Formas Fokuserar

Bioenergi
– till vad och hur mycket?

Bioenergi – till vad och hur mycket?

Hur långt räcker bioenergin i framtidens energisystem? Hur mycket går det att få ut från skogar och åkermark – och vad ska vi använda den till? Är det klokt att satsa på biodrivmedel, eller ska bioenergin användas till värme och el? Vilka styrmedel behövs för att öka användningen av biobränslen? Vilka konflikter blir det mellan ökad biobränsleproduktion och svenska miljömål? Hur går det med livsmedelsförsörjningen globalt? Och hur bra är biobränslena egentligen på att förhindra klimatförändringar?

Hur ser olika forskare på saken? Läs boken så får du veta!

www.formasfokuserar.se

formas

Forskningsrådet för miljö, areella näringar och samhällsbyggande, Formas

Formas Fokuserar

PRISGRUPP
F
POCKETSTANDARD

ISBN 978-91-540-5995-9
9789154059959

Bioenergi – till vad och hur mycket?

Formas Fokuserar

Innehåll

Inledning 7

Biomassa – en knapp resurs i globalt perspektiv 19
Göran Berndes, Julia Hansson och Stefan Wirsenius

Fakta om bioenergi 33

Satsa på radikal teknikförändring – inte på biobränslen! 47
Ann-Kristin Bergquist och Magnus Lindmark

Biomassa i Sverige – en stor resurs men ändå inte tillräcklig 63
Pål Börjesson, Sune Linder och Tomas Lundmark

Biobränslen kors och tvärs över gränserna 79
Bengt Hillring och Olle Olsson

Transportsektorns alkoholberoende måste brytas 89
Magnus Blinge

ATT RÄKNA PÅ BIOENERGISYSTEM

Vi måste använda bioenergin effektivt 103
Leif Gustavsson

Bioenergisystem – vilka är effektivast? 121
Pål Börjesson

Dagens analysmetoder skapar övertro på bioenergi 137
Torbjörn Rydberg

Analyser av bioenergisystem – varför ger de olika svar? 155
Theo Verwijst

FÖRGASNING OCH RÖTNING

Förgasning av biobränslen – från gengas till syntesgas 171
Erik Rensfelt

Biogas – kan liten bli stor? 187
Åke Nordberg

SKOG

Gödsling för mer råvara från skogen! 199
Sune Linder, Johan Bergh och Tomas Lundmark

Skogsbioteknik ger mer bioenergi från skogen 211
Sara von Arnold

Mera bränsle ur skogen – med vässad hantering 223
Anna Furness-Lindén, Berndt Nordén och Magnus Thor

Är det farligt att elda med ved? 235
Bertil Forsberg, Lennart Gustavsson och Linda Johansson

ÅKERMARK

Salixodling ger mervärden – förutom energi 247
Pär Aronsson, Martin Weih och Inger Åhman

Energigrödor på åkermark – vem vill odla dem? 261
Håkan Rosenqvist

Oljor och plast från åkern – istället för energi 273
Leif Bülow och Sten Stymne

BIOENERGI OCH MILJÖMÅL

Att få biobränsle och naturvård att gå ihop 287
Urban Emanuelsson

Vad ska vi ha skogen till? 297
Runar Brännlund och Bengt Kriström

Bioenergi från skogen – både plus och minus för miljömålen 309
Gustaf Egnell

Biobränslen inte helt klimatneutrala – men bättre än fossila bränslen 323
Kristina Holmgren och Mats Olsson

Klimatfördelar med att bygga i trä 337
Leif Gustavsson

STYRMEDEL

Framtidens energisystem – vikten av att välja rätt styrmedel 351
Åsa Löfgren

Ny storindustri kräver politisk skicklighet 363
Tomas Kåberger

Inledning

Hur långt räcker bioenergin i framtidens energisystem? Hur mycket går det att få ut från skogar och åkermark – och vad ska vi använda den till? Är det klokt att satsa på biodrivmedel, eller ska bioenergin användas till värme och el? Vilka styrmedel behövs för att öka användningen av biobränslen? Vilka konflikter blir det mellan ökad biobränsleproduktion och svenska miljömål? Hur går det med livsmedelsförsörjningen globalt? Och hur bra är biobränslena egentligen på att förhindra klimatförändringar?

Bioenergi är en stor resurs i Sverige. Det konstaterade den av Göran Persson tillsatta Kommissionen mot oljeberoende (Oljekommissionen) som kom med en rapport under 2006. Rapportens mål för år 2020 gick ut på att bostäder och lokaler bör värmas helt utan olja, att transporterna bör minska sin användning av bensin och diesel med 40-50 procent, och att industrin bör använda 25-40 procent mindre olja. Kommissionen hade räknat och kommit fram till att Sverige år 2020 skulle kunna använda över 40 procent mer biobränslen än 2005, och att användningen till år 2050 skulle kunna vara mer än fördubblad jämfört med samma år. Ett delmål var att till år 2020 få fram 12-14 TWh (terawattimmar) inhemska biodrivmedel, jämfört med cirka 2 TWh år 2005.

Hur realistiska är då kommissionens förslag? Räcker åkermarken och skogsråvaran? Är det vettigt att utnyttja åkermark för energiproduktion? Flera av kapitlen i den här boken betonar att marken begränsar bioenergiproduktionen, och att det är viktigt att ta hänsyn till hur mycket energinytta det går att få fram per hektar. Så hur viktig blir bioenergin i framtiden om vi tar hänsyn till att mark och råvaror går att använda till annat än energi, och om vi tänker på hur effektiva olika bioenergisystem är?

Boken inleds med några övergripande kapitel där forskare med olika inriktning skriver om bioenergipotentialen globalt och i Sverige.

Biomassa – en knapp resurs i globalt perspektiv

Idag använder vi ungefär tio gånger mer fossil energi än bioenergi i världen. Globalt sett finns det inte tillräckligt med bioenergi för att ersätta de fossila bränslena, skriver Göran Berndes, Julia Hansson och Stefan Wirsenius på Institutionen för energi och miljö vid Chalmers tekniska högskola. Hur ska vi använda de knappa resurserna på bästa sätt? Och hur ska vi kunna begränsa de negativa effekter som ökad efterfrågan på bioenergi kan få? Det handlar bland annat om exploatering av värdefulla ekosystem som regnskogar.

Dagens utmaning – att skapa en högproduktiv ekonomi oberoende av fossila bränslen och kärnkraft – är jämför-

bar med den industriella revolutionen, skriver Ann-Kristin Bergquist och Magnus Lindmark på Institutionen för ekonomisk historia vid Umeå universitet. Skillnaden är att vi idag ska göra förändringen snabbt med politiska styrmedel, medan den industriella revolutionen skedde över mer än ett sekel och drevs av enskilda aktörers små beslut. Eftersom bioenergi konkurrerar med livsmedelsproduktion så tror de inte att biobränslen är en realistisk strategi för att nå långsiktiga klimatmål. Det är bättre att redan nu rikta fokus och resurser på de radikala tekniska förändringar som kommer att bli nödvändiga på sikt.

Biomassa i Sverige – en stor resurs men ändå inte tillräcklig

Skogen i Sverige kommer alltid att vara en mycket större källa till bioenergi än åkermarken. Men hur vi än anstränger oss för att öka produktionen av bioenergi från jord- och skogsbruk med traditionella metoder så kommer tillgången i framtiden inte att kunna svara upp mot efterfrågan. För att skogens biologiska potential ska kunna utnyttjas fullt ut måste regler och attityder ändras när det gäller bland annat gödsling, klonskogsbruk och främmande trädslag. Det skriver energisystemforskaren Pål Börjesson på Lunds tekniska högskola, samt skogsforskarna Sune Linder och Tomas Lundmark på Sveriges lantbruksuniversitet (SLU).

Handeln med biobränslen kommer troligen att öka i framtiden. Än så länge importerar vi till Sverige mer

biobränslen än vi exporterar. Men det kan komma att ändras när andra länder ökar sin efterfrågan. Om biobränslen bara produceras och transporteras på ett hållbart sätt är de ett av de viktigaste verktygen för att få bukt med 2000-talets energi- och miljöproblem, skriver Bengt Hillring och Olle Olsson på Institutionen för bioenergi vid SLU i Uppsala.

Idag är trenden att vi går från oljeberoende till alkoholberoende när det gäller transportsektorns drivmedel, skriver Magnus Blinge, Avdelningen för logistik och transport på Chalmers tekniska högskola. Motoralkoholer kan vara ett av framtidens drivmedel men risken är att vi investerar fast oss i teknik och system som inte är de bästa på sikt. Han pekar på att det behövs cirka tusen stora och effektiva bioenergianläggningar för att ersätta alla fossila drivmedel inom EU. Vi måste redan nu sätta igång att planera lokalisering och transporter eftersom det tar tid och kommer att skapa många konflikter.

Att räkna på bioenergisystem

Eftersom bioenergi är en begränsad energiresurs måste vi anstränga oss för att använda den effektivt. Ju mer effektivt vi kan använda biobränslen, desto mer kan vi minska oljeberoende och koldioxidutsläpp. Med dagens teknik är det mer klimateffektivt att göra värme och el än drivmedel av biomassan, skriver Leif Gustavsson, Institutionen för teknik, fysik och matematik vid Mittuniversitetet. Men ny teknik är på gång som förbättrar drivmedlens klimateffektivitet.

Hur ska biobränslen utnyttjas så effektivt som möjligt? Ska vi göra el och värme av dem, eller ska vi omvandla dem till fordonsbränsle? Det är svårt att säga något generellt, skriver Pål Börjesson på Institutionen för miljö- och energisystem vid Lunds universitet. Men säkert är att skogsbränslen, energiskog och outnyttjade restprodukter är effektiva med tanke på energi, miljö och kostnader. Dessutom verkar det vara effektivt med energikombinat där vi kan producera många olika saker samtidigt, bland annat värme, el och fordonsbränsle.

Torbjörn Rydberg på SLU analyserar bioenergisystem på ett mer omfattande och långsiktigt sätt än vad som är vanligt i dagens energianalyser, som han är kritisk mot. Han räknar även med den energi som driver människors arbete, till exempel mat, och den energi som används men som betraktas som gratis av det ekonomiska systemet, bland annat solenergi. Han kommer fram till att det inte går att driva ett industrisamhälle som det vi har idag med förnybar energi. Vi måste krympa våra anspråk på jordens resurser.

Vilka typer av energisystem är ”bäst”? För att få svar på frågan använder forskarna olika metoder för att analysera systemen. Men även om de analyserar samma energisystem kommer de sällan till entydiga svar. Att debatten ibland är överhettad och underlagen motsägelsefulla gör det inte enklare för våra beslutsfattare, skriver Theo Verwijst. Hur ska vi då gå tillväga för att få tydliga och

samstämmiga svar som ändamålsenligt leder till utveckling av de energisystem vi vill ha? Han hoppas och tror att företrädare för olika analysmetoder ska få lättare att förstå varandra i framtiden.

Biobränslen i gasform

Förgasning av biobränslen är nygammal teknik som spås en lysande framtid. Många olika biobränslen kan användas, tekniken går att använda i både stor och liten skala, och verkningsgraden är hög för stora system. Den syntesgas som framställs är en nyckelråvara för produktion av andra generationens drivmedel. Avancerad förgasningsteknik är också en nyckelteknik för ett eventuellt vätgassamhälle med biobränsle som energiresurs, skriver Erik Rensfelt som har forskat och utvecklat förgasning av biobränslen sedan 1970-talet.

Biogasprocessen är också nygammal teknik som används i olika skala. Den levererar tre nyttigheter: avfallsbehandling, energi och gödsel. Idag producerar vi i Sverige bara 1,3 TWh biogas varje år, varav knappt hälften i de kommunala reningsverken. Den tekniska potentialen är mellan 10 och 20 TWh, och 80 procent av råvaran kan komma från lantbruket. För att potentialen ska kunna utnyttjas måste olika aktörer samverka bättre, från odlaren till drivmedelsleverantören. Det skriver Åke Nordberg på JTI Institutet för jordbruks- och miljöteknik.

Olika sätt att få mer råvara från skogen

I längden går det inte att öka uttaget av bioenergi ur skogen utan att råvaruförsörjningen till skogsindustrin påverkas. Men om skogen gödslas efter behov så räcker den till både industri och energi, skriver Sune Linder och Johan Bergh på SLU i Alnarp och Tomas Lundmark på SLU i Umeå. Med behovsanpassad gödsling producerar granbestånd i Västerbotten lika mycket som bördiga bestånd i Skåne. Dessutom läcker inte näringen ut till grundvattnet. Ändå är den här typen av skogsgödsling kontroversiell och rekommenderas i dagsläget inte av Skogsstyrelsen.

Skogsträdsförädling är ett effektivt sätt att öka tillväxten i skogen. Genom att använda biotekniska metoder i förädlingsarbetet går det att öka skogsproduktionen betydligt snabbare, skriver Sara von Arnold på Institutionen för växtbiologi och skogsgenetik vid SLU i Uppsala. Avkastningen från höggradigt förädlad och intensivt brukad skog borde på kort sikt kunna öka med 50 procent. Ju större arealer som avsätts för intensivare skogsbruk med förädlade träd, desto mer bioenergi kan vi få från skogen.

Grenar, toppar, stubbar och klenträd – det är sortiment som kan tillvaratas ur skogen för att bli bränsle. I Sverige är det än så länge bara grenar och toppar som utnyttjas i större skala. Förhoppningen är att uttaget ska öka. Men då måste hanteringen i tillförselsystemet bli mycket

effektivare och fångstområdena bli större. Om detta berättar Anna Furness-Lindén, Berndt Nordén och Magnus Thor på Skogforsk.

Är det farligt att elda med ved?

Många vedpannor i våra småhus släpper idag ut mängder av olika miljö- och hälsofarliga ämnen. Men småskalig eldning med biobränslen behöver inte vara farlig för människor och miljö. Det gäller att ha rätt utrustning, använda den rätt och att elda med ett bra bränsle, skriver Bertil Forsberg, Yrkes- och miljömedicin vid Umeå universitet, samt Lennart Gustavsson och Linda Johansson på SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut. Vedeldningskörkort och stoftfilter på skorstenarna kan också bli delar av lösningen på vedeldningens hälsoproblem.

Energi eller industrigrödor från åkermarken?

Salix på åkermark kan vara positivt för landskapsbilden, öka den biologiska mångfalden, rena avloppsvatten och mark, och minska koldioxidutsläppen. Det skriver Pär Aronsson och Martin Weih på SLU i Uppsala och Inger Åhman på SLU i Alnarp. Idag står flis från salixodling för mindre än en tiondels procent av Sveriges energiförsörjning. Men odlingen förväntas öka när maskinerna blir bättre och priset på biobränslen stiger. Idag exporterar vi från Sverige växtmaterial, odlingsteknik och maskiner till länder som har större brist på biobränslen än vad vi har.

Energiskog, rörflen och hampa – eller vall, spannmål och oljeväxter? Vad är det som styr en lantbrukare som ska välja gröda? Vad lönar sig ekonomiskt? Och hur blir det med sysselsättningen? Det är trögt för nya grödor i starten. En paradox är att ju mer biobränslen som efterfrågas, desto mer lönsamt blir det att odla de traditionella grödorna, skriver Håkan Rosenqvist som är knuten till både SLU och Lunds universitet.

Använd jordbruksgrödor som råvaror till kemiindustrin hellre än till energiproduktion! Uppmaningen kommer från Leif Bülow på Institutionen för kemi vid Lunds universitet och Sten Stymne på SLU i Alnarp. Vi bör koncentrera oss på att ersätta de åtta procent av fossiloljan som går till kemiindustrin med konkurrenskraftiga jordbruksprodukter. Kanske kommer vi i framtiden att se industribetor och energiskogar som även producerar vegetabiliska oljor – eller kanske till och med plaster?

Plus och minus för miljömålen

Hur går ökad biobränsleproduktion ihop med bevarande av biologisk mångfald? Urban Emanuelsson, Centrum för biologisk mångfald i Uppsala, presenterar en strategi med fyra huvudspår. Ett spår gäller att uppfinna nya system som producerar mycket av både biobränslen och biologisk mångfald. Ett annat handlar istället om att producera biobränslen intensivt på vissa marker och biodiversitet på andra.

Skogen är en begränsad resurs som ska räcka till allt fler användningsområden. Inte minst de höga ambitioner som finns i miljömålen ”Begränsad klimatpåverkan” och ”Levande skogar” kommer att leda till målkonflikter mellan naturvård, klimatåtgärder och skogsindustrin. Tydliga vinnare i detta scenario är de som äger skog och kan njuta av allt högre värden på sin skog, skriver nationalekonomen Runar Brännlund på Umeå universitet och skogsekonomen Bengt Kriström på SLU i Umeå.

Om vi tar ut mera biomassa ur skogen för att ha som energiråvara så gynnar det ett av Sveriges sexton miljömål, nämligen ”Begränsad klimatpåverkan”. Och den biologiska mångfalden tål ett ökat uttag av grenar och toppar i samband med avverkning, menar Gustaf Egnell vid Fakulteten för skogsvetenskap, SLU i Umeå. Samtidigt kan det ökade uttaget ge konsekvenser i form av surare mark och vatten, och därmed risker för växter och djur. Återföring av vedaska kan vara ett sätt att höja pH i omgivande vatten på sikt.

Kristina Holmgren och Mats Olsson har tillsammans med kollegor på IVL och SLU sammanställt och analyserat emissionsdata för produktions- och användningskedjor för ett antal biobränslen. De drar slutsatsen att inga av de undersökta biobränslena kan kallas ”klimatneutrala” eftersom samtliga bränslekedjor resulterar i nettoemissioner av växthusgaser. Men de drar också

slutsatsen att biobränslen ger väsentligt mindre utsläpp av växthusgaser än fossilbränslen, och att de därför kan användas för att ersätta fossila bränslen.

Finns det klimatfördelar med att bygga hus med trästomme jämfört med att bygga hus med betongstomme? Ja så är det, skriver Leif Gustavsson, Mittuniversitetet, och redovisar resultat från jämförande analyser av betong- och trähus. Trähus ger mindre koldioxidutsläpp under produktionen. För att till fullo utnyttja klimatfördelarna är det viktigt att restprodukter av trä används som bränsle och ersätter fossila bränslen.

Att välja styrmedel

Det är troligt att biobränsle kommer att få stor betydelse för övergången till ett mer hållbart globalt energisystem och även vara en viktig del av ett sådant. Men det är mindre troligt att biobränslen är den universella räddare som det ibland utmålas som i Sverige. Med rätt val av teknikneutrala styrmedel har vi möjlighet att lämna dörrarna öppna för bättre framtida teknik och ett effektivt bioenergisystem, skriver Åsa Löfgren som är nationalekonom på Göteborgs universitet.

Om EU-målen för biobränsleanvändning ska uppnås måste reglerna vara så konstruerade att de verkligen stödjer tillväxten av tillräckligt stora industrier. Planerna kräver att investeringar i storleksordningen tusen miljarder euro ska göras i utveckling av bioenergi. Då är det

viktigt att välja styrmedel som inte skapar onödiga osäkerheter och kostnader, skriver Tomas Kåberger, Lunds universitet.

Birgitta Johansson, redaktör

Birgitta Johansson är vetenskapsjournalist och informatör hos Forskningsrådet Formas.

Biomassa – en knapp resurs i globalt perspektiv

Idag använder vi ungefär tio gånger mer fossil energi än bioenergi i världen. Nu ökar användningen av bioenergi kraftigt. Men globalt sett finns det inte tillräckligt med bioenergi för att ersätta de fossila bränslena, skriver tre forskare på Chalmers. Hur ska vi använda de knappa resurserna på bästa sätt? Och hur ska vi kunna begränsa de negativa effekter som ökad efterfrågan på bioenergi kan få? Det handlar bland annat om exploatering av värdefulla ekosystem som regnskogar.

Göran Berndes, Institutionen för energi och miljö, Fysisk resursteori, Chalmers tekniska högskola.

Julia Hansson, Institutionen för energi och miljö, Fysisk resursteori, Chalmers tekniska högskola.

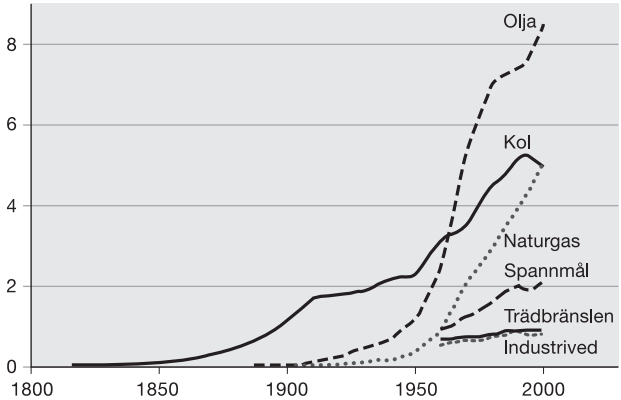
Stefan Wirsenius, Institutionen för energi och miljö, Fysisk resursteori, Chalmers tekniska högskola.

Det här kapitlet handlar om hur mycket bioenergi vi kan komma att använda i världen i framtiden. Bioenergin har helt klart möjlighet att spela en viktig roll i framtidens energisystem, men den kommer inte att räcka till för alla olika användningar som kan uppstå.

Figur 1 beskriver hur den globala produktionen av fossila bränslen har vuxit sedan 1800-talets början. Som jämförelse visas också världsproduktionen av skogsråvaror (trädbränslen och industrived) och av spannmål som utgör mer än hälften av vad som skördas på våra åkrar. (Vi har räknat om alla kategorier till en och samma enhet för att de ska gå att jämföra: biomassaekvivalenter, som motsvarar cirka 5,5 megawattimmar, MWh). Trädbränsleanvändningen som visas i figuren motsvarar den användning som redovisas av FN:s jordbruksorganisation FAO. Den totala biomassaanvändningen för energi uppskattas till drygt det dubbla och innefattar även exempelvis råvaror för biodrivmedelstillverkning såsom majs och sockerrör, skörderester, gödsel och användning av ved som inte bokförs av FAO.

En viktig slutsats som man kan dra av figuren är att den totala produktionen av fossila bränslen – utöver att den vuxit och fortfarande växer dramatiskt – är betydligt större än produktionen inom jord- och skogsbruket. En förutsättning för att bioenergin ska kunna spela en viktig roll i den globala energisystemomställningen är alltså att vi kan öka produktionen av biomassa för

energiändamål väldigt mycket. Detta samtidigt som produktionen av biomassa inom jord- och skogsbruket måste öka rejält de kommande årtiondena för att tillgodose behovet av mat, papper med mera hos en växande världsbefolkning.



Figur 1. Världsproduktionen av fossila bränslen och av produkter från jord- och skogsbruket. Industrived är den ved som hämtas ut ur skogen för tillverkning av papper, plankor, spånskivor med mera.

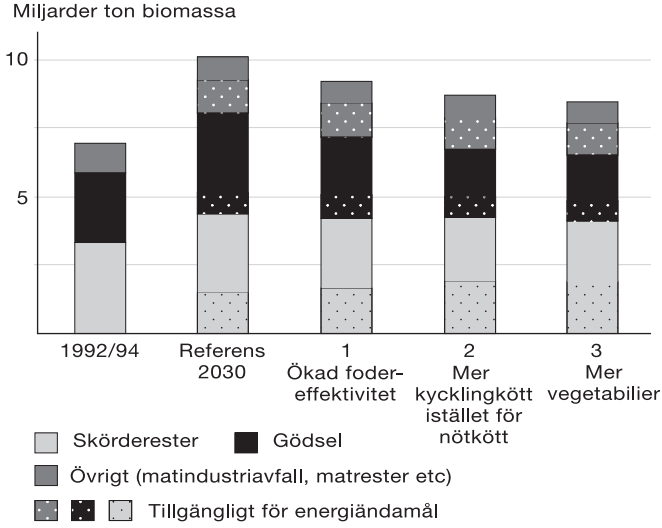
Bioenergi från jordbrukets restprodukter

Hur mycket bioenergi kan vi då få fram? Och hur ska det gå till? För att svara på det kan vi börja med jordbruket. Jämfört med spannmålsskörden i figur 1 genereras varje år ungefär 1,5 gånger så mycket skörderester på åkern. En ansenlig del av dessa skulle kunna utnyttjas för

energiändamål, men en hel del måste också lämnas kvar på fälten eftersom skörderesterna behövs för att upprätthålla åkerjordens bördighet. Om allt togs bort skulle riskerna för erosion och utarmning av åkerjordarna öka betydligt och vi skulle på sikt få allt svårare att hålla uppe skördenivåerna. Skörderesterna används också till andra saker, som till exempel halm för djurhållning.

Utöver skörderester kan också exempelvis gödsel och matavfall utnyttjas för energiändamål. Figur 2 visar ett antal staplar som beskriver resultat från en studie som har gjorts på Chalmers av det globala matsystemet nu och i framtiden. Staplarna återger storleken på några restflöden inom matsektorn som skulle kunna användas för energiändamål – dels hur det såg ut för lite drygt tio år sedan, dels hur det kan se ut år 2030 för några olika scenarier (se figurtexten).

Man kan konstatera att produktionen av dessa restflöden kommer att vara betydligt större år 2030. Det kan verka självklart eftersom jordens befolkning förväntas växa mycket – och därmed efterfrågan på jordbruksprodukter. Men det är också tydligt att det går att begränsa primärproduktionen av grödor och animalier och därmed mängden restflöden rejält genom ökad fodereffektivitet i animalieproduktionen (mindre foder per mängd producerat kött, mjölk eller ägg) och ändrad diet. Samtidigt kan en större andel av restprodukterna då användas för energiändamål eftersom det inte behövs lika mycket



Figur 2. Världsproduktionen av restprodukter inom matsektorn med möjlig användning för energiändamål. Andelarna som kan bli tillgängliga för energiändamål anges som "Tillgängligt" och är prickade i figuren. Utöver situationen 1992/94 återger figuren hur det kan se ut år 2030 enligt en prognos från FAO (Referens 2030). Staplarna 1, 2 och 3 visar hur det kan bli om utvecklingen avviker från FAO:s prognos på så sätt att: 1) produktiviteten i framställningen av animalier (kött, mjölk, ägg) ökar fortare än vad FAO antar; 2) dessutom ersätts 20 procent nötkött med gris- och kycklingkött; 3) dessutom ökar andelen vegetabilier i kosten, det vill säga mängden kött minskar och svinnet av mat minskar i hushåll och storkök.

restprodukter inom animalieproduktionen. Grovt motsvarar de tillgängliga volymerna av restprodukter ungefär en sjättedel av dagens globala primärenergitillförsel. Primärenergi kallas olja, kol, biomassa med mera innan de förädlas till kommersiella energibärare som exempelvis bensin, el och pellets.

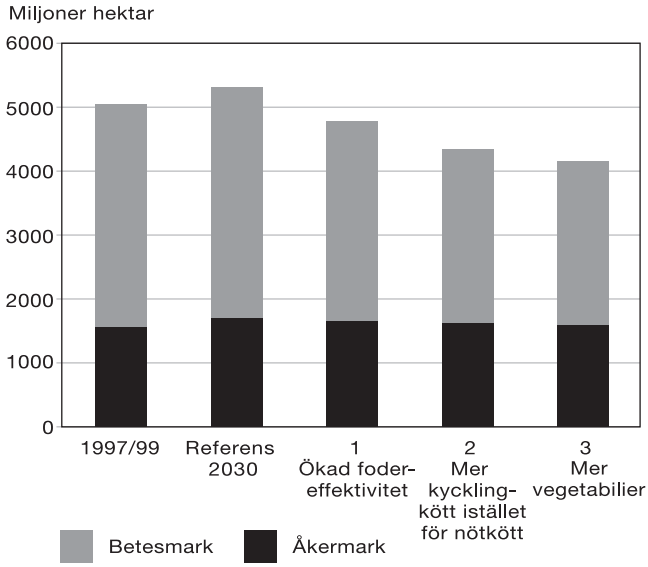
Bioenergi från energigrödor på jordbruksmark

Men den kanske viktigaste förändringen är att det behövs mindre jordbruksmark (åker- och betesmark) om vi effektiviserar animalieproduktionen och också minskar vår konsumtion av animalier. Idag är biomassaintaget via bete ungefär dubbelt så stort som den globala spannmålsskörden i figur 1, och betesdriften tar mer än dubbelt så mycket mark i anspråk som åkerbruket. Beräkningarna i studien indikerar att istället för en ökning fram till 2030 (från dagens 5,1 till omkring 5,4 miljarder hektar som sker i referensfallet i figur 2) skulle vi kunna minska jordbruksarealen och klara oss på 4,2–4,4 miljarder hektar (figur 3).

Det här innebär att mark frigörs, och en del av den marken skulle kunna användas för produktion av energigrödor. Om vi antar att 500 miljoner hektar kan utnyttjas (vilket motsvarar ungefär en tredjedel av den globala åkerarealen) och att vi når en genomsnittsskörd på 10 ton torr biomassa per hektar och år (motsvarande en god salixskörd i Sverige), då skulle vi få biomassa motsvarande knappt en fjärdedel av dagens globala primärenergitillförsel, eller ungefär lika mycket som dagens användning av kol.

Bioenergi från skog och skogsindustrins restprodukter

På samma sätt genereras det inom skogssektorn restprodukter som kan användas för energiändamål, bland annat avverkningsrester (grenar och toppar, så kallad

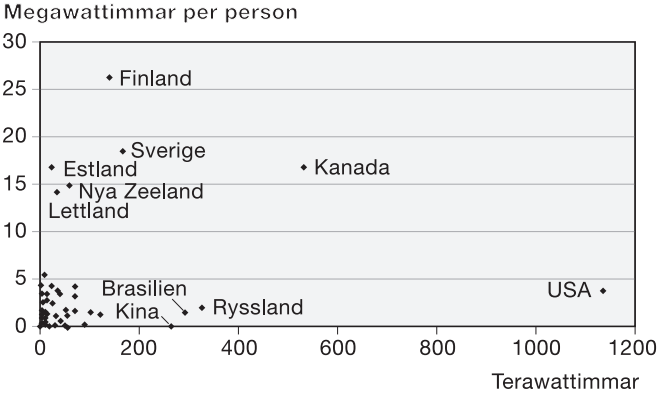


Figur 3. Användningen av jordbruksmark i världen dels 1997/99, dels år 2030 för samma framtidsscenarier som i figur 2. Observera att arealen åkermark i figuren inkluderar användning inte bara för livsmedelsproduktion, utan även för grödor som bomull och naturgummi samt produktion av spannmål, sockerväxter med mera som används för tillverkning av bland annat industriråvaror och drivmedel. Denna areal åkermark som inte används för mat kan grovt uppskattas till cirka 150 miljoner hektar, det vill säga nästan 10 procent av all åkermark.

grot) och biprodukter från sågverk och massabruk. Men det finns faktorer som delvis begränsar användningen. Dels kan en del av avverkningsresterna behöva lämnas kvar i skogen för att bibehålla markens bördighet, dels finns det konkurrerande användning av vissa restprodukter för materialändamål, till exempel till spånskivor.

Figur 4 illustrerar förutsättningarna för bioenergitillförsel inom skogsbruket. Sveriges totala energitillförsel är ungefär 450 terawattimmar, TWh (exklusive kärnkraftens spillvärmeförluster som uppgår till cirka 150 TWh). Det kan jämföras med industrivedsproduktionen i Sverige som har ett energiinnehåll på knappt 180 TWh i figur 4. Industrived är den ved som hämtas ut ur skogen för tillverkning av papper, plankor, plywood med mera. Om vi antar att man skulle kunna utnyttja skogliga restprodukter inklusive konsumtionsavfall från skogsprodukter (till exempel rivningsvirke) av samma storleksordning som industrivedsproduktionen så står det klart att skogen kan stå för en avsevärd del av Sveriges energiförsörjning.

Men som framgår av figuren är situationen i Sverige inte representativ för övriga världen, utan bara för andra länder med en betydande skogsindustri. På global nivå skulle med samma antagande bidraget till energiförsörjningen bli mindre än från jordbruket. Energiinnehållet i dagens globala industrivedsproduktion motsvarar några få procent av dagens globala primärenergitillförsel. Om vi antar att industrivedsproduktionen fördubblas under de kommande decennierna, på grund av befolkningstillväxt och ökande användning av skogsprodukter, så skulle bidraget i form av skogliga restprodukter motsvara knappt en tiondel av dagens globala primärenergitillförsel.



Figur 4. Industrivedsproduktionen i världens länder, genomsnitt för åren 2000–2003 omräknat till energiinnehåll. Av figuren framgår vilka de dominerande industrivedsproducenterna är i världen samt hur stor produktionen per person är i olika länder. (Baserat på data från FAO)

Det globala bidraget av bioenergi

Låt oss nu summera detta. Restprodukter från jordbruket kan ge ett bidrag som motsvarar en sjättedel, energigrödor på jordbruksmark som inte längre behövs för matproduktion kan ge kanske en fjärdedel och bidraget från skogsbruket skulle kunna motsvara en tiondel av dagens globala primärenergitillförsel. Alltså, totala bidraget skulle kunna bli motsvarande knappt halva dagens globala primärenergitillförsel.

Detta är förstås grova beräkningar och de mest avgörande faktorerna kan utvecklas i väldigt olika riktning, exempelvis möjlig areal som kan användas för produktion

av energigrödor samt vilken skördenivå man kan nå. Framtida möjlig areal för energigrödor är till stor del beroende av hur mycket mark vi kommer att behöva för produktionen av mat. Som vi redan sett i figur 3 beror det på vilken typ av mat vi väljer att äta. Ju mer vegetabilier istället för kött, mjölk och ägg vi äter, desto mindre mark behövs det för maten och desto större utrymme blir det för bioenergi. Likaså om vi äter gris- eller kycklingkött istället för nöt- eller lammkött. Möjlig areal för energigrödor blir också större ju högre skördar per hektar man får på jordbruksmarken och ju effektivare man omvandlar djurfoder till kött, mjölk och ägg.

Detta innebär att vi kan komma att ställas inför svåra val om vi ska öka arealen bioenergiplantager till den omfattning vi skissat på ovan. Till exempel finns det mål i Sverige och EU om att arealen ekologisk växtodling ska öka. Skörden per hektar i ekologisk odling är i genomsnitt lägre än i konventionell odling. Det innebär att om arealen ekologisk odling ökar blir utrymmet för bioenergiplantager mindre. För att kompensera detta skulle vi kunna exploatera mark som tidigare inte använts för jord- eller skogsbruk, till exempel naturskog eller andra naturliga ekosystem. Men detta skulle i sin tur kunna innebära att den biologiska mångfalden minskar.

För att öka produktionen av biomassa för energi, mat och industrived finns det alltså ett grundläggande val

mellan antingen att öka skörden per hektar, något som kan medföra betydande utsläpp av bland annat övergödande och giftiga ämnen, eller att öka den brukade arealen vilket kan innebära förlust av biologisk mångfald. Vilket som är det bästa alternativet är inte självklart, men särskilt när det gäller utvecklingen i tropiska länder lutar många forskare åt att det är bättre att öka skördarna per hektar för att lättare kunna skydda de tropiska regnskogar som finns kvar.

Vi har hittills jämfört den möjliga framtida bioenergipotentialen med dagens primärenergitillförsel. Men energianvändningen i världen förväntas öka avsevärt. Kanske kan vi hoppas att den globala energianvändningen under detta sekel inte mer än fördubblas, vilket förutsätter en betydligt effektivare energianvändning, men många studier anger en betydligt större ökning än så. Samtidigt måste en stor del av energitillförseln ske utan växthusgasutsläpp i framtiden om vi ska nå ambitiösa klimatmål. Behovet av bioenergi och andra klimatvänliga alternativ kommer alltså att vara mycket stort.

Konkurrens om bioråvara och mark kan höja priserna

Bioenergi är det enda av dagens förnybara alternativ som naturligt tillhandahåller kolbaserade bränslen, vilket är basen för stora delar av den energiteknik vi har idag. Det gör till exempel att bioenergin relativt enkelt kan användas för att ersätta olja inom transportersektorn. Bioenergin är också en relativt billig energikälla jämfört

med andra klimatvänliga alternativ, och efterfrågan på bioenergi kommer sannolikt att bli hög även för kraft- och värmeproduktion. Därför finns det risk att det blir konkurrens om biomassan i framtiden, till exempel mellan ett värmeverk som producerar värme till ett fjärrvärmesystem och en fabrik som vill använda biomassan för att göra drivmedel till bilar. Detta kan leda till att priserna på bioenergi stiger.

Det kan också bli konkurrens om skogsråvaror mellan energisektorn och skogsindustrin, och om odlingsmark (och vatten) mellan energisektorn och matsektorn. Höga bioenergipriser kan locka bönder att odla energigrödor istället för mat- och fodergrödor, med risk för prishöjningar på mat (och mark). När det gäller till exempel etanol och biodiesel behöver bönderna inte ens byta grödor utan kan helt enkelt sälja till den användare som betalar bäst. Redan idag kan man notera att exempelvis spannmålspriserna påverkas av att efterfrågan stiger på biodrivmedel – och detta sker på en nivå där bidraget från biodrivmedlen bara är någon procent av världens totala drivmedelsförsörjning.

Beräkningar tyder på att mat- och markpriserna kan mångfaldigas på lång sikt. Men prishöjningar är inte per definition ett problem – högre priser kan vara en fördel för bönder i tredje världen som då får högre inkomster. Och en växande bioenergisektor genererar jobb, i huvudsak på landsbygden. Vår svenska skogs-

industri har uttryckt farhågor inför en hårdnande råvarukonkurrens med energisektorn. Det beror på att skogsindustrin verkar på en internationell marknad och förstås får en tuffare situation när svenska initiativ driver upp efterfrågan på biomassa om samtidigt skogsråvaran inte utsätts för samma tryck i konkurrentländer med en mindre ambitiös klimatpolitik.

Ingen grön skön värld bakom knuten

Den kanske viktigaste slutsatsen man kan dra utifrån detta kapitel är att vi inte är på väg bort ifrån en värld med ett överflöd av fossila bränslen till en grön skön värld där vi kan vältra oss i bioenergi. En central fråga kommer att bli hur vi på bästa sätt ska använda de knappa bioenergiresurserna. Oberoende av var bioenergin kommer att användas så kommer sannolikt efterfrågan att växa kraftigt under de kommande decennierna. Vi kommer att få se goda exempel på hur biomassaproduktion kan ske på ett sätt som också ger andra miljöfördelar än minskning av växthusgasutsläpp. Men vi kommer med stor sannolikhet också att få se hur suget efter bioenergi leder till att fattiga drivs bort från sina marker och hur regnskog och andra värdefulla ekosystem utarmas eller till och med helt förstörs i jakten på bioenergi.

Därför är det viktigt att det inrättas system (exempelvis certifiering av biodrivmedlen) som så långt som möjligt begränsar oönskade effekter av en växande efterfrågan

på bioenergi. Det är också viktigt att det utvecklas andra klimatvänliga alternativ än de biomassabaserade, exempelvis inom transportsektorn. Vi kommer att behöva utnyttja en mångfald sådana alternativ utöver bioenergin i framtiden. Slutligen måste vi försöka begränsa vår energianvändning – genom effektivisering och genom att vi i högre grad reflekterar över hur våra val i vardagen påverkar energianvändningen.

Göran Berndes är teknologie doktor i miljövetenskap med inriktning mot fysisk resursteori. Hans forskningsområden innefattar bioenergisystem och markanvändning.

Julia Hansson är doktorand inom bioenergiområdet med fokus på bioenergihandel, biodrivmedel, styrmedelsanalys och energisystemmodellering.

Stefan Wirsenius är teknologie doktor i miljövetenskap. Hans forskningsområden inkluderar global livsmedelsförsörjning, bioenergipotentialer samt energieffektivitet i industriprocesser.

Samtliga arbetar på Institutionen för energi och miljö på Chalmers i Göteborg.

Fakta om bioenergi

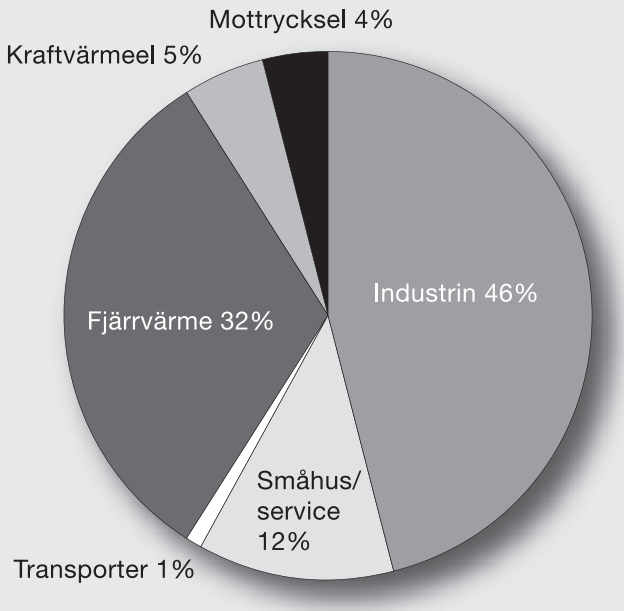
Med bioenergi menas energi som kommer från biobränslen. Allt biologiskt brännbart material är en sorts biobränsle. Det kan vara ved, skogsflis, bark, spån, energiskog, energigrödor, lutar från pappersmassa-tillverkning, hushålls- och industriavfall. I förädlad form kan de bli energibärare som till exempel el, värme, pellets, etanol och biogas.

I Sverige är biobränslenas andel av energitillförseln cirka 18 procent. Sverige och Finland har den största andelen biobränslen i sina energisystem av länderna i Europa. Det beror bland annat på att de två nordiska länderna har goda skogs- och råvarutillgångar, en utvecklad skogsindustri, ett väl utbyggt fjärrvärmesystem och goda transportmöjligheter. I ett globalt perspektiv är biobränslena det mest betydelsefulla bränslet för större delen av tredje världens befolkning.

Bioenergianvändningen i Sverige har ökat över tiden, från drygt 10 procent av den totala energitillförseln under 1980-talet till 18 procent år 2005. Större delen av ökningen har skett i industrin och fjärrvärmeverken. Den totala energitillförseln år 2005 var 630 TWh, eller 493 TWh om man räknar bort kärnkraftens spillvärmeförluster (1 TWh eller terawattimme = 1 miljard kilowattimmar). Samma år användes 112 TWh biobränslen, torv och avfall. Användningen fördelade sig på olika sektorer enligt figur 1.

Större delen av de biobränslen, den torv och det avfall som används i det svenska energisystemet är inhemskt producerad och utgörs av:

- trädbränslen (ved, bark, spån och energiskog)
- returlutar och tallbeckolja (mellan- och biprodukter vid kemisk massatillverkning)
- torv
- avfall (från industrier och hushåll)

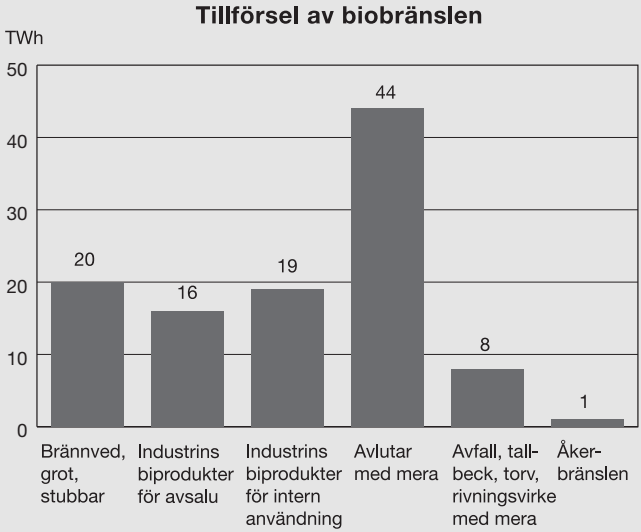


Figur 1. Så här användes sammanlagt 112 TWh biobränslen, torv och avfall i Sverige år 2005. (Källa: Energimyndigheten)

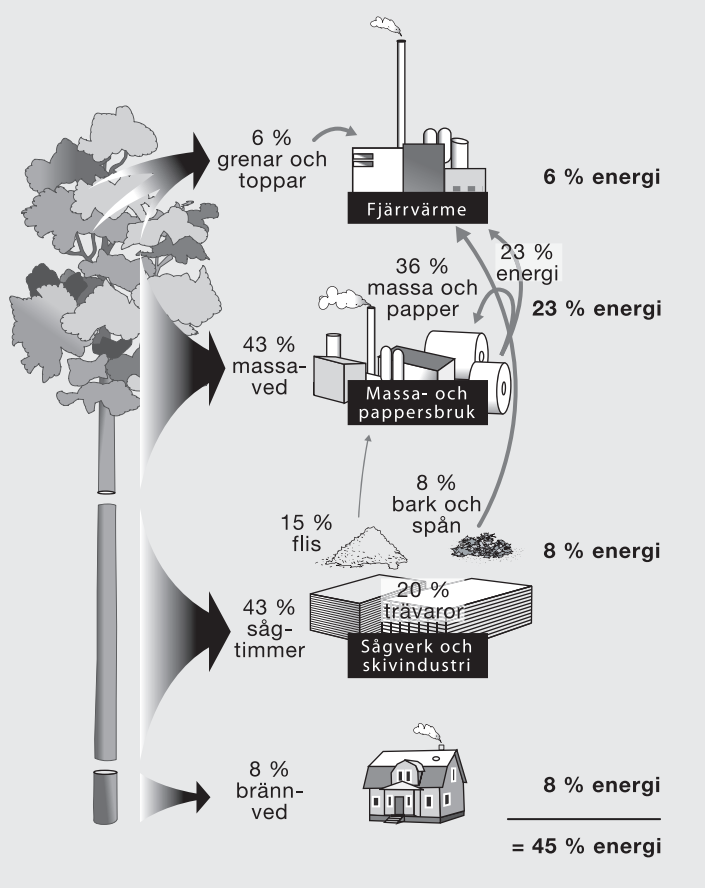
• etanol (i ren form till industrin och som inblandning i 95-oktanig bensin samt som huvudingrediens i fordonsbränslena E85 och E92)

Den största mängden trädbränslen som eldas i energisektorn kommer direkt från skogsbruket i form av grot (grenar och toppar), andra avverkningsrester och

helved, samt från trävaruindustrin och massa- och pappersindustrin i form av rest- och biprodukter (figur 2). Av den svenska skogsbiomassan som avverkades 2003 användes ungefär 45 procent till energiändamål (figur 3). En stor andel av årsavverkningen direktanvänds alltså inom energisektorn. Dessutom kan mycket skogsbiomassa efter sin huvudanvändning återvinnas som energi. Huvuddelen av det sågade virket kommer efter längre eller kortare tid att hamna i pannan, och detsamma gäller papperet som dock numera ofta gör en extra loop som returpapper.



Figur 2. Tillförsel av biobränslen år 2005. Bränslen från åkermark utgör bara 1 procent av all bioenergi i det svenska energisystemet.
(Källa: Kommissionen mot oljeberoende)



Figur 3. En stor del av årsavverkningen i den svenska skogen används redan idag till energiändamål. Siffrorna visar hur det såg ut 2003 då 45 procent av skogsbiomassan blev energi. Men det går att ta ut mycket mer energi ur skogen. Ytterligare cirka 20 procent biomassa i form av grenar och toppar lämnas idag på hygget, utöver den biomassa som syns på bilden. Dessutom lämnas ytterligare 20–25 procent biomassa kvar i form av stubbar med rotsystem. (Källor: Skogsindustrierna, SCB och Rolf Björheden, Skogforsk)

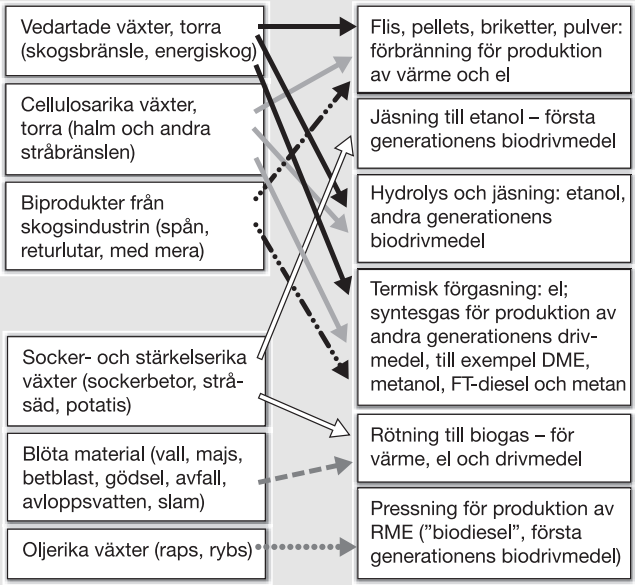
Biobränslen som flis och ved är i stor utsträckning regionala och lokala bränslen eftersom låg volymvikt och lågt pris begränsar de ekonomiskt försvarbara transportavstånden. (En kubikmeter olja motsvaras av 5–10 kubikmeter ved.) Biobränslen förädlas till pellets och briketter för att höja energitätheten, underlätta hanteringen och ge bättre transportekonomi. Totalt användes närmare 1,5 miljoner ton pellets, motsvarande cirka 7,2 TWh, i det svenska energisystemet år 2005. Leveranserna av pellets till den svenska marknaden har mer än fördubblats mellan 2000 och 2005. Det förekommer också en omfattande import av biobränslen, särskilt av etanol och pellets. Bedömningar pekar på att nettoimporten är mellan 5 och 9 TWh. Uppskattningsvis 80 procent av den etanol som används som drivmedel är importerad.

Från biomassa till slutanvändning

Biobränslena är av olika typer (figur 4). De kan vara rika på cellulosa, på stärkelse och socker eller på oljor. Med skogsbränslen menas ved, bark och spån. Lutar och tallbeckolja är biprodukter vid kemisk massatillverkning. Avfall kommer från hushåll och industrier, och slam från avloppsreningsverken. Figur 4 visar hur olika typer av biomassa genom olika processer omvandlas till energibärare som kan användas för olika ändamål: värme, el och drivmedel. Exempelvis framställs etanol genom jäsning av socker- och stärkelserika växter eller genom hydrolys och jäsning av torra cellulosarika växter.

Biogas framställs bland annat genom rötning av vått biologiskt material och avfall.

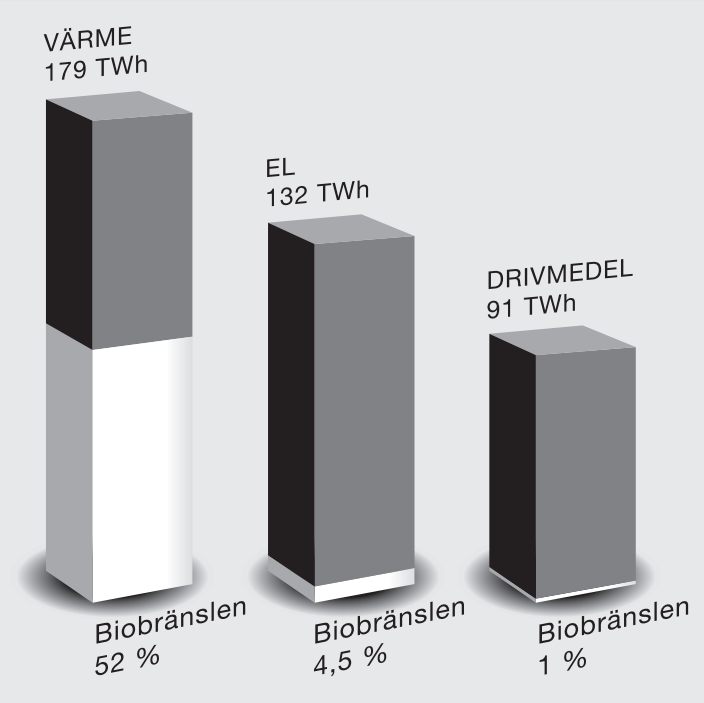
Gemensamt för första generationens drivmedel i figur 4 är att de baseras på stärkelse eller socker från ettåriga grödor. Odlingen drar en hel del energi och produktionen i Sverige begränsas av arealtillgången. Tekniken finns idag, och det är jästsvampar som gör jobbet. Andra generationens drivmedel kan vara lite av varje. Det gemensamma är att man har hopp om att få ett totalt



Figur 4. Bilden visar hur olika typer av biomassa genom olika processer kan omvandlas till energibärare som kan användas för olika ändamål. (Modifierad efter figur av Pål Börjesson)

sett effektivare system när man utgår från trä och annan lignocellulosa än när man utgår från stärkelse. Råvarubasen är stor. Tekniken är under utveckling.

Figur 5 visar hur stor del av slutanvändningen inom värme, el och drivmedel som kom från biobränslen år 2002. Behovet av oljeersättning är störst när det gäller drivmedel, men inom det området är än så länge bara någon procent av användningen täckt av biobränslen.



Figur 5. Andelen biobränsle inom olika användningsområden år 2002: värme, el och drivmedel. (Källor: Energimyndigheten och Svebio)

Skogsindustrin

Industrisektorn använde år 2005 totalt cirka 51 TWh biobränslen, torv med mera för värme- och elproduktion. Användningen var drygt 7 TWh inom massa- och pappersindustrin, och 5 TWh inom sågverk och övrig trävaruindustri. Övriga industribranscher använde knappt 1 TWh biobränsle. Energin från bränningen av returlutarna (som innehåller bland annat kokkemikalier och lignin) används internt inom den kemiska massaindustrin och uppgick år 2005 till närmare 38 TWh, exklusive elproduktion. Ur en av biprodukterna från återvinningen av kokkemikalier utvinns tallolja och tallbeckolja. Både massaindustrin och sågverken använder biprodukter som spån och bark som bränslen.

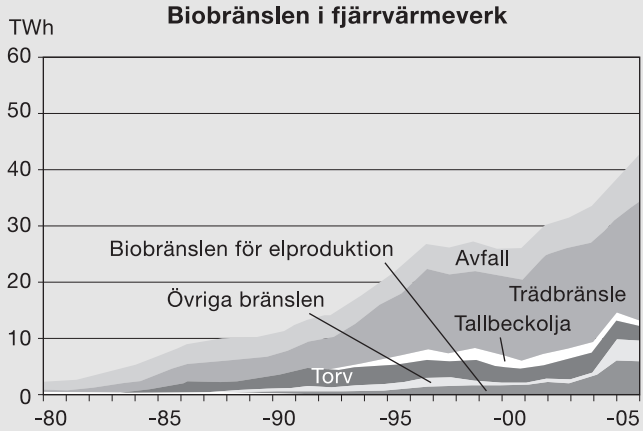
Småhus

Under år 2005 användes 11,2 TWh biobränslen för enskild uppvärmning i småhus. Större delen är helved. En mindre del är flis och en ökande andel är pellets och briketter. Vedeldning är vanligast bland husägare med god tillgång till skog. Under perioden 2000–2005 har användningen av pellets i småhussektorn ökat mer än sju gånger, och år 2005 värmdes över 80 000 småhus med pelletspannor.

Fjärrvärmeverken

Under år 2005 användes drygt 36 TWh biobränslen för produktion av fjärrvärme (exklusive elproduktion). Trädbränslen svarade för drygt 21 TWh, returlutar

och tallbeckolja för drygt 1 TWh, avfall för drygt 8 TWh, torv för knappt 3 TWh och övriga bränslen för cirka 3 TWh. Trädbränsleanvändningen inom fjärrvärmesektorn har mer än femfaldigats sedan år 1990 (figur 6). I första hand är det trädbränslen i form av avverkningsrester och biprodukter från skogsindustrin som utnyttjas. Förädlade bränslen som briketter och pellets används i allt större omfattning. Det är numera förbjudet att deponera utsorterat brännbart avfall, och det är troligt att avfallsförbränningen fortsätter att öka de närmaste åren.

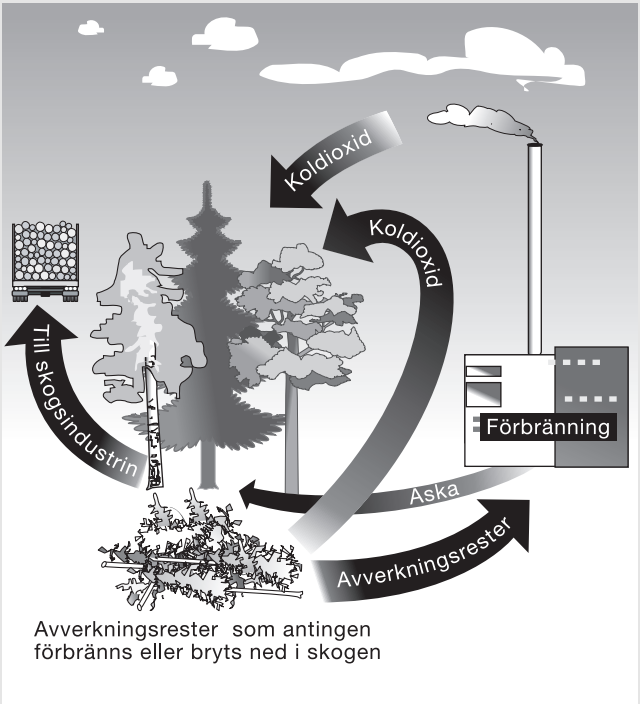


Figur 6. Användning av biobränslen, torv med mera i fjärrvärmeverk 1980–2005. (Källor: SCB och Energimyndigheten)

Torv, trädbränslen och koldioxid

Trädbränslen räknas som ”koldioxidneutrala”. Utsläppen av koldioxid från trädbränslen balanseras av att ny

växtlighet tar upp koldioxid i ett kretslopp, och genom att trädrester som lämnas kvar i skogen ändå skulle brytas ned till koldioxid med tiden. Därför räknas koldioxidutsläppen från biobränslen som noll (figur 7).



Figur 7. När man eldar med biobränslen så balanseras koldioxiden som bildas av att lika mycket koldioxid tas upp av nya träd eller grödor. Askan från förbränningen kan återföras till skogen så att även närsalterna går i kretslopp. Om trädrester lämnas kvar i skogen bryts de så småningom ner till koldioxid ändå. Det tar mycket längre tid än om man förbränner biomassan, men med tiden blir skillnaden mycket liten.

För torv räknas utsläppen från förbränning som en nettotillförsel av koldioxid till atmosfären. På det sättet finns en likhet med de fossila bränslena, även om torven är ett betydligt yngre material. Däremot innebär torvtäkt att man avbryter flöden av metan eller koldioxid från myren. Om energitorven skulle tillgodoräknas den effekten skulle torvens samlade klimatpåverkan i gynnsamma fall kunna bli betydligt lägre än den från de fossila bränslena.

Torv har egenskaper som är betydelsefulla vid sameldning med trädbränslen. Torven minskar riskerna för bland annat slaggning och korrosion i pannorna. Sedan 1 april 2004 är el som produceras med torv i kraftvärmeanläggningar berättigad till elcertifikat. EG-kommissionen har godkänt torv som effektivt kraftvärmebränsle av miljöskäl och på grund av att det fanns risk för att torven skulle bli utkonkurrerad av kol i kraftvärmesystemen. Den 1 januari 2005 infördes ett EU-gemensamt system för handel med utsläppsrätter för utsläpp av koldioxid. Torvförbränning behandlas i det systemet på samma sätt som förbränning av fossila bränslen. Den som eldar torv måste anskaffa utsläppsrätter för utsläpp av koldioxid.

Faktatexten baseras i huvudsak på Energiläget 2006, och är bearbetad av Anna Lundborg på Energimyndigheten.

Läs mera

- *Energiläget 2006, Energimyndigheten 2007*
- *På väg mot ett oljefritt Sverige, Kommissionen mot oljeberoende, Regeringskansliet juni 2006*

Bra att veta

1 terawattimme (TWh) = 10^{12} wattimmar = 1 miljard kilowattimmar
1 gigawattimme (GWh) = 10^{9} wattimmar = 1 miljon kilowattimmar
1 megawattimme (MWh) = 10^{6} wattimmar = 1000 kilowattimmar

Satsa på radikal teknikförändring – inte på biobränslen!

Eftersom bioenergi konkurrerar med livsmedelsproduktion så tror vi inte att biobränslen är en realistisk strategi för att nå långsiktiga klimatmål, skriver Ann-Kristin Bergquist och Magnus Lindmark. Det är bättre att redan nu rikta fokus och resurser på de radikala tekniska förändringar som kommer att bli nödvändiga på sikt. Då räcker det inte med ekonomiska styrmedel. Det krävs också institutioner där myndigheter och företag kan utarbeta innovationsstrategier.

Ann-Kristin Bergquist, Institutionen för ekonomisk historia, Umeå universitet.

Magnus Lindmark, Institutionen för ekonomisk historia, Umeå universitet.

När *Homo erectus* lämnade Afrika var biobränslen en förutsättning för att de tidiga människorna skulle klara de andra kontinenternas kyligare klimat. Ännu under 1800-talet var biobränslen ett viktigt inslag i vardagslivet. Det faktum att Emil i Lönneberga sonar sina synder i snickerboa är ett exempel. Dagens problem med global uppvärmning har å andra sidan att göra med fossila bränslen. Den kanske viktigaste aspekten av biobränslenas historia är därför historien om hur de ersattes av fossila bränslen. Varför det skedde och vilka konsekvenser det hade för ekonomin och samhället visar också varför den globala uppvärmningen är ett så fundamentalt problem.

