

JTI-rapport
Lantbruk & Industri

392

**Det svenska jordbrukets
framtida drivmedels-
försörjning**

Serina Ahlgren
Andras Baky
Sven Bernesson
Åke Nordberg
Olle Norén
Per-Anders Hansson



JTI - Institutet för jordbruks- och miljöteknik

2010

Det svenska jordbrukets framtida drivmedelsförsörjning

Future Vehicle Fuel Supply for Swedish Agriculture

Serina Ahlgren
Andras Baky
Sven Bernesson
Åke Nordberg
Olle Norén
Per-Anders Hansson

© JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik 2010

Citera oss gärna, men ange källan.

ISSN 1401-4963

Innehåll

Förord.....	5
Sammanfattning	7
Summary	9
Förkortningar och förklaring	11
Inledning	12
Syfte	13
Avgränsningar.....	13
Metodik.....	13
Areal- och gödselbehov.....	14
Energi	14
Kostnader	15
Transporter	16
Allokering.....	16
Känslighetsanalys.....	17
Beskrivning av studerade system.....	17
Allmänna antaganden om systemen	18
Tillverkning av första generationens drivmedel.....	18
Sockerbetor till etanol.....	18
Spannmål till etanol	19
Höstraps till rapsmetylester (RME).....	21
Vall och gödsel till biogas	22
Tillverkning av andra generationens drivmedel.....	23
Halm som råvara.....	23
Salix som råvara	24
Skogsflis och grot som råvara	24
Framställning av Fischer-Tropsch diesel (FTD)	25
Framställning av metanol och dimetyleter (DME).....	26
Framställning av etanol från cellulosa.....	27
Användning och lagring av drivmedel	29
Etanol.....	29
Rapsmetylester (RME)	29
Fischer-Tropsch diesel (FTD)	30
Biogas	30
Dimetyleter (DME).....	31
Metanol.....	31

Resultat	31
Arealbehov	31
Energikvot	32
Kostnader	34
Bränslesystemets kostnader	34
Kostnader för gårdens hantering av förnybara drivmedel	35
Känslighetsanalyser	35
Varierande råvarupriser	35
Biprodukternas värde	36
Import av rapsfrö och rapsolja	37
Transportavstånd	37
Diskussion.....	38
Energikvot	38
Ekonomi	38
Potential för självförsörjning.....	39
Avsättning för biprodukter	41
Utsläpp av växthusgaser.....	41
Utmaningar.....	42
Referenser	44
Bilaga 1. Primärenergifaktorer	51
Bilaga 2. Energiinsats vid tillverkning av förnödenheter	53
Bilaga 3. Allokeringfaktorer som används vid ekonomisk allokering av energi och kostnader	55
Bilaga 4. Avkastning och priser på råvaror och biprodukter	57
Bilaga 5. Antagande om energianvändning för odling, skörd och transport inom gården.....	59
Bilaga 6. Designparametrar och energibehov till anläggningar för produktion av förnybara drivmedel.....	63
Bilaga 7. Underlag till kostnader på gårdsnivå vid byte till förnybart drivmedel .	67

Förord

Projektet Det svenska jordbrukets framtida drivmedelsförsörjning har studerat jordbrukets möjligheter att vara självförsörjande av förnybara drivmedel framställda med första och andra generationens teknik. Studien har finansierats av Stiftelsen Lantbruksforskning (SLF) program Bioenergi. Studien genomfördes i samarbete mellan SLU, Institutionen för energi och teknik (SLU, ET), JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik och Lantmännen.

Projektledare har varit Professor Per-Anders Hansson (SLU, ET). Övriga medverkande från SLU har varit Serina Ahlgren (Doktorand) och Sven Bernesson (Forskare). Från JTI har Andras Baky (Forskare), Åke Nordberg (Forskare) och Olle Norén deltagit. Projektet har haft en referensgrupp som förutom författarna har bestått av Camilla L. Tolke, Jordbruksverket, Thomas Larsson, lantbrukare och VD för Framtidsbränslen, och Kennet Alness, Lantmännen.

Rapporten kommer att publiceras av SLU, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för energi och teknik, rapport 020.

Uppsala i mars 2010

Lennart Nelson

VD för JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik

Sammanfattning

Syftet med detta arbete är att visa på möjligheter för det svenska jordbruket att bli försörjt med drivmedel även i en framtid, när oljan har blivit för dyr eller sällsynt för att kunna användas i tillräcklig omfattning. Dagens förbrukning av fossil dieselolja uppgår till 2,71 TWh årligen. Detta projekt studerar möjligheterna att ersätta fossil diesel med första och andra generationens förnybara drivmedel, och omfattar drivmedel från råvaror med ursprung i både jord- och skogsbruk. De drivmedel som studeras är etanol, rapsmetylester (RME), biogas, Fischer-Tropsch diesel (FTD), dimetyleter (DME) och metanol.

Genom projektet har frågeställningar besvarats som berör drivmedelssystemet som helhet, från produktion av råvara till användning av drivmedel avseende ekonomi och energi. Dessutom belyses översiktligt de ekonomiska konsekvenserna på gårdsnivå vid införandet av nya drivmedel.

Arealbehovet för att producera drivmedel av den första generationen är mellan 105 000 och 223 000 ha per år. För den andra generationens drivmedel kan biprodukter användas, vilket inte kräver att jordbruksmark som kan användas till livsmedelsproduktion måste tas i anspråk för att i stället odla energigrödor. Om Salix används som råvara är arealbehovet mellan 143 000 och 330 000 ha. Dessa siffror är oallokerade, dvs. ingen fördelning har skett mellan drivmedel och biprodukter. Som exempel, vid etanoltillverkning ger processen förutom etanol en drank som kan användas som djurfoder. En del av den areal som behöver tas i anspråk för etanol kan alltså egentligen bokföras på animalieproduktion.

För beräkning av energikvoter användes ekonomisk allokering mellan drivmedel och uppkomna biprodukter. Första generationens drivmedel uppvisar relativt låga energikvoter där etanol från spannmål är lägst och etanol från sockerbetor högst. Med undantag för etanol från cellulosebaserade råvaror, ligger energikvoterna för andra generationens drivmedel högre jämfört med första generationens. Halm och grot uppvisar höga energikvoter eftersom dessa är biprodukter och därmed hamnar en stor del av energiinsatsen på huvudprodukten.

Det är dock svårt att sätta exakta siffror på energikvoten för olika drivmedel eftersom resultaten i hög grad är beroende av avgränsningar, metod för allokering m.m. De lokala och regionala förutsättningarna för produktion kan också medföra stora skillnader för resultatet. Dessutom är det svårt att jämföra första och andra generationens förnybara drivmedel eftersom de har olika tidsperspektiv.

Produktionen av andra generationens drivmedel blev mer kostnadseffektiv i beräkningarna. Biogas från gödsel blev även det billigt att producera. Det är dock viktigt att notera att beräkningarna för andra generationens drivmedel är baserade på uppskattningar i olika studier, eftersom dessa drivmedel ännu inte produceras i kommersiell skala. Framtida beskattningsregler får också en avgörande betydelse, liksom kostnaderna för användandet av drivmedlen. Gasformiga drivmedel är generellt sett mer komplicerade att använda i traktorer på gårdsnivå. Kostnaderna för distribution och lagring blir dyrare, liksom konverteringskostnaden. Dessutom blir mängden drivmedel som fordonet kan bära med sig mindre, vilket kräver frekventare tankningar.

I Tabell 1 visas en sammanställning av den areal som måste odlas (inte allokerat) och den areal som faktiskt blir till bränsle (allokerat). För ettåriga grödor avser

arealbehovet den areal som måste odlas varje år och för halm den areal från vilket halmen årligen bärgas. Salix skördas var 4:e år och arealbehovet är den areal som måste hållas planterad med Salix. Arealbehov för skogsflis avser den areal som årligen måste slutavverkas.

Tabell 1. Sammanställning av Arealbehov (ha/år) för att det svenska jordbruket ska bli självförsörjande av drivmedel, allokerat och inte allokerat.

Gröda	Drivmedel	Arealbehov inte allokerat	Arealbehov allokerat
<i>Första generationen</i>			
Betor	Etanol	104 644	102 933
Spannmål	Etanol	156 630	142 143
Oljeväxter	RME	222 832	181 411
Vall	Biometan	198 630	186 670
Gödsel	Biometan	Ej beräknat	
<i>Andra generationen</i>			
Salix	FTD	331 557	203 044
Halm	FTD	759 146	444 709
Grot	FTD	Ej beräknat	
Salix	Metanol	157 437	156 947
Halm	Metanol	377 497	359 351
Grot	Metanol	Ej beräknat	
Salix	DME	166 105	165 600
Halm	DME	397 754	379 164
Grot	DME	Ej beräknat	
Salix	Etanol	142 572	138 155
Halm	Etanol	383 513	371 612
Skogsflis	Etanol	11 565	11 207

Raps kan odlas i begränsad utsträckning i en växtföljd, den uppskattade maximala arealen i Sverige är ca 180 000 ha oljeväxter. Det svenska jordbruket kan med andra ord bara vara självförsörjande på RME till 80 %. Vad gäller biogas så är enbart rötning av gödsel inte tillräckligt för att försörja jordbruket med biogas till traktorer m.m., men tillsammans med odlingsrester eller odlade grödor, t.ex. vall, är det möjligt. För att bli självförsörjande med etanol krävs att ungefär 16 % av den odlade spannmålsarealen avsätts.

För andra generationens drivmedel är det också möjligt att använda biprodukter som råvara till drivmedelproduktion. Om man använder halm skulle det behövas mellan 36 och 45 % av all halm från spannmålsodlingen för att försörja de svenska traktorerna med drivmedel. Dock blir frågan huruvida mullhalten i jordbruksmarken då kan upprätthållas.

Sammanfattningsvis kan sägas att det finns tillräckligt med arealer i Sverige för att jordbruket ska kunna bli självförsörjande med drivmedel, framförallt om en mix av olika råvaror och drivmedel används. För de drivmedel som baseras på grödor (framförallt första generationens drivmedel) kommer dock mängden mat som är möjlig att producera att minska. Andra generationens drivmedel kan med fördel produceras från biprodukter och matproduktionen behöver då inte minskas. Andra generationens drivmedel baserad på förgasning har också högre omvandlingseffektivitet i produktionsprocessen.

Summary

The aim of this project was to summarize existing knowledge and bring forward new knowledge, on the opportunities for Swedish agriculture to be supplied with tractor fuel also in a future when fossil oil becomes too rare or too expensive to use. The present use of fossil diesel oil is 2.71 TWh per year in the Swedish agricultural sector. This work examines the replacement of fossil diesel with alternative fuels of the so called first and second generation renewable fuels, based on raw material from both agriculture and forestry. The renewable fuels studied are rape methyl ester (RME), biogas, Fischer-Tropsch diesel (FTD), dimethyl ether (DME) and methanol.

The energy balance and costs of the fuels in a system perspective, from production of raw material to use of fuel, have been highlighted in this project. The economic consequences on farm level for switching fuel have also been estimated.

The land requirement for first generation renewable fuel varied between 105 000 and 223 000 hectares per year to supply Swedish agriculture with tractor fuel. For second generation fuels residues can be used as raw material, not requiring arable land for food production being set-aside for growing energy crops. If short-rotation willow (*Salix*) is used, the land requirement varied between 143 000 and 330 000 hectares per year. These numbers are non-allocated, i.e. no division between fuel and by-products has been made. In some cases large amount of high quality by-products can occur, for example when producing ethanol, distillers grain is also produced which can be used as animal feed. Part of the land requirement needed for ethanol can therefore be accounted to animal production.

For calculation of energy balances economic allocation was used for dividing energy use between fuel and by-products. First generation renewable fuels showed relatively low energy balances, ethanol from winter wheat lowest and ethanol from sugar beet highest. With exception of ethanol from lignocellulosic raw material, second generation fuels have higher energy balances than first generation. Fuels based on forest residues and straw show high energy balances since they are by-products and a large part of the energy input is allocated to the main product.

It is however very difficult to put exact figures on the energy balance since the results to a large extent are dependent on the chosen system boundaries, method of allocation etc. Local and regional conditions for production can also have a large impact on the results. Further, it is also difficult to compare first and second generation renewable fuels as they have differing time horizons.

The production of second generation renewable fuels was more cost effective in the calculations. Biogas from manure was also cheap to produce. It is however important to note that calculations for second generation fuels are based on estimations in different studies, since these are not yet produced on a commercial scale. Of importance is also how future laws on taxes for fuels are shaped. Costs for fuel utilization are also vital. Gaseous fuels are in general more complicated to use in farm tractors. Distribution, storage and conversion costs are higher and the amount of on-board fuel is less, and requires more frequent re-fuelling.

Table 1 summarizes the land requirements needed for self-sufficiency, where non-allocated land is the actual area to be cultivated and the allocated land requirement is the area that is turned into fuel. The difference is allocated to by-products.

For annual crops land requirement is the area needed to be cultivated each year, for straw the area that needs to be collected annually. Short rotation willow coppice (SRC) is harvested every fourth year and the land requirement is the area needed to be covered with SRC. Land requirement for chipped wood is the area of forest needed for final felling each year.

Table 1. Land requirement (ha/year) for Swedish agriculture in order to be self-sufficient with vehicle fuel, presented as allocated and non-allocated land requirements.

Biomass source	Fuel	Land requirement non-allocated	Land requirement allocated
<i>First generation</i>			
Sugar beets	Ethanol	104 644	102 933
Cereal crop	Ethanol	156 630	142 143
Rape seed	RME	222 832	181 411
Ley crop	Biomethane	198 630	186 670
Manure	Biomethane	Not calculated	
<i>Second generation</i>			
SRC	FTD	331 557	203 044
Straw	FTD	759 146	444 709
Forest residues	FTD	Not calculated	
SRC	Methanol	157 437	156 947
Straw	Methanol	377 497	359 351
Forest residues	Methanol	Not calculated	
SRC	DME	166 105	165 600
Straw	DME	397 754	379 164
Forest residues	DME	Not calculated	
SRC	Ethanol	142 572	138 155
Straw	Ethanol	383 513	371 612
Wood chips	Ethanol	11 565	11 207

Rape seed can only be cultivated to a limited extent in a crop rotation, the estimated maximal potential area in Sweden is about 180 000 ha of oil seeds. Swedish agriculture can in other words only be self-sufficient in RME up to 80 % of its need. Utilizing manure for biogas production is not sufficient to supply enough fuel, but together with crop residues or crops it can be done. To be self-sufficient in ethanol would require about 16 % of the cultivated cereal acreage.

For second generation renewable fuels it is also possible to use by-products as raw material in fuel production. Utilizing straw would require straw to be collected from 36 to 45 % of total cereal acreage to supply Swedish tractors with enough fuel. It is however a questionable if the organic soil content can be maintained in such a scenario.

In conclusion, there is enough land in Sweden to make agriculture self-sufficient in renewable vehicle fuel, especially if a mix of different raw materials and fuels are used. For fuels based on crops (in particular first generation fuels) the amount of food possible to produce will decrease. Second generation fuels based on gasification can with advantage be produced from by-products not competing with food production. Second generation fuels based on gasification also have higher conversion efficiency in the production process.

Förkortningar och förklaring

FTD	Fischer-Tropsch diesel
DME	Dimetyleter
grot	Grenar och toppar
FAME	Fatty acid methyl esthers
RME	Rapsmetylester
Biometan	Benämning på biogas renad till drivmedel enligt SS 15 54 38
m ³ fub	m ³ fast mått under bark
CHAP	Starksyra-process, Concentrated Hydrochloric Acid Process
CASH	Canada America Sweden Hydrolysis
SSF	Simultaneous Saccharification and Fermentation
CNG	Compressed natural gas
LNG	Liquid natural gas
LPP	Liquid petroleum gas
USD	Valuta, USA dollar
Nm ³	Normalkubikmeter, 1 m ³ vid 0 °C och 1,013 bar
Effektivt värmevärde	Ett bränsles värmevärde där hänsyn är taget till energiförluster p.g.a. förångning av eventuellt vatten i bränslet

Inledning

Det svenska jordbruket är helt beroende av traktorn som kraftkälla. År 2007 använde det svenska jordbruket totalt ca 296 000 m³ drivmedel. Diesel utgjorde den största andelen med ca 280 000 m³, en nivå som den har legat på sedan år 2002 (SCB, 2003; SCB, 2008a). Övrig användning av drivmedel var bensin, etanol och RME (SCB, 2008a). Ungefär 99 % av jordbrukets drivmedelsanvändning var producerad från fossil råolja (SJV, 2006; SCB, 2008a).

Samtidigt som det finns en begränsad mängd fossil olja att tillgå i jordskorpan, ökar efterfrågan på olja i många utvecklingsländer. Tillgången på billig, lättillgänglig olja kan därmed börja närma sig sitt slut. För att säkra en fortsatt konkurrenskraftig och högt avkastande jordbrukssektor, är det viktigt att redan nu undersöka vilka alternativa drivmedel för existerande och nya traktorer som finns. En annan anledning att använda biobaserade traktordrivmedel är att reducera utsläppen av växthusgaser. Sverige har förbundit sig att minska utsläppen av växthusgaser både med nationella mål och via internationella avtal. Det är därför rimligt att anta att den framtida försörjningen av drivmedel till jordbruksmaskiner kommer att basera sig på förnybara källor. Drivmedel från biomassa har potential att med rätt utformade system produceras uthålligt och medföra stora klimatvinster (Ahlvik & Brandberg, 2002).

Som producent av biomassa kommer jordbruket, tillsammans med skogsbruket, att få en mycket viktig roll i framtidens drivmedelssystem (Powlson m.fl., 2005). Omvänt kommer valet av framtida drivmedelssystem att få mycket stor inverkan på jordbruket, dels när det gäller påverkan på val av grödor och odlingsystem, dels när det gäller anpassningen av jordbrukets egna fordon och försörjningssystem till nya drivmedel. Vidare kommer kostnadsnivån för de alternativa drivmedlen och nödvändig teknik att påverka möjligheterna att producera livsmedel till konkurrenskraftiga priser.

De nya biobaserade drivmedlen kan delas upp i tre generationer. I första generationens drivmedel ingår etanol från stärkelse och sockerhaltiga råvaror, rapsmetyler (RME) samt biogas. Kommersiell teknik för produktion och användning av första generationens drivmedel finns redan idag. I andra generationens drivmedel ingår bland annat etanol från cellulosa och syntesgasbaserad dimetyler (DME), metanol och Fisher-Tropsch diesel (FTD). I denna kategori finns produktionsteknik på pilotanläggningsstadiet, men tekniken är ännu inte mogen för storskalig produktion. Flera av drivmedlen i den andra generationen har visat mycket lovande egenskaper (Kavalov & Peteves, 2005). I tredje generationen brukar inkluderas vätgas för användning i bränsleceller och andra tekniker som fortfarande kräver omfattande utvecklingsarbete och tid innan kommersiell användning kommer att vara möjlig.

I tidigare studier har miljöpåverkan studerats då en ekologisk gård ställer om från fossil dieselolja till att vara självförsörjande på traktorbränsle (Fredriksson m.fl., 2006; Hansson m.fl., 2007; Ahlgren m.fl., 2008; Ahlgren m.fl., 2009). Tanken var att en del av arealen används till att odla råvaror och att drivmedlet sedan kan produceras antingen på gården eller i större skala, dvs. att råvaran transporteras till en större anläggning och att motsvarande mängd drivmedel sedan transporteras tillbaka till gården. Både första, andra och tredje generationens drivmedel studerades, och i samtliga fall reducerades utsläppen av växthusgaser kraftigt. Dessa studier gäller dock bara för en enskild ekologisk gård. Det finns därför ett behov av att ta ett samlat grepp på hela den svenska jordbruksnäringens drivmedelsförsörjning.

Syfte

Syftet med detta projekt var att visa på möjligheter för det svenska jordbruket att bli försörjt med drivmedel, även i en framtid när oljan har blivit för dyr eller sällsynt för att kunna användas i tillräcklig omfattning.

Mer specifikt var syftet att belysa frågeställningar med avseende på ekonomi och energi för drivmedelssystemet som helhet, från produktion av råvaror till distribution av drivmedel. Dessutom belyses ekonomiska konsekvenser på gårdsnivå för den enskilde jordbrukaren vid införandet av nya drivmedel. Frågeställningar som behandlas inom projektet är:

- Vilka arealer åker och skog krävs det för att tillgodose behovet av råvaror för att försörja det svenska jordbruket med förnybara drivmedel?
- Olika systems energikvot.
- Kostnader för produktion av olika förnybara drivmedel.
- Den enskilde jordbrukarens kostnader för att använda de olika drivmedlen på det egna jordbruket.
- Hur biprodukters utnyttjande och ekonomiska värde påverkar drivmedlens produktionskostnader.

