnyttjas för odling av olika energigrödor i olika produktionsområden. Hur stora energiinsatser som krävs för respektive produktsystem framgår av figurerna som presenteras 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 procent vid storskalig produktion. Vid småskalig kraftvärmeproduktion via biogas minskar andelen el till knappt 40 procent. 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 procent högre vid direkt förbränning jämfört med när förgasning sker. Det totala utbytet av el och värme blir cirka 35–40 procent högre per hektar vid kraftvärmeproduktion baserat på direkt förbränning jämfört med när biomassan först förgasas till biometan.

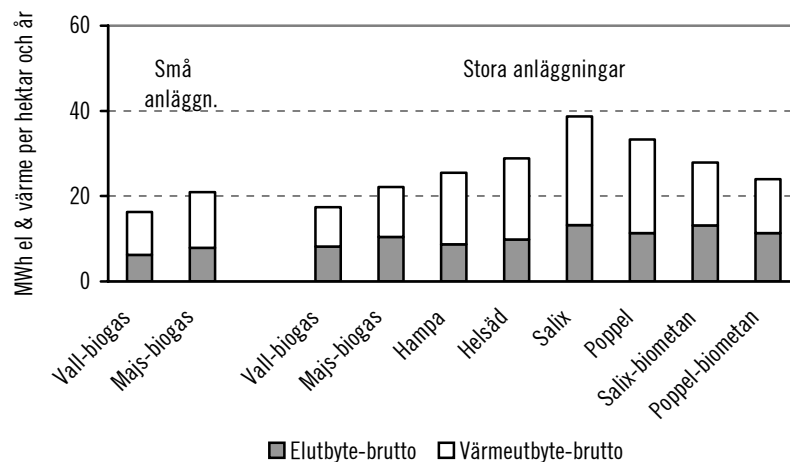
Figur 5.10 Uppskattning av genomsnittligt bruttoutbyte av el och värme per hektar och år för olika omvandlingstekniker och energigrödor vid odling i Götalands södra slättbygder på genomsnittlig åkermark. Hampa avser vårskörd och poppel helträdsskörd (exkl. stubbar).



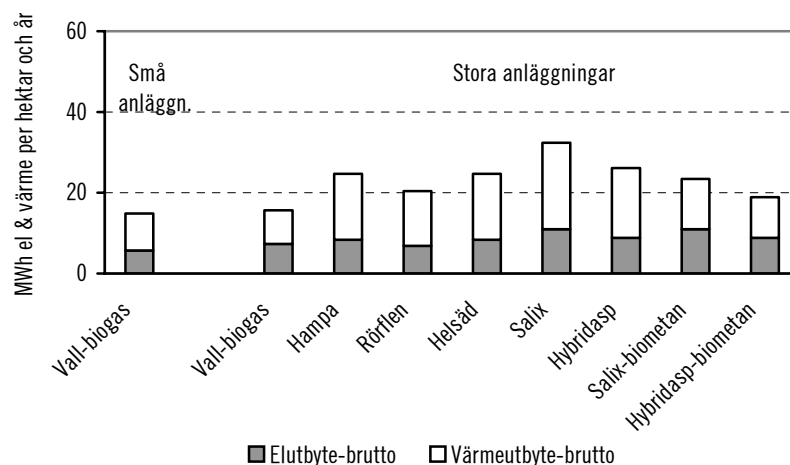
Figur 5.11 Uppskattning av genomsnittligt bruttoutbyte av el och värme per hektar och år för olika omvandlingstekniker och energigrödor vid odling i Götalands mellanbygder på genomsnittlig åkermark. Hampa avser vårskörd och poppel helträdsskörd (exkl. stubbar).



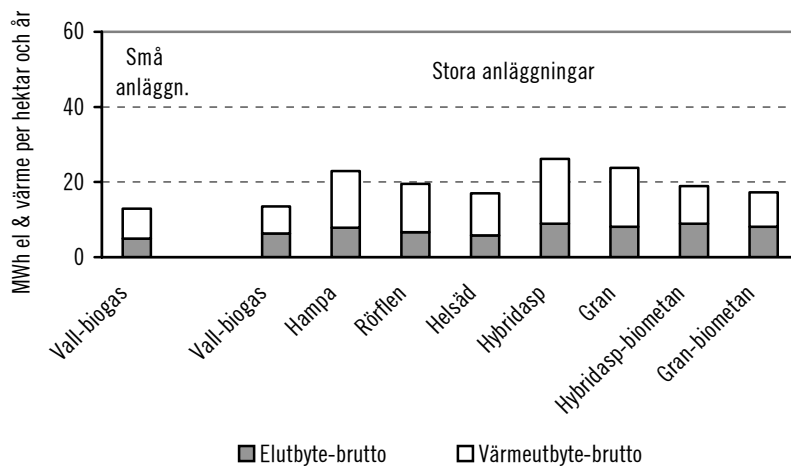
Figur 5.12 Uppskattning av genomsnittligt bruttoutbyte av el och värme per hektar och år för olika omvandlingstekniker och energigrödor vid odling i Götalands norra slättbygder på genomsnittlig åkermark. Hampa avser vårskör och poppel helträdsskör (exkl. stubbar).



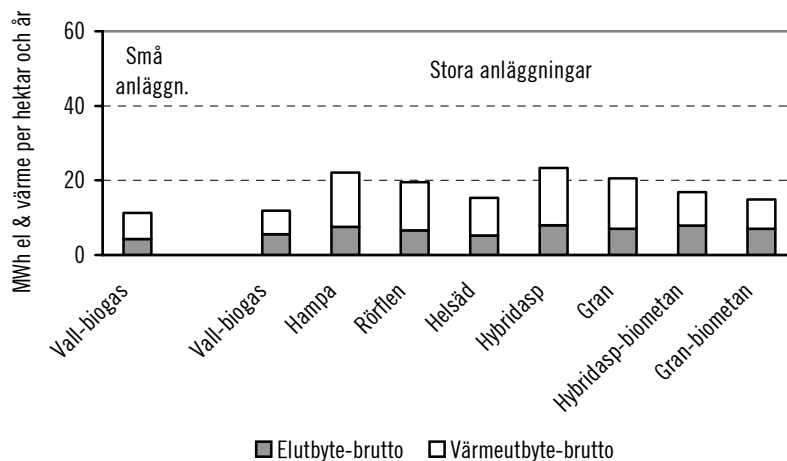
Figur 5.13 Uppskattning av genomsnittligt bruttoutbyte av el och värme per hektar och år för olika omvandlingstekniker och energigrödor vid odling i Svealands slättbygder på genomsnittlig åkermark. Hampa och rörfilen avser vårskör och hybridasp helträdsskör (exkl. stubbar).



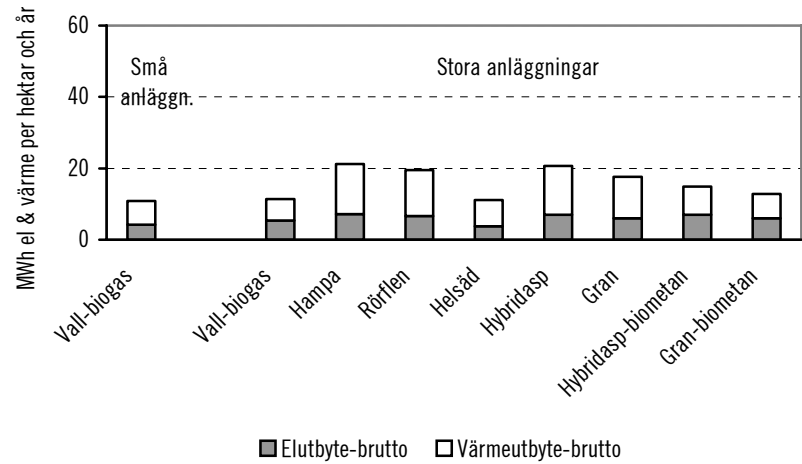
Figur 5.14 Uppskattning av genomsnittligt bruttoutbyte av el och värme per hektar och år för olika omvandlingstekniker och energigrödor vid odling i Götalands skogsbygder på genomsnittlig åkermark. Hampa och rörfilen avser vårskörd samt hybridasp och gran (gödslad) helträdsskörd (exkl. stubbar).



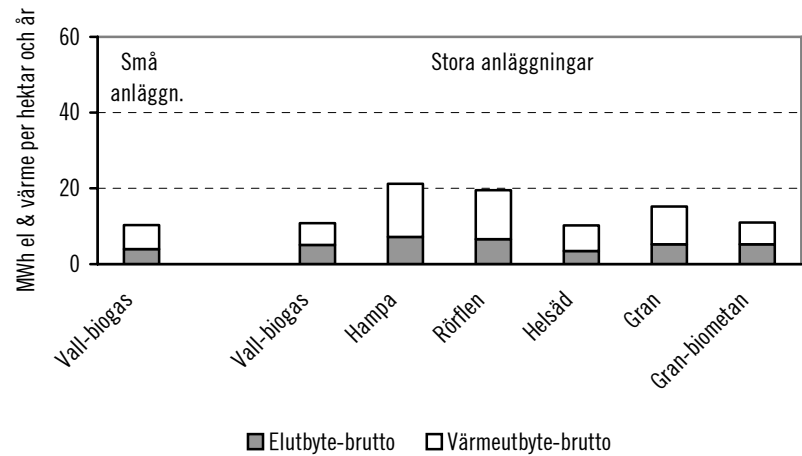
Figur 5.15 Uppskattning av genomsnittligt bruttoutbyte av el och värme per hektar och år för olika omvandlingstekniker och energigrödor vid odling i mellersta Sveriges skogsbygder på genomsnittlig åkermark. Hampa och rörfilen avser vårskörd samt hybridasp och gran (gödslad) helträdsskörd (exkl. stubbar).



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 rörfilen avser vårskörd samt hybridasp och gran (gödslad) helträdsskörd (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 rörfilen avser vårskörd samt gran (gödslad) helträdsskörd (exkl. stubbar).



5.3 Drivmedelsproduktion

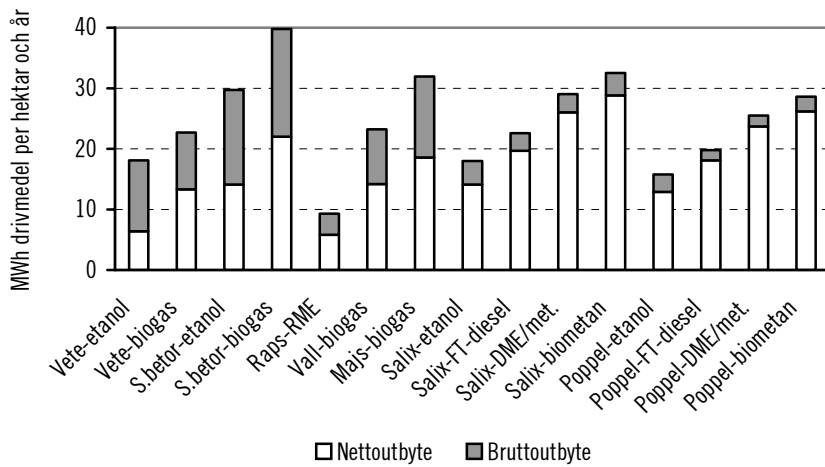
I Figur 5.18 till 5.25 beskrivs hur mycket drivmedel som kan produceras (brutto och netto) från ett hektar åkermark som utnyttjas för odling av olika energigrödor i olika produktionsområden. Med bruttoproduktion menas det drivmedel som faktiskt produceras och nettoproduktion har energiinsatserna vid 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 procent 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 procent och för etanol från energiskog (med biprodukten lignin) cirka 90 procent. Hur dessa biprodukter kan utnyttjas på olika sätt, bl.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

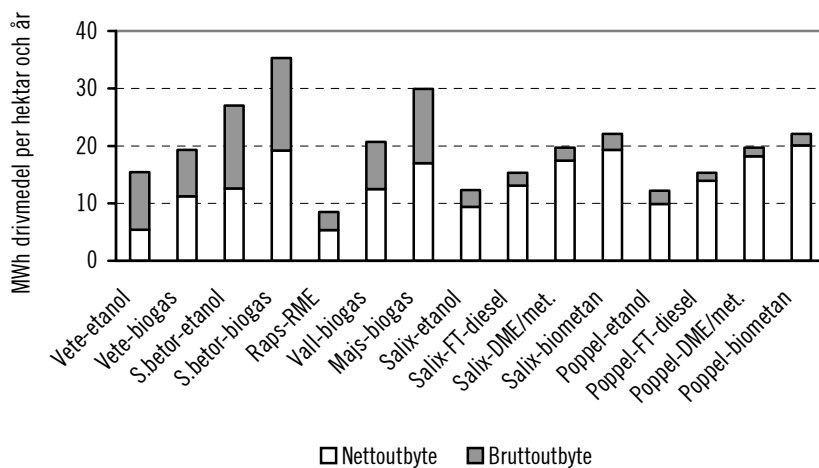
som i Götalands södra slättbygder men med den skillnaden att utbytet är normalt cirka 15–25 procent lägre per hektar och år. Dessutom antas inte sockerbetor användas som råvara för drivmedelsproduktion.

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 procent och 20–30 procent 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.

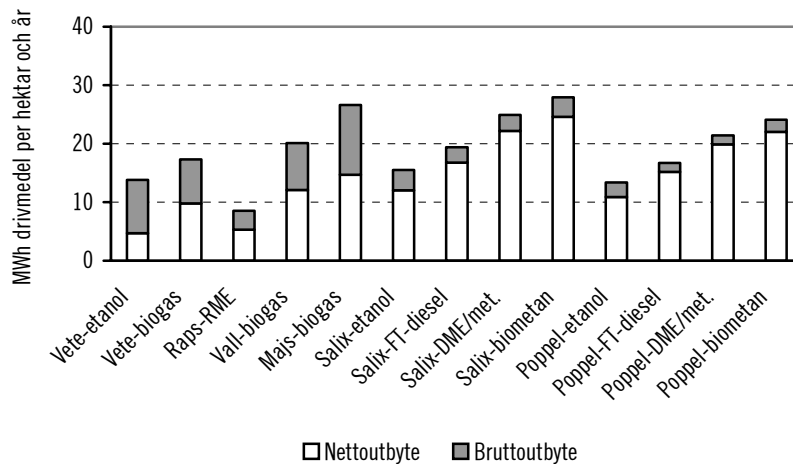
Figur 5.18 Uppskattning av genomsnittlig brutto- respektive nettoutbyte av drivmedel per hektar och år för olika omvandlingstekniker och energigrödor vid odling i Götalands södra slättbygder på genomsnittlig åkermark. Poppel avser helträdsskörd (exkl. stubbar).



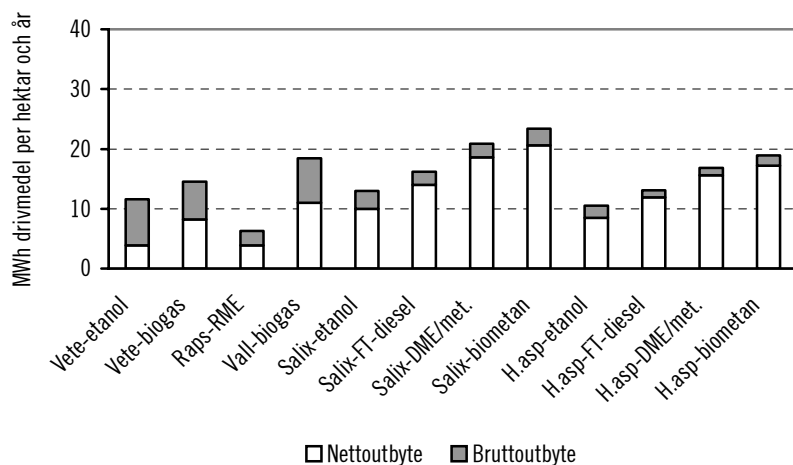
Figur 5.19 Uppskattning av genomsnittlig brutto- respektive nettoutbyte av drivmedel per hektar och år för olika omvandlingstekniker och energigrödor vid odling i Götalands mellanbygder på genomsnittlig åkermark. Poppel avser helträdsskörd (exkl. stubbar).



