



Bioenergi: resurseffektivitet och bidrag till energi- och klimatpolitiska mål

ER 2008:05



Böcker och rapporter utgivna av Statens
energimyndighet kan beställas från
Energimyndighetens publikationsservice.
Orderfax: 016-544 22 59
e-post: publikationsservice@energimyndigheten.se

© Statens energimyndighet
Upplaga: 80 ex

ER 2008:05

ISSN 1403-1892

Förord

Energimyndigheten ska enligt de energipolitiska målen verka för en ökad användning av bioenergi istället för fossila bränslen. Beroende på vilka mål som avses har olika bioenergisystem sina respektive för- och nackdelar. Vid bedömningar av bioenergens resurseffektivitet och miljöpåverkan är information om energibalanser, systemverkningsgrader, ”klimatnytta” etc för olika bioenergisystem av särskilt intresse. Beräkningar av dessa kan dock ge varierande resultat beroende på vilka antaganden om systemgränser och övriga förutsättningar som gjorts.

Denna rapport presenterar olika svenska bioenergisystem med avseende på netto- och bruttoenergiskörd per areal odlingsmark, energibalanser och systemeffektivitet. Särskilt uppmärksammas betydelsen av olika förutsättningar, systemavgränsningar och användningen av biprodukter, konkurrensförhållanden och vilken möjlig omfattning som ett givet bioenergialternativ kan få. De olika systemen diskuteras i perspektiv av nyttan för olika samhällsmål, speciellt klimatmål och behovet av att minska oljeberoendet.

Rapporten vänder sig till beslutsfattare, företag, forskare och övriga miljö- och bioenergiintresserade.

Studien har genomförts av Göran Berndes, Fysisk resursteori, Chalmers, Pål Börjesson och Håkan Rosenqvist, Miljö och energisystem, Lunds tekniska högskola, samt Sten Karlsson, Fysisk resursteori, Chalmers

Det är Energimyndighetens och författarnas gemensamma förhoppning att denna rapport ska komma till nytta i den fortsatta utvecklingen av bioenergin.

Birgitta Palmberger
Avdelningschef
Energimyndigheten

Göran Berndes
Projektledare
Chalmers

Innehåll

Sammanfattning	5
Summary	11
1 Inledning	17
2 Energibalans och nettoenergiskörd i odlingssteget	19
3 Omvandlingseffektivitet och nytta när även slutanvändning beaktas	21
4 Bioenergialternativens möjliga utbredning	33
4.1 Utbredning och relativ skördenivå i olika delar av Sverige	33
4.2 Produktionskostnader	35
4.3 Hur skulle en eventuell expansion kunna se ut?.....	38
5 Effektivitet och nytta av bioenergi: insikter från energisystemmodellering	41
6 Avvägning mellan olika mål vid värdering av nytta hos olika bioenergisystem	47
7 Några ytterligare perspektiv	53
8 Litteratur	57
Appendix A.	59
Energibalansen: några formler	59
Appendix B.	61
En sammanfattning av en stor mängd drivmedelsstudier	61
Appendix C.	67
Alternativ till energianalyser.....	67

Sammanfattning

En ökad användning av bioenergi i stället för fossila bränslen drivs av ett antal olika energipolitiska mål och beroende på vilka mål som avses har olika bioenergisystem sina för- och nackdelar. Även i relation till en så pass generell målsättning som att utnyttja jordbruks- och skogsmark på ett resurseffektivt sätt framstår olika bioenergisystem som mer eller mindre attraktiva beroende på vilka mer specifika politiska mål som avses (begreppet 'effektivitet' i sig beror t ex på huruvida man vill skapa jobb, minska utsläpp eller minska importberoende). En utvärdering av ett bioenergisystem måste således ske relativt tydligt specificerade målsättningar och sannolikt också en prioritering mellan olika målsättningar.

Vidare beror utvärderingsresultat på antaganden, både explicita och implicita, beträffande exempelvis relevanta systemgränser, aktuella ekonomiska förutsättningar, befintliga styrmedel, avsättningsmöjligheter för biprodukter, och prognoser för etablering av ny teknik.

Målsättningen att utveckla energieffektiva system som utnyttjar jordbruks- och skogsmark på ett resurseffektivt sätt, motiveras bl a av att tillgången på biomassa (eller mark och andra resurser som krävs för att producera biomassan) bedöms bli knapp i framtiden. Exempel på biobränslen med stor positiv energibalans, d v s hög energiskörd i förhållande till insatt hjälpenergi, är skogsbränslen, halm och energiskog på åkermark. Nettoavkastningen per hektar åkermark, d v s bruttoenergiskörden minus insatt hjälpenergi per hektar, är också högst för energiskog, tillsammans med energigrödor som helsäd (strå och kärna) och sockerbetor. Avkastningen skiljer dock väsentligt mellan olika produktionsområden i landet (t ex slättbygder i södra Sverige jämfört med skogsbygder i norra Sverige) samt lokalt beroende på vilken typ av åkermark som utnyttjas (t ex mycket bördig åkermark jämfört med lågproduktiv marginalmark).

Eftersom skogs- och åkerbränslen måste omvandlas innan dessa levererar en önskad energitjänst krävs en utvidgad analys som även inkluderar energieffektiviteten i efterföljande förädlingssteg. Störst nettoutbyte av användbar energi fås när biobränslen utnyttjas för värme- och kraftvärmeproduktion, jämfört med när dessa förädlas till drivmedel vilket innebär större omvandlingsförluster. Olika produktionskedjor för drivmedel har dock stora skillnader i nettoutbyte per hektar. Nettoutbytet av t ex dimetyleter (DME), metanol och metan från förgasning av Salix kan vara upp till fem gånger större jämfört med nettoutbytet av rapsmetylester (RME) från raps och etanol från vete. Skillnaderna i bruttoutbyte av drivmedel är dock mindre mellan de olika systemen. Detta gäller också när enbart energiinsatser i form av fossila drivmedel tas med, d v s exklusive el och värme som kan produceras från fasta biobränslen. Om målsättningen är minskad oljeanvändning kan detta beräkningssätt vara mest relevant, d v s att jämföra hur mycket biodrivmedel som fås per insatt energienhet fossila drivmedel.

Ett flertal produktionssystem för biodrivmedel genererar också biprodukter som kan utnyttjas för olika ändamål. Hur dessa biprodukter beaktas i energibalansberäkningar får mycket stort genomslag i resultaten av dessa. Om t ex all energiinsats vid spannmålsbaserad etanolproduktion allokeras till etanol och ingen till biprodukten drank blir energibalansen relativt låg (men fortfarande positiv). Om däremot en systemutvidgning görs där biprodukten drank används som proteinfoder och ersätter importerat sojaprotein blir energibalansen betydligt högre. Detta beror på att etanolssystemet krediteras en energiinsats som motsvarar den energiinsats som krävs vid produktion och transport av sojaprotein-foder från t ex Syd- och Nordamerika. Skillnader i metodansats, t ex att allokeringmetod och systemgränsdragning görs på olika sätt, är ofta den viktigaste förklaringen till varför olika energibalansberäkningar kan komma fram till så olika resultat. Rättvisa jämförelser mellan olika studier är därför endast möjligt om jämförbara beräkningsförutsättningar används.

Vilken eller vilka metoder som är motiverade att använda vid energibalansstudier styrs av de aktuella förutsättningarna för det specifika bioenergisystemet som analyseras. Det kan t ex vara motiverat att – upp till en viss omfattning av etanolproduktion från spannmål och RME från raps – använda systemutvidgning där biprodukter har full avsättning som foder. Men när dessa produktionssystem expanderar ytterligare och biprodukter börjar utnyttjas för andra ändamål som energiutvinning (t ex biogasproduktion eller förbränning) bör istället allokering av energiinsatsen ske utifrån drivmedlets respektive biproduktens energiinnehåll eller ekonomiska värde. För ett och samma bioenergisystem kan det således vara försvarbart att använda olika beräkningsmetoder beroende på vilken omfattning i produktionen som är utgångspunkten.

Framtida bioenergisystem kan i allt större omfattning komma att utgöras av olika slags energikombinat där t ex biodrivmedel samproduceras med el, värme, fasta biobränslen osv från en mix av olika biomassaråvaror. En drivkraft för utvecklingen av dessa energikombinat är att synergieffekter nås med en högre total energi- och resurseffektivitet än när respektive energibärare produceras var för sig. Dessa lösningar kan t ex innebära att ett något lägre utbyte av biodrivmedel kan motiveras av att det totala utbytet av energibärare från systemet är högt och att dessa övriga energibärare har full avsättning. Ett energikombinat med mycket hög totalverkningsgrad men samtidigt stor värmeproduktion är dock inte alltid fördelaktigt ur resurssynpunkt, t ex när begränsningar finns i avsättning av värme. I dessa fall kan energikombinat med något lägre totalverkningsgrad men med större andel högkvalitativa energibärare som drivmedel och el vara mer fördelaktiga.

Om den primära målsättningen med ökad användning av bioenergi är att minska utsläppen av växthusgaser är det relevant att fokusera på hur mycket fossila bränslen som ersätts totalt. En bioenergisystem-betraktelse ger att försörjningssystemen för el och värme spelar en stor roll för hur mycket (fossila) koldioxidutsläpp som bioenergisystemet ger upphov till. Om man t ex förutsätter att all el

och värme som används vid framställning av etanol från spannmål är fossilbaserad blir nettoreduktionen av växthusgaser liten eller till och med negativ jämfört med när bensin används som drivmedel. Om däremot biobränslebaserad värme och el utnyttjas blir reduktionen relativt stor när etanol ersätter bensin. Dessa olika antaganden är en anledning till varför t ex resultat i studier av svenskproducerade biodrivmedel ofta skiljer sig mot resultat i studier av biodrivmedelsproduktion i Europa eller USA.

I detta sammanhang skall dock sägas att varje enhet biomassa som investeras i biodrivmedelsprocessen (som drivmedelsråvara eller för att driva tillverkningsprocessen) kunde ha använts för att ersätta fossila bränslen på annat håll (dvs utanför det betraktade bioenergisystemet). Om man utgår ifrån att biomassan kommer vara knapp i förhållande till den möjliga efterfrågan, så innebär det att effektivitet alltid är viktigt, oavsett om råvaran som används är biomassa eller annan primärenergi. Den biomassa som ”sparas” tack vare effektiva processer kan ju användas för fossilersättning någon annan stans. Därmed kan det t ex också vara motiverat att genom samlokalisering utnyttja spillvärme från en fossileldad process (om spillvärmen inte kan utnyttjas på annat vis) istället för att driva omvandlingsprocessen med biomassa.

Hur klimateffektiva bioenergisystem är påverkas också av hur dessa förändrar utsläpp av andra växthusgaser än koldioxid, t ex lustgas och metan. All odling leder till risk för utsläpp av lustgas från marken och denna risk ökar med ökad kvävegödsling. Odling av ettåriga grödor som spannmål och oljeväxter riskerar högre utsläpp än odling av fleråriga grödor som energiskog eftersom ettåriga grödor normalt gödglas med mer kväve. Tillverkning av kvävegödsel medför också utsläpp av lustgas. Eftersom lustgas är en drygt 300 gånger mer aggressiv växthusgas än koldioxid får dessa utsläpp ett mycket stort genomslag i växthusgasbalansen för t ex biodrivmedel och kan ibland utgöra det dominerande bidraget. Utsläpp av lustgas från åkermark kan samtidigt variera stort utifrån lokala förutsättningar och en mängd olika faktorer, d v s här finns en stor osäkerhet. Antaganden om hur stora lustgasutsläpp som fås vid odling av energigrödor är en annan viktig faktor som kan förklara stora skillnader i resultat mellan olika studier i fråga om hur klimateffektiva olika bioenergisystem är.

I vissa situationer kan bioenergisystem leda till minskade utsläpp av växthusgaser som t ex metan. Ett exempel är biogasproduktion från gödsel. Vid konventionell lagring av flytgödsel fås spontana utsläpp av metan som är en cirka 20 gånger mer aggressiv växthusgas än koldioxid. När gödsel rötas och producerar biogas minskar utsläppen av metan från gödsellagring och denna reduktion kan vara i samma storleksordning som reduktionen av koldioxid när biogasen ersätter fossila bränslen. Gödselbaserad biogas kan så att säga ha dubbel klimatnytta. Dessa två exempel av förändrade utsläpp av lustgas och metan visar på vikten av att ha ett brett livscykelperspektiv vid analys av hur klimateffektiva bioenergisystem är.

Breda systemstudier av bioenergisystem bör också beakta energigrödors möjliga utbredning avseende geografisk lämplighet, ekonomi och möjlig expansionstakt. Vissa energigrödor som t ex oljevaxter och sockerbeter har relativt begränsade biologiska utbredningsmöjligheter i Sverige med dagens produktionsmetoder och klimat medan situationen är den omvända för grödor som t ex vall och spannmål. Odling av energiskog som Salix ligger någonstans mitt emellan då dessa odlingar passar bäst på lite bättre och medelgod åkermark i södra och mellersta Sverige och i områden med tillräckligt hög nederbörd.

Odlingskostnaderna uttryckt per energienhet biomassa är lägst för energiskog och ungefär jämförbara med produktionskostnaderna för skogsbränslen (grot) och halm. Produktionskostnaderna för befintliga traditionella grödor och andra nya energigrödor är oftast betydligt högre. Potentialen att sänka produktionskostnaderna bedöms vara större för nya energigrödor jämfört med traditionella grödor då nya energigrödor är mindre utvecklade vad gäller växtförädling, odlingsteknik och hantering efter skörd. Kostnadsänkningar förutsätter dock att dessa börjar odlas i betydande omfattning. Högre produktionskostnader för t ex ettåriga grödor som spannmål och oljevaxter kan dock till viss del kompenseras av att dessa är billigast att hantera och lagra, och att befintliga maskinresurser och infrastruktur kan utnyttjas. Dessutom finns existerande kommersiell teknik för att t ex omvandla dessa till biodrivmedel, vilket saknas för strå- och träbränslen idag. I dagsläget konkurrerar således energiskog och stråbränslen framför allt mot skogsbränslen, avfall mm för värme- och kraftvärmeproduktion medan spannmål och raps som förädlas till biodrivmedel konkurrerar mot bensin och diesel. I dagens situation är betalningsförmågan för spannmål och raps till drivmedelsproduktion högre än för energiskog och stråbränslen för värme- och kraftvärmeproduktion.

Det är inte alltid så att det bästa valet i en given situation utgörs av det bioenergialternativ som framstår som bäst då produktionskostnader, LCA och/eller energibalansstudier av bioenergisystem jämförs. Som nämnts ovan är det också viktigt att beakta vilken möjlig omfattning som ett givet bioenergialternativ kan få, t ex med hänsyn taget till en energigrödors möjliga utbredning och utvecklingspotential. Utöver detta spelar det existerande energisystemets egenskaper en stor roll, liksom den uppsättning styrmedel som introducerats för att åstadkomma energisystemomvandling.

Energisystem-modellering ger möjlighet att värdera och jämföra olika bioenergialternativ med varandra under beaktande av hur de konkurrerar med andra energialternativ, såsom t ex vind- och vattenkraft när det gäller klimatneutral elgenerering. Det innebär att konkurrenskraften och den möjliga omfattningen för andra alternativ än bioenergi blir av betydelse för vilket bioenergialternativ som är mest attraktivt. Ett exempel på hur tillgången och kostnaden för andra alternativ än bioenergi spelar stor roll för prioriteringen av biomassaanvändningen är valet mellan att använda biomassan inom det stationära energisystemet eller inom transportsektorn. Här blir en avgörande faktor vilka förväntningar man har vad gäller tillgången på klimatneutrala transporter som inte baseras på biomassa. Det är också

betydelsefullt vilka förväntningar man har på olika teknikers kommersiella tillgänglighet över tiden i relation till krav på förändringstakt och specifika mål vad gäller t ex en sektors klimatpåverkan eller användning av förnyelsebara bränslen.

Utöver klimatnytta så motiveras satsningar på bioenergi även exempelvis med att det förbättrar landets energiförsörjningstrygghet och också leder till att det skapas nya arbetstillfällen.

Det är huvudsakligen inom de arealla näringarna som den största relativa effekten på arbetsmarknaden kan ses. Beträktat ur ett nationellt arbetsmarknadsperspektiv däremot framstår bidraget från bioenergisektorn som ganska blygsamt. Då biodrivmedelsproduktion baseras på traditionella jordbruksgrödor kan en satsning på biodrivmedel för transportsektorn ge fler jobb än annan biomassanvändning för energiändamål. I en möjlig framtid då biodrivmedel huvudsakligen produceras baserat på lignocellulosa blir sannolikt sysselsättningseffekten snarlik den för el- och värme: alla sektorer delar samma tillförselsystem och dessutom förväntas produktionen av dessa biodrivmedel baserat på lignocellulosa ske i stora anläggningar, vilka då kan förväntas ha mindre behov av arbetskraft, per enhet producerad bioenergi, än dagens relativt sett små biodrivmedelsanläggningar.

I Sverige har diskussionen om försörjningstrygghet huvudsakligen handlat om vårt beroende av importerad olja. Därmed hamnar förstas transportsektorn i fokus, med följden att biodrivmedel förespråkas som det mest verksamma bioenergi-alternativet om förbättrad energiförsörjningstrygghet är målet. I Europa är dock det växande beroendet av importerad naturgas också en central fråga. Om man istället för olja utgår ifrån naturgassituationen, så är oljeersättning – inom transportsektorn eller inom andra områden som t ex uppvärmning – inte längre en självklar första prioritet. Istället avgörs prioritetsordningen av hur man värderar oljeimportberoendet relativt gasimportberoendet och vilka alternativ till olja respektive gas – utöver bioenergin – som finns till hands. Denna värdering kan resultera i att biomassaanvändningen utvecklas i olika riktningar i olika länder beroende på att förutsättningarna till alternativ energitillförsel och även den nuvarande energiinfrastrukturen ser olika ut.

På längre sikt kan nya tekniker etableras som, om de används i stor omfattning, drastiskt förändrar förutsättningarna. Ett exempel på detta är elhybridtekniken då denna utnyttjas i sk. plug-in hybridfordon möjliggör en långtgående frigörelse ifrån behovet av transporterbara bränslen inom transportsektorn. Därmed förändras biodrivmedels roll och då också utgångspunkten för en avvägning mellan olika användningar av biomassan för energiändamål. Ett annat exempel är koldioxidinfångning och lagring, vars framtida omfattning också i hög grad påverkar hur biomassanvändningen prioriteras.

Ett avslutande exempel illustrerar hur en bred uppsättning teknislösningar kan möjliggöra ett omfattande global transportarbete med bilar i framtiden, som är förenligt med ambitiösa klimatmål. Biomassabehovet i dessa framtida transport-

system varierar kraftigt, från mindre än 40 till mer än 150 EJ per år. En beräkning för fallet Sverige ger att med samma tekniklösningar skulle dagens svenska transportarbete med bilar kunna upprätthållas med utnyttjande av mellan 40 och 150 PJ biomassa per år, vilket kan jämföras med dagens svenska biomassanvändning på omkring 400 PJ.

En förutsättning för ett lågt biomassanspråk i detta exempel är dels plugin-hybrider och dels koldioxidinfångning och lagring som möjliggör att transportsektorns koldioxidutsläpp kompenseras för genom att koldioxid från kraftverk där biomassa används som bränsle fångas in och lagras: därmed erhålls en netto-transport av kol från atmosfären till lagringsplatsen (t ex delvis uttömnda olje- och gasfält), alltså sk. ”negativa utsläpp” vilka då kompenserar för utsläppen inom transportsektorn.

Summary

Increasing the use of bioenergy in place of fossil fuels is motivated by a number of energy policy goals. Individual bioenergy systems must be evaluated relative to a particular goal or set of goals. Depending on which specific political goal that is in focus, the attractiveness of different bioenergy systems can vary in relation to even broad objectives such as the resource-efficient use of agricultural and forest land. Furthermore, the outcome of a specific evaluation is sensitive to explicit as well as implicit assumptions and choices regarding, e.g., definition of system boundaries, economic conditions, implementation of policies, byproduct markets, and establishment of new technologies.

For instance, one objective is to develop energy efficient systems for utilizing agricultural and forest resources efficiently, in part because biomass (i.e., land and other resources required for producing it) is expected to become scarce in the future. Biomass with a large positive energy balance—i.e., a high energy yield relative to the energy input—includes forest biomass, straw, and short-rotation woody crops. The net yield per hectare agricultural land—i.e., the gross energy yield less the energy input per hectare—is also highest for woody crops, along with other energy crops such as whole cereal (straw and grain) and sugar beet. However, the yield varies considerably by region (the plains in southern Sweden compared to the forests in the north) as well as locally (very fertile agricultural land compared to marginal land).

Forest and agricultural biomass must be transformed prior to delivering a desired energy service. For this reason, the energy efficiency of post-harvesting production methods also needs to be analysed. Biomass used for heat and co-generation is more efficient than when that same biomass is converted to biofuels for transportation purposes since this is associated with major conversion losses. However, different chains of production have large differences in net yield per hectare. For instance, the net yield from dimethyl ether (DME), methanol, and methane may be more than five times as great as the net yield from methyl ester (RME) from rapeseed or ethanol from wheat. However, the systems vary less in terms of gross yield of liquid fuel. The systems are also similar in terms of liquid fossil fuels input, i.e., when power and heat which can be supplied by solid biofuels are discounted. If the goal is to reduce oil dependency, this perspective--to compare how much liquid biofuels a given amount of fossil liquid fuels provides--may be most relevant.