Avgränsningar

Projektet omfattar beräkningar av att ersätta 2,71 TWh diesel, vilket motsvara ca 280 000 m³ diesel. Ersättning av andra drivmedel, energi för uppvärmning samt el ingår inte i studien.

Arealbehov, energikvot samt kostnader beräknas för de valda systemen. Arbetet fokuserar på drivmedel från första och andra generationen. Studien omfattar drivmedel från råvaror med ursprung i både jord- och skogsbruk eftersom det är sannolikt att den framtida drivmedelsförsörjningen måste baseras på råvaror från båda dessa näringar. Som basscenario används biomassa producerad i Sverige, men påverkan på prisbilden vid användning av importerade råvaror studeras i känslighetsanalysen, med fokus på RME.

Troligen blir det i framtiden en mix av olika råvaror och drivmedel som förser det svenska jordbrukets maskiner. För att underlätta beräkningarna studeras i detta arbete dock varje gröda och drivmedel som enskilt försörjande till jordbruket.

För beräkningarna används nationella medelvärden på bland annat avkastning, vilket gör att regionala skillnader inte speglas i resultaten.

Metodik

För att nå målen och besvara identifierade frågeställningar beskrivs först rimliga system som inkluderar råvaruproduktion, råvarutransport, produktionsanläggning, drivmedelstransport samt lagrings- och fordonsteknik. Beskrivningen av systemen baseras på litteraturstudier och diskussioner i en referensgrupp.

De valda systemen ger en bild av hur system kan utformas för att producera drivmedel till jordbruket. Det är inte möjligt att inom ramen för detta projekt utreda alla lösningar som finns tillbuds. Vissa valda variationer belyses genom att utföra känslighetsanalyser inom de definierade systemen.

Areal- och gödselbehov

Det årliga arealbehovet för att tillverka förnybart drivmedel till det svenska jordbruket beräknades. Arealbehovet för att framställa förnybara drivmedel från olika jordbruksgrödor (höstvet, höstraps, vall, Salix etc.) beräknades utifrån ett samband mellan nationella skördenivåer för respektive gröda och utbyte vid produktion av drivmedel. Arealbehov för drivmedel baserade på halm beräknades utifrån antaganden om hur stor andel halm som kan bärgas från spannmålsodling.

För drivmedel baserade på skogsråvaror beräknades arealbehovet baserat på antagande om utbyte vid slutavverkning och omloppstid. För grot beräknades inget arealbehov, men mängden använd grot till drivmedel sattes i relation till hur mycket grot som används idag för energiändamål.

Behovet av gödsel utgår från den metanbildande potentialen för gödsel. Svin- och nötgödsel utgör underlaget för mängden metan som kan utvinnas från gödsel. Vid beräkningarna används ett medelvärde mellan svin- och nötgödsel avseende metanbildande potential, innehåll av växtnäring m.m.

Energi

Den totala energikvoten (E) beräknas som kvoten mellan den totala genererade energimängden i det producerade drivmedlet (E_{ut}) och den totala insatta processenergi (E_{in}). En hög energikvot är eftersträvävärd och anger att en stor mängd energi har genererats i förhållande till den energi som används för att få fram den. I energikvoten ingår inte den energimängd som finns i biomassaråvaran, utan endast den energi som är insatt för att få fram energin som genereras. Det är vanligt att energikvoten varierar mellan olika studier av samma drivmedel. Resultatet beror till stor del av vilka avgränsningar som är gjorda, metod för allokering, lokala förutsättningar etc.

Energien som används för att driva de studerade systemen återfinns som el, drivmedel, värme och ånga. Energin anges som primärenergi (bilaga 1). Primärenergi är en benämning för energi som inte har omvandlats till annan form av energi. Den kommer från primära energikällor som är de energikällor i den form som de tillförs ett energisystem. Det kan till exempel röra sig om råolja och stenkol, vattenkraft, sol, vind etc. Exempelvis måste råolja pumpas upp, bearbetas och transporteras, och för att producera 1 kWh olja åtgår 0,1 kWh extra energi. Primärenergifaktorn blir då 1,1 för olja. Om alla energiflöden beräknas som primärenergi är det möjligt att addera olika energislag och få en totalsumma på energianvändningen i ett system.

För att beräkna hur mycket av det förnybara drivmedlet som krävs för att ersätta motsvarande mängd diesel, används normerade värden för att räkna om energiförbrukningen mellan olika drivmedel (Tabell 2). Det normerade värdet anger hur mycket energi som måste tillföras med det förnybara drivmedlet för att generera samma arbete som erhöles från 1 kWh diesel i dieselmotorn. Det normerade värdet anges som kWh tillfört förnybart drivmedel per kWh diesel som ersätts. En siffra lägre än 1 anger därför en effektivare användning av bränslet och därmed lägre bränslekonsumtion på energibasis. Volymen drivmedel är beroende av det enskilda drivmedlets effektiva värmevärde.

För att få etanol och metanol att fungera som drivmedel i en motor av diesel-typ krävs olika tillsatser. Den färdiga blandningen benämns här som etanoldrivmedel respektive metanoldrivmedel. De tillsatser som används är tändförbättrare (Beraid 3540), denatureringsmedel (MTBE och isobutanol) samt korrosionshämmare (morpholine). Andel och mängder för tillsatser till etanol och metanol finns i bilaga 2. Etanol- och metanoldrivmedel har ett normerat värde som är lägre än 1, vilket innebär att de har en högre verkningsgrad än diesel vid användning i jordbruksmaskinen. Detta antagande bygger på testkörningar i bänk för Scania dieselmotorer beskrivet i Haupt m.fl. (1999) där kompressionen ökades från 17:1 för diesel till 24:1 för etanol med tändförbättrare.

Tabell 2. Värmevärden (kWh/kg och kWh/l), volymvikt (kg/dm^3) för diesel och förnybara drivmedel samt det normerade värdet (kWh drivmedel/ kWh diesel).

Bränsle	Värmevärde per kg drivmedel	Värmevärde ¹ per l drivmedel	Volymvikt	Normerat värde
Diesel	12,03	9,78	0,813	1,00
RME	10,7	9,47	0,886	1,04 ³
Etanoldrivmedel	6,97	5,78	0,830	0,89 ⁴
Biometan	13,6	10,1	0,742	1,34 ⁵
DME	7,89 ²	5,28 ²	0,669 ²	1,00 ⁶
Metanoldrivmedel	5,42	4,28	0,792	0,89 ⁷
FTD	12,2	9,58	0,785	1,00 ⁸

¹ värmevärdet anges som det effektiva värmevärdet

² Vid 5 bar och 20°C.

³ Hansson m.fl., 2007

⁴ Haupt m.fl., 1999

⁵ Blinge m.fl., 1997

⁶ Elam, 2002

⁷ Användning av metanol i förbränningsmotor har här likställts med användning av etanol (Egebäck m.fl., 1997; Åhman, 1999)

⁸ Norton m.fl. 1998

Kostnader

Kostnader beräknas dels för hela bränslesystemet, dels för kostnader som uppstår för den enskilde jordbrukaren vid byte från en dieseldriven traktor till en traktor som drivs med ett förnybart drivmedel.

Drivmedelssystemets ekonomi omfattar beräkningar av kostnader och intäkter från produktion av råvaror till att drivmedel är producerat vid anläggningen.

De kostnader som anges för produktionssystemen är nettokostnader. dvs. kostnader från samtliga steg i produktionskedjan minus intäkter för biprodukter i de fall avsättning finns för dem.

Kostnader som uppstår för den enskilde jordbrukaren vid byte av drivmedel är

- kostnader för lagrings- och tankningsanläggningar på gården
- kostnader för konverteringar av dieseldrivna traktorer till det nya bränslet, eller skillnaden i pris mellan traktorer direkt gjorda för det nya bränslet och traditionella dieseltraktorer.

Kostnaderna som beräknas är de årliga kostnaderna. Beräkning sker med hjälp av annuitetsmetoden som beror av kalkylräntan och avskrivningstiden. I detta fall antas att samtliga maskiner har kalkylräntan 6 % och att investeringen avskrivs på 10 år. Som referens används en dieseldriven traktor med effekten 100 kW. Lagring av diesel sker i en 10 m³ gårdstank inklusive en eldriven pump och skåp och kostnaden för lagring av de förnybara drivmedlen beräknas som merkostnader i förhållande till gårdslagret för diesel.

Transporter

Samma drivmedel som studeras antas användas av de fordon och arbetsmaskiner som ingår i det studerade systemet, exempelvis vid odling av höstvetete till etanol används etanol som drivmedel av traktorer i fält och lastbilar som fraktar vete till anläggningen och etanol och biprodukter från anläggningen. Tomma transporter åt ena hållet är medräknande för samtliga system.

Transportavståndet mellan gård och anläggning för tillverkning av drivmedel har beräknats med samma metod som är beskriven i Nilsson (1995), som i sin tur är baserad på arbete av Overend (1982). Enligt denna antas upphämningsområdet kring en anläggning vara cirkulärt, med anläggningen i mitten. Medeltransportavståndet är beroende av hur mycket biomassa som behövs till anläggningen, hur krokiga vägarna är samt hur stor andel av tillgänglig areal som krävs för att producera råvaran ifråga.

Allokering

Allokering genomförs för att hantera uppkomna biprodukter i systemen. Allokeringen medför att energi och kostnader fördelas mellan drivmedel och de övriga produkter som systemen genererar. Allokeringen medför att endast den andel av belastningen som kan hänföras till drivmedlet visas.

Allokering kan genomföras på olika sätt. Den kan baseras på produkter och biprodukters ekonomiska värde, deras fysiska mängd eller utifrån deras energivärde. Beroende på vilken allokering som väljs varierar slutresultatet.

Inom detta projekt valdes ekonomisk allokering som metod. Kostnader och energianvändning fördelas utifrån drivmedlets värde i förhållande till övriga produkters värde. De faktorer som använts vid allokering redovisas i bilaga 3. Allokering kan ske i flera steg i ett system där de uppstår biprodukter, t.ex. på gården och vid drivmedelstillverkningen.

För första generationens drivmedel sker en allokering vid odlingen mellan skördade produkter, dvs. mellan spannmålskärna och halm, oljefrö och halm samt sockerbetor och betblast. Sockerbetsblasten plöjs ned och har ett värde som motsvaras av dess innehåll av växtnäring.

För andra generationens drivmedel är halm en av de alternativa råvarorna. Efter- som halm är en biprodukt av spannmålsodling måste en allokering göras av odlingen. Den energi som sätts in i spannmålsodlingen delas upp baserat på det ekonomiska värdet av spannmålen och halmen.

Biprodukter som uppstår vid drivmedelstillverkningen, exempelvis drank vid etanolproduktion, rapsmjöl från utvinning av rapsolja, överskottselektricitet m.m. från tillverkning av FTD allokeras även de ekonomiskt.

Känslighetsanalys

Känslighetsanalysen visar på hur resultatet påverkas av förändringar av indata. Känslighetsanalys är en metod för att påvisa vilka parametrar och variabler som är viktiga eller oviktiga för resultatet.

Frågeställningar som studeras med hjälp av känslighetsanalys är

- varierande råvaror och biprodukters värde, hur påverkas systemets ekonomi
- hur påverkas produktionskostnader av ökade transportavstånd
- import av råvaror

Beskrivning av studerade system

Fem olika system för produktion av första generationens förnyelsebara drivmedel som är möjliga att tillämpa med dagens tekniknivå studeras. Dessutom studeras fyra olika drivmedel av andra generationen, med halm, Salix, skogsflis och grot (grenar och toppar) som råvara, det ger totalt 17 olika system (Tabell 3).

Tabell 3. Sammanställning av studerade förnybara drivmedel.

Systemnummer	Drivmedel	Råvara
<i>Första generationens drivmedel</i>		
System 1	Etanol	Socketbetor
System 2	Etanol	Höstvete
System 3	RME	Höstraps
System 4	Biometan	Vallgröda
System 5	Biometan	Gödsel
<i>Andra generationens drivmedel</i>		
System 6	FTD	Salix
System 7	FTD	Halm
System 8	FTD	Grot
System 9	Metanol	Salix
System 10	Metanol	Halm
System 11	Metanol	Grot
System 12	DME	Salix
System 13	DME	Halm
System 14	DME	Grot
System 15	Etanol	Salix
System 16	Etanol	Halm
System 17	Etanol	Skogsflis

Allmänna antaganden om systemen

Alla studerade system avser storskaliga anläggningar, där jordbruket fungerar som leverantör av råvara. Antagna skördenivåer redovisas i bilaga 4.

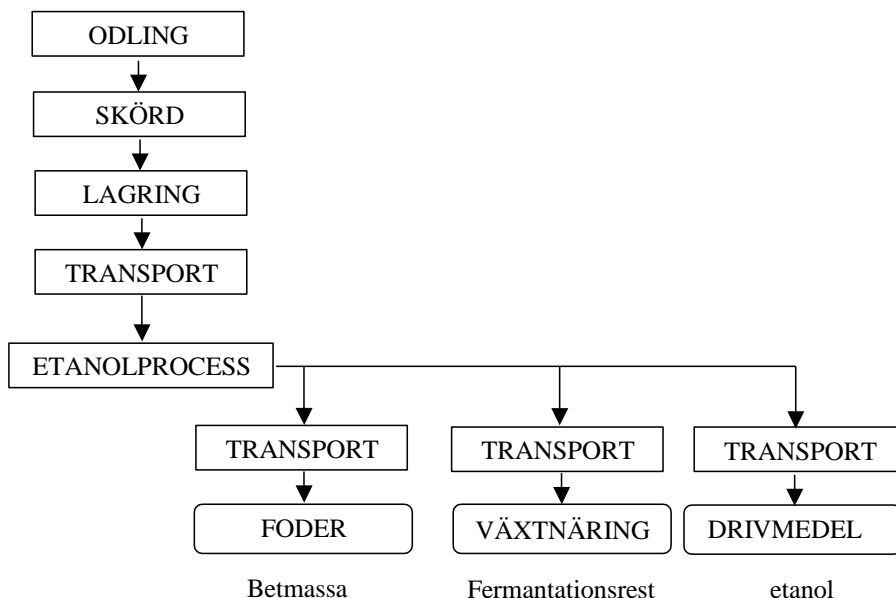
Underlag för beräkning av direkt energiförbrukning till traktoroperationer redovisas i bilaga 5. Till den beräknade drivmedelsförbrukningen vid odling och skörd tillkommer ett tillskott på 10 % för framkörning och diverse annat. Detta är schablonvärden som används för odlingskalkyler (Agriwise, 2008). Vid användning av förnybara drivmedel antas smörjmedel fortfarande vara fossilt. Underlag för indirekt energianvändning som tillverkning av handelsgödsel, bekämpningsmedel m.m. redovisas i bilaga 2.

Samtliga anläggningar för produktion av förnybara drivmedel är storskaliga. Indata till produktionsanläggningarna finns redovisade i bilaga 6.

Tillverkning av första generationens drivmedel

Första generationens drivmedel är etanol från socker och stärkelsrika produkter som spannmål och sockerbeter, RME och biometan som är renad och komprimerad biogas producerad från vallgröda och gödsel. Enligt Fredriksson m.fl. (2006), Hansson m.fl. (2007), Bernesson m.fl. (2004) och Bernesson m.fl. (2006) är de studerade drivmedlen möjliga att producera i både stor och liten skala med tillgång till dagens teknik. Lämpliga råvaror är spannmål och sockerbeter till etanol, oljeväxter till FAME (Fatty Acid Methyl Esters) varav raps används till RME samt vall, gödsel och andra biprodukter från jordbruket till biometan.

Sockerbeter till etanol



Figur 1. Figuren beskriver flödena av material, sockerbeter, biprodukter och etanol och de processer som de genomgår till slutlig produkt som fordonsbränsle, foder etc.

I Figur 1 visas det studerade systemet från odling av sockerbeter till färdigt drivmedel och producerade biprodukter. Det har antagits att det finns fyra anläggningar i Sverige som vardera antas producera ca 90 000 m³ etanol per år. Valet grundar sig

på indata från sockerproduktion, som anpassats energi- och kostnadsmässigt till produktion av etanol från sockerbruket i Köpingsbro som lades ned år 2006 (Länsstyrelsen, 2005).

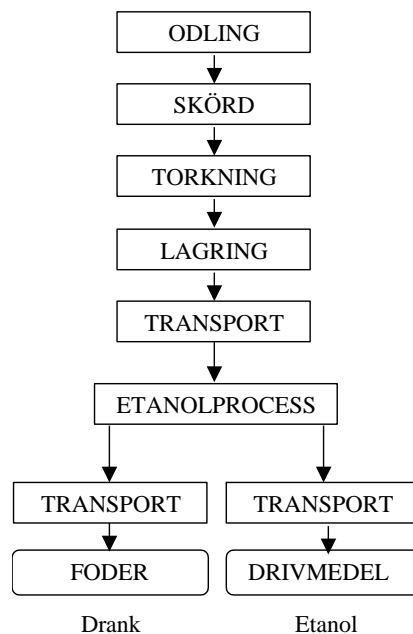
Restprodukter från tillverkningen av etanol är betmassa och en fermentationsrest. Betmassan används som foder till djur. Fermentationsresten som har ett lågt fodervärde innehåller en del närsalter (N, P och K) och kan användas som gödselmedel (Norén & Danfors, 1981).

Etanol och biprodukter transporteras från anläggningen med lastbil och släp. Transport till jordbruk sker via något företag som säljer bränsle då producenten antas inte ha ett system för distribution direkt från fabrik till slutanvändare.

Vid odling av sockerbetor används ett pelleterat enkornsfrö, som ger en planta per frö. Sådden sker med precisionssåmaskin och betorna skördas maskinellt med självgående betupptagare. Blasten plöjs ned för att utnyttjas som växtnäringsmedel där växtnäringen kommer efterföljande gröda till godo. Skördade betor förvaras i stukor vid fältkanten i väntan på leverans till sockerbruket. Stukan täcks med halm för att öka betornas möjlighet att klara frost. Sockerbetorna levereras till anläggningen med lastbil efter ett uppgjort schema under tiden som kampanj pågår.

Vid anläggningen lagras betorna i väntan på att användas. I ett förbehandlingssteg tvättas betorna innan de processas och sockerlösning extraheras. Restprodukten, betmassan, avvattnas och används som djurfoder. Sockerlösningen jäses och destilleras till etanol. Absolutering, som normalt görs för att höja koncentration till över 95 volymprocent, behövs inte göras när etanolen används för att göra etanoldrivmedel för dieseldrift.

Spannmål till etanol



Figur 2. Schematisk bild av systemet för produktion av etanol från spannmål till Otto- och dieselmotorer. Figuren visar materialflöden och processer samt de slutprodukter som blir resultatet av hanteringen.

Spannmålsgrödor av intresse för framställning av etanol är i första hand höstvetete, korn och rågvete (Agroetanol, 2009). I det studerade systemet (Figur 2) antas det att höstvetete används som enda råvara för produktion av etanol.

Anläggningsstorlekar för etanolfabriker från spannmål varierar i storlek. Den enda svenska anläggningen i drift är Agroetanol i Norrköping. Inom projektet antas att anläggningarna är i samma storleksordning som Agroetanol i Norrköping med kapaciteten 210 000 m³ etanol (www.agroetanol.se). Behovet av anläggningar är satt till 2 st.

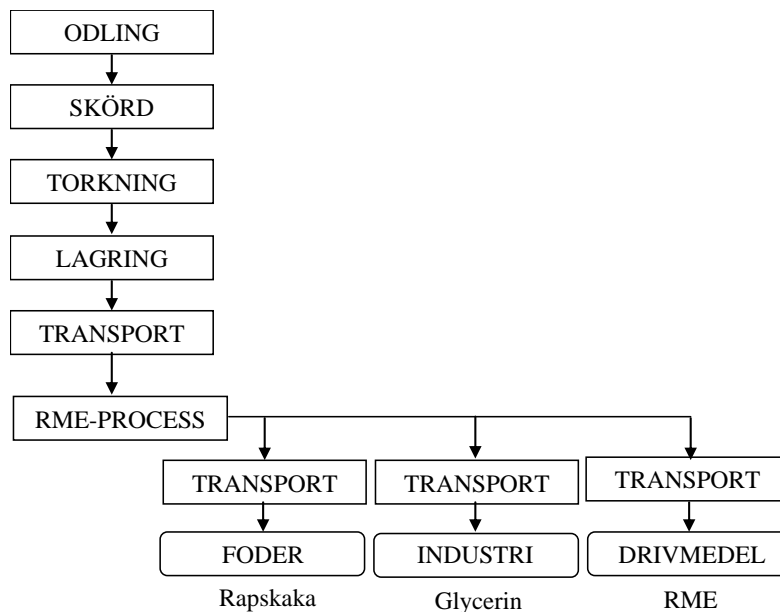
Odling av spannmål sker med konventionell teknik och jordbearbetning. Gödslning och bekämpning sker i sådan omfattning att den önskade skördenivån uppnås enligt odlingskalkyler (Agriwise, 2008). Skörd sker med skördetröska och spannmålskärnan transporteras med traktor och vagn till gården för torkning.

