

## Skall vi köra på sprit?

*Biodrivmedel har använts sedan länge i bl a Brasilien utan större tekniska problem. Tillgången på biobränslen tycks också vara tillräckligt stor för en storskalig användning av biodrivmedel i Sverige. Däremot bedöms produktionskostnaden inom en överskådlig framtid vara betydligt högre än för konventionella bränslen, och för att minska CO<sub>2</sub>-utsläppen på nationell nivå förefaller det mer kostnadseffektivt att i första hand använda biobränslen för att ersätta fossilbaserad värme- och elproduktion. En svensk biodrivmedelssatsning bör fokuseras på teknisk utveckling och kunskap om framtida alternativ, snarare än på snabb och storskalig introduktion i den svenska transportsektorn.*

Den förmodligen viktigaste orsaken till att biobränslen på senare tid diskuteras mer och mer i Sverige, både i transportsektorn och andra sektorer, är den sk förhöjda växthuseffekten som till stor del orsakas vid förbränning av fossila bränslen. Medan CO<sub>2</sub>-utsläppen minskat med ca 20 procent i samhället som helhet sedan början av 80-talet har utsläppen ökat i transportsektorn med ca 30 procent (NUTEK, [1997]). Många anser därför att speciella

åtgärder bör vidtas för att minska utsläppen och att även transportsektorn måste "kretsloppsanpassas". Till skillnad från fossila bränslen så är biobränslen förnybara och samma kolmängd som släpps ut vid förbränning har tidigare bundits under uppväxtfasen.

Vi diskuterar här vilka möjligheter biodrivmedel kommer att ha i den svenska transportsektorn i ett medellångt perspektiv (ca 15 år), samt för- och nackdelar med att genomföra riktade satsningar på biobränslen i Sverige. I avsnitt 2 redovisar vi kort tidigare erfarenheter och i avsnitt 3 och 4 fysisk potential och produktionskostnader. Avsnitt 5 och 6 behandlar globala respektive lokala miljöeffekter av olika drivmedel. Sysselsättning och andra icke-miljörelaterade motiv diskuteras i avsnitt 7 medan avsnitt 8 behandlar samhällsekonomiskt utfall och styrmedel.

*TOMAS STERNER är professor i miljöekonomi vid Nationalekonomiska institutionen, Göteborgs universitet, och forskar särskilt om ekonomiska styrmedel och utvecklingsländernas miljöproblem.*

*BENGT JOHANSSON är tekniker vid institutionen för miljö- och energisystem vid Lunds universitet och forskar om miljöfrågor relaterade till transport och energi.*

*OLOF JOHANSSON-STENMAN är ekonomiker vid Nationalekonomiska institutionen, Göteborgs universitet, och forskar särskilt om välfärdsteori och reglering av vägtransporters externa effekter.*

### **Erfarenheter av biodrivmedel i Sverige och utomlands**

Redan på 70-talet gjordes i Sverige försök med 15 procent inblandning av metanol i bensin för personbilar. Dessa avstannade dock sedan skattereglerna ändrats. Sedan dess har minst ett dussin utred-

ningar studerat biodrivmedel. Under de senaste åren har frågan utretts av bl a Kommunikationskommittén [1996], Alternativbränsleutredningen [1996] och MaTs-projektet [1996] (Miljöanpassat Transportsystem). I Sverige pågår flera flottförsök med etanolfordon och över 100 bussar använder idag etanol. Trots att många studier ställt sig mer eller mindre positiva till en introduktion av biodrivmedel har konkret relativt lite hänt, förutom demonstrationsprojekt. Detta skulle kunna bero på att grundidén är bra men tekniskt svår, vilket kräver en lång utvecklingstid, att oljepriserna fallit, att stor skala krävs och att detta blivit en barriär som hindrar en introduktion eller att det skulle kunna finnas ett motstånd från vissa viktiga aktörer. Det skulle också kunna tyda på att hela konceptet helt enkelt är samhällsekonomiskt olönsamt.

Brasilien och USA har de största internationella erfarenheterna av biodrivmedel. Det brasilianska programmet Proalcool startades år 1975 efter den första oljekrisen 1973/74 för att minska oljeberoendet. Under införandeskedet inträffade otaliga tekniska problem men i dagsläget [1996] finns 4,3 milj bilar som drivs med E96 (96 procent etanol), medan övriga 6,4 milj bilar går på E22 som är obligatorisk ersättning för bensin. Etanolanvändningen i Brasilien motsvarar idag ca 50 procent av allt ottomotor-bränsle.<sup>1</sup> Brasilien har en del fördelaktiga förutsättningar för biodrivmedel, t ex kan sockerrör med mycket höga skördar odlas. Sockerrör ger dessutom ett högt etanolutbyte och arbetskraftskostnaderna är dessutom relativt låga. I USA var 1993 3 procent av drivmedlen sk "alternativa bränslen" men tre fjärdedelar av dessa var fossilbaserade (Pilo, [1996]). De viktigaste officiella drivkrafterna för användning av alternativa drivmedel i USA har varit självförsörjning och lokala miljökrav men i praktiken har också jordbruksintressen spelat en stor roll (likasom i Brasilien).

Erfarenheterna av biodrivmedel i Euro-

pa är jämförelsevis blygsamma. I Tyskland och framförallt Frankrike har vissa projekt genomförts, dock begränsade till flottförsök och halvkommersiell skala. I Frankrike diskuterar man obligatoriskt inblandning av RME (rapsmetylester) i diesel och ETBE (etyltertiär butyleter) i bensin från år 2000; målen är i bägge fallen 5 procent till år 2004 och motiven är till stor del jordbrukspolitiska.

## Tillgång på biobränsle

Globala bedömningar om framtida biobränslepotentialer är i allmänhet betydligt mer översiktliga än potentialberäkningar för ett enskilt land. En aktuell studie (Hall m fl [1993]) uppskattar att biomassa idag står för ca 55 EJ/år eller 15 procent av den globala energiförsörjningen och att den framtida globala biomassepotentialen skulle kunna vara ca 5 gånger så stor. En så stor biomasseproduktion förutsätter planteringar av biomassa för energiändamål på ca 10 procent av den yta som idag är skogar, betes- och åkermark. En stor del av satsningen bedöms kunna ske i form av återbeskogning av degraderade marker (t ex eroderad mark, avverkade skogar). Uppskatningarna bygger bl a på ganska osäkra antaganden om framtida produktivitet utveckling inom jordbruket. I ett betydligt längre perspektiv måste ett kretsloppssamhälle hämta huvuddelen av sin energi från antingen biomassa eller andra former av förnybar energi.