Förhistorien är lång. Det var i England på Shakespeares och Elisabeth I:s tid som de första stegen mot den globala uppvärmningen togs. Redan då använde engelsmännen mer stenkol än något annat land, medan holländarna utnyttjade stora mängder torv. Det fanns en knappt märkbar ekonomisk tillväxt i båda länderna. Samtidigt låg den industriella revolutionen fortfarande långt in i framtiden. Det var först omkring 1830 som tillväxten blev tillräckligt hög för att märkas under en livstid. Men ändå hade den största förändringen av ekonomi och samhälle sedan jordbruksrevolutionen för 10 000 år sedan börjat. Det fanns ingen överordnad plan för omvandlingen till en industriell ekonomi. Den skedde i små, nästan omärkliga steg. Och kärnan i förändringen var en transformation av samhällets energisystem.

Energisystem på fotosyntesens villkor

Ända sedan mänsklighetens gryning hade alla samhällens energiförsörjning baserats på fotosyntesen. Fotosyntesen är den kemiska process i vilken växterna skapar kolhydrater av koldioxid och vatten, med hjälp av solenergi och klorofyll. Det var alltså genom växterna som solenergi kunde transformeras till de energiformer som var användbara i ekonomin. Det handlar om så enkla saker som grödor för livsmedel, foder till boskap och dragdjur, ved eller träkol för bostadsuppvärmning och industriella processer som järnframställning.

Energitillgången utgjorde en fysikalisk gräns för vad som kunde åstadkommas i termer av befolkningstillväxt och ökning av de industriella aktiviteterna. Exempelvis kunde den mekaniska energi som i form av dragdjurs och människornas arbete användes i jordbruket aldrig överskrida den energimängd som man fick ut i form av spannmål och foder. Visserligen var inte all energianvändning beroende av fotosyntesen. Vindkraft hade drivit fartyg sedan antiken och väderkvarnar började användas i Västeuropa under 1100-talet. I Holland användes de främst till att pumpa vatten i samband med dränering, viket skapade ny jordbruksareal med hög avkastning. Vindkraft, och för den delen också vattenkraft som främst användes i kvarnar och vid järnbruk utgjorde dock en rätt obetydlig del av den totala energianvändningen som dominerades av bränslen och livsmedel. Det här gäller också för vindkraftsintensiva sjöfartsekonomier som Holland och Norge.

Det var oerhört svårt att öka energiflödena till samhället. Orsaken är lätt att förstå om vi betänker att växter behöver landyta. Så länge landytan är begränsad finns det en gräns för de energiflöden människan kan kontrollera. Och eftersom energi i form av livsmedel behövdes för befolkningstillväxt och i form av bränslen för industrierna fanns det en avvägningssituation (trade-off) mellan befolkningsökningen å den ena sidan och industriell tillväxt å den andra.

Eftersom industrin, och särskilt då järntillverkningen, krävde stora mängder träkol var varje järnbruk beroende av ett omland där skog odlades. Eftersom energin hämtades från stora arealer präglades också industristrukturen av små enheter utspridda över stora områden. I en ekonomi vars energiförsörjning var beroende av fotosyntesen var detta helt enkelt ekonomiskt optimalt. Det skedde givetvis till priset av små produktionsvolymer och höga styckekostnader. Eftersom industrin behövde arbetskraft och livsmedelsförsörjningen behövde landyta var också befolkningen utspridd på landsbygden.

Stenkol tog över

Den stora förändringen kom runt 1720 när en järnmästare i Darbyshire kom på att stenkol kunde rostas och att den form av stenkol som då uppstod, koks, kunde användas i masugnarna. Spridningen av den nya metoden var långsam. Men den ledde med tiden till att mer järn kunde framställas. Och när utbudet ökade, föll järn-

priserna. Det gjorde det i sin tur möjligt att tillverka mer järnföremål. Samtidigt blev kolgruvorna allt djupare. På de regniga brittiska öarna innebar det större problem med vattenfyllda gruvhål. Pumparna drevs ursprungligen av hästar. Men kombinationen av att vattnet måste lyftas från allt större djup och att havren som hästarna åt blev dyrare som en följd av den tilltagande landbristen, skapade motiv för att leta nya tekniska lösningar.

Svaret blev Newcomens ångmaskin. Den var så ineffektiv att den bara var lönsam vid de största kolgruvorna där bränslet bokstavligt talat fanns på marken runt maskinen. Ångmaskinen var på så sätt en högst specialiserad teknik. Men när den hade utvecklats under senare delen av 1700-talet revolutionerade den med tiden både textilindustrin och transporterna.

Stenkol sparade land

Också i Sverige experimenterade bergmästarna med ångmaskiner, men eftersom de svenska ångmaskinerna eldades med ved blev de vid den här tidpunkten aldrig lönsamma. Samtidigt blev kolet allt viktigare i England. I England föregick kanalerna järnvägarna, men det var faktiskt bara de kanaler som man transporterade kol på som var lönsamma. Av Englands stora och berömda handelsflotta användes hälften av tonnaget för transport av stenkol från Newcastle till London. England hade nu definitivt kompletterat det fotosyntesbaserade energisystemet med ett fossilt energisystem.

Faktum är att detta kan illustreras med ett enkelt räkneexempel. Vi känner både stenkolets och vedens energivärde (värmeenergi per ton eller kubikmeter). Vi känner också den engelska stenkolsproduktionen. Då kan vi enkelt räkna ut vilken mängd ved som skulle ha behövts om den värmeenergi som kom från stenkol istället hade kommit från biobränslen. Eftersom mängden ved som kan användas som bränsle långsiktigt begränsas av skogstillväxten, och eftersom vi vet hur många kubikmeter skog som årligen växte per hektar, kan vi också räkna ut hur stor area som den engelska stenkolsanvändningen motsvarade. Vid sekelskiftet 1700/1800 var den lika stor som England och Wales samlade area! Kontentan är att stenkol sparade på land. Det hade i sin tur oerhörda effekter.

Kapital och fossilbränslen hand i hand

Många har tolkat den industriella revolutionen som en process där kapital i form av maskiner, infrastruktur och byggnader ersatte arbetskraft. Det är inte fel. Volymen kapital per arbetstimme (kapitalintensiteten) är idag oerhört mycket högre än på 1700-talet. Den större kapitalintensiteten har starkt bidragit till att produktiviteten (produktion per arbetstimme) är mycket högre nu än på 1700-talet. Att produktiviteten är hög är detsamma som att realinkomsterna är höga. Dagens jordbrukare uträttar tillsammans med sin traktor mycket mer ekonomiskt arbete än vad drängen Alfred gjorde bakom sin häst. Samtidigt är inte historien om kapitalintensiteten hela sanningen.

Olika undersökningar har visat att energianvändningen grovt sett ökar nästan lika mycket som mängden kapital. Historiskt sett har 1 procents ökning av realkapitalstocken motsvarats av ungefär 0,8 procents ökning av fossila bränslen. Det beror enkelt uttryckt på att maskiner omvandlar energi mellan olika energiformer. En motor behöver kemisk energi i form av bränslen för att utveckla rörelseenergi, och ugnar behöver kemisk energi för att bli varma. I ekonomiska termer betyder det att kapital och energi komplementerar varandra. Bildligt uttryckt behöver en traktorn diesel för att fungera, samtidigt som diesel behöver en traktor för att ha en funktion, och därmed ett ekonomiskt värde.

Men om man provar att öka mängden realkapital (maskiner) i den fotosyntesbaserade ekonomin kommer det att vara oerhört svårt att öka energiflödena i samma utsträckning. Kapitalägaren kommer att uppleva att den extra produktion han kan få ut från en ökning av realkapitalet minskar snabbt. Detta, snarare än bristande kapitalistisk anda, kommer att förhindra honom att bli en riktig industrialist. Det var alltså först när de fossila energikällorna möjliggjorde drastiskt ökade energiflöden som den industriella revolutionen blev möjlig. Givet dåtidens teknik gick det inte att bygga ett industrisamhälle på bioenergi.

Vattenkraft gav Sverige låga elpriser

Sverige kännetecknas bland annat av låg befolkningstäthet och stora arealer skogsmark. Detta är i sin tur

en följd av relativt dåliga förutsättningar för jordbruk. Samtidigt är inte klimatet för strängt för skogstillväxt, och nederbörden är riklig. Det senare i kombination med fjällkedjan gör också att landet är begåvat med flera älvar. Även om Luleälven förbleknar i jämförelse med Rhen, så är volymen rinnande vatten och fallhöjden per invånare ovanligt stora i Sverige.

Den avgörande tekniken bakom vattenkraften var växelströmstekniken som gjordes praktiskt användbar i USA på 1880-talet. Fördelen gentemot likströmmen var att de sträckor elen kunde överföras med små energiförluster var betydligt längre. När växelströmstekniken utvecklades under 1890-talet gjorde det Sverige till ett land med ovanligt stora möjligheter att direktproducera elektricitet. Elpriserna kunde därför hållas låga jämfört med andra länder där elpriserna i stort har utvecklats på samma sätt som kolpriserna. De låga elpriserna gjorde att den svenska industrin blev mer elintensiv. Det gäller inte minst metallindustrin, delar av verkstadsindustrin, den kemiska industrin och massa- och pappersindustrin.

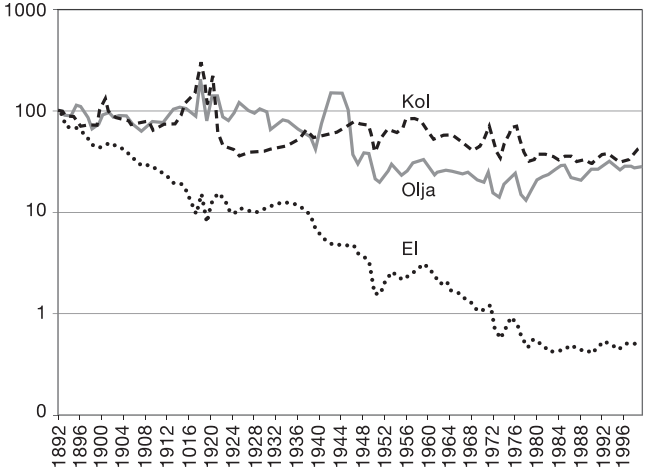
Prisutveckling för ved, kol, olja och el

Relativpris är priset för en produkt jämfört med priset för en annan produkt. Vi ska studera priset för olika energibärare – stenkol, olja och elektricitet – jämfört med ved. Ekonomisk teori visar att för produkter som är nära substitut så att man kan ersätta en produkt med en annan, kommer priserna att närma sig varandra

(konvergera) på en fri marknad. Om prisutvecklingen mellan två energibärare från att ha varit likartad börjar skilja sig åt kan det tolkas som ett resultat av teknisk förändring eller att marknadsformerna är olika.

Figur 1 visar att utvecklingen av relativpriset under perioden 1892–2000 framför allt kännetecknas av att elpriserna föll kraftigt. Det visar främst att elpriserna inte bestämdes på en internationell marknad och att staten genom Statens Vattenfallsverk kunde administrera elpriserna som en del i industripolitiken.

Prisindex för kol, olja och el i förhållande till brännved



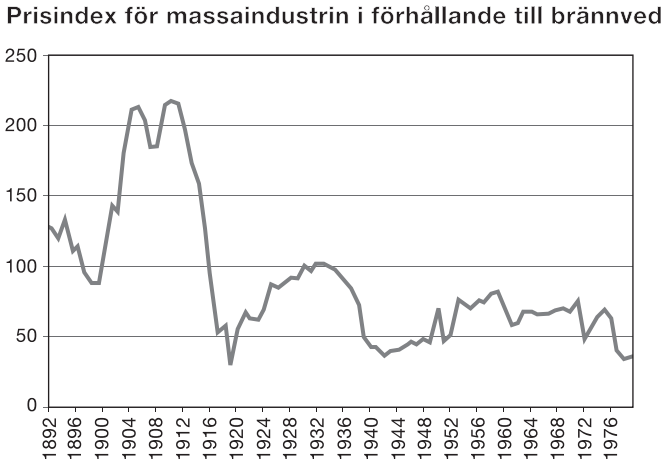
Figur 1. Prisindex för kol, olja och elektricitet i förhållande till brännved i Sverige 1892–1999 (index 1892 = 100). Prisserierna är byggda från olika historiska källor. Alla prisindex uttrycks som priset för energibäraren ifråga dividerat med priset för brännved.

Relativpriserna för olja och kol var i stort oförändrade fram till det första världskriget. De utvecklades på samma sätt som vedpriserna. Bränslena var därför nära substitut under perioden. Gick priset på något bränsle upp så ökade efterfrågan på ett annat till dess att ett nytt jämviktspris hade uppstått. Men efter första världskrigets kraftiga prisuppgång på bränslen – en direkt följd av kriget – föll både olje- och kolpriserna. Medan oljepriserna fortsatte att falla steg kolpriserna långsamt. Omkring 1957 var relativpriset för kolet samma som 1892. Från perioden 1950 till 1973 följde olje- och kolpriserna varandra tämligen väl. Från 1980-talet har priserna för alla energibärare utvecklats på ett likartat sätt.

Ett första problem är varför prisutvecklingen gick åt olika håll (divergerade) för alla tre bränsleslagen under framför allt mellankrigstiden. Det visar att de inte längre var samma nära substitut som under 1800-talet. Samtidigt visar prisutvecklingen för olja och kol en stark samvariation under perioden 1950 till 1973. De var således trots allt nära substitut, medan detta inte gällde för veden. Förklaringarna är att prisförändringen för olja och kol skedde långsamt på de internationella marknaderna. Då olja blev ett allt viktigare bränsle för transporter krävdes det stora investeringar både på produktions- och användningssidan för att substitution mellan kol och olja skulle leda till priskonvergens. Att vedpriserna inte konvergerade förklaras sannolikt av att ved av klenare dimensioner blev viktigare som insatsvara i massa- och pappersindustrin. Denna expanderade

inte minst under mellankrigstiden, vilket bland annat möjliggjordes av de låga elpriserna. Figur 2 visar också att vedpriserna efter mellankrigstiden i hög utsträckning har följt prisutvecklingen för massa- och pappersindustrin. Ved gjorde tack vare billig elektricitet större nytta som råvara än som bränsle.

Det andra problemet är varför relativpriserna efter 1980-talet på nytt verkar följa varandra. En förklaring är att den direktproducerade elektriciteten nu i stort har byggts ut till den kapacitet som samhället accepterar med hänsyn till bland annat naturskydd. Ytterligare



Figur 2. Prisindex för massa- och pappersindustrin i förhållande till brännvedspriserna 1892–1980 (index 1930 = 100). Prisindex beräknas alltså som priset för massa och pappersindustrins produkter dividerat med priset för brännved.

kraft importeras alltså från exempelvis kolkraftverk. Dessutom antyder prisutvecklingen att veden på senare tid har fått ökad betydelse som energibärare, exempelvis som bränsle i kraftvärmeverk.

Fossil energi för ekonomisk tillväxt

Den viktigaste lärdomen av biobränslenas historia är hur de ersattes av fossila bränslen, något som var en förutsättning för den industriella revolutionen och för långvarig ekonomisk tillväxt. Orsaken var att energiförsörjningen i stort kunde frikopplas från behovet av landyta. Samtidigt är fossila bränslen en ändlig resurs, ett faktum som bland annat oroade den brittiske nationalekonomen Stanley Jevons på 1880-talet. Men när energiflödena därmed kunde öka på ett dittills otänkbart sätt skapades förutsättningar för bland annat storskalig industri, stora städer, regional och internationell arbetsdelning. Samtidigt ökade luftföroreningarna i städerna på ett, också med dåtidens mått, alarmerande sätt. Idag är det få ekonomer som likt Jevons ser tilltagande knapphet på fossila bränslen som det allvarligaste hotet mot välfärden. Det är istället atmosfärens förmåga att absorbera koldioxid utan att klimatet påverkas som är den begränsande faktorn.

Också jordbrukets avkastning påverkades av den tilltagande mekaniseringen och senare användningen av konstgödsel, som båda var relaterade till det nya energisystemet. 1700-talets ekonomer hade inga föreställningar

om ekonomisk tillväxt av det slag som vi känner från perioden 1830 till idag. När Adam Smith talar om möjligheterna för England att öka sitt välstånd genom fria marknader, den berömda ”osynliga handen”, och arbetsdelning ser han framför sig hur England kan svinga sig upp till de inkomstnivåer som 1700-talets holländare upplevde. Orsaken var att också det ekonomiska tänkandet var fångat i den fotosyntesbaserade ekonomins realiteter.

Dagens utmaning

Dagens utmaning, att skapa en högproduktiv ekonomi oberoende av fossila bränslen och kärnkraft, är jämförbar med att åstadkomma en omvandling av samma dimensioner som den industriella revolutionen. Skillnaden är att detta är tänkt att ske med hjälp av olika typer av politiska styrmedel. Den industriella revolutionen skapades inte genom politiska åtgärder med industrialisering som mål. Den var tvärtom en minst sekellång process som drevs av en mängd enskilda aktörers små beslut. Klimatfrågan kräver en tidsmässigt snabbare omställning. Om omställningen bygger på att fossila bränslen ersätts med biobränslen tvingas samhället att på nytt göra avvägningen mellan livsmedelsproduktion och bioenergi.

Vi tror därför inte att biobränslen är en realistisk strategi för att nå långsiktiga klimatmål. Det är bättre att redan nu rikta fokus och resurser på de radikala tekniska förändringar som kommer att bli en nödvändighet på

längre sikt. Historiska studier av teknisk förändring visar att miljöer som är öppna för experimenterande, misslyckanden och långsiktiga strategier åstadkommer innovationer. Historiska studier poängterar också att företags teknikval ofta handlar om val mellan teknikutvecklingsspår och inte mellan färdiga tekniska lösningar där kostnaderna är kända. Eftersom teknikutveckling är en mycket osäker process har företag en tendens att välja konservativa lösningar och det är bland annat därför som grundläggande tekniska förändringar är så svåra att åstadkomma.

Historiska erfarenheter av teknikutveckling visar också att förändrade priser bara är en av många drivkrafter och förutsättningar för teknisk förändring. Vi tror därför att samhället inte bara kan förlita sig på ekonomiska styrmedel. De är bra för att åstadkomma effektiva val mellan kända tekniska lösningar, men för att skapa förutsättningar för långsiktig teknisk förändring krävs också institutioner där myndigheter och företag kan utarbeta innovationsstrategier. Miljöanpassningen av svensk industri under perioden 1970–1990 skedde i stor utsträckning på det sättet, och vi tror att erfarenheter från den perioden bör utnyttjas också i klimatpolitiken.

Ann-Kristin Bergquist är doktorand vid Institutionen för ekonomisk historia vid Umeå universitet. Hon arbetar med en avhandling om Rönnskärsverkens miljöanpassning sedan 1960-talet och beräknas disputera hösten 2007.

Magnus Lindmark är docent vid samma institution och arbetar bland annat med frågor som rör långsiktiga samband mellan miljö och ekonomisk tillväxt.

Biomassa i Sverige – en stor resurs men ändå inte tillräcklig

Skogen i Sverige kommer alltid att vara en mycket större källa till bioenergi än åkermarken. Men hur vi än anstränger oss för att öka produktionen av bioenergi från jord- och skogsbruk med traditionella metoder så kommer tillgången i framtiden inte att kunna svara upp mot efterfrågan. För att skogens biologiska potential ska kunna utnyttjas fullt ut måste regler och attityder ändras när det gäller bland annat gödsling, klonskogsbruk och främmande trädslag, skriver Pål Börjesson, Sune Linder och Tomas Lundmark.

Pål Börjesson, Miljö- och energisystem, Lunds tekniska högskola.

Sune Linder, Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap, SLU i Alnarp.

Tomas Lundmark, Enheten för skoglig fältforskning, SLU i Umeå.

Det finns delade meningar om hur mycket biobränslen jord- och skogsbruket i Sverige kan komma att producera i framtiden. En del hävdar att jordbruket aldrig kan producera mer än en bråkdel av vad skogen kan göra, medan andra hävdar att jordbrukets biobränslepotential är stor. Man gör olika bedömningar om vad som kan vara lönsamt att göra för att öka produktionen av bioråvara och har olika syn på vad samhället och politiken kan tillåta i framtiden. Odling av bioråvara på jordbruksmark påverkas starkt av ett omfattande jordbrukspolitiskt stödsystem, medan produktionen i skogen sker på marknadsmässiga villkor. Det gör inte framtiden lättare att bedöma.

På åkermarken har vi sedan länge valt odlingssystem som bygger på förädlat växtmaterial, intensiv markbearbetning, gödsling och kemiska bekämpningsmedel. Det innebär att tillväxten på åkermarken ligger nära vad som är biologiskt möjligt. På skogsmarken däremot sker odlingen nästan uteslutande extensivt utan tillförsel av näringsämnen och bekämpningsmedel. Därför är skogen som produktionsresurs av bioråvara ännu långt från sin fulla potential eftersom näringstillgången i marken – främst kväve – är den tillväxtfaktor som starkast begränsar biomassaproduktionen i våra nordliga skogsekosystem. Det här är viktigt att komma ihåg när man pratar om hur mycket skogen kan producera.

Hur mycket bioenergi jordbruket kan komma att producera beror på många olika faktorer, till exempel hur

det jordbrukspolitiska stödsystemet utvecklas, vilka energigrödor vi väljer att odla, var i Sverige odlingarna lokaliseras, vilken typ av åkermark vi utnyttjar, samt hur mycket restprodukter från växtodling och djurproduktion som utnyttjas för energiproduktion. Detta i sin tur styrs av hur lönsamt det är för bonden att producera bioenergi. På samma sätt styrs skogens skötsel av ekonomiska val inom ramar som sätts av vad som är politiskt tillåtet och biologiskt möjligt.

Mer restprodukter från jordbruket

På dagens svenska åkermark om knappt 2,7 miljoner hektar produceras årligen cirka 80 TWh biomassa. Av denna består 30 TWh av restprodukter som skördas bara till liten del, till exempel halm. Drygt 40 procent av åkermarken utnyttjas för vallodling (gräs till foder), knappt 40 procent för spannmålsodling, mindre än 10 procent för övrig odling (oljeväxter, sockerbetor, potatis, energiskog, med mera) och 12 procent är träda. Ur resurssynpunkt bör vi i första hand utnyttja befintliga restprodukter för energiändamål. En uppskattning är att vi skulle kunna öka användningen av halm för energiändamål med upp till cirka 6 TWh per år utan att det orsakar några negativa ekologiska konsekvenser. Dessutom kan vi teoretiskt få ut mellan 4 och 6 TWh biogas från gödsel som produceras i dagens djurproduktion. Från sockerbetsblast kan vi få ut ytterligare knappt 1 TWh biogas. Tillsammans med dessa cirka 10 TWh bioenergi från befintliga restprodukter kan sedan jordbruket leverera bioenergi i form av energigrödor.

Den tillgängliga arealen för skogsproduktion är drygt åtta gånger större än åkerarealen, 22,2 miljoner hektar, och den årliga tillväxten av stamved i skogen motsvarar uppemot 250 TWh per år. Den absolut största delen av dagens användning av biobränslen i Sverige, drygt 100 TWh per år, har sitt ursprung från skogen där huvuddelen utgör restprodukter från skogsindustrin. Jordbrukets bidrag är bara någon enstaka terawattimme.

Dålig lönsamhet på trädesmark

Ofta framförs synpunkten att vi för att undvika konkurrens med livsmedelsproduktion bör utnyttja mark som ligger i träda för odling av energigrödor. Av de 12 procent av Sveriges åkermark som ligger i träda idag är nästan hälften (5 procent av åkermarken) obligatorisk träda som dagens jordbrukspolitik kräver att vi inte producerar livsmedel på för att minska överskottsproduktionen. Dessutom ligger cirka 7 procent av åkermarken i frivillig träda på grund av dålig lönsamhet. Åkermark som läggs i träda är oftast sämre och mindre lönsam att odla än genomsnittlig åkermark. Det medför att biobränslepotentialen också blir lägre för denna mark. Andelen frivillig träda är som högst i mellersta Sverige där skördenivåerna är cirka 30 procent lägre än i södra Sverige.

Om vi skulle odla vanliga jordbruksgrödor som spannmål och oljeväxter för energiproduktion på dagens trädesareal skulle vi kunna producera ungefär 5 TWh bio-

energi per år. Men ett problem är den dåliga lönsamheten på denna sämre mark, även för energigrödor. För att få igång energiproduktion här krävs det sannolikt ekonomiska stöd i någon form.

Olika grödor ger olika avkastning

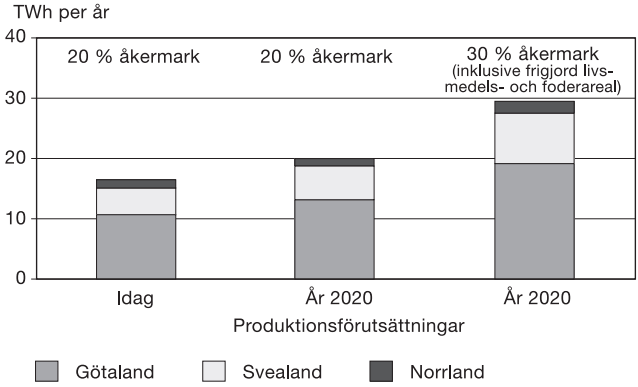
Det är stor skillnad mellan olika grödor när det gäller hur mycket energi vi kan få ut per hektar. Om man odlar högavkastande energigrödor, som till exempel energiskog (salix, poppel, hybridasp) och sockerbetor i södra Sverige, får man ut ungefär dubbelt så mycket energi som vid odling av raps, och cirka 50 procent mer än när vi odlar spannmål. När även halmen tas tillvara blir skillnaderna något mindre.

Idag odlas framför allt spannmål och raps som energigrödor och då som råvara för biodrivmedel (etanol respektive rapsmetylester, RME). Dessa två energigrödor är de mest lönsamma för jordbrukaren idag. Endast cirka 0,5 procent av åkermarken används för odling av energiskog (salix) som sedan används för värmeproduktion i fjärrvärmeverk. För att få mer energiskogsodlingar krävs det att lönsamheten för jordbrukaren ökar, genom ökad efterfrågan och högre pris eller speciella stöd för att utveckla marknaden. Om trädesarealen skulle utnyttjas för odling av mer högavkastande energigrödor skulle biobränsleproduktionen kunna bli mellan 7 och 8 TWh per år.

Jordbruksscenarier för år 2020

Idag används cirka 6 procent av åkermarken för odling av spannmål som exporteras och betalas till världsmarknadspris som ofta är lågt. Men bönderna kompenseras för detta. Dessutom odlas mer vall än vad vi behöver som foder till dagens djurproduktion. Dessa två typer av ”överskottsproduktion” skulle kunna ersättas med energiodling utan att konkurrera med odling av livsmedelsgrödor för vår inhemska konsumtion.

Om vi utnyttjar 20 procent av dagens åkermark för odling av blandade energigrödor (både låg- och högavkastande) på delar av dagens trädesareal och överskottsareal av spannmål och vall, skulle vi kunna producera cirka 15 TWh bioenergi (figur 1). Genom växtförädling och förbättrad odlingsteknik skulle vi på samma areal kunna producera cirka 20 TWh kring år 2020. Genom växtförädling och förbättrad odlingsteknik får vi också högre skördar för vanliga livsmedels- och fodergrödor. Om behovet av dessa grödor är konstant kan vi frigöra ytterligare cirka 10 procent åkermark för bioenergiproduktion till år 2020 och då totalt producera cirka 30 TWh på 30 procent av åkermarken. Längre fram i tiden kan genmodifierade grödor leda till ännu högre skördeökningar. Å andra sidan kan en ökning av den ekologiska odlingen minska tillgången på åkermark för bioenergiproduktion. Skördenivåerna vid ekologisk odling är ofta cirka 30 till 40 procent lägre än vid konventionell odling.



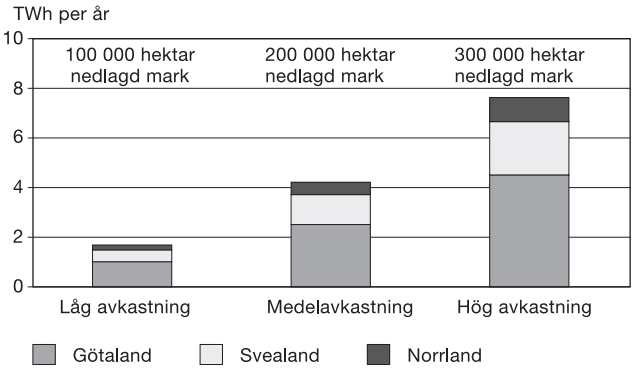
Figur 1. Bruttoproduktion av bioenergi när 20 procent av dagens åkerareal utnyttjas för odling av energigrödor, dels med dagens produktionsförutsättningar, dels med uppskattade produktionsförutsättningar för år 2020. Ökade skördar tack vare växtförädling och förbättrad odlingsteknik bedöms kunna frigöra ytterligare 10 procent åkermark till år 2020 om behovet av inhemskt producerade livsmedels- och fodergrödor är konstant (stapeln till höger). Energigrödorna antas vara av en mix av låg- och högavkastande grödor.

Osäkert om nedlagd jordbruksmark

I dagens debatt framförs ofta synpunkten att även nedlagd jordbruksmark kan utnyttjas för energiproduktion i framtiden. Men osäkerheten är stor både när det gäller tillgång på nedlagd jordbruksmark för energiproduktion och produktiviteten hos marken. Bedömningar visar att mellan 100 000 och 400 000 hektar nedlagd åkermark kan finnas tillgänglig för bioenergiproduktion. En orsak till att de inte utnyttjas idag är troligen dålig lönsamhet. Det kommer att krävas

ekonomiskt stöd för att få igång en storskalig odling på dem.

En del av dessa marker är också värdefulla att bevara för att bibehålla den biologiska mångfalden i skogs- och jordbrukslandskapet. För en del gamla betes- och hagmarker får lantbrukarna redan ekonomisk ersättning. En grov uppskattning av vilken betydelse nedlagd jordbruksmark kan ha vid en framtida produktion av bioenergi visas i figur 2 där det antas att produktionen av bioenergi på nedlagd jordbruksmark kan variera från drygt 1,5 TWh upp till drygt 7,5 TWh per år. Nedlagd jordbruksmark bedöms till stor del utgöras av små,



Figur 2. Bruttoproduktion av bioenergi på nedlagd jordbruksmark beroende på tillgänglig areal respektive skördeavkastning. Energiodlingen på den här marken bedöms framför allt bli snabbväxande lövträd som poppel och hybridasp samt gran. ”Låg avkastning” motsvarar produktiviteten på något sämre skogsmark inom regionen, ”medelavkastning” motsvarar genomsnittlig skogsmark och ”hög avkastning” motsvarar bättre skogsmark.

oregelbundna fält där snabbväxande lövträd som poppel och hybridasp tillsammans med gran är mest lämpliga att odla. Traditionella skogsmaskiner kan användas.

Politik sätter gränsen för skogstillväxt

För att maximera produktionen av biomassa på en viss lokal i skogen krävs det att trädslagsvalet är rätt, att beståndet är slutet och att tillgången på växtnäring är god. Moderna näringsoptimeringsförsök, med stöd av 80 års växtnäringsforskning i Sverige, har visat att det är möjligt att uppnå mycket hög produktion genom behovsanpassad tillförsel av växtnäring. Granens volymproduktion kan på det sättet fördubblas i delar av södra Sverige och ökas mer än tre gånger i norra Sverige. Med samma insatser på skogsmark som idag är norm på åkermarken blir alltså produktionsnivåerna likartade. Men då måste det finnas ekonomiska och politiska förutsättningar för att maximera skogens produktion. I praktiskt skogsbruk är det därför inte orealistiskt att anta att tillväxten sett över en hel omloppstid kan ökas med minst 5 kubikmeter per hektar i hela landet bortsett från de allra bördigaste markerna.

För närvarande är det inte skogsträdens biologiska produktionspotential som sätter gränsen för hur mycket skogsråvara som kan produceras, utan ekonomiska och politiska restriktioner. Dagens skogspolitik tillåter inte skogsskötselsystem med upprepade och behovsanpassade gödslingar som leder till att medeltillväxten ökas kraftigt

under omloppstiden. Det är inte heller tillåtet att nydika våtmarker av miljöskäl. Men ur forskningssynpunkt är det viktigt att fortsätta att studera ett produktionsoptimerat skogsbruk ur olika aspekter, inte minst de miljömässiga. Oavsett vad man tycker om ett mer intensivt brukande av skogen måste man ha kunskap för att fatta rätt beslut.

Skogen i olika tidsperspektiv

Om vi utgår från att man kan nå motsvarande produktionsnivåer på skogsmark som på åkermark skulle potentialen att producera bioråvara i skogen kunna bli tre till fyra gånger högre än dagens nivå, det vill säga mellan 600 och 800 TWh räknat som energi. I praktiken är detta givetvis inte realistiska nivåer men det finns ändå mycket mer råvara att hämta från skogen på kort och lång sikt. Det första och snabbaste vi kan göra för att öka uttaget av energiråvaror ur skogen är att skörda mer av den skog som avverkas. Genom att ta till vara mer av grenar, toppar, stubbar och klena stammar kan i storleksordningen 40 extra terawattimmar (motsvarar cirka 40 procent av dagens bruttotillgång) skördas utan större modifikationer av det skogsbruk som nu bedrivs. Denna extra råvara är tillgänglig redan idag.

Framtida åtgärder som ökar den möjliga avverkningen i skogen innebär att mängden grot (grenar och toppar) och stubbar som går att skörda ökar i motsvarande grad. På våta marker med torv som redan dikats finns möjligheter att snabbt öka tillväxten genom dikesrensning och gödsling (askspridning). För landet som helhet bedöms

tillskottet bli 4 TWh per år. Med bättre föryngringar och förädlat plant- och frömaterial kan man på sikt få relativt stora tillväxtökningar, i storleksordningen 40 TWh. Genom att öka arealen som planteras med contortatall istället för svensk tall samt genom att återgå till 1980-talets nivå på gödsling av skogsmark sent under omloppstiden går det att få ytterligare 15 TWh varje år.

Om vi dessutom antar att Oljekommissionen får rätt i sin uppfattning att 5 procent av skogsmarken näringsoptimeras före 2020 genom upprepad gödsling från ungskogsstadiet, blir det ytterligare minst 10 TWh att lägga till kalkylen. Den enskilda åtgärd som ger störst effekt är ungskogsgödsling. Om vi antar att man näringsoptimerar all den mark som man med dagens perspektiv kan anse lämplig med hänsyn till bland annat trädslag (gran), markens bördighet och naturvårdshänsyn beräknas cirka 3,3 miljoner hektar vara användbara. Det skulle kunna ge en årligt ökad tillväxt som motsvarar 35 TWh.

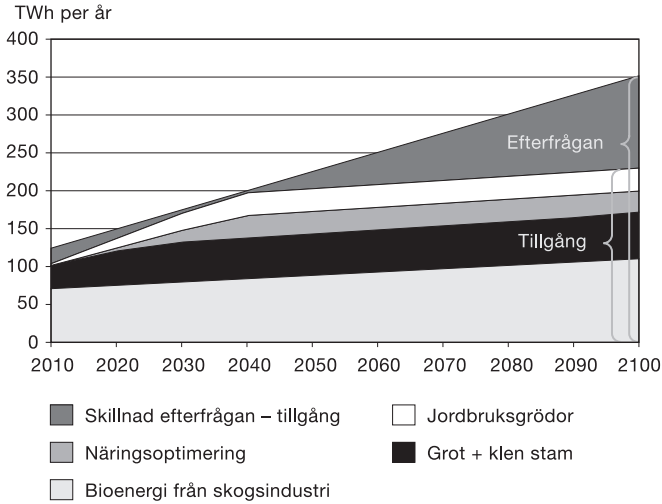
Prognos till år 2100

Det är troligt att skogens bidrag till landets energiförsörjning kan mer än fördubblas under 2000-talet, från dagens cirka 100 TWh till en bit över 200 TWh år 2100, om de åtgärder som beskrivits här verkligen genomförs. Hur efterfrågan på bioenergi kommer att utvecklas till år 2100 och hur jord- och skogsbruket kommer att klara att uppfylla behovet visas i figur 3. I beräkningarna förutsätts efterfrågan fortsätta att utvecklas som

under de senaste 15 åren, det vill säga öka med cirka 2,5 TWh per år.

Bättre föryngringar, förädlat frö- och plantmaterial, mer contortatall, ökad ”traditionell” gödsling, näringsoptimering på 5 procent av arealen, dikesrensning, åkerplantering med gran och poppel förväntas tillsammans kunna ge en tillväxtökning på 40 procent eller 40 miljoner kubikmeter. Effekten nås fullt ut efter en omloppstid på cirka 90 år. Allt rundvirke går i den här beräkningen till traditionell skogsindustri, vilket medför att mängden bioenergi från skogsindustrins restprodukter ökar över tiden. Grot, stubbar och klena stammar som kan skördas ökar proportionellt med den ökade avverkningen. Utöver Oljekommissionens förslag att näringsoptimera 5 procent av skogsmarken, cirka 1 miljon hektar, används all lämplig mark med nuvarande trädslagsfördelning och struktur, det vill säga ytterligare cirka 2,3 miljoner hektar, för energiproduktion. Omställningen sker med 1 procent av totalarealen per år, cirka 200 000 hektar per år. Det ger vid full effekt ytterligare 25 TWh.

I figur 3 ger åkermarken 5 TWh som restprodukter från dagens åkerbruk, och en allt större andel åkerareal inklusive trädesarealen ställs om till energiodling som motsvarar cirka 20 procent av den totala åkermarksarealen omkring 2040. I början är energigrödorna framför allt ettåriga, men successivt odlas alltmer högavkastande fleråriga grödor som ger totalt 30 TWh per år under hela perioden.



Figur 3. Förväntad utveckling av efterfrågan på bioenergi i förhållande till skogs- och jordbrukets möjligheter att svara upp mot behovet fram till år 2100. Efterfrågan kommer att vara mycket större än tillgången, trots en rad åtgärder i jord- och skogsbruk. Här inkluderas inte genmodifierade växter, mer omfattande gödsling eller odling av främmande trädslag i stor skala. Inte heller effekter av ett förändrat klimat ingår i beräkningarna. Skogen kommer att förbli den största råvarubasen för bioenergi i Sverige.

De olika insatserna för ökad tillväxt har olika lång leveranstid varför det möjliga uttaget av extra bioråvara från skogen kommer att ske stegvis. Summerar vi alla ”sannolika” utfall som skogens bidrag till energiförsörjningen ger så når vi en siffra som ligger ungefär dubbelt så högt som dagens nivå. Om vi antar att huvuddelen av den extra tillväxten som avverkas går till sågad vara och pappersmassa betyder det att motsvarande 40 miljoner

extra kubikmeter skulle gå till expansion av den traditionella skogsindustrin. Men det innebär inte att den möjliga ökningen till energiförsörjningen försvinner. Av den råvara som går till skogsindustrin blir nämligen cirka hälften restprodukter som kan nyttiggöras som energi. Med detta scenario skulle utrymmet för energisektorns expansion baserad på skogsråvara fortfarande bli betydande (figur 3).

Skogen största bioenergikällan

Den årliga totala biomassaproduktionen på dagens åkermark motsvarar ungefär 30-40 procent av dagens skogsproduktion, samtidigt som åkerarealen är en ungefär åttondel av skogsarealen. Idag utnyttjas bara en marginell del av jordbrukets biomassa för energiändamål, och hur stor biobränslepotentialen kan bli i framtiden styrs till stor del av hur mycket åkermark som utnyttjas för energiodlingar, vilka energigrödor som odlas samt hur stor del av befintliga restprodukter som tas tillvara. Detta avgörs i sin tur av de ekonomiska förutsättningarna för jordbrukaren att producera bioenergi i konkurrens med livsmedels- och fodergrödor där det jordbrukspolitiska stödsystemet, energiprisnivåer med mera är avgörande.

Även om ambitiösa politiska styrmedel driver fram en kraftigt ökad bioenergiproduktion inom jordbruket kommer skogen alltid att förbli den största råvarubasen för bioenergi i Sverige.

Den årliga virkesproduktionen i Sverige är drygt 100 miljoner kubikmeter idag och kommer att fortsätta att ligga på den nivån om det framtida skogsbruket bedrivs som idag. Ett sådant skogsbruk har den konsekvensen att det inte kan täcka både skogsindustrins och en snabbt expanderande bioenergisektors behov av råvara. De närmaste årtiondena kan vi inte öka tillgången på skogsråvara med hjälp av förädlade och/eller genmodifierade träd utan måste förlita oss på de befintliga skogarnas produktion.

Den svenska skogen har som tur är redan en biologisk produktionspotential som skulle kunna säkerställa både industrins och energisektorns behov. Men för att denna biologiska produktionspotential ska kunna förverkligas och utnyttjas fullt ut krävs en förändring av regelverk och attityder när det gäller bland annat näringstillförsel, klonskogsbruk och främmande trädslag, samt utveckling av skötselmetoder som inkluderar skogsbränsle som ett ordinarie sortiment i ett uthålligt skogsbruk. Begränsningarna finns således inte i skogens förmåga att bidra till ett framgångsrikt klimatarbete utan snarare i vår egen oförmåga att se de möjligheter som skogen erbjuder. Om vi börjar se dessa möjligheter inom skogsbruket och också inom jordbruket kan biobränsle åter bli det dominerande energislaget i det svenska energisystemet inom några decennier, som det var fram till början av 1900-talet.

”Minds are like parachutes – they work best when open.”

Pål Börjesson är docent i miljö- och energisystem vid Lunds tekniska högskola. Hans forskning inriktar sig mot breda, tvärvetenskapliga systemstudier av bioenergisystem med fokus på hur dessa kan utnyttjas på bästa sätt med tanke på miljö, energi, resurser och kostnader.

Sune Linder är professor i skogsekologi vid Sveriges lantbruksuniversitet och forskar främst på skogsekosystemens kol- och näringsdynamik i relation till skogsskötselmetoder och klimatförändringar.

Tomas Lundmark är docent i skogshushållning och föreståndare för Skogsvetenskapliga fakultetens enhet för skoglig fältforskning vid Sveriges lantbruksuniversitet.

Biobränslen kors och tvärs över gränserna

Handeln med biobränslen kommer troligen att öka i framtiden. Än så länge importerar vi till Sverige mer biobränslen än vi exporterar. Men det kan komma att ändras när andra länder ökar sin efterfrågan. Om biobränslen bara produceras och transporteras på ett hållbart sätt är de ett av de viktigaste verktygen för att få bukt med 2000-talets energi- och miljöproblem, skriver Bengt Hillring och Olle Olsson.

Bengt Hillring, Institutionen för bioenergi, SLU i Uppsala.

Olle Olsson, Institutionen för bioenergi, SLU i Uppsala.

Bioenergi stod ännu vid början på 1900-talet för nästan hälften av världens energianvändning. Inte förrän på 1950-talet använde vi mer olja än bioenergi, och än idag är bioenergi den absolut viktigaste energikällan i många av världens fattiga länder. Men de senaste årtiondena har bioenergin fått en ny roll, främst i skogrika länder som Sverige, Finland och Österrike. I takt med att miljö- och prisskäl har gjort att man försöker dra ner på användningen av fossila bränslen har bioenergin vuxit fram allt mer som en storskalig och kommersiell energikälla.

Genom att oljepriserna stiger och världen blir mer och mer medveten om hur våra utsläpp påverkar det globala klimatet växer emellertid intresset för bioenergi även i länder utan stora inhemska skogstillgångar. Vad som nu håller på att ske är för det första att länder över hela världen undersöker alla möjligheter att ta tillvara inhemska resurser för produktion av biobränsle. Det kan vara olivkärnor i Grekland, vindruvsrester i Frankrike eller grenar och toppar (grot) från den svenska skogen. För det andra kommer vi att få se en stor ökning av den internationella handeln med biobränslen.

Standardisering på gång

Tätbefolkade länder utan stora inhemska tillgångar, som exempelvis Holland och Belgien, arbetar hårt för att få fart på internationell handel med biobränslen. Holländarna har exempelvis som ambition att hamnen i

Rotterdam ska bli ett sorts nav för handel med biobränslen på samma sätt som den idag är ett nav för olja på väg till kontinentala Europa. I Holland har man redan nu börjat med import av stora mängder pellets från Kanada och länderna kring Östersjön. Man sameldar pellets med kol i sina kondenskraftverk för att få ner utsläppen av växthusgaser. Pellets skeppas vidare från Rotterdam med pråmar ut på Europas floder.

Men trots dessa initiativ och det stora intresset för bioenergi har handeln med biobränslen inte riktigt tagit fart än. En bidragande orsak är bristen på enhetlig standardisering. Det finns helt enkelt ingen allmänt överenskommen definition om vilka egenskaper exempelvis pellets ska ha. En sådan standard är under utarbetande, men förväntas ta lång tid att etablera. Därför är det svårt för köpare att säkert veta vad man egentligen köper. Av den anledningen har handel med biobränsle hittills i huvudsak skett via långa kontrakt mellan köpare och säljare som kunnat bygga upp förtroende och på så sätt säkerställa kvaliteten.

Hållbar biobränsleproduktion?

För att handeln med biobränsle ska kunna bli en långsiktigt stark och hållbar verksamhet är det också viktigt att det biobränsle som marknadsförs har producerats på ett hållbart och miljövänligt sätt. Uttag av biomassa måste ersättas med något nytt som växer för att energin som utvinns ur bränslet överhuvudtaget ska kunna

betraktas som förnybar och koldioxidneutral. Om man tillåts vara lite cynisk så är detta också en fråga om bioenergins image som ett miljövänligt energislag, ett problem som holländska energiproducenter fått erfara under senare tid.

Ett av Hollands större energiföretag använde tidigare stora mängder indonesisk palmolja som bränsle. Den storskaliga produktionen sker i många fall på ett ur miljösynpunkt mycket tveksamt sätt. Stora arealer naturskog avverkas för att bereda plats för oljepalmsplantager, och i takt med att naturskogen försvinner hotas många känsliga djur- och växtarter av utrotning. När detta blev allmänt känt i Holland orsakade det en storm av protester. Krav restes på att man skulle sluta använda palmolja som bränsle, och så blev det. Energiföretaget ifråga har nu arbetat fram ett program som ska garantera att produktionen av allt biobränsle som används sker på ett hållbart och miljövänligt sätt.

Sverige – Europas sopstation?

I många svenska lokaltidningar har det uppstått debatt kring något som många tycker är rätt underligt, nämligen att Sverige importerar avfall av olika former från andra delar av Europa. Det har rört sig om vanligt blandat hushållsavfall, men också till stor del om flisat träavfall. Under den senaste tioårsperioden har svenska energiproducenter importerat relativt stora mängder återvunnet trädbränsle, eller returträ som det kallas, från

länder på kontinenten, främst Tyskland och Holland. En bidragande orsak till denna handel är de förändringar som skett i europeisk avfallslagstiftning sedan millennieskiftet. Dels av miljöskäl, dels på grund av ren platsbrist är det i hela EU sedan 2005 förbjudet att deponera (lägga på tipp) organiskt och biologiskt material. Förbränning med energiutvinning är ett tillåtet och på många sätt utmärkt alternativ till deponering, men i många länder är det brist på lämpliga förbränningsanläggningar.

Därför har en lösning blivit att länder i Europa valt att exportera sitt träavfall till Sverige för förbränning i svenska fjärrvärmeverk. Rent träavfall eldas i vanliga värmeverk, och man eldar också vissa sortiment impregnerat trä i avfallsförbränningsanläggningar kopplade till fjärrvärmenätet. Särskilt giftiga sortiment får emellertid förbrännas bara i ett fåtal specialanläggningar i landet, som exempelvis hos företaget Sakab i Kumla. De svenska energiföretag som deltagit i handeln har också tjänat på den i och med att de har fått tag på bränsle till lågt pris. Returträflis används som bränsle i ett tjugotal fjärrvärmeverk runt om i Sverige. Men vissa typer av träavfall kan inte eldas i vilken anläggning som helst. Det gäller i huvudsak impregnerat trä, som kräver höga krav på anläggningens reningssystem för att förbränningen inte ska medföra utsläpp av miljögifter. Av denna anledning är det också absolut förbjudet att elda exempelvis gamla slipers eller annat impregnerat trä i sin egen braskamin.

Att tyskt träavfall har eldats i Sverige istället för i ursprungslandet har varit en vinst även i energi- och miljötermer räknat eftersom svenska anläggningar i genomsnitt tar vara på mer än dubbelt så mycket av energin i avfallet som en tysk genomsnittsanläggning gör. Det är dock tveksamt om denna handel kommer att bli mycket större än vad den är idag eftersom de länder som nu exporterar returträ till Sverige siktar på att bygga ut sin egen hanteringskapacitet för att själva kunna utnyttja den resurs som träavfallet faktiskt är. Många av EU-länderna kommer att få svårt att nå de nationella mål som man ställt upp för utsläpp av växthusgaser och man lär vilja utnyttja varje resurs som kan hjälpa till att få ner utsläppen.

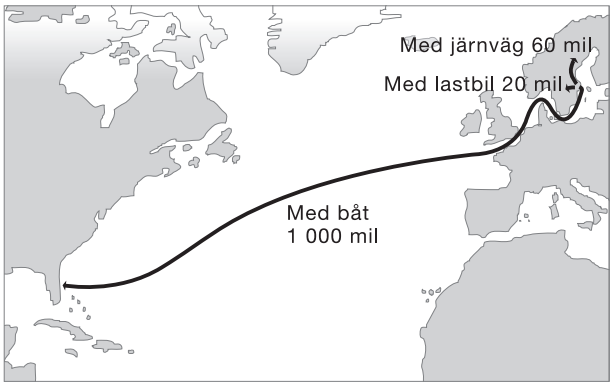
Billiga båttransporter

Trots att Sverige är ett land med stora skogsresurser som vi kan använda för energisyften, så importerar vi också stora mängder pellets och flis för produktion av el och värme i fjärrvärmeverken. Detta kan verka en smula märkligt vid första anblicken med tanke på den stora inhemska råvarutillgången. Men importen är inte så mycket en fråga om brist på svenska biobränslen, utan snarare en prisfråga. Sverige importerar exempelvis stora mängder biobränsle från Baltikum, där kostnaderna för biobränsleproduktion är betydligt lägre än i Sverige.

Något som kanske förvånar är att stora mängder pellets färdas till Sverige över Atlanten från Kanada. Det kan

väl ändå inte löna sig? Jo, nu är det så att kanadensiska pellets transporteras till värmeverken med fartyg. I vissa fall kan man lasta bränslet direkt från fartygets lastrum in i värmeverkets panna. En mindre del av de inhemska transporterna av biobränsle sker också med fartyg från Norrlandskusten till Stockholmstrakten, men inrikestransporter av biobränsle sker annars i regel med lastbil och godståg. Som framgår av figuren är det avsevärt mycket billigare att transportera stora mängder biobränsle till sjöss än på landsväg eller järnväg. Det medför att det kan vara billigare att frakta biobränsle till södra Sverige från Kanada än från Norrlands inland. Energiåtgången för transporten är också låg i förhållande till energin i den pellets som transporteras. Givetvis förutsätter den fördelaktiga transportekonomin att värme-

Transportavstånd för 20 euro per ton



Ungefärliga transportkostnader för biobränsle med olika transportslag. För 20 euro per ton kan biobränsle transporteras 20 mil med lastbil, 60 mil med järnväg och 1000 mil med båt. (Källa: Bo Hektor och Henrik Lundberg på Talloil)

verket som köper bränsle antingen ligger vid kusten eller vid till exempel Mälaren som visserligen är en insjö men som via Södertälje kanal har en förbindelse med Östersjön som är farbar för större fartyg.

Träavfall – både miljörisk och resurs

Att träavfall som resurs har fått mer uppmärksamhet på senare år beror dels på ökade miljöproblem till följd av den tidigare bristfälliga hanteringen av uttjänta träprodukter, dels på ökad medvetenhet om vikten att ta tillvara alla resurser i samhället. Tidigare lades den absoluta merparten av det träavfall som uppstod på tipp, något som ledde till stora utsläpp av växthusgasen metan från de ruttnande trädelarna. I de fall det rört sig om trä som varit tryckimpregnerat, som järnvägsslipers eller telefonstolpar, har deponering också medfört utsläpp av miljögifter som kreosot, arsenik och olika tungmetaller. Utvecklingen av rökgasrening har numera gjort att förbränning har blivit ett miljömässigt bra alternativ till deponering, förutsatt att förbränningen sker i anläggningar som har den rätta rökgasreningstekniken.

I och med den nya EG-lagstiftningen är det alltså förbjudet att deponera träavfall, men det innebär inte att det råder något allmänt samförstånd i Europa om vad som ska hända med de mer än 30 miljoner ton europeiskt returträ det rör sig om. I Sverige är det ganska enkelt eftersom vi bränner upp i princip allt returträ i anlägg-

ningar som är anslutna till fjärrvärmenätet, men i andra europeiska länder har det uppstått konkurrens om returträ.

Konkurrens om råvaran

I Spanien finns exempelvis en stor träfiberskiveindustri som i brist på inhemsk skogsråvara blivit starkt beroende av returträ som man finfördelar och använder till produktion av olika typer av skivor. Denna industri hotas nu av att den ökande efterfrågan på biobränsle driver upp priserna på returträ och kraftigt ökar industrins råvarukostnader.

En liknande utveckling märks också i Sverige, men här gäller konkurrensen sågspån från de många svenska sågverken. Sågspån har tidigare i huvudsak använts för produktion av spånplattor, men används nu i allt större utsträckning för produktion av pellets. I takt med stigande energipriser har också priserna på svenskt sågspån stigit rejält. Detta är en av orsakerna till att den svenska spånplatteindustrin har haft det svårt på sistone.

Handeln med biobränslen kommer att öka

Kommer biobränslen från jord och skog att bli en stor svensk exportprodukt i framtiden? Med tanke på att höga oljepriser och den oroande klimatfrågan kommer att öka den globala användningen av bioenergi så är det också troligt att handeln med biobränslen kommer att öka. Än så länge är Sverige nettoimportör av biobränsle,

men detta kan komma att ändras i takt med ökande efterfrågan från andra länder. Men bioenergin är inte utan problem. Konkurrens med produktionen av både livsmedel och traditionella skogsprodukter kan komma att sätta käppar i hjulen för bioenergins utbredning. Detsamma gäller för kontroverser som den kring palmolja som nämndes tidigare.

Det är av största vikt att alla tveksamheter kring hållbarheten i biobränslens produktionskedjor lyfts upp till ytan. Detta kommer att bli extra viktigt då den ökade handeln med biobränslen leder till att bränslet produceras allt längre bort från platsen där det konsumeras. Givet att bränslet produceras och transporteras på ett hållbart sätt är dock bioenergi ett av de viktigaste verktygen för att få bukt med 2000-talets energi- och miljöproblem.

Bengt Hillring är docent i skogshushållning på Institutionen för bioenergi vid Sveriges lantbruksuniversitet i Uppsala. Han har arbetat länge med bioenergifrågor i både forskning och undervisning.

Olle Olsson är sedan våren 2007 doktorand på samma institution. Hans forskning är inriktad på utvecklingen av den internationella handeln med fasta biobränslen.

Transportsektorns alkoholberoende måste brytas

Idag är trenden att vi går från oljeberoende till alkoholberoende när det gäller transportsektorns drivmedel. Motoralkoholer kan vara ett av framtidens drivmedel men risken är att vi investerar fast oss i teknik och system som inte är de bästa på sikt. Ambitionen att snabbt få fram förnybara drivmedel får inte ligga som en blöt filt över andra och effektivare åtgärder i transportsektorn, skriver Magnus Blinge.

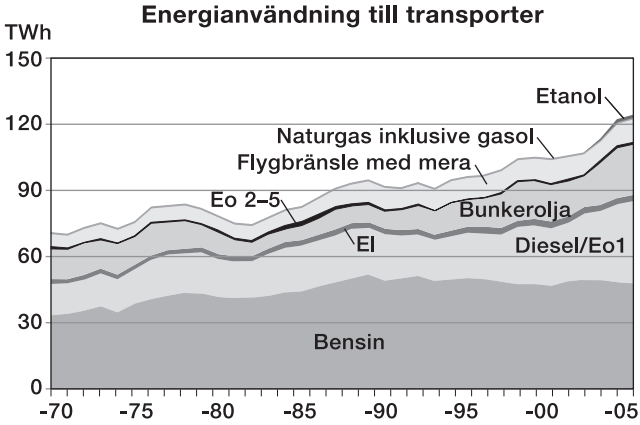
Magnus Blinge, Avdelningen för logistik & transport, Chalmers tekniska högskola.

Varför är det så svårt att veta om man gör rätt? När det gäller alternativa drivmedel till transportsektorn och deras eventuella miljönytta är det faktiskt en bra fråga. Stora subventioner av drivmedlen och förmåner till bilister som köper miljöfordon har gjort att intresset för alternativa drivmedel och fordon har exploderat i Sverige de senaste åren. Nu höjs dock allt fler tveksamma röster till det förnuftiga i denna satsning.

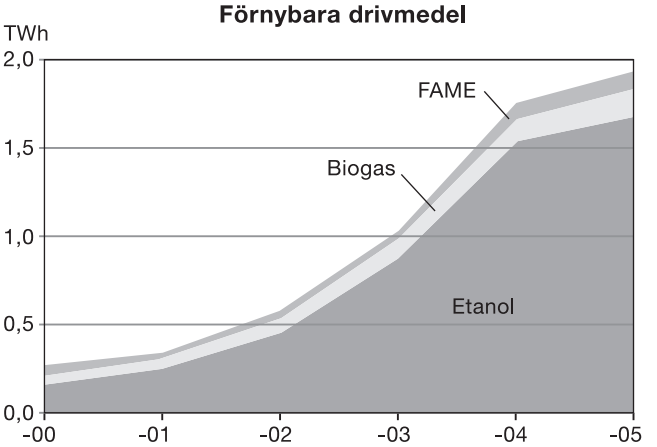
De flesta experter inom området menar att de drivmedel, eller kanske framför allt de produktionsmetoder som används idag, inte är de som kommer att användas i framtiden eftersom de i regel inte är energieffektiva nog. Satsningen på europeisk etanol från spannmålsprodukter är resultatet av en mycket framgångsrik jordbrukslobbyism. Europeisk etanol är helt beroende av jordbrukssubventioner och skyddstullar. Tropisk etanol, från exempelvis Brasilien, är betydligt billigare och mer energieffektiv att producera än europeisk. Solen är helt enkelt mer generös i tropiska länder, och sockerrör har högre sockerhalt än vete och majs vilket gör den mer lämplig för etanolproduktion. Om europeisk etanol ska klara konkurrensen måste man antingen hitta en helt ny och effektiv produktionsmetod, eller så måste man fortsätta att stötta den ekonomiskt eller med hjälp av handelstullar.

Andra generationens drivmedel

Tropisk etanol från sockerrör har förutsättningar att vara ett energieffektivt och hållbart alternativ i många decennier framöver. Det förutsätter dock att odlingen sker på ekologiskt hållbara grunder, att de arbetsmiljömässiga villkoren blir acceptabla och att risken för utträngning av andra areella näringar till jungfruliga regnskogsområden kan hindras. Problemet som då kvarstår är Europas strävan efter självförsörjning av drivmedel. Oljeberoendet ersätts med ett alkoholberoende! Fortfarande är det bara en försvinnande liten del (cirka 2 TWh eller 2 procent) av drivmedlen i Sverige som har sitt ursprung i förnybar råvara (figur 1), men den delen domineras starkt av etanol (figur 2).



Figur 1. Slutlig energianvändning i den svenska transportsektorn 1970–2005. (Källa: Energimyndigheten)



Figur 2. Slutlig användning av förnybara drivmedel i Sverige 2000–2005. FAME är ett samlingsnamn för fettsyremetylestrar, av vilka RME (rapsmetylester) är den vanligaste i Sverige idag. (Källa: Energimyndigheten)

Framtidens europeiska drivmedel förväntas istället komma från skogsråvara, energiskog eller andra odlade energigrödor. De kommer att vara framställda i syntesgasanläggningar med så kallad Fischer Tropsch-teknik (FT), det vill säga förgasning av organiskt material till syntesgas, eller i andra typer av bioenergiraffinaderier. FT-processen är flexibel och ett flertal olika drivmedel kan produceras, som syntetisk diesel och bensin, metanol, DME, metan eller etanol. Dessa drivmedel kallas ofta andra generationens biodrivmedel. De är intressanta som realistiska utmanare till den tropiska etanolen på grund av den förväntade jämförelsevis höga energiverkningsgraden och den stora potentiella råvarubas som cellulosan utgör.

Tusen stora anläggningar i Europa!

Även om vi lyckas utveckla ett effektivt system att producera drivmedel i Europa så återstår ytterligare ett antal barriärer innan ett storskaligt system kan bli introducerat. Det gäller att ha en helhetssyn på problemet, och även börja planera för hur till exempel transport- och logistiksystemet ska se ut i ett framtida biomassabaserat drivmedelsförsörjningssystem.

Att det teoretiskt sett är möjligt att kunna försörja världen med förnybar energi är utom allt tvivel eftersom solen genererar många gånger mer energi än vad vi kan göra av med. Problemet är hur vi omvandlar och lagrar energin. Biomassa kan stå för en stor och viktig del av försörjningen, men måste kompletteras med energieffektiviseringar i alla led och utveckling av teknik för sol, vind och vattenkraft. Naturligtvis kommer en storskalig bioenergiproduktion att påverka miljön på många sätt. Monokulturodlingar som får konsekvenser på djur- och växtliv i de områden som berörs bör i möjligaste mån undvikas. Utträngning av vildmarksområden, bevattning och konkurrens med livsmedelsproduktion till en växande världsbefolkning är andra områden som måste beaktas och hanteras ur ett hållbarhetsperspektiv.