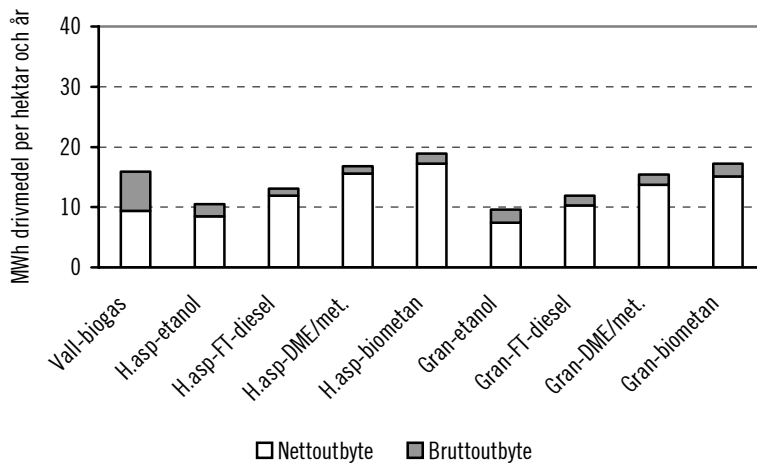
Figur 5.20 Uppskattning av genomsnittlig brutto- respektive nettoutbyte av drivmedel per hektar och år för olika omvandlingstekniker och energigrödor vid odling i Götalands norra slättbygder på genomsnittlig åkermark. Poppel avser helträdsskörd (exkl. stubbar).



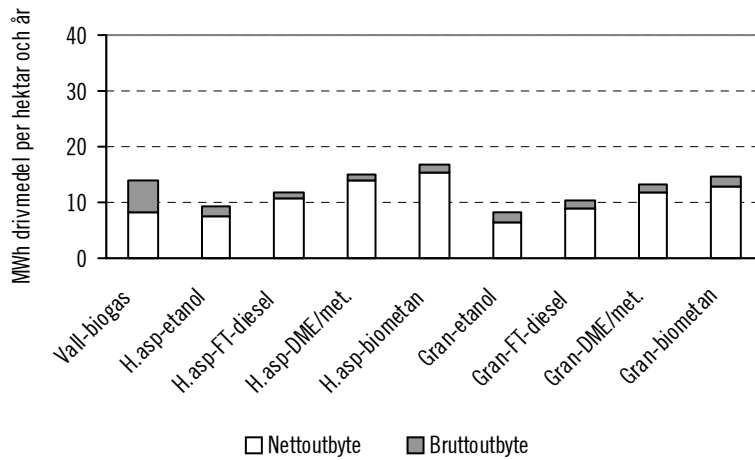
Figur 5.21 Uppskattning av genomsnittlig brutto- respektive nettoutbyte av drivmedel per hektar och år för olika omvandlingstekniker och energigrödor vid odling i Svealands slättbygder på genomsnittlig åkermark. Hybridasp avser helträdsskörd (exkl. stubbar).



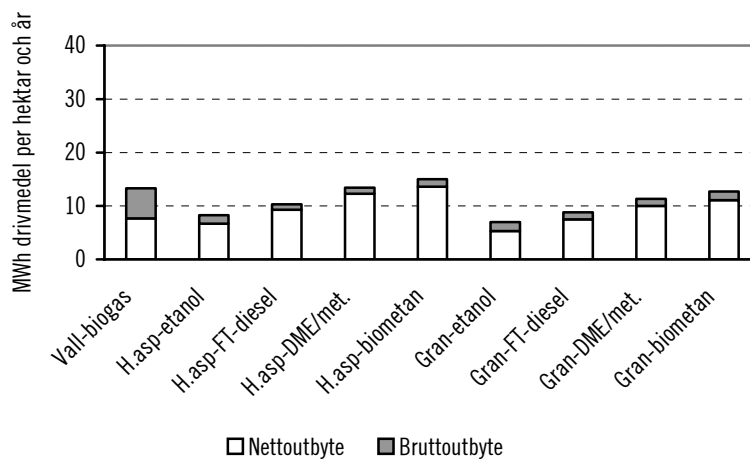
Figur 5.22 Uppskattning av genomsnittlig brutto- respektive nettoutbyte av drivmedel per hektar och år för olika omvandlingstekniker och energigrödor vid odling i Götalands skogsbygder på genomsnittlig åkermark. Hybridasp och gran (gödslad) avser helträdsskörd (exkl. stubbar).



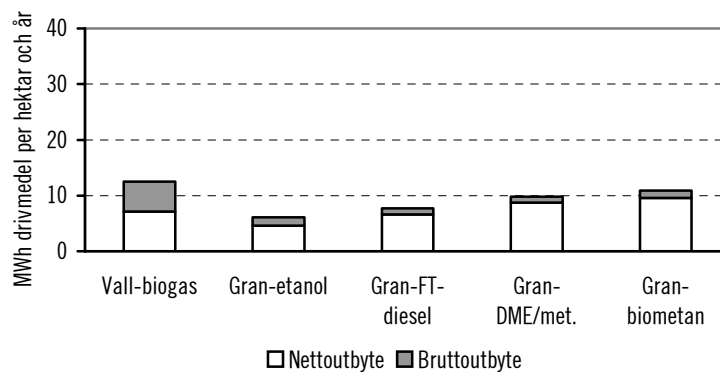
Figur 5.23 Uppskattning av genomsnittlig brutto- respektive nettoutbyte av drivmedel per hektar och år för olika omvandlingstekniker och energigrödor vid odling i mellersta Sveriges skogsbygder på genomsnittlig åkermark. Hybridasp och gran (gödslad) avser helträdsskörd (exkl. stubbar).



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 (gödslad) avser helträdsskörd (exkl. stubbar).



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 (gödslad) avser helträdsskörd (exkl. stubbar).



6 Energikombinat

I följande kapitel beskrivs några olika exempel på bioenergi-kombinat där drivmedel produceras tillsammans med andra energibärare som el, värme, pellets m.m. 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.

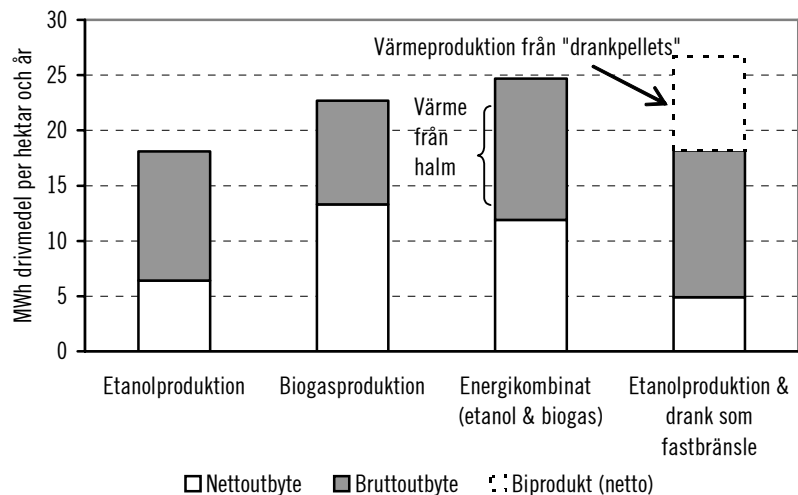
6.1 Etanol och biogas från spannmål

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 procent) varför den normalt måste torkas för att kunna distribueras över ett större område som proteinfoder på djurgårdar. En stor del, cirka 45 procent, 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 procent etanol respektive 27 procent biogas.

Som framgår av Figur 6.1 ökar bruttoutbytet av biodrivmedel per hektar med cirka 35 procent när dranken rötas till biogas jämfört med när den torkas och utnyttjas som foder. Nettoutbytet av drivmedel ökar ännu mer, cirka 77 procent, 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 procent. 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 procent högre än nettoutbytet av enbart drivmedel vid ett etanol- och biogaskombinat. Samtidigt minskar nettoutbytet av drivmedel med cirka 60 procent.

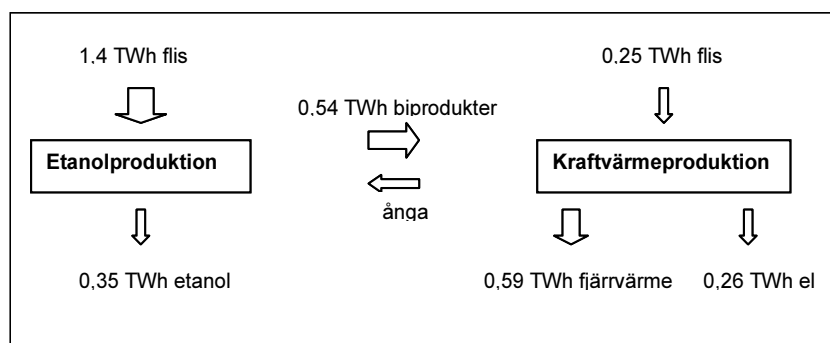
Figur 6.1 Utbyte av etanol och biogas som drivmedel samt drank (pelleterad) för värmeproduktion (MWh per hektar och år) från ett hektar höstveteodling i Götalands södra slättbygder när olika omvandlingstekniker utnyttjas (se avsnitt 5.3).



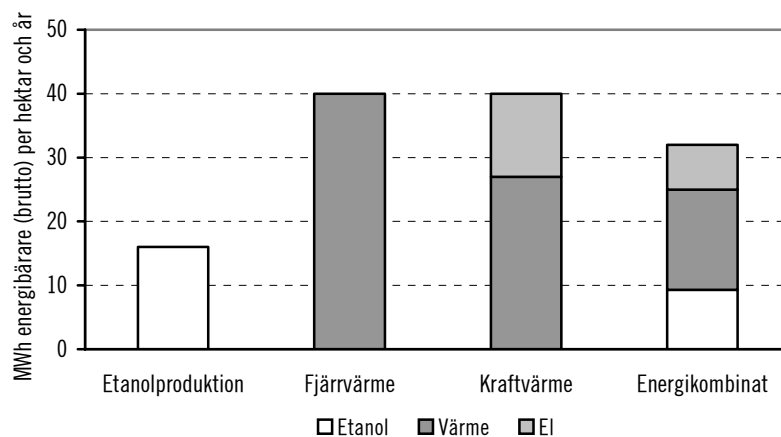
6.2 Etanol, el och värme från lignocellulosa

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 procent till 40 procent 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 BAFB (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 procent. Däremot blir utbytet av etanol betydligt lägre, drygt 21 procent, 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 procent av biomassans energiinnehåll. Om produktion av drivmedel prioriteras bedöms utbytet av FT-diesel kunna uppgå till cirka 45 procent. 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 procent om FT-diesel samproduceras med el och värme för extern användning. I en sammanställning av Goldschmidt (2005) beskrivs möjliga bibränslebaserade 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 procent 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, dvs. 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, dvs. 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 bibränsle (MWh)	Produktion av energibärare för extern användning			Totalverkningsgrad (procent)
		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 m h a 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 procent när drivmedelsproduktion prioriteras. I detta alternativ produceras både el (i mindre omfattning) och värme vilka används internt för att driva processen, dvs. 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 kraftvärmeanläggning. 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, dvs. mellan 50 och 60 procent (Goldschmidt, 2005). I dessa integreringsalternativ sjunker utbytet av metanol i ungefär samma storleksordning som utbytet av el för externt bruk ökar.

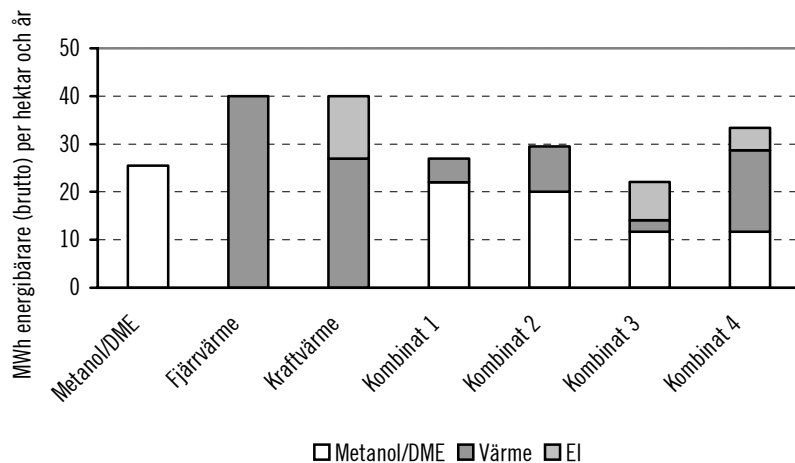
Om däremot värmeproduktion prioriteras före elproduktion för extern användning kan totalverkningsgraden öka till upp emot 70 procent. Ett exempel som beskrivs av Goldschmidt (2005) och som baserat på ALTERNER-projektet BAL är en metanolanläggning som integreras med en kraftvärmepanna i kondensdrift som dimensioneras för att täcka det interna elbehovet. Här uppskattas utbytet av extern värme uppgå till cirka 12 procent samtidigt som utbytet av metanol minskar till cirka 49 procent, dvs. totalverkningsgraden blir ungefär 61 procent (Kombinat 1 i Figur 6.4). Om man i stället väljer att integrera med kraftvärmeproduktion och en panna i mottrycksdrift ökar totalverkningsgraden till 67 procent där utbytet av metanol och extern värme uppgår till 46 respektive 21 procent (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 procent medan totalverkningsgraden är cirka 47 procent för alternativ 1 respektive 72 procent i alternativ 2. Utbytet av el och värme är 17 respektive 5 procent i alternativ ett (Kombinat 3

i Figur 6.4) samt 10 respektive 36 procent 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 på grund av 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

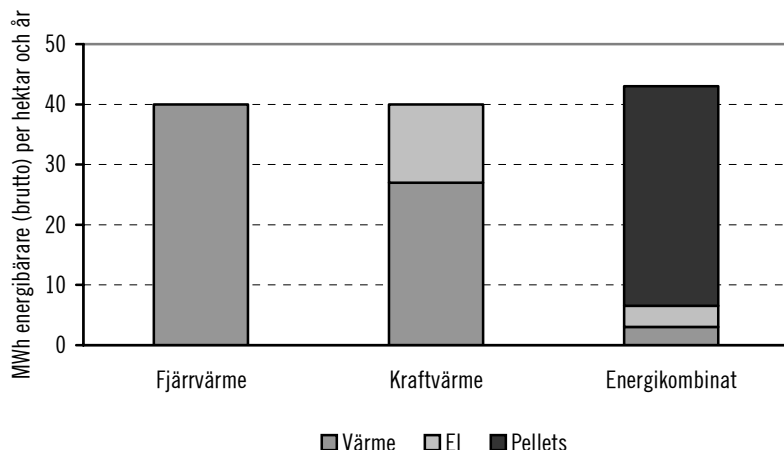
I avsnitt 4.1 diskuteras möjligheterna att förädla vedråvara och stråbränslen till pellets vilket öppnar en stor marknad inom småskalig värmeproduktion (se avsnitt 7.1). En möjlighet är att samproducera el, värme och pellets vilket bl.a. Skellefteå Kraft utvecklar kombinat kring. Ett exempel är ett pelletskombinat 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 procent, fördelat på cirka 83 procent pellets, 8 procent el respektive 7 procent 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			Total- verknings- grad (procent)
	Pellets (GWh/år)	El (GWh/år)	Värme (GWh/år)	
600	500	48	40	98

^a Baserat på data från Atterhem (2007).