I Sverige motsvarar den årliga skogsskörden idag cirka 150 TWh/år varav ungefär hälften används för energiändamål, den största delen för interna energibehov inom skogsindustrin (Johansson, [1996b]). Nettoprimärproduktionen i svenska skogar (stamvirke, grenar, rötter,

<sup>1</sup> Ottomotorn är den motorteknik som används för bensin. Då denna också kan användas för alkoholer används här det mer generella begreppet ottomotor i stället för bensinmotor.

Tabell 1 Olika uppskattningar om framtida biobränslepotential

Källa	År	Biomassa från Skogsbruk	Biomassa från jordbruk
Gustavsson m fl [1995]	2015	53-65 TWh/år	70 TWh
Biobränslekommissionen [1992] ”teknisk potential”	2005–2010	48-59 TWh/år	51–59TWh
Biobränslekommissionen [1992] ”praktisk potential”	2005–2010	-	15–20 TWh
Parikka [1997]	2005–2010	52-89 TWh/år <sup>a</sup>	–
LRF	2010/2030	-	15/34 TWh <sup>b</sup>
Kumm [1998]	2021	-	10–75 TWh <sup>c</sup>

a Baserat på *Skogspolitiken inför 2000-talet* (SOU 1992:76) samt Hektor m fl [1995]. Övre nivån är bruttopotential. Nedre gränsen är en ”praktisk” potential när vissa tekniska och ekonomiska restriktioner införts.

b Hämtad från Energikommissionen, bilaga 4 (SOU 1995:140).

c Data från naturvårdsverkets jordbruksstudie. Intervallet visar tydligt på hur biomassepotentialen beror på hur man prioriterar växthusfrågan i relation till andra miljöfrågor inom jordbruket.

barr etc.) motsvarar ungefär 1000 TWh/år av vilken cirka 300 TWh/år i princip skulle kunna vara tillgänglig för biomasseskörd. Produktionen från svensk åkermark motsvarar idag ett energinnehåll motsvarande 80 TWh/år. Om *Salix* (energiskog) skulle kunna odlas på hela den svenska åkerarealen, 2,8 miljoner hektar, med en produktivitet om 10 ton ts (torrsubstans)/ha, år, skulle en energimängd om 130 TWh/år erhållas. Hela denna areal kommer emellertid inte att kunna användas för energiskogsodlingar, då en dominerande del även i fortsättningen rimligen kommer att användas för livsmedelsproduktion. Utveckling av metoder för energiskogsodling förväntas å andra sidan leda till en genomsnittlig produktivitet i framtiden som är betydligt högre än 10 ton ts/ha, år.

Hur stor mängd biobränslen som kan komma till användning i framtiden bestäms av ett flertal faktorer: 1) framtida produktivitet i skogs- och jordbruk, 2) efterfrågan på livsmedel och skogsråvara till industrin, 3) betalningsförmågan på biobränslen, 4) miljömässiga restriktioner på biomassa uttaget. Beroende på antaganden om dessa faktorer varierar olika uppskattningar om framtida biomassepo-

tential som framgår av *Tabell 1*.

Potentialuppskattningarna skiljer sig också åt mellan studier som fokuserar på teknisk-ekonomiska potentialer och studier som tar stor hänsyn till andra restriktioner, t ex trögheten för att ställa om jordbruket till bioenergiproduktion. Tabellen ger vid handen att den årliga användningen av biobränslen mycket väl skulle kunna öka med åtminstone 100 TWh jämfört med användningen 1994 om en användning av biomassa får en central roll i energipolitiken genom att relevanta styrmedel införs. Detta kan jämföras med Sveriges energitillförsel 1996 som var 630 TWh (NUTEK, [1997]) varav användningen av fossila bränslen uppgick till 260 TWh. Av dessa användes ca 100 TWh i transportsektorn (Observera dock att 1 TWh fordonsbränsle ej motsvarar 1 TWh biomassa till följd av bl a stora omvandlingsförluster vid drivmedelsproduktion). Det bör också observeras att det inte alls är säkert att en svensk satsning på biodrivmedel skulle innebära att *svenska* biobränslen används, utan det är mycket möjligt att importen, åtminstone i början, kan bli dominerande. Detta påverkas bl a av den framtida utvecklingen av EUs gränsskydd; se Brandel [1996].

## Produktionskostnader för biodrivmedel

Att bedöma framtida produktionskostnader för olika bränslen, med olika råvaror och teknik, är naturligtvis svårt. Kalkyler måste utformas på grundval av pilotanläggningar och experimentella data, och hänsyn måste därför tas till förväntat utfall av pågående forskning på olika processer.

Sterner [1997] diskuterar ett flertal ingenjörsbaserade kalkyler över kostnader för biodrivmedel. Dessa kalkyler är fyllda av fallgropar eftersom antaganden om diskonteringsräntor, kapacitetsfaktorer, skala, råvarupriser, avsättning för biprodukter m m varierar kraftigt. Baserad på 4 procent real diskonteringsränta och 15 års avskrivning samt medelstora anläggningar (50 kton/år) uppskattar Sterner produktionskostnader på mellan 3,50 och 7 kr/liter bensinekvivalent bioalkohol (metanol eller etanol). För en jämförelse med bensinpriset vid pump (exkl skatt) tillkommer dessutom distributionskostnader. Osäkerheterna beror dels på osäkra råvarukostnader, dels på osäkra antaganden om effektivitet och kostnader för processer och distribution, absolutering, denaturering, tändförbättrare och emulgering (för dieslar) m m.

Johansson [1995, 1996a] bedömer att det kan vara möjligt att producera metanol från cellulosa kring år 2015 till en kostnad motsvarande 2,50–4 kronor/l bensinekvivalent. Den teknik som idag diskuteras för etanol från cellulosa, vilken ger relativt lågt drivmedelsutbyte men stora mängder biprodukter, hamnar i samma studie på kostnadsnivåer mellan 4,50 och 5 kronor per liter bensinekvivalent. Vissa amerikanska studier menar dock att man, om man lyckas öka etanolutbytet betydligt, bör kunna producera etanol från cellulosa till lika låga eller lägre kostnader än metanol; se t ex Wyman m fl [1993]. Om denna utveckling kommer att vara möjlig är idag alltför tidigt att sja om. Vad som däremot tycks klart är att

drivmedel från konventionella ettåriga grödor, till exempel RME och etanol från vete för vilka produktionsteknik finns tillgänglig, kommer att ha mycket svårt att komma ner under 4,50 kronor per liter bensinekvivalent även med mycket kraftiga sänkningar av råvarukostnaderna. För att nå denna kostnad behöver man även få avsättning för producerade foderbiprodukter, vilket skulle kunna bli svårt vid en storskalig introduktion. Vid dagens produktionskostnader för vete och raps ligger möjliga produktionskostnader för RME och etanol från vete på över 6,50 kr/l bensinekvivalent (Johansson [1995, 1996a]). Existerande jordbrukssubventioner gör dock att marknadspriset på råvaran ligger klart lägre än råvarukostnaden – detta leder naturligtvis till mer ”konkurrenskraftiga” drivmedel.