Torkning sker på gården med varmluftstork som eldas med halm. Transport från gård till anläggning sker med lastbil med släp och transportavståndet sätts till 30 km enkel resa. Transporten är tom från anläggning till gård när spannmål hämtas. Halmen hämtas från samma fält som kärnan. Kostnader och energianvändning vid odling allokeras ekonomiskt mellan kärna och halm.

Vid anläggningen sker en förbehandling, malning följt av inmäskning, likvifiering och försöckring. Vid förbehandlingen sker en tillsats av enzymer. Blandningen jäses tillsammans med vanlig bagerijäst. Koldioxiden drivs av och etanolblandningen destilleras. Koldioxiden tas inte omhand. Dranken torkas till 90 % torrsubstans och används som djurfoder.

Energien för att driva etanolprocessen är el och ånga. Elen köps in via elnätet medan ångan produceras i en anläggning som är integrerad med etanolanläggningen, anläggningen är dimensionerad att inte generera överskottsånga. Ångan räknas därför inte som en direkt insats av energi, då den produceras i en panna integrerad med etanolanläggningen. Endast den energi som krävs för att få fram biomassan till kraftvärmeverket samt energin vid ångproduktionen belastar ångan. (Paulsson, 2007). För att kunna använda etanolen som drivmedel i motorer av samma typ som dieselmotorer, krävs att det tillsätts tändförbättrare till etanolen (bilaga 2).

Höstraps till rapsmetylester (RME)



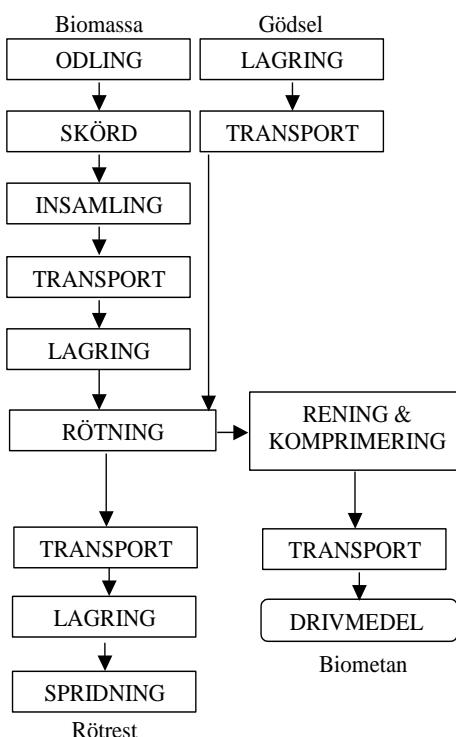
Figur 3. Schematisk bild över systemet för produktion av RME från oljeväxter. Figuren visar flödet av material från fält till färdigt bränsle samt producerade biprodukter.

Figur 3 visar det studerade systemet för tillverkning av RME. Höstrapsen odlas konventionellt. Bekämpningsmedel och växtnäring tillförs enligt odlingskalkyler från Agriwise (2008). Skördenivåerna varierar med var i Sverige odlingen sker, med en medelskörd på 3 120 kg/ha vid 9 % vattenhalt (SCB, 2007a). Efter tröskning transporteras rapsfröna med traktor och släp till gården för torkning, som sker med halm som bränsle. Det antas att rapshalmen tas till vara och används som bränsle till torken och att ekonomisk allokering sker mellan frö och halm.

Transport till RME-anläggningen sker med lastbil med släp. Transportavståndet sätts till 30 km enkel resa. Ekipaget förutsätts vara tomt vid utresa till gård. Lagring av rapsfrö i väntan på leverans sker på gården.

Anläggningen för tillverkning av RME är en större anläggning, storleken definieras enligt Bernesson (2004). Rapsfröna varmpressas med efterföljande extrahering. Metanol och kaliumhydroxid (KOH) används vid omförestring. RME:n renas från överkott av metanol och från KOH. Restprodukten efter extrahering är rapsmjöl och används som djurfoder. Vid omförestringen bildas även glycerin som kan användas som råvara i vissa industrier.

Vall och gödsel till biogas



Figur 4. Systemlösning för rötning av vall och gödsel för produktion av biogas som fordonsbränsle.

Vallen odlas av jordbrukaren medan skörd, insamling och transport till en central biogasanläggning sker med en från biogasanläggningen anlitad entreprenör. Odling av vall sker enligt data från Agriwise (2008). Skörd sker med slätterkross och bärgning av halm med exakthack. Vallen transporteras löst i containers direkt från fält till biogasanläggning, där det ensileras i tuber (Figur 4).

Gödsel från nöt och svin antas att det lagras på gårdarna i väntan på transport till biogasanläggningen. Gödseln transporteras med lastbil med släp till biogasanläggning, där ett mindre lager finns.

För både vall och gödsel antas att avståndet mellan gård och fält till biogasanläggning är 30 km enkel resa, tom uttransport antas.

Den producerade biogasen renas och komprimeras till fordonsbränsle (biometan). Traktorererna använder enbart biogas som drivmedel. Den avskilda koldioxiden tas inte omhand.

Rötresten avvattnas och en våt och en torr fraktion blir resultatet av avvattningen. Den våta fraktionen återcirkuleras för att späda inkommande substrat till önskad torrsubstanshalt. Den våta fraktionen innehåller det mesta av det växttillgängliga kvävet och sprids som ett kvävegödselmedel medan den avvattnade rötresten sprids som ett fosforgödningsmedel. De transporteras till jordbruket där de sprids till jordbruksgrödor. Rötresterna lagras i satellitlager i anslutning till jordbruket.

Transport av rötrest sker med lastbil med släp, transportavståndet mellan biogasanläggning och satellitlagret är 30 km enkel resa, tom returtransport antas. Spridning av den våta rötresten sker med släpslangspridare och den torra med kast-

spridare. Båda rötresterna sprids på hösten och brukas ned i marken inom 4 timmar efter spridning.

Tillverkning av andra generationens drivmedel

Eftersom tekniken vid produktion av drivmedel via förgasning kräver höga tryck och temperaturer, krävs stora investeringar för denna typ av anläggningar. Det kommer därför säkerligen att bli storskaliga anläggningar för att det ska bli ekonomiskt lönsamt att producera drivmedel baserat på förgasning. I denna studie har det antagits anläggningar mellan 150 och 200 MW inkommande biomassa. Detta ställer stora krav på logistik- och hanteringskedjorna, vilket behandlas vidare i diskussionen.

I samtliga fall antas att det drivmedel som studeras är det drivmedel som används vid transporter och för att driva traktorer och redskap vid odling av råvaran.

Halm som råvara

Halm kan vara svårt att förgasa på grund av de relativt höga halterna av aska med kalium och klor, vilket kan ge upphov till sintring och korrosion. Det har dock utförts flera lyckade försök med förgasning av halm, framförallt i Danmark (Ahlgren m.fl., 2008). Vid förgasning bildas aska, som innehåller värdefullt kalium och fosfor. Askan kan med fördel föras tillbaka till åkermark.

Mycket forskning pågår med halm som råvara till etanol, men någon kommersiell produktion finns ej ännu. En stor utmaning ligger i förbehandlingen av halmen som måste ske för att enzymerna ska kunna komma åt att bryta ner cellulosan till socker. Förbehandlingen är tekniskt komplicerad och en av de större kostnaderna i processen. Olika försök med ångexplosion, syror och kalk har genomförts (Persson m.fl., 2009; Pérez m.fl., 2008).

I denna studie antogs halmen torka på fält, pressas till balar och transporteras till drivmedelsanläggningen med lastbil. Data för energiåtgången vid halmbärgning har hämtats från Nilsson (1997) och finns specificerade i bilaga 5.

Mängden halm som kan bärgas varierar beroende på vilken sorts spannmål som odlas, ekologisk eller konventionell odling, stubbhöjd, årsmån m.m. All halm kan inte heller bärgas då det kan ha negativa konsekvenser för jordens mullhalt. I en studie av Nilsson och Bernesson (2009) baserad på fältprover, beräknades kvoten mellan halm och kärna till 0,6 för höstvetete där halmens vattenhalt var 18 % och 14 % för kärnan och med en stubbhöjd på 20 cm. I denna studie antas en genomsnittlig halmskörd på 3 ton ts per ha.

Eftersom halm är en biprodukt av spannmålsodling så får halmen bära en del av belastningen från odlingen, se bilaga 4. Allokeringen i denna studie gjordes direkt efter tröskning, dvs. mellan värdet på halmen när den ligger på fält och värdet på den otorkade grödan. I denna studie gjordes även en ekonomisk allokering mellan drivmedel och aska, där värdet på askan baserades på innehåll av växtnäring.

Tillgången av halm påverkas av hur stor areal som odlas av oljeväxter och spannmålsgrödor. Halm används som strömmaterial till djur, vilket påverkar hur mycket halm som finns tillgänglig för energiändamål. Andersson (2007) uppskattar att det finns ca 30 TWh halm och blast tillgänglig, men att endast ca 7 TWh halm kan utvinnas för energiändamål på grund av att mycket av halmen måste lämnas kvar

på åkern för att bevara mullhalten, samt att det under regniga perioder inte är möjligt att bärga halmen. Herland (2005) gör samma bedömning som Andersson (2007) avseende mängden halm som kan bärgas varje år, ca 7 TWh. Nilsson och Bernesson (2009) uppskattade att det finns ett halmöverskott tillgängligt för bränsleändamål motsvarande 3-4 TWh. Detta efter att hänsyn tagits till omständigheter som nederbörd vid skörd, låga mullhalter i marken, användning inom djurhållning etc.

Salix som råvara

Som råvara till förgasning torde Salix fungera bra. Perenna växter har ofta lägre halter av alkalier (kalium) och ger därför mindre problem med sintring och korrosion vid förgasning (Brown m.fl., 2009).

Flera studier av Salix som råvara till etanol har utförts, se t.ex. Sassner m.fl. (2006), men ingen produktion i kommersiell skala förekommer ännu. Liksom för halm, är förbehandlingen av Salix ett avgörande steg för en fungerande process (Sassner m.fl., 2008).

Salixen antas att den direktflisas vid skörd och håller då en vattenhalt om 50 %. Transport sker med lastbil till drivmedelsanläggningen där torkning och lagring sker. Data för energiåtgång vid Salixodling har hämtats från Lindgren m.fl. (2002) och Börjesson (2006).

Salixfältet antas ligga i 21 år och skörd sker vart fjärde år. Första omdrevet ger en avkastning på 22 ton ts ha⁻¹, efterföljande 28 ton ts ha⁻¹ (Agriwise, 2008, Hushållningssällskapet m.fl., 2007), vilket i genomsnitt blir 6,4 ton ts ha⁻¹ år⁻¹. För att odling av Salix ska ge goda skördar krävs, förutom att lämpliga sorter används, även att god åkermark avsätts för odling samt att Salixen sköts väl avseende gödsling, ogräsbekämpning m.m. I denna studie har antagits att både mekanisk och kemisk bekämpning utförs i Salixodlingen samt att den gödglas med i genomsnitt 64-7-23 kg N-P-K per hektar och år.

Askan som bildas vid förgasningen antas kunna föras tillbaka till åkermark och allokeras i studien med avseende på värdet av dess innehåll av växtnäring.

Enligt LRF:s energiscenarier (Herland, 2005) är potentialen för Salix ca 100 000 ha år 2020. Den uppskattade arealen år 2010 är 25 000 ha. Andersson (2007) är mer optimistisk och räknar med 200 000 ha år 2020. Den odlade arealen Salix uppgick år 2007 till ca 14 300 ha (Jordbruksstatistisk årsbok, 2008).

Skogsflis och grot som råvara

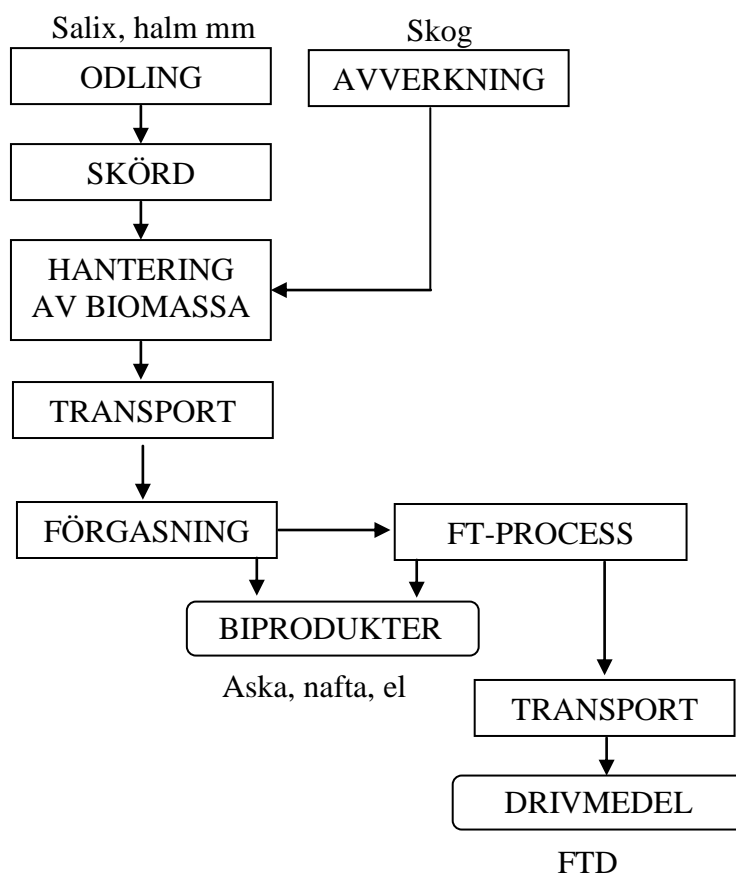
Även skogsråvaror kan användas vid framställning av andra generationens bio-drivmedel. I denna studie valdes grot, dvs. grenar och toppar som blir kvar efter slutavverkning. Det finns storskaliga tekniska system för att tillvarata denna resurs och ca 8 TWh samlas årligen in från slutavverkningar. Potentialen är dock mycket högre. Den fysiska maximala potentialen är i en studie av Egnell (2008) bedömd till 110 TWh, och den praktiska potentialen till mellan 15 och 32 TWh. Herland (2005) är något mer optimistisk och uppskattar potentialen till 45 TWh grot.

För etanoltillverkning baserad på hydrolys och jäsning är processen mera känslig för ingående material. Det har visat sig att grot är ett väldigt heterogent material

och inte särskilt lämpligt som råvara för etanol (Vilhelmina kommun, 2008). För andra generationens etanol har därför flisad massaved valts som råvara.

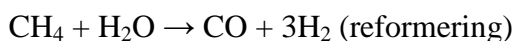
För beräkning av mängd uttagen flis från massaved har antagits en omloppstid på 80 år och med en genomsnittlig tillväxt på 6 m³ per ha och år (Berg & Lindholm, 2005). Vattenhalt vid avverkning sattes till 45 %. Mängden uttagen grot vid slutavverkning sattes till 32 ton per ha, vilket är ett medelvärde för magra och rika gran- och tallbestånd (RecAsh, 2009). Energibehovet från planta till slutavverkning och leverans av flis till industri satte Berg & Lindholm (2005) till 49 kWh/m³ fub (fast under bark). Energibehovet för insamling och transporter av grot bestämdes till 46 kWh/ton, baserat på Paulsson (2007).

Framställning av Fischer-Tropsch diesel (FTD)



Figur 5. Figuren visar flödet av material och bränsle vid förgasning av biomassa från åkergrödor och framställning av FTD för användning i dieselmotorer. Biprodukter är aska från förgasning, nafta från FT-syntesen samt överskottselektricitet.

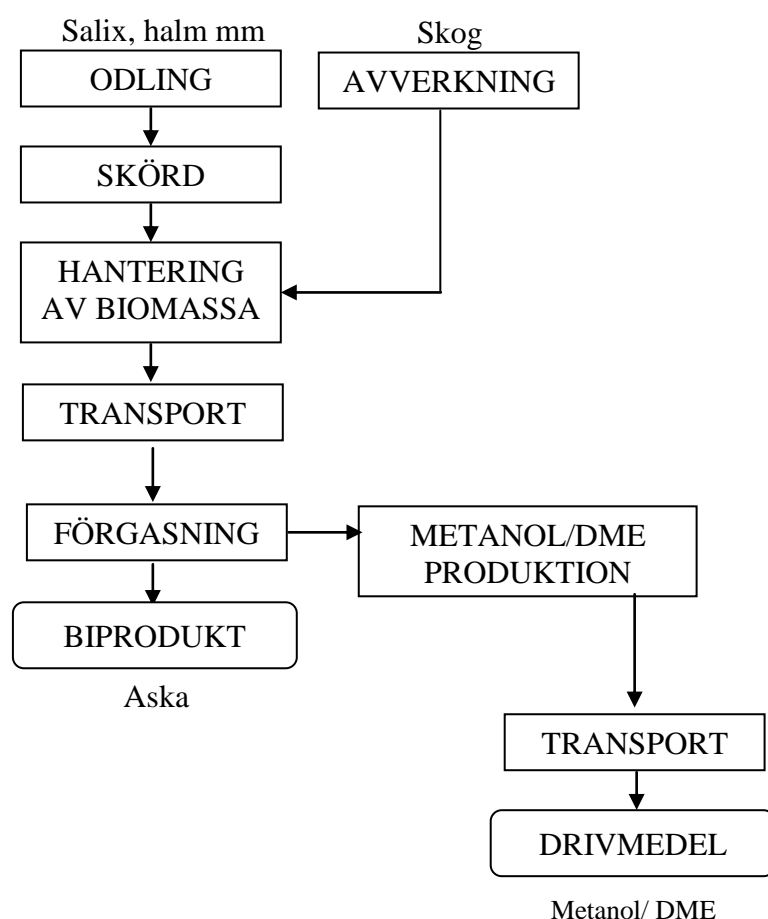
Fischer-Tropsch diesel (FTD) är ett flytande drivmedel med liknande egenskaper som fossil dieselolja. FTD kan tillverkas av en rad olika råvaror (Figur 5). Huvudprincipen är att råvaran torkas och mals för att sedan förgasas, varvid en gas främst bestående av vätgas, kolmonoxid, koldioxid, metan samt diverse olika föroreningar utvinns. Gasen behöver renas från stoft och partiklar, alkaliska föreningar, svavel och ammoniak. Därefter måste gasen genomgå en ångreformering och shiftning.



Metan omvandlas alltså till vätgas och kolmonoxid, eftersom det är dessa gaser som är åtråvärda i det efterföljande steget; Fischer-Tropsch-syntesen. Förhållandet mellan H_2 och CO i gasen bör vara ca 2 innan den går in i FT-syntesen. Fischer-Tropsch-syntesen är en exoterm (dvs. värme behöver tillföras) katalytisk process där kolväten i olika långa kedjor bildas av vätgas och kolmonoxid i en reaktor. Vid FT-syntesen bildas förutom en dieselfraktion även produkter som nafta och vax. Vaxet kan krackas (dvs. längre kolkedjor sönderdelas) så att mer diesel kan utvinnas. Utbytet av de olika fraktionerna styrs genom val av temperatur, tryck och katalysator. Hanteringen av biprodukterna (överskottsel och nafta) har i denna studie allokerats bort baserat på deras ekonomiska värde, se bilaga 5.

En framtida FT-anläggning är förmodligen optimerad så att den är självförsörjande med värme och el för processen. Data till energiberäkningarna och produktionskostnaderna i denna studie har hämtats från Tijmensens m.fl. (2002).

Framställning av metanol och dimetyleter (DME)



Figur 6. Figuren visar flödet av material och bränsle vid förgasning av biomassa från åkergrödor och framställning av DME och metanol för användning i dieselmotorer.

