



LUND UNIVERSITY

Produktionsförutsättningar för bibränslen inom svenskt jordbruk

Börjesson, Pål

2007

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Börjesson, P. (2007). *Produktionsförutsättningar för bibränslen inom svenskt jordbruk*. (IMES/EESS Rapport nr 61; Vol. 61). Miljö- och energisystem, LTH, Lunds universitet.

Total number of authors:

1

General rights

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

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

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

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

Take down policy

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

LUND UNIVERSITY

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



LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
Lunds universitet

Institutionen för teknik och samhälle
Avdelningen för miljö- och energisystem

Produktionsförutsättningar för biobränslen inom svenskt jordbruk

Pål Börjesson

Rapport nr 61

Maj 2007

ISSN 1102-3651
ISRN LUTFD2/TFEM--07/3052--SE + (1-87)
ISBN 91-88360-85-7
© Pål Börjesson

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

Dokumenttitel och undertitel

Produktionsförutsättningar för biobränslen inom svenskt jordbruk

Sammandrag

Tidigare bedömningar av jordbrukets biobränslepotential bygger ofta på grova uppskattningar om genomsnittliga skördenivåer och produktionsförutsättningar och beaktar sällan regionala och lokala skillnader. Syftet med denna rapport är att analysera och beskriva produktionsförutsättningarna för biobränslen inom svenskt jordbruk och hur dessa kan variera utifrån olika faktorer. Slutsatsen är att jordbrukets produktionspotential kan variera väsentligt beroende på vilka energigrödor och odlingsystem som väljs, vilken typ av åkermark som utnyttjas och var i landet odlingen sker. Dessutom finns en potential att utnyttja restprodukter inom jordbruket för energiändamål. Hur stor den faktiska biobränsleproduktionen blir i framtiden styrs framför allt av ekonomiska överväganden vilka inte inkluderas här. Resultaten i denna rapport kan utnyttjas för att klargöra vilka konsekvenser olika satsningar på specifika energigrödor, odlingsystem, produktionsområden mm får för jordbrukets potential att producera bioenergi.

Rapporten inleds med en beskrivning av dagens jordbruksproduktion i energitermer, d v s hur mycket biomassa som produceras i nuvarande växtodling och hur mycket insatsenergi som krävs, samt de regionala skillnaderna i skördeavkastning. Dessutom analyseras hur skördenivåer kan skilja på lokal nivå samt på gårdsnivå beroende av varierande produktionsförutsättningar. Därefter diskuteras tillgången på nedlagd jordbruksmark för energiproduktion och dess produktionsförmåga.

I rapporten analyseras tillgången av restprodukter som halm, blast och gödsel för energiändamål samt hur dessa tillgångar skiljer mellan olika produktionsområden. Därefter görs en genomgång av potentiella energigrödor samt hur skördenivåer och odlingsförutsättningar varierar i olika delar av landet. Här analyseras också grödornas energieffektivitet, d v s hur mycket insatsenergi som krävs för odling och skörd i förhållande till energiskörden, samt potentiella skördeökningar i framtiden. Baserat på ovanstående information görs ett antal räkneexempel i syfte att beskriva hur mycket biobränslen jordbruket kan producera beroende på hur mycket åkermark som utnyttjas, var i landet denna finns, dess produktionsförmåga samt vilka energigrödor som utnyttjas. Avslutningsvis diskuteras vilka konsekvenser olika grödor och produktionssystem kan få ur miljösynpunkt.

Nyckelord

Jordbruk, biobränslen, energigrödor, restprodukter, produktionsförutsättningar

Omfång	Språk	ISRN
87 sidor	Svenska Sammandrag på engelska	ISRN LUTFD2/TFEM--07/3052--SE + (1-87)
ISSN	ISBN	
ISSN 1102-3651	ISBN 91-88360-85-7	
Intern institutionsbeteckning		
Rapport nr 61		

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

Title and subtitle

Production conditions of bioenergy in Swedish agriculture

Abstract

The overall aim of this report is to analyse and describe the production conditions of bioenergy in Swedish agriculture and how these conditions can vary due to different factors. The conclusion is that the potential for producing bioenergy in Swedish agriculture will vary significantly depending on which energy crops are cultivated, which type of agricultural land is utilised and the geographical location of the production. Furthermore, different crop residues and other by-products from agriculture, utilised for energy purposes, will affect the bioenergy potential. To which extent this physical/biological potential will be utilised in the future depends mainly on economic conditions and financial considerations. These aspects are not included in this study.

The report starts with a description of current crop production in Sweden, expressed in energy terms, the energy needed for this production and the regional variation in crop yields. The local variations in cultivation conditions are also analysed, as well as variations over the area of a single farm. Another aspect discussed is the production conditions of energy crops on previous farm land not currently utilised.

The report includes an analysis of the potential supply of crop residues and other by-products for energy purposes, such as straw, tops and leaves of sugar beets, manure etc, as well as the regional variation of these residues and by-products. A similar analysis is made of the regional production conditions and potential biomass yields of traditional crops and new energy crops. These analyses also include energy balance calculations showing the energy input needed for different production systems in relation to the harvested biomass yield, and the potential for increased biomass yields in the future. Based on the findings of these various analyses, calculations are made showing some examples of how much bioenergy Swedish agriculture can deliver, depending on how much agricultural land is utilised for energy production, the geographical location of this land and its productivity, and which energy crops are grown. The report ends with a discussion of the environmental impact of an increased implementation of different bioenergy production systems.

Keywords

Agriculture, bioenergy, energy crops, residues, production conditions

Number of pages	Language	ISRN
87	Swedish, English abstract	ISRN LUTFD2/TFEM--07/3052--SE + (1-87)
ISSN		ISBN
ISSN 1102-3651		ISBN 91-88360-85-7

Department classification

Report No. 61

Förord

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

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

Lund, maj 2007

Pål Börjesson

Innehållsförteckning

1.	Bakgrund.....	2
2.	Syfte.....	3
3.	Metod.....	4
4.	Dagens biomassaproduktion inom jordbruket	5
	4.1 Nationell nivå.....	5
	4.2 Regional nivå	11
	4.3 Lokal nivå	18
	4.4 Gårdsnivå	22
5.	Nedlagd jordbruksmark	25
	5.1 Uppskattad areal	25
	5.2 Avkastningsnivåer	29
6.	Restprodukter från jordbruket för energiändamål - produktionsförutsättningar	30
	6.1 Växtrester från odling	30
	6.2 Gödsel från animalieproduktion.....	33
7.	Odling av energigrödor – produktionsförutsättningar.....	36
	7.1 Salix	36
	7.2 Rörflen	38
	7.3 Hampa	40
	7.4 Majs	41
	7.5 Poppel	42
	7.6 Hybridasp	43
	7.7 Gran	44
	7.8 Andra energigrödor.....	46
8.	Traditionella grödor för energiändamål - förädlingspotential	48
9.	Energiskördeavkastning och resurseffektivitet – en summering	53
10.	Potentiell bibränsleproduktion från jordbruket – några räkneexempel	61
11.	Miljökonsekvenser av ökad bioenergiproduktion.....	71
12.	Slutsatser och diskussion	77
13.	Referenser	83

1. Bakgrund

Historiska bedömningar av jordbrukets bioenergi-potential 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 mm, vilket kräver analyser med tillräckligt hög geografisk upplösning för att få mer tillförlitliga uppskattningar. I tidigare analyser beaktas oftast också enbart bruttoproduktionen av bioenergi, d v s 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 produktionskostnader i olika regioner samt i jämförelser med de avsättningsmöjligheter olika biobränslen 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 mm. Avkastningen för olika energigrödor inom olika produktionsområden anges både som brutto- respektive nettoproduktion av bioenergi, d v s 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 mm. 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 mm 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 (d v s 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, d v s energiåtgång för framställning av de använda energislagen samt förluster vid omvandling och distribution av dessa är inkluderat. Ingen hänsyn har tagits till skillnader i energikvalitet (jämför exergi), d v s insatsenergi i form av fossil energi respektive producerad energi i form av biomassa betraktas lika ur energisynpunkt (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 (d v s biodrivmedel, biobaserad el osv) ökar insatserna av primärenergi med cirka 30 till 45 % 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% vallodling, 38% spannmålsodling, 9% övrig odling samt 12% träda (Tabell 4.1).

Tabell 4.1. Åkermarksanvändningen 2005.¹

	Areal (1000 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	1088	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	2684	100

¹ Baserat på Jordbruksverket och SCB (2006). Avrundat till 1000-tal hektar.

² Inklusive obligatorisk träda, cirka 4,5 %, och frivillig träda, cirka 7,5 %.

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 mm (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 kärnskörda 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 mm.

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% antas hektarskörden i medeltal bli cirka 5 ton torrsubstans per hektar. Detta motsvarar cirka 40% av den genomsnittliga skörden av sockerbetar, 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% blir hektarskörden i medeltal ungefär 2,7 ton torrsubstans. Detta motsvarar cirka 30% av den genomsnittliga skörden av potatis, uttryckt per kg torrsubstans. I praktisk potatisodling 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 2003-2005. ¹

	Mängd biomassa (1000 ton per år)	Vattenhalt ² (%)	Energinnehåll ³ (MWh per ton torrsubstans)	Total energiproduktion (TWh per år)
Vete	2400	14	5,1	10,5
Korn	1700	14	5,1	7,5
Havre	1000	14	5,5	4,7
Övrig spannmål	600	14	5,1	2,6
Baljväxter	100	15	5,2	0,4
Vall och grönfoder	3800	16,5	4,9	15,5
Potatis	1000	80	4,8	1,0
Socketbetor	2500	76	4,9	3,0
Oljeväxter	200	9	7,7	1,4
<i>Summa</i>				<i>47</i>
Halm - vete	2600	15	5,0	11
Halm - korn	1400	15	5,2	6,2
Halm - havre	1300	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	1700	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 mm samt indirekt energianvändning i form av handelsgödsel, utsäde mm. 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, d v s 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 % av bruttoenergiproduktionen. Energiinsatserna vid växtodling har minskat över åren tack vare fortgående teknikutveckling med effektivare markbearbetning, skördeteknik, produktion av insatsmedel o s v (Börjesson, 1996;1994). Denna

teknikutveckling antas kunna fortgå vilket leder till fortsatt effektivisering, t ex genom utveckling av plöjningsfri odling, kombisådd o s v.

Tabell 4.3. Beräknat energibehov vid svensk växtodling idag.¹

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
Bevattnings	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 Inklusiv torkning.

³ Exklusiv 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 höstvet är framför allt p g a att vårkorn har en lägre hektarskörd än höstvet. Energiinsatsen i form av jordbearbetning, sådd mm är ungefär lika för de olika spannmålsslagen, 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 produktionsområden.¹

Gröda	Energiinsats (% av bruttoenergiskörd)	Energi-balans (kvot mellan bruttoenergiskörd och energiinsats)
Höstvete	12 - 15	8 - 7
Höstvete 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
Sockerbetor	11-12	9 - 8
Sockerbetor 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 produktionen av gödsel per djur varierar denna beroende på foderstat, intensiteten i djurproduktionen mm, d v s dessa värden är behäftade med en relativt stor osäkerhet. En övergång från uppbundna till mer frigående djur leder 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, d v s 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 % av korna tillbringar natten inne under betesperioden (SCB, 2004). En uppskattning i denna studie är att 75-80 % av bruttoproduktionen av gödsel samlas in och sprids på åkermark och 20-25 % 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 % 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 2005. ¹

Djurslag	Antal	Mängd gödsel per djur (ton ts per år)	Total mängd gödsel (1000 ton ts per år)	Total energimängd ² (TWh per år)
Mjölkkor	398 000	2,8	1100	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
Kyklingar	7 710 000	0,0020	15	0,07
Hästar	283 000	1,5	420	2,0
Summa				14,2

¹ Avser bruttoproduktion, d v s inkluderar även den andel gödsel som faller på betesmark under betesperioden vilket beräknas utgöra 20-25 %.

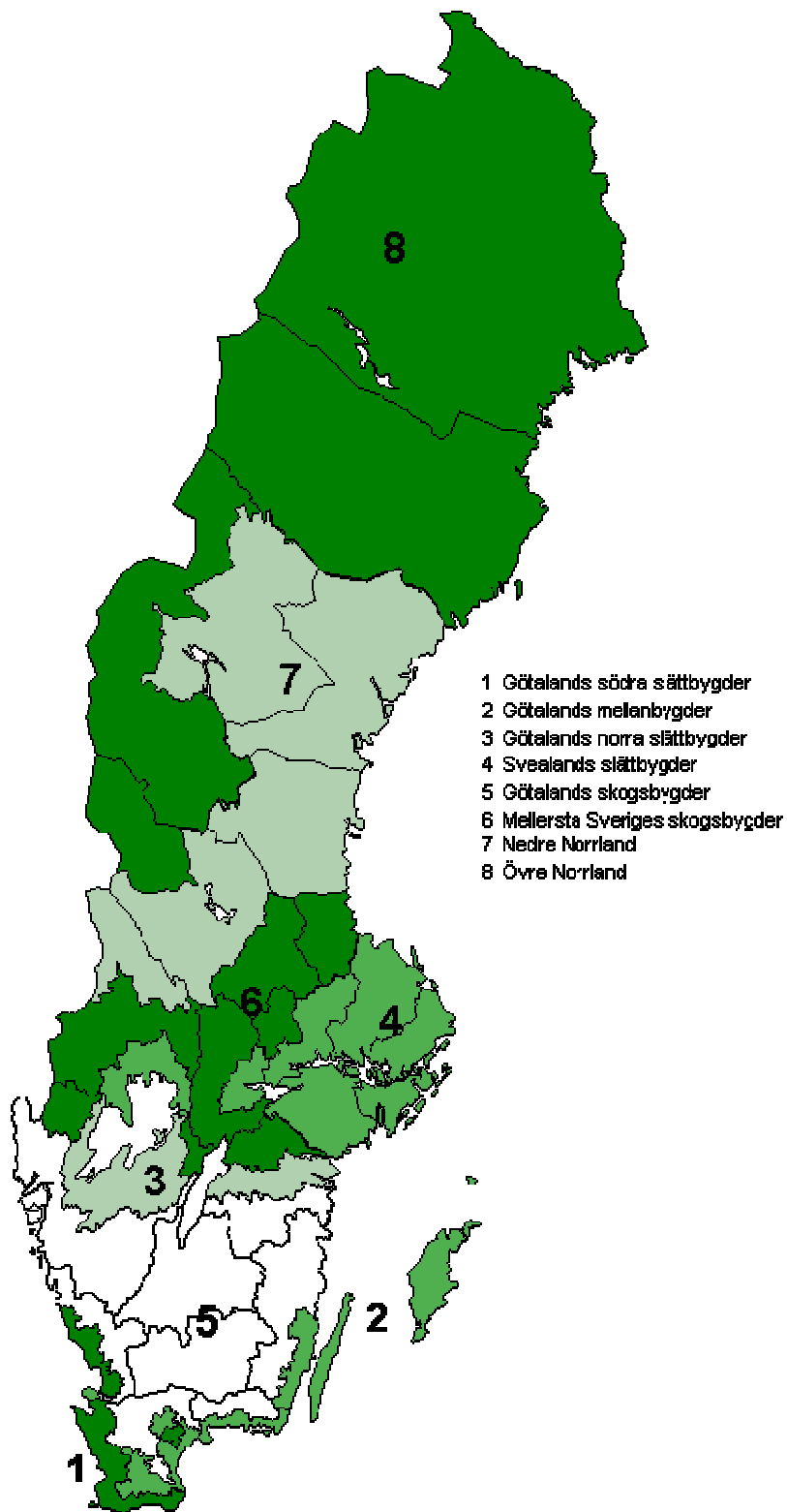
² Energiinnehållet i gödsel antas uppgå till i genomsnitt 4,8 MWh per ton torrsubstans.