Enligt KFB [1997] är världsmarknadspriset utanför EU ca 3 kr/liter etanol (ca 4 kr/l bensin-ekvivalent). För närvarande finns en importtull på ca 1,40 kr/liter, men EU har beslutat om att denna tull skall sänkas med 35 procent den 1/7 1999. Vad som händer därefter är svårt att bedöma. Världsmarknadspriset på metanol, som idag är baserat på fossila råvaror, ligger kring ca 1 krona/liter.

## Globala miljöeffekter

De minskade (netto)utsläppen av fossilt kol är en av de mest påtagliga fördelarna med biodrivmedel, vilket dock inte betyder att de ekonomiska vinsterna skulle vara lätta att beräkna. Många studier kommer liksom Nordhaus [1991a,b, 1994] fram till att de totala kostnaderna för koldioxidutsläpp är låga 5–20 \$/ton C (1–4 öre/kg CO<sub>2</sub>)<sup>2</sup> medan andra såsom Ayres och

<sup>2</sup>Följande antaganden används genomgående: Växelkurs 8 kr/\$. Den svenska skattesatsen våren 98 är 36,5 öre/kg CO<sub>2</sub>, vilket motsvarar 86 öre per liter bensin eller 106 öre per liter diesel. 1 kg CO<sub>2</sub> ger 12/44 kg kol (Nutek, [1997]).

Walter [1991] och Cline [1992] får betydligt högre värden. Azar och Sterner [1996] kommer fram till att det kan röra sig om värden på hundratals dollar per ton C.

Den främsta orsaken till dessa stora skillnader är hur kostnader som drabbar framtida generationer hanteras. I t ex Nordhaus kalkyler förminskas alla framtida kostnader kraftigt av en hög diskonteringsränta, som bl a bygger på en positiv ren tidspreferens eller nyttodiskontering. Detta har kritiserats av många på etiska grunder, se t ex Broome [1992]. Azar och Sterner antar i stället en icke linjär (sjunkande) diskonteringsränta baserad på ingen eller mycket låg ren tidspreferens, vilket får dramatiska effekter på beräkningar som sträcker sig flera hundra år framåt. En ökning i tidshorisont från 300 till 1000 år leder i Azar och Sterner [1996] till en ungefärlig fördubbling av kostnaderna då tidspreferensen är låg (0 eller 0,1 procent per år) men orsakar nästan ingen skillnad så fort den rena tidspreferensen överstiger 1 procent.

Ett annat skäl för diskontering följer av att nyttofunktionerna antas vara marginellt avtagande, så att nyttoökningen av en extra hundralapp är mindre ju rikare man är. Ju högre ojämlikhetsaversion (eller konkavitet hos nyttofunktionen) ju högre diskonteringsränta. Om tillväxttakten i framtiden förväntas sjunka bör därmed även diskonteringsräntan sjunka. Azar och Sterner [1996] poängterar att med samma ojämlikhetsaversion som tillämpas över tiden vore det logiskt att även "räkna upp" välfärdsförlusten som drabbar de fattiga jämfört med rika (vid varje tidpunkt). Om detta görs fås ännu högre skadekostnader.

Härutöver finns stora problem med att hantera de mycket stora osäkerheter som råder för de faktiska konsekvenserna av ökad koldioxidhalt i atmosfären. Generellt kan sägas att väntevärdet av kostnaden mycket väl kan skilja sig dramatiskt från kostnaden av det mest sannolika utfallet. Vid en icke-försumbar sannolikhet

för ett katastrofalt utfall är det t ex rimligt att väntevärdet av kostnaden är betydligt högre än kostnaden av det mest sannolika utfallet. Mycket av den existerande litteraturen på området har tyvärr ignorerat detta problem och i stället fokuserat på "best-guess"-scenarier.

Ett alternativt sätt att beräkna en nivå för en kolskatt vore att utgå från IPCCs rekommendation att koldioxidutsläppen måste sänkas med 50–70 procent av dagens nivåer. Om man hypotetiskt antar att detta skulle gälla sektorsvis för alla bränslen och försöker halvera bensinförbrukningen skulle det med normalt uppskattade långsiktiga priselasticiteter på bensin (ca 0,7, se t ex Sterner m fl [1992] eller Johansson och Schipper [1997]) krävas ett bensinpris på ca 20 kr/l, vilket motsvarar en ökning av CO<sub>2</sub>-skatten med ca 5 kr/kg CO<sub>2</sub>. (Dessutom måste priset öka Realt över tiden för att motverka inkomsteffekten.) Så hög skulle bensinskatten dock aldrig behöva bli, bl a eftersom biodrivmedel skulle bli lönsamma långt före den nivån, d v s priselasticiteten på bensin är betydligt högre vid riktigt höga prisnivåer till följd av substitutionseffekter från andra bränslen.

Det är dock troligen inte kostnadseffektivt att minska utsläppen lika mycket i alla sektorer. Kostnaden för att minska koldioxidutsläppen genom att välja bio-bränslen i stället för fossila bränslen i nya investeringar för värmeproduktion bedöms t ex av Gustavsson m fl [1995] vara betydligt lägre än att välja biodrivmedel i stället för fossila drivmedel. Kostnaden för att ersätta fossila bränslen för elproduktion hamnar däremellan.

I IPCC Working Group III [1996] har en sammanställning av ett stort antal studier om kostnaderna för att minska utsläppen av koldioxid gjorts. För att uppnå en reduktion av utsläppen i USA med 20 procent till 2010 är genomsnittet av de beräknade koldioxidavgifterna \$250/ton C (men de varierar mellan \$50/ton C och \$ 330/ton C) och motsvarande avgift för

att minska utsläppen med 50 procent till 2050 är cirka \$ 400/ton C<sup>3</sup>. Värdena har beräknats med makroekonomiska modeller och det är värt att peka på vanskligheten att använda dessa för så långa tidsrymder, då stora skift i teknologin kan förekomma. Mer teknikinriktade, så kallade bottom-up, studier ger i allmänhet betydligt lägre värden på kostnaden för att minska koldioxidutsläppen.