Several biofuels production chains generate byproducts of value. Energy balance calculations are greatly influenced by how such byproducts are taken into account. For instance, if the entire energy input is allocated to ethanol and none to the by-product dry distillers' grain solubles (DDGS), the energy balance for ethanol is low (although still positive). However, if the system borders are expanded and

DDGS is used as protein feed in lieu of imported soy protein, the energy balance improves substantially. In this case, the ethanol system is credited with the energy input that corresponds to the energy required to produce and transport soy protein feed from South and North America. Often, the most important factor underlying different results from different energy balance studies is a difference in analytic assumptions, for instance in allocation methods and system borders. Different studies can only be accurately compared if they are based on comparable analytic assumptions.

Which methods are justified in a given energy balance study is determined by the current conditions for the specific bioenergy system under analysis. For instance, for ethanol from grain and RME from rapeseed, the method of system expansion to consider full use of byproducts as feed may be justified up to a certain level of production. However, the approach would not be valid for a situation where the production of these biofuels has increases further, so that byproduct markets become saturated. In a situation where the by-products instead are used for other purposes (e.g., biogas production or combustion), the energy input should instead be allocated according to the relative energy content (or economic value) of the biofuel and byproduct. Two different analyses may therefore be justified for one and the same bioenergy system, depending on the level of production.

In the future, bioenergy systems may increasingly consist of various generation combinations wherein liquid biofuels may for instance be co-generated with power, heat, and solid biofuels, etc. from a mix of raw biomass. The driving factors are the synergies available with the higher total energy efficiency and resources efficiency obtained by combined approaches, compared to when the energy carriers are produced on their own. These solutions imply that if there is a market for the other energy carriers, and the total net system exchange is high, a lower net value for liquid fuels may be acceptable. However, a high-efficiency co-generation system with high heat production may not always be advantageous from a resource utilization perspective, as the market for heat may be limited. In such a case, a lower total efficiency but higher proportion of high quality energy carriers, such as liquid fuels and power, may be more attractive.

If the primary objective of an increased use of bioenergy is to reduce greenhouse gas emissions, the amount of fossil fuels used as input is relevant. In this context, the sources of power and heat are critical for determining the carbon dioxide emissions associated with a given bioenergy system. For instance, if we assume that all power and heat used in ethanol production is from fossil sources, the net reduction in greenhouse gases is small or even negative compared to using gasoline for fuel. However, if the power and heat are generated from biomass, replacing gasoline with ethanol is associated with a more significant reduction in emissions.

This difference is one of those underlying the different results often obtained when analyzing liquid biofuels production in Sweden compared to in other parts of Europe or in the US.

The climate efficiency of a bioenergy system also depends on its impact on greenhouse gas emissions other than carbon dioxide, for instance nitrous oxide and methane. All agricultural practice involves a risk of nitrous oxide emissions from the soil, and this risk increases with an increased use of nitrogen fertilizers. Because annual crops such as cereals and oil crops typically are associated with more nitrogen fertilizer, these involve a higher risk of emissions compared to longer-lived crops such as short-rotation woody energy crops. The production of nitrogen fertilizer is also a source of nitrous oxide emissions. Because nitrous oxide is a 300 times more potent greenhouse gas than carbon dioxide, these emissions are highly significant in the emissions balance sheet of, for instance, liquid biofuels and are sometimes the dominant factor. At the same time, nitrous oxide emissions from agricultural land can vary substantially due to local conditions and a number of factors—that is to say, there is great uncertainty in this variable. Different assumptions made regarding emissions of nitrous oxide associated with energy crops contribute to different studies reaching different conclusions regarding the climate efficiency of various bioenergy systems.

In some cases, a bioenergy system may reduce certain greenhouse gas emissions such as methane. One example of this is biogas produced from manure. Conventional storage of liquid manure results in methane emissions—methane is a roughly 20 more potent greenhouse gas than carbon dioxide. When manure is fermented to yield biogas, methane emissions from manure storage are reduced; this reduction may be of the same order of magnitude as the carbon dioxide emissions reduction from replacing fossil fuels with biogas. In this sense, manure-based biogas can be said to be a win-win situation with twice the effect, in terms of climate impact. Thus, a broad life cycle analysis perspective is important for analyzing the climate efficacy of bioenergy systems correctly.

Broad bioenergy system studies should also consider the possibility of expansion of energy crops with respect to geography, economics, and potential rate of expansion. Certain energy crops such as oil crops and sugar beets have a relatively limited possibility for expansion in Sweden with the current methods of production and climate, while the opposite is true of crops such as grasses and grain. The short-rotation woody crops such as willow fall somewhere in between; willow does best on somewhat higher quality agricultural land in southern and mid-Sweden as well as in areas with sufficiently high precipitation.

Cultivation costs in terms of unit of biomass energy are lowest for woody crops and similar to production costs for forest fuels biomass and straw. The production costs for current traditional agricultural crops are often significantly higher. The potential for reducing costs is expected to be greater for new energy crops than for traditional crops because the new energy crops are not as refined nor are

the cultivation techniques and the post-harvest processing as sophisticated yet. However, cost reductions require a significant increase in volume. Higher production costs for annual crops such as grains and oil crops can to some extent be compensated for by the fact that these are less expensive to process and store, and because existing machine resources and infrastructure can be used. Furthermore, the commercial technology for converting these to liquid biofuels already exists. It does not for straw and woody crops. Therefore, woody crops and straw mass mainly compete with forest biomass and waste for heat and co-generation while grain and rapeseed which are refined to yield liquid biofuels compete with gasoline and diesel. Currently, the capacity to pay for grain and rapeseed for the production of liquid fuels is greater than for woody crops and straw mass for heat and co-generation.

The best choice in a given situation is not always provided by the bioenergy alternative that has the best score on production costs, LCA, and/or energy balance. As mentioned above, the potential eventual scale of an energy crop, for instance with respect to geographic distribution and future chain of production enhancements are also important. In addition, the characteristics of the existing energy system play a large role, as well as the set of policy instruments that have already been introduced in order to effect the energy system transformation.

Energy system modeling provides an opportunity to evaluate and compare bioenergy alternatives to each other and to other energy alternatives such as wind and hydro power in terms of climate neutral power generation. This means that the competitiveness of a bioenergy system and the potential extent of non-biomass-based systems are relevant to determining the most attractive option. One example of how the availability and cost of other alternatives plays a major role in determining the priorities for biomass is the choice between using biomass in stationary applications or as liquid fuel for transportation. A critical factor in this determination is the projected availability of climate neutral transportation not dependent on biofuels.

The projected schedule for commercial availability of various technologies in relation to the requirements on the rate of transition, and given specific targets for mitigation or use of renewables within a certain sector, is also important.

In addition to climate impact, bioenergy initiatives are motivated by for example the goal of creating jobs as well as the goal of improving the nation's security of supply.

Job creation will mainly lead to a significant effect on employment levels in the agricultural sector. From the national perspective, the bioenergy sector makes a modest contribution to employment. When liquid biofuels production is based on traditional agricultural crops, investing in biofuels for the transportation sector may generate more jobs than other uses of biomass for energy. In the future, when liquid biofuels may be mainly lignocellulose-based, the employment effect will

most likely be similar to that in the power and heat sectors: all sectors share the same supply system; additionally, biofuels production based on lignocellulose is expected to take place in large-scale facilities requiring less labor per unit of bioenergy produced compared to the current smaller scale facilities.

In Sweden, discussions surrounding security of supply have mainly focused on our dependency on imported oil. Naturally, this puts the transportation sector in sharp relief; consequently, liquid biofuels are advocated as the most effective bioenergy alternative when the goal is increasing the security of energy supply. However, in the rest of Europe, the growing dependency on imported natural gas is also a central issue. If the natural gas situation, rather than that of oil, is considered central, replacing oil, whether in transportation or elsewhere is no longer the obvious top priority. Instead, the priority ranking is determined by how the dependency on imported oil is evaluated relative to the dependency on imported gas and by the availability of alternatives—other than bioenergy—to oil and gas, respectively. This evaluation may result in the development of biomass use taking different paths in different nations depending on the national differences in the conditions for the alternative energy supply and also in the current energy infrastructure.

In the long run, conditions may change dramatically when new technologies are established, if these are deployed large-scale. For instance, plug-in hybrid technology makes possible a far-reaching liberation from the need for transportable fuels in the transportation sector. This changes the role of liquid biofuels and therefore also the point of departure for evaluations comparing the use of biomass for different purposes. Carbon capture and sequestration is another example of a technology where the scope of future deployment has a significant impact on the priorities for the use of biomass.

Substantial global transportation utility achieved with passenger vehicles is compatible with ambitious climate targets with the aid of a wide range of technologies, as one final example demonstrates. The demand for biomass in this example varies from less than 40 to more than 150 EJ per year. For Sweden, the current transportation utility achieved with the use of passenger vehicles could be sustained with 40-150 PJ biomass annually, in this example, compared to the current Swedish use of biomass at roughly 400 PJ.

In this example, the low-end demand for biomass requires both plug-in hybrids and deployment of carbon capture and sequestration (CCS) technology. This technology would allow for carbon emissions from the transportation sector to be compensated for by the capture and sequestration of emissions from biomass-fueled power plants. This yields a net flow of carbon from the atmosphere into storage deposits (for instance, partially depleted oil and gas fields)—“negative emissions,” offsetting emissions in the transportation sector.

1 Inledning

Bioenergin räcker inte till för att ersätta alla fossila bränslen i en värld där efterfrågan på energi växer. Om vi på global nivå strävar efter att nå ambitiösa klimatmål kommer biomassan sannolikt bli en knapp energiråvara som efterfrågas i både transportsektorn och för värme och kraftproduktion: en politik för att börja minska koldioxidutsläppen (exempelvis CO₂ skatter eller handel med utsläppsrätter) kommer göra biobränslen kommersiellt mycket intressanta eftersom produktionskostnaden är relativt låg om man jämför med andra alternativ. Dessutom är bioenergi det enda förnybara energislag som naturligt tillhandahåller kolbaserade bränslen, vilka är basen för stora delar av den energiteknik vi har idag.

Det faktum att bioenergin sannolikt kommer bli knapp gör att vi bör fråga oss hur effektiva olika bioenergisystem är, eller i vilken eller vilka sektorer som det är strategiskt, optimalt och/eller kostnadseffektivt att använda bioenergi. Det är i detta sammanhang viktigt att vara klar över vilka energipolitiska mål som avses när olika bioenergialternativ värderas och jämförs. Beroende på prioritering mellan mål kan olika alternativ komma att förespråkas. Även tidsperspektiv och geografiskt fokus (t ex Sverige eller EU) påverkar utfallet.

Denna rapport ger en kort redogörelse för några centrala begrepp för bioenergisystem när det gäller resurseffektivitet och bidrag till energipolitiska mål. Uppdaterade data används som underlag för en kvantifiering av hur olika bioenergialternativ står sig jämfört med varandra under svenska förhållanden. Rapporten syftar också till att förklara varför studier som värderar och jämför bioenergisystem kan komma fram till olika resultat och slutsatser. Fokus är lagd på bioenergisystem som baseras på odlade grödor, men diskussionen är generellt giltig och därför relevant även för bioenergisystem som baseras på restprodukter inom jordbruk och skogsindustrin, samt veduttag för energiändamål inom skogsbruket.

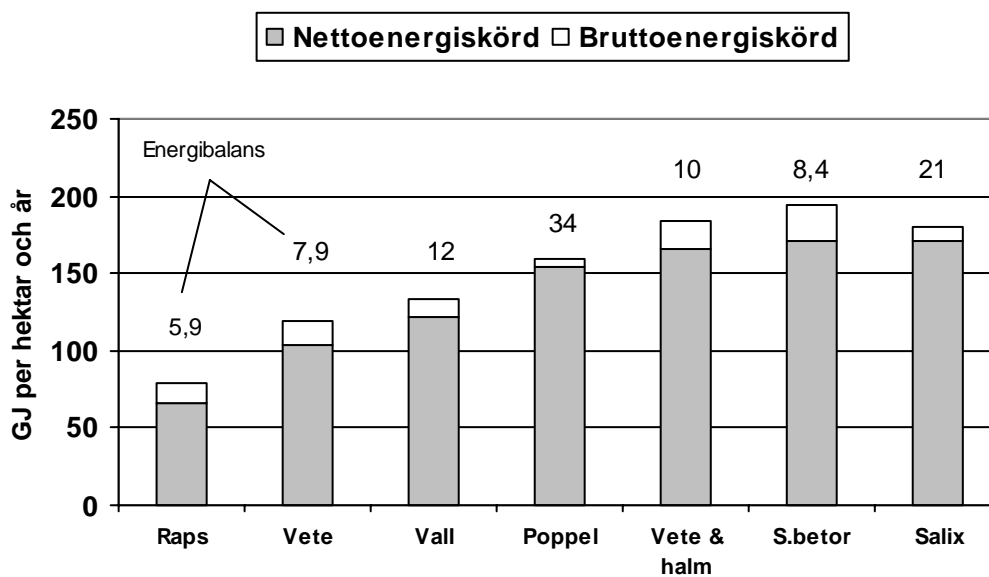
Inledningsvis hanteras energibalanser och nettoenergi bidrag, men vi vill redan här understryka att en bedömning av hur de olika alternativen står sig gentemot varandra förutsätter även information kring ekonomi och även andra aspekter såsom möjlig utbredning. Detta hanteras längre fram i rapporten.

2 Energibalans och nettoenergiskörd i odlingssteget

Energiödlings energieffektivitet bestäms bl a av skördens storlek och energiinsatsen i form av diesel, gödselmedel mm som krävs för att producera biomassan. Denna effektivitet kan uttryckas som *energibalans*, vilket är kvoten mellan energin i den skördade biomassan (bruttoenergiskörd) och insatt hjälpenergi. Effektiviteten i åkermarkutnyttjandet hos olika energigrödor beskrivs t ex av *nettoenergiskörden*, vilken beräknas som bruttoenergiskörden minus energiinsatsen.

I Figur 1 och 2 beskrivs bruttoenergiskörd, nettoenergiskörd, energiinsats och energibalans för ett antal olika energigrödor odlade i södra Götalands slättbygder respektive Svealands slättbygder på genomsnittlig åkermark. Beräkningarna som ligger bakom Figur 1 och 2 baseras på primärenergianvändning, dvs det är förbrukning av de primära energiråvarorna som biomassa och råolja som beaktas.

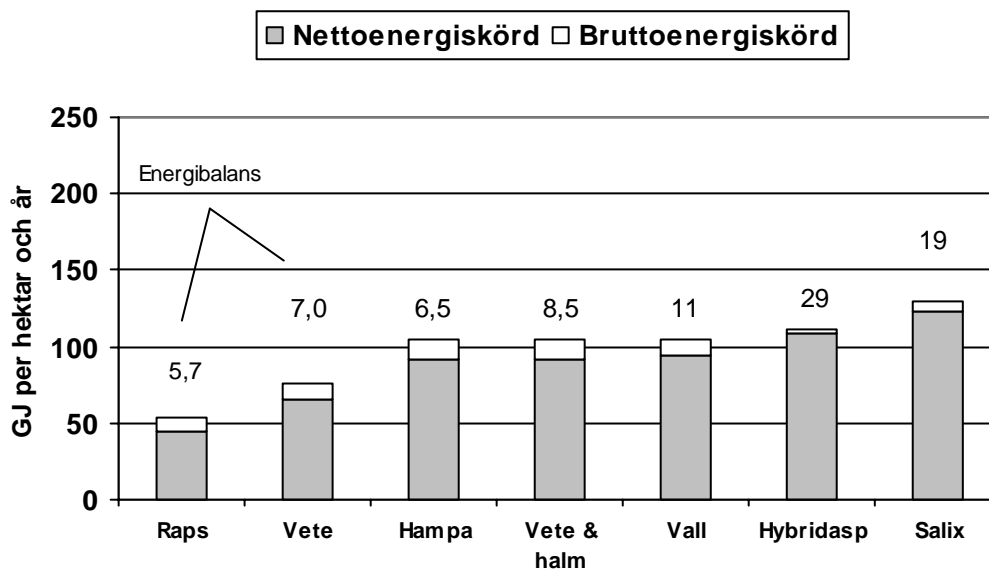
Som synes varierar energibalansen mycket: från cirka 6 vid rapsodling till drygt 30 vid poppelodling (med en omloppstid på ca 15 år). Även nettoenergiskörden varierar betydligt: den är t ex ungefär dubbelt så stor för Salix (cirka 170 GJ per hektar och år i södra Götalands) som för raps (drygt 60 GJ per hektar och år i södra Götaland). En jämförelse mellan Figur 1 och 2 visar att när odling sker i olika delar av landet fås olika skördar och energibalans. Som jämförelse är energibalansen för skogsbränsleuttag efter avverkning (grot, dvs grenar och toppar) samt skörd av halm vid spannmålsodling oftast mellan 25 och 30.



(Odling i södra Götalands slättbygder på genomsnittlig åkermark)

Figur 1. Bruttoenergiskörd, nettoenergiskörd (bruttoenergiskörd minus energiinsats) samt energibalans (bruttoenergiskörd dividerat med energiinsats) för några olika energigrödor odlade i södra Götalands slättbygder på genomsnittlig åkermark.

Källa: Börjesson, (2007a)



(Odling i Svealands slättbygder på genomsnittlig åkermark)

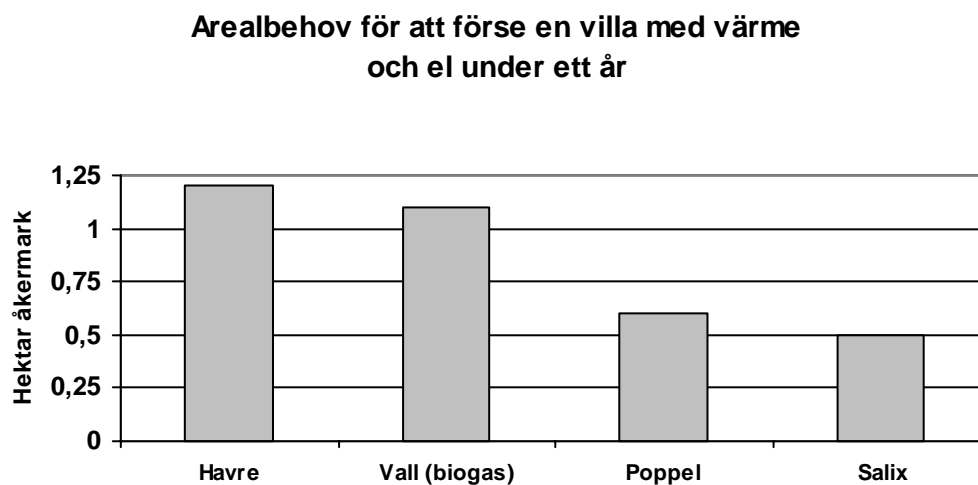
Figur 2. Bruttoenergiskörd, nettoenergiskörd (bruttoenergiskörd minus energiinsats) samt energibalans (bruttoenergiskörd dividerat med energiinsats) för några olika energigrödor odlade i Svealands slättbygder på genomsnittlig åkermark. Avser vårskörd för hampa.

Källa: Börjesson (2007a)

3 Omvandlingseffektivitet och nytta när även slutanvändning beaktas

Det är inte bara energigrödornas energirelaterade egenskaper på fältnivå som bör värderas. Nyttan med energigrödor med avseende på t ex klimat- och energisäkerhet bestäms också av hur de används efter skörd. Därför bör de även värderas utifrån ett vidare perspektiv, där man beaktar omvandlingen till kommersiella bränslen och deras respektive användning. Denna utvidgade värdering innebär att de grödor som framstår som bäst i en utvärdering på fältnivå inte nödvändigtvis hamnar i topp i en utvidgad analys.

Om uppgiften är att med olika energigrödor förse en villa med värme och el under ett år (15.000 kWh värme och 5.000 kWh el) ger Figur 3 en indikation om åkermarks-effektiviteten. Här antas havre, poppel och Salix eldas direkt medan vall först omvandlas till biogas. Vid förbränning antas kraftvärme produceras (3/4 värme och 1/4 el) med en verkningsgrad om 85 %. Som framgår av Figur 3 (som baseras på nettoenergiskörd) krävs mindre än hälften så stor åkermarksareal när Salix utnyttjas som energigröda jämfört med havre.