Att vi ur ett europeiskt perspektiv skulle kunna bli helt självförsörjande på bioenergi till både energi- och transportsektorn är dock mer tveksamt. Den tillgängliga arealen för biomassaproduktion finns inte där de flesta

människorna finns, och det innebär att vi står inför ett stort logistiskt problem. De mängder av biomassa som måste flyttas är ofantliga. Följande exempel får visualisera omfattningen av den logistikutmaning vi står inför.

En produktionsanläggning för syntetiska drivmedel som är stor nog att vara ekonomiskt försvarbar kommer att behöva råvaror motsvarande fem gånger så mycket som ett stort pappersbruk i Norden använder. Det är inte omöjligt att ordna, men onekligen en utmaning transporttekniskt sett. Om vi tar Polen som exempel skulle man för att ersätta en femtedel av dagens polska drivmedelsförbrukning behöva tre anläggningar av den storleken. Om anläggningarna ska ligga nära råvaran, det vill säga nära skogs- eller jordbruksmark, skulle transporterna behöva ske med lastbilar. Var och en av dessa anläggningar skulle då behöva leverans med 450 lastbilar per dygn, eller en lastbil var tredje minut, dygnet runt och året runt.

Om vi utökar vårt scenario och planerar för att ersätta 15 procent av bränsleförbrukningen i EU 15-området (de 15 länder som var med i EU då Sverige blev medlem) skulle det krävas att en area motsvarande hela Polen odlades med energiskog. 122 anläggningar skulle behövas, och frågan är var man hittar platser för dessa. Det handlar alltså inte bara om att hitta lämpliga och tillräckliga arealer för biomassaproduktion. Det handlar också om att börja planera för var dessa anläggningar

bör ligga och hur logistiken ska se ut. Sannolikt måste anläggningarna ligga vid vatten för att möjliggöra sjötransporter. Om 100 procent av EU 15:s drivmedel skulle ersättas med inhemsk och importerad biomassa, skulle närmare tusen anläggningar behöva byggas. Var hittar man så många platser längs Europas kust? Det saknas naturligtvis inte yta, men kustområden är populära för turism och rekreation, handel, bostäder och industri. Med tanke på de omfattande transporter som anläggningen skulle medföra, kommer en mycket stor markyta att beröras av verksamheten.

Ovanstående scenarier pekar på det orimliga i att hoppas på att förnybara drivmedel ensamma kommer att lösa miljöproblematiken för transportsektorn. Det kommer att bli nödvändigt med en kraftig satsning på energieffektivitet samt ändrat beteende hos privatbilister och ändrade styrmedel för godstransportsektorn i riktning mot mindre energikrävande logistik.

Praktiska barriärer att övervinna

Det är naturligtvis inte omöjligt att genomföra en omställning till biobaserade drivmedel. I själva verket har vi inget val på sikt. Vi kan dock inte vänta på att tekniken för att ta fram biobaserade syntetiska drivmedel ska bli färdig innan vi börjar planera för hur det ska gå till. Om vi har framme en fungerande pilotanläggning om 5–10 år kanske vi kan ha den första storskaliga anläggningen klar om 15–20 år. Om vi då ska börja

processen med att exploatera tusen anläggningar på populär kustnära, ofta privatägd mark kommer det att ta lång tid innan de kan stå färdiga. Särskilt med tanke på all den infrastruktur runt anläggningarna som sannolikt måste vara nästan av motorvägsstandard för att hålla för det enorma transportarbete det handlar om.

Många överklaganden och miljöprövningar kommer sannolikt att förhala processen. För att det inte ska dröja längre tid än vi har på oss bör vi alltså diskutera även den här frågan redan nu. Vi måste börja planera hur de transporttekniska lösningarna för ett biobaserat drivmedelssystem ska se ut. Är det ens möjligt att genomföra i så stor skala?

För att biobaserade syntetiska drivmedel ska kunna konkurrera med fossilt producerade måste kraftiga ekonomiska styrmedel eller rena förbud mot användning av fossila energikällor införas. Detta måste dessutom ske på global nivå. Faktum är att man i dag i Sydafrika producerar syntetiska drivmedel från stenkol. De är ekonomiskt lönsamma så länge oljepriset ligger över cirka 50 dollar per fat. Eftersom det finns tillräckliga mängder fossilt stenkol i världen för flera hundra års förbrukning är det alltså detta riktpris som de biobaserade drivmedlen ska konkurrera med. Att oljan håller på att ta slut (eller snarare blir för dyr att ta upp) innebär alltså inte att tillgången på relativt billiga, fossila flytande drivmedel håller på att ta slut.

En del av lösningen på problemet är att låta anläggningarna ligga närmare råvaran, det vill säga i tropikerna där biomassa växer snabbast. Förutsättningen är naturligtvis att produktionen i dessa länder sker på ett ekologiskt hållbart och etiskt korrekt sätt. Då skulle vi bara behöva distribuera färdigt drivmedel i de volymer som vi gör redan nu. Europa skulle slippa logistikproblematiken, men vi kommer då att hamna i en situation som innebär att vi fortsätter att vara beroende av energi från andra regioner i världen. Oljeberoendet är onekligen en av de viktigaste drivkrafterna för utvecklingen av alternativa drivmedel i västvärlden.

Helhetsperspektivet kommer också in i frågan om det verkligen är i transportsektorn som den tillgängliga biomassan ska användas. Både ekonomiskt och energimässigt är det ställt utom allt tvivel att det är bättre att ersätta fossil el- och värmeproduktion med tillgänglig biomassa än att göra fordonsdrivmedel av det. Varför då överhuvudtaget tillverka drivmedel? Ja, det har bland annat med försörjningstrygghet att göra. Transportbranschen är mycket viktig för det moderna samhället, och mycket av industriproduktionen är baserad på flexibla och relativt billiga transporter. Ska då transportbranschen vara den enda sektor som till 99 procent är beroende av fossil energi? Är det långsiktigt acceptabelt med tanke på miljö och försörjningstrygghet? Problemen med växthuseffekt och oljeberoende växer för varje år, och risken för kraftiga variationer i försörjning och

pris på grund av dessa problem går inte att utesluta i framtiden. Vad skulle en ransoneringssituation betyda för industrin? Det finns alltså skäl, förutom ren miljöhänsyn, att bryta transportsektorns totala beroende av flytande fossila drivmedel.

Förnybara drivmedel kontra andra möjligheter

Med bakgrund av ovanstående resonemang står det klart att den viktigaste frågan när det gäller att komma tillrätta med klimatproblematiken för transportsektorn är att effektivisera hela energianvändningen i systemet. Att försäkra sig om att fordon och hela transportsystemet drar så lite energi som möjligt och att tillgänglig energi används och omvandlas där den gör bäst nytta.

Transportsektorn måste naturligtvis även den bli fossilfri i framtiden och drivas av förnybara drivmedel. Men de praktiska problemen med att skaffa fram tillräckliga mängder är så stora och så många att vi även måste koncentrera oss på att reducera behoven om vi ska ha en chans att klara av det. Det farligaste är att låta oss luras att tro att det bara är en tidsfråga innan alternativen är här och att vi därför ska satsa ännu mer tid, pengar och kraft på att ta fram dessa drivmedel så fort som möjligt. Det hindrar andra mer nödvändiga och kostnadseffektiva åtgärder! Mindre och bränslesnålare personbilar, effektivare och mindre energikrävande logistik- och transportsystem samt styrmedel som styr åt rätt håll är nödvändiga förutsättningar för att vi överhuvudtaget ska kunna

se alternativa drivmedel som en möjlig lösning. Om vi effektiviserar transportsystemet med en faktor tio, vilket jag tror är möjligt, det vill säga att det blir tio gånger mindre energikrävande än i dag, genom tekniska åtgärder och genom förändrade attityder och förändrat beteende så har vi chans att bli självförsörjande i Europa. Vi behöver inte areal motsvarande sju Polen utan kanske motsvarande ett eller två, och vi behöver inte lika många och lika stora produktionsanläggningar. Med den systemsynen kan vi lösa problemen, men vi gör det inte genom att tro att alternativdrivmedlen ensamma kommer att lösa våra problem.

För att kunna genomföra nödvändiga attityd- och beteendeförändringar krävs stort politiskt mod och långsiktighet. Med ekonomiska styrmedel och tydliga långsiktiga mål samt konsekvent handlande är det möjligt att nå de mål som Kommissionen mot oljeberoende satt upp att reducera användningen av diesel och bensin med 40–50 procent. Men man får inte låta forskning och utveckling kantra ensidigt åt ett håll och satsa på åtgärder som för tillfället är populistiskt politiskt gångbara, och där de organisationer som har de starkaste lobbyorganisationerna har tillåtits styra agendan.

Vi måste våga satsa!

Ska vi då inte satsa på att hitta alternativa drivmedel till transportsektorn? Jo, naturligtvis måste vi det! Det måste dock som tidigare sagts ske med en systemsyn

och inte låta ambitionen att snabbt få fram drivmedel och fordon i stora mängder ligga som en blöt filt över andra effektivare åtgärder. Varför är den svenska bilparken 25 procent mer bränsletörstig än våra grannländers? Hur motiverar man miljömässigt skattesubventioner genom reseavdrag på långväga arbetspendling med bil?

Lastbilar ser idag ut som rullande fyrkantiga lådor. Det är inte den form man tänker sig om man vill minimera luftmotståndet och därmed bränsleförbrukningen. Med förändrade tillåtna längder på fordonen, som möjliggör spoilers med mera, kan man förbättra aerodynamiken på lastbilar så att man kan reducera bränsleförbrukningen med cirka 25 procent. Minskningen ger klimatmässigt ungefär samma effekt som att blanda in 40–50 procent RME eller etanol i drivmedelssystemet – men är betydligt effektivare, snabbare, billigare och miljömässigt mer hållbart.

Vi befinner oss i ett läge där vi har många olika möjligheter och där alla alternativ har sina fördelar och nackdelar. Vi kan ju inte med säkerhet veta vilka tekniska lösningar som finns om 20–30 år. Är det flytande eller gasformiga drivmedel? Är det ottomotorer eller dieselmotorer? Är det kanske elmotorer, hybrider och andra kombinationer, eller kanske till och med bränsleceller? Det enda vi vet med säkerhet är att framtiden inte blir som vi tror. Vi bör därför vara försiktiga och inte gå

för långt och investera oss fast i teknik och system som är lovande idag, men som riskerar cementera felaktig teknik inför framtiden.

Samtidigt får vi inte låta väntan på det bästa bli det godas fiende. Det hela är en balansgång. Vi måste våga göra fel och vara beredda på att vi kommer att göra fel, men vi måste ändå våga prova! Framtida generationer kommer att förlåta oss om vi gjorde fel ibland, men de kommer inte att förlåta oss om vi inte ens försökte.

Magnus Blinge är teknologie doktor och universitetslektor på Avdelningen för logistik & transport på Chalmers tekniska högskola. Doktorsavhandlingen handlade om metodutveckling för livscykelstudier av fordonsdrivmedel. Idag forskar han på miljöanpassad logistik och kostnadseffektiva miljölösningar för godstransportsektorn.

Vi måste använda bioenergin effektivt

Behöver vi anstränga oss för att använda bioenergin effektivt? Ja, eftersom bioenergi är en begränsad energiresurs. Ju mer effektivt vi kan använda biobränslen, desto mer kan vi minska oljeberoende och koldioxidutsläpp. Med dagens teknik är det mer klimateffektivt att göra värme och el än drivmedel av biomassan, skriver Leif Gustavsson. Men ny teknik är på gång som förbättrar drivmedlens klimateffektivitet.

Foto: Jens Blixath

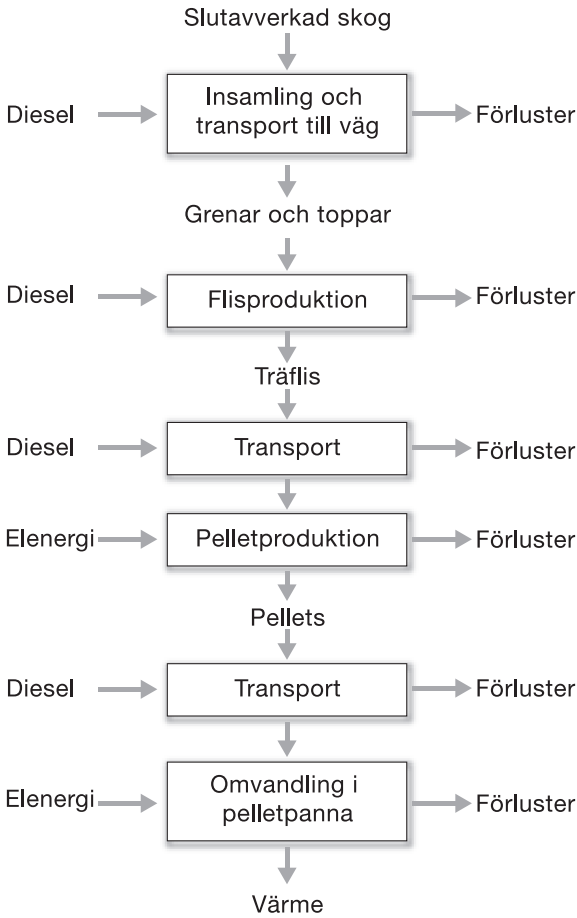
Leif Gustavsson, Institutionen för teknik, fysik och matematik, Mittuniversitetet.

Bioenergi är en viktig del av Sveriges energisystem. Användningen av bioenergi har ungefär fördubblats under de senaste 20 åren och priset på biobränslen har samtidigt halverats realt, det vill säga i förhållande till prisutvecklingen i allmänhet. Före den här expansionen användes bioenergi främst inom skogsindustrin och för småskalig uppvärmning. Under 1980-talet diskuterades ofta tillgång och möjligt uttag av biobränsle. Skogsbolag framförde oro över att uttag av biobränslen skulle försvåra råvaruförsörjningen till skogsindustrin och att priset på biobränsle skulle öka. Den kraftiga expansionen av bioenergianvändningen och de reala prissänkningarna de senaste årtiondena visar att Sverige har utvecklat en effektiv bioenergisektor. Nya företag, ofta kopplade till skogsindustrin, har växt fram för att kommersialisera bioenergin.

De två viktigaste drivkrafterna för att öka bioenergianvändningen har under de senaste decennierna varit att minska beroendet av importerad olja och att minska nettoutsläppen av koldioxid. Styrkan i de två drivkrafterna har varierat över tiden. De ökade råoljeprisena under de senaste åren och en allt intensivare diskussion om klimatförändringar har visat på behovet av att minska både oljeberoende och koldioxidsläpp.

Arealen begränsande faktor

Bioenergi är en begränsad resurs. Ju mer effektivt vi kan använda den, desto mer kan vi minska oljeberoende



Figur 1. Figuren visar ett bioenergisystem för värmeproduktion med pellets från grenar och toppar från slutavverkning av skog. Insatsenergin i form av diesel och elektricitet redovisas till vänster i figuren. Vedförluster både fysiska och från biologisk nedbrytning eller värmeförluster vid omvandling redovisas till höger.

och koldioxidutsläpp med en given mängd biobränslen. Bioenergisystem kan utformas på många olika sätt för att producera drivmedel, el och värme. Vi kan välja att utnyttja bioenergi i små anläggningar för att värma en villa eller i stora anläggningar för att värma en hel stad. Hur ska vi då utforma bioenergisystemen, och vilka fossila system ska vi ersätta för att effektivt minska både oljeberoende och koldioxidutsläpp?

Utgångspunkten för en sådan analys kan vara att för en given mängd bioenergi minska både oljeberoendet och koldioxidutsläppen maximalt till en så låg kostnad som möjligt. Det innebär att bioenergisystemen, från naturresurs till levererad energitjänst, behöver vara energieffektiva. I själva bioenergisystemen uppstår vedförluster, både fysiska förluster (till exempel spill och biologisk nedbrytning) och värmeförluster vid omvandling. Insatsenergi behövs också för att driva systemet (figur 1).

En låg insatsenergi, det vill säga den energi som går åt för att bygga, driva och riva bioenergisystemet ökar mängden nettoenergi till slutkonsumenten för en given mängd bruttoenergi. Exempel på insatsenergi är förbrukningen av drivmedel för att utvinna och transportera biobränsle. Det vi vill maximera är mängden nettoenergi i form av energitjänster som levereras till slutkonsumenten, till exempel kyla, mekaniskt arbete, transportarbete och värme i byggnader för en given mängd naturresurs. Med nettoenergi menas den mängd energi som når slutkonsumen-

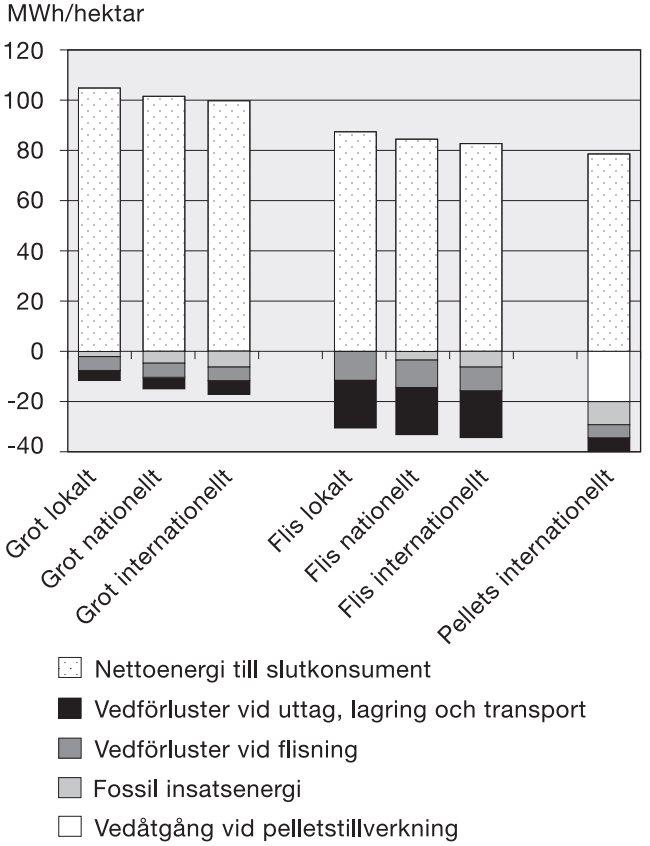
ten efter avdrag för förluster i själva bioenergisystemet och insatsenergin för att bygga, driva och riva systemet. Insatsenergin till bioenergisystemen levereras av ett annat energisystem, ofta ett fossilt system. Förluster i och insatsenergi till dessa energisystem beaktas då och läggs till insatsenergin för bioenergisystemet.

Vid förädling av biomassa till briketter, pellets och drivmedel uppstår förluster och behov av insatsenergi. De för- och nackdelar som förädlingen medför måste vägas emot varandra. Vinsten med förädlingen i senare led måste vara större än förlusterna och insatsenergin vid förädlingen.

Det här innebär sammantaget till exempel vid uttag av skogsbränsle i form av grenar och toppar vid slutavverkning av skog att vi väljer system som ger maximalt med nettoenergi efter slutlig omvandling till slutkonsument per avverkningsareal. Energiodlingar på åkermark behöver också utformas för att maximera mängden nettoenergi till slutkonsument per hektar. Det är avverkningsarealen respektive odlingsarealen som ytterst begränsar uttaget av bioenergi. Insatsenergin ska inte minskas till varje pris. Det ökar till exempel insatsenergin att gödsla för att öka tillväxten hos energigrödor, men det är väl motiverat så länge nettoenergin som når slutkonsumenten ökar.

Energibalanser för olika skogsbränslesystem

Förädling av biomassa medför kostnader. Men förädling kan också underlätta den praktiska hanteringen av bio-



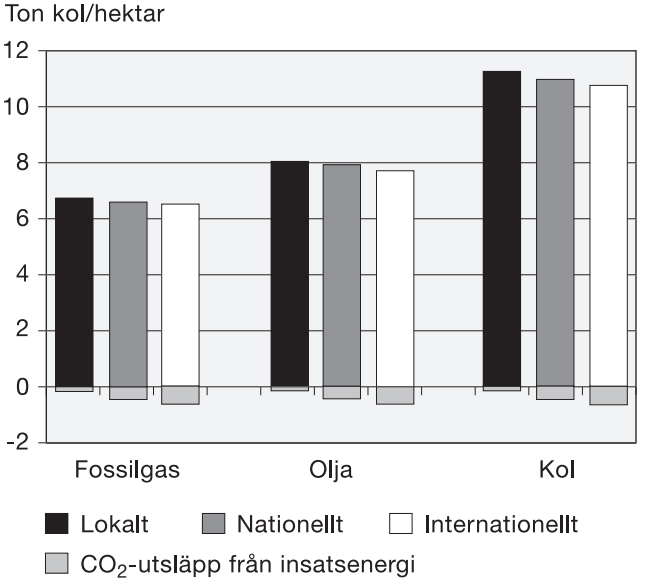
Figur 2. Energibalanser vid uttag av grot med olika skogsbränslesystem per hektar skogsmark som slutavverkas. Skogsbränslet används lokalt, nationellt eller internationellt. Den energi som når slutkonsumenten redovisas som positiva värden. Vedförlusterna i själva bioenergisystemet och insatsenergin redovisas som negativa värden i figuren. I alternativet med pellets sker uttag från skog med grotstock.

massan och kan därför vara motiverad. Att bunta ihop eller flisa grenar och toppar (grot) kan vara effektivare än lös hantering av groten. Att förädla biomassan ger ofta fördelar vid transport och slutkonsumtion, men vedförlusterna och insatsenergin kan vara betydande.

Figur 2 visar hur mycket nettoenergi som når slutkonsumenten från en hektar skogsmark för olika skogsbränslesystem om slutanvändningen sker lokalt, nationellt eller internationellt. Skogsbränslesystem med grotstock (grot komprimeras och binds samman till en stock) och flis redovisas i figuren. Grotstockar förutsätts levereras till större användare som har utrustning som effektivt sönderdelar grotstocken. Vid lokal användning förutsätts att biobränslena transporteras cirka 80 kilometer med lastbil, vid nationell och internationell användning cirka 700 respektive 1 400 kilometer med lastbil, tåg eller båt. Vedförlusterna i själva bioenergikedjan samt insatsenergin redovisas som negativa värden i figuren. Förädling till pellets underlättar transporterna och har därför störst betydelse vid långa transporter. Därför redovisas i figuren energibalansen för pellets vid långa transporter det vill säga för internationell användning. Det framgår av figur 2 att transportavstånden har liten inverkan på den mängd energi som når slutkonsumenten, men valet av skogsbränslesystem och förädlingen till pellets har förhållandevis stor betydelse. Att använda grotstock med storskalig effektiv flisning ger mest nettoenergi till slutkonsument även vid långa transporter.

Koldioxidutsläppen minskar olika mycket

Utsläppen av koldioxid varierar för olika fossila bränslen. Utsläppen är störst vid förbränning av fossilt kol och lägst vid förbränning av fossil gas (naturgas). I figur 3 redovisas nettoreduktionen av koldioxidutsläpp när olika fossila bränslen ersätts med biobränsle hos lokala, nationella eller internationella konsumenter. Koldioxidutsläppen från insatsenergin anges som negativa värden.



Figur 3. Nettoreduktion av koldioxidutsläpp när olika fossila bränslen ersätts med biobränsle (grenar och toppar) lokalt, nationellt eller internationellt per hektar skogsmark som slutavverkas. Koldioxidutsläppen från insatsenergin till bioenergisystemen anges som negativa värden. Transportavstånd och transportslag är samma som i figur 2.

Det framgår av figuren att vilket fossilt bränsle som ersätts har mycket större betydelse än om ett fossilt bränsle ersätts lokalt, nationellt eller internationellt. Transportavstånden är av underordnad betydelse. Figur 3 visar att vi i första hand ska ersätta fossilt kol, därefter fossil olja och i tredje hand fossil gas för att minska utsläppen av koldioxid maximalt. Om vi vill minska oljeberoendet måste vi självklart minska användningen av olja.

Effektivare produktion av el och värme

Om vi använder vedartade biobränslen inom transportsektorn för att ersätta diesel och bensin behöver vi förädla dem till drivmedel. Någon sådan förädling behövs inte för att producera el och värme och därför blir energieffektiviteten högre i sådana bioenergisystem. Det gäller även jämfört med ny och effektivare teknik för etanolframställning. Om vi producerar el och värme i samma anläggning (kraftvärme) får vi dessutom hög verkningsgrad i ett sådant energisystem, jämfört med om vi producerar el och värme var för sig.

Genom utbyggnaden av fjärrvärme finns det goda möjligheter att samproducera el och värme i Sverige. Fler byggnader, främst uppvärmda med el och olja, kan också anslutas till fjärrvärme. Det gäller i synnerhet småhus där under tio procent är anslutna till fjärrvärme.

Särskilt intressant är det att ersätta elvärme med fjärr-

värme. Då minskar användningen av el och möjligheterna att producera kraftvärme ökar. Med ny teknik där vi förgasar vedartade biobränslen och använder en gasturbin och en ångturbin för att generera el kan vi utnyttja fjärrvärmesystem betydligt mer effektivt för att producera el. Vi kan i det närmaste fördubbla elproduktionen med denna teknik jämfört med den teknik som används idag. På det sättet kan vi öka effektiviteten i användningen av bioenergi. Men även om vi expanderar fjärrvärmesystemen maximalt så kommer vi inte att kunna samproducera all el vi förbrukar. Värmeförlusterna från dagens svenska elproduktion i form av kylvatten (främst från kärnkraftverken) är ungefär tre gånger så stora som dagens fjärrvärmeleveranser. Vi har ett stort överskott på spillvärme.

Vid gles bebyggelse är fjärrvärme inte ett konkurrenskraftigt alternativ. Här kan eldrivna värmepumpar utnyttjas för uppvärmning där grundvatten, ytvatten eller ytjord används som värmekälla. Även om elen produceras i separata elproduktionsanläggningar med biobränsle är det mer energi- och kostnadseffektivt att använda värmepumpteknik än träpelletpannor om lämplig värmekälla finns tillgänglig för värmepumpsystemet. I annat fall är pelletpannor ett bra uppvärmningsalternativ.

Sveriges elsystem blir allt mer integrerat med andra länders elsystem. Inom EU produceras el ofta i stora

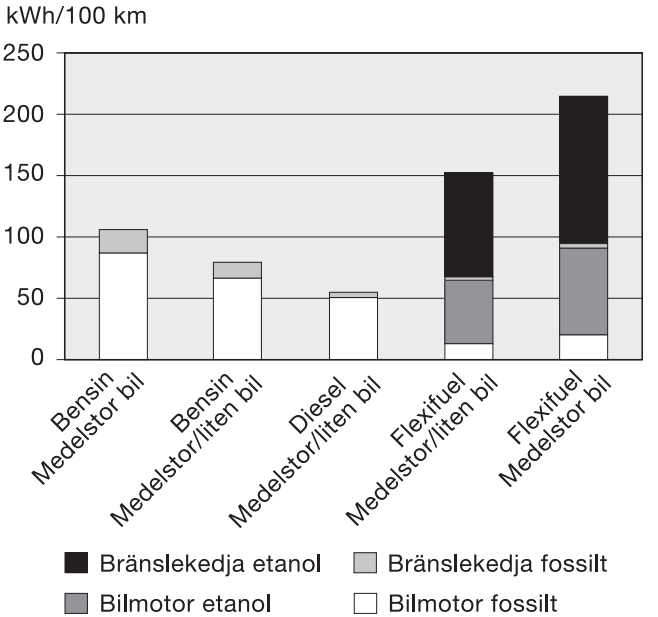
koleldade anläggningar. Vid ökad eller minskad efterfrågan på el är det ofta ekonomiskt fördelaktigt att förändra produktionen i dessa anläggningar. Integreringen av elsystem bland annat inom EU medför då att ökad elproduktion med biobränslen i Sverige kan förväntas ersätta el producerad i koleldade anläggningar inom EU. Det blir ett mycket effektivt sätt att minska koldioxidutsläppen med bioenergi. Den ökade användningen av bioenergi i Sverige medför då minskade koldioxidutsläpp utanför landets gränser.

Etanolkedjan kräver mycket energi – trots ny teknik

Går det att producera flytande bränslen från vedartad biomassa med hög verkningsgrad? Ja, ny teknik som svartlutsförgasning utvecklas för att användas inom den kemiska massaindustrin. Med den tekniken är det möjligt att med hög verkningsgrad producera flytande bränslen (metanol, dimetyleter). Att samproducera flytande bränslen inom massaindustrin för användning inom transportsektorn skulle minska koldioxidutsläppen och oljeberoendet samtidigt som omvandlingsförlusterna skulle bli små. Den potentiella årliga drivmedelsproduktionen med den här tekniken motsvarar drygt hälften av dagens årliga dieselanvändning inom transportsektorn eller 15–20 TWh.

Men fortfarande är det diskussionen om etanol som fordonsbränsle som dominerar i Sverige. Större delen av den etanol som används framställs genom jäsning av

spannmål, eller importeras och är då tillverkad av sockerrör eller majs. Ny teknik utvecklas för att kunna producera etanol från vedartade bränslen. Tekniken förväntas vara väsentligt mer effektiv i livscykelperspektiv än dagens teknik för produktion av etanol från spannmål. Men fortfarande är förlusterna stora vid omvandling av vedartad biomassa till etanol.



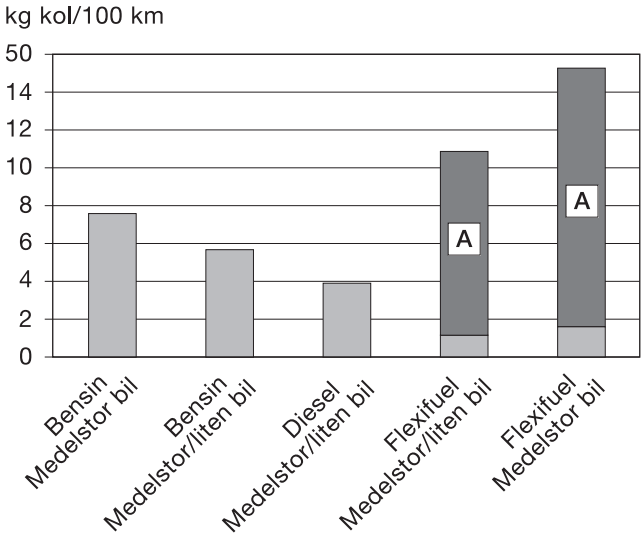
Figur 4. Energiåtgång över bränslekedjan för några av de mest sålda bilmärkena (Saab 9-5, Volvo V50 och V70) i Sverige 2006 för några olika typer av drivmedel. Både bränsleåtgång i bilmotor och energiåtgång i bränslekedjan för att producera och distribuera bränslet redovisas i figuren.

Figur 4 visar förbrukningen av drivmedel i bilmotorn och energibehovet i bränslekedjan för att producera och distribuera bränslet för några av de mest sålda bilarna i Sverige 2006 (Saab 9-5, Volvo V50 och V70). Etanolen förutsätts vara producerad från vedartade biobränslen med teknik som är under utveckling och som har god teknisk prestanda. En liten till medelstor bil (Volvo V50) med en liten dieselmotor och manuell växellåda förbrukar drygt 50 kWh per 100 km blandad körning om energiåtgången beaktas över bränslekedjan. Samma bil men med en flexifuelmotor som körs på 85 procent etanol och 15 procent bensin medför att energiåtgången över bränslekedjan blir nästan tre gånger större. Det innebär ett ineffektivt utnyttjande av bioenergin.

Skillnaden är mycket mindre om vi enbart jämför förbrukningen av drivmedel i bilarnas motorer. Det visar hur viktigt det är beakta energiåtgången över hela bränslekedjan från naturresursen till och med den slutliga användningen i själva motorn för att adekvat kunna jämföra olika typer av drivmedel. Det framgår också av figuren att bilens storlek har stor betydelse för behovet av drivmedel och därmed för energiåtgången över bränslekedjan.

Mer miljöeffektivt att göra värme och el

I figur 5 visas fossila koldioxidutsläpp för samma bilmärken och drivmedel som i figur 4. I figuren redovisas också de koldioxidutsläpp som undviks (A) om mängden



A Potentiell koldioxidreduktion om biomassan som används för att tillverka etanol i stället hade använts för att ersätta olja i medelstora oljepannor

Figur 5. Koldioxidutsläpp över bränslekedjan för några av de mest sålda bilmärkena (Saab 9-5 och Volvo V50, V70) i Sverige 2006 för några olika typer av drivmedel. I figuren redovisas också den potentiella koldioxidreduktion som erhålls om biomassan som används för att tillverka etanol istället hade använts för att ersätta olja i medelstora oljepannor.

biobränslen som används för produktion av etanol istället används för att ersätta olja som används i oljeeldade pannor. Att använda etanol i en liten till medelstor bil medför att utsläppen av koldioxid blir cirka 2,5 gånger större än för samma bil med en dieselmotor. Detta om

man beaktar att man ”missar” en större koldioxid-reduktion genom att använda biomassa till etanol-produktion i stället för att producera värme eller el. Det visar hur viktigt det är att ta hänsyn till olika alternativa sätt att använda den begränsade resursen bioenergi.

Att minska oljeberoendet inom transportsektorn är viktigt liksom att forska och utveckla alternativ. Svenska bilar har väsentligt högre drivmedelsförbrukning än genomsnittet för EU. Därför är det möjligt att minska drivmedelsbehovet väsentligt med mindre bilar och mer energieffektiva motorer och drivsystem. Etanol kräver små förändringar av motorn och systemet för bränsledistribution, och är lätt att anpassa till dagens fossila bränslesystem. Men bidrar svensk etanol till en hållbar samhällsutveckling?

Strategi för att minska både oljeanvändning och koldioxidutsläpp

Användningen av diesel och bensin motsvarar nästan 60 procent av den slutliga användningen av oljeprodukter i vårt land. Industrin, el- och fjärrvärmeproduktionen står för nästan 20 procent av användningen av olje-produkter medan bostäder och service svarar för drygt 15 procent. Om vi prioriterar att minska koldioxid-utsläppen är det, som vi har sett, effektivast att använda bioenergi för att producera el och värme. Om vi vill minska oljeberoendet i transportsektorn bör effektiva metoder för drivmedelsproduktion användas. Detta talar

för att utnyttja svartlutsförgasningen för drivmedelsproduktion och inte för elproduktion som också är möjligt. Ersätts också merparten av oljeanvändningen inom industrin, för el- och värmeproduktion samt inom bostäder och service kan den slutliga användningen av oljeprodukter minskas med kanske 40-45 procent.

Mönstret för utsläpp av koldioxid skiljer sig från mönstret för användningen av oljeprodukter. Transporterna svarar för drygt 35 procent av koldioxidutsläppen, medan industrin inklusive el-, gas- och värmeverk svarar för drygt 50 procent (tabell 1). Koldioxidutsläppen minskar mycket om fossilt kol ersätts med biobränslen. Kol används inom industrin och till viss del för el- och värmeproduktion.

Tabell 1. Svenska koldioxidutsläpp år 2004 inom olika sektorer i miljoner ton koldioxid och i procent.

Sektor	Koldioxidutsläpp (miljoner ton)	Koldioxidutsläpp (procent)
Förbränning i industrin	11,4	20,6
Industriprocesser	4,7	8,5
Transporter	19,9	35,9
Bostäder och service med mera	6,0	10,9
Förbränning i el-, gas- och värmeverk	12,4	22,5
Diffusa utsläpp	0,9	1,6
Totalt	**53,4**	**100**

Om vi vill prioritera både minskad oljeanvändning och minskade koldioxidutsläpp är en bra strategi att göra följande:

- ersätta oljeprodukter och fossilt kol som används för el- och värmeproduktion och inom industrin med biobränsleeldade anläggningar i första hand som samproducerar el och värme med högt elutbyte
- ersätta el- och oljevärme inom bostäder och service med i första hand biobaserad fjärrvärme som samproducerar el och värme med högt elutbyte
- ersätta fossila drivmedel med biobaserade drivmedel som produceras med hög verkningsgrad

Biobränslen kan också användas inom industriella processer som vid produktion av järn och stål. Här verkar det finnas intressanta möjligheter att använda biobränsle istället för fossilt kol och att med hög effektivitet minska utsläppen av koldioxid. Ett annat intressant område är materialsubstitution, till exempel att ersätta betong med träbaserade material. Då kan koldioxidutsläppen minskas genom att insatsenergin ofta är lägre för att producera trämaterial än andra material, genom att träbaserade bi- och restprodukter kan användas för att ersätta fossila bränslen samt genom att koldioxidutsläpp kan undvikas i själva tillverkningsprocessen.

Leif Gustavsson är professor i Ekoteknik vid Mittuniversitetet. Han forskar om energi- och materialsystem och särskilt hur biobaserade system kan utformas och implementeras för att effektivt minska utsläppen av växthusgaser och användningen av fossila bränslen.

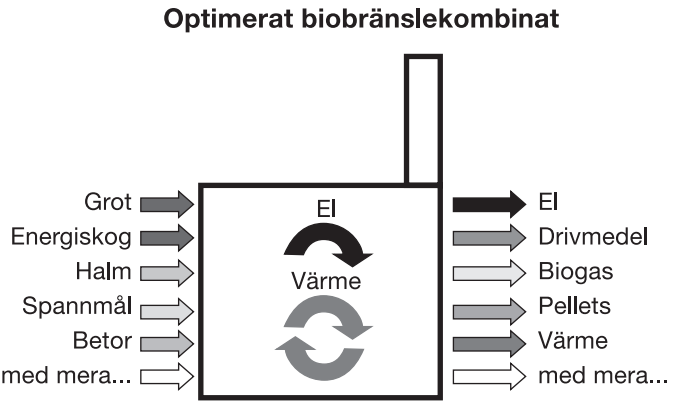
Bioenergisystem – vilka är effektivast?

Hur ska biobränslen utnyttjas så effektivt som möjligt? Ska vi göra el och värme av dem, eller ska vi omvandla dem till fordonsbränsle? Det är svårt att säga något generellt. Men säkert är att skogsbränslen, energiskog och outnyttjade restprodukter är effektiva med tanke på energi, miljö och kostnader, skriver Pål Börjesson. Dessutom verkar det vara effektivt med energikombinat där vi kan producera många olika saker, bland annat värme, el och fordonsbränsle.

Pål Börjesson, Miljö- och energisystem, Lunds universitet.

Det finns idag en debatt kring hur biobränslen ska användas för att utnyttjas så effektivt som möjligt. Vissa hävdar att biobränslen ska användas för produktion av el och värme eftersom det medför en större minskning av växthusgaser än när biobränslen omvandlas och utnyttjas som drivmedel. Det bärande argumentet är största möjliga koldioxidreduktion till lägsta kostnad.

Andra hävdar att bioenergi också måste användas för drivmedelsproduktion eftersom huvuddelen av vår oljeanvändning sker inom transportsektorn. Här är det bärande argumentet att biodrivmedel krävs för att bryta vårt oljeberoende. Men, det kanske är så att vi



Figur 1. Schematisk skiss av framtida energikombinat där olika bioråvaror utnyttjas på ett optimalt sätt genom samproduktion av olika energibärare. Det leder till synergieffekter i form av ökad resurseffektivitet jämfört med när respektive energibärare produceras var för sig.

kan hitta en tredje väg där vi med nya, effektiva system kan producera el, värme och drivmedel på samma gång i så kallade energikombinat (figur 1). På detta sätt kan vi också få en energieffektiv drivmedelsproduktion eftersom energikombinat har hög totalverkningsgrad med små omvandlingsförluster. I framtiden kan alltså dagens debatt kring antingen biodrivmedel eller el och värme från biobränslen framstå som ganska överflödig.

Fyra aspekter på hållbara bioenergisystem

Effektiva bioenergisystem kan definieras på olika sätt. Ett sätt att definiera långsiktigt hållbara bioenergisystem är att inkludera följande fyra aspekter:

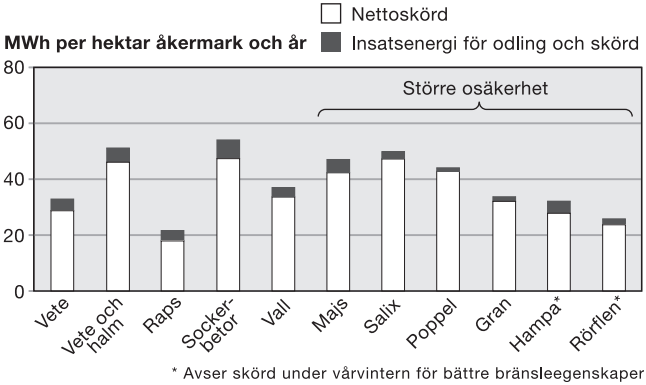
- *Resurseffektivitet.* Med detta menas att till exempel åkermark för energiproduktion ska utnyttjas för att producera så mycket biobränslen som möjligt, det vill säga högavkastande energigrödor ska väljas framför lågavkastande. Outnyttjade restprodukter inom jord- och skogsbruk, som halm och gödsel samt grenar och toppar (grot), bör så långt det är möjligt utnyttjas för energiändamål.
- *Energieffektivitet.* Energiförlusterna måste minimeras genom hela bioenergikedjan, från produktion till slutlig användning. Produktionen av energigrödor ska ske med så liten energiinsats som möjligt i förhållande till den bioenergiskörd som fås. Dessutom ska energiförlusterna vid omvandling av biomassa till el, värme eller drivmedel vara så små som möjligt. Till sist bör användningen av den förädlade bioenergin ske med hög effektivitet.

- *Miljöeffektivitet.* Användningen av nya bioenergisystem ska leda till så stor reduktion av växthusgaser som möjligt. Samtidigt får detta inte leda till att det skapas lokala miljöproblem. Odling av energigrödor eller uttag av skogsbränsle ska helst leda till att den lokala miljön förbättras. Omvandling och användning av bioenergi får inte orsaka ökade utsläpp av luftföroreningar.
- *Kostnadseffektivitet.* De billigaste biobränslena bör utnyttjas i första hand; det är ofta olika typer av restprodukter. Energigrödor med låga odlingskostnader ska väljas före dem som har höga odlingskostnader. Omvandling och förädling av biomassa bör ske med kostnadseffektiv teknik, och den slutliga användningen av bioenergin ska inte kräva dyr specialteknik.

Resurseffektiva bioenergisystem

Eftersom odlingsmark är en begränsad resurs och samtidigt ska användas för mat-, foder- och råvaruproduktion bör så högavkastande energiodlingar som möjligt utnyttjas. På det sättet räcker skogs- och åkermarken betydligt längre för att producera bioenergi som kan ersätta fossila bränslen. Det finns också möjligheter att plocka ut betydligt mer restprodukter som grot från skogsbruket och halm från jordbruket för energiändamål. Gödsel och blast från till exempel sockerbetor kan utnyttjas för biogasproduktion, något som sker i mycket liten omfattning idag.

Hur stor energiskörd olika energigrödor ger per hektar åkermark kan skilja en hel del (figur 2, som avser odling i södra Götaland på bra åkermark). Dessutom skiljer skördarna mellan olika delar av landet. På de bästa åkermarkerna i södra Götaland kan energiskörden vara upp till sex gånger högre per hektar åkermark än i Norrland beroende på vilka energigrödor som används. Dessutom finns det stora lokala skillnader i hektarskördar, även inom en gård. Om något sämre åkermark kommer att utnyttjas för energiodling minskar jordbrukets bidrag av bioenergi jämfört med om genomsnittlig eller något bättre åkermark används.



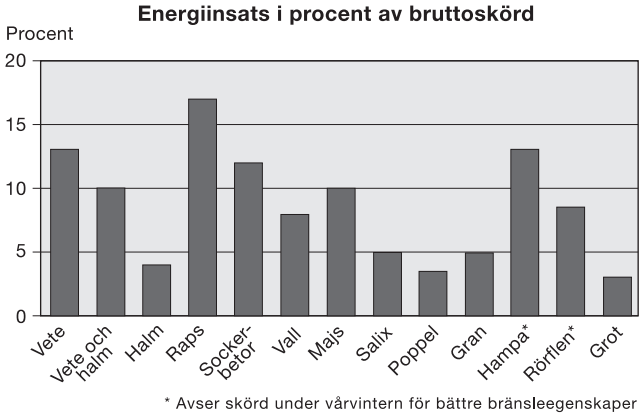
Figur 2. Energiskörd för olika grödor uttryckt som nettoskörd (vita delen av stapeln) respektive bruttoskörd (hela stapeln) odlade på bra åkermark i södra Götaland. Den grå delen av stapeln motsvarar den insatsenergi som krävs för odling och skörd av respektive gröda, det vill säga skillnaden mellan netto- och bruttoskörd.

Energiinsats för olika system

Ett sätt att beskriva hur energieffektiva biobränslen är att producera är att beräkna deras energibalans. Med energibalans menas en jämförelse mellan energiskörden och den insats i form av hjälpenergi som krävs vid odling och skörd. Energibalansen kan till exempel uttryckas som hjälpenergins storlek i förhållande till bruttoskörden, uttryckt i procent. Ju lägre energiinsats som krävs per producerad energienhet biomassa, desto energieffektivare är produktionssystemet. Insatsenergin inkluderar både direkt energianvändning, till exempel diesel för traktorer och skogsmaskiner, och indirekt energianvändning i form av exempelvis mineralgödsel, bekämpningsmedel, tillverkning och underhåll av maskiner. All hjälpenergi har räknats om till så kallad primärenergi, det vill säga den energi som har gått åt för att framställa till exempel diesel eller elektricitet är också inkluderad. I figur 3 presenteras energibalansen för produktion av olika biobränslen i södra Götaland, inklusive transport 5 mil med lastbil till energianläggning.

Uttag av grot från skogen och halm från åkermark kräver liten insatsenergi som är mellan 3 och 4 procent av energiinnehållet i bruttoskörden. Energiinsatsens storlek kan variera något utifrån lokala förutsättningar och beroende på transportavståndet, men ur energisynpunkt har transportavståndet ofta mindre betydelse än vad man tror. Om skogsflis transporteras med lastbil 15 mil istället för 5 mil (enligt figur 3) ökar insatsenergin från cirka 3 till 5 procent.

Andra energieffektiva bioenergisystem är odling av energiskog (salix, poppel, hybridasp och gödslad gran) som nästan ligger i nivå med uttag av restprodukter som grot och halm. Därefter kommer odling av andra fleråriga energigrödor som vall och rörflen, där energiinsatsen normalt är mindre än 10 procent av energiskörden. För ettåriga energigrödor som kräver plöjning, sådd och skörd varje år varierar energiinsatsen mellan 10 och 17 procent av energiskörden.



Figur 3. Energibalans för olika biobränslen odlade i södra Götaland uttryckt som energiinsatsens storlek i procent av bruttoskörden. I energiinsatsen ingår hjälpenergi vid produktion och transport 5 mil till energianläggning.

Om odling, skörd och transport av energigrödor skulle ske med hjälp av enbart biobränslebaserade energiinsatser istället för med framför allt fossila bränslen som idag, ökar insatsenergin med 30–45 procent. Denna ökade insats av primärenergi beror framför allt

på att omvandling av biomassa till biodrivmedel leder till större energiförluster än när råolja raffineras till diesel och bensin. Insatsen av hjälpenergi i till exempel energiskogsodling skulle i detta fall öka från cirka 5 till 7 procent av energiinnehållet i bruttoskörden.

Energiförluster vid omvandling

När biobränslen omvandlas till värme, el och drivmedel blir det energiförluster. Förlusterna är normalt små (10–20 procent) när grot, energiskog, halm med mera eldas för värmeproduktion. Elproduktion kan också ske effektivt genom att värme och el produceras samtidigt i så kallad kraftvärmeproduktion. I fjärrvärmeverk med kombinerad el- och värmeproduktion kan cirka en tredjedel el och två tredjedelar värme produceras per enhet biobränsle med samma höga totalverkningsgrad som när enbart värme produceras.

Vid tillverkning av biodrivmedel blir det ofta större energiförluster, och utbytet av drivmedel kan variera mellan 35 och 70 procent av biomassans energiinnehåll, beroende på vilken omvandlingsteknik och vilket drivmedel det gäller. Uttryckt per hektar åkermark får man ofta ut dubbelt så mycket energi i form av värme (och el via kraftvärme) än som drivmedel från energiodlingar med dagens produktionssystem för drivmedel.

Djurfoder en biprodukt att räkna med

Ibland diskuteras energibalansen för etanol från spannmål, och vissa hävdar att den är negativ, det vill säga att det går åt mer energi för att producera etanolen än vad som finns i drivmedlet. Men nästan alla svenska och internationella energibalansstudier kommer fram till en positiv energibalans, och att energiinsatsens storlek ofta varierar mellan 40 och 75 procent av bruttoutbytet av etanol. Beroende på hur beräkningarna är gjorda kan resultaten variera ännu mer. En viktig orsak är hur man fördelar energiinsatsen mellan drivmedlet och de biprodukter som produceras. När etanol produceras från spannmål får man drank som används som djurfoder, och om man inte tar hänsyn till den blir energibalansen sämre. Om däremot denna drank antas ersätta importerat proteinfoder från Syd- eller Nordamerika kan energibalansen bli betydligt bättre eftersom det går åt mycket energi för att producera och transportera det importerade proteinfodret.

Vid framställning av drivmedel från raps (rapsmetylester, RME) får man också en biprodukt som används som djurfoder och som kan ersätta importerat proteinfoder. Om man betraktar etanol- och RME-fabriker som kombinerade drivmedels- och foderfabriker blir dessa betydligt bättre ur energisynpunkt än när de bara betraktas som drivmedelsfabriker. Marknaden och efterfrågan på foder avgör i hur stor omfattning energinyttan av foderproduktionen kan tillgodoräknas dessa

biodrivmedel. Denna inhemska marknad bedöms dock bli mättad relativt snabbt med den utbyggnad av etanol- och RME-anläggningar som nu sker. En uppskattning är att en sammanlagd produktion av etanol och RME från inhemsk spannmål och raps som motsvarar 3–4 procent av dagens användning av bensin och diesel är möjlig innan den inhemska fodermarknaden blir mättad.

Andra generationens drivmedel

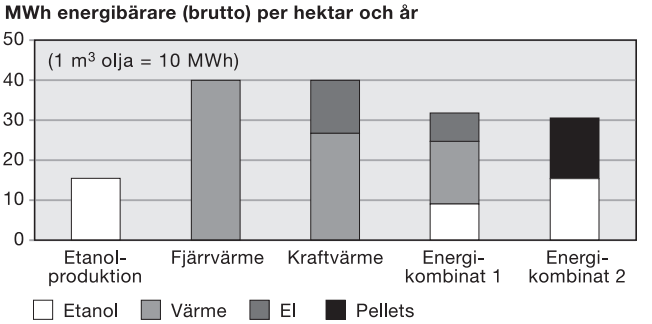
Spannmålsetanol, RME och biogas kallas ofta första generationens drivmedel. Andra generationens drivmedel som är under utveckling baseras istället på vedråvara från skogen, energiskog eller stråbränslen (halm, energigräs) från jordbruket. Två fördelar med dessa nya drivmedel är att energieffektiviteten vid omvandlingen ofta är högre och att en betydligt större resursbas (skogsråvara och energiskog) kan utnyttjas jämfört med första generationens drivmedel. Tillverkning av nya drivmedel som metanol, dimetyleter (DME), Fischer Tropsch-diesel (FT-diesel) och metan sker via termisk förgasning där vedbiomassan hettas upp under högt tryck. Då bildas en syntesgas som sedan kan omformas till olika drivmedel. Men tekniken är inte fullt utvecklad än, och dessutom krävs fabriker som är i storlek med ett massabruk för att få låga produktionskostnader.

Ett annat alternativ är att framställa etanol från vedråvara. Den här tekniken är inte heller fullt utvecklad idag

och en nackdel är att utbytet av drivmedel per enhet biomassa är lägre än för drivmedel från förgasning. Men vid etanolproduktion från vedråvara får man en biprodukt, lignin, som kan användas för energiändamål. Den biprodukten kan utnyttjas för tillverkning av pellets, eller el och värme. Etanolproduktion kräver i dagsläget också en renare vedråvara än vid förgasning, och det leder till större konkurrens gentemot massaved till skogsindustrin. Både lövved och barrved kan utnyttjas och har sina för- och nackdelar. Lövved kan lättare sönderdelas genom så kallad hydrolys där cellulosamolekylerna spjälkas till mindre sockermolekyler, men är svårare att jäsa till etanol på grund av att en stor andel av sockermolekylerna består av pentoser med fem kolatomer. Barrved är svårare att hydrolysera men lättare att jäsa eftersom den har en stor andel hexoser (sockermolekyler med sex kolatomer).

I figur 4 beskrivs utbytet av etanol, värme, el och pellets per hektar åkermark när energiskog (i det här fallet poppel) utnyttjas på olika sätt. I de fem olika fallen används poppel för enbart etanolproduktion, enbart värmeproduktion, kombinerad el- och värmeproduktion (kraftvärme), samt i två olika energikombinat. I det ena kombinatet sker samtidig produktion av etanol, el och värme, och i det andra kombinatet samtidig produktion av etanol och pellets. Som framgår av figuren kan det totala utbytet av energi i ett energikombinat vara högt, nästan som vid fjärrvärme- och kraftvärmeproduk-

tion, samtidigt som drivmedel produceras. Den totala mängden drivmedel som produceras per hektar blir dock något lägre i ett energikombinat än när enbart drivmedel produceras. Eftersom el och drivmedel betraktas som mer värdefulla energibärare än värme och pellets är det viktigt att inte bara sträva efter ett högt energiutbyte i energikombinat utan också en hög andel el och drivmedel.



Figur 4. Utbyte av etanol, värme, el och pellets per hektar åkermark när poppel utnyttjas på olika sätt (odling i södra Götaland på genomsnittlig åkermark).

Miljöeffektivitet

Uttag av skogsbränsle och odling av energigrödor kan ske utan att den lokala miljön påverkas negativt i någon större utsträckning. Vid uttag av grot sker näringsförluster men de kan kompenseras genom återföring av aska efter förbränning, och vid behov även genom kvävetillförsel. Kvävegödsling är en effektiv åtgärd ur energisynpunkt då tillväxten av biomassa

kan vara upp till 50 gånger större än energiinsatsen vid tillverkning och spridning av gödselmedlet. Uttag av grot kan till och med leda till minskad risk för näringsläckage och minskad försurning i södra Sverige. Eftersom insatsen av diesel och annan energi är liten vid skogsbränsleuttag får man också stor reduktion av växthusgaser när fossila bränslen ersätts. Hur stor denna reduktion blir beror på vilket fossilt bränsle som ersätts, hur det ersätts samt hur bioenergisystemet utformas.

Odling av fleråriga grödor som energiskog och energigräs ger normalt mindre miljöpåverkan än odling av ettåriga grödor som spannmål och oljeväxter. När åkermarken är bevuxen året om med fleråriga energigrödor minskar risken för näringsläckage och övergödning. Odling av ettåriga grödor kräver mer insatsenergi, och det medför högre utsläpp av växthusgaser än vid odling av fleråriga grödor. Ettåriga grödor gödslas också oftast mer vilket leder till ökade utsläpp av växthusgasen lustgas. Totalt sett blir därför reduktionen av växthusgaser, uttryckt per ton biomassa, större när fleråriga energigrödor ersätter fossila bränslen än när ettåriga grödor gör det. Hur stor reduktionen blir per hektar beror dessutom på skördenivån för de olika grödorna.

När restprodukter som gödsel och betblast används för biogasproduktion kan man få stora indirekta mil-

jövinster, till exempel minskad risk för näringsläckage. När gödsel rötas till biogas minskar också utsläppen av växthusgasen metan från traditionell gödsellagring i gödselbrunnar. Detta minskade utsläpp av växthusgaser kan vara lika stort som minskningen när biogasen ersätter fossila bränslen. På detta sätt kan gödselbaserad biogas så att säga leda till ”dubbel klimatnytta”, något som motiverar en satsning på dessa system.

Svårt att generalisera

Bioenergisystem kan bestå av en mängd olika kombinationer av råvaror, omvandlingsteknik och slutliga användningsområden. Beroende av vilka aspekter som studeras och hur de lokala förutsättningarna är kan olika system ha sina specifika för- och nackdelar. Därför är det svårt att göra långtgående generaliseringar och kategoriseringar av bättre eller sämre bioenergisystem. För detta krävs detaljerade analyser utifrån de aktuella förutsättningarna.

De som uttalar sig tvärsäkert i debatten om hur bra eller dåliga bioenergisystem är utan att samtidigt ange under vilka förutsättningar bedömningarna görs företräder antingen särintressen eller är okunniga. Men en slutsats man vågar dra är att skogsbränsle som grot, högavkastande fleråriga energigrödor som energiskog i olika former, tillsammans med restprodukter som inte utnyttjas idag, oftast är effektiva med tanke på resurser, energi, miljö och kostnader.

Dessutom framstår en utveckling av olika typer av energikombinat som en attraktiv strategi ur energi- och resurssynpunkt när de leder till att biomassan utnyttjas ännu effektivare än när respektive energibärare produceras var för sig. En utveckling av energikombinat är speciellt viktigt för att kunna producera biodrivmedel med hög resurseffektivitet. Nya tekniska lösningar kan därför komma att tysta dagens debatt om vi ska producera el och värme eller drivmedel från biomassa. Svaret blir sannolikt både och!

Pål Börjesson är docent i miljö- och energisystem vid Lunds tekniska högskola. Hans forskning inriktar sig mot breda, tvärvetenskapliga systemstudier av bioenergisystem med fokus på hur dessa kan utnyttjas på bästa sätt med tanke på miljö, energi, resurser och kostnader.

Dagens analysmetoder skapar övertro på bioenergi

Torbjörn Rydberg analyserar bioenergisystem på ett mer omfattande sätt än vad som är vanligt i dagens energianalyser, som han är kritisk mot. Han räknar även med den energi som driver människors arbete, till exempel mat, och den energi som används men som betraktas som gratis av det ekonomiska systemet, bland annat solenergi. Han kommer fram till att det inte går att driva ett industrisamhälle som det vi har idag med förnybar energi. Vi måste krympa våra anspråk på jordens resurser.

Torbjörn Rydberg, Institutionen för stad och land, Sveriges lantbruksuniversitet.

Hur mycket energi behövs för att understödja en människa? Om vi bara mäter den energi som används för att driva kroppen blir svaret ungefär 2 500 kilokalorier per dag. Men för att göra denna mat omvandlas många former av energi. Ur ett systemperspektiv omvandlas i storleksordningen 10 kilokalorier i form av fossilt bränsle för att ta fram 1 kilokalori modernt förpackad mat utlagd i butiken. Mat per person och dag har alltså en energianvändning av omkring 25 000 kilokalorier fossilbränsle. Men att fullständigt försörja en människa i ett visst kulturellt sammanhang kräver ett helt livsuppehållande system och en rad olika energiinsatser. Hur stort detta anspråk är och vilka konsekvenser det har på det livsuppehållande systemet är till stor del en fråga om vilket samhälle och vilken livsstil vi väljer att utveckla.

Med hjälp av motorer, elektricitet, ledningar, järnvägsnät, vägnät, handel och kommunikation utvecklades industrisamhället. Den fossila olja som möjliggjorde den snabba industriella tillväxten var lätt att finna och extrahera, relativt fri från inblandning av andra ämnen, koncentrerad, lätt att transportera och att omforma till andra energiformer. Ett par hundra år senare och på grund av att de fossila bränslena är ändliga och har negativ miljöpåverkan befinner vi oss nu i en situation där vi medvetet måste se över och förändra vår energiförsörjning och vår livsstil. Är det nu möjligt att byta ut de fossila bränslena mot drivmedel och andra bränslen från biomassa?

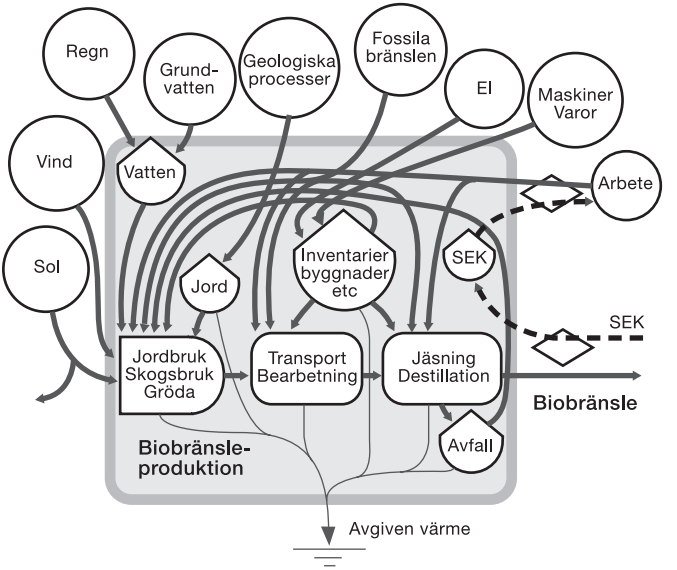
Med hela jorden som system

Biobränslen presenteras i utredningar som förnybara och mindre miljöbelastande substitut för fossila bränslen. Budskapet är lätt att ta till sig och tro på. Men när biobränslena studeras med ett bredare systemperspektiv med något som kallas emergianalys visar det sig att biobränslen vid sin framställning förbrukar stora mängder av icke förnybara energiresurser och orsakar stor miljöbelastning. Emergianalysen räknar med hela geobiosfären som system, det vill säga hela jorden inklusive jordskorpan och atmosfären. Emergiberäkningen kvantifierar vilka anspråk till exempel ett bioenergisystem ställer på geobiosfärens arbetsprocesser.