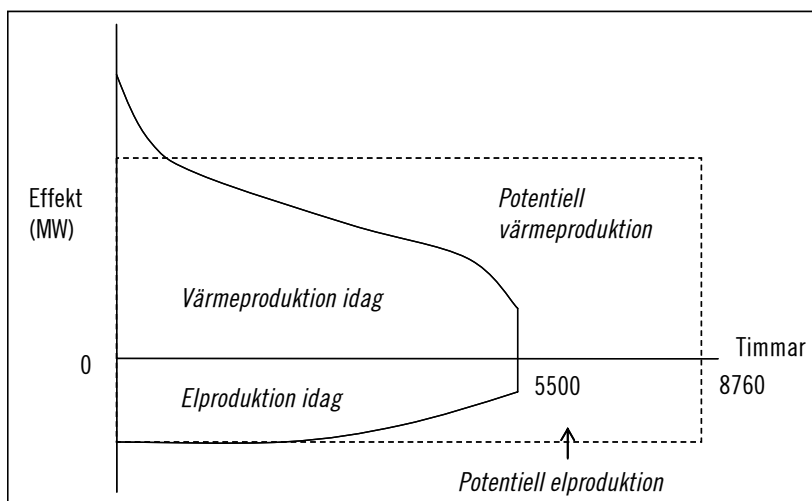
Figur 6.5 Utbyte av pellets, fjärrvärme och el (MWh brutto per hektar och år) från ett hektar poppel i Götalands södra slättbygder när olika omvandlingssystem utnyttjas (se avsnitt 5.1–5.2)



6.6 Utnyttjande av värmeöverskott i befintliga kraftvärmeverk

Utbyggnaden av kraftvärme i svenska fjärrvärmeverk gå 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 massindustrin. En skillnad mellan kraftvärme inom fjärrvärmesektorn och massindustrin är att massindustrin 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 procent 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), dvs. i detta fall utnyttjas endast cirka 12 procent av det potentiella totala värmeöverskottet. Samtidigt skulle elproduktionen öka med cirka 10 procent.

Ett annat alternativ som undersökts av Ena Energi är att utnyttja överskottsvärme för etanolproduktion från spannmål. I detta fall skulle cirka 20–25 procent 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 biobränslen 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. biobränslebaserad 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 biobränslen förutsätter detta fjärrvärmesystem. Småskalig värmeproduktion kan däremot baseras på förädlade biobränslen 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

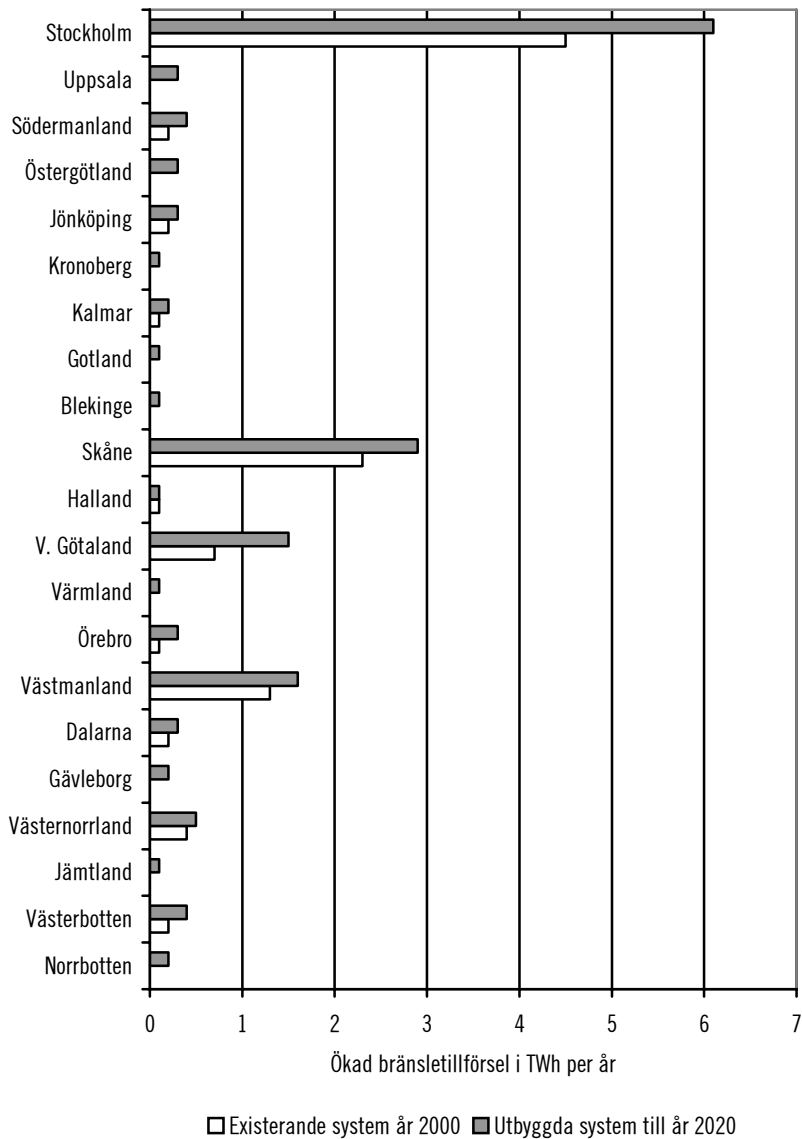
I en tidigare studie från 2001 (Börjesson, 2001) har de tekniska förutsättningarna för att öka biobränsleanvändningen i svenska fjärrvärmesystem analyserats (se Figur 7.1). Analysen bygger på fjärrvärmestatistik och prognoser från Svenska Fjärrvärmeförbundet. I analysen antogs fortsatt ersättningen av fossila bränslen och el men att en viss del olja eller naturgas fortfarande används som spetslast motsvarande 20 procent av bränsletillförseln. Detta är högt räknat utifrån dagens förutsättningar där andelen spetslast i form av olja snarare är mellan 5 till 10 procent (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 procent kring år 2000 till cirka 80 procent inom ett par decennier.

Totalt bedömdes tillförseln av biobränslen 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 biobränsleanvändning störst i Stockholms län som ensamt svarade för knappt 50 procent av de tekniska möjligheterna för ökad biobränsleanvändning i existerande fjärrvärmesystem år 2000. Därefter kommer Skåne med motsvarande 25 procent, 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 procent) 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 biobränsleanvändningen i existerande fjärrvärmesystem år 2000 samt i utbyggda fjärrvärmesystem kring år 2020 (Börjesson, 2001). Fram till 2005 har cirka 60 och 37 procent av denna tekniska potential att öka biobränsletillförsel 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 procent (230 000) hade olja som enda uppvärmningskälla år 2000. Dessutom utnyttjade cirka 15 procent (260 000) eldningsolja i kombination med ved eller el. Endast cirka 1 procent 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.

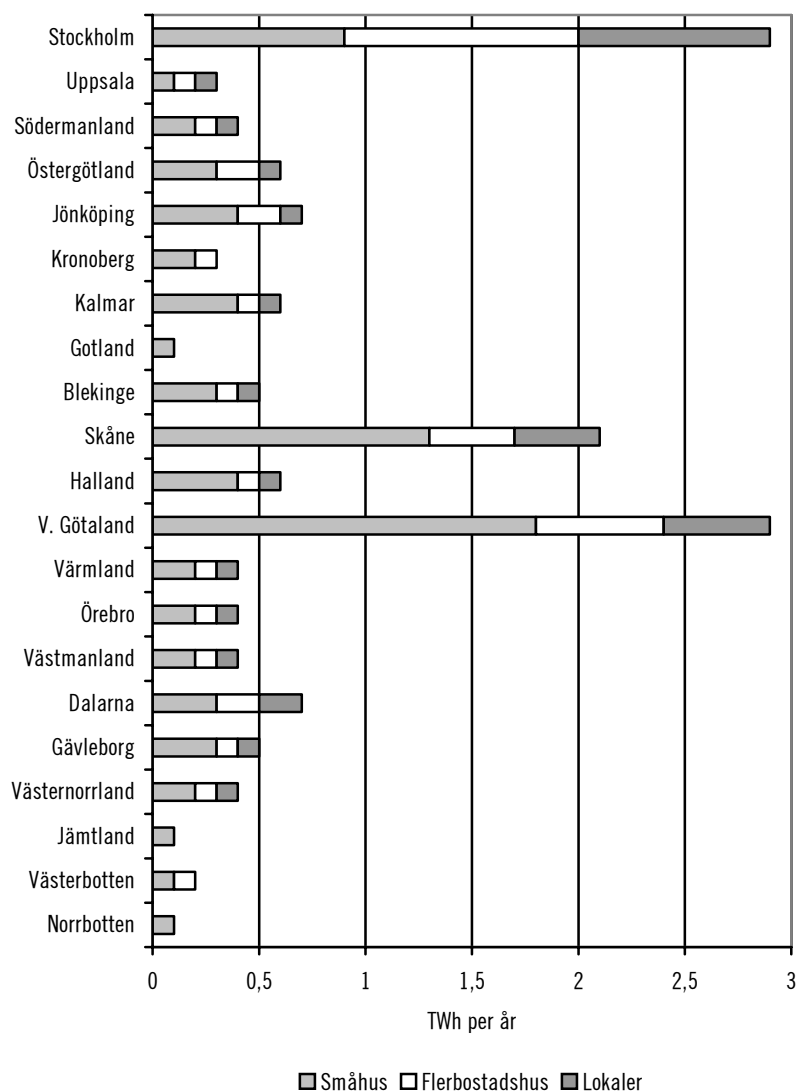
Förändringen av uppvärmningssystem inom småhussektorn och bland flerbostadshus och lokaler med egna oljepannor har gått mycket snabbt under de senaste åren. Den totala oljeförbrukningen inom sektorn bostäder och service minskade t.ex. med ungefär en tredjedel mellan år 2000 och 2004 (Energimyndigheten, 2005). Andelen småhus med enbart oljeeldning hade också drastiskt minskat och utgjorde endast cirka 6 procent 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 närvärmesystem (mellansaklig förbränning) samt 3,9 TWh i större fjärrvärmeverk m.m. (PIR, 2006). Den snabbaste ökningen av pelletsanvändningen sker inom småhussektorn idag då t.ex. försäljningen av villapellets ökade med 73 procent 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 fjärrvärmesystem 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 procent 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, dvs. 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 procent 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 m.m. 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 fjärr-

värmesystem ökar jämfört med de som beräknats i Börjesson (2001).

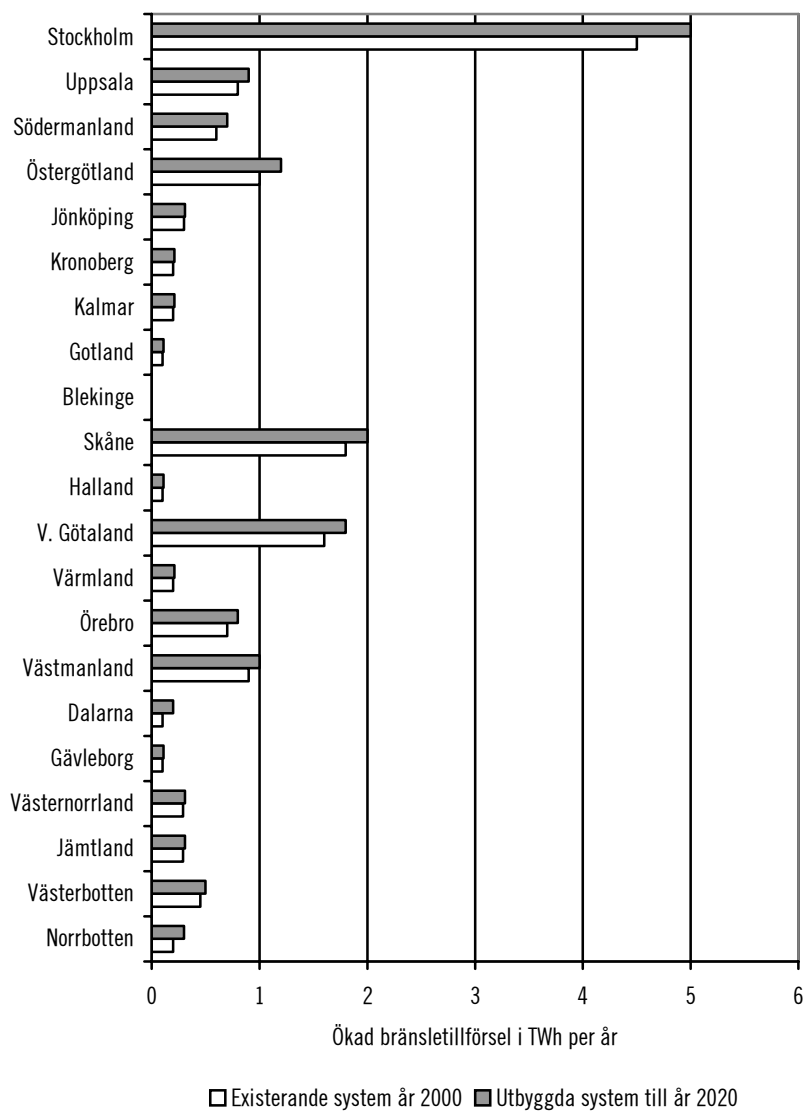
Totalt beräknas de tekniska förutsättningarna för elproduktionen i existerande fjärrvärmesystem år 2000 uppgå till 12 TWh, vilket motsvarar en ökad biobränsletillförsel om cirka 14 TWh. I utbyggda fjärrvärmesystem kring 2020 bedöms de tekniska förutsättningarna öka till 14 TWh el, dvs. cirka 16 TWh biobränslen. 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, dvs. 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, dvs. 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 bio-bränsleanvändningen 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 procent av denna tekniska potential att öka biobränsletillförsel 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 inhemsk råvara. 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 Mjöl (Emanuelson m.fl., 2006) har undersökt möjligheterna att utnyttja drank från svensk etanolproduktion (här kallad agrodrink) samt rapsmjöl från produktion av rapsolja och RME-produktion som foder inom svensk mjölkproduktion. Syftet med studien vara att analysera möjligheterna att öka andelen närproducerat proteinfoder för att minska importen av t.ex. sojajmjöl, palmkärnkaka m.m. vid tillverkning av kraftfoder till mjölkkor. Idag utnyttjas cirka 26 000 ton ts agrodrink som foder inom mjölkproduktion 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 Agroetanol's 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, dvs. omkring 60 procent av dagens etanoldrank används som foder inom mjölkproduktion. 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 mjölkproduktion (enligt Emanuelson m.fl., 2006) motsvarar en etanolproduktion om cirka 200 miljoner liter (cirka 1,2 TWh).

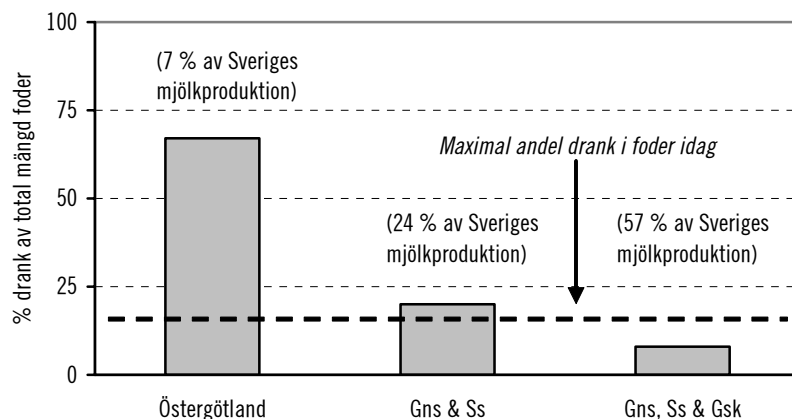
Detta motsvarar ungefär den totala produktionen i Agroetanols anläggningar i Norrköping efter den beslutade utbyggnaden. En ökad användning av agrodrank om totalt 160 000 ton ts motsvarar cirka 6 procent av den totala foderförbrukningen bland Sveriges mjölkkor (Emanuelson m.fl., 2006). Enligt Agroetanol (2006) har en inblandning upp till 15 procent av agrodrank i djurfoder visat ge en positiv effekt. Enligt en europeisk så kallad "well-to-wheel-studie" antas upp till 20 procent 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 mjölkproduktion fås på mängden foder-spannmål 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 närodlad foder, dvs. foder producerat i Sverige, blir dock liten då denna ökar från dagens 87 till 89 procent. 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 procent men ibland upp till 20 procent 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 procent 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 procent 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 procent av totala foderbehovet, dvs. något högre än vad Agroetanol rekommenderar idag (upp till 15 procent) men i nivå med antaganden i den europeiska well-to-wheel-studien (Concawe m.fl., 2006). Den största andelen

av Sveriges mjölkproduktion, cirka 33 procent, 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 procent av Sveriges mjölkproduktion och om all agrodrank från den utbyggda etanolanläggningen skulle utnyttjas inom dessa tre områden uppgår andelen drank till cirka 8 procent 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 ts etanoldrink kunna utnyttjas som foder (15 procent av totala foderkonsumtionen). Detta i sin tur motsvarar en etanolproduktion om cirka 650 miljoner liter per år, eller cirka 3,8 TWh (cirka 8 procent 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 procent av totala foderkonsumtionen i svensk mjölkproduktion motsvarar detta +25 procent etanol. En mer realistisk bedömning är dock att andelen drank som foderråvara snarare ligger kring 5 till 7 procent av totala foderkonsumtionen i framtiden, dvs. 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 köttdjur betydligt mer utspridd över landet och utgörs oftast av mindre besättningar jämfört med mjölkobesättningar, 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 procent av den maximala konsumtionen som uppskattats för mjölkkor eller drygt 60 procent 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 procent 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 procent i grisfoder har i vissa fall gett bra resultat (bibeållan tillväxt) men i andra fall sämre resultat (försämrade tillväxt) beroende på vilket parti drank

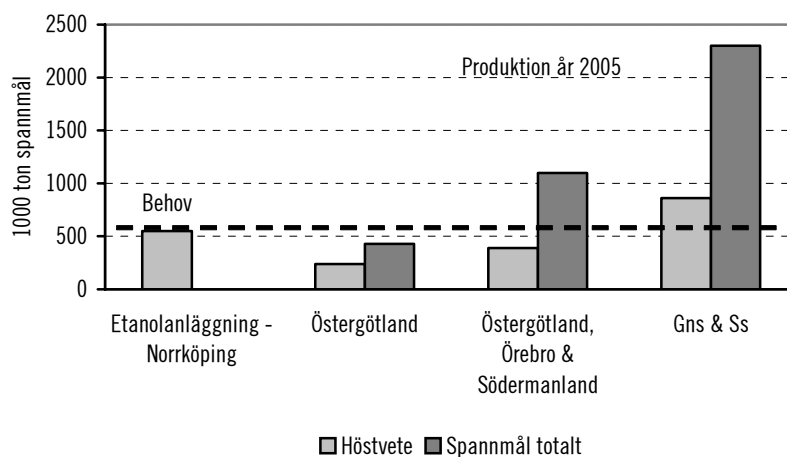
som utnyttjats (Sigfridsson, 2006). För att drank ska kunna utnyttjas som ett bra grisfoder krävs förbättringar i framför allt torkningsprocessen som måste bli mer skonsam så att dranken inte bränns vilket leder till försämrade foderkvalitet (Sigfridsson, 2006).