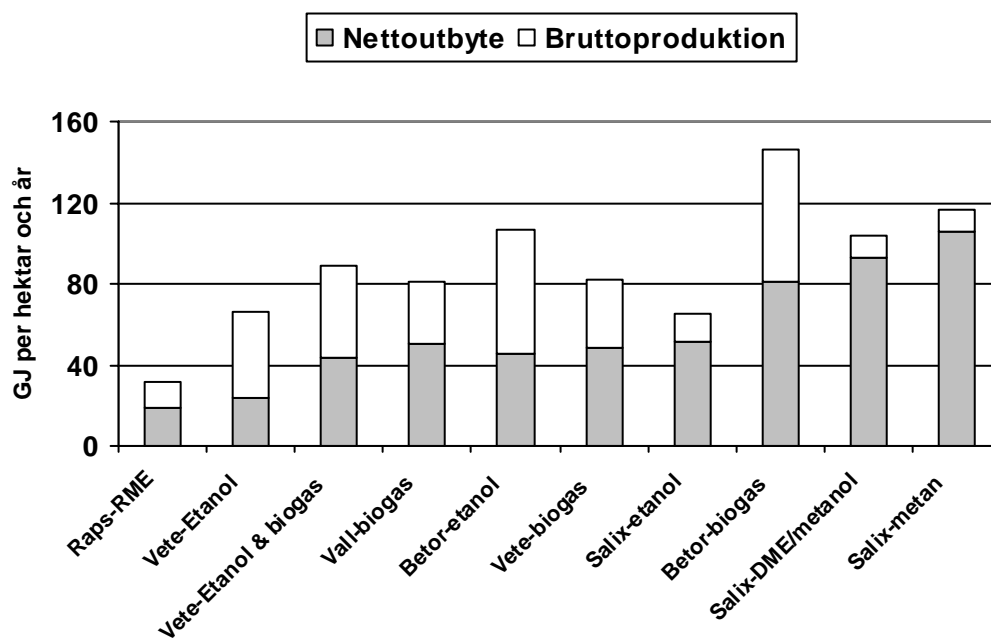
(Odling i södra Götalands slättbygder på genomsnittlig åkermark. Baseras på nettoenergiskörd)

Figur 3. Åkermarksbehov för att förse en villa med värme (15.000 kWh) och el (5.000 kWh) under ett år med olika energigrödor som används för kraftvärmeproduktion.

Det finns många sätt att värma ett hus med biomassa. Biomassan kan t ex omvandlas till värme i form av pellets som eldas i en villapanna, eller till både el och värme då flis/pellets eldas i en kraftvärmeanläggning som levererar värme till ett fjärrvärmennät. Ett indirekt sätt att värma med biomassa är att utnyttja bio-el för att driva en värmepump. För uppvärmning, liksom för elgenerering och biodriv-

medelsanvändning för transport, bestäms den slutliga nyttan per hektar i hög grad av omvandlings-systemets egenskaper, vilket måste beaktas när olika energi-grödor jämförs.

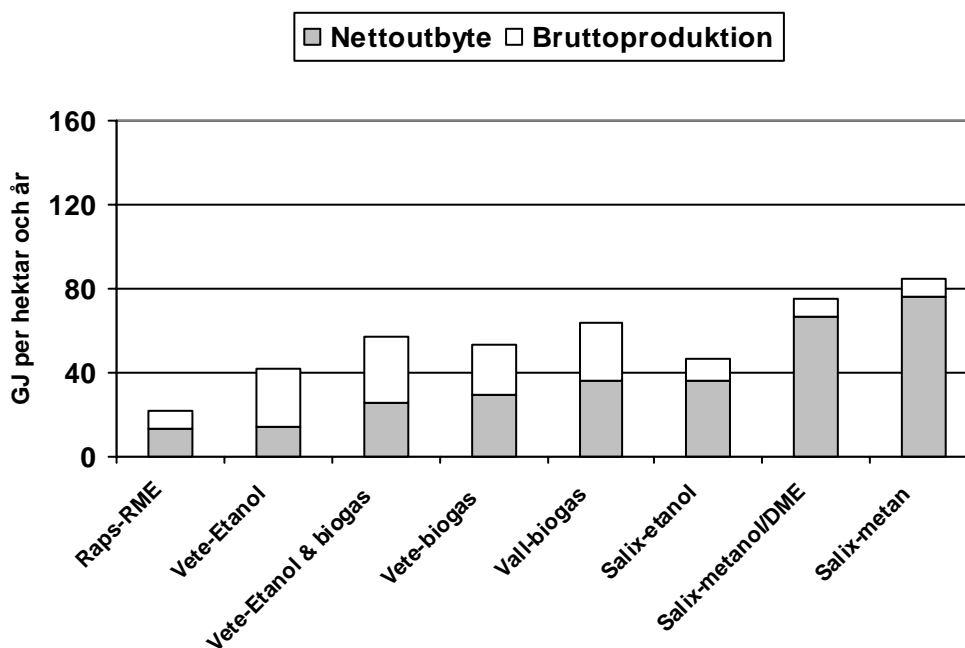
Om uppgiften istället är att förse våra fordon med drivmedel kan åkermarks-effektiviteten anges på olika vis. Figur 4 och 5 beskriver bruttoproduktionen av biodrivmedel samt nettoenergiutbytet per hektar och år för två olika produktions-områden i Sverige. Brutttoproduktionen av olika biodrivmedel bestäms av av-kastningen för de energi-grödor som odlas och effektiviteten vid omvandlingen till biodrivmedel. Nettoenergiutbytet beror utöver dessa faktorer också på de energi-insatser som sker vid odling, transport och omvandling av energi-grödorna till bio-drivmedel. Resultaten som redovisas här inkluderar en transport av biomassa om 30 km till en drivmedelsanläggning.



(Odling i Götalands södra slättbygder på genomsnittlig åkermark)

Figur 4. Brutttoproduktion av biodrivmedel samt nettoenergiutbyte per hektar och år. Resultaten i figuren gäller för Götalands södra slättbygder på genomsnittlig åkermark. (Eventuella biprodukter har allokerats utifrån energiinnehåll och dragits ifrån råvaruproduktion).

Källa: Börjesson (2007b).

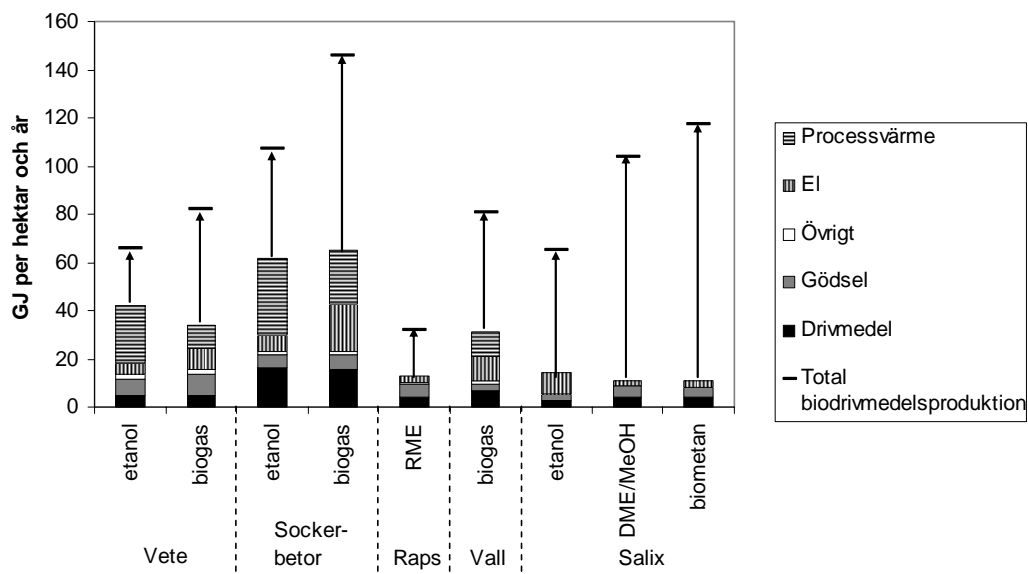


(Odling i Svealands slättbygder på genomsnittlig åkermark)

Figur 5. Bruttoproduktion av biodrivmedel samt nettoenergiutbyte per hektar och år. Resultaten i figuren gäller för Svealands slättbygder på genomsnittlig åkermark. (Eventuella biprodukter har allokerats utifrån energiinnehåll och dragits ifrån råvaruproduktion).

Källa: Börjesson (2007b).

Redogörelsen för energibalansen hos de olika biodrivmedlen kan vidareutvecklas till att explicit beakta vilka typer av energibärare som förbrukas. Figur 6 ger en mer detaljerad bild av de primärenergiinsatser som görs vid produktion av olika biodrivmedel. Pilens längd indikerar hur stort nettoenergiutbyte som de olika systemen levererar. Men det är viktigt att notera att nettoproduktionen av drivmedel kan vara betydligt större: eltillförseln i Sverige domineras exempelvis av kärn- och vattenkraftsel, energiinsatsen för gödsel består till stor del av naturgas som förbrukas vid tillverkning av kvävegödselmedel och processvärmen erhålls företrädesvis från andra bränslen än sådana som passar som drivmedel (t ex restprodukter från processen, restvärme från näraliggande industri eller kanske fasta biobränslen).



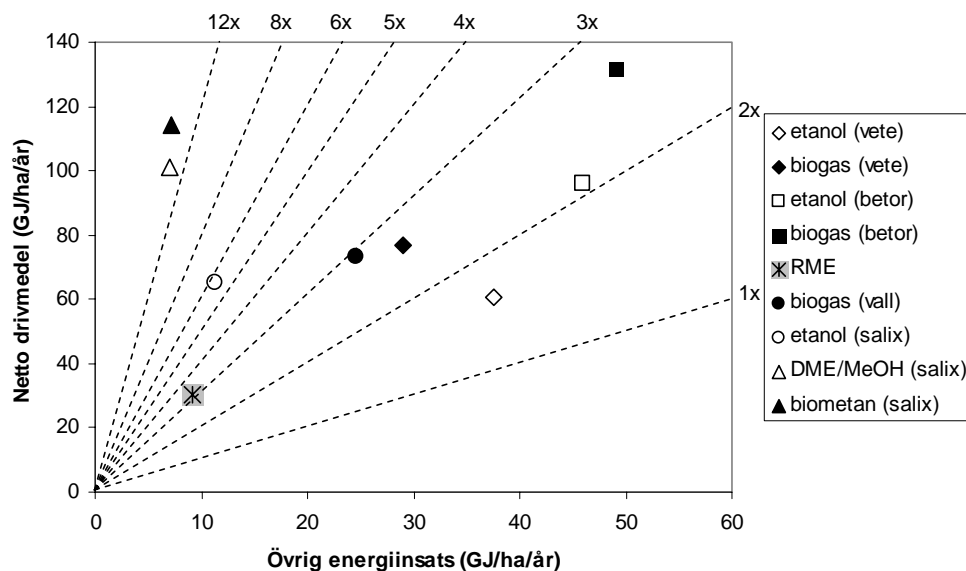
Figur 6. En mer utförlig redogörelse för energiinsatserna samt utbytet av biodrivmedel per hektar och år. Resultaten i figuren gäller för Götalands södra slättbygder på genomsnittlig åkermark. (Eventuella biprodukter har allokerats utifrån energiinnehåll och dragits ifrån råvaruproduktion).

I Figur 7 ges en tydligare indikation av de olika alternativenets nettoleverans av drivmedel, vilket här beräknats som bruttoproduktionen av biodrivmedel minus mängden drivmedel som förbrukas vid odling, skörd och transport av biomassan till drivmedelsanläggningen (ytterligare drivmedel konsumeras, t ex vid framställning och transport av konstgödsel, men i små mängder jämfört med drivmedelskonsumtionen vid odling, skörd och transport).

Av Figur 7 framgår också hur alternativen skiljer sig åt vad gäller övrigt energiförbrukning (alltså energiinsatsen utöver drivmedelsinsatsen). Som synes förbrukas relativt mycket energi när sockerbetor utnyttjas som råvara, men detta alternativ levererar å andra sidan stora mängder drivmedel netto per hektar och år. Även vissa lignocellulosabaserade alternativ förmår leverera relativt stora mängder drivmedel netto och kräver samtidigt betydligt mindre insatsenergi. I andra änden av spannet återfinns RME, som förvisso kräver små mängder insatsenergi, men som samtidigt levererar relativt blygsamma mängder drivmedel netto per hektar och år.

En värdering av de olika biodrivmedelsalternativen utifrån Figur 7 bör samtidigt beakta informationen i Figur 6 om vilka olika typer av energiinsatser som krävs. Om man exempelvis jämför alternativen att producera drivmedel ifrån sockerbetor så ser man att etanolalternativet kräver mindre el och mer processvärme än biogasalternativet. Här spelar det förstås stor roll hur elen respektive värmen produceras. Exempelvis kan samlokalisering av biodrivmedelsanläggningar med

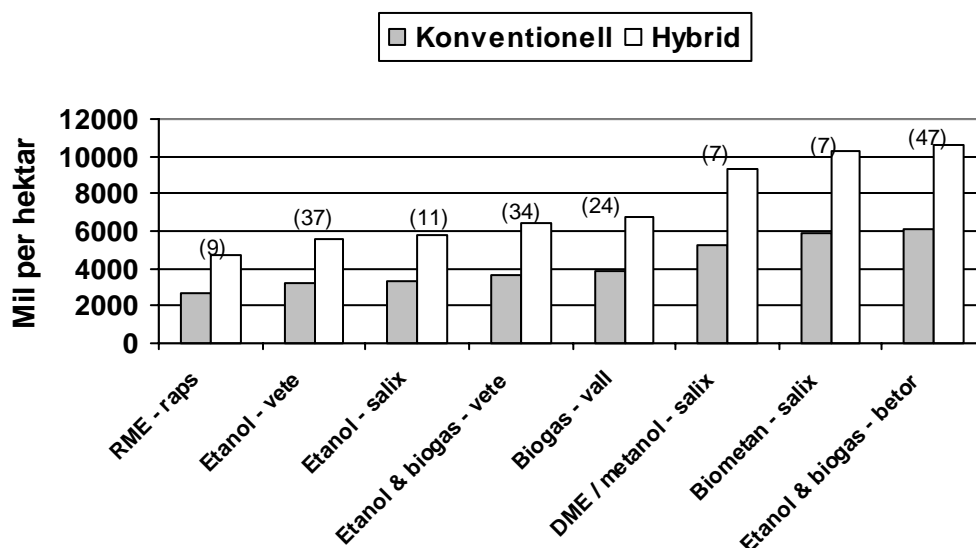
verksamhet som har ett överskott på värme ger möjlighet att utnyttja ”gratis” processvärme¹.



Figur 7. Nettoutbyte av drivmedel per hektar och år samt förbrukning av annan energi än drivmedel för de olika alternativen. De streckade linjerna indikerar hur de olika alternativen placerar sig i förhållande till energikvoten nettoproduktion drivmedel / annan energiinsats än drivmedel. Resultaten i figuren gäller för Götalands södra slättbygder på genomsnittlig åkermark. (Eventuella biprodukter har allokerats utifrån energiinnehåll och dragits ifrån råvaruproduktion).

Åkermarks-effektiviteten kan också anges under beaktande av vilken fordons-teknologi som används: Figur 8 beskriver leverans av transporttjänst (dvs hur många mil man kan köra) per hektar för olika kombinationer av energigrödor, biodrivmedel och fordons-teknologier. Här beaktas alltså även att de olika biodrivmedlen passar för olika drivlinor med olika bränsleeffektivitet. I dagsläget handlar det främst om huruvida biodrivmedlet används i bensinbilar eller dieslbilar, som generellt är mer bränsleeffektiva. Men en jämförelse utifrån en längre tidshorisont kan också inkludera alternativ som bedöms kunna bli allmänt tillgängliga i framtiden, såsom bränslecellsfordon och plug-in hybrider. I Figur 8 har användning av biodrivmedlen i elhybridfordon inkluderats för att illustrera betydelsen av fordonens bränsleeffektivitet för det totala utfallet.

¹ Värmen kan sägas vara gratis om ingen annan användning är möjlig och värmen därmed i frånvaro av biodrivmedelsanläggningen kyls bort utan att generera någon ytterligare nytta.



(Odling i Götalands södra slättbygder på genomsnittlig åkermark)

Figur 8. Leverans av transporttjänst per hektar och år. Resultaten i figuren gäller för Götalands södra slättbygder. Baserat på nettoutbyte av drivmedel, d v s energiinsatser i form av drivmedel har dragits ifrån. Övriga energiinsatser anges inom parentes ovanför respektive stapel (GJ per hektar och år).

Figurerna 4-8 kan illustrera betydelsen av systemdefinition och hur viktigt det är att jämföra alternativ på ett korrekt vis: ur Figur 8 fås t ex att Salixbaserad etanol som används i en hybridbil medger ungefär lika hög transporttjänst som alternativet med etanol och biogas från sockerbetor som används i en konventionell bil utan hybridsystem. Samtidigt kan man ur Figur 7 dra slutsatsen att utbytet av drivmedel per hektar och år är högre för systemet med biogas och etanol baserat på sockerbetor än för Salixbaserad etanol. I detta sammanhang är det förstås uppenbart att orsaken till dessa två motstående slutsatser beror på olika val av fordons-teknologi: alternativen jämförs inte på ett rättvist sätt (alternativet med Salixbaserad etanol i konventionellt fordon finns också med i Figur 8). Men det är inte alltid uppenbart vilka de grundläggande utgångspunkterna är när resultat från olika studier presenteras och därför kan en oförsiktig sammanläggning av olika studier som analyserat olika biodrivmedelsalternativ till en form av syntes eller översikt ge en mycket missvisande bild.

Det finns ingen standardiserad metod för att beräkna indikatorer som belyser effektiviteten hos olika bioenergisystem². Ett tillvägagångssätt kan t ex vara att endast beakta ”externa” (ofta fossilbaserade) insatsvaror när man summerar energiinsatsen. Detta innebär att en anläggning som klarar det egna process-energibehovet genom att utnyttja biomassa i form av restprodukter från bio-

² I Appendix A beskrivs med hjälp av formler och en graf några sätt att uttrycka energibalansen och hur denna varierar som funktion av ingående parametrar. Energibalansen för samma bioenergisystem kan som synes bli väldigt olika beroende på hur den beräknas.

drivmedelstillverkningen kan erhålla höga värden vad gäller nettoenergileverans och energibalans.

Ett skäl till att endast beakta insatser av fossil energi kan vara att syftet är att kartlägga de (de fossila) koldioxidutsläppen som ett led i att utvärdera klimatnyttan hos ett bioenergisystem. Det behöver inte vara felaktigt att utesluta vissa energiinsatser – ansatsen beror på vad syftet med studien är – men pga att ansatser kan variera är det väldigt viktigt att vara klar över systemgränser och vilken beräkningsmetod som använts när slutsatser dras på basis av rapporterade nettoenergileveranser och energibalanser.

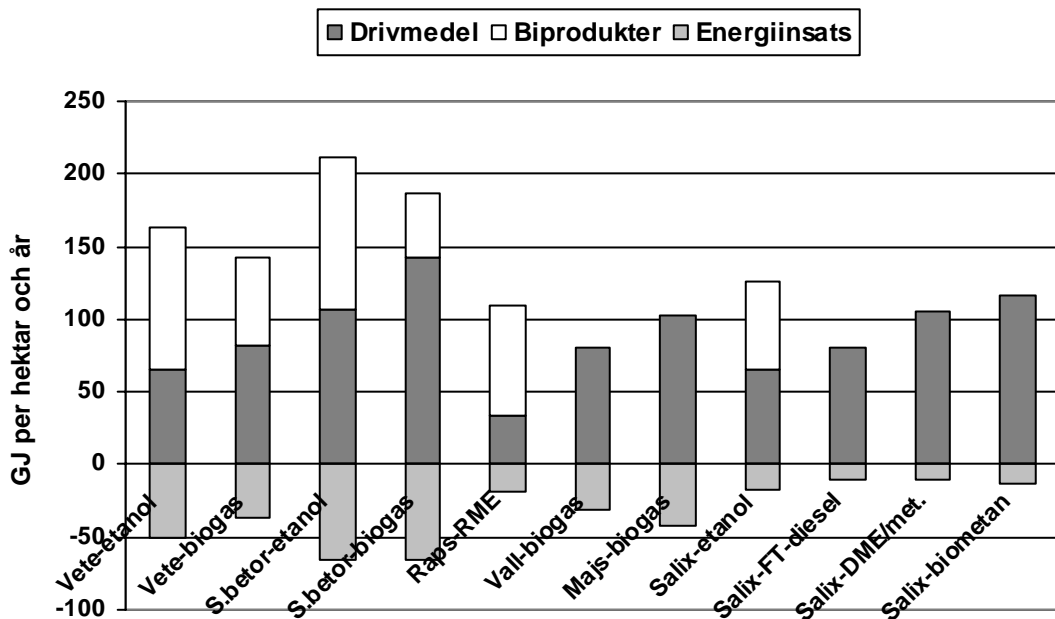
Som exempel kan nämnas etanolproduktion baserat på lignocellulosa, där en del av råvaran erhålls som energirik restprodukt ur processen: en ansats som endast beaktar externa (fossila) energiinsatser och mängden etanol som produceras vid beräkning av nettoenergileverans och energibalans, anger bättre värden för en anläggning som utnyttjar restprodukten för att tillgodose det interna processenergibehov, än en anläggning som köper in el och ånga och istället producerar ligninpellets som senare kanske används för att ersätta olja i en villapanna. En analys som genomförs inom vidgade systemgränser som även omfattar användningen av ligninpellets kommer att rapportera ett annat resultat, vilket illustreras i Figur 9. Redogörelsen i Figur 8 beaktar t ex ligninproduktionen som restprodukt vilket återspeglas i det relativt låga energiinsatsen hos Salix-etanol systemet.