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 mm 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 % av Sveriges åkermark för spannmålsodling respektive vallodling. Fördelningen mellan olika produktionsområden skiljer dock avsevärt. Till exempel används cirka 50 % av åkerarealen i Götalands och Svealands slättbygder för spannmålsodling medan andelen vallodling är mellan 50 och 75 % i Götalands och Svealands skogsbygder samt i Norrland. Andelen träda är som högst i Svealands slättbygder, cirka 40 % högre än genomsnittet, medan det är lågt i Götalands södra slättbygder, cirka 40 % lägre än genomsnittet. Träda inkluderar såväl obligatorisk som frivillig träda där den obligatoriska delen utgör cirka 5 % 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.



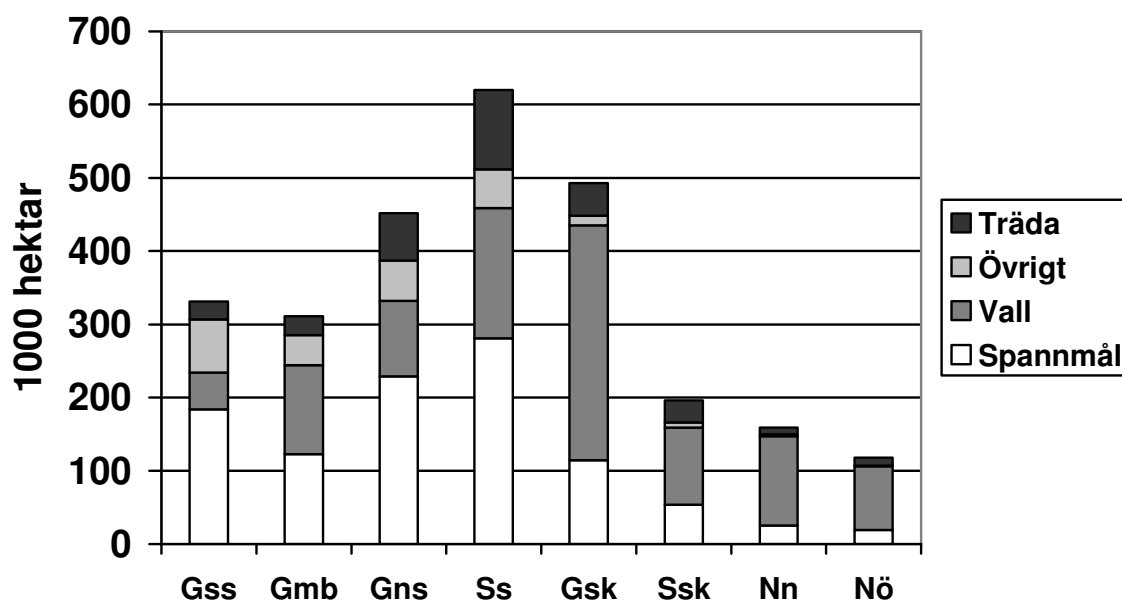
Figur 4.1. Indelning av Sveriges åkermark i olika produktionsområden (källa: SCB)

Tabell 4.6. Förekomst av åkermark inom Sveriges åtta olika produktionsområden samt dagens markanvändning.¹

Produktionsområde	Areal		Spannmål	Vall	Övrigt	Träda ²
	(1000 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 Inklusive 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 (1000 ha).¹

Produktionsområde	Spannmål					Oljeväxter	Sockerbeter	Baljväxter	Potatis
	Höstvete	Vårvete	Vårkorn	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 sen 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 kött djursproduktion. 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 produktionsområden.¹

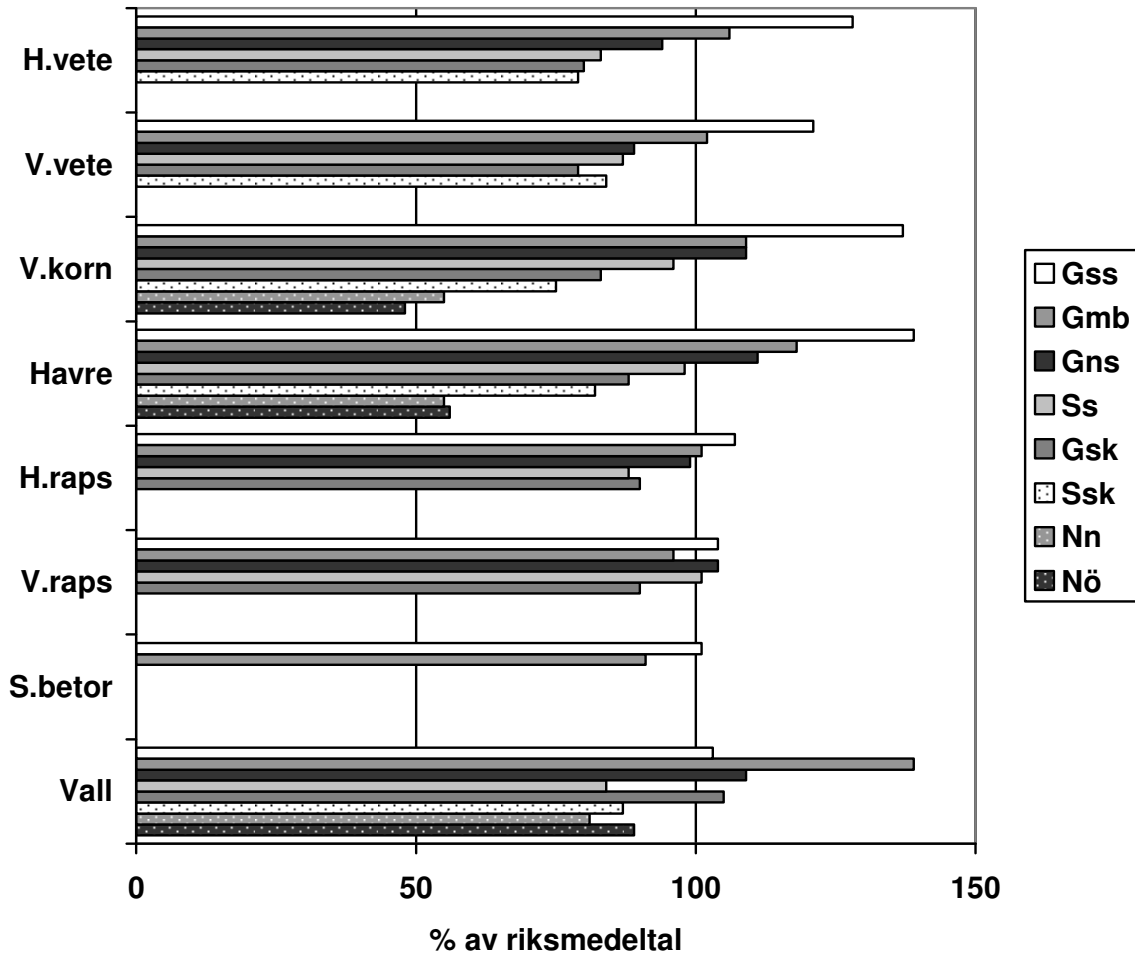
Produktionsområde	Höst-vete	Vår-vete	Vår-korn	Havre	Höst-raps	Vår-raps	Sockerbeter	Vall ²
Götalands södra slättbygder	6,8	5,5	5,0	4,6	2,8	2,0	11,2	3,4
Götalands mellanbygder	5,7	4,6	4,0	3,9	2,6	1,9	10,1	4,5
Götalands norra slättbygder	5,0	4,0	4,0	3,7	2,6	2,0	-	3,5
Svealands slättbygder	4,4	4,0	3,5	3,3	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 medelskördar stora mellan olika produktionsområden. När det gäller spannmålsskördar är dessa mellan 20 till 40 % högre i Götalands södra slättbygder än genomsnittliga normskördar för riket, beroende av spannmålsslag. I Svealands slättbygder är de jämförbara eller ner till 20 % lägre. I Norrland är spannmålsskördarna cirka hälften så höga som genomsnittliga normskördar för riket. Däremot är skillnader i normskördar av oljeväxter betydligt mindre mellan olika produktionsområden, endast cirka +/- 10 %. 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 % högre än genomsnittet för riket. Vallskördarna i Norrland är i jämförelse relativt höga, eller endast cirka 10 till 20 % lägre än genomsnittet för riket. En förklaring till varför bärgade

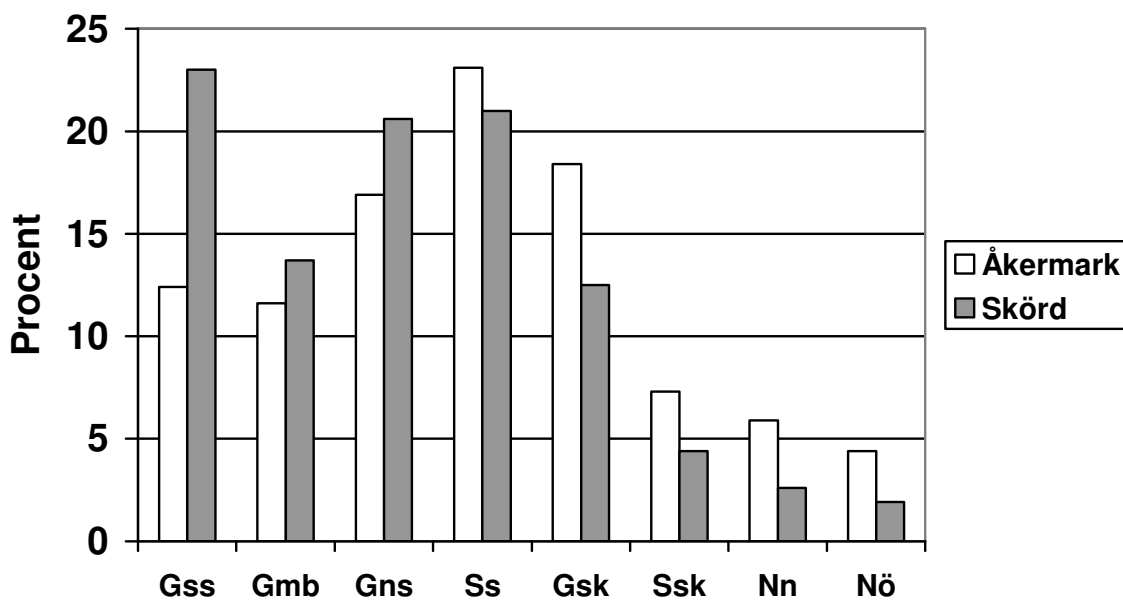
vallskördar är relativt sett låga i slättbygder jämfört med mellan- och skogsbygder är att vallodling i slättbygder till stor del utgörs av extensiv odling. I mellan- och skogsbygder är mjölk- och köttdjursproduktion betydligt mer omfattande än i slättbygder varför produktion av vallfoder har högre prioritet 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.



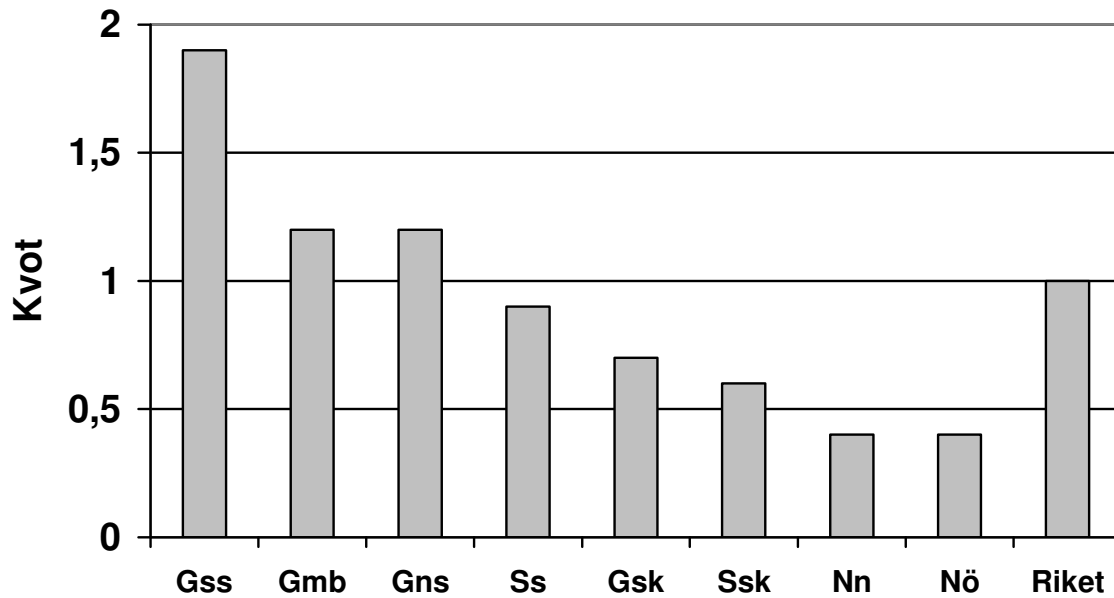
Figur 4.3. Normskörd för olika grödor i olika produktionsområden uttryckt som procent av genomsnittlig normskörd för riket vilket motsvarar 100%. (Normskörd avser 2005. Vallskörd avser genomsnittlig bärgad skörd 2002-2004).

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 biomasseproduktionen 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 mm 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 % 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.

Län	Areal ¹		Jordartsfördelning (%) ²			
	(1000 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
Norrbottnens	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.

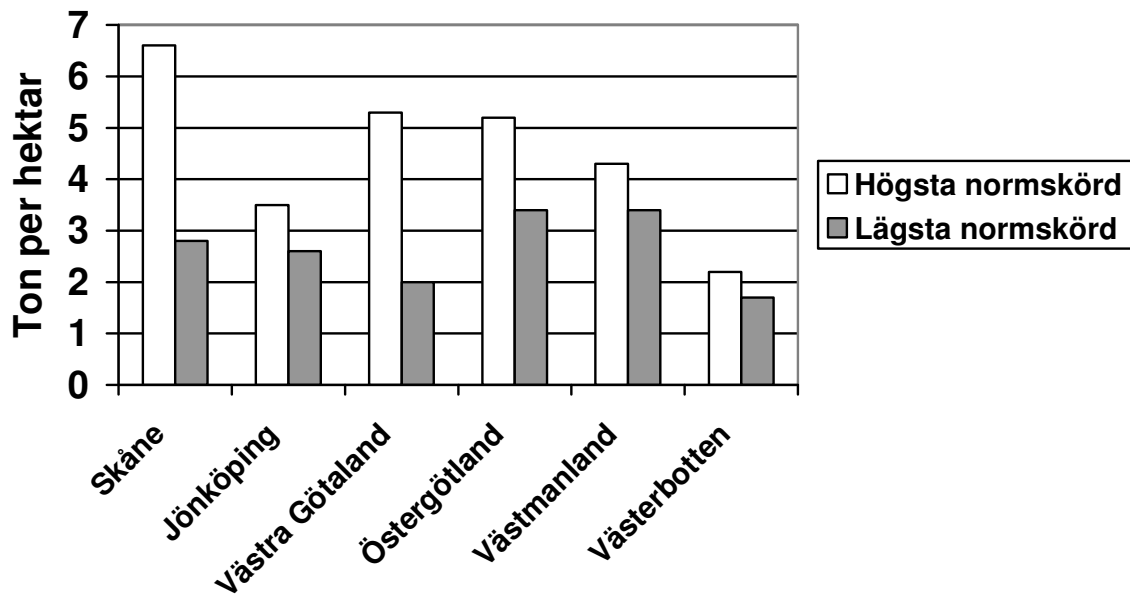
⁴ Inkluderar finmo och mjåla.

