



# 2015



**PERSPEKTIV PÅ  
FÖRÄDLING AV  
BIORÅVARA**

**CHALMERS**

# **PERSPEKTIV PÅ FÖRÄDLING AV BIORÅVARA**

**2015**

Redaktörer  
Björn Sandén & Karin Pettersson

Göteborg 2015  
Version 2.0

E-publicerad på:

[http://www.chalmers.se/sv/styrkeomraden/energi/perspektiv\\_ny\\_teknik/](http://www.chalmers.se/sv/styrkeomraden/energi/perspektiv_ny_teknik/)

Layout: BOID

Utgiven av: Chalmers  
ISBN 978-91-88041-04-3

# FÖRORD

## **MÖJLIGHETER OCH UTMANINGAR MED PRODUKTION AV KEMIKALIER, MATERIAL OCH BRÄNSLEN FRÅN SKOG OCH JORDBRUK**

Kol, olja och naturgas utgör en ändlig resurs som vid förbränning ger koldioxidutsläpp som i sin tur leder till klimatförändringar. En övergång från fossila råvaror till bioråvaror skulle möjliggöra en uthållig produktion och användning av kolbaserade material, kemikalier och bränslen. Men användning av mer bioråvara och införandet av nya förädlingsmetoder är inte utan risker och problem. Det finns många frågor som kräver svar. Vad ska vi använda våra begränsade bioresurser till? Konkurrerar produktion av biobränslen och biomaterial med matproduktion? Hur förädlas råvarorna bäst? Kan bioraffinaderier integreras i befintliga industrier och vilka politiska styrmedel krävs för att förverkliga framtidens bioraffinaderier?

Det saknas enkla och slutgiltiga svar på dessa och andra viktiga frågor. Däremot kan vi studera förädling av bioråvara från olika perspektiv. På så vis kan vi få värdefulla och kompletterande pusselbitar som var och en bidrar till en tydligare helhetsbild.

Perspektiv på förädling av bioråvara är en levande e-bok med regelbundna uppdateringar. Du kanske också vill läsa böckerna [Perspektiv på förnybar el](#) och [Perspektiv på eldrivna fordon](#).

**Björn Sandén**  
**Karin Pettersson**  
Göteborg



# INNEHÅLL

1. INTRODUKTION .....	6
2. VAD ÄR ETT BIORAFFINADERI? .....	8
3. HUR MYCKET BIOPRODUKTER BEHÖVS? .....	10
4. HUR MYCKET BIOMASSA FINNS DET? .....	12
5. HUR PÅVERKAR BIOENERGI MATPRISER OCH FATTIGA BÖNDERS RÄTT TILL SIN MARK?.....	14
6. MER ÄN BARA PAPPER .....	16
7. KOLDIOXIDAVSKILJNING INOM EUROPEISK MASSA- OCH PAPPERSINDUSTRI .....	18
8. VAR SKA MAN BYGGA FRAMTIDENS BIORAFFINADERIER? .....	20
9. HUR KAN EFFEKTIVITET MÄTAS I ETT BIORAFFINADERI? .....	22
10. HUR MYCKET KAN BIODRIVMEDEL MINSKA UTSLÄPPEN AV VÄXTHUSGASER? .....	24
11. EKONOMISKT VÄRDE OCH KLIMATNYTTA AV VÄRMELEVERANSER .....	26
12. POLITISKA ÅTGÄRDER FÖR FRAMTIDENS FÖRNYBARA DRIVMEDEL.....	28

# 1

## INTRODUKTION

**Björn Sandén**

**Fredrik Hedenus**

**Institutionen för Energi och miljö, Chalmers\***

\* Avdelningen för miljösystemanalys (B. Sandén), Avdelningen för fysisk resursteori (F. Hedenus)

En liten del, ungefär en halv promille, av solenergin som årligen når jordytan, används i fotosyntesen för att slå ihop koldioxid och vatten och bilda växter. Denna bioråvara, eller "biomassa", har i form av mat alltid utgjort grunden för människans existens. Efter att människan började utnyttja elden och enkla verktyg för några hundra tusen år sedan har bioråvaran även använts som energi- och materialresurs. Jordbruksrevolutionen, det vill säga övergången från att samla in växter och jaga till att bruka jorden och odla fram det växtmaterial man ville ha, har under de senaste fem tusen åren lett till en snabb ökning av världens befolkning och till att människan nu kontrollerar världens landtyor och en stor del av fotosyntesen på jorden.

Under 1700-talet blev mark och trä knappa resurser och fossila bränslen började användas, det vill säga gammal biomassa som under miljontals år omvandlats till kol, olja och naturgas. Denna förändring var avgörande för den industriella revolutionen. Fossila bränslen möjliggjorde en mångfalt större energianvändning och stimulerade masskonsumtion av produkter baserade på nya material som plast.

Med nuvarande utvinningstakt kommer många oljekällor att sina under de närmaste decennierna. Samtidigt skapar utvinning, transport och förbränning av fossila bränslen en mängd lokala och globala miljöproblem, framförallt klimatförändringar på grund av utsläpp av koldioxid. En övergång till ett klimatneutralt samhälle som är mindre beroende av ändliga resurser kommer att kräva en återgång från fossila till förnybara energikällor och material.

Energi kan utvinnas från många förnybara källor (se [Perspektiv på förnybar el](#)), men biomassa är för närvarande den enda ekonomiskt konkurrenskraftiga alternativet för att fånga kolatomerna i atmosfären för användning i material och energibärare. Därför kan vi förvänta oss en enorm efterfrågan på biomassa till användningsområden som idag är beroende av kol, olja och naturgas. *Kapitel 3* i denna bok ger en översikt över biobaserade produkter som skulle kunna ersätta bränslen, material och kemikalier baserade på fossila bränslen.

Att ersätta fossil råvara med bioråvara är en mycket stor utmaning med tanke på att vi redan använder mycket av jordens biomassa och att fossila bränslen utgör

grunden för det industrisamhälle som vuxit fram. I *kapitel 4* diskuteras hur mycket biomassa vi skulle kunna använda i framtiden och vilka faktorer som påverkar utrymmet. Det har skett en snabb ökning av användningen av biomassa under de senaste åren, framförallt för energiändamål. *Kapitel 5* beskriver hur denna utveckling påverkat matpriser och fattiga bönders situation.

Anläggningar där bioråvaran förädlas till olika produkter kan kallas bioraffinaderier. *Kapitel 2* diskuterar begreppet "bioraffinaderi" och tar upp några nya tekniker som kan användas för att förädla biomassa. Att bygga bioraffinaderier i anslutning till redan befintlig industri kan ha flera fördelar. *Kapitlen 6–8* ger exempel på hur nya bioraffinaderikoncept kan integreras i befintlig industri, till exempel massa- och pappersindustrin. Att utvärdera och jämföra olika sätt att använda bioråvara är viktigt för att kunna uppnå ett effektivt utnyttjande av denna begränsade resurs. *Kapitlen 9–11* diskuterar bedömningar av energieffektivitet, lönsamhet och klimatnytta för bioraffinaderier och hur dessa beror av en rad olika faktorer. Det är inte helt enkelt att ge entydiga svar gällande hur vi bäst ska utnyttja bioråvaran för att till exempel minska utsläppen av växthusgaser i så stor utsträckning som möjligt.

Flera tekniker som kan användas i framtidens bioraffinaderier är under utveckling. För att företag ska våga investera och bygga stora anläggningar baserade på ny teknik behöver olika typer av risker hanteras. I *kapitel 12* diskuteras hur politiska åtgärder kan minska riskerna och driva på utvecklingen.

# 2

## VAD ÄR ETT BIORAFFINADERI?

**Thore Berntsson**  
**Björn Sandén**

**Institutionen för Energi och miljö, Chalmers\***

**Lisbeth Olsson**

**Institutionen för Biologi och bioteknik, Chalmers\*\***

**Anders Åsblad**

**Chalmers Industriteknik**

\* Avdelningen för värmeteknik och maskinlära (T. Bengtsson), Avdelningen för miljösystemanalys (B. Sandén)

\*\*Avdelningen för Industriell bioteknik

Biomassa är en resurs i Sverige och i många andra länder, som under den senaste 15-årsperioden fått en allt ökande uppmärksamhet som en av de möjligheter som finns för att minska vår klimatpåverkan. Orsaken är att biomassa i princip anses ha nollutsläpp av koldioxid, eftersom ett träd eller en gröda under sin livstid tar upp lika mycket koldioxid som släpps ut vid användningen. En övergång från användning av fossila råvaror och bränslen till biomassabaserade är därför en klimatmässigt viktig åtgärd.