Till följd av möjliga relativprisförändringar är det inte helt enkelt att bedöma vid vilken kolvärdering som biodrivmedel skulle vara konkurrenskraftiga, tex kan en ökad CO<sub>2</sub>-värdering leda till ökad användning av råvaror från skogsmark som substitution av råvaror inom byggande och olika typer av produkter. Om Sverige, eventuellt tillsammans med andra likasinnade länder, skulle orsaka mindre nettoutsläpp av fossilt kol skulle detta i sin tur sänka världsmarknadspriset på fossila bränslen och därmed stimulera efterfrågan i andra länder vilket därmed minskar den globala nyttan av denna reduktion. Storleken på denna "carbon leakage" är svår att kvantifiera, och mot den måste ställas "gå-före-effekter", dvs effekter som innebär att möjligheten ökar för enskilda länder att politiskt genomföra strategier för minskning av CO<sub>2</sub>-utsläppen om andra länder tidigare genomfört liknande strategier.

## Lokala och regionala miljöeffekter

Biobränslen uppfattas ofta som "rena". Vad gäller växthuseffekten stämmer detta i stort, men fordon drivna med biobränslen bidrar till lokala och regionala miljöproblem. Det mesta tyder dock på att de flesta biodrivmedel innebär en potential för att minska dessa miljöproblem jämfört med konventionella bränslen.

Den tekniska utvecklingen av personbilar har lett till att åtminstone de reglerade, men troligtvis även en stor del av de oreglerade, emissionerna minskat mycket

dramatiskt de senaste decennierna. Egebäck m fl [1997] gör dessutom en bedömning av vad som kan anses vara "tekniskt och ekonomiskt möjligt" fram till 2010 och kommer fram till att mycket kraftiga reduktioner är möjliga såväl för fordon drivna med konventionella bränslen som alkoholer och biogas.<sup>4</sup> Alkoholdrivna bilar bedöms genomgående ha lägre emissioner än bensin och diesel, både för lätta och tunga fordon, och både för 1996 års modell och för 2010.

I det följande värderas den samhällsnyttan av minskade regionala och lokala miljöeffekter vid en övergång till biodrivmedel genom att utnyttja de schablonvärden som används av Johansson [1997a], *Tabell 2*. Dessa bygger i sin tur på rekommenderade officiella värden av SIKA [1995] modifierade på grundval av Leksell och Löfgren [1995] för att separat beakta städernas centrala delar.<sup>5</sup> Att hälsoeffekterna är mycket större i städer än på landsbygden hänger naturligtvis ihop med skillnader i exponering beroende på befolkningstätheten.

Genom att multiplicera värdena i *Tabell 2* med emissionsfaktorer från Egebäck m fl [1997] för olika år kan den externa kostnaden orsakad av emissioner beräknas per kilometer för olika fordon och olika läge, vilket gjorts i Johansson [1997a]. Här presenteras endast *differensen* som uppstår mellan alkohol och fossildrivna fordon av olika kategori.

<sup>3</sup> 50 \$/ton C motsvarar 11 öre/Kg CO<sub>2</sub>. Den nuvarande svenska skatten är alltså strax över 150 \$/ton C.

<sup>4</sup> Resultaten bör ej ses som prognoser. Faktum att en utveckling är tekniskt möjlig betyder inte att den realiseras. Det krävs troligtvis ett fortsatt tryck från kunder och myndigheter.

<sup>5</sup> Johansson-Stenman och Sterner [1998] jämför dessa svenska bedömningar med ett antal utländska och kommer fram till att storleksordningen är ungefär densamma även om variationen av enskilda parametervärden är stor.

Tabell 2 Använda miljövärderingar i denna studie

	Naturskade- effekter Kr/kg	Hälsoeffekter, kr/kg utsläpp		
		Landsbygd	Stad, medel	Centrum
VOC, fossil	17	0	49	245
VOC, alkohola	0–17	0	0–49	0–245
NOx	40	0	49	245
Partiklar	0	180	904	4520

a Det existerar tusentals olika kolväten med mycket olika egenskaper. Vid en jämförelse mellan alkoholer, som metanol och etanol, och konventionella bränslen som bensin och diesel kan man normalt inte likställa dessa utsläpp. Utsläppen från alkoholfordon består till stor del av oförbränt bränsle, vilka i sig själva är tämligen harmlösa. Å andra sidan får man icke försumbara mängder aldehyder, eten, propen och butadien. Andelen av långa kolväten, polyaromater samt partiklar är låga. Vi anger den ekonomiska värderingen för alkoholfordon som ett intervall där ena extremläget utgår från att kolvätena är helt ofarliga, och det andra extremläget antar att kolvätena är ekvivalenta med kolväteutsläppen från konventionella bränslen. Vi använder sedan medelvärdet av dessa intervall i beräkningarna.

Den lokala och regionala miljövinsten av att använda alkohol till en personbil i stället för bensin är enligt *Tabell 3* alltså ca 20 öre/mil vid landsvägskörning med dagens teknologi. För stadstrafik är värdet i genomsnitt 65 öre/mil medan det i centrala lägen kan skilja 2,40 kr/mil. För årsmodell 2010 beräknas skillnaden i miljökostnad mellan alkoholbilen och den bensindrivna personbilen vara betydligt lägre. Orsaken är att även om det *relativa* utsläppsförhållandet bedöms förbli relativt konstant så kommer de *absoluta* skillnaderna att minska till följd av fortsatt teknisk utveckling (som i sin tur till stor del är en följd av förväntade successivt skärpta utsläppskrav inom EU).

För bussar och tunga lastbilar<sup>6</sup> är bilden delvis annorlunda och speciellt vid trafik i städernas centrala delar kommer det fortsatt att vara ett betydande ekonomiskt värde att köra med renare bränslen som alkoholer. För en stadsbuss med hälften av körsträckan i centrala områden blir den genomsnittliga miljövinsten för ett fordon av år 1996 ca 8 kr/mil motsvarande 2,30 kr/l (ekvivalent) diesel och av år 2010 ca 4 kr/mil, eller knappt 1,30 kr/liter (ekvivalent) diesel (energianvändningen

antas vara 3,50 liter/mil 1996 och 3 liter/mil 2010 enligt Egebäck m fl [1997]).