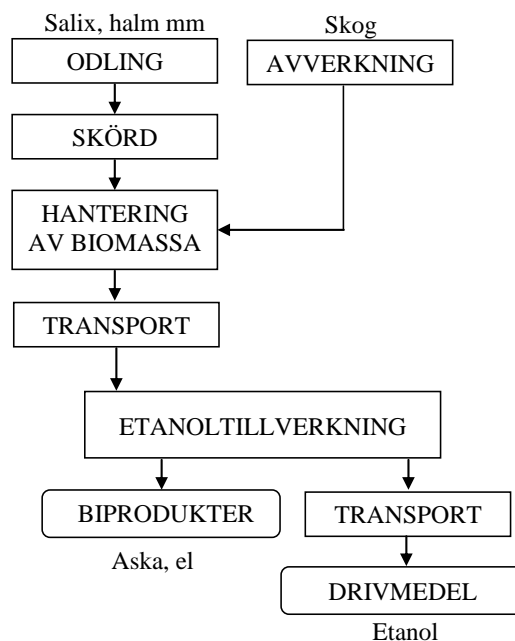
Metanol är ett alkoholbränsle som kan tillverkas via förgasning av biomassa (Figur 6). Liksom andra drivmedel som tillverkas via förgasning, är det även möjligt att tillverka metanol via naturgas. Metanol producerad av naturgas är redan idag en kemikalie som används som lösningsmedel i olika industrier (t.ex. vid tillverkning av RME) och som bränsle i motorsportsammanhang. I USA var under 1980- och 90-talen intresset stort för användningen av metanol som bränsle

för personbilar och bussar, och många försök gjordes att introducera metanol på marknaden. På grund av metanolens giftighet och initiala driftsproblem slutade dock försöken (Egebäck m.fl., 1998; Egebäck m.fl., 1997). Eftersom metanol är ett alkoholbränsle med lågt cetantal behövs tändförbättrande tillsatser (Unnasch m.fl., 1990), se bilaga 2.

Dimetyleter (DME) är ett gasformigt bränsle, men som blir flytande redan vid 5 bars tryck vilket ger den liknande infrastrukturegenskaper som gasol. Volvo har utvecklat lastbilar anpassade till DME-bränsle och kommer att börja med fältprovning av 14 lastbilar under 2009 (Volvo, 2008). En liten mängd (1000 ppm) fossilt smörjmedel behöver tillsättas för att hålla insprutningen i god kondition (Hansen & Mikkelsen, 2001).

Precis som i FT-syntesen är det kolmonoxid och vätgas (s.k. syntesgas) som behövs för att producera metanol och DME. Den första delen av processen är alltså lika; förbehandling, förgasning, gasrening, ångreforming och shiftning. Metanol bildas av syntesgas i en reaktor över en kopparkatalysator. DME produceras genom att ta processen ett steg till och låta metanolen dehydreras. Detta sker i direkt anslutning genom att även ha aluminium närvarande som katalysator i reaktorn. Data för energikvoterna i processerna har hämtats från Boding m.fl. (2003) där det är antaget att anläggningen förser sig själv med tillräcklig mängd el och ånga. Produktionskostnaderna för metanol beräknades från Hamelinck och Faaij (2002) och vi antog här att produktionskostnaden per producerad kWh bränsle är samma för metanol och DME.

Framställning av etanol från cellulosa

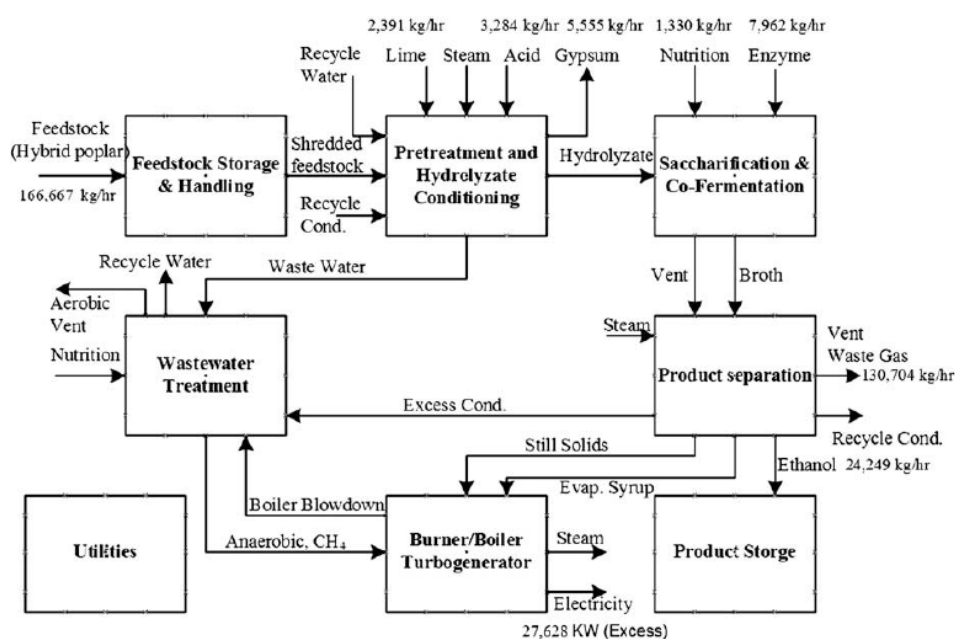


Figur 7. Figuren visar flödet av material och bränsle vid förgasning av biomassa från åkergrödor och framställning av etanol för användning i dieselmotorer.

För att kunna tillverka etanol via jäsning så måste sockret i råmaterialet utvinnas. I cellulosarika råmaterial innebär det att materialet måste hydrolyseras för att utvinna sockret som är hårt bundet i lignocellulosan. Även om produktion av etanol från lignocellulosarika råvaror inte finns i kommersiell skala än, pågår

mycket forskning och försök på området. Ett flertal olika metoder för framställning har föreslagits, dessa kan delas in i fyra huvudgrupper (Ulff, 2005):

- Starksyraprocess, även kallad CHAP (Concentrated Hydrochloric Acid Process). Behandling av cellulosabaserade råvaror genom hydrolys med starksyra. De negativa konsekvenserna för miljön och energiförbrukningen vid användning av saltsyra gör att metoden inte ligger i fronten.
- Svagsyraprocess, även kallad CASH (Canada, America, Sweden Hydrolysis). Råmaterialet duschas med svagsyra under lätt tryck. Processen sker i ett eller två hydrolyssteg, i första steget vid 180 °C och 10 bar, andra steget sker vid 210 – 220 °C och 20 bars tryck.
- Enzymprocessen, som är mycket lik svagsyrametoden. Enzymprocessen har dock inte svagsyrans andra hydrolyssteg, utan det ersätts med enzymer som bearbetar materialet och bryter ner det till lättillgängligt socker.
- SSF-metod (Simultaneous Saccharification and Fermentation). Enzymatisk hydrolys sker samtidigt som jästbakterier tillverkar etanol i samma kärl.



Figur 8. Schematisk beskrivning av processen samt material- och energiflöden för att producera etanol från lignocellulosarika material (Huang m.fl., 2009).

I denna studie har det antagits att en så kallad SSF-metod (Simultaneous Saccharification and Fermentation) används (Figur 7). Den drank som bildas har lågt innehåll av protein och kväve, och lämpar sig därför mindre bra till foder eller gödselmedel. Istället separeras dranken i en fast och en flytande fas enligt beskrivning i Huang m.fl. (2009). Den fasta fasen förbränns och försör processen med el och värme. Den flytande fasen blandas med övrigt överskottsvatten från processen och tas omhand i en vattenreningsanläggning. I vattenreningsanläggningen rötas vattnet, och den bildade metanen förbränns för ytterligare produktion av el och värme (Figur 8). Etanolen destilleras för att få bort återstående vatten. Utbytet av etanol sattes till 0,345 m³ etanol per ton ts halm och 0,368 m³ per ton ts Salix

och skogsflis baserat på Huang m.fl. (2009), där även data för energikvoten i processen har hämtats. Data för energiförbrukning för de olika insatsmedlen som behövs i processen (t.ex. svavelsyra, enzymer och jäst) har hämtats från Aden m.fl. (2002), Bernesson (2004) och Edwards m.fl. (2007). Data för produktionskostnader baseras på Huang m.fl. (2009).

Användning och lagring av drivmedel

Vid byte av drivmedel från diesel till ett drivmedel producerat från förnybara råvaror påverkas bondens kostnader för traktor, lagring och tankning. Beroende på drivmedlets egenskaper krävs det ombyggnad eller anpassning av traktorn för att kunna använda det förnybara drivmedlet. Faktorer som kan påverka hanteringen på gården kan vara hur drivmedlet klassas rent risk- och hanteringsmässigt, om det krävs anpassning av lagertankar och tankningsenheter.

Etanol

Vid drift med etanoldrivmedel krävs ändringar på motorn och större bränsletank jämfört med diesel. Scania har konverterat bussar till att använda etanol med tändförbättrare. När det gäller bussar kommer nu Scania med en ny bussmodell som har lika hög energieffektivitet som dieselbussar. De klarar också den nya Euro 5-nivån, det vill säga EU:s utsläppskrav som gäller från 2012. Merkostnaden i inköp för Scantias etanolbuss i förhållande till en dieselbuss är cirka 150 000 kr.

Etanol är klassad som brandfarlig vätska klass 1, vilket gör att etanol ska hanteras på samma vis som bensin. Enligt lagen (1988:868) om brandfarliga och explosiva varor står det att den som bedriver verksamhet, i vilken ingår yrkesmässig hantering av brandfarliga eller explosiva varor, skall se till att det finns tillfredsställande utredning om riskerna för brand eller explosion i verksamheten och om de skador som kan uppkomma. Regeringen eller den myndighet som regeringen bestämmer får meddela närmare föreskrifter om sådan utredning.

Rapsmetylester (RME)

De flesta traktorer kan rent tekniskt köras direkt på RME. Ofta är det motortillverkaren som av ren försiktighet anger att garantier etc. inte gäller om RME tankas i en dieselmotor. En viss anpassning bör ske av insprutningspumpen för att optimera traktorn för RME-drift. Det finns en risk att RME löser beläggningar m.m. som finns i motorn och orsakar driftstörningar, byten av filter bör därför ske tätare än vid dieseldrift. Dessutom anses RME vara mer aggressivt mot lack och tätningar jämfört med diesel. Kostnaderna i samband med byte till RME från diesel bedöms alltså som små.

RME kan lagras och hanteras på samma vis som diesel. Då RME är mer aggressivt mot färg och packningar av gummi kan dessa delar i lagringstanken behöva bytas ut mot sådana packningar och färger som är beständiga mot RME. Vid låga omgivningstemperaturer ökar risken för att filter sätter igen och att bränslet i lagertanken tjocknar till den grad att den blir svår att pumpa. Det kan bli nödvändigt att lagra RME inomhus eller i uppvärmda tankar. Olika tillsatser kan användas för att öka lagringsdugligheten, effekten av dessa tillsatser är dock okända.

Fischer-Tropsch diesel (FTD)

FTD är en syntetisk diesel till sammansättning och funktion. Inga anpassningar av vare sig traktor eller lagring och tankning krävs i jämförelse med fossil diesel.

Biogas

Ett krav på biogas för att användas som fordonsbränsle är att den är renad från koldioxid till 97-98 % ren metan, s.k. biometan. Biometanets egenskaper finns definierade enligt svensk standard SS 155438.

Tyngre fordon, som bussar och lastbilar, har tidigare anpassats till biometan genom att utnyttja otto-motorteknik. Dual-fuel är en annan teknik för att konvertera dieseldrivna traktorer till biogasdrift. Enligt Biogas Syd (2008) tror man att dual-fuel är en teknik som har framtiden för sig.

En tvåaxlig sopbil som drivs med gas och en 279 hk motor kostar 1 800 000 kr, motsvarande dieseldrivna fordon kostar 1 600 000 kr (Åmål, 2007). Merkostnaden är 200 000 kr jämfört med en dieseldriven sopbil. Amerikanska data (Ahouissoussi & Wetzstein, 1997) anger kostnaden till 35 000 USD, 267 400 kr, där 1 USD motsvarar 7,64 kr i medeltal för år 1997, räknat från december -96 till december -97 (Riksbanken, 2009).

I Trollhättan konverterades år 2005 en Scania 93 till dual-fuel, med diesel som tändbränsle, därefter drift med biogas. Konvertering genomfördes av MGN AB (Motor & Gas i Norr AB). Efter initiala problem med bl.a. gasblandningen har fordonet fungerat tillfredsställande och används i den dagliga verksamheten till snöröjning och som grusfordon. Kostnaden för konvertering av dieseldriven lastbil till dual-fuel är ungefär 120 000 kr (Sundén & Andrén, 2006).

Lagring av biogas kan ske i trycklager ca 200-300 bar, även kallad CNG (compressed natural gas), eller i flytande form -160 °C som LNG (Liquid natural gas). För jordbruk är troligen CNG att föredra framför LNG. En orsak är att biogas lagrad som LNG förångas och kräver system för återcirkulering samt system för att behålla kylan.

Riktvärdet att gårdslagret av bränsle skall räcka till ca 4 dygns förbrukning under högsäsong går inte att uppnå vid ett biogassystem, då lagren blir alltför dyra i investering. Även bränsleförrådet på traktorn måste minskas av utrymmesskäl. I denna kalkyl förutses att ett modulsystem inrättas, där kassetter om 500 flaskliter används. Dessa kassetter blir givetvis väldigt skrymmande och svåra att placera på en traktor utan att ge avkall på sikt och manöverutrymme. Det är dock orimligt att tänka sig ett mindre bränsleförråd än så med tanke på maskinens aktionsradie. Traktorerna antas tanka genom att skifta en sådan tankmodul mot en fylld dito. Varje traktor beräknas äga tre sådana kassetter. Sådana kassetmoduler måste hyras årligen från gasbolaget. Hyreskostnaden uppskattas till 10 000 kr per kasset och år (SBGF, 2002).

Dimetyleter (DME)

DME är vid normalt lufttryck ett gasformigt bränsle. Vid låga tryck runt 5 bar är DME i vätskefas. DME hanteras som LPG (Liquid petroleum gas eller Low Pressure Gas). DME kräver ny infrastruktur för hantering av bränslet och anpassade fordon.

Traktorns bränslesystem måste byggas om. Bränsletanken måste vara trycksatt till ca 5 bar. Hanteringen liknar den för gasol. Ombyggnaden är omfattande, med ett bränslesystem som ska hantera ett trycksatt bränsle. Fordon som använder LPG finns tillgängliga på marknaden i dagens läge.

Förbränning av DME ger lägre utsläpp av partiklar och NO_x (Gray och Webster, 2001), vilket kan spara kostnader för reningsutrustning. Det saknas för närvarande säkra data på kostnader för att anpassa tunga dieseldrivna fordon till att köras på DME. I denna studie antas det att merkostnaden för att konvertera en dieseldriven traktor är i samma storleksordning som att konvertera ett tungt fordon till biogas.

DME kommer med all sannolikhet att distribueras i vätskeform. Den förvaras i trycktankar under 5-10 bars tryck vid normal omgivningstemperatur. Lösningar liknande de som finns för biogas kan användas, exempelvis kan vätskan finnas i utbytbara standardiserade kassetter på fordonet vilka fylls på vid tankstationen, eller system med utbytbara kassetter som levereras till kunden.

DME kan lösa de flesta material som används till packningar i system för lagring av oljor och gaser. Ett system för lagring av DME kan bestå av en lagertank för DME och en dagtank där DME med eventuella tillsatser lagras, tankar för olika tillsatser. Tillsatser kan vara smörjmedel och odoranter.

Metanol

Omfattande ombyggnad av fordonet krävs för att anpassas till drift med metanol. I Nicolas m.fl. (1997) anges merkostnaden för ombyggnad från diesel till metanol till 29 000 USD. Om 1 USD motsvarar 6,32 SEK blir kostnaden för ombyggnad 183 424 kr. För metanol gäller samma krav för lagring och tankning av bränsle som för etanol.

Resultat

Arealbehov

I Tabell 4 redovisas behovet av drivmedel och vilka arealer som måste odlas för att ersätta jordbrukets användning av ca 280 000 m³ diesel (SCB, 2007). Det totala arealbehovet anger det behov som behöver tillföras i anläggningarna där drivmedlet tillverkas. Arealbehovet efter avdrag för biprodukter anger hur stor areal som belastar drivmedlet efter att biprodukter räknats bort.

Eftersom de olika drivmedlen har olika normerade värden (dvs. hur många kWh som behövs för att ersätta 1 kWh fossil diesel, se Tabell 2) så skiljer sig det årliga behovet av drivmedel åt.

Tabell 4. Behovet av drivmedel och arealbehovet (ha/år) som behövs för framställning av förnybara drivmedel från olika råvaror samt andelen (%) av nuvarande areal gröda för år 2007 som behövs för att täcka jordbrukets behov av diesel (2,71 TWh).

Drivmedel	Råvara	Behov drivmedel TWh/år	Totalt arealbehov för systemet ha/år	Arealbehov efter avdrag för biprodukter ha/år	Procent av nuvarande areal ¹
<i>Första generationens drivmedel</i>					
Etanol	Socketbeta	2,41	104 644	102 933	253 %
Etanol	Vete	2,41	156 630	142 143	39 %
RME	Oljevaxter	2,82	222 832	181 411	207 % ²
Biogas	Ensilage	3,63	198 630	186 670	16 %
Biogas	Gödsel	3,63	Ej beräknat		
<i>Andra generationens drivmedel</i>					
FTD	Salix	2,71	331 557	203 044	1 420 %
FTD	Halm	2,71	759 146	444 709	45 %
FTD	Grot	2,71	Ej beräknat		79 % ³
Metanol	Salix	2,41	157 437	156 947	1 098 %
Metanol	Halm	2,41	377 497	359 351	36 %
Metanol	Grot	2,41	Ej beräknat		64 % ³
DME	Salix	2,71	166 105	165 600	1 158 %
DME	Halm	2,71	397 754	379 164	38 %
DME	Grot	2,71	Ej beräknat		67 % ³
Etanol	Salix	2,41	142 572	138 155	997 %
Etanol	Halm	2,41	383 513	371 612	38 %
Etanol	Skogsflis	2,41	11 565	11 207	5 % ⁴

¹Baserat på areal efter avdrag för biprodukter. Procent över 100 anger att dagens arealer är mindre än det framtida behovet

¹Procent av nuvarande areal oljevaxter (raps och rybs)

³Beräknat som % av energin i dagens uttag av grot, 8 TWh (Egnell, 2008)

³Beräknat som procent av total slutavverknings år 2006 (Skogsstyrelsen, 2008)

Energikvot

Energikvoten för de olika drivmedlen finns sammanfattade i Tabell 5. Resultaten är allokerade värden och angivna i primärenergi.

Energikvoten för etanol (2,3) ligger något högre än det man kan hitta i litteraturen. Börjesson (2006) gjorde en sammanställning av olika studier och sammanfattade att medelvärdet för energikvoterna av spannmålsbaserad etanol var 1,6 med en variation mellan 1,02 och 2,25. Variationen beror bland annat på val av allokeringsmetod och uppsatta systemgränser. En viktig skillnad till varierande resultat i etanolstudier är hur man hanterar processenergin. I vissa studier räknar man in värmevärdet i den ingående energin (ånga och el). Om fossila bränslen används kan detta vara en rimlig metod att räkna.

I svenska anläggningar används dock bibränslen som energi för att driva etanol-tillverkningen. Då kan det vara mera rimligt att bara räkna med den energin som behövs för att odla, samla in och transportera biomassan. I denna studie har vi valt

den metoden. Paulsson (2007) beräknade även energikvoten för etanol från spannmål med denna metodik till mellan 2,6 och 3,1.

Även etanol från sockerbeter (energiqvoten 4,18) ligger utanför den variation som anges av Börjesson (2006), som varierar mellan 1,18 och 2,5. Om sockerbets-etanolen belastas med energivärdet i ånga och el blir energikvoten 1,8, vilket är inom den angivna variationen i Börjesson (2006).

För andra generationens drivmedel baserade på förgasning är energikvoterna högre än för första generationens förnybara drivmedel, men spridningen är stor. Särskilt FTD och DME från grot visar höga energikvoter. Detta beror på att grot räknades som en gratis biprodukt från skogsbruket, samt att omvandlingsprocessen antogs vara hög. Det ska dock poängteras att tillverkning av drivmedel från grot är långt ifrån kommersialiserad, och antagandena om utbyte bygger på framtida uppskattningar. Metanol från grot får lägre energikvot eftersom den behöver fossila tillsatser för att fungera i en dieselmotor.