⁵ Inkluderar sand och grovmo.

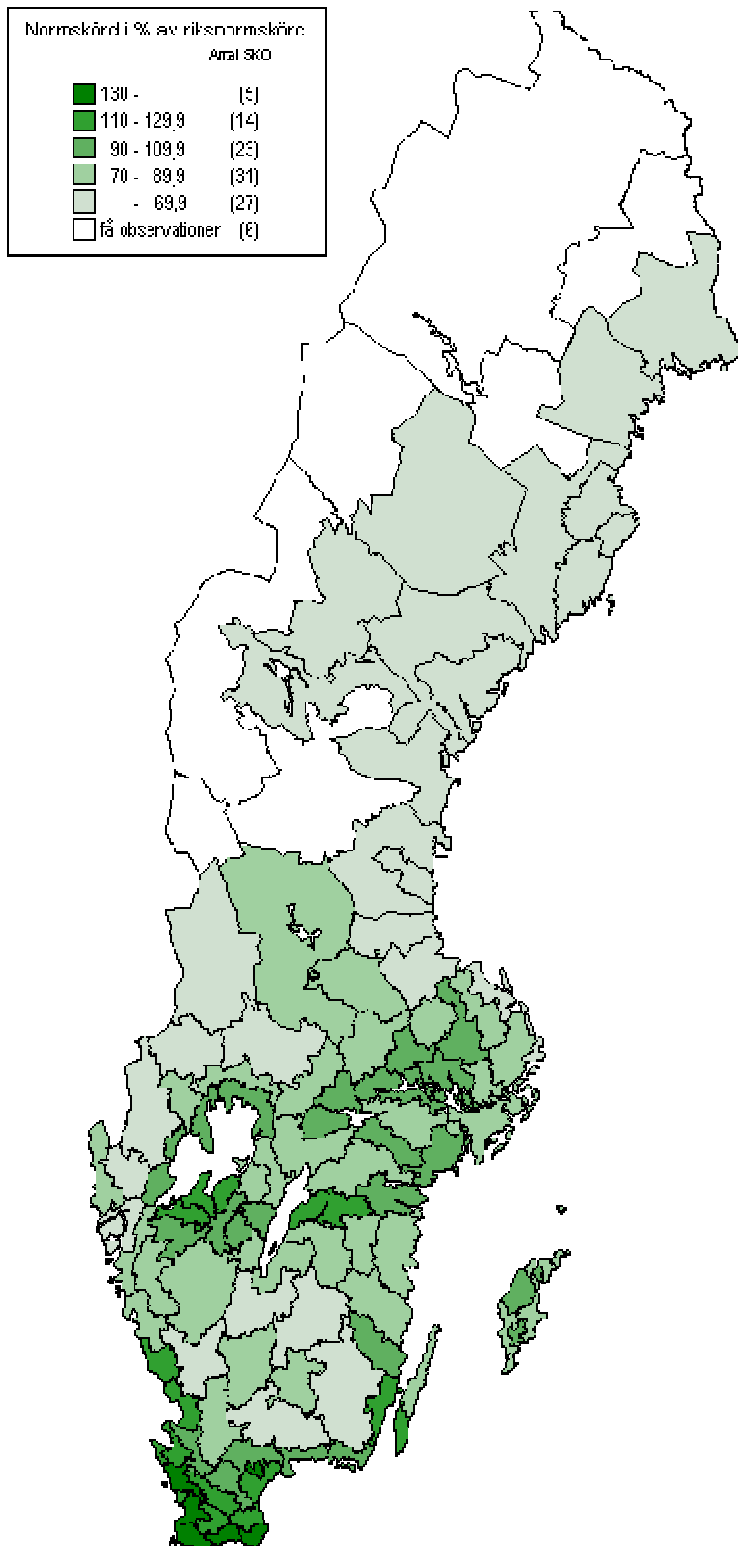
⁶ Inkluderar åkermark med över 20 % mullhalt.

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 % 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 spridningen i normskörd av vårkorn inom ett och samma produktionsområde ofta uppgår till +/- 20 % (d v s 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.



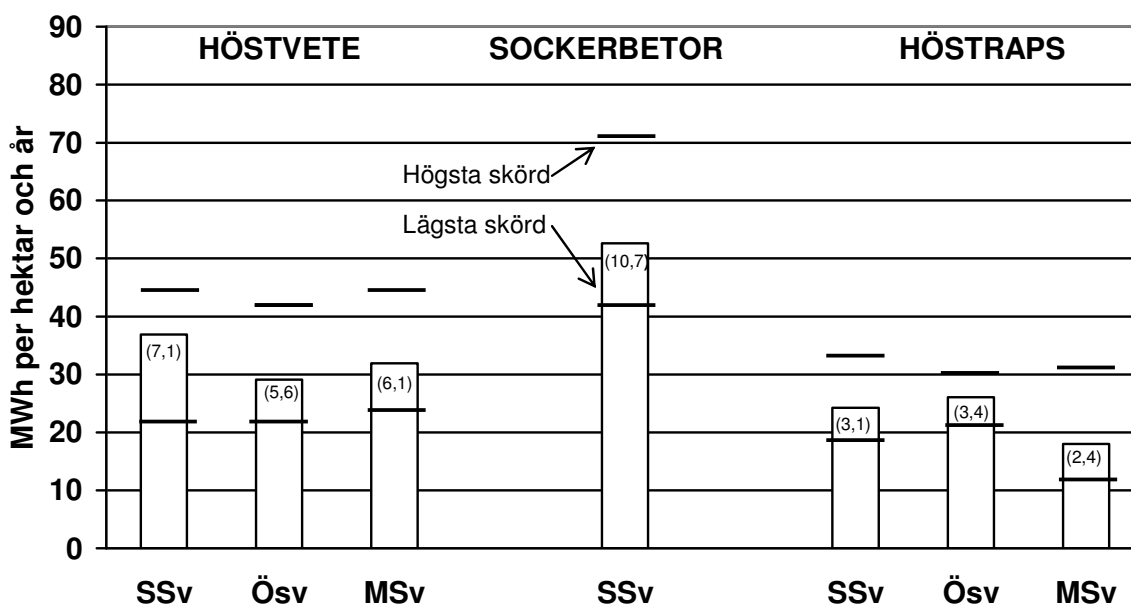
Figur 4.6. Högsta respektive lägsta normskörd av korn under 2005 för de skördeområden som ingår i respektive län (Jordbruksverket och SCB, 2005).



Figur 4.7. Normskörd för vårkorn för olika skördeområden uttryckt som procent av genomsnittlig normskörd för riket (vilket motsvarar 100%) (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 höstvetete, 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 höstvetete, 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 parentes anger den genomsnittliga skördenivån i ton torrsbstans. Baserat på data från Odling i Balans (Törner, 2006).

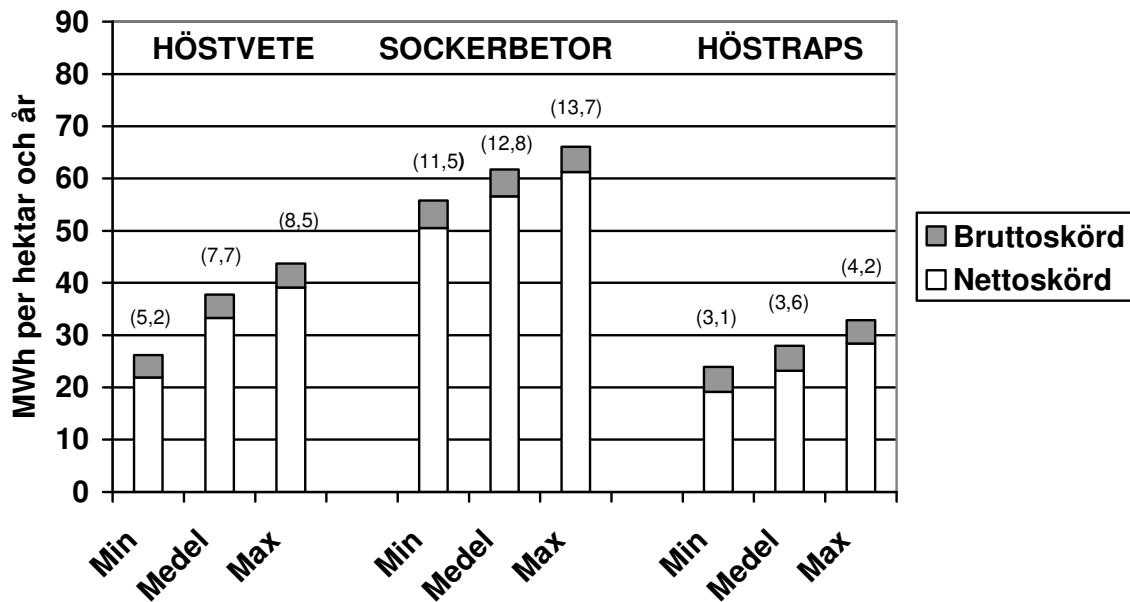
Resultaten i Figur 4.8 indikerar att skördenivån kan variera avsevärt mellan olika gårdar, fält och odlingsår. Skillnaderna i skördenivå inom en gård uppgår oftast till +/- 20 % och ibland upp till det dubbla eller mer. Förutom skillnader i bruttoenergiskörd varierar också behovet av insatsenergi per skördad mängd biomassa mellan olika gårdar, fält och år. Energiinsatsen vid höstvetesodling varierar i detta exempel mellan drygt 7 %

upp till cirka 20 % av energiskörden (i genomsnitt 12 %) varav 60 – 90 % 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 % (i genomsnitt 7 %) och vid odling av höstraps mellan cirka 10 till 25 % (i genomsnitt 14 %). Vid odling av höstraps utgör normalt 75 – 90 % av insatsenergin drivmedel, gödselmedel och torkning.

I Figur 4.9 beskrivs hur energiskörden för höstvet, 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 % högre jämfört med höstvet (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 % för höstvet, +/- 10 % för sockerbetor och +/- 20 % 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 % av den totala energiinsatsen vid odling (transport från gård är inte inkluderat). Nettoenergiskörden, d v s bruttoenergiskörden minus energiinsatsen, är för höstvet, sockerbetor och höstraps i genomsnitt cirka 88 %, 92 % respektive 83 % av bruttoenergiskörden för den aktuella gården. Energibalansen, d v s kvoten mellan bruttoenergiskörd och energiinsats, är i genomsnitt cirka 7,4 för höstvet (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 höstvet för de pilotgårdar som ingår i Odling i Balans visar att energinettot i genomsnitt var cirka 25 % 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 % 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 mm, 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 genomsnittsskörden inom produktionsområdena respektive skördeområdena indikerar. Detta kan också delvis förklara de låga skörden 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 höstvetete, sockerbetor och höstraps för en växtodlingsgård i södra Skåne under odlingssäsongerna 2003-2005. Värdena inom parantes anger skördenivån i ton torrsubstans. 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 % 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, d v s 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 %) beskogade medan drygt 50 000 hektar (18 %) fortfarande är kalmark. 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 % och i Norrland ungefär 20 %. Enligt Riksskogstaxeringen har nedläggningen av hagmark framför allt skett i Götaland där motsvarande 75 % av all nedlagd hagmark återfinns. När det gäller jordbruksmark som lagts ned för mer än 20 år sedan och som fortfarande inte beskogats (kalmark) 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 2003-2005.¹

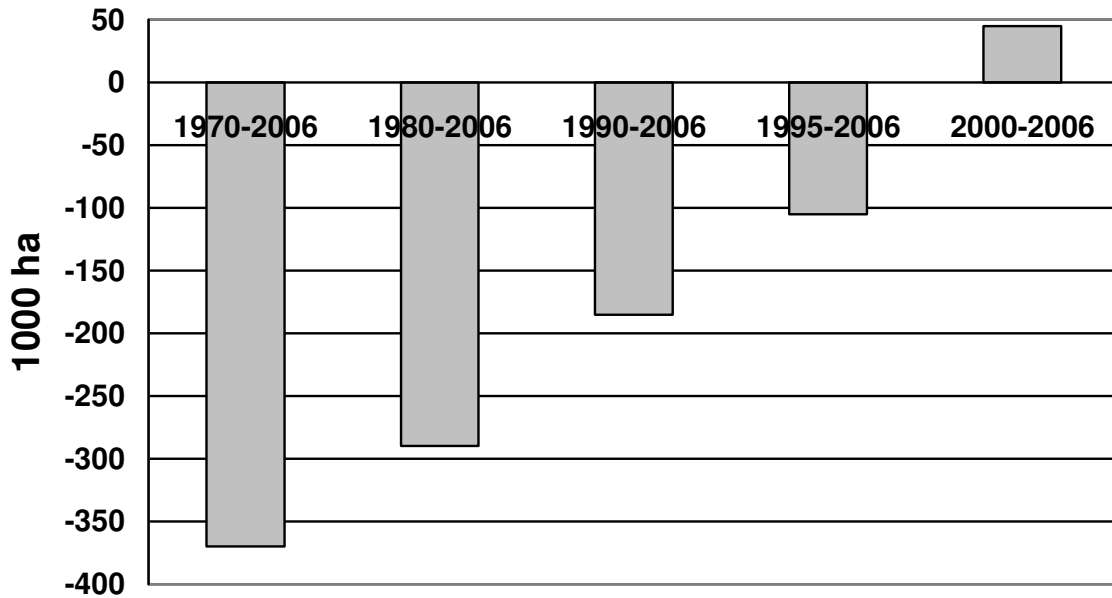
	Jordbruks- och hagmark som lagts ner inom de senaste 20 åren		Jordbruksmark som lagts ner för över 20 år sedan	
	Hagmark	Jordbruksmark	Kalmark	Beskogad
Total areal i Sverige	80 000 ha	158 000 ha	56 000 ha	257 000 ha
<i>Fördelning per region</i>				
Norra Norrland	3 %	17 %	27 %	43 %
Södra Norrland	6 %	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 dyligt 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.