Om redogörelsen i Figur 8 även skulle inkludera sk. plug-in hybrider så skulle denna resultera i ytterligare mil per hektar för de biobränsle-alternativ som medger elproduktion där elen sedan används för batteriladdning. Om exempelvis den energirika restprodukten från Salix-etanol produktion används för produktion av el³ som utnyttjas för batteriuppladdning i en plug-in hybrid så skulle detta alternativ framstå som betydligt mer attraktivt än de alternativ som redovisas i figuren. Hur en möjlig elektrifiering av bilen (vilket plug-in hybrider är ett exempel på) kan förändra synen på biodrivmedlens roll diskuteras ytterligare längre fram.

Det är vanligt att biodrivmedelsanläggningar kan leverera ytterligare energibärare än den primära, eller restprodukter som kan användas exempelvis som djurfoder. Exempel är drank vid etanolproduktion från spannmål och rapsmjöl/rapskaka vid produktion av RME från raps. Här uppstår ofta svårigheten att ”jämföra äpplen och päron” när en sammanlagd beskrivning av alternativen skall ges. Djurfoder kan förstås inte användas för att driva fordon, men ersätter annat foder och därmed energi som skulle investerats i denna foderproduktion. Detta kan beaktas på olika vis i analysen: antingen som en ytterligare energileverans eller som en reducerad energiinsats för biodrivmedelsproduktion (genom att energiinsatsen allokeras på de olika produkterna som erhålls). I Figur 9 redovisas hur stort energiinnehåll dessa biprodukter motsvarar i förhållande till energiinnehållet i respektive drivmedel samt den totala energiinsatsen. I denna figur har således

³ Kanske i ett kraftvärmeverk där även värmeleveransen kan krediteras på basis av vilken värmeproduktion som ersätts.

ingen allokering av energiinsatsen gjorts mellan biprodukt och drivmedel som i föregående figurer. Som framgår av Figur 9 kan biprodukternas energiinnehåll vara avsevärt i förhållande till drivmedlets energiinnehåll. Om biprodukterna från produktion av RME från raps och etanol från vete utnyttjas som foder och t ex ersätter importerat sojaproteinfoder kan denna indirekta energivinst till och med vara större än biprodukternas energiinnehåll.

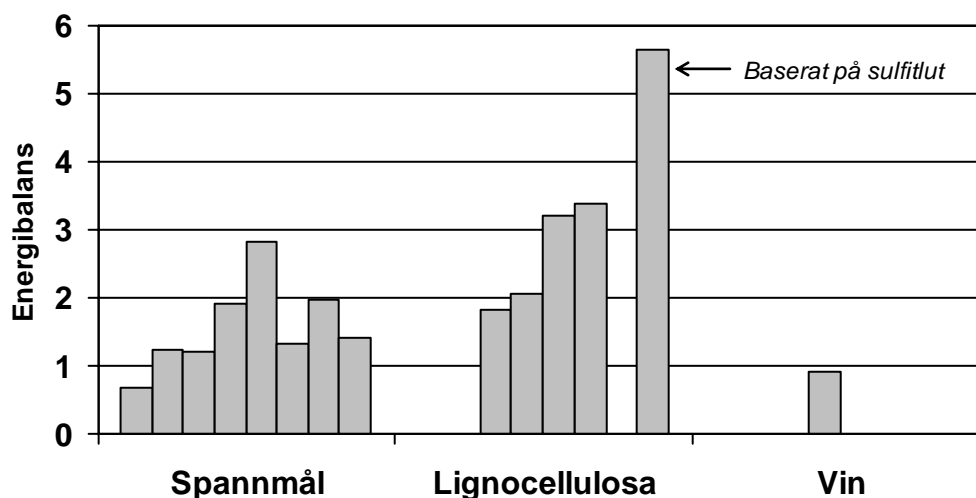


(Odling i Götalands södra slättbygder på genomsnittlig åkermark)

Figur 9. Bruttoproduktion av biodrivmedel och biprodukter (inklusive skörderester) samt totala energiinsatsen för respektive produktionssystem. Resultaten i figuren gäller för Götalands södra slättbygder på genomsnittlig åkermark.

Källa: Börjesson (2007b).

Ett exempel som illustrerar hur olika antaganden och förutsättningar kan ge olika resultat presenteras i Figur 10 som redovisar energibalansen för bioetanol som publicerats i olika svenska studier (se Börjesson, 2006). Spridningen i rapporterade energibalanser för bioetanol är således stor, även när en och samma råvara används. Det finns en mängd olika faktorer till detta, dels de som beror på skillnader i faktiska lokala förutsättningar (skördenivå, processteknik mm), dels de som beror på skillnader i beräkningsmetod. Det är oftast den senare typen av skillnader som ger upphov till den största spridningen i resultat. Två av de mest betydelsefulla faktorerna är här systemgränsdragning och val av allokeringmetod. Beroende av hur dessa definieras kan energibalansen för spannmålsbaserad etanol variera stort. Återigen är slutsatsen att sammanvägning av resultat från olika studier är problematiskt: rättvisande jämförelser kan endast göras när de bakomliggande metodantaganden är lika, vilket de sällan är mellan olika studier.



Figur 10. Sammanfattning av energibalans för bioetanol från olika biomasseråvaror publicerade i olika svenska studier.

Källa: Börjesson (2006).

Antaganden som görs om användning av överskottsvärme och olika restprodukter kan också ha en begränsad giltighet med avseende på de totala produktionsvolymer som kan åtnjuta sådan användning. En orsak är att marknader för restprodukter (t ex användning av drank från spannmålsetanol som foder) förväntas bli mättade redan vid relativt begränsad biodrivmedelsproduktion. Ett aktuellt exempel är glycerol, vilket erhålls som restprodukt vid biodieselproduktion där man sett fallande priser som följd av ökande biodieselproduktion. Samtidigt kan konstateras att biodieselproduktionen (som tar ungefär hälften av EU:s rapsproduktion i anspråk) fortfarande är väldigt liten i förhållande till totala drivmedelsanvändningen i transportsektorn. I takt med att biodieselproduktionen växer till omfattning och man söker nya avsättningar för restprodukter förändras biodrivmedels-systemets egenskaper med avseende på ekonomi, nettoenergidrag, etc⁴.

På samma sätt beror värdet av överskottsvärme på i vilken utsträckning biodrivmedelsanläggningen kan få avsättning för värmen (och därmed ersätta annan värmeproduktion). Resultaten från en utvärdering av en specifik biodrivmedelsanläggning som har möjlighet att leverera värme till fjärrvärmesystem eller en nära lokaliserad industriell verksamhet⁵ bör inte användas som utgångspunkt för en allmängiltig beskrivning av en sådan anläggningstyp, utan att man samtidigt redogör för hur tillgången på värmevärmesänkors begränsar den möjliga omfattningen. Förutom produktion av värme vid framställning av biodrivmedel kan också olika slags energikombinat komma att utvecklas där samproduktion av drivmedel, el,

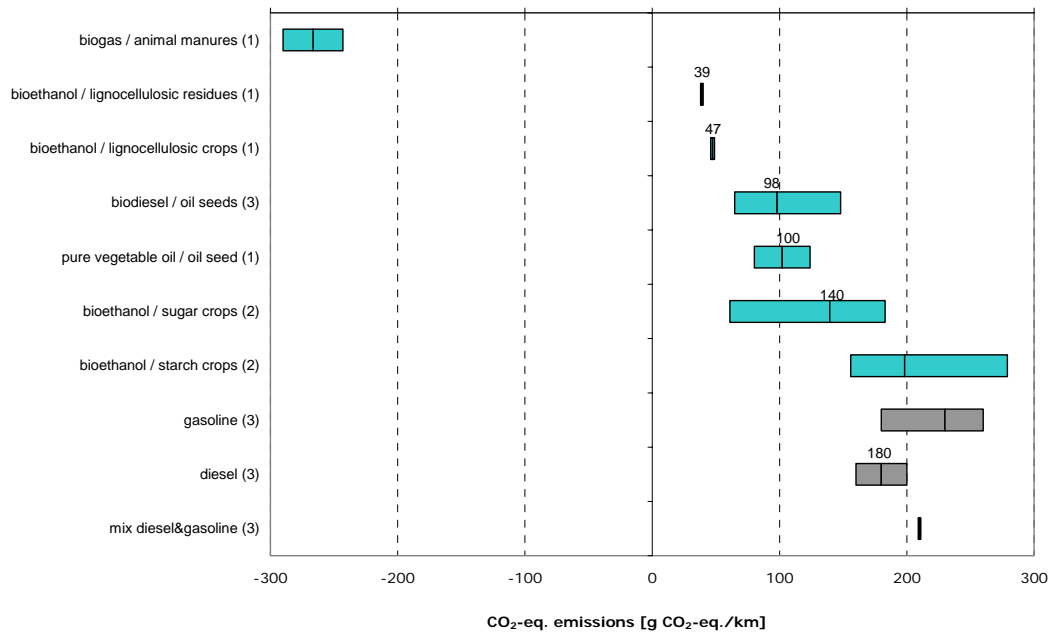
⁴ Det behöver inte nödvändigtvis betyda sämre energibalans: exempelvis förbättras energibalansen för spannmålsetanol om restprodukter utnyttjas för biogasproduktion istället för att torkas och säljas som djurfoder. Det senare alternativet ger dock för närvarande högre intäkter.

⁵ Eller omvänt: utnyttja överskottsvärme från en annan verksamhet för det egna processvärmebehovet.

värme och/eller fasta biobränslen sker. Genom samproduktion av olika energibärare kan en högre omvandlingseffektivitet av biomassan fås genom ett större nettoutbyte av energi. En högre total omvandlingseffektivitet behöver dock inte innebära enbart fördelar om t ex andelen drivmedel och el, vilka betraktas som mer värdefulla energibärare, minskar och andelen fasta bränslen och framför allt värme ökar. Om det t ex finns begränsad tillgång på värmesänkor kan det vara motiverat att maximera utbytet av drivmedel och el i stället för att maximera det totala utbytet av energi, inklusive fasta bränslen och värme.

Utgående ifrån att det på sikt kan uppstå konkurrens om tillgängliga värmesänkor kan man också förvänta sig att lågtemperaturprocesser såsom etanolproduktion kan bli attraktiva att integrera för energianläggningar och andra processer med ett värmeöverskott. Detta kan utgöra en komparativ fördel för etanolproduktionen som hittills inte uppmärksammas i så hög grad, eftersom fokus i stor utsträckning legat på vad olika alternativ kan leverera ut i form av biobränslen, el eller värme.

Diagrammen som visats i detta avsnitt har fokuserat på energibalans samt brutto- och nettoutbyte hos de olika bioenergialternativen. Utöver energieffektivitet och förmågan att leverera efterfrågade energibärare är givetvis miljöpåverkan central för bedömningen av hur attraktiva de olika bioenergialternativen är. Här är (som kort diskuterats ovan) förbrukningen av fossilbränslen - och därmed utsläppen av växthusgaser - en central fråga. Figur 11 ger en redogörelse för nettoutsläppen för olika biodrivmedelsalternativt (och fossila drivmedel som jämförelse) givet dagens produktionsteknik och förutsättningar i EU. Figuren är producerad baserat på resultat från ett EU-projekt (VIEWLS) som utvecklat och tillämpat en metod för att sammanställa och på ett konsistent vis jämföra ett stort antal tidigare studier av olika biodrivmedel, som underlag för att uppskatta genomsnittliga siffror för de olika alternativen. Uppskattningar görs både för dagens situation och för en framtida situation, där teknikutveckling tagits i beaktande. I Appendix B presenteras ytterligare resultat från VIEWLS.



Figur 11. Nettoutsläppen för olika biodrivmedelsalternativ (och fossila drivmedel som jämförelse) givet dagens produktionsteknik och förutsättningar i EU. Att negativa utsläpp anges för biogas baserat på gödsel beror på att biogasanvändningen antas förhindra relativt omfattande metanutsläpp till atmosfären.

4 Bioenergialternativens möjliga utbredning

Energigrödornas bidrag till uppfyllande av mål som minskad klimatpåverkan och minskat oljeberoende beror även av deras möjliga utbredning, både med avseende på geografisk lämplighet, ekonomi och möjlig expansionstakt. Utöver rent växtfysiologiska faktorer bestäms detta av t ex i vilken utsträckning omställning till att odla energigrödor innebär att befintlig maskinpark inte kan utnyttjas, att odlaren upplever ökad risk och/eller minskad flexibilitet i markanvändningen, och att landskapsbilden förändras påtagligt.

4.1 Utbredning och relativ skördenivå i olika delar av Sverige

Odling av vall (energigräs) kan ske över hela landet. Idag är skördenivån i mellansbygd (d v s något sämre åkermark) inte är så mycket lägre än i slättbygd: normskörden i norra Sverige är cirka 30 % lägre än i södra Sverige. Detta kan dock till viss del ha andra än växtfysiologiska förklaringar. En förklaring kan vara att vall ofta odlas på de något sämre jordarna i de bättre jordbruksområdena och att en del vallodling sker på hästgårdar som kanske inte når upp till samma resultat som stora mjölkgårdar.

Vete odlas på bättre åkermark i Götaland och Svealand. Normskörden i Svealands slättbygder är cirka en tredjedel lägre än den i södra Götalands slättbygder. Havre som energispannmål kan odlas i hela landet. Havreskörden är cirka en tredjedel lägre än veteskörden och normskörden av havre i norra Sverige är cirka hälften så stor som i södra Sverige.

Raps odlas huvudsakligen i Götalands och Svealands slättbygder. I Götaland odlas huvudsakligen höstraps som ger cirka en tredjedel högre skörd än vårraps som framför allt odlas i Svealands slättbygder. Odling av raps begränsas av växtföljdssjukdomar och dagens areal om drygt 80.000 hektar bedöms som mest kunna drygt fördubblas till 160.000-180.000 hektar (6-7% av Sveriges totala åkerareal). Sockerbetor odlas på totalt cirka 50.000 hektar bra åkermark, framför allt i södra Götaland.

De ovan nämnda grödorna har en fördel av att de sedan länge odlats för mat- och foderändamål. Det är annorlunda med energiskog, som t ex Salix och poppel, vilka är relativt oprövade inom det svenska jordbruket. Energiskog i form av Salix odlas idag i södra och mellersta Sverige på cirka 15.000 hektar. Det finns inga direkta begränsningar mot att öka odlingsarealen av Salix i södra och mellersta

Sverige men bäst passar Salix på lite bättre åkermark⁶ och i områden med tillräckligt hög nederbörd. Därför är det mindre lämpligt att odla Salix i t ex skogsbygder och i östra Götaland där nederbörden är relativt låg. Med nya kloner som är mer tåliga mot kallare klimat kan salix odlas allt längre norrut.

Odling av poppel och hybridasp på åkermark sker i liten omfattning idag. Likt Salix ger poppel och hybridasp högre skördar på bättre åkermark. Odling av poppel och hybridasp skiljer sig ifrån Salixodling genom att dessa mer liknar skoglig produktion: odlingen skördas med skogsmaskiner efter 25 till 35 år. Dagens klonmaterial för poppel gör denna mest lämplig att odla i södra Sverige medan hybridasp klarar något kallare klimat och därför kan odlas längre norrut, t o m längs Norrlandskusten.

Det har genom åren gjorts många uppskattningar av hur mycket bioenergi som skulle kunna produceras i form av energigrödor inom sveriges jordbruk. Avgörande för utfallet blir förstas vilka antaganden som görs när det gäller åkermarkstillgång och vilka skördar som kan uppnås. Detta i sin tur beror dels på hur efterfrågan på livsmedels- och fodergrödor utvecklas – samt hur skördeavkastningen för dessa grödor utvecklas – och dels på vilka energigrödor som kommer odlas och på vilka marker odlingen sker.

Tabell 1 sammanfattar några illustrativa fall som återfinns i den nyligen presenterade statliga utredningen ”Bioenergi från jordbruket – en växande resurs” (SOU 2007:36), vilka baseras på ett underlag av Pål Börjesson. Syftet med dessa är att visa hur jordbrukets produktion av bioenergi kan variera beroende på vilka energigrödor och odlingssystem som väljs, vilken typ av åkermark som väljs, samt var i landet odlingen sker. Siffrorna i tabell 1 skall alltså inte betraktas som någon prognos.

Tabell 1. Några illustrativa exempel på möjliga bidraget från energigrödor i Sverige.

Exempel	Biomassa-produktion	Beskrivning
Obligatorisk och frivillig träda.	5 – 10 TWh	320 000 hektar eller 12% av åkermarken. Omkring hälften i Götaland. Marginellt i Norrland. Högre siffran erhålls då högavkastande grödor (salix, majs, sockerbeter, helsäd) odlas på genomsnittlig åkermark. Lägre siffran erhålls då lågavkastande grödor (spannmålskärna och oljefrö) odlas på något sämre åkermark.
Åkermark som för närvarande utnyttjas för odling av spannmål för export.	5 - 7,5 TWh	150 000 hektar eller 6% av åkermarken. Högavkastande åkermark i Götalands och Svealands slättbygder, varav omkring 80% i Götaland. Högre siffran erhålls då högavkastande grödor odlas och lägre siffran erhålls då lågavkastande grödor odlas.

⁶ Men ekonomiska överväganden kan dock leda till att salix framförallt hamnar medelgoda jordar – se vidare avsnitt 4.3.

Exempel	Biomassa- produktion	Beskrivning
Vallareal motsvarande överskott på vallodling som inte behövs för att tillgodose grovfoderbehovet i svensk djurproduktion.	5 – 8 TWh	250 000 hektar eller 9% av åkermarken med fördelningen 15% i Norrland, 25% i Svealand och 60% i Götaland. Högre siffran erhålls då högavkastande grödor odlas och lägre siffran erhålls då lågavkastande grödor odlas.
20% åkermarksavsättning, motsvarande 530 000 hektar, med jämn fördelning över produktionsområdena.	16 – 20 TWh	Den lägre siffran motsvarar vad som erhålls om en mix av energigrödor odlas idag på genomsnittlig åkermark. Den högre siffran motsvarar vad som kan uppnås på samma arealer genom växtförädling och förbättrad odlingsteknik (tidshorisont 2020).
29% åkermarksavsättning, motsvarande 780 000 hektar.	30 TWh	Den nivå som kan erhållas givet samma behov av livsmedels- och fodergrödor som ovan, men där högre skördeavkastning för dessa grödor innebär att ytterligare 9% av åkerarealen kan avsättas för energigrödor. Alltså energigrödor odlas på totalt 29% av åkermarken, med ovan antagande om växtförädling och förbättrad odlingsteknik (tidshorisont 2020).
Nedlagd jordbruksmark	1,5 – 7,5 TWh	Den lägre siffran avser odling på 100 000 hektar mark med låg produktionsförmåga. Den högre siffran avser odling på 300 000 hektar mark med relativt hög produktionsförmåga.

4.2 Produktionskostnader

En fördel med traditionella jordbruksgrödor för energiändamål är som nämnts ovan att det finns odlingsstradition och befintliga resurser som kan utnyttjas, vilket innebär en större vilja bland lantbrukare att odla dessa grödor. Jämfört med energigrödor som Salix och rörflen är dock odlingskostnaderna högre per MWh för de befintliga jordbruksgrödorna. I ett kortsiktigt perspektiv kan det för vissa lantbrukare vara intressant att utnyttja befintliga resurser för energiproduktionen. På lång sikt, när de befintliga resurserna behöver förnyas, stärks dock konkurrenskraften för grödor som är speciellt anpassade för energi, som t ex Salix och rörflen.

Produktionskostnaderna i nedanstående tabeller inkluderar odlingskostnad, alla maskinkostnader, ränta, overheadkostnader, lagringskostnad för torra stråbränslen och tre mils transport, utom för majs och vall. Siffrorna i tabellerna är ungefärliga och skall inte betraktas som exakta kostnader: dessa varierar från företag till företag. I tabell 3 presenteras för jämförelse uppskattningar av produktionskostnaden för skoglig produktion på åkermark. För att få jämförbara siffror har samma kalkylemtod och kalkylränta använts för de olika markanvändningsalternativen.

Som framgår har Salix, poppel och i viss mån hybridasp betydligt lägre produktionskostnader per MWh än befintliga traditionella grödor och andra energigrödor. Dock är både spannmål och raps de billigaste varorna att långtidslagra

samt att hantera, vilket gör att kostnader sparas i leden efter odling, jämfört med fuktiga bränslen eller bränslen som hanteras i balar. Det är alltså den betydligt lägre odlingskostnaden som gör att Salix, poppel och hybridasp har lägre produktionskostnader per MWh. I norra Sverige, där Salix och poppel inte lämpar sig, har rörflen lägst produktionskostnader. Hampa har en relativt hög produktionskostnad. Elefantgräs, som inte är en väl utvecklad gröda, har höga hanteringskostnader efter skörd eftersom det är en strågröda.