Andra generationens etanol från cellulosa har relativt låga energikvoter jämfört med drivmedel baserade på förgasning. Det beror bland annat på att omvandlingsprocessen är energikrävande, att flera insatsvaror behövs i processen (syror, enzymer, kalk) samt att drivmedlet behöver fossila tillsatser för att fungera i en dieselmotor. I sammanställningen av Börjesson (2006) var medelenergiqvoter för celluloasetanol 3,3.

Tabell 5. Insatt och uttagen energi (kWh/ha) vid produktion av drivmedel från 1 ha biomassa eller 1 ton gödsel samt den beräknade energikvoten.

Drivmedel	Råvara	Summa insatt energi (E_{in})	Summa uttagen energi (E_{ut})	Energiqvot (E_{ut}/E_{in})
<i>Första generationens drivmedel</i>				
Etanol	Sockerbeter	8 655	36 217	4,18
Etanol	Vete	6 580	15 247	2,32
RME	Oljevaxter	4 472	13 913	3,11
Biogas	Ensilage	5 256	19 708	3,75
Biogas	Gödsel	63	173	2,76
<i>Andra generationens drivmedel</i>				
FTD	Salix	1 081	8 174	7,56
FTD	Halm	302	3 570	11,83
FTD	Grot	62	1 050	16,89
Metanol	Salix	2 961	15 368	5,19
Metanol	Halm	1 105	6 712	6,08
Metanol	Grot	259	1 974	7,62
DME	Salix	1 975	16 365	8,28
DME	Halm	637	7 147	11,22
DME	Grot	136	2 102	15,51
Etanol	Salix	5 530	16 917	3,06
Etanol	Halm	2 228	7 456	3,35
Etanol	Skogsflis	4 179	12 567	3,01

Kostnader

Bränslesystemets kostnader

Kostnader för kedjan råvaruproduktion, transport av råvaror, tillverkning av drivmedel samt transport av drivmedel till användare redovisas i Tabell 6.

Produktionskostnaden för etanol från sockerbeta blir låg eftersom utbytet av etanol är högt per hektar relativt insatserna i odlingen, omvandlingsprocessen billig och betmassan ger bra intäkt. Samma slutsatser kan dras för RME; högt utbyte, billig process och höga intäkter av rapsmjöl. Biogas är relativt billigt att producera, där är uppgradering av gasen den enskilt största kostnaden. Etanol från vete blir dyrast av första generationens drivmedel. Detta beror på höga insatser i odlingen relativt utbytet av etanol samt höga kostnader för etanolprocessen.

Kostnaderna för produktion av andra generationens biodrivmedel bygger på dagens kostnader för råvaruproduktion och transport, men framtida uppskattningar av drivmedeltillverkning. Osäkerheten i dessa uppskattningar är därför stor.

Tabell 6. Produktionskostnader för storskalig produktion av förnyelsebara drivmedel till det svenska jordbruket. Biprodukter allokerade baserat på ekonomiskt värde.

Drivmedel	Råvara	Kr/l drivmedel	Kr/kWh drivmedel
<i>Första generationens drivmedel</i>			
Etanol	Sockerbeta	3,50	0,61
Etanol	Vete	6,60	1,14
RME	Oljeväxter	6,30	0,67
Biogas	Ensilage	6,96	0,67
Biogas	Gödsel	6,12 ¹	0,59
<i>Andra generationens drivmedel</i>			
FTD	Salix	4,77	0,50
FTD	Halm	4,46	0,47
FTD	Grot	4,80	0,50
Metanol	Salix	1,99	0,46
Metanol	Halm	1,83	0,43
Metanol	Grot	2,02	0,47
DME	Salix	2,36	0,45
DME	Halm	2,18	0,41
DME	Grot	2,39	0,45
Etanol	Salix	3,03	0,52
Etanol	Halm	3,06	0,53
Etanol	Skogsflis	3,15	0,54

¹ (kr/m³)

Kostnader för gårdens hantering av förnybara drivmedel

Det uppstår kostnader på gårdsnivå när förnybara drivmedel ersätter diesel som bränsle till traktorer. Kostnader som uppstår är merkostnader för traktor som använder ett förnybart drivmedel. Dessa kostnader kan vara merkostnader orsakade av dyrare teknik, små serier m.m. I Tabell 7 är kostnaderna för traktor och lager samlade. Underlag till beräkningar finns samlade i bilaga 7.

Tabell 7. Kostnader (kr/arbetstimme) för traktor till drivmedel tillverkade från förnyelsebara råvaror.

Drivmedel	Timkostnad exkl. drivmedel	Timkostnad inkl. drivmedel
Diesel	118	276
Etanol (spannmål)	142	341
RME	121	327
Biogas	159	375
FTD	121	219
Metanol	142	329
DME	148	318

Känslighetsanalyser

Varierande råvarupriser

Hur priset på råvara påverkar produktionskostnaden undersöktes genom att priset på råvaran ökades och minskades med 50 %. Resultatet blev en förändring enligt Tabell 8. För RME utgör råvarukostnaden en stor del av de totala kostnaderna, därför är RME känslig för förändringar i råvarupriset. Andra generationens drivmedel som använder halm som råvara är mindre känsliga för variationer i råvarupriser än när Salix används som råvara till produktionen.

Tabell 8. Förändring i de beräknade produktionskostnaderna när råvarupriset ökas och minskas med 50 %.

Bränsle	Påverkan på produktionskostnaderna
FTD, halm	± 12 %
DME, halm	± 14 %
Metanol, halm	± 15 %
Etanol, halm	± 8 %
FTD, Salix	± 31 %
DME, Salix	± 33 %
Metanol, Salix	± 34 %
Etanol, Salix	± 25 %
Etanol, Sockerbeta	± 40 %
Etanol, spannmål	± 36 %
RME	± 51 %
Biogas, vall	± 30 %
Biogas, gödsel	± 0 %

Biprodukternas värde

De biprodukter som uppstår i samband med tillverkningen av drivmedel har ett värde som beror på hur och till vad de används. Priset kan även variera beroende på marknaden där produkten efterfrågas.

Restprodukter från produktion av drivmedel är bland annat

- Rapsmjöl och glycerin från tillverkning av RME
- Drank från tillverkning av etanol från vete och sockerbetor
- Betmassa från extrahering av socker från betor
- Aska från förgasning och förbränning
- Elöverskott från förgasning och cellulosäetanol
- Rötrest från rötning.

Rapsmjöl används i grundfallet som fodermedel till djur. Alternativ användning är exempelvis förbränning eller gödselmedel. Glycerin kan rötas eller förbrännas som alternativ användning.

Drank från produktion av etanol från vete används i grundfallet som foder, alternativt kan dranken torkas och förbrännas eller rötas, vilket påverkar värdet.

Betmassan används i dagsläget som foder eller fiber. Kan eventuellt förbrännas.

För rötrest från rötning av vall och gödsel studeras inga alternativa användningar eftersom det inte finns någon annan ekonomiskt försvarbar användning än att återföra den som växtnäring i odlingen.

Askan från de drivmedel som framställs via förgasning av biomassa kan återföras till åkermark eller skogsmark. Aska bildas även vid tillverkning av etanol från cellulosa då ligninfraktionen förbränns för att förse processen med el och värme. Det ekonomiska värdet av växtnäringen i askan är dock försumbar jämfört med övriga biprodukter från det producerade drivmedlet.

Förgasning genererar el och värme i olika utsträckning. I grundfallet kalkyleras det med ett elpris på 280 kr/MWh (Nordpool, 2008), vilket är marknadens medelpris på el år 2007.

Inverkan av en ändring med 50 % av utvalda biprodukters värde redovisas i Tabell 9.

Tabell 9. Förändringen av det beräknade produktionspriset för olika drivmedel när priset på biprodukter ökar eller minskar med 50 %.

Biprodukt	Påverkan på produktionskostnaden
Rapsmjöl från RME-process	± 8,5 %
Glycerin	± 3,6 %
Betmassa från etanolprocess (sockerbeta)	± 4,5 %
Drank från etanolprocess (spannmål)	± 5,4 %
Elpris (FTD från Salix)	± 1,8 %
Elpris (FTD från halm)	± 1,4 %

Import av rapsfrö och rapsolja

Den inhemska odlingen av oljeväxter, främst raps, är begränsad i Sverige. Stora anläggningar kan få problem med att få tillräckligt med råvara för produktion av RME. Import av rapsfrö eller rapsolja är ett alternativ eller ett komplement till inhemska råvara. Skillnaden i råvarupris mellan rapsfrö och rapsolja (Tabell 10) beror på hur mycket olja som kan utvinnas ur rapsfröet. Det högre priset på rapsolja jämfört med rapsfrö beror troligen på kostnader för pressning, extrahering och hantering av rapsolja. Utvinningen av olja från frö utgör ca 25 % av en storskalig RME-anläggnings totala kostnader beräknat från Bernesson (2004). En anläggning som använder importerad rapsolja som råvara har inte kostnaden för utvinning av olja och kostnaden för hantering av rapsmjöl. I Tabell 10 visas hur produktionspriset för RME påverkas av priset på rapsfrö och rapsolja.

Tabell 10. Förändringen av råvarupriset (Indexmundi, 2009) för rapsfrö och rapsolja och dess påverkan på det beräknade produktionspriset för RME.

	2004	2005	2006	2007	2008	
<i>Rapsfrö</i>						
Råvarupris	2 017	1 859	2 090	2 576	3 399	kr/ton
RME	4,7	4,4	4,9	6,0	7,9	kr/l
RME	0,70	0,36	0,52	0,64	0,84	kr/kWh
<i>Rapsolja</i>						
Råvarupris	5 247	5 389	6 267	6 805	9 381	kr/ton
RME	4,4	4,5	5,3	5,8	8,2	kr/l
RME	0,46	0,48	0,56	0,61	0,86	kr/kWh

Transportavstånd

I denna studie bestämdes transportavstånd för råvaror baserat på antaganden om tillgänglighet av råvara och anläggningars storlek. I Tabell 11 redovisas resultaten av en känslighetsanalys av transportavstånd.

Tabell 11. Förändring i det beräknade produktionspriset när transportavståndet till anläggningen ökas och minskas med 50 %.

Drivmedel	Transportavstånd
FTD, halm	± 9 %
DME, halm	± 12 %
Metanol, halm	± 12 %
Etanol, halm	± 7 %
FTD, Salix	± 2 %
DME, Salix	± 3 %
Metanol, Salix	± 3 %
Etanol, Salix	± 2 %
Etanol, beta	± 8 %
Etanol, spm	± 1 %
RME	± 2 %
Biogas, vall	± 2 %
Biogas, gödsel	± 8 %

Diskussion

Energikvot

Om man ska jämföra första och andra generationens drivmedel, går det att tydligt se att energikvoterna är högre i alla förgasningsalternativ. Metanol har lägre energikvot än de andra drivmedlen baserade på förgasning eftersom den behöver fossila tillsatser för att fungera i en dieselmotor. Av den andra generationens drivmedel som studerats, visar sig DME och FTD baserade på grot och halm ha väldigt bra energikvoter. Detta beror på att råvarorna är biprodukter. Energikvoten för drivmedel baserade på Salix blir därför något lägre.

Etanol från spannmål har lägst energikvot medan RME, biogas och etanol från lignocellulosa ligger i samma storleksklass. Etanol baserad på sockerbeta klarar sig bra i denna studie, mycket tack vare den valda metodiken för att beräkna processenergin, dvs. att enbart energin för att producera biobränslet till processenergin ingår och inte ingående värmeverde i ångan. Om exempelvis all processenergi, inklusive ånga, belastar etanolproduktionen i denna studie, blir energikvoten endast 1,8, vilket ska jämföras med det beräknade värdet på 2,3. På samma vis påverkas etanol tillverkad från sockerbeter av valet av beräkningsmetod. Om all processenergi belastar etanol tillverkad från sockerbeter, sjunker energikvoten från nuvarande 4,2 till 2,6.

Resultatet av energikvoterna är till stor del beroende av vilka antaganden och avgränsningar som har gjorts. Till exempel kan drank från produktion av etanol från spannmål med fördel rötas. Om dranken rötas kan biogasen användas som fordonsbränsle eller el och värme, rötresten kan återföras som ett gödselmedel. Om hälften av dranken utnyttjas som foder och den andra hälften rötas, ökar energikvoten för grundalternativet från 2,32 till 2,59 i denna studie. Likartade resultat visades i en studie av Paulsson (2007), där energikvoten varierade mellan 2,6 och 3,1 beroende på olika antaganden om främst användningen av restprodukter.

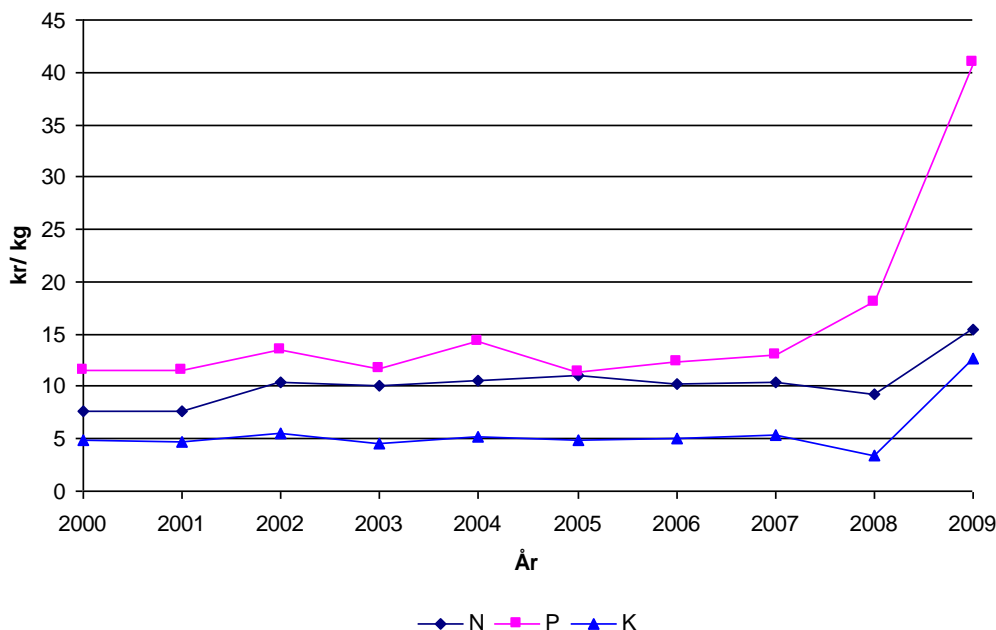
Det är alltså svårt att ge ett generellt svar om energikvoten för olika drivmedel beroende på val avseende avgränsningar och metod för allokering. Lokala och regionala förutsättningar för produktion kan också medföra stora skillnader för resultatet. Dessutom är det svårt att jämföra första och andra generationens förnybara drivmedel eftersom de har olika tidsperspektiv.

Ekonomi

Minst lika viktigt som energikvoten är dock de ekonomiska beräkningarna. Här är produktionen av andra generationens drivmedel mer kostnadseffektiv i våra beräkningar. Biogas från gödsel blir också billigt att producera. Det är dock viktigt att notera, att beräkningarna för andra generationen är uppskattningar baserade på olika studier eftersom dessa drivmedel inte produceras i kommersiell skala än.

Råvaror är oftast en av de stora posterna i kostnaderna för att producera förnybara drivmedel. Priset på handelsgödsel har i sin tur en stor inverkan på produktionskostnaderna för råvaror. Gödeselpriset kan även påverka de ekonomiska kalkylerna genom att värdet på biprodukterna ändras om de används som gödselmedel. Under perioden 2000-2007 var priset på växtnäring relativt konstant, men nu har

priset på handelsgödsel ökat kraftigt och framförallt har priset på fosfor ökat (Figur 9).



Figur 9. Förändring av pris på växtnäring mellan åren 2000-2009 (Agriwise, 2009).

Även andra områden där fossil energi används inom jordbruket kommer att påverkas om oljan blir dyr i framtiden, t.ex. torkning av spannmål. En studie som gjorts i England visade att närmare 70 % av kostnaderna för mjölkproduktion är kopplade till oljepriset (Snowden, 2009).

Kostnaderna för användandet av drivmedel är också avgörande. Gasformiga drivmedel är generellt sett mer komplicerade att använda i traktorer på gårdsnivå. Det blir dyrare distributions-, lagrings- och konverteringskostnader. Dessutom blir mängden bränsle som är möjlig att få med ombord mindre, vilket kräver täta tankningar.

Potential för självförsörjning

Behovet av förnybara drivmedel beräknades i denna studie baserat på den energi som används i diesel idag. Ändras denna, exempelvis genom ny eller effektivare motorteknik, påverkas jordbrukets behov av drivmedel och därmed de arealer som måste tas i anspråk. Om ny mark tas i anspråk för en ökad produktion av jordbruksbaserade biodrivmedel blir behovet av drivmedel däremot större, vilket inte tagits hänsyn till i denna rapport.

Arealbehovet för att det svenska jordbruket ska vara självförsörjande enbart med etanol från sockerbeter beräknades till 104 700 ha. År 2007 odlades enligt statistik från SCB (2007b) 40 682 ha sockerbeter i Sverige. För att det svenska jordbruket ska bli självförsörjande på etanol från sockerbeter krävs mer än en fördubbling av den i dag odlade arealen sockerbeter. Under perioden 1981-2007 har arealen sockerbeter i Sverige varierat mellan 38 502 ha år 1991 och 60 455 ha år 1997, med medelarealen 51 932 ha.

Det beräknades att 156 600 ha vete skulle behövas för att förse det svenska jordbruket med etanol. Odlingen av höstvete uppgick till 361 500 ha år 2007. Det är dock möjligt att använda olika sorters spannmål för etanolproduktion, vilket utökar potentialen. Ungefär 990 100 ha spannmål odlades under 2007. En faktor som påverkar bedömningen av etanolpotentialen är det normerade värdet för användning av bränsle i dieselmotor. För användning av etanol i dieselmotor antogs ett normerat värde på 0,89, det vill säga det behövs 0,89 kWh etanoldrivmedel för att ersätta 1 kWh diesel. Det normerade värdet bygger på data från Haupt m.fl. (1999). I praktiken har Scania utvecklat etanoldrivmedel för tunga fordon och har fått fram tunga fordon som prestandamässigt sägs vara likvärdiga med dieseldrivna. Det bör dock nämnas att ett normerat värde på 0,89 kan vara ett kontroversiellt antagande, särskilt vad gäller traktorer som i efterhand konverteras till etanoldrift. Att öka det normerade värdet till 1,0 ökar behovet av mark från 156 600 ha till ca 176 000 ha för etanol från spannmål.

Raps och rybs kan bara odlas i begränsad utsträckning i växtföljden, den uppskattade maximala arealen i Sverige är ca 180 000 ha oljeväxter (Ericsson & Börjesson, 2008). I denna studie beräknades arealbehovet till 222 800 ha baserat på skörden 3,2 ton/ha, vilket innebär ett underskott på areal för att förse Sveriges jordbruk med RME. Det svenska jordbruket kan med andra ord teoretiskt vara självförsörjande på RME till 80 %. För att nå dessa nivåer krävs storskaliga anläggningar som extraherar det mesta av oljan. Dock måste rapsolja motsvarande 42 800 ha raps ändå tillföras via import.

Enligt Andersson (2007) är potentialen från rötning av gödsel mellan 4 TWh och 6 TWh per år. Den praktiskt potentialen bedöms vara ungefär hälften så stor. Enligt Linné m.fl. (2008) är den teoretiska potentialen från rötning av gödsel 4,2 TWh. Det innebär att all gödsel från nöt, svin, fjäderfä, häst och får utnyttjas. Potentialen är beräknad utifrån att djuren är stallade året om, vilket inte är fallet för nöt, får och häst. Det medför att den utvinningsbara potentialen är lägre än vad som anges i Andersson (2007) och Linné m.fl. (2008). Ytterligare 6,6 TWh kan utvinnas från restprodukter som blast, potatis, vall, ärtor och halm. För odlingsrester utgörs den största potentialen av rötning av halm (5,8 TWh). Enbart via rötning av gödsel är det alltså inte möjligt att försörja jordbruket med biogas till traktorer m.m., men tillsammans med odlingsrester finns det en potential.

Idag odlas bara ca 14 300 ha Salix, varför siffrorna blir mycket höga för procent av nuvarande areal. För att tillgodose jordbrukets behov av drivmedel måste denna areal ungefär tiodubblas.