Begreppet bioraffinaderi började användas för cirka 15–20 år sedan för en process eller del av industriell process för omvandling av biomassa till produkter som tidigare varit fossilbaserade. Begreppet kommer från oljeindustrin, där ju raffinaderi står för de processanläggningar som tillverkar raffinerade produkter från råolja. Men ett bioraffinaderi är inte begränsat till de typer av processer som finns i ett oljeraffinaderi, utan betecknar alla typer av förädlings- eller omvandlingsprocesser som kan användas för att upparbeta biomassa till en användbar produkt. Dock brukar man i definitionen för ett bioraffinaderi också lägga in att det ska vara något nytt, alltså inte bara produkter som traditionellt produceras från bioråvara som papper, el och värme.

Vår medvetenhet kring fossila bränslen klimatpåverkan är inte det enda som lett till det ökade intresset för bioraffinaderier. En annan drivkraft har varit massa- och pappersindustrins behov av att försöka identifiera fler och mer värdefulla produkter än massa och papper för att möta en allt starkare konkurrens från till exempel Sydamerika och Sydostasien. Sedan dess har värdet, både ekonomiskt och klimatmässigt, av att använda biomassa i ökad utsträckning identifierats i flera andra industrityper, energiverk, större jordbruk och så vidare. En ytterligare drivkraft har



varit möjligheterna att använda skogsavfall och annat avfall för uppgradering och därmed öka biomassaanvändningen. Idag har detta utvecklats till att vi, till exempel inom EU och i många andra länder, vill gå mot en biobaserad ekonomi. Det innebär att samhället på många områden ska dra nytta av de ekonomiska och klimatmässiga möjligheterna som en kraftigt ökad biomassaanvändning kan åstadkomma. I en biobaserad ekonomi är olika former av bioraffinaderier centrala delar.

Biomassa kan ersätta fossila bränslen i många sammanhang, framförallt för framställning av el, drivmedel, material och/eller kemikalier. Man kan säga, förenklat, att intresset har gått från att göra el av biomassa, till att göra drivmedel, till material och kemikalier, till en successivt ökad förståelse för att biomassa kan användas för alla dessa ändamål, där till exempel de lokala förutsättningarna avgör användningsområdet. I många sammanhang är det möjligt att producera en eller flera av dessa produkter i samma anläggning, ofta tillsammans med traditionella biomassa- eller fossilbaserade produkter.

I princip kan alla slag av biomassa användas i ett bioraffinaderi. Biomassa i form av skog används idag mestadels för produktion av olika produkter inom trävaruindustrin och massa- och pappersindustrin samt för produktion av värme och el. Biomassa från jordbruket används till allra största del för att producera mat, men under de senaste åren har till exempel drivmedel som etanol och biodiesel börjat produceras från olika jordbruksgrödor både i Sverige och i andra länder.

Två olika tekniker dominerar utvecklingen av framtidens bioraffinaderier; förgasning och fermentering. I förgasning omvandlas biomassa till en gas som kallas syntesgas. Den kan sedan omvandlas till olika produkter, till exempel drivmedel (som metanol, metan och syntetisk diesel) eller material (till exempel plaster). Förgasningsanläggningar behöver i de flesta fall vara väldigt stora för att bli lönsamma. Det finns flera pilot- och demonstrationsanläggningar med biomassaförgasning, men ännu ingen riktig anläggning i full skala. Vid fermentering, alltså jäsning, av biomassa produceras till exempel etanol, som kan användas som drivmedel eller vidareförädlas till plaster, kemikalier eller annat.

Det finns ofta stora fördelar både ekonomiskt och ur energianvändningssynpunkt med att integrera ett bioraffinaderi med en processindustri eller ett fjärrvärmesystem. Massa- och pappersindustrin, oljeraffinaderier, kemisk/petrokemisk industri samt järn- och stålindustrin har alla omfattande utvecklingsprogram för att introducera olika typer av bioraffinaderier i framtiden.

# 3

## HUR MYCKET BIOPRODUKTER BEHÖVS?

**Matty Janssen**  
Institutionen för Energi och miljö, Chalmers\*

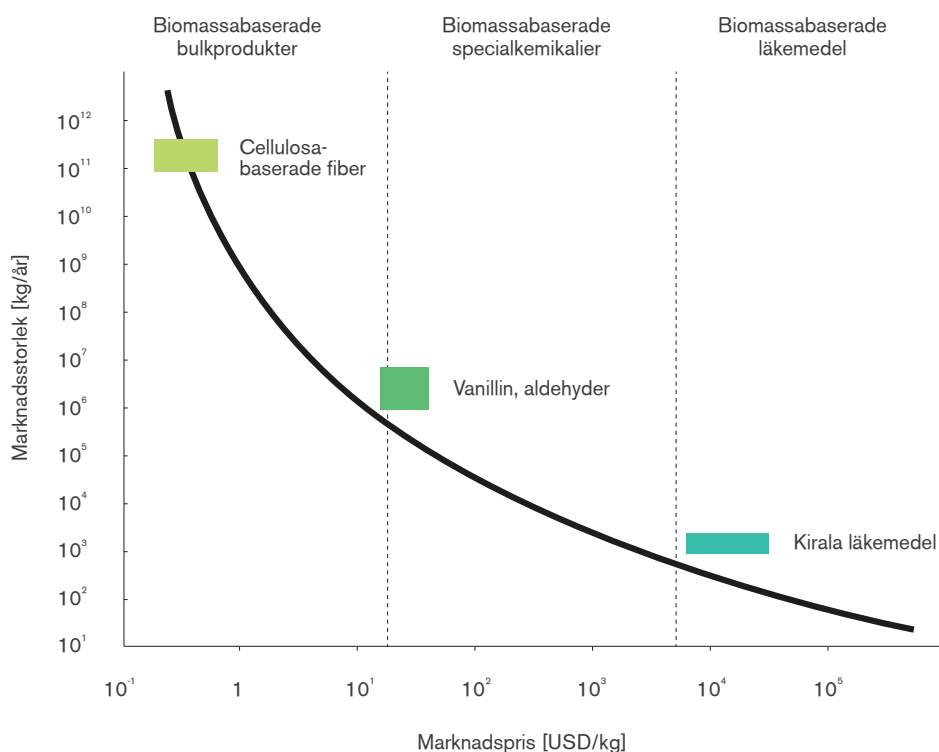
\* Avdelningen för miljösystemanalys

Många av de produkter som vi använder dagligen är producerade från icke-förnybara råvaror som olja och naturgas. Vi har under de senaste decennierna blivit alltmer medvetna om de miljöproblem som användningen av dessa råvaror kan orsaka, till exempel den globala uppvärmningen. Några petrokemiska företag, som till exempel producerar olika plaster, har därför tagit initiativ till att byta från olja som den viktigaste råvaran till biomassa. Skogsindustriföretag använder redan bioråvara (trä) för att producera papper, men de kan även använda den för att tillverka andra produkter. Syftet med ett bioraffinaderi är att omvandla biomassa till produkter som bränslen, kemikalier och material. Petrokemiska företag kan använda bioraffinaderier för att ersätta sina nuvarande fossilbaserade produkter genom att göra exakt samma produkter fast från biomassa och på så sätt bli mer miljövänliga. Skogsindustriföretag kan använda bioraffinaderier för att tillverka fler gröna produkter och på så sätt bli mer lönsamma.

Ett bioraffinaderi kan producera många olika typer av produkter. För vissa produkter som vi använder i väldigt stor omfattning, exempelvis drivmedel till våra bilar, finns det en mycket stor marknad. För andra produkter, till exempel sockerersättningsmedlet xylitol, är marknaden betydligt mindre. Generellt så kan man säga att ju större marknaden för en produkt är, desto lägre är priset. I Figur 3.1 visas några exempel på produkter med ett lågt pris men hög efterfrågan (bulkprodukter) och produkter med ett högre pris men lägre efterfrågan (specialkemikalier och läkemedel).

Olika typer av energiprodukter, som drivmedel, el och värme, är de viktigaste produkterna som framställs av biomassa. Biodrivmedel, som bioetanol och biodiesel, är för närvarande de vanligaste produkterna som produceras i bioraffinaderier. Andra bioenergiprodukter såsom träpellets används för att producera värme och el. Nästan 25 procent av all energi som används i Sverige är framställd av biomassa och andelen fortsätter att öka.

Ett bioraffinaderi kan producera kemikalier som används som grund för framställning av andra kemikalier. Sådana kemikalier kallas plattformskemikalier. Ett exempel som har fått mycket uppmärksamhet är bioetanol. Bioetanol kan alltså användas både som drivmedel och som en plattformskemikalie. Bioetanol kan omvandlas till bioeten som används för att producera biopolyeten, en av de mest använda plasterna i världen. Vi kan alltså använda ett bioraffinaderi för att producera mer miljövänliga plastpåsar.