De olika grödorna är i olika utvecklingsstadier både vad beträffar växtförädling, odlingsteknik och hantering efter skörd. Detta gör att de traditionella jordbruksgrödorna har inte samma kostnadssänkingspotential som de nya mindre utvecklade energigrödorna. Kostnadssänkning förutsätter dock att dessa börjar odlas i betydande omfattning. Produktionskostnaden per MWh skiljer sig inte lika mycket för t ex Salix och rörflen på jordar med låg avkastningsnivå som på högavkastande jordar. En förklaring till detta är de höga skörde-, lagrings- och hanteringskostnaderna för stråbränslen. I efterföljande avsnitt återkommer vi till de olika energigrödornas kostnadsstruktur där detta blir en utgångspunkt för en diskussion om hur en möjlig framtida expansion av produktionen av olika energigrödor kan komma att se ut.

Tabell 2. Produktionskostnad i SEK per MWh för traditionella jordbruksgrödor

Produktionsområde	Höstvete	Höstvete red. Jordbearbetn.	Vårkorn	Havre	Höst-raps	Sockerbeter	Majs *	Vall*	Helsäd
Götalands södra slättbygder	296	270	325	303	402	330	267	319	217
Götalands mellanbygder	327	296	377	341	425	357	286	280	237
Götalands norra slättbygder	354	319	377	354	425		311	315	268
Svealands slättbygder	384	344	414	386	467			361	289
Götalands skogsbygder	390	349	463	427	452			319	365
Mellersta Sveriges skogsbygder	396	354	488	439	452			354	385
Nedre Norrland			636	631				369	483
Övre Norrland			693	603				347	528
Hela riket	341	308	398	386	425	332		329	

* Exklusive lagringskostnader på gården och transportkostnader efter gården.

Tabell 3. Produktionskostnad i SEK per MWh för grödor speciellt avsedda för energiändamål samt för skoglig produktion på åkermark.

Produktions- område	Salix	Hampa	Rörflen	Hybridasp	Poppel	Gran ogödsblad	Gran gödsblad
Götalands södra slättbygder	130			216	184	281	215
Götalands mellanbygder	160	304		265	220	402	285
Götalands norra slättbygder	140			240	200	339	249
Svealands slättbygder	153	316		265		402	285
Götalands skogsbygder		331		292		439	300
Mellersta Sveriges skogsbygder		348		331		601	394
Nedre Norrland			243	383		895	502
Övre Norrland			243			1388	728
Hela riket							

Tabell 4. Kostnad i SEK per MWh för några olika energigrödor vid olika skördenivåer.

Skördenivå (ton ts)	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Salix	190	170	154	141	134	128	121	115	111	108
Poppel	210	180	167	154	144	134	128	121	118	115
Rörflen	233	216	203	193	187	180	177	174	170	167
Hampa	370	337	311	295	278	269	259	252	246	239
Elefantgräs	292	272	256	246	239	233	226	223	216	213

4.3 Hur skulle en eventuell expansion kunna se ut?

Hur skulle då en eventuell expansion av odlingen av energigrödor se ut? Vilka grödor kan tänkas odlas var? Givetvis har växtfysiologiska aspekter stor inverkan på var olika grödor odlas. Men även andra aspekter inverkar på vad som odlas var, såsom de olika grödornas kostnadsstruktur: grödor med relativt stor andel skörde-relaterade kostnader⁷ kan vara intressantare på de mindre bördiga markerna medan grödor med stora arealbaserade kostnader⁸ får en konkurrensfördel på de bördigare markerna. Även omsättningen per hektar påverkar om grödorna odlas på mer eller mindre bördiga marker. Grödor med hög omsättning per hektar har en tendens att odlas i de bördigare områdena.

Sockerbetor och spannmål har stor arealrelaterad kostnad jämfört med t ex vall där en stor andel av kostnaden är skörderelaterad. En förklaring till att sockerbetor odlas på bra åkermark är alltså att det är en gröda med relativt hög omsättning per hektar och relativt höga arealbaserade kostnader, exempelvis för bekämpning. Vallodlingen finns idag framförallt utanför de bördigaste områdena i Sverige.

Utifrån samma kan man förvänta sig att energiskog odlas på bördigare marker än rörflen. Rörflen har likartad eller lägre omsättning per hektar men större skörde-relaterad kostnad än energiskog. Man kan jämföra majs med vall på samma sätt: majs har både lägre skörderelaterade kostnader och högre omsättning än vall, vilket skulle kunna peka mot att majs kan komma att odlas på jordar med högre skördepotential än där vall odlas.

Både vall och rörflen har relativt stor kostnadsandel som är skörderelaterad, och de har lägst produktionskostnader av energigrödorna på de lågavkastande markerna. Detta innebär att de är att föredra i de fall åkermark i de minst bördiga jordbruksområdena skall användas, åtminstone ur ett produktionskostnads-perspektiv (och utan beaktande av eventuellt stöd eller icke monetära nyttor). Eventuellt skulle även Salix kunna vara aktuellt i framtiden.

På de bördigaste markerna har de traditionella livsmedelsgrödorna som t ex höstvetete, höstraps och sockerbetor en mindre andel av kostnaden relaterade till skördens storlek, jämfört med grödorna speciellt avsedda för energi, som t ex Salix och stråbränslen. Om man strikt utgår ifrån ett produktionskostnads-perspektiv så innebär detta att de traditionella livsmedelsgrödorna som t ex spannmål, raps och sockerbetor hamnar på de bördigare jordarna.

Även omsättningen per hektar är högre för livsmedelsgrödorna spannmål, raps och sockerbetor, när grödorna används för livsmedelsändamål. Dock kan med

⁷ Vilket innebär att om skörden ökar så ökar kostnaderna för gödsling, pressning, transport och övrig hantering

⁸ Arealrelaterade kostnader är framförallt jordbearbetning vilket kostar ungefär lika mycket per hektar oberoende av skördenivå.

dagens priser Salix under vissa förutsättningar uppvisa högre lönsamhet än spannmål även på bättre jordar, när alla kostnader är beaktade. Med högre energipriser och ökad andel energigrödor kan dock spannmålspriserna stiga, vilket i så fall leder till att spannmål blir intressantast på de bästa jordarna.

Alltså, baserat på resonemanget ovan kan man alltså förvänta sig att de traditionella livsmedelsgrödor hamnar på de bästa jordarna, Salix odlas på de medelgoda jordarna. Givet dagens förutsättningar (och obeaktat stöd och icke monetära nyttor) är det tveksamt att använda de lägst avkastande jordarna för jordbruksproduktion. Men om de lägst avkastande jordarna skall odlas så kan gräsgrödor som vall och rörflen vara ett alternativ p.g.a. låga hektarberoende kostnader. Dock måste den absoluta lönsamheten beaktas vid ställningstagandet om enskilda grödor över huvud taget skall odlas i ett område.

5 Effektivitet och nytta av bioenergi: insikter från energisystemmodellering

Energisystemmodellering ger möjlighet till värdering av nyttan med att använda biomassa för energiändamål i ett vidare energisystemsammanhang. Det innebär att man inte bara utvärderar olika bioenergialternativ som separata isolerade företeelser vilkas företräden därefter jämförs. Istället sker värderingen genom att alternativen ställs emot varandra inom ramen för en modellbeskrivning av energi- och transportsystemens struktur och dynamik, och de krav som ställs på dessa system med avseende på aspekter som klimatpåverkan och energisäkerhet (exempelvis oljeberoende). Därmed kan olika energisystemaspekter (och också prioritering mellan energipolitiska mål) i hög grad påverka vilken bioenergi-användning som anses ge mest nytta.

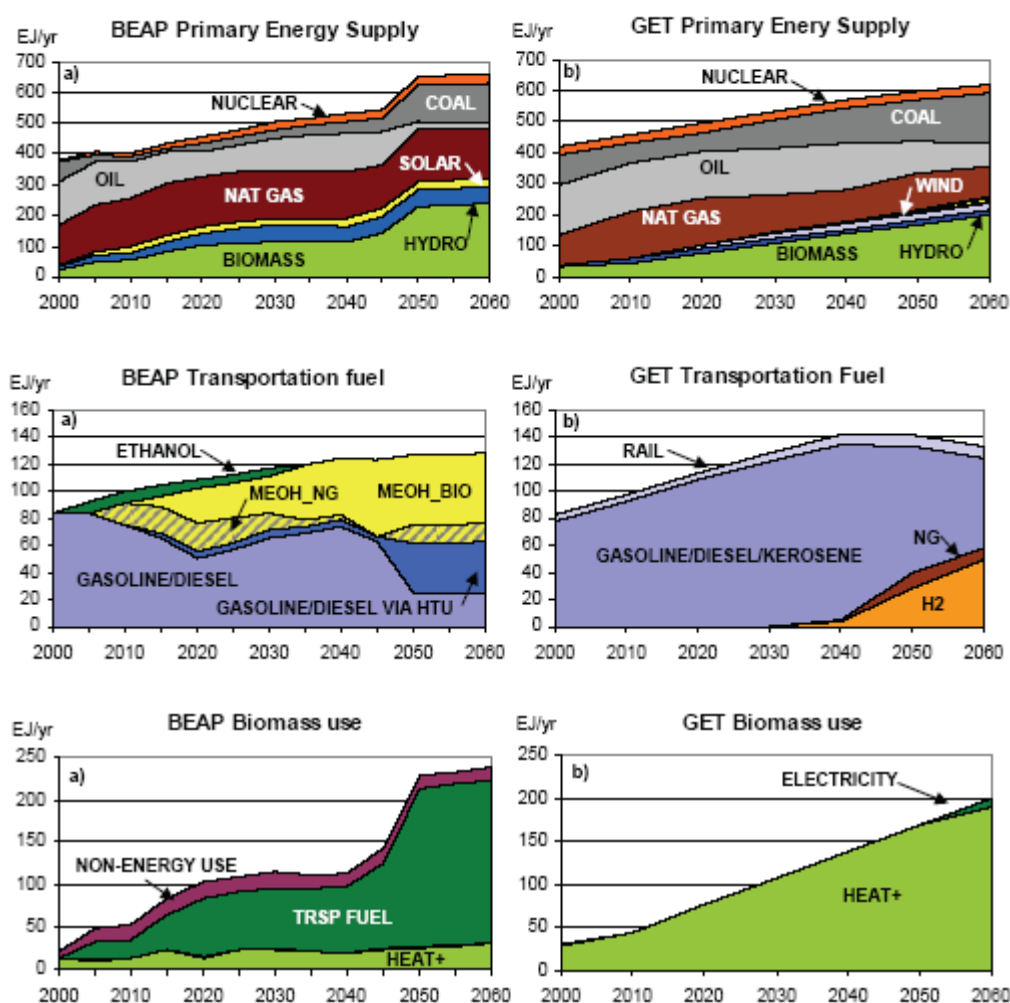
Den nuvarande energiinfrastrukturen (inklusive energitekniker) bestämmer tillsammans med utvecklingen inom energi- och transportområdet bioenergialternativens relativa fördelar. Eftersom energiinfrastrukturen och övriga förutsättningar ser olika ut i olika länder kommer sannolikt biomassan användas för energiändamål på olika sätt i olika länder och också på olika sätt vid olika tidpunkter. Exempel på viktiga faktorer som påverkar biomassaanvändningen, utöver den nuvarande energiinfrastrukturen, är effektiviseringsmöjligheter inom olika sektorer och möjligheterna för andra energitekniker än de biomassabaserade att bidra till energipolitiska mål. Här spelar förstås också prioriteringen mellan olika energipolitiska mål i sig en stor roll. Nedan ges några belysande exempel.

Om man utvärderar olika sätt att ersätta fossilbränslen med biomassa separat var för sig så kan man se att större klimatnytta erhålls när energigrödor som *Salix* används för att ersätta fossila bränslen i stationära sektorn än när de omvandlas till drivmedel och ersätter bensin och diesel. Detta kan förstås vara ett argument för att biomassan i första hand bör användas för att ersätta fossila bränslen (helst kol) för el och värmeproduktion.

Ur ett energisystemperspektiv kan det dock ändå vara så att biomassan fyller sin viktigaste funktion inom transportsektorn. Ett skäl till detta kan vara att det inom stationära sektorn finns fler alternativa sätt att minska klimatpåverkan än inom transportsektorn. Som en illustration av hur olika former av biomassaanvändning för energi kan värderas inom ett energisystemperspektiv återges nedan och diskuteras ett urval resultat-diagram från en studie som initierades för att bringa klarhet i varför två olika energisystem-modeller (BEAP och GET) gav resultat som pekade åt olika håll vad gäller biomassans användning för maximerad klimatnytta (transportbränsle eller värmeproduktion). Båda modellerna har krav på sig

att klara CO₂-begränsningar motsvarande en stabilisering av den atmosfäriska CO₂-koncentrationen vid omkring 400 ppm år 2100.

Primärenergitillförseln i de två modellerna visas i de två övre diagrammen i Figur 12. Diagrammen i mitten visar användningen av transportbränslen och de två nedre diagrammen visar hur biomassan användes i modellerna. Som synes ökar biomassanvändningen i båda modellerna till en snarlik nivå år 2060, men biomassan används på väldigt olika sätt: medan en stor del av biomassan utnyttjas för drivmedelsproduktion i BEAP så utgör värmeproduktion den helt dominerande biomassanvändningen i GET. Här fortsätter istället bensin och diesel att dominera transportbränsleanvändningen under de kommande decennierna, för att därefter gradvis ersättas huvudsakligen av klimatneutral vätgas (från förnyelsebara energikällor eller fossilbränslen i kombination med infångning och lagring av CO₂).

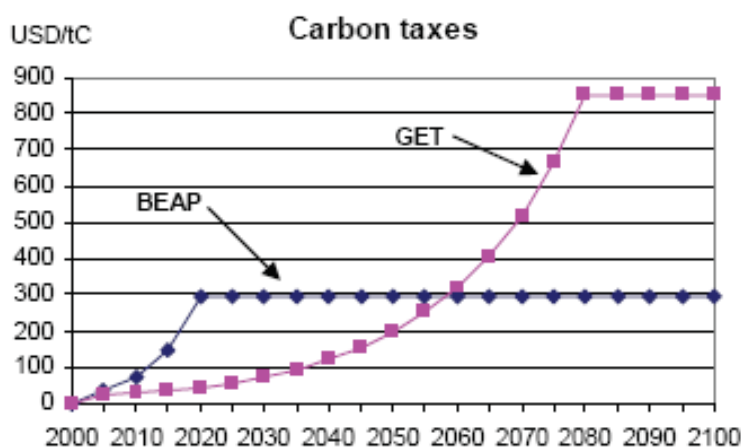


Figur 12. Primärenergitillförsel, drivmedelsanvändning samt biomassanvändning i två energisystemmodeller som tillgodoser energiefterfrågan och samtidigt begränsar utsläppen till en nivå motsvarande en stabilisering av den atmosfäriska CO₂-koncentrationen vid ca 400 ppm år 2100.

Källa: Grahn et al. (2006).

Vad är det som leder till att dessa två modeller – vilka tillgodoser en snarlik energiefterfrågan inom ramen för likartade klimatmål, vilka innebär att även transportsektorn måste bli nästan klimatneutral under detta seklet – föreskriver två helt olika strategier för biomassans användning och transportsektorns bränsleförsörjning? En första förklaring kan enklast uttryckas som att *biomassans användning i hög grad bestäms av tillgången på klimatneutrala transporter som inte baseras på biomassa*. I GET finns som ovan nämnts möjligheten att på sikt tillgodose kravet på minskande CO₂-utsläpp från transportsektorn genom en ökande användning av klimatneutral vätgas. Någon sådan möjlighet finns inte i BEAP: här utgör biodrivmedel det enda klimatneutrala alternativet, så när utsläppen från transportsektorn måste begränsas så finns endast biodrivmedel att tillgå.

Utöver detta fanns fler orsaker till att de två modellerna gav olika resultat, varav de viktigaste var: (i) specifika begränsningar för hur mycket biomassa som kan användas för värme i BEAP-modellen, (ii) för höga kostnader för biomassa-baserad värme inom industrin⁹ och (iii) att modellerna definerar CO₂-utsläpps-begränsningarna på olika vis. I BEAP introduceras en CO₂-skatt som påverkar kostnadsbilden för olika energialternativ (se Figur 13).



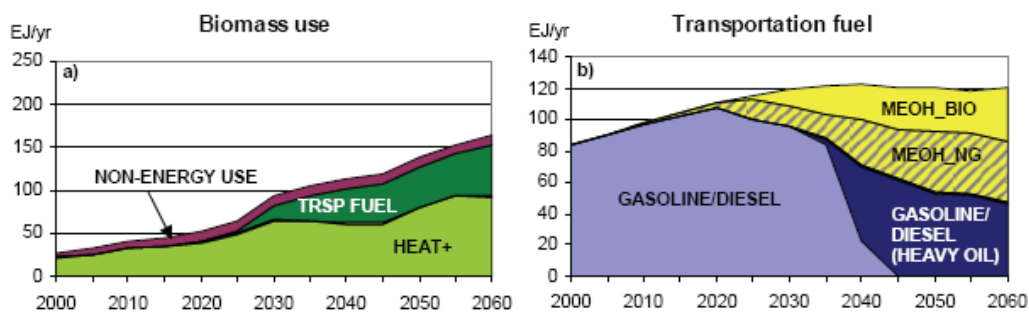
Figur 13. Två CO₂-skatteprofiler: "BEAP" motsvarar den skatt som implementeras i BEAP-modellen och "GET" motsvarar det kolpris som råder över tiden när de ackumulerade CO₂-utsläppen i GET-modellen begränsas så att de möjliggör att CO₂-koncentrationen i atmosfären stabiliseras runt 400 ppm.

Källa: Grahn, M. et al. (2006).

I Figur 14 beskrivs biomassaanvändningen och transportbränsleförsörjningen i BEAP när felaktiga data korrigerats, begränsningar för biomassa-baserad värme tagits bort och en CO₂-skatt implementerats som efterliknar kolprisets utveckling i GET (Figur 13). Däremot finns fortfarande ingen annat klimatneutralt alternativ i transportsektorn än biodrivmedel.

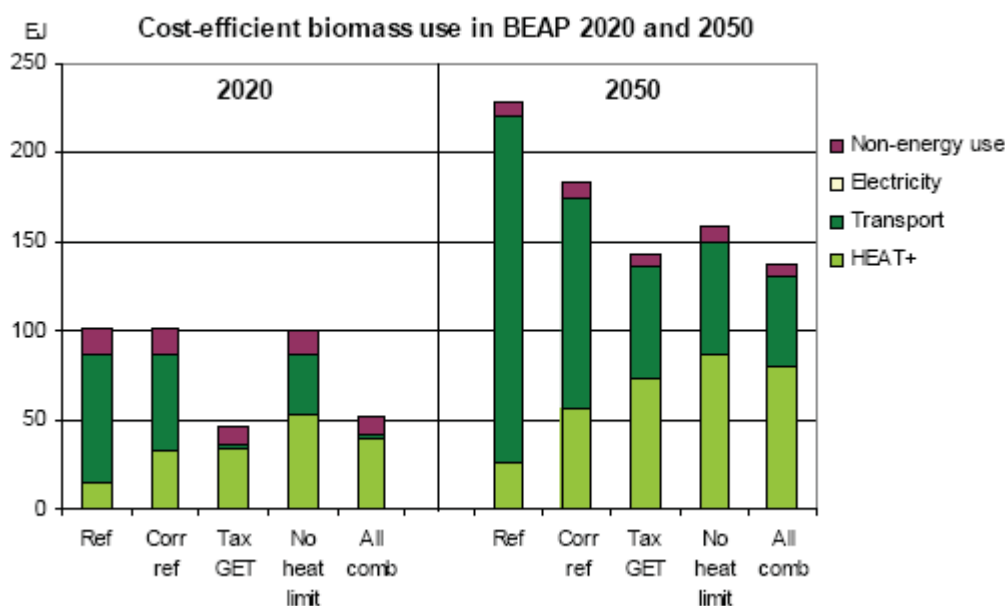
Som synes i Figur 14 förändras både transportbränsleförsörjningen och användningen av biomassa i BEAP avsevärt: biodrivmedelsanvändningen är nu i princip obefintlig fram till 2020 och halverad år 2050. Istället används betydligt mer bensin och diesel än i den ursprungliga modellkörningen. Liksom i GET används nu den största delen av biomassan för värmeändamål. Figur 15 visar hur de olika modifieringarna var och en för sig och i kombination påverkar BEAP-modellens allokering av biomassan mellan de olika användningsområdena.

⁹ Felaktiga data i BEAP-databasen resulterade i en 100 gånger för hög kapitalkostnad och 10 gånger för hög kostnad för drift och underhåll.



Figur 14. Biomassa användning och transportbränsleförsörjning i BEAP i en alternativ körning där modifieringarna som beskrivs i texten ovan har genomförts

Källa: Grahn et al. (2006).



Figur 15. En redovisning av hur de olika modifieringarna var för sig och i kombination påverkar hur biomassa allokeras till olika användningsområden.

Källa: Grahn et al. (2006).