Den totala arealen för spannmålsodling var 2007 ca 990 100 ha. Det betyder att man skulle behöva samla in mellan 36 och 45 % av all halm från spannmålsodling för att försörja de svenska traktorerna med andra generationens drivmedel baserade på halm. Odling av höstvete uppgick till ca 361 500 ha år 2007. För de halmbaserade drivmedlen behöver med andra ord all halm från hela Sveriges areal av höstvete samlas in, varje år. Detta kan naturligtvis leda till stora konsekvenser för åkermarkens mullhalt.

Arealbehovet för grot beräknades inte, då mängden grot som bärgas per hektar varierar mycket kraftigt. Istället gjordes en jämförelse på energibasis av dagens uttag. Dagens uttag av grot är ca 8 TWh (Egnell, 2008). För att försörja det svenska jordbruket med drivmedel skulle mellan 64 % och 79 % av detta uttag behöva

användas. Den maximala fysiska potentialen av grot bedöms dock till 110 TWh baserat på den slutavverkning vi har idag (Egnell, 2008).

Det bör dock poängteras att dessa beräkningar grundar sig på försörjning av enbart ett bränsle eller en råvara. Det är med största sannolikhet så att det framöver kommer att bli en mix av olika drivmedel och olika råvaror som kommer att driva de svenska jordbruksredskapen. Försörjningsfrågan blir då lättare att lösa.

Avsättning för biprodukter

En möjlig begränsning för hur mycket drivmedel som kan produceras på ett ekonomiskt hållbart sätt är avsättningen för biprodukter. Vid produktion av drivmedel som RME och etanol med första generationens teknik fås restprodukter som kan användas som proteinfoder till djur. Det är drank från produktion av spannmåls-etanol, betmassa från sockerbets-etanol och rapsmjöl från produktion av RME. Enligt Ericsson och Börjesson (2008) finns det teoretiskt en avsättning av 690 000 ton ts som proteinfoder per år, men de uppskattar den realiserbara potentialen till 280 000 ton ts. Vid tillverkningsprocessen av etanol och RME fås förutom etanolen

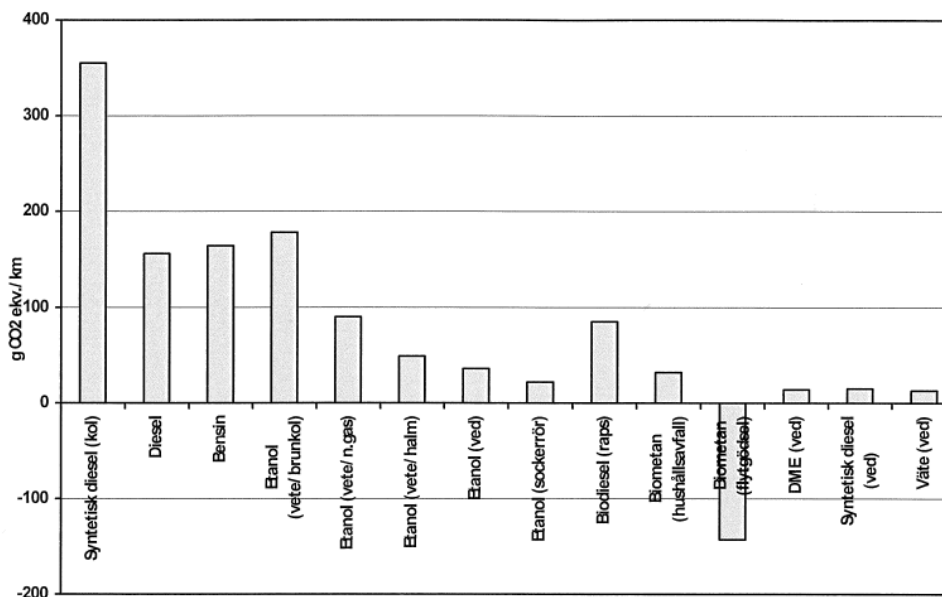
- 201 500 ton ts rapsmjöl
- 274 500 ton ts drank
- 273 800 ton ts betmassa

Var för sig ligger respektive restprodukt inom den realiserbara potentialen för avsättning som proteinfoder.

För förgasningsbaserade drivmedel är situationen annorlunda. Här är aska den enda biprodukten, med undantag för FT-diesel där även nafta och el produceras. Förgasningsaska innehåller en del fosfor och kalium, men nästan inget kväve. Om förgasningsanläggningarna i framtiden enbart använder jordbruksgrödor finns det möjlighet att återföra askan till åkermark. Men det är också tänkbart att anläggningarna även använder t.ex. hushållsavfall, vilket skulle försvåra en återföring, främst med tanke på tungmetallinnehåll. Det är möjligt att askan i sådant fall måste deponeras, vilket skulle bli dyrt och vara ett slöseri på näringsämnen. Vad gäller nafta från FTD så finns det en världsmarknad där grön FT-nafta kan ersätta fossila varianter. Det är också möjligt att reformera naftan för att producera mera diesel, men då kopplat till viss energiförlust.

Utsläpp av växthusgaser

Något som inte studerats närmare i denna rapport är i vilken utsträckning olika drivmedel kan minska utsläppen av växthusgaser. Det finns dock ett flertal olika studier gjorda på området, ett exempel av Börjesson m.fl. (2008) visas i figur 11. I figurer benämns FTD som syntetisk diesel, och resultat visas både för tillverkning via förgasning av kol och via förgasning av ved. Etanol med brunkol till processenergi ger högre utsläpp än de fossila referenserna, men i övrigt ger biodrivmedel en minskning av växthusgaserna. Biogas från flytgödsel ger till och med negativa utsläpp, eftersom lagring av gödsel annars släpper ut stora mängder metan. Genom att röta gödsel sparar vi alltså utsläpp både vid lagring av gödsel och när vi använder biogasen, vilket brukar nämnas som den dubbla klimatnyttan.



Figur 11. Utsläpp av växthusgaser av olika fossila och biobaserade drivmedel i ett livscykelperspektiv (Börjesson m.fl., 2008).

Utmaningar

En begränsande faktor för den andra generationens drivmedel är mängden odlad Salix. Arealen Salix har legat runt 14 000 ha de senaste åren. Redan idag är efterfrågan på Salix stor i vissa regioner, t.ex. där lokala värmeverk står för efterfrågan. Det har också införts stödbidrag för odling av energigrödor. Trots detta så har inte mängden odlingar ökat i landet. Detta har många förklaringar, men en av den viktigaste är jordbrukarnas attityd till att odla Salix. I flera studier har det visat sig att ekonomi visst kan ha en viss avgörande betydelse, men att kontraktsformer, arrendefrågor och påverkan på landskapet har större betydelse (Kimming, 2008; Paulrud & Laitila, 2007). Salixodlingar har en livstid på upp till 25 år. Detta innebär att jordbrukaren måste binda upp sig för lång tid, vilket kan kännas svårt då de jordbrukspolitiska reglerna ständigt ändras. Vidare konstateras att tradition, ålder och personliga åsikter om vad åkermarken bör användas till har minst lika stor betydelse. Och faktum är att den årliga Lantbruksbarometern utförd av LRF visar att endast 10 % av de tillfrågade jordbrukarna är intresserade av att investera i bioenergi (Lantbruksbarometern, 2008).

Ett annat hinder för införandet av andra generationens drivmedel är att tekniken inte är färdigutvecklad. Visserligen finns redan t.ex. FTD på marknaden idag, men producerad från naturgas och förgasad kol. Förgasning av biomassa för el- och värmeproduktion förekommer också på många ställen i Sverige och internationellt. Att framställa drivmedel från biobaserad syntesgas är dock inte gjort annat än i pilotskala. Det beror bland annat på problem med alltför dyr gasrenings-teknik (EUBIA, 2009). Stora forsknings- och demonstrationsprojekt är dock på gång, och den allmänna inställningen verkar vara att detta kommer att vara löst inom en rimlig framtid.

Många av de studerade anläggningarna för drivmedelsproduktion är av stor skala. Råvarorna kommer att behöva transporteras långt och med olika transportslag såsom båt, tåg och lastbil. Enligt en förstudie av ett större kraftvärmeverk av Forsberg m.fl. (2007) konstateras att lastbilstransport är ett billigare alternativ än tåg och båt vid transportavstånd upp till 250 km för halm och upp till 100 km för Salix. Kritiska faktorer för att uppnå effektiva logistikkedjor är enligt Forsberg m.fl. (2007) väl fungerande hanteringstekniker, flexibla omlastningsterminaler samt minimerade leveransstörningar.

Något som inte studerats i denna studie, men som är viktigt att diskutera, är att det förmodligen blir en mix av olika drivmedel och råvaror i framtiden. Billiga fossila drivmedel har underlättat globala lösningar, traktorerna ser i princip likadana ut i hela världen. I framtiden kan det dock bli mer tal om lokala lösningar, anpassade till de lokala förhållandena. Kanske blir biogas det dominerande bränslet i djurtäta områden, och en del jordbruk kanske väljer dual-fuel motorer. I andra delar av landet kanske traditionella dieselmotorer fortsätter att dominera med RME, FTD eller andra biodieselprodukter som drivmedel. Även på produktionsidan är det möjligt att diversiteten blir större. Så kallade biokombinat kan producera flera olika sorters drivmedel samtidigt. Med tanke på den stora mängden tänkbara olika lösningar är det svårt att göra beräkningar. De beräkningar som gjorts i denna studie på enskilda drivmedel visar dock på de generella skillnaderna för de olika drivmedlen och råvarorna.

Om det svenska jordbruket ska försörja sig själv med förnybart drivmedel från odlade grödor så behöver stora arealer tas i anspråk. Man kan då fundera på hur detta påverkar användningen av åkermarken i övrigt. En del outnyttjad åkermark som ligger i träda skulle kunna användas. Arealen träda har dock drastiskt minskat sedan kravet på 10 % träda slopades. År 2008 låg närmare 150 000 ha av den svenska åkermarken i träda, vilket är en halvering av 2007 års nivå. Men det är inte bara jordbrukets drivmedelsbehov som ska täckas av dessa arealer. Resten av samhället behöver också drivmedel, vi måste t.ex. år 2020 enligt EU:s förnybarhetsdirektiv ha minst 10 % förnybara drivmedel i transportsektorn. Vi måste också producera livsmedel. Redan nu importerar vi stora mängder mat. I en studie utförd av Naturvårdsverket baserad på handelsstatistik visades att vi importerar närmare 3 miljoner ton livsmedel årligen till Sverige, vilket motsvarar hela 40 % av vår matkonsumtion (Carlsson-Kanyama & Engström, 2003). Samtidigt exporterar vi bara ca 1 miljon ton livsmedel per år till andra länder.

Vi har en mycket stor utmaning framför oss, och det är av största vikt att vi i framtiden väljer de drivmedel som är så kostnads- och landeffektiva som möjligt. Det vi kan konstatera är att andra generationens förnybara drivmedel verkar ha stor potential att uppfylla dessa krav. Detta bör dock inte hindra oss från att även göra satsningar på första generationens drivmedel, som trots vissa brister även leder oss in i rätt riktning, och kan fungera bra i en övergångsperiod mot ett mera hållbart jordbruk.

Referenser

- Aden, A., Ruth, M., Ibsen, K., Jechura, J., Neeves, K., Sheehan, J., Wallace, B., 2002. Lignocellulosic Biomass to Ethanol Process Design and Economics Utilizing Co-Current Dilute Acid Prehydrolysis and Enzymatic Hydrolysis for Corn Stover NREL Technical Report NREL/TP-510-32438.
- Agriwise, 2008. Verktyg för planering och kalkyl. Inst. för ekonomi SLU Uppsala. Databok och områdeskalkyler 2008. Tillgänglig på www.agriwise.org
- Agriwise, 2009. Verktyg för planering och kalkyl. Inst. för ekonomi SLU Uppsala. Databok och områdeskalkyler 2009. Tillgänglig på www.agriwise.org
- Agroetanol, 2009. www.agroetanol.se Besökt 2009-09-21
- Ahlgren, S., Baky, A., Bernesson, S., Nordberg, Å., Norén, O. & Hansson, P.A. 2009. Tractive power in organic farming based on fuel cell technology - Energy balance and environmental load. *Agricultural Systems* 102 (1-3), 67-76.
- Ahlgren, S., Baky, A., Bernesson, S., Nordberg, Å., Norén, O., Hansson, P.A., 2008. Future fuel supply systems for organic production based on Fischer-Tropsch diesel and dimethyl ether from on-farm-grown biomass. *Biosystems Engineering*, 99, 145-155
- Ahlvik, P. och Brandberg, Å. 2002. Sustainable fuels. Introduction of biofuels. Ecotrafic/Vägverket rapport 2002:14
- Andersson, L., 2007, Bioenergi från jordbruket – en växande resurs, SOU 2007:36 Statens offentliga utredningar, Stockholm
- Berg, S. & Lindholm, E.-L., 2005. Energy use and environmental impacts of forest operations in Sweden. *Journal of Cleaner Production* 13 (2005) 33-42. *Journal of Cleaner Production* 13(3), 327-327.
- Berglund, M., Börjesson, P., 2003, Energianalys av biogassystem, Rapport nr 44, Avdelningen för miljö- och energisystem, Institutionen för teknik och samhälle, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund
- Bernesson, S., 2004. Life Cycle Assessment of Rapeseed Oil, Rape Methyl Ester and Ethanol as Fuels - A Comparison Between Large- And Small-Scale Production. Miljö, teknik och lantbruk, Rapport 2004:01. Department of Biometry and Engineering, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden.
- 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* 26 (1), 545 – 559
- Bernesson, S., Nilsson, D. 2005. Halm som energikälla Översikt av existerande kunskap, Rapport – miljö, teknik och lantbruk 2005:7. Institutionen 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 & bioenergy* vol 30 46 - 57
- Bernesson, S., 2007, Användningsområden för biprodukterna vid pressning och omförstring av rapsolja, Rapport – miljö, teknik och lantbruk 2007:04, Institutionen för biometri och teknik, SLU, Uppsala
- BioGas Syd (2008), Dual fuel traktor, <http://www.businessregion.se/download/18.3be2a50111a9abcd5a80001029/Dual+Fuel+traktor.doc.pdf>

- Blinge, M., Arnäs, P.-O., Bäckström, S., Furnander, Å., Hovelius, K., 1997, Livscykelanalys (LCA) av drivmedel Huvudtext, KFB-meddelande 1997:5, Kommunikationsforskningsberedningen, Stockholm
- Boding, H., Ahlvik, P., Brandberg, Å., Ekbo, T., 2003. BioMeeT II. Stakeholders for Biomass based Methanol/DME/Power/Heat energy combine, Trollhättan Sweden.
- Brown, D., Gassner, M., Fuchino, T., Maréchal, F., 2009. Thermo-economic analysis for the optimal conceptual design of biomass gasification energy conversion systems. *Applied Thermal Engineering*, 29, 2137-2152.
- Börjesson, P., 2006. Livscykelanalys av Salixproduktion. Lunds tekniska högskola. Institutionen för teknik och samhälle. Avdelningen för miljö- och energisystem. Rapport nr 60, Lund.
- Börjesson, P., Ericsson, K., Di Lucia, L., Nilsson, L.J. & Åhman, M., 2008. Hållbara drivmedel – finns de? Bil Sweden och Lunds universitet. Institutionen för Teknik och samhälle. Rapport nr 66, Lund.
- Carlsson-Kanyama, A., Engström, R., 2003. Fakta om maten och miljön. Naturvårdsverkets rapport nr 5348.
- CEN, 2004, Heating systems in buildings — Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies — Part 2.2.5 Space heating generation systems, the performance of quality district heating and large volume systems, TC 228 WI 00228 027, Technical Committee CEN/TC 228 www.nordvarme.org/archive/meetings/copenhagen_10feb2005/Standardiserin g.doc
- Dalemo, M., 1996, The modelling of an anaerobic digestion plant and a sewage plant in the ORWARE simulation model, Rapport 213, Institutionen för energi och teknik, SLU, Uppsala
- Edwards, R., Larivé, J.-F., Mahieu, V., Rouveïrolles, P., 2007. Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context. CONCAWE & EUCAR for the Joint Research Centre. March, 2007.
- Egebäck, K.-E., Larsson, E., Laveskog, A., 1998. Metanol. Hantering, säkerhet och arbetsmiljö KFB-Meddelande 1998:7, Stockholm.
- Egebäck, K.-E., Walsh, P.M., Westerholm, R., 1997. The Use of Methanol as a Fuel for Transportation KFB-Meddelande 1997:15, Stockholm.
- Egnell, G., 2008. Biobränslemarknaden i Sverige : en nulägesanalys. Skog & trä. 2008:1 Sveriges lantbruksuniversitet, Enheten för skoglig fältforskning.
- Elam, N., 2002. The Bio-DME Project. Phase 1 Atrax Energi AB. Report to Swedish National Energy Administration.
- Energimyndigheten, 2008, Prisblad för biobränslen, torv m.m. Nr 4/2008, www.energimyndigheten.se
- Ericsson, K., Börjesson, P., 2008, Potentiell avsättning av biomassa för produktion av el, värme och drivmedel inklusive energikombinat, Institutionen för teknik och samhälle, Miljö- och energisystem, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet, Lund
- Eriksson, G., Hedman, H., Öhman, M., Boström, D., Pettersson, E., Pommer, L., Lindström, E., Backman, R., Öhman, R., 2007, Förbränningskaraktärisering av rapsmjöl och förslag till optimalt nyttjande i olika förbränningsanläggningar, Anläggnings- och förbränningssteknik 1038, Värmeforsk
- EUBIA, 2009. Gasification. R&D efforts and needs. <http://www.eubia.org/210.0.html> Besökt 2009-04-15

- Fast, M., Bönner, A. 2004. Odling, lagring, hantering och utfodring av sockerbetor, Länsstyrelsen Östergötland.
[http://chaos.bibul.slu.se/sll/1st e lan/utan_serietitel_1st e lan/UST04-34/UST04-34.PDF](http://chaos.bibul.slu.se/sll/1st%20e%20lan/utan_serietitel_1st%20e%20lan/UST04-34/UST04-34.PDF)
- Forsberg, M., Baky, A., Westlin, H., Ljungberg, D., Ytterberg, P., 2007, Jordbruket som leverantör av åkerbränslen till storskaliga kraftvärmeverk – Fallstudie Värtan, JTI-rapport Lantbruk & Industri 361, JTI – Institutet för Jordbruks- och miljöteknik, Uppsala
- Fredriksson, H., Baky, A., Bernesson, S., Nordberg, A., Noren, O., Hansson, P.A., 2006. Use of on-farm produced biofuels on organic farms - Evaluation of energy balances and environmental loads for three possible fuels. *Agricultural Systems*, 89, 184-203
- Gray, C., Webster, G., 2001. A study of dimethyl ether (DME) as an alternative fuel for diesel engine applications. Prepared for CANMET Energy Technology Centre, Natural Resources Canada and Transportation Development Centre, Transport Canada. Quebec
- Hamelinck, C., Faaij, A., 2002. Future prospects for production of methanol and hydrogen from biomass. *Journal of Power Sources*, 111, 1-22.
- Hansen, J.B., Mikkelsen, S.-E., 2001. DME as a Transportation Fuel. Prepared for the Danish Road Safety and Transport Agency and the Danish Environmental Protection Agency, Lyngby, Denmark.
- Hansson, P.A., Baky, A., Ahlgren, S., Bernesson, S., Nordberg, A., Noren, O., Pettersson, O., 2007. Self-sufficiency of motor fuels on organic farms - Evaluation of systems based on fuels produced in industrial-scale plants
- Haupt, D., Nordström, F., Niva, M., Bergenudd, L., Hellberg, S., 1999, The determination of regulated and some unregulated exhaust gas components from ethanol blended diesel fuels with neat diesel and ethanol fuel, *KFB-Meddelande 1999:5*, KFB – Kommunikationsforskningsberedningen, Stockholm
- Herland, 2005, LRFs energiscenario till år 2020 Förnybar energi från jord- och skogsbruket ger nya affärer och bättre miljö, andra remissversion februari 2005, LRF, Stockholm,
<http://www.lrf.se/data/internal/data/10/55/1188481652675/energiscenario2020.pdf>
- Huang, H.-J., Ramaswamy, S., Al-Dajani, W., Tschirner, U. & Cairncross, R.A., 2009. Effect of biomass species and plant size on cellulosic ethanol: A comparative process and economic analysis. *Biomass and Bioenergy* 33(2), 234-246.
- Hushållningssällskapet, 2006, Maskinkostnader 2006, Underlag och kalkylexempel för lantbruksmaskiner, HIR Malmöhus
- Hushållningssällskapet m.fl., 2007 Växtodlaren som energileverantör – delrapport inom projektet Framgångsrik växtodling.
<http://www.bioenergiportalen.se/attachments/42/404.pdf> Besökt 2009-06-11.
- Indexmundi, 2009. www.indexmundi.com Besökt 2009-08-01
- Jensen, T., K., Kongshaug, G., 2003, Energy consumption and greenhouse gas emissions in fertiliser production, *The International Fertiliser Society, Proceedings No. 509*, York, United Kingdom
- Johnsson, B., 2008, kartläggning av mark som tagits ur produktion, Rapport 2008:7, Jordbruksverket, Jönköping