Det måste dock poängteras att såväl emissionsfaktorer som ekonomiska värderingar är synnerligen osäkra. Dessutom vet vi inte hur miljövärderingarna kan komma att ändras i framtiden. Högre inkomster leder till stigande värderingar om inkomstelasticiteten är positiv, vilket det mesta tyder på. Dessutom kan vi med tiden få ny kunskap, t ex om nya hälsorisker, vilket skulle kunna öka (eller eventuellt minska) våra värderingar av ren luft. Slutligen är dos-respons-funktionerna förmodligen icke-linjära. Om t ex stadsluften i framtiden blir mycket renare kanske vi kommer ner i avgasdoser som är i stort sett ofarliga, så att även marginella tillskott får mindre betydelse och följaktligen värderas lägre.

Det finns även miljöeffekter (negativa eller positiva) knutna till biomasseutvinningen: En satsning på perenna växter för bioenergiändamål tycks ha fördelar vad gäller minskat näringsläckage, ökat upp-

<sup>6</sup>Lätta lastbilar (och små bussar) intar grovt sett en mellanposition mellan tunga fordon och personbilar.

Tabell 3 Värdering av lokala/regionala miljöfördelar med alkoholdrivna fordon istället för bensin- och dieselfordon

Årsmodell	Värdering av miljöfördelar utan CO <sub>2</sub> , öre/mil		
	Landsväg	Stad Medel	Centrum
	<u>Miljöfördelar jämfört med bensindrivna personbilar</u>		
1996	20	65	240
2010	0	10	30
	<u>Miljöfördelar jämfört med dieseldrivna bussar</u>		
1996	110	340	1260
2010	70	180	630
	<u>Miljöfördelar jämfört med tunga dieseldrivna lastbilar</u>		
1996	220	620	2260
2010	120	320	910

lagring av organiskt material, minskad pesticidanvändning och ökad biodiversitet jämfört med konventionella grödor (Gustavsson m fl, [1995]). Odling av perenna grödor i vissa lokaliseringar kan innebära ett betydande ekonomiskt värde, då de bl a kan användas för att rena avloppsvatten, minska vinderosion och näringsläckage från åkermark (Börjesson, [1998]). För att skogsbränsle skall kunna utnyttjas utan betydande negativa miljöeffekter bör näringsämnen återföras till skogen, vissa mängder av skogsavfallet lämnas kvar på hyggena, liksom rötter och döda träd. Områden med stor betydelse för biodiversiteten bör undantagas helt och hållet från skogsbruk.

Det har ibland föreslagits att man bör lagra kol i stående biomassa (träd) i stället för att använda biomassa för energiändamål. I ett långsiktigt perspektiv kan man dock minska koldioxidkoncentrationen i atmosfären i större grad genom att odla biomassa för energiändamål än att odla stående biomassa för kolupplagring, se t ex Schlamadinger och Marland [1996] eller Sterner [1992]. Den huvudsakliga orsaken till detta är att koluppbindingen avtar kraftigt när träden blir gamla och når till slut en jämvikt då uppbyggnaden och nedbrytningen av biomassan balanseras.

## Sysselsättning och andra motiv

Det kanske viktigaste icke-miljörelaterade motiv som förts fram för en satsning på biodrivmedel är att det skulle skapa sysselsättning och därmed minska arbetslösheten, vilket som bekant är ett av de absolut viktigaste politiska målen i Sverige idag; ett mål som det dessutom finns i stort sett fullständig politisk enighet om. Förutom ökade skatteintäkter och lägre offentliga utgifter till arbetslöshetsersättning m m, så skulle man få positiva välfärdseffekter till följd av minskade sociala och individuella problem som är kopplade till arbetslösheten.

Det är alltså klart att om en satsning på biodrivmedel varaktigt skulle minska arbetslösheten, så vore detta en viktig nytta att beakta i en samhällsekonomisk bedömning. LRF, SSEU (Stiftelsen svensk etanolutveckling) och andra har vid upprepade tillfällen argumenterat för att så skulle vara fallet (bl a i remissvaren till Kommunikationskommitténs rapport [1996]). Reidius [1996] från LRF har i en PM redovisat en samhällsekonomisk beräkning av byggandet av en etanolfabrik och kommit fram till ett stort positivt samhällsekonomiskt netto. Den primära anledningen visar sig vid en granskning



vara följande antagande: "Arbetskraftskostnaderna har dock satts till noll, eftersom de personer som sysselsätts eljest antas vara arbetslösa" (Reidius, [1996, sid 6]). Givet detta antagande kommer han fram till ett årligt positivt netto på 39 miljoner per år vid dagens CO<sub>2</sub>-värdering om etanolen ersätter ETBE, bensin och diesel. De ej beaktade arbetskraftskostnaderna uppgår enligt Reidius till ca 200 miljoner kr per år. Skulle dessa kostnader beaktats skulle man således få ett samhälls-ekonomiskt underskott på ca 160 miljoner, i stället för ett positivt netto.

Vad vi kan se finns det dock inga hållbara argument som talar för att arbetslösheten skulle minska av en ökad satsning på biodrivmedel (annat än möjligen konjunkturrellt och lokalt). Används offentliga medel för att på något sätt subventionera biobränslen kommer antingen resurser (och därmed även sysselsättning) att tas från annan offentlig eller privat verksamhet eller så kommer en ökad upplåning att ske. Det senare kan i och för sig ha positiva sysselsättningseffekter på kort sikt men detsamma kan sägas om i stort sett all offentlig verksamhet; förmodligen finns dessutom annan offentlig verksamhet som skulle ha större kortsiktiga keynesianska effekter. Det finns dock knappast någon seriös bedömare som anser att en ökad offentlig upplåning skulle ha positiva *långsiktiga* sysselsättningseffekter.

Långsiktig arbetslöshet beror fundamentalt på att företag inte anser att det är lönsamt att anställa dem som är arbetslösa, dvs att de förväntade extra intäkterna som man skulle få till följd av en extra anställd är mindre än de förväntade ökade kostnaderna (inkl den risk som det innebär att anställa fel person etc), vilket ibland beskrivs som ett ojämviktsförhållande. Den långsiktiga ojämvikten beror på bl a lönebildningsprocessen och anpassningsförmågan hos arbetskraften<sup>7</sup>. Ingenting tyder på att dessa förhållanden påtagligt skulle ändras, eller att några andra strukturella effekter med positiva effekter för arbetslös-

heten skulle inträffa, av att en sektor särskilt gynnas på bekostnad av andra; se vidare Johansson [1997b].