På samma sätt modifieras GET för att närma sig BEAP med avseende på parametrar som identifierats som centrala. En samlad slutsats från de omfattande modellkörningarna är att utöver tillgången till klimatneutrala drivmedel är ”CO₂-skatteprofilen” av stor betydelse för hur biomassa används. Vid låga CO₂-skatter (50-100 USD/tC beroende på år) anger båda modellerna att biomassa mest kostnadseffektivt används för värmeproduktion. Vid högre CO₂-skattenivåer används biomassa för biodrivmedelsproduktion i BEAP – i brist på andra klimatneutrala alternativ i transportsektorn.

Den ovan beskrivna studien kan anses ges stöd för att biomassa i första hand bör användas inom den stationära sektorn (främst värme), om det övergripande syftet är kostnadseffektiva klimatåtgärder. Samtidigt kan man utifrån studien argumen-

tera för att biomassa i högre grad kan komma att behövas för produktion av biodrivmedel eftersom det inom den stationära energianvändningen finns flera alternativ att tillgå för att klara tuffa klimatmål än det finns inom transportsektorn. Om vätgas eller eldrift visar sig vara svårhanterligt, dyrt eller helt enkelt inte tillgodoser de krav på tekniska prestanda som vi människor önskar oss av bilar, och vi samtidigt på grund av klimatproblemet vill inleda en systemomvandling mot nollutsläpp när det gäller CO₂ (eller kraftigt minska vårt oljeimportberoende), då återstår i dagsläget i princip bara biodrivmedel¹⁰.

I ovan exempel har fokus legat på klimatnytta. Men beroende på vilken relativ vikt som läggs vid olika energi-, klimat- och andra politiska mål kan fokus förflyttas vid utvärderingar av nyttan med olika bioenergisystem. Detta illustreras i nästa avsnitt.

¹⁰ På längre sikt finns dock alternativ, vilket vi återkommer till i det avslutande kapitlet i denna rapport.

6 Avvägning mellan olika mål vid värdering av nyttan hos olika bioenergisystem

Utöver klimatnytta så motiveras satsningar på bioenergi även exempelvis med att det förbättrar landets energiförsörjningstrygghet och också leder till att det skapas nya arbetstillfällen¹¹.

Motivet att bioenergi-satsningar leder till nya arbetstillfällen kan dels ta fasta på de omedelbara jobb som uppstår pga exempelvis ökad skoglig produktion, nya produktionsmöjligheter för jordbruket, biomassatransporter och byggande av bioenergianläggningar. Dels hämtas motiv utifrån ett vidare perspektiv: det skapas arbetstillfällen och möjlighet till framtida exportintäkter inom en växande näring där Sverige kan ligga i framkanten. På samma sätt som skett historiskt inom skogssektorn skulle Sverige kunna etablera sig som en viktig aktör internationellt inom detta området genom att vara tidigt ute.

I EU:s Biomass Action Plan indikeras att drivmedelsproduktion beräknas ge 2-10 respektive 25-50 gånger så många direkta arbetstillfällen som för produktion av el och värme¹². Variationen är dock (som synes) stor, delvis pga att det saknas en brett förankrad metod för denna typ av beräkningar. En närmare granskning ger vid handen att två starkt påverkande faktorer är (i) den antagna anläggningsstorleken – ju mindre anläggning desto fler jobb per energienhet bioenergi – och (ii) vilken energiråvara som används, där bioenergiproduktion baserat på traditionella jordbruksgrödor som spannmål, oljeväxter och sockerbetor ger fler arbetstillfällen än när lignocellulosa utgör energiråvara.

Utifrån ovan kan man dra slutsatsen att det är huvudsakligen då biodrivmedelsproduktion baseras på traditionella jordbruksgrödor som en satsning på biodrivmedel för transportsektorn ger fler jobb än annan biomassanvändning för energiändamål. I en möjlig framtid då biodrivmedel huvudsakligen produceras baserat på lignocellulosa delar alla sektorer samma råvarubas och dessutom förväntas produktionen av dessa biodrivmedel ske i stora anläggningar, vilka då kan

¹¹ Ur ett nationalekonomiskt perspektiv kan framföras invändningen att införandet av olika stödformer för möjligtvis olönsamma aktiviteter kan ge långsiktiga negativa effekter: på kort sikt kan förvisso jobb skapas men eftersom produktiviteten för samhället i stort minskar kommer sannolikt även det långsiktiga jobb-skapandet bli lägre än i frånvaro av dessa stödformer. Bioenergisatsningar som ger jobb där det råder hög (och/eller konstant) arbetslöshet kan förstås framstå som positivt ur ett regional perspektiv. Men om det övergripande syftet är att skapa jobb så bör medlen för detta användas på ett sätt som gör att alla aktiviteter som genererar jobb i regionen stimuleras lika mycket, istället för att fokusera på en utvald sektor som bioenergi: se t ex Sterner, T. et al. (1998).

¹² Ett skäl till att biomassaanvändning för värme anges resultera i relativt få arbetstillfällen är att i vissa fall antas delar av arbetsinsatsen vara oavlönat arbete av den enskilde slutanvändaren.

förväntas ha mindre behov av arbetskraft, per enhet producerad bioenergi, än dagens relativt sett små biodrivmedelsanläggningar.

Det är alltså tveksamt att utifrån en hänvisning till att fler arbetstillfällen skapas argumentera för en långsiktig satsning på biodrivmedel framför biomassa-användning inom den stationära sektorn. Endast om biodrivmedelsproduktionen även långsiktigt baseras på traditionella jordbruksgrödor är detta sant. I den utsträckning en sådan framtida situation skulle innebära högre ekonomiska kostnader (dyrare drivmedel) kan detta indirekt påverka den allmänna ekonomiska situationen – och därmed sysselsättningen – negativt. Det är alltså osäkert vilken total sysselsättningseffekt som skulle erhållas i samhället. Dessutom: för att långsiktigt bli konkurrenskraftig måste förstås biomassa produceras till lägre kostnader än idag, vilket innebär att låg arbetsintensitet bör eftersträvas.

Figur 16 ger en illustration av hur många arbetstillfällen som skulle kunna förekomma inom en framtida storskalig bioenergiproduktion. Här har antagits en bioenergiproduktion motsvarande en uppskattad bioenergipotential för de olika EU-länderna runt år 2030 (anges i figuren), med ett genomsnittligt arbetskraftsbehov motsvarande 200 årsarbeten per TWh producerad bioenergi¹³ och där hälften av jobben antas uppstå inom de areella näringarna. Dels ges en jämförelse med arbetskraftsbehovet inom jordbruket och dels inom industrisektorn. Som synes är det huvudsakligen inom de areella näringarna som den största relativa effekten kan ses. Beträktat ur ett nationellt arbetsmarknadsperspektiv däremot framstår bidraget från bioenergisektorn som blygsamt.

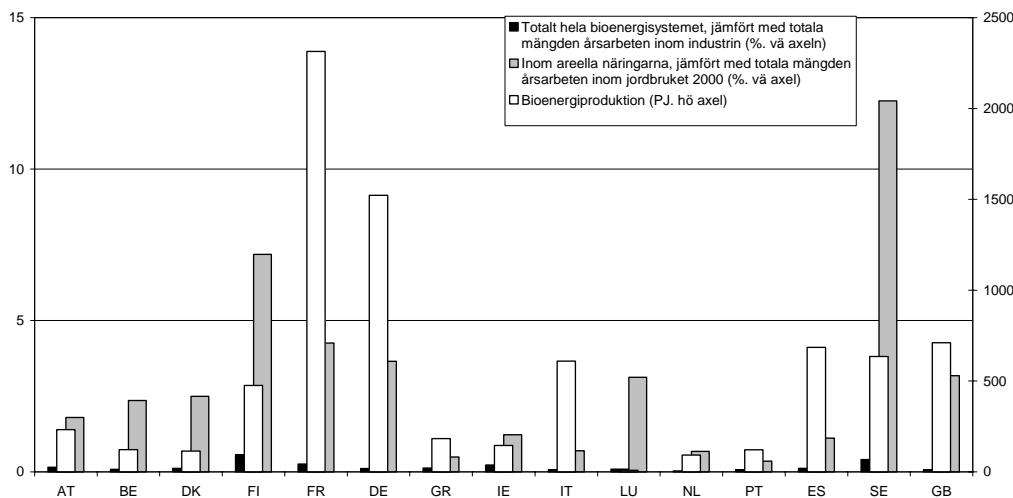
Det skall sägas att den överslagsberäkning och jämförelse med arbetskraftsbehovet inom jordbruket som ges i Figur 16 endast syftar till att jämföra storlekar och inte skall ses som en indikation av hur många jobb som skulle kunna skapas inom just jordbruket. Var arbetskraftsbehovet uppstår beror i hög grad på var den uppskattade bioenergipotentialen finns i olika länder. I Sverige finns en stor del av potentialen inom skogen, medan många andra europeiska länder förväntas producera huvuddelen av sin biomassa för energi inom jordbruket.

Det är också viktigt att notera att nettoeffekten av en expanderande biomassa-produktion inom jordbruket beror på vilken den tidigare markanvändningen var. Om exempelvis Salix anläggs på mark som i dag odlas med spannmål leder detta till att den totala arbetsåtgången *minskar* med motsvarande 1–3 timmar per hektar och år (SOU 2007:36). Eftersom lantbrukaren dessutom står för en relativt liten del av det totala arbetet i Salixproduktionen¹⁴ är minskningen ännu större inom lantbruksföretaget. Om Salixodlingen istället anläggs på trädad mark ökar däremot arbetsåtgången med knappt en timme per hektar. Till detta kommer

¹³ Ungefär 4 gånger lägre än vad som antogs för biodrivmedel i den "Impact Assessment" som genomfördes för EU:s Biomass Action Plan, men på samma nivå som flera av de svenska studier som redovisas i SOU 2007:36.

¹⁴ Lantbrukaren svarar för ungefär en tredjedel av arbetsinsatsen. Huvuddelen hamnar hos maskinhållare som t ex skördeentreprenörer och åkerier.

indirekta effekter genom att det köps tjänster utifrån som motsvarar 3-4 timmar per hektar och år (SOU 2007:36).



Figur 16. Arbetstillfällen skapade inom bioenergisektorn, utgående från de antaganden som anges i texten. Den genomsnittliga verkningsgraden vid omvandling av biomassa till el, värme eller drivmedel antas vara 50%.

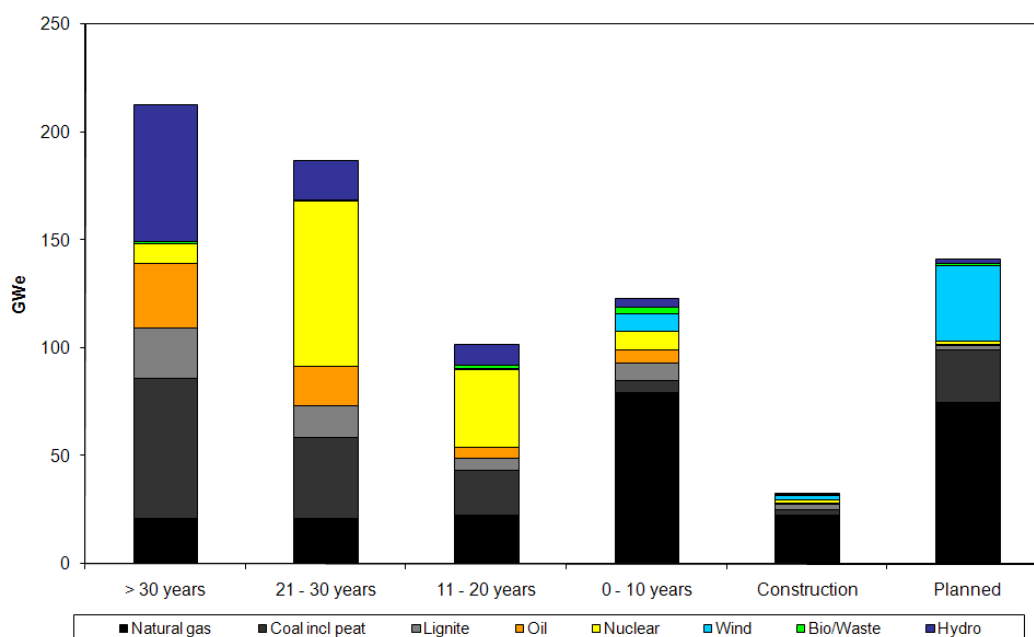
Figur 16 kan sägas ge en bild av betydelsen av en inhemsk bioenergiindustri. Vad den inte fångar är möjligheten att jobb skapas genom att nya företag etableras (t ex inom relevant processteknik) vilka kan växa baserat även på internationell efterfrågan på kunskap och tekniska system. Ett exempel på detta är Alfa laval, som ökade sin försäljning till amerikanska etanolfabriker med 200 procent förra året, till närmare 1 miljard kronor (Ny Teknik, 070124). De biodrivmedelsmål som formulerats på olika håll i världen förväntas leda till fortsatt ökad försäljning.

När det gäller energiförsörjningstrygghet bör nämnas att det inte är oomtvistat att fördelarna av ett minskat importberoende motiverar kostnaderna för att uppnå detta. Det skulle kunna vara så att det är samhällsekonomiskt fördelaktigt att helt enkelt acceptera förekomsten av de ”problem” som följer av högt importberoende – såsom t ex osäkra och höga drivmedelspriser – istället för att drastiskt minska importberoendet. Nu har hursomhelst det stora energiimportberoendet identifierats som ett viktigt problemområde inom EU och en ökad försörjningstrygghet framhålls som ett viktigt mål.

I Sverige har diskussionen om försörjningstrygghet huvudsakligen handlat om vårt beroende av importerad olja. Därmed hamnar förstärkt transportsektorn i fokus, med följden att biodrivmedel förespråkas som det mest verksamma bioenergi-alternativet om förbättrad energiförsörjningstrygghet är målet. EU-övergripande mål, såsom de som formuleras inom biodrivmedelsdirektivet, framstår därmed

som gynnsamma både med avseende på försörjningstrygghet och minskad klimatpåverkan från transportsektorn¹⁵.

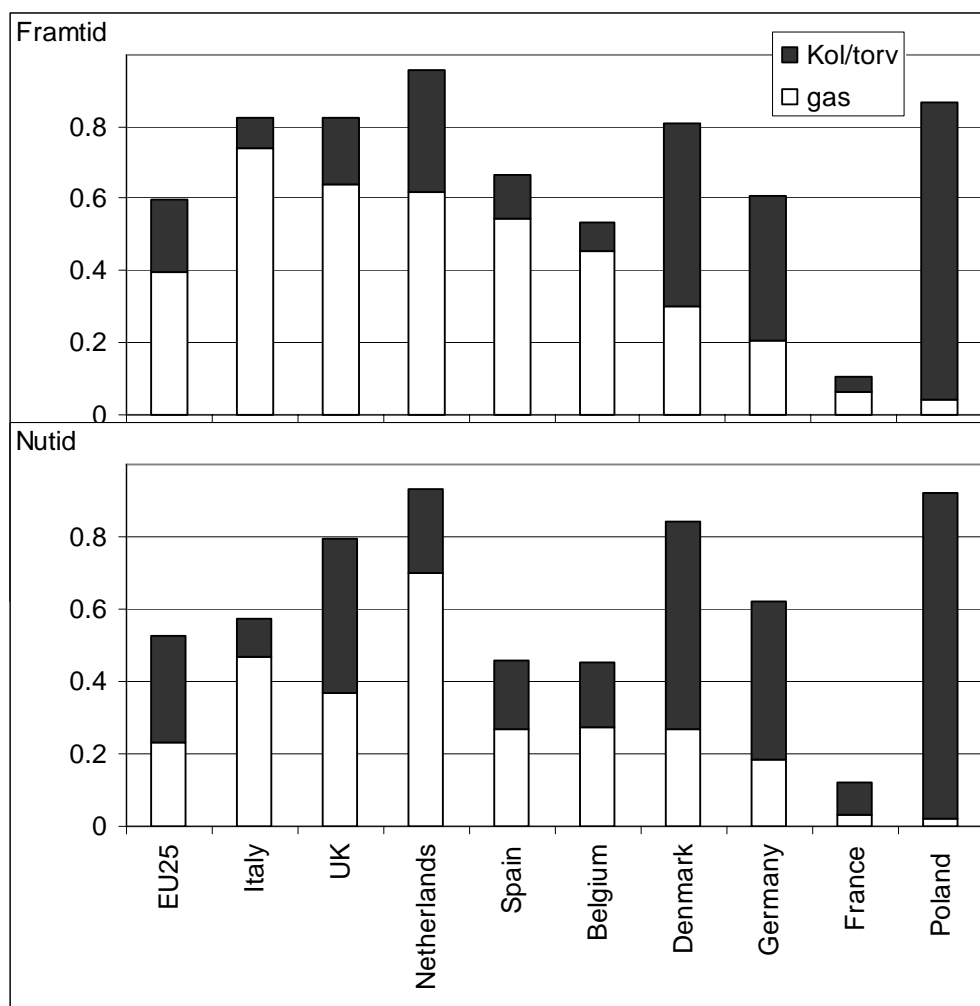
I Europa är dock det växande beroendet av importerad naturgas också en central fråga. Figur 17 illustrerar tydligt naturgasens växande betydelse: i diagrammet beskrivs kraftsektorn i EU25 med avseende på åldersstruktur och bränsleanvändning. Naturgasen dominerar som bränsle i de nyaste verken (1-10 år) och även när det gäller kraftverk som är under planering eller för närvarande byggs. Samtidigt dominerar andra energislag bland de äldsta kraftverken, vilket innebär att naturgasens relativa betydelse kommer att öka både genom att nya gaskraftverk byggs och genom att gamla kraftverk (som drivs med andra bränslen) stängs.



Figur 17. Åldersstruktur och bränsleanvändning i kraftverksparken i EU25. Även anläggningar som för närvarande byggs samt planeras att byggas är inkluderade. Diagrammet är konstruerat baserat på Chalmers Powerplant Database, vilken innehåller data om alla kraftverk i EU25 med en kapacitet överstigande 10 MWe (Kjärstad and Johnsson, 2006). Data är inte helt komplett med avseende på Hydro, Wind och Bio/waste. Planerade anläggningar inkluderar alla ansökningar om tillstånd att bygga nya kraftverk. Det är inte säkert att alla dessa kraftverk kommer att byggas. Notera att elgenereringen per installerad kapacitet är typiskt 3 gånger lägre för vindkraftverk än för genomsnittliga termoelektriska (huvudsakligen fossila) anläggningar.

¹⁵ Därmed inte sagt att biomassaanvändning inom just transportsektorn är det mest verksamma sättet att använda biomassa för att minska klimatpåverkan.

I Figur 18 illustreras hur stor andel av nuvarande elproduktion som baseras på kol och naturgas i ett urval EU-länder, liksom hur det skulle kunna se ut i en framtida situation om alla kraftverk som idag är äldre än 30 år är stängda (bortsett från vattenkraft där alla anläggningar antas finnas kvar) samtidigt som alla kraftverk som idag är under konstruktion eller befinner sig i planeringsstadiet har byggts. Som synes skiljer sig dessa EU-länder betydligt åt. I de länder där man finner det nuvarande och/eller förväntade framtida naturgasberoendet som problematiskt kan biomassa-användning i exempelvis kraftvärmeverk framstå som en möjlig väg att minska naturgasberoendet¹⁶.



Figur 18. En indikation av nuvarande naturgasberoende inom kraftsektorn i EU25 och i några medlemsländer. En möjlig framtida situation visas också, där det antagits att anläggningar som idag är äldre än 30 år är utfasade samtidigt som alla anläggningar som för närvarande byggs samt befinner sig i planeringsstadiet är i drift. Diagrammet visar andelen av total elgenerering som baseras på naturgas och är konstruerat utifrån antagandet att elgenereringen per installerad kapacitet är 3 gånger lägre för vindkraftverk än för genomsnittliga termoelektriska kraftverk, vilka för enkelhetens skull antagits ha samma driftstid på årsbasis.

¹⁶ På samma sätt kan förstås länder med högt kolberoende inom elsektorn betrakta ökad biomassa-användningen som en viktig del i klimatarbetet.

Om man istället för olja fokuserar på naturgassituationen, så förändras alltså prioriteringen av biomassaanvändningen gentemot målet energiförsörjnings-trygghet. Oljeersättning – inom transportsektorn eller inom andra områden som t ex uppvärmning – är alltså inte alltid en självklar första prioritet. Istället avgörs prioritetsordningen av hur man värderar oljeimportberoendet relativt gasimportberoendet och vilka alternativ till olja respektive gas – utöver bioenergin – som finns till hands. Denna värdering kan resultera i att biomassaanvändningen utvecklas i olika riktningar i olika länder beroende på att förutsättningarna för alternativ energitillförsel och även den nuvarande energiinfrastrukturen ser olika ut.