- Kavalov, B., Peteves, S.D., 2005. Status and perspectives of biomass-to-liquid fuels in the European Union European Commission. Directorate General Joint Research Centre. EUR 21745 EN. , Petten, The Netherlands.
- Kimming, M., 2008. Investigating potential contract models to stimulate commercial production of energy crops. Risk perceptions and risk reduction options for agro-biofuel production in Sweden, France and Finland. IIIIE Theses, Lund.
- Länsstyrelsen, 2005, Miljörapport 2005, Danisco Sugar AB, Köpingsbro sockerbruk, Miljöenheten i Malmö, Länsstyrelsen i Skåne Län
- Lantbruksbarometern, 2008,
<http://www.lrf.se/data/internal/data/11/63/1212153440093/LantbruksbarometernTotal2008.pdf> Besökt 2008-11-05
- Lindgren M; Pettersson O; Hansson P A; Norén O (2002). Jordbruks- och anläggningsmaskinernas motorbelastning och avgasemissioner – samt metoder att minska bränsleförbrukning och avgasemissioner. JTI-rapport Lantbruk & Industri 308
- Linné, M., Ekstrandh, A., Englesson, R., Persson, E., Björnsson, L., Lantz, M., 2008, Den svenska biogaspotentialen från inhemska restprodukter, Gasföreningen, Stockholm,
<http://www.gasforeningen.se/upload/files/publikationer/rapporter/biogaspotential.pdf>
- Mattsson, J.-E., 2006. Affärsutveckling – Närodlade stråbränslen till kraftvärmeverk. Rapport 2006:8, Institutionen för landskaps- och trädgårdsteknik, SLU, Alnarp.
- Ahouissoussi, N.B.C., Wetzstein, M.E., 1997, A comparative cost analysis of biodiese, compressed natural gas, methanol, and diesel for transit bus systems, Resource an energy economics 20 (1997) 1-15
- Nilsson, D., 1995. Transportation work and energy requirements for haulage of straw fuels - A comparison between the plants at Satenas and Svalov. Swedish Journal Of Agricultural Research, 25, 137-141.
- Nilsson, D., 1997. Energy, exergy and emergy analysis of using straw as fuel in district heating plants. *Biomass & Bioenergy*, 13, 63-73.
- Nilsson, D. & Bernesson, S., 2009. Halm som bränsle - Del 1: Tillgångar och skördetidpunkter. Rapport 011, Institutionen för energi och teknik, Uppsala
- Nordpool, 2009, spotpriser el, www.nordpool.com/asa/ Besökt 2009-11-20.
- Norén, O. & Danfors, B., 1981, Etanol som motorbränsle, Meddelande 387, JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala
- Norton, P., Vertin, K., Bailey, B., Clark, N.N., Lyons, D.W., Goguen, S., Eberhardt, J., 1998. Emissions from Trucks using Fischer-Tropsch Diesel Fuel SAE Technical Paper Series, Report No 982526, Warrendale, USA
- Overend, R., P., 1982. The average haul distance and transportation work factors for biomass delivered to central plant, *Biomass* 2, 75-79.
- Paulrud, S., Laitila, T., 2007. Lantbrukarnas attityder till odling av energigrödor - värderingsstudie med choice experiment IVL Svenska Miljöinstitutet B1746.
- Paulsson, P., 2007. Energianalys av etanolproduktion; En fallstudie av Lantmännen Agroetanols produktionssystem i Norrköping Examensarbete 2007:03 Institutionen för biometri och teknik, Sveriges lantbruksuniversitet.
- Pérez, J.A., Ballesteros, I., Ballesteros, M., Sáez, F., Negro, M.J. & Manzanares, P., 2008. Optimizing Liquid Hot Water pretreatment conditions to enhance sugar recovery from wheat straw for fuel-ethanol production. *Fuel* 87(17-18), 3640-3647.

- Persson, T., Ren, J.L., Joelsson, E. & Jönsson, A.-S., 2009. Fractionation of wheat and barley straw to access high-molecular-mass hemicelluloses prior to ethanol production. *Bioresource Technology* 100(17), 3906-3913.
- Powlson, D.S., Riche, A.B., Shield, I., 2005. Biofuels and other approaches for decreasing fossil fuel emissions from agriculture. *Annals of Applied Biology*, 146, 193-201.
- RecAsh, 2009. Utbildningsmaterial-Grot PP.
<http://www.recash.info/uploads/documents/Grot%201.pdf> Besökt 2009-02-03
- Riksbanken, 2009, Årsgenomsnitt valutakurser,
<http://www.riksbank.se/templates/stat.aspx?id=16749>
- SBGF, 2002, Modulbygd gastankstation, Teknisk lösning för små SBG och CNG tankstationer, Nationellt samverkansprojekt biogas i fordon, Svenska biogasföreningen (SBGF), Stockholm
- Sassner, P., Galbe, M. & Zacchi, G., 2006. Bioethanol production based on simultaneous saccharification and fermentation of steam-pretreated *Salix* at high dry-matter content. *Enzyme and Microbial Technology* 39(4), 756-762.
- Sassner, P., Mårtensson, C.-G., Galbe, M. & Zacchi, G., 2008. Steam pretreatment of H₂SO₄-impregnated *Salix* for the production of bioethanol. *Bioresource Technology* 99(1), 137-145.
- SCB, 2003, Energiundersökning för jordbruket avseende 2002, SCB, Örebro,
[www.scb.se/statistik/OV/OV0020/ dokument/Energiundersokning_2002.doc](http://www.scb.se/statistik/OV/OV0020/dokument/Energiundersokning_2002.doc)
- SCB, 2007a, Skörd av spannmål, trindsäd, oljeväxter, potatis och slättervall 2006 slutlig statistik, JO16 SM 0701, SCB Örebro
- SCB, 2007b, Jordbruksmarkens användning 2007, JO10SM0801, SCB Örebro
- SCB, 2008a, Energianvändningen inom jordbruket 2007, Sveriges Officiella Statistik (SOS), SCB, Örebro
- SCB, 2008b, Skörd efter län och gröda, År 1965-2007, Statistikdatabasen, SCB, Örebro , www.scb.se
- Saxvik, 2009. Framtiden för energigaserna.
<http://www.gasforeningen.se/upload/files/arsmote/mortensaxvik.pdf>
- SJV, 2006. Marknadsöversikt biodiesel - ett fordonsbränsle på frammarsch?, Jordbruksverket rapport 2006:21
http://www.sjv.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Pdf_rapporter/ra06_21.pdf
- SJV, 2008. Prisindex och priser inom livsmedelsområdet Års- och månadsstatistik – 2007:12, JO 49 SM 0802, Jordbruksverket, Jönköping
- Skogsstyrelsen, 2008. Skogsstatistisk årsbok 2008. Sveriges officiella statistik. Skogsstyrelsen. Jönköping 2008.
- Snowden, S. 2009, How oil depletion impacts business, Presentation Sveriges Energiting, session 12, 2009-03-11, Tillgänglig på
<http://www.webbtinget.se/index.php?page=lecture&year=2009&lecture=3057>
- SPI, 2008. Årsmedelpriser - motorbränslen <http://www.spi.se/statistik.asp?art=42>
- SPI, 2009. www.spi.se/fprw/files/SPI_Oljearet_2007_v0821_LU.pdf Besökt 2009-08-20
- Spörndly, R., (Redaktör), 1999, Fodertabeller för idisslare, rapport 247, Institutionen för husdjurens utfodring och vård, SLU, Uppsala
- Steineck, S., Gustafson, G., Andersson, A., Tersmeden, M.m Bergström, J., 1999, Stallgödselns innehåll av växtnäring och spårelement, Naturvårdsverkets rapport nr 4974
- Sundén och Andréén, 2006, En översikt och sammanställning inom området Dual-fuel fordon, M-tech Consulting, Dual-fuel konvertering, Skövde

- Tijmensens, M., Faaij, A., Hamelinck, C. & van Hardeveld, M., 2002. Exploration of the possibilities for production of Fischer Tropsch liquids and power via biomass gasification. *Biomass & Bioenergy* 23(2), 129-152
- Ulf, D., 2005. Miljöpåverkansbedömning vid tillverkning av etanol från cellulosabaserade råvaror SLU, Institutionen för biometri och teknik. Rapport nr 2005:05.
- Unnasch, S., Pellegrin, V., Quigg, D., Urban, B., Wuebben, P., 1990. Transit Bus Operation with a Ddc 6v-92tac Engine Operating on Ignition-Improved Methanol SAE Technical Paper Series Nr 902131.
- Vilhelmina kommun, 2008. Etanolprojekt i Vilhelmina läggs i malpåse. Gemensamt pressmeddelande från SCA Forest Products, E.ON och Vilhelmina kommun
http://www.vilhelmina.se/homepage_vilhelmina/NYHETER/S029EB857-029EB8AB.0/Vilhelmina%20etanolprojekt.pdf
- Volvo, 2008. Pressmeddelande 2008-04-02. www.volvo.com. Besökt 2009-01-22
- Åhman, M., 1999. Teknik för energieffektiva personbilar Lunds tekniska Högskola/Lunds universitet. KFB-meddelande 1999:22.
- Åmål, 2007 Småskalig uppgradering av biogas till fordonsgas
www.amal.se/download/35026/smaskaliguppgraderingavbiogas_amal.doc

Bilaga 1. Primärenergifaktorer

Primärenergifaktorer (Tabell 12) är hämtade från CEN (2004), med undantag för el där primärenergifaktorn är beräknad utifrån den svenska elmixen för år 2005 (Energimyndigheten, 2005).

Tabell 12. Primärenergifaktorer.

Energibärare	Primärenergifaktor
Olja	1,1
Naturgas	1,1
El	2,16
Kol	1,2

Tabell 13 är en sammanställning av svensk medelelproduktion för år 2005. I tabellen anges olika energikällors procentuella bidrag, energibehovet vid generering samt primärenergifaktorer med hänsyn tagen till 10 % nätförluster vid distribution i det svenska elnätet.

Tabell 13. Primärenergifaktorer för el producerad från svensk medelelmix från år 2005.

	Andel av total produktion (%)	Elverkningsgrad (%)	Energianvändning, produktion (kWh/kWh _{el})	Primär energi (kWh _{pr} /kWh _{el})
Vattenkraft	45,1	100	0,0037	0,45
Kärnkraft	44,7	33	0,061	1,38
Kraftvärme	9,5	85	0,06	0,12
Vindkraft	0,7	100	0,029	0,01
Summa	100		0,154	1,96
Nätförluster	10			
Summa inkl nätförluster				2,16

Bilaga 2. Energiinsats vid tillverkning av förnödenheter

Primär energi till tillverkning av handelsgödsel beräknad från Jenssen och Kongshaug (2003):

- Kväve (N) = 11,2 kWh per kg N
- Fosfor (P) = 2,2 kWh per kg P
- Kalium (K) = 1,6 kWh per kg K

Tabell 14. Sammansättning av etanolbränsle i procent av bränsle och liter tillsats per liter etanolbränsle (Bernesson, 2004).

	Sammansättning av etanolbränsle	Sammansättning per l etanol
Etanol	84,38 %	1,0 ¹
Vatten	5,86 %	0,069
Beraid 3540	7,00 %	0,083
MTBE	2,30 %	0,027
Isobutanol	0,50 %	0,0059
Morpholine	0,0009 %	0,00001

Tabell 15. Mängd tillsats (kg/l) samt primärenergi per kg tillsatsmedel (kWh/kg) och primärenergi per liter etanol (kWh/l) baserat på Bernesson (2004) och per liter metanol baserat på Bernesson (2004) och Unnasch m.fl. (1990).

Tillsatser till etanol	kg tillsatser/ l etanol	kWh input/ kg tillsatsmedel	kWh input/ l etanol	kWh input/ l metanol
Beraid 3540	0,066	9,6	0,63	0,38
MTBE	0,022	9,7	0,21	0,213
Isobutanol	0,0005	10,2	0,005	0,005
Morpholine	0,00008	2,4	0,00002	0,00002

Bilaga 3. Allokering faktorer som används vid ekonomisk allokering av energi och kostnader

I Tabell 16 finns en sammanställning av de ekonomiska allokering faktorer som används för respektive studerat system. Ekonomisk allokering beräknas med formeln:

$$\frac{\text{värde drivmedel}}{(\text{värde drivmedel} + \sum \text{värde biprodukter})}$$

Tabell 16. Sammanställning av ekonomiska allokering faktorer.

Drivmedel	Råvara	Allokering produkter	Allokering faktor
<i>Första generationens drivmedel</i>			
Etanol	Sockerbeter	Beta-blast	96 %
		Etanol-biprodukter	98 %
Etanol	Höstvete	Kärna-halm	100 %
		Etanol-biprodukter	91 %
RME	Höstraps	Rapsfrö-halm	100 %
		RME-biprodukter	82 %
Biometan	Vallgröda	Biometan-biprodukter	80 %
Biometan	Gödsel	Biometan-biprodukter	63 %
<i>Andra generationens drivmedel</i>			
FTD	Salix	FTD-(nafta, fotogen, el och aska)	61 %
FTD	Halm	Kärna-halm	96 %
		FTD-(nafta, fotogen, el och aska)	59 %
FTD	Grot	FTD-(nafta, fotogen, el och aska)	61 %
Metanol	Salix	Metanol-aska	99,7 %
Metanol	Halm	Kärna-halm	96 %
		Metanol-aska	95,2 %
Metanol	Grot	Metanol-aska	99,7 %
DME	Salix	DME-aska	99,7 %
DME	Halm	Kärna-halm	96 %
		DME-aska	95,3 %
DME	Grot	DME-aska	99,7 %
Etanol	Salix	Etanol-el	97 %
		Kärna-halm	96 %
Etanol	Halm	Etanol-el	97 %
		Etanol-el	97 %
Etanol	Skogsflis	Etanol-el	97 %

Bilaga 4. Avkastning och priser på råvaror och biprodukter

- Skördenivåer för sockerbetor, höstvetete och höstraps och vall till ensilage är hämtade från SCB statistik om skördar (SCB, 2008b) och är nationella medelvärden. Pris på dessa grödor är hämtade från SJV (2008), undantaget värdet på ensilage som är hämtad från Agriwise (2008).
- Den årliga avkastningen av Salix är hämtad från Hushållningssällskapet m.fl. (2007) och priset på Salix är beräknad utifrån priset på skogsflis (Energimyndigheten, 2008).
- Mängden halm som kan bärgas från fälten från Nilsson och Bernesson (2009) och halmens värde som råvara är hämtad från Mattson (2006).
- Priser på Grot och skogsflis från Energimyndigheten (2008). Mängd Grot från RecAsh (2009) och mängd skogsflis från Berg och Lindholm (2005).
- Stallgödseln värde är beräknad utifrån dess innehåll av växtnäring (N, P och K). Värdet av N, P och K är hämtad från Agriwise (2008)
- Värdet av betmassa erhöles från Edström pers medd. (2008)
- Värdet av drank, både torkad och otorkad, rapsmjöl och glycerin är hämtad från Bernesson (2004)
- Värdet av rötrest från vallgröda, nöt- och svingödsel och rötning av drank samt aska från förgasning beror av deras innehåll av växtnäring (N, P och K). Värdet av N, P och K är hämtad från Agriwise (2008).
- Värdet av FTD antogs vara samma som fossil diesel, 4,98 kr/l medel 2007 Rotterdampris (SPI, 2008)
- Värdet på nafta och fotogen följer i stort sett råoljepriset (Saxvik, 2009), och sattes därmed till 3,2 kr/l baserat på SPI (2009).
- Elpriset sattes till 280 kr/MWh vilket var medelvärdet för försäljning av el till nätet 2007 (NordPool, 2009)

Tabell 17. Sammanställning av årlig skörd (kg/ha) och pris för råvaror (kr/kg) som används vid tillverkning av förnybara drivmedel.

Råvara	Skörd	Enhet	Råvarupris	Enhet
Sockerbetor	46 600	kg/ ha	0,28	kr/ kg
Höstvetete	6 000	kg/ ha	1,86	kr/ kg
Höstraps	3 120	kg/ ha	2,69	kr/ kg
Ensilage ¹	6 000	kg ts/ ha	1,32	kr/ kg ts
Stallgödsel, nötflyt	1 000	kg vv	0,08	kr/ kg gödsel
Stallgödsel, svinflyt	1 000	kg vv	0,11	kr/ kg gödsel
Salix ¹	6 000	kg ts/ ha	0,75	kr/ kg ts
Halm ²	3 000	kg ts/ ha	0,15	kr/ kg ts
Grot	400	kg/ha	0,79	kr/ kg ts
Skogsflis	2 400	kg/ha	0,79	kr/kg ts

¹ Medelskörden per år i kg torrs substans per ha

² För halm anges den mängd halm som kan bärgas per hektar och år (kg torrs substans per ha).

Tabell 18. Sammanställning av biprodukternas värde.

Produkt	Pris	Enhet	Användning	System
Betmassa	0,224	kr/kg	Foder	Etanol från sockerbetor
Fermentationsrest	0	kr/kg	Gödselmedel	Etanol från sockerbetor
Drank, otorkad (91% vh)	0,0415	kr/kg	Foder	Etanol från spannmål
Drank, torkad (9,1 % vh)	1,01	kr/kg	Foder	Etanol från spannmål
Rötrest, drank	1,7	kr/ kg ts	Gödselmedel	Etanol från spannmål
Rötrest från vallgröda	0,5	kr/kg ts	Gödselmedel	Biogas
Rötrest från gödsel, nöt	1,35	kr/ kg ts	Gödselmedel	Biogas
Rötrest från gödsel, svin	2,03	kr/ kg ts	Gödselmedel	Biogas
Rapsmjöl	1,39	kr/ kg	Foder	RME
Glycerin	4,44	kr/ kg	Industri	RME
Aska från förgasning	13,04	kr/kg P	Gödselmedel	FTD, DME, metanol
Aska från förgasning	5,35	kr/kg K	Gödselmedel	FTD, DME, metanol
Nafta och fotogen	3,2	kr/l	Industri	FTD
El	0,28	kr/kWh	Elnät	FTD, etanol cellulosa

Bilaga 5. Antagande om energianvändning för odling, skörd och transport inom gården

Gemensamt för all odling och skörd och transport

Plöjning: Plöjning utförs med en fyrskärig delburen tegplog (Lindgren m.fl., 2002). Vid plöjning är effektbehovet 50 kW och avverkningen 0,7 ha/timme, vilket ger ett arbetsbehov på 1,4 timmar/ha. Med en verkningsgrad på 35 % blir bränsleförbrukningen 14,6 l diesel/timme eller 20,9 l diesel/ha. Avverkningen är ett medeltal mellan två försök som gav avverkningen 0,6 ha/timme respektive 0,81 ha/timme (Lindgren m.fl., 2002).

Harvning: Data för harvning är hämtad från Lindgren m.fl. (2002). Värdena är ett medelvärde mellan två harvar med 70 pinnar, där ena används i höstbruk och den andra i vårbruk. Avverkningen är 4,3 ha/timme och arbetsbehovet är 0,23 timmar/ha. Med ett effektbehov för att dra harven på 53 kW och en verkningsgrad på 35 % blir bränsleförbrukningen 15,5 l diesel/timme eller 3,6 l diesel/ha.

Sådd: Sådden genomförs med en buren såmaskin med 3 m arbetsbredd. Effektbehovet är 40 kW (Lindgren m.fl., 2002) och arbetskapaciteten är 1,2 ha/timme. Antagen verkningsgrad är 35 % vilket ger bränslebehovet 11,7 l diesel/timme eller 9,7 l diesel per hektar.