Om kvaliteten på drank förbättras vilket medför att 15 procent 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 procent av den teoretiska användningen av drank i mjölkproduktion. Denna mängd drank motsvarar en etanolproduktion om drygt 90 miljoner liter (eller 0,5 TWh), dvs. en anläggning som är cirka 65 procent 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 procent i Götalands södra slättbygder. Endast cirka 15 procent 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 höstvetesodling 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 procent 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 höstveteadling i Götalands norra slättbygder och Svealans slättbygder uppgick år 2005 till cirka 89 000 hektar respektive 76 000 hektar. Detta motsvarar en produktion om totalt cirka 860 000 ton höstvetet baserat på genomsnittliga avkastningsnivåer för respektive produktionsområde (Börjesson, 2007). Detta innebär att omkring 65 procent av den totala höstveteproduktion 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, dvs. drygt 4 gånger mer spannmål än Norrköpinganläggningens behov. Teoretiskt skulle således nästan 25 procent av den totala spannmålsproduktionen i dessa två produktionsområden behövas som råvara i Agroetanols utbyggda etanolanläggning.

Figur 7.5 Behov av spannmål (höstvetet) till den utbyggda etanolanläggningen i Norrköping i jämförelse med den regionala produktionen av höstvetet 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 procent av den totala foderkonsumtionen. Om andel drank kan öka till 20 procent 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 procent respektive 14 procent 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, dvs. 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 procent 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, dvs. 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 procent 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

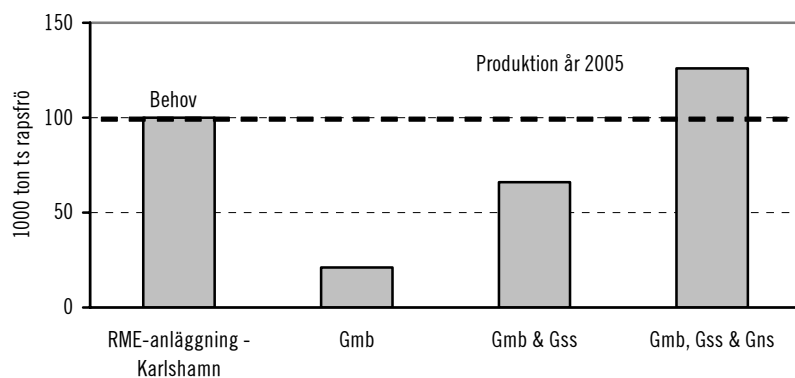
(Emanuelson, 2006). En mindre andel används också inom svin- och fjäderfäproduktion (SCB, 2006). Rapskaka används också som tillsats i kraftfoder men inblandningen begränsas här framför allt av dess fettinnehåll. Detta innebär att den möjliga inblandningen av rapskaka i foder blir lägre än den potentiella 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 rapskörd 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 procent 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), dvs. 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 på grund av 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 inhemsk raps och utifrån dagens produktionsförutsättningar kan således maximalt ersätta cirka 6 procent 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, dvs. där anläggningen är lokaliserad, motsvarade rapsproduktionen cirka 20 procent av anläggningens behov. Tillsammans med Götalands slättbygder uppgick rapsproduktionen till cirka 65 procent av anläggningens behov och när också Götalands norra slättbygder inkluderades blev den totala rapsproduktionen cirka 25 procent 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

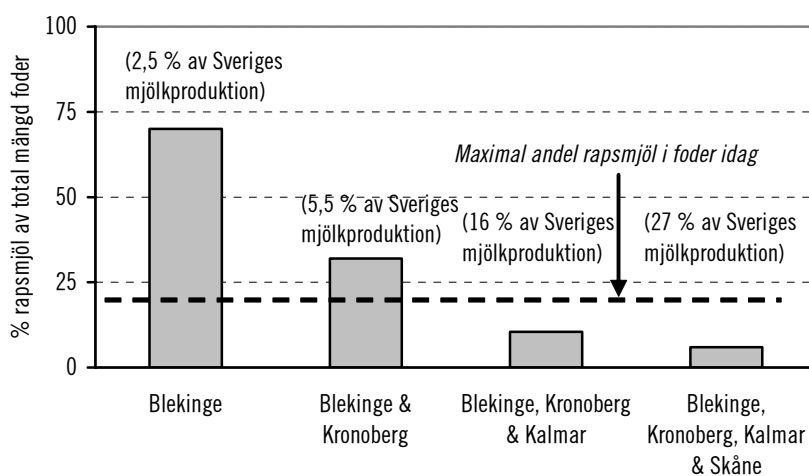
Karlshamn beräknas cirka 58 000 ton ts rapsmjöl produceras när anläggningens kapacitet utnyttjas fullt ut. Denna mängd rapsmjöl motsvarar cirka 38 procent av den totala mängd rapsprodukter som 2005 användes i foder och som producerades i Sverige (SCB, 2006). Den totala inhemska produktionen av rapsprodukter som råvaror i foder uppgick till cirka 152 000 ton ts varav största delen, drygt 80 procent eller cirka 125 000 ton ts användes inom nötköttproduktion (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 procent) användas inom mjölkproduktion, inklusive rekrytering (Emanuelson m.fl., 2006). Inblandningen av rapsprodukter i foder till mjölkproduktion uppgår idag till cirka 5 procent 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 inhemska rapsmjölsproduktion till följd av en ökad RME-produktion bedöms av Emanuelson (2006) att framför allt ersätta importerade rapsprodukter. Om en maximal inhemska 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 procent. Om inblandningen ökar t.ex. till 15 procent 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 procent 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 procent och möjligen öka ytterligare i framtiden. En inblandning om 12 procent motsvarar cirka 53 000 ton ts rapsmjöl,

dvs. 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 procent (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 procent krävs att rapsmjölet används inom ett område motsvarande Blekinge, Kronoberg och Kalmar län (drygt 10 procent). Om också Skåne län inkluderas blir andelen rapsmjöl av total foderkonsumtion inom mjölkproduktion cirka 6 procent.

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 högkvali-

tativt 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 grund av ett högre fettinnehåll. 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 procent 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 procent 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 procent 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

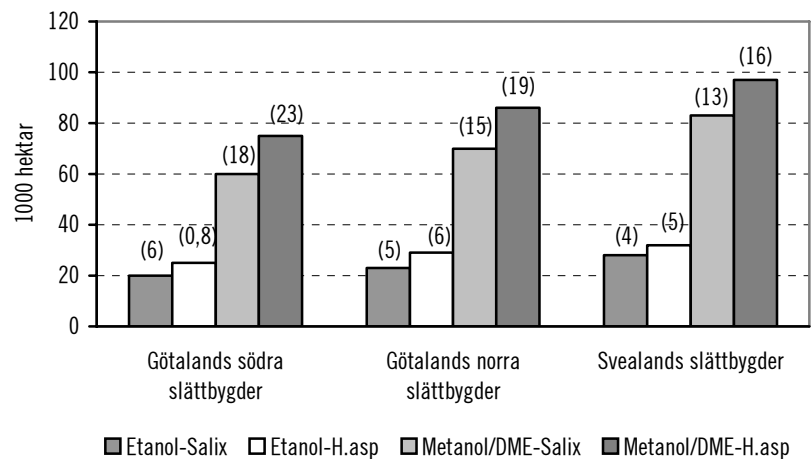
När det gäller råvarubehovet för etanol- och förgasningsanläggningar som baseras på lignocellulosa bedöms detta bli relativt stort för varje enskild anläggning för att nå kostnadseffektivitet. För en fristående etanolanläggning som producerar cirka 65 miljoner liter per år (cirka 0,37 TWh) krävs cirka 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 procent 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 procent 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. vårskörddad rörflen utnyttjas som råvara i stället för energiskog (salix) ökar arealbehovet i Götalands södra slättbygder med knappt 100 procent. Motsvarande ökning i Svealands slättbygder är cirka 50 procent. 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 parentes 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 procent torrs substans 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 torrs substanshalten är 10 procent. I Agroetanols 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 storskaliga 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, dvs. 20 till 30 gånger större än i dagens största biogasanläggningar.

Mängden rötrest som kan spridas per hektar bestäms bl.a. av grödans växtnäingsbehov och rötrestens innehåll av växtnäring och tungmetaller. Eftersom drank är ett ”rent” substrat är det framför allt växtnäingsinnehållet 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, dvs. 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

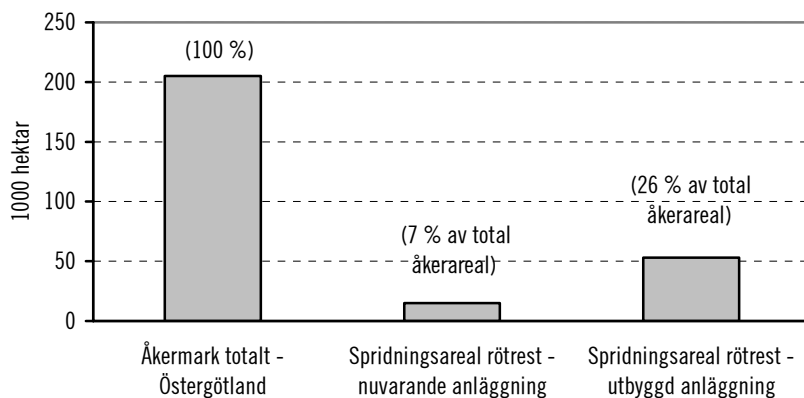
53 000 hektar. Som jämförelse uppgår den totala åkerarealen i Östergötland till cirka 206 000 hektar (2005), dvs. en spridningsareal om 15 000 och 53 000 hektar motsvarar ungefär 7 respektive 26 procent av länets totala åkerareal (se Figur 7.9). Hur stor andel av åkermarken som praktiskt kan gödslas 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 procent av totala landarealen. En annan faktor är på hur stor del av åkermarken som rötrest kan spridas. Om 25–30 procent 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 procent 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 procent till drygt 10 procent (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 avvattas 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 tran-

sporteras 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 procent högre när dranken pelleteras och eldas. Samtidigt blir nettoutbytet av enbart drivmedel 60 procent 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 fjärrvärme-system 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, dvs. 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 (dvs. 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, dvs. drivmedel, el, värme och pellets. Idag finns redan ”potentiell överskottsvärme” i befintliga kraftvärmeverk vilket teoretiskt skulle kunna utnyttjas för såväl pellets-

produktion 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 fjärrvärmenäts 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 fjärrvärmenäts ³
Pellets	80	97
Metanol/DME alt. 1	200	50
Metanol/DME alt. 2	800	13
Etanol	1 200	9
Metanol/DME alt. 3 & 4	1 400	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 m.m. 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 bibränslen för elproduktion via kraftvärme, dvs. om alla kraftvärmeverk utnyttjande sin kapacitet fullt ut skulle teoretiskt ytterligare cirka 5,5 TWh bibränslen

behöva tillföras för enbart elproduktionen. Per varje kWh el som genereras fås samtidigt ungefär två delar värme, dvs. biobränslebehovet för denna ökade värmeproduktion skulle maximalt kunna bli cirka 11 TWh. Med en verkningsgrad om ungefär 85 procent 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 procent 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 procent 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.

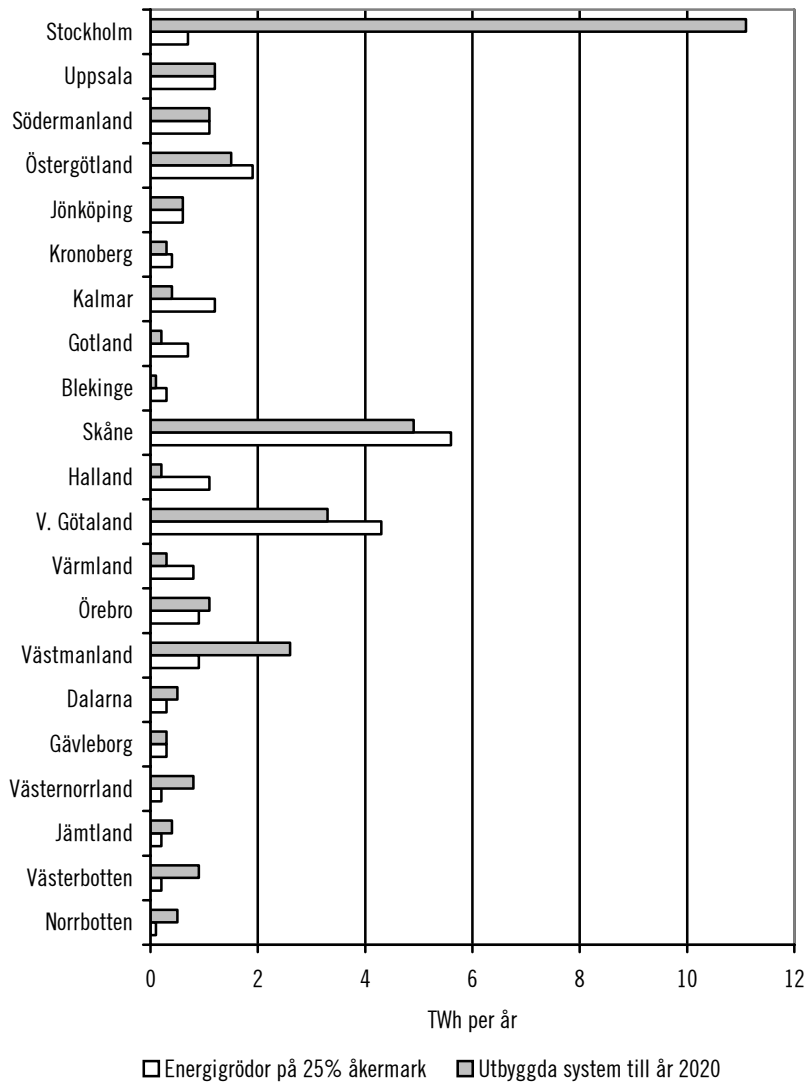
Det andra alternativet att utnyttja överskottsvärme i kraftvärmeverk som diskuteras i avsnitt 6.5 är etanolproduktion från spannmål. Detta exempel bygger också på en specifik studie vid Ena Energi (Eklund, 2007). I detta exempel bedöms cirka 20 procent av det teoretiska maximala värmeöverskottet kunna 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 bibränslen – regionala balanser