**Figur 3.1:** Olika typer av bioprodukter med olika marknadsstorlekar och priser.

Bioraffinaderier kan också producera kemikalier med ett högt värde, som kemikalier med ett medicinskt värde. Sådana kemikalier har under en lång tid utvunnits ur biomassa. Kemikalier som främjar hälsan (nutraceuticals) kan också produceras från biomassa. Ett exempel på detta är redan nämnda xylitol.

Förutom plaster finns det också andra material som kan produceras i ett bioraffinaderi. Ett exempel är så kallade biokompositer, som är en blandning av fibrer och plast. Södra, som är en av de stora producenterna av pappersmassa i Sverige, tillverkar något som kallas DuraPulp som används bland annat för att göra lampor.

Ett bioraffinaderi kan tillverka många olika typer av produkter, och företagen måste noga överväga vilken marknad de vill fokusera på. Inte bara de ekonomiska aspekterna utan även de miljömässiga aspekterna av att producera bioraffinaderiprodukter måste bedömas för att säkerställa att de är lönsamma och miljövänligare än deras fossila motsvarigheter.

# 4

## HUR MYCKET BIOMASSA FINNS DET?

**Göran Berndes**  
Institutionen för Energi och miljö, Chalmers\*

\* Avdelningen för fysisk resursteori

Många olika sorters biomassa kan användas som råvara för bioraffinaderier, exempelvis trä från skogen och olika slags växter från jordbruket. Man kan också använda biomassa som vanligtvis betraktas som avfall eller restprodukter, exempelvis halm och träavfall från husbyggen. Det är viktigt att få en ungefärlig uppfattning om hur mycket biomassa som man kan använda i framtiden, så att vi inte först satsar en massa pengar och tid på att utveckla tekniker för produktion av biomassabaserade produkter och senare upptäcker att det inte finns tillräckligt mycket biomassa att använda som råvara.

Det finns många olika saker som påverkar hur mycket biomassa vi kan använda i bioraffinaderier i framtiden. Dels beror det på hur mycket biomassa vi behöver för mat och andra "traditionella" produkter som tidningspapper, kartonger och kläder (fast en del av de här produkterna kan produceras i bioraffinaderier som samtidigt producerar andra nya sorters produkter). Dels beror det på hur mycket biomassa vi kan producera totalt. Det beror i sin tur på förutsättningarna för biomassaproduktion – alltså sol, regn, om jorden är bördig, om man kan ha konstbevattning, etc. – och på om vi vill använda vissa områden för biomassaproduktion eller inte. Till exempel, om vi vill bevara regnskogar som naturskogor så kan man förstås inte ha en trädplantage där.

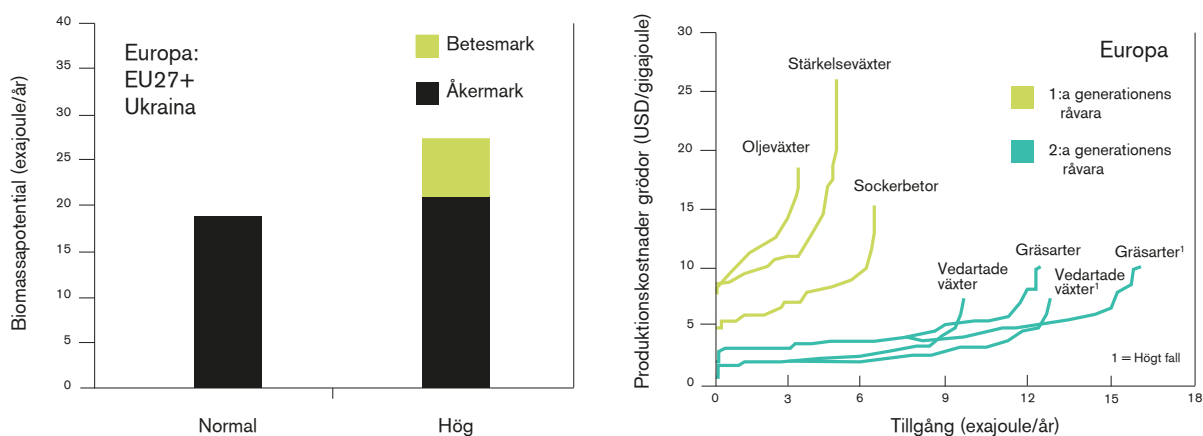
Det går alltså inte att ge ett exakt svar på hur mycket biomassa vi kan använda i bioraffinaderier, eftersom det beror på olika val som vi människor gör. Exempelvis, om många människor väljer att äta mindre kött behövs det mindre mark för världens matförsörjning och därmed finns mer utrymme för produktion av biomassa för bioraffinaderier. Vi kan minska förlusterna i matproduktionen och också ta bättre vara på maten (överbliven middagsmat blir en god lunch dagen efter), och vi kan som sagt ta vara på organiskt avfall genom att använda det som råvara i bioraffinaderier. Sådana här val kan öka utrymmet för bioraffinaderier.

Om man väljer att satsa mer på ekologisk mat så kräver detta som regel mer utrymme och därmed får vi mindre utrymme för att producera biomassa för bioraffinaderier. Om vi istället utvecklar jordbruket så att vi får större skördar krävs det mindre jordbruksmark för att producera en given mängd mat. Fast samtidigt behöver vi se till att jordbruket inte släpper ut mer bekämpningsmedel och gödningsämnen till naturen runtomkring och orsakar skador.

Det handlar alltså ibland om att man behöver prioritera mellan olika saker, bestämma sig för vad som är viktigast. Fast många gånger går det att hitta smarta lösningar som möter flera behov samtidigt. Till exempel om man producerar biomassa i så kallade buffertzoner längs vattendrag som tar upp gödningsämnen så kan man producera biomassa och samtidigt minska negativa effekter av växt-näringsläckage från jordbruket.

Man kan använda datormodeller i kombination med scenarier över världens utveckling (inklusive till exempel klimatförändringar) för att studera hur mycket biomassa vi kan använda i bioraffinaderier i framtiden. Sådana studier ger oss kunskaper om hur våra egna val och hur utvecklingen inom jord- och skogsbruket påverkar hur mycket vi kan producera av olika slags biomassabaserade produkter. Figur 4.1 visar exempel på uppskattningar av hur mycket biomassa för bioraffinaderier som skulle kunna produceras i det europeiska jordbruket.

Kort kan man säga att avfall och restprodukter kan ge ett viktigt bidrag, men om biomassabaserade produkter skall bli ett viktigt alternativ till fossilbaserade produkter (speciellt fordonsbränslen och bränslen för att producera el och värme), då måste vi sannolikt hämta betydligt mer biomassa ur skogarna än vi gör idag och dessutom måste vi ta stora ytor i anspråk för odling av olika slags bioenergiogrödor. Möjligheten att göra detta beror mycket på vilken sorts mat vi äter och hur matproduktionen ser ut i framtiden.



**Figur 4.1** Exempel på modellbaserade uppskattningar av hur mycket biomassa för bioraffinaderier som skulle kunna produceras i det europeiska jordbruket runt år 2030. Som jämförelse så användes ungefär 39 exajoule (1 exajoule =  $10^{18}$  joule) olja i Europa år 2011. Hänsyn har tagits till behovet att sätta av mark för naturskydd och också infrastruktur som vägar, byggnader och annat. Figuren till höger visar hur mycket av olika sorters växter som man skulle kunna odla till vissa kostnader.



# 5

## HUR PÅVERKAR BIOENERGI MATPRISER OCH FATTIGA BÖNDERS RÄTT TILL SIN MARK?

**Martin Persson**  
Institutionen för Energi och miljö, Chalmers\*

\* Avdelningen för fysisk resursteori

Att ersätta fossila bränslen med bioenergi är ett av de billigaste sätten att minska utsläppen av växthusgaser och påverkan på klimatet. Användningen av bioenergi för att producera el, värme och transportbränslen har därför ökat snabbt de senaste åren i många länder, även i Sverige. Denna ökning har samtidigt kritiserats för att bidra till att priset på livsmedel har ökat och att fattiga människor körts bort från den mark de brukar, för att ge plats åt bioenergiodlingar. Det har också visat sig att de positiva effekter som politiker hade hoppats att bioenergi skulle ha på jobb och sysselsättning antagligen är mindre än väntat.