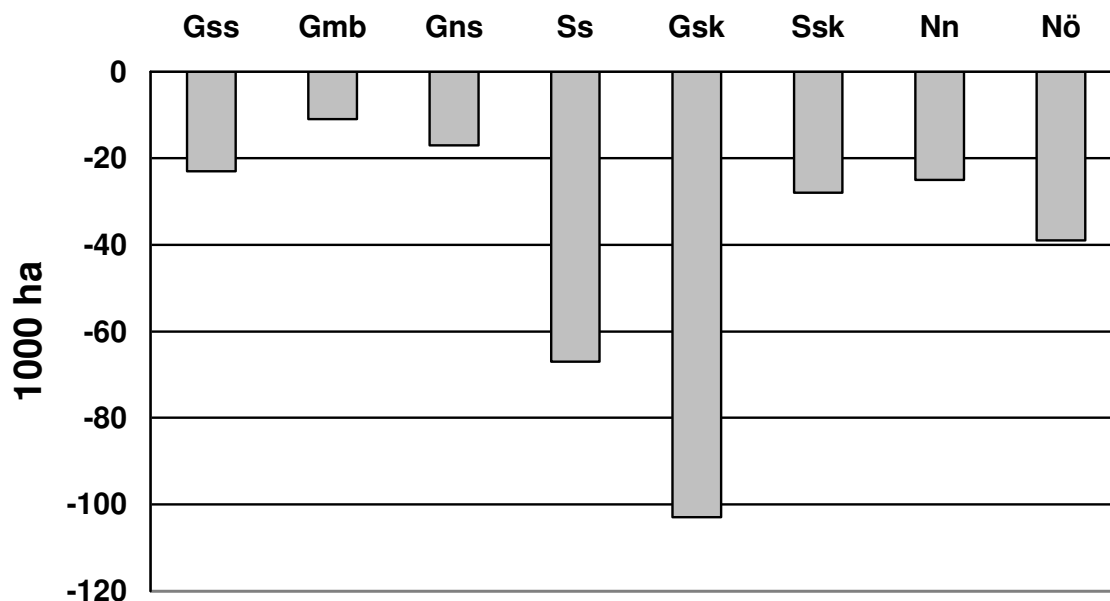
Ett annat sätt att få en uppfattning om hur mycket nedlagd åkermark som finns är att följa åkerarealens utveckling. Detta kan t ex göras med ledning av den statistik som årligen har rapporterats från lantbruksregistret sedan början av 1960-talet tillsammans med de uppgifter som jordbrukarna har lämnat 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 företag 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 % sedan början av 1970-talet medan motsvarande minskning i Götalands södra slättbygder har varit mindre än 7 %. 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 p g a mycket odlingshinder i form av sten mm, 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 % 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 % 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 liksom dagens jordbruksmaskiner.

6 Restprodukter för energiändamål - produktionsförutsättningar

6.1 Växtrester från odling

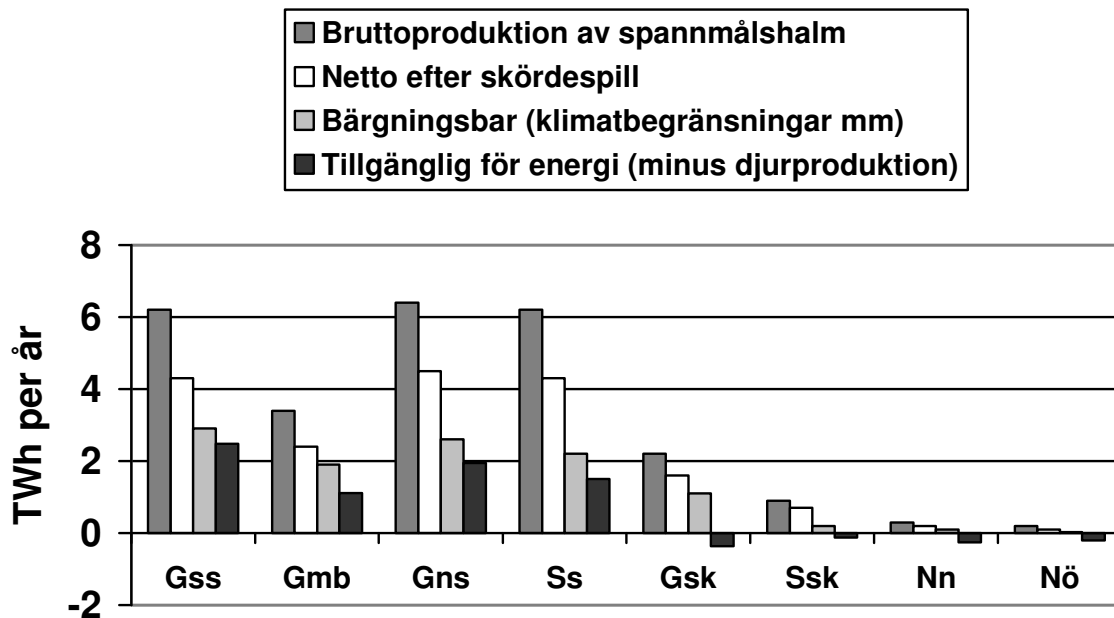
Som framgår av Tabell 4.2 motsvarar dagens produktion av restprodukter inom växtodlingen cirka 31 TWh biomassa per år. Hur stor del av denna mängd som kan utnyttjas för energiändamål beror av ett flertal faktorer. Den största delen, cirka 27 TWh per år, utgörs av halm från spannmålsodling. Bedömningar visar att den nettohalmmängd som är möjlig att skörda, d v s exklusive stubb, agnar, boss och spill vid bärgning, oftast uppgår till mellan 60-80 % av den totala halmproduktionen (Börjesson, 1994; Henriksson och Stridsberg, 1992). Om nettohalmmängden som är möjlig att skörda uppgår till i genomsnitt 70 % 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 pga 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 % upp till 85 % 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 % av nettohalmmängden i södra och östra Götaland medan den i nordvästra Götaland och västra Svealand bedöms uppgå till cirka 50 % 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 halmskörd. 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

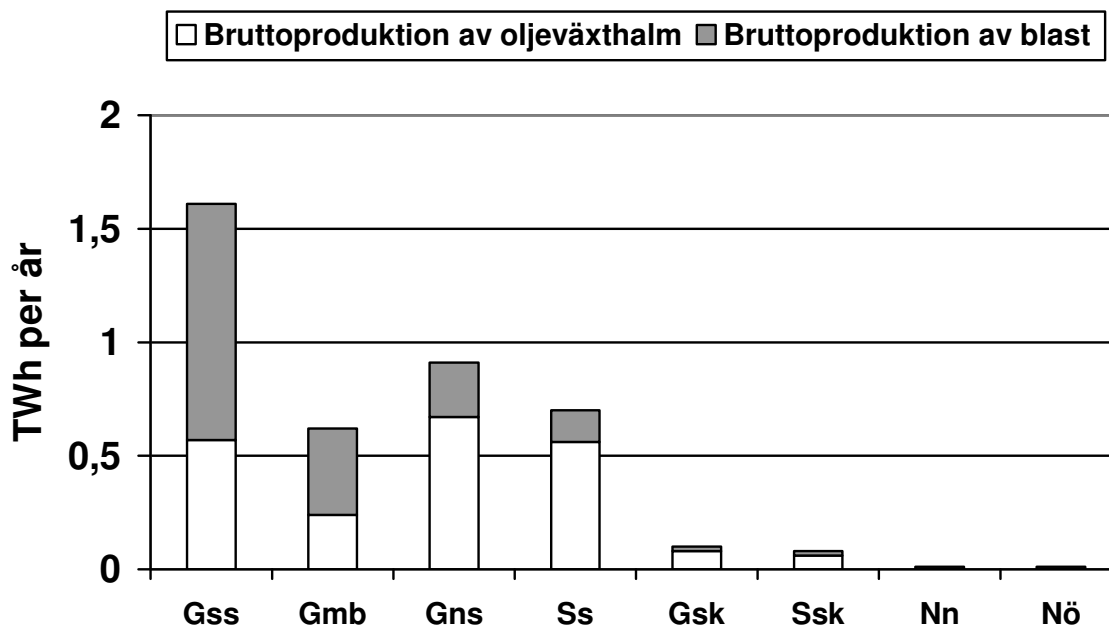
halmskörden om cirka 11 TWh blir således cirka 6 TWh kvar när förbrukningen inom animalieproduktionen dragits bort. En relativt stor del av den halm som används som foder och strö kommer dock att återfinnas i gödseln och kan därför utnyttjas för energiproduktion vilket diskuteras senare i rapporten. 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 bärning av halm minskar med cirka 30 % till följd av effektivare bärningsteknik 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 % innebär detta cirka ytterligare 1 TWh halm för energiändamål. Om däremot arealen spannmålsodling minskar med t ex 20 % 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, d v s 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.

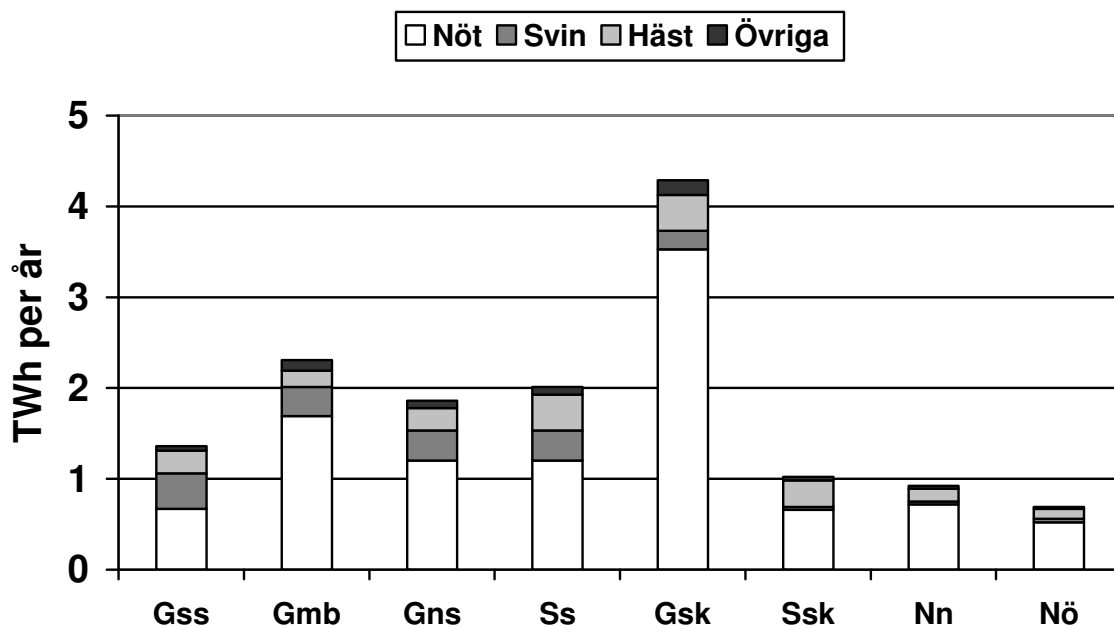
Energiåtgången för att tillvarata restprodukter som spannmåls- och oljeväxthalm beräknas motsvarande i genomsnitt cirka 4 % av halmens energiinnehåll med en variation mellan cirka 3 och 5 % beroende på om hektarskördarna är höga respektive låga (Börjesson 2004; 1994). Denna energiåtgång inkluderar pressning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

6.2 Gödsel från animalieproduktion

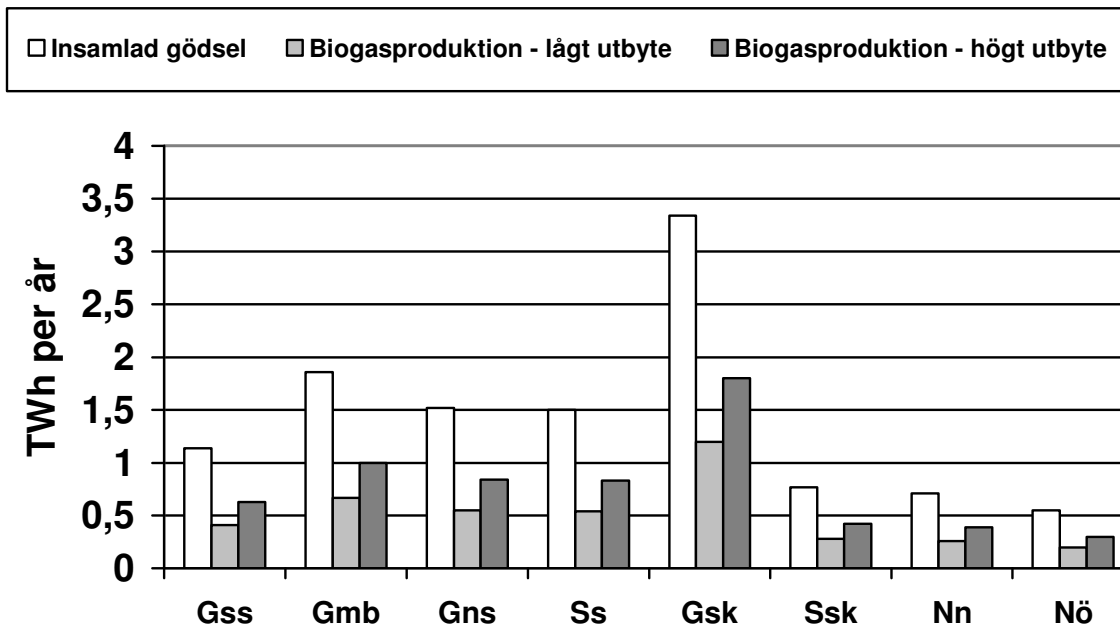
Som beskrivs i Tabell 4.5 antas bruttoproduktionen av gödsel i Sverige uppgå till motsvarande drygt 14 TWh per år i Sverige. Av denna mängd beräknas cirka 11 TWh samlas in och spridas på åkermark. Som framgår av föregående avsnitt är en grov uppskattning att knappt 5 TWh halm användas per år inom djurproduktionen som strö och foder. Här antas att en större andel av denna halmmängd 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 %. 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 % 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 hönsgödsel) 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, d v s 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 % av biogasens energiinnehåll när rötning sker i en central biogasanläggning 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 %. Om gödseln röts i en uppvärmd gårdsanläggning uppgår behovet av primärenergi till cirka 45 % 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, d v s 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 (d v s bruttoskörd minus energiinsats vid odling) skiljer mellan olika grödor och produktionssystem.

7.1 Salix

När salixodlingar etablerades i början av 90-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 p g a dålig ogräsbekämpning, utebliven gödsling, olämpliga sorter samt plantering på lågproduktiv åkermark. Dessutom ger första skörd (efter 3 till 5 år) cirka 40 % 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 % 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 % högre än kärnskörd för vete. En annan uppskattning av

Agrobränsle är att dagens salixodlingar kan ge cirka 25 % 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 höstvede 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 % 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 % har lerhalten ofta mycket stor betydelse för avkastningen. Enligt Alriksson (1997) kan avkastningen därför förväntas bli låg på lätta jordar med lerhalt understigande 10 % 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, d v s 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 % 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 % av salixflisens energiinnehåll. En annan faktor som till viss del påverkar 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 % av salixflisens energiinnehåll medan den vid skördenivåer kring 8-10 ton uppgår till cirka 4,5 %. Sammanfattningsvis uppskattas nettoenergiskörden av salix bli mellan 93-96 % av bruttoenergiskörden beroende på skördenivå, transportavstånd mm.

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 översvänningsmarker 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 rörflenssorter 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 % 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 asksinträngning mm 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 % förekommer i form av vinterförluster (cirka 15-25 %) och skörderelaterade förluster (cirka 15-25%) (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 skördeförkluster) 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 vårskördemetoden tillämpas eftersom vinterförklusterna 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 vårskördemetoden 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 (Röbäcksdalen) 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 %.