Härutöver har även argument förts fram relaterade till resursknapphet, beredskapsaspekter, regionalpolitik, och handelspolitik. Att fossila bränslen är en begränsad resurs som vi till stor del konsumerar på en mycket kort tid under mänsklighetens historia (endast ett par sekel)<sup>8</sup> är visserligen sant, men problemet med detta bedöms numera oftast vara mindre än de relaterade miljöproblemen av denna konsumtion. Beredskapsskåpet är även det, i princip, välmotiverat men detta skäl tenderar dock att minska kraftigt i betydelse i andra delar av samhället, bl a avvecklas stora delar av befintliga beredskapslager av olja. Mycket tyder på att regionalpolitik helst bör vara generell och ta sikte direkt på de mest drabbade regionerna; ett direkt stöd till bioenergi är troligtvis ett ganska trubbigt instrument i detta sammanhang. Det gamla merkantilistiska argumentet att det är samhälls-ekonomiskt bra med lägre import är naturligtvis minst sagt tvivelaktigt. För övrigt är det, som redan nämnts, möjligt att biodrivmedlen i praktiken till stor del kan komma att importeras.

## Samhällsekonomi och styrmedel

De tekniska, ekologiska och marknadsmässiga osäkerheterna kring biodrivmedel är så pass stora att en fullständig samhälls-

<sup>7</sup>Det är dock inte självklart att det alltid är önskvärt att till varje pris minska den strukturella ojämvikten. T ex kan drastiskt sänkta löner för vissa låglönegrupper förmodligen innebära att den strukturella ojämvikten och därmed arbetslösheten minskar, men detta kanske inte är värt den kraftigt ökade ojämlikhet som skulle uppstå.

<sup>8</sup>Detta betyder inte att oljan "tar slut" eftersom både priset och utvinningskostnaderna naturligtvis kommer att stiga när oljan blir knapp.

Tabell 4 Samhällsekonomisk merkostnad för bioalkoholer jämfört med bensin

Merkostnaden per ersatt liter bensin beräknas för olika produktionskostnad och koldioxidvärdering. Lokala och regionala miljökostnader ej inkluderade.

Produktionskostnad Kr/l bensin-ekv <sup>a</sup>	Billig 3,50	Medel 4,80	Dyr 7,50
Dagens CO <sub>2</sub> -värdering <sup>b</sup>	1,70	2,90	5,70
Hög CO <sub>2</sub> -värdering <sup>b</sup>	-0,20	1,10	3,80

a Ekvivalent bensinpris som motsvarar etanolpriser på 2,50, 3,40 resp 5,40 kr/l; och metanolpriser på 1,90, 2,60 och 4,20 kr/l (metanolens energitäthet är lägre; ca 1,85 l behövs för att ersätta 1 l bensin jämfört med 1,4 för etanol; motsvarande värden för diesel är 2,3 l metanol resp 1,8 l etanol), se vidare Sterner (1997). Inga distributionskostnader är medtagna.

b Hög CO<sub>2</sub>-värdering motsvarar vad Kommunikationskommittén [1995] föreslår för år 2020, 2,70 kr/l bensinekv (525 \$/ton C eller 115 öre/kg CO<sub>2</sub>). Dagens CO<sub>2</sub>-värdering är 0,86 kr/l (170 \$/ton C eller 36,5 öre/kg CO<sub>2</sub>).

ekonomisk kostnads-nyttanalytisk svårigen låter sig göras. För att illustrera de mest betydande osäkerheterna i våra kalkyler kan Tabell 4 användas där vi samtidigt kan diskutera betydelsen av koldioxidvärdering, lokala miljövärden och pris på biodrivmedel (priserna motsvarar ungefär vad som diskuterats tidigare). Om vi antar att biobränsle produceras till 4,80 per liter bensinekvivalent (ca 3,40 /l etanol) och att produktionskostnaden för en liter bensin är ca 1 kr/l blir merkostnaden för biodrivmedel 3,80 (obs att vi då inte tar hänsyn till extra distributionskostnader som kan bli höga, särskilt i ett inledningsstadium). Tar vi hänsyn till dagens CO<sub>2</sub>-värdering<sup>9</sup> på nästan 90 öre/liter bensin blir merkostnaden för biodrivmedel ca 2,90 kr/l, se Tabell 4. Som jämförelse kan nämnas att dagens produktionskostnader för spannmålsbaserad etanol i Sverige ligger någonstans mellan medel och dyr i Tabell 4, se Månsson [1998] och KFB [1997].

Tar vi hänsyn till lokala och regionala miljökostnader kan dock bilden förändras. Ovan uppskattades den lokala och regionala miljövinsten av att använda alkohol i stället för diesel i stadstrafik till 2,30 kronor/liter dieselevärdant (vilket motsvarar 2,0 kronor/liter bensinekvivalent). Detta skulle indikera att biodrivmedel producerade för 3,50 kr/l (nivå billig)

skulle kunna vara konkurrenskraftig i stadstrafik även vid dagens koldioxidvärdering. Vid den högre koldioxidkostnaden skulle även kostnadsnivån 4,80 kr/l vara konkurrenskraftig. Med minskade utsläpp motsvarande årmodell 2010 blir vinsten att använda alkohol endast 1,3 kronor/liter dieselevärdant. Detta innebär att inte ens den billigaste produktionskostnaden i Tabell 4 skulle göra biodrivmedel konkurrenskraftiga vid dagens koldioxidavgift. Vi ser att det krävs en kombination av optimistiska prisprognoser och höga miljövärderingar för att biodrivmedel skall framstå som samhällsekonomiskt lönsamma jämfört med bensin och diesel.

Som jämförelse har Johansson [1998] i en studie med samma miljövärderingar gjort bedömningen att koldioxidutsläpp behöver värderas 2–3 gånger högre än idag för att biodrivmedel skall bli konkurrenskraftiga med fossila drivmedel. I den studien har även alternativa fossila drivmedel inkluderats. Dessa har samma positiva miljöegenskaper som de biomasse-

<sup>9</sup> Observera också att vi återigen antar 100 procent kolretention för biodrivmedel, vilket är en överskattning med tanke på livscykelperspektivet och dessutom problemen med s.k. "Carbon leakage".

baserade alternativen bortsett från koldioxidutsläppen.

När det gäller lämpliga styrmedel för transportsektorn vill vi poängtera ett antal generella principer inom ramen för konventionell ekonomisk teori.