År 2007–2008 ökade priserna på basvaror som majs, vete och ris dramatiskt i världen, vilket drabbade många fattiga länder hårt. Så mycket som 100–200 miljoner människor i utvecklingsländer hölls kvar i fattigdom och fler gick hungriga på grund av att de inte hade råd att köpa mat. Nära hälften av den globala prisökningen på matvaror kan ha berott på att rika länder använde jordbruksmark för att producera bränslen för att ersätta bensin och diesel istället för att producera mat. Idag går omkring en tredjedel av USAs hela majsproduktion och nära två tredjedelar av EUs hela produktion av rapsolja till tillverkning av biodrivmedel (majsetanol och biodiesel). Även om man skulle begränsa hur mycket matgrödor som går till att producera biodrivmedel, vilket EU föreslagit, så skulle matpriser ändå påverkas eftersom andra energigrödor också skulle göra att mindre mark finns att tillgå för att producera mat.

Den ökade efterfrågan på jordbruksmark för att odla bioenergi har också lett till att stora landområden i fattiga länder köpts upp eller arrenderats ut. Totalt uppskattas att 200 miljoner hektar mark – nära fem gånger Sveriges hela yta – har köpts upp eller arrenderats ut i fattiga länder under perioden 2000–2010. I teorin skulle det kunna bidra till att utveckla jordbruket i syd och leda till högre skördar och inkomster. I verkligheten har resultatet allt som oftast blivit att småbönder har körts bort från sina marker och hem utan att på något sätt kompenseras. Det beror på att många bönder i fattiga länder saknar formell äganderätt till sin mark och att regeringar har sett mer till rika investerares intressen än till fattiga bönders.

Om bioenergi skall utgöra en viktig del av lösningen på klimatfrågan måste vi i framtiden vara betydligt mer försiktiga med hur och var vi ökar produktionen av bioenergi. Genom att fokusera på användningen av olika restprodukter, till exempel från jordbruk och skogsbruk, så kan vi minska den konkurrens om mark som leder till ökade matpriser. Vi behöver också förbättra lagstiftningen kring småbönders rätt till den mark de brukar och bidra med ekonomiskt stöd och kunskap så att de kan öka produktionen och faktiskt tjäna på att efterfrågan på jordbruksvaror ökar. Genom att minska efterfrågan på jordbruksmark – till exempel genom att minska matsvinnet och äta mindre kött – så kan vi också frigöra mark för att producera bioenergi utan negativa effekter.

# 6

## MER ÄN BARA PAPPER

**Karin Pettersson**  
**Maryam Mahmoudkhani**  
**Institutionen för Energi och miljö, Chalmers\***

**Anna von Schenck**  
**Affärsområde Biorefining, Innventia**

\* Avdelningen för värmeteknik och maskinlära

Massa- och pappersindustrin i Sverige har mött en rad olika utmaningar under senare år, som ökade energi- och råvarupriser, ökad konkurrens från andra länder och minskad efterfrågan på vissa produkter, däribland tidningspapper. Att övergå till att bli bioraffinaderier, och förutom pappersmassa och papper producera en rad andra värdefulla produkter från biomassa, är en möjlighet, kanske rentav en nödvändighet, för att massa- och pappersindustrin i Sverige ska överleva.

Massa- och pappersbruk är redan idag bioraffinaderier genom att de producerar flera värdefulla produkter, som papper och el från biomassa. Men om man i definitionen för ett bioraffinaderi också lägger in att det ska vara något nytt, så faller merparten av bruken utanför definitionen för vad ett bioraffinaderi är.

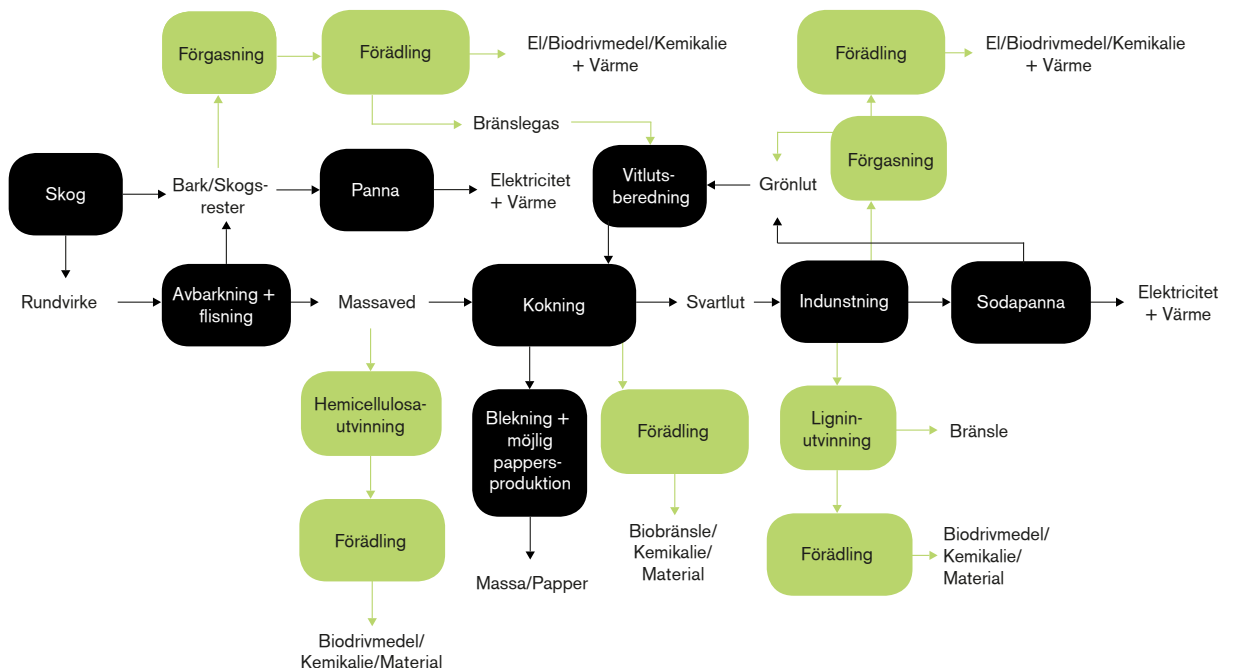
Det vanligaste sättet att framställa pappersmassa är att koka ved i en kemikalie-lösning, genom den så kallade sulfatprocessen. På det viset separeras cellulosa-fibrerna från det vedämne, lignin, som fungerar som kitt mellan fibrerna. Fibrerna behandlas vidare till pappersmassa, som sedan vidareförädlas till papper. Kemika-lierna och ligninet bildar tillsammans en vätska som kallas svartlut. Idag förbränns svartluten i en så kallad sodapanna för att återvinna kemikalierna och utvinna energi för produktion av el och ånga till brukets processer.

Svartlutsförgasning är en alternativ teknik till sodapannan för energi- och kemi-kalieåtervinning, som gör det möjligt att tillverka olika drivmedel som kan ersätta bensin och diesel. Andra möjligheter att förändra processen är att lösa ut ligninet ur svartluten, för att tillverka olika material eller kemikalier. Cellulosan, som är det som slutligen utgör pappret, kan också användas till andra produkter som till exem-pel etanol eller viskos till kläder. Figur 6.1 visar möjligheter för nya tekniker (gröna lådor) och produkter som kompletterar den befintliga processen (svarta lådor).

Det finns flera fördelar med att lokalisera ett bioraffinaderi vid ett massa- och pappersbruk. Industrin har lång erfarenhet av att hantera stora mängder biomassa och det finns goda möjligheter att utbyta värme mellan brukets processer och den nya bioomvandlingsprocessen, vilket ger en energieffektiv produktion. Redan i dag utnyttjar bruken hela trädet; det som inte hamnar i pappret utnyttjas för att producera el och ånga till brukets processer. Om bruken börjar tillverka andra produkter från exempelvis delar av svartluten, så innebär det mindre el och ånga. Då måste bortfallet kompenseras genom att köpa in mer bränsle. Men om bruket samtidigt effektiviserar så att de minskar sitt behov av ånga och el, så kan behovet av att köpa in mer bränsle minskas.

Den svenska massa- och pappersindustrin står för mer än 10 procent av svensk export och har ungefär 23 000 anställda. I många små- och medelstora orter är massa- eller pappersbruket en av de största arbetsplatserna. Ur ett svenskt perspektiv är massa- och pappersindustrin en central aktör när man pratar om bioraffinaderier och gröna produkter. Då vissa andra länder har lägre kostnader för bland annat bioråvara och arbetskraft är det viktigt för den svenska industrin att ligga i framkant i utvecklingen mot bioraffinaderier.