För att odling, vidareförädling, distribution och användning av en energiresurs ska fungera behöver vi information om alla former av energi som måste tillhandahållas direkt från naturen eller indirekt via samhället. En produktionsprocess kräver en rad olika resurskvaliteter och energiformer för att överhuvudtaget fungera. Det blir inga bullar bara för att man tillför värme till ugnen. Alla andra ingredienser måste också finnas, bland annat odlare, redskap och bagare. På samma sätt blir det inga biobränslen bara för att det finns drivmedel till traktorn på åkern och energi till fabrikerna som producerar övriga varor som behövs för tillverkningen.

Att ”göra” vete eller andra jordbruksgrödor kräver idag både förnybara energiflöden i form av sol, vind och regn,

och icke förnybara energiflöden i form av diesel, fosfor och maskiner. Dessutom krävs det mänskligt arbete. Det blir inget vete om inte alla former av energi samtidigt används och deras specifika energikvalitet därmed förbrukas. Maskindelarna slits ut, fosforn i sin lättlösliga och för växten lättillgängliga och spridningsbara form förbrukas, dieseln förbränns, den kemiska potentialen i regnet utnyttjas, delar av vindens energi har använts för att transportera vatten och gaser, och delar av solenergin har



Det behövs många olika resurser för att tillverka biobränslen. Den utvärderingsmetod som kallas emergianalys räknar på samtliga flöden.

förbrukats direkt i fotosyntesen. Vetet är den nya formen av energi som sedan kan användas på olika sätt, och som energibärare omvandlas med hjälp av andra energiformer till exempelvis etanol som fordonsbränsle.

För att producera biobränslen krävs det alltså många olika insatsvaror som på olika sätt härstammar från jordens ”nätverk” av processer (se figuren, som visar etanolproduktion från vete som exempel).

Sol, vind, vatten, jord och arbete

Att en emergianalys av ett bioenergisystem inkluderar sol, vind, regn, jord och människors arbete beror på att de är nödvändiga för processen att få fram bioenergin. Solenergi är viktig att inkludera i systemet eftersom solen driver flöden av energi på jorden. Allt som är värdefullt måste produceras och underhållas av naturens arbetsprocesser, bland annat fotosyntesen. Dessa värdefulla arbetsprocesser startar med att det finns solenergi som flödar in mot jorden. Så gott som alla varor och tjänster behöver därför solenergi. I och med att solljuset är en flödesbegränsad resurs, det vill säga det kommer bara en viss mängd per tidsenhet, så kan vi se möjligheter och begränsningar med olika projekt och utvecklingsstrategier då solenergin är med i utvärderingen.

Mängden regn som faller över en viss yta och nyttjandegraden av detta vatten är viktiga att känna till om vi vill utveckla system som drivs av förnybar energi. Vinden

inkluderas i beräkningarna eftersom den utför en mängd gratisarbete i naturen och vi är beroende av det. Som en del i det livsuppehållande systemet ansvarar vindarna för klimatet, de återcirkulerar vattnet för att sedan producera regn, de förflyttar och späder ut luftföroreningar, de hjälper till med att erodera mark och producera ny jord, och de driver vågor och strömmar i haven. Vår existens och välfärd är direkt och indirekt beroende av vindens gratisarbete. Regnet och vindarna drivs av bland annat solen, och är i och med detta flödesbegränsade även de, och sätter gränser för vad som är möjligt.

Bioenergisystemen är beroende av jord för att odlingen ska fungera. Jord är en grundläggande förutsättning för bioenergi. Den får därför inte förödas. Därför tar emergiberäkningarna med den i utvärderingen av bioenergisystem.

Dagens och morgondagens teknik kräver människor med kompetens och förmåga att arbeta i systemen. I en emergianalys beräknas resursbehovet för människors arbete, det vill säga maten och annat som är karakteristiskt för just det samhällssystem som människor i det aktuella fallet lever i. Olika bioenergisystem i olika samhällssystem kräver och kommer att kräva människor. Men deras anspråk på omgivningen blir olika, och i och med att detta blir tydliggjort har vi möjlighet att bättre orientera oss mot en uthållig utveckling för oss alla.

Kritik mot dagens metoder

I dagens mest använda utvärderingsmetoder av biobränslen hamnar ofta en mängd naturresurser och för livet viktiga funktioner utanför bedömningen. Detta gäller både ekonomiska värderingsmetoder och de biofysiska metoder som används mest idag: energi- och livscykelanalyser. Exempelvis hamnar tjänster som ekosystemen gör oss utanför värderingen eftersom de i ett ekonomiskt marknadsperspektiv betraktas som gratis, till exempel sol, vind, regn, friskt vatten och klimatreglering. Och energianalyserna tar inte upp människors arbete och försörjning med olika energiformer.

När vi bara mäter energiresurser i kalorier, joule eller kilowattimmar missar vi kvalitetsaspekten på resurserna. Vi missar att olika energiformer har olika stor förmåga att åstadkomma mekaniskt arbete, men det här går att ordna med exergiberäkningar. Exergi betyder energikvalitet med fokus på den mekaniska arbetsförmågan. Till exempel har vattnet i kraftverksdammen hög exergi innan det störtar utför fallet. Elenergi kan driva motorer och har högre exergi än värme.

Ännu allvarligare är det att dagens energianalyser missar alla andra kvalitativa aspekter på de olika former av energi som vi är beroende av. Komplexa livsformer behöver till exempel fungerande ekosystem. De olika formerna av energi är dessutom beroende av varandra. Det krävs mellan 4000 och 5000 joule i form av sol för att göra

en joule ved. Det krävs en mängd joule i form av organiskt material för att göra fossila bränslen, och det krävs stora mängder fossila joule för att göra en joule mänskligt arbete. Man kan därför inte addera energiformer hur som helst utan att ta hänsyn till deras beroende av varandra.

System med olika tidsskalor

Varje vara har sitt eget behov av resurser och sina egna anspråk på hur lång tid och hur stor area som behövs för att den ska bli framställd. Träd behöver en viss tid och en annan area för att bildas än till exempel vete. Kol och olja bildas på en längre tidsskala. Andra mineraler och metaller kräver ännu mer tid för att bildas. Detta systemberoende måste finnas med i en seriös resurs- och miljökonsekvensbeskrivning. Så är inte fallet med de analysmetoder som används idag. De kommer fram till att produktionen är si eller så stor per hektar och år, men de insatta energiresurserna har helt andra rums- och tidsskalor än det system man studerar. Insatser av till exempel fossila bränslen, elektricitet, fosforgödselmedel, maskiner och arbete är inte genererade av det aktuella systemet.

Emergianalysens tidsskala anpassas för att vara relevant för de processer som studeras eller den tidsram som frågan kräver. På liknande sätt som man studerar evolutionsbiologi med relevanta tidsskalor bör man studera till exempel skogen med en tidsskala som är relevant för den. Det går inte att räkna bara den energi i kilowattimmar

eller kilojoule som går att utvinna om ett träd eldas upp. När trädet väl är nedhugget tar det lång tid innan ett nytt träd växer upp. Därför måste man också räkna den solenergi som har gått åt under hundra år då trädet växte. Skall sedan trädet skördas och bearbetas tillkommer maskiner, drivmedel och underhåll av människor eftersom det är nödvändiga former av energi som används. För dessa insatser görs separata beräkningar som sedan används på skogssystemen.

Orimligt arealbehov

Arealbehovet blir orimligt stort om vi ska försöka substituera dagens fossila drivmedel med biobränslebaserad energi. Som ett exempel på det kan vi räkna på framställningen av etanol från vete i en fabrik i Norrköping, utan att beakta några andra behov av naturresurser än behovet av areal där vetet odlas. Vi vet att 1 hektar veteåker ger cirka 5 ton vete (kärna). I etanolfabriken i Norrköping ger 5 ton vete 2 kubikmeter etanol som motsvarar 12 000 kilowattimmar (värme). Enligt Agroetanol AB ger processen 30 procent energinetto. Det betyder att varje hektar vete ger 3 600 kilowattimmar etanol när processenergin för odling, transport och etanolframställning är borträknad.

Enligt Energimyndigheten är energibehovet för transportsektorn 92 terawattimmar, exklusive sjötransporter. Om 92 terawattimmar divideras med 3 600 kilowatttimmar får man arealbehovet för att ersätta drivmedels-

behovet för transportsektorn med etanol från vete. Beräkningen ger ett arealbehov på 25,5 miljoner hektar, vilket motsvarar mer än halva Sveriges landareal. Om tio procent av Sveriges drivmedelsbehov ersätts med etanol från vete eller grödor odlade på liknande sätt behövs i stort sett hela Sveriges nuvarande åkerareal som är cirka 3 miljoner hektar.

För att få fram drivmedel ställs stora förhoppningar till andra grödor, exempelvis salix, och annan omvandlingsteknik, som förgasning. Med dessa system utlovas väsentligt minskat arealbehov och förhoppningsvis minskade resursanspråk.

Skog bättre än fååriga grödor

När biobränslen studeras med ett utvidgat systemperspektiv som har förmåga att värdera både naturens arbete och människans i samma metod så visar det sig att de odlade fååriga grödorna är ett dåligt utgångsmaterial. När skogen används som råvara minskar behovet av hjälpenergi för att få fram den slutliga produkten. Men även om skogsalternativen har mindre behov av varor och tjänster bearbetade via det ekonomiska systemet så dominerar dessa fortfarande över det som naturen gör av sig självt och ”gratis” i skogen.

Emergi är ett uttryck för all den energi som har omvandlats i olika arbetsprocesser för att åstadkomma en vara eller en tjänst – en sorts energiminne. Emergi

definieras som den mängd energi av en viss form (vanligtvis sol) som behövs direkt och indirekt för att ge ett flöde eller ett lager av energi eller materia. Energiminnet uttrycks vanligen i solemergijoule. För att få ett mått brukar man räkna ut kvoten mellan antalet solemergijoule som har gått åt för att göra en produkt och den energi som finns i själva produkten (solemergijoule per joule).

Första kolumnen i tabellen på nästa sida visar hur mycket emergi som krävs för varje genererad joule av några olika energislag: bensin, etanol, fjärrvärme från salix och fjärrvärme från skogsskörderester (grot). För varje joule bensin har det krävts cirka 66 000 solemergijoule, och för varje joule av sockerrörsetanol och majsetanol har det krävs 214 000 respektive 176 000 solemergijoule. Varje joule fjärrvärme från salix kräver 19 500 solemergijoule att framställa, och värme från grot kräver 21 650 solemergijoule per joule. Metanolen som görs från grot visar i studien att det går åt 33 600 solemergijoule per joule.

I andra kolumnen redovisas andelen icke förnybar emergi som kan härledas till produktionsplatsen, det vill säga oljekällan eller salixåkern. De fossila bränslena har en hög andel av sin emergi härifrån, och de odlade grödorna och skogen en låg andel om de sköts utan att man förstör systemen, till exempel utarmar eller förskingrar jorden. Tredje kolumnen visar hur mycket av

emergin som han härledas via det ekonomiska systemet, bland annat maskiner, drivmedel, gödselmedel och människors arbete. Det mesta av det här är också av icke förnybar karaktär. Bensinen får 10–27 procent av sin totala emergi från dessa flöden, etanolen cirka 90 procent och salixvärmen 92 procent. Skogsvärmen tar i anspråk 67 procent av sin emergiåtgång från dessa resurser, och skogsmetanolen cirka 70 procent. Den sista kolumnen visar andelen förnybar emergi. Den är redovisad som noll för bensin, 5–10 procent för etanol, 8 procent för salix, 33 procent för fjärrvärmen från skogen och 30 procent för skogsmetanolen.

Typ av bränsle	Solemergijoule per joule av produkten	Tömning av lokalt lager (% av totala emergin)	Köpta varor och tjänster (% av totala emergin)	Förnybar energi (% av totala emergin)
Bensin	66 000	73–90	10–27	0
Etanol från sockerrör (Brasilien)	214 000	–*	90	10
Etanol från majs (Italien)	176 000	3	92	5
Fjärrvärme från salix (Sverige)	19 500	–*	92	8
Fjärrvärme från grot (Sverige)	21 650	–*	67	33
Metanol från grot (Sverige)	33 600	–*	70	30

* Ingen uppgift. Vanligtvis är det bortodling av organiskt material som identifieras vid odling av grödor.

Tabellen visar med några exempel behoven av omvärlden för att bensin, etanol, fjärrvärme och metanol ska bli till. Resultaten kommer från studier där både naturens och människans arbete har beräknats på en gemensam energibas (emergianalys).

Även om tabellen bara är några fragment från emergistudier gjorda på olika energityper så ser en beslutsfattare på en övergripande nivå vilka anspråk de olika produkterna ställer på omgivningen. Etanoltillverkningen ser ut att vara en mycket kostsam process med liten andel av förnybara drivkrafter. Därför borde man vara försiktig med att utveckla den. Värme producerad från salix och grot ställer ungefär samma totala energianspråk på omgivningen, men recepten ser olika ut. Mer förnybara drivkrafter används till värmen från groten än från salixen. Då skog finns är grotvärme förmodligen bättre än salixvärme. Metanol från grot ser ut att vara en effektiv omvandlingsprocess, men observera att den till största delen tas fram med icke förnybara drivkrafter.

Förnybar energi är utspridd i landskapet

I industrisamhället är vi vana att ha tillgång till energikällor som kräver lite för att ”skördas” och där de skördade produkterna är långt förädlade som högkvalitativt bränsle, till exempel olja och fossilgas (naturgas). Om vi vill ha mer av dem kan vi få det i och med att de finns i lager, och därmed är de inte begränsade i sitt flöde. Ju mer vi extraherar, desto mer får vi. Med bättre teknik kan vi extrahera mer och fortare. Det är bara att bygga större och kraftfullare ”pumpar”. Begränsningen ligger i lagrets storlek.

Förnybar energi som sol, vind, vatten och biomassa är mer utspridda i landskapet. Mest utspridd är solenergin följd av vind, vatten och olika former av biomassa som i sin tur kan rangordnas efter sin ålder. Ju längre tid en skog får stå och bygga upp sina förråd av ved, desto mer och desto lättare blir det att få en stor och användbar skörd från den. Om man analyserar elektricitet genererad via solceller med hjälp av emergianalys ser man att den kräver mycket resurser; det måste investeras stora mängder i apparatur och service. Elektricitet genererad från vindkraftverk och vattenkraftverk har avsevärt bättre siffror. En viktig orsak är att naturen redan har koncentrerat energiflödena innan vi kopplar på våra energiskördande utrustningar och att dessa arbetsprocesser sker med högre effektivitet än de lösningar vi har tagit fram så här långt. Men typiskt för de här energislagen är också att det finns ett begränsat flöde av energi per tidsenhet. Det kommer inte mer solljus på en viss area även om vi ”pumpar” mer, och det kommer inte mer regn och vind.

Ny syn på planeten

Vårt moderna samhällssystem är organiserat för att använda koncentrerad fossil energi. Ett sådant samhälle kan inte helt och hållet drivas av så utspädd energi som solljus och biomassa. Det råder inget tvivel om att de fossila bränslena måste fasas ut och till viss del ersättas av andra energiformer. Vi måste få en kraftig uppbromsning av fossilbränsleanvändningen och all

annan energianvändning. Men det finns inget enkelt alternativ.

Det komplexa samspelet i geobiosfären kräver ett helt nytt synsätt på oss själva och vår planet. Det handlar om samarbete som leder till utveckling som är till gagn för både människa och natur. Då först ökar bärförmågan i systemet. Till detta behövs bland annat kunskap. Det handlar inte om snabbaste och effektivaste tömning av naturens resurser. Vi befinner oss i en situation där vi förstår att framtiden inte enbart är en fråga om brist på fossila bränslen utan att naturresurser mer generellt kommer att bli påverkade och att det kommer att uppstå brist på mer än fossil energi.

Det är därför hög tid se över de utvärderingsmetoder vi använder oss av när vi fattar beslut om vår framtida energiförsörjning. Det finns idag metodik som på en stabil naturvetenskaplig grund klarar av att mäta och värdera vilka anspråk olika produktionsprocesser ställer på hela biosfären. Emergianalysens beräkningar gäller uthållighetsaspekter av människans aktiviteter, och utgör värdefull information för planering och beslutsfattande. Men metoderna har aldrig använts som underlag för strategiska diskussioner om framtida energiförsörjning i Sverige. De resultat som finns verkar vara svåra att acceptera och tolka eftersom de kanske inte är helt förenliga med tron på ständig materiell tillväxt och ökad avkastning inom skogsbruk och jordbruk.

Det finns ingen brist på energi som det definieras i fysikböckerna och ingen brist på vilja att utveckla nya tekniska lösningar. När samhället ska byta ut de koncentrerade lagerresurserna mot okoncentrerade flödesbegränsade energiresurser så behöver vi kunna hantera alla dessa olika energikvaliteter och deras anspråk på omgivningen. Om metoderna inte belyser detta så blir det ett problem inför framtiden och möjligheterna att lösa energifrågan, som jag ser det.

Mat viktigare än sprit till bilar

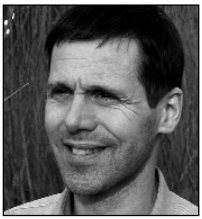
Anspråken på naturen kommer att öka väsentligt om vi ska byta ut fossila bränslen mot biobränslen. Arealbehovet för denna substitution blir gigantisk. Vi ser redan idag hur människor förlorar sina skogar och tillträde till sin mark just bara för att det ska odlas bränsle för export. Marken räcker inte till. På många håll i världen är det viktigare att ta fram mat än att odla etanol till miljömärkta bilar i Sverige.

Fååriga jordbruksgrödor fungerar bra som livsmedel eller fodermedel på grund av sina specifika kvaliteter i form av användbara kolhydrater, proteiner, fetter, antioxidanter, och så vidare. Det är stort slöseri att använda sådana grödor till värme eller drivmedel. Skogen ger bättre siffror, men systemen behöver utvecklas så att de blir ännu mer självförsörjande.

Torbjörn Rydberg är docent och forskar och undervisar vid Institutionen för Stad och land på Sveriges lantbruksuniversitet. Han studerar kombinerade system där både människa och natur ingår. Det kallas för emergianalys och betyder att det ekonomiska och det ekologiska analyseras samtidigt.

Analyser av bioenergisystem – varför ger de olika svar?

Vilka typer av energisystem är ”bäst”? För att få svar på frågan använder forskarna olika metoder för att analysera systemen. Men även om de analyserar samma energisystem kommer de sällan till entydiga svar. Att debatten ibland är överhettad och underlagen motsägelsefulla gör det inte enklare för våra beslutsfattare, skriver Theo Verwijst. Hur ska vi då gå tillväga för att få tydliga och samstämmiga svar som ändamålsenligt leder till utveckling av de energisystem vi vill ha?



Theo Verwijst, Växtproduktionsekologi, SLU i Uppsala.

I dagens samhällsdebatt om nuvarande och framtida energisystem hörs många olika röster som dock verkar vara eniga om en sak: att ett system baserat på fossila bränslen är ohållbart i längden och att vi behöver göra stora satsningar för att ta fram alternativa energisystem så snart som möjligt. Men samma personer är inte alls ense om vilka alternativa system som ska väljas. Anledningen till den stora diskrepansen är trefaldig. För det första finns det flera olika systemanalytiska metoder som ger skiftande svar just på grund av varierande metodik. Man kan säga att analysmetoderna ger olika svar därför att de egentligen belyser olika aspekter av samma frågeställning.

För det andra bör vi komma ihåg att många analyser görs av intressegrupper med starka särintressen, och då kan metodik och delsystem väljas på ett sådant sätt att man får det resultat man vill ha. För det tredje förs en stor del av debatten av dem som inte utför systemanalyserna, men av grupper som helt legitimt kan ha synpunkter utifrån andra relevanta samhällsperspektiv.

Om forskarna skulle enas om en rankning av olika system efter till exempel någon form av effektivitetsmått är det mycket möjligt att samhället och politikerna inte skulle välja det mest effektiva systemet. Storskaligt införande av nya system påverkar miljö, landskapsplanering, samspelet mellan stad och land, hela infrastrukturen, samt vårt sätt att färdas och därmed

vår personliga livsstil. Det politiska valet mellan olika alternativ görs med andra ord inte bara utifrån en biogeofysisk verklighet utan även utifrån våra sociokulturella värderingar. Det vore därför konstigt om vi alla vore överens om åt vilket håll utvecklingen ska gå. Däremot är det nödvändigt att forskarna kan samverka genom att konstruktivt och med vetenskapliga objektiva mått jämföra grunderna för olika ställningstaganden, kanske för att upptäcka att de är mera överens i energisystemfrågorna än vad det verkar idag.

Många sätt att analysera

Det finns en uppsjö av systemanalytiska metoder som numera även tillämpas på bioenergisystem. Några av metoderna är utvecklade för analyser av delsystem, andra inkluderar hela biosfären med en tidsskala på miljontals år. Dessa metoder skiljer sig när det gäller den informationsmängd som är nödvändig för att genomföra analysen, i sin praktiska tillämpbarhet och genomförbarhet, i sin jargong och även i sin anslutning till en biogeofysisk och ekonomisk verklighet.

Jag diskuterar kort energianalys, exergianalys och LCA, för att sedan avsluta med en mer utförlig beskrivning av emergianalys. Det finns flera andra viktiga systemanalytiska metoder (miljökonsekvensbeskrivning, ekologiska fotavtryck, cost/benefitanalys, integrated assessment modelling, med flera) men jag väljer att utgå från dem som har en stark förankring i termo-

dynamiken, med tillägg av LCA. Medan energianalys, exergianalys och livscykelanalys används flitigt för att ta fram underlag till beslutsprocesser befinner sig emergianalysen fortfarande utanför beslutsfattararenan. Med tanke på emergianalysens möjlighet att på ett grundläggande sätt belysa hållbarhetsaspekter, som blir allt viktigare i våra planeringsarbeten, bör vi fundera över vad som krävs för att kunna ta med denna metodik i arbetet med att skapa relevanta beslutsunderlag för val av energisystem.

Energianalys

En energianalys är i princip en energibalanskalkyl som kan göras på ett givet energisystem eller delar av det, till exempel på växtproduktion från markberedning till och med skörd. Ett exempel ges av Pål Börjesson (figur 2 på sidan 125). Om vi tittar närmare på salix i den figuren ser vi att energiinsatsen är 5 procent av bruttoskörden, det vill säga att vi stoppar in en enhet energi och får ut 20 energienheter. En viktig förutsättning för en sådan analys är att alla ingående komponenter är specificerade (i detta fall diesel, maskiner, reservdelar, mineralgödsel, bekämpningsmedel, och så vidare) och att det för varje komponent sker en omräkning till en och samma form av energi (i detta fall primärenergi) som även används för den utgående komponenten. Även den energi som används vid fem mils lastbilstransport har tagits med i exemplet.

Jämfört med emergianalys är en energianalys relativt lätt att genomföra och behöver framför allt inga kontroversiella dataunderlag. Många av dagens energianalyser går dock långt utöver en energibalanskalkyl och blir därmed mera komplicerade, men även mycket användbara i större sammanhang. Dessa specifika tillämpningar kan uppfattas som korsningar mellan energianalyser (som börjar med en energibalanskalkyl) och livscykelanalyser, genom att de inkluderar vissa materialflöden (se till exempel Leif Gustavssons figur på sidan 110). Jämförande analyser är lätta att tolka under förutsättning att det finns väl definierade och jämförbara systemavgränsningar och klart definierade delar för vilka omvandlingsförluster och tillförd energi kvantifieras. Detta exemplifieras mycket bra i Leif Gustavssons figur på sidan 105, som för en lång rad delsystem redovisar insatser i form av diesel och elenergi samt förluster i form av värmeomvandling och nedbrytning av ved.

På den globala arenan har utökade energianalyser genomgått en stark utveckling. Det gäller särskilt metodiken för att beräkna utsläpp av växthusgaser vid jämförelser av bioenergisystem och fossilbaserade energisystem. Energianalys i kombination med kolflödesanalyser har därför stor genomslagskraft i Kyotoprotokollet och i utvecklingen av olika mekanismer för att minska utsläppen av växthusgaser.

Exergianalys

En exergianalys struktureras på samma sätt som en energianalys, men i en sådan analys tydliggörs förluster av energikvalitet. En definition av exergi är den energi man kan få ut ur ett system om det reversibelt förs till jämvikt med sin omgivning. Därmed är exergi ett mått på den användbara energin, och det är en kvantitet som förbrukas. Elektricitet är en form av energi med högt exergivärde, medan värme har lågt exergivärde.

Systemet som ska analyseras struktureras på samma sätt som vid en energianalys, och sedan beräknar man in- och utflödet av exergi genom att multiplicera in- och utflöden av energi med en energikvalitetsfaktor. I och med att exergin förbrukas har en exergianalys starkt fokus på resursanvändningen. Exergianalys är mer komplex än energianalys, men kan – ifall ett system ska analyseras med hänsyn till resursanvändning – tydliggöra den fysikaliska potentialen att effektivisera ett energisystem och hur stor potentialen är i de olika delarna av energisystemet.

Livscykelanalys

Livcykelanalys (LCA) är delvis en mycket bredare analysmetod än energi- och exergianalys. Avsikten är att kvantifiera miljöeffekterna av en produkt eller tjänst under hela dess livstid ”från vaggan till graven”. Vid tillämpning av LCA på tekniska system har man oftast som mål att kvantifiera systemets potentiella miljöpåverkan. Utvinning eller odling av råvaran, skörd,

distribution, användning, återanvändning och slut-hantering av restprodukter inkluderas. Självfallet kan en LCA även inkludera energiperspektiv, men oftast ligger betoningen på materialflöden. LCA lämpar sig väl om man vill jämföra alternativa produkter med konventionella produktionssystem.

Den internationella standardiseringsorganisationen ISO har utvecklat en standard för livscykelanalys (ISO 14040-serien) som anger fyra faser i en iterativ process: mål-beskrivning och omfattning, inventeringsanalys, miljö-påverkan samt resultattolkning. För en given mängd av en produkt resulterar analysen i en lista med olika (natur)resurser som förbrukas (till exempel olja) samt en lista med ”restprodukter” (till exempel koldioxid) som sprids till luft, mark och vatten. Dessa utsläppsmängder utgör sedan underlag för beräkning av effekter på miljön, såsom försurning och växthuseffekt.

Miljökonsekvensbeskrivning

Vid sidan av utökade energianalyser och livscykelanalyser finns det andra metoder (förutom emergianalys) som bör beaktas om man utvecklar ett analytiskt system för att kunna hantera miljöaspekter. Miljökonsekvens-beskrivning (MKB) är en praktisk tillämpning av en kombination av många metoder och ”syftet med en miljökonsekvensbeskrivning är att identifiera och beskriva de direkta och indirekta effekter som en plane-rad verksamhet eller åtgärd kan medföra dels på männi-skor, djur, växter, mark, vatten, luft, klimat, landskap

och kulturmiljö, dels på hushållningen med mark, vatten och den fysiska miljön i övrigt, dels på annan hushållning med material, råvaror och energi. Vidare är syftet att möjliggöra en samlad bedömning av dessa effekter på människors hälsa och miljö" (miljöbalken, 1998:808, kapitel 6 paragraf 3). Därmed är MKB en integrerad verktygslåda som innehåller många delar av tidigare energisystemanalytiska verktyg.

Emergianalys

Emergi definieras som summan av all energi av en specificerad typ som behövs för att producera en vara, tjänst eller ett bränsle. Denna kumulerade energi uttrycks i solekvivalenter eller solemergijoule (sej). Enkelt uttryckt representerar emergin hos en produkt eller tjänst den mängd av energi som skulle behövas om enbart solenergi skulle användas för att få fram produkten eller tjänsten. Därmed kan emergi uppfattas som ett minne där man har adderat all energi som behövs för att få fram energin i produkten eller tjänsten. Detta innebär att alla insatser som leder fram till produkten eller tjänsten räknas in, och att en och samma produkt kan ha olika emergivärden beroende på vilka processer som ledde till framställningen av produkten. Den kumulativa energin kan inkludera både bidrag från det mänskliga ekonomiska systemet som arbete och syntetiskt material, och insatser från naturen som sol, vatten, vind och "naturliga" material.

Emergiteorin (som Torbjörn Rydberg skriver om i sitt kapitel) har sina rötter i ett omfattande ekosystemteoretiskt arbete. En del av teorin ligger till grund för grundläggande hypoteser om energihushållningens roll för överlevnad och utveckling av biologiska system. Det innebär att emergianalys bygger på ett koncept som omfattar hela biosfären och kan inkludera en tidsskala som geologer men inte företags- och nationalekonomer är vana vid att hantera. Genom sin långa utveckling i vetenskapliga ekologiska kretsar präglas emergianalyskulturen av definitioner, språkbruk och terminologi som är rätt främmande för energiingenjörer och ekonomer. En del av förvirringen i dagens debatt kan hänföras till den mycket ämnesspecifika terminologin.

Både ekologi och ekonomi

Emergianalys ger ett intressant perspektiv genom att den omfattar både ekologiska och socioekonomiska processer. Emergianalys har framförts med argumentet att den representerar en energetisk grund för kvantifiering och värdering av alla produkter och tjänster oavsett om de kommer från naturen eller den mänskliga ekonomin. Detta görs genom användning av transformitetsbegreppet, som för varje tjänst eller produkt motsvarar mängden solenergi som behövs för att få fram 1 joule (J) av tjänsten eller produkten. Det är ett mått på emergiintensitet (sej/J) eller materialspecifik emergi (sej/g). Genom att utföra en emergianalys för ett helt ekonomiskt system kan man beräkna den mängd emergi

som understödjer pengaflödet i det ekonomiska systemet. Transformiteten för pengarna i ett ekonomiskt system för ett specifikt år uttrycks då i sej/valuta. Transformiteten (τ) för en produkt definieras som emergi (M) delad med tillgänglig energi i tjänsten eller produkten (B):
$\tau = M/B$

Även om transformitetens exakta värden kan diskuteras är konceptet användbart och påverkar oftast inte de slutgiltiga resultaten av de flesta emergianalyser nämnvärt.

Tillgänglig energi

Rätt många vanliga fysiker har problem med den grundläggande fysiken i emergianalysen. Det påstås ibland att emergianalys inte är vetenskaplig i och med att en av grundpelarna i teorin inte har kunnat bevisas. Det gäller det som har kallats för den fjärde termodynamiska lagen (”the maximum empower principle”) som säger att alla självorganiserande system strävar efter maximering av emergianvändningen. Om man är villig – som många emergianalytiker är idag – att ta principen som en hypotes som det bör forskas kring så utgör denna obevisade hypotes ingen grund för att förkasta emergianalys som vetenskaplig metodik.

En av de traditionellt svagare sidorna av emergianalysmetodiken är att det finns mycket förvirring och även några oklarheter i emergins relation till traditionella och etablerade termodynamiska begrepp. Frågor kvarstår

kring begreppet ”tillgänglig energi” (B i ekvationen ovan). Under vissa förhållanden sammanfaller ”tillgänglig energi” med begreppet exergi. Avsaknaden av en formellt definierad relation mellan emergi- och exergibegreppen gör det svårt för olika grenar av systemvetenskapen att kommunicera med och förstå varandra i grundläggande antaganden. Under senare tid har en del arbete gjorts för att åtgärda den bristen.

Stringent tolkning nödvändig

Emergianalys påstås vara ekocentrisk, i stället för antropocentrisk, och anses kunna tilldela naturen det värde den förtjänar. Här hamnar vi i ett vetenskapsfilosofiskt dilemma som kräver ett ställningstagande. Man kan förneka att något har ett värde om inte människan explicit tilldelar ett värde till objektet i frågan. För alla som någon gång har blivit hänförda av en vacker blomma och skulle vilja säga att de upplevde ett värde långt utöver energivärdet eller marknadsvärdet av denna oansenliga biomassamängd, är det kutym att hänvisa till ett ”inneboende” värde. Problemet med denna värdesättning är att den inte kan göras utifrån ett subjekt/objektförhållande, och därmed hamnar den utanför vår vetenskapliga domän.

Det är väsentligt att en emergianalys som utförs på ett naturvetenskapligt sätt åtföljs av en stringent tolkning i samma anda, annars kan den förknippas med naturromantik som gör det svårt att använda dess resultat som underlag för viktiga beslut i samhället.

Systemavgränsning

Emergianalysens systemavgränsningar i förhållande till avgränsningar som görs i andra typer av analyser medför svårigheter vid många jämförande resultattolkningar. Från ett emergianalysperspektiv påstås det att övriga metoder utelämnar en del för kalkylen väsentlig information, medan det utifrån övrig metodik kan anses att emergianalysen tar upp saker (på kostnadssidan) som inte är relevanta vilket då försvårar och komplicerar analysen.

Emergianalysen lämnar inget utrymme för ”gratistjänster” från naturen eller för exkludering av deras ”kostnader” som finns oavsett om vi använder dessa tjänster eller inte. Just i frågan om systemavgränsning är det svårt för de olika skolorna att förstå sig på varandras grundantaganden.

Olika perspektiv på samma energisystem

Med tanke på skillnaderna i grundantaganden, bakomliggande filosofi, angreppssätt och även mål är det rätt självklart att de olika systemanalytiska metoder som nämnts ger olika perspektiv på samma energisystem, och det är tydligt att man inte direkt kan jämföra deras resultat med varandra. Men det finns utrymme för att lära sig av varandras metoder, särskilt om man närmar sig varandra med öppenhet och i en anda av vetenskaplig nyfikenhet.

Det påstås ibland utifrån ett emergianalysperspektiv att man kan ge det ”korrekta” värdet av en tjänst eller produkt. Det stämmer om man menar att man kan hitta en gemensam nämnare (sej) för att jämföra och kvantifiera olika tjänster eller produkter. Vi får komma ihåg att metodikens resultat är ett försök till kvantifiering, inte en värdering. Om vi glömmer detta konfronteras vi med ett psykologiskt problem, att döma av många kritiska reaktioner på emergianalysen. Som visats här finns det många andra vetenskapligt definierade sätt att kvantifiera och ranka system, och de metoderna är per definition inte mindre rätt eller fel än emergianalys. Och som för all kvantifieringsmetodik kan man ställa sig frågan om det är praktiskt möjligt att ta fram ett empiriskt underlag med tillräcklig precision så att det är användbart för beslutsfattare, särskilt i en föränderlig värld med snabb teknikutveckling.

Accepteras kanske snart i bredare kretsar

Jag konstaterade inledningsvis att energi-, exergi- och livscykelanalyser används frekvent för att få fram beslutsunderlag, medan emergianalys än så länge är av mer akademisk karaktär. Livscykelanalys, som är en ung metod jämfört med emergianalys, har i sin utveckling påverkats av många goda idéer från både energi- och emergianalysskolan. Men så länge det finns oklarheter när det gäller emergibegreppet i relation till etablerade termodynamiska begrepp, är emergikonceptet ett

spännande forskningsområde men inte en vedertagen metodik att grunda politiska beslut på. Inom de kretsar som sysslar globalt med ”integrated assessment methods” finns en stark medvetenhet om att alla metodologiska element i sådana ”assessments” måste vara vetenskapligt vedertagna i bredare kretsar. Så fort det blir tveksamheter blir det hinder i många politiska och strategiska beslutsprocesser.

Det är inte omöjligt att forskningsframsteg som har skett nyligen angående den formella relationen mellan emergi och konventionella termodynamiska begrepp kan få ett sådant fotfäste i emergidebatten att man får med sig en mycket bredare vetenskaplig krets. Då är metodiken ”vedertagen”, enligt min uppfattning. Så är inte fallet idag, och det gör att den kommer att ifrågasättas som beslutsunderlag i viktiga beslutsprocesser.

Hur ska vi gå vidare?

Det är en stor utmaning i sig att försöka förstå varför de olika metoderna ger så olika perspektiv på ett och samma system, men det är nödvändigt om vi ska kunna väga samman dessa viktiga perspektiv för att komma till bra underbyggda beslut när det gäller val av energisystem. Det ligger alltså ett stort ansvar på alla systemanalytiska forskare att försöka förstå varandras metodik, att kritiskt granska både sin egen och varandras metodik, samt att presentera den pedagogiskt och på ett vetenskapligt underbyggt sätt.

Bioenergi kommer inte att lösa hela vårt energiproblem. Däremot har vi en fantastisk bioenergipotential i Sverige, och genom olika systemanalytiska metoder kan vi utnyttja denna mer optimalt och effektivt. Dessutom hjälper analyserna oss att förbättra vårt hänsynstagande till miljön som vi är beroende av för vårt välbefinnande och vår överlevnad.

Theo Verwijst är professor i lövträdsodling för energiändamål vid Sveriges lantbruksuniversitet. Hans forskningsområden inkluderar salix- och poppelodling på åkermark, samt metodikutveckling för uppskattning av biomassa.

Förgasning av biobränslen – från gengas till syntesgas

Förgasning av biobränslen är nygammal teknik som spås en lysande framtid. Många olika biobränslen kan användas, tekniken går att använda i både stor och liten skala, och verkningsgraden är hög för stora system. Den syntesgas som framställs är en nyckelråvara för produktion av andra generationens drivmedel. Avancerad förgasningsteknik är också en nyckelteknik för ett eventuellt vätgassamhälle med biobränsle som energiresurs, skriver Erik Rensfelt.

Erik Rensfelt, ERen Energy.

Biobränsle i form av ved för matlagning och värme tillhör mänsklighetens tidigaste utveckling. Brännved har i vårt kalla klimat alltid varit viktigt för hushållen. 1960-talet med extremt billig olja är ett undantag. Idag kan vi åter se stora vedtravar vid många hus på landsbygden och i mindre samhällen.

Speciellt i Norden har annan termisk behandling än förbränning spelat en avgörande historisk roll. Orsakerna till tidig skogsvård och återplantering i Sverige står att finna i det hot om skogsbrist som den tidiga tjär- och träkolsexporten medförde. Under 1800-talets första år exporterades 137 000 tunnor tjära. Träkol framställdes i milor och senare i slutna upphettade ugnar. Tjära och andra kemikalier kunde utvinnas ur det kondensat som bildades när gaserna kyldes.

Från 1800-talets mitt tog sågade trävaror och från 1920 pappersmassa över som ledande exportvaror från skogen. Även massaindustrin levererar kemiska biprodukter som tallolja (fettsyror) och etanol. Biprodukterna lade grunden före den svenska organiskkemiska industrin och stod för huvuddelen av denna kemikalieförsörjning i Sverige under andra världskriget. Under kriget spelade förgasning av träkol och senare även av träkubb stor roll som bensinersättning i form av gengas. Gasen tillverkades i små luftblåsta förgasare på eller efter fordonet. Dessa gengasaggregat hade på grund av stora värmeförluster och enkel konstruktion låg verkningsgrad, cirka 60 pro-

cent. Vatten och partiklar avskildes med kylning och filter innan gas och luft sögs in i dåtidens rätt enkla förgasarmotorer. Bara i Sverige kördes cirka 50 000 fordon på gengas.

Forskning om förgasning

Efter 1973 års oljekris startade viss forskning på KTH inom förgasningsområdet. 1978 års oljekris, med i absoluta tal betydligt större oljeprishöjningar än 1973, innebar både bredare forskning och utveckling och viss kommersialisering. Under 1980-talets första hälft byggdes ett par förgasare (Bioneer schaktugnar) för värmeförsörjning i Lid och Vilhelmina, samt några förgasare (CFB) för mesaugnar i massaindustrierna i Karlsborg, Värö och Norrsundet. De flesta är fortfarande i drift. Ett betydande utvecklingsprogram för drivmedel genomfördes på 1980-talet, främst för metanol ur biobränsle. Den här tidiga utvecklingen stoppades av fallande oljepriser och bristande statlig uthållighet.

Kommersialiseringen av förgasningsteknik fördröjdes trots att viss utvecklingsverksamhet pågick under 1990-talet. För alternativa drivmedel kom utvecklingen inom EU och i Sverige att mer styras av jordbrukspolitiska hänsyn än av långsiktigt konkurrenskraftiga och energieffektiva möjligheter. Först med de senaste årens genomslag för klimatfrågan och de stigande oljepriserna åren 2004–2005 har biobränsleförgasning åter kommit att stå i centrum.

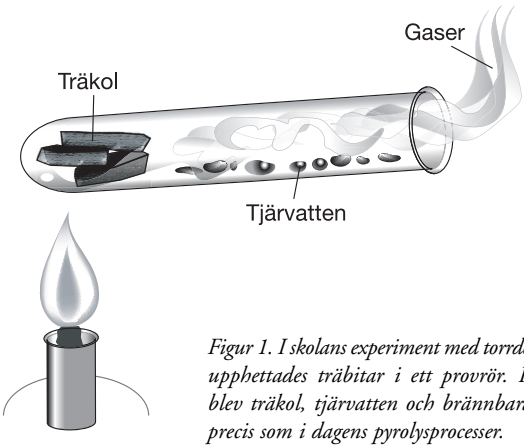
Torrdestillation har blivit pyrolys

Upphettning av bränslen i syrefri atmosfär kallades tidigare torrdestillation. Många minns nog skolans kemiexperiment där ett provrör med träbitar upphettades så att det bildades träkol, tjärvatten och brännbara gaser som fyllde provröret och kunde antändas i öppningen (figur 1). Det var grundprincipen för en torrdestillation. Numera kallas processen för pyrolys. Produkterna från pyrolysen blir efter nedkylning en fast kolrik återstod (kol/koks/char), flytande kolväten (tjära, tjärvatten) och gaser som till exempel koldioxid, koloxid, vätgas och metan. Genom att styra temperatur, tryck, partikelstorlek, upphettningshastighet och uppehållstid kan utbytet varieras så att man får 10–40 procent char, 20–80 procent gas och 5–70 procent tjära och tjärvatten (bioolja).

Om dessa produkter förbränns reagerar de vidare med luftens syre till vattenånga och koldioxid, och energin frigörs som värme som överförs direkt till omgivningen eller indirekt till vatten eller vattenånga. Vid förgasning är strävan att binda så mycket som möjligt av bränslets energi i gasen som en ren och lätthanterlig energibärare för att kunna utnyttja den dels i effektiva maskiner som motorer och gasturbiner för elproduktion, dels för att kemiskt syntetisera drivmedel som metanol, bensin eller diesel. I praktiken inleds varje förbrännings- eller förgasningsprocess med uppvärmning av bränslet i skydd av de utvecklade gaserna, det vill säga pyrolys;

detta följs sedan av vidare reaktioner av primärprodukterna.

Förgasning innebär att primärprodukterna efter pyrolysen reagerar vidare med vattenånga, koldioxid eller genom ofullständig förbränning med syre/luft till energirika gaser som väte, koloxid och metan. Både pyrolysen och träkolets reaktion med vattenånga eller koldioxid är värmekrävande, det vill säga värme måste tillföras. Det sker antingen direkt genom partiell förbränning med luft/syre eller indirekt genom varm yta eller med värmebärare. Förgasning av träkol kräver mer än 800 °C för att ske med rimlig hastighet. För att producera en ren tjärfri gas krävs mer än 1 100 °C termiskt och över 850 °C med hjälp av katalysator. Förgasare arbetar därför oftast vid temperaturer över 850 °C.



Figur 1. I skolans experiment med torrdestillation upphettades träbitar i ett provrör. Resultatet blev träkol, tjärvatten och brännbara gaser – precis som i dagens pyrolysprocesser.

Många biobränslen kan förgasas

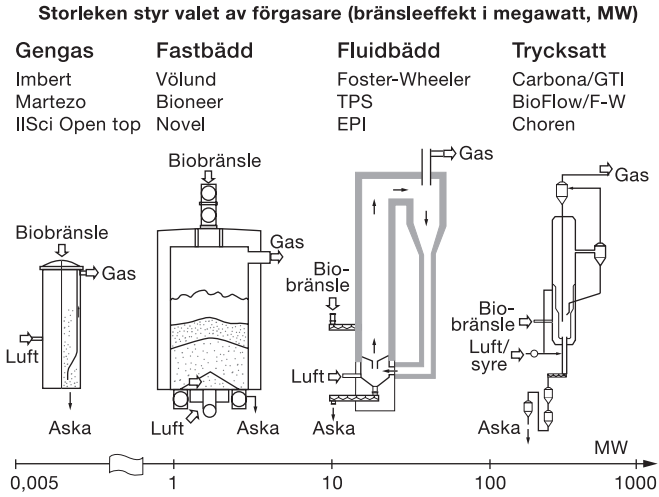
Förgasningsprocesser kan utnyttja många typer av biobränsle och andra organiska material, till exempel torv, kol, avfall och trä (inklusive bark och barr eller löv). Förgasningsprocesserna är inte speciellt känsliga för sammansättningen. Fukthalt och i viss mån askhalt och askegenskaper har stor betydelse för processen. Fukthalten är i många fall cirka 50 procent, och minskas genom torkning före förgasningen. Torkningen kan ske med lågvärdig spillvärme, och därmed ökar den totala verkningsgraden.

Om bränslet innehåller föroreningar som klor, kväve eller svavel kan detta tas bort genom reningssteg i eller efter förgasningsprocessen. Därför går det att använda avfall och andra restprodukter som råvara. Stora utvecklingsinsatser har sedan 1960-talet lagts på förgasning av avfall, men ett brett kommersiellt genombrott har ännu inte skett. Avfall är ett svårt bränsle med många svårigheter på processområdet, inklusive varierande sammansättning.

Från riktigt smått till riktigt stort

Förgasningsprocesser är ett samlingsnamn för teknik som tar sig olika former främst beroende på bränsleråvaran, storleken och tillämpningen. Tekniken sträcker sig från små gengasaggregat för motordrift i Indien, över förgasare för bränngas i massaindustrins mesaugnar, till trycksatta syntesgasprocesser för produktion av

drivmedel. Processutformningen i varje skala eller tillämpning avgörs av de tekniska kraven, i första hand de billigaste möjligheterna att uppfylla kraven (figur 2).



Figur 2. Förgasningsprocesser används i olika skala, med olika bränslen och för olika ändamål – från små gengasaggregat till trycksatt förgasning för produktion av drivmedel.

De småskaliga gengasprocesserna måste använda mycket billiga apparater med betydande inslag av manuell service. På senare tid har de främst utvecklats i Indien för olika agrobränslen ner till extremt liten skala med effekten 5 kilowatt. Gasen skapas genom partiell oxidation med luft och bränsle i medström i en fast bädd. Tekniken blir därför mycket bränslespecifik och beroen-

de av partikelstorleken. Motorer upp till några hundra kilowatt kan drivas med den här tekniken. Moderna turboladdade motorer ställer stora krav på tjär- och partikelfri gas; därför krävs det allt mer förfinade reningssteg.

För större skala, 1–10 megawatt, är schaktugnar eller fastbäddsförgasare att föredra. Luften mättad med vattenånga blåses in nertill och bränslet förs in uppifrån. Modena varianter har utvecklats i Finland, Danmark och Kanada och finns i drift även i Sverige. Tekniken som traditionellt ger höga tjärhalter har i Finland och Danmark utvecklats till flerstegsprocesser med termisk eller katalytisk tjärnedbrytning och gasrening i filter för drift av större motorer i megawattskala.

Eftersom många biobränslen är svåra att sönderdela till fint pulver och ofta har varierande partikelstorlek så har betydande insatser gjorts för att utveckla fluidbäddprocesser som kan acceptera sådant bränsle. Luft, syrgas eller vattenånga blåses in i en sandbädd och får sanden att virvla runt. Bränslet förs in i den upphettade sandbädden och förgasas snabbt. Vid höga hastigheter blåser även sanden ur förgasaren, men återförs via en cyklon och ett fallrör kontinuerligt till förgasaren i en så kallad cirkulerande fluidiserad bädd, CFB. Denna typ av förgasare byggdes i ett flertal exemplar för skogsindustrins mesaugnar i Sverige och Finland åren 1980–85 när oljepriserna var höga. De är fortfarande

i drift. CFB-teknik har fått en stor marknad som bränsleflexibla pannor för kol, torv och biobränsle i skalan 10–500 MW bränsle. I detta fall tillsätts luft i överkott för att få fullständig förbränning.

När gasen ska utnyttjas vid höga tryck, som vid syntes av kolväten, så är trycksatta processer att föredra. Processer med indirekt värmetillförsel och förgasning med ånga har utvecklats i några fall och med störst framgång av Repotec i Österrike med en demonstrationsanläggning i Gussingen för motordrift och kraftvärmeproduktion. Motortillämpningen har visat god tillgänglighet, men kostnaderna är fortfarande höga jämfört med konventionell ångteknik.

Förgasningsteknik för värme

För produktion av värme i tillämpningar som kräver ren miljö, som ugnar inom glas- och metallindustri, kan biobränsleförgasning vara ett alternativ. De enklaste luftblåsta förgasarna ger ett lågt värmevärde på gasen på grund av att luftens kväve späder ut gasen och ger den en kvävehalt på cirka 50 procent. De är därmed inte lämpliga för att tillföra värme vid temperaturer högre än 1 200 °C. För detta krävs indirekta eller syrgasblåsta förgasare som ger bättre gaskvalitet. Hittills har dessa inte kunnat konkurrera med fossila flytande bränslen.

För värmeapplikationer inom bostadssektorn och flertalet andra värmeområden utgör förbränningsteknik

ett bra alternativ, och förgasningsteknik kan därför bara spela en marginell roll.

Förgasning för kraftproduktion

För småskalig kraft- och kraftvärmeproduktion ger förgasning/motorer något bättre verkningsgrad än förbränning/panna/ångturbin. Betydande utvecklingsarbeten har skett för kraftproduktion i skalan 5 kilowatt till 5 megawatt. Gasrening har ofta varit ett problem, men idag finns ny teknik som löser problemet, som tvätt med organiskt lösningsmedel eller katalytisk tjärkrackning. Flera demonstrationsanläggningar är i drift eller tas i drift under 2007 i Finland, Danmark och Österrike. Hittills har höga kostnader jämfört med konventionell förbränning och ångteknik varit begränsande.

I större skala kan utnyttjande av gasen i kombinerad cykel IGCC (Integrated Gasification Combined Cycle) ge höga verkningsgrader till el. (En IGCC har både gasturbin och ångturbin; det betyder att det förgasade bränslet och vattenånga som bildats av värmen från förbränningen passerar varsin turbin.) Sådan teknik har utvecklats i Sverige av TPS (TPS Termiska Processer AB) och Sydkraft/Foster-Wheeler fram till demonstrationsskala. Kommersiellt har denna BIGCC-teknik (Biomass-IGCC) ännu inte kunnat hävda sig mot konventionell förbränning och ångteknik. Förbättrade gasturbiner kan komma att stärka BIGCC-teknikens konkurrenskraft med tiden.

Avgörande för lönsam kraftproduktion med biobränsle är i första hand inte valet förbränning eller förgasning utan möjligheterna till kraftvärmeproduktion, det vill säga samtidig produktion av el och värme för industri eller fjärrvärme. BIGCC kan ge upp till dubbelt så högt elutbyte på en given värmelast som konventionell ångteknik, dock till priset av något lägre total verkningsgrad och hittills högre kostnader. Om el från biobränsle kommer att betalas väsentligt högre än värme från biobränsle kan det leda till att BIGCC-tekniken kommersialiseras.

Syntesgas en nyckelråvara för drivmedel och kemikalier

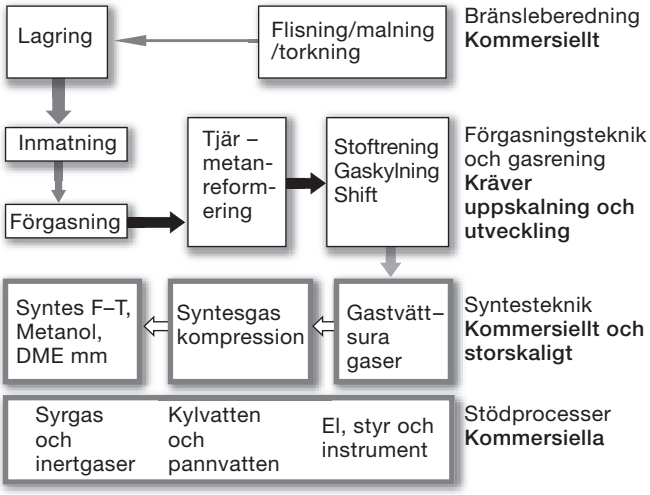
För att producera drivmedel ur biobränsle på ett effektivt sätt måste man först tillverka syntesgas (väte och kolmonoxid) utan föroreningar (figur 3). Från syntesgas öppnar sig många kommersiella möjligheter att göra kemikalier och drivmedel. Processerna för att göra syntesgas från biobränsle är alltså nyckelteknik i sammanhanget. Några få sådana tekniker är idag framme vid pilotstadiet och kräver fortfarande uppskalning samt teknisk och kommersiell demonstration.

De flesta aktuella syntesprocesser (som syntetiserar kemikalier ur syntesgas) arbetar med katalysatorer under tryck. Gasen måste vara mycket ren från föroreningar som svavel och klor för att inte förgifta katalysatorn. Flera syntesprocesser har relativt låg omsättning i en passage genom katalysatorn, och recirkulation av syntes-

gasen krävs därför ofta. Det innebär att andelen icke reagerande (inerta) gaser måste hållas mycket låg, någon enstaka procent i syntesgasen. Det kravet innebär att det efter förgasningen finns flera renings- och tvättsteg innan syntesgasen komprimeras till syntesprocessen.

Hela processen från biobränsle är alltså en lång kedja av processer som för att nå hög effektivitet och rimliga kostnader måste drivas i storskaliga anläggningar för flera hundra megawatt bränsle.

Drivmedel via förgasning av biobränsle – kemiska processer i flera steg



Figur 3. Processen från biobränslen till syntesgas och tillverkning av drivmedel är en lång kedja av kemiska processer. För att bli effektiv måste den ske i stora anläggningar på flera hundra megawatt.

Kraven på gasen och den stora skalan gör att förgasningsprocessen bör drivas vid högt tryck och med syrgas som förgasningsmedium. Den längst komna processen för biobränsle är idag en tysk process Choren som nu byggs i en demonstrationsanläggning för Fischer/Tropsch-kolväten i skalan 45 megawatt bränsle, och planeras att tas i drift redan år 2007. Fischer/Tropsch-syntes upptäcktes i Tyskland före andra världskriget och innebär att kolväten kan bildas över järn- eller koboltkatalysator vid högt tryck och medelhög temperatur. Chorentekniken omfattar ett pyrolyssteg, ett högtemperatursteg och ett reduktionssteg med char.

I Värnamo pågår arbeten för att modifiera en existerande demonstrationsanläggning för BIGCC till syntesgasproduktion i skalan 20 megawatt bränsle i en syrgasblåst trycksatt fluidbädd med katalytiskt reformeringssteg, så kallad Chrisgasteknik. De avgörande besluten väntas under 2007 med driftstart 2009.

Ett flertal projekt i Finland, Tyskland och Japan drivs idag i mindre skala för att inom några år skalas upp till demonstrationsskala. Den icke trycksatta indirekt upphettade CFB-teknik som framgångsrikt utvecklats för motordrift i skalan 8 megawatt i Gussing i Österrike kan också ge syntesgas. Den är enligt min bedömning inte lämplig för den stora skala som krävs för drivmedelsanläggningar.

Förgasning kan ta bort koldioxid ur kretsloppet

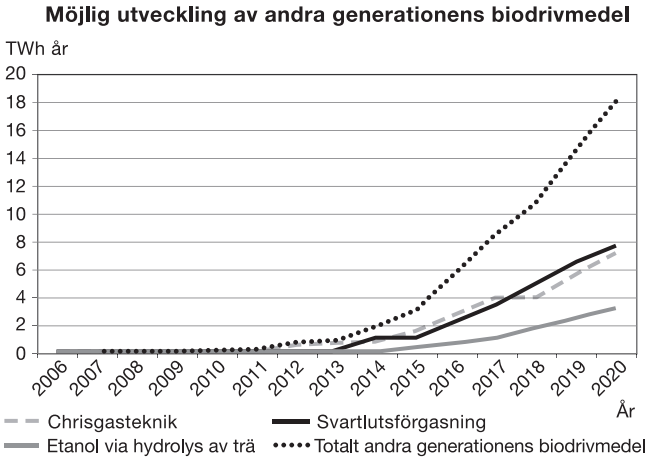
Förgasning möjliggör långtgående rening av bränslet/gasen före slutlig förbränning eller kemisk syntes. Det gör att konkurrenskraften stärks för förgasning när miljökraven skärps för el- och värmeproduktion. Det gäller både konventionella miljöstörande föroreningar och klimatstörande gaser, främst koldioxid. I förgasningsprocesser är det möjligt att tvätta bort huvuddelen av koldioxiden före förbränning, och ytterst kan enbart vätgas förbrännas efter rening och konvertering. Kolatomerna överförs först till kolmonoxid i förgasaren och skiftas sedan till koldioxid genom vattentillsats och katalysator. Om detta görs i flera steg kan all kolmonoxid elimineras och ge upphov till vätgas som då bär den energi som låg i kolmonoxiden.

Om biobränsle utnyttjas på detta sätt blir processen inte bara koldioxidneutral utan tar till och med bort klimatgaser ur kretsloppet förutsatt att koldioxiden kan deponeras i havet eller jordskorpan. Koldioxidborttagning utvecklas även för förbränningsprocesser men är ännu inte kommersiellt tillgänglig.

Snabb expansion

Bränsleflexibiliteten och möjligheten till goda verkningsgrader vid drivmedelsproduktion gör att förgasningstekniken och syntesvägen kan ge betydande framtida bidrag till drivmedelsförsörjningen. Potentialen för drivmedel via förgasning bestäms inledningsvis av teknikens utvecklingsnivå och nödvändiga tider för uppskalning

och kommersiell demonstration. Min bedömning är att förgasningstekniken kan expandera snabbt fram till 2020 (figur 4). Förgasningsteknikerna för svartlut (i massaindustrin) och biobränsle har dubbelt så hög verkningsgrad till drivmedel (50–60 procent) som hydrolys och jäsning av trä till etanol, en metod som idag är under nyutveckling. Vid en likartad utbyggnad i ton bränsle blir alltså drivmedelsproduktionen större via förgasning. På längre sikt bestäms taket av konkurrens om mark och råvaror för mat, fibrer, med mera.



Figur 4. Det troliga är att andra generationens drivmedel expanderar snabbt fram till år 2020 så att de bidrar med ungefär 18 terawattimmar det året.

För effektiv drivmedelsproduktion är avancerad förgasning en nyckelteknik för de flesta framtida möjligheter – från syntes av diesel och bensin, över framtida drivmedel som metanol och DME, till ett eventuellt vätgassamhälle med biobränsle som energiresurs. Om en kraftfull kommersialisering av förgasningsteknik för drivmedel kommer att ske så dras övriga tillämpningar med, främst kraftproduktion i kombinerad cykel. Tekniken kommer att bli billigare, effektivare och mer tillförlitlig när fler anläggningar har byggts.

Miljö- och effektivitetskraven i kombination med oljans ändliga karaktär och snabbt stigande pris leder till att förgasningsteknik för biobränsle åter blir en i Sverige och världen avgörande teknik som en länk i det uthålliga samhället.

Erik Rensfelt var med om att starta Förgasningsprojektet vid KTH på 1970-talet och var dess projektledare under fem år. Forskningsresultaten skalades upp till en pilotanläggning i Studsvik 1981–86 för syntesgas ur biobränsle. Dessa resultat förs nu vidare i demonstrationsanläggningen med Chrisgasteknik i Värnamo. Under 1992–2004 utvecklade TPS i Studsvik under Eriks ledning atmosfärisk CFB-förgasning och byggde anläggningar i Italien och England. Erik har under många år deltagit i arbetsgrupper inom EU, bland annat DG Forskning. Sedan 2005 är han fristående konsult med biobränsleinriktning.

Biogas – kan liten bli stor?

Biogasprocessen levererar tre nyttigheter: avfallsbehandling, energi och gödsel. Idag producerar vi i Sverige bara 1,3 TWh biogas varje år, varav knappt hälften i de kommunala reningsverken. Den tekniska potentialen är mellan 10 och 20 TWh, och 80 procent av råvaran kan då komma från lantbruket. För att potentialen ska kunna utnyttjas måste olika aktörer samverka bättre, skriver Åke Nordberg – ända från odlaren till drivmedelsleverantören.

Åke Nordberg, JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.

Biogastekniken erbjuder många möjligheter och är en av pusselbitarna i byggandet av ett hållbart samhälle. Det är en teknik som går att tillämpa både i liten skala (på gårdsnivå) och i större skala (centraliserade anläggningar), och användningen av biogasen är flexibel. Tekniken kan tillämpas både i den industrialiserade delen av världen och i utvecklingsländer där den framstår som ännu viktigare ur ett hållbarhetsperspektiv.

Biogas består huvudsakligen av koldioxid och den brännbara gasen metan, och bildas när organiskt material som till exempel gödsel, matrester och växter bryts ned av mikroorganismer i syrefri (anaerob) miljö. Nedbrytningen, rötningen, pågår naturligt till exempel i vå̊mmen hos kor, i sumpmarker och på avfallsupplag. I en biogasanläggning sker den här nedbrytningen under kontrollerade former i en rötkammare.