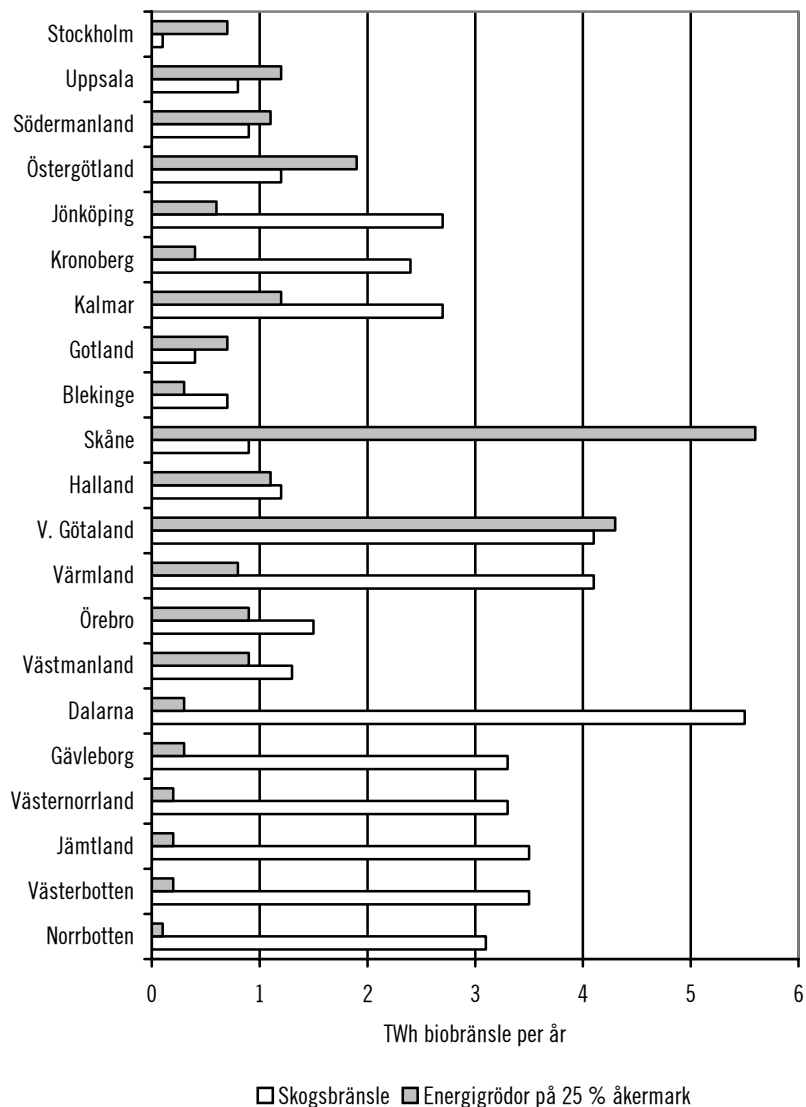
Det är relativt stora skillnader i förutsättningarna för jordbruksbaserad bibränsleproduktion mellan de län där de tekniska förutsättningarna för en ökad användning av bibränslen för fjärrvärme- och kraftvärmeproduktion bedöms vara som störst, dvs. Stockholm, Skåne, Västmanland och Västra Götaland. I Stockholms län är t.ex. tillgången på åkermark cirka 86 000 hektar (3,2 procent av Sveriges totala åkermark) medan den i Skåne är drygt fem gånger större, eller cirka 454 000 hektar (17 procent 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 procent 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 bibränsleanvändning 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, dvs. 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 procent av åkermarken medan det i Västmanland skulle finnas ett underskott. Observera att en viss del av den beräknade ökade avsättningspotentialen för bibränslen i utbyggda fjärrvärme- och kraftvärmesystem redan är utnyttjad idag (se avsnitt 7.1 och 7.2).

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



Förutom att öka användningen av jordbruksbaserade biobränslen 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 procent av åkermarken (genomsnittlig åkermark) används för odling av högavkastande energigrödor.

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 procent av åkermarken (genomsnittlig åkermark) används för odling av högavkastande energigrödor (Börjesson, 2007)



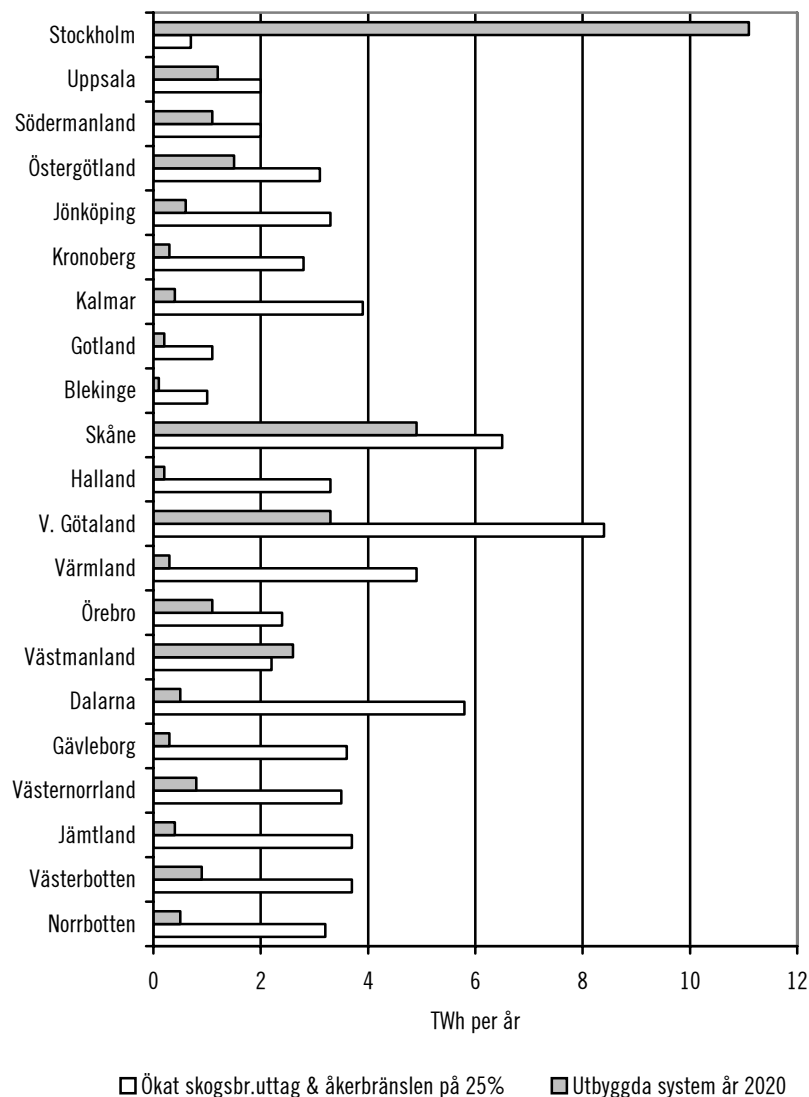
Totalt uppskattades den tekniskt tillgängliga och outnyttjade potentialen skogsbränsle uppgå till cirka 47 TWh år 2000. Denna grova uppskattning, som beskrivs mer i detalj i Börjesson (2001) och som baseras på data från bl.a. Skogsstyrelsen och SLU (Riksskogstaxering, Lönnér m.fl., 1998), ska ses som 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 procent åkermark skulle utnyttjas för högavkastande 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 procent åkermark utnyttjas för odling av högavkastande 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 procent 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).

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 procent av åkermarken (genomsnittlig åkermark) används för odling av högavkastande energigrödor (Börjesson, 2007) och efterfrågan på biobränslen 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 (dvs. 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, dvs. 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).

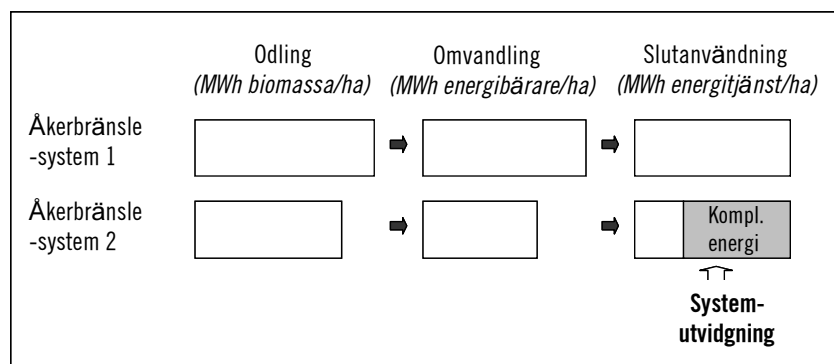
En annan faktor som har stor betydelse för hur miljöpåverkan blir när olika bioenergisystem används är vilket eller vilka referenssystem som ersätts. Om t.ex. ett bioenergisystem ersätter ett annat kan miljökonsekvenserna bli små, eller till och med negativa. Ett exempel är om biogas från vall för fjärrvärmeproduktion ersätter salixflis (se t.ex. Börjesson och Berglund, 2003; 2006b). 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 m.m. utnyttjas som råvara blir miljövinster 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 grund av olika nettoutbyten av energitjänst per hektar omotiverad.

Ett exempel på när systemutvidgning krävs (dvs. 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).

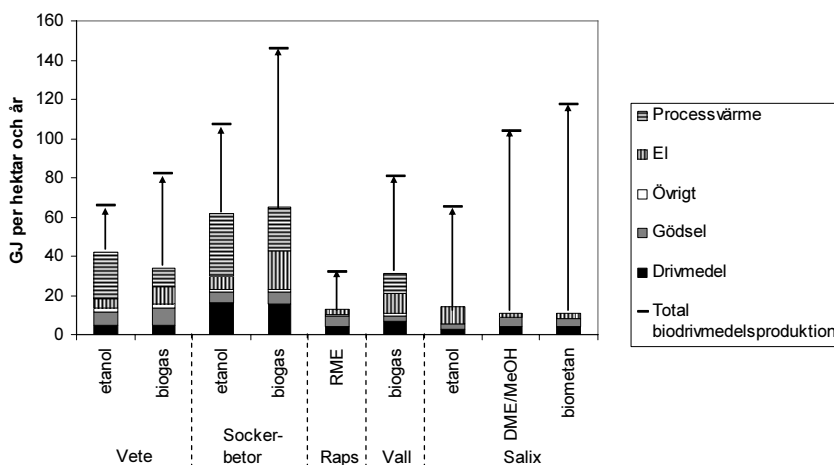
Figur 8.1 Schematisk beskrivning av principen med systemutvidgning när olika åkerbränslebaserade energisystem jämförs och när tillgången på åkermark för energiproduktion betraktas vara begränsad



8.2 Exempel på resultat från miljösystemstudier

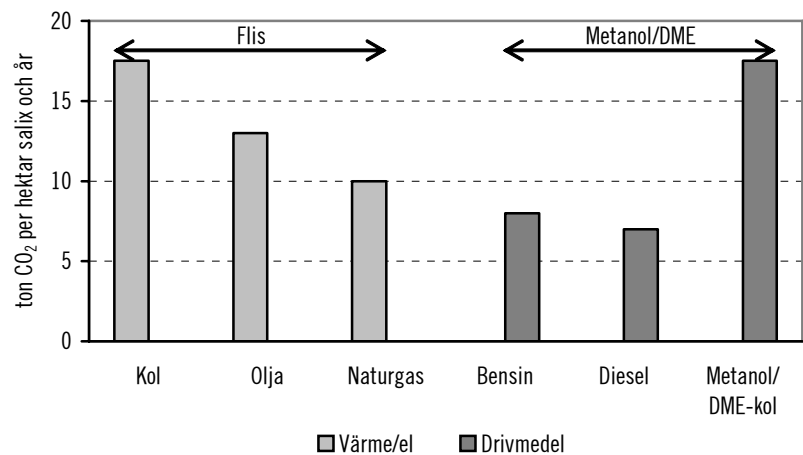
I avsnitt 5.3 redovisas netto- respektive bruttoutbytet av biodrivmedel för olika produktsystem. I dessa figurer redovisas den sammantagna energiinsatsen utan uppdelning på olika energislag. I Figur 8.2 illustreras hur mycket drivmedel man får ut per hektar när man preciserar energiinsatsen i form av 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, dvs. diesel, motsvarar 3 till 15 procent 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 bibränslen.

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 bi-produkter 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.



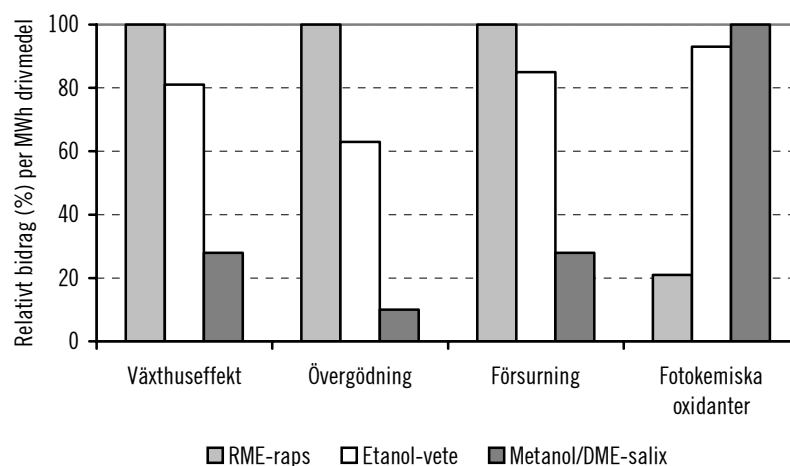
När det gäller miljöpåverkan vid drivmedelsproduktion och skillnader mellan 1:a och 2:a generationens drivmedel illustreras detta i Figur 8.4. Livscykeldata för att producera etanol från spannmål och RME från raps bygger livscykelanalyser (LCA) av Bernesson m.fl. (2004; 2006). LCA-data för salixbaserad 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 foto-kemiska oxidanter (framför allt kolväten) och därefter marknära ozon vara högst för metanol/DME från salix och etanol från spannmål (huvudsakligen på grund av 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 oljevaxter till fleråriga grödor

som energiskog bör leda till positiva effekter på den biologiska mångfalden, framför allt i intensiva jordbrukslandskap.

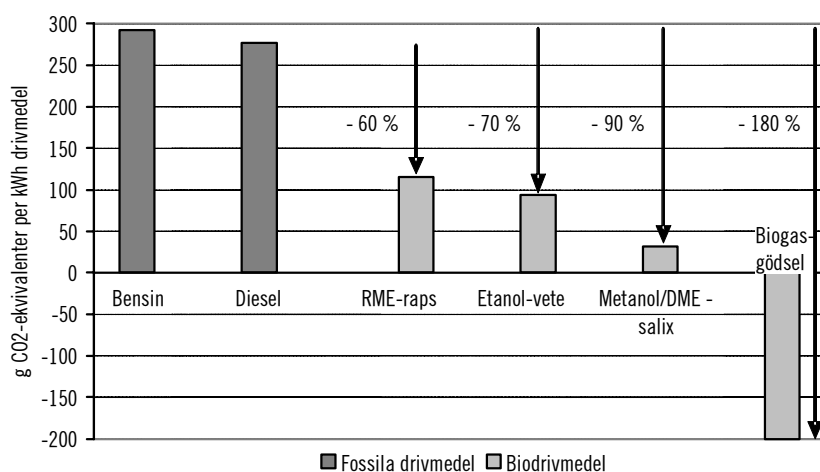
Figur 8.4 Livscykelanalys av produktion av spannmålsetanol, RME respektive metanol/DME från salix baserat på dagens odlingsförhållande i mellersta Sverige. Produktionsteknik för etanol och RME baseras på existerande teknik i Sverige samt för metanol/DME uppskattad förgasningsteknik under utveckling. 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 procent. Motsvarande reduktion när RME ersätter diesel och etanol bensin uppskattas till cirka 60 respektive 70 procent. 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; 2006b) vars resultat redo-

visas 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).