Marknaden för vissa produkter, framför allt drivmedel, är mycket stor medan andra produkter, som vissa speciella material eller kemikalier, har en mycket begränsad marknad. Det kan i vissa fall räcka att ett eller två bruk producerar en produkt för att hela världens behov ska täckas. Det skulle därför kunna bli så att massa- och pappersbruk går från att idag se relativt lika ut, med huvudsaklig produktion av papper och el, till att i framtiden fokusera på olika produkter. Vissa bruk kanske inte längre kommer att producera något papper utan enbart andra produkter.



**Figur 6.1** Exempel på nya bioomvandlingstekniker (gröna lådor) som kan byggas till ett befintligt sulfatmassabruk (svarta lådor).

# 7

## KOLDIOXIDAVSKILJNING INOM EUROPEISK MASSA- OCH PAPPERSINDUSTRI

**Johanna Jönsson/Mossberg**

**Energiteknik, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut\***

**Jan Kjärstad**

**Mikael Odenberger**

**Institutionen för Energi och miljö, Chalmers\*\***

\* Sektionen för Systemanalys

\*\* Avdelningen för energiteknik

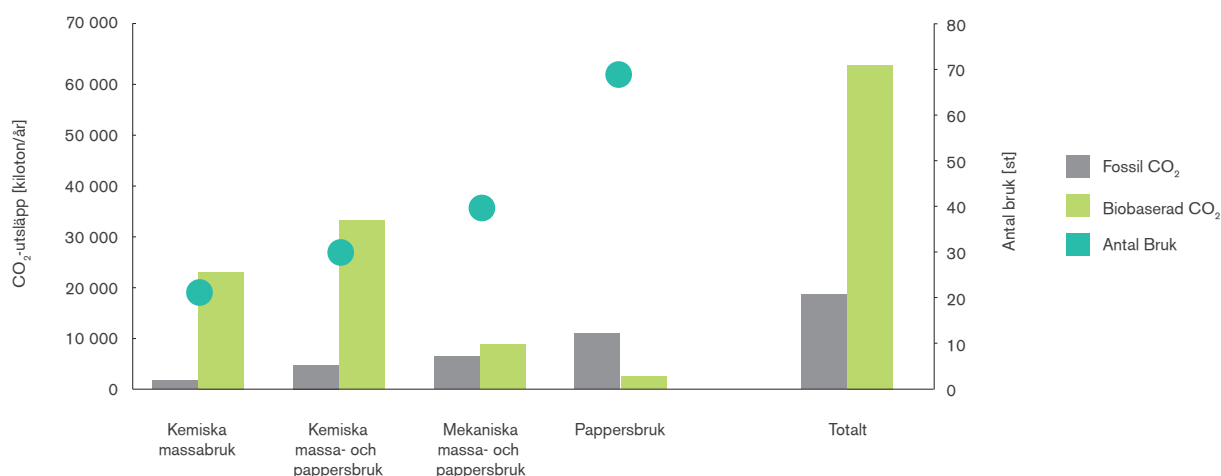
Förbränningen av bränslen, både fossila och biobaserade, är den största källan till koldioxidutsläpp i världen. Ett sätt att minska utsläppen av koldioxid är således att minska användningen av bränslen. Ett annat är att "fånga in" och "stoppa tillbaka" koldioxiden i marken, så kallad koldioxidavskiljning och lagring. Koldioxidavskiljning innebär att man separerar ut koldioxiden från övriga beståndsdelar i en gas, vanligtvis från rökgaserna som bildas vid förbränningen av bränslen. Avskild koldioxid kan sedan lagras, antingen i bergformationer under mark eller på havsbotten. Då tekniken för att avskilja koldioxid och infrastruktur för transport och lagring är dyr behövs det stora volymer av koldioxidrika flöden för att få tekniken lönsam. Man kan därför förvänta sig att infrastrukturen först byggs upp kring platser där det finns mycket koldioxid, så kallade "utsläppskluster". Koldioxidavskiljning och lagring är ännu inte kommersiellt i stor skala men det är en av de tekniker som kommer att krävas för att begränsa mängden koldioxid i atmosfären om vi inte drastiskt minskar användningen av bränslen. Eftersom tekniken innebär att man kan "stoppa tillbaka" koldioxid är det också den enda teknik som har potential att på lång sikt *minska* mängden koldioxid i atmosfären.

Massa- och pappersindustrin har stora utsläpp av koldioxid koncentrerade till ett begränsat antal geografiska platser. Det gör att massa- och pappersbruk lämpar sig väl för koldioxidavskiljning. Bruken har dessutom ofta överskottsenergi som kan användas för att göra avskiljningsprocessen energieffektiv. I en fallstudie har utsläppen från den europeiska massa- och pappersindustrin kartlagts och



analyseras för att se hur de förhåller sig till andra stora punktutsläpp i Europa, såsom utsläppen från produktion av el och värme och annan industri. Syftet med analysen var att se hur stor andel av bruken som befinner sig i utsläppstäta områden. Studien visar också hur nära det är till möjliga lagringsplatser. Det är bra att veta då det är rimligt att anta att infrastrukturen för transport och lagring av koldioxid i första hand kommer att byggas ut för områden med mycket höga utsläpp nära möjliga lagringsplatser.

De samlade koldioxidutsläppen för de bruk som utgör fallstudien presenteras i Figur 7.1 (merparten av utsläppen är med i studien). Som man kan se i figuren kommer större delen av utsläppen från biomassa. Det gäller särskilt hos de kemiska bruken som står för cirka 75 procent av de totala utsläppen. För att det i framtiden ska vara aktuellt att bygga anläggningar för att avskilja koldioxid från rökgaser som kommer från förbränning av biobränslen måste företagen få ersättning för att göra det. Något ersättningssystem finns dock inte idag.



**Figur 7.1.** Fossila och biobaserade utsläpp av koldioxid (CO<sub>2</sub>) för bruken som ingår i fallstudien (uppdelat på typ av bruk till vänster och totalt till höger), samt antalet bruk utsläppen är fördelade på för varje typ av bruk (mörkgröna cirklar, se skala på höger y-axel).

Fallstudien visar att merparten av utsläppen från Europas massa- och pappersindustri är koncentrerade till de kemiska bruken som finns kring Östersjön, framför allt i Sverige och Finland. Detta är långt ifrån de större utsläppsklustren i Centraleuropa, som framför allt skapas av fossila utsläpp från energisektorn i bland annat Tyskland och Polen. För att koldioxidavskiljning ska bli aktuellt i stor skala för massa- och pappersindustrin krävs det att transportinfrastrukturen för koldioxid byggs ut för att inkludera även relativt små utsläppskluster. Om det görs skulle stora mängder koldioxid kunna avskiljas, upp till 60 miljoner ton varje år vilket är mer än Sveriges utsläpp av (fossil) koldioxid (cirka 50 miljoner ton varje år). Det kustnära läget som är vanlig för massa- och pappersbruk i Sverige och Finland kan vara en fördel när man bygger upp en transportinfrastruktur för koldioxid, då det gör det möjligt att transportera koldioxiden med båt.

# 8

## VAR SKA MAN BYGGA FRAMTIDENS BIORAFFINADERIER?

**Karin Pettersson**  
**Simon Harvey**

**Institutionen för Energi och miljö, Chalmers\***

\* Avdelningen för värmeteknik och maskinlära

Bioraffinaderier kan byggas fristående eller i anslutning till exempelvis en befintlig industri eller ett fjärrvärmesystem. Alla delar av tillverkningskedjan för biobaserade produkter som drivmedel, material och kemikalier är, precis som vid tillverkning av dessa produkter från fossila bränslen, förenade med olika kostnader och utsläpp. Det gäller alla steg i produktionskedjan, från uttag och transport av bioråvaran från skogen eller jordbruket till bioraffinaderiet, via omvandling av bioråvaran till önskade produkter, till transport av produkterna till dess användare. Olika placeringar av ett bioraffinaderi innebär ofta olika fördelar och nackdelar när det gäller dessa kostnader och utsläpp. På en viss plats kan några kostnader bli högre, medan andra kan bli lägre, jämfört med en annan plats. När man väljer var man ska bygga ett bioraffinaderi behöver man därför titta på hela tillverkningskedjan och alla dess kostnader och utsläpp för att kunna uppnå så låg kostnad och så liten miljöpåverkan som möjligt.