Energiinsatsen vid rörfleproduktion beräknas uppgå till cirka 9 % av rörflenens 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, gödning, skörd, balning samt transport till energianläggning med lastbil (50 km). Förändringar i skördenivåer beräknas inte väsentligt påverka energiinsatsen per ton rörflen. Om skördenivån ökar eller minskar med ett ton ts per hektar och år beräknas energiinsatsen ändras till motsvarande cirka 8,5 respektive 9,5 % av rörflenens energiinnehåll (Börjesson 1996; 1994). Sammanfattningsvis uppskattas nettoenergisörden av rörflen bli mellan 90-92 % av bruttoenergisörden 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, d v s skörd av hampa antas ske antingen under senhösten (med högre vattenhalt) eller genom vårskörd likt rörflen (med lägre vattenhalt). Detta innebär dock samtidigt vinterförluster om 25 till 40 % (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 planttäthet 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 stamskörd 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 stamskörd 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 % med utvecklad teknik, d v s något lägre jämfört med energigräs som rörflen. Liket rörflen antas här att hampa skördas på vårvintern när denna ska utnyttjas för energiändamål. Detta medför en

högre torrsubstanshalt och mindre risk för asksintring vid förbränning. Samtidigt minskar biomasseskörden på vintern förluster. 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 % av totala åkerarealen, vilket kan jämföras med ett riksgenomsnitt om cirka 9 % (se Tabell 4.9). Andra län med hög andel organogena jordar är Örebro (cirka 16 %) och Smålands tre län (cirka 16 %).

Energi balansstudier 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 % av hampans energiinnehåll vid en stamskörd om 5 till 7 ton ts vid vårskörd. Denna uppskattning baseras på likheter och skillnader med andra energiogrödor (både ettåriga och fleråriga) som analyserats ur energisynpunkt vad gäller odlingsteknik, gödselmängder mm. Energiinsatsen bedöms således bli något högre jämfört med t ex rörlin vilket kan förklaras med att hampa är en ettårig gröda som kräver årlig markbearbetning och sådd. Sammanfattningsvis uppskattas nettoenergisörden av hampa som bränsleråvara kunna bli mellan 88-90 % av bruttoenergisörden när utvecklade odlings- och skördesystem finns.

7.4 Majs

Odling av majs som djurfoder förekom på knappt 6000 hektar i Sverige 2005, framför allt i Skåne, Halland och i Kalmar län. Intresset för majsodling ökar och odlingsarealen har ökat med cirka 1000 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 energiogröda 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 skördeförluster) 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, d v s 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 utvecklingspotentialen 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 sköras 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 % 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, d v s poppel betraktas inte som ett inhemskt trädslag. Två plantager belägna i Skåne (Sångletorp 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 skördeförluster) 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 % 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 p g a att plantmaterialet inte varit tillräckligt anpassat till det svenska klimatet vilket medfört lägre avkastning. Hybridpoppel har därför framför allt odlats i södra Sverige. Nytt poppelmaterial från nordligare breddgrader i Nordamerika förväntas dock kunna ge mer frosthärdiga sorter i framtiden (Rytter, 2006a). Odlings säkerheten 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) förnygras hybridpoppel huvudsakligen med stubbskott. Erfarenheter 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 förnygra 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 % 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 % tas ut som stamved och 40 % som flis. Om också transport till energianläggning om 50 km med lastbil inkluderas ökar energiinsatsen till cirka 3 %. Gödslig innebär ytterligare ökad energiinsats till motsvarande totalt cirka 4 till 5 % av energiskörden. Sammanfattningsvis uppskattas nettoenergiskörden av poppel bli mellan 95-97 % av bruttoenergiskörden beroende på gödslingsintensitet, transportavstånd mm.

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 träslag. 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 % 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 förnygringen 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 mm 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 p g a hårt ogrässtryck, skador från sork mm. 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 % av bruttoenergiskörden beroende på skördenivå, transportavstånd, gödslingsintensitet mm.

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. Inklusivt skörd av toppar och grenar (helträdsskörd) motsvarar detta cirka 4,8 respektive 6,1 ton ts per hektar och år (densiteten är cirka 15 % 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 % 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 % lägre i södra Sverige respektive 50 % 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 % i stubben och ytterligare 10-20 % 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 % (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 % högre än i helträdsflis.

Energiinsatsen vid konventionell odling av gran på åkermark har beräknats motsvara cirka 2 % av energiskörden vid helträdsskörd (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 % 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

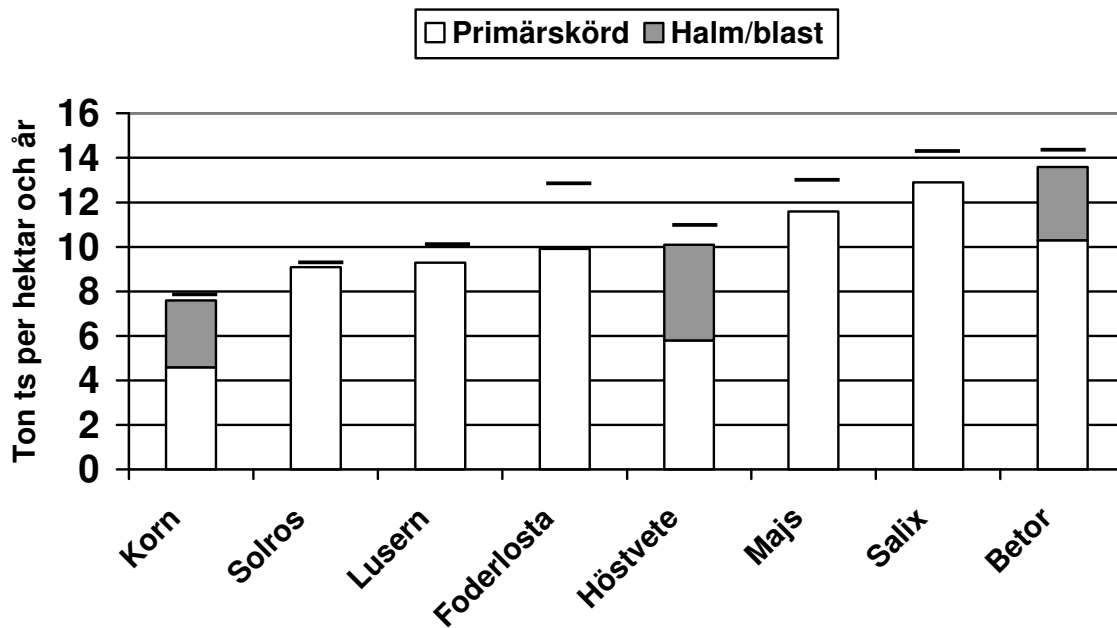
4 % av energiskörden när tillväxtökningen ligger kring 8 kubikmeter per hektar och år. Energianalyser av stubbrytning saknas idag men en grov bedömning i denna studie är att energiinsatsen bör vara ganska liten i förhållande till den skördade biomassan. Detta behöver dock bekräftas i framtida studier.

7.8 Andra energigrödor

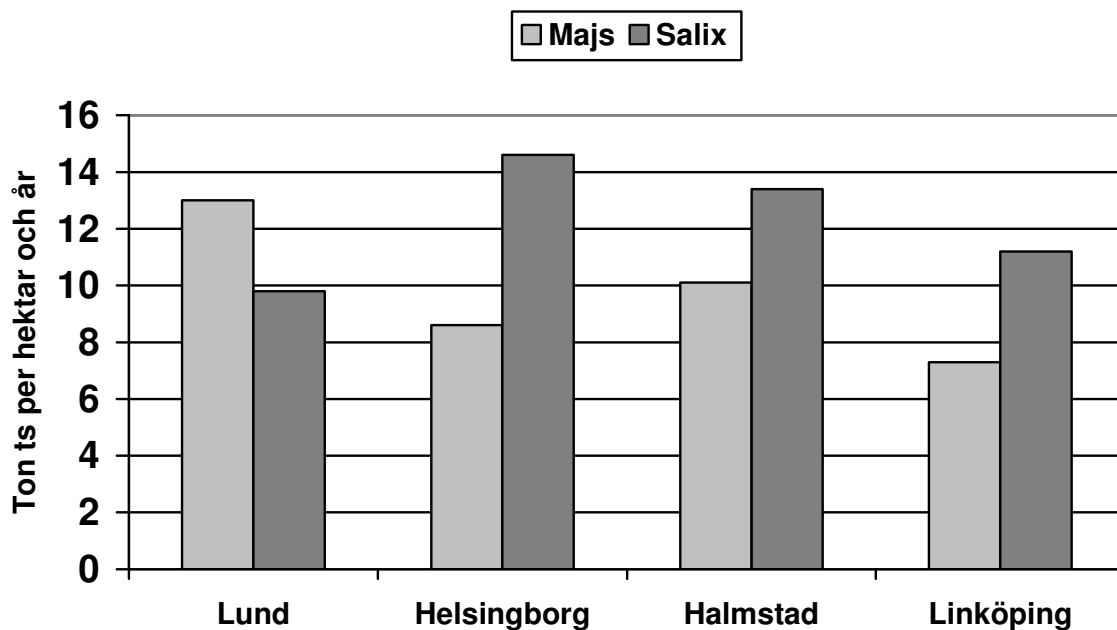
Förutom de energigrödor som beskrivs ovan finns flera andra grödor som potentiellt kan utnyttjas för energiändamål. Under 80- och 90-talet testades t ex olika typer av grödor i olika försök för att jämföra deras avkastningsnivåer. Ett exempel är ett projekt utfört mellan 1981 och 1986 av Hushållningssällskapet 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 utanför 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 skördeförstuder i medeltal för samtliga försöksplatser (gödslingsnivåerna låg mellan 75 till 150 kg kväve per hektar och år). Dessutom indikeras den högsta biomassaproduktionen 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 % 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). Foderlosta, som är ett gräs, antogs framför allt kunna utnyttjas som ett fastbränsle för förbränning.



Figur 7.1. Genomsnittlig biologisk skörd (exklusive skördeförluster) 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 skördeförluster) 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 % per år medan motsvarande ökning för oljeväxter, potatis, sockerbetor och vall legat kring 1 % 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 mm. En bedömning är att växtförädling i sig har medfört en skördeökning om cirka 0,5-1 %, 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 % 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 % 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 % per år) var att dessa odlingssystem 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

tillbaks till 1960-talets rapssorter 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 rapssorter 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 kärnskörden ökat har halmskörden 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 högavkastande 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 % 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, d v s 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 sockerbetor 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 % högre skörd kunna fås (Wremerth Weich, 2006). Sockerbetor 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 sockerbetor användas. Om däremot enbart energi ska produceras i form av etanol och/eller biogas kan mer högavkastande sockerbetor med lägre renhet utnyttjas. Genmodifiering av sockerbetor 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 var den längre odlings säsongen bedöms cirka 25 % 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 betsorter 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 % 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 % (Bouwman, 1990; Andersson 1990). Exempel på åtgärder för att motverka dessa negativa effekter är förbättrade maskiner som ger mindre markpackning (bättre däck mm), minskad markbearbetning (plöjningsfria odlingsystem mm) samt ett större inslag av fleråriga grödor i växtföljden (ökad mullhalt, bättre markstruktur mm) (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 odlingsystem som sockerbetor och

olja växter. I en framtidsanalys över det svenska jordbruket (Naturvårdsverket, 1997) antogs t ex att spannmålsskörden per hektar kommer att vara cirka 30-40 % lägre i ekologisk odling jämfört med i konventionell odling kring år 2020.

Sammanfattningsvis bedöms en ny inriktning på växtförädlingen för traditionella grödor mot ökade energiskörden 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 energi grödor (som beskrivs i avsnitt 7). Bedömningen avser konventionell växtodling, d v s 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 2020.¹

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

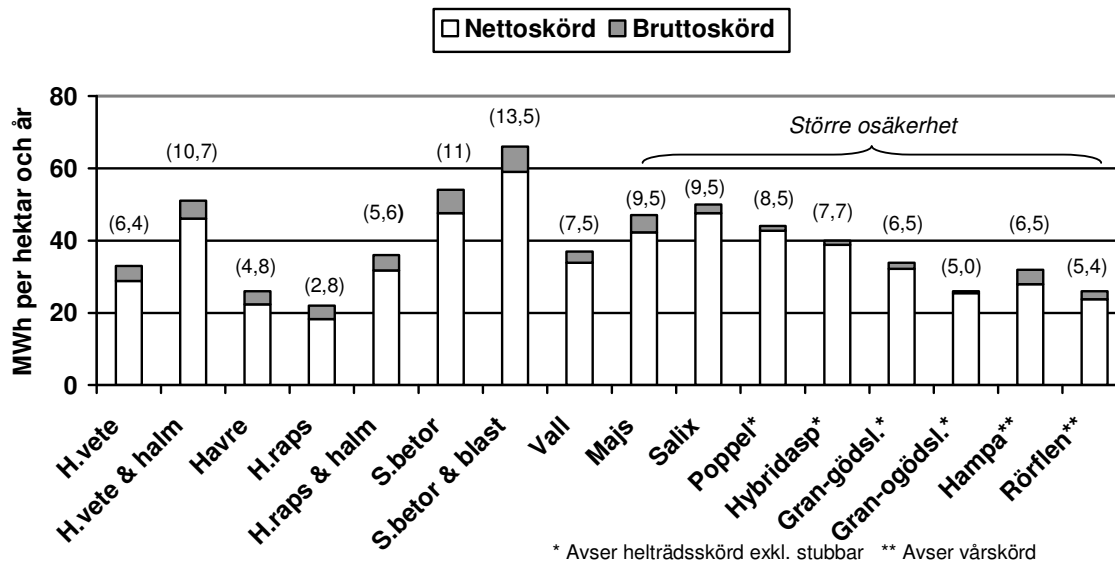
¹ Avser konventionell växtodling samt exklusive genmodifierade grödor. Se text för beskrivning av övriga antaganden. Baseras på uppskattade aktuella skördenivåer som sammanfattas i Tabell 9.1.

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 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 figurena redovisas.

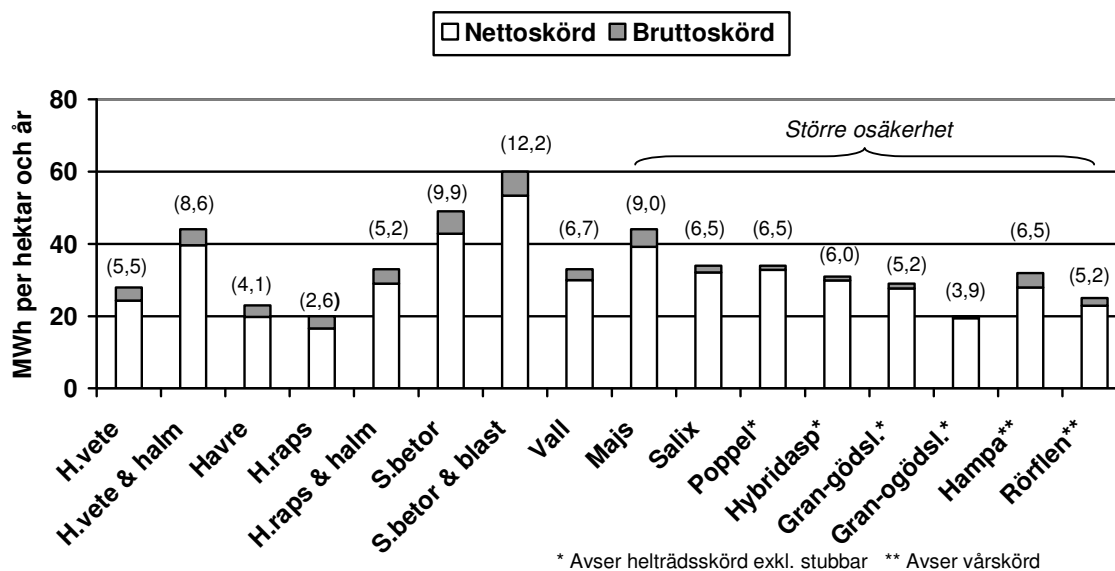
En sammanfattning av resultaten som presenteras i Figur 9.1 - 9.8 är att sockerbetor ger högst nettoenergiskörd per hektar och år i Götalands södra slättbygder och mellanbygder när också blasten skördas (kring 60 MWh), trots att energiinsatsen är relativt hög. Salix, majs och poppel ger också en hög 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 sockerbetor (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.