Biogasprocess med tre funktioner

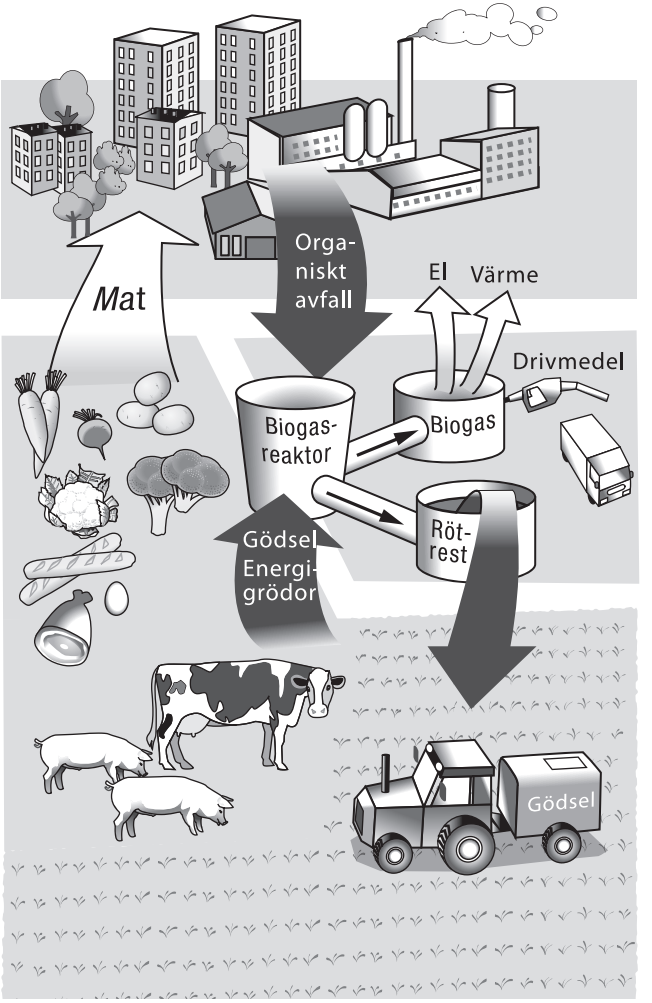
Biogasprocessen är en multifunktionell process, det vill säga den uppfyller många funktioner. För det första fungerar den som en hållbar avfallsbehandlingsteknik för organiskt avfall från industrier, hushåll och jordbruk. För det andra producerar den förnybar energi i form av biogas, som utan att renas kan användas i brännare och motorer för att producera värme och el. Om gasen renas från koldioxid och sedan komprimeras kan den också användas som drivmedel i fordon eller föras in i natur-

gasnätet. För det tredje, efter det att biogasen har utvunnits kan det utrötade materialet användas som gödsel eftersom det innehåller all den växtnäring som fanns med i det ursprungliga materialet.

Den svenska riksdagen har beslutat att minst 35 procent av matavfallet från hushåll, storkök, restauranger och butiker ska återvinnas genom biologisk behandling senast år 2010. Biogasproduktion bidrar till uppfyllandet av EU:s biodrivmedelsdirektiv som har som mål att motsvarande 5,75 procent av såld bensin och diesel ska vara biodrivmedel år 2010. Uppbyggnaden av kompetens på biogasområdet är dessutom mycket värdefull i utvecklingen av teknik och infrastruktur för ett framtida införande av vätgas som energibärare.

Gammal teknik med nya tillämpningar

Biogasprocessen har historiskt använts sedan andra hälften av 1800-talet, och i Kina och Indien finns flera miljoner små enkla familje- eller gårdsanläggningar där gasen används för till exempel matlagning. I Sverige har biogasteknik framför allt använts på reningsverk sedan 1950- och 60-talet för att stabilisera slam. Men efter energikriserna på 1970-talet ökade intresset för att framställa förnybar metangas från andra organiska material, bland annat gödsel och industriellt avloppsvatten. Under 1980-talet byggdes många anläggningar för att utvinna biogas från avfallsdeponier, och sedan mitten av 1990-talet har det byggts flera anläggningar som behandlar matavfall och fast avfall från livsmedelsindustrier.



Biogasprocessen gör flera saker på samma gång. Den behandlar organiskt avfall, den producerar förnybar energi i form av biogas, och den producerar en rötrest som kan användas som gödsel om den är tillräckligt ren, det vill säga inte innehåller för höga halter av miljöstörande ämnen.

Den biogas som idag framställs i Sverige produceras främst vid avloppsreningsverk där avloppsslammet rötas, och vid avfallsdeponier. Totalt produceras cirka 1,3 TWh biogas per år. Av detta svarar slamrötning för ungefär 0,6 TWh, och uppsamlingen av deponigas för cirka 0,4 TWh. Den återstående energin produceras vid samrötningsanläggningar eller vid industrier. Samrötningsanläggningar finns på fjorton platser i landet, oftast i anslutning till kommunal avfallshantering. I flertalet anläggningar rötas slakteriavfall och gödsel från lantbruket samt avfall från storkök, restauranger och hushåll. Antalet anläggningar på enskilda gårdar är endast ett tiotal; många av dem satsar på ekologisk produktion.

Tyskland hör till de länder i Europa som producerar mest biogas. År 2006 fanns cirka 3 500 biogasanläggningar i Tyskland, de flesta gårdsanläggningar. Här rötas gödsel och avfall från hushåll och industri, men också energigrödor som till exempel majs. Landet har länge främjat biogasproduktion, framför allt för att producera elektricitet. Huvuddelen av den biogas som framställs även på mindre gårdsanläggningar används just till elproduktion.

I Danmark finns 80 anläggningar som samrötar gödsel med organiskt avfall, varav 60 är gårdsanläggningar. Under 1980- och 90-talet kom krav på att lantbrukarna i Danmark skulle bli bättre på att utnyttja näringen i husdjursgödsel. Att bygga biogasanläggningar blev därför i första hand ett sätt att uppfylla kraven och minska övergödningen, snarare än ett sätt att utvinna bioenergi.

Råvaror för biogas

I princip kan allt organiskt material rötas, men tekniken passar bäst för material som är lätta att bryta ner. Beroende på det organiska materialets sammansättning och fukthalt varierar mängden gas man kan få från materialet. Slakteriavfall (organ och styckningsrester) innehåller mycket fett och protein och är därmed energirikt. Från 1 ton kan man få ut 270 kubikmeter biogas med ett metaninnehåll på cirka 60 procent. Flytgödsel innehåller mycket vatten och 1 ton ger endast 20 kubikmeter biogas med ett metaninnehåll på cirka 60 procent. Källsorterat hushållsavfall ger ungefär 170 kubikmeter biogas per ton (63 procent metan), och gräs- och klöverensilage ger 150 kubikmeter biogas per ton (55 procent metan).

Generellt kan man säga att det är bra att blanda olika material eftersom det skapar en stabil process. För att minska risken för spridning av sjukdomsalstrande bakterier när rötresten ska spridas på åkermark så hygieniseras avfallet innan det rötas. Det innebär att man hettar upp materialet till 70 grader under minst en timme.

Omfattningen på rötning av energigrödor är än så länge relativt liten i Sverige, men intresset är stort. I Västerås byggdes under 2006 en anläggning som samrötar vallgröda och källsorterat hushållsavfall. Odling av vallväxter för biogasproduktion kan ge flera vinster för lantbrukaren. Att låta flerårig vall ingå i växtföljden ökar

mullhalten och förbättrar markstrukturen, vilket i förlängningen ger ökade skördar. Med vall i växtföljden minskar risken för växtsjukdomar och därmed också behovet av bekämpningsmedel. Vall ger också ett förfruktsvärde. Det innebär att när vallen bryts kan skörden av den efterkommande grödan bli större. För att producera motsvarande 1 gigawattimme (1 miljon kilowattimmar) biogas krävs en odlingsareal på 50 hektar.

Så framställs biogas

Biogasprocessen är en biologisk process, och för att den ska fungera så bra som möjligt måste de mikroorganismer som bryter ned det organiska materialet till metan trivas. Bäst trivs de om temperaturen ligger på en jämn nivå, om miljön är lagom sur och helt syrefri. De viktigaste faktorerna som påverkar processen är temperatur, vattenhalt, rötmaterialets sammansättning, pH-värde och att det inte finns substanser som hämmar processen.

Mikroorganismerna kan producera biogas även vid låga temperaturer, men de blir mer aktiva om det är varmt och då går processen snabbare. De två vanligaste temperaturområdena är 30–40 grader (mesofil rötning) och 50–60 grader (termofil rötning). Termofil rötning går nästan dubbelt så snabbt som mesofil rötning. Det innebär att materialet inte behöver vara i rötkammaren lika länge och då kan också storleken på kammaren minskas. Mesofil rötning är dock stabilare. Den är mindre känslig för växlingar i temperatur och mindre

känslig för ämnen som kan störa processen. Den genomsnittliga tiden som materialet är i rötkammaren är 2–3 veckor.

Användning av biogas

Värmeproduktion är det enklaste och också vanligaste sättet att använda biogas. Gasen bränns i en gaspanna med en speciellt anpassad brännare. Generellt sett är verkningsgraden högre i gaseldade pannor än i oljeeldade. Det beror bland annat på att sotbildningen är mindre och att rökgastemperaturen kan hållas lägre.

Produktion av både värme och el från biogasen sker vanligen med diesel- eller ottomotorer som finns från ”personbilsstorlek” till ”skeppsstorlek”. Vanligast är dock att motorer i ”lastbilsstorlek” används då el och värme ska produceras i biogasanläggningar. Dessa motorer kan beroende på storlek ge 25–45 procent elektricitet och resten blir värme där merparten kan användas för uppvärmning av processen och exempelvis byggnader. Det finns också andra sätt att producera el och värme av biogas, nämligen via gasturbiner, ångturbiner eller bränsleceller.

I Sverige berättigar el producerad från biogas till elcertifikat. Den som producerar el från biobränslen får elcertifikat som när elen säljs till en leverantör ger extra betalt. Detta gäller även gårdsanläggningar eftersom man får ersättning per megawattimme producerad el.

Priset på biogasproducerad el är dock fortfarande relativt lågt i Sverige jämfört med i till exempel Tyskland.

Biogas som drivmedel

För att biogas ska kunna användas som fordonsbränsle måste gasen renas från bland annat koldioxid, svavelväte, vattenånga och partiklar. Den äldsta och vanligaste reningstekniken är vattenskrubber som tvättar ur koldioxiden med cirkulerade vatten. Efter behandlingen torkas gasen. Vid reningen höjs också metanhalten i gasen och därmed energivärdet. Den renade biogasen innehåller 96–99 procent metan; ursprungligen ligger metanhalten i gasen på cirka 60 procent. Det effektiva värmevärdet för ren metan är 9,8 kWh per kubikmeter, vilket motsvarar energiinnehållet i en liter olja. Efter reningen har biogasen en kvalitet som är likvärdig med naturgas. Bilar anpassade för gasdrift kan alltså köras på både biogas och naturgas. Biogas är ett biobränsle, medan naturgas har fossilt ursprung.

Biogas som ska användas som drivmedel komprimeras till drygt 200 bars tryck innan den distribueras till användarna. Distributionen kan ske via ledning eller med speciella fordon. Lagring och tankning av fordon kräver speciell teknik. Att biogas är gasformigt och under högt tryck innebär också att det krävs speciella tankar på fordonen.

Biogas är det enda bränsle som hamnade i högsta miljöklassen enligt statliga Alternativbränsleutredningens

betänkande (SOU 1996:184) eftersom emissionerna vid förbränning av biogas är mycket låga. Sverige ligger internationellt sett långt framme när det gäller att använda biogas till fordonsdrift. I statistiken för första halvåret 2006 såldes 10,2 miljoner kubikmeter biogas till fordon. Samma siffra för naturgas var 9,8 miljoner kubikmeter. Det innebär att drygt hälften av fordonsgasen som säljs är biogas.

Metan är i sig en kraftfull växthusgas som bedöms verka 21 gånger kraftigare än koldioxid. De största källorna till okontrollerade utsläpp är djurhållning, risodlingar och utvinning av fossila bränslen. Genom kontrollerad rötning av gödsel där producerad metan förbränns till koldioxid minskas växthuseffekten. Det är viktigt att minimera utsläppen av metan i alla led, från produktion, distribution och rening till slutlig användning av gasen. Den tekniska nivån i dagens biogassystem är hög för att undvika metanutsläpp.

Biogaspotential i Sverige

Mängden lättomsättbart organiskt avfall kommer inte att öka nämnvärt och är därför en begränsning för ökad biogasproduktion. Den tekniska biogaspotentialen i Sverige bedöms ligga mellan 10 och 20 TWh, där 80 procent kommer från lantbruket. För att en utökning av biogasproduktionen ska kunna ske måste därför råvaror från jordbrukssektorn användas, det vill säga gödsel, skörderester och speciellt odlade energigrödor.

För att kunna utnyttja potentialen i stallgödseln som uppgår till åtminstone 4 TWh måste det ske en utbyggnad av gårdsanläggningar så att långa transporter av flytgödsel kan undvikas. I den statliga utredningen ”Bioenergi från jordbruket – en växande resurs” (SOU 2007:36) föreslås ett investeringsstöd på 30 procent av investeringskostnaderna för att påskynda utvecklingen av gödselbaserad biogasproduktion. Stödet föreslås även för samrötning med andra substrat upp till 50 procent, eftersom det förbättrar metanutbytet. Om ett sådant stöd skulle komma till stånd skulle det innebära betydligt bättre ekonomiska förutsättningar för investering i biogasteknik.

Att uppgradera biogasen till fordonsgas kräver relativt stora investeringar. Lönsamheten i en sådan satsning kan bli bättre om flera lokala biogasproducenter kopplar samman sina anläggningar med ett lokalt eller regionalt gasnät och bygger gemensamma uppgraderingsanläggningar.

Effektivare samverkan

En kombination av bland annat den jordbrukspolitik som förs, målsättningarna om ökad användning av biobränslen och priset på världsmarknaden på fossila bränslen kommer att driva på teknikutvecklingen. Det förbättrar i sin tur de ekonomiska förutsättningarna för ökad produktion och möjligheterna till avsättning för biogasen. Jordbruket får därmed en viktigare

roll i samhället, dels som leverantör av råvara för biogasframställning, dels som producent av biogas där biogasen används för kraftvärmeproduktion eller framställning av fordonsdrivmedel. Dessutom är jordbruket en central aktör i framtidens arbete med att sluta kretsloppet för avfallens växtnäringsinnehåll.

Men för att detta ska kunna ske krävs det att det skapas samverkanssystem mellan jordbrukare, kraftvärmeproducenter och drivmedelsleverantörer. Hela hanteringskedjan måste effektiviseras: odling, transporter, behandling, återföring av växtnäringsämnen och produktion av kraftvärme och drivmedel.

Åke Nordberg är forsknings- och utvecklingsledare vid JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik. Han har lång erfarenhet av forskning och utveckling inom biogasteknik; han har gjort laboratorie- och pilotstudier samt utvärderat produktionsanläggningar.

Gödsling för mer råvara från skogen!

I längden går det inte att öka uttaget av bioenergi ur skogen utan att råvaruförsörjningen till skogsindustrin påverkas. Men om skogen gödslas efter behov så räcker den till både industri och energi. Med behovsanpassad gödsling producerar granbestånd i Västerbotten lika mycket som bördiga bestånd i Skåne. Dessutom läcker inte näringen ut till grundvattnet. Det här har forskare på SLU egna erfarenheter av efter tjugo års försök. Trots detta är den här typen av skogsgödsling kontroversiell och rekommenderas inte av Skogsstyrelsen.

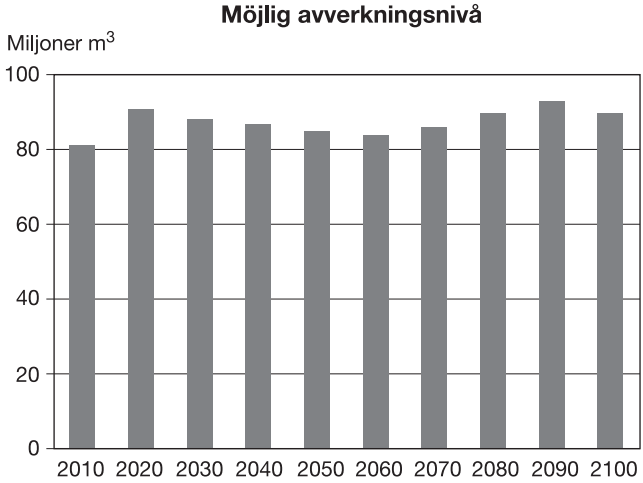
Sune Linder, Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap, SLU i Alnarp.

Johan, Bergh, Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap, SLU i Alnarp.

Tomas Lundmark, Enheten för skoglig fältforskning, SLU i Umeå.

Skogen spelar en viktig roll när det gäller att ersätta fossila bränslen och minska utsläppen av koldioxid, och användningen av skogsbränslen har stadigt ökat de senaste decennierna. Biobränslen bidrog 2005 med 112 TWh i det svenska energisystemet, och cirka 80 procent var skogsbränslen. En fortsatt ökning av biobränsleanvändningen är givetvis önskvärd, men frågan är hur långt vi kan nå utan att menligt påverka råvaruförsörjningen till skogsindustrin – som också är vår huvudsakliga producent av biobränslen.

Den årliga virkesproduktionen i Sverige är idag drygt 100 miljoner kubikmeter. På sikt kan det inte täcka råvarubehovet för både den traditionella skogsindustrin och den expanderande bioenergisektorn. Dessutom ställer fler och fler markanvändare anspråk på skogen för allt från ekoturism till biologisk mångfald. Vi behöver med andra ord producera mer på en ständigt krympande areal om alla behov ska kunna tillgodoses. Att fortsätta att bedriva skogsbruk som vi gjort under 1990-talet är därför otillräckligt. Skogliga konsekvensanalyser visar att den möjliga avverkningsnivån under hela 2000-talet kommer att ligga relativt konstant om skogsbruket bedrivs som idag (figur 1). Det betyder att om ”dagens” skogsbruk ska vara hållbart så kan inte uttaget av bioråvara öka särskilt mycket på annat sätt än att vi skördar mer av de träd som avverkas, det vill säga tillvaratar grenar, toppar, stubbar och klena stammar.



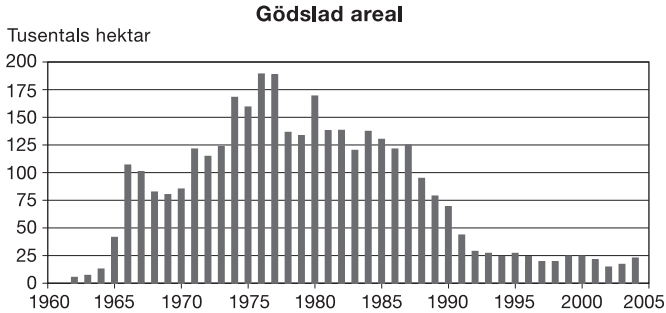
Figur 1. Skogliga konsekvensanalyser visar att den möjliga avverkningsnivån under hela 2000-talet kommer att ligga relativt konstant om skogsbruket bedrivs som idag. (Källa: SLU)

Vad är det som begränsar skogsproduktionen?

Vad är det då som begränsar skogens produktion av förnybar bioråvara? I det här sammanhanget är det viktigt att påminna om att skogens skötsel styrs av ekonomiska val inom ramar som sätts av vad som är politiskt tillåtet och biologiskt möjligt. Skogen sköts således för att optimera ekonomin och inte för att maximera skörden, och den biologiska produktionsförmågan ligger långt över den nivå som utnyttjas idag. Tillväxten i den svenska skogen har därför inte varit ”naturgiven” utan ökat med cirka 50 procent under 1900-talet tack vare skogsägarnas skötsel och skogspolitikens inriktning.

Om vi nu vill att skogen ska räcka till mer så är en lösning på problemet förstås att låta denna utveckling fortsätta, det vill säga vi beställer fortsatt ökad tillväxt i landets skogar. Fram till idag har en stor del av tillväxtökningen berott på att avverkningarna varit lägre än tillväxten, det vill säga virkesförrådet i skogen har ökat. Det har inneburit att det blivit ett allt större virkeskapital som avkastar allt mer i årstillväxt. Nu har vi nått avverkningsnivåer som ligger nära den årliga tillväxten, och därför ökar inte virkesförrådet på samma sätt som tidigare. Hur ska vi då säkerställa att tillväxten fortsätter att öka?

Det är inte det kärva klimatet eller att vi har långsamt växande trädslag som primärt sätter produktionstaket i den svenska skogen, utan den vanligaste tillväxtbegränsande faktorn är tillgången på växtnäring – främst kväve. För att öka virkesproduktionen påbörjades därför kvävegödsling av skogsmark redan under 1960-talet. Skälen var flera, men den goda ekonomin i att gödsla skogen och oron över en framtida råvarubrist övervägde. Den gödslade arealen ökade fort och under senare halvan av 1970-talet kvävegödslades mer än 150 000 hektar per år (figur 2). Den årliga gödslingsarealen var hög fram till slutet av 1980-talet men minskade sedan kraftigt, och under de senaste åren har det årligen gödslats bara drygt 20 000 hektar, huvudsakligen inom storskogsbruket. Under senare tid har dock intresset för skogsgödsling börjat öka igen.



Figur 2. Den årliga gödslingsarealen i Sverige under perioden 1960–2004. I huvudsak gödslades äldre bestånd ett antal år före slutavverkning. (Källa: Skogsstyrelsen)

I praktiken gödslas bestånd på medelgoda marker mot slutet av omloppstiden. Gödsling ger en relativt omedelbar effekt och efter en normal engångsgödsling blir effekten på tillväxten störst tre till fem år senare, för att efter ytterligare några år återgå till normal nivå. Normala gödselgivor brukar vara 150 kilo kväve per hektar, och en sådan giva beräknas på medelgoda marker leda till en total tillväxtökning på 15–20 kubikmeter per hektar.

Huvudorsaken till att gödslingen minskade så kraftigt i slutet av 1980-talet var oro för att sjöar och vattendrag skulle försuras av läckande kvävegödselmedel så att vattenorganismerna skulle påverkas negativt. Oro för ytterligare försurning av skogen på grund av luftföroreningar samt skärpta krav från Skogsstyrelsen på vilka

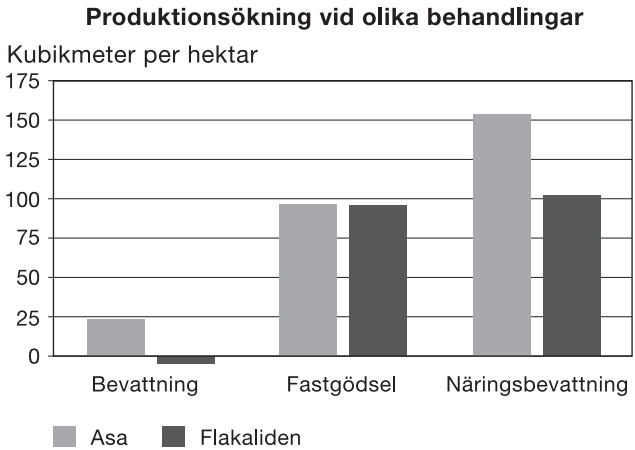
marker som får gödslas bidrog också. Regler om vilka hänsyn som ska tas vid skogsgödsling finns främst i Skogsstyrelsens allmänna råd till ledning för användning av kvävegödselmedel på skogsmark.

Det är värt att notera att samhällets restriktiva hållning till gödsling innebär att vi avstår från den tillväxtökning som näringstillförseln ger och som dessutom är en mycket lönsam åtgärd för skogsägarna. Räknar man på skillnaden mellan att gödsla som vi gjorde på 1980-talet och dagens nivåer ser man att vi avstår ungefär 2 miljoner kubikmeter skogsråvara årligen. Omräknat till energi motsvarar det drygt 4 TWh som skulle kunna ersätta fossila bränslen.

Biologisk produktionspotential

Det teoretiska produktionstaket i ett skogsbestånd sätts av den mängd solljus som kommer ner under vegetationsperioden. Den faktiska produktionen är sedan resultatet av växtslag, väder och tillgången på vatten och växtnäring. För att kunna utnyttja det infallande ljuset krävs att ljuset absorberas av gröna blad vars fotosyntes driver produktionsapparaten. Den maximala bladarean i ett skogsbestånd varierar beroende på trädslag och beståndsålder, men är oftast direkt beroende av tillgången på vatten och växtnäring. För optimering av biomassaproduktion ska man därför försöka få slutna bestånd så snart som möjligt. Detta kan åstadkommas genom plantering i tätare förband och genom förbättring av näringstillgången.

För att fastställa var det biologiska produktionstaket för gran ligger anlades under senare halvan av 1980-talet två försök, ett i Västerbotten (Flakaliden) och ett annat i Småland (Asa). Genom att se till att varken vatten- (bevattning) eller näringstillgång (gödsling) begränsar trädens tillväxt kan man fastställa hur mängden absorberad solstrålning i kombination med vädret styr tillväxten. Ett krav vid näringstillförseln är att den ska vara ”behovsanpassad” så att man undviker näringsläckage. Både i Flakaliden i norr och i Asa i söder ökade beståndens tillväxt drastiskt som svar på den ”behovsanpassade” gödslingen (figur 3). I Asa uppnåddes inte



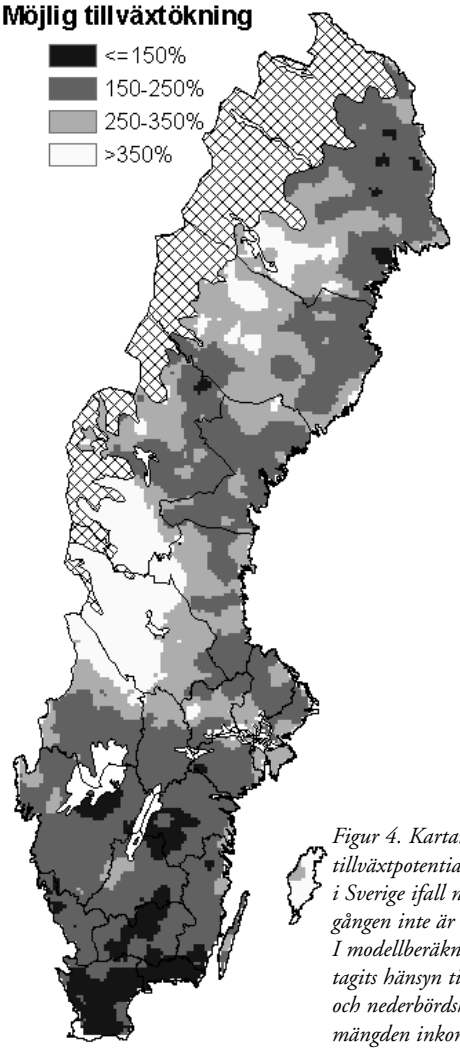
Figur 3. Ökningen i volymproduktion som effekt av bevattning, årlig gödsling med fasta gödselmedel och näringsbevattning av ung granskog i Asa (Småland) och Flakaliden (Västerbotten) under åren 1988–2000. På de obehandlade kontrollytorna var produktionen under samma period 153 (Asa) respektive 43 kubikmeter per hektar (Flakaliden).

maximal produktion vid fastgödsling eftersom försommartorka påverkade produktionsresultatet vissa år. Det är dock intressant att merproduktionen vid fastgödsling i absoluta tal (kubikmeter per hektar) var densamma på den näringsfattiga lokalen i norr som den bördiga i söder. I Asa fick vi dock ingen merproduktion av enbart kvävegödsling, utan övriga näringsämnen måste också tillföras.

Praktisk produktionspotential

Vid en praktisk tillämpning är det ur ekonomisk synvinkel fördelaktigt om man kan gödsla exempelvis vartannat eller vart tredje år under ungskogsfasen istället för varje år. Kan man få samma tillväxteffekt om man gödslar med något eller några års mellanrum? En ny försöksserie har påbörjats där vi studerar hur mycket av den potentiella produktionen som förloras ifall intervallet mellan gödslingarna ökas. De inledande resultaten visar efter fem år att i samtliga bestånd har man fått en kraftig ökning av produktionen och att gödsling vartannat år gett samma tillväxtökning som den årliga gödslingen.

Baserat på resultaten från våra försök med behovsanpassad näringsoptimering har vi gjort modellberäkningar av var och hur mycket produktionen hos gran skulle kunna ökas genom optimerad näringstillförsel i nuvarande klimat (figur 4). Beräkningarna visar att en kraftig ökning av tillväxten är möjlig i stort sett i alla landets delar, och att det i vissa regioner skulle vara möjligt att öka produktionen med mer än 300 procent.



Figur 4. Kartan visar tillväxtpotentialen för gran i Sverige ifall näringstillgången inte är begränsande. I modellberäkningarna har tagits hänsyn till temperatur- och nederbördsklimat samt mängden inkommande ljus under vegetationsperioden.

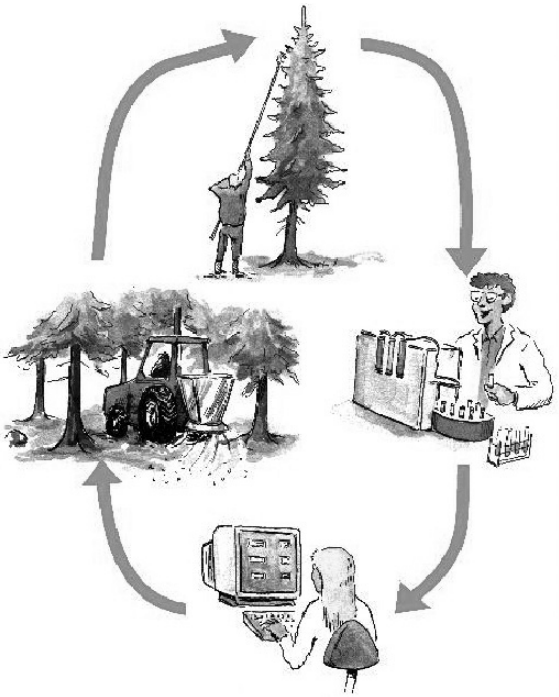
Människan väljer sin natur

Många är tveksamma till att ytterligare öka tillväxten i skogen, inte minst några av våra statliga myndigheter. Är det verkligen hållbart att ”driva på skogen” ytterligare? En hållbar utveckling ska enligt internationella överenskommelser tillfredsställa dagens behov utan att äventyra kommande generationers möjlighet att tillfredställa sina behov. Hållbar utveckling handlar alltså om människans liv och människans behov. Genom att människan genom sina handlingar påverkar naturen så är det människan och samhället som måste välja vilken ”natur” vi vill ha i framtiden. Människan har på så sätt ett ansvar för naturen.

Skogs-, miljö- och naturvårdspolitiken innebär ställningstaganden från staten och samhället att ta ansvar för de värden som samhället och människorna i vår tid lägger i naturen. Här har forskningen ett stort ansvar att tillhandahålla den kunskap som behövs för att naturens alla resurser ska kunna förvaltas på bästa sätt för oss som lever idag och för dem som ska leva i framtiden.

I klimatarbetet är gödsling en effektiv miljöåtgärd som ökar skogens tillväxt och därmed tillgången på bioenergi. Den största effekten skulle vi kunna få norr om Dalälven där vi har två tredjedelar av landets skogsareal och näringsbristen är stor. För varje procent av skogsarealen där näringsoptimering tillåts skulle man årligen kunna få en merproduktion av minst en miljon

kubikmeter stamved (2 TWh) plus 1 TWh grot. En fördel med gödsling är att ”leveranstiden” är kort jämfört med alternativ som byte av trädslag eller genetisk förädlat planteringsmaterial.



Behovsanpassad gödsling i praktiken. Skogsägaren tar prov på barren som sedan analyseras på ett laboratorium. Resultaten matas in i ett beräknings-program som skogsägaren själv kan hantera. Programmet räknar ut hur gödslet ska vara sammansatt för att täcka behoven hos träden. Sedan är det bara att blanda och gödsla, och glädjas åt att det växer så det knakar utan att läcka ut näring till grundvattnet. (Illustration Peter Roberntz)

Sune Linder är professor i skogsekologi vid Sveriges lantbruksuniversitet och forskar främst på skogsekosystemens kol- och näringsdynamik i relation till skogsskötselmetoder och klimatförändringar.

Johan Bergh är docent i skogshushållning vid Sveriges lantbruksuniversitet. Han forskar på klimatförändringarnas effekt på den nordiska skogens produktion och arbetar också med praktiska tillämpningar av behovsanpassad gödsling av skog.

Tomas Lundmark är docent i skogshushållning och föreståndare för Skogsvetenskapliga fakultetens enhet för skoglig fältforskning vid Sveriges lantbruksuniversitet.

Skogsbioteknik ger mer bioenergi från skogen

Skogsträdsförädling är ett effektivt sätt att öka tillväxten i skogen. Genom att använda biotekniska metoder i förädlingsarbetet går det att öka skogsproduktionen betydligt snabbare, skriver Sara von Arnold. Avkastningen från höggradigt förädlad och intensivt brukad skog borde på kort sikt kunna öka med 50 procent. Ju större arealer som avsätts för intensivare skogsbruk med förädlade träd, desto mer bioenergi kan vi få från skogen.

Foto: Viktor Gärdebo

Sara von Arnold, Institutionen för växtbiologi och skogsgenetik, SLU i Uppsala.

Runt om i världen ses skogarna som en av lösningarna på problemen med sinande oljekällor, högre oljepriser och pågående klimatförändring. Skogen är en förnybar källa till både industriråvaror och klimatneutral energi. Konsumtionen av ved för industriellt bruk i världen förväntas stiga till 2,3 miljarder kubikmeter fram till år 2016, vilket motsvarar en ökning på närmare 50 procent sedan år 1995. Det ökade behovet av skogsprodukter kommer att framtvinga betydande avverkningar. För att undvika att stora skogsområden kalhuggs måste skogens tillväxt dramatiskt förstärkas. Samtidigt ökar kraven när det gäller att bevara naturskogar och biologisk mångfald.

I Sverige svarar skogen för det största exportnettot av alla näringar. Skogen avverkas i snabb takt; den årliga avverkningen är 80–85 miljoner kubikmeter. Trots det ökar virkesförrådet, eftersom tillväxten ligger på 105 miljoner kubikmeter. Den skogspolitiska utredningen (SOU 2006:81) föreslår att grunderna för skogspolitiken ligger fast, nämligen att de två målen produktion och miljö är lika viktiga. Men utredningen föreslår också åtgärder som innebär att virkesproduktionen höjs med 25–50 procent på 10–60 års sikt. Bland annat ska bästa möjliga plantmaterial användas vid plantering. En effektiv skogsträdsförädling kombinerat med optimala odlingsbetingelser skulle kunna öka virkesproduktionen med 50 procent.

Intensivt och extensivt skogsbruk

Den nuvarande skogsvårdslagstiftningen föreskriver att lika stor hänsyn ska tas till både produktion och miljö på all skogsmark. Det har ifrågasatts om detta är den bästa lösningen för att kombinera en hög och uthållig produktion med bevarad biologisk mångfald. En diversifiering av skogsbruket på landskapsnivå i intensivare och extensivare skogsskötselformer ger förutsättningar för att upprätthålla hög avkastning samtidigt som skyddsvärda skogsmiljöer kan bevaras. Vid ett diversifierat markutnyttjande kommer stora områden att avsättas för extensivt skogsbruk och naturskogar, medan andra mer begränsade områden sköts intensivt. Det primära syftet med ett intensifierat skogsbruk är att producera ved.

Förutom att befintlig skogsmark kan utnyttjas för intensivare odling finns det i Sverige stora arealer avställd jordbruksmark som kan utnyttjas för skogsproduktion. På liknande sätt som det inom jordbruket har intensivodlats förädlade jordbruksgrödor kan vi nu intensivodla förädlade och snabbväxande skogsträd.

Förädling bygger på genetisk variation

Vårt lands skogar har utnyttjats i människans tjänst så länge landet varit bebott. Avverkningar i äldre tid gällde oftast specialvirke och man hade höga förväntningar på minimidimensioner. Dimensionsavverkningarna präglade skogarna allt hårdare eftersom tiden gick, och de stammar som lämnades kvar i bestånden hade låg kvalitet.

Skogsbeståndens arvsmassa genomgick en negativ selektion. Detta har ibland kallats skogens ärftliga degeneration. Till detta kom att insamlingen av frö för nyplanteringar ofta skedde genom att kott samlades in från de lägsta och grenigaste träden. Arvsmassan i våra skogar kan förbättras avsevärt om förädlade plantor används vid skogsföryngring.

I debatten om bevarande av biologisk och genetisk mångfald framställs ofta förädling och bevarande som varandras motsatser. Men en grundförutsättning för all skogsträdsförädling är att det finns en naturlig genetisk variation hos arterna som kan brukas och förvaltas. Att bevara den genetiska variationen är därför en naturlig och nödvändig del i förädlingsprogram som är tänkta att bedrivas under många generationer.

Högre avkastning med förädlat frö

Ett träds utveckling bestäms av samspelet mellan dess gener och den miljö där trädet växer. Generna kan påverkas av skogsträdsförädling och miljön av skogsskötsel. En balanserad kombination av skogsträdsförädling och skogsskötsel kan därför öka skogarnas värdetillväxt på ett uthålligt sätt.

Skogsträdsförädling är en mycket långsam process där ekonomiskt betydelsefulla egenskaper kontinuerligt förbättras. Förbättringen får man genom att plantor testas och väljs ut baserat på de egenskaper som har bestämts

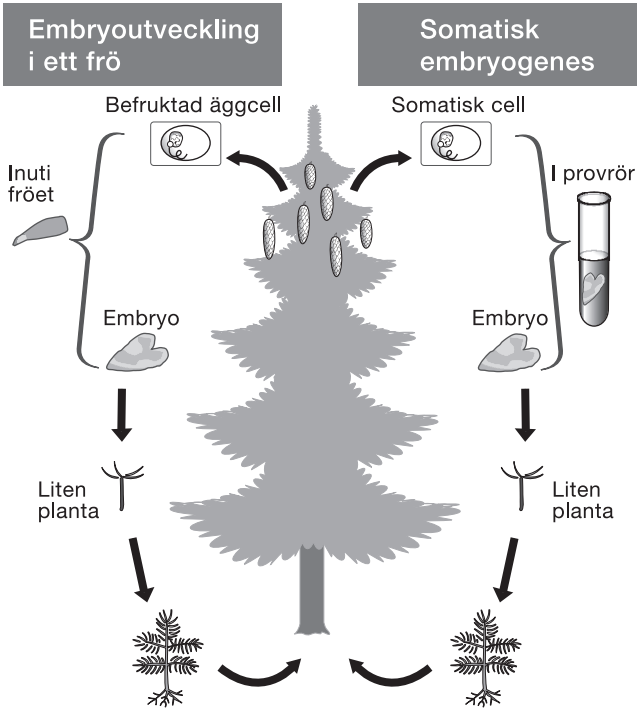
för förädlingsprogrammet. Varje förädlingscykel tar för tall och gran 20–25 år. De selekterade träden utnyttjas för vidare förädling och får då ingå i en ny förädlingscykel. De individer som har de bästa genuppsättningarna (genotyperna) utnyttjas också för massförökning. Detta sker genom att grenar från de bästa genotyperna ympas på lämpliga grundstammar och får växa upp till nya träd i en fröplantage. När träden efter 15–20 år börjar blomma samlas frön in och utnyttjas för skogsföryngring. Idag produceras merparten av det förädlade frö som används av skogsbruket i fröplantager. Plantor som framställs från befintliga fröplantager förväntas ge 10–20 procent högre avkastning än plantor från oförädlat frö. Och plantor från de fröplantager som anläggs idag förväntas ge 20–25 procent högre avkastning.

Kloning förökar förädlade plantor

Bioteknik omfattar ett stort antal metoder. När det gäller skogsträdsförädling är metoder som möjliggör storskalig vegetativ förökning (kloning) av stort intresse. En annan bioteknisk metod är att använda genetiska markörer för att tidigare kunna identifiera värdefulla träd och analysera hur gener uttrycks i dem.

Varje enskilt träd (från sexuell förökning) har en unik genuppsättning (genotyp) som aldrig funnits tidigare och som aldrig kommer att uppstå igen. Med vegetativ förökning av en viss genotyp kan man framställa ett antal genetiskt identiska plantor (kloner), plantor som alltså

har exakt samma arvsanlag. Genom traditionell vegetativ förökning via sticklingar kan ett begränsat antal genetiskt identiska individer tas fram.



Förökning av gran. Normalt utvecklas embryon inuti frön efter befruktning. När fröna gror bildas plantor, där varje planta har en unik genuppsättning (till vänster på bilden). Vid somatisk embryogenes (till höger) stimuleras somatiska celler (vanliga "kroppsceller") i provrör att genomgå ett stort antal delningar. Därefter kan de enskilda cellerna stimuleras att bilda somatiska embryon. När dessa embryon utvecklas till plantor kommer alla plantor från samma ursprungscell att vara genetiskt identiska med varandra och med den individ som den somatiska cellen ursprungligen isolerades från.

Men en ny metod som kallas somatisk embryogenes har gjort det möjligt att klona ett i princip oändligt antal plantor av en viss individ (se figur). Då fröembryon isoleras och odlas på ett medium med väl avvägd sammansätting stimuleras cellerna i fröembryot att dela sig. Antalet celler ökar snabbt. Dessa celler kan sedan stimuleras att utvecklas till nya embryon (somatiska embryon), och alla embryon har exakt samma genetiska uppsättning som det ursprungliga fröembryot.

Ett problem med traditionell vegetativ förökning är att när de bästa genotyperna har identifierats i det nuvarande förädlingsprogrammet har de hunnit bli för gamla för att förökas vegetativt med sticklingar. Även här kan somatisk embryogenes vara en lösning. De embryogena kulturerna kan lagras i flytande kväve under tiden som klonerna testas i fält. När de bästa klonerna har identifierats efter 15–20 år finns klonen bevarad och kan förökas via somatiska embryon. Genom att utnyttja somatiska embryon kan trädens avkastning förbättras och den genetiska vinsten från förädlingsprogrammen kan komma skogsbruket till del 25 år tidigare. Svenska skogsföretag testar nu hur de kan utnyttja somatiska embryon för att förbättra produktionen.

Många är rädda för klonskogsbruk och menar att det kommer att slå ut den genetiska variationen. Men våra barrträd är för sin överlevnad mycket beroende av olika miljöfaktorer, exempelvis samspelet mellan dagslängden

och temperaturen. Därför kan en specifik klon bara användas inom ett geografiskt begränsat område. Det behövs alltså många olika kloner. I det här avseendet är det stor skillnad mellan skogsträd och jordbruksväxter. Riskerna att en enskild klon slås ut eller att den biologiska mångfalden påverkas kan reduceras kraftigt genom val av skötselåtgärder och lämpliga klonblandningar. Flera oberoende analyser av klonskogsbrukets möjligheter och risker har visat att fördelarna överväger.

Snabbare förädling med genetiska markörer

Traditionellt urval i förädlingsarbetet baseras på att de bästa genotyperna identifieras i fälttester. Ett urval kan göras först när plantorna har uppnått en femtedel av rotationstiden, det vill säga efter 15–20 år för tall och gran. Det här är ett tidskrävande och dyrbart sätt att arbeta. Ett attraktivt alternativ till fältförsöken är att bara ta små prover från frön eller groddplantor och undersöka om individen bär de gener som reglerar de egenskaper som man vill förädla för.

En svårighet är att de flesta egenskaper som man förädlar för regleras av ett stort antal gener. Det gäller till exempel förädling för tillväxt och för motståndskraft mot skadegörare, torka och kyla. På senare år har det blivit alltmer intressant att använda olika typer av genetiska markörer i arvsmassan för att identifiera värdefulla egenskaper. I dag försöker skogsföretag runt om i världen att utveckla strategier för att utnyttja molekylära markörer

för att på ett tidigt stadium selektera för ekonomiskt viktiga egenskaper. Detta skulle göra det möjligt att ta tillvara den genetiska vinsten från förädlingsprogrammet mycket effektivare och snabbare.

Snabbare blomning ökar takten i förädlingen

För närvarande forskas det intensivt på att förkorta tiden innan träden blommar. Idén är att först identifiera gener som reglerar anläggningen av blommor. Genom att sedan påverka hur dessa gener uttrycks blir det möjligt att stimulera träden att blomma redan efter några år, jämfört med 15–20 år som är vanligt för tall och gran. Syftet är att förkorta förädlingscyklerna och därigenom påskynda förädlingsarbetet. Olika metoder håller på att utvecklas som ska göra det möjligt att aktivera de gener som stimulerar blomning. Våra jordbruksgrödor har framställts efter ett stort antal förädlingscykler. Det har till exempel tagit hundra cykler för att förädla fram dagens majs. När det gäller våra barrträd är vi i Sverige inne på den andra förädlingscykeln. Allt som kan göras för att förkorta förädlingscyklerna och öka den genetiska vinsten vid varje cykel kommer att öka trädens tillväxt och kvalitet.

Hittills har kapitlet handlat om klassisk förädling, och inte om det som kallas genteknik, det vill säga att modifiera uttrycket av olika gener och få fram genmodifierade organismer, GMO. I princip skulle man kunna förbättra de utvalda elitgenotyperna genom att

förändra uttrycket för gener som reglerar viktiga egenskaper. Men jag tror inte att genmodifierade barrträd som växer i över 50 år före avverkning och som dessutom är vindpollinerade kommer att utnyttjas i skogsbruket inom de närmaste decennierna. Däremot spelar transgena träd en viktig roll som verktyg i forskningen för att öka kunskapen om hur trädens egenskaper styrs och nedärvs.

Mer bioenergi med förädlade träd

Skogsträdsförädlingen genererar redan i dag träd med betydligt högre avkastning än oförädlat material. Genom att inkludera biotekniska metoder i förädlingsarbetet blir det möjligt att snabbare och effektivare framställa höggradigt förädlade barrträd. Avkastningen från höggradigt förädlad och intensivt brukad skog borde på kort sikt kunna öka med 50 procent. Ju större arealer som avsätts för intensivare skogsbruk med förädlade träd och ju effektivare utnyttjande av avverkningsrester och rötter, desto mer bioenergi kan vi få från skogen.

Förädling medför att skogsproduktionen kan ökas markant utan att andra miljömål hotas. Vi kan få hög tillväxt utan stora doser gödselmedel, och därmed minskar risken för kväveläckage. Trädens motståndskraft mot skadegörare kan ökas, och därmed minskar behovet av kemikalier.

Sara von Arnold är sedan 1988 professor i skogsträdens cellbiologi vid Sveriges lantbruksuniversitet i Uppsala. Hon leder en forskningsgrupp som studerar utvecklingsbiologi hos barrträd. En stor del av verksamheten rör embryoutveckling, där somatiska embryon används för att studera hur utvecklingen regleras.

Mera bränsle ur skogen – med vässad hantering

Grenar, toppar, stubbar och småträd – det är sortiment som kan tillvaratas ur skogen för att bli bränsle. I Sverige är det än så länge bara grenar och toppar som utnyttjas i större skala. Förhoppningen är att uttaget ska öka. Men då måste hanteringen i tillförselsystemet bli mycket effektivare och fångstområdena bli större.

Anna Furness-Lindén, Skogforsk.

Berndt Nordén, Skogforsk.

Magnus Thor, Skogforsk.

När Kommissionen mot oljeberoende presenterade sin rapport sommaren 2006 tryckte man hårt på effektivare energianvändning och förnybara bränslen. Kommissionens mål innebär bland annat en halvering av bensin och diesel i transportarbetet och en produktion av biodrivmedel som motsvarar 12–14 TWh från skogsbruk och jordbruk, det vill säga tjugo gånger mer än idag.

Skogsnäringen har sedan 1970-talet fått en allt viktigare roll i det nationella energisystemet. Trädbränslen svarar för storleksordningen 100 TWh eller nästan en femtedel av den totala energitillförseln. Som trädbränslen räknas skogsbränsle, biprodukter och lutar. Skogsbränslen bidrar med närmare en tredjedel av allt trädbränsle. Skogsbränsle är ”ej industriell rundved” (till exempel rötangripna stockar), grenar och toppar (grot) från slutavverkning, brännved till privata hushåll samt tallolja. Skogsindustrierna har i en utredning bedömt att uttaget av grot kan fördubblas, en ökning med cirka 8 TWh. Nya sortiment, som hela träd från röjning och klen gallring samt stubbar från slutavverkning, kan tillföra ytterligare sammanlagt 11 TWh. Andra bedömare har hamnat ännu högre.

Tillförseln av skogsbränsle måste bli effektivare

Dagens skogsbränslesystem orkar inte med större fångstområden med längre transporter om inte bränslepriserna höjs eller hanteringen effektiviseras så att kostnaderna minskar. I dag betalas trädbränsleflis runt 15 öre

per kilowattimme. Motsvarande oljepris är minst 50 öre per kilowattimme. Bränsleanvändare på marginalen har alltså en hög betalningsförmåga för skogsbränsle förutsatt att anläggningen tillåter ett sådant byte av bränsle. En panna som ska kunna eldas med skogsflis och andra oförädlade bränslen är dyrare och ställer högre driftkrav än en anläggning som förbränner förädlade bränslen, till exempel pellets eller olja.

Ett väsentligt ökat uttag av skogsråvara för energiändamål medför större konkurrens om råvaran. Utmaningen att dubbla uttaget av skogsbränsle kommer sannolikt att försvåras ytterligare av brist på kompetent arbetskraft inom några år. För att skogsindustri och energisektor ska kunna tillgodogöra sig de möjliga volymerna är det helt nödvändigt att kraftfullt effektivisera hela tillförselsystemet för skogsbränsle. Detta för att öka fångstområdenas storlek, för att göra uttaget effektivare där det redan görs idag, samt för att kunna ta ut nya sortiment som tidigare lämnats kvar i skogen.

Dagens grothantering

Under ett träds livscykel kan skogsbränsle teoretiskt sett tillvaratas i form av grot, stubbar och klenträd. I Finland används alla dessa skogsbränslen kommersiellt idag. I Sverige är det bara grot vi tar tillvara i större skala.

Det vanligaste grotsystemet innebär att man vid skogsavverkning anpassar avverkningsmetoden så att grenar och toppar hamnar i högar vid sidan av avverknings-

maskinens körstråk. Groten samlas upp och transporteras med en ombyggd skotare, en skogstraktor som normalt används för terrängtransport av virke till bilväg (figur 1). Skotaren lägger groten i en välta nära bilväg. Oftast täcks grotvältan med papp för att förhindra återfuktning från regn och snö. Vid bilväg sönderdelas vanligen groten med en flishugg eller kross som antingen blåser flis direkt i container eller flisbil, eller också lägger flisen i en hög på marken. Denna flis kan senare hämtas av en bil som lastas av en separatlastare, eller lasta sig själv med hjälp av en skopförsedd kran. Transport sker sedan direkt till förbrukaren eller till en terminal.

Figur 1. Grot samlas upp och transporteras med en ombyggd skotare, som är en skogstraktor som normalt används för terrängtransport av virke.

Olika sätt att rationalisera grothanteringen

De direkta kostnaderna i försörjningskedjan för grot består av fördyrad avverkning till följd av anpassning, terrängtransport av grot, sönderdelning, vidaretransport i ett eller två steg, samt lagringskostnader och terminalhantering. Det finns ett antal vägar som snabbt kan öka effektiviteten.

Anpassningen av avverkningen kan förbättras. Med en bra utförd anpassning kan utbytet per hektar och per objekt öka med upp till 50 procent. Skördarföraren ska göra få, stora och höga rishögar. Vid uppsamlingen måste ett lager grot lämnas kvar, dels eftersom det inte är lönsamt att städa ihop bottenlagret, dels för att slippa få med grus och jord. Få och stora högar innebär färre uppställningsplatser, fler fulla gripar och därmed effektivare terrängtransport. Högarna ska dessutom vara fria från föroreningar i form av rötter från underväxtträd. På det sättet blir kvaliteten på bränslet bättre. En väl utförd grotanpassning lägger grunden till en rationell hantering i hela kedjan. Det är för övrigt inte självklart att avverkningen fördyras av grotanpassning. Vissa förare som är skickliga på att planera sitt arbete menar att prestationen istället ökar.

Terrängtransporten kan utvecklas. En grotskotare kan transportera från fyra till över tio ton per lass beroende på maskinstorlek och utrustning. Utbildning och information, tillsammans med bra utrustning, gör att

kostnaden för terrängtransport kan minska. Återigen spelar det roll hur rishögarna ligger från början. Skotarföraren kan även underlätta (eller försvåra!) för nästa del i kedjan – flisaren – genom sitt sätt att bygga upp vältan. Även placeringen av vältan påverkar kostnaden för nästa led, som vanligen är sönderdelning.

Sönderdelningen kan effektiviseras. En flishugg är en förhållandevis dyr utrustning som därför bör utnyttjas så effektivt som möjligt. System med flisning direkt från små grothögar på hygget bör undvikas helt. Var sönderdelningen sker (vid avlägg, på terminal eller hos förbrukare) avgörs av en rad faktorer. Det är viktigt att med jämna mellanrum se över hela verksamheten så att ett eller två huvudsakliga system används och utnyttjas effektivt i förhållande till strukturen på leverantörer, entreprenörer och kunder.

Möjligheter till integration med rundvirkeshantering och föryngring kan utnyttjas. Kedjan från det att ett virkeskontrakt skrivs på till det att ett hygge åter är föryngrat omfattar många aktörer och operationer. Flera av dessa skulle kunna samordnas och utformas till ”paketlösningar”, lönsamma för både skogsägare och tjänsteleverantörer.

Buntningsteknik har utvecklats i Sverige under 1990-talet. Det innebär att grot komprimeras till runda, stockliknande buntar direkt på hygget. Idén med buntning är att få billigare transport i terräng och på väg, förenklad och förbättrad lagring samt billigare sönderdelning. Trots

tidigare stora utvecklingsinsatser i Sverige har buntningen ännu inte fått någon egentlig tillämpning. Orsakerna är flera, bland annat bristen på lämpliga sönderdelningsanläggningar vid terminaler och leveransplatser. Sådana anläggningar kräver stora kvantiteter och kan därför komma ifråga främst vid nyanläggning av större bränsleanvändare. Hittills har dock de anläggningar som byggts under senare år inte tagit tillvara denna utvecklingsmöjlighet. I Finland anammade man buntningstekniken när det stora kraftvärmeverket i Jakobstad anlades för några år sedan. Där finns idag 20–30 buntningsmaskiner i drift. Prestations- och kostnadsbilden stämmer väl överens med analyser vi gjorde för några år sedan.

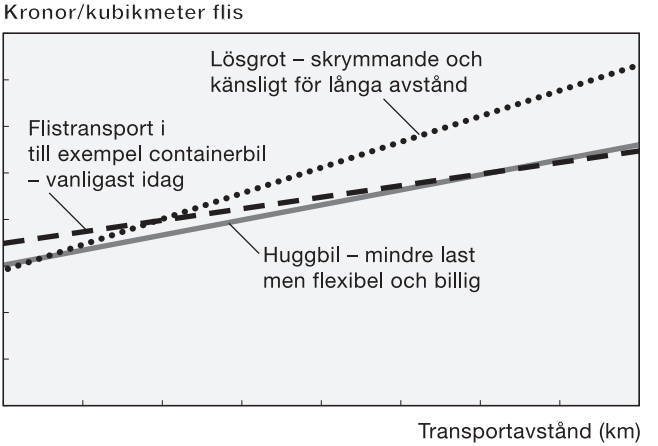
Transporter – en fråga om avstånd och lastvikt

Vidaretransport av skogsbränsle sker på olika sätt beroende på transportavstånd, volymer och avnämare. Den vanligaste metoden är att flisa från välta nära bilväg och sedan tömma flisen i container för vidaretransport. Systemet kräver relativt stora mängder på varje objekt för att motivera containerhanteringen. Containersystemet är känsligt eftersom alla berörda är beroende av att hela kedjan fungerar. För att få systemet mindre ”hett” kan flisaren tömma flisen i en stack på marken och flisen sedan hämtas av ett självlastande flisfordon försett med en kranmonterad skopa.

Även andra system kan vara intressanta under speciella förutsättningar. Transport av osönderdelad grot förekommer och är vanligast vid korta transportavstånd

där avnämaren har resurser att själv sönderdela materialet. Idag handlar det om några större värmeverk med koncentrerade fångstområden och egen krossutrustning.

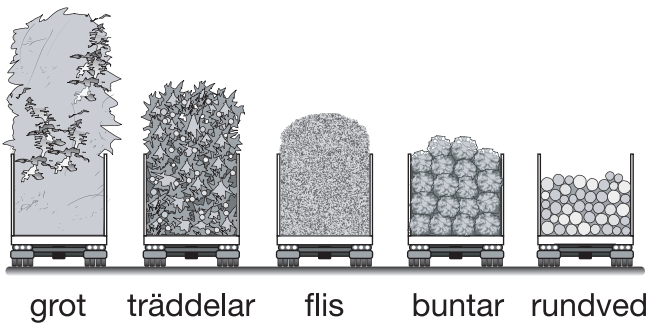
Om däremot fångstobjekten liksom mottagarna är små till storleken och många till antalet, kan en flishuggutrustad lastbil (”huggbil”) med släp vara en bra lösning. Huggbilar sönderdelar groten och sprutar den direkt i det egna fordonet för transport och är därför helt oberoende av andra aktörer. Genom att kombinera flishugg och transportfordon slipper man en maskinenhet, men bilen tappar lastkapacitet när den hela tiden måste transportera med sig huggen. Själva huggen utnyttjas



Figur 2. Principskiss på kostnaden för olika grotsystem när transportavståndet varierar.

dessutom mindre på en huggbil jämfört med en specialbyggd flishugg. Systemet är mindre lämpligt vid långa transportavstånd.

Figur 2 visar en principiell kostnadsbild för några system. Av figuren framgår att transportavståndet har stor betydelse för systemets kostnader. Vid riktigt stora grotvältor och långa transportavstånd kan det löna sig med en stor lastbilsmonterad flishugg som fyller specialbyggda flisfordon. Rundvirkesfordon (timmerbilar) klädda med plåt både i botten och på sidorna kan användas för att transportera grotbuntar. Genom att groten är komprimerad i buntarna uppnås normalt fulla lastvikter. Det gör systemet lämpligt även vid relativt långa transportavstånd och framför allt om buntarna sedan sönderdelas i en stor effektiv sönderdelare. Ett



Figur 3. Det är dyrt att transportera luft. Bilden illustrerar hur skrymmande samma mängd energi är i olika former från grot till rundved. Energiinnehållet i 1 kubikmeter flis motsvarar 0,08 kubikmeter olja, det vill säga 80 liter olja.

kraftigt ökat uttag av skogsbränsle medför också ökade transportavstånd. Det betyder att vi måste tänka oss andra transportalternativ, som tåg, båt och större lastbilar än vad som används idag.

Nya sortiment – stubbar och småträd

En betydande bränslepotential finns i stubbved, och intresset för att bryta stubbar har ökat i Sverige. Inspirerade av Finland, där stubbar redan bryts för bränsleändamål, bryts nu stubbar på försök även i Sverige. Tekniken bygger till stor del på erfarenheter från 1970- och 80-talen då cellulosaindustrin gjorde stora ansträngningar att tillgodogöra sig stubbved.

Ett typiskt system omfattar stubblyftning med en grävmaskin försedd med ett speciellt aggregat som ofta kan användas även för att markbereda för skogsplantering om så behövs. Terrängtransporten sker med skotare som bör ha ett anpassat lastutrymme. Stubbarna lagras i högar på hygget eller i välta, där de lämnas i ett antal månader för att med hjälp av sol, regn och vind torka och ”tvättas” från jord, grus och sten. Sönderdelning sker med kross. Vidaretransport kan ske med liknande fordon som för grotflis.

Stubbarna innehåller, trots tvätt, relativt mycket föroreningar i form av grus och sten. Det ställer högre krav på sönderdelningsutrustningen och den mottagande pannan. Viss sönderdelning bör ske före vidaretrans-

porten eftersom stubbarna är skrymmande. Det återstår fortfarande mycket att utveckla och utreda innan vi har en effektiv och uthållig stubbrytning. För närvarande pågår studier av såväl teknik och metod som miljöpåverkan.

Det finns en intressant energipotential också i klena träd. Idag tillvaratas mycket lite bränsle i detta led, främst på grund av dålig lönsamhet och oro för näringsförluster. Ska hela kostnaden för operationen slås ut på den uttagna bränslevolymen anses kostnaderna ofta för höga. Nuvarande utvecklingsspår innefattar bland annat flerträdshanterande fällnings- och upparbetningsaggregat, tillvaratagande av okvistade träddelar samt olika metoder för direktflisning i beståndet. Fortsatt forskning och utveckling inom bränsleförsörjning från klenskog är angelägen.

Hela systemet måste vässas

Teknik och metod räcker inte ända fram för att göra de potentiella volymerna ekonomiskt tillgängliga och alltså klara ökad tillförsel av skogsbränsle. Det är nödvändigt med effektivisering och utveckling av alla de komponenter som bygger en marknad: teknik, metod, organisation och affär. Det finns mycket av affärslogistisk effektivisering att hämta i till exempel standardiserade rutiner, smidigare kopplingar mellan skogsbränsleorganisationerna och moderföretagen samt bättre utnyttjande av befintliga inköps-, planerings-

och virkeshanteringssystem. Dessutom krävs det att även organisationsstrukturer och incitament för förändring i de operativa leden ses över.

För att verksamheten ska kunna utvecklas måste alla inblandade – bränsleanvändare, bränsleleverantörer, entreprenörer och markägare – ges möjlighet att tjäna pengar och öka sin konkurrenskraft. Det kan till viss del åstadkommas genom den prisökning som nu sker. Men förmågan att vässa försörjningssystemet kommer att vara avgörande för hur väl man i längden lyckas uppnå de ambitiösa politiska mål som satts upp.