Att bygga bioraffinaderier i områden med stora tillgångar på bioråvara, till exempel i skogstäta delar av Sverige, innebär att kostnaden för att transportera råvaran kan hållas nere. Att ligga nära en hamn gör det möjligt med längre transporter till rimliga kostnader, jämfört med att transportera med lastbil eller tåg på land. Samma resonemang gäller i andra änden av kedjan; transport av produkterna till användarna. Det är dock oftast så att det är billigare att transportera produkterna eftersom de har högre energi- och värdeinnehåll per volymenhet. I exemplet Sverige bor det mest folk – som använder produkter – i andra delar av landet än där det finns mest skog. Det innebär att man antingen måste transportera råvaran eller produkterna längre, beroende på var man bygger bioraffinaderiet.

Det finns flera möjliga fördelar med att bygga ett bioraffinaderi i anslutning till en befintlig industri: befintlig infrastruktur kan användas, värme kan utbytas mellan bioraffinaderiprocessen och den befintliga industriprocessen för att på så sätt uppnå högre energieffektivitet, delar av industrins processutrustning kan användas för bioraffinaderiprocessen, etc. Det är en väsentlig skillnad att bygga en helt ny anläggning, jämfört med att bygga ut en redan befintlig. Att kunna använda en befintlig industrianläggning eller delar av en process ger inte bara fördelar i form av minskad investeringskostnad tack vare att man kan använda befintlig infrastruktur, det ger också tillgång till den erfarenhet och det kunnande som finns hos personal som arbetar på anläggningen eller bruket.

I ett svenskt perspektiv är massa- och pappersindustrin en stor industri och bruken utgör ganska naturliga platser för att bygga ett nytt bioraffinaderi eftersom de har lång erfarenhet och välutvecklad infrastruktur för att ta hand om biomassa. Dock saknar de oftast erfarenhet kring de nya produkter, exempelvis drivmedel, som kan tillverkas i ett bioraffinaderi. Andra exempel på möjliga industrier där ett bioraffinaderi kan byggas är oljeraffinaderi- och petrokemiindustrin. Dessa industrier använder idag främst olja och naturgas för att tillverka produkter som drivmedel och plaster, men de skulle istället kunna använda biomassa för att göra samma eller liknande produkter. En nackdel är att de oftast saknar erfarenhet av att använda biomassa och att de inte geografiskt brukar ligga i områden med mycket biomassa. Eftersom det finns olika fördelar hos olika industrier, är en möjlighet att samarbeta. Massa- och pappersindustrin kan till exempel tillverka bioolja från skogsbiomassa. Dessa kan sedan skickas till ett oljeraffinaderi, som då använder biooljan istället för fossil olja för att tillverka drivmedel som bensin och diesel. Man behöver alltså inte bygga hela processen från bioråvara till slutprodukt på samma plats. Genom samarbeten av de slag som nämnts kan olika industrier utnyttja de erfarenheter och kunskaper de har kring olika delar av värdekedjan, vilket kan göra att företagen känner sig mer bekväma och sannolikheten för att bioraffinaderier byggs ökar.

# 9

## HUR KAN EFFEKTIVITET MÄTAS I ETT BIORAFFINADERI?

**Fredrik Lind**  
**Stefan Heyne**  
**Filip Johnsson**

**Institutionen för Energi och miljö, Chalmers\***

\* Avdelningen för energiteknik (F. Lind, F. Johnsson), Avdelningen för värmeteknik och maskinlära (S. Heyne)

Att raffinera något innebär ofta att en råvara förädlas till en produkt. Vanligtvis förknippas begreppet med oljeraffinaderier. I ett oljeraffinaderi omvandlas fossil råolja till olika typer av drivmedel och gas. Ett bioraffinaderi har många likheter med ett oljeraffinaderi och producerar likvärdiga produkter men här framställs produkter som till exempel el, värme, kemikalier och drivmedel istället med biomassa som råvara. Genom att använda biomassa istället för fossil råvara kan utsläpp av växthusgaser minskas. Sveriges riksdag har till exempel satt upp ett mål som innebär att alla fordon i landet skall vara fossilfria år 2030. Eftersom biomassa är en begränsad resurs är det viktigt att omvandla biomassa till önskade produkter på ett så effektivt sätt som möjligt. Det är därför också viktigt att kunna jämföra effektiviteten för olika omvandlingsprocesser för biomassa för att utvärdera och förbättra tekniker.

Ett bioraffinaderi kan jämföras med ett system som innehåller ett stort antal olika energiflöden, till exempel bränsle-, el- och värmeflöden, som påverkar varandra olika mycket. Om dessa skrivs ut på papper kan det till exempel upplevas lika komplext som en första blick på Londons tunnelbanesystem, där varje tunnelbanevagn hela tiden påverkar systemet. Ett sätt att förenkla förståelsen för en sådan bild är att först begränsa tunnelbanesystemet till mindre områden för att sedan lägga på fler och fler delar tills man har täckt in hela systemet. Detta är också en metod som kan användas när man vill utvärdera energisystem, exempelvis ett bioraffinaderi. I detta fall kallas områdena för systemgränser. För att kunna avgöra hur effektivt ett bioraffinaderi är måste alla energiflöden vara kända. Dessutom måste man förstå hur de påverkar varandra. Det vill säga här måste systemgränserna bestämmas och man måste ta hänsyn till flödena in till systemen, i själva systemen och ut från systemen. Beroende på hur systemgränserna bestäms och inte minst hur olika

typer av energiflöden värderas kan effektiviteten för ett och samma system variera. Det kan också vara så att olika användare och energimarknader påverkar sättet att värdesätta de olika energiflödena.

Generellt sett så kan man beräkna effektiviteten för alla bioraffinaderier. Vanligtvis används begreppet verkningsgrad. En grov förenkling av begreppet är att verkningsgraden ( $\eta$ ) är ett mått på hur mycket av den tillförda mängden biomassa som kan omvandlas till användbar energi eller andra produkter, se ekvation (1).

$$\eta = \frac{\text{Användbar energi och produkter}}{\text{Tillförd biomassa}} \quad (1)$$

Detta begrepp ger alltså ett mått på effektivitet, men frågan är vilken effektivitet? Något som inte innefattas i detta uttryck är just hur man värdesätter olika energiflöden eller så kallade energikvaliteter. Ett exempel på två olika energiflöden och energikvaliteter är värme och el. Förenklat kan man säga att en del el har ett högre värde än en del värme eftersom elen kan användas direkt för att driva till exempel en bil eller en surfplatta till skillnad från värme.

Sammanfattningsvis; olika energiflöden, marknader och användare leder till att det är svårt att definiera ett standarduttryck för att utvärdera och jämföra verkningsgrader för olika biomassaprocesser och detta blir speciellt tydligt när bioraffinaderier behandlas eftersom dessa processer kan innefatta många olika produkt- och energiflöden.



# 10

## HUR MYCKET KAN BIODRIVMEDEL MINSKA UTSLÄPPEN AV VÄXTHUSGASER?

**Karin Pettersson**  
**Maria Grahn**

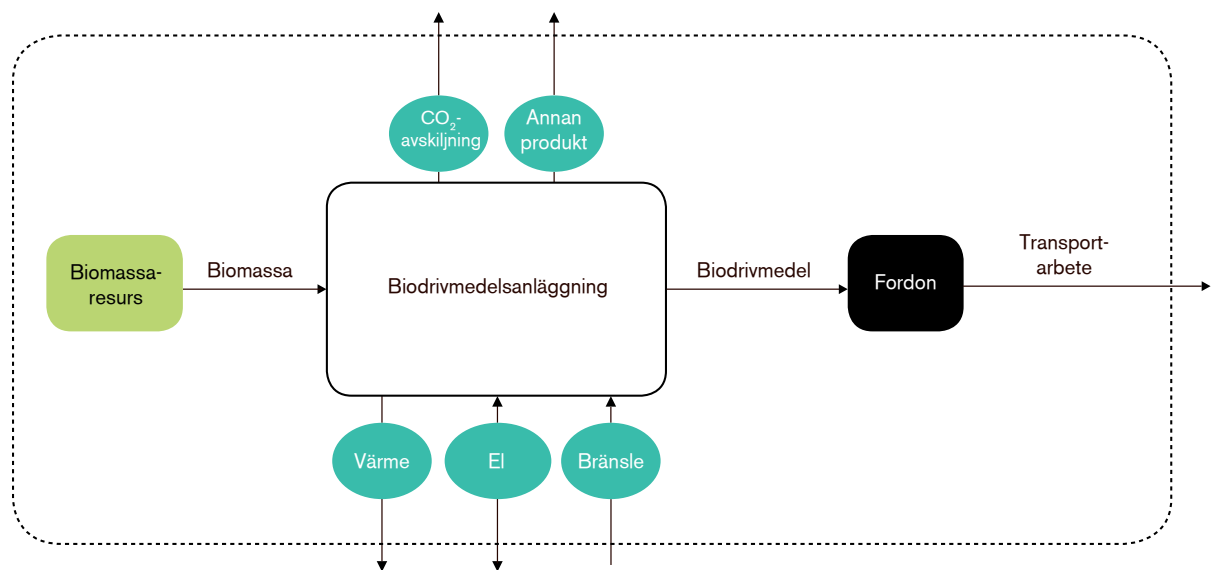
**Institutionen för Energi och miljö, Chalmers\***