1. Avgifter och skatter bör vara så nära som möjligt relaterade till den externalitet som man vill reglera. En bränsleskatt på fossila bränslen är därmed i princip ett effektivt styrmedel för att hantera växthusproblematiken, eftersom det inte spelar någon roll var och när utsläppen sker. Detta gäller dock inte lokala och regionala problem. Ett avancerat road-pricing-system är teoretiskt ett överlägset styrmedel för dessa, eftersom det kan differentieras med avseende på bl a var och när man kör, samt beroende på vilken typ av fordon man använder. Problemet med detta styrmedel är främst att det inte finns ännu i kommersiell skala, även om användbar teknik i princip redan existerar. Dessutom är det möjligt att transaktionskostnaderna med ett sådant system kan visa sig bli höga; se Johansson-Stenman och Sterner [1998]. Det är därför troligt att utsläppsnormer för nya och äldre bilar kommer att vara viktiga styrmedel även i en överskådlig framtid. Dessa kan även kombineras med ekonomiska styrmedel i form av t ex varierande försäljningsskatter eller årliga fordonsskatter beroende på miljöklass. Ett sådant system bör helst utformas för ett större område såsom EU för att påverka teknikutvecklingen i större omfattning.

2. Styrmedel bör utformas så att de ger någorlunda stabila spelregler under relativt lång tid. Samtidigt måste de vara flexibla nog att leda utvecklingen åt rätt håll och framförallt undvika inlåsning i onödigt kostsamma eller på annat vis olämpliga teknologier.

3. Styrmedel för globala miljöproblem bör om möjligt utformas i samarbete med andra länder och vara likformiga. Detta hindrar dock inte att Sverige i avvaktan på långtgående internationella överens-

kommelser kan "gå före" av t ex någon form av altruistiska skäl på nationell nivå.

4. Styrmedlen bör i princip vara intersektoriella. Det blir naturligtvis billigare att nå ett givet koldioxidmål om marginalkostnaden för ytterligare utsläppsreduktioner är lika hög i alla sektorer. Dock kan hänsyn behöva tas till det faktum att vissa verksamheter är lättare än andra att flytta utomlands, där andra styrmedel råder.

## Slutsatser och diskussion

Vi har sett att biodrivmedel har använts sedan länge i bl a Brasilien och det finns mycket praktisk erfarenhet på området även i Sverige. Tillgången på biobränslen torde också räcka till en stor del av det svenska drivmedelsbehovet om man så önskar. Produktionskostnaden synes dock även i en överskådlig framtid vara betydligt högre för biodrivmedel än för konventionella bränslen, även om den framtida tekniska utvecklingen naturligtvis är osäker. Mycket tyder dessutom på att det är mer kostnadseffektivt att ersätta så mycket som möjligt av den fossilbaserade värme- och kraftproduktionen (och naturligtvis kärnkraft vid en avveckling) med biobränslen snarare än bensin och diesel.

Utöver lägre utsläpp av fossil CO<sub>2</sub> erhålls, framförallt i stadstrafik, även lokala och regionala miljövinster som skulle kunna motivera en användning av biodrivmedel (för t ex stadsbussar). Till följd av att även fordon drivna med konventionella bränslen förväntas bli renare i framtiden kommer dock denna miljövinster med biodrivmedel troligen att minska över tiden.

Vi vet att det kan finnas olika typer av inlåsningseffekter som gör att samhälls-ekonomiskt lönsamma teknologier inte kommer fram (se t ex David [1985]), även om styrmedlen i princip är korrekt utformade utifrån konventionell ekonomisk teori (skatter motsvarar marginella externa kostnader etc). Även om sådana

inlåsningseffekter och trögheter till fördel för konventionell teknologi kan vara betydelsefulla, så betyder det inte med nödvändighet att man alltid bör subventionera nya tekniska lösningar och bränslen. I dag är det knappast primärt inlåsningseffekter som förhindrar introduktionen av biodrivmedel, utan att produktionskostnaden är för hög och/eller miljövärderingarna är för låga för samhällsekonomisk lönsamhet (utom möjligen för viss nisch användning som stadsbussar). Av avgörande betydelse för möjligheterna för biodrivmedel är att teknik för att effektivt producera drivmedel från cellulosa utvecklas.

Om vi i framtiden kommer att ta IPCCs och andras rekommendationer på större allvar, så att vi praktiskt taget kommer att avveckla all fossilbaserad energianvändning, kommer emellertid även transportsektorn att behöva anpassas till förnybara bränslen vilket kommer att innebära en betydligt högre värdering av koldioxidutsläpp. I ett sådant perspektiv kanske värme och processenergi tillgodoses av fotovoltaisk energi m m och det är tänkbart att biomassa har komparativa fördelar som källa till flytande fordonsbränsle. I det läget kan biodrivmedel tillsammans med energieffektivare fordon framstå som ett rimligt (eller i alla fall möjligt) alternativ.<sup>10</sup>

Vi bedömer därför att det i dagsläget kan vara klokare att fokusera en svensk biodrivmedelsatsning på åtgärder som främjar den tekniska utvecklingen på området, och ökar kunskapen om olika framtida alternativ, snarare än att forcera en storskalig biodrivmedelanvändning i den svenska transportsektorn. Med andra ord: Hellre stöd till forskning och utveckling av ny teknik för drivmedelsproduktion än allmänna subventioner av metanol och etanol.

## Referenser

- Alternativbränsleutredningen, [1996], *Bättre klimat, miljö och hälsa med alternativa drivmedel*, betänkande av Alternativbränsleutredningen, SOU 1996:184.
- Ayres, R U & Walter, J, [1991], "The Greenhouse Effect: Damages, Costs and Abatement", *Environmental and Resource Economics*, vol 1, s 237–270.
- Azar, C & Sterner, T, [1996], "Discounting and Distributional Considerations in the Context of Global Warming", *Ecological Economics*, vol 19, s 169–185.
- Biobränslekommissionen, [1992], Slutbetänkande: *Biobränsle för framtiden*, SOU 1992:90.
- Brandel, M, [1996], *Plan för introduktion av alternativa drivmedel*, underlag till KFBs introduktionsstrategi åt KomKom 1996.
- Broome, J, [1992], *Counting the Cost of Global Change*, The White Horse Press, Cambridge, UK.
- Börjesson, P, [1998], "Environmental Effects of Energy Crop Cultivation: Economic Valuation", accepterad för publicering i *Biomass and Bioenergy*.
- Cline, W R, [1992], *The Economics of Global Warming*, Institute of International Economics, Washington D C.
- David, P A, [1985], "Clio and the Economics of QWERTY", *American Economic Review*, 75(2), s 332–37.
- Egebäck, K-E, Ahlvik, P, Laveskog, A & Westerholm R, [1997], *Emissionsfaktorer för fordon drivna med biodrivmedel*, KFB-meddelande 1997:23, Stockholm.
- Energikommissionen, [1995], slutbetänkande: *Omställning av energisystemet*, SOU 1995:139.
- Energikommissionen, [1995], underlagsbilaga 4, *Biobränslemarknaden*, till slutbetänkande av Energikommissionen, SOU 1995:140.
- Gustavsson, L, Börjesson, P, Johansson, B & Svenningsson, P, [1995], "Reducing CO<sub>2</sub> Emissions by Substituting Biomass for Fossil Fuels", *Energy – the International Journal*, vol 20, s 1097–1113.
- Hall, D O, Rosillo-Calle, F, Williams, R H & Woods, J, [1993], "Biomass for Energy:

<sup>10</sup>Under dessa förutsättningar kan det också vara intressant att diskutera om några särskilda incitament kan behövas i inledningsskedet för en övergång från en energilösning till en annan.