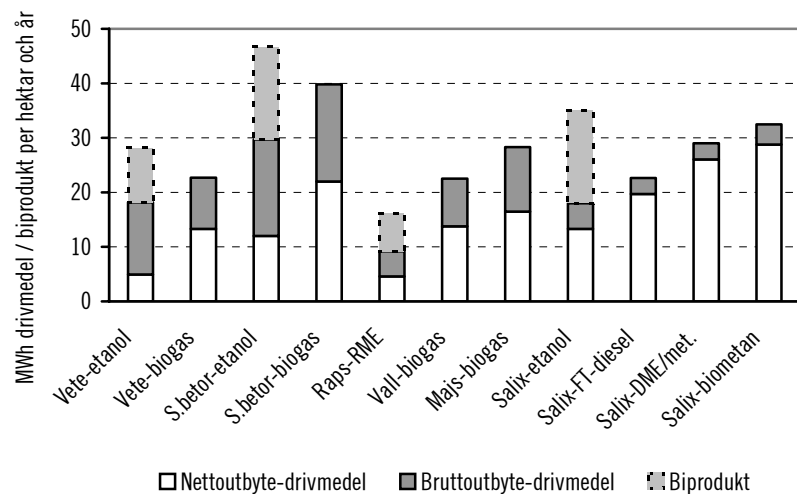
Figur 8.5 Reduktion av växthusgaser (uttryckt som koldioxidekvivalenter per kWh drivmedel) när metanol/DME från salix, etanol från vete, RME från raps respektive biogas från gödsel ersätter fossila drivmedel. Avser livscykelemissioner och baserat på dagens odlingsförhållande i mellersta Sverige. Produktionsteknik 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, dvs. 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 miljövinst 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 (netto-utbyte)

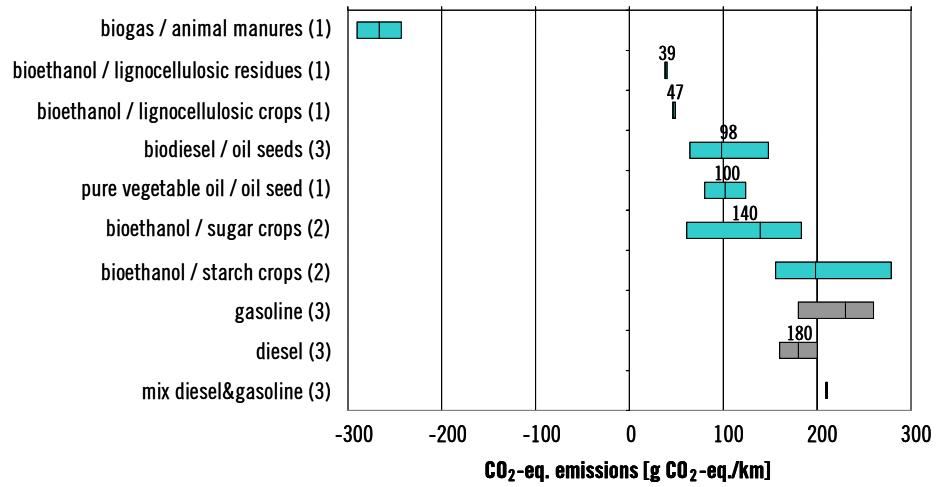


I Figur 8.7 och 8.8 redovisas resultat från en stor europeisk så kallad "well-to-wheel"-studie över nettoutsläppen av växthusgaser (uttryckt som koldioxidekvivalenter per kilometer). Detta EU-

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 procent reduktion) avseende dagens produktionsteknik och förutsättningar i EU.

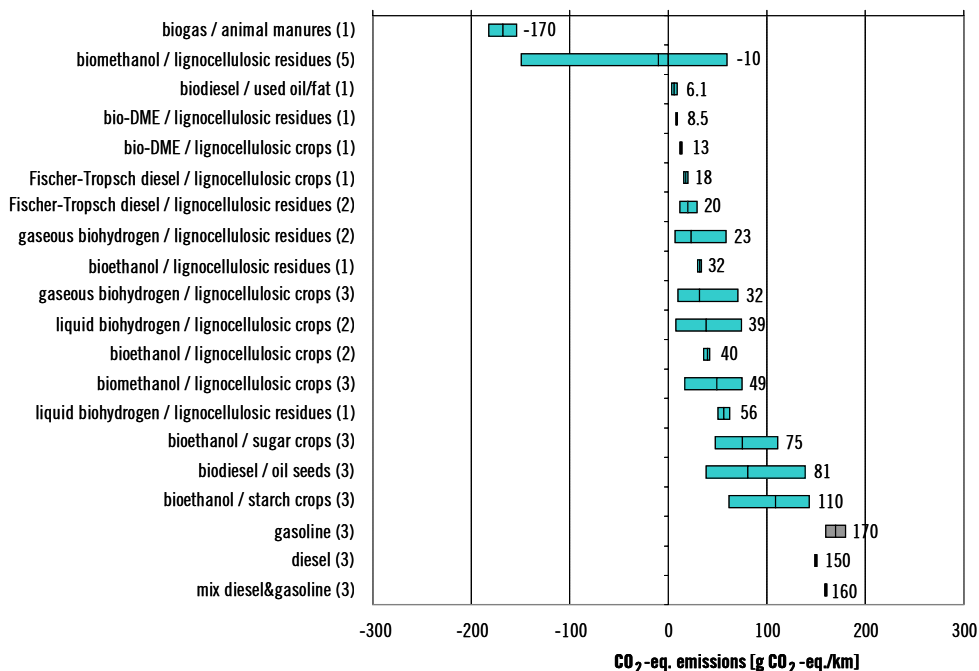
Som framgår av Figur 8.8 beräknas framtida biodrivmedel som t.ex. baseras på förgasning (DME, metanol, FT-diesel m.m.) leda till låga nettoutsläpp av växthusgaser (t.o.m. negativa när restprodukter utnyttjas). DME från energiskog beräknas t.ex. leda till en drygt 90-procent reduktion när bensin ersätts 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



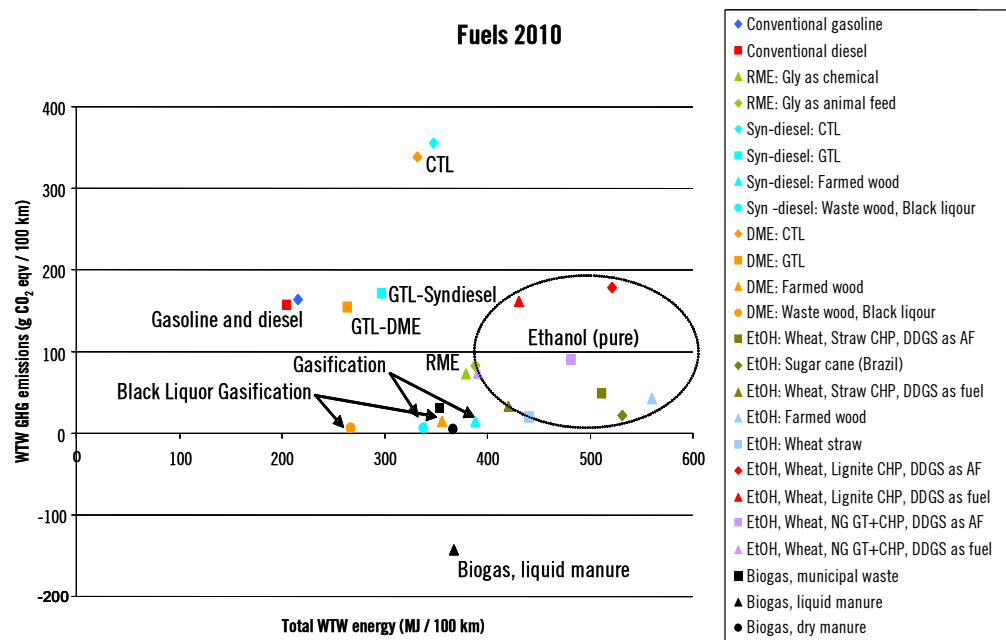
Källa: VIEWLS, 2005.

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 hjälpenergi 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 procent lägre utsläpp av växthusgaser än bensin. Om däremot naturgas används för el- och värmeproduktion blir reduktionen endast cirka 40 procent 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"



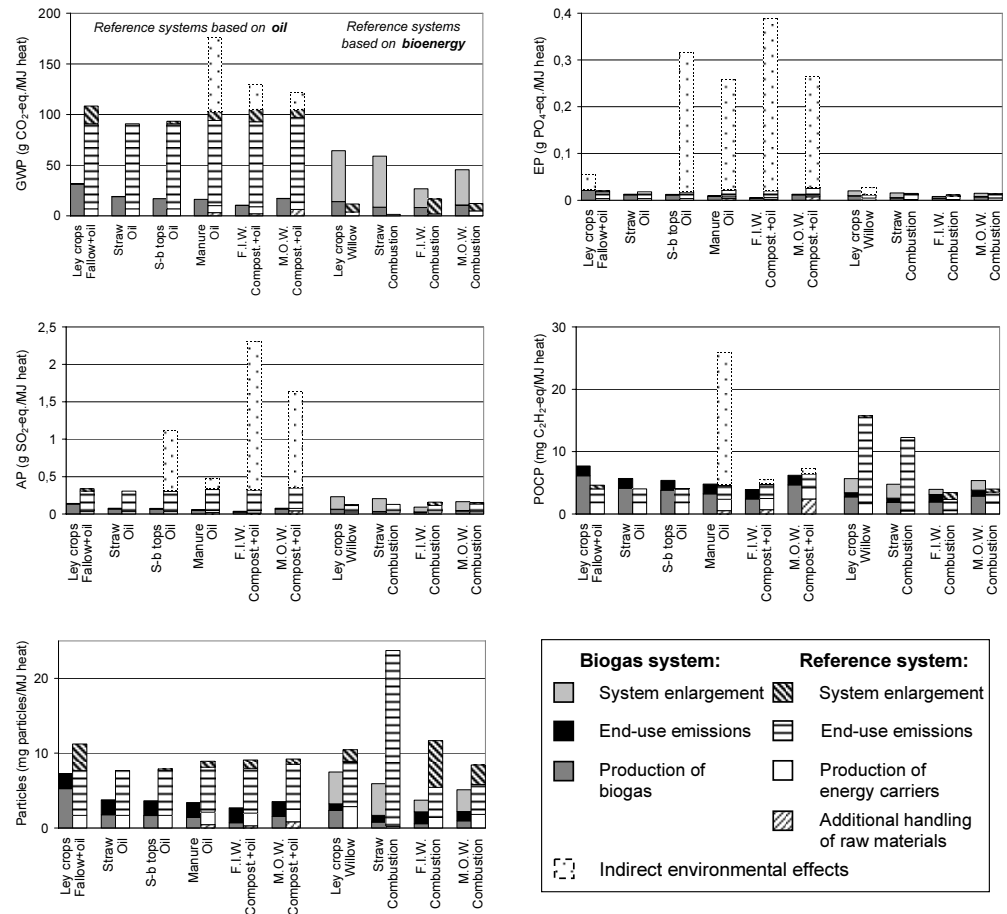
Källa: Concawe m.fl. (2005).

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; 2006a; 2006b). Systemstudien bygger på svenska förhållanden idag och de metod-

principer 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 växtnäringens utnyttjande när biogassystem introduceras. Exempel är effektivare näringsåtervinning när restprodukter utnyttjas och rötrest 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 procent för halm, 90 procent för olja, salix och avfall, samt 95 procent för biogas

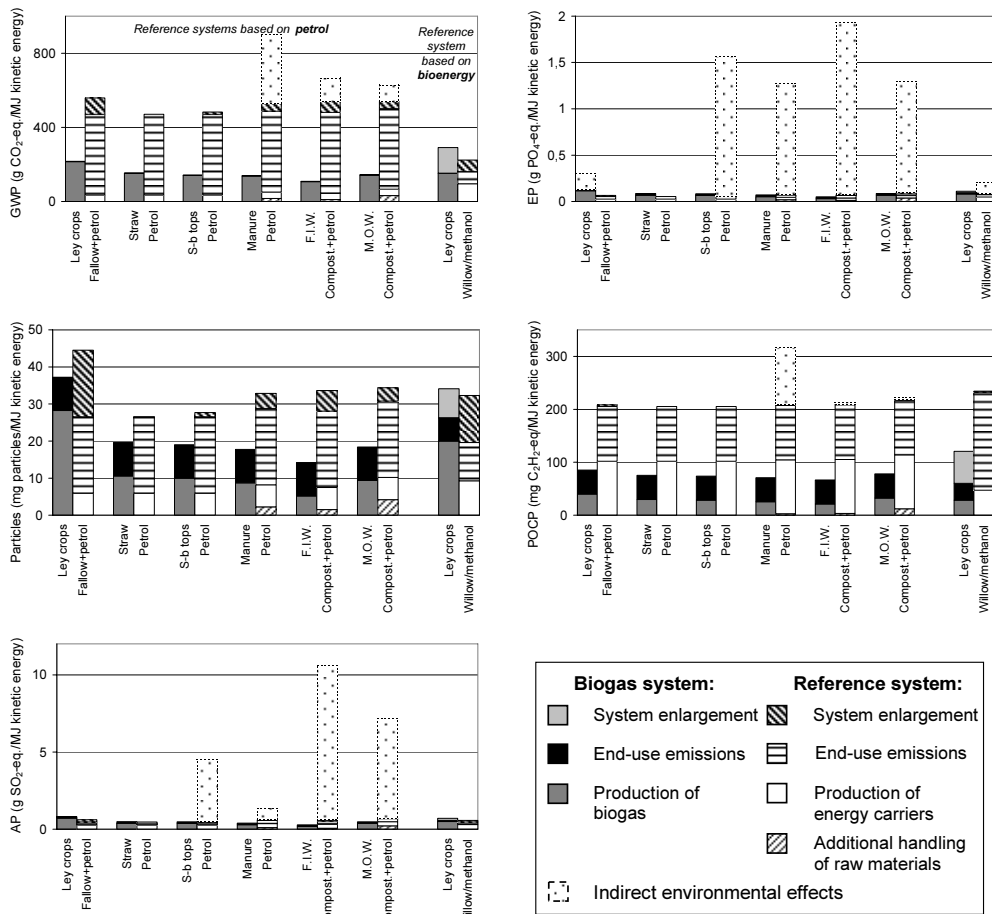


Källa: Börjesson & Berglund, 2006b.

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 värme-
produktion (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 procent för en bensinbil och 19 procent för en biogasbil



Källa: Börjesson & Berglund, 2006b.

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, dvs. 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.

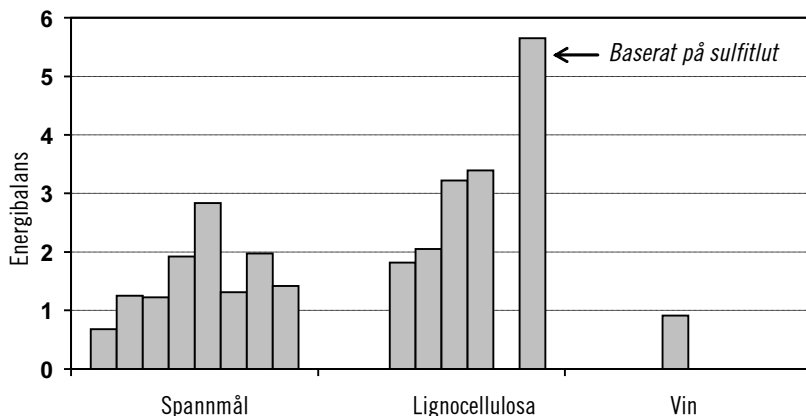
9.1 Faktorer som påverkar energiutbyte – exempel bioetanol

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).