\* Avdelningen för fysisk resursteori (M. Grahn), Avdelningen för värmeteknik och maskinlära (K. Pettersson)

Transportsektorn domineras idag kraftigt av fossilbaserade drivmedel, framförallt bensin och diesel. Att istället använda transportbränslen baserade på biologiskt material (till exempel jordbruksgrödor, skogsråvara och avfall – ofta kallade biodrivmedel) är ett sätt att både minska utsläppen av växthusgaser från transportsektorn, samtidigt som man också minskar beroendet av olja. De biodrivmedel som finns tillgängliga idag inkluderar etanol från sockerrör och majs, biodiesel från raps och biogas från matavfall (de kallas ofta för konventionella eller första generationens biodrivmedel och produceras alltså mestadels från jordbruksgrödor). Tekniker för tillverkning av biodrivmedel från bland annat skogsråvara är just nu under utveckling (dessa biodrivmedel kallas ofta för avancerade eller andra generationens biodrivmedel).

När man beräknar hur mycket växthusgaser som släpps ut till följd av tillverkning och användning av biodrivmedel, såväl som för andra produkter, är det viktigt att man har ett livcykelperspektiv och tittar på hela kedjan från råvara till produkt. Genom att göra motsvarande analyser för fossila drivmedel, så kan man uppskatta hur mycket olika biodrivmedel kan bidra till att minska utsläppen av växthusgaser.

Figur 10.1 visar de olika stegen i ett biodrivmedels livscykel. Det första steget inkluderar plantering och skörd av bioråvaran. Efter det måste råvaran transporteras till biodrivmedelsanläggningen. I anläggningen förädlas bioråvaran till ett eller flera biodrivmedel och eventuellt även andra produkter som till exempel el och värme. Det färdiga biodrivmedlet distribueras sedan till olika tankstationer. Det sista steget är när biodrivmedlet används i fordonet.



**Figur 10.1** De olika stegen i ett biodrivmedels livscykel.

Det är inte självklart att användning av ett biodrivmedel leder till minskade utsläpp jämfört med att använda ett fossilt drivmedel. Det finns exempel där biodrivmedel faktiskt har lett till ökade utsläpp av växthusgaser på grund av att produktionen direkt eller indirekt har lett till att man har huggit ner skog och inte återplanterat den. Att utsläppen vid användning av biobränslen räknas som noll bygger på att det kommer att tas upp lika mycket koldioxid då bioråvaran växer upp igen. Även om få fall leder till ökad klimatpåverkan, så finns det också fall där minskningen av växthusgaser är ytterst liten på grund av exempelvis stora utsläpp vid besprutning, användning av fossila bränslen i olika maskiner som behövs under produktionen och dåligt tillvaratagande av biprodukter. Inom EU finns det numera regler, så kallade hållbarhetskriterier, som biodrivmedel måste uppfylla.

Det är inte självklart hur man beräknar vilken effekt biodrivmedel har på utsläpp av växthusgaser. Olika personers uppskattningar kan skilja sig väldigt mycket eftersom det är flera olika slags val och antaganden man måste göra i beräkningarna. Eftersom man kan räkna på flera olika sätt är det viktigt att presentera på ett tydligt sätt hur beräkningarna är gjorda så att andra kan sätta sig in och förstå det. Även om man kan räkna på ganska olika sätt, så kan man ändå se att vissa biodrivmedel bidrar till större minskningar av utsläppen än andra. Generellt brukar till exempel biodrivmedel baserade på skogsråvara visa sig ha lägre totala utsläpp av växthusgaser jämfört med biodrivmedel baserade på jordbruksgrödor. Sådana här jämförelser, både av olika biodrivmedel men också jämförelser med andra biobaserade produkter, kan ge vägledning om hur vi ska använda den begränsade resurs av bioråvara som finns på jorden för att få så stor klimatnytta som möjligt.

# 11

## EKONOMISKT VÄRDE OCH KLIMATNYTTA AV VÄRMELEVERANSER

**Erik Ahlgren**

Institutionen för Energi och miljö, Chalmers\*

**Erik Axelsson**

Profu

\* Avdelningen för energiteknik

Ett bioraffinaderi kan producera en flora av nyttigheter både i form av material och energi. Bland annat kan det värme som bildas i processerna vara användbart och bidra både ekonomiskt och klimatomfattigt till ett bioraffinaderi. Värmet (i tekniska sammanhang pratar man om värmet snarare än värmen) kan användas exempelvis i ett närbeläget fjärrvärmenät eller i en industri. Två frågor som man då kan ställa sig är: 1) vad kan man få betalt för värmet? och 2) vad är klimatomnyttan av värmeleveranserna?

Både det ekonomiska värdet och klimatomnyttan av värmet beror på hur det används, eller vilken alternativ värmeproduktion som ersätts. Följaktligen är lokala förutsättningar avgörande, såsom vilken industri eller vilket fjärrvärmenät som finns i närheten, om ens något. Om värmet levereras till ett fjärrvärmenät kan det ekonomiska värdet av värmeleveransen exempelvis vara produktionskostnaden för det värme som inte längre behöver produceras i fjärrvärmeverket. Ju högre produktionskostnad fjärrvärmeverket har, desto mer betalt kan bioraffinaderiet få för sitt värme. Produktionskostnaden kan till exempel vara den rörliga kostnaden för en panna, främst då kostnaden för bränslet. Bränslekostnaden är i många fall låg, eftersom fjärrvärmeproducenter strävar efter så låga kostnader som möjligt. Ett sätt att avsevärt öka värdet av värmeleveranserna kan då vara att bioraffinaderiet åtar sig leveransgarantier, det vill säga leverera värme när det behövs, snarare än bara då man har värme över. Anledningen till att detta leder till högre värde på värmet är att man då tänker sig att fjärrvärmeförbrukaren kan undvika investering i en panna, vilket betyder att det inte bara är kostnaden för att köra pannan utan också kostnaden för att köpa pannan som undviks.

Det totala värdet av värmeleveransen beror även på hur mycket man får leverera över året, alltså hur mycket värme fjärrvärmenätet behöver. Sommartid är värmebehovet lågt och dessutom utgörs värmeproduktion i Sverige under sommarhalvåret ofta av värme från avfallsförbränning med mycket låga rörliga kostnader som det är svårt att konkurrera med. Värmet från ett bioraffinaderi kommer därför mest troligen att användas huvudsakligen under vinterhalvåret eller kanske bara när det är riktigt kallt. Man kan alltså inte räkna med att man kan sälja sitt värme under hela året.

Liksom för det ekonomiska värdet av värmeleveranserna kan klimatnyttan relateras till den värmeproduktion som ersätts. Om värmet används för att ersätta oljeeldade värmeverk är klimatnyttan tydlig, men däremot mer tveksam om det är biobränsle som ersätts. I vissa fall kan man diskutera om värmeleveransen leder till ökade utsläpp av koldioxid. Det kan vara fallet då värmen ersätter värme från biobränsleeldad kraftvärmeproduktion. Kraftvärme innebär att man producerar el och värme i samma anläggning. Om värmeleveransen ersätter värme från ett biobränsleeldat kraftvärmeverk kommer alltså även mindre grön el att produceras. Denna el kan istället behöva produceras med fossila bränslen, vilket i slutändan skulle leda till ökade koldioxidutsläpp. Som framgår av detta resonemang tillkommer en grad av komplexitet när klimatnyttan ska utvärderas: det omgivande energisystemet. Det man kan göra då är att noggrant analysera varje enskilt fall (till exempel aktuellt bioraffinaderi) och visa på klimatnyttan med olika antaganden för det omgivande energisystemet.