- Supply Prospects”, i Johansson, T B, Kelly, H, Reddy, A K N, Williams, R H & Burnham, L, (red) *Renewable Energy. Sources for Fuels and Electricity*, Island Press, Washington D C.
- Hektor, B, Lönner, G & Parikka, M, [1995], *Trädbränslepotential i Sverige på 2000-talet – Ett uppdrag för Energikommissionen*, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för Skog-Industri-Marknad Studier, Utredningar nr 17, Uppsala.
- IPCC Working Group III, [1996], *Climate Change 1995. Economic and Social Dimension of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Johansson, B, [1995], ”Biomassebaserade energibärare för transportsektorn”, KFB-rapport 1995:11, Stockholm.
- Johansson, B, [1996a], ”Transportation Fuels from Swedish Biomass – Environmental and Cost Aspects”, *Transportation Research, part D*, vol 1, s 47–62.
- Johansson, B, [1996b], ”Will Swedish Biomass be Sufficient for Future Transportation-Fuel Demands?”, *Energy – the International Journal*, vol 21, s 1059–1069.
- Johansson, B, [1998], *The Economy of Alternative Fuels when Including the Costs of Air Pollution*, manuskript.
- Johansson, O, [1997a], ”Kan minskade hälso- och naturskadekostnader motivera en satsning på biodrivmedel?”, underlagsrapport till KFBs systemstudie. KFB-Meddelande 1997:1.
- Johansson, O, [1997b], ”Effekter på samhälls-ekonomi och sysselsättning av en snabb introduktion av biodrivmedel i den svenska transportsektorn”, bilaga 4 i KFB [1997].
- Johansson, O & Schipper, L, [1997], ”Measuring Long-Run Automobile Fuel Demand; Separate Estimations of Vehicle Stock, Mean Fuel Intensity, and Mean Annual Driving Distance”, *Journal of Transport Economics and Policy*, vol 31, s 277–92.
- Johansson-Stenman, O & Sterner, T, [1998], ”What is the Scope for Environmental Road Pricing?”, i Button, K J & Verhoef, E, (red) *Road Pricing, Traffic Congestion and the Environment: Issues of Efficiency and Social Feasibility*, Edward Elgar, Aldershot, s 150–170.
- KFB, [1997], ”Olika strategier för en introduktion av biodrivmedel till år 2002”, rapport utarbetad på regeringens uppdrag av KFB i samråd med SIKA, SNV och NUTEK. KFB-information 1997:10.
- KFB, SIKA, NUTEK, [1996], – *Underlag för bedömning av introduktion av alternativa drivmedel*, utredning utförd på uppdrag av Kommunikationskommittén (KomKom). KFB-Information 1996:13.
- Kommunikationskommittén, [1996], *Ny kurs i trafikpolitiken*, SOU 1996:26, Allmänna förlaget, Stockholm.
- Kumm, K-I, [1998], Mat eller energi? Vad skall vi producera?, föredrag vid miljöforskningsdagarna, 29–30 januari 1998, Stockholm.
- Leksell, I & Löfgren, L, [1995], ”Värdering av lokala luftföroreningseffekter – hur värdera bilavgasernas hälsoeffekter i tätorter?”, KFB-rapport, 1995:5.
- MaTS-samarbetet, [1996], ”På väg mot ett miljöanpassat transportsystem”, slutrapport från MaTS-samarbetet, Naturvårdsverket, Stockholm.
- Månsson, T, [1998], ”Rena fordon med biodrivmedel – En kunskapsöversikt”, KFB-rapport 1998:1.
- Nordhaus, W D, [1991a], ”To Slow or not to Slow: the Economics of the Greenhouse Effect”, *Economic Journal*, vol 101, s 920–937.
- Nordhaus, W D, [1991b], ”Rolling the DICE: An Optimal Transition Path for Controlling Greenhouse Gases”, *Resource and Energy Economics*, vol 15, s 27–50.
- Nordhaus, W D, [1994], *Managing the Global Commons: the Economics of Climate Change*, MIT Press, Cambridge, MA, USA.
- NUTEK, [1997], *Energiläget i siffror*.
- Parikka, M, [1997], ”Biosims - metod för uppskattning av trädbiomassa och trädbränsle i Sverige”, doktorsavhandling, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Pilo, C, [1996], *Analys av erfarenheter från introduktion av biodrivmedel*, Kommunikationsforskningsberedningen, Stockholm.
- Reidius, M, [1996], *Samhällsekonomiska konsekvenser av etanolproduktion*, PM UT-KAST 1996–05–07, LRF, Näringspolitiska sektorn.
- Schlamadinger, B & Marland, G, [1996], ”The Role of Forest and Bioenergy Strategies in

- the Global Carbon Cycle”, *Biomass and Bioenergy*, vol 10, s 275–300.
- SIKA, [1995], *Översyn av samhällsekonomiska kalkylvärden för den nationella trafikplaneringen 1994–1998*, SAMPLAN Nr: 1995:13.
- SOU 1992:76, *Skogspolitiken inför 2000-talet*, 1990 års skogspolitiska kommitté, Allmänna förlaget, Stockholm.
- Sterner, T, [1992], *Samhällsekonomiska aspekter på bioenergins konkurrenskraft*, SOU 1992:91.
- Sterner, T, [1997], *Biodrivmedel i den svenska transportsektorn: En ekonomisk analys*, KFB-Meddelande 1997:7.
- Sterner, T, Dahl, C & Franzén, M, [1992], ”Gasoline Tax Policy, Carbon Emissions and The Global Environment”, *Journal of Transport Economics and Policy*, vol 26, s 109–19.
- Wyman, C E, Bain, R L, Hinman, N D & Stevens, D J, [1993], ”Ethanol and Methanol from Cellulosic Biomass”, i Johansson, T B, Kelly, H, Reddy, A K N, Williams, R H & Burnham, L, (red), *Renewable Energy. Sources for Fuels and Electricity*, Island Press, Washington D C.
-