Anna Furness-Lindén är jägmästare, civilingenjör och forskare på Skogforsk inom programmen Teknik och Effektivare skogsbränslesystem. Hon forskar bland annat om hur skogsbränslesystem och skogsbrukets affärsformer kan utvecklas.

Berndt Nordén är forskningsingenjör. Han har mycket stor erfarenhet av praktiska studier av hela tillförselsystemet för skogsbränsle från stubbe till panna.

Magnus Thor är skoglig doktor. Han leder forskningsprogrammet Teknik på Skogforsk i Uppsala. Programmet syftar bland annat till effektivare teknik och metoder för avverkning, terrängtransport och vidaretransport av skogsråvara.

Är det farligt att elda med ved?

Många vedpannor i våra småhus släpper idag ut mängder av olika miljö- och hälsofarliga ämnen. Men småskalig eldning med biobränslen behöver inte vara farlig för människor och miljö. Det gäller att ha rätt utrustning, använda den rätt och att elda med ett bra bränsle, skriver Bertil Forsberg, Lennart Gustavsson och Linda Johansson. Vedeldningskörkort och stoftfilter på skorstenarna kan också bli delar av lösningen på vedeldningens hälsoproblem.

Bertil Forsberg, Yrkes- och miljömedicin, Umeå universitet.

Lennart Gustavsson, Energiteknik, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.

Linda Johansson, Energiteknik, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.

Växthuseffekten har snabbt blivit en av de stora politiska frågorna. Att minska användningen av fossila bränslen är en huvuduppgift för framtiden. Ända till för hundra år sedan använde vi i stor utsträckning klimatneutralt bränsle i form av ved för våra grundläggande behov. Vedbrasan har ända sedan vi bodde i grottor varit central i människans liv, och stått för värme och matlagningsmöjligheter. Klimatfrågan ger vedbrasan nytt liv, fast i tekniskt mer sofistikerade former.

Brasan i grottan gav värme, men också mycket luftföroreningar. Det är troligt att partiklar och oförbrända kolväten påverkade människors hälsa och livslängd på samma sätt som idag sker i fattiga områden med enkla hyddor och hus utan rökgång. När brasan placeras i en spis eller kamin leds däremot rökgaserna via skorstenen ut ur huset och påverkar inte innemiljön. Om förbränningen i spisen eller kaminen är dålig så kan däremot omgivningsluften påverkas negativt. Klimatneutraliteten talar starkt för ökad användning av biobränslen i framtiden, men ur total miljösynpunkt måste även risken för andra utsläpp tas med i bedömningen.

Utsläppen från småskalig biobränsleeldning varierar mycket mellan olika anläggningar och beror både på den tekniska utformningen och inte minst på kunskap och beteende hos användaren. En bristande utformning av eldstaden kan i viss utsträckning kompenseras av en kunnig eldare som kan lägga tid på att se till eldningen.

Men i normalfallet där användaren har mindre erfarenhet och ganska lite tid för tillsyn är det utformningen av förbränningsutrustningen och användningssättet som påverkar utsläppen mest.

Tid, temperatur och turbulens

Villkoren för en god förbränning med låga utsläpp brukar beskrivas i form av tre T: Tid, Temperatur och Turbulens. Det innebär att förbränningsgaserna måste ha tillräcklig tid (någon sekund) vid tillräckligt hög temperatur (över cirka 1 000 °C) och med tillräckligt god turbulens (omblandning) för att brinna ut fullständigt innan de kyls ner och värmen tas tillvara. Det här ställer krav på hur eldstaden utformas och hur förbränningen styrs. Det är till exempel svårare att åstadkomma en god förbränning i en liten eldstad som eldas med stora bränslestycken som styckeved, än det är i en stor panna som eldas med flis. Om man däremot använder bränsle med mindre storlek, till exempel pellets, så är möjligheterna till styrning och en stabil och god förbränning bättre.

Ett enkelt sätt att beskriva olika förbränningsförhållanden är att utgå från den fria brasan. Det är i stort sett omöjligt att få ett ensamt vedträ att brinna ordentligt. All värme som frigörs strålar ut till omgivningen och temperaturen blir för låg för att elden ska underhållas. Om däremot två eller flera vedträn antänds tillsammans utbyts värme mellan dem så att förgasningen av

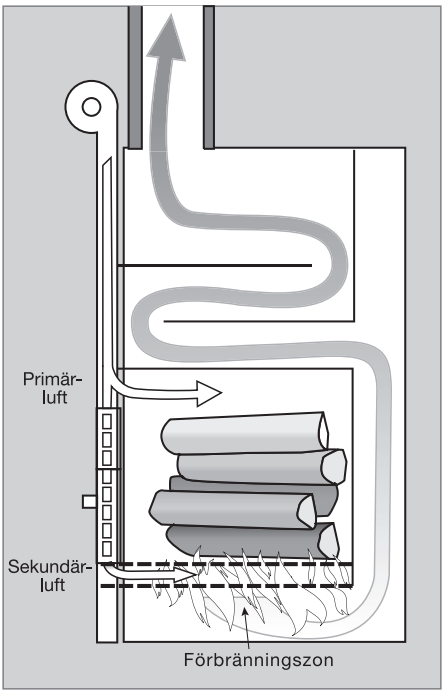
veden underhålls och förbränningen stabiliseras. När brasan placeras i en eldstad kan ännu högre temperaturer uppnås genom att utrymmet isoleras med till exempel eldfast keramik. Ett gammalt exempel på detta är kakelugnen som helt och hållet är tillverkad i keramiskt material. Genom att tillföra luft i flera steg (primär- och sekundärluft) på ett kontrollerat sätt kan man också åstadkomma god omblandning med förbränningsgaserna.

I äldre typer av pannor är eldstaden inte isolerad med keramiskt material utan väggarna kyls direkt av pannvattnet som då värms upp och sedan skickas ut i huset. Därmed blir förbränningstemperaturen för låg för fullständig förbränning, och utsläppen blir höga. Utsläppen blir ännu större om dessutom förbränningen styrs så att lufttillförseln stryps när det behövs mindre värme. Genom att elda mindre brasor, och därmed oftare, kan utsläppen minskas, men för den som är borta från huset större delen av dagen är det inget alternativ.

Omvänd förbränning

Moderna och miljögodkända vedpannor som uppfyller emissionskraven i Boverkets byggregler har oftast så kallad omvänd förbränning. Det innebär att bara det undre vedlagret brinner med flammorna nedåt in i en keramisk eldstad som garanterar hög förbränningstemperatur. Luften tillförs i minst två steg med effektiv inblandning av sekundärluften i förbränningsgaserna. För att den här tekniken ska fungera på bästa sätt ska

pannan arbeta på full effekt hela tiden. Den ansluts därför till en ackumulatortank där den värme som inte går åt för stunden lagras som uppvärmt vatten för senare användning. Det här gör också eldningen mycket bekvämare eftersom en laddning av tanken kan räcka en hel dag och ibland flera dagar under större delen av året. Ackumulatortanken är en förutsättning för låga utsläpp. Också för äldre vattenkylda pannor ger anslutning till ackumulatortank möjligheter till lägre utsläpp genom att strypeldning kan undvikas.



Vid omvänd förbränning tillförs luft både uppifrån och nerifrån. Veden brinner neråt genom eldstadens botten, och luften som kommer in nedtill får gaserna att brinna ut fullständigt.

Eldstäder som placeras inne i bostaden för direkt uppvärmning av rumsluften, till exempel kaminer, spisinsatser och kakelugnar, kallas ofta lokaleldstäder. Oftast har de delvis en keramisk infodring av förbränningsutrymmet, men stora glasytor bidrar till att sänka förbränningstemperaturen. De normalt sett ganska små vedinläggen och att man har god uppsikt över eldningen påverkar utsläppen positivt. Men möjligheterna till reglering av effekten är ofta begränsade, och om elden stryps för att det blir för varmt i rummet ökar utsläppen.

Idag installeras många vedkaminer i nybyggda hus, ofta för att det är mysigt men också för att försäkra sig om ett varmt hus ifall strömmen går och för att minska elanvändningen. Det är också möjligt, men inte lika vanligt, att välja en pelletkamin och att ha kaminen som en betydande del av uppvärmningssystemet. Användning av pellets i pelletbrännare och pelletpannor för uppvärmning av lite äldre hus har dock ökat mycket de senaste åren på grund av att många oljebrännare bytts ut. Träpellets har flera fördelar jämfört med ved, framför allt genom att eldaren inte påverkar förbränningen på samma sätt som när man lägger in vedbrasor. Själva bränslet har också lägre fukthalt och det finns ingen risk att någon eldar fuktigt bränsle. Detta är alltid en risk vid vedeldning eftersom färsk ved har en fukthalt på 50–60 procent.

Tusentals ämnen i vedrök

Ved- och pelleteldade utrustningar är idag en av tre stora källor till fina partiklar (PM 2,5, det vill säga

partiklar mindre än 2,5 mikrometer) i utomhusluften tillsammans med trafiken och partiklar från långväga transporter. Förutom partiklar emitteras också oförbrända gasformiga ämnen, varav många är hälsofarliga, till exempel bensen och kväveoxider. Röken från kaminen och vedpannan kan i själva verket innehålla tusentals ämnen, varav många finns också på annat håll och några därför var för sig har undersökts ur hälsosynpunkt. Gaser som kolmonoxid, bensen, butadien och aldehyder har samma kemiska struktur oavsett källa. Det betyder att ämnen som klassats som cancerframkallande för människor av det internationella organet IARC, bland annat butadien, bensen och formaldehyd, är cancerframkallande även om deras ursprung är en vacker vedbrasa.

Bland de polycykliska aromatiska kolvätena (PAH) i vedröken finns också de som är klassade som cancerframkallande. En del av dessa tunga kolväten är inte gaser i omgivningsluft utan finns kondenserade på sotpartiklarna. Det gör att även sotpartiklarna kan betraktas som en cancerrisk. Trots omfattande belägg för att vedrök innehåller många cancerframkallande komponenter finns ännu inga epidemiologiska studier genomförda för att belysa hur mycket risken för lungcancer ökar genom den typ av vedeldning som finns i Sverige och västvärlden. De cancerstudier som finns kommer från mer primitiva förhållanden där biomassa från jordbruket, som sockerrör, eldas för värme eller matlagning. Sådana studier har påvisat en ökning av cancerriskerna för de utsatta, men kan inte användas för att kvantifiera hur

stor effekt vår vedeldning kan ha eftersom det rör sig om andra föroreningar och halter.

Bland alla ämnen i vedrök kan man förutom hälsofarliga komponenter även hitta metoxifenoler. Dessa är antioxidanter och motverkar oxidation av andra ämnen. Metoxifenoler bildas vid nedbrytning av vedens lignin. Det har förekommit tidningsrubriker som hävdat att vedrök är nyttig eftersom den innehåller metoxifenoler. Men det finns ingen forskning som tyder på att vedrök skulle vara hälsosam, snarare tvärtom.

Hjärtsjukdom vanligast

För den enskilda individen, oavsett om man har en kamin inomhus eller utsätts för vedrök via luften där man bor, är risken mycket liten att få den ganska ovanliga sjukdomen lungcancer på grund av föroreningarna. Vedrökens partiklar liknar ur skadlighetssynpunkt troligen andra partiklar som har sitt ursprung i förbränning. Därför är det sannolikheten att drabbas av hjärtsjukdom som ökar mest. Att partikelhalten på platsen där man bor påverkar risken för förtida död, och särskilt antalet dödsfall i hjärtkärlsjukdom, har bland annat visats i några stora amerikanska studier. Om eldning höjer partikelhalten i luften där man bor med i medeltal 5 mikrogram per kubikmeter, skulle enligt dessa studier dödligheten förväntas bli förhöjd mellan 3 och 8 procent (främst genom dödsfall i hjärt- och lungsjukdom) och det är ganska mycket. Det skulle också betyda att dagens

småskaliga vedeldning orsakar några hundratal dödsfall per år i Sverige. I projektet Biobränsle–Hälsa–Miljö konstaterades att vedeldning med gammal teknik i Norrlands inland kan höja årsmedelhalten inom bostadskvarter med mer än 5 mikrogram per kubikmeter.

En helt annan dimension har vedrökens effekter på dödligheten i de fattiga länder där man ofta eldar inomhus utan ens ett rökrör som leder ut röken. Världshälsoorganisationen WHO har uppskattat att 1,6 miljoner dödsfall per år och nästan 2,6 procent av hela världens förlorade levnadsår beror på sådan inomhusförorening.

Problem för människor med astma

Om man sköter sin eldning illa så att tydlig lukt och sot drabbar omgivningen, är det ändå inte risken för cancer eller hjärtinfarkt som grannarna kan komma att påtala. När miljöinspektören blir uppringd om vedröksproblem är det ofta astmatiker som besväras av de irriterande utsläppen. Vedrökens sotpartiklar och irriterande aldehyder och fenoler förvärrar astmatikernas luftvägsproblem. Man kan nog säga att den hälsoeffekt av vedrök som är mest belagd i epidemiologiska studier från västvärlden är effekter på symtom, lungfunktion och vårdbehov hos astmatiker och andra luftvägskänsliga. Många studier har visat hur besvären tilltar och antalet vårdbesök för andningsproblem ökar med stigande partikelhalter. Effekterna syns redan samma dygn som halterna stiger, och det verkar inte behöva bli mycket

höga halter för att risken ska börja öka. De akuta sambanden har setts även i svenska studier. Däremot finns det ännu lite belägg för att astmasjukdom uppkommer på grund av vedrök eller andra föroreningar, men man kan inte avfärda möjligheten.

Frågan är då vad en brasa mer eller mindre betyder. Ja, en enda dålig eldare kan ställa till åtminstone kortvariga luftvägsproblem för sina grannar, särskilt om de har astma. En anläggning som ger låga utsläpp borde däremot inte kunna ha den effekten. Men många små anläggningar tillsammans kan påverka luftkvaliteten en hel del, även om de mestadels fungerar bra. Världshälsoorganisationen har nyligen utfärdat en ny rekommendation för fina partiklar (PM 2,5), och menar att årsmedelvärden över 10 mikrogram per kubikmeter inte bör accepteras ur hälsosynpunkt. Om Sverige skulle följa den rekommendationen och införa en miljökvalitetsnorm med samma värde, kommer det att bli väldigt svårt ur hälsosynpunkt att acceptera nuvarande utsläpp från småskalig eldning, och det kommer naturligtvis inte att gå att öka utsläppen. De flesta av de biobränslepannor som finns idag i småhus uppfyller inte Boverkets emissionskrav för nyinstallation av vedpanna, och flertalet anläggningar saknar ackumulatortank. Därför finns det stor potential att minska utsläppen från pannorna.

Vedeldningskörkort på önskelistan

Det finns exempel på vedeldning som är så dålig att utsläppen medför metanutsläpp och en klimatpåverkande effekt, precis som eldning av olja (fast vid oljeeldning är det koldioxid som ger klimatpåverkan). Men att klumpa ihop all slags biobränsleeldning som miljöförstörande verksamhet vore orättvist eftersom pelleteldning och de allra modernaste vedpannorna ger låga utsläpp. Intressant är också att många av de äldre vedpannorna faktiskt sköts på ett bra sätt och också medför låga utsläpp. Utsläppsbilden kompliceras ytterligare av att vissa nyare pannor (som uppfyller emissionskrav för nyinstallation enligt Boverkets byggregler) missköts och ger upphov till stora utsläpp.

Slutsatsen blir att småskalig bioenergieldning av klimatskäl har en given plats i energisystemet, men att både den utrustning som används och inte minst eldarens kunskaper och beteende avgör den totala miljöpåverkan. För att försäkra oss om en uthållig småskalig biobränsleförbränning i framtiden behövs mer forskning kring vedrökens hälsoeffekter och samtidigt en utveckling av eldningstekniken. Ytterligare en insats som skulle kunna minska utsläpp genom dåliga eldningsvanor vore att kräva vedeldningskörkort. En annan möjlighet är att installera stoftfilter på skorstenarna. Det finns idag ett antal prototyper som fungerar, men ingen kommersiellt tillgänglig produkt.

Bertil Forsberg är docent och enhetschef vid Yrkes- och miljömedicin, Umeå universitet. Han forskar huvudsakligen om hälsokonsekvenser av luftföroreningar och klimatförändring.

Lennart Gustavsson är teknologie doktor i Energiomvandling och är anställd på SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut. Han arbetar bland annat med småskalig föbränning av biobränslen och emissioner samt utveckling av mätmetodik.

Linda Johansson är teknologie licentiat och knuten som doktorand till Chalmers tekniska högskola, institutionen för Energi och miljö. Hon arbetar med emissioner av partiklar vid biobränsleförbränning och projekt kring förbränning och miljö på SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.

Salixodling ger mervärden – förutom energi

Salix på åkermark kan vara positivt för landskapsbilden, öka den biologiska mångfalden, rena avloppsvatten och mark, och minska koldioxidutsläppen. Det skriver Pär Aronsson, Martin Weih och Inger Åhman. Idag står flis från salixodling för mindre än en tiondels procent av Sveriges energiförsörjning. Men odlingen förväntas öka när maskinerna blir bättre och priset på biobränslen stiger. Idag exporterar vi från Sverige växtmaterial, odlingsteknik och maskiner till länder som har större brist på biobränslen än vad vi har.

Pär Aronsson, Institutionen för växtproduktionsekologi, SLU i Uppsala.

Martin Weih, Institutionen för växtproduktionsekologi, SLU i Uppsala.

Inger Åhman. Fakulteten för landskapsplanering, trädgårds- och jordbruksvetenskap, SLU i Alnarp.

Egentligen var det inte bioenergi man tänkte sig att producera när man under sent 1960-tal påbörjade försök med snabbväxande lövträd i Sverige. Istället var det meningen att man skulle säkra leveransen av massaved till skogsindustrin. Den svenska riksskogstaxeringen hade nämligen förvarnat om virkesbrist under 1990-talet. Ganska tidigt insåg man att olika arter av Salix (pil och vide) var de mest lovande i sammanhanget. Men efter några år kom det signaler om att virkessvackan snarare skulle bli ett virkesberg. Året var 1973, råoljan kostade 2 dollar per fat – och där hade denna historia kunnat sluta.

Varför odlar vi buskar på åkern?

Men vid den första oljekrisen 1973 skiftade pionjärerna inom salixforskningen snabbt fokus till bioenergi. Energiskog blev namnet på den nya grödan. På den här tiden var det otänkbart att odla energiskog på jordbruksmark. Istället var man hänvisad till torvmark och möjligtvis nedlagd jordbruksmark, något som inte gav de bästa förutsättningarna för odlingen. Forskarna envisades emellertid med att anlägga försök på jordbruksmark och att betrakta energiskogen som vilken jordbruksgröda som helst. I takt med jordbrukets omställning under 1980-talet blev mer högproduktiv jordbruksmark tillgänglig för energiskogsodling, och nu hade även ett ambitiöst växtförädlingsprogram inletts. Man hade också börjat lära sig att anlägga, sköta och skörda odlingarna på ett bättre sätt.

Namnet energiskog ersattes med salix. Generösa planteringsbidrag och omställningsstöd medförde en snabb ökning av arealen till 15 000 hektar under den första halvan av 1990-talet. Sedan ändrades åter jordbrukspolitiken när Sverige gick med i EU, priset på träflis sjönk och det rådde stor osäkerhet om framtiden. Samtidigt började odlarna och alla andra i branschen inse att tillväxten i salixodlingarna inte var så hög som förutspåtts. De äldre sorter som användes på den tiden drabbades av frostskador och svampangrepp, och frånvaron av gödsling i uppvuxna odlingar omöjliggjorde hög tillväxt på de flesta marker.

Vad har vi lärt oss om växten och odlingssystemet under resans gång och vad vet vi om vilka mervärden som genereras i salixodlingar? Och vad händer i framtiden?

Hur odlar vi salix idag?

Salixodlingen är idag helt mekaniserad. Speciella planteringsmaskiner sätter sticklingar (det vill säga ettåriga stambitar, 15–20 cm långa) i dubbelrader på våren. Dubbelraderna är anpassade för de speciella skördemaskiner som används och som skördar en dubbelrad i taget och direktflisar veden. Skörd sker med 3 till 5 års intervall under vintern, och vanligtvis transporteras flisen direkt till ett värmeverk där den eldas som den är, det vill säga utan att förtorkas.

Efter skörd skjuter nya skott från stubbarna och man räknar med att den ekonomiska livslängden för en

salixodling är 20–25 år. I de bästa odlingarna är tillväxten över 10 ton torrsubstans per hektar och år, men i en typisk odling som är planterad med äldre sorter och som inte gödslats är tillväxten ofta under 5 ton torrsubstans per hektar och år. Idag odlas salix på cirka 15 000 hektar jordbruksmark i Sverige, och den skördade flisen bidrar årligen med 200–300 gigawattimmar (GWh) till det svenska energisystemet, vilket är mindre än en tiondels procent.

Hybrideffekter vid förädling

Under slutet av 1980-talet startade två växtförädlingsprogram, ett vetenskapligt orienterat vid Sveriges lantbruksuniversitet och ett kommersiellt vid växtförädlingsföretaget Svalöf AB. Ursprungsmaterialet till förädlingen kom från insamlingar i Sverige (bland annat från en tävling i tidningen Land!), övriga Europa och Ryssland.

Hos släktet Salix finns stor variation när det gäller växtsätt, alltifrån små krypande buskar till höga träd som till exempel knäckepil. Det har visat sig att de buskformade är bäst lämpade för upprepad nerklippning. Korgvide *(Salix viminalis)* och sammetsvide *(Salix dasyclados)* är de två arter som utgör basen i förädlingsmaterialet. Släktet *Salix* är speciellt eftersom det ofta går lätt att göra hybrider (korsningar) mellan arter. I vissa kombinationer får man då hybrideffekter, där avkomman växer bättre än båda föräldrarna. Ett sådant exempel är sorten Tora som är en korsning mellan europeiskt korgvide *(S. viminalis)*

och sibiriskt korgvide *(S. schwerinii)*. Tora avkastar i genomsnitt 60 procent mer än den sort som var vanlig i odlingarna när förädlingen startade. Dessutom är den inte mottaglig för den allvarligaste skadegöraren i odlingarna, nämligen bladrost. Däremot är det inte givet att frosttoleransen blir bättre i korsningar med ryskt växtmaterial. För att testa frosttålighet odlas lovande material i ett ”frosthål” i Salatrakten, där nattfroster är vanliga även under växtsäsongen. Med hjälp av sådana tester finns nu även frosttåliga sorter på marknaden.

Salixforskning på export

En annan egenskap som förbättrats genom förädling är växtsättet. För att underlätta skörden ska stammarna växa upprätt, inte vara bågböjda nertill. Och för att underlätta sticklingshanteringen bör ettårsskotten vara raka och de ska inte vara förgrenade. Småkvistar på invintrade ettårsskott beror vanligen på att toppen skadats av en insekt eller ett betande däggdjur. Förädlingsurval mot toppskador har gjort att de flesta av de nya sorterna har mindre insektsskador generellt än de gamla sorterna.

Sammantaget har förädlingen gjort mycket stora framsteg på kort tid, till stor del tack vare den stora egenskapsvariation som funnits i ursprungsmaterialet, men också för att inte bara ökad tillväxt utan även ökad motståndskraft mot skadegörare har prioriterats vid urvalen. Förädlingen har också underlättats av att buskarna är antingen honor eller hanar, så korsningarna har varit lätta att göra.

Numera inriktar sig förädlingen inte bara på användning inom Norden utan även på sorter för odling i Storbritannien och kontinentala Europa. I många av dessa länder är bristen på biobränsle mycket större än i Sverige. Genom den framsynta satsningen på salix kan Sverige idag exportera växtmaterial, odlingsteknik och maskiner. Kanske blir det rentav så att den svenska salixforskningen får större genomslag utomlands än i Sverige!

Mer biologisk mångfald

Salixodlingar har ofta dåligt anseende bland miljöorganisationer, bland annat för att de anses hota den biologiska mångfalden. Problem förknippade med salixodlingar beror dock i många fall på olämplig lokalisering, utformning (inklusive sortval) eller skötsel av bestånden. Exempelvis minskar den biologiska mångfalden om stora odlingar anläggs på tidigare beskogad mark, men det sker knappast i Sverige. Om salixodlingar däremot ersätter odlingar av spannmål kan den biologiska mångfalden öka, särskilt om odlingarna är små.

Även närheten till inhemsk lövskog har stor betydelse; fåglar, insekter och även växter har lättare att sprida sig in i salixodlingar om naturlig skog finns i närheten. Lövskogen kan också fungera som ”räddningsplanka” för många djurarter när salixodlingarna skördas vart tredje till vart femte år. Naturligtvis bör salixodlingar inte anläggas i skyddsvärda naturmiljöer som till exempel den kvarvarande åkermarken i en alltmer sluten

skogsbygd, ängs- och betesmarker och andra landskapsområden med värdefull natur.

Salixodlingar kan alltså medföra ökad biologisk mångfald i ett landskapsperspektiv. Genom en rad åtgärder beträffande lokalisering, utformning och skötsel av bestånden kan man ytterligare öka salixodlingars värden för den biologiska mångfalden genom att:

- plantera nära inhemska lövskogsområden eller anlägga ”öar” med inhemska lövträd i anslutning till salixodlingen
- skörda delar av odlingen olika år
- plantera olika arter eller sorter (gärna av olika kön) i samma bestånd, men i olika sektioner (till exempel parallella ”remsor”) med var sin art/sort
- ogräsbekämpa bara i samband med plantering av nya odlingar
- anpassa gödsling till beståndens tillväxt
- anlägga odlingsfria kantzoner

En del av dessa råd medför emellertid försämrad ekonomi för odlaren. De allra flesta salixodlingar anläggs och sköts av rent ekonomiska skäl, och lokalisering, utformning och skötsel måste planeras därefter. Att hitta smarta avvägningar i denna målkonflikt är en utmaning !

Högre landskapsvärde i syd

En salixodling påverkar landskapsbilden i stor utsträckning, och det befaras ibland att dessa odlingar

förstör vyerna i det traditionella jordbrukslandskapet. Den här risken kan förebyggas om planeringen av salixodlingar föregås av en landskapsanalys. Generellt sett beror en salixodlings landskapspåverkan i stor utsträckning på det befintliga landskapets utseende. Om landskapsbilden störs eller ej beror också på vad man tycker om salix generellt. Om man utgår från att salixodlingar är främmande och fula element i det svenska odlingslandskapet blir slutsatsen att odlingarna måste ”gömmas” så att de inte förändrar landskapets huvudkaraktär.

Istället kan man fokusera på den potential som salixodlingar faktiskt kan ha för att *höja* landskapsvärdet. Exempelvis undersöktes landskapspåverkan av salixodlingar i södra Sverige och slutsatsen blev att dessa kan höja det landskapsestetiska värdet genom att tillföra variation och struktur i det ofta ensartade sydsvenska jordbrukslandskapet. Men om odlingarna blir för stora kan landskapsbilden påverkas negativt. Synintrycket av stora block av salixodlingar kan dock förbättras om en kantzon av inhemska buskar och träd anläggs. Slutsatsen är således att salixodlingar kan höja inte bara den biologiska mångfalden, utan även det estetiska landskapsvärdet genom att tillföra variation och struktur i vissa jordbrukslandskap.

Salix är bra för klimatet

En salixodling tar upp och binder mycket koldioxid när den växer, men lika mycket koldioxid frigörs när den

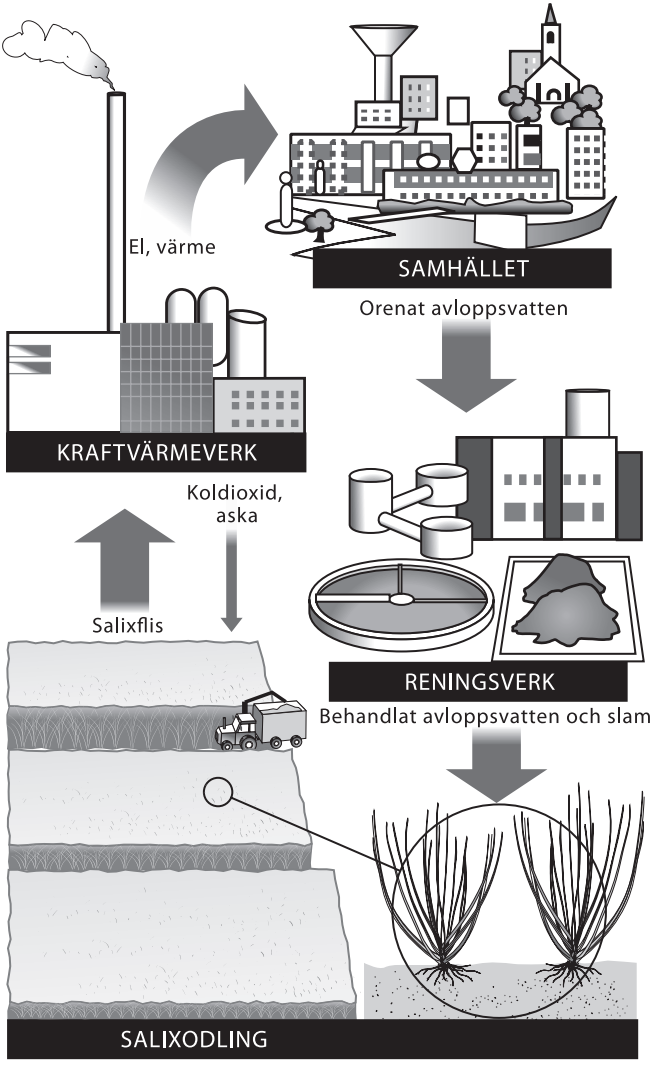
skördade flisen förbränns. En del koldioxid binds dock upp i stubbar och grovrötter, och möjligen även i marken i form av långsamt multnande blad och finrötter.

Den stora positiva effekten av salixodlingar ligger framför allt i att salixflis ersätter fossila bränslen som kol, olja och naturgas som alla ger nettotillskott av koldioxid till atmosfären. Ju högre tillväxt i odlingarna, desto mer fossilt bränsle kan ersättas. Stora och intensivt skötta salixodlingar är således bra för klimatet.

Salix för vatten- och markrening

Salixodlingar har visat sig förvånansvärt effektiva på att ta upp växtnäring. Jämfört med andra jordbruksgrödor är kväveläckaget från salix mycket lågt. Ökade salixarealer skulle därför kunna minska övergödningen av havet.

Sedan 1980-talet har salixodlingar anlagts på ett tiotal platser för att rena avloppsvatten, eller i vissa fall för att avdunsta vatten. Intresset för sådana system ökade påtagligt under 1990-talet när många svenska reningsverk tvingades öka graden av kväverening. På flera platser valde man då att kontraktera lantbrukare att odla salix i närheten av reningsverken (figur 1). Kommunen byggde bevattningssystem och i vissa fall dammar för att kunna lagra avloppsvatten under vinterhalvåret. Investeringskostnaderna för sådana system var betydligt lägre än för konventionell kväverening, men hur det är med systemets driftkostnader och livslängd är inte klarlagt ännu.


El, värme
SAMHÄLLET
Orenat avloppsvatten
KRAFTVÄRMEVERK
Koldioxid,
aska
Salixflis
RENINGSVERK
Behandlat avloppsvatten och slam
SALIXODLING

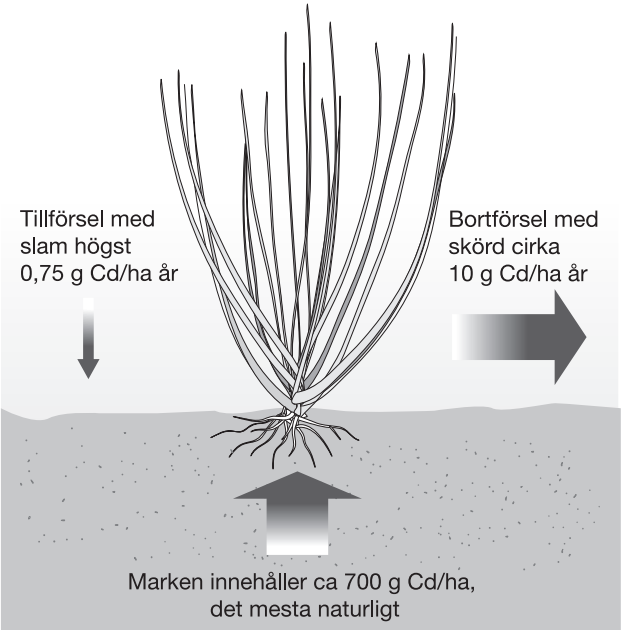
Figur 1. Bilden visar ett multifunktionellt system (som det ser ut till exempel i Enköping) där salix odlas med hjälp av avloppsvatten och slam, för att sedan användas i ett kraftvärmeverk för produktion av el och värme. Samhällets avlopps-vatten renas i salixodlingen från bland annat kväve. Marken renas samtidigt från kadmium och en del andra tungmetaller.

Det har visat sig att kväve renas mycket effektivt i avloppsbevattnade salixodlingar, dels genom växtupptag, dels genom mikrobiell omvandling av kväve till kvävgas, så kallad denitrifikation. Lantbrukaren tjänar pengar som kretsloppsentreprenör, men även på att salixodlingen växer mycket bra när den både vattnas och gödslas. Det finns nackdelar också med systemet. Det krävs stora arealer åkermark i närheten av samhällenas reningsverk, grundvattentäkter måste skyddas från bakterier och andra mikroorganismer i avloppsvattnet, och vid all denitrifikation avgår en del lustgas som är en mycket kraftfull växthusgas. Dessa aspekter måste hanteras när behandlingssystem planeras.

Minskar kadmiumhalten i marken

Den svenska jordbruksmarken tillfördes stora mängder kadmium under 1900-talet. Det skedde främst via fosforgödselmedel och luftföroreningar, men även via spridning av avloppsslam från reningsverken under 1970- och 80-talen. Denna tillförsel av kadmium har i sin tur resulterat i förhöjda kadmiumhalter i maten vi äter, och tillskottet via maten är tillräckligt stort för att orsaka hälsoproblem i form av nedsatt njurfunktion och urkalkning av skelett.

Vad har nu detta med salix att göra? Jo, de flesta sorter av salix tar upp betydande mängder kadmium från marken, och teoretiskt sett skulle man kunna återställa en åkerjords kadmiumhalt till den naturliga genom att odla salix under 25 år. Det allra mesta kadmiumet hamnar sedan i rökgaserna i värmeverket och fastnar i skorstensfiltret tillsammans med flygaskan. En hög andel salixflis i bränslemixen kan därför antas medföra förhöjda kadmiumhalter i askan, vilket försvårar ask-



Figur 2. Salix tar upp betydligt mer kadmium (Cd) än vad som tillförs med slam, och renar därmed marken på sikt. Kadmium är enkelt att hantera i salixodling; det är betydligt svårare med de andra tungmetallerna.

återföring till jordbruksmarken. Det finns teknik att rena askor från kadmium och andra tungmetaller, men eftersom ingen vill betala för den miljönytta detta skulle innebära får vi leva med ett ”haltande” kretslopp och kadmiumhaltiga livsmedel.

Salixodlingen förväntas öka

Fortsatt växtförädling, delvis med hjälp av den senaste förädlingstekniken, kommer att resultera i nya sorter som växer snabbare och är mer motståndskraftiga mot skadegörare. En del kommer att vara anpassade för torra och varma områden i södra Europa, medan andra kommer att vara speciellt anpassade för blöta, torra eller särskilt bördiga marker i norra Europa. De flesta salixbestånd kommer antagligen även i framtiden att odlas för energiändamål. Men det är också tänkbart med en mosaik av odlingar för olika ändamål, exempelvis odlingar för markrening eller landskapsvård, där både landskaps- och miljövärden skulle höjas.

Den fortsatta utvecklingen av planterings- och skördemaskiner kommer att gradvis sänka kostnaderna för odlaren, medan ett stadigt ökande pris på biobränslen kommer att öka intäkterna. Därför kan man förvänta sig ökad odling av salix i Sverige. Nya aktörer och nya affärsmodeller kan dyka upp på marknaden, vilket också kan bidra till att öka lönsamheten för odlaren.

Pär Aronsson är docent i ekologi vid Sveriges lantbruksuniversitet i Uppsala och studerar framför allt miljöeffekter av salixodlingar och förutsättningarna att utnyttja sådana odlingar för att rena mark och vatten.

Martin Weih är docent i växtekologi vid Sveriges lantbruksuniversitet i Uppsala. Hans forskning rör framför allt växters resursekonomi i samband med biomassaproduktion i salixodlingar.

Inger Åhman är docent i entomologi och anställd på Sveriges lantbruksuniversitet i Alnarp. Hon har under många år arbetat med växtförädling av salix, framför allt när det gäller motståndskraft mot olika skadegörare.

Energigrödor på åkermark – vem vill odla dem?

Energiskog, rörflen och hampa – eller vall, spannmål och oljeväxter? Vad är det som styr en lantbrukare som ska välja gröda? Vad lönar sig ekonomiskt? Och hur blir det med sysselsättningen? Det är trögt för nya grödor i starten. En paradox är att ju mer biobränslen som efterfrågas, desto mer lönsamt blir det att odla de traditionella grödorna, skriver Håkan Rosenqvist.

Håkan Rosenqvist, Institutionen för växtproduktionsekologi, SLU, samt Avdelningen för miljö och energisystem, Lunds universitet.

Större delen av den svenska energiskogsarealen planterades under perioden 1991 till 1996. Intresset för fleråriga energigrödor ökade i början på 1990-talet. Det berodde bland annat på omställningsprogrammet för svenskt lantbruk med förväntningar om försämrad lönsamhet i livsmedelsproduktionen, stöd för att ta åkerareal ur produktion samt anläggningsstöd för plantering av bland annat energiskog. Skatterna på fossila bränslen höjdes också, och det gav biobränslena ökad konkurrenskraft.

Efter 1996 har relativt små arealer planterats med energiskog. År 1995 gick Sverige med i EU, och lönsamheten inom spannmålsodlingen ökade. Det minskade incitamenten att odla energiskog. Anläggningsstödet för energiskog sänktes 1997 till en lägre nivå än tidigare. Under de första sex åren på 2000-talet sjönk lönsamheten inom spannmålsodlingen, men trots det planterades fortfarande relativt små arealer med energiskog.

Även stråbränslen som till exempel gräset rörflen odlas på mycket måttliga arealer. Det förklaras bland annat med avsättningsproblem i dagsläget, även om det finns möjlighet att vidareförädla stråbränslen på gårdsnivå till exempelvis briketter. När det gäller energiskogen finns det avsättning för flisen, men den måttliga arealen har gjort att det finns få aktörer för plantering och skörd, och det har lett till svag konkurrens. Den måttliga arealen och svaga konkurrensen har bidragit till att prisskillnaden

är relativt stor mellan det värmeverken betalar för energiskogsflis och det odlaren får för sin skörd från det företag som förmedlar bränslet från lantbrukaren till värmeverket. Detta är en delförklaring till att energiskogsodlingen inte har ökat mer i omfattning.

Vad ska lantbrukaren odla?

Det finns många aspekter på vad som passar för den enskilda lantbrukaren att odla. Utöver biologiska aspekter bör bonden tänka på vad som passar in i företaget och företagarens mål, vilka resurser som finns, vad förändringen att börja odla en ny gröda innebär, vad en ny gröda innebär när det gäller bondens sysselsättning, hur valet av gröda påverkar likviditeten, hur den upplevda risken ser ut, avsättningsmöjligheterna och lönsamheten.

Det är den enskilde företagaren som bestämmer det mesta i sitt företag, även om myndigheters regelverk och ekonomin sätter gränser. Produktionsgrenar som stämmer mindre väl överens med företagarens mål bör ha ett högre avkastningskrav än produktionsgrenar som sammanfaller med målen. Om en lantbrukare vill ha sysselsättning på sitt företag samt odla spannmål stämmer i många fall inte energiskog och rörflen överens med målen, och det leder till krav på ett större ekonomiskt netto per hektar med rörflen och energiskog än med spannmål.

Om det finns resurser för spannmålsodling som till exempel

spannmålströska och maskiner för jordbearbetning innebär en förändring i form av minskad spannmålsodling att det kortsiktigt kan komma att kosta pengar. Det finns i regel också större kunskap om befintliga produktionsgrenar än om nya som exempelvis energiskog, och detta kan vara ett hinder mot nya produktionsgrenar.

Energiskog en stor förändring

I många fall kan det vara lättare att acceptera en mindre förändring än större förändringar. Att fortsätta med det man håller på med är den minsta förändringen. Det gör att spannmål och raps för energiändamål är ganska lätta att acceptera för odlaren. Hampa ska etableras och skördas varje år vilket är en måttlig förändring för odlarens del. Rörflen är en större förändring genom att det är en flerårig växt och skörden till stor del sker med maskiner som inte används inom spannmålsodlingen. Energiskog är den energigröda som innebär den största förändringen genom att det är en flerårig växt, skördas vart tredje till fjärde år, är vedartad, förändrar landskapsbilden, ger liten användning av lantbrukets befintliga maskiner efter etableringen, samt leder till låg sysselsättning för lantbrukaren.

De fleråriga energigrödorna innebär oftast minskad sysselsättning för lantbrukaren. Om det frigörs tid kan det finnas möjlighet till annan sysselsättning, vilket i sin tur påverkar inkomster och likviditet. Frigjord tid kan

också användas till ökad fritid. Likviditeten påverkas av valet av gröda, dels genom att maskinbehovet ser olika ut, dels genom att olika mycket pengar är bundna i grödan ute på fältet. Varken rörflen eller energiskog kräver att lantbrukaren har särskilt många egna maskiner. De flesta körslor till dessa två grödor är inlejda. Etableringskostnaden för rörflen och hampa är liknande som för spannmål, medan energiskog har högre etableringskostnad. Men det finns etableringsstöd till energiskog. År 2007 är stödet på 5 000 kronor per hektar i Sverige, och det täcker cirka halva etableringskostnaden.

Energiskog ger större upplevd risk

De flesta företagare föredrar mindre riskfyllda alternativ framför mer riskfyllda om den ekonomiska avkastningen är densamma. Riskerna ser olika ut för olika grödor, och risken påverkar företagarnas avkastningskrav. Det är den upplevda risken som företagarna agerar utifrån, eftersom det är svårt att säga hur stor den verkliga risken är. Energiskog upplevs ofta som mer riskfylld än till exempel spannmålsodling eftersom lantbrukarna inte känner till den lika mycket. Det gör att kravet på ekonomisk avkastning blir högre på energiskog.

Men det räcker inte med att se hur energigrödans risk är i förhållande till exempelvis risken med spannmålsodling. Hela företagarens portfölj av aktiviteter behöver studeras. Även om en enskild produktionsgren har en hög upplevd risk kan ändå företagarens totala risk sjunka

om samvariationen är låg eller negativ mellan olika ekonomiska aktiviteter. Vädrets påverkan på skördens storlek och kvalitet skiljer sig mycket mellan till exempel energiskog och spannmålsodling. Det kan minska företagets totala risk om arealförhållandet är lagom mellan energiskog och spannmål. Det finns också skillnader i marknadsrisker mellan energigrödor och livsmedel.

Lättare avsätta energiskogsflis än stråbränsle

I Sverige finns det många värmeverk och kraftvärmeverk som eldar flis. Större delen av flisen kommer från skogsbruket. Energiskogsflisen kommer under överskådlig framtid att stå för bara en liten del av bränsleförsörjningen i Sverige jämfört med skogsflisen. Det är en fördel att energiskog skördas under vinterhalvåret och att skörden sammanfaller med den tid på året då värmebehovet är som störst.

I Sverige finns det endast ett mindre antal värmeverk som är anpassade för att elda stråbränslen, och det skapar avsättningsproblem. Stråbränslen som är pressade i balar är ofta också dyrare att hantera i stora värmeverk jämfört med flis.

Energiskog har lägst produktionskostnad

För eldning i stora anläggningar kan energigrödorna ur kostnadssynpunkt delas upp i tre huvudgrupper:

- Energiskog (till exempel salix), billigast per megawattimme

- Fleråriga strågrödor (till exempel rörflen)
- Ettåriga strågrödor (till exempel hampa), dyrast per megawattimme

Energiskog som salix har visserligen hög etableringskostnad men i gengäld tar det många år innan grödan behöver planteras på nytt. Om etableringskostnaden fördelas på odlingens livslängd blir den betydligt lägre än för ettåriga grödor. Energiskogen flisas normalt i samband med skörd och behöver oftast inte lagras under någon längre period. Flisen är oftast billigare att hantera än stråbränslen som är pressade i balar. Av de olika grödorna i tabell 1 på nästa sida framgår det att energiskog är den billigaste energigrödan att odla och hantera fram till kunden. I dagsläget odlas energiskog i mycket begränsad omfattning i Norrland. Det beror bland annat på att äldre sorter inte har varit tillräckligt anpassade för det norrländska klimatet och gett relativt liten skörd.

Fleråriga strågrödor som rörflen har låg etableringskostnad och lång livslängd. Det gör att etableringskostnaden blir mycket låg i förhållande till energiproduktionen. En generell nackdel med strågrödor är att de i många fall är dyra att hantera och lagra. Rörflen för energiändamål skördas i regel på våren när energibehovet för värme är relativt lågt. Oftast behöver rörflen lagras före användningen. Ettåriga strågrödor som hampa har hög etableringskostnad eftersom odlingen ska etableras

Tabell 1. Bedömd produktionskostnad i kronor per megawattimme för olika grödor i olika regioner. Kostnaderna inkluderar ränta, alla maskinkostnader, overheadkostnader, lagringskostnader för stråbränslen och tre mils transport. Bidrag och markkostnad ingår inte.

Produktions-område	Salix	Hampa	Rörflen	Helsäd (halm+kärna i balar)	Höst-vete	Vår-korn	Havre	Höstraps	Socker-betor
Götalands södra slättbygder	130	318	222	217	270	325	303	402	373
Götalands mellanbygder	160	318	225	237	296	377	341	425	403
Götalands norra slättbygder	140	325	228	268	319	377	354	425	
Svealands slättbygder	153	330	232	289	344	414	386	467	
Götalands skogsbygder	168	345	236	365	349	463	427	452	
Mellersta Sveriges skogsbygder	188	351	239	385	354	488	439	452	
Nedre Norrland		362	239	483		636	631		
Övre Norrland		362	239	528		693	603		

varje år. Dessutom är det ett stråbränsle som i många fall innebär höga hanteringskostnader. Socker-betor för energiproduktion har diskuterats i samband med jäsning till drivmedel.

Produktionskostnaderna i tabellen kan jämföras med priser för trädbränslen fritt värmeverk som var cirka 150 kronor per megawattimme vintern 2006/2007. Utifrån tabellen kan det konstateras att de grödor som leder till störst förändring för lantbrukarna, energiskog och rörflen, har den lägsta produktionskostnaden. Men betalningsviljan hos stora användare bedöms vara

högre för träflis än för stråbränslen i bal. Det gör strågrödor som rörflen, hampa och helsädesspannmål lönsamhetsmässigt mindre intressanta än vad som framgår av tabellen. Den visar bara produktionskostnaden före vidareförädling eller förbränning.
Utöver energiproduktion kan lantbrukare ha andra argument för att odla energigrödor, som till exempel jakt. Energiskog ger bland annat skydd för det vilda, och det förbättrar förutsättningarna för exempelvis rådjur och fasan.

Gödsling med slam och avloppsvatten

Genom att sprida slam och avloppsvatten i energigrödor tas växtnäringen tillvara på ett resurshushållande sätt. För odlaren av energigrödor minskar kostnaderna för inköp av handelsgödsel, och det finns möjlighet att få högre skörd. Men den största vinsten finns i inbesparade kostnader för reningsverket. Kostnaderna att rena bort kväve och fosfor är betydligt högre per kilo näringsämne i reningsverk än vad det kostar för lantbrukarna att köpa in kväve och fosfor som handelsgödsel.

Utnyttjande av slam och avloppsvatten kan leda till ökad bioenergiproduktion på två sätt. För det första leder det till större areal av energigrödor när lönsamheten ökar. För det andra blir skörden högre per hektar energigröda som bevattnas med avloppsvatten eller gödslas med slam. En relativt stor del av dagens energiskogsodlingar har någon gång gödslats med slam, medan gödsling med avloppsvatten är relativt ovanligt.

Trögt i starten för nya grödor

Lantbruket odlar idag huvudsakligen vall, spannmål och oljeväxter. Det finns produktionsutrustning, kunskap och tradition för de här grödorna. Det finns också infrastruktur med spannmålsmottagningar med mera som är anpassade för de traditionella grödorna. Detta gör det svårare att introducera nya grödor i stor skala under kort tid. Energiskog är den gröda som har den lägsta produktionskostnaden per megawattimme i stora delar av landet. Trots det odlas den på relativt små arealer. Idag odlas salix på cirka 15 000 hektar; det är ungefär 0,5 procent av den svenska åkerarealen. Det finns flera tänkbara orsaker till det. Traditionen att odla grödan saknas, och både odlare och rådgivare har liten kunskap om den. Grödan innebär en stor förändring för lantbrukaren, den maskinpark som finns kan inte användas, och energiskog ger liten sysselsättning för lantbrukaren. Att den befintliga energiskogsarealen i Sverige är liten gör att aktörerna är få och att kostnaderna blir höga.

När en lantbrukare ska bestämma sig för att eventuellt odla nya fleråriga grödor som rörflen och energiskog behöver han ta ställning till förväntade inkomster från dels befintlig produktion, dels alternativ produktion. Om lantbrukaren har maskiner för spannmålsodling innebär det att dessa maskiner utnyttjas sämre om spannmålsodlingen minskas. Det gör att lantbrukaren kanske trots allt fortsätter med spannmål även om det inte är

det långsiktigt mest lönsamma alternativet. Övergång till energigrödeproduktion underlättas om lantbrukaren använder sig av maskinstation och annan maskinsamverkan för både energigrödor och konventionella grödor.

Att grödor odlas på liten areal innebär skalekonomiska nackdelar och höga kostnader så länge arealen är liten. Det gör att energigrödor som på lång sikt skulle kunna bli lönsammare än lantbrukets traditionella grödor med stor sannolikhet inte kommer att börja odlas i stor skala inom de närmaste åren, om det inte görs kraftfulla åtgärder för att förbättra förutsättningarna. Det här är ett problem för introduktion av grödor som inte kräver samma resursuppsättning som lantbrukets traditionella produktion med vall, spannmål och oljeväxter.

Kostnadssänkningar som kan uppnås genom att grödor odlas på stor areal är bland annat bättre organisation, bättre logistik, ökad konkurrens, ökad kunskap, bättre och effektivare maskiner genom utvecklingsarbete, serietillverkning av maskiner, bättre årligt utnyttjande av maskiner, kortare avstånd mellan olika fält och ökad fältstorlek, samt ökad växtförädling med högre skördar och mer odlingssäkra sorter.

Paradox

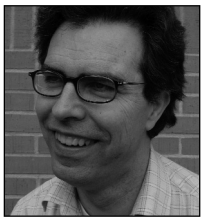
Om bioenergianvändningen i världen ökar kommer det att ha en prishöjande effekt på bland annat spannmål och oljeväxter, eftersom efterfrågan ökar på pro-

dukter som produceras på åkermark. Detta gäller både för spannmål och oljeväxter oberoende av om de används till livsmedel eller energi. Därmed ökar lönsamheten för lantbrukare att odla dessa traditionella grödor vid ökad efterfrågan på bioenergi. Många lantbrukare får därmed mindre incitament att ge sig på någon ny energigröda som energiskog, även om produktionskostnaden per megawattimme är lägre för energiskog än för spannmål och oljeväxter. Eftersom det används flera specialmaskiner för odling av energiskog måste arealen vara tillräckligt stor för att produktionskostnaden ska bli riktigt låg per megawattimme.

Håkan Rosenqvist har arbetat mycket med ekonomiska frågor kring olika energigrödor, och han har disputerat på kalkylmetoder och ekonomi i salixodling. Han är numera forskare och konsult och arbetar för Avdelningen för miljö och energisystem vid Lunds universitet samt Institutionen för växtproduktionsekologi vid Sveriges lantbruksuniversitet.

Oljor och plast från åkern – istället för energi

Använd jordbruksgrödor som råvaror till kemiindustrin hellre än till energiproduktion, skriver Leif Bülow och Sten Stymne. Vi bör koncentrera oss på att ersätta de åtta procent av fossiloljan som går till kemiindustrin med konkurrenskraftiga jordbruksprodukter. Kanske kommer vi i framtiden att se industribetor och energiskogar som även producerar vegetabiliska oljor – eller kanske till och med plaster?



Leif Bülow, Institutionen för kemi, Lunds universitet.

Sten Stymne, Området för bioteknik och växtförädling, SLU i Alnarp.

De fossila oljereserverna blir knappare och dyrare, medan den globala oljeförbrukningen stiger. Kampen om oljetillgångarna utlöser krig och konflikter. Koldioxidhalten i atmosfären är på nivåer som gör att vårt klot värms upp med förskräckande hastighet. De flesta är idag ense om att vi inte längre ohämmat kan utnyttja oljan, kolet eller fossilgasen från jordskorpan.

Växten blir den nya fabriken

Vad ska vi då göra? Växter, både jordbruksgrödor och skog, är spännande och intressanta alternativ. Råvaror från växter kan utnyttjas för tillverkning av plaster, förpacknings- och inredningsmaterial, och till och med för att bygga hus. Tekniska oljor och produkter där den exceptionella styrkan hos växtfibrer exploateras kan också utnyttjas i olika sammanhang. Växterna har en unik förmåga att producera viktiga byggstenar som vi i vår tur kan använda för att skapa produkter med höga förädlingsvärden. Vi måste därför vänja oss vid en ny samhällsbild där vi kopplar samman jordbruket inte bara med produktion av mat, utan också med den kemiska industrin. I politiken börjar det diskuteras att vi måste utveckla en biobaserad samhällsekonomi där jordbruket och skogen står för råvarorna istället för oljan. En stor del av de traditionella kemiska fabrikerna kan i framtiden komma att ersättas med processer inne i den enskilda växten. Växten blir den nya fabriken, den gröna fabriken, som hämtar sin energi från solen och sina byggstenar från vatten och koldioxid.

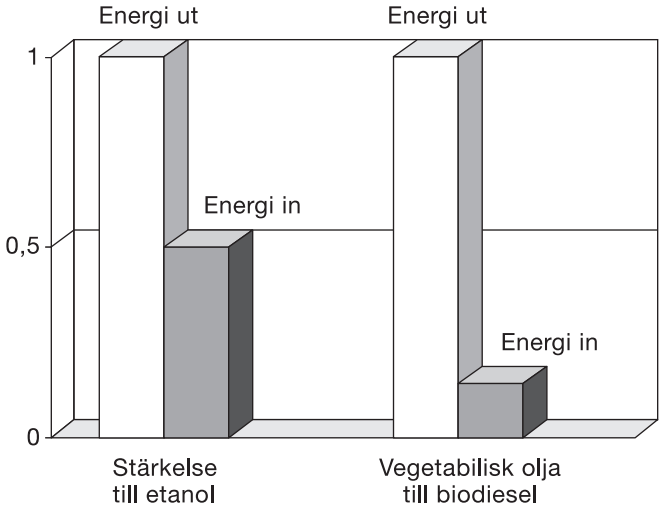
Växterna har hittills framför allt använts för produktion av bioenergi och nya drivmedel. Satsningarna i Sverige omfattar bland annat etanolproduktion från vete, etanolproduktion från skog, biogasproduktion från biologiskt avfall samt biodiesel från rapsolja. Det har också gjorts flera beräkningar kring möjligheterna att ersätta olja för energiändamål med bioråvara. I ett svenskt perspektiv skulle vi behöva ersätta olja motsvarande 130 TWh med bioråvaror från skog och jordbruk. I landet har vi idag 22,7 miljoner hektar skog och 2,7 miljoner hektar åker. Produktiviteten i lantbruket är betydligt större än i skogsbruket, så även om arealen är mindre skulle åkern kunna erbjuda en betydande andel av det totala energibehovet när oljan ska ersättas. Det ansåg den av Göran Persson tillsatta Kommissionen mot oljeberoende. Åker och nedlagd, ej beskogad åkermark skulle kunna odlas med energigrödor och energilövträd i en omfattning av 300 000 – 500 000 hektar, något som inte äventyrar landets livsmedelsförsörjning.

Men det är inte givet att energisektorn är den som, utöver livsmedelssektorn, i första hand ska tillgodoses med råvara från jordbruksmarken. Omläggningen från en petroleumbaserad ekonomi innebär också introduktion av biobaserad teknik inom en sektor som förut inte använt sig av denna, nämligen kemikalie- och materialindustrin. Som vi visar nedan så tror vi att det vi idag skördar från jordbruket är betydligt bättre att använda inom kemikalie- och materialindustrin än för energiproduktion.

Den svarta oljan och den gröna oljan

Den vegetabiliska oljan är den växtprodukt som kemiskt mest liknar den fossila oljan. Många av dagens växter producerar stora mängder olja som används som energireserv vid bland annat frögroning. Användning av vegetabilisk olja för att ersätta fossila drivmedel har en stor fördel jämfört med etanol eller andra flytande biobränslen som framställs från socker, vare sig sockret är fritt eller bundet i stärkelse eller cellulosa. Energiförlusten i omvandlingen av vegetabilisk olja till biodiesel är mycket liten jämfört med omvandlingen av till exempel stärkelse till etanol (figur 1). Figuren tar hänsyn bara till själva omvandlingen av biomassa (vegetabilisk olja respektive stärkelse) till energibärare (biodiesel respektive etanol). Den beaktar inte hela systemet från åker till slutanvändning, och tar alltså inte hänsyn till energieffektiviteten per arealenhet. Denna är mycket beroende av grödan. Exempelvis har raps stora energiinsatser i odlingen, och därför betyder det mindre om man ser till energieffektivitet per arealenhet att energiförlusterna är små vid omvandlingen av raps till biodiesel jämfört med vetestärkelse till etanol.

Världens jordbruk har en total produktion av vegetabilisk olja på ungefär 125 miljoner ton per år. Det kan verka vara en stor mängd, men den motsvarar mindre än 3 procent av den totala årliga förbrukningen av fossil olja. Idag går ungefär 15 procent av den vegetabiliska oljan (det vill säga 0,5 procent av den årliga fossila oljeför-



Figur 1. Utvunnen och insatt energi i produktion av etanol från stärkelse och biodiesel från vegetabilisk olja (värden från ett antal internationella källor).

brukningen) till tekniska ändamål, medan vi äter upp resten. Hur mycket kan vi då öka produktionen av vegetabilisk olja för att ersätta den fossila oljan? Vi måste räkna med att använda åtminstone 85 procent av dagens produktion till livsmedel, och denna mängd måste öka med befolkningstillväxten. Under de senaste 20 åren har produktionen av vegetabilisk olja fördubblats och man kan nog räkna med att den ytterligare kan fördubblas de kommande 20 åren genom högre avkastning och ökade odlingsarealer. Trots denna kraftiga produktionsökning skulle detta bara kunna ersätta 3 procent av den fossila olja vi konsumerar och cirka

6 procent av den drivmedelsförbrukning vi har i världen idag.

Torktålig oljeväxt i tropiska länder

En intressant möjlighet för att ytterligare öka produktionen av vegetabilisk olja är att odla upp jordar som inte är produktiva idag med nya torktåliga oljeväxter. En sådan, *Jatropha curcas,* tilldrar sig nu stort intresse. Denna fleråriga tropiska buske har en enorm anpassningsförmåga och ger med god näringstillförsel och mycket nederbörd en oljeavkastning per hektar i klass med oljepalm, det vill säga 5–8 ton. Mera intressant är att den klarar sig även på mycket torra marker där inga jordbruksgrödor kan växa, och ger där lika mycket olja som raps per hektar. Den kan till och med överleva två år utan någon som helst nederbörd.

Eftersom de oljerika fröna är giftiga kan jatrophaväxten inte användas till livsmedel, men för biodiesel är den idealisk. Traditionellt används den nu för tvål- och ljustillverkning. Nationella program för att plantera jatropha på miljontals hektar av marginella jordar pågår nu i tropiska länder. I Kina ska man före 2010 plantera jatropha på en area som är lika stor som Englands, det vill säga 13 miljoner hektar. Odlingarna förväntas ge 6 miljoner ton biodiesel om året, eller 30 procent av Kinas förnybara energi år 2010.

Om växten håller vad den lovar så skulle den ensam kunna bidra till en produktion motsvarande dagens

samlade vegetabiliska oljeproduktion samtidigt som det skulle innebära en avsevärd förbättring av både ekonomi och klimat i torkdrabbade tropiska områden. Tillsammans med produktionsökningen på de traditionella jordarna skulle vi alltså kunna ersätta 12 procent av den globala drivmedelskonsumtionen med vegetabilisk olja.

Oljerika träd med genteknik

I Sverige produceras ungefär 100 000 ton rapsolja per år. Man skulle kanske kunna tro att raps är den växt vi får ut mest olja av i vårt land, men så är inte fallet. Vi producerar tre och en halv gånger så mycket olja i form av fettsyror i våra pappersmasseindustrier i den så kallade talloljan från träd, trots att träd innehåller bara cirka 1 procent olja. Således utgör talloljan en betydande potential för biodieselproduktion i Sverige. Sverige är en ledande massaproducent i världen och ändå är den totala produktionen av 'trädolja' endast i storleksordningen 2 miljoner ton. Dagens trädolja skulle bara marginellt kunna bidra till den globala drivmedelsförsörjningen.