I ett svenskt perspektiv blir klimatnyttan tydligast om fossila bränslen ersätts. Men fossila bränslen används mest på vintern. Det betyder att den ekonomiska vinsten blir liten, eftersom fossila bränslen används i så liten omfattning (endast 8 % utgjordes av kol, olja och gas i svensk fjärrvärmeproduktion år 2013) och i många fall bara de kallaste dagarna på året. Biobränslen används i betydligt större omfattning – de utgjorde över 40 % av svensk fjärrvärmeproduktion år 2013. Det finns därför möjligheter till betydligt större ekonomiska vinster om man ersätter biobränsle, eftersom man kan sälja mer värme. Men som nämnts är klimatnyttan inte lika tydlig för biobränsle, vilket innebär att det finns något av en motsättning mellan ekonomisk nytta och klimatnytta för värmeleveranser i ett svenskt perspektiv. Men biobränslen som sparas in i fjärrvärmeverk kan ersätta fossila bränslen någon annanstans i energisystemet. I detta vidgade systemperspektiv blir klimatnyttan av värmeleveranser från bioraffinaderi betydligt större. Klimatnyttan av värmeleveranser kan även bli större om man vidgar det geografiska perspektivet till att inkludera kontinenten; där används inte alls biobränslen i samma omfattning, utan kol och naturgas är vanligast i fjärrvärmeproduktionen.

# 12

## POLITISKA ÅTGÄRDER FÖR FRAMTIDENS FÖRNYBARA DRIVMEDEL

**Hans Hellsmark**

**Energiteknik, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut\***

**Staffan Jacobsson**

**Institutionen för Energi och Miljö, Chalmers\*\***

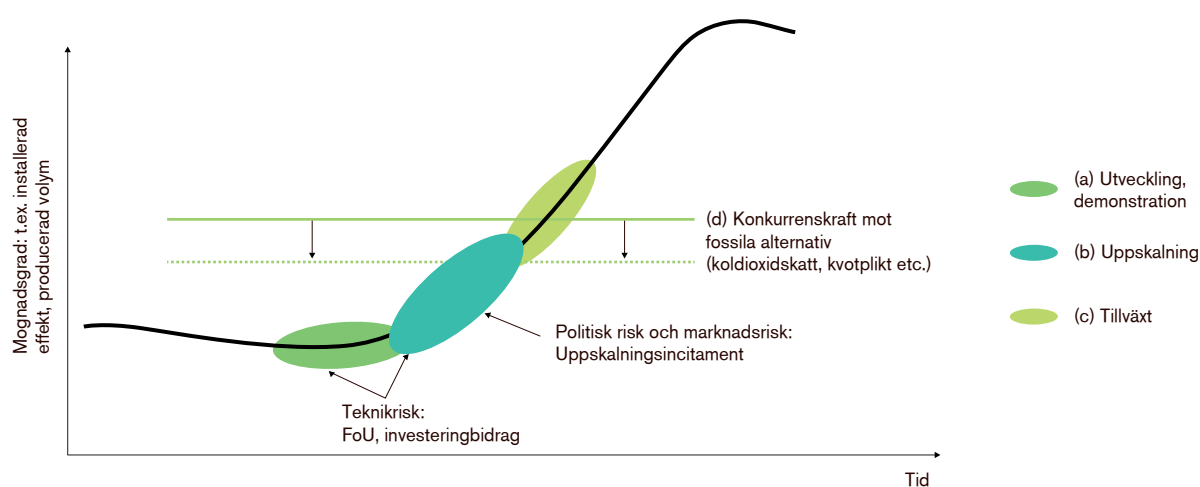
\* Sektionen för Systemanalys

\*\* Avdelningen för miljösystemanalys

Utvecklingen av framtidens bioraffinaderier för förnybara drivmedel och kemikalier är starkt beroende av två huvudsakliga teknikspår; biokemisk och termisk omvandling av biomassa. Dessa innebär att biomassa omvandlas genom en kemisk eller en värmebaserad processväg till en önskad slutprodukt. För att uppnå god energieffektivitet och produktionsekonomi har tidigare studier visat att den nya tekniken bäst integreras i existerande industriinfrastruktur som till exempel inom massa- och pappersindustrin, kemi- och oljeraffinaderiindustrin eller i fjärrvärmesektorn. Förutom miljövinster skulle det även innebära att etablerad industris konkurrenskraft skulle kunna stärkas.

Trots att teknikerna är lovande, behöver företagen värdera de risker som förknippas med att skala upp och integrera dessa i sina befintliga verksamheter. Man brukar prata om tekniska, organisatoriska, politiska och marknadsrisker som behöver hanteras. I dagsläget har de tekniska och organisatoriska riskerna reducerats så långt det är möjligt genom att bygga pilot- och demonstrationsanläggningar där olika tekniska lösningar och koncept testats, förkastats, utvecklats och verifierats. Dessa experiment har gjorts längs olika typer av *värdekedjor*. Det betyder att försök i olika skala med både råvara, processteknologi, infrastruktur, fordon och potentiella kunder har genomförts vilket i sin tur resulterat i att allianser av olika aktörer har bildats. Dessa allianser har nu kapacitet och kunskap för att bygga anläggningar och tillhörande infrastruktur i kommersiell skala.

En viss teknisk och organisatorisk risk kommer att kvarstå när de första anläggningarna byggs. De första investeringarna brukar därför kompenseras för denna risk genom till exempel forskning och utvecklings- (FoU) och investeringsbidrag. Sådana bidrag har också funnits tillgängliga både i Sverige och på EU-nivå. Bidragen har gjort det möjligt för allianserna att ta sig igenom en första (a) *utvecklings- och demonstrationsfas* och också kompenserat för den fortsatta tekniska risken i en vidare (b) *uppskalningsfas* (se Figur 12.1). I en uppskalningsfas kommer dock stora volymer av drivmedel och kemikalier produceras vilket innebär att den tekniska risken inte är den största risken för en investerare. De största riskerna är istället att de politiskt beslutade spelreglerna på marknaden ändras på ett oförutsägbart sätt (politisk risk) eller att företagen inte kommer att få avsättning för sina produkter (marknadsrisk).



**Figur 12.1:** Riskerna och politiska åtgärder för att främja teknologisk utveckling.

I många länder finns det koldioxidskatter och andra politiska åtgärder (incitament) som ökar förnybara alternativs (d) *konkurrenskraft mot fossila alternativ* (se Figur 12.1). De är utformade så att de främst minskar den politiska risken och marknadsrisken för redan etablerade alternativ på marknaden. Dessa etablerade alternativ kan producera förnybara drivmedel till en lägre kostnad, men har på sikt en lägre potential än framväxande alternativ som till exempel biokemisk eller termisk omvandling av biomassa.

För att en uppskalning skall komma till stånd behövs därför att ett temporärt men (b) *särskilt uppskalningsincitament* utformas. För att ett sådant incitament skall vara meningsfullt måste det hantera risken att oljepriset kan komma att sjunka och vara långsiktigt utformat så att investerare får tillbaka pengar på en gjord investering även om incitamentet slopas i ett senare skede. Det behöver också skapa incitament för kostnadsreduceringar längs hela värdekedjan samtidigt som det erbjuder en möjlighet till vinst för företagen som är likvärdig med andra investeringsalternativ.

## EN PLATTFORM FÖR LÄRANDE OM HÅLLBARA TEKNIKSYS-TEM

Energi- och klimatutmaningen är enorm och jordens befolkning är på väg mot en osäker framtid. Teknikens roll i samhällsutvecklingen är tveeggad. Å ena sidan är tekniken definitivt en del av problemet men på samma gång kan vi inte ställa om samhället mot en hållbar utveckling utan ny teknik. Vi behöver därför lära oss mer om vilken teknik som är önskvärd och hur teknikutvecklingen kan styras.

Chalmers Styrkeområde Energi har initierat satsningen "Perspektiv på ny teknik". Satsningen har en tvärvetenskaplig utgångspunkt och den har hittills samlat ett sjuttio-tal forskare för att bedöma ny teknik med avseende på potential och risker och vilka tekniska, ekonomiska och politiska förutsättningar som krävs för att ny teknik skall slå igenom och nå storskalig spridning i samhället. Satsningens ambition är att skapa en plattform för lärande om teknikområden med stor betydelse för framtiden. Resultatet är en serie "levande" e-böcker som vi i ljuset av ny kunskap uppdaterar regelbundet. Vi avser inte att ge ett slutgiltigt svar, men vi vill ge underlag till en fördjupad och breddad diskussion. Serien består nu av tre böcker:

**Perspektiv på förnybar el** - möjligheter och utmaningar med produktion och användning av el från förnybara energikällor

**Perspektiv på eldrivna fordon** – möjligheter och utmaningar med eldrivna transporter av gods och människor

**Perspektiv på förädling av bioråvara** – möjligheter och utmaningar med produktion av kemikalier, material och bränslen från skog och jordbruk

Om de mångfasetteraderesultaten skall sammanfattas i en mening kan vi konstatera att det vimlar av hinder att ta sig över och fallgropar att undvika men också av framkomliga vägar, så det finns all anledning att samtidigt vara mycket orolig och mycket hoppfull.

*Björn Sandén, huvudredaktör*