Götalands södra slättbygder



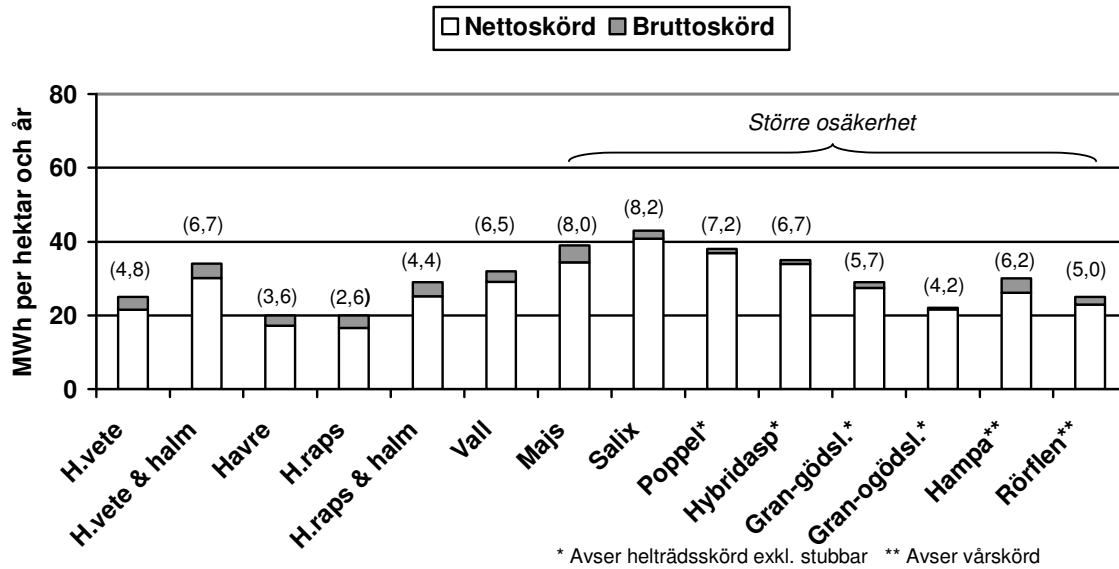
Figur 9.1. Uppskattning av genomsnittlig brutto- respektive nettoenergiskörd per hektar och år för olika energigrödor vid odling i Götalands södra slättbygder idag. Värdena inom parentes anger hektarskörd i ton torrsubstans per år (relaterade till en höstvetskörd om 7,5 ton). Stubbskörd i granodling medför 10-15 % högre energiskörd.

Götalands mellanbygder



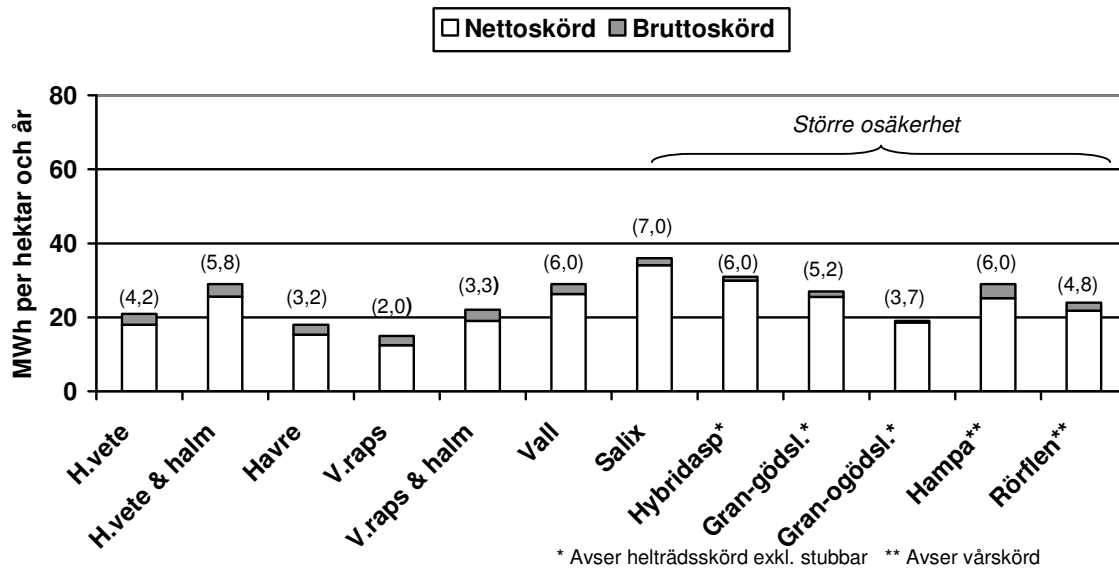
Figur 9.2. Uppskattning av genomsnittlig brutto- respektive nettoenergiskörd per hektar och år för olika energigrödor vid odling i Götalands mellanbygder idag. Värdena inom parentes anger hektarskörd i ton torrsubstans per år (relaterade till en höstvetskörd om 6,4 ton). Stubbskörd i granodling medför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

Götalands norra slättbygder



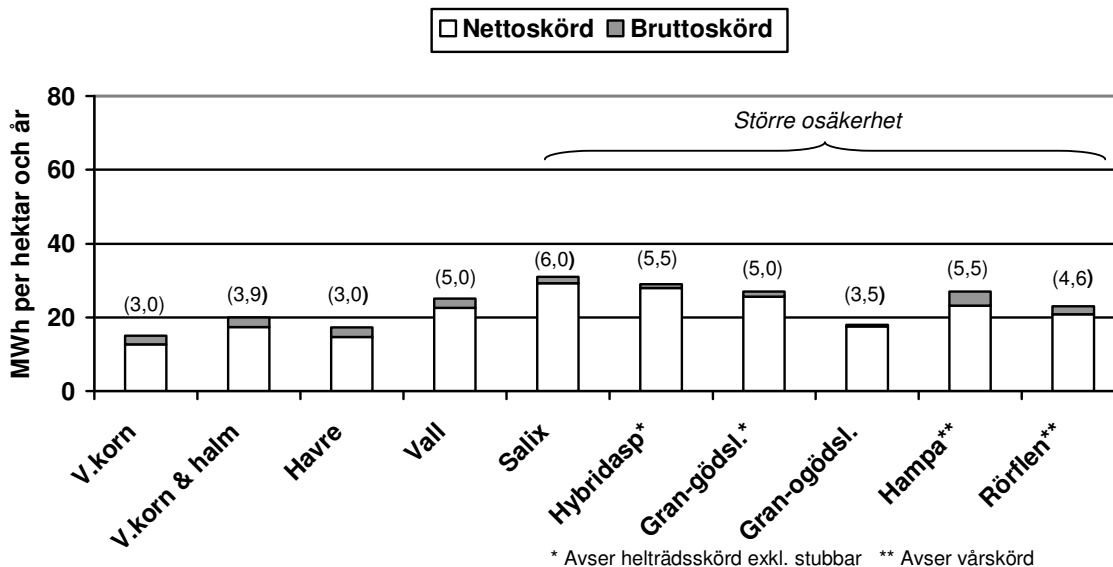
Figur 9.3. Uppskattning av genomsnittlig brutto- respektive nettoenergiskörd per hektar och år för olika energigrödor vid odling i Götalands norra slättbygder idag. Värdena inom parentes anger hektarskörd i ton torrsubstans per år (relaterade till en höstvetskörd om 5,5 ton). Stubbskörd i granodling medför 10-15 % högre energiskörd.

Svealands slättbygder



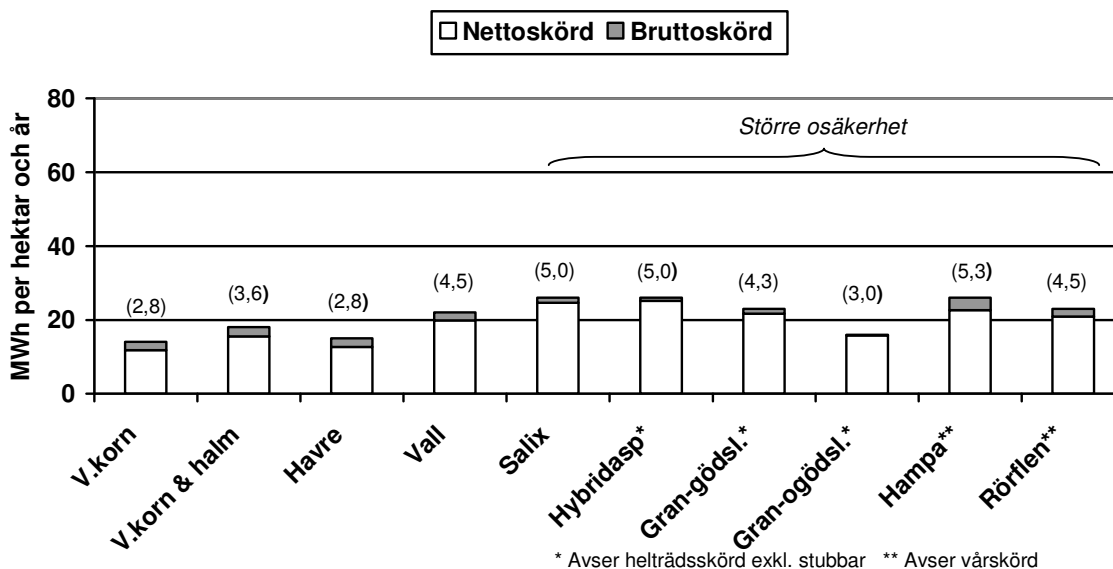
Figur 9.4. Uppskattning av genomsnittlig brutto- respektive nettoenergiskörd per hektar och år för olika energigrödor vid odling i Svealands slättbygder idag. Värdena inom parentes anger hektarskörd i ton torrsubstans per år (relaterade till en höstvetskörd om 4,9 ton). Stubbskörd i granodling medför 10-15 % högre energiskörd.

Götalands skogsbygder



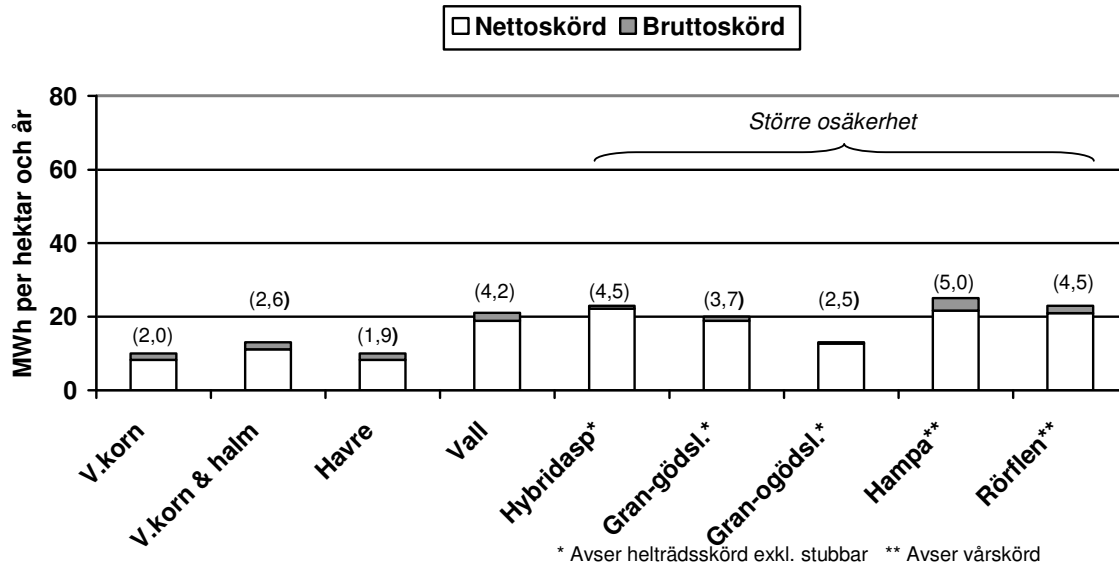
Figur 9.5. Uppskattning av genomsnittlig brutto- respektive nettoenergiskörd per hektar och år för olika energiavslag vid odling i Götalands skogsbygder idag. Värdena inom parentes anger hektarskörd i ton torrsubstans per år (relaterade till en vårkornskörd om 3,5 ton). Stubbskörd i granodling medför 10-15 % högre energiskörd.

Mellersta Sveriges skogsbygder



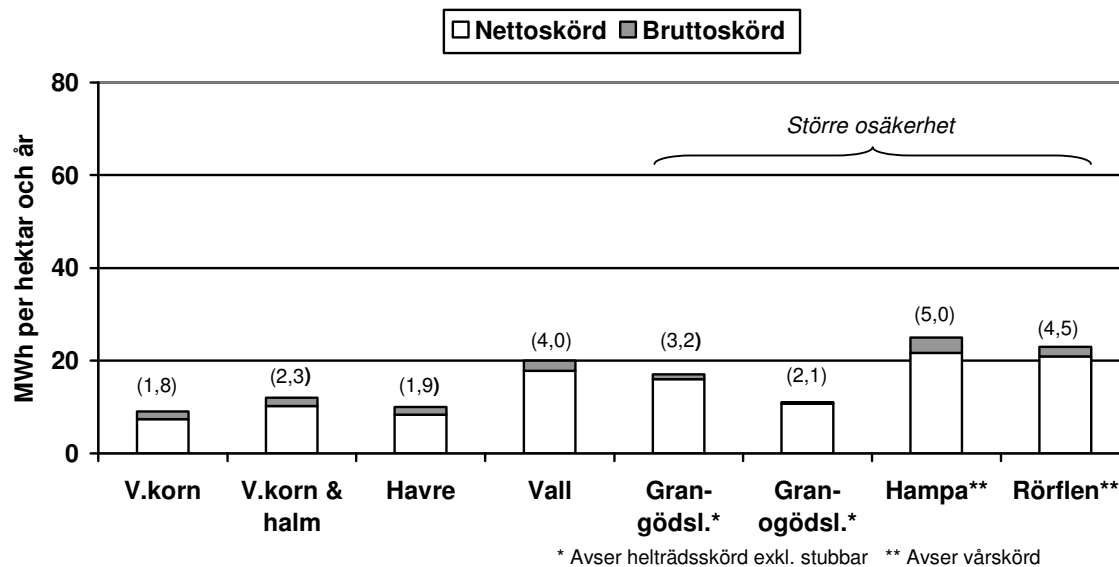
Figur 9.6. Uppskattning av genomsnittlig brutto- respektive nettoenergiskörd per hektar och år för olika energiavslag vid odling i Mellersta Sveriges skogsbygder idag. Värdena inom parentes anger hektarskörd i ton torrsubstans per år (relaterade till en vårkornskörd om 3,3 ton). Skördenivå för hampa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

Nedre Norrland



Figur 9.7. Uppskattning av genomsnittlig brutto- respektive nettoenergiskörd per hektar och år för olika energiavslag vid odling i Nedre Norrland idag. Värdena inom parentes anger hektarskörd i ton torrsubstans per år (relaterade till en vårkornsskörd om 2,3 ton). Stubbskörd i granodling medför 10-15 % högre energiskörd.