Radhack: Radrensaren har 9 raders arbetsbredd. Data för radhacken är hämtad från maskinkalkyler 2006 (Hushållningssällskapet, 2006). Avverkningen är 1,8 ha/timme eller 0,55 timmar/ha. Radhackens effektbehov är 60 kW, med en verkningsgrad på 35 % blir bränslebehovet 17,5 l diesel/ timme eller 9,7 l diesel/ha

Spridning av handelsgödsel: Gödselspridaren är en 24 m bogserad. Effektbehovet är 16 kW och avverkningen är 6,5 ha/timme (Lindgren m.fl., 2002). Det ger ett arbetsbehov på 0,15 timmar/ha. Med en verkningsgrad på 35 % är bränsleförbrukningen 4,7 l diesel per timme vilket ger bränslebehovet 0,7 l diesel/ha.

Kemisk bekämpning: Kemisk bekämpning sker med en buren spruta med tankvolymen 800 l och 12 m arbetsbredd. Avverkningen är 6,5 ha/timme och arbetsbehovet 0,2 timmar/ha (Hushållningssällskapet, 2006). Effektbehovet för att genomföra bekämpning är 50 kW. Med en verkningsgrad på 35 % blir bränsleförbrukningen 14,6 l diesel/timme eller 2,2 l diesel/ha.

Stubbearbetning: Stubbearbetning sker med ett tungt tallriksredskap med 2,5 m arbetsbredd. Avverkningen är 1,25 ha/timme vilket ger ett arbetsbehov på 0,8 timmar/ha. Effektbehovet för tallriksredskapet är 50 kW, med en verkningsgrad på 35 % blir bränslebehovet 14,6 liter diesel per timme vilket motsvarar 12 l diesel/ha. Vid betodling sker två överfarter med redskapet.

Traktor och vagn: Från fältet till lagerplatsen transporteras vete av ett ekipage bestående av en vagn dragen av en traktor. Transportavståndet är antaget till 3 km enkel väg. Bränsleförbrukningen vid transport av tom vagn (retur till fält eller uppställningsplats) är 0,270 l/km och bränsleförbrukningen vid fylld vagn är 0,460 l/km (Berglund och Börjesson, 2003).

Specifikt för sockerbeta

Betupptagare: Betupptagaren är en sexradig självgående maskin. Arbetskapaciteten är 0,8 ha/timme vilket ger ett arbetsbehov på 1,25 timmar/ha. Enligt Hushållningssällskapet (2006) är skillnaden i timkostnad för enbart maskin och maskin inklusive bränsle 317 kr. Med ett kalkylerat dieselpolis p 6,20 kr/l beräknas dieselförbrukningen till 51,1 l/ timme eller 41 l/ ha.

Traktor och vagn vid transport av betor från fält till stuka: Vid en skörd på 46,6 ton sockerbetor per hektar går det åt 3,6 vagnslass att transportera betorna. I övrigt sker transport enligt data för transport med traktor och vagn.

Uppläggning av betor på stuka och täckning med halm: Betorna lagras i stukor på marken i väntan på vidare transport till anläggning. Lagring sker utomhus på marken och stukorna täcks med halm för att skydda dem. Traktor med frontlastare används vid hantering av betor och halm. Vid täckning av stuka med halm antas att arbetsbehovet är 3 timmar/100 ton betor (Arbetet utförs med traktor utrustad med frontlastare). Traktorn antas vara i gång 75 % av tiden. Traktorarbete med frontlastare förbrukar 4 l diesel/timme. Arbetsbehovet för att täcka betor från 1 ha är 1,4 timmar, vilket ger en dieselförbrukning på 5,3 l diesel/ha betor vid skörden 46,6 ton betor/ha (Fast & Bönner, 2004).

Enligt Fast & Bönner (2004) täcks stukor med ett halmskikt på 20-30 cm. I denna studie antas ett halmskikt på 25 cm. Tillsammans med stukans area och halmskiktets tjocklek beräknas volymen halm till 11,9 m³. Enligt Bernesson & Nilsson (2005) är volymvikten för torr och ohackad lös halm 10 kg/m³. I systemet hanteras halmen som balar fram till stuka. Volymvikten antas vara högre för halm från rivna balar jämfört lös halm. Den antas till 40 kg/m³.

Specifikt för Höstvete

Skördetröska: Tröskning sker med en tröska som har arbetsbredden 18 fot. Kapaciteten är 2,1 ha/ timme och arbetsbehovet är 0,5 h/ha. Dieselförbrukningen är 27,8 l/ timme eller 13,4 l/ ha beräknat från Lindgren m.fl. (2002).

Traktor och vagn: Vid en skörd på 6 ton vete per hektar går det åt 0,5 vagnslass att transportera vete från 1 ha. Transportavståndet är antaget till 3 km enkel väg. I övrigt sker transport enligt data för transport med traktor och vagn.

Specifikt för höstraps

Skördetröska: Tröskning sker med en tröska som har arbetsbredden 18 fot. Kapaciteten är 2,4 ha/ timme och arbetsbehovet är 0,4 h/ha. Dieselförbrukningen är 21,2 l/ timme eller 9,0 l/ ha beräknat från Lindgren m.fl. (2002).

Traktor och vagn: Vid en skörd på 3 120 kg rapsfrö per hektar går det åt 0,24 vagnslass att transportera betorna. . I övrigt sker transport enligt data för transport med traktor och vagn.

Specifikt för vall

Slätterkross: Skörden sker med en slätterkross med kapaciteten 6,5 ha/timme eller 39 ton ts/timme. Effektbehovet är 180 kW med verkningsgraden 35 %. Drivmedelsförbrukningen är 51 l diesel/timme eller 7,9 l diesel/hektar.

Rotorsträngläggare: Rotorsträngläggaren har arbetsbredden 7 m och en arbetskapacitet på 3,5 ha/timme. Det motsvarar ett arbetsbehov på 0,29 timmar/ha. Effektbehovet är 60 kW och verkningsgraden är 35 %. Det ger en energiförbrukning på 171 kWh/timme eller 49 kWh per ha. Det motsvarar en bränsleförbrukning på 18 l diesel/timme eller 5 l diesel/ha.

Exakthack: Hacken har en kapacitet på 7 ton torrsubstans/timme. Med en skördenivå för vall på 6 ton ts/ha blir det beräknade arbetsbehovet 0,86 ha/timme. Med en effekt på 330 kW och verkningsgraden 35 % blir bränsleförbrukningen 94 l diesel/timme eller 110 liter diesel/ha. Med en torrsubstansskörd på 6 ton/ha blir bränsleförbrukningen 13,5 l diesel/ton ts.

Traktor: Vid insamling av vallgrödan från fält används exakthack. Hacken blåser över vallgrödan till en container som dras av en traktor. För att undvika driftstopp åtföljs hacken av två traktorekipage. Under den tid som ena ekipaget följer hacken transporterar, lämnar och hämtar det andra ekipaget en ny container. Medeltransportavståndet mellan hack och avlastningsplats antas till 1,5 km. Tidsåtgången för att lasta av en fylld container och lasta en ny antas till 10 minuter.

Specifikt för halmbärgning

Strängläggare: För strängning av halm antas en förbrukning av 2,6 kWh diesel per ton halm baserat på Nilsson, 1997.

Balning: Halmen pressas till högdensitetsbalar, med en energianvändning 2 liter diesel per ton balad halm.

Specifikt för Salix

Skörd: Salix direktflisas. Energiåtgången antogs vara 3,8 liter diesel per ton ts skördad Salix baserat på Börjesson, 2006.

Uppsamling och fälttransport: Ett traktorekipage antogs simultant samla upp den flisade Salixen från skördemaskinen. Energinvändningen för uppsamling och fälttransport sattes till 1,2 liter diesel per ton ts Salix baserat på Börjesson, 2006.

Specifikt för skogsflis från massaved

Beräknat med hjälp av data från Berg och Lindholm (2005), medelvärde mellan norra, mellan och södra Sverige. Tillväxt $6 \text{ m}^3/\text{ha}$ år. Densitet $399 \text{ kg}/\text{m}^3$. Energiåtgång, från planta till slutavverkning och leverans till industri $178 \text{ MJ}/\text{m}^3$ fub ($49,4 \text{ kWh}/\text{m}^3$ fub).

Specifikt för Grot

Vid slutavverkning insamlas $31,56 \text{ ton Grot}/\text{ha}$ (RecAsh, 2009). Energiåtgång för insamling och transport $46,4 \text{ kWh}$ diesel per ton (Paulsson, 2007).

Bilaga 6. Designparametrar och energibehov till anläggningar för produktion av förnybara drivmedel

Anläggning för sockerbeter till etanol

Designparametrar (Tabell 19) och energibehov (Tabell 20) för dimensionering av anläggning för produktion av etanol från sockerbeter är beräknade från Länsstyrelsen (2005) och Edström (pers. medd., 2008).

Tabell 19. Designparametrar till anläggning för tillverkning av etanol från sockerbeter.

Parametrar etanolanläggning	Enhet	
Socketförluster, förbehandling	1,5	%
Socketförluster, produktion	2	%
Etanolproduktion	11,7	kg betor/l etanol
Etanolproduktion	2	kg socker/kg etanol
kg betmassa per liter etanol	1,64	kg betmassa/l etanol
kg drank per liter etanol	0,76	kg drank/liter etanol
Etanolproduktion	11,70	kg betor/l etanol

Tabell 20. Enerigibehov (kWh/ kWh etanol) till anläggning för produktion av etanol från sockerbeter.

	Elbehov	Processvärme
Mottagning, förbehandling & fermentering	0,016	
Destillering	0,011	4,62E-03
Indunstning	0,026	6,06E-03

Spannmål till etanol

Designparametrar (Tabell 21) och energibehov (Tabell 22) vid produktion av etanol från spannmål är beräknade utifrån underlag från Bernesson (2004) och Paulsson (2007).

Tabell 21. Designparametrar till anläggning för produktion av etanol från spannmål.

Parameter	Enhet	
Utbyte vete till etanol	2,7	kg vete/ liter etanol
Mängd drank	0,29211	ton drank/ton vete

Tabell 22. Enerigibehov vid produktion av etanol från spannmål.

	El	Ånga	Enhet
Fermentation	36,2	0,0161	kWh/ton vete
Destillering	24,7	0,0947	kWh/ton vete
Torkning av drank	60,3	0,1106	kWh/ton vete

Höstraps till RME

Indata till anläggning för produktion av RME är beräknade utifrån underlag hämtade från Bernesson (2004) (Tabell 23).

Tabell 23. Designparametrar och energibehov vid produktion av RME från höstraps.

Parameter		Enhet/ kommentar
<i>Pressning av raps</i>		
Utvinning av olja	98 %	varmpressning och extrahering
Elbehov	0,136	kWh/kg olja
Hexan	1,00	kg/ton rapsfrö
Energi för att producera hexan	14,8	kWh _{pr} /kg
Elbehov, extraktion	0,06	kWh _{el} /kg olja
<i>Omförestring</i>		
Elbehov	0,17	kWh/kg rme
Metanol	0,11	kg metanol/kg rapsolja
Produktion av metanol (fossil)	3,4	kWh _{pr} /kg
Produktion av metanol (bio)	12,4	kWh _{pr} /kg
Katalysator	10,00	kg KOH/m ³ rapsolja
Produktion av katalysator	2,06	kWh _{pr} /kg
<i>Produkter</i>		
RME	0,97	kg rme/kg rapsolja
Glycerin	0,12	kg glycerin/ kg rme

Vall och gödsel till biogas

Energibehoven för biogasanläggning, rening och komprimering av biogas till biometan är från Dalemo (1996) (Tabell 24).

Tabell 24. Energiförbrukning vid rötning av vallensilage eller gödsel.

Parameter		Enhet
Elbehov rötchamber	3	% av energi i producerad biogas
Värmebehov rötchamber	0,019	kWh/ kg substrat in
Elbehov till rening av biogas till biometan	2	% av energi i producerad biogas
Komprimering av biometan	2	% av energi i producerad biogas

Biogaspotentialen för vallensilage är beräknad från Linné m.fl. (2008), biogaspotentialer för flytgödsel nöt och svin är hämtade från Berglund och Börjesson (2003) (Tabell 25). Torrsubstanshalten för vallensilage är hämtad från Spörndly (1999). VS-halten för vallensilage är uppskattad från data hämtad från Berglund och Börjesson (2003) och för flytgödsel, nöt och svin från Steineck m.fl. (1999).

Tabell 25. Biogaspotential m.m. för vallensilage, flytgödsel från nöt och flytgödsel från svin.

Parameter		Enhet
<i>Vallensilage</i>		
ts-halt	30	%
VS	90	% av TS
Biogaspotential vall	330	l CH4/kg VS
Biogaspotential vall	297	l CH4/kg ts
Biogaspotential vall (metan)	89	l CH4/kg vall
<i>Flytgödsel från nöt</i>		
ts-halt	10	%
VS	84	% av TS
Biogaspotential, flytgödsel	206	l CH4/kg VS
Biogaspotential, flytgödsel	173	l CH4/kg ts
Biogaspotential, flytgödsel	17	l CH4/kg flytgödsel
<i>Flytgödsel från svin</i>		
ts-halt	8	%
VS	81	% av ts
Biogaspotential, flytgödsel,	241	l CH4/kg VS
Biogaspotential, flytgödsel	195	l CH4/kg ts
Producerad mängd metan	16	l CH4/kg flytgödsel

Biomassa till FTD via förgasning

Drivmedelsanläggningen antas vara självförsörjande på energi, dvs. den enda råvaran som kommer in är biomassa. Fördelning av utgående produkter redovisas i Tabell 26.

Tabell 26. Fördelning av produkter och utbyte vid FTD-produktion. Baserat på Tijmensen, 2002.

	Energifördelning mellan produkter	Utbyte kWh/kWh biomassa
Diesel	52%	0,25
Nafta	20%	0,09
Fotogen	19%	0,09
El	9%	0,05
Summa	100%	0,48

Biomassa till metanol och DME via förgasning

Produktionen av metanol och DME skiljer sig inte mycket åt, DME produceras genom dehydrering av metanol. Detta sker direkt i reaktorn med hjälp av aluminiumkatalysator. Drivmedelsanläggningen antas vara självförsörjande på energi, dvs. den enda råvaran som kommer in är biomassa. Utbytet av metanol och DME sattes till 0,47 respektive 0,50 kWh per kWh insatt biomassa baserat på Bodding, 2003.

Salix, halm och skogsflis till etanol

Det antagna utbytet av etanol redovisas i Tabell 27. De delar av materialet som inte kan fermenteras (framför allt lignin) förbränns, vilket förser processen med den el och ånga som behövs. Överskottsvatten går genom en rötkammare och biogasen förbränns också. En viss del el blir på detta vis överskott som kan säljas till nätet. I etanolprocessen behövs också ett antal tillsatsmedel (Tabell 28).

Tabell 27. Utbyte av etanol och el från Salix, halm och skogsflis. Baserat på Huang m.fl., 2009.

	Salix	Halm	Skogsflis
Utbyte m ³ 95 % etanol/ton ts	0,386	0,362	0,386
kWh etanol/kWh input	0,440	0,444	0,419
Elöverskott, kWh/kWh input	0,063	0,064	0,060
kWh etanol/ha	14 268	6 289	2 944
kWh el/ha	2 038	900	421

Tabell 28. Tillsatsmedel i etanolprocessen. Baserat på Aden m.fl., 2002; Bernesson, 2004 och Edwards m.fl., 2007.

	kg/l etanol	kWh Primär energi/ kg tillsats	kWh Primär energi/ liter etanol
Svavelsyra	0,133	1,1	0,14
Kalk	0,097	1,4	0,14
Enzymer	0,276	1,7	0,47
Ammoniumfosfat	0,0066	1,1	0,0

Bilaga 7. Underlag till kostnader på gårdsnivå vid byte till förnybart drivmedel

- Ränta, 6 %
- Avskrivningstid, 10 år
- Driftstid, 650 timmar/ år
- Restvärde, 20 % av återanskaffningsvärde (ÅAV)
- Underhållskostnad, 0,080 kr/ timme & 1000 kr ÅAV
- Förvaringskostnad, 60 kr/m²
- Yta, förvaring, 14 m²
- Skatt och försäkring, 0,3 % av ÅAV

Den årliga värdeminskningen är differensen mellan återanskaffningsvärdet (Tabell 29) och restvärdet fördelat över avskrivningstiden.

Räntekostnaden beräknas på medelvärdet av maskinkapitalet under kalkylperioden. Den utgörs av medelvärdet av återanskaffningsvärdet och restvärdet multiplicerad med kalkylräntan.

Förvaring: Det finns stora skillnader i kostnader för förvaring och försäkring. Förvaringskostnaden är en årskostnad och anges i kr/ m² per år. Enligt Maskinkostnader (2008) är 60 kr/m² och är en god approximation mellan maskinhallar och andra byggnader som hyser maskiner.

Försäkringen är en mindre brandförsäkring och är 0,3 % av ÅAV. Maskinförsäkring ingår i kostnaden för underhåll.

Underhållskostnaden är en rörlig kostnad. I underhåll ingår förutom reparationer och reservdelar även smörjmedel, gårdsverkstad, eget arbete samt maskinskade-försäkring (Maskinkostnader, 2008)

Tabell 29. Kostnader (kr/ traktor) och lagerkostnad (kr/ år) när olika drivmedel används som bränsle till traktorer.

Drivmedel	Återanskaffningsvärde	Lagerkostnad
Diesel	640 000	8 200
Etanol	750 000	12 200
Metanol	750 000	12 200
RME	640 000	8 200
FTD	640 000	8 200
DME	780 000	50 000
Biogas	840 000	120 000

Tabell 30. Beräknade fasta årskostnader (kr/ år) för en traktor 100 kW som använder olika drivmedel.

Drivmedel	Värdeminskning	Ränta	Förvaring	Försäkring	Summa fasta kostnader
Diesel	51 200	23 040	840	1920	77 000
Etanol	60 000	27 000	3 090	2250	92 340
Metanol	60 000	27 000	3 090	2250	92 340
RME	51 200	23 040	2 760	1920	78 920
FTD	51 200	23 040	2 760	1920	78 920
DME	62 400	28 080	3 180	2340	96 000
Biogas	67 200	30 240	3 360	2520	103 320

Rörliga kostnader är underhåll och drivmedel.

Tabell 31. Beräknade rörliga årskostnader (kr/ år).

Drivmedel	Drivmedelskostnader	Underhåll	Summa rörliga kostnader
Diesel	95 030	7 384	102 414
Etanol (spannmål)	120 506	8 653	129 159
Metanol	111 737	9 507	121 244
RME	126 349	7 384	133 733
FTD	56 232	7 384	63 616
DME	102 011	8 999	111 010
Biogas	130 742	9 692	140 434

Tabell 32. Beräknad drivmedelsförbrukning för en 100 kW traktor.

Drivmedel	l/ timme	l/ år	kWh/ timme	kWh/ år
Diesel	17	11 050	167	108 054
Etanol	26	16 644	148	96 168
Metanol	35	22 437	148	96 168
RME	18	11 864	173	112 376
FTD	17	11 292	166	108 054
DME	32	20 484	166	108 054
Biogas	22 ¹	14 320 ¹	223	144 792

¹ Nm³ istället för liter

JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik..

.. är ett industriforskningsinstitut som forskar, utvecklar och informerar inom områdena jordbruks- och miljöteknik samt arbetsmaskiner. Vårt arbete ger dig bättre beslutsunderlag, stärkt konkurrenskraft och klokare hushållning med naturresurserna.

Vi publicerar regelbundet notiser på vår webbplats om aktuell forskning och utveckling vid JTI. Du får notiserna hemskickade gratis om du anmäler dig på www.jti.se

På webbplatsen finns även publikationer som kan läsas och laddas hem gratis, t.ex.:

JTI-informerar, som kortfattat beskriver ny teknik, nya rön och nya metoder inom jordbruk och miljö (4-5 teman/år).

JTI-rapporter, som är vetenskapliga sammanställningar över olika projekt.

Samtliga publikationer kan beställas i tryckt form. JTI-rapporterna och JTI-informerar kan beställas som lösnummer. Du kan också prenumerera på JTI-informerar.

*För trycksaksbeställningar, prenumerationsärenden m.m.,
kontakta vår publikationstjänst (SLU Service Publikationer):*

tfn 018 - 67 11 00, fax 018 - 67 35 00

e-post: bestallning@jti.se



JTI - Institutet för jordbruks- och miljöteknik

JTI - Swedish Institute of Agricultural and Environmental Engineering

Box 7033, 750 07 UPPSALA

Telefon: 010 - 516 69 00

Besöksadress: Ultunaallén 4

Telefax: 018 - 30 09 56

Webbplats: www.jti.se