7 Några ytterligare perspektiv

Denna rapport har givit en orientering kring frågor om bioenergins resurs- effektivitet och bidrag till energi-, klimat- och andra politiska mål. En utgångspunkt har varit nuvarande energi- och transportsystem och möjliga förändringar inom dessa. Vi har också redogjort för hur man kan argumentera för att biomassa i högre grad kan komma att behövas för produktion av biodrivmedel eftersom det inom den stationära energianvändningen finns flera alternativ att tillgå för att klara tuffa klimatmål än det finns inom transportsektorn. Här var utgångspunkten en jämförelse mellan två energimodellbaserade studier där ena energisystemmodellen inkluderade vätgas som långsiktigt alternativ till biodrivmedel medan den andra modellen inte inkluderade ett sådant alternativ.

Det är förstås så att modeller – hur omfattande de än är – inte förmår beakta alla möjliga framtida utvecklingar inom energi- och transportsystemet. Vätgas är inte det enda klimatvänliga alternativet till biodrivmedel i transportsektorn och även den stationära energianvändningen kan förändras i en riktning som inte ryms inom den energisystembeskrivning som ges i en modell – både vad det gäller efterfrågan på energitjänster och uppsättningen tillgängliga tekniker för att leverera dessa. Nedan ges ett avslutande exempel för att illustrera den vidd av framtida möjligheter som finns.

Vi har tidigare nämnt elektrifieringen av bilen och plug-in hybrider som en möjlig utveckling. Ett transportsystem som till betydande del består av rena elbilar och plug-in hybrider är förstås i mindre utsträckning beroende av transporterbara gas- och/eller vätskebränslen. Därmed förändras biodrivmedelns roll och då också utgångspunkten för en avvägning mellan olika användningar av biomassan för energiändamål.

Utöver de möjligheter som ryms inom ramen för bilens elektrifiering kan vi i en längre framtid få se helt nya lösningar som medger klimatneutrala transporter. Det finns tekniker för att fånga in atmosfärsikt kol för användning i kolbaserade bränslen, utan att gå via fotosyntesen. Därmed kan man skapa helt tekniska system som innebär att kolbaserade bränslen utnyttjas utan att det leder till ökande koldioxidhalter i atmosfären. Det finns också en möjlighet att kompensera för transportsektorns koldioxidutsläpp. Utöver skapande av sk. kolsänkor – där beskogning kanske är mest bekant – kan compensation ske genom storskalig användning av biomassa i kraft och värmeanläggningar vilka utnyttjar tekniker för infångning och lagring av koldioxid: här skulle biomassaanvändningen ge upphov till en nettotransport av kol från atmosfären till lagringsplatsen (t ex delvis uttömnda olje- och gasfält), alltså sk. ”negativa utsläpp” vilka då kompenserar för utsläppen inom transportsektorn.

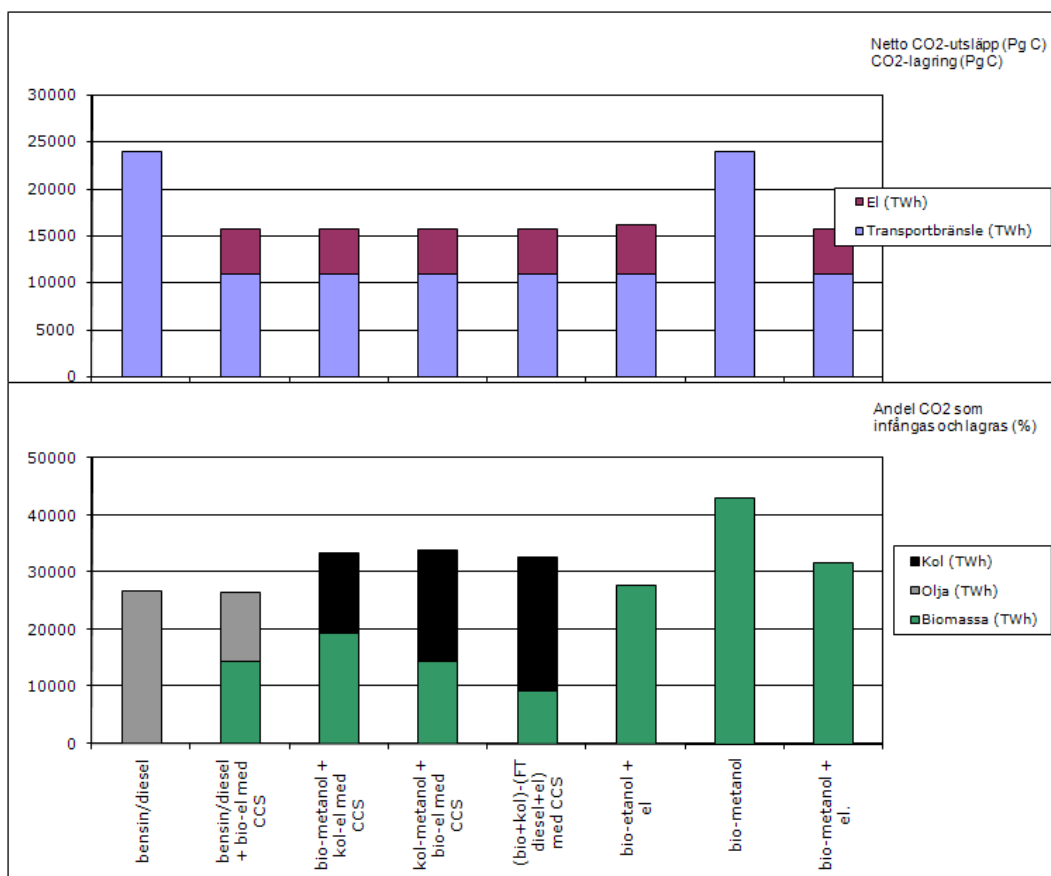
I Figur 19 ges en beskrivning av några olika möjliga framtida globala transportsystem, vilka har det gemensamt att de inte leder till stora koldioxidutsläpp. Transportsystemets storlek motsvarar en framtida situation med 10 miljarder människor, en genomsnittlig biltäthet på 0,4 bilar/person (bara lite lägre än i Sverige)¹⁷ och en genomsnittlig årlig körsträcka på 1500 mil/bil. Som synes finns i figuren både konventionella fordon (som här drivs med bensin/diesel eller biomassa-baserad metanol) och elhybrider med plug-in möjlighet, dvs bilbatterierna kan laddas via nätet. Elbehovet för batteriuppladdning tillgodoses på olika vis och baserat på olika bränslen.

Det oljebaserade systemet längst till vänster i Figur 19 släpper ut ca 2 Pg C/år och använder 96 EJ olja. Detta kan jämföras med dagens globala oljeanvändning på drygt 160 EJ och dagens globala koldioxidutsläpp på drygt 7 Pg C/år. Det andra konventionella systemet där fordonen drivs med metanol ger inga nettoutsläpp av koldioxid, men kräver å andra sidan drygt 150 EJ biomassa som råvara för metanoltillverkningen.

Som synes innebär ett utnyttjande av plug-in hybrider att drivmedelsbehovet minskar drastiskt. Detta beror både på den högre effektiviteten som erhålls vid eldrift och på att en del av energibehovet för fordonsdriften erhålls via uppladdningen från elnätet, vilket innebär att fasta bränslen istället för drivmedel används.

När fossilbaserade drivmedel används inom plug-in systemen så kompenseras utsläppen från drivmedelsanvändningen av att elen för batteriladdning genereras baserat på biomassa, där anläggningarna utrustats för att kunna fånga in koldioxid för lagring i t ex tömda olje- och naturgasfält eller sandstensakvifärer. Därmed erhålls kompensering negativa utsläpp (notera dock att klimatneutralitet inte erhålls på anläggningsnivå). För att dessa system skall vara tillgängliga krävs alltså att koldioxidinfångning och lagring etableras som en betydande del av energisystemet. Utöver teknikutveckling och säkerställande av lagringsplatsers långsiktiga integritet (koldioxiden får inte senare ”läcka” till atmosfären), krävs att denna möjlighet vinner allmänhetens stöd.

¹⁷ För jämförelse, 2004 fanns knappt ca 600 miljoner bilar globalt enl Worldwatch Institute. I EU25 fanns år 2004 omkring 0,47 bilar per invånare och i USA fanns år 2003 0,76 bilar per invånare. Den svenska biltätheten låg nära genomsnittet för EU25 (Eurostat).



Figur 19. Årlig energiåtgång och C-balans för att driva en tänkt global bilflotta på 4 miljarder bilar som kör 1500 mil/år. Varje alternativ redovisas med två staplar i höjdlängd. Beräkningarna utgår från följande: energiåtgången är 4.0 kWh/10 km vid bränsledrift; 1.5 kWh/10 km vid eldrift (utgångspunkten är ett behov på 1 kWh/mil vid hjulen och en verkningsgrad från elproduktion ut till hjul på 0,67 för eldrift och 0,25 för bränsledrift (hybrid)). 45 resp 55% av drift i bränsle och el-mod ger 1.8 kWh bränsle och 0.82 kWh el per 10 km (Karlsson & Berndes, 2007).”bio” motsvarar i alla alternativ lignocellulosa. Bio-etanol representerar alltså fallet då etanol produceras från lignocellulosa.

För Sveriges del kan noteras att den körda sträckan med bil i dagsläget är ca 6 miljarder mil/år, dvs 1 promille av det antagna globala värdet ovan. För att utföra dagens svenska trafikarbete med bilar behövs alltså en tusendel av vad som anges i Figur 19 (Siffrorna blir desamma, men enheten ändras till PJ). Som jämförelse kan sägas att ett bioenergiuttag på 100 PJ för transporter med bilar motsvarar ca 25 % av Sveriges bioenergitillförsel idag.

En möjlig storskalig implementering av de alternativ som beskrivits ovan bedöms ligga ganska långt fram i tiden. Vissa utgör inte omedelbara alternativ till dagens biodrivmedel men tidpunkten för deras möjliga genombrott ligger inte nödvändigtvis så mycket längre fram än för lignocellulosabaserade biodrivmedel.

Vi bör redan idag vara klara över de olika framtida möjligheter som finns och skapa utvecklingsrum för dessa. Behovet av att ”sätta ner foten” och driva på förändringsprocesserna måste tillgodoses, men samtidigt så långt som möjligt utan att detta leder till att man styr in i en riktning som i hög grad konserverar den initiala inriktningen och därmed försvårar en vidare utveckling i en ny riktning i framtiden. EU-s biodrivmedelsdirektiv har kritiserats för att det leder till för stort fokus på de idag tillgängliga biodrivmedlen och inte tillräckligt stimulerar utvecklingen av drivmedel baserat på lignocellulosa. Man skulle också kunna säga att dagens fokus på biodrivmedel i stort innebär en för snäv begränsning och fungerar diskriminerande: flera av alternativen i Figur 19 har åtminstone hittills fallit utanför ramen i den diskussion om framtida klimatvänliga drivmedel som för närvarande förs och som är utgångspunkten för politiska initiativ inom området..

8 Litteratur

- Berndes, G. & Magnusson, L (2006). The future of bioenergy in Sweden: Background and summary of outstanding issues. ER 2006:30. Energimyndigheten, Eskilstuna, Sweden
- Berndes, G. and Hansson, J. (2007). Bioenergy expansion in EU –cost-effective climate change mitigation, employment creation and reduced dependency of imported fuels. Energy Policy 35: 5965-5979
- Börjesson P. (2007a). Produktionsförutsättningar för biobränslen i svenskt jordbruk. Bilaga, SOU 2007:36 ”Bioenergi från jordbruket – en växande resurs”. Fritzes Offentliga Publikationer, Stockholm.
- Börjesson P. (2007b). Förädling och avsättning av jordbruksbaserade biobränslen. Bilaga, SOU 2007:36 ”Bioenergi från jordbruket – en växande resurs”. Fritzes Offentliga Publikationer, Stockholm.
- Börjesson P. (2006). Energibalans för bioetanol – en kunskapsöversikt. Rapport Nr 59, Miljö- och energisystem, Lunds Universitet.
- Grahn, M., Azar, C., Lindgren, K., Berndes, G., and Gielen, D. (2007). Biomass for heat or as transportation fuel? –a comparison between two model based studies. Biomass & Bioenergy 31 (2007) 747-758
- Karlsson, S and Berndes, G. (2007). Pågående arbete. Physical Resource Theory, Dept. of Energy and Environment, Chalmers University of Technology, Sweden.
- Sterner, T., Johansson, B., Johansson-Stenman, O., 1998. Skall vi köra på sprit? Ekonomisk Debatt 26(8), 603-616.
- SOU 2007:36. Bioenergi från jordbruket: en växande resurs. Betänkande av Utredningen om jordbruket som bioenergiproducent.
- VIEWLS (2005). Shift gear to biofuels: Results and recommendations from the Viewls project. Final report. November 2005.

Appendix A.

Energibalansen: några formler

Som redan har nämnts kan energibalansen för ett bioenergisystem beräknas på olika vis. Antag att:

Y_A = Avkastning biobränsle-råvara, t ex Salix eller vete (ton torrsubstans (TS) per ha och år)

Y_C = Omvandlingseffektivitet (J biobränsle per ton TS råvara)

E_A = Total energiinsats vid produktion av råvara (J per ha och år)

E_C = Total energiinsats vid omvandling av råvara till biobränsle (J per ha och år)

E_{RI} = Reducerad (extern) energiinsats genom att skörderester och/eller biprodukter från omvandlingen av råvara till biobränsle utnyttjas internt inom biobränsle-anläggningen (J per ha och år)

E_{RE} = Energimängd som tillgodoräknas bioenergisystemet pga att skörderester och/eller biprodukter från omvandlingen av råvara till biobränsle utnyttjas externt för andra ändamål. Exempel kan vara då dranken från spannmålsetanolstillverkning utnyttjas som djurfoder vilket medför minskad energianvändning för annan foderproduktion, eller då ett sekundärt biobränsle tillverkas såsom ligninpellets vid etanoltillverkning baserat på lignocellulosa (J per ha och år)

Ett sätt att räkna ut energibalansen är att beräkna kvoten:

$$R = \frac{Y_A Y_C}{E_A + E_C}$$

I formeln ovan har vi alltså definierat energibalansen som bruttoproduktionen av det primära biobränslet, dividerat med totala energiinsatsen för produktion av biobränsleråvara och efterföljande omvandling till biobränsle, oavsett om denna energiinsats består av externa insatser eller utnyttjande av t ex biprodukter från omvandlingssteget.

Vi har inte beaktat extern användning av skörderester och/eller biprodukter i formeln ovan. Detta motiveras ibland med att den möjliga omfattningen av sådan extern användning är mycket liten jämfört med mängden biobränslen som förväntas produceras i framtiden (t ex för att uppfylla energipolitiska mål). Till exempel uppskattas marknaden för det djurfoder som erhålls vid spannmålsetanolproduktion vara mättad redan vid en etanolproduktion som motsvarar några procent av den svenska transportbränsle-förbrukningen. Att beakta sådan extern användning innebär alltså att man ger bioenergisystemet en beskrivning som endast är giltig upp till ganska blygsamma produktionsvolymer.

Om man väljer att beakta extern användning av skörderester och/eller biprodukter kan energibalansen exempelvis beräknas enligt de fyra formlerna nedan:

$$R1 = \frac{Y_A Y_C}{E_A + E_C - E_{RI} - E_{RE}}$$

$$R2 = \frac{Y_A Y_C + E_{RI} + E_{RE}}{E_A + E_C}$$

$$R3 = \frac{Y_A Y_C + E_{RE}}{E_A + E_C - E_{RI}}$$

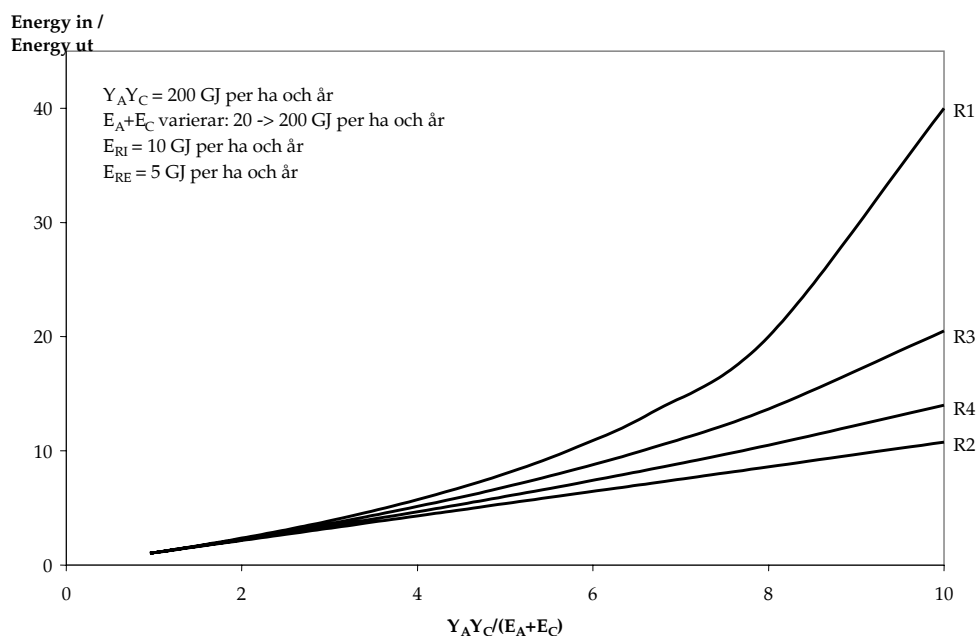
$$R4 = \frac{Y_A Y_C + E_{RI}}{E_A + E_C - E_{RE}}$$

I figuren nedan beskrivs R1 – R4 för varierande ($E_A + E_C$). Längs x-axeln anges R.

Här har antagits att:

- $Y_A Y_C = 200$ GJ per ha och år:
- $E_A + E_C$ varierar mellan 20 och 200 GJ per ha och år
- $E_{RI} = 10$ GJ per ha och år
- $E_{RE} = 5$ GJ per ha och år

Som synes kan energibalansen variera väldigt mycket beroende på beräkningssätt i de fall där E_{RI} och/eller E_{RE} är av liknande storlek som $E_A + E_C$.



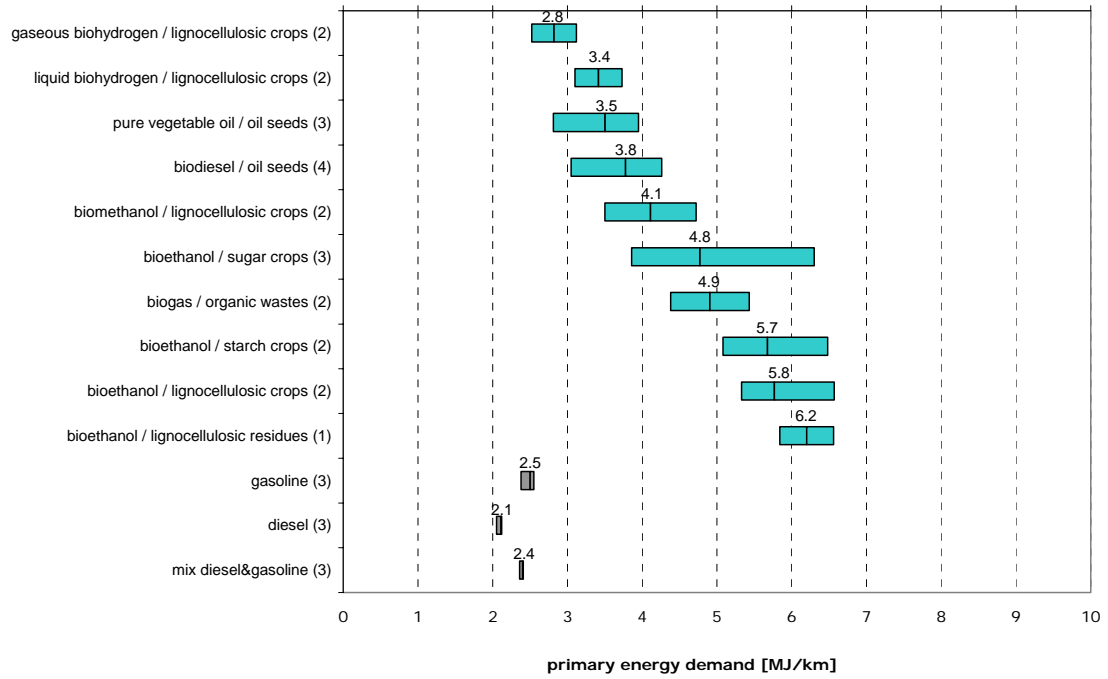
Appendix B.