Man kan tänka sig att man med hjälp av genteknik kan öka oljehalten högst avsevärt i våra träd. Det finns till exempel ett mongoliskt träd som innehåller upp till 10 procent olja i veden. Vi antar att vi kan utveckla ett energiträd som innehåller 10 procent olja: salix eller poppel på våra bredgrader och eukalyptus i mer sydliga länder. Vi forskare i Alnarp har just börjat ett samarbets-

projekt med Umeå Plant Science Center med detta mål. Kanske skulle vi då globalt kunna utvinna cirka 60 miljoner ton sådan olja per år, vilket skulle ge ett nettobidrag på 3 procent av drivmedelsförsörjningen. Fördelen med denna olja skulle vara att den, liksom talloljan, blir mycket billig att producera jämfört med olja från jordbruksgrödor. Träd fordrar väldigt lite energinsatser i odling och avverkning, och oljan blir en biprodukt till veden som står för den huvudsakliga ekonomin i odlingen.

Om alla dessa scenarier skulle inträffa skulle vi kunna ersätta 15 procent av våra drivmedel med vegetabilisk olja. Med andra ord, vi har 85 procent av drivmedelsproblemet kvar. Naturligtvis kommer vi också att utnyttja andra växtprodukter till drivmedel, som stärkelse och cellulosa, men omvandlingen av dessa till flytande bränsle är betydligt mer energikrävande. Även om vi tillvaratar de stora mängder cellulosa som finns i det vi idag oftast plöjer ner (halm och blast) kräver det också att man utökar produktionen på liknande sätt som vi skisserat för den vegetabiliska oljan – för att vi ska kunna fortsätta att också tillgodose livsmedels- och materialsektorn med de råvaror som behövs.

Fantastiska organiska kemister

Växter är faktiskt inte särskilt effektiva när det gäller att omvandla solenergi till energi som är användbar för oss. De enklaste fotoelektriska cellerna ger betydligt mer

energi per ljusenhet än vad vi kan få ut genom att utnyttja energin i kol- och vätebindningarna i växtmaterial. Däremot är växterna fantastiska organiska kemister som kan göra de mest intrikata organiska molekyler. Det är här som växterna har sin konkurrensfördel gentemot den fossila oljan.

Före första världskriget dominerade biologiska råvaror i kemiindustrin. Stigande livsmedelspriser, billig mineralolja och utvecklingen av den organiska kemin innebar ett skifte till fossil olja som den dominerande råvaran. Men inom vissa sektorer där de biologiska råvarornas kemiska struktur var väl anpassad till de industriella användningsområdena bibehöll de sin position, trots att råvarupriset på den biologiska råvaran var mycket högre än priset på den fossila oljan. Femton procent av den vegetabiliska oljan används idag i industriella tillämpningar för att det är kostnadsmässigt fördelaktigt. Du kan göra tvål av fossil olja också, men då måste du bygga en hel petrokemisk fabrik. Lägg kokosfett i en natriumhydroxidlösning och värm – och tvål flyter upp!

Socker – ny råvara för plastproduktion

Det pågår utveckling och förädling av växter som är lämpade som råvaror för industrin. Förutom vegetabiliska oljor är socker en mycket lämplig råvara för industriproduktion. Socker kan jäsas till etanol, men kan också utnyttjas för jäsning till många andra produkter. Istället för etanol kan vi till exempel producera laktat

eller propandiol som är lämpliga råvaror för plastproduktion.

Sockret kan produceras i sockerrör som i Brasilien eller i sockerbetor som i vårt land. Sockerbetan är en av de växter som har bäst förmåga att omvandla solenergi via fotosyntes till socker. Avkastningen för sockerbetor är cirka 50 ton per hektar. Det är betydligt högre än motsvarande bördighet i skogen. Sockerproduktionen i Skåne och på Gotland innebär cirka 10 000 arbetstillfällen och utgör därmed en större samlad arbetsmarknad än till exempel Sony Ericsson som med sin globala närvaro totalt sysselsätter 7 000 personer i hela världen. Genom avregleringen inom EU kommer prisbilden att påverkas negativt för de enskilda odlarna. Men detta scenario motverkas av att världsmarknadspriset för socker har kommit att styras i mycket hög utsträckning av etanolpriset som snabbt är på väg uppåt. Det är därför mycket sannolikt att betodlingen i vårt land trots allt kommer att vara konkurrenskraftig även i fortsättningen.

Den totala arealen som är möjlig för betodling omfattar 360 000 hektar i Sverige. I dagsläget utnyttjas hälften, och eftersom vi har en fyraårig växtföljd motsvarar det en odlingsareal på cirka 45 000 hektar. Eftersom odlingen av sockerbetor är så kraftigt konkurrensutsatt har kraven på ännu större skördar varit stora. Förädlingen av de traditionella sockerbetorna mot industribetor pågår just nu med rasande fart. Inom en tioårsperiod

kommer avkastningen att bli mycket större och tåligheten mot torka och låga temperaturer avsevärt bättre.

När det gäller tekniken för plasttillverkning är det viktigt att utveckla en förenklad process där man kan hoppa över den traditionella utlakningen av sockret ur betorna, och där processen kan drivas med betor året runt. Det här är en utmaning, eftersom hela betor inte kan lagras längre än några månader utan alltför stora förluster. I dagens situation körs sockerbruken därför bara tre månader om året. Det ska jämföras med konkurrenten sockerrör där processtiden är cirka sju månader. Flera olika möjligheter testas för närvarande för att förbättra situationen. I Lund har vi till exempel utvärderat ett sockerbetsmjöl som består av torkade betor. Mjölet är en lämplig råvara för produktion av bioplaster. Det erbjuder onekligen flera intressanta framtidsscenarier, men flera andra former för lagring bör utvecklas. Ensilering eller pressning av betorna till en betjuice är en annan spännande möjlighet. Dessutom är flera nya betsorter med bättre stabilitet redan på väg ut på marknaden.

För vanlig plast går det åt mycket energi vid tillverkningen. Hur är det med bioplast? Går det åt mindre processenergi för att göra bioplast än att göra fossilplast? Och hur blir det om man räknar på hela kedjan, från oljekälla eller åker till färdig plast? Det finns inget entydigt svar på de här frågorna. Det beror på vilken plasttyp det gäller. Men det fina är att vi kan få en

bioplast med identiska egenskaper som den fossila plasten. Vi kan också göra plasten färdig direkt i växten. På sikt är det den ultimata lösningen.

Kemifabriken flyttar in i växten

Ungefär åtta procent av all fossil olja går till kemiindustrin. Att kracka denna olja och bygga upp de önskvärda kemikalierna konsumerar mycket energi, oftast långt mer än de färdiga produkterna innehåller. Växten kan bygga upp mycket av dessa kemiska strukturer själva och därmed minimera vidareförädlingskostnaderna. Gentekniken öppnar särskilda möjligheter att styra biosyntesvägarna i jordbruksväxterna till för oss önskvärda produkter. Vi flyttar den kemiska fabriken in i växten!

Låt oss fokusera på att ersätta de åtta procent av fossiloljan som går till kemiindustrin med konkurrenskraftiga jordbruksprodukter. Vinsten här blir inte bara det fossila material som ersätts utan också en kraftig besparing i energi för framställning av de färdiga produkterna. Som vi har visat är en ersättning av 'bara' 8 procent av den fossila oljan med växtprodukter en stor utmaning som kräver nya växter, nya produktionsmetoder och utökade odlingsarealer, men det ligger inom möjligheternas ram. Kanske kommer vi i framtiden att se industribetor och energiskogar som även producerar vegetabiliska oljor – eller kanske till och med plaster?

Leif Bülow är professor i tillämpad biokemi vid Lunds tekniska högskola. Hans forskningsinriktning är genteknik med speciell inriktning på att förändra bakteriers och växters ämnesomsättning eller metabolism.

Sten Stymne är professor i växtförädling med biokemisk inriktning vid Sveriges lantbruksuniversitet i Alnarp. Han forskningsområde är styrning av kvalitet och kvantitet av fröoljor för utveckling av oljor framför allt för industrianvändning. Genteknik ingår som ett viktigt verktyg i arbetet.

Att få biobränsle och naturvård att gå ihop

Hur går ökad biobränsleproduktion ihop med bevarande av biologisk mångfald? Det kan bli stora problem om vi bara adderar produktionen av biobränslen till den vi redan har av mat, virke och massaved. Men detta får inte ske, skriver Urban Emanuelsson, och presenterar en strategi med fyra huvudspår. Ett spår gäller att uppfinna nya system som producerar mycket av både biobränslen och biologisk mångfald. Ett annat handlar istället om att producera biobränslen intensivt på vissa marker och biodiversitet på andra.

Urban Emanuelsson, Centrum för biologisk mångfald i Uppsala.

Sverige har stora skogsarealer och många jordbruk som befinner sig på randen till olönsamhet. Samtidigt är vi mycket medvetna om att det är miljömässigt negativt att fortsätta att använda fossilbränslen. Det är därför fullständigt logiskt att satsa på en rejäl ökning av den svenska biobränsleproduktionen.

Men hur går ökad biobränsleproduktion ihop med naturvård och bevarande av biologisk mångfald på gen-, art- och landskapsnivå och när det gäller ekologiska processer? Idag finns det till exempel stor medvetenhet om arternas betydelse för att upprätthålla en rad livsviktiga funktioner för det mänskliga samhället.

Strategi med fyra huvudspår

Ökad biobränsleproduktion kan säkert bli ett mycket stort naturvårdsproblem om man bara på traditionellt vis lägger denna produktion ”ovanpå” den redan existerande produktionen av mat, virke och massaved. Men det är just detta som inte får ske! Kampen mot två stora miljöproblem, det vill säga hotet mot den biologiska mångfalden och hotet från växthuseffekten, ska inte behöva konkurrera om resurser och prioriteringar. Risken är stor att det kommer att vara helt olika forskare, politiker och administratörer som arbetar med den ena och den andra frågan. Därför behöver vi lansera en strategi som går ut på att följa fyra huvudspår.

För det första kan man planera markanvändningen i grova drag i landskapet så att områden som är speciellt

lämpade för biobränsleproduktion kan få effektiv sådan produktion. På motsvarande sätt ska landskapet grovt också planeras så att områden med värdefull biologisk mångfald (biodiversitet) inte ska utnyttjas till sådan biobränsleproduktion om den skadar biodiversiteten. Ett antal styrmedel bör tas fram för att en sådan strategi ska bli möjlig.

För det andra måste en fortsatt anpassning av mat- och virkesproduktion ske så att man kan ta ytterligare ett steg mot att dessa ”normala” näringar kan bli bättre på att bevara och hållbart använda den biologiska mångfalden. Det kan innebära en viss produktionsminskning, men samtidigt kan denna minskning bli lättare att bära om det finns en möjlighet till större biobränsleproduktion på andra arealer. Den här delen av strategin är antagligen ett tämligen ”billigt” sätt för skogs- och jordbruksnäringen att lämna större plats i landskapet åt biobränsleproduktionen.

En tredje delstrategi innebär att man utgår från de biobränsleodlingssystem som redan finns och sedan målinriktat utvecklar dem så att de kan bli av betydande värde för den biologiska mångfalden. Det kan till exempel handla om att modifiera odlingssystemen för snabbväxande lövträd.

Den fjärde och sista delstrategin går ut på att i det närmaste nyskapa eller modifiera odlingssystem som både producerar bränsle och en mer eftersträvansvärd bio-

diversitet än den som fanns på plats innan modifieringen skedde. Detta kan exempelvis bli aktuellt i fråga om våtmarksliknande ytor.

Nya produktionssystem måste uppfinnas

Dessa fyra delstrategier fordrar ett omfattande utvecklingsarbete, men också forskning. Den stora utmaningen är att arbetet inte ryms inom någon befintlig del av myndighets- eller forskarvärlden. Forskare och myndigheter som hittills arbetet med biobränsleproduktion har haft en inriktning som mycket liknar den som de traditionella produktionsforskarna haft inom jord- och skogsbruk. Alltså har biodiversiteten normalt bara berörts helt ytligt.

På motsvarande sätt är det också inom den traditionella naturvårdsforkningen. Biobränsleproduktionssystemen har bara studerats av några enstaka naturvårdsforkare. Vad som behövs är alltså inte bara att ett intensivt samarbete utvecklas, utan det behövs också utvecklings- och forskningsarbete som uttalat arbetar med att ”uppfinna” system som både producerar mycket biodiversitet och energi. Detta är en utmaning som forskarna och myndigheterna inte tidigare ställts inför på allvar.

Att utforma konkreta markanvändningssystem och skötselsystem är en utmaning för forskarna. Att utforma styrmedelssystem är till stora delar en utmaning för

myndigheterna, men i samarbete med brukarorganisationer och forskare. Ett sådant arbete är mycket komplicerat. En svårighet ligger i den sektoriserade lagstiftningen där styrmedelssystem, till exempel när det gäller skogs- och jordbruksmark, ser mycket olika ut. Styrmedlen är dessutom ofta inriktade på ett specifikt ändamål, något som redan idag är till stor nackdel, till exempel när det gäller att samordna läckagebekämpning, biodiversitetstimulans, kulturmiljö och rekreation. Om man dessutom i framtiden ska få fram styrmedel som syftar till ökad biobränsleproduktion utan att biodiversiteten sammantaget minskar, fordras en hel del nyskapande i fråga om samordning av de olika styrmedelssystemen.

Intensivodling på vissa skogsytor

Inom skogsbruket finns det idag en diskussion om att intensivodla skog på vissa ytor i landskapet. Biobränslediskussionen ansluter till den diskussionen. Hittills har både den ideella naturvården och naturvårdsmyndigheterna i princip motsatt sig en sådan utveckling. Skälet har varit att de intensivodlade ytorna skulle innebära ett avsteg från principen om en rimlig naturvårdshänsyn överallt i skogen. Så varför skulle man applådera att en del skogsytor riskerar att bli ännu mer utarmade på biologisk mångfald än vad de är idag?

Om det däremot hade funnits ett system för att ”byta” ökad produktion på vissa ytor mot högre nivåer för

biologisk mångfald på andra ytor, skulle antagligen systemet kunna prövas med ambitionen om en bibehållen och kanske till och med förstärkt biologisk mångfald i ett totallandskap, samtidigt som hela produktionen kunde höjas. Ett konkret problem som starkt motverkar att ett sådant system skulle kunna bli verklighet är att det ofta inte är samma ägare som hanterar de presumtiva intensivodlade ytorna och de ytor som är intressanta med tanke på biodiversitet. Det finns skäl att närmare undersöka möjligheterna att byta produktionshöjning i riktigt triviala skogar mot ökat skydd och ökad hänsyn i andra skogar.

Ett annat problemkomplex som bör studeras rör syd- och mellansvenska skogar med rötter i ett betes- och jordbrukslandskap. Sådana skogar har ofta faktiska eller potentiella naturvårdsvärden. För naturvården har den enklaste skyddslösningen här för det mesta varit ”fri utveckling”. Den lösningen ifrågasätts idag av både naturvårdsforskare och kulturhistoriska forskare. Förlorad biodiversitet samt minskat kulturhistoriskt värde kan i många fall, men absolut inte i alla, bli följden av fri utveckling. Ett visst uttag av virke kan antagligen i somliga fall leda till att skogar bättre kan behålla biodiversitetsvärden, kulturhistoriska värden och rekreativa värden. En viss forskning kring detta pågår redan idag men naturvårdssidan och produktionssidan bör samordnas bättre.

Våtmarksgräs, energivall och energiskog

I jordbrukslandskapet är frågorna något annorlunda. Här är det i en del fall mycket tydligare att energiproduktion inriktad på rätt sätt kan ge ett antal andra positiva miljöeffekter. Exempelvis pågår det sedan cirka tjugo år olika försök, om än i liten skala, att kombinera närsaltsreduktion med energiproduktion och ökning av ett landskaps biodiversitet. Det handlar om befintliga eller nyanlagda våtmarker, där en slåtterproduktion kan åstadkomma strandängsliknande miljöer som är värdefulla för en rad hotade våtmarksorganismer, inte minst vadare och änder. Konsten är att hitta rätt sorts gräs- eller halvgräsvegetation som både kan utnyttjas för näringsämnesreduktion och för biobränsleframställning, och som dessutom är positiv för den biologiska mångfalden.

På gårdar med naturbetesbaserad nötköttsproduktion skulle produktion av energivall kunna fungera som ett ”dragspel”. År med svag betes- och vallproduktion skulle energivallen kunna finnas med i köttproduktionen, medan denna vall under produktiva år skulle kunna utnyttjas för biobränsleproduktion.

Jordbruksgrödor och våtmarksgrödor har ett problem när det gäller skörd, lagring och extraktion av energin. Därför har ofta trädgrödor en kortsiktig fördel. Men jordbruksmarkernas och våtmarkernas produkter har en inneboende flexibilitet som kan ha stort värde för natur- och kulturvård. Ett konkret problem som rör

jordbruksmarker för biobränsleproduktion är var eventuella snabbväxande träd som salix och poppel ska placeras i ett jordbrukslandskap.

Planering – med privata initiativ

Kulturmiljövärden och rekreationsvärden är mycket viktiga värden i landskapet. När det gäller att hantera biobränsleproduktionen i landet på ett ansvarsfullt sätt gentemot naturvårdsvärdena, men också gentemot kulturmiljövärden och rekreationsvärden behövs det system för fysisk planering och relativt starka styrmedel. Men samtidigt måste det privata initiativet värnas och stimuleras. Denna ekvation är inte lätt att få att gå ihop. Ekologisk landskapsplanering i skogen kan ses som en av flera inspirationskällor, liksom en rad framgångsrika kommuner där stad-landplaneringen fungerat väl, till exempel Kristianstad med sitt Vattenrike och Örebro med sina omfattande restaureringsprojekt.

Dagens miljöarbete i Sverige styrs på ett övergripande sätt av sexton miljömål. Systemet har visat sig framgångsrikt och ger en tydlig fokusering i miljöarbetet. Att ifrågasätta dessa miljömål är därför ingen särskilt konstruktiv strategi. Däremot uppstår det konfliktsituationer mellan olika miljömål, inte minst mellan dem som handlar om klimatpåverkan och biologisk mångfald. Därför är det av stor vikt för ett fortsatt trovärdigt miljöarbete att betydande ansträngningar görs för att utveckla styrmedlen och den konkreta markanvändningen.

Urban Emanuelsson är professor och föreståndare för Centrum för biologisk mångfald i Uppsala. Han är växtekolog med särskild inriktning mot kulturlandskap och frågor som rör historisk ekologi. Han arbetar också med miljöinriktad samhällsplanering och med internationellt arbete inriktat på Europa och Östafrika.

Artikeln ingår i sin ursprungliga form som bilaga i rapporten ”På väg mot ett oljefritt Sverige” från Kommissionen mot oljeberoende, Statsrådsberedningen 2006.

Vad ska vi ha skogen till?

Skogen är en begränsad resurs som ska räcka till allt fler användningsområden. Inte minst de höga ambitioner som finns i miljömålen ”Begränsad klimatpåverkan” och ”Levande skogar” kommer att leda till målkonflikter mellan naturvård, klimatåtgärder och skogsindustrin. Tydliga vinnare i detta scenario är de som äger skog och kan njuta av allt högre värden på sin skog.

Runar Brännlund, Institutionen för nationalekonomi, Umeå universitet.

Bengt Kriström, Institutionen för skogsekonomi, SLU i Umeå.

Foto: AnnaKarin Dragge

Vårt land är ett skogsland, med mer än halva ytan täckt av björk, gran, tall och andra trädslag. Skogen är en naturresurs som på många sätt har bidragit till välstånd och välbefinnande. Idag förs en livaktig diskussion kring hur vi ska använda skogen på bästa sätt. Energiomställning, klimatförändring och möjligheter att använda skogen med hjälp av ny teknik är relativt nya frågor på agendan. Samtidigt är skogsindustrin fortfarande en hörnpelare i ekonomin, sågverken tycks gå en blomstrande framtid till mötes och det byggs nya biobränslebaserade kraftvärmeverk i flera kommuner. Under de senaste femton åren har de fossila bränslena i fjärrvärmeverkssektorn i stort sett fasats ut och ersatts av biobränslen, framför allt skogsbränslen. Detsamma gäller för uppvärmning av småhus. På agendan nu är att ersätta fossila drivmedel med förnybara drivmedel producerade av framför allt det svenska jord- och skogsbruket.

Göran Perssons kommission mot oljeberoende satte upp målet att mängden bensin och diesel i transportsektorn ska minska med 40–50 procent till år 2020. En omställning av det slaget är en betydligt större uppgift och utmaning än den omställning vi sett på uppvärmningssidan. En grov beräkning visar att om en så stor del av drivmedlen ska komma från skogen krävs det att i stort sett hela den nuvarande skogsproduktionen tas i anspråk för enbart drivmedelsproduktion. Samtidigt innebär ett av miljömålen att stora skogsarealer ska sättas av till naturvård för att bland annat bevara den biologiska

mångfalden i skogen. Parallellt med detta kan vi se att det görs stora och snabba framsteg inom bioteknik och materialutveckling. Bland annat pågår försök att använda trädbaserade produkter inom kirurgin, och en dag är kanske din bil till största delen gjord av träd.

Hårda värden och mjuka värden

Räcker den svenska skogen till allt detta? Istället för att tänka på frågan i fysiska termer (hur många kubikmeter finns det?) utgår vi här från ett samhällsekonomiskt perspektiv. Det innebär att vi bör använda skogen så att det samhällsekonomiska värdet blir så stort som möjligt. Vi ska förklara vad som menas med skogens samhällsekonomiska värde, hur man kan mäta det, och vad dagens målkonflikter kan tänkas innebära för framtiden. Det är viktigt att förstå att vi med samhällsekonomiskt värde inbegriper allt som på något sätt kan bidra till välfärd och välbefinnande. Det betyder att skogens ”mjukare värden” har precis lika stor vikt på marknaden som skogens ”hårdare” värden. Det behöver inte vara ”mer” samhällsekonomiskt lönsamt att göra papper av ett träd än att bevara det. Vad som är mest lönsamt beror helt enkelt på hur vi värderar de olika användningssätten i förhållande till varandra.

Men låt oss börja med att konstatera att frågor kring skogens användning ingalunda är någonting nytt. Carl von Linné antydde i samband med sin Lapplandsresa att skog som inte användes till materiella ting var i stort

sett värdelös: ”Stora skogarna av tall står öde och fåfäng, ty ingen behöver timret, faller omkull och ruttnar bort. Quaeritur, om ej skulle meritera göra tjära och beck härav?” Naturfilosofer å andra sidan, som till exempel Henry David Thoreau (1817–1862), menade att varje samhälle skulle unna sig en skog där ”inte en kvist skulle brytas”, till nytta för undervisning och rekreation. Då som nu ställs marknadsekonomiska värden mot bevarandevärden och andra ”mjukare” värden förknippade med att låta skogen stå kvar.

Timmerpriset missar många av trädets värden

Vad menas då med skogens värde? Skogens värde för Linné var de ”skogsprodukter” den gav, timmer, beck och tjära, medan Thoreau uppenbarligen ansåg att orörd skog hade stort värde. Ofta tänker vi kanske på värdet i termer av ett pris; högt pris betyder högt värde och vice versa. Men värdebegreppet i modern ekonomisk teori är kopplat till subjektivt upplevd nytta. Det innebär till exempel att varor eller tjänster som inte är prissatta på en marknad kan ge stor nytta. Även varor med lågt pris kan vara mycket värdefulla. Vi har stor nytta av vatten, även om priset på vatten i Sverige är lågt.

Endast i en perfekt marknadsekonomi fångar priset på timmer samtliga värden av ett träd, inte bara timmervärdet. I verklighetens Sverige ger därför marknadspriserna inte alltid en fullständig bild av en resurs samhällsekonomiska värde. För att få en komplettare bild måste vi försöka mäta det omätbara och sätta värden på de olika

nyttigheter vi får från skogen som saknar pris (men inte värde). Vi återkommer till exempel på sådana beräkningar.

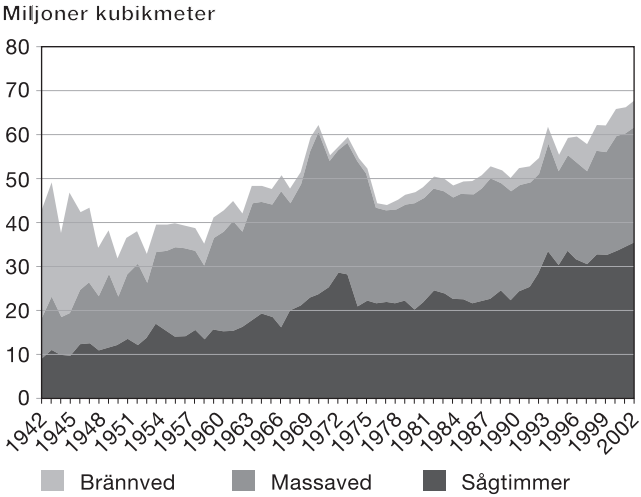
Hur har skogen använts?

Tyngdpunkten mellan de olika användningsområdena har växlat över tiden, beroende på hur behoven (nyttan) har förändrats, men även utifrån de tekniska möjligheterna att omvandla trädråvaran. Den skogsindustriella användningen tog ordentlig fart i slutet av 1800-talet i och med industrialiseringen, även om brännveden dominerade användningen ända fram till början av 1900-talet. Som energikälla har skogen alltid varit betydelsefull, inte minst under första och andra världskriget när tillförseln av importerad energi ströps. Men den allt billigare oljan under 1950-talet och utbyggnaden av älvarna under 1950- och 60-talet innebar att skogen fick allt mindre betydelse för energiförsörjningen.

Skogspolitikens utveckling följer tydligt mönstret för användningen. Dess ursprungliga uppgift var att garantera att det även i framtiden skulle finnas skog. Efter hand fick skogspolitiken en industriell kantring; den skulle se till att skogsindustrin garanterades råvara. De senaste stora förändringarna i skogspolitiken speglar samhällsförändringarna på så sätt att miljöaspekten fått stå alltmer i fokus, men även genom att skogsvården har blivit allt mindre detaljreglerad.

Figuren visar hur avverkningsnivån har utvecklats sedan början på 1940-talet och hur avverkningen har fördelats

på de tre huvudsortimenten: sågtimmer, massaved och brännved (i brännved inkluderas endast stamved). Sammantaget finner vi att de totala avverkningarna har ökat från cirka 50 miljoner kubikmeter 1942 till närmare 70 miljoner kubikmeter 2004. Förutom efterkrigsnedgången och den kraftiga nedgången i samband med den första oljekrisen i mitten av 1970-talet så har avverkningarna ökat trendmässigt. Figuren visar också att det skedde en tydlig förskjutning från brännved mot massaved och sågtimmer fram till mitten av 1970-talet. Intressant att notera är att brännveden har ökat sin andel signifikativt sedan mitten av 1970-talet. Det återspeglar naturligtvis att skogens värde som energikälla har ökat.



Avverkningar i Sverige 1942–2004. (Källa: Skogsstyrelsen)

Att sätta pris på mjuka värden

De värden som är förknippade med figur 1 kan vi relativt enkelt mäta med hjälp av marknadspriser. Men de fångar inte den totala värdeutvecklingen i skogen; vi måste lägga till de värden som inte ”syns”. Det finns ett stort antal studier kring skogens bidrag till den ”gröna” nationalprodukten. I USA har man beräknat att de marknadsprissatta varorna och tjänsterna från skogssektorn står för 20 procent och rekreation, jakt- och andra ”gröna” tjänster står för 80 procent av en utvidgad nationalprodukt för skogen.

Ett av de allra första försöken att uppskatta den svenska skogens värden i bredare mening gjordes av Lars Hultkrantz 1992. En uppdatering och utvidgning av hans beräkningar gjordes senare av Peter Eliasson (1994) som också beräknade förändringar av skogens olika värden mellan 1987 och 1991. I dessa beräkningar delas skogens värden in i tre olika grupper: virkesvärden, övriga produktionsvärden och miljötillgångar. De två första kan ses som flödesvärden, medan den sista är kopplad till tillgången, det vill säga stocken av skog och skogsmark. Det kanske mest intressanta är att man har försökt värdera samtliga nyttigheter i penningtermer genom att utgå från människors subjektiva värdering i studier av betalningsvilja.

Rekreationsvärde och koldioxidbindning

Övrig varuproduktion – bär, svamp och kött – bidrar med en mycket liten del av det totala förädlingsvärdet

av skogen. En orsak till det är att de värden som presenteras inte inkluderar rekreationsvärden. En inte alltför djärv gissning är att de rekreationsvärden som är förknippade med svamp- och bärplockning samt jakt är betydande. Dessutom saknas övriga rekreationsvärden kopplade till skogen. Exempelvis finns det svenska studier som visar att rekreationsvärdet vid älgjakt är nära två gånger köttvärdet.

En annan och betydligt viktigare tjänst som skogen ger när den växer är koldioxidbindning, det vill säga skogen tar upp och lagrar koldioxid från atmosfären. Värdet av denna tjänst är enligt beräkningarna flera miljarder kronor per år – att jämföra med förädlingsvärdet i det svenska skogsbruket som är cirka 20 miljarder.

Det finns ett relativt stort antal studier där man har försökt mäta rekreationsvärdet av skog. I Sverige har man exempelvis använt direkta betalningsviljefrågor för att ta reda på värdet av att förändra skogen i en mer rekreationsvänlig riktning. Utländska studier visar värden någonstans mellan 180 och 350 kronor per rekreationsdag, och det överensstämmer relativt väl med svenska studier. Jaktvärden ligger i övre delen av intervallet och skogspromenader i den nedre delen. Summeras detta värde över antalet persondagar i skogen ser man att det totala rekreationsvärdet är betydande, och att ganska små förändringar av skogens möjligheter till rekreation kan få relativt stora konsekvenser på det totala värdet.

Exemplen visar att det kan finnas betydande värden i skogen, även om de inte alltid kan ses på marknaden. Exemplen visar också att det i allmänhet finns en ”trade-off” eller alternativanvändning av skogen; förändrar vi skogsskötseln i en viss riktning, exempelvis för att producera mer bioenergi eller timmer, får vi ”betala” i de fall det blir förluster av andra nyttigheter som skogen tillhandahåller. Det bör dock påpekas att det i vissa fall kan vara så att produktionen av andra nyttigheter kan öka som en följd av intensivare skogsbruk, till exempel hallon på kalhyggen.

Räcker skogen till allt vi vill?

Frågan om skogen ”räcker till” går inte att besvara på ett enkelt sätt. Vad vi kan säga är att ökad användning av skogen för att uppnå ett specifikt mål ökar kostnaden för att uppnå andra mål relaterade till skogen, antingen kostnaden är i form av ökad gödsling eller andra tillväxtbefrämjade åtgärder, eller i form av förlorade miljövärden. Målkonflikterna har på sätt och vis varit relativt begränsade fram till idag. Skogen har setts som en råvarukälla för industri och energi, och det moderna högavkastande skogsbruket har lyckats relativt väl med att försörja till viss del råvarukonkurrerande industrier med billig råvara.

Den tiden tycks nu vara förbi. Den bioenergirevolution som skett de senaste femton åren inom framför allt fjärrvärmesektorn har kunnat ske tack vare relativt små

råvarukonflikter med den traditionella skogsindustrin. Fjärvärmesektorns kraftiga substitution från olja och kol mot skogsbränslen har förmodligen kunnat ske tack vare låga kostnader på biprodukter från skogsbruket, vilket till stor del är en följd av skogsindustrins fortsatta expansion. Dock finns det mycket som tyder på att ytterligare expansion av mer storskalig karaktär inte är möjlig utan att konkurrensen eller målkonflikterna ökar. Miljömålet Levande skogar innebär ökade arealer produktionsskyddad skog samtidigt som ökad efterfrågan på biobränslen, och därmed högre priser, gör det intressant att bränna och destillera massaved, och kanske till och med sågtimmer.

Värdera skogens nyttigheter!

Skogens värden förändras över tiden; vissa värden minskar i betydelse medan andra ökar. Skogen har fått en alltmer mångfasetterad roll för vår välfärd, och det kommer att innebära allt större svårigheter att till liten uppoffring uppfylla allt fler mål. Om vi vill ha ett större ekonomiskt eller materiellt utbyte av skogen kan vi inte lika enkelt få stor artrikedom eller trevlig rekreationsskog – och vice versa.

Den komplexitet som skogens värden ger upphov till ställer stora krav på den kunskap som krävs för att fatta beslut som är samhällsekonomiskt effektiva och kloka. Vad som är samhällsekonomiskt effektivt och klokt skogsutnyttjande beror helt enkelt på hur samhälls-

medborgarna värderar de nyttigheter vi kan få från skogen. Vad som därmed framstår som helt centralt är att värdera skogens olika nyttigheter och med hjälp av dessa värden konsekvensberäkna olika förslag kring vårt skogsutnyttjande. Dessa beräkningar måste naturligtvis göras utifrån ett brett perspektiv på skogens värden. Bland annat innebär det att vi måste förstå hur de olika delarna i skogssektorn samverkar med varandra.

Med dagens fokus på alternativ användning av skogsråvaran finns det lite som talar för att vi i framtiden utnyttjar den svenska skogen på samma sätt som de senaste hundra åren. Om detta är bra eller dåligt för Sverige kan vi inte svara på här.

Runar Brännlund är professor på Institutionen för nationalekonomi vid Umeå universitet. Han är medlem av regeringens Vetenskapliga råd i klimatfrågan. Hans forskning är inriktad mot tillämpad miljö- och välfärdsekonomi och miljöpolitik.

Bengt Kriström är professor i Naturresursekonomi och prefekt på Institutionen för skogsekonomi på Sveriges lantbruksuniversitet i Umeå. Han är medlem av regeringens Hållbarhetskommission och ordförande i Expertgruppen för miljöstudier på finansdepartementet. Hans forskning inriktas mot tillämpad välfärdsekonomi, särskilt värdering av icke marknadsprissatta nyttigheter och analyser av miljöpolitik.

Bioenergi från skogen – både plus och minus för miljömålen

Om vi tar ut mera biomassa ur skogen för att ha som energiråvara så gynnar det ett av Sveriges sexton miljömål, nämligen ”Begränsad klimatpåverkan”. Och den biologiska mångfalden tål ett ökat uttag av grenar och toppar i samband med avverkning, skriver Gustaf Egnell. Samtidigt kan det ökade uttaget ge konsekvenser i form av surare mark och vatten, och därmed risker för växter och djur. Återföring av vedaska kan vara ett sätt att höja pH i omgivande vatten på sikt.

Gustaf Egnell, Fakulteten för skogsvetenskap, SLU i Umeå.

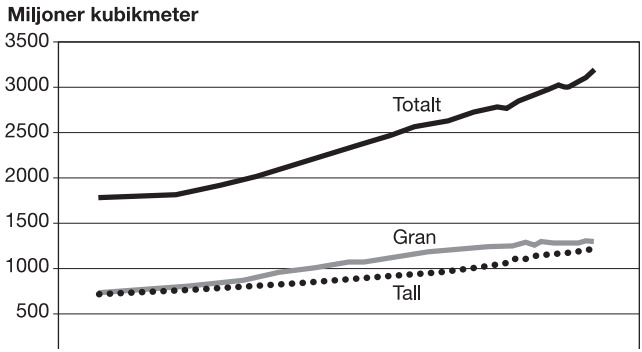
Ökad användning av biomassa från skogen till energi bidrar till att Sverige kan nå ett av sina sexton miljökvalitetsmål, nämligen Begränsad klimatpåverkan. Ett delmål är att minska utsläppen av växthusgaser till en nivå som i medeltal ligger 4 procent under 1990 års nivå under perioden 2008–2012. Samtidigt kan ökat utnyttjande av biomassa från skogen påverka flera av de andra miljökvalitetsmålen, varav flera i oönskad riktning. En lyckad ökning av mängden bioenergi från skogen kräver därför att alla inblandade tillsammans kommer överens om rimliga nivåer på utnyttjandet och därmed en rimlig balans mellan olika miljömål. Då även andra energialternativ (fossila bränslen, kärn-, vatten- och vindkraft) har negativa miljöeffekter måste även detta vägas in i en sådan bedömning. Det miljövänligaste alternativet är alltid energieffektivisering.

Många arter är beroende av död ved

Flera av miljökvalitetsmålen har en tydlig koppling till bevarande av biologisk mångfald. Bland dem som dessutom har en direkt koppling till ökat uttag av biomassa ur våra skogar kan nämnas Levande skogar och Ett rikt växt och djurliv. Uppskattningsvis 7 000 arter i landet är beroende av död ved av olika kvaliteter. En gemensam nämnare för många av de skogsarter som bedöms som hotade och sällsynta är också beroendet av död ved. Detta är ett viktigt skäl till att ett av delmålen för miljökvalitetsmålet Levande skogar formuleras ”mängden

hård död ved skall öka med minst 40 procent i hela landet och med avsevärt mer i områden där den biologiska mångfalden är särskilt hotad”.

En anledning till att så många av de arter som är beroende av död ved är sällsynta idag är troligen att skogsbruket under ganska lång tid varit inriktat mot ett enda mål, nämligen att bygga upp virkesförrådet och att förse vår skogsindustri med färsk barrved. Skogarna har sedan vårdats så att få träd har dött i bestånden, och slutavverkningen av bestånden ligger långt före trädens biologiska livslängd. Skogsbruket har på det här sättet höjt virkesförrådet i våra skogar högst avsevärt (figur 1).

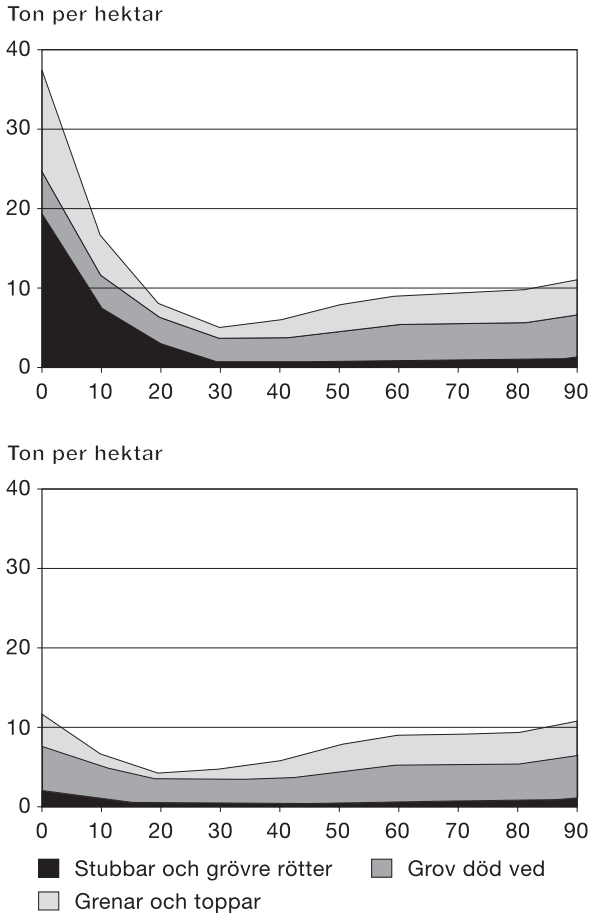


Figur 1. Förändring i totalt virkesförråd och förrådet av tall- och granvirke i Sveriges skogar för perioden 1926–2003. (Källa: Riksskogstaxeringen, SLU)

Mycket död ved blir kvar vid avverkning

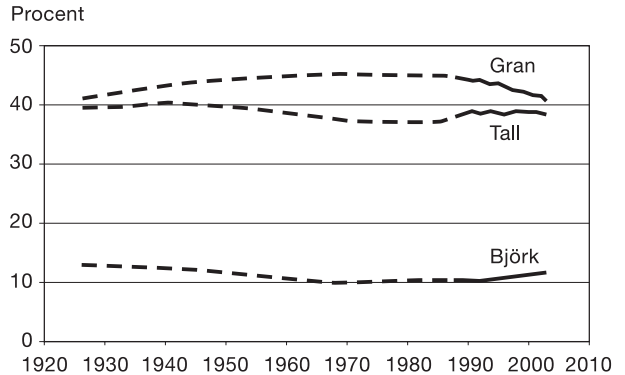
När vi skördar timmer och massaved i dessa virkestäta skogar blir det kvar stora mängder färsk död barrved i form av grenar och toppar (grot) samt stubbar som idag också börjar bli intressanta att ta ut för energiändamål. Det ökade virkesförrådet tillsammans med det aktiva brukandet av skogarna har medfört att skogarna idag levererar mer grot och låga stubbar än tidigare. Det som saknas är främst hela döda träd både stående och liggande, högstubbar och träd som tillåts åldras. Den stora potentialen för energiändamål finns alltså att hämta där mängden död ved faktiskt har ökat under de senaste 80 åren. Ett rimligt antagande är därför att många arter som är specialiserade på dessa vedsubstrat har gynnats av skogsbruket och därför idag är relativt vanliga. Med undantag för en och annan grov avkapad trädtopp och gren räknas stubbar och grot inte in i den statistik som samlas in för att fastställa om mängden död ved ökar i våra skogar. Det visar att grot och stubbar inte har tillmätts någon större betydelse för den biologiska mångfalden, men kunskapen om detta är begränsad.

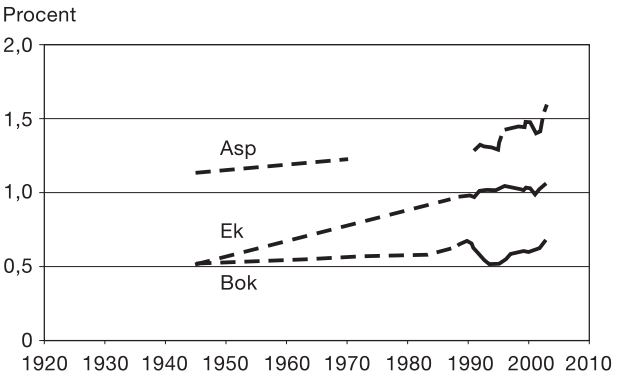
Genom att väder och vind knäcker toppar och grenar tillförs dessa kontinuerligt i våra skogar under en omloppstid som död ved. Även om vi tar ut grot vid avverkning kommer det att finnas en hel del sådan ved i våra skogar (figur 2). Det talar för att mångfalden tål skörd av en stor del av groten i samband med avverkning.



Figur 2. Principfigur som visar tillgången på olika fraktioner av död granved efter en avverkning och 90 år framåt i ett granbestånd i Mellansverige, dels där inget skogsbränsle skördas (övre bilden), dels där 70 procent av grenar och toppar och 90 procent av stubbarna tas ut vid slutavverkningen (nedre bilden).

Barrvedsstubbar, som intresset just har vaknat för, levereras nästan bara vid avverkning. Om en stor andel av stubbarna skördas i samband med slutavverkning leder det till en kraftig minskning av stubbar sett över hela omloppstiden (figur 2). Tillskottet kommer då främst i samband med gallring, men då rör det sig om klenare stubbar. Det är därför rimligt att anta att en större andel av stubbarna bör lämnas kvar i skogen än vad





som är fallet med grot, för att främja den biologiska mångfalden.

Död ved har olika kvaliteter

En vanlig uppfattning är att skogsbruket under lång tid har satsat ensidigt på tall och gran på bekostnad av andra trädslag som kanske är mer värdefulla för den biologiska mångfalden. Riksskogstaxeringens data ger en lite annorlunda bild (figur 3) där den relativa andelen av virkesförrådet för tall och gran ligger relativt jämt under den period som vi har data för.

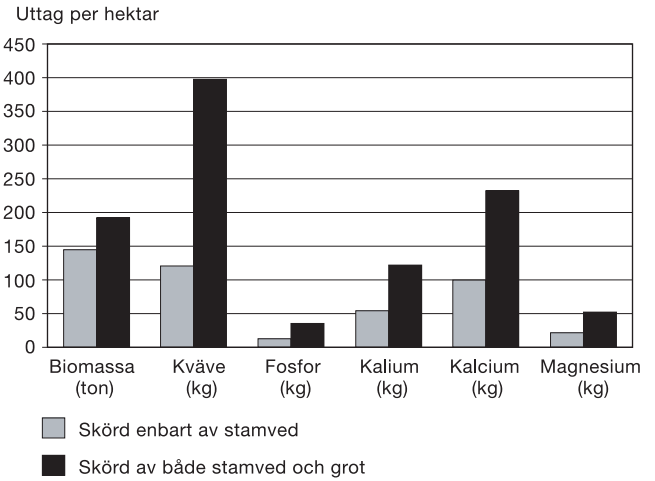
Om man tittar på data för några lövträd blir inte bilden att de har minskat. Då virkesförrådet samtidigt har ökat visar data snarare att virkesförrådet även för asp, ek och bok har ökat. Det är därför rimligt att anta att även dessa trädslag levererar mer död ved i form av grenar, toppar och stubbar än vad som var fallet tidigare. Men detta verkar inte ha hjälpt flera av de arter som är beroende av död och döende ved, och som idag är sällsynta. Så sent som 2006 förklarades den vitryggiga hackspetten som utrotad i vårt land.

Det är därför viktigt att senare års ambition att öka andelen död ved i våra skogar fortsätter. Det finns sannolikt död ved som är värdefullare för den biologiska

Figur 3. Procentuell andel av det totala virkesförrådet för våra vanligaste skogsträd gran, tall och björk (övre bilden), samt för några av de lövträd som ofta antas ha varit missgynnade av produktionsskogsbruket under en stor del av 1900-talet (nedre bilden). (Källa: Riksskogstaxeringen, SLU)

mångfalden än ung, klen ved och stubbar från våra vanligaste skogsträd. Därför finns det skäl att kombinera mål att öka mängden död ved med mål som fokuserar mer på den döda vedens kvalitet och därmed värde för den biologiska mångfalden. I det arbetet är det också klokt att även väga in andra värden, som landskapsbild och skogens sociala värden.

I samband med att skogsbränsle i form av grot och stubbar tas ut ur våra skogar är det också viktigt att man inte frestas att ta ut död ved som har lämnats som naturhänsyn i form av exempelvis stående träd, liggande träd (lågor) och högstubbar, och att man undviker



Figur 4. Biomassauttag (ton per hektar) och näringsuttag (kg per hektar) vid skörd dels av enbart stamved, dels av både stamved och grot. Siffrorna kommer från en slutavverkning av ett granbestånd i Halland.

att köra sönder eller på annat sätt skada sådan lämnad hänsynsved. Man bör också lämna kvar grot och stubbar från trädarter som är mer sällsynta i landskapet, och i anslutning till olika typer av skyddade skogar.

Produktionsförluster vid grotuttag

Att öka uttaget från enbart stamved till att också inkludera grot innebär en måttlig ökning i uttaget av ved, men uttaget av näringsämnen kan öka betydligt (figur 4). Orsaken är att grenar och framför allt barr är mer näringstäta än stamved. Detta extra näringsuttag skulle kunna leda till minskad produktion i våra skogar, vilket strider mot formuleringen under miljömålet Levande skogar: ”Skogens och skogsmarkens värde för biologisk produktion ska skyddas.” Detta har också visat sig i försök. Men minskningen är inte dramatisk vid uttag i samband med slutavverkning, och den kan motverkas genom att markberedning och plantering kan tidigareläggas då grenar och toppar som annars utgör ett fysiskt hinder har tagits bort.

När grot skördas i röjning och gallring (skogen glesas ut genom att vissa träd avverkas) krävs däremot näringskompensation med i första hand kväve för att motverka produktionsförluster i det kvarvarande beståndet. Återföring av vedaska har föreslagits som en motåtgärd mot detta och som ett steg mot kretsloppssamhället. Tyvärr försvinner det för skogstillväxten så viktiga kvävet med rökgaserna då veden eldas. Enbart aska

kan därför inte motverka tillväxtförlusten fullt ut. Tillsats av kväve krävs därför på de flesta marker, trots att mycket kväve når skogsmarken genom luftburna föroreningar och regn.

Grotuttag gör marken surare

När skog växer försuras skogsmarken – ju högre produktion, desto större försurningsbelastning. Till detta kommer den mer allvarliga markförsurningen orsakad av luftburna föroreningar. När marken blir surare (lägre pH-värde) blir avrinnande vatten surare och rörligheten kan öka för flera ämnen som är oönskade i våra vatten, som till exempel aluminium. Detta har på många platser skapat problem i grundvatten, sjöar och vattendrag som är beroende av god kvalitet på tillrinnande vatten.

När skogen avverkas återförs näringsämnen med basisk verkan (motverkar försurning) när näringsrika grenar, barr och rötter bryts ner, och pH-värdet stiger samtidigt i marken. Om de näringstäta grenarna och barren skördas blir inte pH-höjningen lika stor. Uttag av framförallt den näringsrika groten blir därmed inte förenligt med miljömålet Bara naturlig försurning.

Vedaska höjer pH i marken

För att motverka i första hand oönskade effekter på omgivande vatten av skogsbränsleuttag rekommenderas idag återföring av vedaska av den ansvariga myndigheten som är Skogsstyrelsen. Denna åtgärd bidrar till att pH i de övre markskikten lägger sig på en högre nivå. Mer

oklart är dock om, och i så fall när, en måttlig askgiva (högst 3 ton per hektar rekommenderas) kommer att påverka omgivande vatten vid spridning av aska på olika typer av skogsmark. I landet pågår samtidigt ett kalkningsprogram av sjöar och vattendrag med samma syfte, nämligen att säkerställa god vattenkvalitet och det biologiska livet i vatten. Kalk tillförs direkt i vattnet eller där vatten strömmar ut från marken till vattendragen. Bredspridning över skogsmark har aldrig varit aktuellt i detta program. Aska skulle kunna vara en resurs i det arbetet. En fråga som har diskuterats är om aska ska spridas där den gör direkt nytta snarare än spridas överallt där grot har skördats med en oviss framtida nytta på vattenkvaliteten.

Utöver motivet att motverka försurning av mark och därmed vatten har försiktighetsprincipen ibland anförts som motiv för att vi bör återföra aska till skogsmark när uttaget av näring ökar, med tanke på eventuella negativa effekter på växter, djur, svampar och mikroorganismer i skogsmarksekosystemet och skogens långsiktiga produktionsförmåga. Men samma princip kan också anföras mot askåterföring då även askan utsätter skogsekosystemet för risker om återföringen görs på ett olämpligt sätt. Aska som inte behandlats på rätt sätt (härdats) före spridning kan vara mycket reaktiv och orsaka direkta frätskador på markvegetation och markorganismer. Bland annat mossor är känsliga för dåligt härdad reaktiv aska. Olika typer av miljöskadliga ämnen som tungmetaller och organiska miljögifter kan lätt slin-

ka igenom ett system där inte all aska som sprids först kontrolleras. Ett annat problem med askåterföring är att skogsproduktionen på marker som inte är så bördiga riskerar att sjunka för en tid. Det kan därför vara svårt att motivera skogsägaren att sprida aska samtidigt som tillgången på förnybar biomassa minskar.

Vedaska på torvmark

Samtidigt utgör askan en resurs som ska användas – men på ett klokt sätt. Behovet att motverka försurning av våra vatten är uppenbart men ser olika ut över landet. Det talar för en ståndortsanpassning och regionalisering av rekommendationerna. Askan kan också utgöra en resurs för att öka produktionen om den används på rätt marker. Dikade torvmarker som det idag växer skog på är ett sådant exempel där tillförsel av enbart aska kan öka skogsproduktionen avsevärt. Samtidigt kan askan, rent teoretiskt, sätta fart på de mikrober som styr torvmarkens produktion av växthusgaser som koldioxid, metan och lustgas. För att askgödsling ska vara ett klokt val på torvmarker med skog på krävs att inbindningen av kol i träden väl överträffar eventuella ökade utsläpp av växthusgaser.

Det pågår forskning för att identifiera vilka torvmarker som är ”riskabla”, och hur askan ska behandlas och spridas för att minimera risken. Dessutom kan aska användas tillsammans med kväve för att öka tillväxten på de flesta skogsmarker i landet. Mycket talar för att

vi i framtiden kommer att behöva mer trädbiomassa för att klara både energibehov och skogsindustrins behov av råvara. I det arbetet är vedaska en värdefull resurs tillsammans med andra näringsrika restprodukter.

Intensivare skogsbruk

En klok förvaltning och ett klokt nyttjande av den förnybara skogsråvaran har potential att bidra till uppfyllelse av flera miljömål. Flera av de övriga energi- och råvarukällorna kan ur miljömålssynpunkt vara ett sämre val. För att nå dit behöver många av de potentiella miljöeffekter som kommer med ökad användning av hela skogsråvaran ovan mark, tillsammans med ökade ambitioner att höja skogsproduktionen, studeras på landskapsnivå. Det vore därför önskvärt att redan idag få till större områden där miljöeffekterna av ökad intensitet i skogsbruket kan studeras, samtidigt som teknik och logistik förfinas för att leverera förnybar skogsråvara av hög kvalitet för olika förädlingskedjor inom energi- och skogsindustrin.

Gustaf Egnell arbetar med samverkan vid Fakulteten för skogsvetenskap, SLU i Umeå, och är engagerad i bioenergiforskning genom övergripande syntesarbeten och miljöanalyser. Han är ledamot i programrådet för Energimyndighetens ”Bränsleprogram” och nationell expert inom IEA (International Energy Agency), uppdrag 31 – ”Bioenergi från konventionellt skogsbruk”.

Biobränslen inte helt klimatneutrala – men bättre än fossila bränslen

Kristina Holmgren och Mats Olsson har tillsammans med kollegor på IVL och SLU sammanställt och analyserat emissionsdata för produktions- och användningskedjor för ett antal biobränslen. De drar slutsatsen att inga av de undersökta biobränslena kan kallas ”klimatneutrala” eftersom samtliga bränslekedjor resulterar i nettoemissioner av växthusgaser. Men de drar också slutsatsen att biobränslen ger väsentligt mindre utsläpp av växthusgaser än fossilbränslen, och att de därför kan användas för att ersätta fossila bränslen.

Kristina Holmgren, IVL Svenska Miljöinstitutet.

Mats Olsson, Institutionen för skoglig marklära, SLU.

I takt med ökat medvetande och oro för klimatförändringar har efterfrågan ökat på ny teknik och energiråvaror med lägre växthusgasutsläpp än fossila bränslen. Därmed har också efterfrågan på biobränslen ökat. Dessa anses vara klimatneutrala och inte bidra till ökade koldioxidkoncentrationer i atmosfären. Detta kan motiveras på två sätt:

- Nya växter och träd som ersätter den skördade och uppbrända biomassan kommer att ta upp koldioxid (CO_2) från atmosfären i en mängd som motsvarar den som släpps ut vid förbränningen.
- Om biomassan inte används som bränsle dör den förr eller senare och bryts ned. Under nedbrytningsprocessen frigörs då en mängd koldioxid som i stort sett motsvarar den som bildas vid förbränningen.

Klimatneutral – svårdefinierat begrepp

Begreppet klimatneutralitet tillämpas av många trots att det saknas en strikt definition av begreppet. Det används för aktiviteter eller bränslen som inte resulterar i några utsläpp av växthusgaser, alternativt för sådana sammanhang där eventuella utsläpp kompenseras genom investeringar som reducerar utsläppen någon annanstans. Med dagens kunskap och modeller kan vi knappast mäta eller på ett konsekvent sätt beskriva klimateffekten av en aktivitet, men däremot kan vi mäta och bedöma vilka utsläpp den resulterar i. Hur klimatet påverkas av utsläppen är delvis oklart och bedöms genom olika

klimatmodeller. Hur klimatet i olika regioner och delar av världen påverkas och förändras till följd av de förhöjda halterna av växthusgaser i atmosfären är dessutom olika. Av de här skälen skulle man för biobränslen istället kunna tala om koldioxidneutralitet, eller växthusgasneutralitet eftersom även andra gaser än koldioxid är involverade.

I själva verket finns det knappast några biobränslen som är neutrala i den meningen att de resulterar i nettoemissioner som är noll. Under produktion, transport och användning av biobränslen sker utsläpp, och även om dessa i regel är förhållandevis låga så medför det att begreppet neutralitet knappast är relevant. Man kan också tänka sig fall där produktionen och användningen resulterar i nettoupptag av växthusgaser.

Helhetsperspektiv viktigt

För att kunna uppskatta mängden växthusgaser som ett visst biobränsle ger upphov till krävs det att man gör en livscykelanalys eller systemanalys, det vill säga analyserar och beskriver alla växthusgasflöden som kan knytas till hanteringen av detta bränsle under produktion, transport och all annan hantering inklusive användning. För exempelvis energiskog innebär det att man inkluderar utsläpp som härrör från maskiner vid anläggning och skörd av skogen, produktion av kvävegödsel, utsläpp från marken och från förbränning.

Hur marken påverkas spelar många gånger en betydande roll i analysen eftersom produktion och skörd ofta påverkar dess kolförråd. En minskad mängd kol i marken i form av humus betyder att motsvarande mängd tillförs atmosfären som koldioxid. Produktion av biobränslen kan också innebära ökade förråd av kol både i och ovan mark och därmed en motsvarande minskning av koldioxid i atmosfären. Detta kan till exempel gälla produktion av skog på nedlagd åker. Utsläpp av dikväveoxid (lustgas) och metan kan också komma från marken. Den förra bildas särskilt till följd av kvävegödsling och den senare särskilt vid mycket blöt mark.

Systemgränsen kontroversiell

Det är av stor betydelse och många gånger kontroversiellt hur systemgränserna sätts vid analysen. Vid tolkning av data från livscykelanalyser måste man därför alltid fråga sig hur systemet har avgränsats. Ett exempel är tillvaratagandet av avverkningsrester i skogsbruket efter skörd av timmer och massaved. Frågan är om, och i så fall hur, växthusgaser från anläggningen av skogen ska räknas in, eller om de ska kopplas till huvudproduktionen i skogsbruket, det vill säga produktion av timmer och massaved. Ett synsätt är att avverkningsresterna är en biprodukt som inte ska belastas med skogsbrukets utsläpp. Ett annat synsätt är att skogsbrukets utsläpp ska fördelas proportionellt på huvudproduktion och biproduktion. Hur man gör får betydelse för beräkningen av utsläppen av växthusgaser och klimatpåverkan. I sammanställning-

en nedan har vi valt att inte inkludera skogsbrukets utsläpp utan endast räkna med sådana utsläpp som uppstår efter beslutet att tillvarata avverkningsresterna som biobränsle.

Ett annat exempel på hur systemgränserna kan få avgörande betydelse är vid produktion av energiskog på dikad torvmark som tidigare använts som jordbruksmark. Den dikade marken kommer att läcka stora mängder koldioxid (och i vissa fall även lustgas) till följd av dikningen och den tidigare användningen. Ska dessa utsläpp belasta energiskogens utsläpp? Ett vanligt ställningstagande är att endast sådana utsläpp beaktas som är direkt kopplade till energiskogsproduktionen, till exempel koldioxid på grund av torvnedbrytning till följd av underhållna diken, och lustgasutsläpp till följd av kvävegödsling av energiskogen.

Nedbrytning tar olika lång tid

Referensfallet är mycket viktigt, det vill säga vad som skulle hända med biomassan om den inte användes för produktion av värme och elektricitet. Biomassan tar under sin tillväxt upp koldioxid från atmosfären genom fotosyntesprocessen och avger samma mängd då den eldas eller bryts ner. Skörd av biomassa innebär en omedelbar förlust av kol i skogen (kolförrådet ovan mark). Förbränning innebär att förrådet överförs till atmosfären. Om biomassan inte hade skördats och förbränts utan lämnats kvar skulle samma förlust uppstå till följd av

nedbrytning, men detta skulle ha tagit avsevärt längre tid, allt från några år upp till hundra år eller mer beroende på typen av biomassa.

Att säga att utsläppen av koldioxid från förbränning av biomassa vägs upp av emissioner som ändå skulle ha skett vid nedbrytning eller upptag som sker i ny biomassa är därför sant bara om man beaktar utsläppen över en viss tidsperiod. Den tid som behövs skiljer sig åt mellan olika biobränslen. För till exempel halm är tiden kort. Om halmen inte skördas utan lämnas kvar på åkern bryts den ner inom loppet av några få år. Avverkningsrester i skogen och i synnerhet stubbar kräver en avsevärt längre period.

Bättre än fossila bränslen

Baserat på befintlig litteratur har vi gjort en sammanställning av emissionsdata för produktions- och användningskedjorna för ett antal fasta biobränslen. Vi drar slutsatsen att inga av de undersökta biobränslena kan kallas ”klimatneutrala” eftersom samtliga undersökta bränslekedjor resulterar i nettoemissioner av växthusgaser. Men vi drar också slutsatsen att biobränslen generar väsentligt mindre mängder utsläpp av växthusgaser än fossilbränslen gör, och därmed kan användas för att ersätta dessa.