Övre Norrland



Figur 9.8. Uppskattning av genomsnittlig brutto- respektive nettoenergiskörd per hektar och år för olika energiavslag vid odling i Övre Norrland idag. Värdena inom parentes anger hektarskörd i ton torrsubstans per år (relaterade till en vårkornsskörd om 2,1 ton). Stubbskörd i granodling medför 10-15 % högre energiskörd.

Tabell 9.1. Sammanfattning av uppskattade genomsnittliga skördenivåer för olika energigrödor odlade på genomsnittlig åkermark inom respektive produktionsområde.¹

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	-	-	-	-
Sockerbetor	4,9 (4,5)	11 / 54	9,9 / 49	-	-	-	-	-	-
Sockerbetor & 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 – gödslad 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 %, exklusive direkta skördeförluster. Vinterförluster bedöms bli större ju längre söderut odlingen sker p g a 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, d v s 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.

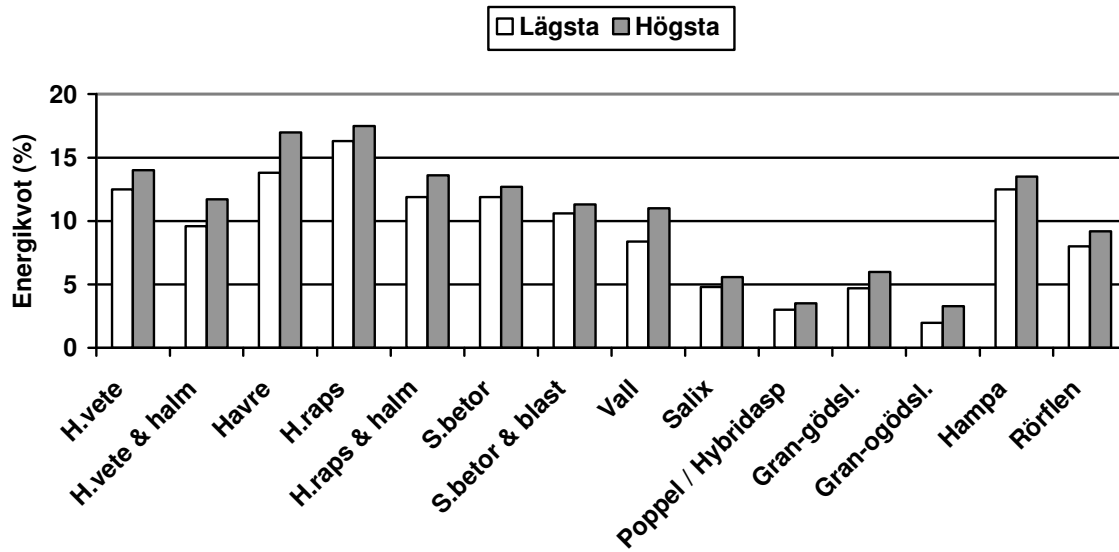
⁵ Gödslad gran avser näringsoptimerad gödsling av granskog som i praktisk tillämpning bedöms ge i genomsnitt mellan 30 % (södra Sverige) till 50 % (norra Sverige) högre biomasseskörd (ton ts) än ogödslad, konventionell granodling. Efter slutavverkning av granskog på åkermark kan stubbrytning bli aktuellt vilket bedöms kunna ge en ökad biomasseskörd om cirka 10-15 % (ton ts) jämfört med skördenivåerna i Tabell 9.1 (som avser helträdsskörd 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. Energitvot 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 energitvoten är, desto sämre är energieffektiviteten. För varje gröda redovisas den högsta respektive lägsta energitvoten som beräknats för de olika odlingssystem som redovisas ovan. Denna spridning i energitvot visar på hur energieffektiviteten för de olika odlingssystemen beräknas skilja beroende på produktionsförutsättningar. Den lägsta energitvoten 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 energitvoten lägst för ogödslad gran, poppel och hybridasp där energiinsatsen motsvarar är cirka 2-4 % av energiskörden. Därefter kommer salix och näringsoptimerad gödslad gran med en energiinsats motsvarande cirka 5-6 % av energiskörden. Fleråriga energigrödor som röflen och vall har en energitvot kring 8-10 %. Energiinsatsen för ettåriga grödor varierar från motsvarande drygt 10 % upp till cirka 17 % av energiskörden. När restprodukter som halm och blast också skördas minskar energitvoten något. Energitvoten för en och samma gröda skiljer ofta 15-20 % 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 % 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 % mellan olika skördeområden som ingår i samma produktionsområde, d v s 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 % eller mer. Energiskördens storlek har i sin tur stor inverkan på energitvotens storlek. I avsnitt 4.4 beskrivs hur energiinsatsens storlek av energiskörden kan variera mellan olika gårdar, fält och år. Detta exempel visar att energitvoten kan skilja +/- 50 % mellan olika fält och år där förutom skillnader i hektarskörd t ex behov av torkning för spannmål och oljeväxtfrö spelar stor roll.

Energiinsats / energiskörd



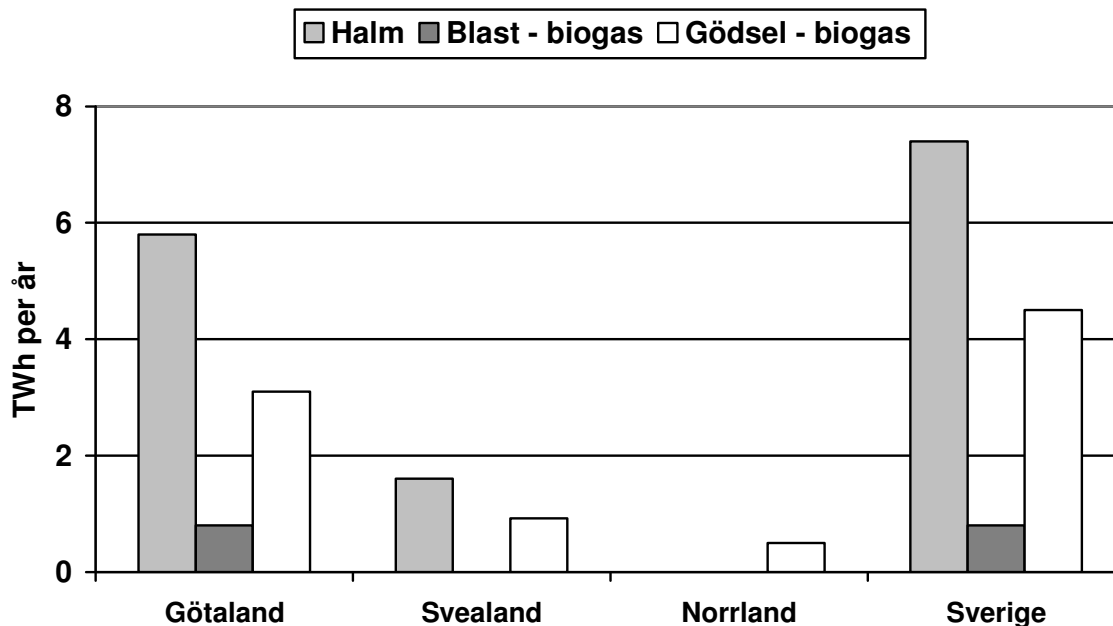
Figur 9.9. Uppskattad genomsnittlig energikvot (primärenergiinsats / bruttoenergiskörd) uttryckt i procent för olika odlingssystem samt hur denna varierar beroende på inom vilket produktionsområde odling sker (se Figur 9.1-9.8). Stora lokala skillnader i energikvot kan dock förekomma (se avsnitt 4.3 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 energigrödor som odlas. Dessutom summeras den maximala tillgången av restprodukter som bedöms kunna finnas tillgänglig för energiproduktion. 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 % av halmen finns tillgänglig i Götaland medan drygt 20 % finns tillgänglig 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 % 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 % innebär detta ytterligare cirka 1 TWh halm tillgängligt för energiändamål. Om däremot spannmålsodlingen minskar med 20 % 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 %, medan cirka 20 % finns i Svealand och 10 % 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 mm.



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).

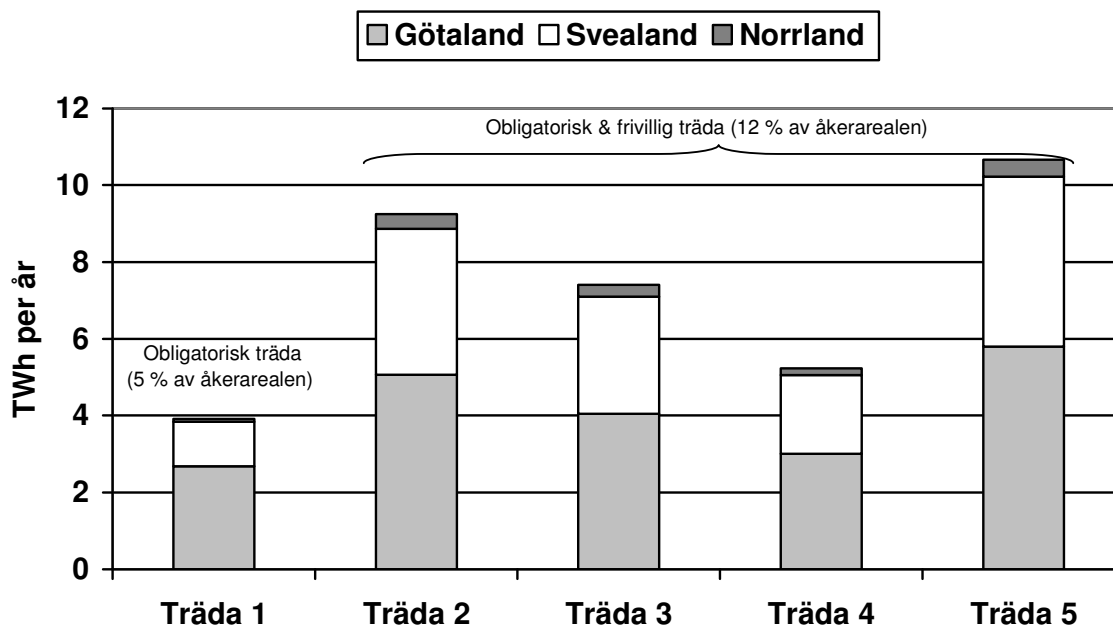
I tidigare potentialuppskattningar av jordbrukets möjligheter att producera bioenergi antas ofta att den trädesareal som finns idag bör kunna utnyttjas för bioenergiproduktion. Här ges några exempel på hur mycket bioenergi som skulle kunna produceras på denna areal beroende på vilka förutsättningar som gäller. Som beskrivs i avsnitt 4 består träda dels av obligatorisk träda (cirka 5 % av åkermarken), dels av frivillig träda (cirka 7 % av åkermarken), vilket totalt ger en trädesareal motsvarande 12 % av Sveriges åkermark (2005). Det första exemplet (Träda 1) baseras på att den obligatoriska trädesarealen om 5 % 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 (d v s 12 % 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 % 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 bibränslen 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 % 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 % av bioenergin att produceras i Götaland medan denna andel sjunker till drygt 50 % 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 % av totala biobränsleproduktionen.

Om trädesarealen framför allt utgörs av något sämre åkermark än genomsnittet (här 20 % 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 % av den obligatoriska trädesarealen för bioenergiproduktion medan ingen odling sker på den frivilliga trädesarealen (Johnsson, 2006b).

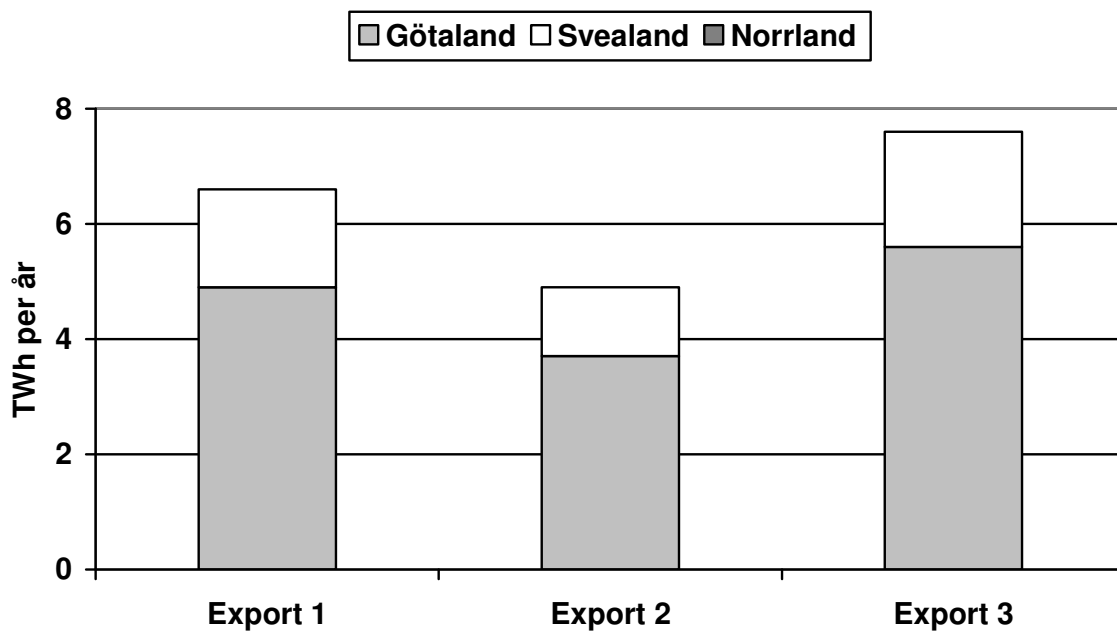


Figur 10.2. Bruttoproduktion av bioenergi när dagens trädesareal (2005) utnyttjas på olika sätt. Se text för förklaring av respektive räkneexempel.