En sammanfattning av en stor mängd drivmedelsstudier

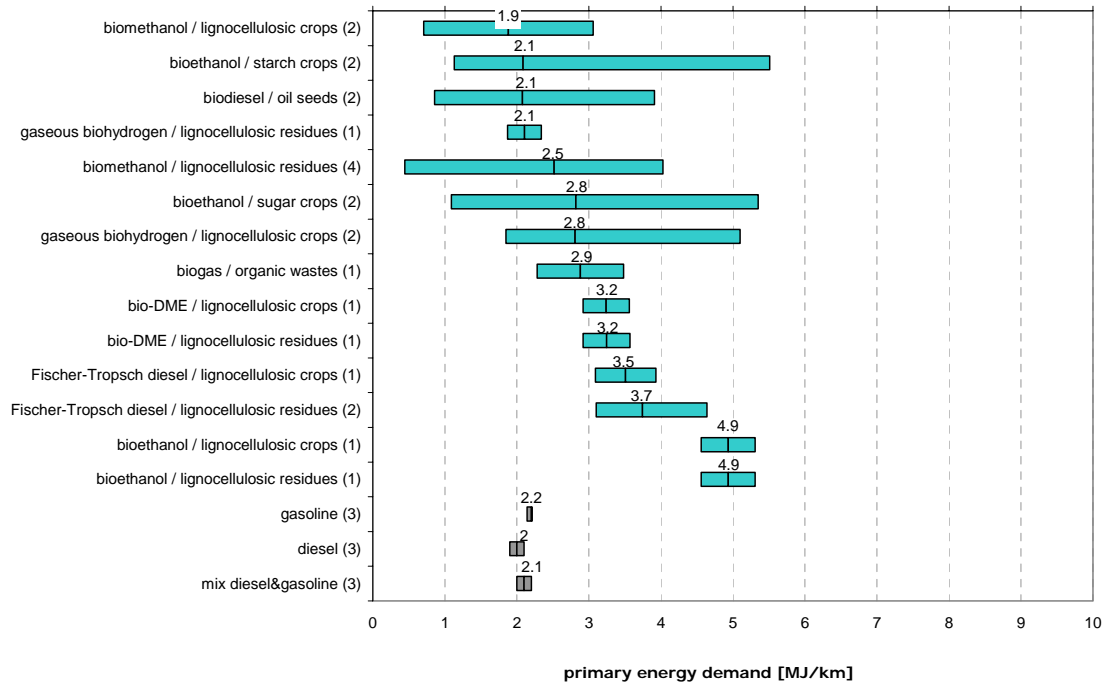
På följande sidor presenteras diagram som sammanställer resultat från en EU-projekt (VIEWLS) som utvecklat och tillämpat en metod för att sammanställa och på ett konsistent vis jämföra ett stort antal tidigare studier av olika biodrivmedel, som underlag för att producera sammanvägda siffror för de olika alternativen. Uppskattningar görs både för dagens situation och för en framtida situation, där teknikutveckling tagits i beaktande.

Av diagrammen framgår att spannet är stort mellan ”bästa” och ”sämsta” värdet för ett och samma drivmedelsalternativ, vilket kan ses som en illustration av dels de metodmässiga svårigheter som finns och dels det faktum att förutsättningarna i olika delar av Europa skiljer sig markant åt.

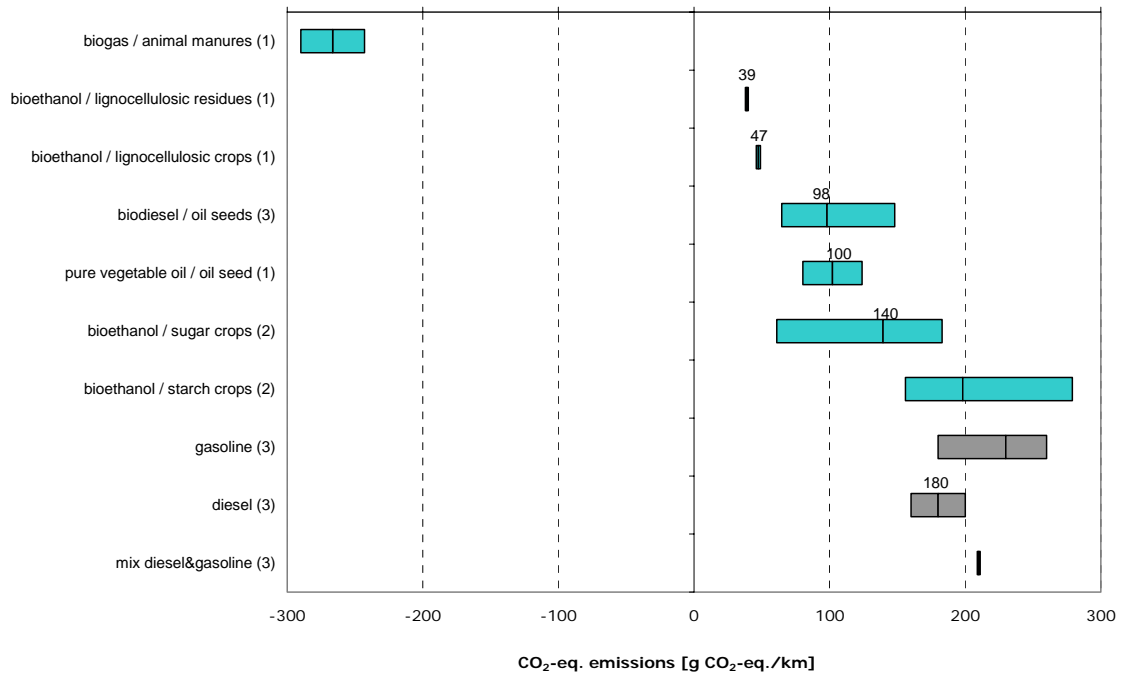
Nuläge



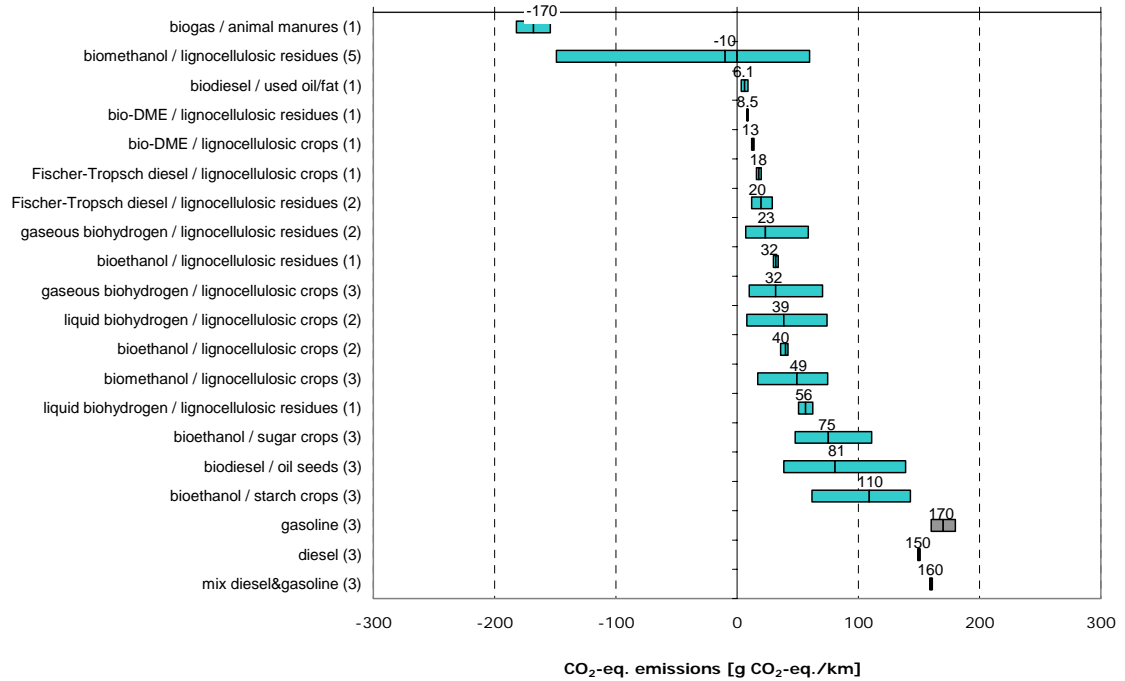
Framtid



Nuläge

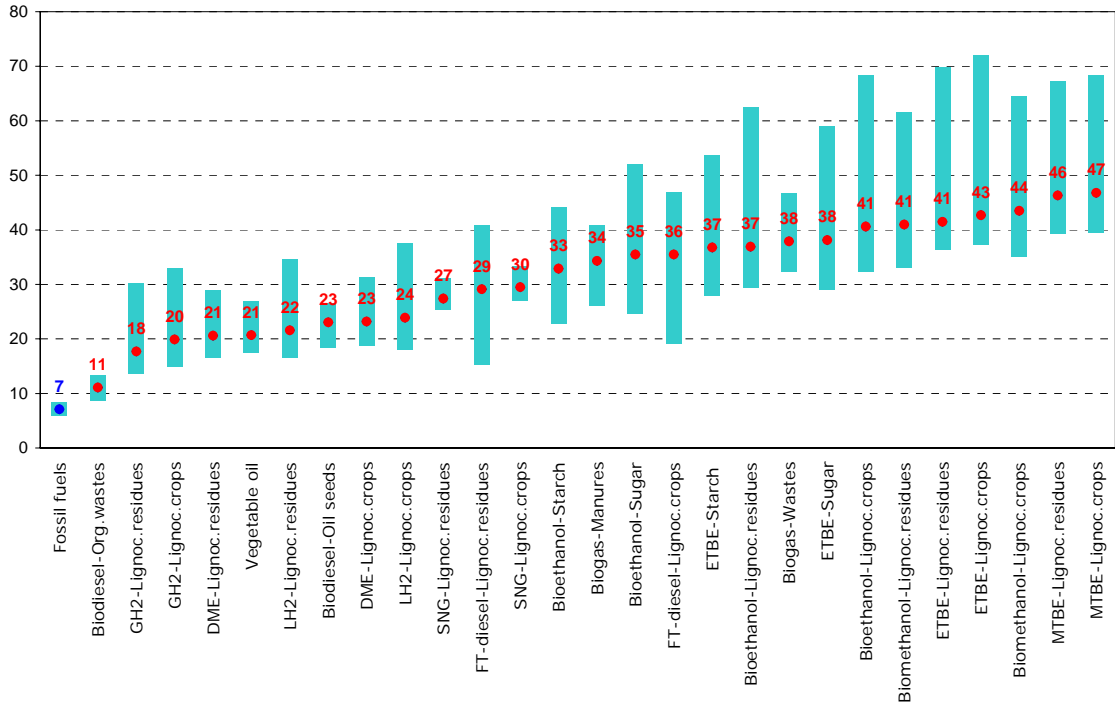


Framtid



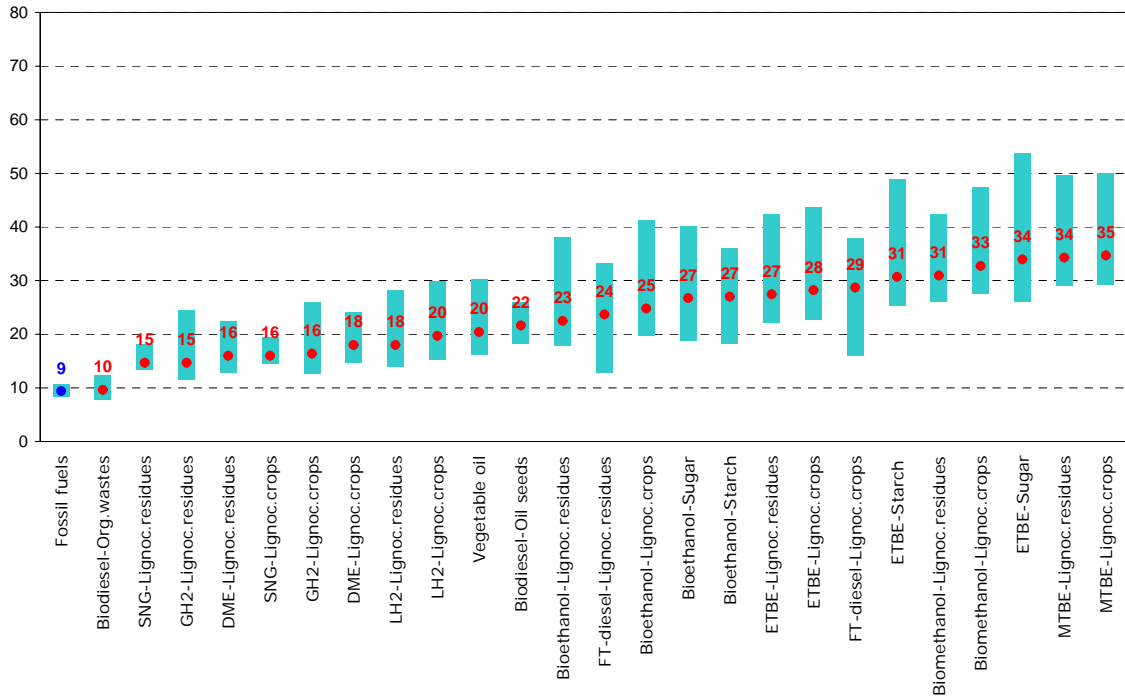
Nuläge

Biofuel cost range at filling station (€₂₀₀₂/GJ) - Current technology

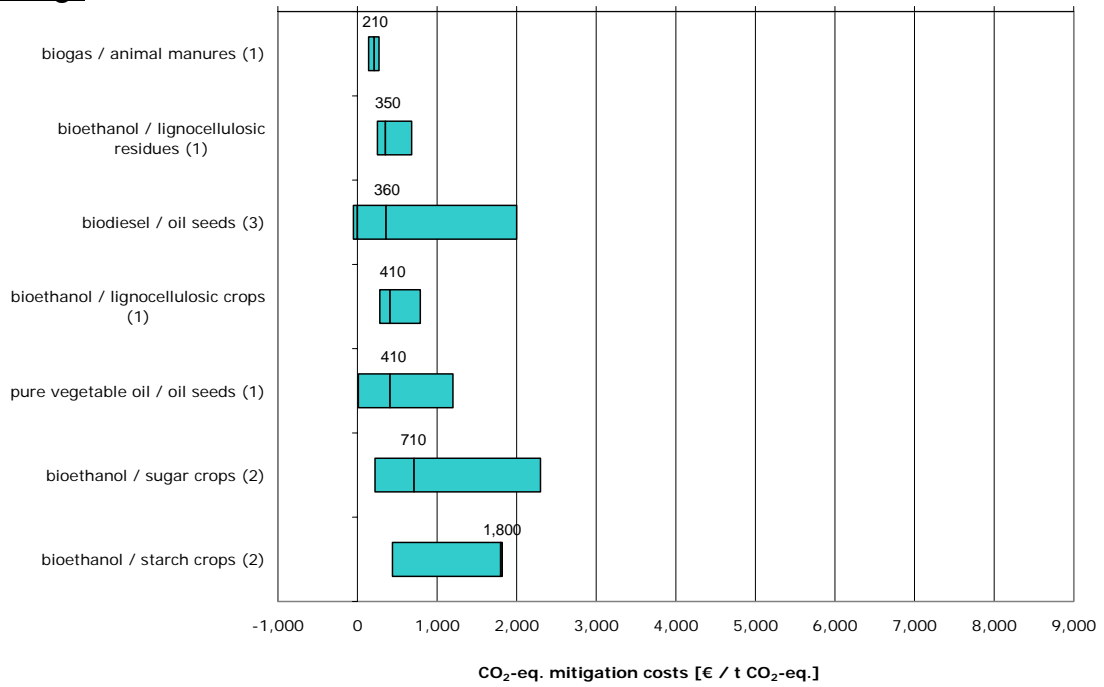


Framtid

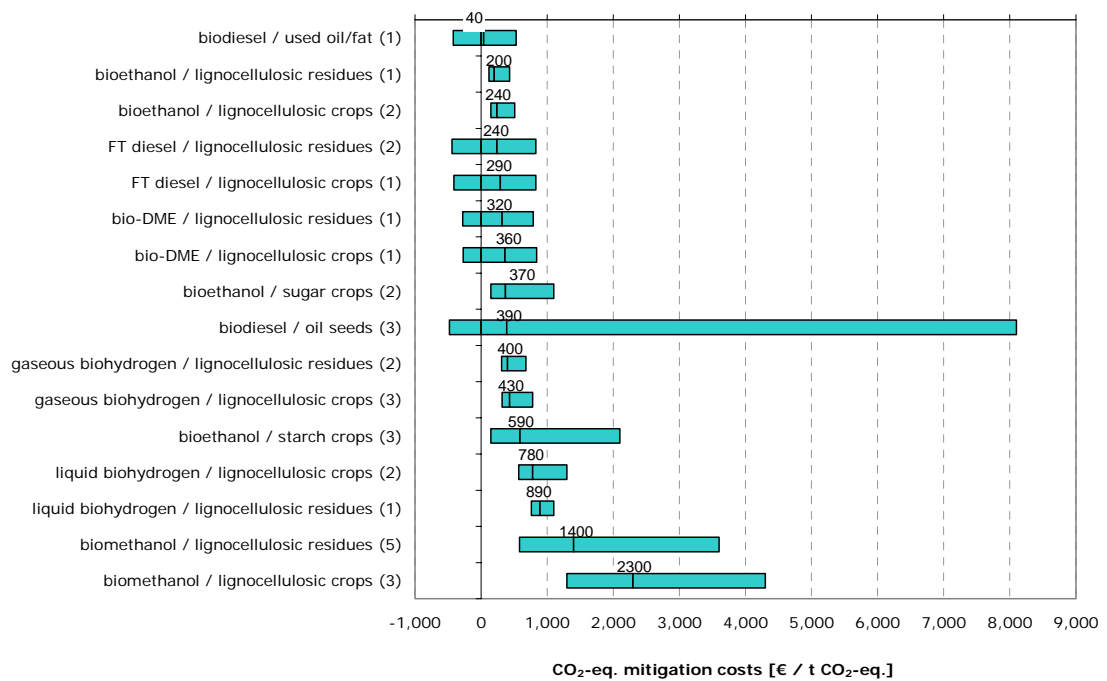
Biofuel cost range at filling station (€₂₀₀₂/GJ) - Future technology



Nuläge



Framtid



Appendix C.

Alternativ till energianalyser

Beskrivningen av bioenergialternativens energieffektivitet som givits i denna rapport baseras på energianalyser enligt ”energy input-energy output-metoden” som utvecklades i början av 1970-talet. Denna metod är den dominerande metoden för energianalys idag. En anledning till detta är att den är praktiskt användbar och relativt enkel att genomföra. Energianalys utgår från primärenergi och uttrycker energiinsatser och energiutbyte i energienheter, t ex Joule. Parallellt med utvecklingen av energianalys har också två alternativa metoder utvecklats: exergi- och emergianalys¹⁸.

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

Emergianalys är en betydligt mer omfattande och tidskrävande analys än exergianalys. Emergi definieras som den ackumulerade mängd resurser som krävs för att producera en vara, tjänst eller ett bränsle. Den ackumulerade mängden resurser uttrycks vanligen som solekvivalenter, eller solemergijoule (sej). Emergi kan beskrivas som ”energiminne”, d v s minnet av den sammanlagda tillgängliga energi som använts för att frambringa produkten. Emergianalys inkluderar dels direkta insatser från naturen, t ex sol, vind och regn, dels insatser från den mänskliga ekonomi, t ex material, bränslen och mänskligt arbete. I emergianalys ingår den monetära ekonomin som ett subsystem till det övergripande ekosystemet. Emergianalys är således betydligt mer komplex än exergianalys, då förutom förlorad energikvalitet också ackumulerad förbrukning av resurser beräknas för varje processteg.

I emergianalys är alla system organiserade som vävar där strukturernas komplexitet ökar med varje energiomvandling. Högre komplexitet innebär högre trans-

¹⁸ En beskrivning av dessa och hur dessa skiljer mot energianalys presenteras i Börjesson (2006) som följande sammanfattning bygger på.

formationsnivå. Emergivärdet för en produkt beräknas genom att dess innehåll av tillgänglig energi multipliceras med dess transformitet. Transformiteter för olika insatsvaror och tjänster, t ex sol, regn, bränslen, material, mänskligt arbete osv, finns oftast tillgängliga i olika emergianalyser. Samma produkt, t ex etanol, kan ha olika transformiteter som beror på olikheter i de processer som leder fram till produkten. Resultaten av emergianalys kan presenteras i olika kvoter som utgör underlag för utvärdering av de undersökta processerna:

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

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

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

Emergianalys har intentionen att vara ett ”allomfattande” beslutsunderlag för företag, industri och samhälle, som vägvisare för att nå en ”hållbar” utveckling ur resurssynpunkt. Hittills har den dock mest använts inom den akademiska världen och risken är också stor att den kommer att stanna där då emergibegreppet kan kännas svårhanterligt. Emergianalysens praktiska användbarhet är begränsad och dess styrka ligger framför allt i beskrivningar av ekonomiska-ekologiska interaktioner och klargörande av systemstrukturer. Dessutom har emergianalys som

metod ett antal begränsningar som gör att metoden i sig kan ifrågasättas. Metoden medför långtgående aggregering av data och information. Dessutom görs en mängd olika antaganden som baseras på olika typer av kriterier, vilket gör analysernas resultat svåra att utvärdera.

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

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



Vårt mål – en smartare energianvändning

Energimyndigheten är en statlig myndighet som arbetar för ett tryggt, miljövänligt och effektivt energisystem. Genom internationellt samarbete och engagemang kan vi bidra till att nå klimatmålen.

Myndigheten finansierar forskning och utveckling av ny energiteknik. Vi går aktivt in med stöd till affärsidéer och innovationer som kan leda till nya företag.

Vi visar också svenska hushåll och företag vägen till en smartare energianvändning.

Alla rapporter från Energimyndigheten finns tillgängliga på myndighetens webbplats