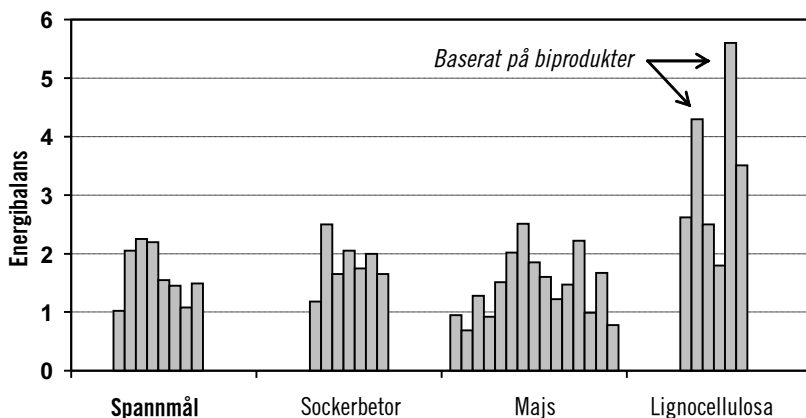
Som framgår av Figur 9.1 och 9.2 varierar den beräknade energibalansen för bioetanol stort, dels mellan olika studier, dels mellan olika råvaror. Bioetanol från lignocellulosa beräknas generellt ha högre energibalans än bioetanol från spannmål. Den högsta energibalansen för lignocellulosabaserad etanol (5,65) i Figur 9.1 avser framställning från sulfitolut 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 biomasseråvaror 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 beräknings-

metod. 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	Socker / 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 allokeringmetod 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 allokeringssmetod 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 sojaproteinfoder 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 allokeringssmetod^a

Allokeringssmetod	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 energianalyser 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 emergi-analys, och deras praktiska användbarhet är begränsad. I exergianalys beräknas inte bara energiförlusterna genom produktions-systemet 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 biobränsleproduktions-system eftersom sammansättningen av den hjälpen energi i form av fossila bränslen, el m.m. 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 solekvivalenter, eller solemergijoule (sej). Emergi kan beskrivas som "energiminne", dvs. 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.

I emergianalys 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 emergianalyser. Samma produkt, t.ex. etanol, kan ha olika transformiteter som beror på olikheter i de processer som leder fram till produkten. Resultaten av emergianalys kan presenteras i olika kvoter som utgör underlag för utvärdering av de undersökta processerna:

- a) Energi-insatskvoten, som är kvoten mellan insatserna från det ekonomiska systemet och insatserna från naturen. Kvoten mäter resurseffektivitet samt vissa aspekter av miljöbelastning.
- b) Energi-avkastningskvoten, som är kvoten mellan utgående energi och det ekonomiska systemets energi-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 energi-avkastningskvoten med miljöbelastningskvoten. Detta index ger ett sammanvägt mått på ekonomisk och ekologisk balans.

Energianalyser av t.ex. spannmålsbaserad etanol visar via energi-avkastningskvoten att etanol inte levererar något nettoenergibidrag 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 energianalys där spannmålsetanol har en positiv energibalans beror således på att "all" resursförbrukning genom hela produktionskedjan tas med vid energianalys och inte bara den hjälpenergi som inkluderas vid energianalys. Som framgår av beskrivningen ovan inkluderas även insatser i form av sol, regn, vind, mänskligt arbete m.m. i energianalys vilket inte inkluderas i energianalys. Ett exempel visar t.ex. att energibalansen för halm till färdig värme (varmvatten) är 12, att exergieffektiviteten endast är 15 procent, samt att energi-avkastningskvoten är 1,1, vilket indikerar att en stor mängd energi har förbrukats historiskt för att framställa halmbränslet.

Energianalys 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 energibegreppet kan kännas svårhanterligt. Energianalysens praktiska användbarhet är

sålendes begränsad och dess styrka ligger framför allt i beskrivningar av ekonomiska-ekologiska interaktioner och klargörande av systemstrukturer. Dessutom har emergianalys 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 har 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. Emergianalys har svårt att uppfylla dessa krav. En annan aspekt som gör emergianalys 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 energi. Emergianalys 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 emergianalys idag till stor del tillgodoses med en kombinerad användning av betydligt mer praktiskt anpassade verktyg som energianalys och livscykelanalys, tillsammans med ekonomiska analyser som t.ex. cost-benefit-analyser.

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.

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, dvs. 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 (gödsblad). 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

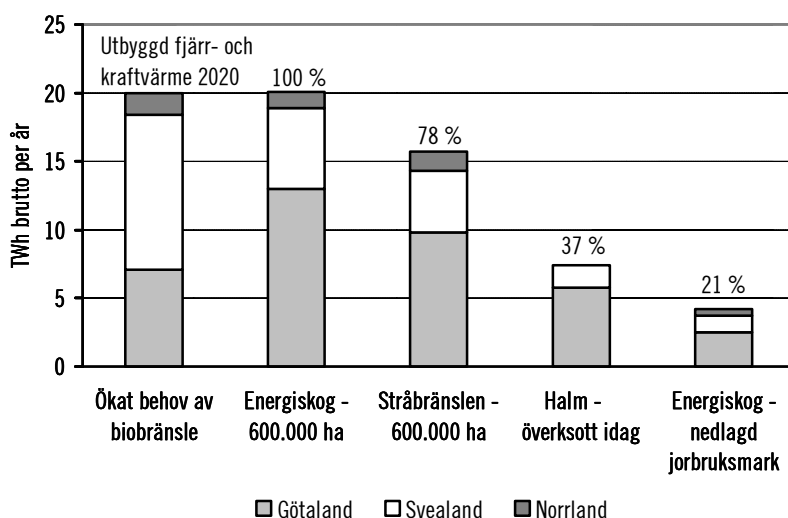
potentiell biobränsleproduktion på nedlagd jordbruksmark, se Börjesson (2007). Det är viktigt att påpeka att resultaten i Figur 10.1 enbart är ett teoretiskt räkneexempel. I praktiken kommer sannolikt den största andelen av fjärrvärme- och kraftvärmeverkens växande behov av biobränslen att tillgodoses 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 procent 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 procent åkermark i stället utnyttjas för stråbränsleproduktion minskar produktionen av biomassa med drygt 20 procent, dvs. cirka 28 procent 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 procent av behovet i Götaland. Om halm utnyttjas fullt ut skulle behovet av åkermark för odling av energiskog minska till cirka 400 000 hektar, dvs. från 22 procent till 15 procent 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 procent av behovet och samtidigt minska behovet av energiskog på åkermark till drygt 250 000 hektar, vilket motsvarar knappt 10 procent av totala åkermarksarealen.

Genom fortgående växtförädling och utveckling av odlings teknik antas avkastningen av såväl livsmedelsgrödor som energi grödor kunna öka i framtiden. En uppskattning är att förädlingspotentialen är något högre för energi grödor 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 procent

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 procent av dagens totala åkerareal) för att producera cirka 20 TWh bibränslen 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.

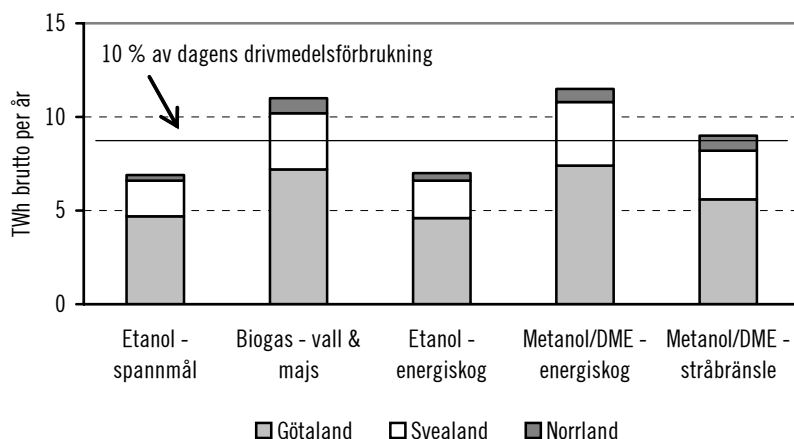
Figur 10.1 Behov av åkermark för odling av energiskog (maximalt halva arealen salix och resterande del poppel, hybridasp och gran) med dagens produktionsförutsättningar för att tillgodose ett uppskattat bibränslebehov för utbyggd fjärrvärme- och kraftvärmeproduktion kring 2020. Som jämförelse anges hur mycket stråbränslen (hälften rörlin 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 bibränslen 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, dvs. 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 procent av nuvarande drivmedelsanvändning inom transportsektorn. Nettoutbytet av etanol blir cirka 7 procent 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 procent). 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 procent). Om motsvarande biomassa utnyttjas för produktion av metanol eller DME via förgasning uppskattas cirka 11,5 TWh (brutto) drivmedel kunna produceras (netto – 4 procent). Detta motsvarar cirka 14 procent av dagens drivmedelsförbrukning. När i stället stråbränslen utnyttjas som råvara (hälften rörfen och resterande del helsäd och hampa) för metanol/DME-produktion minskar drivmedelsproduktionen till cirka 9 TWh (netto – 6 procent). Cirka 65 procent av drivmedelsproduktionen beräknas ske i Götaland, 25–30 procent i Svealand samt 5–10 procent i Norrland.

Vid förgasning av lignocellulosa eftersträvas i första hand råvaror som har så litet innehåll av näringsämnen som möjligt (kväve, fosfor, kalium osv.) 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 rörfen och hampa utnyttjas bör dessa vara skördade på vårvintern. Helsäd 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 (dvs. 22 procent av dagens åkermarksareal) utifrån dagens produktionsförutsättningar. Biprodukter från etanolproduktion (drank och lignin) samt energiinsatser för respektive produktionssystem är inte inkluderade (se avsnitt 5.3).

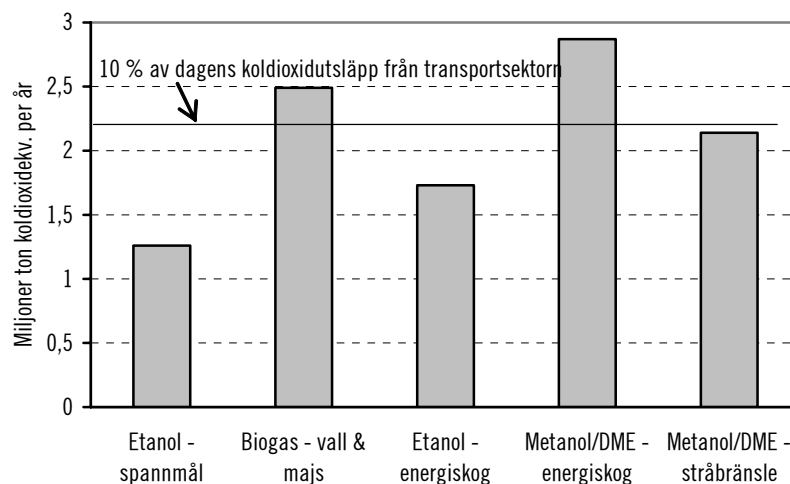


I Figur 10.3 illustreras hur stor reduktion av växthusgaser de olika drivmedelskedjorna i Figur 10.2 kan medföra när dessa ersätter bensin. Detta räkneexempel bygger på relativt grova antaganden baserat på genomsnittlig energi- och gödslingsintensitet för de olika produktionssystemen. Reduktionen av 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. bibränslen, 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 procent upp till 13 procent 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).

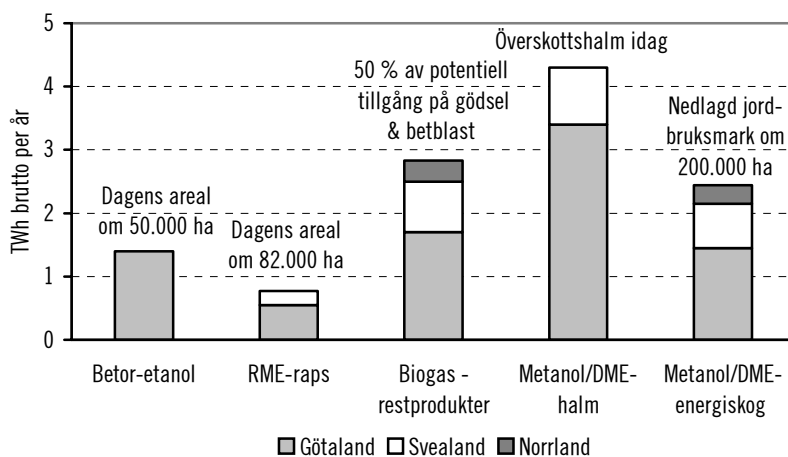


Förutom de exempel på produktionskedjor för drivmedel som illustreras i Figur 10.2 kan också andra bioråvaror utnyttjas för drivmedelsproduktion. I Figur 10.4 ges några räkneexempel kring hur mycket drivmedel som skulle kunna produceras från dagens odling av sockerbeter och oljeväxter, från restprodukter 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 för-gasning kan drygt 4 TWh brutto metanol/DME teoretiskt pro-

duceras. 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 procent av dagens koldioxidutsläpp från transportsektorn.

Figur 10.4 Bruttoproduktion av drivmedel från dagens odlingsareal av sockerbeter och oljevaxter, 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).

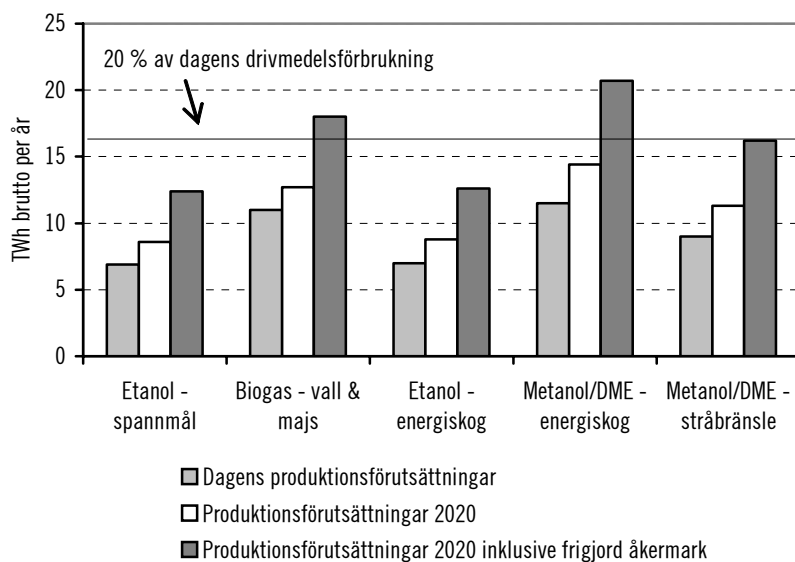


Som diskuteras ovan bedöms fortgående växtförädling och utveckling av odlingsteknik medföra att avkastningen av såväl livsmedelsgrödor som energigrödor ökar i framtiden. En uppskattning är att avkastningen av flertalet energigrödor kan öka med i genomsnitt cirka 2 procent per år till 2020 jämfört med dagens produktionsförhållanden medan motsvarande skördeökningar för traditionella livsmedels- och fodergrödor bedöms bli något lägre,

cirka 1 procent per år (se Börjesson, 2007). Om behovet av inhemskt producerade livsmedels- och fodergrödor förblir konstant kan teoretiskt ytterligare knappt 10 procent 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 procent 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 procent 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 procent av dagens drivmedelsförbrukning. Metanol/DME från energiskog skulle kunna utgöra en ännu större andel, cirka 25 procent. I dessa fall utnyttjas drygt 30 procent av dagens åkermarksareal.

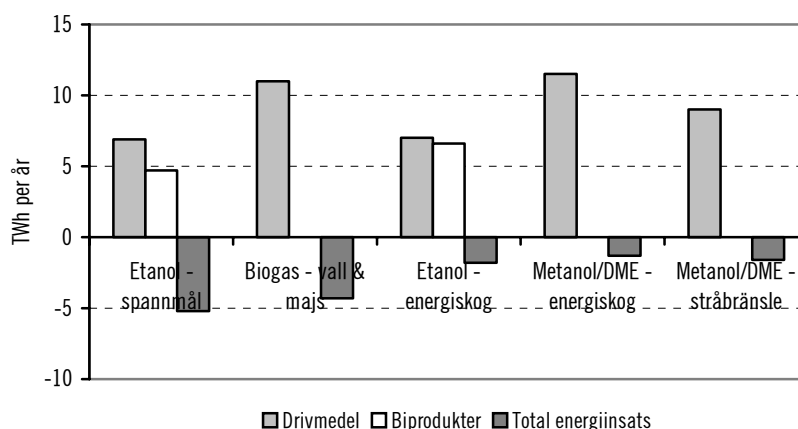
Figur 10.5 Bruttoproduktion av biodrivmedel från 600 000 hektar åkermark utifrån dagens produktionsförutsättningar respektive uppskattade produktionsförutsättningar 2020, samt från 850 000 hektar som inkluderar teoretisk frigjord åkermark för energiproduktion när behovet av inhemskt producerade livsmedels- 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 procent 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), dvs. 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. Energibehovet för detta produktsystem uppskattas till knappt 2 TWh, dvs. ungefär 25 till 30 procent 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 (dvs. 22 procent av dagens åkermarksareal) utifrån dagens produktionsförutsättningar samt produktion av biprodukter och totala energiinsatser för respektive produktionssystem.