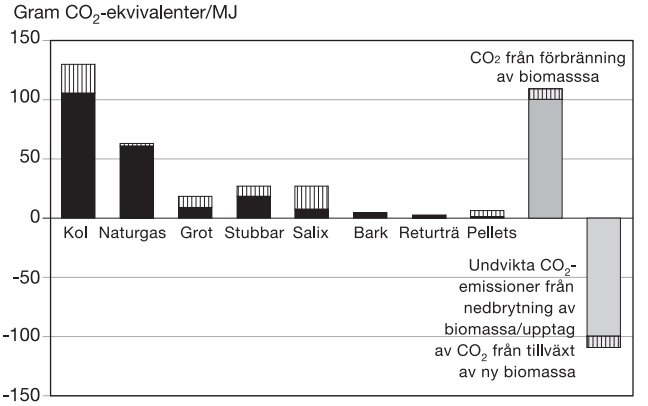
Utsläppen av växthusgaser varierar för olika bränslekedjor beroende på bränsle och hur systemgränserna är

satta i olika studier. Följande faktorer kan bidra signifikant till de totala emissionerna av växthusgaser i produktions- och användningskedjorna för olika biobränslen: produktionssystemets påverkan på markkolet, markskötselmetoder (särskilt på dränerad torvmark), användning av gödselmedel (både direkt och indirekt påverkan på växthusgasemissioner), förbränningtekniken, förädling av bränslet (till exempel pelletstillverkning) samt lagring (särskilt för finfördelade bränslen). Andra källor som också bidrar till emissionerna under en produktions- och användningskedja är skördemaskiner, transporter och avfallshantering.

Biobränslen vinner i längden

Figur 1 visar en sammanställning av nettoemissioner av växthusgaser för de undersökta biobränslekedjorna samt motsvarande emissioner för kol och naturgas. Notera att emissionerna av koldioxid från förbränning är inkluderade för kol och naturgas medan de inte är inkluderade för biobränslena. Det senare beror på att koldioxiden från förbränningen av biobränslena vägs upp av de emissioner som skulle ha ägt rum om materialet istället brutits ned i naturen, eller av koldioxidupptag i växande biomassa som ersätter den som använts som bränsle. Det är dock stor skillnad i utsläppsförloppet mellan förbränningsscenariot och nedbrytningsscenariot/upptagsscenariot. Emissionerna sker direkt vid förbränningen, medan nedbrytningen och upptaget tar många år, årtionden eller till och med längre beroende

på vilket biobränsle man talar om. Detta syns inte i figur 1 som visar en situation där koldioxidutsläppen från förbränning av biobränslen kompenserats av nedbrytning eller upptag. Att redovisa utsläppen på det här sättet innebär att man har olika tidsaspekter för olika biobränslen i samma figur. Resultatet visar dock att det är skillnad i nettoemissioner mellan olika typer av biobränslen och att det finns osäkerheter i uppskattningarna som kan förbättras.



Figur 1. Jämförelse av emissioner från bränslekedjor baserat på data från litteraturen. De två staplarna till höger visar CO_2-emissioner från förbränning respektive nedbrytning av biomassa. Sett över en längre tidsperiod kan dessa två staplar antas vara lika stora. De randiga delarna av staplarna visar variationen mellan olika produktions- och användningskedjor av samma bränsle.

Klimatpåverkan från emissionerna från ett av biobränslena, grot (grenar och toppar), har därför också jämförts med klimatpåverkan från fossila bränslen med hjälp av beräkningar av påverkan på strålningsbalansen. (Med strålningsbalans avses jordens energibalans, det vill säga balansen mellan inkommande och utgående energi). I dessa beräkningar inkluderas såväl emissioner av koldioxid vid förbränning som undvikta emissioner av koldioxid till följd av nedbrytning av biomassan, med hänsyn taget till tidsaspekten.

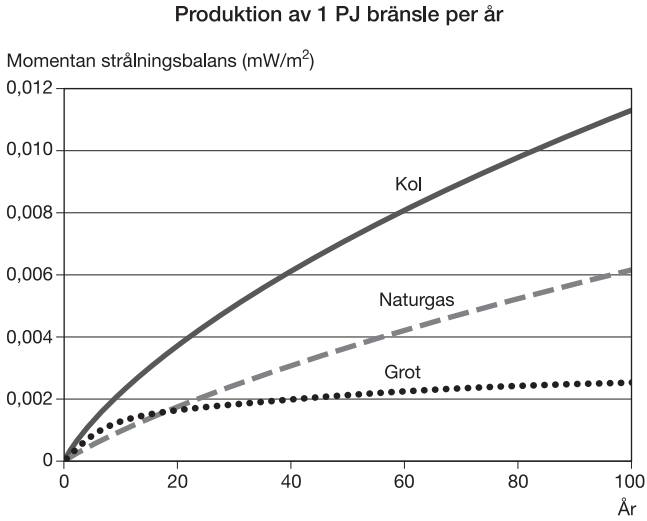
Beräkningarna redovisas i figur 2 och baseras på emissioner under produktion och användning av bränslet. Nollinjen representeras av påverkan från de emissioner som hade skett även om bränslena inte utnyttjats. För kol och naturgas innebär det att kolet respektive gasen hade lämnats kvar i marken och inte utvunnits. För grot innebär det att hyggesresterna hade lämnats i skogen och brutits ner. Detta ger upphov till emissioner av koldioxid under lång tid i en mängd som motsvarar de emissioner som släpps ut vid förbränningen. I figuren ser man att grotscenariot på sikt planar ut; nivån beror till stor del på den tidigareläggning av koldioxidemissionerna som förbränningen innebär. Endast en liten andel beror på hjälpenergi vid uttaget (arbetsmaskiner, flisning och transporter) och den minskning i markkolförrådet man kan förvänta sig till följd av uttaget. Det här betyder att biobränslen med kort omloppstid ger upphov till lägre påverkan på strålningsbalansen

än bränslen med längre rotationsperiod, förutsatt att insatt energi och övrigt är lika.

Resultaten i figur 2 visar att påverkan på strålningsbalansen från grotanvändning är väsentligt lägre än motsvarande påverkan från de fossila bränslena. Vilket tidsperspektiv man ska ha vid bedömning av påverkan på strålningsbalansen till följd av utsläpp är inte självklart. FN:s klimatpanel (IPCC) ger i sin fjärde rapport om klimatförändringarna ingen entydig rekommendation om vilken tidshorisont man ska använda vid jämförelser av växthusgasemissioner genom GWP-faktorer (GWP = Global Warming Potential). Men inom ramen för Kyotoprotokollet används ett hundraårsperspektiv.

Vidare kan man konstatera att ett tidsperspektiv på hundra år inkluderar trögheten i oceanerna och deras inverkan på den globala medeltemperaturen. Dessutom visar kolcykelmodeller att ett hundraårsperspektiv representerar en tidsskala under vilken en betydande del av ett utsläpp av koldioxid har lämnat atmosfären. Detta talar alltså för att man behöver ha ett långt tidsperspektiv vid jämförelsen av olika bränslesystem. Det betyder också att även om den momentana påverkan från grotscenariot är jämförbar med naturgasscenariot under de första 15-20 åren så har det liten betydelse i det långa loppet. Figuren visar också att det finns en väsentlig skillnad mellan biobränslen och fossila bränslen, nämligen att påverkan på strålningsbalansen från de fossila

bränslena stiger kontinuerligt medan den från biobränslescenarierna når en stabil nivå.



Figur 2. Momentan påverkan på strålningsbalansen från bränslekedjor där 1 PJ (petajoule = 10^{15} joule) bränsle produceras och används varje år.

Kontinuerlig kolcirkulation

Att bränsleproduktionssystemen är uthålliga är av stor vikt eftersom det försäkrar en kontinuerlig produktionspotential och kontinuerlig cirkulation av kol mellan växande biomassa och atmosfären som gör att den atmosfäriska koncentrationen av koldioxid inte stiger. Detta gör också att återplantering och uthålligt skogsbruk är mycket viktiga frågor.

En allt större efterfrågan både på biobränslen och biomassa för annan användning gör att nya och intensivare produktionssystem kan komma att utvecklas. Vi anser att det är mycket viktigt att ta hänsyn till både utsläpp av växthusgaser och annan miljöpåverkan när man utformar och skapar förutsättningar för dessa produktions- och användningskedjor.

Figurerna i kapitlet är hämtade från Elforskrapporten "Biobränslen och klimatneutralitet" som publiceras sommaren 2007. I den kan man läsa mer om biobränslen och aspekter på deras klimatneutralitet. Åsikter i rapporten är författarnas och inte nödvändigtvis Elforsks.

Kristina Holmgren är civilingenjör i miljö- och vattenteknik och arbetar på IVL Svenska Miljöinstitutets klimatavdelning. Hon har under de senaste åren arbetat med frågor som berör bränslens klimatpåverkan sett ur livscykelperspektiv, vilket har inkluderat såväl biobränslen som torv och fossila bränslen. Hon arbetar också med frågor som rör styrmedel och åtgärdskostnader på klimat- och energiområdet.

Mats Olsson är professor i skoglig marklära vid Sveriges lantbruksuniversitet. Han forskar och undervisar kring frågor om skogsmarkens egenskaper och användning. Under de senaste åren har fokus varit på hur skogsbruket kan bidra till minskade utsläpp av växthusgaser genom

att producera biomassa som kan ersätta andra produkter, och genom att hantera marken så att utsläppen från den minskar så mycket som möjligt.

Klimatfördelar med att bygga i trä

Finns det klimatfördelar med att bygga hus med trästomme jämfört med att bygga hus med betongstomme? Ja så är det, skriver Leif Gustavsson och redovisar resultat från jämförande analyser av betong- och trähus. Trähus ger mindre koldioxidutsläpp under produktionen. För att till fullo utnyttja klimatfördelarna är det viktigt att restprodukter av trä används som bränsle och ersätter fossila bränslen.

foto: Jens Blixth

Leif Gustavsson, Institutionen för teknik, fysik och matematik, Mittuniversitetet.

Omfattande stadsbränder under 1800-talet i Sverige medförde förbud att uppföra träbyggnader i mer än två våningar. Det förbudet levde kvar till 1994 då den svenska byggnormen förändrades och fokuserades mot att byggnader skulle uppfylla funktionskrav. Därmed blev det möjligt att bygga trähus i fler än två våningar. Men byggsystemen för att bygga sådana trähus hade till skillnad från andra byggsystem inte utvecklats på mer än hundra år, och träbyggandet i flera våningar tog därför inte fart i och med lagändringen. I Nordamerika däremot uppförs merparten av alla tre- till femvåningshus med trästommar.

Ett flertal större projekt pågår nu för att utveckla träbyggandet i Sverige, bland annat i Falun, Skellefteå och Växjö. Det verkar finnas stor potential att utveckla träbyggnadssystem för flerbostadshus i Sverige. En intressant fråga är om det kan finnas klimatfördelar med att bygga i trä. Går det åt mindre energi för att producera ett trähus jämfört med ett betonghus? Blir nettosläppen av koldioxid mindre? Det är komplexa frågor som inrymmer flera osäkerheter, och förhållandevis lite forskning är genomförd på området.

Trähus jämförs med betonghus

I det här kapitlet diskuterar vi om nettosläppen av koldioxid blir olika om vi producerar ett trähus jämfört med ett betonghus. Vi utgår från studier som gjorts av ett av de först uppförda flerbostadshusen i trä efter det

att byggnormen förändrades 1994. Flerbostadshuset är uppfört i Växjö som en del i Välluddenprojektet. Byggnaden består av fyra våningar med totalt sexton lägenheter och en total boendearea om 1 190 kvadratmeter. Ett identiskt hus med betongstomme har projekterats och kostnadsberäknats. De båda husen ger samma boendeservice och samma energianvändning under bruksskedet. Skillnaden mellan husen är att olika stommaterial har använts och de följdförändringar det medför till exempel vad gäller ljudisolering.

Att ett hus byggs med ett visst stommaterial innebär inte att byggnaden bara innehåller det materialet. En träbyggnad innehåller även betong, till exempel i grundläggningen, och en betongbyggnad kan innehålla trä i till exempel väggar, tak, golv och dörrar. Syftet är alltså inte att bygga helt i trä eller betong, utan att för en träbyggnad prioritera trä och för en betongbyggnad prioritera betong. I tabell 1 redovisas de mängder av olika material som ingår i betongbyggnaden respektive träbyggnaden i Välludden. Vi har förutsatt att båda byggnaderna har en livslängd på hundra år.

Trä ger mindre koldioxid av fyra skäl

Vid användning av träbaserade produkter istället för betong minskar nettoutsläppen av koldioxid av fyra skäl: 1) tillverkning av träprodukter kräver generellt mindre energi än tillverkning av betong, 2) restprodukter av trä kan ersätta fossila bränslen, 3) kol lagras i trä-

Tabell 1. Ingående material i betong- och träbyggnaden (ton lufttorkat material)

Material	Trästomme	Betongstomme
Trä	59	33
Spånskivor	18	17
Plywood	21	20
Betong	223	1 350
Lättklinkerblock	4	4
Murbruk	24	23
Gipsskivor	89	25
Stål	16	25
Koppar/zink	0,6	0,6
Isolering	21	9,9
Makadam/grus	315	315
Glas	4	4
Papper	2	2
Plast	2	2
Fogmassor	4	4
Målarfärg	1	1
Keramiska plattor	1	1
Porslin	0,6	0,6
Apparater	3	3

materialet som fungerar som kolsänka, och 4) cementtillverkning medför koldioxidutsläpp. Vid en jämförelse mellan betong- och trähus är det därför viktigt att beakta:

- hur användningen av energi skiljer sig åt för att producera husen inklusive tillverkning av ingående material och produkter

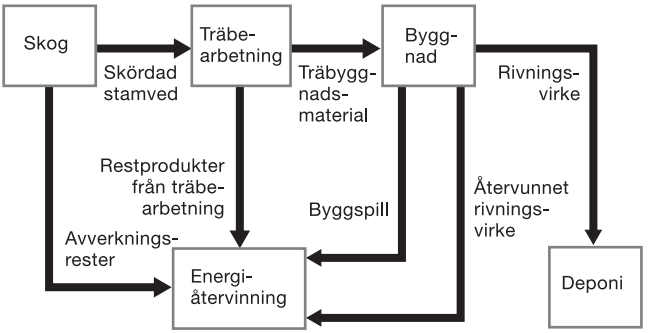
- mängden restprodukter från skogsavverkning, träindustri och vid rivning av byggnaden som är tillgängliga för att ersätta fossila bränslen
- mängden kol lagrat i träprodukter
- utsläpp av koldioxid från tillverkningen av cement och återbindning av koldioxid vid betongvittring

Från naturresurs till färdigt hus

För att uppföra ett hus behövs en mängd olika material, som framgår av tabell 1. För att producera dessa material fordras ett antal materialsystem som börjar med utvinning av naturresurser och slutar med färdiga material i byggnaden. För att beräkna koldioxidbalanser behöver hela materialkedjor beaktas, inklusive de transporter som ingår. För att omfatta hela livscykeln av en byggnad måste också rivningsfasen och omhändertagandet av rivningsmaterialet beaktas.

I figur 1 visas ett schematiskt flödesschema för trä – från skog via byggmaterial och till rivningsvirke. För att beräkna den mängd stamved från skogen som går åt för att producera träprodukterna i en byggnad behövs det kunskap om med vilken effektivitet stamveden kan skördas och omvandlas till träprodukter som plankor och bräder, och vilket spill det blir på byggarbetsplatsen och vid transporter. Med kunskap om mängden stamved som behövs är det möjligt att beräkna mängden biomassa i bark, grenar, toppar, stubbar och rötter och därmed är det möjligt att beräkna flödet av biomassa

och de biologiska kolflödena. Den energi som går åt för skogsbruk, transporter och förädling av biomassan kan sedan beräknas.



Figur 1. Schematiskt flöde av trämaterial över en byggnads livscykel.

Vid ett hållbart skogsbruk med en rotationsperiod på hundra år kommer skogen att vara återväxt då byggnaden rivs efter hundra år. Det innebär att den mängd skog som har skördats för att framställa träprodukter till byggnaden har återväxt så att den levande mängden biomassa är lika stor som när huset uppfördes. Det innebär att kollagren i den levande biomassan inte förändras över byggnadens livscykel. I själva byggnaden lagras kolet temporärt. När byggnaden är riven kan den inte längre lagra något kol.

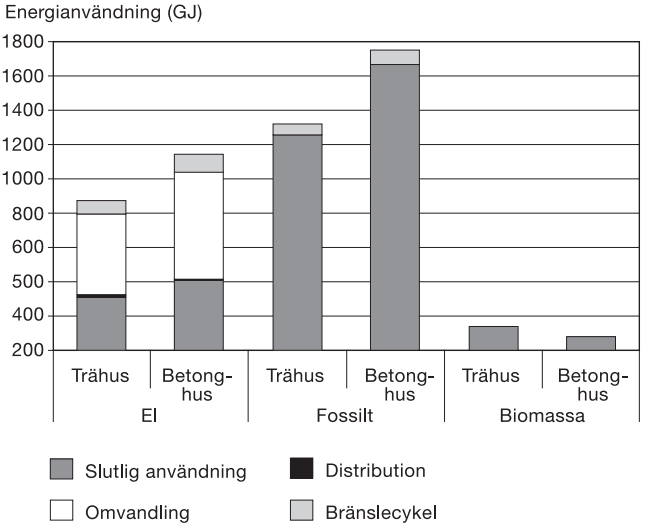
Mindre energi för att producera ett trähus

Primärenergianvändningen för att producera betong-

och träbyggnaden i Välludden redovisas i figur 2. Data över den slutliga energianvändningen för att producera byggmaterialen är baserade på en norsk studie. Primärenergianvändningen har sedan beräknats genom att beakta förluster i energitillförselsystemet, såsom omvandlings- och distributionsförluster. Det innebär att man tar hänsyn till hela energisystem från naturresurs till producerad elektricitet, värme och transportbränsle, inklusive utvinning, transport, distribution och förädling av bränslen.

Det framgår av figur 2 att det går åt en väsentligt mindre mängd primärenergi för att producera ett trähus än ett betonghus. Men åtgången av biobränslen är förstås större för träbyggnaden. Energiåtgången på byggarbetsplatsen för att uppföra ett betonghus eller trähus är i ungefär samma storleksordning och finns inte med i figuren.

Med dagens energistandard på hus dominerar energianvändningen i brukarfasen över energianvändningen för att producera en byggnad. I framtiden med väsentligt mer energisnåla hus kommer energianvändningen för att producera husen att jämförelsevis öka i betydelse. Energianvändningen under byggnadernas brukarfas och därtill hörande koldioxidutsläpp är ungefär lika stora för betonghuset och trähuset i Välludden. Skillnaden har beräknats till mindre än en procent.



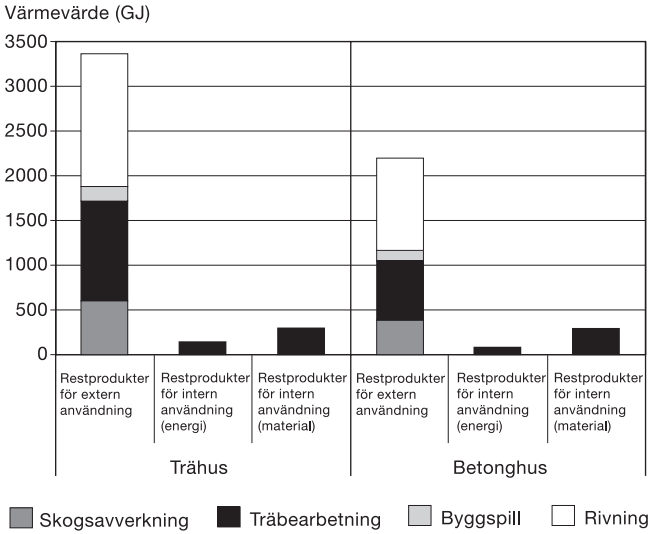
Figur 2. Primärenergianvändning i gigajoule (GJ) för att producera och transportera material och produkter till betong- och trähuset.

Mer restprodukter vid träbyggande

Mängden restprodukter från skogsavverkning, träbearbetande industrier, byggspill och från rivningen av byggnaderna är omfattande och kan användas för att ersätta fossila bränslen. I figur 3 redovisas nettoenergi i dessa restprodukter när energianvändningen för att utvinna och transportera dem har beaktats. Som jämförelse redovisas också mängden bioenergi som används internt för att producera träprodukterna, och mängden råmaterial som behövs för att tillverka spånskivorna som används i byggnaderna. Det framgår av figuren att väsentligt mer restprodukter är tillgängliga när man bygger i trä än när man bygger i betong.

Mindre koldioxidutsläpp för att producera trähus än betonghus

Skillnaden i nettoemissioner av koldioxid mellan att producera ett betonghus och ett trähus beräknat över deras livslängd framgår av figur 4. Staplarna visar hur mycket högre koldioxidutsläppen är från produktionen av betonghuset än från produktionen av trähuset. De lägre emissionerna för trähuset beror på att mindre mängd fossila bränslen går åt för att producera trähuset, att mer fossila bränslen kan ersättas med träbase-

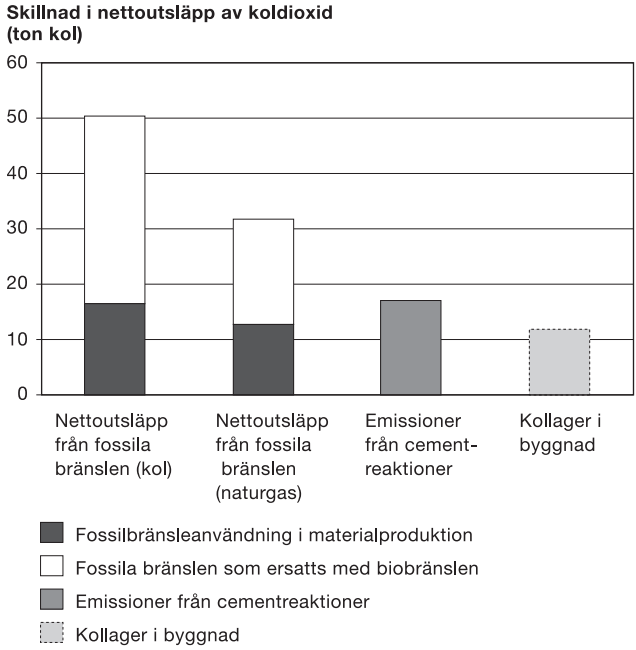


Figur 3. Figuren visar mängden träbaserade restprodukter från skogsavverkning, träbearbetande industrier, byggspill och från rivningen av husen – i gigajoule (GJ) efter avdrag för den energi som används för att utvinna och transportera restprodukterna.

rade restprodukter, att mindre mängd cement behövs vilket minskar koldioxidemissionerna från cementtillverkning, samt att den temporära kollagringen är högre för träbyggnaden. Vid vittring av betong återbinds koldioxid genom karbonatisering vilket har beaktats i beräkningen. Två olika scenarier med kol respektive naturgas som referensbränsle finns redovisade i figuren.

Av figuren framgår betydelsen av att utnyttja träbaserade restprodukter för att ersätta fossila bränslen (den vita delen av de två staplarna till vänster). Över livscykeln för ett trähus kan nettoutsläppen av koldioxid vara negativa genom att mer utsläpp från fossila bränslen kan undvikas genom att utnyttja de träbaserade restprodukterna än vad som släpps ut vid produktionen av trähuset. Om inte restprodukterna används tappar trähuset en del av sin klimatfördel jämfört med betonghuset.

Kollagring i en byggnad har bara temporär betydelse. Den temporära kollagringen i byggnadens trämaterial har ingen betydelse för koldioxidutsläppen över byggnadens livscykel. Men om det totala antalet träbyggnader ökar så kommer kollagringen i byggnader att öka så länge mer trä byggs in i nya byggnader än vad som frigörs genom rivning av befintliga byggnader.



Figur 4. Staplarna visar hur mycket större nettoutsläppen av koldioxid är från produktionen av betonghuset jämfört med trähuset. Figuren redovisar koldioxidutsläpp från fossila bränslen där antingen kol eller naturgas används för att producera el för att tillverka byggnadsmaterialen (svart), där restprodukter av trä antingen ersätter kol eller naturgas (vitt), från tillverkningen av cement med beaktandet av koldioxidupptag vid betongvittring (mörkgrått), samt temporär kollagring i byggmaterial (ljusgrått).

Klimatfördelar med trähus

Blir nettoutsläppen av koldioxid generellt lägre om vi bygger trähus jämfört med betonghus? Figur 4 visar på klimatfördelar med att bygga i trä för ett flerbostadshus.

Men den exakta mängden material i ett hus varierar med hur husen är utformade och vilka konstruktionslösningar som väljs. Primärenergianvändningen för att producera de ingående materialen beror av på vilket sätt materialen produceras. Men osäkerhetsanalyser visar att inom ett brett område av variation så har trähus lägre nettoutsläpp av koldioxid än betonghus. Parametrar som har varierats är till exempel hur effektivt cementen produceras, hur effektivt trävirket torkas, typen av cement och ballastmaterial, graden av återanvändning av stål, tranportavstånd, hur stor del träbaserade restprodukter som utnyttjas för att ersätta fossila bränslen och vilken typ av fossilt bränsle som ersätts. Flera internationella studier visar också på klimatfördelar med att bygga trähus.

Byggkostnaden för trähuset i Välludden har beräknats vara lägre än för betonghuset. Det innebär att byggandet av trähus kan ge minskade utsläpp av koldioxid utan att ekonomiska nackdelar behöver uppstå. De lägre utsläppen av koldioxid och den mindre användningen av primärenergi för trähus innebär också att ekonomiska styrmedel som belastar koldioxidutsläpp och/eller energianvändningen stärker trähusens konkurrenskraft. Att utnyttja skog för att bygga trähus ger också ett högt förädlingsvärde.

Leif Gustavsson är professor i ekoteknik vid Mittuniversitetet. Han forskar om energi- och materialsystem och särskilt hur biobaserade system kan utformas och implementeras för att effektivt minska utsläppen av växthusgaser och användningen av fossila bränslen.

Framtidens energisystem – vikten av att välja rätt styrmedel

Det är troligt att biobränsle kommer att få stor betydelse för övergången till ett mer hållbart globalt energisystem och även vara en viktig del av ett sådant. Men det är mindre troligt att biobränslen är den universella räddare som det ibland utmålas som i Sverige. Med rätt val av teknikneutrala styrmedel har vi möjlighet att lämna dörrarna öppna för bättre framtida teknik och ett effektivt bioenergisystem, skriver Åsa Löfgren.

Åsa Löfgren, Institutionen för nationalekonomi med statistik, Göteborgs universitet.

I juni 2006 lade Kommissionen mot oljeberoende fram sin slutrapport. I den kan man läsa att kommissionen föreslår att Sverige kraftigt ska reducera sitt oljeberoende genom att i kombination med energieffektiviseringar framför allt satsa på biobränslen som ersättning till fossila bränslen i industrin, el- och värmesektorn samt i transportsektorn. De senaste årens stormar, översvämningar, torka och ökande globala medeltemperaturer har starkt bidragit till att den globala klimatförändringen idag har en självklar plats på den politiska agendan.

Många miljöproblem orsakas av bristen på väldefinierade äganderätter. Många av våra resurser som ren luft, sjöar och hav har av tradition inte haft någon tydlig ägare. I fallet med klimatförändringen betyder det att vem som helst kan släppa ut koldioxid utan att behöva ta hänsyn till de negativa effekter det har på det globala klimatet. Myndigheter (nationellt och internationellt) har dock många möjligheter att påverka företag och medborgare att reducera utsläppen till den nivå man finner lämplig.

I nationalekonomi brukar man prata om optimala utsläppsnivåer. Med det menas de nivåer på utsläpp då kostnaden för utsläppet är lika stor som den positiva effekt utsläppet har. En första tanke kan möjligen vara att det inte finns några positiva aspekter med utsläpp, men vi vill alla ha mat, kläder och en hel del andra

konsumtionsvaror, och produktion av dem ger upphov till någon form av utsläpp. Den stora frågan är hur mycket utsläpp vi kan tänka oss, vilket bland annat beror på effekterna av utsläppet (är det en mycket farlig substans eller ett utsläpp med små effekter?) och vilken produktionsteknik som finns tillgänglig.

Olika styrmedel

En första svår fråga är alltså att besluta sig för hur mycket utsläpp vi är villiga att acceptera. Efter det måste man överväga vad det finns för möjligheter att ”styra” företag och individer så att de inte släpper ut mer än det. Troligen kommer man fram till att det finns många sätt att nå en viss utsläppsnivå. Men finns det något sätt som är bättre än de andra? De vanligaste verktygen, så kallade styrmedel, som myndigheter har för att påverka företag och individer är ekonomiska styrmedel, regler och information. Men det finns också andra typer av styrmedel att tillgå, till exempel investeringsbidrag.

Med ekonomiska styrmedel kan man sätta ett pris på utsläppen, till exempel i form av en koldioxidskatt. När utsläppen får ett pris tar företag och individer hänsyn till kostnaden när de gör sina produktions- och konsumtionsval. Ofta innebär det att utsläppen minskar genom bland annat effektiviseringar, rening och bränslebyten. Enkelt uttryckt – när priset på en vara går upp vill man eller kan man inte köpa lika mycket. Typiska

ekonomiska styrmedel är skatter, handel med utsläppsrätter och subventioner.

Beroende på situationen passar olika styrmedel olika bra. De har olika effekter på exempelvis kostnader för företag, investeringsvilja och attityder, och de fungerar också olika bra under osäkerhet. Ofta finns det stora osäkerheter, både när det gäller företagens reningskostnader och vilken miljöskada utsläppen kan få. Innan man väljer styrmedel och lämplig utsläppsnivå bör man göra en analys av kostnader och fördelar med utsläppen (cost/benefit-analys eller kostnads/nyttoanalys) samt fördelar och nackdelar med olika styrmedel.

Omöjlig ambition

Ibland är det dock inte politiskt möjligt att nå de utsläppsnivåer som man anser är lämpliga. I hög grad gäller detta för klimatförändringen. De flesta forskare är överens om att drastiska reduktioner i koldioxidutsläpp (50–90 procent) måste till för att stabilisera klimatet, men i realiteten är det mycket svårt att få länder att samarbeta för att reducera utsläpp om det påverkar exempelvis den ekonomiska tillväxten negativt.

Sverige har på många sätt varit ett föregångsland i att minska miljöfarliga utsläpp, även om mycket mer kan göras. Den ökade kunskapen om effekterna av koldioxidutsläpp och Sveriges tillgång på skog har under det senaste decenniet varit starkt bidragande orsaker

till ambitionen att reducera användningen av fossila bränslen genom att öka användningen av biobränsle. Syftet med att öka andelen biobränslen i det svenska energisystemet är inte enbart att reducera koldioxidutsläpp. Det handlar också om energisäkerhet, att minska oljeberoendet i kombination med att utnyttja den nationella naturresursen skog.

De styrmedel som för närvarande har en effekt på användningen av biobränsle är framför allt koldioxidskatt, handel med utsläppsrätter och gröna elcertifikat, samt investeringsprogrammen Lip (Lokala investeringsprogram) och Klimp (Lokala klimatinvesteringsprogram).

Miljöskatter

Skatt på olja introducerades redan under 1970-talet, och det medförde substitution från olja till framför allt kol, biomassa och elektricitet. År 1991 infördes en koldioxidskatt som motsvarade 0,25 kronor per kilo koldioxid, samt skatt på svavel. Samtidigt minskade energiskatten med 50 procent. (Syftet med energiskatten är framför allt att generera skatteintäkter medan koldioxidskatten primärt har ett miljöstyrande motiv.) Detta var del av en grön skatteväxling där målet var att sänka inkomstskatten finansierat med högre miljöskatter.

En oro över konkurrensvillkoren för svensk produktion har drivit fram undantag och nedsättningar av kol-

dioxid- och energiskatten. Att skydda egen produktion är inte ovanligt i Europa, exempelvis har Norge, Danmark och Schweiz genomfört nedsättningar av koldioxidskatten för industrin. År 1993 befriades den svenska industrin helt från energiskatt och koldioxidskatten sänktes. Därefter har koldioxidskatten justerats uppåt ett flertal gånger. På grund av införandet av handel med utsläppsrätter har koldioxidskatten minskat för den handlande sektorn (se nedan). Regeringen uttryckte en ambition i budgetpropositionen (2005) att på sikt fasa ut koldioxidskatten för den handlande sektorn.

Hur påverkar då koldioxidskatten biobränsleanvändningen? Jo, genom att koldioxidskatten läggs på priset på fossila bränslen blir det mer intressant att använda biobränslen istället för olja och naturgas. Biobränslen blir relativt sett billigare jämfört med de fossila bränslena. Den ökande efterfrågan kommer att bidra till ökat pris på biobränslen och större konkurrens om bioråvaran, och därmed större användning. Även om syftet med koldioxidskatten inte är att premiera biobränslen (primärt ska den stimulera till minskade utsläpp av fossila koldioxidutsläpp), så blir detta fallet i Sverige där vi har stor tillgång till skog. En stor fördel med koldioxidskatten är att den är teknikneutral. Genom att sätta ett pris på koldioxid skapar man vilja hos företagen att utveckla mer energieffektiv teknik och förhoppningsvis undersöka helt ny teknik. Koldioxidavskiljning är en sådan spännande relativt ny teknik

som är under utveckling. Denna teknik gör det möjligt att avskilja koldioxidutsläpp från exempelvis ett kolkraftverk och man kan sedan lagra dessa utsläpp djupt ner i marken (speciella sedimentskikt), vilket gör att kolkraftverket inte skulle bidra till klimatförändringen. Denna typ av teknik är av stor vikt speciellt eftersom många länder har tillgång till billigt kol (exempelvis Kina) vilket betyder att man kommer att bygga kolkraftverk under en lång tid framöver i många länder. Man får dock betrakta koldioxidavskiljning som en övergångsteknik (på lång sikt) eftersom man inte kan lagra hur mycket koldioxid som helst i marken. Under ungefär hundra år skulle dock tekniken kunna ha avgörande betydelse för att stabilisera vårt klimat.

Koldioxidskatten styr alltså från användning av fossila bränslen, men vad som kommer istället är upp till företagen att välja. Företag har förmodligen en bättre kunskap om teknikmöjligheter än myndigheter och därför ses ofta teknikneutralitet hos ett styrmedel som något positivt.

Elcertifikat

Elcertifikat har bidragit till att produktionen av el från biobränsle har ökat de senaste åren, eftersom certifikaten har satt en minimigräns för förnybar energi. Elproducenter får ett elcertifikat (alltså en form av subvention) för varje megawattimme förnybar el som produceras. Elcertifikaten säljs till elkonsumenter som är

skyldiga att handla en viss kvot förnybar el. Idén med certifikaten är att de ska styra mot förnybara energikällor och inte specifikt biobränsle, det vill säga elcertifikaten är teknikneutrala så länge det är frågan om förnybar energi.

Genom de första årens utformning av elcertifikatssystemet, som hade en relativt kort livslängd, blev elproduktion från biobränsle det som gynnades av certifikatshandeln. Eftersom det var osäkert om systemet skulle finnas kvar efter 2010, ledde det till att investeringar i nya anläggningar och ny teknik som var helt avhängig elcertifikatssystemet för att vara lönsam har missgynnats, exempelvis vindkraft. Detta var extra olyckligt då tanken med systemet var att stimulera till ny teknik. Enligt nya regler kommer dock certifikatssystemet att finnas kvar till 2030, vilket alltså kommer att gynna fler tekniska lösningar som genererar förnybar el.

Handel med utsläppsrätter

I januari 2005 infördes handel med utsläppsrätter (EU Emissions Trading Scheme). I handelsrättssystemet ingår energisektorn, produktion och bearbetning av metaller, mineralindustrin samt pappers- och massaindustrin. Med ett gemensamt namn kallas de den handlande sektorn. När det gäller styrning mot biobränsle fungerar handel med utsläppsrätter på ett liknande sätt som koldioxidskatten. Handel med utsläppsrätter sätter ett pris på koldioxid och styr därför bort från användning av fossila

bränslen. Den stora skillnaden jämfört med koldioxidskatten är att handel med utsläppsrätter också fungerar som en reglering genom att sätta ett tak på koldioxidutsläpp. Utsläppshandeln omfattar till skillnad från koldioxidskatten även elproduktion.

Handel med utsläppsrätter debatterades flitigt i medierna under hösten 2006 och våren 2007. Mycket kritik har riktats mot att systemet inte skulle fungera, och det finns naturligtvis både nackdelar och fördelar med ett sådant här system. Det skulle kräva ett eget kapitel för att belysas detta på ett rättvisande sätt. Så mycket kan dock sägas att år 2005 sattes utsläppstaket och vi visste därför redan 2005 vad nivåerna på utsläppen skulle bli åren 2005–2007. Det är alltså ingen nyhet att utsläppen är stora jämfört med vad som skulle behövas för att stabilisera klimatet. Intentionen med den första perioden är dock att den ska vara en prövoperiod, och det viktigaste är att systemet finns på plats och att alla inblandade får tid att lära sig hur det fungerar. Detta indikerar att handel med utsläppsrätter är ett administrativt komplicerat system som kostar mycket tid och resurser för både företag och myndigheter.

Investeringsprogrammen Lip och Klimp

Att företag investerar i renare teknik som finns tillgänglig och dessutom vågar satsa på ny teknik är av största vikt för att många miljöproblem ska kunna lösas. Tron på att ny teknik ska lösa miljöproblem är

extra tydlig i fallet med klimatförändringarna. Som nämnts är en av fördelarna med ekonomiska styrmedel att de skapar vilja (incitament) hos företag att investera i renare teknik. Hur mycket beror bland annat på priset på koldioxid; vid låga priser är viljan lägre än vid höga koldioxidskatter.

För att företag ska våga satsa på osäker ny teknik behövs det därför kompletterande styrmedel till exempelvis skatter eller handel med utsläppsrätter. Exempel på sådana styrmedel kan vara forsknings- eller investeringsstöd såsom lokala investeringsprogram (LIP) som infördes 1998 och pågick till 2002 då det ersattes av klimatinvesteringsprogram (Klimp). De två investeringsprogrammen har sett lite olika ut, men ett av syftena har varit att gynna användningen av förnybara råvaror (energiomställning till förnybar energi). Investeringsprogrammen har fungerat genom att staten delfinansierat investeringar gjorda av kommuner, företag och andra aktörer. Programmen har reducerat koldioxidutsläppen. Det är också sannolikt att de har bidragit till investeringar som har gynnat användningen av biobränsle, även om den totala effekten på biobränsle i energisystemet fortfarande är osäker eftersom Klimp fortfarande pågår.

Framtiden – vad vill vi egentligen?

Den senaste tidens diskussioner har handlat mycket om att man ska satsa på biodrivmedel i större skala i

transportsektorn. Under en övergångsperiod till och med 2020 kan det vara viktigt att ersätta bensin med bioråvara, det vill säga en infasning av biobränsle i transportsektorn. Men det är tveksamt om det är bra att satsa för mycket resurser på de så kallade första generationens biodrivmedel (biodrivmedel från svenska jordbruksgrödor såsom spannmålsetanol). Däremot kan det vara viktigt att satsa på andra generationens biodrivmedel såsom DME och metanol (producerade via förgasning).

Hårda framtida klimatåtaganden – att radikalt minska koldioxidutsläppen – där också priset på fossila bränslen i transportsektorn stiger globalt skulle kunna öka efterfrågan på biobränsle och skapa utrymme för en global handel med biobränslen, till olika förädlingsgrad. Detta skulle sannolikt inte räcka för att skapa en stor användning av biobränslen i transportsektorn, utan det kommer att krävas ytterligare styrmedel såsom drivmedelscertifikat som skulle fungera på ungefär samma sätt som dagens elcertifikat.

Idag är det viktigare än någonsin att fundera på styrmedels teknikneutralitet. Genom att använda drivmedelscertifikat eller på andra sätt direkt premiera biodrivmedel styr man även framtidens teknik inom transportsektorn. Om vi vill att energieffektivare teknik och ny teknik såsom vätgasbilar ska bli en framtida möjlighet är det viktigt att behålla teknikneutraliteten.

Det finns en mängd ytterligare argument för och emot en större användning av biobränslen i det globala energisystemet som tyvärr ligger utanför diskussionen i det här kapitlet. Det är troligt att biobränsle kommer att få stor betydelse för övergången till ett mer hållbart globalt energisystem och även vara en viktig del av ett sådant, men det är mindre troligt att bioenergi är den universella räddare som det ibland utmålas som i Sverige. Med rätt val av styrmedel har vi också möjlighet att lämna dörrarna öppna för om möjligt bättre framtida teknik och ett effektivt bioenergisystem.

Åsa Löfgren är doktor i nationalekonomi på Göteborgs universitet och innehar en post doc-tjänst finansierad av Mistras klimatprogram (Clipore). Hon har studerat ekonomiska styrmedel ur olika aspekter och fokuserar för närvarande på vad som förklarar företags miljöinvesteringar och vilken roll styrmedel spelar för dessa. Nyligen avslutade hon en rapport om framtidens biobränslemarknad.

Ny storindustri kräver politisk skicklighet

Om EU-målen för biobränsleanvändning ska uppnås måste reglerna vara så konstruerade att de verkligen stödjer tillväxten av tillräckligt stora industrier. Planerna kräver att investeringar i storleksordningen 1000 miljarder euro ska göras i utveckling av bioenergi. Då är det viktigt att välja styrmedel som inte skapar onödiga osäkerheter och kostnader, skriver Tomas Kåberger. Utifrån experiment i olika europeiska länder kan man nu börja dra slutsatser om hur olika styrmedel fungerar.

Tomas Kåberger, Internationella institutet för industriell miljöekonomi, Lunds universitet.

Övergången från fossila bränslen till förnybar energi och biobränslen begränsas inte av att de fysiska tillgångarna är för små. Inte heller saknas teknik för att nyttiggöra energi i biomassa. Det är dessutom lönsamt att öka användningen av förnybar energi med dagens priser på fossil energi. Med de spelregler som sätts upp kan lönsamheten till och med framstå som enorm. Men fortfarande är utvecklingen långsam i förhållande till EU:s mål, och den globala efterfrågan på energi och utmaningen att hindra dyrbara klimatförändringar kräver kanske ännu snabbare utveckling. Men det finns förklaringar till att de som har ekonomiska resurser att bygga ett hållbart energisystem ännu tvekar. Flera av de förklaringar som går att identifiera går också att undanröja. Det går därmed att få utvecklingen att ta fart!

Sedan flera år finns det ett brett samhälleligt stöd för att öka användningen av förnybar energi. Användningen av fossila bränslen har medfört utsläpp av försurande, hälsovådliga och klimatstörande ämnen. Dessutom blir de fysiska resurserna allt mindre i takt med att jordens lager bränns upp. På liknande sätt finns det samhälleliga kostnader för kärnkraft i form av bland annat rutinutsläpp av radioaktiva ämnen och problem kring spridning av kapacitet att framställa kärnvapen.

Problemen med de förhärskande energisystemen är viktiga men inte de enda motiven för att öka använd-

ningen av förnybar energi. Flera olika styrmedel har prövats, bland annat miljöskatter, subventioner, elcertifikat och handel med koldioxidutsläpp.

Miljöskatter bra grund för investeringsbeslut

Ekonomisk teori utvecklades redan på 1920-talet som förklarar hur miljöförstörande utsläpp är en kostnad som försummas av naturliga marknader och att konsekvensen blir alltför stora utsläpp och samhällsekonomiska förluster. Man visade också att sådana utsläpp kan begränsas till en lagom nivå genom miljöskatter så att den som styr utsläppen tar hänsyn till de skador som utsläppen orsakar för andra människor. Miljöskatter som metod att begränsa miljöförstörande utsläpp har sedan fått ytterligare stöd från ekonomisk teori för optimal finansiering av offentliga utgifter. I brist på internationell makt över en internationell marknad har denna möjlighet sällan använts. Men den används i Sverige, särskilt i sektorer som inte utsätts för internationell konkurrens.

Genom miljöskatter blir mindre miljöskadliga alternativ lönsamma att använda. Entreprenörer som utvecklar de nya alternativen drabbas inte av några administrativa kostnader orsakade av styrmedlet självt utan behöver bara bry sig om att tillfredsställa kundernas önskemål. Miljöskatter framstår också som stabila eftersom de sällan sänkts. Därmed har företagen möjlighet att använda miljöskatter som underlag för investeringsbeslut.

Man vågar besluta om investeringar som behöver fem till tio år för att betala tillbaka de investerade pengarna, med siffror som innehåller miljöskatterna som en del av kalkylen.

Bidrag som investering i billigare teknik

Det finns en annan typ av argument för ökad användning av ny teknik för hållbar energiförsörjning. Bioenergiteknik, vindkraftteknik och solfångarteknik har förutsättningar att bli mycket billigare att använda än de är idag. Potentialen är störst för solel och större för vindkraft än för bioenergiomvandling – men den finns för alla tre.

Genom att inledningsvis subventionera industriell verksamhet kan man successivt sänka kostnaderna och bygga upp erfarenhet och en industriell produktion i stor skala. Det kan leda till energilösningar som är billigare än dagens etablerade teknik. Subventionen blir därmed en samhällelig investering som betalas tillbaka genom att alla sedan får billigare energi. Detta motiverar subventioner av ny teknik i form av investeringsbidrag eller i form av högre, men successivt sänkta prispremier på produktionen från anläggningar med ny teknik.

Politisk oskicklighet

Även om de politiska beslutsfattarna har ambitionen att åstadkomma rätt drivkrafter har det många gånger blivit så att styrmedlen motverkat uppbyggnaden av

industriell kapacitet. Det svenska stödet till solvärmeindustrin är ett exempel på hur stödsystem motverkar industriell utveckling. Under 1980- och 1990-talen infördes flera gånger investeringsstöd för dem som installerade solfångare för varmvattenproduktion. Stödreglerna gav investerarna rätt till bidrag ur statsbudgeten för installationer, och i budgeten avsattes ett visst belopp för utbetalningar enligt reglerna.

Bidragen var i allmänhet så stora att efterfrågan växte kraftigt. Leverantörerna ökade sin verksamhet. De lånade pengar, investerade i utrustning, anställde och utbildade nya medarbetare. Efter några månader hade dock populariteten hos bidragen gjort att de budgeterade pengarna tagit slut och inga mer bidrag kunde betalas ut. Efterfrågan sjönk. Eftersom välvilliga politiska talesmän sade att man skulle försöka avsätta nya pengar i nästa budget sjönk efterfrågan till noll. Inte ens de som kunde tjäna pengar på att bygga solfångare utan bidrag köpte nu. Man väntade hellre till dess bidragen återinförts. De företagare som skulle avlöna sin personal och betala räntor på lånen fick bekymmer. Företag gick i konkurs och lades ner, ibland med allvarliga ekonomiska konsekvenser för de entreprenörer som satsat på att göra det politikerna hade sagt borde göras.

Dåliga stödsystem av denna typ upprepades nyligen för konvertering till hållbara värmesystem i bostäder och för miljöbilar. Företagare som ser riskerna med dessa

system undviker problemen genom att ta ut så höga priser av kunderna att de kan hantera nedgången då subventionen upphör. Det är också möjligt för utländska leverantörer som har andra huvudmarknader att ge sig in och leverera till en marknad med kortsiktiga subventioner, för att sedan dra sig ur landet då subventionen upphör.

Nya marknadsrisker med nya styrmedel

Under de senaste åren har några styrmedel introducerats som kombinerar planekonomiska mål med marknadsekonomiska medel. Viktiga exempel är det europeiska systemet för handel med koldioxidutsläpp och de nationella systemen för obligatoriska kvoterade elcertifikat. Systemens ekonomiska teori är att sedan politiska beslut lagt fast mål för utsläppsminskningar eller ökning av elproduktion, är handel med utsläppsrätter eller produktionskvoter ett teoretiskt effektivt sätt att nå målen till lägsta kostnad. Eftersom det är fråga om att för dagen optimera driften i existerande anläggningar är detta relevant. Ur en investerares perspektiv har systemen andra betydande egenskaper, sådana som i praktiken förtar en del av den teoretiska effektiviteten. För den som överväger att investera i teknisk utveckling och byggandet av företag likaså. För att investera i anläggningar är osäkerheter om framtida priser viktiga därför att de innebär risk för att investeringarna blir olönsamma och att investerarna därmed förlorar alla sina pengar – även om bankerna ofta får igen sin del av kapitalet.

Genom system för kvothandel införs ytterligare en marknadsrisk. Den är ofta större än prisrisken för vanliga varor eftersom efterfrågan är planekonomiskt bestämd och priset faller till noll när det blir överutbud och kan bli högt om det är brist. Den stora prisrisken gör att investerarna måste kompensera den höga risken med krav på en förväntat hög vinstnivå innan beslut fattas. Priserna för konsumenterna blir därmed högre än om värdet av utsläppsminskningar eller nyproduktion varit förutsägbar.

För den som överväger att bygga upp en industriell verksamhet är också systemens negativa återkoppling en viktig avskräckande faktor. Om man lyckas väl med att sälja till exempel solceller i stor skala så överträffas planmålet – och då blir produktionskvoterna värdelösa! Om man lyckas utveckla teknik för att reducera koldioxidutsläpp från kolkraftverk i stor skala, då försvinner också lönsamheten genom att kvoterna blir värdelösa!

Även om dessa system har lanserats med goda teoretiska argument och energipolitiskt rimliga planekonomiska ambitioner bidrar de inte till den industriella utveckling man nog ofta hade som egentligt mål.

Politiskt osäkra elcertifikat

Alla spelregler kan ändras. För den som överväger att investera är därför bedömningen av hur stor den

politiska risken är för en marknad en viktig faktor. Frågor om ett subventionssystem kommer att fortsätta efter det att nästa statsbudget har trätt ikraft eller efter nästa val är avgörande för den som ska investera i anläggningar för el- eller värmeproduktion som normalt betalar sig först efter 10–15 års drift.

När kärnkraften skulle stödjas var långsiktigheten i atomansvarighetslagens regler viktiga. Leverantörer av delar till kärnkraftverken ville veta att de inte skulle kunna ställas till svars ekonomiskt om felaktiga komponenter orsakade en olycka som kostade hundratals miljarder. Det gällde också regeln att reaktorägarens ansvar var strikt begränsat så att ägare och finansiärer inte skulle behöva bära det ekonomiska ansvaret för stora olyckor. Här ansågs inte lagstiftning fastställd av en riksdagen tillräcklig. Först sedan de folkvalda parlamentens lagstiftning befästs i internationella konventioner som det skulle ta många år att ändra ansågs dessa stödsystem tillräckligt pålitliga för att investeringar i kärnkraftverk skulle kunna finansieras privat.

Det svenska systemet med elcertifikat och obligatoriska kvoter är ett system som har uppfattats som behäftat med betydande politisk osäkerhet. Dels var de partier som utgjorde den politiska majoritet som beslöt om systemet inte helt eniga internt. Dessutom hävdade företrädare för oppositionen att man skulle avskaffa systemet. Systemet hade omedelbar effekt genom att existerande

anläggningar drog nytta av möjligheten att producera mer el med biobränslen. Men det var svårt att få banker och investerare att våga tro på att elcertifikaten skulle ha ett betydande värde i långsiktiga investeringakalkyler. Ännu svårare att få någon att börja bygga upp en industri för att leverera kraftverk i Sverige.

Politisk makt hos etablerad industri

För aktörer som utvecklar ny energiteknik utgör de etablerade energikoncernerna inte bara konkurrenter på marknaden. Medan nya företag har liten ekonomisk kapacitet till annat än sin egen produktion och är svagt organiserade, så har de stora energikoncernerna betydande kapacitet att påverka energipolitiska beslut. Detta ökar den politiska risken för entreprenörer som lanserar förnybar energi.

Den politiska makten hos etablerad industri syns tydligt i EU. Den alltför lilla och resurssvaga kommissionen är ett lätt offer för påtryckningar, särskilt om aktörerna också har den starka koppling till nationella regeringar som just energiföretagen ofta har. Ett exempel är att energiföretagen lyckades få EU att införa systemet för handel med utsläppsrätter så att dessa rätter gratis tilldelades dem som tidigare gjort stora utsläpp. Dessutom skulle de som bygger nya anläggningar som använder etablerade fossila bränslen också få utsläppsrätter gratis. För bolagen med kolkraftverk innebar detta en gigantisk ekonomisk vinst. Elpriset höjdes till den nivån där

kolkraftverken skulle ha kunnat köpa utsläppsrätterna och ända vara lönsamma. Men man hade fått rätterna gratis så det var bara ökad vinst till ägarna! Eftersom nya kolkraftverk också får utsläppsrätter gratis, medan biobränsleeldade kraftverk inte får det, ger systemet heller ingen drivkraft att investera i koldioxidfri elproduktion.

Hela systemet är tillräckligt komplicerat för att endast några få ansvariga politiker och en försumbar del av medborgarna i Europa förstår vilka gigantiska summor pengar som på detta sätt förts över från elkonsumenterna till ägarna av kolkraftverk i Europa. Men för många aktörer som övervägde att investera i industrialisering av teknik för förnybar energi var det ett tydligt tecken på att deras potentiella konkurrenter hade politisk makt som det kunde bli dyrt att utmana.

Marknadsmakt hos etablerad industri

Elföretagen i Europa har under det senaste decenniet köpt upp varandra så mycket de har fått tillåtelse till av konkurrensmyndigheterna. Skälet till att man köper upp varandra är att man ser det som mer lönsamt att vara större än att fortsätta vara mindre. Det betyder också att det är svårt för nya företag att komma in på marknaden och att växa i konkurrens med de etablerade stora företagen. De etablerade kan genom sin kontroll över marknaden därför i praktiken stänga ute nya tekniska lösningar – om de inte själva väljer att ta dem i bruk. Det är i allmänhet svårt att bevisa att företagen

avsiktligt använder sin storlek för att styra prisbildningen i syfte att missgynna kunder eller konkurrenter. Ändå är blotta risken en faktor som avhåller investerare från att ge sig in på marknaden.

I gränsområdet mellan marknadsmakt och politisk makt ligger alla de standarder och konventioner som reglerar vad som krävs för att energiprodukter ska få tillgång till marknaderna. Standarder för drivmedel har länge försvårat inblandning av biobaserade bränslen. Regler och procedurer kring tillgången till elnätet har på liknande sätt använts för att stänga ute nya elproducenter och ny energiteknik.

Lösningar

Den marknadsekonomiska teorin ger god grund för att utforma spelregler som löser samhällets energiproblem på ett ekonomiskt effektivt sätt. Det är viktigt att inse att effektiviteten gäller en modernisering av energiindustrin där helt ny teknik ska industrialiseras. Resultatet kommer att bli ett system där förnybar energi kommer att ge energi till lägre kostnader än energin från dagens system. Styrmedlen måste därför inrikta sig på att skapa förutsättningar för investeringar och för industriell utveckling. Det är något helt annat en att kortsiktigt minimera kostnaderna för att nå ett planekonomiskt mål.

Politiker och myndigheter ska inte tro att de företag som byggts upp kring dagens ohållbara energiteknik

kommer att föreslå spelregler som leder till utveckling, inte heller att det är dessa företag som kommer att driva fram ny teknik. En resursstark byråkrati med integritet behövs för att inte etablerad industri ska kunna manipulera byråkratin att hindra ny teknik.

Lärdomar

Erfarenheten från styrmedelsförsök visar att miljöskatter fungerar och har skapat en snabb utveckling för bioenergi i de sektorer i Sverige där miljöskatter funnits. I elsektorn där miljöskatter inte prövats har industrialisering fungerat bäst i länder som haft förutsägbara priser eller prispremier för förnybar elproduktion, till exempel i Tyskland. Hybriderna av planekonomi och konstruerade marknader har i praktiken visat sig mindre lyckade för att utveckla ny industri.

Tomas Kåberger är adjungerad professor vid Internationella institutet för industriell miljöekonomi vid Lunds universitet. Han är också ordförande i Svenska Bioenergiföreningen, Svebio.

Tidigare utkomna Formas Fokuserar

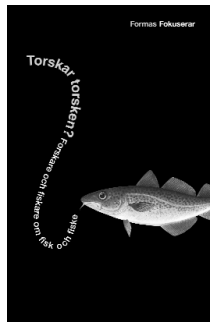
Är eko reko?

Om ekologiskt lantbruk i Sverige

Är det någon idé att köpa KRAV-märkt mat och betala lite mer? Är ekomaten verkligen bättre för hälsa och miljö? Vilka är egentligen skillnaderna mellan ekologiskt och konventionellt lantbruk? Ekologiskt lantbruk står högt på den politiska agendan. Regeringen har satt upp målet att 20 procent av åkerarealen ska vara ekologiskt odlad år 2005. Och Konsumentverket har fått i uppdrag att få oss att köpa mer ekomat. Som konsument har du rätt att få veta vad forskarna i dagsläget faktiskt vet – och varför de inte är överens.

Torskar torsken?

Forskare och fiskare om fisk och fiske



Kommer vi att kunna äta torsk i framtiden – eller är det slutfiskat? Måste det bli ett torskfiskestopp? Kan fiskodling lösa problemen? Och hur ser det ut för andra arter i vattnet, som lax och kräftor? Sedan lång tid tillbaka har beslutsfattarna fått signaler från forskarna om att torskbestånden minskar. Men de har inte följt forskarnas råd. Framtidens fiske hänger på de beslut vi fattar idag. Frågan är hur stora risker vi är villiga att ta. Här finns det stora skillnader mellan olika intressegrupper. Vad säger forskarna – och vad säger fiskarna?

Genklippet?

Maten, miljön och den nya biologin

Idag kan vi förändra växter, djur och bakterier på ett nytt sätt – genom att klippa ut gener och föra över dem från en art till en annan. Är det farligt för människa och miljö när genmodifierade organismer börjar odlas och blir mat på våra fat? Eller blir gentekniken klippet som kommer att rädda världen från svält och miljöproblem? Gentekniken påverkar det levandes urgamla spelregler. Därför har den stött på hårt motstånd från europeiska konsumenter och miljöorganisationer. Men vad säger forskarna om möjligheter och risker med den nya biologin?

Forskare klargör

Myter om maten

Gräver vi vår grav med kniv och gaffel? Vad ska vi äta för att inte bli feta och sjuka? Hur hållbara är egentligen myndigheternas kostråd? Går vi vilse i pannkakan? Blir vi feta av fett, eller blir vi feta av socker? Är det bättre med stenåldersmat? Tål våra gamla gener den nya maten? Frågor som de här diskuteras intensivt i medierna. I Myter om maten är det forskare som presenterar och tolkar vetenskapliga rön. De är överens om det mesta – men långtifrån allt.

Sopor hit och dit – på vinst och förlust

Är det vettigt att vi sorterar och fraktar våra sopor hit och dit som vi gör idag? Leder det till någon verklig miljönytta - eller har vi sopsortering mera som terapi för vårt dåliga miljösamvete? Redan 1910-talets sopsorterande människa klagade på att det var bökigt att sortera. Det och mycket annat finns att läsa i en pocketbok som belyser sopsortering ur en rad olika synvinklar.

Bevara arter – till vilket pris?

Balansgång mellan ekologiska, ekonomiska och sociala aspekter

Sverige har undertecknat FN-konventionen om biologisk mångfald. Den säger att vi ska bevara den biologiska mångfalden, och använda den på ett hållbart och rättvist sätt. Riksdagen har bestämt att arter som har funnits länge i Sverige ska bevaras i livskraftiga bestånd. Risken är annars att vi utrotar arter som är viktiga för ekosystemen och för människan. Men hur ska vi göra – och vad får det kosta? Vad tycker forskarna – och vad tycker andra intressenter i samhället?

Spelet om staden

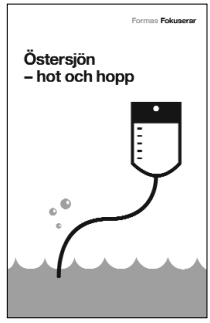
Vem bestämmer över våra städers utveckling? Staden kan ses som en spelplan med ett stort antal aktörer med olika åsikter, lojaliteter och intressen. Hur ser spelplanen ut? Vilka spelregler gäller? Och vilka är spelarna? Är städerna i första hand tillväxtmaskiner, snärjda i global konkurrens och styrda av multinationella företag? Eller kan vi uppnå hållbara städer som erbjuder alla sina invånare en hög livskvalitet utan att äventyra för framtidens människor? Forskarna har inga färdiga svar, men belyser från olika utgångspunkter de drivkrafter som formar och förändrar staden.

Djuren – i människans klor

Hur mår våra djur - i hagar, stall, lagårdar och hemma hos oss? Vad betyder de för oss? Vi både äter och älskar dem. Vad har vi rätt att använda dem till? Kan vi förstå vad de känner? Hade djuren det bättre förr? Behövs det körkort på sällskapsdjur? Hur mycket är nog när det gäller avel? Ska katter behandlas mot cancer? Är Sverige världsbäst på djurskydd? Alla de här frågorna och många till får du svar på av forskare som skriver i boken, forskare med lite olika syn på saken.

Östersjön – hot och hopp

Larmrapporterna om Östersjön har duggat tätt de senaste åren. Men är Östersjön ”sjukare” idag än för hundra år sedan? Går det att ”rädda” Östersjön? Vilka åtgärder är vettigast? Är det bra med kväverening, eller ska vi kanske kvävegödsla? Går det att få bort fosforn från sedimenten? Kan vi syresätta bottnarna? Måste vi kanske äta mindre kött för att rädda havet? Men måste vi samtidigt också äta mindre fisk? Vad är forskarna överens om och varför kommer de till olika slutsatser?



Giftfri miljö – utopi eller verklig chans?

Kadmium i mat och kvicksilver i fisk. Nya metaller i tänder och bilar. Klorerat, bromerat, fluorerat. Nanopartiklar invaderar kroppen. Akrylamid bildas när vi tillagar maten. Läkemedelsrester dyker upp i dricksvatten. Mannens spermier skadas. Hur mycket ska vi stå ut med av gamla problem och nya hot? Varför slår vi så ofta dövörat till när larmet går? Kan vi få en giftfri miljö som riksdagens miljömål talar om? Eller är det bara en önskedröm?

Beställ böckerna på: www.formasfokuserar.se