I tidigare uppskattningar av jordbrukets bioenergi-potential 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 % av nuvarande odlingsareal för vete och råg, eller knappt 6 % 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 % 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 % 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 % av åkerarealen) än arealen spannmålsodling för export (motsvarande knappt 6 % 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 % 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 %, 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 % (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

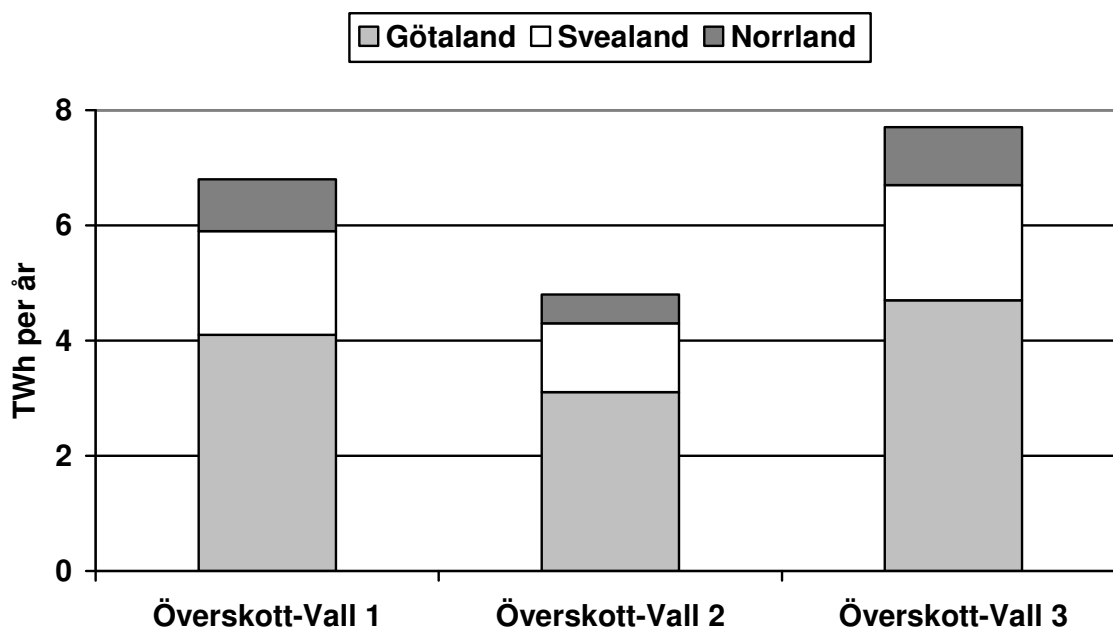
på Jordbruksverket har gjort en översiktlig och grov uppskattning över hur mycket åkermark som krävs idag (2005) för att säkerställa landets självförsörjning. Denna uppskattning bygger på följande beräkningar (Johnsson, 2006b):

- * 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 %, eller knappt 120 %. För övriga jordbruksprodukter ligger självförsörjningsgraden mellan 80 – 100 % med undantag för fjäderfäkött, cirka 70 %, och nötkött, cirka 60 % (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 % 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 % 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 % av totala åkerarealen respektive cirka 23 % 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 % av bioenergin produceras i Götaland, cirka 25 % i Svealand samt 10-15 % 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.

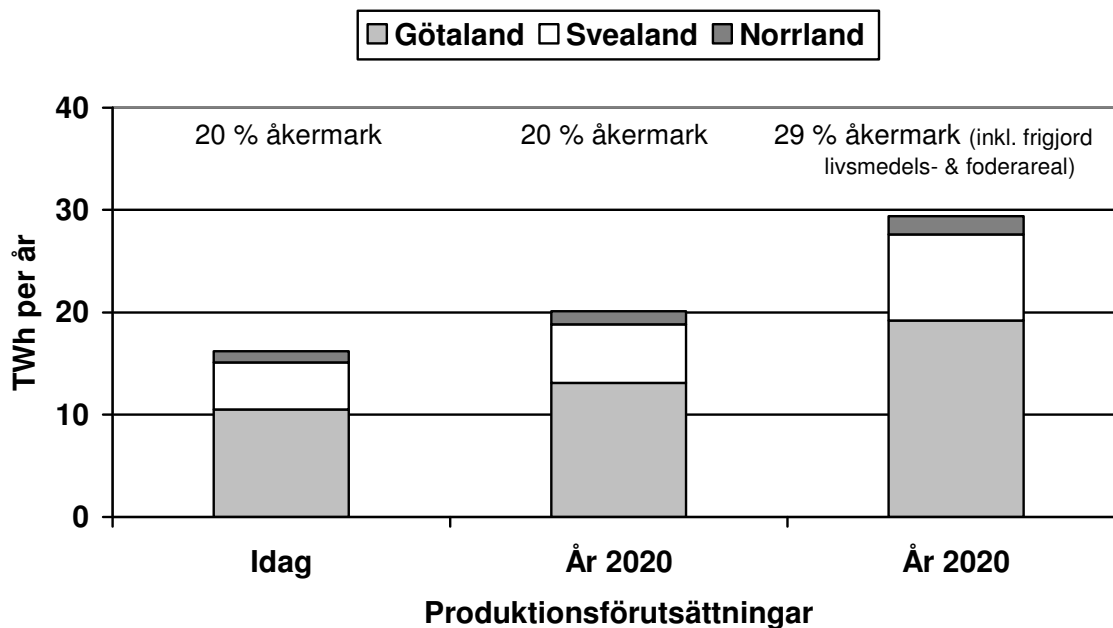


Figur 10.4. Bruttoproduktion av bioenergi på den vallareal som ej bedöms behövas för att täcka dagens grovfoderbehov inom inhemska djurproduktion. Denna överskottsareal uppskattas till cirka 250 000 hektar, eller cirka 9 % av Sveriges åkerareal (baserat på data från Johnsson, 2006b). Se text för förklaring 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 inhemska producerade grödor är konstant. I Figur 10.5 redovisas resultatet av ett räkneexempel som beaktar dessa aspekter. I räkneexemplet antas att 20 % 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 energigrödor (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 % genomsnittlig åkermark finns tillgängligt för energiproduktion. Med oförändrad åkerareal antas cirka 25 % 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 % åkermark frigörs till år 2020 från livsmedels- och foderproduktion när behovet av inhemskt producerade livsmedels- och fodergrödor är konstant. På dessa 29 % åkermark beräknas knappt 30 TWh bioenergi kunna produceras. Sammanfattningsvis visar detta räkneexempel att en framtida ökad skördeavkastning för såväl energigrödor 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.



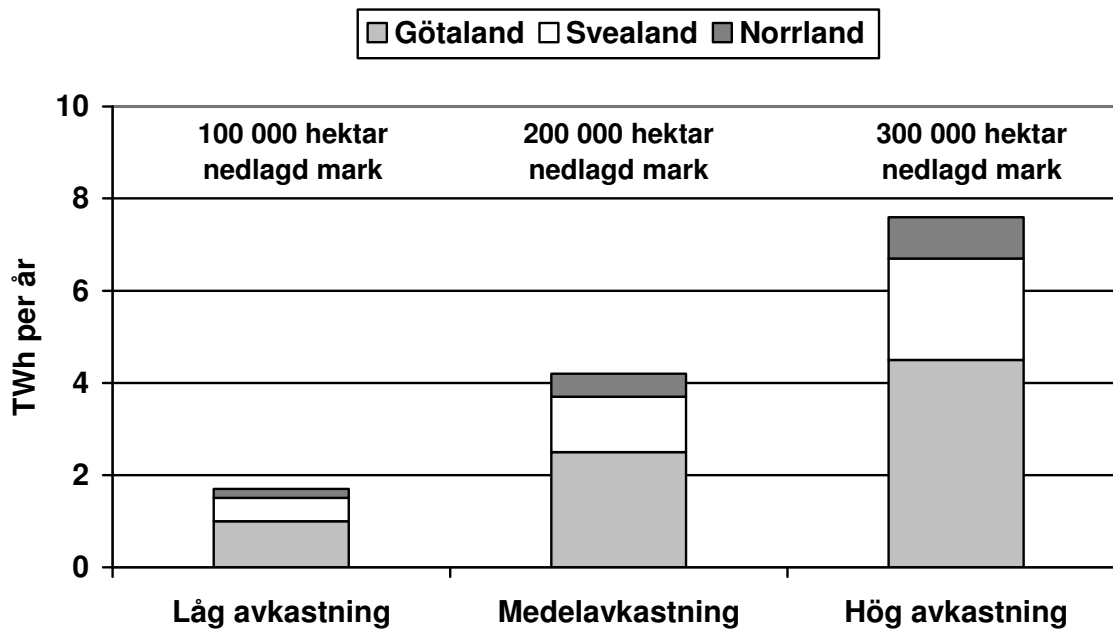
Figur 10.5. Bruttoproduktion av bioenergi när motsvarande 20 % av dagens åkerareal utnyttjas för energiodling med dagens respektive uppskattade produktionsförutsättningar år 2020. Se text för förklaring av respektive alternativ.

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 % i Götaland, 30 % i Svealand och 20 % 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 mm 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 (2006; 2007) samt Bernsson m fl. (2006).

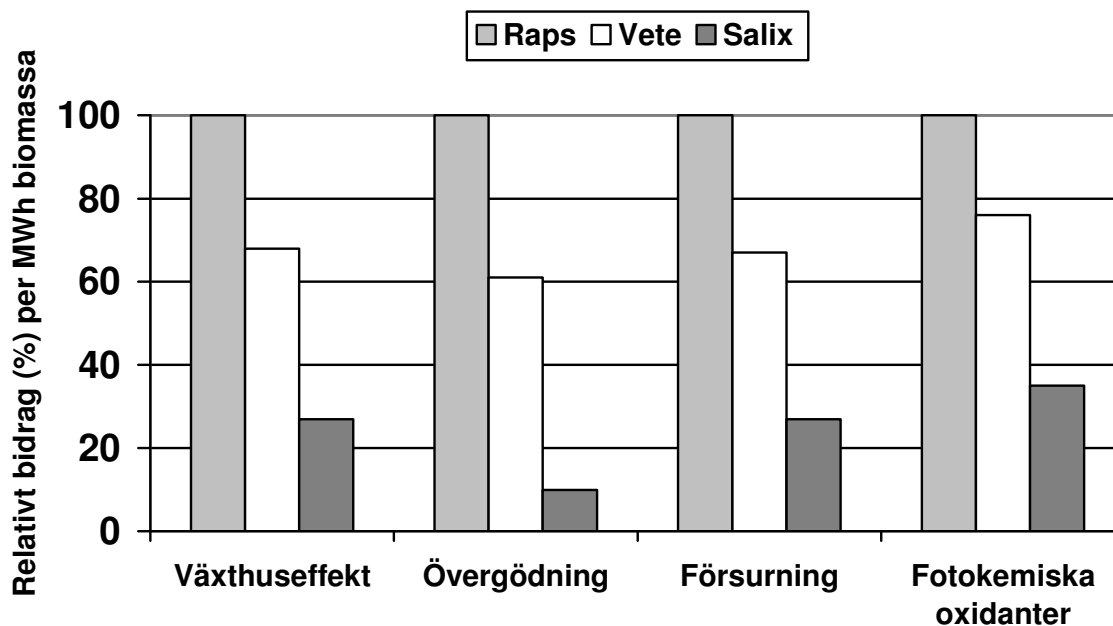
En generell slutsats från dessa studier är att en övergång från odling av ettåriga grödor som spannmål och oljeväxter till fleråriga energigrödor som energigräs och energiskog ofta ger positiva miljöeffekter. Detta beror till stor del på att odlingsintensiteten normalt är lägre för fleråriga grödor med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

- Minskad risk för växtnäringsläckage
- 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 miljöjänster. 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 mm. 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 etanol- respektive RME-produktion baseras på Bernesson m fl (2004, 2006) medan data för salixodling baseras på Börjesson (2006b). Indata har här justerats så de olika odlingssystemen blir så jämförbara som möjligt (samma produktionsområde, miljöeffekter mm). I dessa analyser inkluderas utsläpp från såväl tekniska system (drivmedel, gödselmedelstillverkning mm) som biologiska system (växtnärläckage, lustgasbildning mm). 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 mm) vid odling av energigrödor har dessa utsläpp en tydlig koppling till den insatsenergi som krävs för att driva odlingssystemet. 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. Energitkvoten är lägst för ogödslad gran, poppel och hybridasp där energiinsatsen motsvarar är cirka 2-4 % av energiskörden. Därefter kommer salix och näringsoptimerad gödslad gran med en energiinsats motsvarande cirka 5-6 % av energiskörden. Fleråriga energigrödor som rörfen och vall har en energikvot kring 8-10 %. Energiinsatsen för ettåriga grödor varierar från motsvarande drygt 10 % upp till cirka 17 % 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 mm.

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 energiodlingar påverkar 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 mm 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, slåtterängar, fuktängar mm. 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 livscykelns synpunkt 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 bibränslen.¹

	Övergödning, försurning, marknära ozon²	Biologisk mångfald	Växthuseffekt³
Energiskog & energigräs ersätter ettåriga grödor i slättbygd	++	+	+
Energiskog ersätter extensiv vall & bevuxen träda i skogsbygd	-	-	+++
Energiskog & energigräs ersätter extensiv vall & bevuxen träda i slättbygd	-	+	+++
Energiskog & energigräs odlas på lågavkastande marker med höga naturvärden	-	---	+++
Energispannmål & oljevaxter ersätter ettåriga grödor	0	0	0
Energispannmål & oljevaxter ersätter extensiv vall & bevuxen träda i skogsbygd	--	+	++
Energispannmål & oljevaxter odlas på lågavkastande marker med höga naturvärden	--	----	++

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

² Till exempel p g a kolväteemissioner från traktorer, skördemaskiner mm.

³ 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 mm) 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 % upp till 80 % 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 %. 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 % till följd av effektivare bärgningsteknik och förändrad odlingsteknik 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 %) och en betydande andel (cirka 20 %) 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, oljevaxter, sockerbetor 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 % av energiskörden. Därefter kommer salix och näringsoptimerad gödslad gran med en energiinsats motsvarande cirka 5-6 % av energiskörden. Fleråriga energigrödor som rörflen och vall har en energikvot kring 8-10 %. Energiinsatsen för ettåriga grödor varierar från motsvarande drygt 10 % upp till cirka 17 % av energiskörden. Energikvoten ökar normalt med minskad skörd, d v s 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 p g a 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, sockerbeter o s v 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 parentes 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 % per år vara möjliga under de närmsta 10-15 åren för energispannmål, energibetor samt övriga energigrödor som salix, rörfilen, hampa, majs, poppel, hybridasp osv. För traditionella grödor som utnyttjas som livsmedel eller foder bedöms skördeökningar om cirka 1 % 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 % av åkermarken) kan teoretiskt cirka 5 TWh produceras per år om genomsnittlig åkermark och en genomsnittlig mix av energigrödor utnyttjas. Omkring 70 % av bioenergin produceras då i Götaland. Om både obligatorisk och frivillig träda utnyttjas (totalt 12 % av åkermarken) kan produktionen öka till cirka 9 TWh. I detta fall produceras cirka 50 % 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 % 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 % 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 % 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 % bioenergi kan komma att produceras i Norrland, 25 % i Svealand och 60 % i Götaland.

Ett fjärde räkneexempel beaktar konsekvenserna av framtida skördeökningar tack vare växtförädlighet och förbättrad odlingsteknik. Om 20 % 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 % av dagens åkerareal och på totalt 29 % 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 mm. 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 (d v s 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 stödssystem 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). Svalöf-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. (2007). Environmental Analysis of Biogas Systems – Part II: Environmental effects when replacing various reference systems. *Biomass and Bioenergy* Vol. 31, pp. 326-344.

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 bioenergodlingar. 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.

Christersson 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, slamgödning och förbränning. Rapport 159, Inst. för Lantbruksteknik, SLU, Uppsala.

Fridman J. (2006). Riksskogstaxeringen, SLU, Umeå. Personlig kommunikation.

Geber U. & Tuveesson 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. Småskriftserien 111, Inst. för ekonomi, SLU, Uppsala.

Johansson U. (2006a). Gödslingsbeväntning 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 gödning 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.
- Turesson 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 gödslas. 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.

ISSN 1102-3651
ISRN LUTFD2/TFEM--07/3052--SE + (1-87)
ISBN 91-88360-85-7