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 procent. Andelen drivmedel som produceras är högre för förgasning, ofta kring cirka 40–45 procent för metanol/DME, jämfört med jäsnings till etanol där utbytet beräknas vara kring 20–25 procent. Andelen el kan vara relativt lika, cirka 10–15 procent, 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

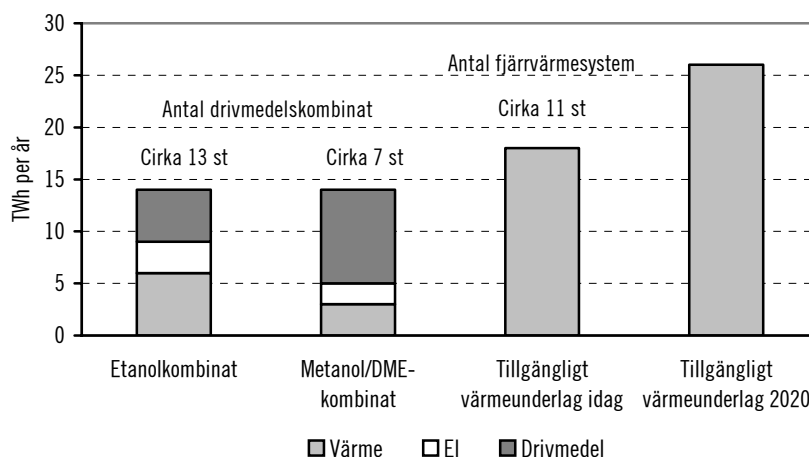
biomassa per år medan en genomsnittlig förgasningsanläggning antas vara ungefär dubbelt så stor och förbruka cirka 3 TWh per år.

I följande räkneexempel antas utbytet av överskottsvärme vara i genomsnitt cirka 30 procent i etanolkombinat respektive cirka 15 procent 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 procent 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, dvs. något färre än antalet etanolkombinat. Dessa fjärrvärmesystem levererar idag totalt cirka 18 TWh värme, dvs. 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 procent 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 procent till 2020 och motsvara cirka 26 TWh värme per år. Denna grova uppskattning baseras på att cirka 35–40 procent 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 procent 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

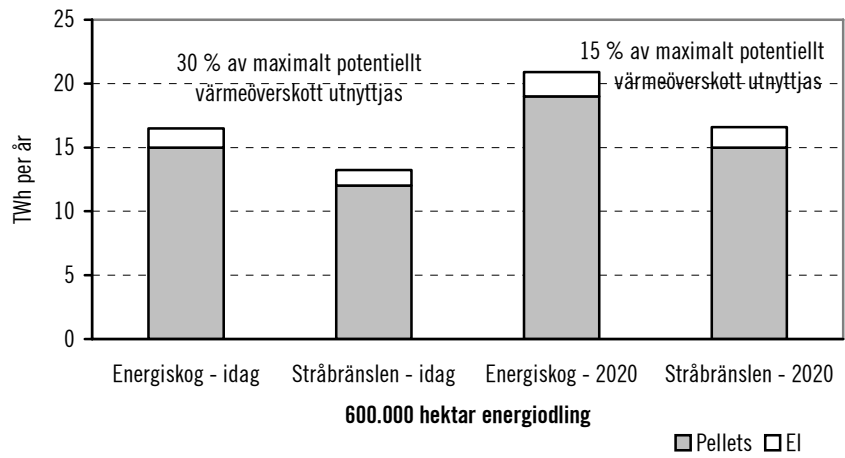


I avsnitt 6.6 och 7.4.3 diskuteras hur potentiella värmeöverskott i befintliga kraftvärmeverk kan utnyttjas för olika ändamål, t.ex. produktion av pellets eller biodrivmedel. I detta sista räkneexempel illustreras hur mycket pellets som kan produceras från färsk bio-

massa, t.ex. från ved eller stråbränslen som rörligen, 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 procent det färdiga pelletbränslets energiinnehåll (se avsnitt 6.6). Om 600 000 hektar energiskogsodling som producerar ungefär 20 TWh bibränsle 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 procent 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 procent 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, dvs. högre skördenivåer tack vare växtförädling och förbättrad odlingsteknik. En grov uppskattning är att produktionen av pellets och el kan öka med cirka 25 procent 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 procent av den maximala överskottsproduktionen av värme att utnyttjas. Som jämförelse bedömdes i en förstudie vid Ena Energi i Enköping att cirka 10 procent 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 rörflen (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 rörflen (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, dvs. 40 procent lägre).

När energigrödor utnyttjas för drivmedelsproduktion sjunker nettoenergiutbytet i form av drivmedel ofta med 25 till 50 procent 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 procent 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 procent respektive 20–35 procent 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 procent av bruttoutbytet av etanol från spannmål och sockerbetor, 80 procent av bruttoutbytet av RME samt cirka 90 procent av bruttoutbytet av etanol från lignocellulosa.

Genom att kombinera produktion av biodrivmedel och andra energibärare som el, värme, pellets m.m. 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 procent. 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 procent 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 värme- och biogasproduktion. Jämfört med nettoutbytet av drivmedel vid samproduktion av etanol och biogas blir det sammanlagda nettoutbytet av drivmedel och värme drygt 10 procent högre när dranken utnyttjas som bränsle. Däremot blir nettoutbytet av enbart drivmedel per hektar cirka 60 procent 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 procent 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 procent, 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 procent, 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 procent 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 procent 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, dvs. 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 kostnads känsligt 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, dvs. 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 procent av totala foderkonsumtionen vilket motsvarar en teoretisk avsättningspotential om cirka 700 000 ton torrsbstanshalt (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 inhemska produktion av rapsfrö således mer begränsande än avsättning av rapsmjöl inom inhemska 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 bibränslesystem. 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 inhemska 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 bibränsleproduktionsystem eftersom sammansättningen av den hjälpen energi i form av fossila bränslen, el m.m. 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 solekvivalenter, eller solemergijoule (sej). Emergi kan beskrivas som "energiminne", dvs. 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 ha 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 bensin kan reduktionen av växthusgaser uppgå till kring 90 procent. Motsvarande reduktion när RME ersätter diesel är ungefär 60 procent. Beroende på vilken typ av insatsenergi som används vid etanolproduktion varierar reduktionen av växthusgaser. Om t.ex. biobränsle används, vilket är fallet för svenskproducerad etanol, kan spannmålsetanol reducera utsläppen med cirka 70 procent när bensin ersätts. När naturgas används vid etanolproduktion minskar reduktionen till cirka 40 procent och om lignit (brunkol) används blir utsläppen t o m högre än för bensin.

Generellt fås större koldioxidreduktion per hektar energiodling när kol och olja för el- och 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 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 procent. 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 biobränslen.

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 livscykel-synpunkt. 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 oljeväxter 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 procent av dagens åkermarksareal) bestående av en mix av salix, poppel, hybridasp och gran. Om stråbränslen som rörflen, helsäd och hampa odlas i stället krävs cirka 20 procent mer åkermark. Om tillgången på halm för energiändamål utnyttjas fullt ut minskar

behovet av energiskogsodling till motsvarande 15 procent 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 procent av åkermarken. Genom växtförädling och förbättrade odlingsmetoder bedöms produktiviteten i energiodlingar kunna öka med cirka 25 procent 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 procent av dagens drivmedelsförbrukning i Sverige. För att producera dessa biodrivmedel krävs fossila drivmedel (diesel) som motsvarar 4 till 8 procent 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 koldioxidekvivalenter per år beroende av vilket system som avses och när bensin ersätts. Högst reduktion ger metanol/DME från energiskog som motsvarar ungefär 13 procent 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 procent 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 procent. 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 procent. System baserat på biogas från vall och majs

respektive metanol/DME från stråbränslen genererar i detta fall drivmedel som ungefär motsvarar 20 procent av dagens drivmedelsförbrukning. Metanol/DME från energiskog skulle kunna utgöra en ännu större andel, cirka 25 procent.

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 koldioxid-ekvivalenter 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 procent 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 procent 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 (dvs. motsvarande ungefär 25–30 procent 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 etanol-kombinat bör den lägre produktionen av överskottsvärme leda till något större förutsättningar för integration med t.ex. fjärrvärme-system. Genom en fortsatt utbyggnad av fjärrvärme- och kraftvärmeproduktion bedöms det potentiella värmeunderlaget för drivmedelskombinat kunna öka med drygt 40 procent 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 procent 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 procent lägre. Med de produktionsförutsättningar som antas gälla kring 2020 kan produktionen av pellets och el öka med cirka 25 procent från samma odlingsareal. Samtidigt bedöms endast cirka 15 procent 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 högvärdigaste 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 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 Mjolk, 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 Biogasanlagenbetrieber. 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 Mjolk, Eskilstuna. Personlig kommunikation.
- Zacchi, G. (2006). Personlig kommunikation, Lunds Universitet, Lund.

Statens offentliga utredningar 2007

Kronologisk förteckning

1. Telefonsäljning. Jo.
2. Från socialbidrag till arbete.
+ Bilaga. Fördjupningsstudier.
+ Lätläst. Sammanfattning. S.
3. Föräldraskap vid assisterad befruktning. Ju.
4. Trafikinspektionen
– en myndighet för säkerhet och skydd inom transportområdet. N.
5. Summa summarum – en fristående myndighet för utredning av anmälningar om brott av poliser och åklagare? Ju.
6. Målsägandebiträdet.
Ett aktivt stöd i rättsprocessen. Ju.
7. Den nya inskrivningsmyndigheten. M.
8. Nya förutsättningar för ekobrottsbekämpning. Ju.
9. Svenskan i världen. UD.
10. Hållbar samhällsorganisation med utvecklingskraft. Fi.
11. Regional utveckling och regional samhällsorganisation. Fi.
12. Hälso- och sjukvården. Fi.
13. Staten och kommunerna – uppgifter, struktur och relation. Fi.
14. Renovering av bostadsmarknad efterlyses!
Om ungas möjligheter till en egen bostad.
Rapport nr 1:
Om bara någon kunde säga vad jag ska göra för att få en bostad så skulle jag göra det.
Rapport nr 2:
Måste man ha tur?
Studier av yngre på bostadsmarknaden i svenska städer.
Rapport nr 3:
Effektiv bostadsservice och förmedling av bostäder – ur ett dubbelt användarperspektiv.
Rapport nr 4:
Unga vuxna på bolånemarknaden. M.
15. Stöd för framtiden – om förutsättningar för jämställdhetsintegrering.
Idébok:
Jämställd medborgarservice. Goda råd om jämställdhetsintegreringen. En idébok för chefer och strateger.
Metodbok:
JämStöd Praktika. Metodbok för jämställdhetsintegrering. IJ.
16. Ändrad könstillhörighet – förslag till ny lag. S.
17. Äktenskap för par med samma kön. Vigsselfrågor. Ju.
18. Arbetsmarknadsutbildning för bristyrken och insatser för arbetslösa ungdomar. N.
19. Friskare tänder – till rimliga kostnader. S.
20. Administrativa sanktioner på yrkesfiskets område. Jo.
21. GMO-skador i naturen och Miljöbalkens försäkringar. M.
22. Skyddet för den personliga integriteten. Kartläggning och analys. Del 1+2. Ju.
23. Genomförande av tredje penningtvättsdirektivet. Fi.
24. Veterinär fältverksamhet i nya former. Jo.
25. Plats för tillväxt? Fi.
26. Alternativ tvistlösning. Ju.
27. Auktorisation av patentombud. N.
28. Tydliga mål och kunskapskrav i grundskolan. Förslag till nytt mål- och uppföljningssystem. U.
29. Hur tillämpas expropriationslagens ersättningsbestämmelser? Ju.
30. Två nya statliga specialskolor.
+ Lätläst+ Daisy. U.
31. Alltid redo! En ny myndighet mot olyckor och kriser. Fö.
32. Tillväxt genom turistnäringen. N.
33. Släpvnagskörning med B-körkort – när kan de nya EU-reglerna börja tillämpas? N.

34. Skolgång för barn som skall avvisas eller utvisas. Ju.
35. Flyttning och pendling i Sverige. Fi.
36. Bioenergi från jordbruket – en växande resurs. + Bilagedel. Jo.

Statens offentliga utredningar 2007

Systematisk förteckning

Justitiedepartementet

- Föräldraskap vid assisterad befruktning. [3]
Summa summarum – en fristående myndighet för utredning av anmälningar om brott av poliser och åklagare? [5]
Målsägandebiträdet.
Ett aktivt stöd i rättsprocessen. [6]
Nya förutsättningar för ekobrottsbekämpning. [8]
Äktenskap för par med samma kön.
Vigsselfrågor. [17]
Skyddet för den personliga integriteten.
Kartläggning och analys. Del 1+2. [22]
Alternativ tvistlösning. [26]
Hur tillämpas expropriationslagens ersättningsbestämmelser? [29]
Skolgång för barn som skall avvisas eller utvisas. [34]

Utrikesdepartementet

- Svenskan i världen. [9]

Försvarsdepartementet

- Alltid redo! En ny myndighet mot olyckor och kriser. [31]

Socialdepartementet

- Från socialbidrag till arbete.
+ Bilaga. Fördjupningsstudier.
+ Lättläst. Sammanfattning. [2]
Ändrad könstillhörighet – förslag till ny lag. [16]
Friskare tändar – till rimliga kostnader. [19]

Finansdepartementet

- Hållbar samhällsorganisation med utvecklingskraft. [10]
Regional utveckling och regional samhällsorganisation. [11]
Hälso- och sjukvården. [12]

- Staten och kommunerna – uppgifter, struktur och relationer. [13]

- Genomförande av tredje penningtvättsdirektivet. [23]

- Plats för tillväxt? [25]

- Flyttning och pendling i Sverige. [35]

Utbildningsdepartementet

- Tydliga mål och kunskapskrav i grundskolan.
Förslag till nytt mål- och uppföljningssystem. [28]

- Två nya statliga specialskolor.
+ Lättläst + Daisy. [30]

Jordbruksdepartementet

- Telefonförsäljning. [1]

- Administrativa sanktioner på yrkesfiskets område. [20]

- Veterinär fältverksamhet i nya former. [24]

- Bioenergi från jordbruket – en växande resurs.
+ Bilagedel. [36]

Miljödepartementet

- Den nya inskrivningsmyndigheten. [7]

- Renovering av bostadsmarknad efterlyses!

- Om ungas möjligheter till en egen bostad.

- Rapport nr 1:

- Om bara någon kunde säga vad jag ska göra för att få en bostad så skulle jag göra det.

- Rapport nr 2:

- Måste man ha tur?

- Studier av yngre på bostadsmarknaden i svenska städer.

- Rapport nr 3:

- Effektiv bostadsservice och förmedling av bostäder – ur ett dubbelt användarperspektiv.

- Rapport nr 4:

- Unga vuxna på bolånemarknaden. [14]

- GMO-skador i naturen och Miljöbalkens försäkringar. [21]

Näringsdepartementet

Trafikinspektionen

– en myndighet för säkerhet och skydd inom transportområdet. [4]

Arbetsmarknadsutbildning för bristyrken och insatser för arbetslösa ungdomar. [18]

Auktorisation av patentombud. [27]

Tillväxt genom turistnäringen. [32]

Släpvnagskörning med B-körkort
– när kan de nya EU-reglerna börja tillämpas? [33]

Integrations- och jämställdhetsdepartementet

Stöd för framtiden – om förutsättningar för jämställdhetsintegrering.

Idébok:

Jämställd medborgarservice. Goda råd om jämställdhetsintegreringen. En idébok för chefer och strateger.

Metodbok:

JämStöd Praktika. Metodbok för jämställdhetsintegrering. [15]